



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตโดยใช้พืชสองชนิดร่วมกัน

Phytoremediation of Endosulfan Sulfate Contaminated Soils by Mixed
Plant Cultivation

โดย นางสาวชนิษฐา สมตระกูล และคณะ

31 มีนาคม 2557

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตโดยการใช้พืชสองชนิดร่วมกัน

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. ผศ.ดร.ชนิษฐา สมตระกูล
2. ศ.ดร.มาลีญา เครือตราชู

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยมหิดล

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2554-2555 จากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศ.ดร. มาลียา เครือตราชู คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ Prof. Dr. Hung Lee, School of Environmental Science, University of Guelph ประเทศแคนาดา ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อณราชูฒิ และคุณแม่อำไพ สมตระกูล ที่ให้กำลังใจเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ชนิษฐา สมตระกูล

มีนาคม 2557

การฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตโดยใช้พืชสองชนิดร่วมกัน

ชนิษฐา สมตระกูล และ มาลียา เครือตราชู

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการปลูกพืช ได้แก่ ข้าวโพดหวาน (*Zea mays*) ถั่วพุ่ม (*Vigna sinensis*) และแตงกวา (*Cucumis sativus*) ทั้งที่ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกันสองชนิดต่อการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในดินที่ถูกทำให้ปนเปื้อนในระดับกระถางทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกศึกษาความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช 2 ชนิด ได้แก่ กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิก (NAA) และไทเดียซุรอน (TDZ) ต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวา ผลการศึกษาพบว่าเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้น 1-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไม่ส่งผลเป็นพิษต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของพืชทั้งสามอย่างชัดเจน และการใช้สารควบคุมการเจริญของพืชทั้ง NAA และ TDZ ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ทำให้ต้นกล้าของพืชทั้งสามเจริญในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ดีขึ้น แต่กลับส่งผลเสียต่อการเจริญของพืชทั้งสามชนิดมากกว่า ดังนั้นการทดลองในตอนที่ 2 ซึ่งศึกษาการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้นเริ่มต้น 71.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมด้วยพืช จะใช้ต้นกล้าของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วย NAA และ TDZ โดยผลการศึกษาในตอนที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่ว่าจะเป็นการปลูกพืชเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกันจะสามารถลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตลงได้ดีกว่าในดินที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การปลูกข้าวโพดหวานเพียงลำพังในดินที่ปนเปื้อนสามารถลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตจากดินที่ปนเปื้อนได้ดีที่สุด เมื่อปลูกข้าวโพดหวานเพียงลำพังพบว่าปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเหลือเพียงร้อยละ 11.3 และ 27.2 ในดินบริเวณรอบรากพืชและดินรอบนอกรากพืชหลังจากวันที่ 60 ของการย้ายต้นกล้าตามลำดับ การปลูกถั่วพุ่มและแตงกวาเพียงลำพังสามารถลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ดีเช่นกัน โดยปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเหลือเพียงร้อยละ 30.3 และ 38.8 บริเวณดินรอบรากแตงกวาและถั่วพุ่มในวันที่ 45 ของการย้ายต้นกล้า ตามลำดับ ในขณะที่แตงกวาไม่ทนทานต่อความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่ว่าจะปลูกเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นและจะตายลงในระหว่างวันที่ 50-55 หลังจากการย้ายต้นกล้า การปลูกข้าวโพดหวานร่วมกับถั่วพุ่มมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตจากดินได้ต่ำกว่าการปลูกข้าวโพดเพียงลำพัง โดยในดินบริเวณรอบรากของข้าวโพดหวานและถั่วพุ่มสามารถลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ร้อยละ 41.7 และ 52.3 หลังจากวันที่ 60 ของการย้ายต้นกล้า ดังนั้นการศึกษานี้จึงสรุปได้ว่าการปลูกพืชเพียงชนิดเดียวมีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ดีกว่าการปลูกพืชสองชนิดร่วมกัน โดยกลไกที่เป็นไปได้มากที่สุดในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดินจึงมาจากการที่พืชช่วยกระตุ้นกิจกรรมการย่อยสลายเอนโดซัลแฟนซัลเฟตโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยบริเวณรอบรากพืช

คำสำคัญ: การปลูกพืชร่วมกัน การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช ข้าวโพดหวาน แตงกวา ถั่วพุ่ม เอนโดซัลแฟนซัลเฟต

Phytoremediation of Endosulfan Sulfate Contaminated Soils by Mixed Plant Cultivation

Khanitta Somtrakoon and Maleeya Kruatrachue

Abstract

The extent of endosulfan sulfate removal from soils by different planting pattern with sweet corn (*Zea mays*), cow pea (*Vigna sinensis*) and cucumber (*Cucumis sativus*) either cultivated alone or together was investigated in pot experiments. The experiment was divided into 2 parts. First, the effect of alpha-naphthalene acetic acid (NAA) and thidiazuron (TDZ) to alleviate endosulfan sulfate toxicity to growth of sweet corn, cowpea and cucumber seedlings in endosulfan sulfate spiked sands was investigated. The results indicated that 1-100 mg/kg of endosulfan sulfate had no apparent toxicity to these crop plants. However, induction of crop seeds by NAA or TDZ did not promote growth of sweet corn, cowpea and cucumber to an obvious extent. Ten mg/l of both plant growth regulators seemed to exert adverse effect on crop seedling growth. Thus, crop seedlings without induction by NAA and TDZ were used in endosulfan sulfate phytoremediation in the second experiment. The results in the second experiment revealed that the presence of plants grown either alone or together significantly enhanced the removal of endosulfan sulfate from soil ($P < 0.05$). Endosulfan sulfate was removed to the greatest extent in the treatment in which sweet corn was grown alone; only 11.3% and 27.2% of the initial endosulfan sulfate remained in rhizospheric and bulk soil, respectively, of sweet corn grown alone at day 60. Endosulfan sulfate was also removed from soil to a great extent in treatments where cucumber or cowpea was grown alone; only 30.3% and 38.8% of endosulfan sulfate remained in their respective rhizospheric soil after 45 days. However, cucumber did not tolerate the toxicity of endosulfan sulfate well and died around 50-55 days when it was cultivated either alone or together with another plant. Cultivation of sweet corn and cowpea together was less effective in removing endosulfan sulfate from soil; about 41.7% and 52.3% of endosulfan sulfate remained in their respective rhizospheric soils after 60 days. The results showed that single cultivation of the plants was the most efficient way to remediate endosulfan sulfate-contaminated soil in this study. Phytostimulation was more feasible mechanism by which plants promoted the removal of endosulfan sulfate from soils in this study.

Key words: mixed plant cultivation, phytoremediation, sweet corn, cucumber, cowpea, endosulfan sulfate

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
บัญชีตาราง	(2)
บัญชีภาพประกอบ	(3)
Executive summary	1
ระเบียบวิธีวิจัย	8
ผลการทดลองและวิจารณ์	12
เอกสารอ้างอิง	52
ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ (Output)	57
เมนูสคริปต์	58
รายงานการใช้จ่ายเงิน	118

บัญชีตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเจริญของยอดข้าวโพดหวาน แดงกวา และถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต	44
2	การเจริญของรากข้าวโพดหวาน แดงกวา และถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต	45
3	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของข้าวโพดหวาน แดงกวา และถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต	46
4	ปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่เหลือในดินบริเวณไรโซสเฟียร์ (rhizospheric soil) และดินรอบนอก (bulk soil) ของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแดงกวาทั้งที่ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกันเป็นเวลา 60 วัน ในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต	47
5	ค่าการสะสม ของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในยอดและรากของข้าวโพดหวาน แดงกวา และถั่วพุ่มทั้งที่ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกันเป็นคู่ในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเป็นเวลา 25 วัน	48

บัญชีภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	ความยาวยอด น้ำหนักสดยอดและน้ำหนักแห้งยอดของต้นกล้ากวางดั่งที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับกรดอินโดลบิวไทริกและไม่ได้รับกรดอินโดลบิวไทริกซึ่งเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต	13
2	ความยาวราก น้ำหนักสตรากและน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้ากวางดั่งที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับกรดอินโดลบิวไทริกและไม่ได้รับกรดอินโดลบิวไทริกซึ่งเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต	14
3	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้ากวางดั่งที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับกรดอินโดลบิวไทริกและไม่ได้รับกรดอินโดลบิวไทริกซึ่งเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต	15
4	ความยาวยอด น้ำหนักสดยอด และน้ำหนักแห้งยอดของต้นกล้าผักกวางดั่งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งได้รับและไม่ได้รับการกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	18
5	ลักษณะของต้นกล้าผักกวางดั่ง อายุ 10 วันที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและแอสสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างชนิดกันก่อนเพาะ	19
6	ความยาวราก น้ำหนักสตราก และน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าผักกวางดั่งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งได้รับและไม่ได้รับการกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	20
7	ลักษณะของต้นกล้าผักกวางดั่งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต้นกล้าที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนพทา ลีนอะซิดิกก่อนเพาะในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ภาพตัดขวางของรากแก้วผักกวางดั่ง เนื้อเยื่อสดซึ่งย้อมด้วยสีซาฟรานินของต้นกล้าที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและของต้นกล้าที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนพทา ลีนอะซิดิกก่อนเพาะในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	21
8	ลักษณะของต้นกล้าผักกวางดั่งที่ถูกกระตุ้นด้วยไทเดียซุรอน 10 มิลลิกรัมต่อ ลิตรก่อนเพาะในทรายที่มีและไม่มีเอนโดซัลแฟนซัลเฟตซึ่งแสดงอาการไม่มี พัฒนาการของราก	21
9	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของต้นกล้า ผักกวางดั่งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งได้รับและไม่ได้รับการกระตุ้นจาก สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	22

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
10	ความยาวยอด น้ำหนักสดของยอด และน้ำหนักแห้งของยอดของต้นกล้าข้าวโพด ต้นกล้าถั่วพุ่มและต้นกล้าแตงกวาที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งได้รับและไม่ได้รับการกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	26
11	ลักษณะของต้นกล้าแตงกวาอายุประมาณ 4-5 วันที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน ซิลเฟตและเชื้อสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างชนิดกันก่อนเพาะ	27
12	ความยาวราก น้ำหนักสดของราก และน้ำหนักแห้งของรากของต้นกล้าข้าวโพด ต้นกล้าถั่วพุ่มและต้นกล้าแตงกวาที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งได้รับและไม่ได้รับการกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	29
13	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้าข้าวโพด ต้นกล้าถั่วพุ่มและต้นกล้าแตงกวาที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งได้รับและไม่ได้รับการกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	30
14	เนื้อเยื่อที่ยอดตัดตามขวางของต้นกล้าข้าวโพดหวานซึ่งเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต และได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่างชนิดกัน	32
15	เนื้อเยื่อที่รากตัดตามขวางของต้นกล้าข้าวโพดหวานซึ่งเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต และได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่างชนิดกัน	33
16	เนื้อเยื่อตัดตามขวางของแตงกวาซึ่งเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต และได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่างชนิดกัน	34
17	เนื้อเยื่อตัดตามขวางของถั่วพุ่มซึ่งเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต และได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่างชนิดกัน	35
18	ลักษณะของต้นข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 73.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปลูกพร้อมกับแตงกวาและปลูกพร้อมกับถั่วพุ่มเป็นเวลา 45 วัน	39
19	ลักษณะของต้นแตงกวาที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 73.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปลูกเพียงชนิดเดียว ปลูกพร้อมกับถั่วพุ่มและปลูกพร้อมกับข้าวโพดหวานเป็นเวลา 25 วัน	40
20	ลักษณะของต้นแตงกวาที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต โดยปลูกพร้อมกับถั่วพุ่ม ปลูกเพียงชนิดเดียว และปลูกพร้อมกับข้าวโพดหวานเป็นเวลา 60 วัน	41

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ลักษณะของต้นถั่วพุ่มที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 73.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปลูกร่วมกับข้าวโพดหวาน ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกับแตงกวาเป็นเวลา 60 วัน	41

บทสรุปข้อเสนอโครงการวิจัย (Executive Summary)

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การทำเกษตรกรรมส่วนใหญ่ในประเทศที่กำลังพัฒนารวมทั้งประเทศไทยนิยมใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิต การใช้สารเคมีทางการเกษตรในการควบคุมศัตรูพืชและสัตว์ล่วนทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนเป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในทางการเกษตรทั้งในพืชไร่และพืชสวน ทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีกลุ่มดังกล่าวหลายบริเวณ โดยเฉพาะดินและตะกอนบริเวณที่มีการทำเกษตรกรรม สารเคมีในกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนที่นิยมใช้และตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ดีดีที เฮปตาคลอร์ เอนโดซัลแฟน คลอเดน อัลดริน และลินเดน เป็นต้น ความกังวลเกี่ยวกับความเป็นพิษรวมถึงความสามารถในการสะสมในสิ่งมีชีวิตและถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหารทำให้มนุษย์เร่งหาวิธีในการกำจัดสารเหล่านี้ออกจากสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อน (Kruawal et al., 2005 และ Poolpak et al., 2008 และ Thapinta & Hudak, 2000)

นอกจากนี้การใช้สารเคมีในการทำเกษตรกรรมเป็นเวลานานยังส่งผลให้ดินเสื่อมสภาพจนไม่เหมาะสมต่อการเกษตรกรรม การใช้สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนเป็นสาเหตุให้ดินเกิดการเสื่อมสภาพได้เช่นกัน เนื่องจากเป็นกลุ่มสารที่มีความคงทนในสิ่งแวดล้อม ถูกย่อยสลายได้ยาก ไม่ระเหยละลายได้ดีในไขมัน และมักไม่ถูกชะลงสู่ลำน้ำใต้ดินจึงตกค้างอยู่ในดินโดยจับกันอย่างแน่นหนากับสารอินทรีย์ในดิน (Hilber et al., 2008) และส่งผลต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน การฟื้นฟูสภาพดินที่เสื่อมโทรมจากการปนเปื้อนสารกลุ่มออร์แกนโนคลอรีน โดยกระบวนการทางชีวภาพถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการดังกล่าวอาศัยความสามารถของสิ่งมีชีวิต ได้แก่ จุลินทรีย์หรือพืชในการย่อยสลายสารมลพิษให้หมดไปหรืออาจเปลี่ยนแปลงรูปของสารมลพิษให้มีความเป็นพิษน้อยลงกว่าสารตั้งต้น (วรารณ ญญา, 2551) สำหรับกลไกการบำบัดสารมลพิษด้วยพืชมีหลายวิธี เช่น การสกัดสารมลพิษด้วยพืช (phytoextraction หรือ phytoaccumulation) การย่อยสลายด้วยพืช (phytodegradation) การกรองด้วยราก (rhizofiltration) การตรึงด้วยพืช (phytostabilization) การทำให้ระเหยด้วยพืช (phytovolatilization) และการกระตุ้นการย่อยสลายด้วยพืช (phytostimulation) (Macek et al., 2000) โดยกลไกที่มีบทบาทในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนสารมลพิษอินทรีย์อย่างเช่นออร์แกนโนคลอรีน ได้แก่ การสะสมสารมลพิษด้วย การย่อยสลายด้วยพืช และการกระตุ้นการย่อยสลายด้วยพืชเท่านั้น

ตัวอย่างการใช้พืชและจุลินทรีย์ฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนที่ประสบความสำเร็จมีรายงานอย่างต่อเนื่อง เช่น การฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนลินเดนโดยใช้ข้าวโพด (*Zea mays*) ร่วมกับแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. M7 (Benimeli et al., 2008) การฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเฮปตาคลอร์และเฮปตาคลอร์อีพอกไซด์ด้วยพืชวงศ์แตง (Campbell et al., 2009) หรือการใช้พืชวงศ์หญ้า (*Zostera marina*) กระตุ้นการย่อยสลายพอลิคลอรีเนตไบเฟนิลโดยจุลินทรีย์บริเวณรอบรากพืชได้ (Huesemann et al., 2009) โดยลักษณะของพืชที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อน ได้แก่ ต้องเป็นพืชที่เจริญเร็ว ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมหรือขาดแคลนสารอาหารได้ดี มีระบบรากที่ดี สามารถขนไซและหยั่งรากลึกเพื่อประโยชน์ในการกำจัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนที่ปนเปื้อนในดินที่อยู่ลึกและเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์สามารถอาศัยอยู่ได้ และถือเป็นการ

เพิ่มปริมาณสารที่เป็นประโยชน์ที่หลั่งออกจากรากพืชอีกด้วย โดยพืชที่มีลักษณะดังกล่าวมักเป็นพืชวงศ์หญ้าและวงศ์ถั่ว (ชนิษฐา สมตระกูล, 2554)

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสารกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนในดินด้วยพืชหรือจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับความคงตัวของสารในสิ่งแวดล้อมจนยากต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ และความเป็นพิษต่อพืชทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง และจำกัดประสิทธิภาพในการฟื้นฟูด้วยพืช การใช้พืชสองชนิดร่วมกันเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าจะมีประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการฟื้นฟูดิน เนื่องจากการปลูกพืชร่วมกันหลายชนิดจะก่อให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างรากพืช ทำให้สรีรวิทยาของรากพืช การเจริญของรากพืช และมีสารที่หลั่งจากรากพืชเพิ่มขึ้น ผลที่เกิดขึ้นอาจกระตุ้นการย่อยสลายสารมลพิษบริเวณรอบรากพืชได้ แต่ก็ยังไม่สามารถระบุกลไกที่แน่ชัดได้ (Cheema et al., 2010) รายงานการวิจัยที่ศึกษาการปลูกพืชสองชนิดร่วมกันในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนด้วยสารกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนยังไม่พบรายงาน แต่พบว่าการปลูกพืชร่วมกัน เช่น พืชวงศ์ถั่วร่วมกัน หรือพืชวงศ์ถั่วร่วมกับพืชวงศ์กะหล่ำให้ผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายสารในกลุ่มพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนได้ดี โดยกลไกที่พืชสองชนิดช่วยสนับสนุนการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อน ได้แก่ การเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบรากของพืชทั้งสองชนิดช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ ปริมาณสารที่หลั่งออกจากรากพืช และส่งเสริมให้ระบบรากของพืชที่เป็นรากลึกและขนานมากขึ้น กลไกดังกล่าวจะช่วยสนับสนุนการย่อยสลายสารปนเปื้อนได้โดยสารที่หลั่งจากรากพืชอาจทำให้สารมลพิษสามารถละลายน้ำได้มากขึ้นและทำให้จุลินทรีย์และพืชสามารถนำสารนั้นเข้าสู่เซลล์และถูกย่อยสลายภายในเซลล์ต่อไป นอกจากนี้ดินบริเวณที่ปลูกพืชสองชนิดร่วมกันจะมีความอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารมลพิษมากขึ้น เป็นต้น (Sheng-wang et al., 2008 และ Xu et al., 2006)

การศึกษานี้ได้ศึกษาการใช้พืชที่มีความทนทานต่อสารเอนโดซัลแฟนซิลเฟต ได้แก่ ข้าวโพด (*Zea mays*) ถั่วพุ่ม (*Vigna sinensis*) และแตงกวา (*Cucumis sativus*) มาฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนด้วยเอนโดซัลแฟนซิลเฟต โดยเอนโดซัลแฟนซิลเฟตเป็นสารตัวกลางที่ได้จากการย่อยสลายเอนโดซัลแฟนซึ่งจัดเป็นสารเคมีที่ต้องเฝ้าระวังและยังคงอนุญาตให้ใช้ฆ่าแมลงในพืชไร่ (ศักดา ศรีนิเวศน์, 2551) การที่เอนโดซัลแฟนยังไม่ถูกห้ามใช้ในประเทศไทย ทำให้โอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนยังคงมีอยู่ โดยพืชทั้งสามที่เลือกใช้มีความสามารถในการทนทานต่อเอนโดซัลแฟนซิลเฟตได้ดี โดยยอดและรากพืชทั้งสามไม่แสดงอาการผิดปกติภายหลังสัมผัสเอนโดซัลแฟนซิลเฟตเข้มข้นถึง 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ถึงแม้ความยาวยอดของแตงกวาจะลดลงเล็กน้อยก็ตาม (ชนิษฐา สมวงศ์, 2553) แต่ก็มีรายงานว่าพืชวงศ์แตงมีประสิทธิภาพในการสะสมสารในกลุ่มออร์แกนโนคลอรีน เช่น ดีดีที ได้ดี (Whitefield-Åslund et al., 2010) โดยการศึกษานี้ได้วางแผนศึกษาความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซิลเฟตต่อเนื้อเยื่อที่ระบบรากของพืชทั้งสามชนิด รวมทั้งศึกษาการสะสมเอนโดซัลแฟนซิลเฟตในราก ลำต้น และใบของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวา นอกจากนี้ยังศึกษาประสิทธิภาพในการกระตุ้นการย่อยสลายเอนโดซัลแฟนซิลเฟตโดยจุลินทรีย์โดยการปลูกพืชแต่ละชนิด และปลูกร่วมกันโดยจับคู่ทีละสองชนิด ผลการศึกษาจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนด้วยสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อที่ระบบรากของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวา จากการสัมผัสเอนโดซัลแฟนซิลเฟต

2.2 เพื่อศึกษาการสะสมเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวา

2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการปลูกข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาเพียงชนิดเดียว หรือการปลูกพืชร่วมกันสองชนิดในการกระตุ้นการย่อยสลายเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดิน

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ระบบรากของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาในระยะต้นกล้าภายหลังการสัมผัสกับเอนโดซัลแฟนซัลเฟต รวมถึงศึกษาการสะสมและการเคลื่อนย้ายเอนโดซัลแฟนซัลเฟตจากดินเข้าสู่ราก ลำต้น และใบของพืชทั้งสามชนิด นอกจากนี้ได้ศึกษา กิจกรรมการย่อยสลายเอนโดซัลแฟนซัลเฟตโดยจุลินทรีย์โดยอาศัยการกระตุ้นกิจกรรมการย่อยสลายด้วยการปลูกข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาเพียงชนิดเดียว หรือการปลูกพืชร่วมกันสองชนิด การทดลองเป็นแบบ Pot Experiment โดยใช้ดินซึ่งไม่มีประวัติการปนเปื้อนด้วยสารในกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนมาก่อน แล้วจึงเติมสารเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนลงไปดิน ซึ่งมีแผนการดำเนินงานภายในระยะเวลา 2 ปี ดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมดิน

เก็บดินที่ไม่ประวัติการปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตมาก่อน หลังจากนั้นนำดินมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ได้ ความนำไฟฟ้า ความเป็นกรดต่าง รวมทั้งปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่อาจปนเปื้อนอยู่ ผึ่งดินให้แห้งที่อุณหภูมิห้องก่อนใช้งาน (วิเคราะห์คุณภาพดิน ณ บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง ประเทศไทย จำกัด สาขาขอนแก่น)

ละลายเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในอะซิโตนแล้วเติมลงในดินแห้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายในดินเป็น 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่อยู่ในขอบเขตที่มีรายงานการปนเปื้อนในดินของประเทศไทย หลังจากนั้นผึ่งดินให้ตัวทำละลายระเหยไปในตู้วันซึ่งใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง การทดลองในชุดควบคุมเตรียมดินเช่นเดียวกันกับในชุดทดลอง แต่เติมอะซิโตนซึ่งเป็นตัวทำละลายลงไปเพียงอย่างเดียวในปริมาตรที่เท่ากัน และทิ้งไว้ในสภาพแวดล้อมเดียวกันเพื่อให้อะซิโตนระเหยไป

3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ระบบรากของพืชหลังสัมผัสเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

เพาะเมล็ดข้าวโพด ถั่วพุ่ม และแตงกวาในดินทรายที่ถูกทำให้ปนเปื้อนด้วยเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน เป็นเวลา 10 วัน หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างรากพืชแล้วคงสภาพด้วยน้ำยา formalin acetic acid alcohol นำตัวอย่างพืชส่งไปทำสไลด์ถาวรด้วยเทคนิคฝังในพาราฟิน ตัดเนื้อเยื่อทั้งตามขวางและตามยาว ย้อมด้วยสี safranin-fast green แล้วศึกษาลักษณะเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างพืชที่เหลือเพื่อวัดความสูง ชั่งน้ำหนักสด/แห้งของราก ลำต้น และวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์

3.3 ศึกษาการสะสมเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวา

เพาะเมล็ดข้าวโพด ถั่วพุ่ม และแตงกวาในดินที่ไม่มีประวัติการปนเปื้อนเป็นเวลา 10 วัน หลังจากนั้นย้ายต้นกล้าของพืชทั้งสามมาปลูกในกระถางที่บรรจุดิน 1 กิโลกรัม ซึ่งเป็นดินที่ถูกทำให้ปนเปื้อนด้วยเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน เป็นเวลา 90 วัน รดน้ำทุกวันเพื่อรักษาความชื้นในดิน เก็บตัวอย่างพืชทุก 30 วัน แยกส่วนของใบ ราก และลำต้นมาทำให้

แห้งแล้วบดให้ละเอียด จากนั้นนำตัวอย่าง 1 กรัม มาสกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างเฮกเซนและอะซีโตนด้วยเครื่อง soxhlet apparatus เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างมาระเหยแห้งด้วยเครื่อง rotary vacuum evaporator แล้วละลายตัวอย่างกลับด้วยเฮกเซน จากนั้นจึงวิเคราะห์ปริมาณเอนโดซัลแพนซิลเฟตที่ถูกสะสมในพืชด้วยเครื่อง gas chromatography-mass spectroscopy

3.4 ศึกษาการกระตุ้นกิจกรรมการย่อยสลายเอนโดซัลแพนด้วยการปลูกพืชชนิดเดียว

ปลูกข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาในดินเช่นเดียวกับข้อ 3.3 จากนั้นเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณรอบรากพืช (rhizospheric soils) และดินรอบนอก (bulk soils) ทุก 30 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน (วิเคราะห์ปริมาณ total heterotrophic aerobic bacteria ด้วยอาหาร tryptic soy agar และปริมาณเชื้อราทั้งหมดด้วยอาหาร sabouraud dextrose agar) และสกัดเอนโดซัลแพนซิลเฟตที่ตกค้างในดินแล้วจึงตรวจสอบปริมาณด้วยเครื่อง GC-MS ส่วนตัวอย่างพืชนำมาวัดความสูง ชั่งน้ำหนักสด/แห้งของราก ลำต้น ใบ

3.5 ศึกษาการกระตุ้นกิจกรรมการย่อยสลายเอนโดซัลแพนซิลเฟตด้วยการปลูกพืชสองชนิดร่วมกัน

ปลูกพืชร่วมกันสองชนิดโดยพืชทั้งสามมีการจับคู่กัน ดังนี้ ข้าวโพดร่วมกับถั่วพุ่ม ข้าวโพดร่วมกับแตงกวา และถั่วพุ่มร่วมกับแตงกวาโดยทำการศึกษาและเก็บผลการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4

4. แผนการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการในแต่ละช่วง 6 เดือน

4.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 1 มิถุนายน 2554 – 30 พฤศจิกายน 2554

กิจกรรม	มิ.ย. 54	ก.ค. 54	ส.ค. 54	ก.ย. 54	ต.ค. 54	พ.ย. 54
จัดซื้ออุปกรณ์ สารเคมี และเมล็ดพันธุ์	↔	↔				
ศึกษาพืชของเอนโดซัลแพนซิลเฟตต่อเนื้อเยื่อที่ระบบรากในระยะต้นกล้าของข้าวโพด ถั่วพุ่ม และแตงกวาโดยเพาะต้นกล้าในดินที่ปนเปื้อนแล้วเก็บผลการเจริญทุกรูปแบบในระยะต้นกล้า			↔	↔		
เตรียมสไลด์และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ระบบราก					↔	
วิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำรายงานความก้าวหน้า						↔

4.2 แผนการดำเนินงานวิจัย 1 ธันวาคม 2554 – 31 พฤษภาคม 2555 (ศึกษาการสะสมสารมลพิษในพืช)

กิจกรรม	ธ.ค. 54	ม.ค. 55	ก.พ. 55	มี.ค. 55	เม.ย. 55	พ.ค. 55
เตรียมดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแพนซิลเฟต	↔					
เพาะต้นกล้าข้าวโพด ถั่วพุ่ม แตงกวา	↔					
ย้ายต้นกล้าลงปลูกในดินที่ปนเปื้อนและเก็บส่วนของราก ลำต้น และใบทุก 30 วัน เป็นเวลา 90 วัน เพื่อวิเคราะห์ผล		↔	↔	↔		
สกัดเอนโดซัลแพนจากส่วนของพืชและวิเคราะห์ด้วย GC-MS					↔	
วิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำรายงานความก้าวหน้า						↔

4.3 แผนการดำเนินงานวิจัย 1 มิถุนายน 2555 – 30 พฤศจิกายน 2555 (ศึกษาการย่อยสลายบริเวณรากพืช)

กิจกรรม	มิ.ย. 55	ก.ค. 55	ส.ค. 55	ก.ย. 55	ต.ค. 55	พ.ย. 55
เตรียมดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและเพาะต้นกล้า	↔					
ย้ายต้นกล้าลงปลูกในดินที่ปนเปื้อนและเก็บดินทุก 30 วัน เป็นเวลา 90 วันและวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ (ศึกษาพืชชนิดเดียว)		↔	↔	↔		
ย้ายต้นกล้าลงปลูกในดินที่ปนเปื้อนและเก็บดินทุก 30 วัน เป็นเวลา 90 วันและวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ (ศึกษาพืชผสม)			↔	↔	↔	
วิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำรายงานความก้าวหน้า						↔

4.4 แผนการดำเนินงานวิจัย 1 ธันวาคม 2555 – 31 พฤษภาคม 2556

กิจกรรม	ธ.ค. 55	ม.ค. 56	ก.พ. 56	มี.ค. 56	เม.ย. 56	พ.ค. 56
สกัดเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและวิเคราะห์ปริมาณด้วย GC-MS	↔					
วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและจัดทำรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์		↔				
เตรียมต้นฉบับงานวิจัยสำหรับตีพิมพ์และส่งตีพิมพ์			↔	↔	↔	↔
จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และปิดทุน					↔	↔

5. ผลงาน/หัวข้อเรื่องที่คาดว่าจะตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

5.1 ชื่อเรื่องที่คาดว่าจะตีพิมพ์ Phytoremediation of Endosulfan Sulfate-Contaminated Soils by Mixed Plant Cultivation

ชื่อวารสารที่คาดว่าจะตีพิมพ์ International Journal of Phytoremediation
(Impact Factor 1.32 ปี 2009)

5.2 ชื่อเรื่องที่คาดว่าจะตีพิมพ์ Stress Response in Root Tissues of Crops by Endosulfan-Sulfate Exposure

ชื่อวารสารที่คาดว่าจะตีพิมพ์ Environmental Toxicology (Impact Factor 1.73 ปี 2010)

6. งบประมาณโครงการ (ตามระยะเวลาโครงการที่ได้รับการเสนอรับทุน งบประมาณไม่เกิน 240,000 บาท/ปี)

รายการ	ปีที่ 1	ปีที่ 2	รวม
1. หมวดค่าตอบแทน			
- ค่าตอบแทนหัวหน้าโครงการ	120,000.00	120,000.00	240,000.00
2. หมวดค่าวัสดุ			
- สารเอนโดซัลแฟนซัลเฟต	50,000.00	60,000.00	110,000.00
- สารเคมีสำหรับศึกษาเนื้อเยื่อพืช	8,000.00	-	8,000.00
- สารเคมีสำหรับสกัดและวิเคราะห์เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	10,000.00	20,000.00	30,000.00
- อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์	13,500.00	5,000.00	18,500.00

รายการ	ปีที่ 1	ปีที่ 2	รวม
- ยาปฏิชีวนะ	8,000.00	9,000.00	17,000.00
- กระถางปลูกพืชและถาดเพาะเมล็ด	3,000.00	-	3,000.00
- เมล็ดพันธุ์พืช	1,000.00	2,000.00	3,000.00
- ค่าขวดสำหรับใส่ตัวอย่างวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS	4,000.00	-	4,000.00
- วัสดุสำนักงานสำหรับจัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์	1,000.00	2,000.00	3,000.00
3. หมวดค่าใช้สอย			
- ค่าบริการใช้เครื่องมือ GC-MS	5,000.00	20,000.00	25,000.00
- ค่าบริการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน	5,000.00	-	5,000.00
- ค่าบริการเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อพืช	10,000.00	-	10,000.00
4. หมวดค่าจ้าง			
- ค่าจ้างเหมาสีตช่วยงาน	1,500.00	2,000.00	3,500.00
รวมงบประมาณโครงการ	240,000.00	240,000.00	480,000.00

7. เอกสารอ้างอิง

- ชนิษฐา สมวงศ์. 2554. การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนด้วยพืช. วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร. 5(1): 125-129.
- ชนิษฐา สมวงศ์. 2553. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การคัดเลือกพืชที่มีความทนทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออกแทนโนคลอรีนเพื่อนำมาใช้ฟื้นฟูสภาพดิน. งบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ศักดา ศรีนิเวศน์. สถาบันบริหารศัตรูพืชโดยชีวภาพ. http://www.doae.go.th/report/sukda/hoy_hit.html สืบค้นข้อมูลวันที่ 19 สิงหาคม 2551.
- วรารณณ์ ญญา. 2551. การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช. วารสารวิชาการราชภัฏตะวันตก. 3 (1): 134-145.
- Benimeli, C.S., Fuentes, M.S., Abate, C.M., Amoroso, M.J. 2008. Bioremediation of lindane-contaminated soil by *Streptomyces* sp.M7 and its effects on *Zea mays* growth. *International biodeterioration and Biodegradation*. 61: 233-239.
- Campbell, S., Arakaki, A.S., Li, Q.X. 2009. Phytoremediation of heptachlor and heptachlor epoxide in soil by Cucurbitaceae. *International Journal of Phytoremediation*. 11: 28-38.
- Cheema, S.A., Khan, M.I., Shen, C., Tang, X., Farooq, M., Chen, L., Zhang, C., Chen, Y. 2010. Degradation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by single and combined plants cultivation. *Journal of hazardous materials*. 177: 384-389.
- Hilber, I., Mäder, P., Schulz, R., Wyss, G.S. 2008. Survey of organochlorine pesticides in horticultural soils and their grown Cucurbitaceae. *Chemosphere*. 73: 954-961.
- Huesemann, M.H., Hausmann, T., Fortman, T.J., Thom, R.M., Cullinan, V. 2009. In situ phytoremediation of PAH- and PCB-contaminated marine sediments with eelgrass (*Zostera marina*). *Ecological Engineering*. 35: 1395-1404.

- Kruawal K., Sacher F., Werner A., Muller J., Knepper TP. 2005. Chemical water quality in Thailand and its impact on the drinking water production in Thailand. *Science of the Total Environment*. 340: 57-70.
- Macek, T., Mackova, M., Kas, J. 2000. Exploitation of plants for the removal of organics in the environmental remediation. *Biotechnology Advances*. 18: 23-34.
- Poolpak, T., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M., Arjarasirikoon, U., Thanwaniwat, N. 2008. Residue analysis of organochlorine pesticides in the Mae Klong river of Central Thailand. *Journal of Hazardous Materials*. 156: 230-239.
- Sheng-wang P., Shi-qiang, W., Xin, Y., Shen-xian, C. 2008. The removal and remediation of phenanthrene and pyrene in soil by mixed cropping of Alfalfa and Rape. *Agricultural Sciences in China*. 7(11): 1355-1364.
- Thapinta, A. and P.F. Hudak. 2000. Pesticides use and residues occurrence in Thailand. *Environmental Monitoring and Assessment*. 60: 103-114.
- Whitefield-Åslund, M.L., A.L. Lunney, A. Rutter, B.A. Zeeb. 2010. Effects of amendments on the uptake and distribution of DDT in *Cucurbita pepo* spp. pepo plants. *Environmental Pollution*. 158: 508-513.
- Xu, S.Y., Chen, Y.X., Wu, W.X., Wang, K.X., Lin, Q., Kiang, X.Q. 2006. Enhanced dissipation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by combined plants cultivation. *Science of the Total Environment*. 363: 206-215.

ระเบียบวิธีวิจัย

ตอนที่ 1 ผลของกรดอินโดลชีวไทริก (IBA) ต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของผักกวางตุ้งที่ปลูกในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

1.1 เตรียมทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

ละลายเอนโดซัลแฟนซัลเฟต (บริษัท Dr. Ehrenstorfer GmbH Lot no. 81205 ประเทศเยอรมัน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.5) ในอะซีโตน (คุณภาพสำหรับการวิเคราะห์ บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน) แล้วเติมลงทรายให้มีความเข้มข้นสุดท้ายในทรายเป็น 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของทราย จากนั้นผึ่งทรายที่ผสมแล้วในตู้ควั่นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยไป สุดท้ายแบ่งทราย 50 กรัมใส่ลงในภาชนะพลาสติกที่มีความจุ 120 มิลลิลิตร และปรับความชื้นของทรายให้เป็นร้อยละ 65 โดยน้ำหนักก่อนการทดลอง

1.2 ทดสอบผลของสารควบคุมการเจริญ IBA ต่อดันกล้าผักกวางตุ้ง

การทดสอบความเป็นพิษคัดแปลงจากวิธีของ Somtrakoon and Chouychai (2013) โดยใช้เมล็ดพันธุ์กวางตุ้ง (*Brassica chinensis*) (บริษัทเจียไต๋ กรุงเทพฯ) ในสารละลาย IBA ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (บริษัท Fluka ประเทศสหรัฐอเมริกา ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเพาะในถาดพลาสติกที่มีทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตแต่ละความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 10 เมล็ด (ทำการทดลองทั้งหมดสามซ้ำ) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ได้รับแสงธรรมชาติ รดน้ำทุกวันเพื่อรักษาความชื้นในทรายให้คงที่ ชุดควบคุมทำเช่นเดียวกันแต่ใช้เมล็ดพันธุ์กวางตุ้งในน้ำกลั่น เมื่อครบกำหนดเวลา 10 วัน วัดการเจริญของต้นกล้ากวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเปรียบเทียบกับต้นกล้าในชุดควบคุม

1.3 ศึกษาการเจริญของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อน

ศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่ได้รับและไม่ได้รับ IBA ในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเมื่อต้นกล้ามีอายุ 10 วัน เพื่อวิเคราะห์น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของยอด ราก และใบ ความยาวยอดและความยาวราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด โดยนำใบสดของต้นกล้าผักกวางตุ้งปริมาณ 200 มิลลิกรัม มาตัดให้มีขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร แล้วแช่ในสารละลายอะซีโตนความเข้มข้นร้อยละ 80 บ่มในที่มืด อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตรตามวิธีของ Huang และคณะในปี ค.ศ. 2004 แล้วจึงคำนวณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดในหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรดังสมการ

$$\text{ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ} = [12.7 \times A_{663}] - [2.69 \times A_{645}]$$

$$\text{ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ บี} = [22.9 \times A_{645}] - [4.68 \times A_{663}]$$

$$\text{ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ทั้งหมด} = [8.02 \times A_{663}] + [20.2 \times A_{645}]$$

1.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ระบบรากของต้นกล้าผักกวางตุ้งหลังสัมผัสเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

เพาะเมล็ดพันธุ์กวางตุ้งในทรายที่ถูกทำให้ปนเปื้อนด้วยเอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้น 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของทราย เป็นเวลา 10 วัน หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างรากพืช

ตัดเนื้อเยื่อทั้งตามขวางและตามยาว ย้อมด้วยสี safranin-fast green แล้วศึกษาลักษณะเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

1.5 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การเจริญของต้นกล้าพืชแสดงด้วยค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วยการทดสอบทางสถิติด้วย Two way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วย LSD's test

ตอนที่ 2 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิติก (NAA) และไทเดียมูรอน (TDZ) ต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของผักกวางตุ้งที่ปลูกในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

ทำเช่นเดียวกับการทดลองในตอนต้นที่ 1 หัวข้อที่ 1.1-1.5 แต่เปลี่ยนชนิดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจาก IBA เป็น NAA และ TDZ ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (บริษัท Fluka ประเทศสหรัฐอเมริกา ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99) และใช้ทรายที่ถูกทำให้ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้น 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตอนที่ 3 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิติก (NAA) และไทเดียมูรอน (TDZ) ต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาที่ปลูกในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

ทำเช่นเดียวกับการทดลองในตอนต้นที่ 1 หัวข้อที่ 1.1-1.5 แต่เปลี่ยนชนิดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจาก IBA เป็น NAA และ TDZ ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (บริษัท Fluka ประเทศสหรัฐอเมริกา ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99) และเปลี่ยนชนิดของพืชทดสอบจากผักกวางตุ้งเป็นข้าวโพดหวาน (*Zea mays* L.var *sacharata* Bailey) ซึ่งใช้เมล็ดพันธุ์ทางการค้าของบริษัทโชคสิกร เมล็ดพันธุ์ จำกัด จังหวัดนนทบุรี ถั่วพุ่ม (*Vigna sinensis*) ซึ่งใช้เมล็ดพันธุ์ทางการค้าของบริษัทอีสท์ เวสต์ ซีท จำกัด จังหวัดนนทบุรี และแตงกวา (*Cucumis sativus*) ซึ่งใช้เมล็ดพันธุ์ทางการค้าของบริษัทฉว่งเซ่งพันธุ์พืช จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย และใช้ทรายที่ถูกทำให้ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตอนที่ 4 ผลของการปลูกข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาเพียงลำพังและการปลูกร่วมกันเพื่อฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

4.1 เก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ไม่มีประวัติการใช้งานสารกำจัดศัตรูพืชเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

เก็บดินที่ไม่มีประวัติการใช้งานสารกำจัดศัตรูพืชเอนโดซัลแฟนซัลเฟตมาก่อนในพื้นที่บริเวณวัดป่าแก้ว ต. ขามเรียง อ. กันทรวิชัย จ. มหาสารคาม จากนั้นนำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วร่อนดินผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูพรุน 2 มิลลิเมตร เพื่อกำจัดหินขนาดใหญ่และเศษซากพืช วิเคราะห์ปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ตกค้างในดินด้วย Gas Chromatography - Mass Spectroscopy ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น QP2010 ประเทศญี่ปุ่น เพื่อยืนยันการไม่ปนเปื้อนด้วยสารชนิดดังกล่าวมาก่อน วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน ณ บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น ดินที่ใช้มีร้อยละของอนุภาคทราย 10.23 ร้อยละของอนุภาคดินร่วน 15.33 ร้อยละของอนุภาคดินเหนียว 74.44 พีเอช 8.11 ความนำไฟฟ้า 109.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ร้อยละของอินทรีย์วัตถุเป็น 2.40 ร้อยละของ

ไนโตรเจนทั้งหมดเป็น 0.29 ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ได้ 58.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน

4.2 เตรียมดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

ละลายเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในอะซีโตนแล้วเติมลงในดินให้มีความเข้มข้นสุดท้ายในดินเป็น 71.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ผึ่งดินที่ผสมแล้วในตู้ควัน ที่อุณหภูมิห้อง ($29 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยไป ตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในดินโดยสุ่มเก็บตัวอย่างดิน 5 จุด เพื่อตรวจสอบปริมาณเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตเริ่มต้น โดยเครื่อง GC-MS

4.3 การเตรียมต้นกล้า

ต้นกล้าข้าวโพดหวาน (*Zea mays* L.var *sacharata* Bailey) ต้นกล้าถั่วพุ่ม (*Vigna sinensis*) และต้นกล้าแตงกวา (*Cucumis sativas*) เตรียมโดยแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเพาะในถาดพลาสติกที่บรรจุดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้น 71.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ได้รับแสงธรรมชาติ รดน้ำทุกวันเพื่อรักษาความชื้นในดินให้คงที่ เมื่อต้นกล้าอายุ 10 วัน เลือกต้นกล้าที่แข็งแรงไว้ใช้ในการทดลองฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

4.4 ศึกษาประสิทธิภาพของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดิน

วางแผนการทดลองแบบ CRD การฟื้นฟูสภาพดินโดยปลูกพืชชนิดเดียวทำโดยย้ายต้นกล้าข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม หรือแตงกวาอายุ 10 วัน ลงปลูกในกระถางซึ่งบรรจุดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 1 กิโลกรัม โดย 1 กระถางปลูกพืชเพียง 1 ชนิด การฟื้นฟูสภาพดินโดยการปลูกพืชสองชนิดร่วมกันทำโดยย้ายต้นกล้าข้าวโพดหวาน ต้นกล้าถั่วพุ่ม และต้นกล้าแตงกวาอายุ 10 วัน ลงปลูกในกระถางซึ่งบรรจุดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 2 กิโลกรัม โดย 1 กระถางปลูกพืช 2 ชนิดร่วมกัน ปลูกพืชชนิดเดียวและปลูกพืชร่วมกันในกระถางที่บรรจุดินที่ไม่ปนเปื้อน และดินที่ไม่ปลูกพืชใช้เป็นการทดลองในชุดควบคุม สลับตำแหน่งของกระถางที่ปลูกพืชแบบสุ่มทุกวันเพื่อไม่ให้เกิดความลำเอียงในการได้รับแสงของพืช รดน้ำทุกวันเพื่อรักษาความชื้นในดินไว้ที่ประมาณร้อยละ 60 เป็นเวลา 60 วัน จากนั้นเก็บตัวอย่างดินรอบรากพืช (Rhizospheric soil) รอบนอกรากพืช (Bulk soil) ในวันที่ 25, 50 และ 60 มาวิเคราะห์ปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่เหลือในดินด้วย GC-MS

4.5 ศึกษาการเจริญของพืชที่เจริญในดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต โดยเก็บตัวอย่างพืชจากกระถางที่ปลูกพืชชนิดเดียว และกระถางที่ปลูกพืชร่วมกันในวันที่ 25, 50 และ 60 ของการทดลองเพื่อวิเคราะห์น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของยอด ราก และใบ ความยาวยอด และความยาวราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ทำเช่นเดียวกับการทดลองในตอนต้นที่ 1 หัวข้อที่ 1.3

4.6 การสกัดและการวิเคราะห์ปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตด้วย GC-MS

เอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ตกค้างในดินนำมาสกัดด้วยเครื่องชอกท์เลทโดยนำตัวอย่างดินแห้ง 1 กรัมทำให้แห้งโดยบดผสมกับ Na_2SO_4 (anhydrous) ในอัตราส่วน 1:1 ละลายแกมมา-เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (บริษัท Dr. Ehrenstorfer GmbH Lot no. 81205 ประเทศเยอรมัน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.6)

ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในเฮกเซนแล้วเติมลงในดินตัวอย่างปริมาตร 50 ไมโครลิตร เพื่อใช้เป็น internal standard

จากนั้นนำตัวอย่างดินมาสกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างอะซีโตนและเฮกเซน (บริษัท Ajax Finechem Pty จำกัด ประเทศนิวซีแลนด์) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Wang และคณะในปี ค.ศ. 2007 ในอัตราส่วน 1:1 ด้วยเครื่องชอกห์เลทเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และปรับอุณหภูมิบนเตาให้ตัวทำละลายหมุนเวียนในหลอดบรรจุสารตัวอย่างให้ได้ 5-6 รอบต่อชั่วโมง ต่อมานำสารละลายที่สกัดได้มาระเหยแห้งด้วยเครื่องกลั่นสารระเหยแบบหมุน (rotary evaporator) เมื่อปริมาตรตัวอย่างลดลงเหลือประมาณ 1 มิลลิลิตรให้เติมเฮกเซนลงไป 10 มิลลิลิตรแล้วกลั่นต่อจนปริมาตรตัวอย่างเหลือประมาณ 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตด้วยเครื่อง GC-MS ประสิทธิภาพในการสกัดเอนโดซัลแฟนซัลเฟตต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 คำนวณจากการเปรียบเทียบปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและ internal standard ที่สกัดออกมาได้เทียบกับปริมาณสารที่ทราบความเข้มข้นก่อนนำไปสกัด

การวิเคราะห์ปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและ internal standard ในสารละลายเฮกเซนใช้เครื่อง GC (บริษัท Shimadzu รุ่น AOC-5000) ติดตั้งร่วมกับดีเทคเตอร์คือ Mass Spectroscopy (Shimadzu MS-QP2010) สภาวะในการแยกสารจะใช้คัปิลารีคอลัมน์ชนิด Rtx®-5MS (บริษัท Restek) (30 เมตร x 25 มิลลิเมตร, I.D. 0.25 ไมโครเมตร) สภาวะที่ใช้ในการฉีดสารแบบ split ใช้อัตราส่วนในการ split เป็น 30:1 อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้น 180 องศาเซลเซียส โดยคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิคอลัมน์สูงถึง 250 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์ขึ้นไปอีกด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิคอลัมน์สูงถึง 280 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 4 นาที อุณหภูมิของอินเจคเตอร์เป็น 250 องศาเซลเซียส และดีเทคเตอร์เป็น 250 องศาเซลเซียส โดย retention time ของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเป็น 10.38 นาที และ retention time ของ internal standard เป็น 5.58 นาที

4.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ร้อยละของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่เหลืออยู่แสดงด้วยค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วยการทดสอบทางสถิติด้วย One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วย Tukey's test

ผลการทดลอง วิจัยและสรุป

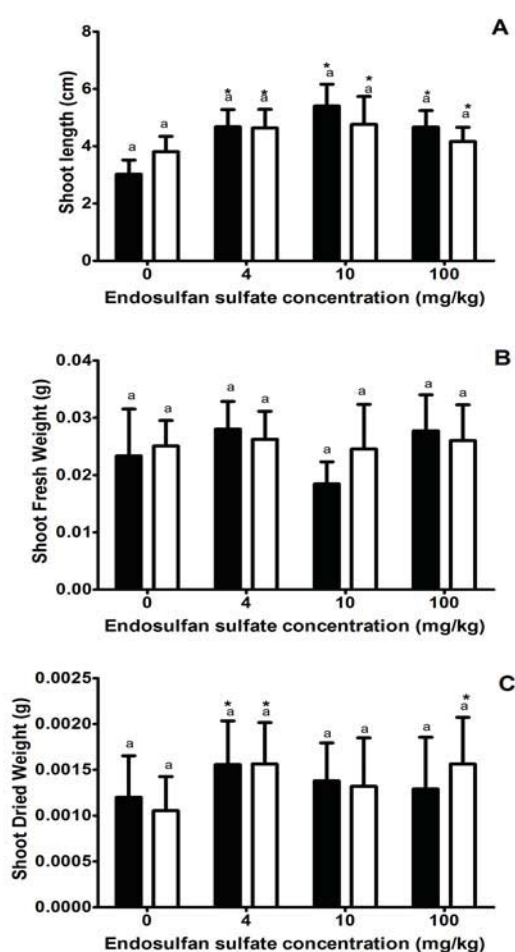
การศึกษานี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการปลูกพืชทั้งที่ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกันสองชนิดต่อการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในดินที่ถูกทำให้ปนเปื้อนในระดับกระทกลางทดลอง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกนั้น ศึกษาความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของกวาดำ ข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวา ซึ่งเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ต่างกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกชนิดของพืชที่มีความทนทานต่อความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเพื่อนำมาใช้ในการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในการทดลองขั้นที่สอง โดยในการศึกษาความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตต่อดันกล้านั้น ยังได้ศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมด้วย โดยทดลองใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มออกซินและไซโทไคนิน ตัวแทนของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มออกซิน ได้แก่ กรดแอลฟาแนพทาไลน์อะซีติก (NAA) และกรดอินโดลิลบิวไทริก (IBA) และตัวแทนของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มไซโทไคนิน ได้แก่ ไทเดียซุรอน (TDZ) โดยมีสมมุติฐานว่าการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์พืชด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจะช่วยลดความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตต่อการเจริญของพืชในระยะต้นกล้าได้ แต่ผลการทดลองพบว่าเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 1-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ไม่เป็นพิษต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของพืชทั้งกวาดำ ข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาอย่างชัดเจน การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ก่อนนำไปเพาะในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต กลับส่งผลเสียต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของพืชอีกด้วย โดยเฉพาะ TDZ ซึ่งจะส่งผลเสียต่อการพัฒนาการของพืชโดยเฉพาะพัฒนาการของรากมากกว่า NAA และ IBA ดังนั้นการสอบประสิทธิภาพของพืช ได้แก่ ข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดินจึงเลือกใช้เมล็ดพันธุ์พืชที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มใดเลย โดยผลการศึกษาและการวิจารณ์ผลการศึกษาในแต่ละขั้นตอนของการศึกษาเป็นดังนี้

ตอนที่ 1 ผลของกรดอินโดลิลบิวไทริกต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของผักกวาดำที่ปลูกในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

1.1 ผลของกรดอินโดลิลบิวไทริกต่อความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอดผักกวาดำ

การเจริญของต้นกล้ากวาดำในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4, 10 และ 100 มีความยาวยอดมากกว่าต้นกล้ากวาดำที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยความยาวยอดของต้นกล้ากวาดำมีค่าเท่ากับ 4.68 ± 0.6 , 5.4 ± 0.77 และ 4.67 ± 0.58 เซนติเมตร ตามลำดับ การใช้เมล็ดพันธุ์ที่ได้รับกรดอินโดลิลบิวไทริกให้ผลไม่ต่างจากเมล็ดพันธุ์ที่แช่ในน้ำกลั่น โดยความยาวยอดของต้นกล้ากวาดำเพิ่มขึ้นเมื่อเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในทรายมีความเข้มข้นสูงขึ้น แต่เมื่อเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ความยาวยอดลดลงเหลือเพียง 4.16 ± 0.50 เซนติเมตร แต่ยังเป็นค่าที่มากกว่าการเจริญของต้นกล้ากวาดำในทรายที่ไม่ปนเปื้อนซึ่งใช้เมล็ดพันธุ์ที่ได้รับกรดอินโดลิลบิวไทริกเช่นกัน การใช้เมล็ดพันธุ์กวาดำที่ที่ได้รับกรดอินโดลิลบิวไทริกไม่ทำให้ความยาวยอดของต้นกล้ากวาดำที่เพาะในแต่ละระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตแตกต่างกัน ($P < 0.05$) (ภาพที่ 1A)

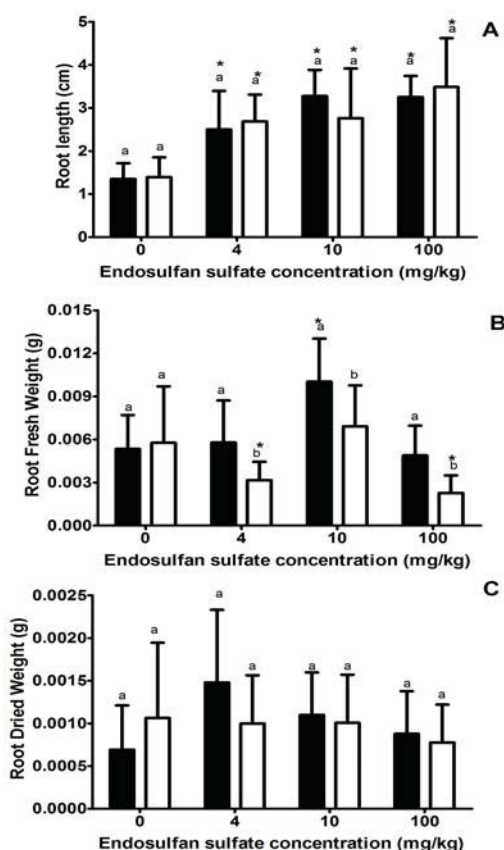
น้ำหนักสดของยอดต้นกล้าวางตั้งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทรายไม่แตกต่างจากน้ำหนักสดของยอดต้นกล้าวางตั้งที่เจริญในทรายไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การใช้เมล็ดพันธุ์วางตั้งที่ได้รับกรดอินโดลบีวไทริกไม่ส่งผลให้น้ำหนักสดของยอดต้นกล้าวางตั้งแตกต่างจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้รับกรดอินโดลบีวไทริกที่ทุกระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟต ในขณะที่กรดอินโดลบีวไทริกไม่ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าวางตั้งแตกต่างจากต้นกล้าวางตั้งที่ไม่ได้รับกรดอินโดลบีวไทริกเช่นกัน ($P < 0.05$) แต่เอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมกระตุ้นการเจริญของต้นกล้าวางตั้งได้เล็กน้อยโดยน้ำหนักแห้งของยอดที่เพิ่มขึ้นมากกว่าวางตั้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ไม่ว่าจะใช้เมล็ดพันธุ์ที่ได้รับกรดอินโดลบีวไทริกหรือไม่ก็ตาม (ภาพที่ 1B และ 1C)



ภาพที่ 1 ความยาวยอด (A) น้ำหนักสดยอด (B) และน้ำหนักแห้งยอด (C) ของต้นกล้าวางตั้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต สัญลักษณ์ (■) ต้นกล้าที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับกรดอินโดลบีวไทริกและ (□) ต้นกล้าที่เพาะจากเมล็ดที่ไม่ได้รับกรดอินโดลบีวไทริก ส่วนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างต้นกล้าวางตั้งที่ได้รับและไม่ได้รับกรดอินโดลบีวไทริกก่อนเพาะที่ความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตระดับเดียวกัน และ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้าวางตั้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อน

1.2 ผลของกรดอินโดลปิวิไทริกต่อความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากผักกวางตุ้ง

ความยาวรากของต้นกล้ากวางตุ้งเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเพิ่มขึ้นจาก 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย โดยมีค่ามากกว่าการเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การได้รับกรดอินโดลปิวิไทริกของเมล็ดพันธุ์กวางตุ้งก่อนเพาะไม่ส่งผลให้ความยาวรากของต้นกล้ากวางตุ้งแตกต่างจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้รับกรดอินโดลปิวิไทริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 2A)



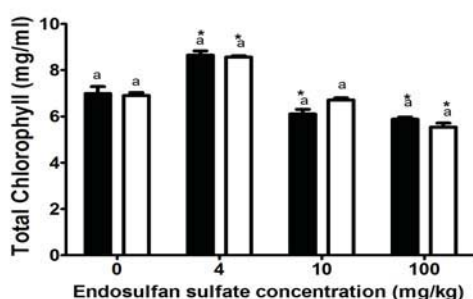
ภาพที่ 2 ความยาวราก (A) น้ำหนักสดราก (B) และน้ำหนักแห้งราก (C) ของต้นกล้ากวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต สัญลักษณ์ (■) ต้นกล้าที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับกรดอินโดลปิวิไทริกและ (□) ต้นกล้าที่เพาะจากเมล็ดที่ไม่ได้รับกรดอินโดลปิวิไทริก ส่วนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างต้นกล้ากวางตุ้งที่ได้รับและไม่ได้รับกรดอินโดลปิวิไทริกก่อนเพาะที่ความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตระดับเดียวกัน และ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้ากวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อน

น้ำหนักสดของรากต้นกล้ากวางตุ้งที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับกรดอินโดลปิวิไทริกมีค่าน้อยกว่ากวางตุ้งที่เพาะจากเมล็ดที่ไม่ได้รับกรดอินโดลปิวิไทริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยน้ำหนักสดของรากต้นกล้ากวางตุ้งที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับกรดอินโดลปิวิไทริกมีค่าเท่ากับ 0.003, 0.007 และ 0.002 กรัม เมื่อเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเข้มข้น 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เอนโดซัลแฟนซัลเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กระตุ้นให้ต้นกล้ากว้างตั้งที่ไม่ได้รับการดอินโดลบีวไทริกมีน้ำหนักสดของรากสูงกว่าการเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนในทรายที่ไม่ปนเปื้อนพบว่าไม่ว่าเมล็ดกว้างตั้งจะได้รับการดอินโดลบีวไทริกหรือไม่ก็ตามไม่ทำให้น้ำหนักสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่น้ำหนักแห้งของรากต้นกล้ากว้างตั้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของทราย ไม่แตกต่างกันไม่ว่าเมล็ดกว้างตั้งจะได้รับการดอินโดลบีวไทริกก่อนเพาะหรือไม่ก็ตาม ($P<0.05$) (ภาพที่ 2B และ 2C)

1.3 ผลของการดอินโดลบีวไทริกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของผักกวางตุ้ง

การปนเปื้อนของเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของทรายส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้ากว้างตั้งที่เพาะจากเมล็ดพันธุ์ที่ได้รับการดอินโดลบีวไทริกหรือไม่ก็ตามมีปริมาณสูงกว่าคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้ากว้างตั้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเพิ่มขึ้นเป็น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของทรายส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้ากว้างตั้งต่ำกว่าของต้นกล้ากว้างตั้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การได้รับการดอินโดลบีวไทริกไม่ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบแตกต่างจากเมล็ดกว้างตั้งที่ไม่ได้รับการดอินโดลบีวไทริกที่ทุกระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟต ($P<0.05$) (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้ากว้างตั้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต สัญลักษณ์ (■) ต้นกล้าที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับการดอินโดลบีวไทริกและ (□) ต้นกล้าที่เพาะจากเมล็ดที่ไม่ได้รับการดอินโดลบีวไทริก ส่วนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างต้นกล้ากว้างตั้งที่ได้รับและไม่ได้รับการดอินโดลบีวไทริกก่อนเพาะที่ความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตระดับเดียวกัน * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้ากว้างตั้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อน

จากผลการทดลองศึกษาในตอนต้นที่ 1 ซึ่งศึกษาผลของการดอินโดลบีวไทริกต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของผักกวางตุ้งที่ปลูกในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตจะเห็นว่าเอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่แสดงความเป็นพิษต่อต้นกล้าผักกวางตุ้ง และเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่ำจะส่งผลกระตุ้นการเจริญของยอดและราก ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นที่สูงมากคือ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจึงจะส่งผลให้น้ำหนักสดของรากและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของผักกวางตุ้งลดลงเท่านั้น แต่ไม่ส่งผลต่อการ

เจริญของยอดทั้งความยาวและน้ำหนัก การตอบสนองต่อความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตของต้นกล้ากวาดึงเกิดที่รากมากกว่ายอด เนื่องจากรากเป็นส่วนที่สัมผัสกับสารพิษที่ปนเปื้อนในดินโดยตรง รวมทั้งนิยมใช้เป็นดัชนีที่ดีในการชี้วัดความแข็งแรงของต้นกล้าในการสัมผัสกับสารพิษ (Chouychai et al., 2007) เอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นสูงเป็นพิษต่อน้ำหนักของรากแต่ไม่เป็นพิษต่อน้ำหนักของยอดเช่นเดียวกับสารในกลุ่มพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ แอนทราซีน เบนโซ[เอ]ไพรีน และฟลูออแรนทีนซึ่งเป็นพิษต่อน้ำหนักสดของ *Brassica napus* L. เพียงเล็กน้อยแต่เป็นพิษที่รุนแรงต่อน้ำหนักสดของรากมากกว่า (Ren et al., 1996)

นอกจากนี้มียางานว่าสารกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนชนิดอื่นๆ ส่งผลต่อคลอโรฟิลล์เอของสาหร่ายสีเขียว *Scenedesmus quadricauda* Berb 614 โดยที่ความเข้มข้นระดับต่ำ 0.02 หรือ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรของ 2,4-D จะกระตุ้นการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอจึงเพิ่มขึ้น แต่ 2,4-D จะเป็นพิษต่อคลอโรฟิลล์เอที่ระดับความเข้มข้นสูงคือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร สอดคล้องกับผลการศึกษานี้โดยที่ระดับความเข้มข้นต่ำปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของผักกวาดึงจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นสูงของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตส่งผลให้คลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของผักกวาดึงลดลง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์เอเช่นกัน (Wong, 2000) อย่างไรก็ตามเอนโดซัลแฟนซัลเฟตจัดว่ามีความเป็นพิษต่อน้ำหนักกวาดึงซึ่งเป็นพืชทดสอบในการศึกษานี้ ซึ่งต่างจากแอลฟา-เอนโดซัลแฟนที่แสดงความเป็นพิษต่อผักกวาดึงอย่างชัดเจนที่ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Chouychai, 2012) เนื่องจากเอนโดซัลแฟนซัลเฟตอาจเป็นรูปของสารมลพิษสะสมในพืช โดยรายงานส่วนใหญ่กล่าวว่าตรวจพบเอนโดซัลแฟนในพืชทั่วโลกและมักสะสมอยู่ที่บริเวณเปลือกไม้ (Calvelo Pereira et al., 2006; Weber et al., 2010)

การใช้ฮอร์โมนพืชจากภายนอกในกลุ่มออกซินเพื่อเพิ่มความทนทานของพืชในงานฟื้นฟูสภาพแวดล้อมมียางานออกมาอย่างต่อเนื่อง โดยส่วนใหญ่เป็นการใช้กับสารมลพิษที่เป็นโลหะ เช่น การศึกษาของ Du และคณะพบว่าการใช้ indole-3-acetic acid จะช่วยให้ *Picris divaricata* สะสมตะกั่วได้ดีขึ้น เนื่องจากพืชมีระบบรากและชีวมวลดีขึ้น โดยการใช้กรดอินโดลอะซีติกความเข้มข้น 100 μM ช่วยให้พืชมีอัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 ด้วยและตรวจพบตะกั่วที่ใบพืชร้อยละ 37.3 (Du et al., 2011) ส่วนการศึกษาของ López และคณะพบว่าการใช้สารควบคุมการเจริญของพืชทั้งกรดอินโดลอะซีติกและโคเอดินร่วมกับ EDTA มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายตะกั่ว แมงกานีสและสังกะสีจากดินเข้าสู่ใบของถั่วอัลฟาลามากขึ้น (López et al., 2009) ในบางครั้งการใช้สารควบคุมการเจริญของพืชสามารถส่งผลเสียต่อพืชและการสะสมโลหะหนักโดยพืชได้ เช่น ในการศึกษาของ Vamerali รายงานว่าการใช้กรดอินโดลพิวไทริกไม่ว่าจะเป็นการฉีดพ่นทางใบหรือการผสมกรดอินโดลพิวไทริกกับสับสเตรทโดยตรงกลับลดชีวมวลของแรดิช พันธุ์ *oleiformis* ในส่วนของลำต้นที่อยู่เหนือดิน และยังส่งผลให้แรดิชสะสมโลหะหนัก ได้แก่ As, Zn, Cu, Co และ Pb ที่ปนเปื้อนร่วมกันในไพรไรต์ลดลงได้ (Vamerali et al., 2011)

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์มีน้อยทั้งที่มีรายงานว่าสารอินทรีย์ส่งผลต่อระบบฮอร์โมนภายในพืช เช่น ต้นอ่อนของข้าวที่สัมผัสกับ Hexacyclochlorohexane จะมีระดับของกรดอินโดลอะซีติกลดลง (Sharada et al., 1999) กรดอินโดลพิวไทริกเคยมีรายงานว่าสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวโพดที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนลินเดนได้ (ปัทมาพร และคณะ, 2554) ในการศึกษาครั้งนี้การใช้ฮอร์โมนจากภายนอกในกลุ่มออกซิน ได้แก่ กรดอินโดลพิวไทริกกระตุ้นการเจริญของเมล็ดพันธุ์กวาดึง พบว่าต้นกล้ากวาดึงที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับกรดอิน

โคลบิวไทรกมีการเจริญที่ไม่ต่างกับเมล็ดที่ไม่ได้รับการดอินโคลบิวไทรก แสดงว่าเอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่ส่งผลกระทบระดับออกซินภายในของพืช การกระตุ้นเมล็ดกว้างตั้งด้วยออกซินไม่สามารถเพิ่มความทนทานให้ต้นกล้ากว้างตั้งต่อความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Chouychai ที่รายงานว่ากรดอินโคลบิวไทรกมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความยาวยอดและรากของผักกวางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนลินเดน และช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนแอลฟา-เอนโดซัลแฟนได (Chouychai, 2012) ความแตกต่างของการออกฤทธิ์ของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตกับเอนโดซัลแฟนไฮโซเมอร์อื่นๆ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของเอนโดซัลแฟนหลังจากเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชจึงนับเป็นสิ่งที่ควรศึกษาต่อไป จากผลการศึกษาในตอนต้นที่ 1 จะเห็นว่ากรดอินโคลบิวไทรกไม่สามารถเพิ่มความทนทานของต้นกล้ากว้างตั้งต่อความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ ดังนั้นการศึกษาในตอนต้นที่ 2 ซึ่งยังคงศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อต้นกล้ากว้างตั้งจึงได้เลือกทดสอบกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มไซโตไคนินร่วมด้วย โดยเลือกใช้ไทเดียซุรอนเป็นตัวแทนของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มไซโตไคนิน และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มออกซินเลือกใช้กรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกแทนกรดอินโคลบิวไทรก โดยผลการศึกษาในตอนต้นที่ 2 เป็นดังนี้

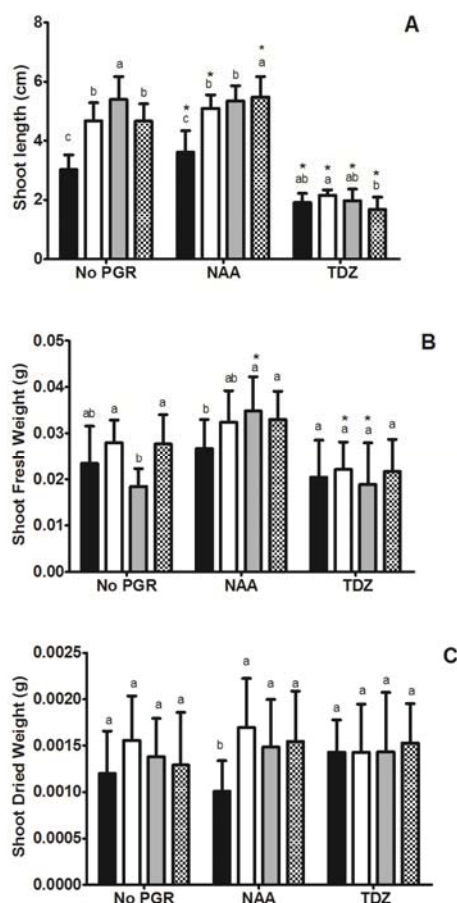
ตอนที่ 2 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกและไทเดียซุรอนต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของผักกวางตุ้งที่ปลูกในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

2.1 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกและไทเดียซุรอนต่อความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอดผักกวางตุ้ง

ต้นกล้ากว้างตั้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีความยาวยอดสูงกว่าต้นกล้ากว้างตั้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกมีแนวโน้มทำให้ความยาวยอดของต้นกล้ากว้างตั้งที่เจริญในทรายทั้งปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตสูงกว่าความยาวยอดของต้นกล้ากว้างตั้งที่ไม่ได้รับการดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยความยาวยอดของต้นกล้ากว้างตั้งที่ได้รับการดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกมีค่าเท่ากับ 3.61 ± 0.73 , 5.10 ± 0.46 , 5.35 ± 0.51 และ 5.48 ± 0.70 เซนติเมตร เมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ในขณะที่การได้รับไทเดียซุรอนกลับส่งผลให้ความยาวยอดของต้นกล้ากว้างตั้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตต่ำกว่าความยาวยอดของต้นกล้ากว้างตั้งที่ได้รับการดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยความยาวยอดของต้นกล้ากว้างตั้งที่ได้รับไทเดียซุรอนเมื่อเจริญในดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้น 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่าเพียง 2.14 ± 0.19 , 1.97 ± 0.39 และ 1.68 ± 0.41 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4A) ส่วนภาพที่ 5 แสดงลักษณะของต้นกล้ากว้างตั้งที่ได้รับไทเดียซุรอนและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลย

น้ำหนักสดของยอดต้นกล้ากว้างตั้งที่เจริญในดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตทั้งที่ได้รับและไม่ได้รับการดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเป็น 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจะส่งผลให้ความยาวยอดของต้นกล้ากว้างตั้งที่ได้รับการดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกสูงกว่าต้นกล้ากว้างตั้งที่ไม่ได้รับการดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($P < 0.05$) ส่วนไทเดียซุรอนมีแนวโน้มส่งผลให้น้ำหนักสดของยอดต้นกล้ากว้างดิ่งต่ำกว่าต้นกล้ากว้างดิ่งที่ไม่ได้รับไทเดียซุรอนและต้นกล้ากว้างดิ่งที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิก (ภาพที่ 4B) ในขณะที่น้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้ากว้างดิ่งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่ต่างจากน้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้ากว้างดิ่งที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซุรอนไม่ทำให้น้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้ากว้างดิ่งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ทุกระดับความเข้มข้นต่างจากน้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้ากว้างดิ่งที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชสังเคราะห์ทั้งสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยการได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกส่งผลให้น้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้ากว้างดิ่งที่เจริญในดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสูงกว่าต้นกล้ากว้างดิ่งที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 4C)



ภาพที่ 4 ความยาวยอด (A) น้ำหนักสดยอด (B) และน้ำหนักแห้งยอด (C) ของต้นกล้าผักกวางดิ่งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (□) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▨) ส่วนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน แต่ถูกกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญของพืชชนิดเดียวกัน ส่วน * หมายถึงมีความแตกต่างจากต้นกล้ากว้างดิ่งที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญของพืชที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

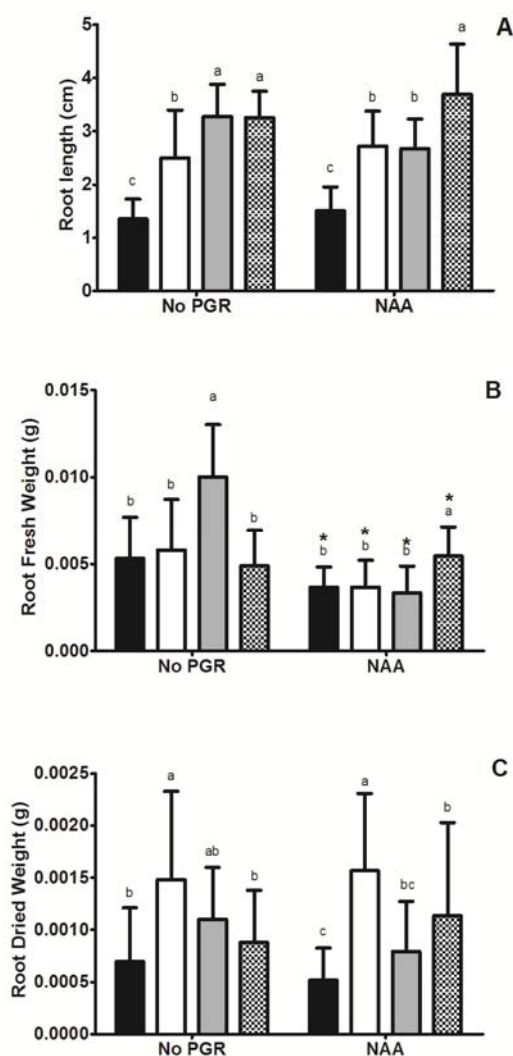


ภาพที่ 5 ลักษณะของต้นกล้าผักกวางตุ้ง อายุ 10 วันที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตและแซ่สารควบคุมการเจริญเติบโตต่างชนิดกันก่อนเพาะ ได้แก่ น้ำกลั่น (A) และ TDZ (B)

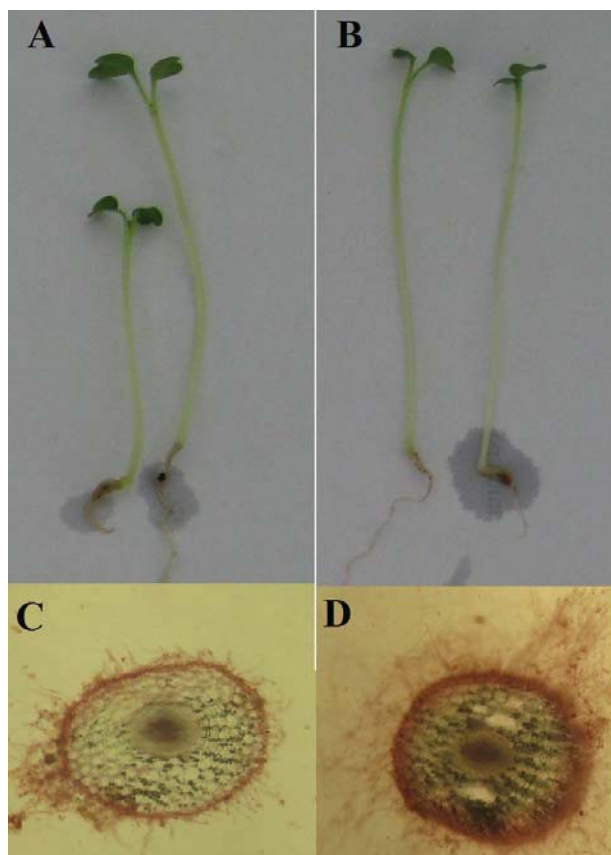
2.2 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาลีนอะซิติกและไทเดียซุรอนต่อความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากผักกวางตุ้ง

ต้นกล้ากวางตุ้งที่ได้รับและไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาลีนอะซิติกเมื่อเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจะมีความยาวรากมากกว่าต้นกล้ากวางตุ้งที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพ 6A) แม้ว่าความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของเอนโดซัลแฟนซิลเฟตจะกระตุ้นให้ต้นกล้ากวางตุ้งที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาลีนอะซิติกมีน้ำหนักสดของรากสูงขึ้นก็ตาม แต่การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาลีนอะซิติกกลับส่งผลให้น้ำหนักสดของรากต้นกล้ากวางตุ้งที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตมีน้ำหนักสดของรากลดลงและต่ำกว่าน้ำหนักสดของรากต้นกล้ากวางตุ้งที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาลีนอะซิติก ($P < 0.05$) (ภาพ 6B)

แต่ถ้าพิจารณาจากภาพตัดขวางของรากแก้วของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่ได้รับและไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาลีนอะซิติกแล้วจะเห็นความแตกต่างได้บ้างที่ระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซิลเฟตเป็น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะเห็นว่าการเกิดขนรากที่ชั้นอีพิเดอร์มิสของรากแก้วของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่ไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาลีนอะซิติกก่อนเพาะจะน้อยกว่าต้นกล้าที่ได้รับการกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาลีนอะซิติกก่อนเพาะอย่างชัดเจน (ภาพที่ 7) นอกจากนี้ความเข้มข้นระดับ 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของเอนโดซัลแฟนซิลเฟตกระตุ้นให้น้ำหนักแห้งของรากต้นกล้ากวางตุ้งเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะได้รับการกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาลีนอะซิติกหรือไม่ก็ตาม ส่วนไทเดียซุรอนกลับส่งผลเสียต่อรากของต้นกล้ากวางตุ้งโดยทำให้ต้นกล้ากวางตุ้งไม่มีพัฒนาการของราก (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 6 ความยาวราก (A) น้ำหนักสดราก (B) และน้ำหนักแห้งราก (C) ของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (□) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▒) และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▣) ส่วนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน แต่ถูกกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญของพืชชนิดเดียวกัน ส่วน * หมายถึงมีความแตกต่างจากต้นกล้ากวางตุ้งที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญของพืชที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



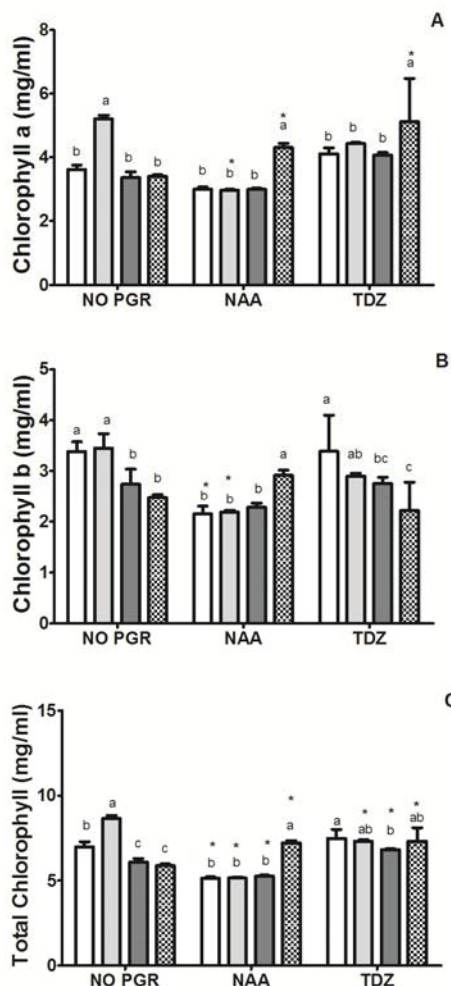
ภาพที่ 7 ลักษณะของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (A) และต้นกล้าที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกก่อนเพาะในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (B) ภาพตัดขวางของรากแก้วผักกวางตุ้ง เนื้อเยื่อสด ย้อมด้วยสีซาฟรานิน ของต้นกล้าที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (C) และของต้นกล้าที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกก่อนเพาะในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (D)



ภาพที่ 8 ลักษณะของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่ถูกกระตุ้นด้วยไทเดียมซอร์บอน 10 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อนเพาะในทรายที่มีและไม่มีเอนโดซัลแฟนซัลเฟต ซึ่งแสดงอาการเดียวกัน คือไม่มีรากเมื่ออายุครบ 10 วัน

2.3 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิติกและไทเดียซุรอนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของผักกวางตุ้ง

ต้นกล้ากวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบสูงกว่าต้นกล้ากวางตุ้งที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนและดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 9 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (A) คลอโรฟิลล์บี (B) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (C) ของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (□) 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▤) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▨) ส่วนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน แต่ถูกกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญของพืชชนิดเดียวกัน ส่วน * หมายถึงมีความแตกต่างจากต้นกล้ากวางตุ้งที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญของพืชที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

นอกจากนี้การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิติกและไทเดียซุรอนไม่ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของต้นกล้ากวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่างจากต้นกล้ากวางตุ้งที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ในขณะที่ต้นกล้าวางดั่งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซุรอนจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบสูงกว่าต้นกล้าวางดั่งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในขณะที่การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซุรอนไม่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของต้นกล้าวางดั่งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของต้นกล้าวางดั่งที่เจริญในทรายปนเปื้อน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไม่ต่างจากต้นกล้าวางดั่งที่เจริญในดินปนเปื้อนแต่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซุรอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 9)

โดยปกติยอดพืชที่ถูกชักนำด้วยไทเดียซุรอนจะมีลักษณะป้อมสั้น ไม่ยืดตัว (Malabadi et al., 2004) ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าไทเดียซุรอนทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าวางดั่งลดลงที่ทุกระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟต แม้ว่าเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเพียงอย่างเดียวจะทำให้ความยาวยอดเพิ่มขึ้นก็ตาม แม้ว่าไทเดียซุรอนจะมีรายงานมาก่อนว่าสามารถเพิ่มน้ำหนักสดของพืชได้ เช่น การฉีดพ่นไทเดียซุรอน 10 ppm ช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของผลกีวได้ (Famiani et al., 2007) แต่ต้นกล้าวางดั่งที่ได้รับไทเดียซุรอนเมื่อนำมาเพาะในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต จะไม่ทำให้น้ำหนักสดต่างจากต้นกล้าวางดั่งที่ไม่ได้สัมผัสกับเอนโดซัลแฟนซัลเฟต ทำให้เป็นไปได้ว่าจะมีปฏิสัมพันธ์ของการออกฤทธิ์ระหว่างเอนโดซัลแฟนซัลเฟตกับไทเดียซุรอนได้ ซึ่งการออกฤทธิ์เสริมกันของสารชีวโมเลกุลในการตอบสนองต่อความเครียดของพืชเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ทั่วไป (Ryabushkina, 2005)

สำหรับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีบทบาทมากในการชักนำการออกรากของกิ่งปักชำ (ฐณวัฒน์ และคณะ, 2552; ชีระยุทธและคณะ, 2550) ทั้งนี้เพราะสารควบคุมการเจริญในกลุ่มออกซินมีบทบาทในการกระตุ้นการเจริญของพืชโดยกระตุ้นการเจริญของราก เพิ่มพื้นที่ผิวของรากโดยเพิ่มพื้นที่ผิวของรากพืชโดยการกระตุ้นการแบ่งเซลล์และการยืดขยายของเซลล์ (Fässler et al., 2010) แต่ในการศึกษานี้พบว่ากรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกไม่มีบทบาทในการกระตุ้นการเจริญของรากต้นกล้าวางดั่งในทรายที่ปนเปื้อนมากนัก ซึ่งอาจเป็นเพราะเอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของยอดและรากของต้นกล้าวางดั่ง การที่ต้นกล้าวางดั่งถูกกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกแล้วนำมาเพาะในทรายที่มีเอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่ทำให้ความยาวรากและน้ำหนักแห้งของรากต้นกล้าวางดั่งต่างจากการไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิก แต่จะทำให้ให้น้ำหนักสดของรากลดลง

การที่พืชสัมผัสกับสารมลพิษ แม้จะยังไม่แสดงอาการเป็นพิษ แต่สารมลพิษเหล่านั้นสามารถสร้างความกดดันต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชเกิดความเครียดได้ สารควบคุมการเจริญของพืชในกลุ่มออกซินมีบทบาทสำคัญในการลดความเครียดแก่พืชในสภาวะนี้ ตัวอย่างเช่น กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกช่วยลดอาการเครียดของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* จากความเป็นพิษของแคดเมียม ตะกั่ว และทองแดงได้ (Piotrowska-Niczyporuk et al., 2012) กรด 3-อินโดลอะซิดิกร่วมกับ Benzyladenine ช่วยกระตุ้นการเจริญของแคลลัสถั่วลิสงเตาพันธุ์ Garde ในสภาวะที่ได้รับฟลูออแรนทีน ความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Váňová et al., 2011)

ทั้งกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซุรอนส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่มากนัก ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตซึ่งกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซุรอนส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของต้นกล้าวางดั่งสูงขึ้นซึ่งอาจถือเป็นกลไกที่สารควบคุม

การเจริญช่วยฟื้นฟูสภาพการเจริญของพืชให้เป็นปกติ ดังที่มีรายงานว่า 4PU-30 ซึ่งเป็นไซโตไคนินชนิดพินิลยูเรียเช่นเดียวกับไทเดียวรอนช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ในข้าวโพดที่ได้รับพิษจากไกลโฟเสตได้ (Sergiev et al., 2006) ซึ่งคลอโรฟิลล์เอเป็นคลอโรฟิลล์ชนิดที่มีความไวต่อสารมลพิษที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบและสารกำจัดวัชพืชเช่นไกลโฟเซต ซึ่งสารเหล่านี้ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลง (Wong, 2000) การศึกษานี้อาจเลือกใช้ระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญของพืชที่ไม่เหมาะสมต่อการกระตุ้นการเจริญของพืช ควรศึกษาระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญให้เหมาะสมต่อการสนับสนุนการเจริญของพืชและศึกษากลไกเชิงลึกของสารควบคุมการเจริญเติบโตทั้งสองต่อต้านกลักวางตั้งต่อไป จากการทดลองในตอนต้นที่ 1 และ 2 ซึ่งได้ศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญของพืชสามชนิด ได้แก่ กรดอินโดลบิวไทริก กรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกและไทเดียวรอนต่อการเจริญของต้นกลักวางตั้งแล้ว จากนั้นการศึกษาในตอนต่อไปได้เลือกสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเพียงสองชนิด ได้แก่ กรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกและไทเดียวรอนซึ่งเป็นตัวแทนของสารควบคุมการเจริญของพืชที่อยู่ในกลุ่มออกซินและไซโทไคนินตามลำดับ มาทดสอบกับพืช 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวา เพื่อเปรียบเทียบชนิดของพืชที่จะเลือกใช้ในการศึกษาการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนด้วยเอนโดซัลแฟนซัลเฟต โดยมีสมมุติฐานของการวิจัยว่าหากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทั้งสองชนิดไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาเช่นเดียวกับที่ไม่สามารถกระตุ้นการเจริญในระยะต้นกล้าของกลักวางตั้งได้ การกระตุ้นเมล็ดพันธุ์พืชด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจึงมิใช่สิ่งจำเป็นที่จะต้องดำเนินการก่อนการเพาะต้นกล้าและไม่จำเป็นต้องนำมาใช้ร่วมกับการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต โดยผลการศึกษาในตอนต้นที่ 3 เป็นดังนี้

ตอนที่ 3 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกและไทเดียวรอนต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาที่ปลูกในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

3.1 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกต่อความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอด

เอนโดซัลแฟนซัลเฟตระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่ส่งผลเป็นพิษต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของข้าวโพดที่เพาะจากเมล็ดที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลย โดยความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าข้าวโพดที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนและดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 10A, 10B และ 10C) การที่เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกก่อนเพาะไม่ส่งผลต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของข้าวโพดมากนัก เนื่องจากความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าข้าวโพดมีแนวโน้มไม่แตกต่างจากต้นกล้าข้าวโพดที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แม้ว่ากรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกสามารถกระตุ้นให้น้ำหนักสดของยอดต้นกล้าข้าวโพดที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม ($P < 0.05$) (ภาพที่ 10B)

การที่เมล็ดถั่วพุ่มได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกก่อนเพาะส่งผลต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของถั่วพุ่มไม่มากนัก โดยความยาวยอดและน้ำหนักสดของยอดต้นกล้าถั่วพุ่มที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันไม่ต่างไปจากต้นกล้าถั่วพุ่มที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 10D และ 10E) จะเห็นว่ากรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกมีผลต่อความยาวยอดของต้นกล้าถั่วพุ่มที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับ

ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเท่านั้น โดยทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าถั่วพุ่มสั้นลงเหลือเพียง 3.33 ± 1.81 เซนติเมตร ในขณะที่ความยาวยอดของต้นกล้าถั่วพุ่มที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลยมีค่าถึง 9.62 ± 4.45 เซนติเมตร ($P < 0.05$) นอกจากนี้กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกยังมีแนวโน้มกระตุ้นให้น้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าถั่วพุ่มสูงขึ้นเป็น 0.038 ± 0.006 กรัมเมื่อเจริญในดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อกิโลกรัม โดยเป็นค่าที่มากกว่าน้ำหนักแห้งของต้นกล้าถั่วพุ่มที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกซึ่งมีค่าเพียง 0.007 ± 0.004 กรัม (ภาพที่ 10F)

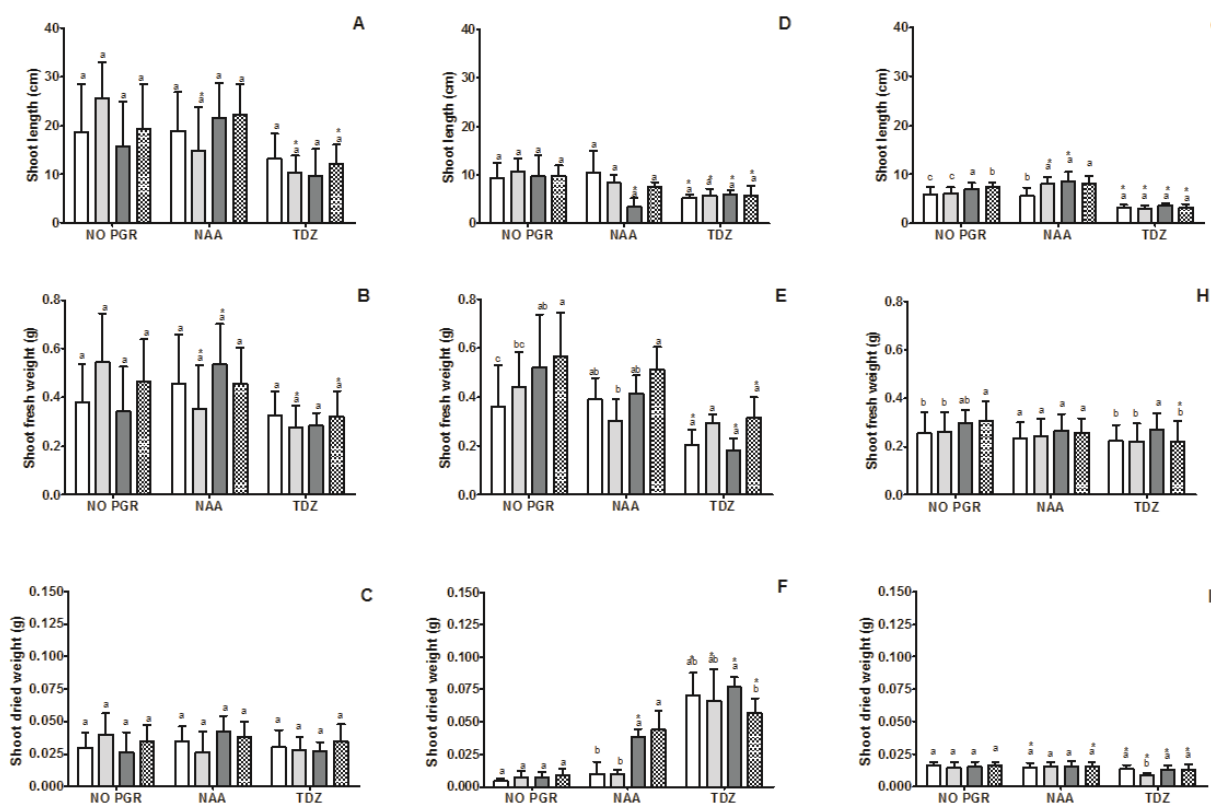
ในขณะที่กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกมีแนวโน้มส่งผลต่อความยาวยอดของต้นกล้าแตงกวามากกว่าน้ำหนักสดของยอด โดยความยาวยอดของต้นกล้าแตงกวาที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 1 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่าเป็น 7.98 ± 1.48 และ 8.55 ± 1.86 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าความยาวยอดของต้นกล้าแตงกวาที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตระดับความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 10G และ 10H) นอกจากนี้กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกมีแนวโน้มกระตุ้นให้น้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าแตงกวาที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าต้นกล้าแตงกวาที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 10I)

3.2 ผลของไทเดียมูรอนต่อความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอด

การที่เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดได้รับไทเดียมูรอนก่อนเพาะส่งผลต่อทั้งความยาวยอดและน้ำหนักสดของยอดต้นกล้าข้าวโพด โดยไทเดียมูรอนมีแนวโน้มทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าข้าวโพดที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้น 1 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ความยาวยอดของต้นกล้าข้าวโพดที่ได้รับไทเดียมูรอนมีค่าเพียง 10.30 ± 3.51 และ 12.15 ± 3.98 เซนติเมตร เมื่อเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้น 1 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักสดของยอดต้นกล้าข้าวโพดที่ได้รับไทเดียมูรอนและเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้น 1 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่าเพียง 0.28 ± 0.009 และ 0.32 ± 0.10 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 10A และ 10B) ในขณะที่น้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าข้าวโพดที่ได้รับไทเดียมูรอนและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 10C)

ไทเดียมูรอนส่งผลต่อต้นกล้าถั่วพุ่มทั้งความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง โดยความยาวยอดของต้นกล้าถั่วพุ่มที่ได้รับไทเดียมูรอนซึ่งเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตทุกระดับความเข้มข้นมีความยาวยอดต่ำกว่าถั่วพุ่มที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยความยาวยอดของต้นกล้าถั่วพุ่มที่ได้รับไทเดียมูรอนมีค่าเพียง 5.33 ± 0.58 , 5.70 ± 1.38 , 5.90 ± 0.87 และ 5.64 ± 2.16 เซนติเมตร เมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนความยาวยอดของต้นกล้าถั่วพุ่มที่ไม่ได้รับไทเดียมูรอนมีค่าถึง 9.29 ± 3.22 , 10.69 ± 2.73 , 9.62 ± 4.45 และ 9.71 ± 2.25 เซนติเมตร เมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 10D) ส่วนน้ำหนักสดของยอดต้นกล้าถั่วพุ่มที่เมล็ดพันธุ์ได้รับไทเดียมูรอนก่อนเพาะมีค่าเพียง 0.20 ± 0.06 , 0.29 ± 0.04 , 0.18 ± 0.05 และ 0.31 ± 0.09 กรัม เมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ต้นกล้าถั่วพุ่มที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นด้วยสารควบคุมการ

เจริญชนิดใดเลยมีน้ำหนักสดของยอดเป็น 0.36 ± 0.17 , 0.44 ± 0.14 , 0.52 ± 0.22 และ 0.56 ± 0.18 กรัม เมื่อเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 10E) นอกจากนี้ไทเดียซุรอนยังส่งผลให้น้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าถั่วพุ่มมีแนวโน้มสูงกว่าต้นกล้าถั่วพุ่มที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยน้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าถั่วพุ่มที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เท่ากับ 0.069 ± 0.017 , 0.066 ± 0.024 , 0.077 ± 0.007 และ 0.057 ± 0.011 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 10F)



ภาพที่ 10 ความยาวยอด น้ำหนักสดของยอด และน้ำหนักแห้งของยอดของต้นกล้าข้าวโพด (A, B, C) ต้นกล้าถั่วพุ่ม (D, E, F) และต้นกล้าแตงกวา (G, H, I) ที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (□) 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▤) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▣) ส่วนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน แต่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชชนิดเดียวกัน ส่วน * หมายถึงมีความแตกต่างจากต้นกล้าที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ในขณะที่ต้นกล้าแตงกวาได้รับอิทธิพลจากการได้รับไทเดียซุรอนเช่นกัน โดยต้นกล้าแตงกวาที่ได้รับไทเดียซุรอนมีความยาวยอดต่ำกว่าต้นกล้าแตงกวาที่ไม่ได้รับไทเดียซุรอนที่ทุกระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 10G) โดยความยาวยอดของต้นกล้าแตงกวาที่ได้รับไทเดียซุรอนมีค่าเพียง 3.19 ± 0.62 , 2.96 ± 0.72 , 3.62 ± 0.52 และ 3.12 ± 0.70 เซนติเมตร

ส่วนความยาวยอดของต้นกล้าแตงกวาที่ไม่ได้รับไทเดียซุรอนมีค่าถึง 5.86 ± 1.49 , 6.08 ± 1.28 , 6.89 ± 1.29 และ 7.28 ± 1.03 เซนติเมตร เมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักสดของยอดต้นกล้าแตงกวามีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากระหว่างต้นกล้าแตงกวาที่ได้รับไทเดียซุรอนและไม่ได้รับไทเดียซุรอนก่อนเพาะ ในขณะที่ไทเดียซุรอนส่งผลต่อน้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าแตงกวามากกว่าน้ำหนักสด (ภาพที่ 10H) โดยน้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าแตงกวาที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 10, 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่าเพียง 0.014 ± 0.003 , 0.009 ± 0.002 , 0.013 ± 0.003 และ 0.013 ± 0.004 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่น้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าแตงกวาที่ไม่ได้รับไทเดียซุรอนมีค่าเป็น 0.016 ± 0.003 , 0.014 ± 0.004 , 0.015 ± 0.004 และ 0.016 ± 0.003 กรัม เมื่อเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 10, 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 10I) สำหรับภาพที่ 11 แสดงลักษณะของต้นกล้าแตงกวาที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและกระตุ้นด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างชนิดกัน



ภาพที่ 11 ลักษณะของต้นกล้าแตงกวาอายุประมาณ 4-5 วันที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างชนิดกันก่อนเพาะ ได้แก่ น้ำกลั่น (A) TDZ (B) และ NAA (C)

3.3 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกต่อความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของราก

เอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่ส่งผลเป็นพิษต่อความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของรากต้นกล้าข้าวโพด ต้นกล้าถั่วพุ่มและต้นกล้าแตงกวาที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลย (ภาพที่ 12) ความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากของต้นกล้าข้าวโพด ต้นกล้าถั่วพุ่มและต้นกล้าแตงกวาที่ปลูกในดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตทุกระดับความเข้มข้นไม่แตกต่างจากที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ยกเว้นต้นกล้าถั่วพุ่มที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความยาวรากสูงกว่าถั่วพุ่มที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยความยาวรากของต้นกล้าถั่วพุ่มที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเท่ากับ 3.23 ± 1.80 เซนติเมตร ในขณะที่ความยาวรากของต้นกล้าถั่วพุ่มที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนมีค่าเพียง 2.40 ± 1.80 เซนติเมตร (ภาพที่ 12E)

การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกไม่ส่งผลสนับสนุนการเจริญของต้นกล้าข้าวโพด ต้นกล้าถั่วพุ่ม และต้นกล้าแตงกวาอย่างชัดเจน นอกจากนี้กรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกยังมีแนวโน้มทำให้ความ

ยวรากของต้นกล้าข้าวโพดที่เจริญในดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเพียง 3.16 ± 1.17 , 3.94 ± 2.26 และ 4.42 ± 2.38 เซนติเมตร ซึ่งต่ำกว่าความยวรากของต้นกล้าข้าวโพดที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 12A) ในขณะที่การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกไม่ส่งผลต่อทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากของต้นกล้าข้าวโพด มีเพียงที่ระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในทรายเป็น 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเท่านั้นที่ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากต้นกล้าข้าวโพดที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกต่ำกว่าต้นกล้าข้าวโพดที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 12B และ 12C)

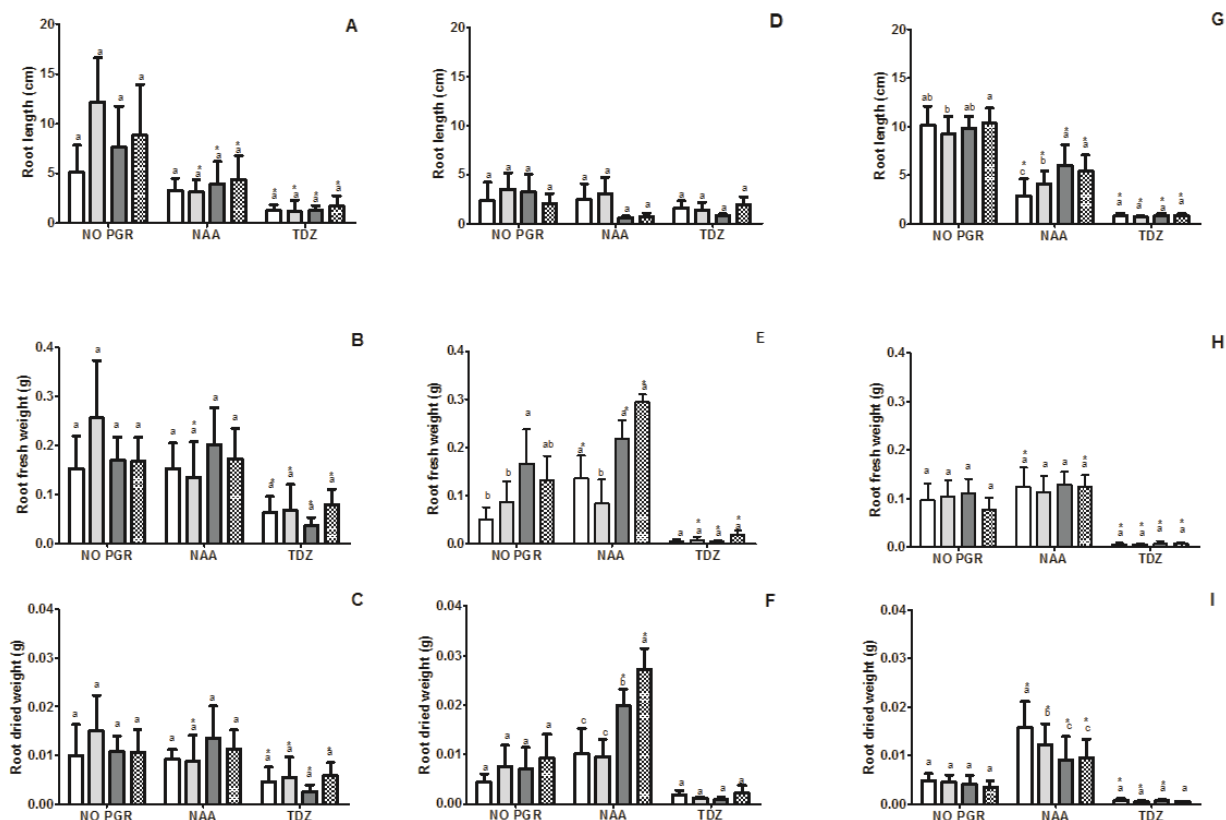
นอกจากนี้กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกยังไม่ส่งผลต่อความยวรากของต้นกล้าถั่วพุ่มที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตทุกระดับความเข้มข้นอีกด้วย โดยความยวรากของต้นกล้าถั่วพุ่มไม่แตกต่างกันในแต่ละระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่ว่าจะได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกหรือไม่ก็ตาม ($P < 0.05$) (ภาพที่ 12D) แต่การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกกลับส่งผลต่อทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากต้นกล้าถั่วพุ่ม โดยช่วยกระตุ้นให้ต้นกล้าถั่วพุ่มมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากสูงขึ้นได้เมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้น 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสดของรากต้นกล้าถั่วพุ่มเมื่อเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเป็น 0.22 ± 0.04 และ 0.30 ± 0.01 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 12E) ส่วนน้ำหนักแห้งของรากต้นกล้าถั่วพุ่มเมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 10 และ 100 เป็น 0.020 ± 0.003 และ 0.027 ± 0.004 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 12F)

ในขณะที่ต้นกล้าเตงกวาได้รับอิทธิพลจากกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกมากที่สุด โดยส่งผลต่อทั้งความยวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าเตงกวา การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกมีแนวโน้มให้ความยวรากของต้นกล้าเตงกวาลดลงเมื่อเทียบกับต้นกล้าเตงกวาที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกที่ทุกระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟต โดยความยวรากของต้นกล้าเตงกวาที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกมีค่าเพียง 2.90 ± 1.71 , 4.12 ± 1.32 , 6.00 ± 2.11 และ 5.41 ± 1.70 เซนติเมตร เมื่อเจริญในเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 12G) ในขณะที่น้ำหนักสดของรากต้นกล้าเตงกวาได้รับอิทธิพลจากกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกน้อยกว่าน้ำหนักแห้งของราก (ภาพที่ 12H) ซึ่งน้ำหนักแห้งของรากต้นกล้าเตงกวาที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกเมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่าสูงกว่าน้ำหนักแห้งของรากต้นกล้าเตงกวาที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 12I)

3.4 ผลของไทเดียมูรอนต่อความยวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของราก

การที่เมล็ดพันธุ์ของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และเตงกวาได้รับไทเดียมูรอนพบว่าส่งผลเสียต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของพืชทั้งสามชนิด โดยทำให้ความยวราก น้ำหนักสดของราก และน้ำแห้งของรากของต้นกล้าข้าวโพดและต้นกล้าเตงกวาลดลงต่ำกว่าต้นกล้าข้าวโพดและต้นกล้าเตงกวาที่ไม่ได้รับไทเดียมูรอนเมื่อเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในแต่ละความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 12) แม้ว่าความยวรากของต้นกล้าถั่วพุ่มที่ได้รับไทเดียมูรอนและไม่ได้รับสารควบคุม

การเจริญชนิดใดเลยมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 12D) โดยไทเดียชูรอนไม่ส่งผลต่อน้ำหนักแห้งของรากต้นกล้าข้าวโพด (ภาพที่ 12E) แต่กลับส่งผลให้น้ำหนักสดของรากต้นกล้าข้าวโพดลดลงต่ำกว่าต้นกล้าข้าวโพดที่ไม่ได้รับไทเดียชูรอนเมื่อเจริญในแต่ละระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยน้ำหนักสดของรากต้นกล้าข้าวโพดที่ได้รับไทเดียชูรอนมีค่าเพียง 0.006 ± 0.003 , 0.009 ± 0.007 , 0.005 ± 0.002 และ 0.018 ± 0.009 กรัม เมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเข้มข้น 0, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 12F)

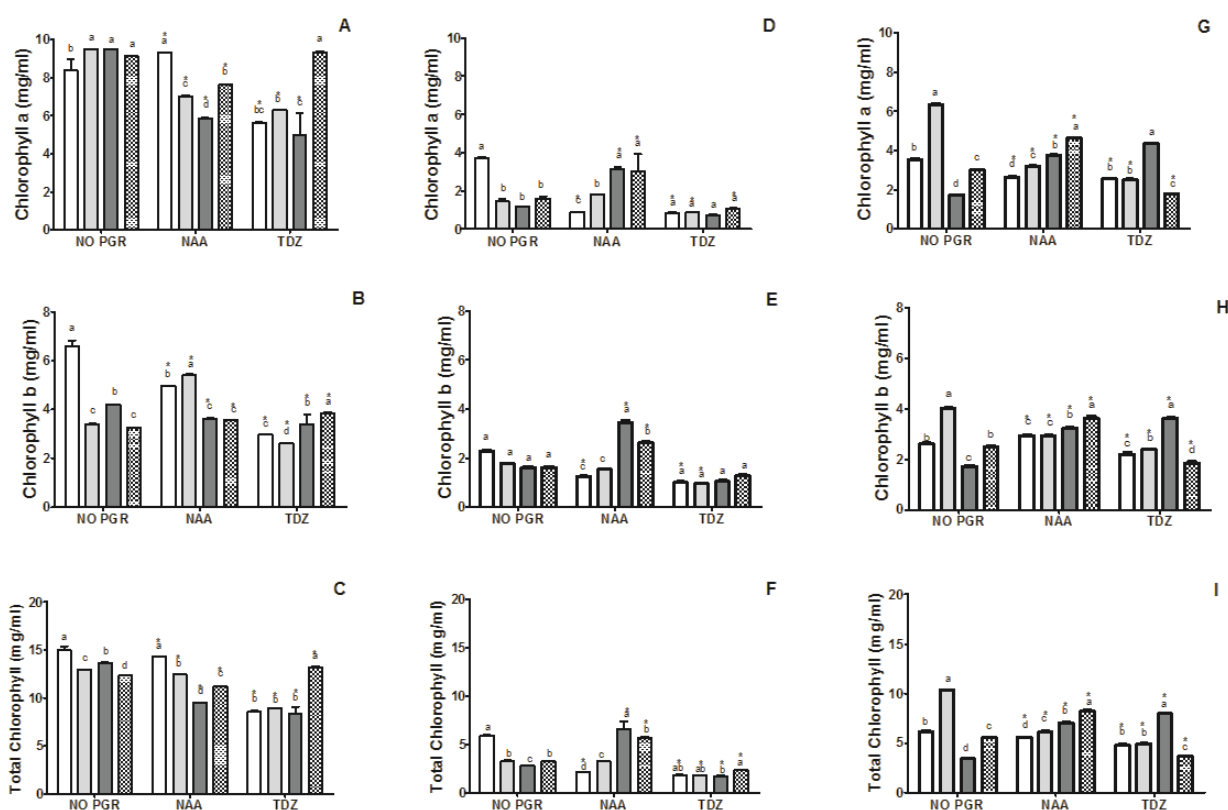


ภาพที่ 12 ความยาวราก น้ำหนักสดของราก และน้ำหนักแห้งของรากของต้นกล้าข้าวโพด (A, B, C) ต้นกล้าข้าวโพด (D, E, F) และต้นกล้าแตงกวา (G, H, I) ที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (□) 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) ส่วนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน แต่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชชนิดเดียวกัน ส่วน * หมายถึงมีความแตกต่างจากต้นกล้าที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

3.5 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกและไทเดียชูรอนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ

ต้นกล้าข้าวโพดหวานที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นจากสารควบคุมการเจริญของพืชชนิดใดเลยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอนในใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับ 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.05$) แต่ปริมาณคลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้าข้าวโพดกลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

เดียวกันนี้ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 13A, 13B และ 13C) การได้รับไทเดียซอรอนของเมล็ดข้าวโพดหวานก่อนเพาะมีแนวโน้มทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้าข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้น 0, 1 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ที่ระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเป็น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมกลับทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของต้นกล้าข้าวโพดหวานคงระดับเดิมไว้ได้ และทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้าข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 13A, 13B และ 13C)



ภาพที่ 13 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้าข้าวโพด (A, B, C) ต้นกล้าถั่วพุ่ม (D, E, F) และต้นกล้าแตงกวา (G, H, I) ที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (□) 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▒) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▨) ส่วนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน แต่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชชนิดเดียวกัน ส่วน * หมายถึงมีความแตกต่างจากต้นกล้าที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ในขณะที่กรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกส่งผลไม่แน่นอนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของต้นกล้าข้าวโพดหวาน แต่มีแนวโน้มว่าการปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆ คือ 0 และ 1

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจะทำให้คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้าข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่เมื่อความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในทรายสูงขึ้นเป็น 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กลับส่งผลให้คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นกล้าข้าวโพดหวานที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 13A, 13B และ 13C)

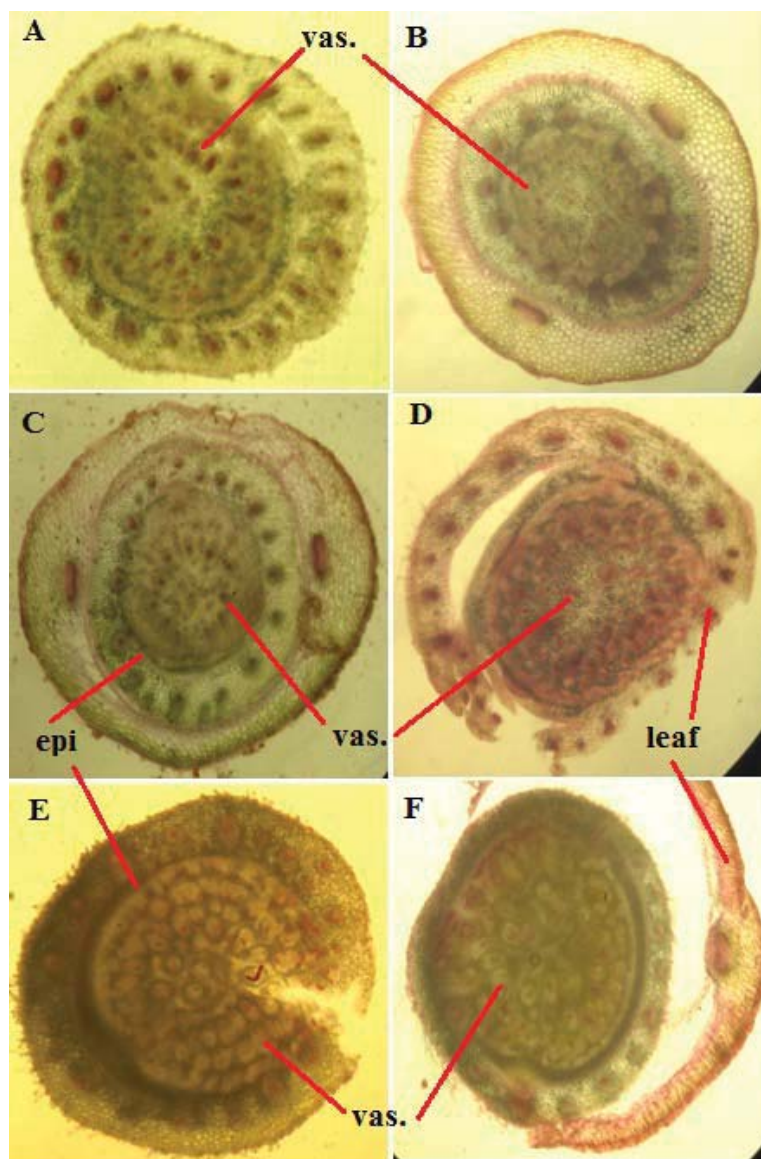
การกระตุ้นเมล็ดถั่วพุ่มก่อนเพาะด้วยกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของต้นกล้าถั่วพุ่มที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเข้มข้น 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณสูงกว่าต้นกล้าถั่วพุ่มที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 13D, 13E และ 13F) ในขณะที่เมล็ดถั่วพุ่มที่ถูกกระตุ้นด้วยไทเดียซุรอนมีแนวโน้มส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นกล้าถั่วพุ่ม ทั้งคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลง โดยเฉพาะปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของต้นกล้าถั่วพุ่มที่ถูกกระตุ้นด้วยไทเดียซุรอนต่ำกว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของต้นกล้าถั่วพุ่มที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยไทเดียซุรอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 13D, 13E และ 13F)

การกระตุ้นเมล็ดพันธุ์แดงกว่าด้วยกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของต้นกล้าแดงกว่าที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสูงกว่าต้นกล้าแดงกว่าที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนไทเดียซุรอนมีแนวโน้มส่งผลให้ทั้งคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของต้นกล้าแดงกว่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($P < 0.05$) ยกเว้นต้นกล้าแดงกว่าที่ถูกกระตุ้นด้วยไทเดียซุรอนและเจริญในทรายที่ปนเปื้อน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีแนวโน้มที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งสามชนิดสูงกว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นกล้าแดงกว่าที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นด้วยไทเดียซุรอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่เมื่อความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในทรายเพิ่มขึ้นเป็น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กลับทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งสามชนิดของต้นกล้าแดงกว่าที่ถูกกระตุ้นจากไทเดียซุรอนต่ำกว่าต้นกล้าแดงกว่าที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นด้วยไทเดียซุรอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 13G, 13H และ 13I)

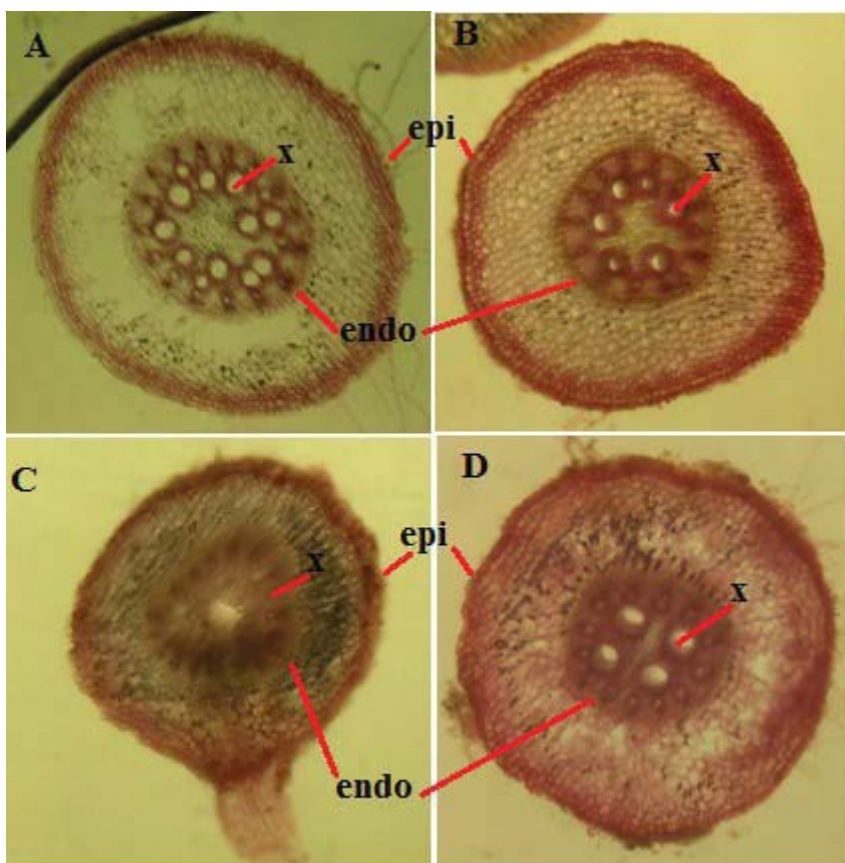
3.6 ผลของเอนโดซัลแฟนซัลเฟต กรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกและไทเดียซุรอนต่อการเปลี่ยนแปลงระดับเนื้อเยื่อของต้นกล้าข้าวโพดหวาน ต้นกล้าถั่วพุ่ม และต้นกล้าแดงกว่า

เอนโดซัลแฟนซัลเฟตส่งผลให้จำนวนของ vascular bundle ในส่วนยอดของต้นกล้าข้าวโพดลดจำนวนลง การกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานด้วยไทเดียซุรอนช่วยเพิ่มจำนวนของ vascular bundle ที่ยอดของต้นกล้าข้าวโพดหวานทั้งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ (ภาพที่ 14) นอกจากนี้เอนโดซัลแฟนซัลเฟตยังส่งผลลดปริมาณไซเลมที่รากของต้นกล้าข้าวโพดหวาน ส่วนเมล็ดพันธุ์ที่ได้รับการกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกจะส่งผลให้ปริมาณไซเลมที่รากของต้นกล้าข้าวโพดหวานทั้งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเพิ่มขึ้นได้ (ภาพที่ 15) ในขณะที่เอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับเนื้อเยื่อของต้นกล้าถั่วพุ่มและต้นกล้าแดงกว่าอย่างชัดเจน นอกจากนี้การกระตุ้นเมล็ดด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตทั้งสองชนิดไม่ว่าจะเป็นกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกหรือไทเดียซุรอนต่างก็ไม่ส่งผลให้เนื้อเยื่อของต้นกล้าถั่วพุ่มและต้นกล้า

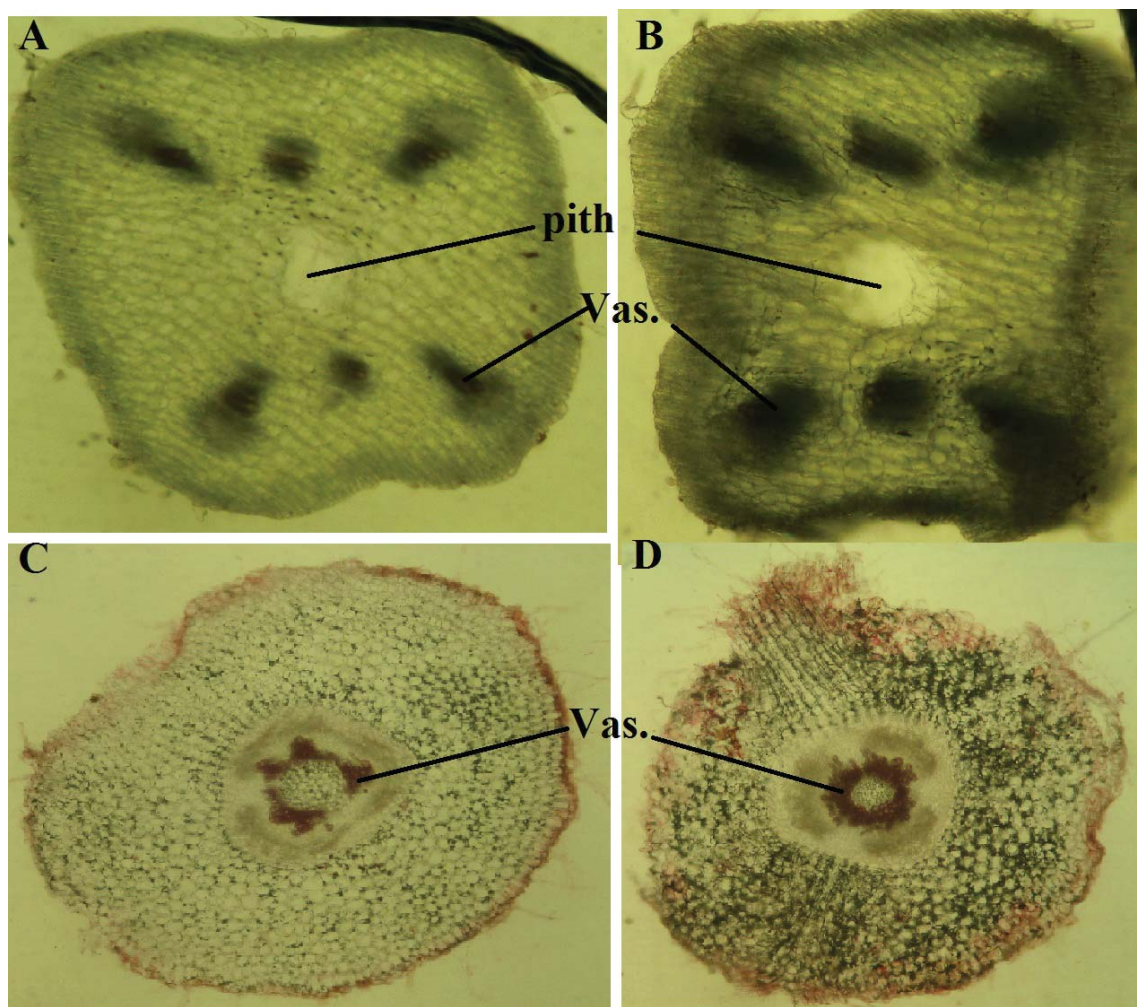
แสดงว่าที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตต่างจากต้นกล้าของพืชที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชชนิดใดเลย (ภาพที่ 16 และ 17)



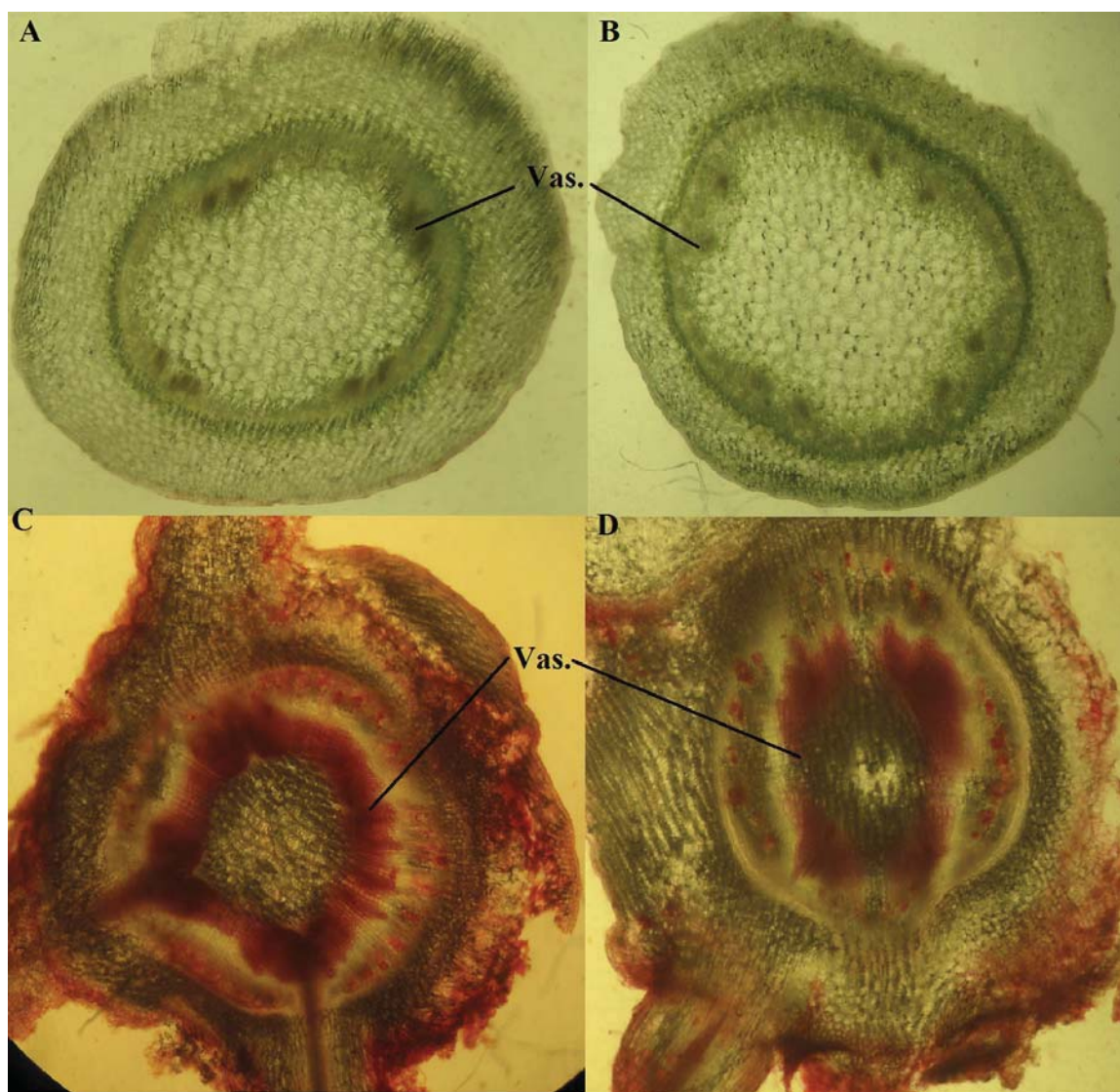
ภาพที่ 14 เนื้อเยื่อที่ยอดตัดตามขวางของต้นกล้าข้าวโพดหวานซึ่งเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต และได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่างชนิดกัน ดังนี้ ต้นกล้าข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชชนิดใดเลย (A) ข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดใดเลย (B) ต้นกล้าข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและได้รับกรดแอลฟาแนฟทาลินอะซิดิก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (C) ต้นกล้าข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและได้รับกรดแอลฟาแนฟทาลินอะซิดิก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (D) ต้นกล้าข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและได้รับไทเดียซูรอน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (E) ต้นกล้าข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและได้รับไทเดียซูรอน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร คำย่อ vas. คือ vascular bundle และ leaf คือ กาบใบ



ภาพที่ 15 เนื้อเยื่อที่รากตัดตามขวางของต้นกล้าข้าวโพดหวานซึ่งเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต และได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่างชนิดกัน ดังนี้ ต้นกล้าข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชชนิดใดเลย (A) ต้นกล้าข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดใดเลย (B) ต้นกล้าข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (C) ต้นกล้าข้าวโพดหวานที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (D) คำย่อ X คือ ไซเลม endo คือ เอนโดเดอร์มิส



ภาพที่ 16 ตัวอย่างเนื้อเยื่อตัดตามขวางของแตงกวาซึ่งเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต และได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่างชนิดกัน ดังนี้ ยอดของต้นกล้าแตงกวาที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชชนิดใดเลย (A) ยอดของต้นกล้าแตงกวาที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดใดเลย (B) รากของต้นกล้าแตงกวาที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (C) รากของต้นกล้าแตงกวาที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (D) คำย่อ Vas. คือ vascular bundle



ภาพที่ 17 ตัวอย่างเนื้อเยื่อตัดตามขวางของลำพุ่มซึ่งเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต และได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่างชนิดกัน ดังนี้ ยอดของต้นกล้าลำพุ่มที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและได้รับไทเดียซุรอน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (A) ยอดของต้นกล้าแดงกวาที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและได้รับไทเดียซุรอน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (B) รากของต้นกล้าแดงกวาที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (C) รากของต้นกล้าแดงกวาที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (D) คำย่อ Vas. คือ vascular bundle

ในการศึกษานี้พบว่าระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซิลเฟตที่ใช้ตั้งแต่ 1-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เป็นอันตรายต่อต้นกล้าข้าวโพดหวาน ต้นกล้าลำพุ่ม และต้นกล้าแดงกวามากนัก ต้นกล้าของพืชทั้งสามสามารถเจริญได้อย่างปกติ ดังนั้นการใช้สารควบคุมการเจริญของพืชทั้งกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกและไทเดียซุรอนไม่ส่งผลลดความเป็นพิษหรือสนับสนุนการเจริญของต้นกล้าพืชทดสอบทั้งสาม

ชนิดแต่อย่างใด ในขณะที่มีรายงานว่าข้าวโพดมีความทนทานต่อแอลฟา-เอนโดซัลแฟนเช่นกัน ถึงแม้ว่าสารผสมระหว่างแอลฟา-เอนโดซัลแฟนและลินเดนที่ระดับความเข้มข้น 0.2-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะส่งผลให้ความยาวรากของข้าวโพดลดลงได้ แต่กลับไม่ส่งผลต่อน้ำหนักแห้งของยอดและราก (Chouychai and Lee, 2012) หรือการนำเมล็ดข้าวโพดที่งอกแล้วมาเพาะในดินที่ปนเปื้อนลินเดนจะไม่ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดลดลง (Benimeli et al., 2008) แต่พบรายงานว่าเอนโดซัลแฟนที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.6 ทำให้ร้อยละการงอกของข้าวโพดลดลง โดยระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความยาวยอด ความยาวราก ชีวมวล และปริมาณคลอโรฟิลล์เอของพืชลดลง เมื่อความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเป็น 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บิลดลงเหลือเพียง 0.97 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่เอนโดซัลแฟนซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 0.4 และ 0.6 กลับส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บิลเพิ่มขึ้นเป็น 1.11 และ 1.13 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้เอนโดซัลแฟนยังกระตุ้นให้ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ลดความเป็นพิษของออกซิเจนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เช่น เปอร์ออกซิเดส พอลิฟีนอลออกซิเดส และซูเปอร์ออกไซด์ออกซิเดส เป็นต้น (Vidyasager et al., 2009) ซึ่งความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟน หรือเอนโดซัลแฟนซัลเฟตต่อพืชอาจขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบ รวมทั้งชนิดของพืชซึ่งมีสรีระวิทยาและการตอบสนองต่อความเป็นพิษของสารมลพิษที่แตกต่างกัน

ตามปกติการเจริญของพืชภายใต้สภาวะที่มีการปนเปื้อนของสารมลพิษมักส่งผลให้พืชเกิดความเครียด (Menone et al., 2008 และ Lukatkin et al., 2007) เอนโดซัลแฟนซัลเฟตซึ่งเป็นสารตัวกลางที่ได้จากการย่อยสลายเอนโดซัลแฟน (Weber et al., 2010) มีความเป็นพิษใกล้เคียงกับสารตั้งต้น โดยความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนสามารถชักนำให้พืชเกิดภาวะเครียดจากออกซิเจน และยังส่งผลรบกวนกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และกระบวนการหายใจของพืชด้วย (Menone et al., 2008) การตอบสนองของพืชต่อภาวะเครียดทางสิ่งแวดล้อม พืชมักมีการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนภายในพืช (Kumervora et al., 2010) เช่น การมีฟลูออแรนทีนในอาหารจะกระตุ้นให้ปริมาณของกรดแอบไซซิกภายในเซลล์ของถั่วลิสงที่เจริญในสภาพปลอดเชื้อเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณฟลูออแรนทีนเพิ่มขึ้นก็จะยิ่งทำให้ระดับของกรดแอบไซซิกภายในเซลล์พืชสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งกรดแอบไซซิกนี้เป็นฮอร์โมนที่สำคัญในการตอบสนองต่อความเครียดของพืช ซึ่งจะช่วยให้พืชเข้าสู่สภาวะพักตัวและลดการเจริญเติบโต ระดับของกรดแอบไซซิกที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการดูดซึม การขนส่ง และเมแทบอลิซึมของไอออน นอกจากนี้กรดแอบไซซิกยังชักนำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์อีกด้วย (Váňová et al., 2009) เช่นเดียวกันฟลูออแรนทีนที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 1 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตรยังชักนำให้ปริมาณเอทีลินภายในเซลล์ของถั่วลิสงเพิ่มขึ้น เมื่อพืชได้รับฟลูออแรนทีนในสภาพปลอดเชื้อ โดยเอทีลินเป็นสารควบคุมการเจริญที่สร้างขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความเครียดของพืชเช่นกัน (Váňová et al., 2011) การให้พืชที่เจริญในสภาวะที่มีการปนเปื้อนของสารมลพิษได้รับสารควบคุมการเจริญจากภายนอกจึงอาจเป็นทางเลือกที่ช่วยรักษาสมดุลของระดับสารควบคุมการเจริญภายในเซลล์พืช และทำให้พืชยังคงเจริญได้ตามปกติ

มีรายงานเกี่ยวกับการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อช่วยลดความเป็นพิษของสารมลพิษต่อพืชได้ ทั้งเพื่อลดความเป็นพิษของโลหะ และออร์กาโนคลอรีนต่อพืช เช่น การใช้กรดอินโดลพิวไทริก 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วยเพิ่มความยาวยอดและความยาวรากของผักกวางตุ้ง ที่เจริญในดินปนเปื้อนลินเดน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมได้ร้อยละ 14 และ 26 ตามลำดับ (Chouychai, 2012) หรือการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยไทเดียมซุรอนและโคเคนดินช่วยลดความเป็นพิษของนิกเกิล (Ni^{2+}) และสังกะสี (Zn^{2+})

ต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของข้าวโพดได้ (Lukatkin et al., 2007) นอกจากนั้น การใช้บราสซิโนสเตอรอยด์ช่วยหลีกเลี่ยงความเป็นพิษของฟิแทนทรินและไพรีนต่อต้นกล้ามะเขือเทศที่ปลูกในระบบไร้ดินได้ ความเครียดจากพืชที่ได้รับสารในกลุ่มพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจะกระตุ้นให้ระดับกรดแอบไซซิกภายในเซลล์พืชสูงขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ การได้รับบราสซิโนสเตอรอยด์ทางใบ 50 นาโนโมลาร์ และทางราก 5 นาโนโมลาร์จะช่วยเพิ่มกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงของมะเขือเทศ และช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ที่ช่วยลดความเป็นพิษจากออกซิเจนที่เป็นพิษในมะเขือเทศได้ เช่น guaiacol peroxidase, catalase, ascorbate peroxidase และ glutathione reductase เป็นต้น (Ahammed et al., 2012) นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดอินโดลอะซีติกในการลดพิษของตะกั่วและสังกะสีต่อทานตะวันที่ปลูกในระบบไร้ดินเช่นกัน โดยกรดอินโดลอะซีติกความเข้มข้น 10^{-10} โมลาร์ ช่วยกระตุ้นการเจริญของยอดและรากทานตะวันได้ โดยลดผลเสียของโลหะต่อน้ำหนักแห้งของยอด ราก ความยาวราก ปริมาตรของราก และพื้นที่ผิวของรากได้ (Fässler et al., 2010)

แต่ในการศึกษานี้เอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่ส่งผลเป็นอันตรายต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของพืชอย่างชัดเจน การให้สารควบคุมการเจริญจากภายนอกเพิ่มเข้าไปจึงอาจรบกวนการเจริญตามปกติของพืชได้ แต่การใช้สารควบคุมการเจริญของพืชในการศึกษานี้ไม่ช่วยสนับสนุนการเจริญของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่มและแตงกวาอย่างชัดเจน โดยแตงกวาได้รับอิทธิพลจากกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติกและไทเดียซุรอนมากที่สุด โดยส่งผลต่อทั้งน้ำหนักและความยาวราก ไทเดียซุรอนทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และความยาวรากของแตงกวาลดลง ส่วนกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติกส่งผลให้ความยาวรากแตงกวาลดลงเช่นกัน แต่มีแนวโน้มช่วยให้น้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้น การที่แตงกวามีแนวโน้มไวกว่าพืชชนิดอื่นอาจเนื่องจากแตงกวามักสะสมสารมลพิษได้ โดยมีรายงานว่าพืชในวงศ์แตงสามารถสะสมสารมลพิษที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำได้หลายชนิด เช่น ดีดีที พีซีพี เฮปตาคลอร์ การได้รับสารควบคุมการเจริญจากภายนอกและเอนโดซัลแฟนซัลเฟตพร้อมกันอาจชักนำให้เกิดการเสริมฤทธิ์ทำให้ความเป็นพิษต่อแตงกวาเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น การกระตุ้นด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตจากภายนอกทั้งกลุ่มออกซินและไซโตไคนินสามารถเพิ่มความสามารถในการสะสมสารมลพิษของพืชได้ เช่น การใช้สารไซโตไคนินซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มไซโตไคนินทางการค้าโดยการฉีดพ่นหรือรดลงดินช่วยเพิ่มการสะสมนิกเกิลใน *Alyssum murale* โดยทำให้ชีวมวลเพิ่มขึ้นและเพิ่มอัตราการคายน้ำ (Cassina et al., 2011) การใช้ IAA ช่วยเพิ่มการสะสมตะกั่วและสังกะสีในทานตะวัน (Fässler et al., 2010) ส่วนข้าวโพดและถั่วพุ่มได้รับอิทธิพลจากกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติกและไทเดียซุรอนต่างกัน โดยกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติก ทำให้ความยาวรากลด แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนัก ส่วนไทเดียซุรอนทำให้ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มลดลงด้วย ในขณะที่กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติกไม่มีผลต่อความยาวรากของถั่วพุ่ม แต่กระตุ้นให้น้ำหนักของถั่วพุ่มเพิ่มขึ้นได้ในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนไทเดียซุรอนไม่มีผลต่อความยาวของรากถั่วพุ่ม แต่ทำให้น้ำหนักรากลดลง

นอกจากนั้น ในการศึกษานี้กลับพบว่าสารควบคุมการเจริญของพืชทั้งกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติกและไทเดียซุรอนกลับส่งผลเสียต่อการเจริญของพืชได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นที่ใช้ไม่เหมาะสม ระดับความเข้มข้นที่ไม่เหมาะสมของสารควบคุมการเจริญที่ส่งผลเป็นพิษต่อพืชมีรายงานในถั่วลันเตาโดยการได้รับกรดจิบเบอเรลลินจากภายนอกมากเกินไปคือที่ระดับความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์มีรายงานว่าทำให้พืชผลิตเอทิลีนและออกซิเจนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงระบบที่ทำหน้าที่ต่อต้านออกซิเจนที่เป็นพิษด้วย แต่หากใช้ที่ความเข้มข้นเพียง 10 ไมโครโมลาร์จะช่วยลด

ความเป็นพิษจากโครเมียมต่อถั่วลิสงเตาได้ (Gangwar et al., 2011) หรือการใช้ IAA กระตุ้นถั่วชิกพีด้วยความเข้มข้นที่สูงเกินไปก็ทำให้การเจริญของถั่วลดลง (Malik and Sindhu, 2011) อย่างไรก็ตาม ระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญที่ใช้ในการศึกษานี้เคยมีรายงานว่าสามารถส่งเสริมการเจริญของต้นกล้าในดินที่ปนเปื้อนได้ เช่น การใช้กรดอินโดลบีวไทริก 10 มิลลิกรัมต่อลิตรช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของรากของผักกวางตุ้งที่เจริญในดินปนเปื้อนลินเดนและแอลฟา-เอนโดซัลแฟน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมได้ร้อยละ 80 และ 40 ตามลำดับ (Chouychai, 2012) นอกจากนี้ กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิก 100 ไมโครโมลาร์ หรือ 18.6 มิลลิกรัมต่อลิตรช่วยเพิ่มการสะสมของตะกั่วใน *Sesbania drummondii* ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วโดยไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต (Israr and Sahi, 2008) การใช้กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซุรอนในการหลีกเลี่ยงความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตต่อต้นกล้าข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น เนื่องจากพืชทั้งสามเจริญได้ตามปกติในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต การใช้สารควบคุมการเจริญกับพืชทั้งสามชนิดกลับส่งผลให้ต้นกล้าของพืชมีการเจริญที่ผิดปกติ ดังนั้นการทดลองในตอนี่ 4 จึงเลือกข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่มและแตงกวาไปใช้ในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตโดยไม่ต้องใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มเติมอีก โดยชนิดของพืชที่เลือกใช้ในการทดลองนี้เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ต่างกัน ได้แก่ Poaceae, Leguminosae และ Cucurbitaceae โดยทั้งข้าวโพดและถั่วพุ่มซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Poaceae และ Leguminosae ซึ่งพืชในวงศ์ทั้งสองได้มีการนำมาใช้ในการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนด้วยสารมลพิษอินทรีย์ เช่น พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน พอลิคลอรีเนตไบเฟนิลหรือลินเดนมาแล้ว (Chouychai et al., 2012; Jidere et al., 2012; Lee et al., 2008; Li et al., 2002; Xu et al., 2010) ส่วนแตงกวาซึ่งอยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae ก็มีรายงานว่ามีประสิทธิภาพในการสะสมสารมลพิษอินทรีย์ในกลุ่มออร์แกนอคลอรีนได้หลายชนิด เช่น ดีดีที และเฮปตาคลอร์ (Campbell et al., 2009; Whitfield-Åslund et al., 2010) โดยผลการศึกษา ได้แก่ การเจริญของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดิน และความสามารถในการสะสมเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในส่วนของรากและลำต้น เป็นต้น

ตอนที่ 4 ผลของการปลูกข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาเพียงลำพังและการปลูกร่วมกันเพื่อฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

4.1 การเจริญของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่มและแตงกวาในดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

ข้าวโพดหวาน แตงกวาและถั่วพุ่มเจริญได้ดีในดินที่ไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตทั้งที่ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกันเป็นระยะเวลา 60 วัน การเจริญของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่มและแตงกวาในดินที่ปนเปื้อนจะแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและรูปแบบการปลูกว่าปลูกเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่น การปลูกข้าวโพดหวานหรือถั่วพุ่มเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นๆ ในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตมีสุขภาพดี และไม่แสดงอาการเครียดใดๆ ตลอดระยะเวลา 60 วันของการทดลอง แต่การปลูกข้าวโพดหวานร่วมกับแตงกวาหรือถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนกลับส่งผลให้ความยาวยอดของข้าวโพดหวานมากกว่าความยาวยอดของข้าวโพดหวานเมื่อปลูกเพียงลำพังโดยเฉพาะในวันที่ 60 ของการทดลอง ส่วนความยาวยอดของถั่วพุ่มในดินที่ไม่ปนเปื้อนไม่แตกต่างจากความยาวยอดของถั่วพุ่มที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลา 60 วันของการทดลอง ในขณะที่แตงกวาทั้งที่ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นๆ แสดงอาการอ่อนแอเมื่อเจริญในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

และตายลงในระหว่างวันที่ 50-55 ของการย้ายต้นกล้า โดยใบของแตงกวาเมื่อเจริญในดินที่ปนเปื้อนจะมีอาการเหลืองและเหี่ยว ส่วนยอดของแตงกวาจะแคระแกร็นและสั้นไม่ว่าจะปลูกแตงกวาในดินที่ปนเปื้อนเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่น เมื่อพิจารณาเพียงเฉพาะสุขภาพของพืชพบว่าข้าวโพดหวานและถั่วพุ่มมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตมากกว่าแตงกวา

4.2 ผลของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตต่อการเจริญของยอดและราก

ความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอดข้าวโพดหวานที่ปลูกเพียงลำพังในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่แตกต่างจากข้าวโพดหวานที่ปลูกเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับถั่วพุ่มหรือแตงกวาในดินที่ไม่ปนเปื้อนในวันที่ 60 ของการย้ายต้นกล้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ข้าวโพดหวานเจริญตามปกติเมื่อปลูกร่วมกับแตงกวาหรือถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต ดังภาพที่ 18

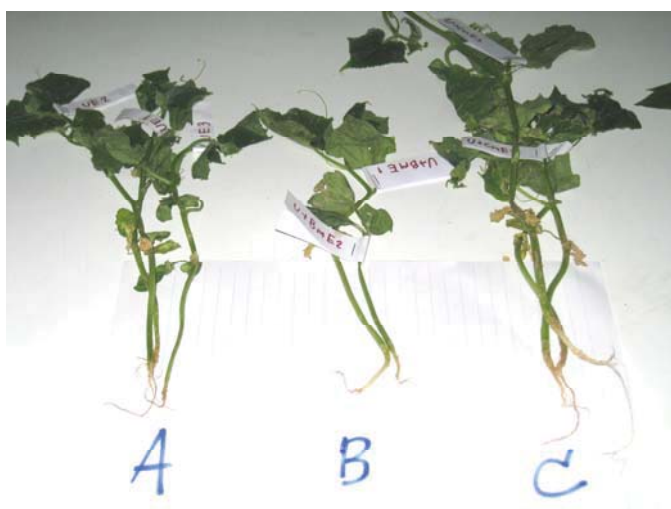


ภาพที่ 18 ลักษณะของต้นข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 73.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปลูกร่วมกับแตงกวา (ซ้าย) และปลูกร่วมกับถั่วพุ่ม (ขวา) เป็นเวลา 45 วัน

เมื่อปลูกข้าวโพดหวานร่วมกับแตงกวาในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตจะส่งผลให้การเจริญของยอดข้าวโพดหวานเกิดขึ้นได้ดีที่สุด โดยความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอดข้าวโพดหวานเท่ากับ 65.7 ซม. 12 กรัม และ 2.58 กรัม ในวันที่ 60 ของการย้ายต้นกล้า ตามลำดับ สอดคล้องกับความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอดข้าวโพดหวานเมื่อปลูกร่วมกับถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.0 ซม. 9 กรัม และ 1.36 กรัม ในวันที่ 60 ของการย้ายต้นกล้า ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ในขณะที่การเจริญของรากข้าวโพดหวานแตกต่างจากการเจริญของยอดโดยมีการเจริญที่ไม่ดี ในวันที่ 60 ของการย้ายต้นกล้าพบว่ารากข้าวโพดหวานในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตจะทำให้ความยาวรากและน้ำหนักสดของรากข้าวโพดหวานทั้งที่ปลูกเพียงลำพัง หรือปลูกร่วมกับแตงกวาต่ำกว่าความยาวรากและน้ำหนักสดของรากข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตามเอนโดซัลแฟนซิลเฟตกลับกระตุ้นการเจริญของรากข้าวโพดหวานเมื่อปลูกข้าวโพดหวานร่วมกับถั่วพุ่ม โดยความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากข้าวโพดหวานจะสูงสุดเมื่อปลูกร่วมกับถั่วพุ่มซึ่งมีค่าเป็น 15.9 ซม. 0.3 กรัม และ 0.08 กรัมในวันที่ 60 ของการย้ายต้นกล้า ตามลำดับ

เอนโดซัลแฟนซิลเฟตส่งผลเป็นพิษต่อแตงกวาไม่ว่าจะปลูกเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่น ผลที่สังเกตได้อย่างชัดเจนก็คือความยาวยอดของแตงกวาที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนจะสั้นกว่าความยาวยอดของแตงกวาที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน ดังภาพที่ 19 เป็นลักษณะการเจริญของต้นแตงกวาภายหลังจากการย้ายต้นกล้าเป็นเวลา 25 วันทั้งที่ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกับถั่วพุ่มและข้าวโพดหวาน ส่วนในวันที่ 45 ของการย้ายต้นกล้าพบว่าใบของแตงกวาแสดงอาการเหลืองเมื่อปลูกในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต ต้นแตงกวาทั้งหมดไม่ว่าจะปลูกเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นในดินที่ปนเปื้อนจะตายภายในระยะเวลา 50-55 วันหลังจากการย้ายต้นกล้า ในขณะที่แตงกวาที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน ความยาวยอดของแตงกวามีค่าอยู่ระหว่าง 26.0-29.6 ซม. ในวันที่ 45 ของการย้ายต้นกล้า นอกจากนี้ความยาวยอดและน้ำหนักสดของแตงกวาที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนในแต่ละทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 60 ของการย้ายต้นกล้า (ตารางที่ 1) โดยภาพที่ 20 แสดงลักษณะของต้นแตงกวาที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตเป็นเวลา 60 วัน นอกจากนี้พบว่าเอนโดซัลแฟนซิลเฟตยังส่งผลเสียต่อพัฒนาการที่รากของแตงกวาด้วย เมื่อปลูกแตงกวาในดินที่ไม่ปนเปื้อนพบว่ารากของแตงกวามีการเจริญเป็นปกติ และเมื่อปลูกแตงกวาร่วมกับถั่วพุ่มพบว่าความยาวรากและน้ำหนักของรากแตงกวาจะสูงกว่าการปลูกแตงกวาเพียงลำพัง (ตารางที่ 2) เหตุผลสำหรับปรากฏการณ์นี้ไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด โดยลักษณะของรากแตงกวาที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตจะมีลักษณะบางและยาวและไม่สามารถชั่งน้ำหนักได้แน่นอนในบางทรีทเมนต์



ภาพที่ 19 ลักษณะของต้นแตงกวาที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 73.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปลูกเพียงชนิดเดียว (ซ้าย) ปลูกร่วมกับถั่วพุ่ม (กลาง) และปลูกร่วมกับข้าวโพดหวาน (ขวา) เป็นเวลา 25 วัน



ภาพที่ 20 ลักษณะของต้นแตงกวาที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต โดยปลูกร่วมกับถั่วพุ่ม (ซ้าย) ปลูกเพียงชนิดเดียว (กลาง) และปลูกร่วมกับข้าวโพดหวาน (ขวา) เป็นเวลา 60 วัน



ภาพที่ 21 ลักษณะของต้นถั่วพุ่มที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต 73.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปลูกร่วมกับข้าวโพดหวาน (ซ้าย) ปลูกเพียงลำพัง (กลาง) และปลูกร่วมกับแตงกวา (ขวา) เป็นเวลา 60 วัน

ในขณะที่เอนโดซัลแฟนซัลเฟตกลับไม่ส่งผลเสียใดๆ ต่อการเจริญของถั่วพุ่มทั้งที่ปลูกเพียงลำพัง และปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นๆ ดังภาพที่ 21 การเจริญของยอดและรากของถั่วพุ่มไม่ว่าจะเป็นความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากถั่วพุ่มที่ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตแตกต่างกับถั่วพุ่มที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1 และ 2)

4.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

เมื่อปลูกข้าวโพดหวานในดินที่ไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของข้าวโพดหวานมีค่าอยู่ในช่วง 13.4-16.1, 14.2-15.2 และ 29.4-31.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิเมตร ตลอดระยะเวลา 60 วันของการทดลอง ตามลำดับ (ตารางที่ 3) แต่เมื่อข้าวโพดหวานเจริญในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเป็นเวลา 60 วันพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของข้าวโพดหวานลดลงเหลือประมาณ 9.1-9.2, 5.1-5.2 และ 14.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

การปนเปื้อนของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในดินยังส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของแตงกวา ลดลง โดยเฉพาะปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของแตงกวาเมื่อปลูกเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับข้าวโพดหวาน หรือถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนมีค่าเพียง 1.6 ± 1.2 , 5.3 ± 0.2 และ 2.0 ± 1.9 มิลลิกรัมต่อมิลลิเมตร ในวันที่ 45 ของการย้ายต้นกล้า ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของแตงกวาที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนมีค่าเป็น 19.8 ± 1.4 , 14.9 ± 0.9 และ 17.8 ± 1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิเมตรเมื่อปลูกเพียงลำพัง ปลูกร่วมกับข้าวโพดหวานและถั่วพุ่ม ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของแตงกวาที่ปลูกเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับข้าวโพดหวานหรือถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตจะมีค่าต่ำกว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน แต่ปริมาณของคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของแตงกวาไม่ได้ลดลงมากจนเห็นได้ชัดเหมือนกับคลอโรฟิลล์บี

ในขณะที่เอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของถั่วพุ่ม โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของถั่วพุ่มไม่ว่าจะปลูกเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตไม่ต่างจากปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน (ตารางที่ 3)

4.3 การลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตจากดินโดยการปลูกพืชชนิดเดียว

ปริมาณของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่เหลือในดินภายหลังจากการบำบัดด้วยการปลูกพืชเพียงชนิดเดียวหรือปลูกพืชร่วมกันแสดงดังตารางที่ 4 ปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในดินบริเวณรอบรากพืชทุกชนิดจะมีปริมาณต่ำกว่าดินบริเวณรอบนอกรากพืช (bulk soil) ชนิดของพืชที่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตมากที่สุด ได้แก่ ข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวา โดยพืชทั้งสามมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตบริเวณดินรอบรากได้สูงถึงร้อยละ 88.7, 68.6 และ 69.7 ในวันที่ 60 และวันที่ 45 ของการย้ายต้นกล้า ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 ส่วนดินบริเวณรอบนอกรากพืช ปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเหลือสูงถึงร้อยละ 27.2, 46.8 และ 80.0 บริเวณดินรอบนอกรากข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาในวันที่ 60, 60 และ 45 ของการย้ายต้นกล้า ตามลำดับ ดังนั้นข้าวโพดหวานจึงถือเป็นพืชที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการศึกษานี้ที่จะนำมาใช้ฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ ส่วนในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตแต่ไม่ได้ปลูกพืชชนิดใดเลย ปริมาณเอนโดซัล

แพนซัลเฟตแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลยภายในเวลา 45 วันของการทดลอง และมีปริมาณเหลืออยู่ร้อยละ 85.4 ในวันที่ 60 ของการทดลอง (ตารางที่ 4)

4.4 การลดปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตจากดินโดยการปลูกพืชร่วมกัน

การปลูกพืชร่วมกันสองชนิดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตได้ต่ำกว่าการปลูกพืชเพียงชนิดเดียว (ตารางที่ 4) การปลูกข้าวโพดหวานร่วมกับถั่วพุ่มมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตได้ดีที่สุด โดยในวันที่ 60 ของการย้ายต้นกล้าพบว่าปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตเหลืออยู่ที่บริเวณไรโซสเฟียร์ของข้าวโพดหวานและถั่วพุ่มเป็นร้อยละ 41.7 และ 52.3 เมื่อปลูกพืชทั้งสองชนิดร่วมกัน และเอนโดซัลแพนซัลเฟตที่เหลืออยู่บริเวณรอบนอกของพืชทั้งสองเป็นร้อยละ 56.1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5 นอกจากนี้การปลูกถั่วพุ่มร่วมกับแตงกวา พบว่าดินบริเวณรอบรากถั่วพุ่มมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตได้ดีเช่นกัน โดยมีปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตลดลงประมาณร้อยละ 50.6 บริเวณดินรอบรากถั่วพุ่ม ผลการทดลองการปลูกพืชร่วมกันพบว่าประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตยังเกิดขึ้นได้ดีในดินบริเวณรอบรากพืชมากกว่าดินบริเวณรอบนอกดินบริเวณรอบรากพืชเมื่อปลูกข้าวโพดหวานและถั่วพุ่มร่วมกันมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตได้ดีกว่าคู่ของพืชชนิดอื่นๆ โดยลดปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตลงได้ร้อยละ 44 รองลงมาคือคู่ของข้าวโพดหวานและแตงกวาซึ่งลดปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตบริเวณดินรอบนอกลงได้ร้อยละ 36.8 ส่วนการปลูกแตงกวาร่วมกับถั่วพุ่มมีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในการลดปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตบริเวณดินรอบนอก โดยปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตเหลืออยู่ร้อยละ 20 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4

4.5 ปริมาณเอนโดซัลแพนซัลเฟตในเนื้อเยื่อพืช

ปริมาณของเอนโดซัลแพนซัลเฟตในเนื้อเยื่อพืชค่อนข้างต่ำ โดยปริมาณสูงสุดที่ตรวจพบได้ที่รากของแตงกวาที่ปลูกร่วมกับข้าวโพดหวานคือ 34.4 ไมโครกรัม ปริมาณของเอนโดซัลแพนซัลเฟตตรวจพบมากในเนื้อเยื่อพืชในวันที่ 25 ของการย้ายต้นกล้า และยังเพิ่มระยะเวลาในการปลูกพืชเพิ่มมากขึ้นกลับพบการสะสมเอนโดซัลแพนซัลเฟตในเนื้อเยื่อพืชลดลง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 1 การเจริญของยอดข้าวโพดหวาน แดงกวา และถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

ชนิดของพืช	วันที่ 25			วันที่ 45			วันที่ 60		
	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
ข้าวโพดหวาน									
ข้าวโพดหวาน	24.7±8.4a*	1.02±0.8b	0.11±0.1b	25.0±0.8b	1.41±0.1bc	0.18±0.00b	26.8±3.7c	1.76±0.3b	0.27±0.00c
ข้าวโพดหวาน+แดงกวา	33.5±8.4a	0.77±0.0b	0.16±0.00ab	27.1±0.3b	1.75±0.1abc	0.17±0.00b	29.2±0.3c	1.98±0.00b	0.29±0.1c
ข้าวโพดหวาน+ถั่วพุ่ม	25.0±8.4a	0.78±0.2b	0.15±0.00ab	25.4±0.2b	0.58±0.00c	0.13±0.00b	29.6±0.1c	1.98±0.00b	0.29±0.1c
ข้าวโพดหวาน+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	29.1±7.9a	1.82±0.2ab	0.19±0.00ab	24.7±2.1b	3.08±0.7abc	0.64±0.1b	25.2±0.8c	1.00±0.8b	0.01±0.00c
ข้าวโพดหวาน+แดงกวา+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	40.2±12.0a	3.29±1.0a	0.36±0.2ab	48.7±8.4a	12.9±8.4ab	1.83±0.8a	65.7±4.2a	12.0±3.5a	2.58±0.5a
ข้าวโพดหวาน+ถั่วพุ่ม+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	40.2±3.8a	3.33±1.0a	0.40±0.1a	55.6±8.2a	14.1±3.0a	2.17±0.2a	49.0±1.0b	9.0±0.3a	1.36±0.00b
แดงกวา									
แดงกวา	22.3±2.3a	0.62±0.2b	0.07±0.0b	29.6±1.6a	1.17±0.0b	0.12±0.0b	38.0±7.3a	1.62±0.5a	0.26±0.0b
แดงกวา+ข้าวโพดหวาน	24.2±1.9a	1.38±0.4ab	0.17±0.0ab	26.0±0.1a	1.40±0.0b	0.11±0.1b	29.5±5.8a	1.89±0.5a	0.22±0.0c
แดงกวา+ถั่วพุ่ม	23.1±2.4a	1.01±0.1ab	0.12±0.0ab	28.6±0.8a	2.63±0.2a	0.27±0.0a	34.9±0.5a	2.48±0.3a	0.33±0.0a
แดงกวา+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	25.6±1.7a	1.61±0.5ab	0.02±0.0b	6.35±0.5b	0.23±0.0b	0.02±0.0c	died	died	died
แดงกวา+ข้าวโพดหวาน+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	27.6±6.7a	3.15±1.7a	0.41±0.2a	7.5±3.5b	0.12±0.0c	n.d.	died	died	died
แดงกวา+ถั่วพุ่ม+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	19.2±7.5a	0.94±0.6b	0.09±0.0b	6.85±0.2b	0.12±0.0c	0.01±0.0c	died	died	died
ถั่วพุ่ม									
ถั่วพุ่ม	28.2±6.4a	2.00±1.3ab	0.24±0.2a	71.6±6.3a	11.0±2.1a	1.59±0.1a	66.6±5.6a	2.86±1.0a	0.45±0.2a
ถั่วพุ่ม+ข้าวโพดหวาน	24.4±1.5a	1.05±0.5b	0.18±0.1a	71.3±4.8a	10.3±1.7a	1.55±0.0a	40.9±9.4a	2.33±0.3a	0.38±0.00a
ถั่วพุ่ม+แดงกวา	24.5±5.9a	1.01±0.4b	0.16±0.0a	72.0±3.8a	11.0±0.8a	1.59±0.0a	40.9±15.5a	1.78±0.7a	0.29±0.1a
ถั่วพุ่ม+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	31.3±8.8a	1.55±0.7ab	0.25±0.2a	65.2±25.9a	7.85±6.7a	1.27±1.2a	88.2±39.6a	7.81±5.3a	1.10±0.5a
ถั่วพุ่ม+ข้าวโพดหวาน+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	37.8±4.6a	4.71±1.7a	0.57±0.2a	51.0±2.6a	9.6±0.9a	1.38±0.1a	54.5±21.8a	3.01±1.6a	0.59±0.2a
ถั่วพุ่ม+แดงกวา+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	34.2±2.9a	4.60±1.9ab	0.57±0.3a	50.0±13.9a	9.85±4.2a	1.25±0.8a	56.2±8.7a	3.10±1.0a	0.70±0.5a

หมายเหตุ *ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพืชชนิดเดียวกัน (P<0.05)

ตารางที่ 2 การเจริญของรากข้าวโพดหวาน แดงกวา และถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟต

ชนิดของพืช	วันที่ 25			วันที่ 45			วันที่ 60		
	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
ข้าวโพดหวาน									
ข้าวโพดหวาน	4.4±1.9a*	0.15±0.1a	0.10±0.0a	8.2±0.6ab	0.16±0.0a	0.02±0.00ab	9.5±1.4b	0.19±0.0a	0.02±0.0b
ข้าวโพดหวาน+แดงกวา	4.5±0.1a	0.09±0.0a	0.009±0.0c	9.6±0.1ab	0.20±0.0a	0.02±0.0ab	10.2±0.4b	0.23±0.0a	0.03±0.0b
ข้าวโพดหวาน+ถั่วพุ่ม	8.7±4.4a	0.08±0.2a	0.008±0.0c	9.6±0.2ab	0.06±0.0a	0.01±0.0b	10.4±0.1b	0.23±0.0a	0.03±0.0b
ข้าวโพดหวาน+เอนโดซัลแฟนซิลเฟต	5.9±3.8a	0.11±0.0a	0.02±0.00bc	3.5±0.7b	0.06±0.0a	0.008±0.0b	1.8±1.2c	0.04±0.0b	0.0008±0.0b
ข้าวโพดหวาน+แดงกวา+เอนโดซัลแฟนซิลเฟต	7.3±3.8a	0.23±0.1a	0.07±0.0ab	21.8±12.1ab	0.68±0.6a	0.20±0.1a	4.0±1.4c	0.08±0.0b	0.0008±0.0b
ข้าวโพดหวาน+ถั่วพุ่ม+เอนโดซัลแฟนซิลเฟต	9.2±4.8a	0.20±0.0a	0.03±0.0bc	26.6±6.6a	0.47±0.1a	0.16±0.0ab	15.9±1.4a	0.30±0.0a	0.08±0.0a
แดงกวา									
แดงกวา	8.2±4.3a	0.01±0.0b	0.0009±0.0a	7.60±1.9ab	0.03±0.0a	0.003±0.0a	4.8±1.0b	0.02±0.0b	0.004±0.0a
แดงกวา+ข้าวโพดหวาน	4.07±2.0a	0.03±0.0b	0.002±0.0a	4.40±0.2b	0.03±0.0a	0.005±0.0a	4.2±1.8b	0.03±0.0b	0.004±0.0a
แดงกวา+ถั่วพุ่ม	4.6±2.4a	0.02±0.0b	0.002±0.0a	9.70±0.1a	0.03±0.0a	0.003±0.0a	9.8±2.8a	0.06±0.0a	0.004±0.0a
แดงกวา+เอนโดซัลแฟนซิลเฟต	4.1±0.9a	0.02±0.0b	0.001±0.0a	6.6±0.8b	n.d.	n.d.	died	died	died
แดงกวา+ข้าวโพดหวาน+เอนโดซัลแฟนซิลเฟต	5.9±3.6a	0.09±0.0a	0.006±0.0a	4.0±1.4b	0.03±0.0a	n.d.	died	died	died
แดงกวา+ถั่วพุ่ม+เอนโดซัลแฟนซิลเฟต	2.6±2.1a	0.01±0.0b	n.d.	7.1±0.0ab	n.d.	n.d.	died	died	died
ถั่วพุ่ม									
ถั่วพุ่ม	7.6±4.7a	0.18±0.2a	0.03±0.0ab	7.7±2.3a	0.53±0.1a	0.16±0.0ab	12.0±8.0a	0.23±0.1a	0.03±0.0a
ถั่วพุ่ม+ข้าวโพดหวาน	5.2±2.0a	0.09±0.0ab	0.01±0.0ab	7.6±2.2a	0.49±0.0a	0.15±0.0ab	13.0±7.3a	0.17±0.0a	0.02±0.0a
ถั่วพุ่ม+แดงกวา	5.3±3.2a	0.06±0.0b	0.009±0.0b	7.7±0.9a	0.53±0.0a	0.16±0.0ab	7.0±1.8a	0.14±0.0a	0.02±0.0a
ถั่วพุ่ม+เอนโดซัลแฟนซิลเฟต	2.4±2.2a	0.06±0.0b	0.02±0.0ab	13.0±1.0a	0.61±0.0a	0.18±0.0a	6.0±3.1a	0.25±0.1a	0.07±0.0a
ถั่วพุ่ม+ข้าวโพดหวาน+เอนโดซัลแฟนซิลเฟต	11.8±5.9a	0.32±0.1a	0.07±0.0a	5.9±1.6a	0.41±0.1a	0.12±0.0b	9.5±5.1a	0.50±0.3a	0.08±0.1a
ถั่วพุ่ม+แดงกวา+เอนโดซัลแฟนซิลเฟต	7.8±2.6a	0.22±0.1a	0.05±0.0ab	10.6±5.7a	0.47±0.1a	0.13±0.0ab	5.8±1.8a	0.30±0.2a	0.05±0.2a

หมายเหตุ *ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพืชชนิดเดียวกัน (P<0.05)

ตารางที่ 3 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของข้าวโพดหวาน แตงกวา และถั่วพุ่มในดินที่ปนเปื้อนและไม่มีปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

ชนิดของพืช	วันที่ 25			วันที่ 45			วันที่ 60		
	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
<u>ข้าวโพดหวาน</u>									
ข้าวโพดหวาน	21.8±0.8a*	26.1±11.3a	49.1±10.6ab	16.3±0.7b	14.2±0.1ab	31.3±0.8ab	16.1±0.6a	14.2±1.0a	31.2±0.4a
ข้าวโพดหวาน+แตงกวา	21.6±0.0ab	20.1±0.0a	42.8±0.0ab	17.7±3.4ab	16.1±3.5ab	34.7±7.0ab	13.4±3.9ab	15.2±2.0a	29.4±2.1a
ข้าวโพดหวาน+ถั่วพุ่ม	14.8±5.4b	11.2±7.5a	26.8±13.1b	16.8±4.6b	8.1±3.8b	25.7±8.3b	15.4±0.4a	13.8±1.3a	30.0±1.8a
ข้าวโพดหวาน+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	21.7±0.1a	24.2±5.7a	47.1±5.6ab	22.1±0.8ab	18.3±3.0a	41.6±3.7ab	9.1±0.0b	5.2±0.1b	14.8±0.0b
ข้าวโพดหวาน+แตงกวา+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	22.9±1.3a	34.8±1.7a	59.0±3.1a	24.5±2.8a	17.3±4.8ab	43.1±7.7a	9.2±0.0b	5.1±0.1b	14.8±0.1b
ข้าวโพดหวาน+ถั่วพุ่ม+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	23.7±1.0a	26.6±14.0a	51.5±13.1ab	22.5±0.2ab	18.2±2.9a	41.9±2.9ab	9.2±0.0b	5.1±0.1b	14.8±0.0b
<u>แตงกวา</u>									
แตงกวา	24.0±1.7ab	26.7±17.4ab	52.0±15.8ab	11.6±0.3ab	19.8±14a	32.1±1.4a	11.6±0.2b	21.1±0.4a	32.0±0.9b
แตงกวา+ข้าวโพดหวาน	21.3±0.2ab	32.3±2.6a	54.8±2.5a	11.9±0.1ab	14.9±0.9b	27.5±1.0a	11.8±0.2b	15.2±0.9a	27.7±0.7c
แตงกวา+ถั่วพุ่ม	21.3±0.3ab	27.9±6.0ab	50.4±5.8ab	16.7±2.0a	17.8±1.8ab	35.4±4.0a	16.2±2.1a	18.5±2.4a	35.6±0.6a
แตงกวา+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	23.3±1.5ab	14.7±3.9ab	39.3±2.4ab	7.2±2.5b	1.6±1.2d	9.1±3.9b	died	died	died
แตงกวา+ข้าวโพดหวาน+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	19.3±2.8b	5.8±3.8b	26.1±5.7b	8.8±0.7b	5.3±0.2c	14.5±0.6b	died	died	died
แตงกวา+ถั่วพุ่ม+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	24.2±0.0a	6.7±0.0b	32.2±0.0b	5.9±3.9b	2.0±1.9c	8.2±6.0b	died	died	died
<u>ถั่วพุ่ม</u>									
ถั่วพุ่ม	21.9±0.6ab	17.2±11.4a	40.3±11.7a	21.9±0.2a	30.4±1.8a	53.6±1.7a	13.1±4.7b	17.7±1.0b	31.6±4.2b
ถั่วพุ่ม+ข้าวโพดหวาน	17.5±2.6b	13.7±7.0a	32.1±9.6a	21.6±0.5a	29.8±2.8a	52.6±2.8a	15.1±3.8ab	16.8±2.7b	32.7±4.1b
ถั่วพุ่ม+แตงกวา	20.0±0.5ab	20.5±9.1a	41.7±9.7a	21.9±0.4a	30.4±4.2a	53.6±3.8a	10.3±0.2b	18.7±0.4b	27.7±0.9b
ถั่วพุ่ม+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	20.1±2.3ab	19.7±12.9a	40.6±15.4a	21.9±0.1a	22.3±8.2a	45.4±8.2a	21.3±0.2a	34.3±0.1a	56.8±0.1a
ถั่วพุ่ม+ข้าวโพดหวาน+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	21.4±0.2ab	18.2±6.5a	40.8±7.0a	22.3±0.5a	24.8±4.0a	48.3±3.5a	21.0±0.0ab	35.2±0.2a	57.4±0.2a
ถั่วพุ่ม+แตงกวา+เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	23.8±1.6a	25.5±7.3a	50.6±9.0a	21.6±0.1a	19.4±1.4a	42.2±1.6a	21.3±0.1a	36.0±0.2a	58.6±0.1a

หมายเหตุ *ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพืชชนิดเดียวกัน (P<0.05)

ตารางที่ 4 ปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่เหลือในดินบริเวณไรโซสเฟียร์ (rhizospheric soil) และดินรอบนอก (bulk soil) ของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาทั้งที่ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกันเป็นเวลา 60 วัน ในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต

Plant	ร้อยละของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่เหลือ		
	Day 25	Day 45	Day 60
<u>ข้าวโพดหวาน</u>			
Rhizospheric soil	14.5±2.0e*	11.7±1.1e*	11.3±0.9d*
Bulk soil	31.0±14.9d*	27.9±6.6de*	27.2±6.6cd*
<u>แตงกวา</u>			
Rhizospheric soil	85.6±8.7ab	30.3±8.2de*	NA
Bulk soil	78.9±8.8b*	80.0±10.3b*	NA
<u>ถั่วพุ่ม</u>			
Rhizospheric soil	50.6±11.1c*	38.8±17.2d*	31.4±5.3c*
Bulk soil	72.6±4.5b*	63.1±6.3c*	46.8±7.0c*
<u>ข้าวโพดหวาน + แตงกวา</u>			
Rhizospheric soil ของข้าวโพดหวาน	90.1±6.2ab	70.6±0.5bc*	62.9±7.3b*
Rhizospheric soil ของแตงกวา	86.6±15.0ab	54.1±4.5cd*	NA
Bulk soil	83.1±1.6ab*	69.4±13.0bc*	63.2±6.9b*
<u>ข้าวโพดหวาน + ถั่วพุ่ม</u>			
Rhizospheric soil ของข้าวโพดหวาน	91.4±24.6ab	47.4±4.9cd*	41.7±11.2c*
Rhizospheric soil ของถั่วพุ่ม	89.5±20.8ab	52.3±7.6cd*	52.3±9.8bc*
Bulk soil	98.4±11.5a	100.6±9.6a	56.1±13.3bc*
<u>แตงกวา + ถั่วพุ่ม</u>			
Rhizospheric soil ของแตงกวา	73.9±12.5b*	55.7±8.3c*	NA
Rhizospheric soil ของถั่วพุ่ม	79.1±8.8b*	69.5±2.9bc*	49.4±7.2bc*
Bulk soil	90.7±24.7ab	90.8±16.8ab	80.0±1.8a*
ดินชุดควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	98.2±5.0a	98.3±5.6a	85.4±9.4a

หมายเหตุ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเป็น 71.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างทรีทเมนต์ภายในวันเดียวกัน ($P < 0.05$)

*แสดงปริมาณของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละทรีทเมนต์เมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0 ของการย้ายต้น ($P < 0.05$)

ค่าย่อ NA หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากพืชตาย

ตารางที่ 5 ค่าการสะสม ของเอนโดซัลแฟนซิลเฟตในยอดและรากของข้าวโพดหวาน แดงกวา และถั่วพุ่ม ที่ปลูกเพียงลำพังและปลูกร่วมกันเป็นคู่ในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตเป็นเวลา 25 วัน

เนื้อเยื่อพืช	ค่าการสะสมในพืช (ไมโครกรัม/ยอดทั้งหมด หรือ ไมโครกรัม/รากทั้งหมด)
ยอดข้าวโพดหวาน	
ข้าวโพดหวาน	BD
ข้าวโพดหวาน + แดงกวา	4.4 ± 0.0a
ข้าวโพดหวาน + ถั่วพุ่ม	BD
ยอดแดงกวา	
แดงกวา	14.3 ± 8.1a
แดงกวา + ข้าวโพดหวาน	10.5 ± 4.0a
แดงกวา + ถั่วพุ่ม	BD
ยอดถั่วพุ่ม	
ถั่วพุ่ม	18.1 ± 1.1a
ถั่วพุ่ม + ข้าวโพดหวาน	BD
ถั่วพุ่ม + แดงกวา	20.3 ± 2.2a
รากข้าวโพดหวาน	
ข้าวโพดหวาน	BD
ข้าวโพดหวาน+แดงกวา	0.2 ± 0.0c
ข้าวโพดหวาน+ถั่วพุ่ม	16.3 ± 5.5bc
รากแดงกวา	
แดงกวา	17.0 ± 5.9abc
แดงกวา + ข้าวโพดหวาน	34.4 ± 11.0a
แดงกวา + ถั่วพุ่ม	BD
รากถั่วพุ่ม	
ถั่วพุ่ม	22.6 ± 3.1ab
ถั่วพุ่ม + ข้าวโพดหวาน	17.1 ± 5.5abc
ถั่วพุ่ม + แดงกวา	8.1 ± 3.7bc

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพืชชนิดเดียวกันภายในวันเดียวกัน ($P < 0.05$)

คำย่อ BD หมายถึง มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของเครื่องมือวัด (0.2 ไมโครกรัม/ต้น)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาแรกที่ศึกษาผลของการปลูกพืชทั้งการปลูกพืชเพียงชนิดเดียวและการปลูกพืชร่วมกันในการกำจัดเอนโดซัลแฟนซิลเฟตที่ปนเปื้อนในดิน การปลูกข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม หรือ แดงกวาเพียงลำพัง หรือการปลูกพืชแต่ละชนิดร่วมกันเป็นคู่ๆ มีประสิทธิภาพในการกำจัดเอนโดซัลแฟนซิลเฟตที่ปนเปื้อนในดินได้ดีกว่าในดินที่ไม่ปลูกพืช จากผลการทดลองเหล่านี้ทำให้สรุปได้ว่าข้าวโพดหวานเป็นพืชที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตมากที่สุด เนื่องจากข้าวโพดหวานสามารถลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซิลเฟตในดินได้ดีทั้งดินบริเวณรอบรากและดินรอบนอก ไม่ว่าจะเป็นการปลูกข้าวโพดเพียงลำพังหรือการปลูกข้าวโพดร่วมกับพืชชนิดอื่น นอกจากนี้การเจริญของข้าวโพดในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซิลเฟตสามารถเจริญได้ตามปกติทั้งที่ปลูกเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่น การเจริญของยอดและรากของข้าวโพดหวานสามารถเจริญได้ดีเมื่อปลูกร่วมกับ

แตงกวาและถั่วพุ่ม และเมื่อพิจารณาจากลักษณะการเจริญของยอดและรากยังพบว่าถั่วพุ่มสามารถทนทานต่อเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้เช่นกัน แต่ถั่วพุ่มมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดินได้ต่ำกว่าข้าวโพดหวานทั้งที่ปลูกเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นๆ

การปลูกพืชในดินที่ปนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ดีกว่าดินที่ปลูกพืช การปลูกข้าวโพดหวานในดินที่ปนเปื้อนเพียงลำพังมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดเอนโดซัลแฟนซัลเฟตจากดิน ในขณะที่ตรวจพบระดับของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในเนื้อเยื่อพืชได้บ้างในระหว่างการทดลอง แต่ถือว่าเป็นปริมาณที่ต่ำมากและไม่นับสำคัญต่อการทดลอง อย่างไรก็ตามการสะสมออร์กาโนคลอรีนในพืชวงศ์หญ้าเคยมีรายงาน เช่น *Avena sativa* L. สามารถสะสมเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนได้ดีทั้งในส่วนของรากและใบเมื่อปลูกที่ Galicia ประเทศสเปน ซึ่งมีการปนเปื้อนด้วยเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนในดินที่ระดับความเข้มข้นสูงถึง 20,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบการสะสมเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนที่รากและใบของพืช 24 และ 32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Calvelo Pereira et al., 2006) นอกจากนี้ *Phragmites australis* มีความสามารถในการสะสม 1,4-dichlorobenzene, 1,2,4-trichlorobenzene และแกมมา-เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน โดยมีค่า bioconcentration factor เท่ากับ 14, 19 และ 15 ตามลำดับ หลังจากพืชสัมผัสกับสารดังกล่าวภายใต้สภาวะไฮโดรโปนิกส์เป็นเวลา 7 วัน (Migueal et al., 2013) พืชในวงศ์แตงมีรายงานมาก่อนหน้านี้ว่ามีความสามารถในการสะสมสารมลพิษอินทรีย์หลายชนิด เช่น พีเอเอช พีซีบี ดีดีที ดีดีอี และเฮปตาคลอโรอีพอกไซด์ (Campbell et al., 2009; Inui et al., 2008; Kobayashi et al., 2008; Otani and Seike, 2007; Parrish et al., 2006; Whitefield-Åuslund et al., 2007; Whitefield-Åuslund et al., 2010) แต่ปริมาณการสะสมก็ถือว่าเป็นปริมาณที่ต่ำมาก ดังนั้นกลไกการสะสมสารมลพิษอินทรีย์ด้วยพืชจึงมีความจำกั้ที่จะนำมาใช้ในการกำจัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดิน

เป็นที่ทราบดีว่าปฏิสัมพันธ์บริเวณรอบรากพืชมีความสำคัญต่อการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนด้วยสารมลพิษอินทรีย์ โดยข้าวโพดเป็นพืชวงศ์หญ้าและมีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุดต่อการนำมาใช้ในการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในการศึกษานี้ โดยข้าวโพดมีระบบรากฝอยที่แตกแขนงมากมายส่งผลให้มีพื้นที่ผิวของรากจำนวนมากและเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี สารที่หลั่งจากรากพืชยังเป็นประโยชน์ต่อการกระตุ้นการเจริญและกิจกรรมการย่อยสลายสารมลพิษของจุลินทรีย์ได้ (Gaskin et al., 2008; Kidd et al., 2008; Korade and Fulekar, 2009)

กลไกที่พืชช่วยลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดินในการศึกษานี้ น่าจะมาจากกลไก phytostimulation โดยกลไกนี้ประสบผลสำเร็จในการนำมาใช้ลดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่คงทนต่อการย่อยสลายได้หลายชนิด เช่น การปลูกถั่วขาว (*Trifolium repens* L.) ในดินที่ปนเปื้อนไโดเบนโซพิวแรนจะทำให้ปริมาณไโดเบนโซพิวแรนที่ปนเปื้อนในดินลดลงได้มากกว่าในดินที่ไม่ปลูกพืช โดยในดินที่ปลูกถั่วขาวจะลดปริมาณไโดเบนโซพิวแรนลงได้เหลือเพียง 333 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจากปริมาณเริ่มต้น 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจาก 60 วันของการปลูกพืช ส่วนในดินที่ไม่ปลูกพืชปริมาณของไโดเบนโซพิวแรนลดลงเหลือ 800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบปริมาณจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไโดเบนโซพิวแรนได้บริเวณรอบรากถั่วขาวในปริมาณสูงด้วย (Wang and Oyaizu, 2009) นอกจากนี้การกำจัดพีซีบีที่ปนเปื้อนในดินเพิ่มขึ้นจากการปลูกถั่วอัลฟาฟ่า ปริมาณพีซีบีลดลงบริเวณรอบรากพืชประมาณร้อยละ 36 จากเริ่มต้น โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของพีซีบีมีค่าระหว่าง 414-498 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในดินที่ไม่ปลูกพืชปริมาณพีซีบีลดลงเพียงร้อยละ 5.4 เท่านั้น (Xu et al., 2010)

ในการศึกษานี้รายงานว่า การปลูกพืชร่วมกันสองชนิดไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ดีไปกว่าการปลูกพืชเพียงชนิดเดียว การปลูกพืชร่วมกันมีรายงานว่าช่วยส่งเสริมอัตราการปลดปล่อยสารพิษอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ได้ดี เช่น การปลูก *Eluesine coracana* และ *Brachiaria serrata* ร่วมกัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณแนฟทาลินและฟลูออรีนที่ปนเปื้อนในดินได้ดีกว่าการปลูกพืชเพียงชนิดเดียวและในดินที่ไม่ปลูกพืช โดยความเข้มข้นของแนฟทาลินอยู่ในระดับที่ไม่สามารถตรวจพบได้เมื่อปลูกพืชร่วมกัน ส่วนการปลูกพืชเพียงชนิดเดียวสามารถลดปริมาณแนฟทาลินได้ประมาณร้อยละ 96 ส่วนดินที่ไม่ปลูกพืชปริมาณแนฟทาลินลดลงร้อยละ 63 ตามลำดับ ส่วนการลดปริมาณฟลูออรีนพบว่า การปลูกพืชร่วมกันสามารถลดปริมาณฟลูออรีนได้ร้อยละ 96 การปลูก *E. coracana* เพียงลำพังสามารถลดปริมาณฟลูออรีนได้ร้อยละ 81 สำหรับในดินที่ไม่ปลูกพืชลดปริมาณฟลูออรีนได้ร้อยละ 47 (Maila et al., 2005)

ส่วนอีกการศึกษาหนึ่งพบว่า การปลูกถั่วอัลฟาฟ่าร่วมกับ rape จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนพีแนทรีนและไพรีนได้ดีกว่าการปลูกพืชชนิดเดียว การปลูกถั่วอัลฟาฟ่าร่วมกับ rape สามารถลดปริมาณพีแนทรีนและไพรีนได้ถึงร้อยละ 74.9 และ 62.8 ตามลำดับ ในขณะที่การปลูก rape ร่วมกับถั่วขาวสามารถลดปริมาณพีแนทรีนและไพรีนลงได้ร้อยละ 72 และ 68.4 หลังจาก 70 วันของการปลูกพืช ตามลำดับ ในขณะที่การปลูกพืชชนิดเดียวมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารทั้งสองได้ต่ำกว่า การปลูกพืชร่วมกัน โดยพีแนทรีนและไพรีนมีปริมาณลดลงระหว่างร้อยละ 38.8-41.5 และ 33.7-36.3 ตามลำดับ (Wei and Pan, 2010) การศึกษาดังกล่าวต่างจากผลการทดลองของการศึกษานี้โดยในการศึกษานี้พบว่า การปลูกพืชร่วมกันมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ดีกว่าการปลูกพืชเพียงชนิดเดียวในดินที่ปนเปื้อน ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นสิ่งที่ต้องทำการศึกษาต่อไป

สรุปผลการศึกษา

1. เอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย) ส่งผลกระตุ้นการเจริญของต้นกล้ากว้างตุงโดยทำให้ความยาวยอด ความยาวราก และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตขึ้นไปเป็น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทรายไม่เป็นพิษต่อต้นกล้ากว้างตุงอย่างชัดเจน กรดแอลฟาแนฟทาลินอะซีติกและไทเดียซุรอนไม่กระตุ้นการเจริญของต้นกล้ากว้างตุงที่ปลูกในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตอย่างชัดเจน แต่ไทเดียซุรอนที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรกลับทำให้รากกว้างตุงไม่พัฒนา ส่วนกรดแอลฟาแนฟทาลินอะซีติกที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันนี้มีแนวโน้มทำให้ความยาวยอดของต้นกล้ากว้างตุงทั้งที่ปลูกในทรายที่ปนเปื้อนหรือไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตสูงขึ้นกว่ากว้างตุงที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาลินอะซีติก และการเกิดขนรากที่ชั้นอีพิเดอร์มิสของรากแก้วของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่ไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาลินอะซีติกก่อนเพาะจะน้อยกว่าต้นกล้าที่ได้รับการกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาลินอะซีติกก่อนเพาะ

2. เอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 1-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทรายไม่เป็นพิษต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาอย่างชัดเจน การใช้กรดแอลฟาแนฟทาลินอะซีติกและไทเดียซุรอนไม่ส่งเสริมให้การเจริญของพืชทั้งสามในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตดีกว่าต้นกล้าของพืชที่ไม่รับสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดใดเลย แต่สารควบคุมการ

เจริญเติบโตของพืชทั้งสองชนิดกลับส่งผลเสียต่อการเจริญของต้นกล้าของพืชทั้งสาม โดยเฉพาะไทเดียมูรอนทำให้ความยาวยอด ความยาวราก และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของข้าวโพดหวานและถั่วพุ่มที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตลดลง ในขณะที่กรดแอลฟาแนฟทาลินอะซีติกส่งเสริมการเจริญเฉพาะของข้าวโพดหวานและถั่วพุ่มได้ ส่วนแตงกวาเป็นพืชที่ได้รับผลเสียจากการได้รับกรดแอลฟาแนฟทาลินอะซีติกและไทเดียมูรอนอย่างชัดเจนกว่าพืชชนิดอื่น โดยไทเดียมูรอนจะไปลดชีวมวลของรากแตงกวาและกรดแอลฟาแนฟทาลินอะซีติกจะทำให้ความยาวรากของแตงกวาลดลง

3. การปลูกข้าวโพดเพียงลำพังมีแนวโน้มนำไปใช้ในการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ดีที่สุด เนื่องจากการปลูกข้าวโพดเพียงลำพังสามารถลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ดีกว่าการปลูกถั่วพุ่มหรือแตงกวาเพียงลำพังหรือการปลูกพืชร่วมกันสองชนิด การปลูกแตงกวาเพียงลำพังหรือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นสามารถลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตได้ดีเช่นกัน แต่แตงกวาไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนเนื่องจากไวต่อความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดินและตายลงก่อนที่จะประบวนการฟื้นฟูสภาพดินจะสิ้นสุด การปลูกพืชร่วมกันสองชนิดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดินลงได้ดีกว่าการปลูกพืชชนิดเดียว โดยคู่ของพืชที่สามารถลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดินลงได้ดีที่สุดคือการปลูกข้าวโพดหวานร่วมกับถั่วพุ่ม กลไกที่เป็นไปได้ที่สุดที่พืชใช้ในการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดินคือการกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อาศัยบริเวณรอบรากให้ย่อยสลายเอนโดซัลแฟนซัลเฟต กลไกการลดปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตด้วยการสะสมไว้ในชีวมวลที่ยอดหรือรากของพืชเป็นไปได้น้อยเนื่องจากตรวจพบปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในยอดและรากในปริมาณที่ต่ำมาก

เอกสารอ้างอิง

- ฐณวัฒน์ มังคละเศรณี สุรศักดิ์ นิลนนท์ และรัฐพล ฉัตรบรรยงค์. 2552. ผลของ IBA ต่อการออกรากของกิ่งปักชำต้นตองอุ้นพันธุ์ SO4. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. 17-20 มี.ค. 2552. หน้า 409-414.
- ธีระยุทธ นาคแดง ธวัชชัย สาบัว สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา อโนมา ดงแสนสุข และรวมชาติ แต่พงษ์โสรัถ. 2550. ผลของตำแหน่งกิ่งและ NAA ต่อการออกรากของโกลีฟที่ปักชำในสภาพถุงขึ้น. แก่นเกษตร. 35 (พิเศษ): 99-104.
- ปัทมาพร รูปปัทม เจริญพงษ์ ชมภูนุช สุชาติ สระทองหน และ วราภรณ์ ฉุยฉาย. 2554. ผลของออกซินและจิบเบอเรลลินต่อความเป็นพิษของดินแดนในต้นกล้าข้าวโพดที่ปลูกในดินต่าง. วารสารเกษตรนเรศวร. 13 (1): 43-49.
- Ahammed, G.J., Yuan, Hui-Li, Ogwen, J.O., Zhou, Yan-Hong, Xia, Xiao-Jian, Mao, Wei-Hua, Shi, K. and Yu, Jing-Quan. 2012. Brassinosteroid alleviates phenanthrene and pyrene phytotoxicity by increasing detoxification activity and photosynthesis in tomato. Chemosphere. 86: 546-555.
- Benimeli, C.S., Fuentes, M.S., Abate, C.M., and Amoroso, M.J. 2008. Bioremediation of lindane-contaminated soil by *Streptomyces* sp.M7 and its effects on *Zea mays* growth. International Biodeterioration and Biodegradation. 61: 233-239.
- Calvelo Pereira, R., Camps-Arbestain, M., Garrido, B.R., Macías, F. and Monterroso, C. 2006. Behaviour of α -, β -, γ -, and δ -hexachlorocyclohexane in the soil-plant system of a contaminated site. Environmental Pollution. 144: 210-217.
- Campbell, S., Arakaki, A.S. and Li, Q.X. 2009. Phytoremediation of heptachlor and heptachlor epoxide in soil by *Cucurbitaceae*. International Journal of Phytoremediation. 11: 28-38.
- Cassina, L., Tassi, E., Morelli, E., Giorgetti, L., Remorini, D., Chaney, R.L. and Barbaferi, M. 2011. Exogenous cytokinin treatments of a Ni hyper-accumulator, *Alyssum murale*, grown in a Serpentine soil: Implications for phytoextraction. International Journal of Phytoremediation. 13(sup1): 90-101.
- Chouychai, W., Thongkukiatkul, A., Upatham, S., Lee, H., Pokethitiyook, P. and Kruatrachue, M. 2007. Phytotoxicity of crop plants to phenanthrene and pyrene contaminants in acidic soil. Environmental Toxicology. 6:597-604.
- Chouychai, W. 2012. Effect of some plant growth regulators on lindane and alpha endosulfan toxicity to *Brassica chinensis*. Journal of Environmental Biology 33(4): 811-816.
- Chouychai, W. and Lee, H. 2012. Phytotoxicity assay of crop plants to lindane and alpha-endosulfan contaminants in alkaline Thai soil. International Journal of Agricultural and Biotechnology. 14: 734-738.

- Chouychai, W., Tongkukiatkul, A., Upatham, S., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M. and Lee, H. 2012. Effect of corn plant on survival and phenanthrene degradation capacity of *Pseudomonas* sp. UG14Lr in two soils. *International Journal of Phytoremediation*. 14 (6): 585-595.
- Du, Rui-Jun, He, Er-Kai, Tang, Ye-Tao, Hu, Peng-Jie, Ying, Rong-Rong, Morel, Jean-Louis and Qiu, Rong-Liang. 2011. How phytohormone IAA and chelator EDTA affect lead uptake by Zn/Cd hyperaccumulator *Picris divaricata*. *International Journal of Phytoremediation*. 13: 1024-1036.
- Famiani, F., Proietti, P., Pilli, M., Battistelli, A. and Moscatello, S. 2007. Effects of application of thidiazuron (TDZ), gibberellic acid (GA3), and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) on fruit size and quality of *Actinidia deliciosa* 'Hayward'. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 35(3): 341-347.
- Fässler, E., Evangelou, M.W., Robinson, B.H. and Schulin, R. 2010. Effects of indole-3-acetic acid (IAA) on sunflower growth and heavy metal uptake in combination with ethylene diamine disuccinic acid (EDDS). *Chemosphere*. 80: 901-907.
- Gangwar, S., Singh, V.P., Srivastava, P.K. and Maurya, J.N. 2011. Modification of chromium (VI) phytotoxicity by exogenous gibberellic acid and application in *Pisum sativum* (L.) seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*. 33(4): 1385-1397.
- Gaskin, S., Soole, K. and Bentham, R. 2008. Screening of Australian native grasses for rhizoremediation of aliphatic hydrocarbon-contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 10, 378-389.
- Huang, Xiao-Dong, El-Alawi, Y., Penrose, D.M., Glick, B.R. and Greenberg, B.M. 2004. Response of three grass species to creosote during phytoremediation. *Environmental Pollution*. 130: 453-363.
- Inui, H., Wakai, T., Gion, K., Kim, Yun-Seok and Eun, H. 2008. Different uptake for dioxin-like compounds by zucchini subspecies. *Chemosphere*. 73: 1602-1607.
- Israr, M., and Sahi, S.V. 2008. Promising role of plant hormone in translocation of lead in *Sesbania drummondii* shoots. *Environmental Pollution*. 153: 29-36.
- Jidere, C.M., Akamigbo, F.O.R. and Ugwuanyi, J.O. 2012. Phytoremediation potentials of cowpea (*Vigna unguiculata*) and maize (*Zea mays*) for hydrocarbon degradation in organic and inorganic manure-amended tropical typic paleustults. *International Journal of Phytoremediation*. 14: 362-373.
- Kidd, P.S., Prieto-Fernández, A. and Monterroso, C. 2008. Rhizosphere microbial community and hexachlorocyclohexane degradative potential in contrasting plant species. *Plant Soil*. 302: 233-247.
- Kobayashi, T., Navarro, R. R., Tatsumi, K. and Iimura, Y. 2008. Influence of compost

- amendment on pyrene availability from artificially spiked soils to two subspecies of *Cucurbita pepo*. Science of the Total Environment. 404: 1-9.
- Korade, D. L. and Fulekar, M. H. 2009. Rhizosphere remediation of chlorpyrifos in mycorrhizospheric soil using ryegrass. Journal of Hazardous Materials. 172: 1344-1350.
- Kummerová, M., Váňová, L., Fišerová, H., Klemš, M., Zezulka, Š. and Krulová, J. 2010. Understanding the effect of organic pollutant fluoranthene on pea in vitro using cytokinins, ethylene, ethane and carbon dioxide as indicators. Plant Growth Regulation. 61: 161-174.
- Lee, S.H., Lee, W.S., Lee, C.H. and Kim, J.G. 2008. Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. Journal of Hazardous Materials. 153: 892-898.
- Li, H., Sheng, G., Sheng, W. and Xu, O. 2002. Uptake of trifluralin and lindane from water by ryegrass. Chemosphere. 48: 355-341.
- López, M.L., Peralta-Videa, J.R., Parsons, J.G., Gardea-Torresdey, J.L. and Duarte-Gardea, M. 2009. Effect of indole-3-acetic acid, kinetin, and ethylenediaminetetraacetic acid on plant growth and uptake and translocation of lead, micronutrients and macronutrients in alfalfa plants. International Journal of Phytoremediation. 11: 131-149.
- Lukatkin, A.S., Gracheva, N.V., Grishenkova, N.N., Dukhovskis, P.V. and Brazaitite, A.A. 2007. Cytokinin-like growth regulators mitigate toxic action of zinc and nickel ions on maize seedlings. Russian Journal of Plant Physiology. 54(3): 381-387.
- Maila, M. P., Randima, P. and Cloete, T. E. 2005. Multispecies and monoculture rhizoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from the soil. International Journal of Phytoremediation. 7: 87-98.
- Malik, D.K. and Sindhu, S.S. 2011. Production of indole acetic acid by *Pseudomonas* sp.: Effect of coinoculation with *Mesorhizobium* sp. *Cicer* on nodulation and plant growth of chickpea (*Cicer arietinum*). Physiology and Molecular Biology of Plants. 17: 25-32.
- Malabadi, R.B., Mulgund, G.S. and Nataraja, K. 2004. Efficient regeneration of *Vanda coerulea*, an endangered orchid using thidiazuron. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 76: 289-293.
- Menone, M.L., Pesce, S.F., Díaz, M.P., Moreno, V.J. and Wunderlin, D.A. 2008. Endosulfan induces oxidative stress and changes on detoxication enzymes in the aquatic macrophyte *Myriophyllum quitense*. Phytochemistry. 69: 1150-1157.
- Miguel, A. S., Ravel, P. and Raveton, M. 2013. A comparative study on the uptake and

- translocation of organochlorine by *Phragmites australis*. Journal of Hazardous Materials. 244-245: 60-69.
- Otani, T. and Seike, N. 2007. Rootstock control of fruit dieldrin concentration in grafted cucumber (*Cucumis sativus*). Journal of Pesticides Science. 32(3): 235-242.
- Parrish, Z. D., White, J. C., Isleyen, M., Gent, M. P. N., Iannucci-Berger, W., Eiter, B. D., Kelsey, J.W. and Mattina, M.I. 2006. Accumulation of weathered polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by plant and earthworm species. Chemosphere. 64: 609-618.
- Piotrowska-Niczyporuk, A., Bajguz, A., Zambrzycka, E. and Godlewska-Zylkiewicz, B. 2012. Phytohormones as regulators of heavy metal biosorption and toxicity in green alga *Chlorella vulgaris* (Chlorophytaceae). Plant Physiology and Biochemistry. 52: 5-65.
- Ryabushkina, N.A. 2005. Synergism of metabolite action in plant response to stresses. Russian Journal of Plant Physiology. 52(4): 547-552.
- Ren L., Zeiler, L.F., Dixon, D.G. and Greengerg, B.M. 1996. Photoinduced effect of polycyclic aromatic hydrocarbons on *Brassica napus* (canola) during germination and early seedling development. Ecotoxicology and Environmental Safety. 33:73-80.
- Sergiev, I.G., Alexieva, V.S., Ivanov, S.V., Moskova, I.I. and Karanov, E.M. 2006. The phenylurea cytokinin 4PU-30 protects maize plants against glyphosate action. Pesticide Biochemistry and Physiology. 85: 139-149.
- Sharada, K., Salimath, B.P., Shetty, S., Gopalakrishna, N. and Karanth, K. 1999. Indol-3-ylacetic acid and calmodulin-regulated Ca^{2+} -ATPase: A target for the phytotoxic action of hexachlorocyclohexane. Pesticide Science. 35: 315-319.
- Vamerali, T., Bandiera, M., Hartley, W., Carletti, P. and Mosca, G. 2011. Assisted phytoremediation of mixed metal(loid)-polluted pyrite waste: effects of foliar and substrate IBA application on fodder radish. Chemosphere. 84: 213-219.
- Váňová, L., Kummerová, M., Klemš, M. and Zezulka, Š. 2009. Fluoranthene influences endogenous abscisic acid level and primary photosynthetic processes in pea (*Pisum sativum* L.) plants in vitro. Plant Growth Regulation. 57: 39-47.
- Váňová, L., Kummerová, M. and Votrubová, O. 2011. Fluoranthene-induced production of ethylene and formation of lysigenous intercellular spaces in pea plants cultivated in vitro. Acta Physiologiae Plantarum. 33(1): 1037-1042.
- Vidyasagar, G.M., Kotresha, D., Sreenivasa, N. and Karnam, R. 2009. Role of endosulfan in mediating stress responses in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Journal of Environmental Biology. 30(2): 217-220.
- Wang, W., Meng, B., Lu, X., Liu, Y. and Tao, S. 2007. Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides from soils: a comparison between

- Soxhlet extraction, microwave-assisted extraction and accelerated solvent extraction techniques. *Analytica Chimica Acta*, 602, 211-222.
- Wang, Y. and Oyaizu, H. 2009. Evaluation of the phytoremediation potential of four plant species for dibenzofuran-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*. 168: 760-764.
- Weber, J., Halsall, C.J., Muir, D., Teixeira, C., Small, J., Solomon, K., Hermanson, M., Hung, H. and Bidleman, T. 2010. Endosulfan, a global pesticide: a review of its fate in the environment and occurrence. *Science of the Total Environment*. 408: 2966-2984.
- Wei, S. and Pan, S. 2010. Phytoremediation for soils contaminated by phenanthrene and pyrene with multiple plant species. *Journal of Soils and Sediments*, 10, 886-894.
- Whitefield-Åslund, M.L.W., Zeeb, B.A., Rutter, A. and Reimer, K.J. 2007. *In situ* phytoextraction of polychlorinated biphenyl-(PCB) contaminated soil. *Science of the Total Environment*. 374: 1-12.
- Whitefield-Åslund, M.L.W., Lunney A.L., Rutter, A. and Zeeb, B.A. 2010. Effects of amendments on the uptake and distribution of DDT in *Cucurbita pepo* spp. *pepo* plants. *Environmental Pollution*. 158: 508-513.
- Wong, P.K. 2000. Effects of 2,4-D, glyphosate and paraquat on growth, photosynthesis, and chlorophyll a synthesis of *Scenedesmus quadricauda* Berb 614. *Chemosphere*. 41: 177-182.
- Xu, L., Teng, Y., Li, Zhen-Gao, Norton, J.M. and Luo, Yong-Ming. 2010. Enhanced removal of polychlorinated biphenyls from alfalfa rhizosphere soil in a field study: The impact of a rhizobial inoculum. *Science of the Total Environment*. 408: 1007-1013.

ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ (Output)

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ 2 เรื่อง ได้แก่

1. **Khanitta Somtrakoon** and Maleeya Kruatrachue. Effect of alpha-naphthalene acetic acid and thidiazuron on seedling growth of economic crops growing on endosulfan sulfate-spiked sand. *Journal of Environmental Biology*. 35(x): x-x, 2014. (Manuscript Accepted).
2. **Khanitta Somtrakoon**, Maleeya Kruatrachue and Hung Lee. Phytoremediation of endosulfan sulfate contaminated soil by single and mixed plant cultivation. *Water, Air, and Soil Pollution*. DOI 10.1007/s11270-014-1886-0.

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ 2 เรื่อง ได้แก่

1. **Khanitta Somtrakoon** and Maleeya Kruatrachue. The Effect of Indolebutyric Acid on *Brassica chinensis* Seedling Growth Growing in Endosulfan Sulfate Contaminated Sand. *Journal of Agricultural Research and Extension*. 30(1): 14-24, 2012. (In Thai with English Abstract).
2. **Khanitta Somtrakoon** and Maleeya Kruatrachue. The Effect of Alpha-Naphthalene Acetic Acid and Thidiazuron on *Brassica chinensis* Seedling Growth in Sand Contaminated with Endosulfan Sulfate. *Science and Technology Ubonratchthanee University Journal* 15(1): 1-11, 2013. (In Thai with English Abstract).

Phytoremediation of Endosulfan Sulfate-Contaminated Soil by Single and Mixed Plant Cultivations

Khanitta Somtrakoon · Maleeya Kruatrachue · Hung Lee

Received: 12 June 2013 / Accepted: 29 January 2014
 © Springer International Publishing Switzerland 2014

Abstract The extent of endosulfan sulfate removal from soils by different planting pattern with sweet corn (*Zea mays*), cowpea (*Vigna sinensis*), and cucumber (*Cucumis sativus*) either cultivated alone or together was investigated in pot experiments. Endosulfan sulfate was removed to the greatest extent in the treatment in which sweet corn was grown alone; only 11.3 and 27.2 % of the initial endosulfan sulfate remained in rhizospheric and bulk soil, respectively, of sweet corn grown alone at day 60. Endosulfan sulfate was also removed from soil to a great extent in treatments where cucumber or cowpea was grown alone; only 30.3 and 38.8 % of endosulfan sulfate remained in their respective rhizospheric soil after 45 days. However, cucumber did not tolerate the toxicity of endosulfan sulfate well and died around 50–55 days when it was cultivated either alone or together with another plant. Cultivation of sweet corn and cowpea together was less effective in removing endosulfan sulfate from soil; about 41.7 and

52.3 % of endosulfan sulfate remained in their respective rhizospheric soils after 60 days. The results showed that single cultivation of the plants was the most efficient way to remediate endosulfan sulfate-contaminated soil in this study. Endosulfan sulfate was detected in both the root and shoot of plants but given the low levels found, bioaccumulation was judged to be a relatively minor factor in endosulfan sulfate removal from soil.

Keywords Cowpea · Cucumber · Endosulfan sulfate · Mixed plant cultivation · Phytoremediation · Sweet corn

1 Introduction

Endosulfan is an organochlorine insecticide which is widely distributed in soil and sediments as a result of its widespread use in agriculture for protection of various types of vegetables, fruits, cereal grains, cotton, tea, coffee, and ornamental plants (Castillo et al. 2011; Joseph et al. 2010; Weber et al. 2010). Endosulfan was used extensively to control insect pests in countries such as Australia, Brazil, Canada, China, India, Mexico, Thailand, and USA (Boonyatumanond et al. 2002; Poolpak et al. 2008; Weber et al. 2010). The use of endosulfan has been restricted in many developed and developing countries, and since 2011, it is included in the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) to be eliminated worldwide (Kataoka et al. 2011; <http://chm.pops.int/Convention/Media/Pressreleases/Widelyusedpesticideendosulfanphaseout/tabid/2216/language/en-US/>)

K. Somtrakoon (✉)
 Department of Biology, Faculty of Science,
 Mahasarakham University,
 Kantharawichai, Mahasarakham, Thailand 44150
 e-mail: khanitta.s@msu.ac.th

M. Kruatrachue
 Department of Biology, Faculty of Science,
 Mahidol University,
 Rama VI Road, Bangkok, Thailand 10400

H. Lee
 School of Environmental Sciences, University of Guelph,
 Guelph, Ontario N1G 2W1, Canada

Published online: 18 February 2014

 Springer

[Default.aspx](#)). Residues of endosulfan have been reported in agricultural areas of previous usage and sometimes in adjacent areas. For example, in the agricultural soil adjacent to the Mae Klong River in central Thailand, the concentrations of all isomers of endosulfan were reported to range from 0.5 to 16.1 mg kg⁻¹ dry soil (Poolpak et al. 2008). In another study, the highest concentration of α -endosulfan in sediments along the eastern part of the Gulf of Thailand ranged from 10 to 104 μ g kg⁻¹ dry soil during drying season (Srivilas and Jaidee 2006). The maximum levels of endosulfan in sediments were 49.4 μ g kg⁻¹ dry soil in the estuary located at the mouth of the Chanthaburi River in Thailand (Sumith et al. 2009). Endosulfan was reported to persist in soil for 3 months to more than 2 years depending on environmental factors and isomer forms of endosulfan. β -Endosulfan usually persisted longer in the environment than the α -isomer (Awasthi et al. 2000; Kathpal et al. 1997; Rao and Murty 1980; Stewart and Cairns 1974).

Endosulfan sulfate is one of the main metabolites of endosulfan degradation in soil and sediments. It should be noted that some microorganisms can transform endosulfan without producing endosulfan sulfate (Kataoka and Takagi 2013). The concentrations of endosulfan sulfate detected in surface sediments during dry season of rice cultivation area near the tributaries of the Mae Klong River in central Thailand ranged from 0.15 to 0.58 mg kg⁻¹ dry weight (Poolpak et al. 2008). Endosulfan sulfate concentrations have been reported to range from 0.13 to 10.5 mg kg⁻¹ dry sediment near the Wu-Shi River estuary in Taiwan (Doong et al. 2002). This metabolite is as toxic as but is less biodegradable, more persistent in the environment, and has greater bioaccumulation potential than its parent compound (Bhalerao and Puranik 2007; Kataoka and Takagi 2013; Weber et al. 2010).

Phytoremediation has been reported to be an effective method for remediating various organic contaminants in soil, such as DDT, dieldrin, lindane, polychlorinated biphenyls, and polycyclic aromatic hydrocarbons (Chouychai et al. 2012; Macková et al. 2007; Matsumoto et al. 2009; Mitton et al. 2012; Pan et al. 2008; Suresh et al. 2005; Xu et al. 2010). Some microorganisms are known to degrade endosulfan sulfate. For example, *Klebsiella oxytoca* KE-8 was able to utilize endosulfan sulfate (initial concentration 173 mg l⁻¹) as a sole carbon source. This bacterial strain could degrade endosulfan sulfate with a degradation

constant of 0.2465 day⁻¹ (Kwon et al. 2005). The white-rot fungus, *Trametes hirsute*, was reported to degrade about 70 % of endosulfan sulfate (initial concentration 10 μ M) in 10 days (Kamei et al. 2011). Plants have been shown to enhance the ability of competent microorganisms to degrade persistent organic compounds in soil (Chouychai et al. 2012). Plants may facilitate the degradation of organic contaminants by increasing the number and activity of competent microorganisms in the rhizosphere, as well as improving the chemical and physical soil conditions (Fan et al. 2008; Pilon-Smith 2005). Most of the phytoremediation studies have used single plants. However, in the natural environment, the presence of mixed plants is the norm. Combined plant cultivation was found to be effective in remediating PAH-contaminated soils. For example, planting with maize and ryegrass significantly enhanced the rate and extent of phenanthrene degradation. Phenanthrene concentration was reduced from 52.53 to about 4.50, 4.15, and 1.00 mg kg⁻¹ in soil planted with ryegrass alone, maize alone, and a combination of ryegrass and maize, respectively, after 60 days of incubation (Xu et al. 2006).

Effective methods of removing endosulfan and its metabolites from the environment have yet to be developed. The use of single plants for endosulfan bioremediation was reported by Ramírez-Sandoval et al. (2011). They observed that more endosulfan was removed from pots planted with *Ocimum basilicum* than without plant during the 30-day experiment. About 90 and 160 mg kg⁻¹ of endosulfan remained in soil planted with *O. basilicum* and *Ocimum minimum*, respectively. In comparison, about 140 and 250 mg kg⁻¹ of endosulfan remained in soil without *O. basilicum* and *O. minimum*, respectively (Ramírez-Sandoval et al. 2011).

The objective of this research was to compare the use of single and mixed plant cultivation to remediate endosulfan sulfate-contaminated soil. The plants chosen for the study came from three different families: sweet corn (*Zea mays*) from Poaceae, cowpea (*Vigna sinensis*) from Leguminosae, and cucumber (*Cucumis sativus*) from Cucurbitaceae. Members of the Poaceae and Leguminosae families have been used to remediate soil sites contaminated with hydrocarbons, PAHs, PCB, and lindane. The main benefits of using these plants for phytoremediation include their fibrous root system, having large root surface area, excretion of large amount of root exudate, and/or having the ability to fix nitrogen

(Chouychai et al. 2012; Jidere et al. 2012; Lee et al. 2008; Li et al. 2002; Xu et al. 2010). Also, plants from the Cucurbitaceae family have been reported to bioaccumulate organochlorine insecticides such as heptachlor and DDT from soil (Campbell et al. 2009; Whitfield-Åslund et al. 2010).

2 Materials and Methods

2.1 Soil Preparation

Soil with no previous history of endosulfan sulfate contamination was obtained from the Kookaew Temple area, Kantharawichai District, Mahasarakham Province, Thailand. The soil was air-dried at room temperature ($29\pm 1^\circ\text{C}$) for at least 72 h to constant weight before used. A sample of this soil was sent to the Central Laboratory (Thailand) Co. Ltd., Khonkaen, Thailand for physical and chemical characterizations. The soil was of clay texture with a pH of 8.1 and an electrical conductivity of $109.5\ \mu\text{S cm}^{-1}$ (0.11 ds m^{-1}). It contained 2.4 % (dry) organic matter content, 0.29 % total nitrogen, and $58.38\ \text{mg kg}^{-1}$ available phosphorus. The soil did not contain any endosulfan sulfate or lindane as verified by gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) analysis following Soxhlet extraction (described below).

An aliquot of soil (equivalent to about 20 % of the soil to be spiked) was spiked with endosulfan sulfate (Dr. Ehrenstorfer GmbH, Germany, Lot no. 81205, purity 98.5 %) dissolved in acetone. After thorough mixing, the solvent was allowed to evaporate inside a fume hood at room temperature ($29\pm 1^\circ\text{C}$) for 48 h. Then, the spiked soil was added with mixing to the remaining 80 % of non-spiked soil to give a final endosulfan sulfate concentration of $71.3\ \text{mg kg}^{-1}$ dry soil. The homogeneity of soil was checked by taking five random samples of endosulfan sulfate-spiked soil and analyzing their initial endosulfan sulfate concentrations by GC-MS.

2.2 Seedling Preparation

Seeds of sweet corn (*Z. mays* L. var. sacharata Bailey) (commercial seeds of Chokkasikorn Seed Ltd., Nonthaburi province, Thailand), cucumber (*C. sativus*) (commercial seeds of East West Seed Ltd., Nonthaburi province, Thailand), and cowpea (*V. sinensis*)

(commercial seeds of Chuayongseng Ltd., Bangkok, Thailand) were rinsed with sterile distilled water and immersed in distilled water for 3 h. The seeds were then germinated on moist endosulfan sulfate-spiked soil in experimental pots which were kept at $29\pm 1^\circ\text{C}$ in a nursery which received natural sunlight. After 10 days of germination, healthy seedlings of plants with comparable size were picked and transplanted into the experiment pots. The seedling transplantation date was considered the starting date (day 0) of the experiment.

2.3 Experimental Design

Pot experiments were performed in a nursery from March to May 2012. In single plant cultivation, each cylindrical pot containing 1 kg dried soil spiked with endosulfan sulfate was planted individually with a ten-day-old seedling of sweet corn, cowpea, or cucumber. For mixed plant cultivation, combinations of sweet corn and cowpea, sweet corn and cucumber, or cucumber and cowpea were cultivated in one pot containing 2 kg endosulfan sulfate-spiked soil. Soil without any endosulfan sulfate was set up in the same way and planted either individually with sweet corn, cucumber, and cowpea or in pairs of seedlings to serve as the controls. Another control was soil-spiked with endosulfan sulfate but without any plants. All pots were given sterile distilled water daily to maintain the water holding capacity of the soil at about 60 % for 60 days. The experiment was done in three replicates. The placement of pots in the nursery was changed randomly every week. One gram (dry weight equivalent) each of rhizospheric soil and bulk soil was removed on days 25, 45, and 60 for analysis of residual endosulfan sulfate concentration by GC-MS. Soils from unplanted control treatment were also collected and analyzed.

2.4 Plant Growth

The plants from single and mixed cultivation pots were sampled on days 25, 45, and 60 to determine the shoot length, root length, fresh weight, and dried weight of shoot and root, as well as chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll content. Chlorophyll contents were analyzed according to Huang et al. (2004). Briefly, about 200 mg of plant leaves were cut and incubated in 80 % acetone for 24 h at 4°C in the dark. Absorbance of the solution was measured with a spectrophotometer at 645 and 663 nm. Chlorophyll

concentrations (mg ml^{-1}) were calculated using the following equations:

$$\begin{aligned} [\text{Chl a}] &= [12.7 \times A663] - [2.69 \times A645] \\ [\text{Chl b}] &= [22.9 \times A645] - [4.68 \times A663] \\ [\text{Total Chl}] &= [8.02 \times A663] + [20.2 \times A645] \end{aligned}$$

2.5 Endosulfan Sulfate Extraction from Soil and Analysis

Soil samples were subjected to Soxhlet extraction. One gram dry weight of soil was mixed with anhydrous sodium sulfate in 1:1 ratio. Gamma-hexachlorocyclohexane (α -HCH, Dr. Ehrenstorfer GmbH Lot no. 71210, Germany, purity 98.6 %) (70 μl of a 400 mg l^{-1} α -HCH stock solution prepared in hexane) was then added as an internal standard. The soil sample was extracted with 180 ml of acetone and hexane (1:1, v/v) for 12 h. The extraction cycle around the thimble was approximately 3–4 cycles per hour. The extracts were transferred to 250-ml pear-shaped flasks and evaporated to near dryness under reduced pressure in a 60°C water bath using a rotary evaporator (Buchi, Germany). An additional 10 ml *n*-hexane was added to the concentrated extracts and evaporated to a small volume (about 1.5 ml) (Wang et al. 2007). Endosulfan sulfate in shoot and root of each plant was extracted according to the method as that for soils.

Endosulfan sulfate concentrations in the hexane extracts and standards were measured using a gas chromatograph (Shimadzu GC AOC-5000) equipped with a mass spectroscopic detector (Shimadzu MS-QP2010). The standard curve was linear over the endosulfan sulfate concentration range of 0.2 to 100 mg l^{-1} . Separation was achieved using a Rtx®-5MS capillary column (30 m $\times$ 25 μm , I.D.=25 μm). The helium carrier flow rate was 0.6 ml min^{-1} under split 30:1 ratio conditions. The oven temperature was programmed at 180 °C for 2 min, followed by a linear increase of 20 °C min^{-1} to 250 °C, and held for 2 min. The temperature was increased from 250 to 280 °C at 20 °C min^{-1} and held for 4 min. The injector and detector temperatures were maintained at 250 °C.

2.6 Statistical Analysis

Percent of endosulfan sulfate remaining in soil was expressed as the mean $\pm$ SD. One-way ANOVA was

used to test for statistical significance among experimental treatments. Subsequent multiple comparisons of means were performed using the Tukey comparison method. Statistical significance was accepted at $P < 0.05$.

3 Results

3.1 General Plant Growth in Endosulfan Sulfate-Contaminated Soil

In non-spiked control soil, all the plants grew normally either alone or in combination for 60 days. The growth of sweet corn, cucumber, and cowpea grown in endosulfan sulfate-contaminated soil varied depending on plant species and planting regime. Sweet corn or cowpea, when grown alone or together with another plant in endosulfan sulfate-spiked soils, appeared healthy and did not show any signs of stress during the 60-day experimental period. Interestingly, the shoot of sweet corn was longer when the plant was grown together with cucumber or cowpea especially on day 60. The shoot of cowpea grown in non-spiked soils was not significantly different from that grown in endosulfan sulfate-spiked soils during the 60-day experiment. In contrast to sweet corn or cowpea, cucumber exhibited poor growth in endosulfan sulfate-spiked soils and the plant died between 50 and 55 days of transplantation when grown either alone or together with another plant. The leaves of cucumber grown in spiked soils exhibited chlorosis and wilted. Also, the shoot of cucumber appeared short and stunted when the plant was cultivated either alone or together with another plant. On the basis of general plant growth alone, sweet corn and cowpea seemed to be more suitable than cucumber for use in phytoremediation of endosulfan sulfate-contaminated soils.

3.2 Effect of Endosulfan Sulfate on Shoot and Root Growth

Shoot length, shoot fresh weight, and shoot dried weight of sweet corn grown alone in endosulfan sulfate-spiked soil were not significantly different from those of sweet corn grown alone or together with cucumber or cowpea in the absence of endosulfan sulfate after 60 days of transplantation (Table 1). Sweet corn also grew well when cultivated with cucumber and cowpea in endosulfan sulfate-spiked soils. The best shoot growth was seen

Table 1 Shoot length, shoot fresh weight, and shoot dried weight of sweet corn, cucumber, and cowpea grown in endosulfan sulfate-contaminated and non-contaminated soil for 60 days

Plant	Day 25			Day 45			Day 60		
	Shoot length (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Shoot length (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Shoot length (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)
Sweet corn (SC)									
SC	24.7±8.4a	1.02±0.8b	0.11±0.1b	25.0±0.8b	1.41±0.1bc	0.18±0.0b	26.8±3.7c	1.76±0.3b	0.27±0.0c
SC + CU	33.5±8.4a	0.77±0.0b	0.16±0.0ab	27.1±0.3b	1.75±0.1abc	0.17±0.0b	29.2±0.3c	1.98±0.0b	0.29±0.1c
SC + CP	25.0±8.4a	0.78±0.2b	0.15±0.0ab	25.4±0.2b	0.58±0.0c	0.13±0.0b	29.6±0.1c	1.98±0.0b	0.29±0.1c
SC + EDSS	29.1±7.9a	1.82±0.2ab	0.19±0.0ab	24.7±2.1b	3.08±0.7abc	0.64±0.1b	25.2±0.8c	1.00±0.8b	0.01±0.0c
SC + CU + EDSS	40.2±12.0a	3.29±1.0a	0.36±0.2ab	48.7±8.4a	12.9±8.4ab	1.83±0.8a	65.7±4.2a	12.0±3.5a	2.58±0.5a
SC+CP+EDSS	40.2±3.8a	3.33±1.0a	0.40±0.1a	55.6±8.2a	14.1±3.0a	2.17±0.2a	49.0±1.0b	9.0±0.3a	1.36±0.0b
Cucumber (CU)									
CU	22.3±2.3a	0.62±0.2b	0.07±0.0bc	29.6±1.6a	1.17±0.0b	0.12±0.0b	38.0±7.3a	1.62±0.5a	0.26±0.0b
CU + SC	24.2±1.9a	1.38±0.4ab	0.17±0.0ab	26.0±0.1a	1.40±0.0b	0.11±0.1b	29.5±5.8a	1.89±0.5a	0.22±0.0c
CU + CP	23.1±2.4a	1.01±0.1ab	0.12±0.0bc	28.6±0.8a	2.63±0.2a	0.27±0.0a	34.9±9.5a	2.48±0.3a	0.33±0.0a
CU + EDSS	25.6±1.7a	1.61±0.5ab	0.22±0.0ab	6.35±0.5b	0.23±0.0b	0.02±0.0c	NA	NA	NA
CU + SC + EDSS	27.6±6.7a	3.15±1.7a	0.41±0.2a	7.5±3.5b	0.12±0.0c	0.01±0.0c	NA	NA	NA
CU + CP + EDSS	19.2±7.5a	0.94±0.6b	0.09±0.0bc	6.85±0.2b	0.12±0.0c	0.01±0.0c	NA	NA	NA
Cowpea (CP)									
CP	28.2±6.4a	2.00±1.3ab	0.24±0.2a	71.6±6.3a	11.0±2.1a	1.59±0.1a	66.6±5.6a	2.86±1.0a	0.45±0.2a
CP + SC	24.4±1.5a	1.05±0.5b	0.18±0.1a	71.3±4.8a	10.3±1.7a	1.55±0.0a	40.9±9.4a	2.33±0.3a	0.38±0.0a
CP + CU	24.5±5.9a	1.01±0.4b	0.16±0.0a	72.0±3.8a	11.0±0.8a	1.59±0.0a	40.9±15.5a	1.78±0.7a	0.29±0.1a
CP + EDSS	31.3±8.8a	1.55±0.7ab	0.25±0.2a	65.2±25.9a	7.85±6.7a	1.27±1.2a	88.2±39.6a	7.81±5.3a	1.10±0.5a
CP + SC + EDSS	37.8±4.6a	4.71±1.7a	0.57±0.2a	51.0±2.6a	9.6±0.9a	1.38±0.1a	54.5±21.8a	3.01±1.6a	0.59±0.2a
CP + CU + EDSS	34.2±2.9a	4.60±1.9ab	0.57±0.3a	50.0±13.9a	9.85±4.2a	1.25±0.8a	56.2±8.7a	3.10±1.0a	0.70±0.5a

Different lower case letters denote significant difference ($P<0.05$) between the same plant in the same column

SC sweet corn, CU cucumber, CP cowpea, EDSS endosulfan-sulfate, NA not available because the plant died

in sweet corn grown together with cucumber in endosulfan-sulfate-spiked soil. The shoot length, shoot fresh weight, and shoot dried weight of sweet corn were 65.7 ± 4.2 cm, 12.0 ± 3.5 g, and 2.58 ± 0.5 g, respectively on day 60; the corresponding shoot values were 49.0 ± 1.0 cm, 9.0 ± 0.3 g, and 1.36 ± 0.0 g, respectively, when sweet corn was cultivated with cowpea in endosulfan sulfate-spiked soil on day 60 (Table 1). In contrast, the root growth of sweet corn was relatively poor and different from its shoot growth. On day 60 of transplantation, the presence of endosulfan-sulfate in soil significantly decreased the root length and root fresh weight of sweet corn grown either alone or together with cucumber compared to control plant in non-spiked soils (Table 2). However, endosulfan sulfate stimulated root growth of sweet corn when it was cultivated with cowpea. The highest root length (15.9 cm), root fresh weight (0.3 g), and root dried weight (0.08 g) of sweet corn was observed when it was grown together with cowpea on day 60 of transplantation (Table 2).

Growth of cucumber was adversely affected by endosulfan sulfate, and this was evident irrespective of whether cucumber was grown alone or together with another plant. The most obvious effect was the shorter shoot length when cucumber was grown in contaminated soil as compared to control plant grown in non-spiked soil. On day 45, the shoot length of cucumber plants ranged from 6.35 to 7.5 cm whether grown alone or together with sweet corn and cucumber (Table 1). Symptoms of stress, such as chlorosis, were evident on day 45 in leaves of cucumber plant grown in endosulfan sulfate-spiked soil. All cucumber plants grown either alone or together with another plant in spiked soil died around 50–55 days after transplantation. In contrast, in control pots without endosulfan sulfate, the shoot length of cucumber ranged from 26 to 29.6 cm on day 45, and the shoot lengths and shoot fresh weights of cucumber in various treatments were not significantly different from one another throughout the 60-day period (Table 1). Endosulfan sulfate also adversely affected the development of cucumber root. The root of cucumber grown in endosulfan sulfate-spiked soil was long and very thin, and we were unable to measure its weight accurately in some of the treatments. In the absence of endosulfan sulfate, the cucumber roots appeared normal. Interestingly, the cucumber roots were longer and weighed more when grown with cowpea (Table 2). The reason for this is not known. In contrast to sweet corn and cucumber, endosulfan sulfate did not adversely

affect the shoot or root of cowpea cultivated either alone or in combination with other plants. There was no statistically significant difference in any of the shoot or root characteristics of cowpea measured between any of the treatments and controls (Tables 1 and 2).

3.3 Chlorophyll Content of Plants Grown in Endosulfan Sulfate-Contaminated Soils

When grown in control soils, the chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll contents of sweet corn leaves were about 13.4–16.1, 14.2–15.2, and 29.4–31.2 mg mL^{-1} , respectively, for all treatments on day 60 (Table 3). However, when grown for 60 days in endosulfan sulfate-spiked soil, the chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll contents of sweet corn leaves decreased to about 9.1–9.2, 5.1–5.2, and 14.8 mg mL^{-1} , respectively (Table 3).

The presence of endosulfan sulfate also significantly decreased chlorophyll content of cucumber, especially that of chlorophyll b. The chlorophyll b contents of cucumber leaves when grown either alone or together with sweet corn and cowpea in endosulfan sulfate-spiked soils were only 1.6 ± 1.2 , 5.3 ± 0.2 , and 2.0 ± 1.9 mg mL^{-1} , respectively, on day 45. In comparison, the corresponding values in leaves of cucumber grown in control non-spiked soils were 19.8 ± 1.4 , 14.9 ± 0.9 , and 17.8 ± 1.8 mg mL^{-1} , respectively (Table 3). The chlorophyll a and total chlorophyll contents of cucumber grown alone and together with sweet corn or cowpea in endosulfan-sulfate spiked soil were significantly lower than corresponding values in control cucumber plants grown in non-spiked soil, although the decrease was not as drastic as that seen for chlorophyll b (Table 3).

In contrast to sweet corn and cucumber, endosulfan sulfate appeared not to affect the chlorophyll contents of cowpea leaves irrespective of whether the plant was cultivated alone or together with another plants. In fact, on day 60, the leaf chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll contents of cowpea grown in endosulfan sulfate-spiked soil was generally higher than those of controls grown in non-spiked soil (Table 3).

3.4 Removal of Endosulfan Sulfate from Soil by Single Plant Cultivation

The percentages of endosulfan sulfate remaining in soils cultivated with individual plants are shown in Table 4. In general, the amount of endosulfan sulfate in the

Table 2 Root length, root fresh weight, and root dried weight of sweet corn, cucumber, and cowpea grown in endosulfan sulfate-contaminated and non-contaminated soil for 60 days

Plant	Day 25			Day 45			Day 60		
	Root length (cm)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)	Root length (cm)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)	Root length (cm)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
Sweet corn (SC)									
SC	4.4±1.9a	0.15±0.1a	0.10±0.0a	8.2±0.6bc	0.16±0.0a	0.02±0.0ab	9.5±1.4b	0.19±0.0a	0.02±0.0b
SC + CU	4.5±0.1a	0.09±0.0a	0.009±0.0c	9.6±0.1bc	0.20±0.0a	0.02±0.0ab	10.2±0.4b	0.23±0.0a	0.03±0.0b
SC + CP	8.7±4.4a	0.08±0.2a	0.008±0.0c	9.6±0.2bc	0.06±0.0a	0.01±0.0b	10.4±0.1b	0.23±0.0a	0.03±0.0b
SC + EDSS	5.9±3.8a	0.11±0.0a	0.02±0.0bc	3.5±0.7c	0.06±0.0a	0.008±0.0b	1.8±1.2c	0.04±0.0b	0.0008±0.0b
SC + CU + EDSS	7.3±3.8a	0.23±0.1a	0.07±0.0ab	21.8±12.1ab	0.68±0.6a	0.20±0.1a	4.0±1.4c	0.08±0.0b	0.0008±0.0b
SC + CP + EDSS	9.2±4.8a	0.20±0.0a	0.03±0.0bc	26.6±6.6a	0.47±0.1a	0.16±0.0ab	15.9±1.4a	0.30±0.0a	0.08±0.0a
Cucumber (CU)									
CU	8.2±4.3a	0.01±0.0b	0.0009±0.0a	7.6±1.9ab	0.03±0.0a	0.003±0.0a	4.8±1.0b	0.02±0.0b	0.004±0.0a
CU + SC	4.07±2.0a	0.03±0.0b	0.002±0.0a	4.40±0.2b	0.03±0.0a	0.005±0.0a	4.2±1.8b	0.03±0.0b	0.004±0.0a
CU + CP	4.6±2.4a	0.02±0.0b	0.002±0.0a	9.70±0.1a	0.03±0.0a	0.003±0.0a	9.8±2.8a	0.06±0.0a	0.004±0.0a
CU + EDSS	4.1±0.9a	0.02±0.0b	0.001±0.0a	6.6±0.8b	BD	BD	NA	NA	NA
CU + SC + EDSS	5.9±3.6a	0.09±0.0a	0.006±0.0a	4.0±1.4b	0.03±0.0a	BD	NA	NA	NA
CU + CP + EDSS	2.6±2.1a	0.01±0.0b	BD	7.1±0.0ab	BD	BD	NA	NA	NA
Cowpea (CP)									
CP	7.6±4.7a	0.18±0.2a	0.03±0.0ab	7.7±2.3a	0.53±0.1a	0.16±0.0ab	12.0±8.0a	0.23±0.1a	0.03±0.0a
CP + SC	5.2±2.0a	0.09±0.0ab	0.01±0.0ab	7.6±2.2a	0.49±0.0a	0.15±0.0ab	13.0±7.3a	0.17±0.0a	0.02±0.0a
CP + CU	5.3±3.2a	0.06±0.0b	0.009±0.0b	7.7±0.9a	0.53±0.0a	0.16±0.0ab	7.0±1.8a	0.14±0.0a	0.02±0.0a
CP + EDSS	2.4±2.2a	0.06±0.0b	0.02±0.0ab	13.0±1.0a	0.61±0.0a	0.18±0.0a	6.0±3.1a	0.25±0.1a	0.07±0.0a
CP + SC + EDSS	11.8±5.9a	0.32±0.1a	0.07±0.0a	5.9±1.6a	0.41±0.1a	0.12±0.0b	9.5±5.1a	0.50±0.3a	0.08±0.1a
CP + CU + EDSS	7.8±2.6a	0.22±0.1a	0.05±0.0ab	10.6±5.7a	0.47±0.1a	0.13±0.0ab	5.8±1.8a	0.30±0.2a	0.05±0.2a

Different lower case letters denote significant difference ($P<0.05$) between the same plant in the same column

SC sweet corn, CU cucumber, CP cowpea, EDSS endosulfan-sulfate, NA not available because the plant died, BD below detection limit

Table 3 Chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll of sweet corn, cucumber, and cowpea grown in endosulfan sulfate-contaminated and non-contaminated soil for 60 days

Plant	Day 25			Day 45			Day 60		
	Chlorophyll a (mg/ml)	Chlorophyll b (mg/ml)	Total chlorophyll (mg/ml)	Chlorophyll a (mg/ml)	Chlorophyll b (mg/ml)	Total chlorophyll (mg/ml)	Chlorophyll a (mg/ml)	Chlorophyll b (mg/ml)	Total chlorophyll (mg/ml)
Sweet corn (SC)									
SC	21.8±0.8a	26.1±11.3a	49.1±10.6ab	16.3±0.7b	14.2±0.1ab	31.3±0.8ab	16.1±0.6a	14.2±1.0a	31.2±0.4a
SC + CU	21.6±0.0ab	20.1±0.0a	42.8±0.0ab	17.7±3.4ab	16.1±3.5ab	34.7±7.0ab	13.4±3.9ab	15.2±2.0a	29.4±2.1a
SC + CP	14.8±5.4b	11.2±7.5a	26.8±13.1b	16.8±4.6b	8.1±3.8b	25.7±8.3b	15.4±0.4a	13.8±1.3a	30.0±1.8a
SC + EDSS	21.7±0.1a	24.2±5.7a	47.1±5.6ab	22.1±0.8ab	18.3±3.0a	41.6±3.7ab	9.1±0.0b	5.2±0.1b	14.8±0.0b
SC + CU + EDSS	22.9±1.3a	34.8±1.7a	59.0±3.1a	24.5±2.8a	17.3±4.8ab	43.1±7.7a	9.2±0.0b	5.1±0.1b	14.8±0.1b
SC + CP + EDSS	23.7±1.0a	26.6±14.0a	51.5±13.1ab	22.5±0.2ab	18.2±2.9a	41.9±2.9ab	9.2±0.0b	5.1±0.1b	14.8±0.0b
Cucumber (CU)									
CU	24.0±1.7ab	26.7±17.4ab	52.0±15.8ab	11.6±0.3ab	19.8±1.4a	32.1±1.4a	11.6±0.2b	21.1±0.4a	32.0±0.9b
CU + SC	21.3±0.2ab	32.3±2.6a	54.8±2.5a	11.9±0.1ab	14.9±0.9b	27.5±1.0a	11.8±0.2b	15.2±0.9a	27.7±0.7c
CU + CP	21.3±0.3ab	27.9±6.0ab	50.4±5.8ab	16.7±2.0a	17.8±1.8ab	35.4±4.0a	16.2±2.1a	18.5±2.4a	35.6±0.6a
CU + EDSS	23.3±1.5ab	14.7±3.9ab	39.3±2.4ab	7.2±2.5b	1.6±1.2d	9.1±3.9b	NA	NA	NA
CU + SC + EDSS	19.3±2.8b	5.8±3.8b	26.1±5.7b	8.8±0.7b	5.3±0.2c	14.5±0.6b	NA	NA	NA
CU + CP + EDSS	24.2±0.0a	6.7±0.0b	32.2±0.0b	5.9±3.9b	2.0±1.9c	8.2±6.0b	NA	NA	NA
Cowpea (CP)									
CP	21.9±0.6ab	17.2±11.4a	40.3±11.7a	21.9±0.2a	30.4±1.8a	53.6±1.7a	13.1±4.7b	17.7±1.0b	31.6±4.2b
CP + SC	17.5±2.6b	13.7±7.0a	32.1±9.6a	21.6±0.5a	29.8±2.8a	52.6±2.8a	15.1±3.8ab	16.8±2.7b	32.7±4.1b
CP + CU	20.0±0.5ab	20.5±9.1a	41.7±9.7a	21.9±0.4a	30.4±4.2a	53.6±3.8a	10.3±0.2b	18.7±0.4b	27.7±0.9b
CP + EDSS	20.1±2.3ab	19.7±12.9a	40.6±15.4a	21.9±0.1a	22.3±8.2a	45.4±8.2a	21.3±0.2a	34.3±0.1a	56.8±0.1a
CP + SC + EDSS	21.4±2.0ab	18.2±6.5a	40.8±7.0a	22.3±0.5a	24.8±4.0a	48.3±3.5a	21.0±0.0ab	35.2±0.2a	57.4±0.2a
CP + CU + EDSS	23.8±1.6a	25.5±7.3a	50.6±9.0a	21.6±0.1a	19.4±1.4a	42.2±1.6a	21.3±0.1a	36.0±0.2a	58.6±0.1a

Different lower case letters denote significant difference ($P<0.05$) between the same plant in the same column
 SC sweet corn, CU cucumber, CP cowpea, EDSS endosulfan-sulfate, NA not available because the plant died

Table 4 Percentages of endosulfan sulfate remaining in soil grown with sweet corn, cucumber, and cowpea individually or in pairs in endosulfan sulfate-spiked soil

Plant	% of endosulfan sulfate remaining		
	Day 25	Day 45	Day 60
Sweet corn			
Rhizospheric soil	14.5±2.0e*	11.7±1.1e*	11.3±0.9d*
Bulk soil	31.0±14.9d*	27.9±6.6de*	27.2±6.6 cd*
Cucumber			
Rhizospheric soil	85.6±8.7ab	30.3±8.2de*	NA
Bulk soil	78.9±8.8b*	80.0±10.3b*	NA
Cowpea			
Rhizospheric soil	50.6±11.1c*	38.8±17.2d*	31.4±5.3c*
Bulk soil	72.6±4.5b*	63.1±6.3c*	46.8±7.0c*
Sweet corn+cucumber			
Rhizospheric soil of SC	90.1±6.2ab	70.6±0.5bc*	62.9±7.3b*
Rhizospheric soil of CU	86.6±15.0ab	54.1±4.5 cd*	NA
Bulk soil	83.1±1.6ab*	69.4±13.0bc*	63.2±6.9b*
Sweet corn + cowpea			
Rhizospheric soil of SC	91.4±24.6ab	47.4±4.9 cd*	41.7±11.2c*
Rhizospheric soil of CP	89.5±20.8ab	52.3±7.6 cd*	52.3±9.8bc*
Bulk soil	98.4±11.5a	100.6±9.6a	56.1±13.3bc*
Cucumber + cowpea			
Rhizospheric soil of CU	73.9±12.5b*	55.7±8.3c*	NA
Rhizospheric soil of CP	79.1±8.8b*	69.5±2.9bc*	49.4±7.2bc*
Bulk soil	90.7±24.7ab	90.8±16.8ab	80.0±1.8a*
Control (no plant)	98.2±5.0a	98.3±5.6a	85.4±9.4a

The initial concentration of endosulfan sulfate was 71.3 mg/kg. Different lower case letters show significant difference ($P<0.05$) between treatments on the same day

*Shows significant difference between the amounts of endosulfan sulfate remaining compared to the values on day 0 for each treatment

NA not available because the plant died

rhizospheric soil was lower than that in the bulk soil for all plants. In the rhizospheric soil, the extent of endosulfan sulfate removal was the highest by sweet corn (88.7 % on day 60), followed by cowpea (68.6 % on day 60), and then cucumber (69.7 % on day 45) (Table 4). In the bulk soil, the extent of endosulfan sulfate removal was 27.2 (on day 60), 46.8 (on day 60), and 80.0 % (on day 45) for sweet corn, cowpea, and cucumber, respectively. Thus, sweet corn was the most efficient plant for removing endosulfan sulfate from soil. In the unplanted controls, endosulfan sulfate concentration remained largely unchanged for 45 days but then decreased to 85.4 % remaining on day 60 (Table 4).

3.5 Removal of Endosulfan Sulfate from Soil by Mixed Plant Cultivation

Endosulfan sulfate was removed to a lesser extent from soil when two different plant species were grown together as compared to single plant cultivation (Table 4). The reason for this is unknown. The greatest extent of endosulfan sulfate removal was found in mixed cropping of sweet corn and cowpea. On day 60, the percentages of endosulfan sulfate remaining in the rhizospheric soil of sweet corn, cowpea, and their bulk soil were 41.7±11.2, 52.3±9.8, and 56.1±13.3 %, respectively (Table 4). Good endosulfan sulfate removal

(about 50.6 %) was also seen on day 60 in the rhizosphere of cowpea when this plant was grown together with cucumber. As with single plant cultivation, greater amount of endosulfan sulfate was removed in the rhizospheric soil than bulk soil in mixed plant pots. On day 60, the highest removal of endosulfan sulfate from the bulk soil was seen in pots containing sweet corn and cowpea (44 % removal), followed by sweet corn and cucumber (36.8 % removal), and then cucumber and cowpea (20 %) (Table 4).

3.6 Concentration of Endosulfan Sulfate in Plant Tissues

Table 5 summarizes the concentrations of endosulfan sulfate in shoots and roots of plants. The amounts seen are very low, with the highest amount of 34.4 µg detected in the root of cucumber grown together with sweet corn. In general, higher concentrations were detected in plant tissues at 25 days. On longer cultivation, fewer and fewer tissues show any presence of endosulfan sulfate accumulation.

4 Discussion

To our knowledge, this is the first report which investigated the effect of different planting schemes on the removal of endosulfan sulfate from soil. Planting of sweet corn, cowpea, and cucumber either alone or in combination was effective at removing endosulfan sulfate from contaminated soil to a greater extent compared to the unplanted control. Based on the results, sweet corn is a suitable candidate for phytoremediation of soils contaminated with endosulfan sulfate. First, endosulfan sulfate was removed to a large extent in the rhizospheric and bulk soil of sweet corn cultivated alone. Second, growth of sweet corn in the presence of another plant was normal. The shoot and root of sweet corn grew relatively well when the plant was grown with cucumber and cowpea. Cowpea also tolerated endosulfan sulfate well based on shoot and root characteristics, but it was less efficient at removing endosulfan sulfate from soils than sweet corn when it was cultivated either alone or together with another plants.

The presence of plants significantly enhanced endosulfan sulfate removal from soils compared to unplanted control. Cultivation of sweet corn alone in spiked soil was the most effective treatment in removing

Table 5 Concentrations of endosulfan sulfate in shoot and root of sweet corn, cucumber, and cowpea grown in endosulfan sulfate-contaminated soil for 25 days

Plant tissues	Amount accumulation (µg/plant shoot or µg/plant root)
Sweet corn shoot	
SC	BD
SC + CU	4.4±0.0a
SC + CP	BD
Cucumber shoot	
CU	14.3±8.1a
CU + SC	10.5±4.0a
CU + CP	BD
Cowpea shoot	
CP	18.1±1.1a
CP + SC	BD
CP + CU	20.3±2.2a
Sweet corn root	
SC	BD
SC + CU	0.2±0.0c
SC + CP	16.3±5.5bc
Cucumber root	
CU	17.0±5.9abc
CU + SC	34.4±11.0a
CU + CP	BD
Cowpea root	
CP	22.6±3.1ab
CP + SC	17.1±5.5abc
CP + CU	8.1±3.7bc

Different lower case letters denote significant difference ($P < 0.05$) between the same plant on the same day

SC sweet corn, CU cucumber, CP cowpea, NA not available because the plant died, BD below detection limit at 0.2 µg/plant

endosulfan sulfate from soil. While some endosulfan sulfate was detected in some plant tissues during this study, the amount found was so low as to be insignificant. The accumulation of organochlorine compounds by plants in the Poaceae family has been reported. For example, *Avena sativa* L. could accumulate HCH in both root and leaf tissues when planted at a contaminated site in Galicia (NW), Spain where the total concentration of HCH in soil was about 20,000 mg kg⁻¹. About 24 and 32 mg kg⁻¹ of HCH were detected in the plant roots and leaves, respectively (Calvelo Pereira et al. 2006). In another study, *Phragmites australis* was reported to accumulate 1,4-dichlorobenzene, 1,2,4-

trichlorobenzene, and γ -HCH with bioconcentration factors of 14, 19, and 15, respectively, after 7 days of exposure under hydroponic conditions (Miguel et al. 2013). Plants belonging to the Cucurbitaceae family have also been reported to accumulate various organic pollutants such as PAHs, PCBs, DDT, DDE, and heptachlor epoxide (Campbell et al. 2009; Inui et al. 2008; Kobayashi et al. 2008; Otani and Seike 2007; Parrish et al. 2006; Whitfield-Åuslund et al. 2007; 2010). However, given the small amounts reported, the significance of bioaccumulation as a mechanism of organic compound removal by plants is very limited.

It is known that plant-rhizosphere interaction is important for the bioremediation of organic chemicals. Sweet corn belongs to the grass variety and seems to be the most suitable plant for phytoremediation of endosulfan sulfate-contaminated soil in this study. The fibrous and highly branched root system of grasses may host a large number of competent microorganisms which are fed in part by the plant exudates and root lysates. These compounds are known to stimulate the survival and activity of microorganisms to degrade pollutants (Gaskin et al. 2008; Kidd et al. 2008; Korade and Fulekar 2009). In one study, vetiver grass (*Vetiver zizanioides*) was reported to enhance the removal of (α + β) endosulfan from soils at a cotton farm in Burkina Faso. Three months after treatment, planted soils contained less endosulfan residues (<0.12 – 0.39 mg kg⁻¹) than unplanted soils (0.057 – 1.07 mg kg⁻¹) (Abaga et al. 2014). The half-life of endosulfan was higher in unplanted soils (42 days on average) compared to the rhizospheric soils of vetiver (33 days on average). The authors attributed this to the possibly higher number of endosulfan degraders in planted soils (Abaga et al. 2014).

Plant-assisted removal of endosulfan sulfate from soil in this study was likely due to phytostimulation. This mechanism has been successfully used to decontaminate other persistent organic pollutants. For example, vegetation of white clover (*Trifolium repens* L.) in dibenzofuran-contaminated soil significantly increased the removal of this contaminant from soil. Dibenzofuran concentration decreased from an initial 1,000 to 333 mg kg⁻¹ after 60 days in soil planted with white clover. In comparison, dibenzofuran concentration decreased to only 800 mg kg⁻¹ in unplanted soil. The highest number of dibenzofuran-degrading microorganisms was detected around the rhizosphere of white clover (Wang and Oyaizu 2009). The removal of PCB was

also enhanced by the presence of alfalfa. An average of 36 % decrease in PCB levels from an initial concentration of about 414–498 μ g kg⁻¹ was observed in the rhizosphere of alfalfa compared to 5.4 % decrease in unplanted soil (Xu et al. 2010).

In this study, cocultivation of plants did not further enhance endosulfan sulfate removal from soil as compared to single plant cultivation. Combined plant cultivation has been reported to promote the rate and extent of degradation of other organic pollutants. For example, naphthalene and fluorene were degraded to a greater extent in soil planted with *Eluesine coracana* and *Brachiaria serrata* as compared to treatment with single plant and unplanted control soil. Naphthalene concentration was undetected in the mixed cropping pot compared to 96 % removal in single plant cultivation and 63 % in the unplanted control. Fluorene concentration decreased by 96 % in mixed plant cropping compared to 81 % reduction in single cropping with *E. coracana* and 47 % reduction in control treatment (Maila et al. 2005). In another study, mixed cropping of rape and alfalfa significantly increased the remediation of phenanthrene and pyrene in soils compared to single plant cultivation. About 74.9 % of phenanthrene and 62.8 % of pyrene were removed by cocultivation of rape and alfalfa, and about 72.0 % and 68.4 % were removed by cocultivation of rape and white clover after 70 days of cultivation. In contrast, single plant cultivation removed about 38.8–41.5 % and 33.7–36.3 % of phenanthrene and pyrene, respectively (Wei and Pan 2010). In this study, mixed plant cropping led to reduced efficiency in removing endosulfan sulfate from soil, as compared to single plant cropping. The reason for this is not known and remains to be investigated.

Acknowledgment The authors acknowledge financial support from the Thailand Research Fund, Office of the Higher Education Commission and Mahasarakham University (Grant No. MRG5480030).

References

- Abaga, N. O. Z., Dousset, S., Munier-Lamy, C., & Billet, D. (2014). Effectiveness of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* L. nash) for phytoremediation of endosulfan in two cotton soils from Burkina Faso. *International Journal of Phytoremediation*, 16, 95–108.

- Awasthi, N., Ahuja, R., & Kumar, A. (2000). Factors influencing the degradation of soil applied endosulfan isomers. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(11–12), 1697–1705.
- Bhalerao, T. S., & Puranik, P. R. (2007). Biodegradation of organochlorine pesticide, endosulfan, by a fungal soil isolate, *Aspergillus niger*. *International Journal of Biodeterioration and Biodegradation*, 59, 315–321.
- Boonyatumanond, R., Jaksakul, A., Punchaen, P., & Tabucanon, M. S. (2002). Monitoring of organochlorine pesticides residues in green mussels (*Perna viridis*) from the coastal area of Thailand. *Environmental Pollution*, 119, 245–252.
- Calvelo Pereira, R., Camps-Arbestain, M., Garrido, B. R., Macías, F., & Monterroso, C. (2006). Behavior of α -, β -, γ -, and δ -hexachlorocyclohexane in the soil-plant system of a contaminated site. *Environmental Pollution*, 144, 210–217.
- Campbell, S., Arakaki, A. S., & Li, Q. X. (2009). Phytoremediation of heptachlor and heptachlor epoxide in soil by Cucurbitaceae. *International Journal of Phytoremediation*, 11, 28–38.
- Castillo, J. M., Casas, J., & Romero, E. (2011). Isolation of an endosulfan-degrading bacterium from a coffee farm soil: persistence and inhibitory effect on its biological functions. *Science of the Total Environment*, 412–413, 20–27.
- Chouychai, W., Tongkukiatkul, A., Upatham, S., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M., & Lee, H. (2012). Effect of corn plant on survival and phenanthrene degradation capacity of *Pseudomonas* sp. UG14Lr in two soils. *International Journal of Phytoremediation*, 14(6), 585–595.
- Doong, R.-A., Peng, C.-K., Sun, Y.-C., & Liao, P.-L. (2002). Composition and distribution of organochlorine pesticides residues in surface sediments from the Wu-Shi River estuary, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*, 45, 246–253.
- Fan, S., Li, P., Gong, Z., Ren, W., & He, N. (2008). Promotion of pyrene degradation in rhizosphere of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Chemosphere*, 71, 1593–1598.
- Gaskin, S., Soole, K., & Bentham, R. (2008). Screening of Australian native grasses for rhizoremediation of aliphatic hydrocarbon-contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 10, 378–389.
- Huang, X.-D., El-Alawi, Y., Penrose, D. M., Glick, B. R., & Greenberg, B. M. (2004). Response of three grass species to creosote during phytoremediation. *Environmental Pollution*, 130, 453–463.
- Inui, H., Wakai, T., Gion, K., Kim, Y.-S., & Eun, H. (2008). Differential uptake of dioxin-like compounds by zucchini subspecies. *Chemosphere*, 73, 1602–1607.
- Jidere, C. M., Akamigbo, F. O. R., & Ugwuanyi, J. O. (2012). Phytoremediation potentials of cowpea (*Vigna unguiculata*) and maize (*Zea mays*) for hydrocarbon degradation in organic and inorganic manure-amended tropical typical paleusts. *International Journal of Phytoremediation*, 14, 362–373.
- Joseph, R., Reed, S., Jayachandran, K., Clark-Cuadrado, C., & Dunn, C. (2010). Endosulfan has no adverse effect on soil respiration. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 138, 181–188.
- Kamei, I., Takagi, K., & Kondo, R. (2011). Degradation of endosulfan and endosulfan sulfate by white-rot fungus *Tremetes hirsute*. *Journal of Wood Science*, 57, 317–322.
- Kataoka, R., & Takagi, K. (2013). Biodegradability and biodegradation pathways of endosulfan and endosulfan sulfate. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(8), 3285–3292.
- Kataoka, R., Takagi, K., & Sakakibara, F. (2011). Biodegradation of endosulfan by *Mortierella* sp. W8 in soil: influence of different substrates on biodegradation. *Chemosphere*, 85, 548–552.
- Kathpal, T. S., Singh, A., Dhankhar, J. S., & Singh, G. (1997). Fate of endosulfan in cotton soil under sub-tropical conditions of Northern India. *Pesticide Science*, 50, 21–27.
- Kidd, P. S., Prieto-Fernández, A., Monterroso, C., & Acea, M. J. (2008). Rhizosphere microbial community and hexachlorocyclohexane degradative potential in contrasting plant species. *Plant and Soil*, 302, 233–247.
- Kobayashi, T., Navarro, R. R., Tatsumi, K., & Iimura, Y. (2008). Influence of compost amendment on pyrene availability from artificially spiked soils to two subspecies of *Cucurbita pepo*. *Science of the Total Environment*, 404, 1–9.
- Korade, D. L., & Fulekar, M. H. (2009). Rhizosphere remediation of chlorpyrifos in mycorrhizospheric soil using ryegrass. *Journal of Hazardous Materials*, 172, 1344–1350.
- Kwon, G.-S., Sohn, H.-Y., Shin, K.-S., Kim, E., & Seo, B.-I. (2005). Biodegradation of the organochlorine insecticide, endosulfan, and the toxic metabolite, endosulfan sulfate, by *Klebsiella oxytoca* KE-8. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 67, 845–850.
- Lee, S.-H., Lee, W.-S., Lee, C.-H., & Kim, J.-G. (2008). Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. *Journal of Hazardous Materials*, 153, 892–898.
- Li, H., Sheng, G., Sheng, W., & Xu, O. (2002). Uptake of trifluralin and lindane from water by ryegrass. *Chemosphere*, 48, 355–341.
- Macková, M., Vrchotová, B., Francová, K., Sylvestre, M., Tomaniová, M., Lovecká, P., et al. (2007). Biotransformation of PCBs by plants and bacteria - consequences of plant-microbe interactions. *European Journal of Soil Biology*, 43, 233–241.
- Maila, M. P., Randima, P., & Cloete, T. E. (2005). Multispecies and monoculture rhizoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from the soil. *International Journal of Phytoremediation*, 7, 87–98.
- Matsumoto, E., Kawanaka, Y., Yun, S.-J., & Oyaizu, H. (2009). Bioremediation of the organochlorine pesticides, dieldrin and endrin, and their occurrence in the environment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 84, 205–216.
- Migueal, A. S., Ravanel, P., & Raveton, M. (2013). A comparative study on the uptake and translocation of organochlorine by *Phragmites australis*. *Journal of Hazardous Materials*, 244–245, 60–69.
- Mitton, F. M., Gonzalez, M., Peña, A., & Miglioranza, K. S. B. (2012). Effects of amendments on soil availability and phytoremediation potential of aged *p,p*-DDT, *p,p*-DDE and *p,p*-DDD residues by willow plants (*Salix* sp.). *Journal of Hazardous Materials*, 203–204, 62–68.
- Otani, T., & Seike, N. (2007). Rootstock control of fruit dieldrin concentration in grafted cucumber (*Cucurmis sativus*). *Journal of Pesticides Science*, 32(3), 235–242.
- Pan, S.-w., Wei, S.-q., Xin, Y., & Cao, S.-x. (2008). The removal and remediation of phenanthrene and pyrene in soil by mixed cropping of alfalfa and rape. *Agricultural Sciences in China*, 7(11), 1355–1364.
- Parrish, Z. D., White, J. C., Isleyen, M., Gent, M. P. N., Iannucci-Berger, W., Eiter, B. D., et al. (2006). Accumulation of

- weathered polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by plant and earthworm species. *Chemosphere*, 64, 609–618.
- Pilon-Smith, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15–39.
- Poolpak, T., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M., Arjarasirikoon, U., & Thanwaniwat, N. (2008). Residue analysis of organochlorine pesticides in the Mae Klong river of Central Thailand. *Journal of Hazardous Materials*, 156, 230–239.
- Ramírez-Sandoval, M., Melchor-Partida, G. N., Muñoz-Hernández, S., Girón-Pérez, M. I., Rojas-García, A. E., Medina-Díaz, I. M., et al. (2011). Phytoremediatory effect and growth of two species of *Ocimum* in endosulfan polluted soil. *Journal of Hazardous Materials*, 192, 388–392.
- Rao, D. M. R., & Murty, A. S. (1980). Persistence of endosulfan in soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28, 1099–1101.
- Srivilas, P., & Jaidee, K. (2006). Organochlorine pesticide in sediment from the east coast of Thailand. *Burapha Science Journal*, 11, 26–39 (In Thai with English abstract).
- Stewart, D. K. R., & Cairns, K. G. (1974). Endosulfan persistence in soil and uptake by potato tubers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 22, 984–986.
- Sumith, J. A., Parkpian, P., & Leadprathom, N. (2009). Dredging influenced sediment toxicity of endosulfan and lindane on black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) in Chanthaburi River estuary in Thailand. *International Journal of Sediment Research*, 24, 455–464.
- Suresh, B., Sherkhane, P. D., Kale, S., Eapen, S., & Ravishanker, G. A. (2005). Uptake and degradation of DDT by hairy root cultures of *Cichorium intybus* and *Brassica juncea*. *Chemosphere*, 61, 1288–1292.
- Wang, Y., & Oyaizu, H. (2009). Evaluation of the phytoremediation potential of four plant species for dibenzofuran-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 168, 760–764.
- Wang, W., Meng, B., Lu, X., Liu, Y., & Tao, S. (2007). Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides from soils: a comparison between Soxhlet extraction, microwave-assisted extraction and accelerated solvent extraction techniques. *Analytica Chimica Acta*, 602, 211–222.
- Weber, J., Halsall, C. J., Muir, D., Teixeira, C., Small, J., Solomon, K., et al. (2010). Endosulfan, a global pesticide: a review of its fate in the environment and occurrence in the Arctic. *Science of the Total Environment*, 408, 2966–2984.
- Wei, S., & Pan, S. (2010). Phytoremediation for soils contaminated by phenanthrene and pyrene with multiple plant species. *Journal of Soils and Sediments*, 10, 886–894.
- Whitfield-Åslund, M. L. W., Zeeb, B. A., Rutter, A., & Reimer, K. J. (2007). *In situ* phytoextraction of polychlorinated biphenyl-(PCB) contaminated soil. *Science of the Total Environment*, 374, 1–12.
- Whitfield-Åslund, M. L. W., Lunney, A. L., Rutter, A., & Zeeb, B. A. (2010). Effects of amendments on the uptake and distribution of DDT in *Cucurbita pepo* spp. *pepo* plants. *Environmental Pollution*, 158, 508–513.
- Xu, S. Y., Chen, Y. X., Wu, W. X., Wang, K. X., Lin, Q., & Liang, X. Q. (2006). Enhanced dissipation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by combined plant cultivation. *Science of the Total Environment*, 363, 206–215.
- Xu, L., Teng, Y., Li, Z.-G., Norton, J. M., & Luo, Y.-M. (2010). Enhanced removal of polychlorinated biphenyls from alfalfa rhizosphere soil in a field study: the impact of rhizobial inoculum. *Science of the Total Environment*, 408, 1007–1013. <http://chm.pops.int/Convention/Media/Pressreleases/Widelyusedpesticideendosulfanphaseout/tabid/2216/language/en-US/Default.aspx>. Accessed 9 Jun 2013.

TRIVENI ENTERPRISES

Journal of Environmental Biology

(An international research journal of Environmental Sciences & Toxicology)

Mrs. Kiran Dalela
Proprietor & Publisher
Journal of Environmental Biology



Regd. office
1/206, Vikas Nagar
Lucknow - 226 022 (India)

Acceptance Letter

Dated: October 5, 2013

Manuscript Number	MRN/ 215
Manuscript Title	Effect of Alpha-Naphthalene Acetic Acid and Thidiazuron on Seedling of Economic Crops Grown in Endosulfan Sulfate-Spiked Sand.
Manuscript Author(s)	Khanitta Somtrakoon and Maleeya Kruatrachue

Dear Dr. Khanitta

I am pleased to inform you that as per the recommendations of the review-panel, your above-mentioned manuscript has been **accepted** for publication in *Journal of Environmental Biology* and is expected to be published in Volume 35 (2014).

Please note the following points, and ensure compliance:

- 1) Page Fee will be paid by the authors. The invoice would be sent along with Page Proofs to the corresponding author.
- 2) Page Proofs of your paper will also be sent to you for minor corrections and approval
- 3) Provide us with your E-mail ID for future correspondence
- 4) Provide complete postal address with correct postal-code
- 5) The corresponding author would receive a PDF of the published paper and a complimentary copy of the Journal with the published paper
- 6) If paper is found with plagiarism content after the release of Acceptance Letter, it will not be published in the Journal.

It is recommended that you cite this and other published works from *Journal of Environmental Biology* (visit [website : jeb.co.in](http://www.jeb.co.in)) in your papers under writing for publication to other Journals.

I thank you for choosing *Journal of Environmental Biology* for the publication of your research. The Journal would add significant value in the dissemination of your research across the scientific community globally.

To,
Dr. Khanitta Somtrakoon,
Department of Biology,
Faculty of Science,
Mahasarakham University,
Mahasarakham, Thailand 44150.

Sincerely Yours,

R.C. Dalela
Editor - in- Chief
Journal of Environmental Biology

On the computerized letter no signatures are required for authentication.

Publisher: Mrs. Kiran Dalela

Editor-in-Chief: Dr. R.C. Dalela

Telephone: +91 522 4017359; E-mail: editor@jeb.co.in, website: www.jeb.co.in

1 **Effect of Alpha-Naphthalene Acetic Acid and Thidiazuron on Seedling of Economic Crops**
2 **Grown in Endosulfan Sulfate-Spiked Sand**

3
4 Khanitta Somtrakoon^{1*} and Maleeya Kruatrachue²

5
6 ¹Department of Biology, Faculty of Science, Mahasakham University, Kantharawichai,
7 Mahasarakham, THAILAND, 44150

8 ²Department of Biology, Faculty of Science, Mahidol University, Rama VI Road, Bangkok,
9 THAILAND, 10400

10
11 **Short Title: Effect of NAA and TDZ on Seedling Growing on Endosulfan Sulfate-Spiked Sand**

12
13 *Corresponding Author:

14 Khanitta Somtrakoon, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University,
15 Mahasarakham Thailand 44150. E-mail: skhanitta@hotmail.com. Telephone: +66 43 754245 ext.
16 1163. Fax. +66 43 754245 ext. 1120

17

18 There are 5 figures in this manuscript

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1 **Effect of Alpha-Naphthalene Acetic Acid and Thidiazuron on Seedling of Economic Crops**

2 **Grown in Endosulfan Sulfate-Spiked Sand**

3 **Abstract:** The effect of two plant growth regulators, alpha-naphthalene acetic acid (NAA) and
 4 thidiazuron (TDZ) on the growth of sweet corn (*Zea mays*), cowpea (*Vigna sinensis*) and cucumber
 5 (*Cucurmis sativus*) seedling planted in 1-100 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate spiked sand was
 6 investigated. Endosulfan sulfate had no apparent toxicity as seedlings of these crop plants grew
 7 normally in endosulfan sulfate spiked sand. Concentration of endosulfan sulfate in sand affected the
 8 response of seedling to induction by NAA or TDZ. Induction of crop seeds by NAA or TDZ did not
 9 promote growth of sweet corn, cowpea and cucumber to an appreciable extent. Both plant
 10 regulators at concentration of 10 mg l⁻¹ seemed to exert adverse effect on crop seedling. TDZ
 11 decreased shoot length, root length and chlorophyll contents in leaves of sweet corn and cowpea
 12 growing in endosulfan sulfate spiked sand. In contrast, NAA was not toxic and promoted growth of
 13 sweet corn and cowpea seedling. However, cucumber was affected by NAA and TDZ more than
 14 other plants. TDZ significantly decreased biomass and root length of cucumber. Also, NAA
 15 significantly decrease cucumber root length and tended to increase cucumber root dried weight
 16 when grown in 100 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate spiked sand.

17 **Keywords:** Alpha-naphthalene acetic acid, Corn, Cowpea, Cucumber, Endosulfan sulfate,
 18 Phytotoxicity, Thidiazuron

19 **Introduction**

20 Endosulfan is included in the POP Review Committee of the Stockholm Convention as one
 21 of the persistent organic pollutants in 2011. It is a broad spectrum organochlorine pesticide which
 22 has been used extensively worldwide for over 30 years to control insect in cotton, rice, sorghum,
 23 vegetables and fruits (Becker *et al.*, 2011; Gangwar *et al.*, 2011; Kataoka *et al.*, 2011; Kumar *et al.*,
 24 2008). Endosulfan is toxic to insects, fish and aquatic invertebrates (Paul and Balasubramanian,
 25 1997; Sharma *et al.*, 2011; Wirth *et al.*, 2001). It has been shown to exert gonadal toxicity,

1 genotoxicity, and neurotoxicity and disrupt endocrine function in mammals (Coimbra *et al.*, 2005;
 2 Silva and Beauvais, 2010). The main metabolite produced by microbial transformation of
 3 endosulfan is endosulfan sulfate which is as toxic as the parent compound, but less biodegradable
 4 and hence more persistent than the parent compound (Weber *et al.*, 2010). This metabolite has been
 5 detected together with endosulfan adjacent to agricultural areas and remote locations from the
 6 application source in Thailand (Poolpak *et al.*, 2008; Sergiev *et al.*, 2006;).

7 The presence of toxic persistent compounds in soils and sediments is of considerable
 8 environmental concern because of increasing opportunity for exposure to these pollutants by living
 9 organisms (Su *et al.*, 2009; Weber *et al.*, 2010). The toxicity of organochlorine compounds to plants
 10 has been widely reported. For example, the rate of monocotyledon germination was retarded in the
 11 presence of lindane. Biomass of brassicaceae plant increased when grown in lindane contaminated
 12 soil (Calveno Pereira *et al.*, 2009). Vidyasager *et al.* (2009) found that endosulfan significant
 13 decreased the percent of seed germination, shoot length, root length and biomass in *Sorghum*
 14 *bicolor* L. The combination of lindane, monochlorobenzene, 1,4-dichlorobenzene and 1,2,4-
 15 trichlorobenzene exerted a synergistic toxic effect on *Phragmites australis* and this led a 70%
 16 reduction in chlorophyll concentration (Faure *et al.*, 2012).

17 Various plant growth regulators have been reported to alleviate toxicity of heavy metals,
 18 polycyclic aromatic hydrocarbons and glyphosate to plants (Sergiev *et al.*, 2006; Ahammed *et al.*
 19 2012; Du *et al.*, 2011; Piotrowska-Niczyporuk *et al.*, 2012; Váňová *et al.*, 2011). However,
 20 application of plant growth regulators to alleviate toxicity of endosulfan sulfate to crop plants has
 21 not been reported. Both α -naphthalene acetic acid (NAA) and thidiazuron (TDZ) used in this study
 22 have been reported to aid phytoremediation of metal contaminated area by reducing metal toxicity
 23 to the plants and enhancing the acquisition and accumulation of trace elements resulting in
 24 increased shoot and root growth (Piotrowska-Niczyporuk *et al.*, 2012; Vamerali *et al.*, 2011). It is
 25 not known if these plant growth regulators can improve the growth of plants in endosulfan sulfate

1 contaminated sites. Thus, the objective of this study was to investigate the effect of NAA and TDZ
 2 to alleviate toxicity and promote growth of sweet corn (*Zea mays* var *sacharata* Bailey), cucumber
 3 (*Cucurmis sativus*) and cowpea (*Vigna sinensis*) seedlings in endosulfan sulfate spiked sands. The
 4 results from this study should provide valuable information on the use of plant growth regulators in
 5 endosulfan sulfate phytoremediation.

6 **Materials & Methods**

7 **Preparation of Endosulfan Sulfate Spiked Sand:** Sand with no detectable endosulfan sulfate
 8 contamination was purchased from the construction materials shop in Mahasarakham Province,
 9 Thailand. The sand was air-dried and passed through 2-mm sieve to remove stones, debris and plant
 10 roots. Endosulfan sulfate (Dr. Ehrenstorfer GmbH Lot no. 81205, Germany, purity 98.5%) was
 11 weighed and dissolved in acetone. Endosulfan sulfate solution was spiked to a final concentration of
 12 0, 1, 10 and 100 mg kg⁻¹ dry sand. Control sand samples received only acetone. After thorough
 13 mixing, sand was dried at room temperature (28-30°C) inside a fume hood to allow acetone to
 14 evaporate. Sand was subdivided into 50 g (dry weight) portions and each portion was placed inside
 15 a 120-ml plastic planting container. To the sand samples was added distilled water to 60% of water
 16 holding capacity before used.

17 **Phytotoxicity Assay:** Phytotoxicity assay was performed according to Kirk et al. (2002). Seeds of
 18 sweet corn (commercial seeds of Chokkasikorn Seed Ltd., Nonthaburi province, Thailand),
 19 cucumber (commercial seeds of East West Seed Ltd., Nonthaburi province, Thailand) and cowpea
 20 (commercial seeds of Chuayongseng Ltd., Bangkok, Thailand) were immersed for 3 h in the
 21 solution of one of the plant growth regulators [10 mg l⁻¹ of NAA (Fluka, United States, purity 99%)
 22 or TDZ (Fluka, United States, purity 99%)]. Seeds immersed in distilled water served as controls.
 23 Ten seeds were inoculated per replicate in endosulfan sulfate spiked sand prepared above and kept
 24 at 30°C in a room which received natural sunlight. The sand was watered twice each day to
 25 maintain humidity. After 10 days, twenty plants were randomly removed to measure their fresh

weight and dried weight of shoot and root, shoot length, root length, chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents in leaves. Fresh shoot and root of each seedling were cross-sectioned, stained with safranin O, and then viewed under the light microscope to examine their tissues. Chlorophyll contents in leaves were analyzed according to Huang et al. (2004). Two hundred milligrams of plant leaves were cut and incubated in 80% acetone for 24 h at 4°C in the dark. Absorbance of the solutions was measured with a spectrophotometer at 645 and 663 nm. Chlorophyll concentrations (mg/ml) were calculated using the equations according to Huang *et al.* (2004).

Statistical Analysis: Two-way ANOVA was used to test for statistically significant differences between treatments followed by LSD's test.

Results and Discussion

Effect of NAA and TDZ on shoot growth: Concentrations of endosulfan sulfate ranging from 1-100 mg kg⁻¹ did not appear to be toxic to growth of sweet corn seedlings. Shoot length, shoot fresh weight and shoot dried weight of sweet corn growing in spiked and un-spiked sand were similar ($P>0.05$). Induction of sweet corn seeds with NAA did not have any effect on shoot growth as the shoot length, shoot fresh weight and shoot dried weight were not significantly different from those that were not induced by NAA ($P>0.05$). However, NAA stimulated shoot growth of sweet corn grown in sand spiked with 10 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate ($P<0.05$) (Fig. 1: a, b and c).

NAA had no apparent effect on shoot length and fresh weight of cowpea grown in any concentration of endosulfan sulfate. Only the shoot length of cowpea grown in 10 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate was reduced from 9.62±4.45 (without NAA induction) to 3.33±1.81 cm (with NAA induction). However, NAA increased shoot dried weight of cowpea to 0.038±0.006 g and shoot dried weight of cowpea without induction with NAA was only 0.007±0.004 g in 10 mg kg⁻¹ endosulfan sulfate contaminated sand (Fig. 2: d, e and f).

1 In cucumber, NAA was found to affect the shoot length instead of shoot fresh weight. Shoot
 2 length of cucumber induced with NAA were 7.98 ± 1.48 and 8.55 ± 1.86 cm in 1 and 10 mg kg⁻¹ of
 3 endosulfan sulfate contaminated sand, respectively. These values were significantly higher than
 4 those of seedlings without NAA induction ($P < 0.05$). Growth of cucumber in 100 mg kg⁻¹ of
 5 endosulfan sulfate contaminated sand increased shoot dried weight of cucumber induced with NAA
 6 to a higher extent compared to control ($P < 0.05$) (Fig. 1: g, h and i).

7 The shoot length and shoot fresh weight of sweet corn grown in endosulfan sulfate spiked
 8 sand were reduced when its seeds were induced with TDZ. Shoot length of sweet corn with TDZ
 9 induction was 10.30 ± 3.51 and 12.15 ± 3.98 cm in 1 and 100 mg kg⁻¹ endosulfan sulfate contaminated
 10 sand, respectively ($P < 0.05$). Shoot fresh weight of sweet corn seedling induced by TDZ was
 11 0.28 ± 0.009 and 0.32 ± 0.10 g in 1 and 100 mg kg⁻¹ endosulfan sulfate contaminated sand,
 12 respectively ($P < 0.05$). On the other hand, Shoot dried weight of sweet corn induced by TDZ did not
 13 significantly different from control without TDZ and NAA induction ($P < 0.05$) (Fig. 1: a, b and c).

14 Cowpea seeds subjected to TDZ induction exhibited significantly decreased shoot length
 15 values of 5.33 ± 0.58 , 5.70 ± 1.38 , 5.90 ± 0.87 and 5.64 ± 2.16 cm in 0, 1, 10 and 100 mg kg⁻¹ endosulfan
 16 sulfate contaminated sand, respectively ($P < 0.05$). Meanwhile, shoot length values of cowpea
 17 without induction with TDZ were 9.29 ± 3.22 , 10.69 ± 2.73 , 9.62 ± 4.45 and 9.71 ± 2.25 cm in 0, 1, 10
 18 and 100 mg kg⁻¹ endosulfan sulfate contaminated sand, respectively. Shoot fresh weight of cowpea
 19 also significantly decreased from 0.36 ± 0.17 , 0.44 ± 0.14 , 0.52 ± 0.22 and 0.56 ± 0.18 (without TDZ
 20 induction) to 0.20 ± 0.06 , 0.29 ± 0.04 , 0.18 ± 0.05 and 0.31 ± 0.09 g (with TDZ induction) in 0, 1, 10 and
 21 100 mg kg⁻¹ endosulfan sulfate contaminated sand ($P < 0.05$). In contrast, TDZ significantly
 22 stimulated shoot dried weight of cowpea grown in 0, 1, 10 and 100 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate
 23 from 0.004 ± 0.002 , 0.008 ± 0.004 , 0.007 ± 0.004 and 0.009 ± 0.005 g (without TDZ induction) to

1 0.069±0.017, 0.066±0.024, 0.077±0.07 and 0.057±0.011 g (with TDZ induction), respectively
 2 (P<0.05) (Fig. 1: d, e and f).

3 TDZ significantly reduced shoot length of cucumber seedlings from 5.86±1.49, 6.08±1.28,
 4 6.89±1.29 and 7.28±1.03 cm (without TDZ induction) to 3.19±0.62, 2.96±0.72, 3.62±0.52 and
 5 3.12±0.70 cm (with TDZ induction) at 0, 1, 10 and 100 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate contaminated
 6 sand (P<0.05). TDZ also affected the Shoot dried weight of cucumber. Shoot dried weight of
 7 cucumber was reduced from 0.016±0.003, 0.014±0.004, 0.015±0.004 and 0.016±0.003 g (without
 8 TDZ induction) to only 0.014±0.003, 0.009±0.002, 0.013±0.003 and 0.013±0.004 g (with TDZ
 9 induction) when grown in 0, 1, 10 and 100 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate contaminated sand,
 10 respectively (P<0.05) (Fig. 1: g, h and i). At the tissue level, endosulfan sulfate decreases the
 11 amount of vascular bundle in shoots. TDZ treatment increased the amount of vascular bundle both
 12 in corn grown in endosulfan sulfate and non-contaminated sand (Fig 2).

13 **Effect of NAA and TDZ on Chlorophyll Content in Leaves:** Chlorophyll a contents in leaves of
 14 sweet corn seedling without any plant growth regulator induction significantly increased in 1-100
 15 mg kg⁻¹ endosulfan sulfate contaminated sand compared to sweet corn grown in non-contaminated
 16 sand. In contrast, chlorophyll b and total chlorophyll contents in leaves of sweet corn significantly
 17 decreased at the same level of endosulfan sulfate concentrations when compared with growth of
 18 sweet corn in non-contaminated sand (P<0.05) (Fig. 3: a, b, and c). Induction of sweet corn with
 19 TDZ tended to decrease chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents significantly in
 20 the presence of 0, 1, 10 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate in sand. Nevertheless, chlorophyll b and total
 21 chlorophyll contents in leaves of sweet corn with TDZ induction significantly higher than control at
 22 the same level of endosulfan sulfate (P<0.05) (Fig. 3: b and c). The effect of NAA on chlorophyll
 23 content in leaves of sweet corn depended on the endosulfan sulfate concentration in the sand. Low
 24 concentration of endosulfan sulfate (0 and 1 mg kg⁻¹) significantly increased chlorophyll a,
 25 chlorophyll b and total chlorophyll contents in leaves of sweet corn (P<0.05). The chlorophyll

1 content in leaves of sweet corn induced by NAA significantly decreased in the presence of 10 and
2 100 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate in sand (P<0.05) (Fig. 3: a, b and c).

3 In the presence of 10 and 100 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate in sand, chlorophyll a,
4 chlorophyll b and total chlorophyll contents in leaves of cowpea induced by NAA were
5 significantly higher than those in seedlings without NAA induction (P<0.05). Induction of cowpea
6 with TDZ reduced chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents in leaves of cowpea.
7 Total chlorophyll content in leaves of cowpea induced by TDZ was significantly lower than that of
8 the control (P<0.05) (Fig. 3: d, e and f).

9 Induction of cucumber grown in 10 and 100 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate by NAA
10 significantly decreased the chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents in leaves
11 compared to cucumber without induction by any plant growth regulators (P<0.05). TDZ also tended
12 to decrease the levels of all types of chlorophyll in leaves of cucumber, the only exception being the
13 chlorophyll content in leaves of cucumber grown in 10 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate was higher
14 than that of the control without TDZ induction. Chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll
15 contents in leaves of cucumber grown in 100 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate in sand was lower
16 compared to control without TDZ (P<0.05) (Fig. 3: g, h and i).

17 **Effect of NAA and TDZ on Root Growth:** Concentration of endosulfan sulfate ranging from 1-
18 100 mg kg⁻¹ was not toxic to root growth of sweet corn, cowpea and cucumber. Ten milligram per
19 kilogram of endosulfan sulfate stimulated growth of cowpea through increased root length
20 compared to that of the control plant which was grown in sand without endosulfan sulfate (P<0.05)
21 (Fig. 4).

22 When seeds of sweet corn, cowpea and cucumber were induced with NAA, there was no
23 apparent effect on growth of seedlings of these plants. NAA tended to decrease root length of sweet
24 corn to only 3.16±1.17, 3.94±2.26 and 4.42±2.38 cm in the presence of 4, 10 and 100 mg kg⁻¹ of

1 endosulfan sulfate, respectively, compared to the controls ($P<0.05$). NAA also did not affect root
2 fresh weight and root dried weight of sweet corn (Fig. 4: a, b and c).

3 NAA did not affect root length but increased root fresh weight of cowpea to 0.22 ± 0.04 and
4 0.30 ± 0.01 , and root dried weight of cowpea to 0.020 ± 0.003 and 0.027 ± 0.004 g in the presence of 10
5 and 100 mg kg^{-1} of endosulfan sulfate in sand, respectively (Fig. 4: d, e and f).

6 The largest effect of NAA induction on seedling growth was seen with cucumber as
7 compared to other plants. Induction of cucumber seeds with NAA reduced root length of cucumber
8 seedling as compared to the non-induced cucumber controls. Root lengths of cucumber induced by
9 NAA were 2.90 ± 1.71 , 4.12 ± 1.32 , 6.00 ± 2.11 and 5.41 ± 1.70 cm when grown in 1, 10 and 100 mg kg^{-1}
10 of endosulfan sulfate, respectively. Cucumber root fresh weight was affected by NAA to a lesser
11 extent than root dried weight. Root dried weights of cucumber whose seeds receiving NAA were
12 significantly higher than that those of cucumber seeds without NAA induction at all levels of
13 endosulfan sulfate in sand ($P<0.05$) (Fig. 4: g, h and i). At the tissue level, endosulfan sulfate
14 decreased the amount of xylem in roots. NAA did not increase the amount of xylem both in corn
15 growing in endosulfan sulfate and non-contaminated sand (Fig 5).

16 TDZ exerted adverse effect on root growth of all the plants tested. The root lengths of sweet
17 corn and cucumber induced by TDZ were significantly shorter than those of plants without TDZ
18 induction at all endosulfan sulfate concentrations tested ($P<0.05$) (Fig. 4: a, b, c, g, h and i). Only
19 the root length of cowpea induced with TDZ was not significantly different from control ($P<0.05$)
20 (Fig. 4: g). TDZ had no apparent effect on root dried weight of cowpea (Fig. 3: i), however, root
21 fresh weight of cowpea was significantly lower than that of plants without TDZ induction at each
22 endosulfan sulfate concentration ($P<0.05$) (Fig. 3: h). Root fresh weights of cowpea without TDZ
23 induction were 0.006 ± 0.003 , 0.009 ± 0.007 , 0.005 ± 0.002 and 0.018 ± 0.009 g when the plants were
24 grown in 1, 10 and 100 mg kg^{-1} of endosulfan sulfate, respectively (Fig. 4: h).

1 Concentrations of endosulfan sulfate ranging from 1-100 mg kg⁻¹ did not cause apparent
 2 toxicity to sweet corn, cowpea and cucumber in this study. Seedlings of these plants grew well in
 3 endosulfan sulfate spiked sand. Thus, using plant growth regulator had no effect on the alleviation
 4 and promotion of seedling growth. Sweet corn has been reported to tolerate some organochlorine
 5 pesticides. For example, Chouychai and Lee (2012) showed that sweet corn tolerated alpha-
 6 endosulfan fairly well. While a mixture of alpha-endosulfan and lindane at 0.2-20 mg kg⁻¹ dry soil
 7 decreased root length but there was no effect on shoot and root dried weight. Lindane concentration
 8 of 100, 200 and 400 µg kg⁻¹ soil did not affect the germination and vigor index of corn plants
 9 seeded in contaminated soil (Benimeli et al., 2008). However, the phytotoxicity of endosulfan also
 10 has been reported. For example, Vidyasager et al. (2009) reported that endosulfan at 0.2, 0.4 and
 11 0.6% decreased seed germination in *Sorghum bicolor*. Shoot length, root length, biomass and
 12 chlorophyll content of *S. bicolor* decreased with increasing endosulfan concentrations. Chlorophyll
 13 b content was only 0.97 mg kg⁻¹ in the presence of 0.2 mg kg⁻¹ of endosulfan. Chlorophyll b content
 14 increased to 1.11 and 1.13 mg kg⁻¹ when concentrations of endosulfan were 0.4 and 0.6%,
 15 respectively. Endosulfan also led to higher activities of antioxidant enzymes including peroxidase,
 16 polyphenol oxidase and superoxide oxidase in *Sorghum bicolor* (Vidyasager et al., 2009). The
 17 phytotoxicity of endosulfan and endosulfan sulfate may depend not only on the concentration of
 18 pollutants but also on the species of plants which differ in physiology and specific pollutant
 19 response.

20 Generally, growth of plants in the presence of pollutants such as heavy metals or
 21 organochlorine pesticides results in toxic damage to the plants. Endosulfan sulfate is a metabolite of
 22 endosulfan biodegradation and it is as toxic as its parent compound (Weber et al., 2010).
 23 Endosulfan causes oxidative stress, disruption of photosynthetic activity and respiration in plant
 24 (Menone et al., 2008). Modification of endogenous plant hormone is one of the plant responses to
 25 environmental stress and abnormal internal hormone levels which cause unusual growth of plant

1 (Kummerová *et al.*, 2010). External plant growth regulator was used recently to decrease toxicity
 2 of heavy metals and organochlorines to plants. For example, one milligram per litre of IBA
 3 increased shoot and root lengths of *Brassica chinensis* growing in 40 mg kg⁻¹ of lindane by 14%
 4 and 26%, respectively (Chouychai, 2012). Treating seeds of corn with TDZ and kinetin was
 5 effective at alleviating the toxic effect of Ni²⁺ and Zn²⁺ to corn seedling growth (Lukatkin *et al.*,
 6 2007). Plant stress arising from polycyclic aromatic hydrocarbons induced the production of ABA
 7 in plant cells, and this in turn might promote chlorophyll degradation (Ahammed *et al.*, 2012;
 8 Váňová *et al.*, 2009). Surprisingly, brassinosteroid alleviated toxic effect of phenanthrene and
 9 pyrene to stressed tomato seedling grown in hydroponics by enhancing the content of
 10 photosynthetic pigments. Foliar and root application of 50 nM and 5 nM of brassinosteroid
 11 alleviated all depression with a great enhancement in the activity of tomato photosynthetic
 12 machinery. Activities of detoxification enzymes in response to anti-oxidative stress including
 13 guaicol peroxidase, catalase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase also increased
 14 (Ahammed *et al.*, 2012). Moreover, IAA alleviated the toxic effect of Pb and Zn on sunflower
 15 grown in hydroponics. Shoot and root growth of sunflower also increased in the presence of 10⁻¹⁰ M
 16 of IAA (Fässler *et al.*, 2010).

17 Different effect of NAA and TDZ on sweet corn and cowpea was observed in this study.
 18 NAA treatment led to decreased root length but had no effect on biomass of sweet corn. TDZ
 19 tended to decrease all root length, fresh weight and dried weight of sweet corn. NAA stimulated
 20 biomass of cowpea in the presence of 10 and 100 mg kg⁻¹ of endosulfan sulfate. TDZ had no effect
 21 on root length but decreased root biomass in cowpea. Different effect of NAA and TDZ on growth
 22 of plant seedlings varied according to plant species because this effect may depend on endogenous
 23 level of each hormone in each plant species. This phenomenon has been observed in plant
 24 micropropagation. For example, 4.5 µM TDZ induced multiple shoot formation from leaves of

1 *Acampe praemorsa* (Nayak *et al.*, 1997), but this concentration of TDZ induced direct
2 embryogenesis in leaves of *Phalaenopsis* 'Little steve' (Kuo *et al.*, 2005).

3 This study also found that application of NAA and TDZ exerted adverse effect, likely due to
4 the use of inappropriate concentrations. Unsuitable concentration of external plant growth regulator
5 was reported in *P. sativum*. Application of gibberellic acid at 100 μM increased ethylene and
6 reactive oxygen species production in *P. sativum*. The anti-antioxidant system in plant was also
7 changed at this concentration of gibberellic acid. However, toxicity of Cr to *P. sativum* was shown
8 in the presence of only 10 μM of gibberellic acid (Gangwar *et al.*, 2011). High concentrations of
9 IAA also decreased growth of chickpea (Malik and Sindhu, 2011). In contrast, the level of plant
10 growth regulator used in this study was reported to promote growth of seedling in contaminated
11 soil. IBA at 10 mg kg^{-1} increased the fresh weight of *B. chinensis* grown in 40 mg kg^{-1} of lindane
12 and alpha-endosulfan contaminated sand by 80% and 90%, respectively (Chouychai, 2012). NAA at
13 100 μM or 18.6 mg l^{-1} resulted in increased Pb accumulation in *Sesbania drummondii* and did not
14 affect plant growth (Tassi *et al.*, 2009).

15 In summary, the ameliorative effect of NAA and TDZ against endosulfan sulfate toxicity
16 was not apparent for seedling growth of sweet corn, cowpea and cucumber as these plants grew
17 normally in endosulfan sulfate spiked sand. However, inducing the seeds of these plants with NAA
18 and TDZ seemed to result in abnormal growth. It is possible to use these plants in the purpose of
19 endosulfan sulfate remediation in the future without using any external hormones.

20 **Acknowledgement**

21 The authors acknowledge financial support from the Thailand Research Fund, Office of the
22 Higher Education Commission and Mahasarakham University (Grant No. MRG5480030). We
23 would like to thank Prof. Hung Lee, School of Environmental Sciences, University of Guelph,
24 Guelph, Ontario, Canada for his helpful advice in preparing and writing our manuscript.

25

1 **References**

- 2 Ahammed, G.J., Hui-Li Yuan, J.O. Ogwen, Yan-Hong Zhou, Xiao-Jian Xia, Wei-Hua Mao, K.
3 Shi and Jing-Quan Yu: Brassinosteroid alleviates phenanthrene and pyrene phytotoxicity
4 by increasing detoxification activity and photosynthesis in tomato. *Chemosphere*, **86**, 546-
5 555 (2012).
- 6 Becker, L., M. Scheringer, U. Schenker and K. Hungerbühler: Assessment of the environmental
7 persistence and long-rang transport of endosulfan. *Environ. Pollut.*, **159**, 1737-1743 (2011).
- 8 Benimeli, C.S., M.S. Fuentes, C.M. Abate and M.J. Amoroso: Bioremediation of lindane-
9 contaminated soil by *Streptomyces* sp. M7 and its effects on *Zea mays* growth. *Int.*
10 *Biodeter. Biodegr.*, **61**, 233-239 (2008).
- 11 Calveno Pereira, R.C., C. Monterroso and F. Macías: Phytotoxicity of hexachlorocyclohexane:
12 Effect on germination and early growth of different plant species. *Chemosphere*, **79**, 326-
13 333 (2010).
- 14 Chouychai, W.: Effect of some plant growth regulators on lindane and alpha endosulfan
15 toxicity to *Brassica chinensis*. *J. Environ. Biol.*, **33(4)**, 811-816 (2012).
- 16 Chouychai, W. and H. Lee: Phytotoxicity assay of crop plants to lindane and alpha-
17 endosulfan contaminants in alkaline Thai soil. *Int. J. Agric. Biol.*, **14**, 734-738 (2012).
- 18 Coimbra, A.M., M.A. Reis-Henriques and V.M. Darras: Circulatingthyroid hormone levels and
19 Iodothyronine deiodinase activities in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) following dietary
20 exposure to endosulfan and Aroclor1254. *Comp. Biochem. Physiol. Toxicol. Pharmacol.*,
21 **141**, 8-14 (2005).
- 22 Du, Rui-Jun, Er-Kai He, Ye-Tao Tang, Peng-Jie Hu, Rong-Rong Ying, Jean-Louis Morel and
23 Rong-Liang Qiu: How phytohormone IAA and chelator EDTA affect lead uptake by Zn/Cd
24 Hyperaccumulator *Picris divaricata*. *Int. J. Phytoremediat.*, **13**, 1024-1036 (2011).
- 25 Fässler, E., M.W. Evangelou, B.H. Robinson and R. Schulin: Effects of indole-3-acetic acid (IAA)

- 1 on sunflower growth and heavy metal uptake in combination with ethylene diamine
- 2 disuccinic acid (EDDS). *Chemosphere*, **80**, 901-907 (2010).
- 3 Faure, M., A.S. Miguel, P. Ravanel and M. Raveton: Concentration responses to organochlorines in
- 4 *Phragmites australis*. *Environ. Pollut.*, **164**, 188-194 (2012).
- 5 Gangwar, S., V.P. Singh, P.K. Srivastava and J.N. Maurya: Modification of chromium (VI)
- 6 phytotoxicity by exogenous gibberellic acid and application in *Pisum sativum* (L.) seedlings.
- 7 *Acta Physiol. Plant.*, **33(4)**, 1385-1397 (2011).
- 8 Huang, Xia-Dong, Y. El-Alawi, D.M. Penrose, B.R. Glick and B.M. Greenberg: Response of three
- 9 grass species to creosote during phytoremediation. *Environ. Pollut.*, **130**, 453-463 (2004).
- 10 Kataoka, R., K.Takagi and F. Sakakibara: Biodegradation of endosulfan by *Mortierella* sp.
- 11 strain W8 in soil: Influence of different substrates on biodegradation. *Chemosphere*, **85**,
- 12 548-552 (2011).
- 13 Kirk, J.L., J.W. Klironomos, H. Lee and J.T. Trevors: Phytotoxicity assay to assess plant species for
- 14 phytoremediation of petroleum-contaminated soil. *Bioremed. J.*, **61**, 57-63 (2002).
- 15 Kumar, M., C.V. Lakshmi and S. Khanna: Biodegradation and bioremediation of endosulfan
- 16 contaminated soil. *Bioresource Technol.*, **99**, 3116-3122 (2008).
- 17 Kummerová, M., L. Váňová, H. Fišerová, M. Klemš, Š Zezulka and J. Krulová: Understanding the
- 18 effect of organic pollutant fluoranthene on pea in vitro using cytokinins, ethylene, ethane
- 19 and carbon dioxide as indicators. *Plant Growth Regul.*, **61**, 161-174 (2010).
- 20 Kuo, H., J.Chen and W. Chang: Efficient plant regeneration through direct somatic embryogenesis
- 21 from leaf explants of *Phalaenopsis* 'Little Steve'. *In Vitro Cell Dev-Pl.* **41**, 453-456 (2005).
- 22 Lukatkin, A.S., N.V. Gracheva, N.N. Grishenkova, P.V. Dukhovskis and A.A. Brazaitite:
- 23 Cytokinin-like growth regulators mitigate toxic action of zinc and nickel ions on maize
- 24 seedlings. *Russ. J. Plant Physiol.*, **54(3)**, 381-387 (2007).

- 1 Malik, D.K. and S.S. Sindhu: Production of indole acetic acid by *Pseudomonas* sp.: Effect of
2 coinoculation with *Mesorhizobium* sp. *Cicer* on nodulation and plant growth of chickpea
3 (*Cicer arietinum*). *Physiol. Mol. Biol. Plant*, **17**, 25-32 (2011).
- 4 Menone, M.L., S.F. Pesce, M.P. Díaz, V.J. Moreno and D.A. Wunderlin: Endosulfan induces
5 oxidative stress and changes on detoxication enzymes in the aquatic macrophyte
6 *Myriophyllum quitense*. *Phytochem.*, 69, 1150-1157 (2008).
- 7 Nayak, N.R., S. Patnaik and S.P. Rath: Direct shoot regeneration from foliar explants of an
8 epiphytic orchid, *Acampe praemorsa* (Roxb.) Blatter and McCann. *Plant Cell Rep.*, **16**,
9 583–586 (1997).
- 10 Paul V. and E. Balasubramanian: Effect of single and repeated administration of endosulfan on
11 behavior and its interaction with centrally acting drugs in experimental animals: a mini
12 review. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 18, 571-575 (1997).
- 13 Piotrowska-Niczyporuk, A., A. Bajguz, E. Zambrzycka and B. Godlewska-Zylkiewicz:
14 Phytohormones as regulators of heavy metal biosorption and toxicity in green alga *Chlorella*
15 *vulgaris* (Chlorophyceae). *Plant Physiol. Bioch.*, **52**, 52-65 (2012).
- 16 Poolpak, T., P. Pokethitiyook, M. Kruatrachue, U. Arjarasirikoon and N. Thanwaniwat:
17 Residue analysis of organochlorine pesticides in the Mae Klong river of Central Thailand.
18 *J. Hazard. Mat.*, **156**, 230-239 (2008).
- 19 Sergiev, I.G., V.S. Alexieva, S.V. Ivanoc, I.I. Moskova and E.M. Karanov: The phenylurea
20 cytokinin 4PU-30 protects maize plants against glyphosate action. *Pestic. Biochem. Physiol.*,
21 **85**, 139-149 (2006).
- 22 Silva, M.H. and S.L. Beauvais: Human health risk assessment of endosulfan. I: Toxicology and
23 hazard identification. *Regul. Toxicol. Pharm.* **56**, 4-17 (2010).
- 24 Sharma, A, M. Mishra, K.R. Ram, R. Kumar, M.Z. Abdin and D.K. Chowdhuri: Transcription
25 analysis provides insights for understanding the adverse effects of endosulfan in *Drosophila*

- 1 *melanogaster*. *Chemosphere*, 82, 370-376 (2011).
- 2 Su, Y., Y. Zhu and Y. Liang: Interactions of mixed organic contaminants in uptake by rice
- 3 Seedlings. *Chemosphere*, 2009, **74**, 890-895 (2009).
- 4 Tassi, E., J. Pouget, G. Petruzzelli and M. Barbaferi: The effect of exogenous plant growth
- 5 regulators in the phytoextraction of heavy metal. *Chemosphere*, **71**, 66-73 (2009).
- 6 Vamerali, T., M. Bandiera, W. Hartly, P. Carletti and G. Mosca: Assisted phytoremediation
- 7 of mixed metal(loid)-polluted pyrite waste: Effects of foliar and substrate IBA application
- 8 on fodder radish. *Chemosphere*, **84**, 213-219 (2011).
- 9 Váňová, L., M. Kummerová, M. Klemš and Š Zezulka: Fluoranthene influences endogenous
- 10 abscisic acid level and primary photosynthetic processes in pea (*Pisum sativum* L.) plants in
- 11 vitro. *Plant Growth Regul.*, **57**, 39-47 (2009).
- 12 Váňová, L., M. Kummerová and O. Votrubová: Fluoranthene-induced production of ethylene
- 13 and formation of lysigenous intercellular spaces in pea plants cultivated in vitro. *Acta*
- 14 *Physiol. Plant.*, **33(1)**, 1037-1042 (2011).
- 15 Vidyasager, G.M., D. Kotresha, N. Sreenivasa and R. Karnam: Role of endosulfan in mediating
- 16 stress responses in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *J. Environ. Biol.*, **30(2)**, 217-220 (2009).
- 17 Weber, J., C.J. Halsall, D. Muir, C. Teixeira, J. Small, K. Solomon, M. Hermanson, H. Hung and
- 18 T. Bidleman: Endosulfan, a global pesticide: A review of its fate in the environment
- 19 and occurrence in the Arctic. *Sci. Total Environ.*, **408**, 2966-2984 (2010).
- 20 Wirth, E.F., S.A. Lund, M.H. Fulton and G.I. Scott: Determination of acute mortality in adults and
- 21 sublethal embryo responses of *Palaemonetes pugio* to endosulfan and methoprene exposure.
- 22 *Aquat. Toxicol.*, **53**, 9-18 (2001).

23

24

25

Figure Legends

2

3 Fig. 1 Shoot length, shoot fresh weight and shoot dried weight of sweet corn (a, b, c), cowpea
4 (d, e, f) and cucumber (g, h, i) seedlings grown in endosulfan sulfate contaminated sand at
5 ($\square$) 0 mg kg⁻¹, ($\square$) 1 mg kg⁻¹, ($\blacksquare$) 10 mg kg⁻¹ and ($\boxtimes$) 100 mg kg⁻¹. Different letters designate
6 significant differences between each level of endosulfan sulfate concentration and induction by the
7 same plant growth regulator. * Significant difference from control without induction by plant
8 growth regulator at the same concentration of endosulfan sulfate (P<0.05).

9

10 Fig. 2 Cross section of shoot tissues of sweet corn seedling grown in endosulfan sulfate-
11 contaminated or non-contaminated sand and receiving various plant growth regulators; Non-
12 contaminated sand and without any plant growth regulator (a); 100 mg kg⁻¹ endosulfan sulfate and
13 without any plant growth regulator (b); Non-contaminated sand and 10 mg l⁻¹ NAA (c); 100 mg kg⁻¹
14 endosulfan sulfate and 10 mg l⁻¹ NAA (d); Non-contaminated sand and 10 mg l⁻¹ TDZ (e); 100
15 mg kg⁻¹ endosulfan sulfate and 10 mg l⁻¹ TDZ (f). Abbreviation: vas. = vascular bundle; leaf = leaf
16 sheath

17

18 Fig. 3 Contents of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll of sweet corn (a, b, c), cowpea
19 (d, e, f) and cucumber (g, h, i) seedlings grown in endosulfan sulfate contaminated sand at
20 ($\square$) 0 mg kg⁻¹, ($\square$) 1 mg kg⁻¹, ($\blacksquare$) 10 mg kg⁻¹ and ($\boxtimes$) 100 mg kg⁻¹. Different letters designate
21 significant differences between each level of endosulfan sulfate concentration and induction by the
22 same plant growth regulator. * Significant difference from control without induction by plant
23 growth regulator at the same concentration of endosulfan sulfate (P<0.05).

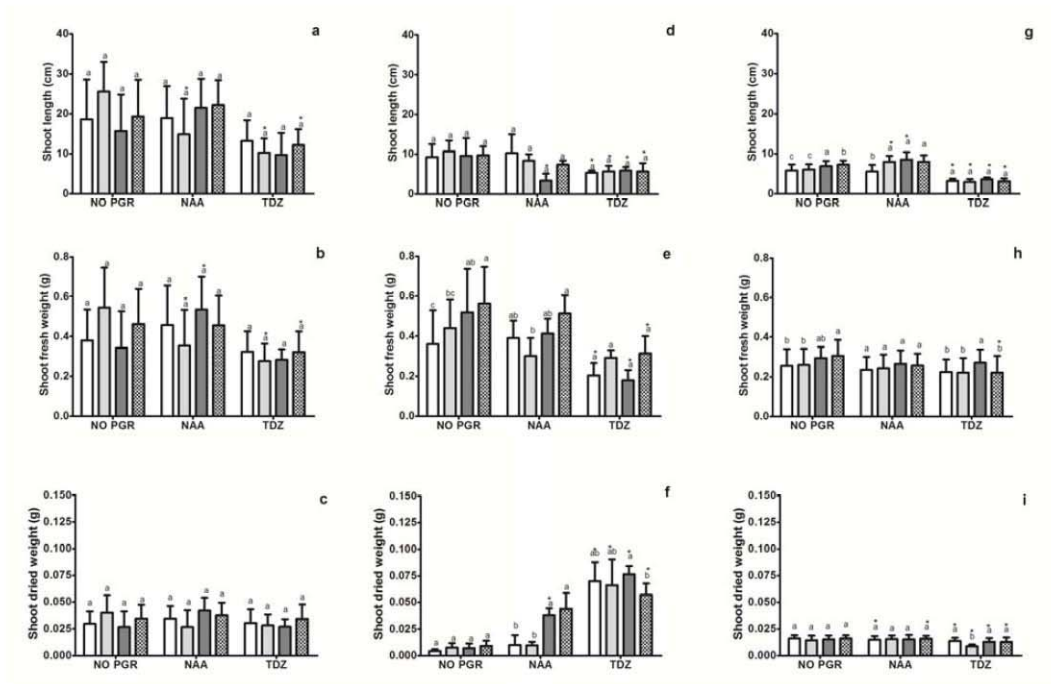
24

25

1 Fig. 4 Root length, root fresh weight and root dried weight of sweet corn (a, b, c), cowpea
 2 (d, e, f) and cucumber (g, h, i) seedlings grown in endosulfan sulfate contaminated sand at
 3 (□) 0 mg kg⁻¹, (◻) 1 mg kg⁻¹, (■) 10 mg kg⁻¹ and (◼) 100 mg kg⁻¹. Different letters designate
 4 significant differences between each level of endosulfan sulfate concentration and induction by the
 5 same plant growth regulator. * Significant difference from control without induction by plant
 6 growth regulator at the same concentration of endosulfan sulfate (P<0.05).

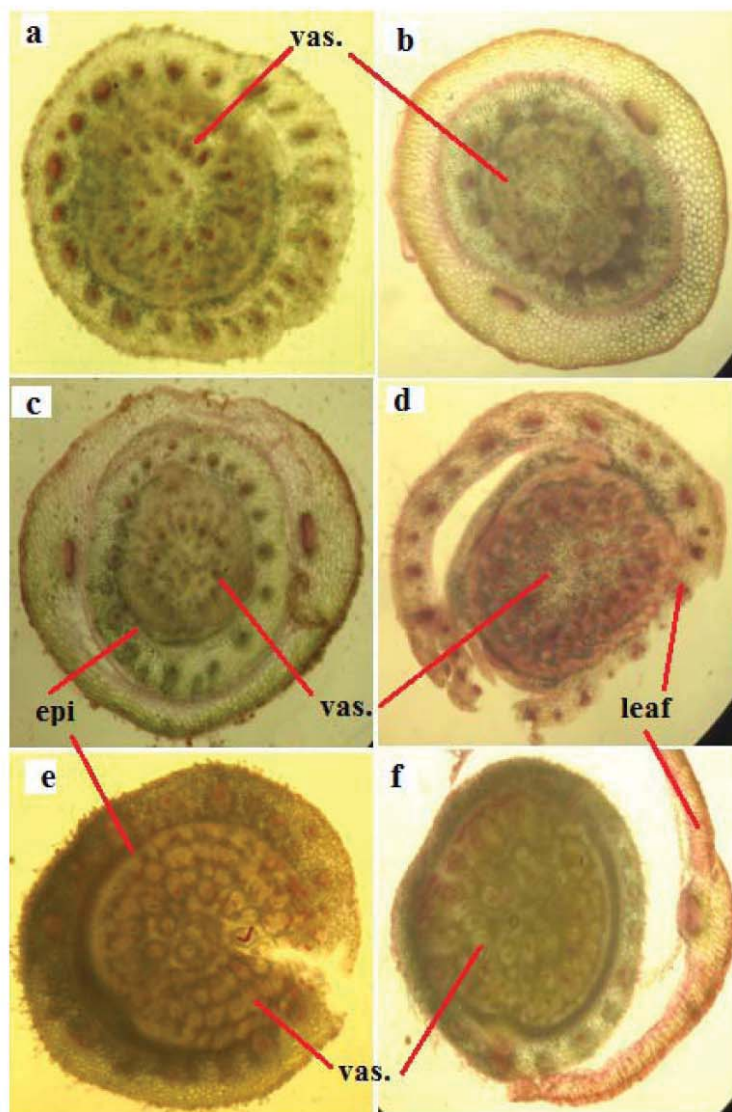
7
 8 Fig. 5 Cross section of root tissues of sweet corn seedling grown in endosulfan sulfate-contaminated
 9 or non-contaminated sand and receiving various plant growth regulators; Non-contaminated sand
 10 and without any plant growth regulator (a); 100 mg kg⁻¹ endosulfan sulfate and without any plant
 11 growth regulator (b); Non-contaminated sand and 10 mg l⁻¹ NAA (c); 100 mg kg⁻¹ endosulfan
 12 sulfate and 10 mg l⁻¹ NAA (d). Abbreviation: X= xylem; epi = epidermis; endo = endodermis

1 Fig. 1



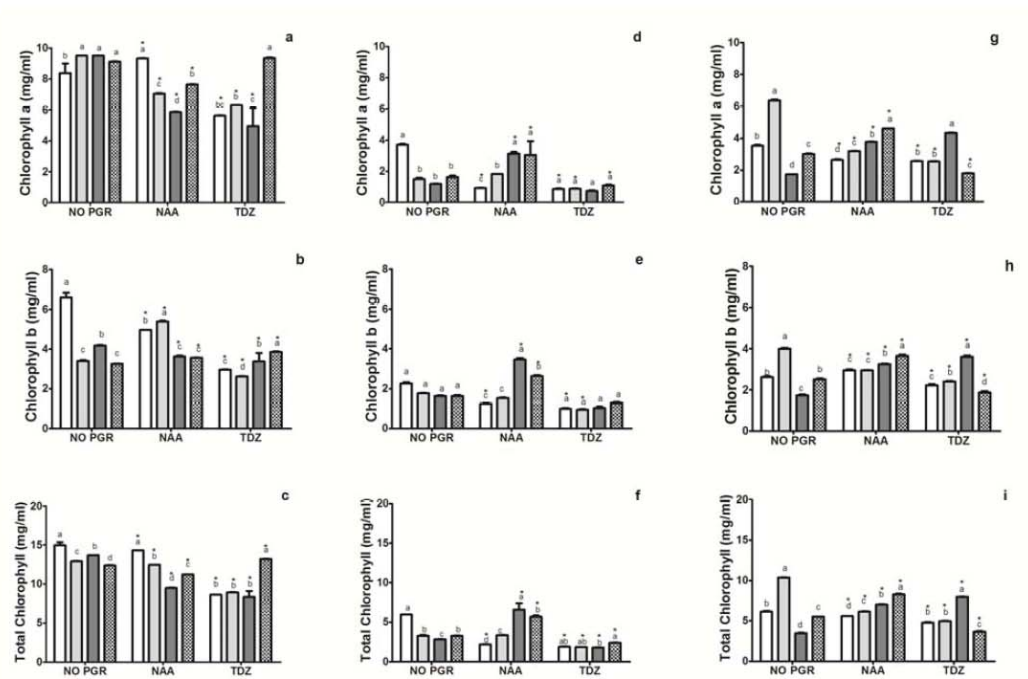
2

1 Fig. 2



2

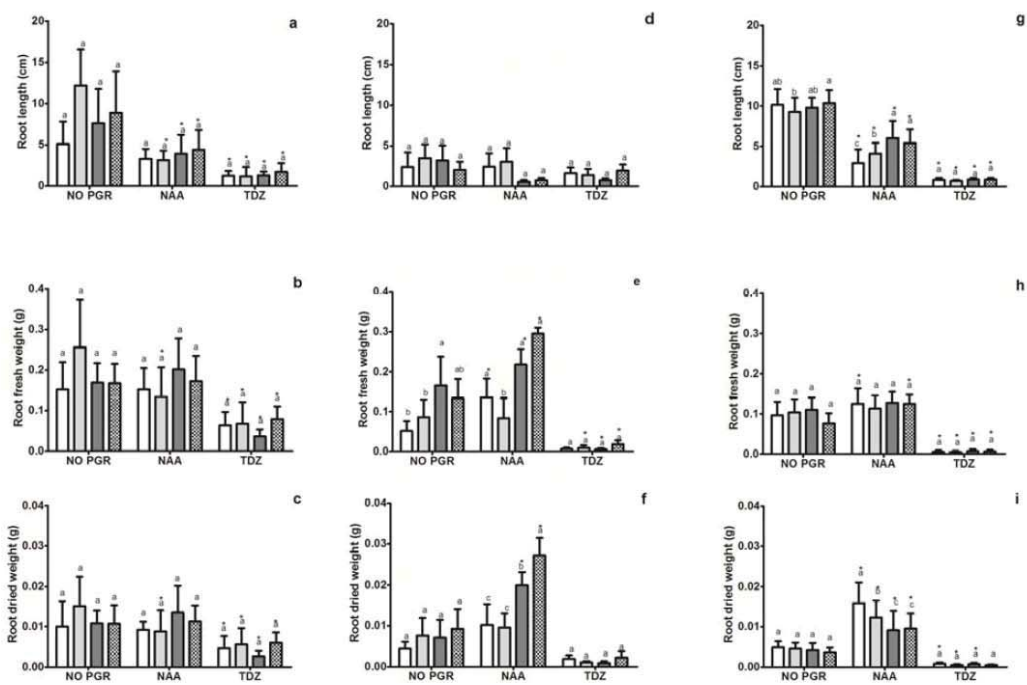
1 Fig. 3



2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18

1 Fig. 4

2



3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

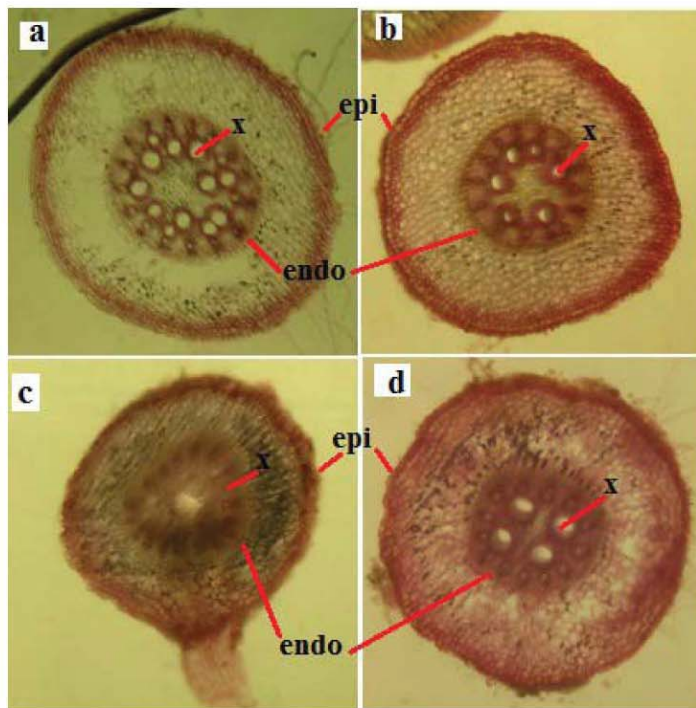
15

16

17

18

1 Fig. 5



2

3

4



วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร

สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีที่ 30 ฉบับที่ 1 ตุลาคม 2555 – มกราคม 2556

ISSN 0125-8850

การวัดความเครียดของลำไยที่ปลูกแบบแบ่งรากภายใต้การให้น้ำที่แตกต่างกัน
โดยใช้กล้อง Thermal Imaging

วินัย วิริยะอลงกรณ์ ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข สมชาย องค์ประเสริฐ

และไพล์พร สแปร์1-13

ผลของกรดอินโดลปิวกไทริกต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของผักกวางตุ้ง
ที่ปลูกในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต

ชนิษฐา สมตระกูล และมาลีญา เครือตราฐ14-24

ความเป็นพิษของไกลโฟเซตที่ตกค้างในดินและซากพืชต่อการเจริญ
ระยะต้นกล้าของแตงกวา

วารภรณ์ นุ้ยฉาย นันทพร ธรรมทูล และชนิษฐา สมตระกูล25-32

ฤทธิ์ต้านไวรัสของสารสกัดหยาบของพืชซึ่งต่อการติดเชื้อไวรัสพีอาร์อาร์เอส
ในเซลล์เพาะเลี้ยง MARC-145

โสภิตา ช่วยชู ชุติรัตน์ บรรจงลิขิตกุล ธัญวรัตน์ กางสงคราม

รุ่งทิพย์ กาวารี และวศิน เจริญตันชนกุล33-43

การใช้สารละลายกรดแลคติกเพื่อลดการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในเนื้อโค

ทศพล บุญติเรก สมปอง สรวมศิริ สกล ไข่ดำ และทองเลี่ยน บัวจุม44-50

การจัดการปัจจัยการผลิตพืชปลอดภัยในชุมชนสะลงง-ชีเหล็ก

อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

สามารถ ใจเดี่ยว51-58

การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเชิงผลสัมฤทธิ์เพื่อการพัฒนาชนบท
ของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์

ศรีสุนทร จำปา พหล ศักดิ์ทะทัศน์ วีรศักดิ์ ประกติ

อนรรักษ์ ปัญญาวัฒน์ และรัตนา โพธิ์สุวรรณ59-68

AGRICULTURAL RESEARCH
EXTENSION JOURNAL

ผลของกรดอินโดลบิวไทริกต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของผักกวางตุ้ง ที่ปลูกในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต

Influence of Indolebutyric Acid on *Brassica chinensis* Seedling Growth Growing in Endosulfan-sulfate Contaminated Sand

ขนิษฐา สมตระกูล^{1*} และมาลีญา เครือตราชู²

Khanitta Somtrakoon^{1*} and Maleeya Kruatrachue²

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

²ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400

¹Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Mahasarakham, Thailand 44150

²Department of Biology, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok, Thailand 10400

*Corresponding author: skhanitta@hotmail.com

Abstract

This study was undertaken to evaluate the phytotoxicity of endosulfan-sulfate and effect of a plant growth regulator, indolebutyric acid (IBA), on seedling growth of *Brassica chinensis*. Growth of *B. chinensis* was stimulated by low concentration of endosulfan-sulfate. Shoot length, root length and total chlorophyll content of *B. chinensis* seedling growing in 4 mg/kg dried sand were significantly higher than that grown in uncontaminated sand ($P < 0.05$). The toxic effect of endosulfan-sulfate on *B. chinensis* was not obviously, however, highest concentration of endosulfan-sulfate (100 mg/kg dried sand) resulting in decreasing of root fresh weight and total chlorophyll content. Shoot length, fresh weight and dried weight of *B. chinensis* did not affect by the presence of 100 mg/kg of endosulfan-sulfate in sand. Immersed seed of *B. chinensis* in 10 mg/l of IBA did not improve growth and tolerance of *B. chinensis* on endosulfan-sulfate contaminated sand.

Keywords: chinese mustard green, phytotoxicity, auxin, endosulfan-sulfate

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ทดสอบความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของผักกวางตุ้ง ร่วมกับผลของสารควบคุมการเจริญเติบโต คือ indolebutyric acid (IBA) ต่อการกระตุ้นการเจริญของผักกวางตุ้ง เอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน กระตุ้นการ

เจริญของกวางตุ้งในระยะต้นกล้า โดยความยาวยอด ความยาวราก และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกวางตุ้ง สูงกว่ากวางตุ้งที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตไม่แสดงความเป็นพิษต่อต้นกล้ากวางตุ้งอย่างชัดเจน ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย ส่งผลให้น้ำหนักสดของรากและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกวางตุ้ง

ลดลงเท่านั้น แต่ไม่ส่งผลต่อความยาวยอด น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของยอดกวางตุ้งในระยะต้นกล้า การให้สารกระตุ้นการเจริญของพืชในกลุ่มออกซินแก่กวางตุ้งโดยแช่เมล็ดพันธุ์กวางตุ้งในสารละลาย IBA 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่า การได้รับ IBA ไม่ช่วยให้กวางตุ้งที่เจริญในดินปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตมีความทนทานและมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่ากวางตุ้งที่ไม่ได้รับ IBA

คำสำคัญ: ผักกวางตุ้ง ความเป็นพิษต่อพืช
ออกซิน เอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต

คำนำ

เอนโดซัลแฟนเป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ที่นิยมใช้ในการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิตในประเทศต่างๆ ทั่วโลก ได้แก่ ประเทศในสหภาพยุโรป อินเดีย ออสเตรเลีย แคนาดา สหรัฐอเมริกา เม็กซิโก และอเมริกากลาง บราซิล จีน รวมถึงประเทศไทย (Boonyatumanond *et al.*, 2002; Poolpak *et al.*, 2008; Weber *et al.*, 2010) เอนโดซัลแฟนถูกนำมาใช้ในการเกษตรตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา ปัจจุบันได้ถูกห้ามใช้และจำกัดการใช้งานในหลายประเทศ โดยเอนโดซัลแฟนจัดเป็นสารมลพิษอันตราย ที่คงทนในสิ่งแวดล้อมตามรายการของ Stockholm convention ในปี ค.ศ. 2011 (Becker *et al.*, 2011; Weber *et al.*, 2010) ทั้งที่เอนโดซัลแฟนสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ แต่เนื่องจากคุณสมบัติที่ละลายน้ำต่ำ ทำให้การปนเปื้อนของเอนโดซัลแฟนในสิ่งแวดล้อม มีความคงทนอยู่ในดินและตะกอนได้เป็นเวลาหลายปี (Ramírez-Sandoval *et al.*, 2011) สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน และเอนโดซัลแฟน เป็นพิษอย่างรุนแรงต่อแมลงที่ต้องการทำลาย รวมถึงสิ่งมีชีวิตที่มีโซ่ป้าหมายในการทำลายด้วย สารนี้เป็นพิษเฉียบพลันต่อปลาและสัตว์น้ำ จากรายงานของ US. EPA. กล่าวว่า เอนโดซัลแฟนจะ

ส่งผลเป็นพิษแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังต่อสัตว์น้ำ ที่ระดับความเข้มข้น 0.22 และ 0.05 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังเป็นอันตรายต่อระบบสืบพันธุ์ สารพิษกรรม และระบบประสาทของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เป็นอันตรายต่อพืชโดยส่งผลต่อการงอก การเจริญในระยะต้นกล้าและเนื้อเยื่อของพืชด้วย รวมทั้งมีแนวโน้มสะสมได้ในสิ่งมีชีวิตด้วย (Kumar *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2008; Vidyasager *et al.*, 2009)

เอนโดซัลแฟนเป็นสารมลพิษที่พบแพร่กระจายทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ทั้งเขตเกษตรกรรมและบริเวณที่ห่างไกลจากแหล่งที่มีการใช้งาน (Weber *et al.*, 2010) ส่วนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตเป็นสารตัวกลางที่เกิดจากการย่อยสลายเอนโดซัลแฟนในดินและตะกอน ระดับความเป็นพิษของสารตัวกลางดังกล่าว ใกล้เคียงกับเอนโดซัลแฟนแต่คงทนในสิ่งแวดล้อม และถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้ต่ำกว่าเอนโดซัลแฟน จึงมักตรวจพบเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตร่วมกับเอนโดซัลแฟนในสิ่งแวดล้อมอยู่เสมอ (Castillo *et al.*, 2011; Kumar *et al.*, 2008) โดยพบการปนเปื้อนของเอนโดซัลแฟนและสารตัวกลางที่เกิดจากการย่อยสลายในหลายประเทศทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย เช่น การศึกษาของ Poolpak *et al.* (2008) รายงานว่า ระดับของเอนโดซัลแฟนทุกไอโซเมอร์มีค่า 0.5-16.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ในบริเวณที่มีการทำเกษตรกรรมใกล้กับลุ่มแม่น้ำแม่กลองทางภาคกลางของประเทศไทย นอกจากนี้จากการสำรวจตะกอนบริเวณภาคตะวันออกของอ่าวไทย พบปริมาณแอลฟา-เอนโดซัลแฟนสูงถึง 10-104 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของดินในฤดูแล้งของประเทศไทย (ปิยะวรรณ และกานดา, 2549) หรือในประเทศจีนตรวจพบแอลฟา-และเบตา-เอนโดซัลแฟน ร่วมกับเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตในดินจาก 141 สถานี มีค่าที่ระดับต่ำกว่าความสามารถในการตรวจสอบของเครื่องมือจนถึง 19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นต้น (Kataoka *et al.*, 2011)

พืชเป็นแหล่งสะสมออร์กาโนคลอรีนที่สำคัญ รวมทั้งเอนโดซัลแฟน และเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต โดยตรวจพบเอนโดซัลแฟนในเปลือกของตัวอย่างไม้จากทั่วโลก (Pereira *et al.*, 2006; Weber *et al.*, 2010) การปนเปื้อนของเอนโดซัลแฟน และเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต ในดินบริเวณพื้นที่ที่มีการทำเกษตรกรรม จึงเป็นปัญหาสำคัญ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของพืช และจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรในระยะยาวได้ จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า เอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน มีผลต่อการเจริญระยะต้นกล้าของผักบุ้ง ถั่วพุ่ม และแตงกวา (Somtrakoon and Pratumma, 2012) และยังเป็นพืชต่อการเจริญของข้าวเหนียว ค่ะนา และข้าวฟ่าง ส่วนเอนโดซัลแฟนเป็นพืชต่อข้าวเจ้า ถั่วฝักยาว และผักกวางตุ้ง (ขนิษฐา และวรารมณ, 2555)

การได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชก่อนงอก เป็นวิธีการหนึ่งที่จะลดความเป็นพิษต่อพืชได้ โดยทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้นในสภาวะเครียด รวมทั้งอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความทนทานและเพิ่มการสะสมสารมลพิษได้ เช่น ไฮโดโคนินช่วยเพิ่มชีวมวลของ *Alyssum murale* ทำให้สามารถสะสมนิกเกิลได้มากขึ้น (Cassina *et al.*, 2011) การได้รับฮอร์โมนจากภายนอก IAA และไคเนตินร่วมกับ EDTA ช่วยเพิ่มการสะสมตะกั่วในลำต้นของถั่วอัลฟาฟา (López *et al.*, 2009) นอกจากนี้ IAA ยังช่วยพัฒนาการของระบบราก เพิ่มชีวมวล และเพิ่มอัตราการคายน้ำของ *Picris divaricata* ซึ่งส่งผลให้พืชดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการสะสมตะกั่วได้ดีขึ้น (Du *et al.*, 2011) นอกจากนี้ การได้รับ IBA ก่อนการงอกช่วยให้ผักกวางตุ้งเจริญในดินที่ปนเปื้อนแอลฟา-เอนโดซัลแฟนได้ดีกว่าการได้รับกรดจิบเบอเรลลิก (Chouychai, 2012) แต่ยังไม่เคยทดสอบผลของ IBA ต่อความเป็นพิษต่อพืชของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาความเป็นพิษของสารดังกล่าวต่อผักกวางตุ้ง (*Brassica*

chinensis) เปรียบเทียบกับการกระตุ้นเมล็ดด้วย IBA เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมและพื้นที่ทางการเกษตรต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต

ละลายเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต (บริษัท Dr. Ehrenstorfer GmbH Lot no. 81205 ประเทศเยอรมัน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.5) ในอะซิโตนแล้วเติมลงทรายให้มีความเข้มข้นสุดท้ายในทรายเป็น 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย ผึ่งทรายที่ผสมแล้วในตู้ควั่นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกไป จากนั้นแบ่งทราย 50 กรัม ใส่ลงในภาชนะพลาสติกที่มีความจุ 120 มิลลิลิตร และปรับความชื้นของทรายให้เป็นร้อยละ 65 โดยน้ำหนักก่อนการทดลอง

การทดสอบความเป็นพิษต่อพืช

การทดสอบความเป็นพิษดัดแปลงจากวิธีของ Kirk *et al.* (2002) โดยแช่เมล็ดพันธุ์กวางตุ้ง (บริษัท เจียใต้ กรุงเทพฯ) ในสารละลาย IBA ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (บริษัท Fluka ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเพาะในถาดพลาสติกที่มีทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตแต่ละความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 10 เมล็ด (ทำการทดลองทั้งหมดสามซ้ำ) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ได้รับแสงธรรมชาติ รดน้ำทุกวันเพื่อรักษาความชื้นในทรายให้คงที่ เมื่อครบกำหนดเวลา 10 วัน บันทึกผลร้อยละการงอก ความยาวราก ความยาวยอด น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าทั้งต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีของ Huang *et al.* (2004) ชุดควบคุมทำเช่นเดียวกันแต่แช่เมล็ดกวางตุ้งในน้ำกลั่น ทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย Two way ANOVA และ LSD test

ผลการทดลอง

ผลของ IBA ต่อความยาวยอด น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของยอด

การเจริญของต้นกล้ากวาดงตั้งในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย มีความยาวยอดมากกว่าต้นกล้ากวาดงตั้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยความยาวยอดของต้นกล้ากวาดงตั้งมีค่าเท่ากับ 4.68 ± 0.6 , 5.4 ± 0.77 และ 4.67 ± 0.58 ซม. ตามลำดับ การใช้เมล็ดพันธุ์ที่ได้รับ IBA ให้ผลไม่แตกต่างจากเมล็ดพันธุ์ที่แช่ในน้ำกลั่น โดยความยาวยอดของต้นกล้ากวาดงตั้งเพิ่มขึ้นเมื่อเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต ที่ปนเปื้อนในทรายมีความเข้มข้นสูงขึ้น แต่เมื่อเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ความยาวยอดลดลงเหลือ 4.16 ± 0.50 ซม. แต่ยังเป็นค่าที่มากกว่าการเจริญของต้นกล้ากวาดงตั้งในทรายที่ไม่ปนเปื้อน ซึ่งใช้เมล็ดพันธุ์ที่ได้รับ IBA เช่นกัน การใช้เมล็ดพันธุ์กวาดงตั้งที่ได้รับ IBA ให้ความยาวยอดของต้นกล้ากวาดงตั้งที่เพาะในแต่ละระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (Figure 1A)

น้ำหนักสดของยอดต้นกล้ากวาดงตั้งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย ไม่แตกต่างจากน้ำหนักสดของต้นกล้ากวาดงตั้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) การใช้เมล็ดพันธุ์กวาดงตั้งที่ได้รับ IBA ไม่ส่งผลให้น้ำหนักสดของต้นกล้ากวาดงตั้งแตกต่างจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้รับ IBA ที่ทุกระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต เช่นเดียวกับที่ IBA ไม่ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของต้นกล้ากวาดงตั้งแตกต่างจากต้นกล้ากวาดงตั้งที่ไม่ได้รับ IBA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($P > 0.05$) แต่เอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กระตุ้นการเจริญของต้นกล้า

กวาดงตั้งได้เล็กน้อย โดยน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากวาดงตั้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ไม่ว่าจะใช้เมล็ดพันธุ์ที่ได้รับ IBA หรือไม่ก็ตาม (Figure 1B และ 1C)

ผลของ IBA ต่อความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของราก

ความยาวรากของต้นกล้ากวาดงตั้งเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตเพิ่มขึ้นจาก 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย โดยทำให้ความยาวรากมากกว่าการเจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่การได้รับ IBA ของเมล็ดพันธุ์กวาดงตั้งก่อนเพาะไม่ส่งผลให้ความยาวรากของต้นกล้ากวาดงตั้งแตกต่างจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้รับ IBA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (Figure 2A)

น้ำหนักสดของรากต้นกล้ากวาดงตั้งที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับ IBA มีค่าน้อยกว่ากวาดงตั้งที่เพาะจากเมล็ดที่ไม่ได้รับ IBA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยน้ำหนักสดของรากต้นกล้ากวาดงตั้งที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับ IBA มีค่าเท่ากับ 3, 7 และ 2 มิลลิกรัม เมื่อเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต ความเข้มข้น 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย ตามลำดับ เอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กระตุ้นให้ต้นกล้ากวาดงตั้งที่ไม่ได้รับ IBA มีน้ำหนักสดของรากมากกว่ารากต้นกล้าที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนในทรายที่ไม่ปนเปื้อน พบว่า ไม่ว่าเมล็ดกวาดงตั้งจะได้รับ IBA หรือไม่ก็ตาม ไม่ทำให้น้ำหนักสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในขณะที่น้ำหนักแห้งของรากต้นกล้ากวาดงตั้ง ที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต ที่ระดับความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย ไม่แตกต่างกันไม่ว่าเมล็ดกวาดงตั้งจะได้รับ IBA ก่อนเพาะหรือไม่ก็ตาม ($P > 0.05$) (Figure 2B และ 2C)

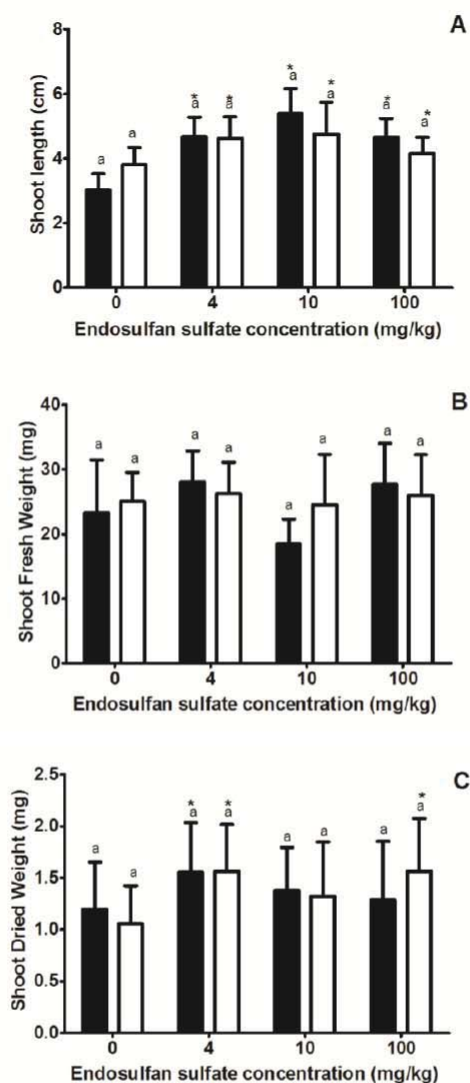


Figure 1 Chinese mustard green seedling growing in endosulfan-sulfate contaminated sand; (A) shoot length, (B) shoot fresh weight and (C) shoot dried weight
 Symbol: ■ seed not treated with IBA and □ seed treated with IBA
 Different lower case letter showed statistical difference ($P < 0.05$) between treat and untreated with IBA; *showed statistical different from the plant growing in non-contaminated sand

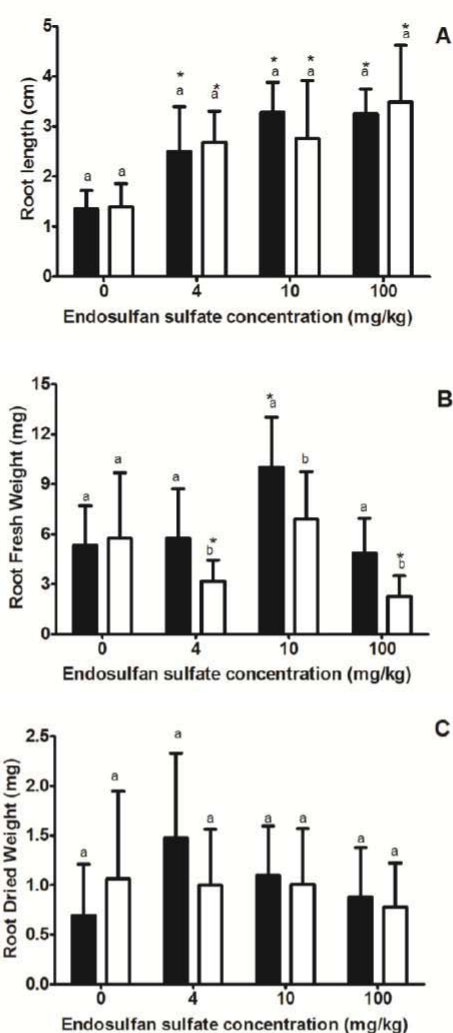


Figure 2 Chinese mustard green seedling growing in endosulfan-sulfate contaminated sand;

(A) root length, (B) root fresh weight and (C) root dried weight

Symbol; ■ seed not treated with IBA and □ Seed treated with IBA

Different lower case letter showed statistical difference ($P < 0.05$) between treat and untreated with IBA; * showed statistical different from the plant growing in non-contaminated sand

ผลของ IBA ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

การปนเปื้อนของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของต้นกล้าวางดั่งที่เพาะ

จากเมล็ดพันธุ์ที่ได้รับ IBA หรือไม่ก็ตาม มีปริมาณสูงกว่าคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของต้นกล้าวางดั่งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตเพิ่มขึ้น

เป็น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย
ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของต้นกล้า
กวางตุ้งต่ำกว่าของต้นกล้ากวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ไม่
ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การได้รับ

IBA ไม่ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดแตกต่างจาก
เมล็ดกวางตุ้งที่ไม่ได้รับ IBA ที่ทุกระดับความเข้มข้น
ของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต ($P > 0.05$) (Figure 3)

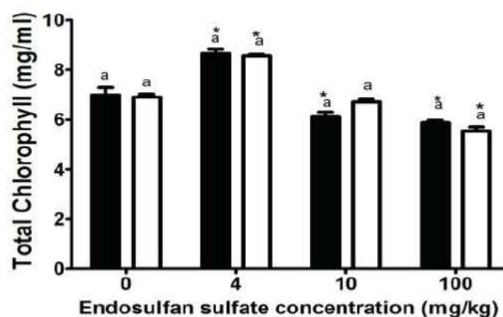


Figure 3 Content of total chlorophyll of chinese mustard green seedling growing in endosulfan-sulfated contaminated soil. Symbol; ■ Seed not treated with IBA and □ Seed treated with IBA. Different lower case letter showed statistical difference ($P < 0.05$) between treat and untreated with IBA; * showed statistical different from the plant growing in non-contaminated soil

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

เอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตไม่แสดงความเป็นพิษ
ต่อต้นกล้าผักกวางตุ้ง ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัม
ต่อกิโลกรัม แต่กระตุ้นการเจริญของยอดและราก
ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นที่สูงมาก คือ 100 มิลลิกรัม
ต่อกิโลกรัม ทำให้น้ำหนักสดของรากและปริมาณ
คลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อการเจริญของ
ยอดทั้งความยาวและน้ำหนัก การตอบสนองต่อความ
เป็นพิษของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตเกิดที่รากมากกว่า
ยอด เนื่องจากรากเป็นส่วนที่สัมผัสกับสารพิษที่
ปนเปื้อนในดินโดยตรง รวมทั้งนิยมใช้เป็นดัชนีที่ดีใน
การวัดความแข็งแรงของต้นกล้าในการสัมผัสกับ
สารพิษ (Chouychai *et al.*, 2007) เอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต
ที่ความเข้มข้นสูงเป็นพิษต่อน้ำหนักของราก แต่ไม่
เป็นพิษต่อน้ำหนักของยอด เช่นเดียวกับสารในกลุ่ม

พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ แอนทราซีน
เบนโซ[เอ]ไพรีน และฟลูออแรนทีนซึ่งเป็นพืชต่ำ
ต่อน้ำหนักสดของ *Brassica napus* L. เพียงเล็กน้อย
แต่เป็นพืชที่รุนแรงต่อน้ำหนักสดของรากมากกว่า
(Ren *et al.*, 1996)

นอกจากนี้มีรายงานว่าสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน
ส่งผลต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายสีเขียว *Scenedesmus*
quadricauda Berb 614 โดยที่ความเข้มข้นระดับต่ำ
0.02 หรือ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ของ 2,4-D จะกระตุ้น
การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอจึง
เพิ่มขึ้น แต่ 2,4-D จะเป็นพืชต่อคลอโรฟิลล์เอที่ระดับ
ความเข้มข้นสูง คือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร สอดคล้องกับ
ผลการศึกษานี้ โดยที่ระดับเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต
ความเข้มข้นต่ำปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น
ในขณะที่ความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้คลอโรฟิลล์
ทั้งหมดลดลง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลง

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเช่นกัน (Wong *et al.*, 2000) อย่างไรก็ตามเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต จัดว่ามีความเป็นพิษต่ำต่อผักกวางตุ้ง ซึ่งเป็นพืชทดสอบในการศึกษานี้ ซึ่งต่างจากแอลฟา-เอนโดซัลแฟน ที่แสดงความเป็นพิษต่อผักกวางตุ้งอย่างชัดเจนที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Chouychai, 2012) เนื่องจากเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตอาจอยู่ในรูปของสารมลพิษสะสมในพืช โดยรายงานส่วนใหญ่กล่าวว่า ตรวจพบเอนโดซัลแฟนในพืชทั่วโลกและมักสะสมอยู่ที่บริเวณเปลือกไม้ (Pereira *et al.*, 2006; Weber *et al.*, 2010)

การใช้ฮอร์โมนพืชจากภายนอกในกลุ่มออกซิน เพื่อเพิ่มความทนทานของพืช และในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม โดยได้มีรายงานออกมาอย่างต่อเนื่อง ส่วนใหญ่เป็นการใช้กับสารมลพิษที่เป็นโลหะ เช่น การศึกษาของ Du *et al.* (2011) พบว่า การใช้ indole-3-acetic acid จะช่วยให้ *Picris divaricata* สะสมตะกั่วได้ดีขึ้น เนื่องจากพืชมีระบบรากและชีวมวลดีขึ้น โดยการใช้ IAA ความเข้มข้น 100 μM ช่วยให้พืชมีอัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 และตรวจพบตะกั่วที่ใบพืชร้อยละ 37.3 และการศึกษาของ López *et al.* (2009) พบว่า การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช IAA และ kinetin ร่วมกับ EDTA มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี จากดินเข้าสู่ใบของถั่วอัลฟาลามากขึ้น ในบางครั้งการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตมีผลเสียต่อพืช และการสะสมโลหะหนักของพืชได้ เช่น ในการศึกษาของ Vamerali *et al.* (2011) รายงานว่า การใช้ IBA ไม่จะเป็นการฉีดพ่นทางใบหรือการผสม IBA กับวัสดุปลูกโดยตรงกลับลดชีวมวลของแรติซ พันธุ์ Oleiformis ในส่วนของลำต้นที่อยู่เหนือดิน และยังส่งผลให้แรติซสะสมโลหะหนัก ได้แก่ As, Zn, Cu, Co และ Pb ที่ปนเปื้อนร่วมกันในไพรไรต์ลดลง

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ยังมีน้อยทั้งที่มีรายงานว่า สารอินทรีย์ส่งผลต่อระบบฮอร์โมนภายในพืช เช่น ตันอ่อนของข้าวที่สัมผัสกับ Hexacyclo chlorohexane จะมีระดับของ IAA ลดลง (Sharada *et al.*, 1999) และปัทมาพร และคณะ (2554) รายงานว่า IBA สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวโพดที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนลิ้นดินได้ สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่มีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตจากภายนอกในกลุ่มออกซิน ได้แก่ IBA กระตุ้นการเจริญของเมล็ดพันธุ์ กวางตุ้ง พบว่า กวางตุ้งที่เพาะจากเมล็ดที่ได้รับ IBA มีการเจริญที่ไม่ต่างกับเมล็ดที่ไม่ได้รับ IBA แสดงว่าเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตไม่ส่งผลกระทบต่อออกซินภายในของพืช และการกระตุ้นเมล็ดกวางตุ้งด้วยออกซินไม่สามารถเพิ่มความทนทานให้ต้นกล้ากวางตุ้งต่อความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตได้ ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Chouychai (2012) ที่รายงานว่า IBA มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความยาวยอดและรากของผักกวางตุ้ง ที่ปลูกในดินปนเปื้อนลิ้นดิน และช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของผักกวางตุ้ง ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแอลฟา-เอนโดซัลแฟนได้ ความแตกต่างของการออกฤทธิ์ของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตกับเอนโดซัลแฟน ไอโซเมอร์อื่นๆ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของเอนโดซัลแฟนหลังจากเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชเป็นสิ่งที่น่าสนใจและควรมีการศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาแห่งประเทศไทย และมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้สนับสนุนทุนพัฒนาศักยภาพการทำวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ในครั้งนี้ (เลขที่สัญญา MRG5480030)

เอกสารอ้างอิง

- ชนิษฐา สมตระกูล และวราภรณ์ ญญา. 2555. การปนเปื้อน ความเป็นพิษ และการสะสมในพืชของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน. **ว. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**. 14(2): 35-43.
- ปัทมาพร รูปปัทม์ เจริญพงษ์ ชมภูษุ สุชาติ สระทองน และวราภรณ์ ญญา. 2554. ผลของออกซินและจิบเบอเรลลินต่อความเป็นพิษของลินเดนในต้นกล้าข้าวโพดที่ปลูกในดินต่าง.
- ว. เกษตรนเรศวร. 13(1): 43-49.
- ปิยะวรรณ ศรีวิลาศ และกานดา ใจดี. 2549. สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย. **ว. วิทยาศาสตร์บูรพา**. 11: 26-39.
- Becker, L., M. Scheringer, U. Schenker and K. Hühner. 2011. Assessment of the environmental persistence and long-range transport of endosulfan. **Environ. Pollut.** 159: 1737-1743.
- Boonyatumanond, R., A. Jaksakul, P. Pancharoen and M.S. Tabucanon. 2002. Monitoring of organochlorine pesticides residues in green mussels (*Perna viridis*) from the coastal area of Thailand. **Environ. Pollut.** 119: 245-252.
- Cassina, L., E.Tassi, E. Morelli, L. Giorgetti, D. Remorini, R.L. Chaney and M. Barbaferi. 2011. Exogenous cytokinin treatments of a Ni hyper-accumulator, *Alyssum murale*, grown in a serpentine soil: implications for phytoextraction. **Int. J. Phytoremediate.** 13(sup.1): 90-101.
- Castillo, J.M., J. Casas and E. Romero. 2011. Isolation of an endosulfan-degrading bacterium from a coffee farm soil: persistence and inhibitory effect on its biological functions. **Sci. Total Environ.** 412-413: 20-27.
- Chouychai, W. 2012. Effect of some plant growth regulators on lindane and alpha-endosulfan toxicity to *Brassica hinensis*. **J. Environ. Biol.** 33: 811-816.
- Chouychai, W., A. Thongkukiatkul, S. Upatham, H. Lee, P. Pokethitiyook and M. Kruatrachue. 2007. Phytotoxicity of crop plants to phenanthrene and pyrene contaminants in acidic soil. **Environ. Toxicol.** 6: 597-604.
- Du, R.J., E.K. He, Y.T. Tang, P.J. Hu, R.R. Ying, J.L. Morel and R.L. Qiu, 2011. How phytohormone IAA and chelator EDTA affect lead uptake by Zn/Cd hyper accumulator *Picris divaricata*. **Int. J. Phytoremediate.** 13: 1024-1036.
- Huang, X.D., Y. El-Alawi, D.M. Penrose, B.R. Glick and B.M. Greenberg. 2004. Responses of three grass species to creosote during phytoremediation. **Environ. Pollut.** 130: 453-463.
- Kataoka, R., K. Takagi and F. Sakakibara. 2011. Biodegradation of endosulfan by *Mortierella* sp. strain W8 in soil: influence of different substrates on biodegradation. **Chemosphere.** 85: 548-552.

- Kirk, J.L., J.N. Klironomos, H. Lee and J.T. Trevors. 2002. Phytotoxicity assay to assess plant species for phytoremediation of petroleum contaminated soil. **Bioremediat. J.** 6: 57-63.
- Kumar, M., C.V. Lakshmi and S. Khanna. 2008. Biodegradation and bioremediation of endosulfan contaminated soil. **Bioresource Technol.** 99: 3116-3122.
- López, M.L., J.R. Peralta-Videa, J.G. Parsons, J.L. Gardea-Torresdey and M. Duarte-Gardea. 2009. Effect of indole-3-acetic acid, kinetin and ethylenediaminetetraacetic acid on plant growth and uptake and traslocation of lead, micronutrients and macronutrients in alfalfa plants. **Int. J. Phytoremediate.** 11: 131-149.
- Pereira, R.C., M. Camps-Arbestain, B.R. Garrido, F. Macías and C. Monterroso. 2006. Behavior of α -, β -, γ -, and δ -hexachloro cyclohexane in the soil-plant system of a contaminated site. **Environ Pollut.** 144: 210-217.
- Pérez, D.J., M.L. Menone, E.L. Camadro and V. Moreno. 2008. Genotoxicity evaluation of the insecticide endosulfan in the wetland macrophyte *Bidens laevis* L. **Environ. Pollut.** 153: 695-698.
- Poolpak, T., P. Pokethitiyook, M. Kruatrachue, U. Arjarasirikoon and N. Thanwaniwat. 2008. Residue analysis of organochlorine pesticides in the Mae Klong river of Central Thailand. **J. Hazard. Mater.** 156: 230-239.
- Ramírez-Sandoval, M., G.N. Melchor-Partida, S. Muñiz-Hernández, M.I. Girón-Pérez, A.E. Rojas-García, I.M. Medina-Díaz, M.L. Robledo and J.B. Velázquez-Fernández. 2011. Phytoremediatory effect and growth of two species of *Ocimum* in endosulfan polluted soil. **J. Hazard. Mater.** 192: 388-392.
- Ren L., L.F. Zeiler, D.G. Dixon and B.M. Greengerg. 1996. Photoinduced effect of polycyclic aromatic hydrocarbons on *Brassica napus* (canola) during germination and early seedling development. **Ecotox. Environ. Safe.** 33: 73-80.
- Sharada, K., B.P. Salimath, S. Shetty, N. Gopalakrishna and K. Karanth. 1999. Indol-3-acetic acid and calmodulin-regulated Ca²⁺-ATPase: A target for the phytotoxic action of hexachlorocyclohexane. **Pesticide Sci.** 35: 315-319.
- Somtrakoon, K. and S. Pratumma. 2012. Phytotoxicity of heptachlor and endosulfan sulfate contaminants in soils to economic crops. **J. Environ. Biol.** 33: (In press).
- Vamerali, T., M. Bandiera, W. Hartley, P. Carletti and G. Mosca. 2011. Assisted phytoremediation of mixed metal(loid)-polluted pyrite waste: effects of foliar and substrate IBA application on fodder radish. **Chemosphere.** 84: 213-219.
- Vidyasager, G.M., D. Kotresha, N. Sreenivasa and R. Karnam. 2009. Role of endosulfan in mediating stress responses in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **J. Environ. Biol.** 30(2): 217-220.

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 30(1): 14-24

Weber, J., C.J. Halsall, D. Muir, C. Teixeira, J. Small, K. Solomon, M. Hermanson, H. Hung and T. Bidleman. 2010. Endosulfan a global pesticide: a review of its fate in the environment and occurrence in the Arctic. **Sci. Total Environ.** 408: 2966-2984.

Wong, P.K. 2000. Effects of 2,4-D, glyphosate and paraquat on growth, photosynthesis, and chlorophyll a synthesis of *Scenedesmus quadricauda* Berb 614. **Chemosphere.** 41: 177-182..

ผลของกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติกและไทเดียซุรอนต่อการเจริญของต้นกล้าผักกวางตุ้ง ที่ปลูกในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต

Effects of Alpha-naphthalene Acetic Acid and Thidiazuron on *Brassica chinensis*

Seedling Growth in Sand Contaminated with Endosulfan-sulfate

ขนิษฐา สมตระกูล^{*1} และ มาลีญา เครือตราฐ²

1. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

2. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนพระราม 6 กรุงเทพฯ 10400

*Email: skhanitta@hotmail.com

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติก (NAA) และไทเดียซุรอน (TDZ) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อการเจริญของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า การกระตุ้นด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตทั้งสองชนิดไม่ส่งผลต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของผักกวางตุ้งอย่างเด่นชัด กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติกมีแนวโน้มทำให้ความยาวยอดของผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตมากกว่าความยาวยอดของผักกวางตุ้งที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยความยาวยอดของผักกวางตุ้งที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติกมีค่าเท่ากับ 3.61 ± 0.73 , 5.10 ± 0.46 , 5.35 ± 0.51 และ 5.48 ± 0.70 เซนติเมตร เมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ในขณะที่ไทเดียซุรอนทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าผักกวางตุ้งน้อยกว่าต้นกล้าที่ไม่ได้รับไทเดียซุรอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสารควบคุมการเจริญเติบโตทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้าผักกวางตุ้ง การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติกทำให้น้ำหนักสดของรากลดลงเมื่อเทียบกับ ต้นกล้าผักกวางตุ้งที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติก ส่วนไทเดียซุรอนเป็นพิษต่อรากอย่างชัดเจนโดยไม่ทำให้เกิดการพัฒนาของราก การได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชทั้งสองส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและคลอโรฟิลล์เอของผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อลิตรเพิ่มขึ้นมากกว่าผักกวางตุ้งที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

คำสำคัญ : กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซีติก ไทเดียซุรอน ผักกวางตุ้ง สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช
เอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต

Abstract

This research investigated the effects of plant growth regulators alpha-naphthalene acetic acid (NAA) and thidiazuron (TDZ) on *Brassica chinensis* seeds grown in sand contaminated with endosulfan-sulfate at concentrations of 0, 4, 10, and 100 mg/kg. The results showed that both regulators did not significantly stimulate the growth of *B. chinensis* seedlings. NAA increased the shoot lengths of the seedlings to 3.61 ± 0.73 , 5.10 ± 0.46 , 5.35 ± 0.51 , and 5.48 ± 0.70 cm in the presences of 0, 4, 10, and 100 mg/kg of endosulfan-sulfate in sand respectively ($P<0.05$). However, the shoot lengths of *B. chinensis* seedlings decreased significantly after treatment with TDZ. The dried weight of *B. chinensis* did not significantly differ when compared to the control that did not receive any plant growth regulators. TDZ was strongly toxic to the root growth of *B. chinensis* seedlings. The total

chlorophyll and chlorophyll a increased in *B. chinensis* seedlings after treatments with NAA and TDZ in the presence of 100 mg/kg of endosulfan-sulfate in sand.

Keywords: Alpha-naphthalene acetic acid: Thidiazuron: Chinese mustard green: Plant growth regulator: Endosulfan-sulfate

1. บทนำ

เอนโดซัลแฟนเป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ถูกนำมาใช้ในการทำเกษตรกรรมเมื่อประมาณ 50 ปีที่แล้วเพื่อกำจัดแมลงในพืชสวนผักและผลไม้ เนื่องจากความทนทานในสิ่งแวดล้อมทำให้พบการปนเปื้อนของเอนโดซัลแฟนในสิ่งแวดล้อมสม่ำเสมอ รูปของเอนโดซัลแฟนที่พบปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ เบตา-เอนโดซัลแฟน แอลฟา-เอนโดซัลแฟน และเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต โดยเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตเป็นสารตัวกลางที่ได้จากการย่อยสลายเอนโดซัลแฟนโดยจุลินทรีย์ ในดิน สารตัวกลางชนิดนี้มีความเป็นพิษใกล้เคียงกับเอนโดซัลแฟน แต่มีความคงทนในสิ่งแวดล้อมสูงกว่า ทั้งเอนโดซัลแฟนและเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตมีรายงานว่าพบปนเปื้อนในบริเวณที่มีการทำเกษตรกรรมอย่างต่อเนื่อง เช่น ดินตะกอนแถบลุ่มน้ำแม่กลอง ภาคกลาง และน้ำใต้ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย [1, 2, 3, 4] จากการสำรวจการปนเปื้อนของสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินตะกอนบริเวณพื้นผิวลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัด สมุทรสงครามเมื่อ พ.ศ. 2547-2548 ตรวจพบเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 0.05-0.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ของดิน [2] และจากการสำรวจเมื่อ พ.ศ. 2540 พบว่าดินในเขตเกษตรกรรมของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนของเฮปตาคลอร์ อีพอก-ไซด์ อยู่ที่ 11.91 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และตรวจพบเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 8.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ของดิน [5]

การใช้งานสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และส่งผลเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่มีโซ่ป้อนอาหารของการทำลายได้ โดยเฉพาะพืชซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยดินในการเจริญเติบโตและไม่สามารถหลีกเลี่ยงความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชได้ ความเป็นพิษต่อพืชมักส่งผลกระทบต่อหน้าที่ตามปกติของเซลล์และเนื้อเยื่อพืชทำให้พืชมีการลดชีวิตที่ต่ำลง เช่น ความเข้มข้นระดับสูงของเอนโดซัลแฟนตั้งแต่ 1.11 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่งผลให้ร้อยละการออก ความยาวยอด

ความยาวราก ชีวมวลและปริมาณคลอโรฟิลล์ของข้าวฟ่างลดลง รวมทั้งยังส่งผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีนเอสด้วย [6] นอกจากนี้เอนโดซัลแฟนยังส่งผลเป็นพิษระดับยีนโดยรบกวนการทำงานของเส้นใยสปินเดิลในระหว่างการเคลื่อนย้ายของโครโมโซมไปที่ขั้วเซลล์ในพืชขนาดใหญ่ *Bidens laevis* L. [7] นอกจากเอนโดซัลแฟนแล้วสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดอื่นๆ ยังส่งผลเป็นพิษต่อพืชได้เช่นเดียวกัน เช่น เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนที่ความเข้มข้น 1,250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขึ้นไปส่งผลให้ดัชนีความแข็งแรงของ *Brassica* sp. ลดลง [8] การมีแอลฟา-เอนโดซัลแฟนในดินเพียง 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ความยาวรากของต้นกล้าผักทองลดลงถึง 80% [9] เช่นเดียวกับการงอกของหัวไชเท้าและถั่วเขียวจะถูกยับยั้งได้อย่างสมบูรณ์เมื่อได้รับเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนเพียง 100 ไมโครกรัม [10] นอกจากนี้ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin) ที่อยู่ในรูปสารละลายซึ่งเป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มไพรีทรอยด์ส่งผลยับยั้งการงอกของกะหล่ำปลี (Pakchoi) ซึ่งการได้รับไซเพอร์เมทรินร่วมกับทองแดงส่งผลให้ความยาวรากของกะหล่ำปลีลดลงมากกว่าการได้รับไซเพอร์เมทรินหรือทองแดงเพียงอย่างเดียว [11]

การใช้สารควบคุมการเจริญของพืชเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดความเป็นพิษของสารมลพิษต่อพืช ซึ่งการใช้งานอย่างเหมาะสมจะช่วยสนับสนุนการเจริญของพืช และช่วยให้พืชมีความทนทานต่อสภาวะเครียดจากปัจจัยทางกายภาพ เช่น ความเค็ม ความแห้งแล้ง อุณหภูมิสูง รวมถึงความเครียดจากการได้รับสารพิษ เช่น โลหะหนัก สารกำจัดวัชพืช และพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนได้ [12, 13, 14, 15, 16, 17] การใช้สารควบคุมการเจริญของพืชเพื่อลดความเป็นพิษของสารมลพิษต่อพืชมีรายงานอย่างต่อเนื่อง เช่น การใช้กรดอะบิสซิโนลิกช่วยเพิ่มความทนทานของทานตะวันต่อความเครียดจากพิษของสังกะสีและตะกั่ว โดยช่วยให้ยอดและรากของทานตะวันเจริญได้ตามปกติ [14] การใช้

4PU-30 ซึ่งเป็นไซโตไคนินชนิดฟีโนลิกช่วยลดความเป็นพิษของไกลโฟเสตต่อน้ำหนักของข้าวโพดได้ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ที่ถูกทำลายจากการได้รับไกลโฟเสตด้วย [15] บราสสิโนสเตอรอยด์ (brassinosteroid) ช่วยลดความเครียดและความเป็นพิษของฟีแนทรีนและไพรีนตอมะเขือเทศ โดยกระตุ้นให้กิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงของมะเขือเทศสูงขึ้นและช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ที่ช่วยลดความเป็นพิษจากอนุมูลอิสระของฟีเอเอซทั้งสองตอมะเขือเทศ [12] การศึกษานี้ได้ศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญของพืชที่เป็นสารสังเคราะห์สองชนิด ได้แก่ กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิก และไทเดียซอรอนต่อการลดความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตของกวางตุ้ง สารควบคุมการเจริญของพืชทั้งสองอยู่ในกลุ่มออกซินและไซโทไคนินซึ่งมีกลไกสนับสนุนการเจริญของพืชได้แตกต่างกัน และเคยนำมาใช้ลดความเป็นพิษของโลหะหนักต่อพืชหลายชนิด เช่น การใช้ไทเดียซอรอนเพื่อลดความเป็นพิษของนิกเกิลในต้นกล้าข้าวโพด [18] หรือการใช้ฮอร์โมนในกลุ่มออกซิน เช่น กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิก และกรดอินโดลอะซิดิก ช่วยลดพิษของโลหะแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดงโดยยับยั้งกระบวนการ biosorption และฟื้นฟูให้การเจริญของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ให้เป็นปกติ [19]

การใช้สารควบคุมการเจริญของพืชเพื่อกระตุ้นการเจริญของต้นกล้าที่ปลูกในบริเวณที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนนั้นพบรายงานน้อยมาก ส่วนใหญ่พบรายงานเฉพาะในดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เป็นสารสังเคราะห์ 2 ชนิด ได้แก่ กรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิก (NAA) และไทเดียซอรอน (TDZ) ซึ่งมีเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มออกซินและไซโทไคนิน ตามลำดับ มากระตุ้นการเจริญของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ครอบคลุมความเข้มข้นที่พบรายงานการปนเปื้อนในประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมดิน

ละลายเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต (บริษัท Dr. Ehrenstorfer GmbH Lot no. 81205 ประเทศเยอรมัน

ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.5) ในอะซีโตนแล้วเติมลงทรายให้มีความเข้มข้นสุดท้ายในทรายเป็น 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของทราย จากนั้นแบ่งทรายที่ผสมแล้วในตู้ควั่นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยไป แล้วจึงแบ่งทราย 50 กรัมใส่ลงในภาชนะพลาสติกที่มีความจุ 120 มิลลิลิตร และปรับความชื้นของทรายให้เป็นร้อยละ 65 โดยน้ำหนักก่อนการทดลอง

2.2 การกระตุ้นต้นกล้าผักกวางตุ้งด้วยกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซอรอน

การกระตุ้นต้นกล้าผักกวางตุ้งด้วยสารควบคุมการเจริญสังเคราะห์ดัดแปลงจากวิธีของ Kirk *et al.* [20] โดยแช่เมล็ดพันธุ์กวางตุ้ง (บริษัทเจียไต๋ กทม.) ในสารละลายกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซอรอนความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (บริษัท Fluka ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ชุดควบคุมทำเช่นเดียวกันแต่แช่เมล็ดกวางตุ้งในน้ำกลั่น แล้วเพาะในภาชนะพลาสติกที่มีทราย ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต แต่ละความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 10 เมล็ด (ทำการทดลองทั้งหมดสามซ้ำ) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ได้รับแสงธรรมชาติ รดน้ำทุกวันเพื่อรักษาความชื้นในทรายให้คงที่เมื่อครบกำหนดเวลา 10 วัน วัดร้อยละการงอก ความยาวราก ความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ของต้นกล้าทั้งต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีของ Huang *et al.* [21] โดยนำใบสดของต้นกล้าผักกวางตุ้งปริมาณ 200 มิลลิกรัม มาตัดให้มีขนาด 0.5 x 0.5 เซนติเมตร แล้วแช่ในสารละลายอะซีโตนความเข้มข้นร้อยละ 80 ปมในที่มืด อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร แล้วจึงคำนวณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดในหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรดังสมการ

$$\text{Chlorophyll A} = [12.7 \times A_{663}] - [2.69 \times A_{645}]$$

$$\text{Chlorophyll B} = [22.9 \times A_{645}] - [4.68 \times A_{663}]$$

$$\text{Total Chlorophyll} = [8.02 \times A_{663}] + [20.2 \times A_{645}]$$

ทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย Two way ANOVA และ LSD test

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

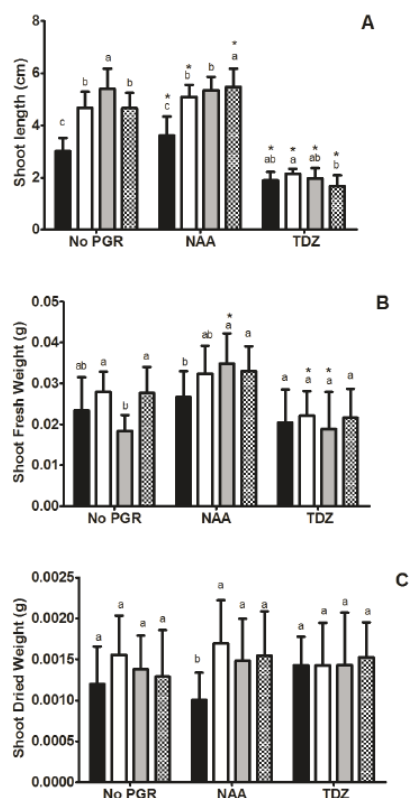
3.1 ผลของการกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซุรอนต่อความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอด

กวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีความยาวยอดสูงกว่ากวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกมีแนวโน้มทำให้ความยาวยอดของกวางตุ้งที่เจริญในทรายทั้งปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตสูงกว่าความยาวยอดของกวางตุ้งที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยความยาวยอดของกวางตุ้งที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกมีค่าเท่ากับ 3.61 ± 0.73 , 5.10 ± 0.46 , 5.35 ± 0.51 และ 5.48 ± 0.70 เซนติเมตร เมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 0, 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ในขณะที่การได้รับไทเดียซุรอนกลับส่งผลให้ความยาวยอดของกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตต่ำกว่าความยาวยอดของกวางตุ้งที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญชนิดใดเลยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยความยาวยอดของกวางตุ้งที่ได้รับไทเดียซุรอนเมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตความเข้มข้น 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่าเพียง 2.14 ± 0.19 , 1.97 ± 0.39 และ 1.68 ± 0.41 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 1A)

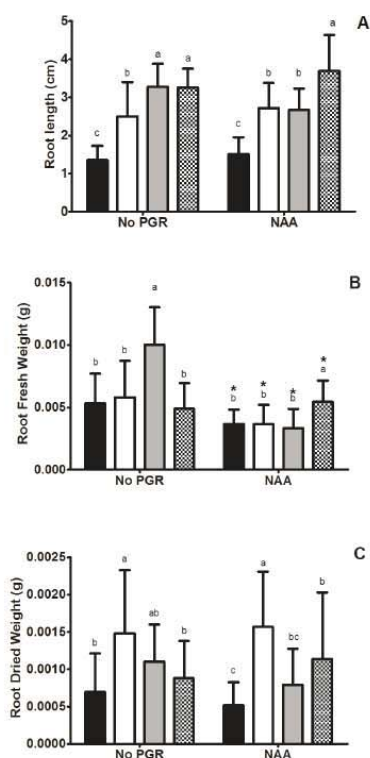
การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกหรือไทเดียซุรอนไม่ส่งผลต่อน้ำหนักสด ของยอดกวางตุ้ง น้ำหนักสดของยอดกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ภาพที่ 1B)

การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกและไทเดียซุรอนไม่ทำให้น้ำหนักแห้งของกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ทุกระดับความเข้มข้นต่างจากน้ำหนักแห้งของกวางตุ้งที่ไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เป็นสังเคราะห์ทั้งสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยการได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลน์อะซิดิกส่งผลให้น้ำหนักแห้งของยอดกวางตุ้งที่

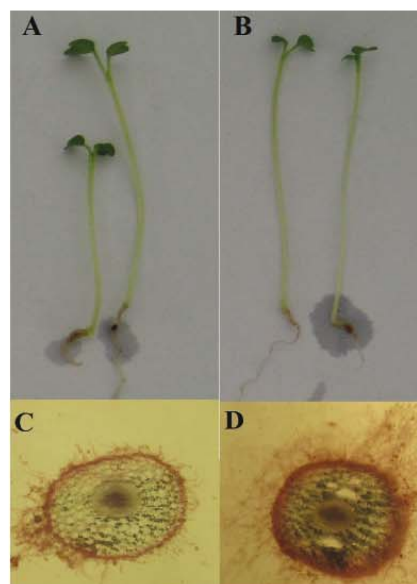
เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสูงกว่ากวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ภาพที่ 1C)



ภาพที่ 1 ความยาวยอด (A) น้ำหนักสด (B) และน้ำหนักแห้งยอด (C) ของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (□) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▒) และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▨) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง เอนโดซัล-แฟน-ซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน แต่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชชนิดเดียวกัน ส่วน * หมายถึงมีความแตกต่างจากต้นกล้ากวางตุ้งที่ไม่ได้รับฮอร์โมนที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 2 ความยาวราก (A) น้ำหนักสด (B) และน้ำหนักแห้งราก (C) ของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (□) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▒) และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▣) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเอนโดซัล-แฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน แต่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชชนิดเดียวกัน ส่วน * หมายถึงมีความแตกต่างจากต้นกล้ากวางตุ้งที่ไม่ได้รับฮอร์โมนที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 3 ลักษณะของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (A) และต้นกล้าที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกก่อนเพาะในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (B) ภาพตัดขวางของรากแก้วผักกวางตุ้ง เนื้อเยื่อสด ย้อมด้วยสีซาฟรานีน ของต้นกล้าที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (C) และของต้นกล้าที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิติกก่อนเพาะในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (D)

3.2 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิก และไทเดียซุรอนต่อความยาวราก น้ำหนักสดและ น้ำหนักแห้งของราก

กวางตุ้งที่ได้รับและไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิกเมื่อเจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 4-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจะมีความยาวรากมากกว่ากวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ภาพ 2A)

การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิกกลับส่งผลให้น้ำหนักสดของรากกวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตทุกระดับความเข้มข้นมีน้ำหนักสดของรากลดลงและต่ำกว่าน้ำหนักสดของรากกวางตุ้งที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยน้ำหนักสดของรากกวางตุ้งที่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิกมีค่าเพียง 0.004 ± 0.001 , 0.003 ± 0.002 และ 0.005 ± 0.002 กรัม เมื่อเจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตความเข้มข้น 4, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ภาพ 2B) แต่ถ้าพิจารณาจากภาพตัดขวางของรากแก้วของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่ได้รับและไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิกแล้ว จะเห็นความแตกต่างได้บ้างที่ระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตเป็น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยจะเห็นว่าการเกิดขนรากที่ชั้นอีพิเดอร์มิสของรากแก้วของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่ไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิกก่อนเพาะจะน้อยกว่าต้นกล้าที่ได้รับการกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิกก่อนเพาะอย่างชัดเจน (ภาพที่ 3)

นอกจากนี้ความเข้มข้นระดับ 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตกระตุ้นให้น้ำหนักแห้งของรากกวางตุ้งเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิกหรือไม่ก็ตาม ส่วนไทเดียซุรอนกลับส่งผลเสียต่อรากของกวางตุ้งโดยทำให้กวางตุ้งไม่มีพัฒนาการของราก (ภาพที่ 4)



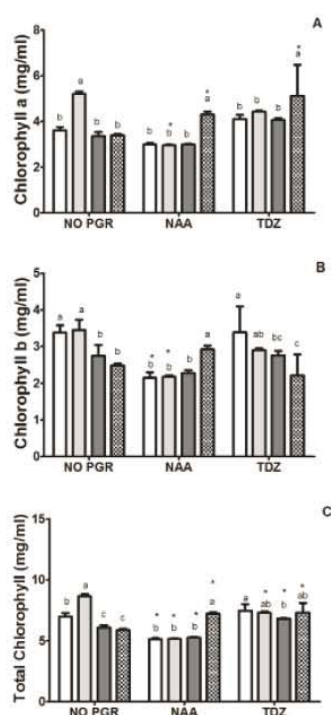
ภาพที่ 4 ลักษณะของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่ถูกกระตุ้นด้วยไทเดียซุรอน 10 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อนเพาะในทรายที่มีและไม่มีเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต ซึ่งแสดงอาการเดียวกัน คือไม่มีรากเมื่ออายุครบ 10 วัน

3.3 ผลของกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิก และไทเดียซุรอนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์

กวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่ากวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ไม่ปนเปื้อนและทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่กวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิกและไทเดียซุรอน จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่ากวางตุ้งที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันและไม่ได้รับสารควบคุมการเจริญของพืชสังเคราะห์ทั้งสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซิดิกมีค่าเป็น 4.30 ± 0.13 และ 7.21 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและได้รับไทเดียซุรอนมีค่าเป็น 7.33 ± 0.79 และ

5.12±1.35 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 5A และ 5C)

การได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซีติกและไทเดียซุรอนไม่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บีของกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณคลอโรฟิลล์บีของกวางตุ้งที่เจริญในดินปนเปื้อน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไม่ต่างจากกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนแต่ไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซีติกและไทเดียซุรอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 5B)



ภาพที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (A) คลอโรฟิลล์บี (B) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (C) ของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (□) 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▒) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (■) และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (▣)

จากผลการศึกษาจะเห็นว่าเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตไม่แสดงความเป็นพิษต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของกวางตุ้งมากนัก ซึ่งต่างจากรายงานของ Chouychai [22] ซึ่งกล่าวว่าแอลฟา-เอนโดซัลแฟนที่ความเข้มข้นเพียง 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมก็แสดงความเป็นพิษต่อการเจริญของผักกวางตุ้งอย่างชัดเจน และการได้รับกรดอินโดลบีว-ไทรค หรือกรดจิบเบอเรลลิก 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรจะช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของยอดได้ที่ความเข้มข้นของแอลฟาเอนโดซัลแฟนเป็น 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับการศึกษาครั้งนี้ การได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เป็นสารสังเคราะห์ทั้งกรดแอลฟาแนฟทาซีนอะซีติกและไทเดียซุรอนไม่ส่งผลสนับสนุนการเจริญของต้นกล้าของผักกวางตุ้งเท่าที่ควร อีกทั้งยังส่งผลเสียต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของผักกวางตุ้งด้วย โดยได้รับไทเดียซุรอนทำให้ไม่เกิดการพัฒนาราก ทำให้ความยาวยอดและน้ำหนักสดของยอดผักกวางตุ้งลดลง ไทเดียซุรอนเป็นสารควบคุมการเจริญในกลุ่มไซโตไคนินซึ่งชักนำให้เกิดยอดจำนวนมาก [23] ไทเดียซุรอนมีผลกระตุ้นการออกของเมล็ดพืชหลายชนิด มักชักนำให้เกิดการพัฒนาของยอด แต่ชักนำให้เกิดรากได้ยาก เช่น ใน *Hedycium canorarium* [24] แม้จะมีรายงานว่าไทเดียซุรอนลดระดับความเป็นพิษของโลหะต่อพืชได้ แต่การศึกษานี้กลับพบว่าไทเดียซุรอนไม่ทำให้เกิดการพัฒนาของราก ซึ่งอาจจะขึ้นกับระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญที่ใช้ ต้องมีความเหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด ซึ่งการใช้ไทเดียซุรอนความเข้มข้นสูงแล้วทำให้การเจริญของรากลดลงนั้นสอดคล้องกับรายงานของวรภรณ์และคณะ [25] ซึ่งกล่าวว่าการใช้ไทเดียซุรอนความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรกระตุ้นเมล็ดก่อนเพาะในดินที่ปนเปื้อนฟลูออรีน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจะทำให้ความยาวและน้ำหนักสดของรากของต้นกล้าข้าวโพดลดลงอย่างชัดเจนเช่นกัน แต่จะไม่พบผลกระทบต่อรากถ้าใช้ไทเดียซุรอน 0.1 – 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร [25] ผลกระทบเช่นนี้ ยังพบในการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดอื่นในปริมาณสูงเกินไปด้วย เช่น มีรายงานว่ากรดจิบเบอเรลลิกเพียง 10 ไมโครโมลาร์ช่วยลดความเป็นพิษของโครเมียมโดยกระตุ้นการเจริญของถั่วลิสงเตาให้ปกติ ช่วยรักษาระดับกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ให้ปกติ และพัฒนาระบบการผลิตสารต่อต้านอนุมูลอิสระให้ดีขึ้นได้ ในขณะที่การใช้กรดจิบเบอเรลลิกที่ความเข้มข้น 100 ไม-

โครโมลา์กลับส่งผลเสียและไม่ช่วยลดพิษของโครเมียมต่อพืชได้ [26]

โดยปกติยอดพืชที่ถูกชักนำด้วยไทเดียมจะเพิ่มระดับของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต [23] ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าไทเดียมช่วยให้ความยาวยอดของกวางตุ้งลดลงที่ทุกระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต แม้ว่าเอนโดซัลแฟน ซัลเฟตเพียงอย่างเดียวจะทำให้ความยาวยอดเพิ่มขึ้นก็ตาม แม้จะมีรายงานว่าไทเดียมสามารถเพิ่มน้ำหนักสดของพืชได้ เช่น การฉีดพ่นไทเดียม 10 ppm ช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของผลกีวี่ได้ [27] แต่ผักกวางตุ้งที่ได้รับไทเดียมเมื่อนำมาเพาะในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต จะไม่ทำให้น้ำหนักสดต่างจากผักกวางตุ้งที่ไม่ได้สัมผัสกับเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต ทำให้เป็นไปได้ว่าจะมีปฏิสัมพันธ์ของการออกฤทธิ์ระหว่างเอนโดซัลแฟนซัลเฟตกับไทเดียมได้ ซึ่งการออกฤทธิ์เสริมกันของสารชีวโมเลกุลในการตอบสนองต่อความเครียดของพืชเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ทั่วไป [28]

โดยปกติ กรดแอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีบทบาทมากในการชักนำการออกรากของกิ่งปักชำ [29, 30] ทั้งนี้เพราะสารควบคุมการเจริญในกลุ่มออกซินมีบทบาทในการกระตุ้นการเจริญของพืชโดยกระตุ้นการเจริญของราก เพิ่มพื้นที่ผิวของราก โดยเพิ่มพื้นที่ผิวของรากพืชโดยการกระตุ้นการแบ่งเซลล์และการยืดขยายของเซลล์ [14] แต่ในการศึกษานี้พบว่ากรดแอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกไม่มีบทบาทในการกระตุ้นการเจริญของรากผักกวางตุ้งในทรายที่ปนเปื้อนมากนัก ซึ่งอาจเป็นเพราะเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของยอดและรากของผักกวางตุ้ง การที่ผักกวางตุ้งถูกกระตุ้นด้วยกรดแอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกแล้วนำมาเพาะในทรายที่มีเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตไม่ทำให้ความยาวรากและน้ำหนักแห้งของรากกวางตุ้งต่างจากการไม่ได้รับกรดแอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกแต่จะทำให้น้ำหนักสดของรากลดลง

การที่พืชสัมผัสกับสารมลพิษ แม้จะยังไม่แสดงอาการเป็นพิษ แต่สารมลพิษเหล่านั้นก็สร้างความกดดันต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชเกิดความเครียดได้ สารควบคุมการเจริญของพืชในกลุ่มออกซินมีบทบาทสำคัญในการลดความเครียดแก่พืชในสภาวะนี้ ตัวอย่างเช่น กรดแอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกช่วยลดอาการเครียดของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* จากความ

เป็นพิษของแคดเมียม ตะกั่ว และทองแดงได้ [19] กรด 3-อินโดลอะซีติกร่วมกับ เบนซิลอะดีนีน (benzyladenine) ช่วยกระตุ้นการเจริญของแคลลัสตัวล้นเตาพันธุ์ Garde ในสภาวะที่ได้รับฟลูออแรน ที่ความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร [31]

ทั้งกรดแอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกและไทเดียมจะส่งผลต่อปริมาณแคลอโรฟิลล์ไม่มากนัก ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตซึ่งกรดแอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกและไทเดียมส่งผลให้ปริมาณแคลอโรฟิลล์เอและแคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักกวางตุ้งสูงขึ้นซึ่งอาจถือเป็นกลไกที่สารควบคุมการเจริญช่วยฟื้นฟูสภาพการเจริญของพืชให้เป็นปกติ ดังที่มีรายงานว่า 4PU-30 ซึ่งเป็นไซโตไคนินชนิดพินยูเรีย เช่นเดียวกับไทเดียมช่วยเพิ่มปริมาณแคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ในข้าวโพดที่ได้รับพิษจากไกลโฟเสตได้ [15] ซึ่งแคลอโรฟิลล์เอเป็นแคลอโรฟิลล์ชนิดที่มีความไวต่อสารมลพิษที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบและสารกำจัดวัชพืช เช่นไกลโฟเสต ซึ่งสารเหล่านี้ทำให้แคลอโรฟิลล์เอลดลง [32]

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

เอนโดซัลแฟนซัลเฟตระดับความเข้มข้นที่นำมาทดสอบนี้เป็นความเข้มข้นที่ครอบคลุมระดับที่มีรายงานว่าปนเปื้อนในประเทศไทย ซึ่งระดับความเข้มข้นดังกล่าวนี้ไม่ส่งผลต่อการเจริญระยะต้นกล้าของผักกวางตุ้งอย่างชัดเจน การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เป็นสารสังเคราะห์ส่งผลต่อผักกวางตุ้งต่างกันโดยขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ปนเปื้อนในทรายด้วย โดยแอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกมีแนวโน้มทำให้ความยาวยอดของผักกวางตุ้งที่เจริญในทรายทั้งที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตสูงขึ้น ในขณะที่ไทเดียมทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าผักกวางตุ้งสั้นลง แอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกและไทเดียมไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งของยอดต้นกล้ากวางตุ้ง ไทเดียมเป็นพืชต่อรากอย่างชัดเจนกว่ากรดแอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกโดยทำให้รากไม่พัฒนา ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นของแอลฟาแนฟทาไลนอะซีติกและไทเดียมที่เลือกมาศึกษาอาจไม่เหมาะสมต่อการกระตุ้นการเจริญของผักกวางตุ้ง แม้ว่าการใช้กรดอินโดลิวไทริกหรือกรดจิบเบอเรลลิกที่ระดับความเข้มข้น

เดียวกันนี้เคยใช้ได้ผลมาก่อน [22] ดังนั้น ควรศึกษาระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญให้เหมาะสมต่อการสนับสนุนการเจริญของพืชและศึกษากลไกเชิงลึกของสารควบคุมการเจริญทั้งสองต่อผักกวางตุ้งต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนพัฒนาศักยภาพการทำวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาแห่งประเทศไทย และมหาวิทยาลัยมหาสารคาม (เลขที่สัญญา MRG5480030)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thapinta, A. and Hudak, P.F. 2003. "Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand". **Environmental Pollution**. 29: 87-93.
- [2] Poolpak, T., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M., Arjarasirikoon, U. and Thanwaniwat, N. 2008. "Residue analysis of organochlorine pesticides in the Mae Klong river of Central Thailand". **Journal of Hazardous Materials**. 156: 230-239.
- [3] Joseph, R., Reed, S., Jayachandran, K., Clark-Cuadrado, C. and Dunn, C. 2010. "Endosulfan has no adverse effect on soil respiration". **Agricultural, Ecosystem and Environment**. 138: 181-188.
- [4] Weber, J., Halsall, C.J., Muir, D., Teixeira, C., Small, J., Solomon, K., Hermanson, M., Hung, H. and Bidleman, T. 2010. "Endosulfan, a global pesticide: a review of its fate in the environment and occurrence in the Arctic". **Science of the Total Environment**. 408: 2966-2984.
- [5] Thapina, A., and Hudak, P.F. 2000. "Pesticide use and residual occurrence in Thailand". **Environmental Monitoring Assessment**. 60: 103- 114.
- [6] Vidyasager, G.M., Kotresha, D. and Kamam, R. 2009. "Role of endosulfan in mediating stress responses in *Sorghum bicolor* (L.) Moench". **Journal of Environmental Biology**. 30(2): 217-220.
- [7] Pérez, D.J., Menone, M.L., Camadro, E.L. and Moreno, V.J. 2008. "Genotoxicity evaluation of the insecticide endosulfan in the wetland macrophyte *Bidens laevis* L.". **Environmental Pollution**. 153: 695-698.
- [8] Calvelo Pereira, R., Monterroso, C. and Macías, F. 2010. "Phytotoxicity of hexachlorocyclohexane: Effect on germination and early growth of different plant species". **Chemosphere**. 79: 326-333.
- [9] Chouychai, W. and Lee, H. 2012. "Phytotoxicity Assay of Crop Plants to Lindane and Alpha-endosulfan Contaminants in Alkaline Thai Soil". **International Journal of Agriculture and Biology**. 14 (5): 734-738.
- [10] Bidlan, R., Afsar, M. and Manonmani, H.K. 2004. "Bioremediation of HCH-contaminated soil: elimination of inhibitory effects of the insecticide on radish and green gram seed germination". **Chemosphere**. 56: 803-811.
- [11] Liu, T.F., Wang, T., Sun, C. and Wang, Y.M. 2009. "Single and joint toxicity of cypermethrin and copper on Chinese cabbage (*Pakchoi*) seeds". **Journal of Hazardous Materials**. 163: 344-348.
- [12] Ahammed, G.J., Yaun, Hui-Li, Ogwen, J.O., Zhou, Yan-Hong, Xia, Xiao-Jian, Mao, Wei-Hua, Shi, K. and Yu, Jing-Quan. 2012. "Brassinosteroid alleviates phenanthrene and pyrene phytotoxicity by increasing detoxification activity and photosynthesis in tomato". **Chemosphere**. 86: 546-555.

10 วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2556

- [13] Beckett, R. and van Staden, J. 1992. "The effect of thidiazuron on the yield of salinity stressed wheat". **Annals of Botany**. 70: 47-51.
- [14] Fässler, E., Evangelou, M.W., Robinson, B.H. and Schulin, R. 2010. "Effects of indole-3-acetic acid (IAA) on sunflower growth and heavy metal uptake in combination with ethylene diamine disuccinic acid (EDDS)". **Chemosphere**. 80: 901-907.
- [15] Sergiev, I.G., Alexieva, V.S., Ivanov, S.V., Moskova, I.I., and Karanov, E.M. 2006. "The phenylurea cytokinin 4PU-30 protects maize plants against glyphosate action". **Pesticide Biochemistry and Physiology**. 85: 139-149.
- [16] Todorov, D., Alexieva, V. and Karanov, E. 1998. "Effect of putrescine, 4-PU-30, and abscisic acid on maize plants grown under normal, drought, and rewatering conditions". **Journal of Plant Growth Regulator**. 17: 197-203.
- [17] Yordanov, I., Tsonev, T., Goltsev, V., Merakchiiska-Nikolova, V.M. and Georgieva, K. 1997. "Gas exchange and chlorophyll fluorescence during water and high temperature stresses and recovery : probable protective effect of urea cytokinin 4-PU-30". **Photosynthetica**. 33: 423-431.
- [18] Lukatkin, A.S., Gracheva, N.V., Grishenkova, N.N., Dukhovskis, P.V. and Brazaitite, A.A. 2007. "Cytokinin-like growth regulators mitigate toxic action of zinc and nickel ions on maize seedlings". **Russian Journal of Plant Physiology**. 54(3): 432-439
- [19] Piotrowska-Niczyporuk, A., Bajguz, A., Zambrzycka, E. and Godlewska-Zylkiewicz, B. 2012. "Phytohormones as regulators of heavy metal biosorption and toxicity in green alga *Chlorella vulgaris* (Chlorophyta)". **Plant Physiology and Biochemistry**. 52: 5-65.
- [20] Kirk, J. L., Klironomos, J. N., Lee, H. and Trevors, J. T. 2002. "Phytotoxicity assay to assess plant species for phytoremediation of petroleum contaminated soil". **Bioremediation Journal**. 6: 57-63.
- [21] Huang, X.D., El-Alawi, Y., Penrose, D. M., Glick, B.R. and Greenberg, B.M. 2004. "Responses of three grass species to creosote during phytoremediation". **Environmental Pollution**. 130: 453-463.
- [22] Chouychai, W. 2012. "Effect of some plant growth regulators on lindane and alpha-endosulfan toxicity to *Brassica chinensis*". **Journal of Environmental Biology**. 33(4): 811-816.
- [23] วราภรณ์ ฉุยฉาย. 2552. "บทบาทของไทเดียซุรอนในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช". **วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา**. 4(2): 123-135.
- [24] Malabadi, R.B., Mulgund, G.S. and Nataraja, K. 2004. "Efficient regeneration of *Vanda coerulea*, an endangered orchid using thidiazuron". **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**. 76: 289-293
- [25] วราภรณ์ ฉุยฉาย, จตุพร ดอนรอดไพโร, สายสวาท เม่นสุวรรณ, วณิชชา คงตุ้ม, และ นันทพร ทิลป์สมบัติ. 2554. "ผลของไทเดียซุรอนต่อการเจริญของต้นอ่อนข้าวโพดในดินที่ปนเปื้อนฟลูออรีน". **แก่นเกษตร**. 39(พิเศษ): 316-320.
- [26] Gangwar, S., Singh, V.P., Srivastava, P.K. and Maurya, J.N. 2011. "Modification of chromium (VI) phytotoxicity by exogenous gibberellic acid application in *Pisum sativum* (L.) seedlings". **Acta Physiologiae Plantarum**. 33(4): 1385-1397.

- [27] Famiani, F., Proietti, P., Pilli, M., Battistelli, A., Moscatello, S. 2007. "Effects of application of thidiazuron (TDZ), gibberellic acid (GA3), and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) on fruit size and quality of *Actinidia deliciosa* 'Hayward'". **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**. 35(3): 341-347.
- [28] Ryabushkina, N.A. 2005. "Synergism of metabolite action in plant response to stresses". **Russian Journal of Plant Physiology**. 52(4): 547-552.
- [29] ชีระยุทธ นาคแดง ชวัชชัย สืบบัว สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา อโนมา ดงแสนสุข และรวมชาติ แต่พงษ์โสธร. 2550. "ผลของตำแหน่งกิ่งและ NAA ต่อการออกรากของโวลีฟที่ปักชำในสภาพถุงขึ้น". **แก่นเกษตร**. 35 (พิเศษ): 99-104.
- [30] ฐิตวัฒน์ มงคลเสถียร สุรศักดิ์ นิลนนท์และรัฐพล จัตร บรรยงค์. 2552. "ผลของ IBA ต่อการออกรากของกิ่งปักชำต้นต่ออุณหภูมิตัว SO₄". **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47**. 17-20 มี.ค. 2552. หน้า 409-414.
- [31] Váňová, L., Kummerová, M. and Votrubová, O. 2011. "Fluoranthene-induced production of ethylene and formation of lysigenous intercellular spaces in pea plants cultivated in vitro". **Acta Physiologiae Plantarum**. 33(1): 1037-1042.
- [32] Wong, P.K. 2000. "Effects of 2,4-D, glyphosate and paraquat on growth, photosynthesis, and chlorophyll a synthesis of *Scenedesmus quadricauda* Berb 614". **Chemosphere**. 41:177-182.

สัญญาเลขที่ MRG5480030

ชื่อโครงการ “การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟนซัลเฟตโดยการใช้พืชสองชนิดร่วมกัน”
 รายงานสรุปการเงินในรอบ 33 เดือน 6 วัน (ปิดบัญชีธนาคารวันที่ 20 มีนาคม 2557)

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน : นางสาวนิษฐา สมตระกูล

รายงานในช่วงตั้งแต่ วันที่ 15 ธันวาคม 2555 ถึง วันที่ 20 มีนาคม 2557

รายจ่าย (งวดที่ 4)

หมวด	รายจ่ายสะสม จากรายงาน ครั้งก่อน	ค่าใช้จ่ายงวด ปัจจุบัน	รวมรายจ่าย สะสมจนถึงงวด ปัจจุบัน	งบประมาณ รวมทั้งโครงการ	คงเหลือ (หรือเกิน)
1. ค่าตอบแทน	180,000.00	0.00	180,000.00	240,000.00	60,000.00
2. ค่าจ้าง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3. ค่าใช้สอย	21,525.00	0.00	21,525.00	21,525.00	0.00
4. ค่าวัสดุ	167,803.40	49,637.30	217,440.40	218,475.00	1,034.60
5. ค่าครุภัณฑ์	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวม	369,328.40	49,637.30	418,965.70	480,000.00	61,034.60

หมายเหตุ

สกว. อนุมัติให้เปลี่ยนแปลงงบประมาณจากหมวดใช้สอยมาเป็นหมวดวัสดุ (บันทึกข้อความเลขที่ นร. 6208/0081/2556) ดังนั้นงบประมาณรวมทั้งโครงการของหมวดค่าใช้สอยจึงเป็น 43,500-21,975=21,525 และงบประมาณรวมทั้งโครงการของหมวดค่าวัสดุจึงเป็น 195,500+21,975=218,475

จำนวนเงินที่ได้รับและจำนวนเงินคงเหลือ

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1	80,000.00 บาท	เมื่อ	วันที่ 21 กรกฎาคม 2554
	80,000.00 บาท	เมื่อ	วันที่ 15 กันยายน 2554
	80,000.00 บาท	เมื่อ	วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2555
งวดที่ 2	100,000.00 บาท	เมื่อ	วันที่ 3 กรกฎาคม 2555
	80,000.00 บาท	เมื่อ	วันที่ 12 กันยายน 2555
ดอกเบี้ยรับฝากธนาคารครั้งที่ 1	215.03 บาท	เมื่อ	วันที่ 31 ธันวาคม 2554
ดอกเบี้ยรับฝากธนาคารครั้งที่ 2	64.75 บาท	เมื่อ	วันที่ 30 มิถุนายน 2555
ดอกเบี้ยรับฝากธนาคารครั้งที่ 3	194.95 บาท	เมื่อ	วันที่ 31 ธันวาคม 2555
ดอกเบี้ยรับฝากธนาคารครั้งที่ 4	87.21 บาท	เมื่อ	วันที่ 30 มิถุนายน 2556
ดอกเบี้ยรับฝากธนาคารครั้งที่ 5	5.88 บาท	เมื่อ	วันที่ 31 ธันวาคม 2556
ดอกเบี้ยรับฝากธนาคารครั้งที่ 6	2.12 บาท	เมื่อ	วันที่ 20 มีนาคม 2557
รวม	420,569.94 บาท (A)		

จำนวนเงินที่จ่าย

งวดที่ 1 (15/06/54 ถึง 14/12/54)	158,156.50 บาท
งวดที่ 2 (15/12/54 ถึง 14/06/55)	79,402.20 บาท
งวดที่ 3 (15/06/55 ถึง 14/12/55)	131,769.70 บาท
งวดที่ 4 (15/12/55 ถึง 20/03/57)	49,637.30 บาท
รวม	418,965.70 บาท (B)
จำนวนเงินคงเหลือ (A)-(B)	1,604.24 บาท (C)

.....
(หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน)