ความเป็นพิษร่วมกันของเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ต่อการเจริญเติบโต ในระยะต้นกล้าของพืชชนิดต่าง ๆ

Combined Phytotoxicity of Endosulfan-Sulfate and Heptachlor on Seedling Growth of Various Crops

ขนิษฐา สมตระกูล[1]* และสุนันทา ประทุมมา[2]

[1]อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

[2]นักศึกษา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

บทคัดย่อ

การประเมินความเป็นพิษร่วมกันระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ที่ระดับความเข้มข้นรวมของสารทั้งสองชนิดในอัตราส่วน 1:1 ตั้งแต่ 0.4-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดินต่อการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของพืชสี่ชนิด ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 (*Oryza sativa* var. glutinosa cv. RD6) ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatic*) ถั่วพุ่ม (*Vigna sinensis*) และคะน้า (*Brassica alboglabra*) จากผลการศึกษา พบว่า ผักบุ้งและถั่วพุ่มเป็นพืชที่มีความทนทานต่อสารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์มากที่สุด โดยสารผสมไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวราก ความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชทั้งสอง ในขณะที่สารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ส่งผลให้ความยาวรากของข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 สั้นลงเท่านั้น และไม่ส่งผลต่อรูปแบบการเจริญเติบโตในลักษณะอื่น ๆ ของต้นกล้าข้าวเหนียว ส่วนคะน้าเป็นพืชที่มีความไวต่อความเป็นพิษของสารผสมมากที่สุด โดยที่ระดับความเข้มข้นรวมของเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์เพียง 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวยอด ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า และน้ำหนักสดของคะน้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Abstract

Combined phytotoxicity of endosulfan-sulfate and heptachlor at total concentration (ratio 1:1) ranging from 0.4-40 mg/kg dried soil on seedling growth of four crops was investigated. *Oryza sativa* var. glutinosa cv. RD6, *Ipomoea aquatic. Vigna sinensis* and *Brassica alboglabra* were selected as surrogate plant species. Results indicated that *I. aquatic* and *V. sinensis* were the most tolerant plants to endosulfan-sulfate and heptachlor mixtures. These organochlorine mixtures did not affect percentage of seed germination, root length, shoot length, fresh weight and dry weight of these plants. Meanwhile, endosulfan-sulfate and heptachlor mixtures reduced root length of *O. sativa* var. glutinosa cv. RD6 but did not affect other growth pattern. *B. alboglabra* was the most sensitive plant species to endosulfan-sulfate and heptachlor mixtures. Only 0.4 mg/kg dried soil of endosulfan-sulfate and heptachlor mixtures significantly reduced percentage of seed germination, shoot length, seed vigor index and fresh weight of *B. alboglabra* ($P<0.05$).

คำสำคัญ : ความเป็นพิษต่อพืช เอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟต เฮปตาคลอร์

Keywords : Phytotoxicity, Endosulfan-Sulfate, Heptachlor

* *ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ skhanitta@hotmail.com , csnknt@ku.ac.th โทร. 0 4375 4248 ต่อ 1163*

1. บทนำ

เอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์เป็นสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่สามารถปนเปื้อนภายในพื้นที่เกษตรกรรม สืบเนื่องมาจากการใช้ประโยชน์ติดต่อกันเป็นเวลานาน ถึงแม้เฮปตาคลอร์จะถูกห้ามใช้ในการเกษตรแล้ว ส่วนเอ็นโดซัลแฟนยังคงอนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะการควบคุมแมลงในพืชไร่เท่านั้น (ศักดา, 2551) การปนเปื้อนของสารดังกล่าวจึงส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศได้ เนื่องจากเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่ไม่ใช่เป้าหมายในการทำลายด้วย ดังนั้น การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนด้วยสารในกลุ่มนี้จึงเป็นสิ่งที่ต้องกระทำอย่างเร่งด่วน ส่วนวิธีการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืชจัดเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีใหม่ที่อาจนำมาใช้สำหรับการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้อย่างได้ผล ไม่ว่าจะเป็นกลไกการสะสมภายในชีวมวลและการสนับสนุนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (Boltner et al., 2008; Campbell et al., 2009; Gao, 2009; Kidd et al., 2008)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยทางด้านการใช้พืชฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนด้วยสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนรวมทั้งการศึกษาความเป็นพิษของสารกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะศึกษาจากผลที่เกิดขึ้นของสารชนิดเดียว แต่การปนเปื้อนจริงในสิ่งแวดล้อมรวมทั้งในประเทศไทยจะพบการปนเปื้อนร่วมกันของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้หลายชนิด (ปิยะวรรณ และ กานดา, 2549; Poolpak et al., 2008; Thapinta และ Hudak, 2000) การศึกษาความเป็นพิษร่วมกันของสารในกลุ่มนี้ พบว่า มีการศึกษาความเป็นพิษร่วมกันของลินเดนและอัลฟา-เอนโดซัลแฟนต่อต้นกล้าข้าวเจ้า ซึ่งความเป็นพิษร่วมกันนี้ทำให้ความยาวรากและน้ำหนักสดลดลงมากกว่าในดินที่ปนเปื้อนลินเดนหรืออัลฟา-เอนโดซัลแฟนเพียงชนิดเดียว (Chompunut et al., 2010) แต่ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับความเป็นพิษร่วมกันของเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ ทั้งที่มีรายงานการตรวจพบสารสองชนิดนี้ปนเปื้อนอยู่ร่วมกันในดิน เช่น จากการสำรวจการปนเปื้อนของสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินตะกอนบริเวณพื้นผิวลุ่มแม่น้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงครามเมื่อ พ.ศ. 2547-2548 ตรวจพบเฮปตาคลอร์ อีพอกไซด์ ปริมาณ 2.67-152.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน และตรวจพบเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟต 0.05-0.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน (Poolpak et al., 2008) และจากการสำรวจเมื่อ พ.ศ. 2540 พบว่าดินในเขตเกษตรกรรมของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนของเฮปตาคลอร์ อีพอกไซด์ อยู่ที่ 11.91 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมและตรวจพบเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟต 8.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน (Thapinta และ Hudak, 2000)

การศึกษาครั้งนี้จึงต้องการทดสอบความเป็นพิษของเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตร่วมกับเฮปตาคลอร์ต่อพืชทดสอบ 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ผักบุ้ง ถั่วพุ่ม และคะน้า ซึ่งเป็นพืชที่หาเมล็ดพันธุ์ได้ง่ายและปรากฏเป็นพืชเศรษฐกิจท้องถิ่นสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่ต้องการบำบัดได้เป็นอย่างดี (Cheema et al., 2009; Fan et al., 2008, Lee et al., 2008) นอกจากนั้น พืชที่เลือกมาทดสอบนี้ยังจัดอยู่ในวงศ์เดียวกับพืชที่เคยมีรายงานว่ามีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนด้วยสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน เช่น ข้าวโพดซึ่งเป็นพืช

วงศ์หญ้าเช่นเดียวกับข้าวเหนียว และมีรายงานปรากฏด้วยว่าทนทานต่อลินเดนได้ดี (Benimeli et al., 2008) หรือพืชในวงศ์ผักกาดซึ่งเป็นพืชในวงศ์เดียวกับคะน้าและมีรายงานว่าสะสมดีดีทีในชีวมวลได้ (Suresh et al., 2005) เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการคัดเลือกพืชที่มีความทนทานต่อเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ที่ปนเปื้อนร่วมกันเพื่อใช้ในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนด้วยสารในกลุ่มดังกล่าวภายในพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อนขึ้นจริงต่อไปได้

2. วิธีการศึกษา

2.1 เมล็ดพันธุ์พืช

เมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 (*Oryza sativa* var. glutinosa cv. RD6) ได้รับความอนุเคราะห์จากเกษตรกรใน อ.โพนทอง จ.ร้อยเอ็ด เมล็ดพันธุ์ถั่วพุ่ม (*Vigna sinensis*) คะน้า (*Brassica alboglabra*) และผักบุ้ง (*Ipomoea aquatic*) เป็นเมล็ดพันธุ์ทางการค้าของบริษัทเจียไต๋ ประเทศไทย จำกัด

2.2 คุณสมบัติของดินที่ไม่มีประวัติการปนเปื้อนเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์

เก็บดินที่ไม่มีประวัติการปนเปื้อนด้วยสารเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์มาจากวัดป่ากู่แก้ว ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม และนำดินดังกล่าวมาผึ่งให้แห้งแล้วร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาดรูพรุน 2 มิลลิเมตร วิเคราะห์หาปริมาณเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ที่ตกค้างอยู่ภายในดินด้วย GC-MS เพื่อยืนยันถึงสภาพการไม่ปนเปื้อนของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนทั้งสองมาก่อน นอกจากนี้ ยังมีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน ณ บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น โดยดินที่ใช้มี %sand เท่ากับ 10.23 %silt เท่ากับ 15.33 และ %clay เท่ากับ 74.44 ค่าพีเอช 8.11 ความนำไฟฟ้า 109.5 μs/cm ระดับอินทรียวัตถุ 2.40% ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.29% และปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ได้ 58.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน

2.3 การเตรียมดินที่ปนเปื้อนด้วยเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์

เตรียมดินที่ปนเปื้อนด้วยเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟต (ความบริสุทธิ์ 99.5% บริษัท Ehrenstorfer GmbH ประเทศเยอรมนี) และเฮปตาคลอร์ (ความบริสุทธิ์ 99.5% บริษัท Dr. Ehrenstorfer GmbH ประเทศเยอรมนี) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยละลายสารทั้งสองลงไปในอะซีโตนเพื่อกำหนดให้มีความเข้มข้นรวมสุดท้ายของสารทั้งสองในดินเป็น 0, 0.4, 4 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ทิ้งดินที่ปนเปื้อนเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ไว้ภายในตู้ควันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกไปให้หมด หลังจากนั้นจึงแบ่งดิน 50 กรัมใส่ลงไปภายในภาชนะพลาสติกที่มีความจุ 120 มิลลิลิตร โดยดินที่ไม่ถูกทำให้ปนเปื้อนด้วยเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์จะถูกใช้เป็นดินในการทดลองสำหรับชุดควบคุม และปรับความชื้นของดินให้เป็น 65 เปอร์เซ็นต์ก่อนการทดลอง

2.4 การทดสอบความเป็นพิษต่อพืช

การทดสอบความเป็นพิษถูกดัดแปลงมาจากวิธีของ Kirk et al. (2002) โดยแช่เมล็ดพันธุ์

ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ถั่วพุ่ม คะน้า และผักบุ้งในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเพาะในถาดพลาสติกที่มีดินที่ปนเปื้อนเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ในแต่ละระดับความเข้มข้น เป็นจำนวน 10 เมล็ด (ทำการทดลองทั้งหมดสามซ้ำ) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ได้รับแสงธรรมชาติ รดน้ำทุกวันเพื่อรักษาความชื้นในดินให้คงที่ เมื่อครบกำหนดระยะเวลา 10 วัน วัดร้อยละการงอก ความยาวราก ความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าทั้งต้น และคำนวณดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าโดยใช้สูตร [(ความยาวยอด + ความยาวราก) x (ร้อยละการงอก/10)] (Ajithkumar et al., 1998) ส่วนต้นพืชที่เป็นชุดควบคุมปฏิบัติเช่นเดียวกัน

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วย One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วย Turkey's Test

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การคัดเลือกพืชที่ทนทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน โดยเลือกใช้พืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกในท้องถิ่นจำนวน 4 ชนิด ปลูกลงในดินที่ปนเปื้อนสารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.4 ถึง 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน โดยที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวนี้เป็นความเข้มข้นของสารที่มีรายงานการปนเปื้อนจริงในดินตะกอนแถบลุ่มแม่น้ำแม่กลองของประเทศไทย (Poolpak et al., 2008) ผลการศึกษา พบว่า ความเป็นพิษต่อพืชทดสอบมีความแตกต่างกัน ดังนี้

3.1 ความเป็นพิษต่อเปอร์เซ็นต์การงอก

สารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ที่ระดับความเข้มข้นรวมตั้งแต่ 0.4-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดินไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ผักบุ้งและถั่วพุ่ม ในขณะที่สารผสมทั้งสองมีผลต่อการลดเปอร์เซ็นต์การงอกของคะน้า โดยเมื่อระดับความเข้มข้นรวมของสารทั้งสองเป็น 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดินทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของคะน้าเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นพืชในการทดลองชุดควบคุม นอกจากนี้ การเพิ่มความเข้มข้นรวมของสารผสมทั้งสองขึ้นไปเป็น 4 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดินไม่ได้ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของคะน้าลดลงมากนัก โดยคะน้ามีเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่ระหว่าง 40-50 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1) แต่อย่างไรก็ตาม ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน เช่น เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนต่อการงอก พบว่า ไม่แสดงผลเป็นพิษต่อเปอร์เซ็นการงอกของเมล็ดพืช แต่จะทำให้งอกช้าลงเท่านั้น (Calvelo Pereira et al., 2010) ส่วนการมีสารสองชนิดปนเปื้อนร่วมกันลดเปอร์เซ็นต์การงอกของคะน้าได้เพียงชนิดเดียว และทำให้ไม่สามารถพิจารณาความทนทานต่อเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การงอกเท่านั้น ต้องพิจารณาจากลักษณะการเจริญเติบโตอื่น ๆ ควบคู่กันไปด้วย

3.2 ความเป็นพิษต่อความยาวยอดและความยาวราก

ความยาวยอดของข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ผักบุ้งและถั่วพุ่มไม่แสดงความแตกต่างไปจาก

ความยาวยอดในต้นพืชชุดควบคุมของพืชแต่ละชนิด โดยเฉพาะสารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ไม่เป็นพิษต่อความยาวยอดของพืชดังกล่าว โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ผักบุ้งและถั่วพุ่มมีความยาวยอดอยู่ระหว่าง 13.0-13.7, 8.8-9.7 และ 15.5-17.4 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่สารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์มีความเป็นพิษต่อความยาวยอดของคะน้าอย่างชัดเจนโดยความยาวยอดของคะน้าเท่ากับ 8.3 เซนติเมตร เมื่อระดับความเข้มข้นรวมของสารผสมเป็น 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน และความยาวยอดของคะน้าจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระดับความเข้มข้นรวมของสารผสมเพิ่มขึ้น โดยความยาวยอดของคะน้าลดลงเหลือเพียง 3.7 เซนติเมตร เมื่อความเข้มข้นรวมของสารผสมเป็น 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน (ตารางที่ 1)

สารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อความยาวรากของผักบุ้งและถั่วพุ่ม โดยความยาวรากของผักบุ้งและถั่วพุ่มไม่แตกต่างไปจากความยาวรากของต้นพืชชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ สารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ยังแสดงความเป็นพิษต่อความยาวรากของข้าวเหนียว โดยเมื่อความเข้มข้นรวมของสารผสมเป็น 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดินทำให้ความยาวรากของข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นรวมของสารผสมเป็น 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไม่ทำให้ความยาวรากของข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข.6 ลดลงไปอีก สารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ยังคงแสดงความเป็นพิษต่อความยาวรากของคะน้าในลักษณะเดียวกันกับข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 โดยระดับความเข้มข้นรวมของสารผสมตั้งแต่ 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมขึ้นไปทำให้ความยาวรากของคะน้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 1)

ความเป็นพิษของทั้งเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ต่อการเพิ่มความยาวของพืชเมื่อปนเปื้อนด้วยสารเพียงชนิดเดียวมีรายงานปรากฏในพืชหลายชนิด เช่น จากผลการศึกษาของขนิษฐา และสุนันทา (2554a) รายงานว่าเฮปตา-คลอร์มีความเป็นพิษต่อความยาวยอดและความยาวรากของคะน้า ส่วนความเป็นพิษต่อพืชของเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและอนุพันธ์อื่น ๆ ของเอนโดซัลแฟนนั้น พบว่า ทำให้ความยาวยอดและความยาวรากของข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ลดลงแต่ไม่เป็นพิษต่อผักกาดขาวและฟักทอง (ขนิษฐา และ สุนันทา, 2554b) นอกจากนี้ อัลฟา-เอนโด-ซัลแฟนที่ปนเปื้อนในดินด่างส่งผลลดความยาวรากของผักกวางตุ้ง (วราภรณ์ และคณะ, 2553) จากการศึกษาในครั้งนี้ ความยาวรากของคะน้าที่ไวต่อเฮปตาคลอร์ชนิดเดียว และความยาวรากของข้าวเหนียวที่ถูกยับยั้งด้วยเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตชนิดเดียวนั้น เมื่อนำมาเพาะในดินที่มีสารสองชนิดผสมกัน จะแสดงความเป็นพิษเช่นเดียวกัน ดังนั้น พืชที่เคยมีรายงานว่ามีความไวต่อสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดหนึ่งแล้ว จะมีแนวโน้มไม่ทนทานมากขึ้นเมื่อมีสารชนิดอื่นภายในกลุ่มเดียวกันปนเปื้อนอยู่ร่วมด้วย เช่นเดียวกับในกรณีของข้าวเจ้าในดินที่ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างลินเดนและอัลฟา-เอนโดซัลแฟน (Chompunut et al., 2010) โดยทั่วไปแล้วความเป็นพิษร่วมกันระหว่างสารสองชนิดอาจเป็นพิษ

ต่อพืชมากขึ้นหรือน้อยลงก็ได้ ความเป็นพิษที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการที่สารสองชนิดที่ปนเปื้อนร่วมกันออกฤทธิ์เสริมกัน ส่วนความเป็นพิษลดลงเกิดจากการที่สารทั้งสองที่ปนเปื้อนร่วมกันหักล้างฤทธิ์กัน ทั้งนี้ความเป็นพิษของสารสองชนิดจะออกฤทธิ์เสริมกันหรือหักล้างฤทธิ์กันขึ้นอยู่กับตำแหน่งเป้าหมายที่สารทั้งสองออกฤทธิ์ด้วย โดยสารที่ออกฤทธิ์เสริมกัน จะออกฤทธิ์ที่ตำแหน่งต่างกัน ส่วนสารที่หักล้างฤทธิ์กันจะออกฤทธิ์ที่ตำแหน่งเดียวกัน (Wang et al., 2008a)

ส่วนการศึกษาความเป็นพิษในระดับเซลล์นั้น พบว่า เอ็นโดซัลแฟนส่งผลต่อการแบ่งตัวของเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายรากของ *Bidens laevis* (Perez et al., 2008) ดังนั้น เอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตอาจส่งผลต่อการแบ่งตัวของเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายรากของคะน้าและข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ร่วมด้วย

3.3 ความเป็นพิษต่อดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า

ความเข้มข้นรวมของเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ในระดับต่ำ (0.4 และ 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน) มีแนวโน้มทำให้ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าผักบุ้งเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 1) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นรวมของสารผสมขึ้นไปเป็น 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดินกลับไม่ส่งผลให้ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าผักบุ้งแสดงความแตกต่างไปจากการทดลองของต้นพืชในชุดควบคุมมากนัก ในขณะที่สารผสมทั้งสองที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่ส่งผลต่อดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าถั่วพุ่ม โดยดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าถั่วพุ่มที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนด้วยสารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์มีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าถั่วพุ่มในการทดลองชุดควบคุม สำหรับดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 มีค่าลดลงเช่นกันเมื่อมีสารผสมทั้งสองอยู่ที่ระดับความเข้มข้นรวมเป็น 4 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ส่วนคะน้าเป็นพืชประเภทเดียวที่ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าลดลงอย่างชัดเจนเมื่อปลูกในดินที่ปนเปื้อนด้วยเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ โดยดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าคะน้าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มความเข้มข้นรวมของสารผสมให้สูงขึ้น ซึ่งดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าคะน้ามีค่าอยู่เท่ากับ 62.3, 39.5 และ 30.9 เมื่อมีความเข้มข้นรวมของสารผสมเป็น 0.4, 4 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ตามลำดับ ในขณะที่ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าคะน้าสูงถึง 140.2 ในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนของสาร (ตารางที่ 1)

3.4 ความเป็นพิษต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสด

ความเข้มข้นรวมของสารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ทุกระดับความเข้มข้น (0.4-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน) ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ผักบุ้งและถั่วพุ่ม โดยที่น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชทั้งสามชนิดไม่แตกต่างไปจากน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งแสดงความสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดของพืชทั้งสามชนิด โดยสารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์

ไม่ทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ผักบุ้ง และถั่วพุ่มแตกต่างไปจากค่าของต้นพืชในชุดควบคุม

สารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ลดน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของคะน้าลงโดยเมื่อระดับความเข้มข้นรวมของสารผสมเป็น 0.4, 4 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดินจะทำให้น้ำหนักสดของคะน้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และมีค่าเป็น 0.16, 0.11 และ 0.06 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ ที่ระดับความเข้มข้นรวมของสารผสมตั้งแต่ 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งขึ้นไปทำให้น้ำหนักแห้งของคะน้าลดลง โดยน้ำหนักแห้งของคะน้าลดลงเหลือ 0.006 และ 0.004 กรัม เมื่อความเข้มข้นรวมของสารผสมเป็น 4 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ตามลำดับ ซึ่งแสดงความสอดคล้องกับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดของคะน้าจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นรวมของสารผสมเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 1)

ลักษณะความเป็นพิษต่อพืชของเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและอนุพันธ์อื่น ๆ ของเอนโดซัลแฟนนั้น พบว่า เอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตไม่เป็นพิษต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ผักกาดขาว และฟักทอง (ขนิษฐา และสุนันทา, 2554b) อัลฟา-เอนโดซัลแฟนที่ปนเปื้อนในดินต่างลดน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งและถั่วฝักยาว (วราภรณ์ และคณะ, 2553) และลดน้ำหนักสดของข้าวฟ่าง (Vidyasagar et al., 2009) ส่วนความเป็นพิษของเฮปตาคลอร์ พบว่าทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของคะน้าลดลง (ขนิษฐา และสุนันทา, 2554a) ซึ่งแสดงว่าแนวโน้มของความทนทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้ต่อน้ำหนักเป็นเช่นเดียวกับความยาว กล่าวคือ ถ้าไวต่อสารกลุ่มนี้ชนิดหนึ่งแล้ว เมื่อมีสารกลุ่มเดียวกันชนิดอื่นปนเปื้อนร่วมอยู่ด้วยจะไม่แสดงความทนทานเช่นเดียวกัน เช่นเดียวกับกรณีของข้าวเจ้าในดินที่ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างลินเดนและอัลฟา-เอนโดซัลแฟนนั้น น้ำหนักสดของรากจะมีความไวต่อสารผสมมากกว่าความยาวราก (Chompunut et al., 2010)

ส่วนความเป็นพิษของสารทั้งสองต่อคะน้ายังไม่ทราบแน่ชัดและต้องมีการศึกษาถึงกลไกในระดับสรีรวิทยาต่อไป ทั้งนี้ฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของน้ำในพืช เช่น IAA (Mansfield and McAinsh, 1995) ถูกรบกวนด้วยเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนซึ่งเป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดหนึ่ง (Sharada et al., 1999) ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่เฮปตาคลอร์เป็นพิษต่อคะน้าโดยไปขัดขวางการทำงานของฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อพืช

จากการศึกษาครั้งนี้ ผักบุ้งและถั่วพุ่มเป็นพืชที่มีความทนทานต่อสารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์มากที่สุด และมีแนวโน้มที่จะนำไปใช้ในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนด้วยสารในกลุ่มดังกล่าวได้ แต่ต้องมีการศึกษาถึงระดับกลไกในเชิงลึกเกี่ยวกับความสามารถในการกำจัดสารมลพิษว่าเป็นไปในรูปแบบใด ส่วนกลไกโดยทั่วไปที่พืชใช้กำจัดสารมลพิษอินทรีย์มี 3 แบบ คือ 1) พืชย่อยสลายสารมลพิษภายในเซลล์พืช 2) พืชกระตุ้นการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช หรือ 3) พืชสะสมสารมลพิษไว้ในชีวมวลของพืช ทั้งนี้

ตารางที่ 1 ความเป็นพิษร่วมกันระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ต่อการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของพืชเศรษฐกิจบางชนิด

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน)		เปอร์เซ็นต์การงอก (% ± SD)	ความยาวยอด (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า	พืชทั้งต้น น้ำหนักสด (กรัม)	พืชทั้งต้น น้ำหนักแห้ง (กรัม)	พืชทั้งต้น อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสด
ข้าวเหนียว กข.6	0	86.7 ± 15.3a	13.7 ± 2.6a	5.4 ± 0.8a	223.6	0.10 ± 0.01a	0.02 ± 0.00a	0.21
	0.4	90.0 ± 10.0a	13.1 ± 2.1a	5.1 ± 1.3a	228.0	0.11 ± 0.02a	0.02 ± 0.00a	0.19
	4	83.3 ± 5.8a	13.0 ± 2.4a	2.8 ± 1.5b	204.4	0.11 ± 0.01a	0.02 ± 0.00a	0.20
	40	76.7 ± 5.8a	13.0 ± 2.9a	2.8 ± 1.4b	191.0	0.11 ± 0.01a	0.02 ± 0.00a	0.19
ผักบุ้ง	0	60.0 ± 0.0a	9.7 ± 1.4a	7.2 ± 2.3a	101.3	0.42 ± 0.11a	0.03 ± 0.01a	0.07
	0.4	90.0 ± 10.0a	9.1 ± 0.8a	7.4 ± 1.1a	148.8	0.39 ± 0.08a	0.03 ± 0.00a	0.08
	4	86.7 ± 11.5a	9.2 ± 0.6a	6.7 ± 0.9a	137.9	0.39 ± 0.06a	0.03 ± 0.00a	0.08
	40	70.0 ± 20.0a	8.8 ± 0.9a	6.4 ± 1.1a	106.2	0.36 ± 0.05a	0.03 ± 0.00a	0.09
ถั่วพุ่ม	0	73.3 ± 5.8a	17.4 ± 3.7a	7.2 ± 2.3a	180.8	1.12 ± 0.29a	0.09 ± 0.02a	0.08
	0.4	83.3 ± 15.3a	15.4 ± 5.9a	7.4 ± 1.1a	190.3	1.00 ± 0.35a	0.09 ± 0.02a	0.09
	4	83.3 ± 5.8a	15.3 ± 2.7a	7.1 ± 0.9a	186.8	0.89 ± 0.28a	0.08 ± 0.02a	0.09
	40	86.7 ± 5.8a	15.5 ± 3.1a	6.4 ± 1.1a	189.6	0.94 ± 0.24a	0.08 ± 0.02a	0.09
คะน้า	0	90.0 ± 0.0a	8.3 ± 0.5a	4.3 ± 0.7a	140.2	0.18 ± 0.01a	0.011 ± 0.001a	0.06
	0.4	50.0 ± 10.0b	6.8 ± 1.0b	5.4 ± 0.9a	62.3	0.16 ± 0.03b	0.009 ± 0.002a	0.06
	4	40.0 ± 0.0b	5.2 ± 1.0c	2.8 ± 1.5b	39.5	0.11 ± 0.03c	0.006 ± 0.002b	0.05
	40	46.7 ± 5.8b	3.7 ± 0.9d	2.8 ± 1.4b	30.9	0.06 ± 0.01d	0.004 ± 0.001c	0.07

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่ต่างกันของพืชแต่ละชนิดแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

กลไกที่มีรายงานสำหรับสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ได้แก่ การสะสมโดยเฉพาะพืชตระกูลแตง เช่น น้ำเต้า (*Lagenaria siceraria*) สามารถสะสมเฮปตาคลอร์ได้ โดยมีค่าการสะสมในสิ่งมีชีวิตอยู่ระหว่าง 1-5.2 (Campbell et al., 2009) รวมทั้งฟักทอง (*Cucurbita pepo* spp. *pepo*) ซึ่งมีความสามารถในการสะสมพีซีบีไว้ในรากและสามารถเคลื่อนย้ายพีซีบีจากรากมาสะสมไว้ที่ลำต้นได้ด้วย (Åslund et al., 2008) โดยเฉพาะระบบรากของฟักทอง ซึ่งมีลักษณะร่างแหเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสะสมสารพีซีบีในฟักทอง นอกจากนี้ การศึกษาของ Suresh และคณะ (2005) รายงานว่ารากขนอ่อนของ *Cichorium intybus* และ *Brassica juncea* มีความสามารถในการนำดีดีทีเข้าสู่เซลล์ของรากได้ และยังตรวจพบสารตัวกลางที่เกิดจากการย่อยสลายดีดีที ได้แก่ ดีดีดีและดีดีอี ภายในรากด้วย แสดงว่าเอนไซม์ภายในรากขนอ่อนของพืชสามารถย่อยสลายดีดีทีได้

นอกจากนี้ มีรายงานการนำผักบุ้งไปใช้ในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนด้วยสารมลพิษหลายชนิด ได้แก่ การใช้ผักบุ้งสะสมโลหะหนัก เช่น โครเมียมและแคดเมียม (Chen et al., 2010; Wang et al., 2008b; Weerasinghe et al., 2008) Cai และคณะ (2008) พบว่า ผักบุ้งพันธุ์ White skin และ Taiwan filliform-leaf มีประสิทธิภาพในการสะสม di-*n*-butyl phthalate ได้ดีทั้งในดินที่ปนเปื้อนใหม่หรือปนเปื้อนเป็นระยะเวลานานแล้ว

ยังไม่พบรายงานเกี่ยวกับการนำถั่วพุ่มไปใช้ฟื้นฟูสภาพแวดล้อม แต่การใช้พืชวงศ์ถั่วเพื่อฟื้นฟูสภาพแวดล้อมมีรายงานขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง เช่น การปลูกถั่วอัลฟัลฟา (*Medicago sativa*) ร่วมกับการเติมไรโซเบียม (*Rhizobium meliloti*) ลงในดินที่ปนเปื้อนพีซีบีจะช่วยลดปริมาณพีซีบีที่ปนเปื้อนในดินได้มากกว่าในชุดการทดลองที่ไม่ได้ปลูกพืช (Xu et al., 2010) สำหรับ *Cytisus striatus* ซึ่งเป็นพืชวงศ์ถั่วสามารถกระตุ้นการย่อยสลาย HCH ในไรโซสเฟียร์ของพืชได้ (Kidd et al., 2008) ดังนั้น ทั้งผักบุ้งและถั่วพุ่มจึงน่าจะมีศักยภาพในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ ซึ่งควรมีการศึกษาต่อไปทั้งในด้านการใช้พืชชนิดเดียวหรือใช้ผักบุ้งและถั่วพุ่มปลูกอยู่ร่วมกัน

4. สรุป

ผักบุ้งและถั่วพุ่มเป็นพืชที่มีความทนทานต่อสารผสมระหว่างเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์มากที่สุด สารทั้งสองไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวยอด ความยาวราก ดัชนีความแข็งแรง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งและถั่วพุ่ม ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 มีความทนทานต่อสารผสมในระดับปานกลาง ในขณะที่คะน้าเป็นพืชที่ไวต่อการปนเปื้อนของเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์มากที่สุด การปนเปื้อนร่วมกันระหว่างสารทั้งสองทำให้เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวยอด ความยาวราก ดัชนีความแข็งแรง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของคะน้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น ผักบุ้งและถั่วพุ่มจึงมีแนวโน้มที่จะนำไปใช้ในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนด้วยเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ร่วมกันได้ดีที่สุด ซึ่งต้องมีการศึกษากลไกในระดับสรีรวิทยาของผักบุ้งและถั่วพุ่มในการตอบสนองต่อเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกใช้พืชทั้งสองในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนและส่งเสริมการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ของอาจารย์ ประจำปีงบประมาณ 2553 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม Prof.Dr. Hung Lee, School of Environmental Science, University of Guelph ประเทศแคนาดา และ ดร. วราภรณ์ ฉุยฉาย สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

ขนิษฐา สมตระกูล และ สุนันทา ประทุมมา. 2554a. **ความเป็นพิษของเฮปตาคลอร์ต่อการงอกและการเจริญในระยะต้นกล้าของพืชผัก.** รายงานการประชุมวิชาการพฤกษศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, 30-31 มีนาคม 2554. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ขนิษฐา สมตระกูล และ สุนันทา ประทุมมา. 2554b. **ความเป็นพิษของเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตที่ปนเปื้อนในดินต่อการเจริญของพืชเศรษฐกิจในระยะต้นกล้า.** แก่นเกษตร. 39 (พิเศษ): 295-299.

ปิยะวรรณ ศรีวิลาศ และ กานดา ใจดี. 2549. **สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย.** วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 11(1): 26-39.

วราภรณ์ ฉุยฉาย เจริญพงษ์ ชมภูนุช สุชาติ สระทองหน และปัทมาพร รูปปัทม์. 2553. **ความเป็นพิษของลินเดนและเอนโดซัล-แฟนที่ตกค้างในดินด่างต่อการเจริญระยะต้นกล้าของถั่วฝักยาวและผักกวางตุ้ง.** รายงานการประชุมวิชาการเกษตรครั้งที่ 11. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 425-428.

ศักดา ศรีนิเวศน์. 2551. **สถาบันบริหารศัตรูพืชโดยชีวภาพ.** [Online] Available from: http://www.doae.go.th/report/sukda/hoy_hit.html วันที่เข้าถึงข้อมูล 19 สิงหาคม 2551.

Ajithkumar, P.U., Gangadhar, K.P., Manilal, P., and Kunhi. A.A.M. 1998. **Soil inoculation with *Pseudomonas aeruginosa* 3MT eliminates theinhibitory effect of 3-chloro- and 4-chlorobenzoate on tomato seed germination.** Soil Biology and Biochemistry. 30: 1053-1059.

Åslund, M.L.W., Rutter, A., Reimer, K.J., and Zeeb, B.A. 2008. **The effects of repeating planting, planting density, and specific transfer pathways on PCB uptake by *cucurbita pepo* grown in field conditions.** Science of the Total Environment. 405: 14-25.

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 may* growth.** International Biodeterioration and Biodegradation. 61: 223-239.

Boltner, D., Godoy, P., Munoz-Rojas, J., Duque, E., Moreno-Morillas, S., Sanchez, L., and Ramos, J.L. 2008. **Rhizoremediation of lindane by root-colonizing *Sphingomonas*.** Microbial Biotechnology.1: 87-93.

Cai, Q.Y., Mo, C.H., Zeng, Q.Y., Wu, Q.T., Férard, J.F., and Antizar-Ladislao, B. 2008. **Potential of *Ipomoea aquatica* cultivars in phytoremediation of soil contaminated with di-*n*-butyl phthalate.** Environmental and Experimental Botany. 62: 205-211.

Calvelo Pereira, R., Monterroso, C., and Macias, F. 2010. **Phytotoxicity of hexachlorocyclohexane: Effect on germination and early growth of different plant species.** Chemosphere. 79 : 326-333.

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.

Cheema S.A., Khan, M.I., Tang, X., Zhang, C., Shen, C., Malik, Z., Ali, S., Yang, J., Shen, K., and Chen, Y. 2009. **Enhancement of phenanthrene and pyrene degradation in rhizosphere of tall fescue (*Festuca arundinaceae*).** Journal of Hazardous Materials. 166: 1226-1231.

Chompunut, J., Sathonghon, S., and Chouychai, W. 2010. **Co-toxicity of lindane and alpha-endosulfan contaminants in alkaline soil to rice seedling.** Proceeding of 6th Naresuan Research Conference, July 29-31, 2010. Naresuan University. pp. 390-399.

Chen, J.C., Wang, K.S., Chen, H., Lu, C.Y., Huang, L.C., Li, H.C., Peng, T.H., and Chang, S.H. 2010. **Phytoremediation of Cr (III) by *Ipomonea aquatic* (water spinach) from water in the presence of EDTA and chloride: Effects of Cr speciation.** Bioresource Technology. 101: 3033-3039.

Fan, S., Li, P., Gong, Z., Ren, W., and He, N. 2008. **Promotion of pyrene degradation rhizosphere of alfalfa (*Medicago sativa* L.).** Chemosphere. 71: 1593-1598.

Gao, H. 2009. **Bioaccumulation of hexachlorobenzene in *Eisenia foetida* at different stages.** Journal of Environmental Sciences. 21: 948-953.

Kidd, P.S., Prieto-Fernández, A., and Monterroso, C. 2008. **Rhizosphere microbial community and hexachlorocyclohexane degradative potential in contrasing plant species.** Plant and Soil. 302: 233-247.

Kirk, J.L., Klironomos, J.N., Lee, H. and J.T. Trevors. 2002. **Phytotoxicity assay to assess plantspecies for phytoremediation of petroleum-contaminated soil.** Bioremediation Journal. 6: 57-63.

Lee, S.H., Lee, W.S., Lee, C.H., and Kim, J.G. 2008. **Degradation of phenanthrene and pyrene inrhizosphere of grasses and legumes.** Journal of Hazardous Materials. 153: 892-898.

Mansfield, T.A., and McAinsh, M.R. 1995. Hormone as regulators of water balance, pp. 598-613. In P.J. Davies, ed. **Plant Hormone: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology.**

Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. Prez, 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.

Poolpak, T., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M., Arjarasirikorn, U. and Thanwaniwat, N. 2008. **Residue analysis of organochlorine pesticides in Mae Klong river of Central Thailand.** Journal of Hazardaous Materials. 156: 230-239.

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.

Suresh, B., Sherkhan, P.D., Kale, S., Eapen, S. and Ravishanker, G.A. 2005. **Uptake and degradation of DDT by hairy root cultures of *Cichorium intybus* and *Brassica juncea*.** Chemosphere. 61: 1288-1292.

Thapina, A., and Hudak, P.F. 2000. **Pesticide use and residual occurrence in Thailand.** Environmental Monitoring Assessment. 60: 103-114.

Vidyasagar, G.M., Kotresh, D., Sreenivasa, W., and Karnam, R. 2009. **Role of endosulfan in mediating stress response in *Sorghum bicolor* (L.) Moench.** Journal of Environmental Biology. 30: 217-220.

Wang, L., Zheng, B., and Meng, W. 2008a. **Photoinduced toxicity of four polycyclic aromatic hydrocarbons, singly and in combination, to the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum*.** Ecotoxicology and Environmental Safety. 71: 465-472

Wang, K.S., Huang, L.C., Lee, H.S., Chen, P.Y., and Chang, S.H. 2008b.

Phytoextraction of cadmium by *Ipomoae aquatica* (water spinach) in hydroponic solution: Effect of cadmium speciation. Chemosphere. 72: 666-672.

Weerasinghe, A. Ariyawnasa, S., and Weerasooriya, R. 2008. **Phytoremediation potential of *Ipomoea aquatica* for Cr(IV) mitigation.** Chemosphere. 70: 521-524.

Xu, L., Teng, Y., Li, Z.G., Norton, J.M., and 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.