

การปนเปื้อน ความเป็นพิษและการสะสมในพืชของสารกำจัดศัตรูพืช กลุ่มออร์กาโนคลอรีน

Organochlorine Pesticide Contamination, Toxicity, and Phyto-accumulation

ขนิษฐา สมตระกูล¹ และ วราภรณ์ จุ้ยฉาย²

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อ.เมือง จ. นครสวรรค์

*Email: skhanitta@hotmail.com

บทคัดย่อ

สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจัดเป็นสารมลพิษอินทรีย์ที่สำคัญและเป็นปัญหาสำคัญในสิ่งแวดล้อม แม้จะถูกห้ามใช้ทางการเกษตรแล้วในหลายประเทศ แต่การปนเปื้อนของสารกลุ่มนี้ยังคงอยู่ เนื่องจากเป็นสารที่คงตัวและจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นพิษต่อพืชหลายประการ ได้แก่ การเพิ่มสภาวะเครียดต่อพืช รบกวนการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญ และลดระดับของกรดอินโดลอะซีติก นอกจากนี้ สารกลุ่มนี้สามารถสะสมในชีวมวลของพืช รวมทั้งพืชที่เป็นอาหารของมนุษย์ เช่น ข้าว ไม้ไผ่ ดังนั้นการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในพื้นที่เกษตรกรรมจึงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ควรให้ความสำคัญเป็นลำดับแรก

คำสำคัญ: การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ความเป็นพิษต่อพืช การสะสมในพืช

Abstract

Organochlorine pesticides, despite being banned in many countries, are important organic pollutants and present serious environmental problems worldwide due to their recalcitrance and limited biodegradation. Their toxicity affects plants in several ways, such as increasing stress response, disrupting cell division in meristem, and decreasing indoleacetic acid levels. The pesticides also accumulate readily in plant biomass, including rice, an important food for humans. For these reasons, organochlorine pesticide contamination of agricultural sites is an important environmental issue.

Keywords: Environmental contamination; Organochlorine pesticides; Phytotoxicity; Phytoaccumulation

บทนำ

สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นสารมลพิษอินทรีย์ที่มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร โดยมีฤทธิ์ในการกำจัดวัชพืช แมลงรบกวน และเชื้อรา [1] การออกฤทธิ์ในการทำลายสิ่งมีชีวิตมีความร้ายแรง และมีความคงทนสูงในสิ่งแวดล้อม สารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนบางชนิดถูกกระจัดใช้งานในประเทศที่พัฒนาแล้วมาเป็นเวลานาน เช่น ดีดีทีถูกห้ามใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983 ลินเดนถูกห้ามใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เอนดริน อัลดริน ดิลดรินและเฮปตาคลอร์ถูกห้ามใช้งานตั้งแต่ปี 1988 ส่วนเอนโตซัลแฟนซัลเฟตถูกห้ามใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 เป็นต้น [2]

แม้ว่าจะมีการยกเลิกการใช้งานสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้เป็นส่วนใหญ่ในประเทศไทยแล้วเช่นกัน แต่ยังมีรายงานปัญหาการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในประเทศไทย ทำให้ยังเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ โดยเฉพาะในภาคเกษตรกรรม บทความนี้ จึงได้รวบรวมการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่มีรายงานในปัจจุบัน รวมทั้งความเป็นพิษและการสะสมในพืช เพื่อเป็นการชี้ให้เห็นความสำคัญของสารมลพิษกลุ่มนี้ และกระตุ้นให้มีการศึกษาวิจัยในวงกว้างต่อไป

การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่เป็นสารที่ใช้กำจัดแมลง มีส่วนน้อยที่ใช้เป็นสารกำจัด

วัชพืช ตัวอย่างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้ที่รู้จักกันโดยทั่วไป ได้แก่ ลินเดน เฮปตาคลอร์ เอนโดซัลแฟน อาหาราซีน เป็นต้น คุณสมบัติโดยทั่วไปนั้น ละลายน้ำได้ดีแต่ละลายได้ดีในไขมัน ระบายเป็นไอได้ดีมาก ย่อยสลายได้ยากด้วยปฏิกิริยาทางเคมีและชีวภาพ ทำให้การปนเปื้อนของออร์กาโนคลอรีนในสิ่งแวดล้อมเกิดการตกค้างยาวนาน โดยมีแหล่งสะสมอยู่ในดินหรือดินตะกอนในแหล่งน้ำ [3, 4] จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนถูกจัดเป็นสารอันตรายที่ต้องเร่งกำจัดออกจากสิ่งแวดล้อมอย่างเร่งด่วนตามรายการของ Environmental Protection Agency ถึงแม้สารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจะถูกห้ามใช้งานมาเป็นเวลานานแล้ว แต่เนื่องจากความคงทนในสิ่งแวดล้อม การใช้งานอย่างมากในอดีตและการลักลอบใช้งานในปัจจุบันทำให้ยังคงตรวจพบการปนเปื้อนสารในกลุ่มนี้อย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะในบริเวณที่มี

การทำเกษตรกรรม [4] รวมทั้งพื้นที่ที่เคยเป็นโรงงานผลิตสารเคมีกลุ่มนี้ โดยมีรายงานตรวจพบสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนอย่างสม่ำเสมอทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งรวบรวมชนิดและระดับการปนเปื้อนของสารกลุ่มนี้ในสิ่งแวดล้อมทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าหากไม่นับการปนเปื้อนที่เกิดจากบริเวณที่เป็นแหล่งผลิตสารชนิดนี้ทางอุตสาหกรรมมาก่อน บริเวณส่วนใหญ่ที่มีการสำรวจและรายงานว่ามี การปนเปื้อนจะเป็นดินในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการเกษตรหรือในดินตะกอนทั้งสิ้น จึงนับว่าการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการเกษตรกรรมและดินตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำต่างๆ ในประเทศไทย เป็นสิ่งที่ควรเฝ้าระวังอย่างยิ่ง

ตารางที่ 1 ระดับการปนเปื้อนของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยและต่างประเทศ

สถานที่	ชนิดของสารและระดับการปนเปื้อนสูงสุดที่พบ	ปีที่สำรวจ	อ้างอิง
พื้นที่ทำเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย	พบเฮปตาคลอร์ 0.297 ng/g เฮปตาคลอร์อีพอกไซด์ 11.910 ng/g แอลฟา-เอนโดซัลแฟน 8.818 ng/g ดีดีที 3.349 ng/g	พ.ศ. 2540	[1]
แม่น้ำเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร คลองสาขาแม่น้ำแม่กลอง สมุทรสงคราม ประเทศไทย	พบเฉพาะอาหาราซีน 58 ng/l	กรกฎาคม พ.ศ. 2546	[5]
คลองรางตบ (Rang Tub Tab Canal) ลุ่มน้ำแม่กลอง ประเทศไทย	พบเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 6,920 ng/g เฮปตาคลอร์ 1,920 ng/g เฮปตาคลอร์ อีพอกไซด์ 204,410 ng/g แอลฟา-เอนโดซัลแฟน 200 ng/g เบตา-เอนโดซัลแฟน 1-510 ng/g เอนโดซัลแฟนซัลเฟต 1,340 ng/g ดีดีที 1,830 ng/g เมทอกซีคลอร์ 230 ng/g	พ.ศ. 2546	[4]
บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย	พบเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 24,170 ng/g เฮปตาคลอร์ 1,920 ng/g เฮปตาคลอร์ อีพอกไซด์ 204,410 ng/g แอลฟา-เอนโดซัลแฟน 10-320 ng/g เบตา-เอนโดซัลแฟน 140 ng/g เอนโดซัลแฟนซัลเฟต 1,340 ng/g ดีดีที 1,830 ng/g เมทอกซีคลอร์ 230 ng/g	พ.ศ. 2547	[4]
บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย	เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 1538 ng/g คลอร์เดน 70 ng/g เฮปตาคลอร์ 547 ng/g เฮปตาคลอร์ อีพอกไซด์ 47 ng/g อัลดริน 88 ng/g ดีลทริน 140 ng/g เอนดริน 33 ng/g ดีดีที 26 ng/g เอนโดซัลแฟน 257 ng/g เอนโดซัลแฟน ซัลเฟต 43 ng/g	พ.ศ. 2547	[3]
แม่น้ำสายบุรี แม่น้ำปัตตานี แม่น้ำตีบาภาคใต้ ประเทศไทย	ที่พบมากคือเบตาเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน แกมมาเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน เฮปตาคลอร์ อีพอกไซด์ แอลฟา-เอนโดซัลแฟน พารา-พาราดีดีที และเอนดริน แอลดีไฮด์	มิถุนายน พ.ศ. 2550-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	[6]

ตารางที่ 1 (ต่อ) ระดับการปนเปื้อนของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยและต่างประเทศ

สถานที่	ชนิดของสารและระดับการปนเปื้อนสูงสุดที่พบ	ปีที่สำรวจ	อ้างอิง
ฮานอย ประเทศเวียดนาม	โดยเฉพาะ พารา-พาราดีดีพีพบในปริมาณที่สูงถึง 203.1 ng/ml จากตัวอย่างน้ำที่ลึกจากผิวหน้า 1 เมตร แม่น้ำสายบุรีมีการปนเปื้อนสูงสุด โดยมีปริมาณรวมในแม่น้ำสายบุรี 241.26 ng/ml ส่วนปริมาณรวมในแม่น้ำปัตตานีเป็น 16.35 ng/ml และปริมาณรวมในแม่น้ำตีบาเป็น 20.77 ng/ml	พฤษภาคม พ.ศ. 2549	[7]
จังหวัดซูลลา ภาคเหนือของประเทศ เกาหลีใต้	พบแกมมาเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 0.94 ng/g เดลตาเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 2.97 ng/g เฮปตาคลอโรอีพอกไซด์ 48 ng/g และดีดีที 0.49 ng/g ในดินบริเวณที่มีการทำเกษตรกรรม	พ.ศ. 2539	[8]
กวางโจว ประเทศจีน	ดีดีที 3.58-831 µg/kg และเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 0.19-42.3 µg/kg บริเวณดินชั้นบน	ธันวาคม พ.ศ. 2542 และ สิงหาคม พ.ศ. 2545	[9]
ทะเลสาบไทหู ประเทศ จีน	พบดีดีทีและอนุพันธ์ 166.55 ng/g เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 60.97 ng/g ดีดีที เอนดริน และแอลฟา-เอนโดซัลแฟน รวมกันต่ำกว่า 15 ng/g	พ.ศ. 2547	[10]
เซียงไฮ้ ประเทศจีน	ปริมาณโดยรวม 265.24 ng/g ถ้าแยกตามชนิด พบเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 10.38 ng/g ดีดีที 247.45 ng/g เฮปตาคลอโร เฮปตาคลอโรอีพอกไซด์ คลอร์เดน และทรานส์-โนนาคลอร์ 10.08 ng/g แอลฟา-เอนโดซัลแฟนและเบตา-เอนโดซัลแฟน 3.68 ng/g อัลดริน ดีดีที และเอนดริน 5.69 ng/g	ตุลาคม พ.ศ. 2550	[11]
น้ำใต้ดิน ที่กันบูร์ ตอน เหนือของประเทศ อินเดีย	พบแกมมาเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน และดีดีที 16.227 µg/l ในน้ำใต้ดิน	มิถุนายน- ธันวาคม พ.ศ. 2546	[12]
โรงงานผลิตดินแดน นิคมอุตสาหกรรมจิน หัด ประเทศอินเดีย	ดินรอบนอกและดินรอบรากพืชมีปริมาณเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 104.18 และ 26.05 mg/kg ตามลำดับ	มกราคม พ.ศ. 2548	[13]
ชายฝั่งทะเลของมูมไบ	พบเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนและดีดีทีในน้ำทะเล 15.92 ng/l และ 33.21 ng/l ตามลำดับและพบ HCHs และดีดีทีในตะกอน 16.2 ng/g และ 9.6 ng/g ตามลำดับ	ไม่ระบุ	[14]
เมืองไฮเดอราบัด ประเทศอินเดีย	พบดีดีที 0.19 µg/l เบตา-เอนโดซัลแฟน 0.87 µg/l แอลฟา-เอนโดซัลแฟน 2.14 µg/l และลินเดน 1.38 µg/l ในน้ำใต้ดิน	ไม่ระบุ	[15]
ประเทศอียิปต์	พบลินเดน เฮปตาคลอโร เฮปตาคลอโรอีพอกไซด์ อัลดริน เอนดริน ดีดีที และดีดีที รวมในดินชั้นบนมีค่า 9.5 µg/kg	ธันวาคม พ.ศ. 2538 - เมษายน พ.ศ. 2539	[16]

ความเป็นพิษ

แม้ว่าสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจะมีสิ่งมีชีวิตเป้าหมายในการออกฤทธิ์คือแมลง แต่การใช้สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอื่นที่ไม่ใช่แมลงด้วย เนื่องจากสารในกลุ่มนี้มีความคงทนและตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งยังสามารถละลายในไขมันที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตได้ดีด้วย ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเพิ่มโอกาสให้สิ่งมีชีวิตที่มีชีวิตมีเป้าหมายของการทำลาย เช่น สัตว์หน้าดิน สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และพืชมีโอกาสสัมผัสกับสารกลุ่มนี้ได้มากขึ้น

ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่เป็นที่รู้จักโดยทั่วไปนั้นมักเป็นพิษต่อสัตว์ ทั้งสัตว์ที่มีและไม่มีกระดูกสันหลัง แต่ที่สำคัญคือสารกำจัดศัตรูพืชเหล่านี้ยังเป็นพิษต่อพืชและจุลินทรีย์อีกด้วย ในส่วนของจุลินทรีย์นั้น มีรายงานว่าเอนโดซัลแฟนชักนำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นภายในเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียหลายชนิด เช่น *Nostoc muscorum* และ *Anabaena variabilis* [17] และรบกวนการจัดเรียงตัวของโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *Bacillus stearothermophilis* [18] และเฮปตาคลอร์ที่ปนเปื้อนในดินยังทำให้จำนวนจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพลดลงด้วย [19]

ความเป็นพิษต่อพืชของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนมีเป้าหมายของการออกฤทธิ์ในระดับเซลล์ที่สำคัญคือ การเพิ่มสภาวะเครียดต่อพืช ทำให้พืชสร้างเอนไซม์ที่ตอบสนองต่อภาวะเหล่านี้มากขึ้น เช่น สร้างเอนไซม์อะซีเตเลส กลูตาไทโอนรีดักเตสและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากขึ้น ออร์กาโนคลอรีนหลายชนิด เช่น เฮปตาคลอร์ ดีลตริน อัลตรินและเอนโดซัลแฟน รบกวนการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญ โดยเข้าไปรบกวนเส้นใยสปินเดิลระหว่างการเคลื่อนที่ของโครโมโซม [20] ลินเดนรบกวนเยื่อหุ้มเซลล์ของสาหร่ายเดนซา (*Elodea densa*) ทำให้ความสามารถในการควบคุมระดับของโซเดียมและโพแทสเซียมไอออนลดลง [21]

อาการที่พืชแสดงออกมาในระยะต้นกล้าหากเพาะเมล็ดในดินที่ปนเปื้อนสารกลุ่มนี้คือ ความยวรากและน้ำหนักลดลง เมล็ดงอกได้น้อยลงหรือช้าลงขึ้นกับชนิดของพืช แต่ถ้าเมล็ดที่งอกแล้วมาปลูกในดินที่ปนเปื้อน ความเป็นพิษจะ

เกิดขึ้นน้อยกว่า ตัวอย่างเช่น การนำเมล็ดข้าวโพดที่งอกแล้วมาปลูกในดินที่มีลินเดน 0.1-0.4 mg/kg ลินเดนจะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด [22] แต่การเพาะเมล็ดข้าวโพดลงในดินที่ปนเปื้อนลินเดน 0.2 – 20 mg/kg ทำให้ความยาวยอดและความยวรากลดลง [23]

การเข้าไปรบกวนระดับของฮอร์โมนภายในพืชเป็นอีกเป้าหมายหนึ่งของการออกฤทธิ์ของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและลดระดับของกรดอินโดลอะซีติก (Indoleacetic acid; IAA) ภายในต้นกล้าข้าวได้ [24] ซึ่งจะสอดคล้องกับการที่ออร์กาโนคลอรีนทำให้น้ำหนักลดลง เพราะฮอร์โมนกลุ่มออกซินเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมสมดุลของน้ำในเซลล์ [25] การได้รับฮอร์โมนจากภายนอกช่วยให้ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนลดลงได้ เช่น การกระตุ้นเมล็ดข้าวโพดด้วยออกซินหรือจิบเบอเรลลินก่อนนำไปเพาะในดินที่ปนเปื้อนลินเดน จะทำให้การเจริญของต้นกล้าข้าวโพดดีกว่าเมล็ดที่แช่ด้วยน้ำกลั่น [26] ในทำนองเดียวกัน การกระตุ้นเมล็ดฝักกวางตุ้งด้วยออกซินแล้วนำไปเพาะในดินที่ปนเปื้อนลินเดนจะทำให้พืชเจริญได้ดีกว่านำไปเพาะในดินที่ปนเปื้อนเอนโดซัลแฟน [27] การได้รับฮอร์โมนพืชจากภายนอกสามารถทำให้การเจริญของพืชเป็นปกติได้ แสดงว่าฮอร์โมนนั้นๆ สามารถเข้าไปทดแทนระดับของฮอร์โมนภายในได้นั่นเอง ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามชนิดและความเข้มข้นของออร์กาโนคลอรีนแต่ละชนิด

การปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชหลายชนิดร่วมกันเป็นสิ่งที่พบได้ทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้การศึกษาความเป็นพิษร่วมกันของสารกลุ่มนี้ต่อพืชยังมีน้อย แต่มีแนวโน้มที่ความเป็นพิษร่วมกันระหว่างออร์กาโนคลอรีนจะเสริมฤทธิ์กัน เช่น การปนเปื้อนร่วมกันระหว่างลินเดนกับแอลฟา-เอนโดซัลแฟนทำให้เป็นพิษต่อน้ำหนักสดของรากข้าวมากขึ้น [28] นอกจากนั้น การปนเปื้อนร่วมกันระหว่างเอนโดซัลแฟนซัลเฟตกับเฮปตาคลอร์ยังเป็นพิษต่อข้าวเหนียวและคะน้าเพิ่มขึ้น [29], [30], [31] ซึ่งความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดต่างๆ ต่อพืชทั้งการปนเปื้อนเพียงชนิดเดียวและการปนเปื้อนร่วมกันสองชนิดได้สรุปและรวบรวมแสดงดัง ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ออร์กาโนคลอรีนชนิดต่างๆ ความเข้มข้น และความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

ออร์กาโนคลอรีนและ ความเข้มข้น	ชนิดพืช	ความเป็นพิษ	อ้างอิง
เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 2 – 50 mg/kg	หัวผักกาด ถั่วเขียว	ยับยั้งการงอกและลดดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า	[32]
เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน 300 – 12,500 mg/kg	ข้าวสาลี (<i>Triticum aestivum</i>); ข้าวบาร์เลย์ (<i>Hordeum vulgare</i>); ข้าวโอ๊ต (<i>Avena sativa</i>); ถั่วแดงหลวง (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	ทำให้งอกช้าลง และลดความยาวรากของต้นกล้าแต่ไม่มีผลต่อร้อยละการงอก	[33]
ลินเดน 0.2 – 20 mg/kg	ข้าวโพด	ลินเดนลดความยาวยอดและความยาวรากของข้าวโพด	[23]
ลินเดนและแอลฟา-เอนโดซัลแฟนอย่างละ 0.2 – 20 mg/kg	ถั่วฝักยาว ผักกวางตุ้ง	ลินเดนลดความยาวรากของพืชทั้งสองชนิด และลดน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งส่วนเอนโดซัลแฟนลดความยาวรากและน้ำหนักสดของผักกวางตุ้ง	[34]
ลินเดนร่วมกับแอลฟา-เอนโดซัลแฟนอย่างละ 0.2 – 20 mg/kg	ข้าวเจ้า	การปนเปื้อนร่วมกันของลินเดนและแอลฟา-เอนโดซัลแฟนทำให้น้ำหนักสดของรากลดลงมากกว่าการที่มีลินเดนหรือแอลฟา-เอนโดซัลแฟนอย่างเดียว	[28]
เอนโดซัลแฟน 0.2 – 0.6%	ข้าวฟ่าง	ลดร้อยละการงอกของเมล็ด สดระดับของพีนอล โพรสแตโนล คอโรฟิลล์บี กดการทำงานของเอนไซม์ คีตาเลสและโปรตีเอส แต่เพิ่มการทำงานของเอนไซม์เพอรอกซิเดส	[35]
เอนโดซัลแฟน ซัลเฟต 0.4 – 40 mg/kg	ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6	ที่ความเข้มข้นสูงสุดลดความยาวยอดและความยาวรากของข้าวเหนียวลง 9 และ 16% เมื่อเทียบกับชุดควบคุมตามลำดับ	[29]
เอนโดซัลแฟนซัลเฟตร่วมกับเฮปตาคลออร์ อย่างละ 0.4 – 40 mg/kg	ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ค่ะนำ	ลดความยาวรากของข้าวเหนียวลง 48% ลดร้อยละการงอก ความยาวยอด และน้ำหนักสดของคะนำลง 43% 56% และ 67% ตามลำดับเมื่อเทียบกับชุดควบคุม	[30]
เอนโดซัลแฟนซัลเฟตและ กับเฮปตาคลออร์ อย่างละ 0.4 – 40 mg/kg	ผักบุ้ง แดงกวา ถั่วพุ่ม	เอนโดซัลแฟนซัลเฟตที่ความเข้มข้นสูงสุดลดความยาวรากของผักบุ้ง 27.6% ลดความยาวยอดของถั่วพุ่ม 16% เฮปตาคลออร์ลดความยาวยอดแดงกวาลง 9.2% และลดน้ำหนักสดของผักบุ้งลง 25.8%	[36]
เฮปตาคลออร์ 0.4 – 40 mg/kg	คะนำ พักทอง	ลดความยาวยอด ความยาวรากและน้ำหนักสดของคะนำลง 46% 56% และ 30% ที่ความเข้มข้นสูงสุดตามลำดับ ลดน้ำหนักสดของพักทองลง 26% ที่ความเข้มข้นสูงสุด เมื่อเทียบกับชุดควบคุม	[31]

การสะสมในพืช

นอกจากจะมีรายงานว่าสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนนี้เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืชแล้ว ยังมีรายงานว่าสารกลุ่มนี้สามารถสะสมในชีวมวลของพืชได้ดี

โดยออร์กาโนคลอรีนที่มีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุดคือเฮกซะ-คลอโรไซโคลเฮกเซนมีรายงานการสะสมในพืชมากที่สุด การลดลงของออร์กาโนคลอรีนในดินที่ปลูกพืชส่วนใหญ่เกิดจากการที่พืชสะสมสารนี้ไว้ในชีวมวลการส่งเสริมการ

ย่อยสลายภายในไรโซสเฟียร์ของพืชเกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งอาจเป็นเพราะสารกลุ่มนี้มีควมคงตัวต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจนเช่นกัน [37]

การย่อยสลายเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนในไรโซสเฟียร์มีรายงานโดย Kidd และคณะ [38] ซึ่งพบปริมาณคลอริโนอีสเตรนินดินที่ปลูกพืชเพิ่มขึ้นและปริมาณเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนในดินลดลงโดยเฉพาะในไรโซสเฟียร์ของ *Cytisus stritatus* และพืชชนิดนี้ก็มีรายงานว่าสะสมเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนในชีวมวลได้ด้วย [39] การสะสมสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในพืชนั้นไม่ได้สะสมในรูปสารที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อมเพียงอย่างเดียว แต่มีการเปลี่ยนโครงสร้างหรือไอโซเมอร์ของสารด้วย ตัวอย่างเช่น เอนโดซัลแฟนที่สะสมในเปลือกไม้ในสหรัฐอเมริกาอยู่ในรูปเอนโดซัลแฟนซัลเฟต ในขณะที่ในบรรยากาศจะอยู่ในรูปแอลฟา-เอนโดซัล

แฟน และ เบตา-เอนโดซัลแฟน จึงเป็นไปได้ว่าเมื่อพืชสะสมเอนโดซัลแฟนจะเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเอนโดซัลแฟนซัลเฟต [40] ส่วนในกรณีของเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนนั้น พืชจะสะสมในรูปไอโซเมอร์ชนิดเบตามากกว่ารูปแบบอื่นๆ [41]

ทั้งนี้ พืชที่มีรายงานว่าสะสมออร์กาโนคลอรีนในชีวมวลได้ดีส่วนใหญ่เป็นพืชตระกูลแตง ตระกูลผักกาดและตระกูลหญ้า ซึ่งได้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3 อย่างไรก็ตาม พืชที่น่าสนใจและควรให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งคือข้าว สามารถสะสมเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนในเมล็ดได้ด้วย [42] ซึ่งมีโอกาสที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ แม้จะยังไม่มีรายงานว่าข้าวสะสมออร์กาโนคลอรีนชนิดอื่นๆ ได้ แต่การใช้สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในการปลูกข้าวหรือปลูกข้าวในดินที่ปนเปื้อนสารกลุ่มนี้จึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง

ตารางที่ 3 การสะสมของออร์กาโนคลอรีนชนิดต่างๆ ในชีวมวลของพืช

ชนิดสาร	ชนิดพืช	ประสิทธิภาพ	อ้างอิง
เฮปตาคลอโร	น้ำเต้า	พันธุ์ hyotan ลดปริมาณเฮปตาคลอโรในดินจาก 0.376 เหลือ 0.05 mg/kg ส่วนพันธุ์อูราเอลสะสมในเนื้อเยื่อได้มากที่สุดคือ 2 mg/kg	[43]
อาหาราซีน	แฟกุ่ม	หญ้าแฟกุ่มสะสมอาหาราซีนไว้ที่ใบได้ 29 nmol ต่อกรัมน้ำหนักสด และสะสมได้มากกว่าในราก ภายในเวลา 20 วัน	[44]
ลินเดน	งา (<i>Sesamum indicum</i>)	การสะสมลินเดนในงาขึ้นกับปริมาณของลินเดนที่ปนเปื้อนในดิน โดยสะสมได้สูงสุด 33.29 mg/kg	[45]
เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน	ข้าวโอ๊ต, <i>Vicia sativa</i> , <i>Chenopodium</i> spp., น้ำใจไคร้ (<i>Solanum nigrum</i>), และ <i>C. striatus</i>	พบการสะสมเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนมากในใบของ <i>C. striatus</i> (60 mg/kg) รองลงมาคือในใบของข้าวโอ๊ต (30 mg/kg)	[39]
เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน	อาร์ติโชก (<i>Cynara scolymus</i>) และ <i>Erica</i> sp.	<i>Erica</i> sp. สะสมเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนได้มากกว่าอาร์ติโชก โดยสะสมมากที่สุดใยยอดของ <i>Erica</i> sp. (150.9 mg/kg)	[41]
เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน	ข้าวพันธุ์จิ้งหิว 1	ปริมาณเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนในดินบริเวณไรโซสเฟียร์ของข้าวลดลงจาก 9 mg/kg ในวันที่ 3 เหลือ 2 mg/kg ในวันที่ 27 แต่มีการสะสมเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนในเมล็ดสูงถึง 4 mg/kg	[42]
เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน	มะเขือพวง (<i>Solanum torvum</i>); <i>Withania somnifera</i>	พบการสะสมในพืชในระดับ 14.12-52.29 mg/kg dried soil	[13]
ดีดีที และ เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน	หัวผักกาด	ภายในเวลา 56 วัน สะสมดีดีทีในรากได้ 610.3 ng/g และใยยอดได้ 135.5 ng/g สะสมเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซนทุกไอโซเมอร์รวมกัน ในรากเป็น 206.7 ng/g และใยยอดเป็น 145.0 ng/g	[46]
ดีดีที	แตงกวาและฟักทอง	แตงกวาสะสมดีดีทีในรากได้ 300 – 690 ng/g ในยอด 76- 120 ng/g ในใบ 23–54 ng/g และในผล 13–45 ng/g ฟักทองสะสม ดีดีทีในรากได้ 130 - 2900 ng/g ในยอด 10 - 2200 ng/g ในใบ 10-380 ng/g และในผล 7.3-120 ng/g	[47]
ดีดีที	ข้าวโพด	ข้าวโพดแต่ละสายพันธุ์สะสมดีดีทีได้ระหว่าง 5.27 – 18.6 µg คิด เป็นร้อยละการเคลื่อนย้ายออกจากดินได้ 47.1–70.3%	[48]

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทความนี้ได้นำเสนอมุมมองเกี่ยวกับสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในด้านการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเท่าที่มีการรายงานล่าสุดตั้งแต่ พ.ศ. 2539 เป็นต้นมา ซึ่งจะเห็นได้ว่าแม้จะเลิกใช้สารกลุ่มนี้ทางการเกษตรมานานกว่าสามสิบปีแล้วในหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทย ปัญหาการปนเปื้อนของสารกลุ่มนี้ยังไม่หมดไป นอกจากนี้ยังได้นำเสนอผลของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนต่อพืชทั้งในด้านความเป็นพิษต่อพืชและการสะสมในชีวมวลของพืช ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้เป็นพิษต่อการเจริญหลายชนิด และในขณะเดียวกันก็สามารถสะสมในชีวมวลได้ดีด้วย ดังนั้น สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจึงเป็นสารมลพิษทางการเกษตรที่ควรให้ความสำคัญและเพิ่มความเข้มงวดในการควบคุม การลักลอบใช้งานสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนทางการเกษตรเป็นการทำผิดกฎหมายอย่างร้ายแรง เพื่อลดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และลดการตกค้างในพืชผลทางการเกษตร ซึ่งจะส่งผลเสียต่อสภาพเศรษฐกิจของประเทศในภาพรวมต่อไป รวมทั้งควรมีการควบคุมหรือบังคับใช้กฎหมายอย่างจริงจัง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thapinta, A. and Hudak, F. 2003. "Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand". **Environmental International**. 29: 87-93.
- [2] Boonyatumanond, R., Jaksakul, A., Pancharoen, P. and 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.
- [3] ปิยะวรรณ ศรีวิลาส และกานดา ใจดี. 2549. "สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย". **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**. 11: 26-39
- [4] Poolpak, T., Pokethiyook, 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.

- [5] Kruawal, K., Sacher, F., Werner, A., Müller, J. and Knepper, T.P. 2005. "Chemical water quality in Thailand and its impact on the drinking water production in Thailand". **Science of the Total Environment**. 340: 57-70.
- [6] Samoh, A.N.H. and Ibrahim, M.S. 2009. "Organochlorine pesticide residues in the major river of Southern Thailand". **EnvironmentAsia**. 1: 30-34.
- [7] Hoai, P.M., Ngoc, N.T., Minh, N.H., Viet, P.H., Berg, M., Alder, A.C. and Giger, W. 2010. "Recent levels of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in sediments of the sewer system in Hanoi, Vietnam". **Environmental Pollution**. 158: 913-920.
- [8] Kim, J.H. and Smith, A. 2001. "Distribution of organochlorine pesticides in soil from South Korea". **Chemosphere**. 43: 137-140.
- [9] Chen, L., Ran, Y., Xing, B., Mai, B., He, J., We, X., Fu, J. and Sheng, G. 2005. "Content and source of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in vegetable soils of Guangzhou, China". **Chemosphere**. 60: 879-890.
- [10] Fang, W., Xin, J., Yong-rong, B., Fen-xia, Y., Hong-jian, G., Gui-fen, Y., Munch, J.C. and Schroll, R. 2007. "Organochlorine pesticides in soils under different land usage in the Thihu lake region, China". **Journal of Environmental Sciences**. 19: 584-590.
- [11] Jiang, Y.F., Wang, X.T., Jia, Y., Wang, F., Wu, M.H., Sheng, G.Y. and Fu, J.M. 2009. "Occurrence and distribution and possible sources of organochlorine pesticides in agricultural soil of Shanghai, China". **Journal of Hazardous Materials**. 170: 989-997.

- [12] Sankaramakrishnan, N., Sharma, A.K. and Sanghi, R. 2005. "Organochlorine and organophosphorous pesticide residues in ground water and surface waters of Kanpur, Uttar Pradesh, India". **Environmental International**. 31: 113-120.
- [13] Abhilash, P.C. and Singh, N. 2009. "Seasonal variation of HCH isomers in open soil and plant-rhizospheric soil system of a contaminated environment". **Environmental Science and Pollution Research**. 16: 727-740.
- [14] Pandit, G.G., Sahu, S.K., Sharma, S. and Puranik, V.D. 2006. "Distribution and fate of persistent organochlorine pesticides in coastal marine sediment of Mumbai". **Environmental International**. 32: 240-243.
- [15] Shukla, G., Kumar, A., Bhandi, M., Joseph, P.E. and Taneja, A. 2006. "Organochlorine pesticide contamination of ground water in the city of Hyderabad". **Environmental International**. 32: 244-247.
- [16] Ahmed, M.T., Ismail, S.M.M. and Mabrouk, S.S. 1998. "Residues of some chlorinated hydrocarbon pesticides in rain water, soil and groundwater, and their influence on some soil microorganisms". **Environmental International**. 24(5/6): 665-670.
- [17] Kumar, S., Habib, K. and Fatma, T. 2008. "Endosulfan induced biochemical changes in nitrogen-fixing cyanobacteria". **Science of the Total Environment**. 403: 130-138.
- [18] Martins, J.D., Monteiro, J.P., Antunes-Madeira, M.C., Jurado, A.S. and Madeira, V.M.C. 2003. "Use of the microorganism *Bacillus stearothermophilus* as a model to evaluate toxicity of the lipophilic environmental pollutant endosulfan". **Toxicology In Vitro**. 17: 595-601.
- [19] วราภรณ์ ฉุยฉาย รัตน์ดา ศรีกำแหง บุญแสน เตี้ยวนุกูล ธรรม และชนิษฐา สมตระกูล. 2554. "ผลของการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนต่อการเจริญของหญ้าแฝกและจำนวนแบคทีเรียในดินชุดชัยบาดาล". การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยบูรพา ครั้งที่ 1 ณ มหาวิทยาลัยบูรพา 6-7 กรกฎาคม 2554. 9 หน้า.
- [20] 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.
- [21] Schefczik, K. and W. Simonis, 1980. "Side effects of chlorinated hydrocarbon insecticides on membranes of plant cells: I. The influence of lindane on the membrane potential of *Elodea densa* leaf cells". **Pesticide Biochemistry and Physiology**. 13: 13–19.
- [22] 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
- [23] Chouychai, W., Chompunut, J., Sathonghon, S. and Ruppatt, P. 2009. "Respond of Corn Seedling to Lindane and Endosulfan Contaminants in Soil". **35th Congress on Science and Technology of Thailand**. Burapha University October 15–17, 2009. 5 pages.
- [24] Sharada, K., Salimath, B. P., Shetty, S., Gopalakrishna, N., and Karanth, K. 1999. "Indol-3-ylacetic acid and calmodulin-regulated Ca²⁺-ATPase: A target for the phytotoxic action of hexachlorocyclohexane". **Pesticide Science**. 35: 315–319

- [25] Mansfield, T.A. and McAinsh, M.R. 1995. "Hormone as regulators of water balance". In P.J. Davies (Ed.), **Plant hormone: Physiology, biochemistry and molecular biology** (pp. 598–613). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- [26] ปัทมาพร รูปปัทม์ เจริญพงษ์ ชมภูงูช สุชาติ สระทองหน และ วราภรณ์ ฉุยฉาย. 2554. "ผลของออกซินและจิบเบอเรลลินต่อความเป็นพิษของลินเดนในต้นกล้าข้าวโพดที่ปลูกในดินต่าง". **วารสารเกษตรนครสวรรค์**. 13 (1): 43-49.
- [27] Chouychai, W., 2012. "Effect of some plant growth regulators on lindane and alpha-endosulfan toxicity to *Brassica chinensis*". **Journal of Environmental Biology**. 33: In press
- [28] 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**. Naresuan University July 29–31, 2010. pp. 390–399
- [29] ขนิษฐา สมตระกูลและสุนันทา ประทุมมา. 2554. "ความเป็นพิษของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตต่อการเจริญของพืชเศรษฐกิจในระยะต้นกล้า". **แก่นเกษตร**. 34 (พิเศษ): 295–299.
- [30] ขนิษฐา สมตระกูลและสุนันทา ประทุมมา. 2555. "ความเป็นพิษร่วมกันของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและเฮปตาคลอร์ต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของพืชชนิดต่างๆ". **วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กำลังตีพิมพ์**.
- [31] ขนิษฐา สมตระกูลและสุนันทา ประทุมมา. 2554. "ความเป็นพิษของเฮปตาคลอร์ต่อการเจริญระยะต้นกล้าของพืชผัก". **การประชุมวิชาการพฤกษศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 30 มี.ค. -1 เม.ย. 2554**. 8 หน้า.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] วราภรณ์ ฉุยฉาย เจริญพงษ์ ชมภูงูช สุชาติ สระทองหน และปัทมาพร รูปปัทม์. 2553. "ความเป็นพิษของลินเดนและเอนโดซัลแฟนที่ตกค้างในดินต่างต่อการเจริญระยะต้นกล้าของถั่วฝักยาวและผักกวางตุ้ง". **การประชุมวิชาการเกษตรครั้งที่ 11 ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 25–26 มกราคม 2553**. หน้า 425–428.
- [35] 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.
- [36] Somtrakoon, K. and Pratumma, S. 2012. "Phytotoxicity of Heptachlor and Endosulfan Sulfate Contaminants in Soils to Economic Crops". **Journal of Environmental Biology**. In press.
- [37] Phillips, T.M., Seech, A.G., Lee, H. and Trevors, J.T. 2005. "Biodegradation of hexachlorocyclohexane (HCH) by microorganisms". **Biodegradation**. 16, 363-392.
- [38] Kidd, P. S., Prieto-Fernández, A. and Monterroso, C. 2008. "Rhizosphere microbial community and hexachlorocyclohexane degradative potential in contrasting plant species". **Plant and Soil**. 302: 233-247.
- [39] Calvelo Pereira, R., Camps-Arbestain, M., Garrido, B.R., Macias, 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.

- [40] Simonich, S.L. and Hites, R.A. 1995. "Organic pollutant accumulation in vegetation". **Environmental Science and Technology**. 29: 2905-2914.
- [41] Calvelo Pereira, R, Monterroso, C, Macias, F. and Camps-Arbestain, M. 2008. "Distribution pathways of hexachlorocyclohexane isomers in a soil-plant-air system. A case study with *Cynara scolymus* L. and *Erica* sp. plants grown in a contaminated site". **Environmental Pollution**. 155: 350-358.
- [42] Yang, H., Zheng, M. and Zhu, Y. 2008. "Tracing the behaviour of hexachlorobenzene in a paddy soil-rice system over a growth season". **Journal of Environmental Science**. 20: 56-61.
- [43] 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.
- [44] Marcacci, S., Raveton, M., Ravanel, P. and Schwitzguebel, J. 2006. "Conjugation of atrazine in vetiver (*Chrysopogon zizanioides* Nash)". **Environmental and Experimental Botany**. 56: 205-215
- [45] Abhilash, P.C. and Singh, N. 2010. "Effect of growing *Sesamum indicum* L. on enhanced dissipation of lindane (1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane) from soil". **International Journal of Phytoremediation**. 12: 440-453.
- [46] Mikes, O., Cupr, P., Trapp, S. and Klanova, J. 2009. "Uptake of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides from soil and air into radished (*Raphanus sativus*)". **Environmental Pollution**. 157: 488-496.
- [47] White, J.C. 2002. "Differential bioavailability of field-weathered p,p'-DDE to plants of the *Cucurbita* and *Cucumis* genera". **Chemosphere**. 49: 143-152.
- [48] Mo, C., Cai, Q., Li, H., Zeng, Q., Tang, S. and Zhao, Y. 2006. "Potential of different species for use in removal of DDT from the contaminated soils". **Chemosphere**. 73: 120-125.