# ผลของการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตร่วมกันต่อความเป็นพิษของเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนในข้าวโพดข้าวเหนียว
# Effect of Mixed Plant Growth Regulators on Hexachlorocyclohexane Phytotoxicity to Waxy Corn

วราภรณ์ ฉุยฉาย[1*] และ มาลียา เครือตราชู[2]

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ 60000

[2]ศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทั้งชนิดเดียวและร่วมกันสองชนิด ได้แก่ 1) กรดอินโดลบิวไทริก (IBA) 2 mg/l 2) ไทเดียซูรอน (TDZ) 2 mg/l 3) กรดจิบเบอเรลลิก ($GA_3$) 2 mg/l 4) IBA 1 mg/l + TDZ 1 mg/l 5) TDZ 1 mg/l + $GA_3$ 1 mg/l และ 6) IBA 1 mg/l + $GA_3$ 1 mg/l ต่อความเป็นพิษของเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (HCH) โดยแช่เมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวลงในสารละลายสารควบคุมการเจริญเติบโตข้างต้น แล้วนำไปเพาะในดินที่ไม่ปนเปื้อนและปนเปื้อน HCH 30 mg/kg เป็นเวลา 10 วัน ปรากฏว่า ดินที่ไม่ปนเปื้อน HCH สารควบคุมการเจริญเติบโตทุกชนิดสามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งของยอดและรากข้าวโพด ข้าวเหนียวได้โดย $GA_3$ 2 mg/l เพียงอย่างเดียวเพิ่มความยาวรากของข้าวโพดข้าวเหนียวได้ ส่วนในดินที่ปนเปื้อน HCH นั้น มีเพียง TDZ 2 mg/l เท่านั้นที่เพิ่มน้ำหนักแห้งของยอดได้ส่วน IBA 2 mg/l และ IBA 1 mg/l ร่วมกับ $GA_3$ 1 mg/l เพิ่มน้ำหนักสดของรากข้าวโพดได้ การสัมผัสกับ HCH ในดินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อยอดและรากของต้นกล้าข้าวโพด แม้จะส่งผลการเจริญของยอดและราก แต่การสัมผัสกับ HCH พร้อมกับได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตทำให้เกิดโพรงอากาศในเนื้อเยื่อรากได้

## Abstract

The effects of plant growth regulators alone or in combination on Hexachlorocyclohexane (HCH) phytotoxicity were studied. Waxy corn seeds were immersed in different plant growth regulators, that are 1) 2 mg/l Indolebutyric acid (IBA) 2) 2 mg/l Thidiazuron (TDZ) 3) 2 mg/l Gibberellic acid ($GA_3$) 4) 1 mg/l IBA + 1 mg/l TDZ 5) 1 mg/l TDZ + 1 mg/l $GA_3$ and 6) 1 mg/l IBA + 1 mg/l $GA_3$, then sawn in 30 mg/kg HCH-contaminated soil or non-contaminated soil for 10 days. All plant growth regulators could enhance shoot and root dried weight of waxy corn seedlings in non-contaminated soil. Only 2 mg/l $GA_3$ could enhance root length of waxy corn seedlings in non-contaminated soil. In HCH-contaminated soil, only 2 mg/l TDZ could increase shoot dried weight of waxy corn seedlings. Also, 2 mg/l IBA or 1 mg/l IBA and1 mg/l $GA_3$ could increase root fresh weight of waxy corn seedlings. The exposure with HCH in soil did not affect to shoot and root tissue even though the growth of shoot and root were inhibited. However, the exposure with HCH and receive exogenous plant growth regulator induced aerenchyma formation in cortex and pith of waxy corn root.

**คำสำคัญ** : จิบเบอเรลลิน ไซโทไคนิน ออกซิน ออร์กาโนคลอรีน

**Keywords** : Gibberellin; Cytokinin; Auxin; Organochlorine

** ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ chouychai@yahoo.com โทร. 08 9218 4478*

## 1. บทนำ

สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine pesticide) เช่น เฮปตาคลอร์ (Heptachlor) เอนโดซัลแฟน (Endosulfan) และเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (Hexachlorocyclohexane; HCH) จัดเป็นสารมลพิษที่สำคัญในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีความคงตัวและสามารถตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน แม้ว่าสารเคมีในกลุ่มนี้ถูกห้ามใช้ทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่แล้วก็ตาม แต่การสำรวจพื้นที่ทางการเกษตรในสวิตเซอร์แลนด์ในปี ค.ศ. 2002 และ 2005 พบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนทั้งหมดในดินเมื่อ ค.ศ. 2002 เป็น >0.01-0.305 mg/kg ส่วนใน ค.ศ. 2005 พบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนทั้งหมดในดินเมื่อ ค.ศ. 2002 เป็น >0.01-1.325 mg/kg และพบการตกค้างของดีลดริน (Dieldrin) ในผลแตงกวาในบางพื้นที่ที่สำรวจด้วย (Hilber *et al.*, 2008) ในประเทศไทยมีรายงานว่าพบการตกค้างของเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน ทุกไอโซเมอร์ในบริเวณนาข้าวและคลองสาขาของแม่น้ำแม่กลอง ใน พ.ศ. 2547 ระหว่าง 3.4-24.2 mg/kg (Poolpak *et al.*, 2008) สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในดินหลายชนิดเหล่านี้เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน ซัลเฟต (Endosulfan Sulfate) 40 mg/kg มีความยาวยอดและรากลดลง (ขนิษฐา สมตระกูล และสุนันทา ประทุมมา, 2554) คะน้าที่เจริญในดินที่มีการปนเปื้อนร่วมกันระหว่างเอนโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ที่ความเข้มข้นรวม 0.4 mg/kg มีความยาวยอดและน้ำหนักสดลดลง (ขนิษฐา สมตระกูล และสุนันทา ประทุมมา, 2555)

เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (HCH) เป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่มี 8 ไอโซเมอร์ มีเพียง 4 ไอโซเมอร์เท่านั้น คือ $\alpha$-HCH, $\beta$-HCH, $\gamma$-HCH และ $\delta$-HCH ที่เป็นส่วนประกอบหลักของเทคนิคอล-เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (t-HCH) ซึ่งเป็นรูปของเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนที่มีการใช้งานเป็นสารฆ่าแมลง (ขนิษฐา สมตระกูล, 2557) โดยไอโซเมอร์ชนิดแกมมา ($\gamma$-HCH) หรือลินเดน (Lindane) ที่ตกค้างในดิน ทำให้ความยาวยอดและรากของต้นกล้าข้าวโพด ทานตะวัน ผักบุ้ง ฟักทอง (Chouychai and Lee, 2012) ข้าว (Chompunut *et al.*, 2010) ผักกวางตุ้ง และถั่วฝักยาว (วราภรณ์ ฉุยฉาย และคณะ, 2553) ลดลง นอกจากนี้ ยังส่งผลต่อการงอกของเมล็ดพืชใบเลี้ยงเดี่ยวโดยการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในเมล็ด เช่น อะไมเลส (Calvevo Pereira *et al.*, 2010) ซึ่งความเป็นพิษต่อพืชของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนนี้ ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการใช้พืชเพื่อฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนด้วย ดังที่มีรายงานว่าการปลูกแตงกวาลงในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน ซัลเฟต 71.3 mg/kg ทำให้แตงกวาทั้งหมดตายระหว่างวันที่ 50-55 หลังย้ายต้นกล้า และประสิทธิภาพในการกำจัดเอนโดซัลแฟน ซัลเฟตโดยกระบวนการการกระตุ้นด้วยพืช (Phytostimulation) ที่เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างพืชและจุลินทรีย์ในไรโซสเฟียร์ออกจากดินนั้นเกิดขึ้นได้เพียง 20% ในวันที่ 45 หลังย้ายต้นกล้า ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเอนโดซัลแฟน ซัลเฟตในดินที่ปลูกข้าวโพดหวาน (72%) และถั่วพุ่ม (37%) ที่ไม่ตาย (Somtrakoon *et al.*, 2014) การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และ

ไซโทไคนิน เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้นำมาใช้เพิ่มความทนทานของพืชในดินที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ซึ่งมีรายงานว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตหลายชนิดสามารถส่งเสริมการเจริญของพืชได้ ตัวอย่างเช่น การแช่เมล็ดผักกวางตุ้งในสารละลายกรดอินโดลบิวไทริก (Indole butyric acid; IBA) 1-10 mg/l ก่อนเพาะเพิ่มความยาวยอด ความยาวราก และน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนลินเดน 40 mg/kg (Chouychai, 2012) การแช่เมล็ดถั่วฝักยาวในสารละลาย IBA 1 mg/l เป็นเวลา 3 ชั่วโมงทำให้น้ำหนักสดของยอดและรากถั่วฝักยาวในดินที่ปนเปื้อน HCH 20 mg/kg เพิ่มขึ้น (วราภรณ์ ฉุยฉาย และ มาลียา เครือตราชู, 2556) แต่ในบางครั้งสารควบคุมการเจริญเติบโตก็ไม่สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น การแช่เมล็ดผักกวางตุ้งในสารละลายไทเดียซูรอน (Thidiazuron; TDZ) 10 mg/l 3 ชั่วโมงก่อนเพาะในทรายปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน ซัลเฟต 4-100 mg/kg พบว่า การเจริญของรากผักกวางตุ้งหยุดชะงัก ในขณะที่การแช่เมล็ดในสารละลายกรดแนฟทาลีนอะซีติก (Naphthaleneacetic acid; NAA) 10 mg/l ก่อนปลูก 3 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อการเจริญของผักกวางตุ้งในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน ซัลเฟตเช่นเดียวกัน (ขนิษฐา สมตระกูล และ มาลียา เครือตราชู, 2556)

อย่างไรก็ตาม ผลของการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตร่วมกันสองชนิดเพื่อส่งเสริมการเจริญของพืชในดินที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนยังไม่มีการศึกษา ทั้งนี้การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตสองชนิดร่วมกันมีรายงานว่าประสบความสำเร็จในดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษอื่น ๆ เช่น การรดถั่วอัลฟัลฟาที่เจริญในดินปนเปื้อนสารตะกั่ว 80 mg/kg ด้วย EDTA กรดอินโดล-อะซีติก (Indoleacetic acid; IAA) 100 $\mu$M และไคนีติน (Kinetin; Kn) 100 $\mu$M ทำให้สะสมตะกั่วเพิ่มขึ้นในถั่วอัลฟัลฟา (Lopez et al., 2009) การแช่เมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวในสารละลาย IBA 1.0 mg/l ร่วมกับกรดจิบเบอเรลลิก (Gibberellic acid; GA3) 1.0 mg/l เพิ่มน้ำหนักแห้งของยอดและน้ำหนักสดของรากข้าวโพดข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นที่เพาะในดินที่ปนเปื้อนฟีแนนทรีน 400 mg/kg (วราภรณ์ ฉุยฉาย และคณะ, 2558) จากเหตุผลที่กล่าวมา ในการศึกษานี้จึงศึกษาผลของการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตร่วมกันสองชนิดคือ IBA ร่วมกับ TDZ, TDZ ร่วมกับ GA3 และ IBA ร่วมกับ GA3 เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าวโพดข้าวเหนียวในดินที่ปนเปื้อน HCH 30 mg/kg เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปประโยชน์ในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนด้วยพืชต่อไป

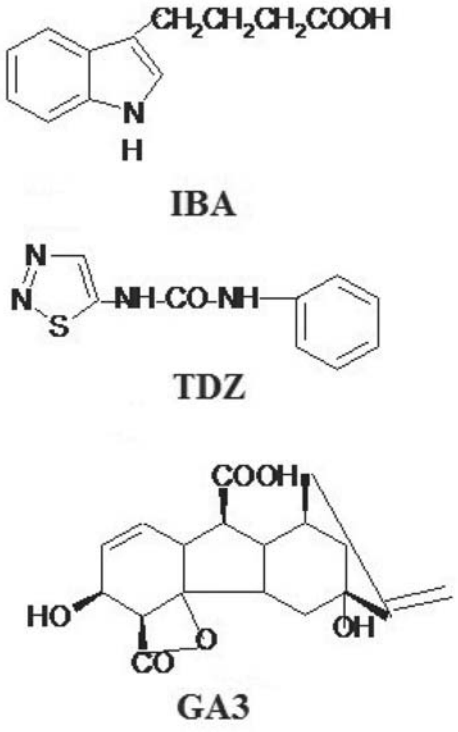
## 2. วิธีการทดลอง

เก็บตัวอย่างดินจากศูนย์การศึกษาเกษตรเขาแรด คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ จากนั้น วิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของดินที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง กรุงเทพฯ พบว่า เป็นดินด่าง (pH 8.9) มีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.29 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้งของดิน มีไนโตรเจนทั้งหมด 0.21 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้งของดิน โพแทสเซียมทั้งหมด 0.13 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้งของดิน และสารอินทรีย์ในดิน 1.78 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้งของดินและได้วิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนซึ่งประกอบด้วย เบนซีนเฮกซะคลอไรด์ (Benzene hexachloride)

เฮปตาคลอร์และ เฮปตาคลอร์อีพอกไซด์ (Heptachlor & heptachlor epoxide) อัลดริน และ ดีลดริน (Aldrin & dieldrin) ไดคอฟอล (Dicofol) ดีดีที (DDT) คลอร์เดน(Chlordane) เอนโดซัลแฟน (Endosulfan) เอนดริน (Endrin) ดีดีอี (DDE) และ ดีดีดี (DDD) ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรสโกปี (GC-MS) ซึ่งไม่พบการปนเปื้อน

การเตรียมดินปนเปื้อน HCH นี้ดัดแปลงมาจากวิธีของ Bidlan *et al*. (2004) โดยชั่ง HCH (บริษัท Dr. Ehrenstorfer GmbH, ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.0 เป็นส่วนผสมของไอโซเมอร์แอลฟาร้อยละ76 ไอโซเมอร์เบตาร้อยละ 6 ไอโซเมอร์แกมมาร้อยละ15 ไอโซเมอร์เดลตาร้อยละ 2 และไอโซเมอร์เอปซีลอนร้อยละ 1) แล้วละลายด้วยอะซีโตน จากนั้นจึงเติมลงในดินให้ได้ความเข้มข้นของเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนในดินเป็น 30 mg/kg ดินที่เติมเฉพาะอะซิโตน ใช้เป็นชุดควบคุมที่ 0 mg/kg ผึ่งดินไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้อะซิโตนระเหยไปให้หมดก่อนใช้เพาะเมล็ด

แช่เมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ Big white 854 F1 (เมล็ดพันธุ์ทางการค้าของบริษัทอีสต์เวสต์ซีด จำกัด นนทบุรี) ในสารละลายต่าง ๆ ต่อไปนี้ คือ 1) IBA (Fluka, ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99)2 mg/l 2) TDZ (Fluka, ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99)2 mg/l 3) GA3 (Fluka, ความบริสุทธิ์ร้อยละ 90) 2 mg/l 4) IBA 1 mg/l + TDZ 1 mg/l 5) TDZ 1 mg/l + $GA_3$ 1 mg/l 6) IBA 1 mg/l + $GA_3$ 1 mg/l เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (โครงสร้างทางเคมีของสารควบคุมการเจริญเติบโตแสดงในรูปที่ 1) แล้วจึงนำไปเพาะบนจานแก้วที่มีดินปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อน HCH จานละ 10 เมล็ด จำนวน 3 จานต่อทรีทเมนต์ โดยมีเมล็ดที่แช่ในน้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม วางแผนการทดลองแบบ CRD สองปัจจัย มี 2x7 ระดับ เมื่อครบ 10 วัน นำต้นกล้าที่งอกทั้งหมดมาวัดความยาวของยอดและราก โดยวัดจากโคนต้นถึงปลายใบที่อ่อนที่สุด และวัดจากโคนรากที่ออกจากใบเลี้ยงจนถึงปลายราก ชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอดและราก ทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย Two-way ANOVA และ LSD's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ศึกษาลักษณะของเนื้อเยื่อภายในลำต้นและรากโดยตัดเนื้อเยื่อสดตามขวาง ย้อมด้วยสีซาฟรานินแล้วดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง




**รูปที่ 1** โครงสร้างของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ใช้ในการทดลองนี้ กรดอินโดลบิวไทริก (IBA) (Ludwig-Müller, 2000) ไทเดียซูรอน (TDZ) (Murthy *et al*., 1998) และกรดจิบเบอเรลลิก ($GA_3$) (Graebe, 1987)

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การปนเปื้อน HCH 30 mg/kg ในดินส่งผลต่อการเจริญของต้นกล้าข้าวโพด โดยเมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่นแล้วเพาะในดินที่ปนเปื้อน HCH น้ำหนักสดของยอดข้าวโพดลดลง แต่ไม่มีผลต่อความยาวยอดและน้ำหนักแห้งของยอด (ตารางที่ 1) ในขณะที่ HCH ส่งผลต่อการเจริญของรากอย่างชัดเจน โดยทำให้ความยาวและน้ำหนักสดของรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทำให้น้ำหนักแห้งของรากสูงขึ้น (ตารางที่ 2)

### 3.1 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตและ HCH ต่อการเจริญของยอดข้าวโพดข้าวเหนียว

ในดินที่ไม่ปนเปื้อน HCH การแช่เมล็ดในสารควบคุมการเจริญเติบโตทั้งชนิดเดียวและร่วมกันสองชนิดแล้วนำเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวไปเพาะไม่มีผลต่อความยาวยอดและน้ำหนักสดของยอดต้นกล้าข้าวโพดข้าวเหนียว แต่สามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งของยอดได้ (ตารางที่ 1) ส่วนในดินที่ปนเปื้อน HCH นั้น การแช่เมล็ดในสารควบคุมการเจริญเติบโตทั้งชนิดเดียวและสองชนิดนั้น ไม่มีผลต่อความยาวยอดและน้ำหนักสดของยอดเช่นกัน หากแต่ว่า TDZ 2 mg/l สามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งของยอดได้เมื่อเทียบกับต้นกล้าที่งอกจากเมล็ดที่แช่น้ำกลั่น โดยต้นที่มาจากเมล็ดที่แช่ TDZ 2 mg/l มีน้ำหนักแห้งของยอด 65.0 mg ในขณะที่ต้นที่มาจากเมล็ดที่แช่น้ำกลั่นมีน้ำหนักแห้งของยอด 50.6 mg ส่วนสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดอื่น ๆ ไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งของยอด และเมื่อเปรียบเทียบเนื้อเยื่อของยอดข้าวโพดข้าวเหนียวที่มาจากเมล็ดที่แช่ในน้ำกลั่นหรือสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดต่าง ๆ ทั้งที่เพาะในดินที่ปนเปื้อนหรือไม่ปนเปื้อน HCH นั้น พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน

TDZ เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มฟีนิลยูเรียซึ่งมีรายงานว่าความเข้มข้นในช่วง 0.01-1.0 mg/l ไม่สามารถเพิ่มการเจริญของยอดต้นกล้าถั่วฝักยาวที่เจริญในดินที่ปนเปื้อน HCH 20 mg/kg ได้ (วราภรณ์ ฉุยฉาย และมาลียา เครือตราชู, 2556) ในทำนองเดียวกัน TDZ 1.0-10.0 mg/l ไม่สามารถเพิ่มการเจริญของยอดถั่วฝักยาวในดินที่ปนเปื้อนไกลโฟเซต 50 mg/kg (วราภรณ์ ฉุยฉาย และคณะ, 2557) นอกจากนั้น TDZ 10 mg/l ยังทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าผักกวางตุ้ง ข้าวโพดหวาน ถั่วพุ่ม และแตงกวาที่เจริญในทรายที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน ซัลเฟตลดลงด้วย (ขนิษฐา สมตระกูล และ มาลียา เครือตราชู, 2556; Somtrakoon and Kruatrachue, 2014) แต่ในการศึกษานี้ TDZ เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตเพียงชนิดเดียวที่เพิ่มน้ำหนักแห้งของยอดข้าวโพดที่เจริญในดินที่ปนเปื้อน HCH 30 mg/kg ได้

**ตารางที่ 1** ความยาวยอด น้ำหนักสดของยอด และน้ำหนักแห้งของยอดของต้นกล้าข้าวโพดข้าวเหนียวที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนหรือปนเปื้อน HCH 30 mg/kg เป็นเวลา 10 วัน โดยแช่ในสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างชนิดกันก่อนเพาะ

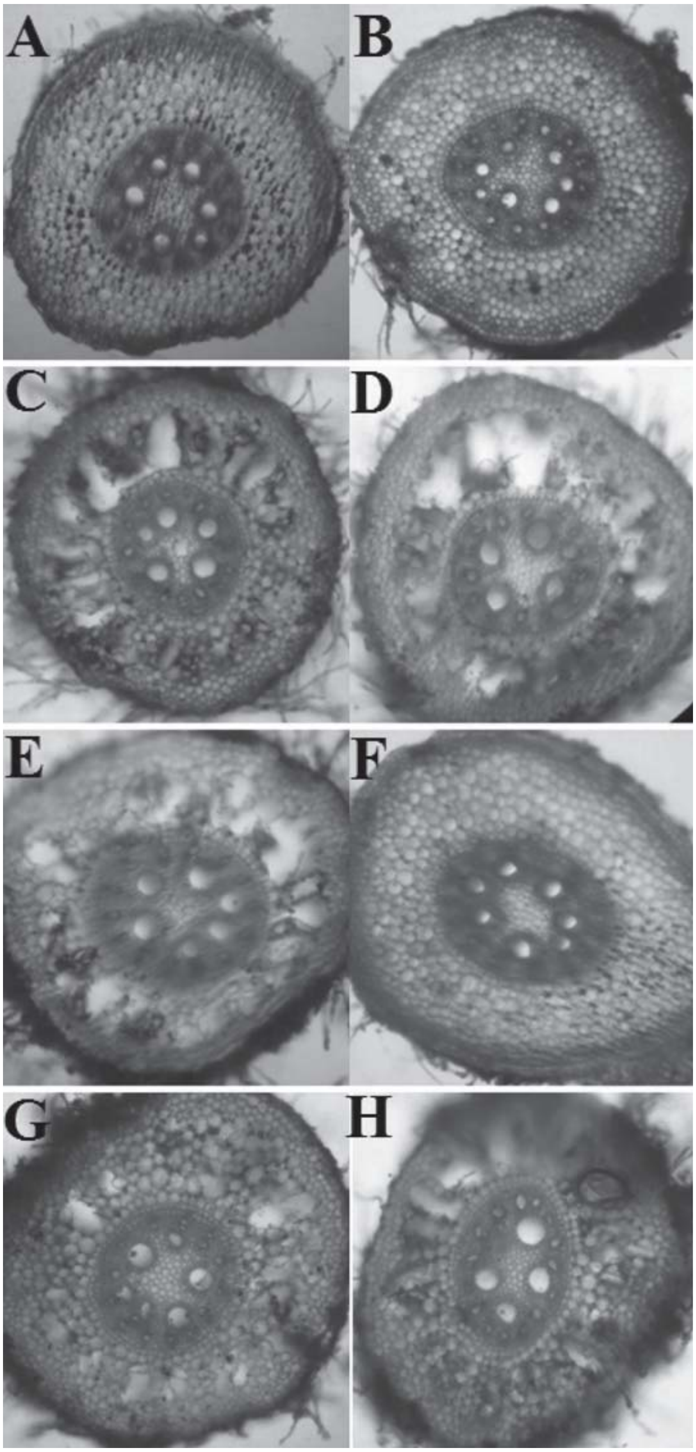
| สารควบคุมการเจริญเติบโต (mg/l) | ไม่ปนเปื้อน HCH | | | ปนเปื้อน 30 mg/kg HCH | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความยาว (cm) | น้ำหนักสด (mg) | น้ำหนักแห้ง (mg) | ความยาว (cm) | น้ำหนักสด (mg) | น้ำหนักแห้ง (mg) |
| น้ำกลั่น | 25.5 ± 6.6a | 655.0 ± 271.4a | 32.7 ± 11.4c | 20.1 ± 2.7a | 468.6 ± 68.4a* | 50.6 ± 5.6b |
| IBA 2.0 | 31.1 ± 5.8a | 710.0 ± 128.4a | 49.6 ± 10.3b | 21.7 ± 2.7a* | 584.3 ± 136.0a | 55.2 ± 17.8ab |
| TDZ 2.0 | 30.3 ± 8.4a | 638.3 ± 82.1a | 65.4 ± 6.2a | 17.6 ± 2.5a* | 457.1 ± 77.4a* | 65.0 ± 11.3a |
| GA3 2.0 | 28.9 ± 7.3a | 718.3 ± 111.1a | 58.0 ± 11.5ab | 22.7 ± 2.8a* | 520.0 ± 140.6a* | 40.8 ± 12.5b |
| IBA 1.0 + TDZ 1.0 | 34.3 ± 7.5a | 578.3 ± 156.2a | 55.8 ± 15.9ab | 17.4 ± 5.3a* | 452.8 ± 178.3a | 43.4 ± 20.0b |
| TDZ 1.0 + GA3 1.0 | 31.1 ± 8.4a | 633.3 ± 105.2a | 60.4 ± 11.2ab | 18.0 ± 1.5a* | 481.4 ± 49.4a* | 53.4 ± 10.3ab |
| IBA 1.0 + GA3 1.0 | 31.2 ± 2.6a | 585.0 ± 125.5a | 54.1 ± 13.6ab | 20.7 ± 3.7a* | 595.7 ± 91.6a | 59.6 ± 8.2ab |

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างชนิดกันและ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อน HCH และปนเปื้อน HCH 30 mg/kg ที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดเดียวกัน

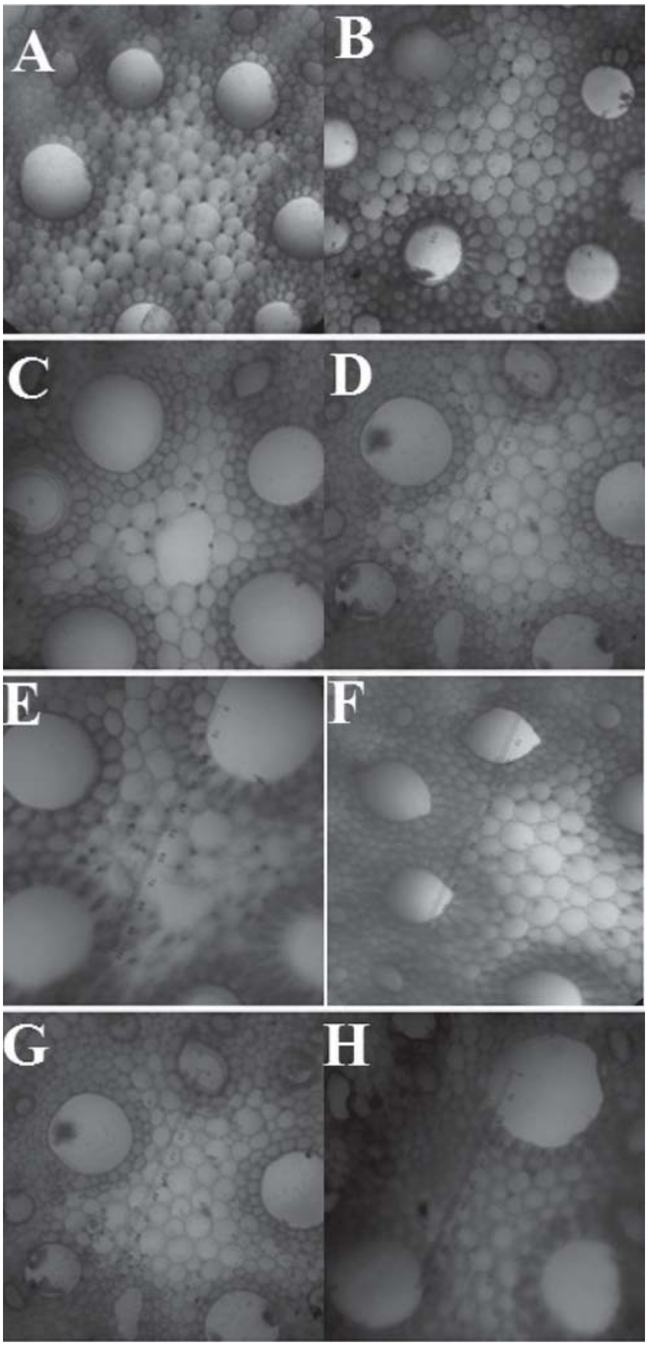
**ตารางที่ 2** ความยาวราก น้ำหนักสดของราก และน้ำหนักแห้งของรากของต้นกล้าข้าวโพดข้าวเหนียวที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนหรือปนเปื้อน HCH 30 mg/kg เป็นเวลา 10 วัน โดยแช่ในสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างชนิดกันก่อนเพาะ

| สารควบคุมการเจริญเติบโต (mg/l) | ไม่ปนเปื้อน HCH | | | ปนเปื้อน 30 mg/kg HCH | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความยาว (cm) | น้ำหนักสด (mg) | น้ำหนักแห้ง (mg) | ความยาว (cm) | น้ำหนักสด (mg) | น้ำหนักแห้ง (mg) |
| น้ำกลั่น | 17.5 ± 5.1bc | 571.7 ± 268.0ab | 29.9 ± 13.4c | 4.4 ± 1.0ab* | 270.0 ± 72.8b* | 46.7 ± 4.9ab* |
| IBA 2.0 | 23.8 ± 5.4ab | 693.3 ± 147.3a | 66.6 ± 6.8ab | 5.8 ± 1.7ab* | 420.0 ± 116.5a* | 57.7 ± 16.8a |
| TDZ 2.0 | 20.7 ± 4.1b | 426.7 ± 120.9b | 62.2 ± 16.9ab | 3.2 ± 0.8b* | 245.7 ± 37.8b* | 35.8 ± 8.0b* |
| GA3 2.0 | 24.7 ± 3.0a | 668.3 ± 119.2ab | 73.8 ± 13.8a | 6.8 ± 2.6a* | 394.3 ± 129.7ab* | 53.8 ± 17.7ab* |
| IBA 1.0 + TDZ 1.0 | 14.9 ± 4.5c | 490.0 ± 144.6b | 66.1 ± 21.1ab | 4.3 ± 0.7ab* | 247.1 ± 62.6b* | 42.0 ± 10.2b* |
| TDZ 1.0 + GA3 1.0 | 17.5 ± 4.6c | 411.7 ± 120.9b | 58.0 ± 14.6b | 3.5 ± 0.7b* | 241.4 ± 26.1b* | 45.6 ± 7.7ab* |
| IBA 1.0 + GA3 1.0 | 17.1 ± 2.8c | 536.7 ± 217.3b | 53.8 ± 9.8b | 5.5 ± 1.2ab* | 442.8 ± 67.2a | 57.2 ± 9.6a |

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างชนิดกันและ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อน HCH และปนเปื้อน HCH 30 mg/kg ที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดเดียวกัน




**รูปที่ 2** ลักษณะเนื้อเยื่อรากของต้นกล้าข้าวโพดข้าวเหนียวอายุ 10 วันตัดตามขวางและย้อมด้วยสีซาฟรานิน กำลังขยาย 100 เท่าโดยเรียงตามลำดับดังนี้ (A) ต้นที่แช่ในน้ำกลั่นแล้วเพาะในดินไม่ปนเปื้อน (B) และดินที่ปนเปื้อน HCH 30 mg/l ต้นที่แช่ในสารควบคุมการเจริญเติบโตแล้วเพาะในดินที่ปนเปื้อน HCH 30 mg/l ได้แก่ (C) IBA (D) TDZ (E) $GA_3$ (F) IBA ร่วมกับ TDZ (G) TDZ ร่วมกับ $GA_3$ และ (H) IBA ร่วมกับ $GA_3$




**รูปที่ 3** ลักษณะเนื้อเยื่อรากเน้นบริเวณพิธ (pith) และไซเลม (xylem) ของต้นกล้าข้าวโพดข้าวเหนียวอายุ 10 วัน ตัดตามขวางและย้อมด้วยสีซาฟรานิน กำลังขยาย 400 เท่าโดยเรียงตามลำดับดังนี้ (A) ต้นที่แช่ในน้ำกลั่นแล้วเพาะในดินไม่ปนเปื้อน (B) และดินที่ปนเปื้อน HCH 30 mg/l ต้นที่แช่ในสารควบคุมการเจริญเติบโตแล้วเพาะในดินที่ปนเปื้อน HCH 30 mg/l ได้แก่ (C) IBA (D) TDZ (E) $GA_3$ (F) IBA ร่วมกับ TDZ (G) TDZ ร่วมกับ $GA_3$ และ (H) IBA ร่วมกับ $GA_3$

### 3.2 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตและ HCH ต่อการเจริญของรากข้าวโพดข้าวเหนียว

ในดินที่ไม่ปนเปื้อน HCH การแช่เมล็ดใน GA3 2 mg/l เท่านั้นที่สามารถเพิ่มความยาวรากของข้าวโพดข้าวเหนียวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับต้นกล้าที่งอกจากเมล็ดที่แช่ในน้ำกลั่น โดยต้นที่มาจากเมล็ดที่แช่ใน $GA_3$ 2 mg/l มีความราก 24.7 cm ส่วนต้นที่งอกจากเมล็ดที่แช่ในน้ำกลั่นมีความยาวราก 17.5 cm ส่วนต้นที่มาจากเมล็ดที่แช่ในสารควบคุมการเจริญเติบโตสองชนิดมีความยาวรากสั้นกว่าต้นที่งอกจากเมล็ดที่แช่ในสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดเดียว (ตารางที่ 2) ในขณะที่การแช่เมล็ดในสารควบคุมการเจริญเติบโตทั้งชนิดเดียวและสองชนิดร่วมกันนั้นสามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งของรากได้ แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักสดของราก

ในดินที่ปนเปื้อน HCH การออกฤทธิ์ของสารควบคุมการเจริญเติบโตจะต่างไป โดยไม่มีสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดใดเลยที่มีผลต่อความยาวรากและน้ำหนักแห้งของราก ในขณะที่การแช่เมล็ดใน IBA 2 mg/l หรือ IBA 1 mg/l ร่วมกับ $GA_3$ 1 mg/l สามารถเพิ่มน้ำหนักสดของรากข้าวโพดได้เมื่อเทียบกับต้นที่มาจากเมล็ดที่แช่น้ำกลั่น (ตารางที่ 2) การแช่เมล็ดใน IBA 1 mg/l ร่วมกับ $GA_3$ 1 mg/l สามารถเพิ่มน้ำหนักสดของรากของข้าวโพดข้าวเหนียวที่เจริญในดินที่ปนเปื้อน HCH 30 mg/kg ได้เช่นเดียวกับที่สามารถเพิ่มน้ำหนักสดของรากข้าวโพดข้าวเหนียวในดินที่ปนเปื้อนฟีแนนทรีน 400 mg/kg แต่ไม่สามารถเพิ่มน้ำหนักสดของรากในต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนได้ (วราภรณ์ ฉุยฉาย และคณะ, 2558) ซึ่งเป็นไปได้ว่าการที่รากพืชสัมผัสกับสารมลพิษในดินนั้นได้ส่งผลต่อปริมาณออกซินและจิบเบอเรลลินภายในราก ฮอร์โมนภายในพืชทั้งสองชนิดนี้มีรายงานว่าไวต่อการสัมผัสสารมลพิษของพืช ต้นกล้าข้าวที่สัมผัสกับลินเดนทำให้ระดับของออกซินในเนื้อเยื่อลดลง (Sharada *et al*., 1999) ส่วนระดับของจิบเบอเรลลินในพืชนั้นมีรายงานว่าลดลงเมื่อพืชสัมผัสกับพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Xing *et al*., 2006) ดังนั้น เมื่อพืชได้รับออกซินหรือจิบเบอเรลลินจากภายนอกจึงสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้เป็นปกติได้ โดยมีรายงานว่า เมล็ดผักกวางตุ้งที่ได้รับ IBA หรือ $GA_3$ แล้วนำไปเพาะในดินที่ปนเปื้อนลินเดน 40 mg/kg มีการเจริญของรากที่ดีกว่าต้นที่มาจากเมล็ดที่แช่ในน้ำกลั่นได้ โดย IBA สามารถชักนำการเจริญของรากได้ดีกว่า $GA_3$ (Chouychai, 2012) เนื้อเยื่อของรากข้าวโพดข้าวเหนียวที่มาจากเมล็ดที่แช่ในน้ำกลั่น ทั้งที่เพาะในดินที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อน HCH ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ต้นที่งอกจากเมล็ดที่แช่ใน IBA TDZ และ $GA_3$ แล้วเพาะในดินที่ปนเปื้อน HCH จะเห็นว่าเกิดโพรงอากาศในชั้นคอร์เท็กซ์ของราก (รูปที่ 1) ต้นที่มาจากเมล็ดที่แช่ใน IBA รวมกับ $GA_3$ หรือ TDZ ร่วมกับ $GA_3$ จะเกิดโพรงอากาศในชั้นคอร์เท็กซ์เช่นกัน แต่มีปริมาณโพรงอากาศน้อยกว่า ส่วนต้นที่มาจากเมล็ดที่แช่ IBA ร่วมกับ TDZ ไม่เกิดโพรงอากาศ นอกจากนี้ รากที่งอกจากเมล็ดที่แช่ IBA จะมีขนรากมากกว่าทรีทเมนต์อื่น (รูปที่ 2) ส่วนการเกิดโพรงอากาศในชั้นพิธนั้นพบเฉพาะรากของต้นที่งอกจากเมล็ดที่แช่ใน IBA และ $GA_3$ เท่านั้น (รูปที่ 3)

การเกิดโพรงอากาศภายในเนื้อเยื่อเป็นการตอบสนองต่อสารมลพิษแบบหนึ่งของพืช มีรายงานว่าถั่วลันเตาที่เลี้ยงในอาหารกึ่งแข็งสูตรมูราชิกิและสกูก (MS) ที่เติม IAA 0.1 mg/l ร่วมกับฟลูออแรนทีน 1.0 mg/l จะสร้างเอทิลีนมากกว่าต้นที่เจริญในอาหารที่ไม่มีฟลูออแรนทีน (Fluoranthene) และเกิดโพรงอากาศในเนื้อเยื่อชั้นคอร์เท็กซ์เพิ่มขึ้นหลังจากเลี้ยงในอาหารสูตรดังกล่าวเป็นเวลา 21 วัน (Vanova *et al*., 2011) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้วัดปริมาณเอทิลีนที่เกิดขึ้น และการเกิดโพรงอากาศจะเกิดเฉพาะในต้นที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เพาะในดินที่มี HCH ดังนั้น ผลของการได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตจากภายนอกต่อการตอบสนองต่อสารมลพิษของพืชโดยเฉพาะระดับของฮอร์โมนภายในเนื้อเยื่อพืชจึงเป็นประเด็นที่ควรศึกษาในรายละเอียดต่อไป

## 4. สรุป

ในดินที่ไม่ปนเปื้อน HCH สารควบคุมการเจริญเติบโตทุกชนิดสามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งของยอดและรากของข้าวโพดข้าวเหนียวได้ $GA_3$ เพียงชนิดเดียวเพิ่มความยาวรากของข้าวโพดข้าวเหนียวได้ ส่วนในดินที่ปนเปื้อน HCH นั้น มีเพียง TDZ 2 mg/l เท่านั้นที่สามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งของยอดได้ และ IBA 2 mg/l หรือ IBA 1 mg/l ร่วมกับ $GA_3$ 1 mg/l สามารถเพิ่มน้ำหนักสดของรากข้าวโพดได้ การสัมผัสกับ HCH ในดินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อยอดและรากของต้นกล้าข้าวโพดแม้การเจริญของยอดและรากจะลดลง แต่การสัมผัสกับ HCH พร้อมกับได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตทำให้เกิดโพรงอากาศในเนื้อเยื่อราก

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ทุนพัฒนาศักยภาพการทำวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ (เลขที่สัญญา MRG5480043)

## 6. เอกสารอ้างอิง

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

ขนิษฐา สมตระกูล และ สุนันทา ประทุมมา. 2555. **ความเป็นพิษร่วมกันของเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ต่อการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของพืชชนิดต่าง ๆ**. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 6(2): 64-76.

ขนิษฐา สมตระกูล และ มาลียา เครือตราชู. 2556. **ผลของกรดแอลฟาแนฟทาลีนอะซีติกและไทเดียซูรอนต่อการเจริญของต้นกล้าผักกวางตุ้งที่ปลูกในทรายที่ปนเปื้อนเอนโด-ซัลแฟน-ซัลเฟต.** วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 15 (1): 1-11.

ขนิษฐา สมตระกูล. 2557. **การปนเปื้อนและฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนเฮกซะคลอโร-ไซโคลเฮกเซนด้วยวิธีทางชีวภาพ**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 16(2): 16-33.

วราภรณ์ ฉุยฉาย และคณะ. 2553. **ความเป็นพิษของลินเดนและเอนโดซัลแฟนที่ตกค้างในดินด่างต่อการเจริญระยะต้นกล้าของถั่วฝักยาวและผักกวางตุ้ง.** รายงานการประชุมวิชาการเกษตร ครั้งที่ 11. 25-26 มกราคม 2553. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 425-428.

วราภรณ์ ฉุยฉาย และ มาลียา เครือตราชู. 2556. **ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดต่อความเป็นพิษของเฮกซะคลอโรไซ-โคลเฮกเซนในถั่วฝักยาว**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 15(2): 32-40.

วราภรณ์ ฉุยฉาย วราพร น้อยจันทร์ และขนิษฐา สมตระกูล. 2557. **ผลของไซโตไคนินต่อความเป็นพิษของไกลโฟเสทในถั่วฝักยาวระยะต้นกล้า**. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 7(2): 51-55.

วราภรณ์ ฉุยฉาย เบญจวรรณ พิลึก และ ขนิษฐา สมตระกูล. 2558. **ผลของการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตร่วมกันต่อความเป็นพิษของฟีแนนทรีนในข้าวโพดข้าวเหนียว**. แก่นเกษตร. 43(พิเศษ 1), 823-829

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.

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

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

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 Agriculture and Biology, 14(5): 734-738.

Graebe, J.E. 1987. **Gibberellin biosynthesis and control**. Annual Review of Plant Physiology. 38: 419-465.

Hilber, I., Mader, P., Schulin, R., and Wyss, G.S. 2008. **Survey of organochlorine pesticides in horticultural soils and there grown *Cucurbitaceae***. Chemosphere. 73: 954-961.

Lopez, 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 ethylene-**

diaminetraacetic acid on plant growth and uptake and translocation of lead, micronutrients, and macronutrients in alfalfa plants. International Journal of Phytoremediation 11: 131-149.

Ludwig-Müller, J. 2000. **Indole-3-butyric acis in plant growth and development.** Plant Growth Regulation. 32: 219-230.

Murthy, B.N.S., Murch, S.J., and Saxena, P.K. 1998. **Thidiazuron: A potent regulator of *in vitro* plant morphogenesis**. In Vitro Cell and Developmental Biology-Plant. 34: 267-275.

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.

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.

Somtrakoon, K., and Kruatrachue, M. 2014. **Effect of alpha-naphthalene acetic acid and thidiazuron on seedling of economic crops grown in endosulfan sulfate-spiked sand**. Journal of Environmental Biology. 35: 1021-1030.

Somtrakoon, K., Kruatrachue, M., and Lee, H. 2014. **Phytoremediation of endosulfan sulfate-contaminated soil by single and mixed plant cultivations**. Water, Air and Soil Pollution. 225: 1886 Doi: 10.1007/s11270-014-1886-0.

Vanova, L., Kummerova, M., and Votrubva. 2011. **Fluoranthene-induced production of ethylene and formation of lysigenous intercellular spaces in pea plants cultivated *in vitro***. Acta Physiologia Plantarum.33: 1037-1042.

Xing, W., Luo, Y., Wu, L., Song, J., and Christie, P. 2006. **Accumulation and phytoavailibility of benzo[a]pyrene in an acid sandy soil.** Environmental Geochemistry and Health. 28: 153-158.