

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะทั่วไปของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Larry, 1991)

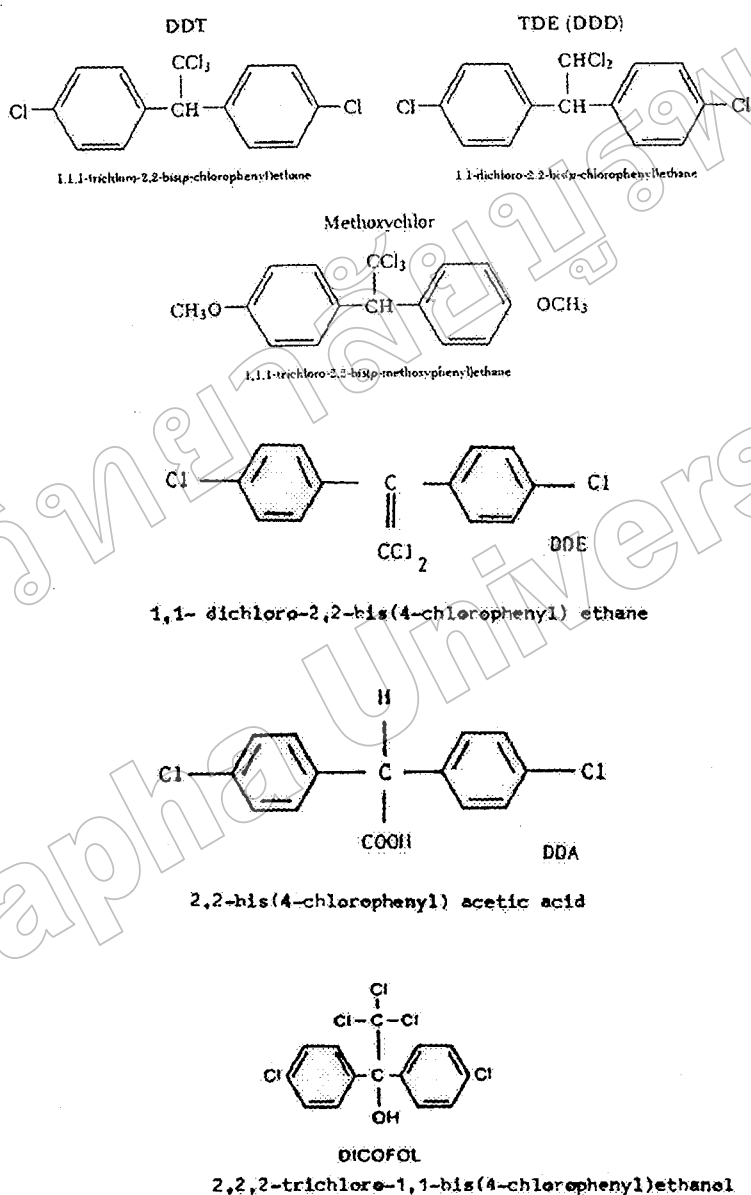
สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นสารสังเคราะห์ มีองค์ประกอบหลักเป็นอะตอมของคาร์บอน ไฮโดรเจน และคลอรีน (บางกรณีอาจมีออกซิเจนและกำมะถัน) และมีพันธะ C-Cl ในโมเลกุล ไม่มีตำแหน่งทำปฏิกิริยา (reactive site) ภายในโมเลกุล มีโครงสร้างที่เป็นวงแหวนคาร์บอนอยู่ในโมเลกุล รวมทั้งวงแหวนเบนซีน (benzene ring) โมเลกุลไม่มีสภาพขั้ว (nonpolar molecule) ละลายในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี มีเสถียรภาพทางเคมีไม่สลายตัวง่ายในสภาพแวดล้อม สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนนี้มีหลายชนิดหลายโครงสร้างซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มย่อยได้แก่

กลุ่มย่อยที่ 1 : ดีดีที และสารคล้ายดีดีที (DDT and DDT analogs) ลักษณะโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 1

Othmar Zeidler ชาวเยอรมันเป็นผู้สังเคราะห์ ดีดีทีขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1874 โดยที่ไม่ทราบว่าสารนี้มีคุณสมบัติในการฆ่าแมลงได้ จนกระทั่งปี ค.ศ.1939 Paul Muller นักวิทยาศาสตร์ชาวสวิสเซอร์แลนด์ เป็นผู้ค้นพบคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นสารฆ่าแมลง (Magnus, 1994) และมีการผลิตออกสู่ตลาดในปี ค.ศ.1942 ในชื่อการค้าเกสาร์อล (Gesarol) เพื่อใช้ในการเกษตร และชื่อการค้านีโอไซด์ (Neocid) เพื่อใช้ในการสาธารณสุข ดีดีทีเป็นสารฆ่าแมลงที่มีการใช้แพร่หลายทั่วโลกในช่วงระยะเวลา 20 ปี นับจากที่ผลิตออกจำหน่าย ในช่วงเวลาดังกล่าว ดีดีทีได้รับการยกย่องว่าเป็นสารฆ่าแมลงที่สมบูรณ์แบบ เพราะว่ามีพิษต่อแมลงมากชนิดมีความคงทนออกฤทธิ์อยู่ได้นาน มีพิษเฉียบพลันต่อคนและสัตว์เลือดอุ่นค่อนข้างต่ำ และราคาถูก ในประเทศไทยเริ่มนำเข้ามาใช้ในปี พ.ศ. 2493 โดยใช้กำจัดยุงที่เป็นพาหะของมาลาเรีย และต่อมาจึงนำมาใช้ในการเกษตร (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต, 2536)

ปริมาณการใช้ดีดีทีเริ่มลดลงภายหลังปี พ.ศ. 2514 เนื่องจากปัญหามลภาวะในสิ่งแวดล้อมและความต้านทานของแมลง ได้มีการประกาศห้ามใช้ ดีดีทีในประเทศที่พัฒนาแล้วหลายประเทศรวมทั้งสหรัฐอเมริกาซึ่งประกาศห้ามใช้ภายในประเทศเนื่องจากปัญหาการตกค้างในสิ่งแวดล้อม แต่ยังมีการผลิตเพื่อส่งขายประเทศกำลังพัฒนาเพื่อใช้ในการควบคุมโรคมาลาเรียและ

พาราไซท์ภายนอก เช่น หมัด เหา ในประเทศไทยห้ามใช้ดีดีทีในการเกษตร แต่ยังอนุญาตให้ใช้ในการสาธารณสุข (ตาราง 1)



ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของสารกล่อมดีดีที และสารที่มีลักษณะคล้ายดีดีที

ดีดีที มีชื่อเต็มว่า dichloro diphenyl trichloroethane เป็นผลึกละเอียด สีขาว มีจุดหลอมเหลวที่ 108.5-109 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 185 องศาเซลเซียส ความดันไอ 1.5×10^{-7} มิลลิเมตรปรอทที่ 20 องศาเซลเซียส ดีดีทีสามารถละลายได้ดีในไขมันและสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นตัวทำละลายบางชนิด ดีดีทีอาจถูกเปลี่ยนรูปโดยขบวนการทางชีวเคมีในลักษณะต่างๆ ดังนี้

1. โดยปฏิกิริยา oxidation ซึ่งทำให้ ดีดีที เปลี่ยนเป็นดีดีเอ (DDA, dichloro diphenyl acetic acid) และดีบีพี (DBP, dichlorobenzophenone)
2. โดยปฏิกิริยา dehydrochlorination ทำให้ดีดีทีเปลี่ยนเป็นดีดีอี (DDE, dichloro diphenyl dichloroethylene)
3. โดยปฏิกิริยา reductive dechlorination ทำให้ดีดีทีเปลี่ยนเป็นทีดีอี (TDE) หรือ ดีดีดี (DDD, dichloro diphenyl dichloroethane)

สารคล้ายดีดีทีซึ่งเคยมีการใช้เป็นสารฆ่าแมลงได้แก่ ทีดีอี หรือ ดีดีดี, เมท็อกซีคลอร์ (methoxychlor), เพอร์เทน (perthane) ไดโคฟอล (dicofol) และคลอโรเบนซิลเรท (chlorobenzilate) ในปัจจุบันเฉพาะสองชนิดหลังยังมีการใช้โดยทั่วไป รวมทั้งในประเทศไทยเพื่อกำจัดไรศัตรูพืช

กลุ่มย่อยที่ 2 : เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (hexachlorocyclohexane) สารในกลุ่มนี้มีอยู่ชนิดเดียวคือบีเอชซี (BHC, benzenehexachloride) ซึ่งสารในกลุ่มนี้มี 4 ไอโซเมอร์คือ แอลฟา เบต้า แกมมา เดลต้า แต่ละไอโซเมอร์มีความเป็นพิษต่อแมลงแตกต่างกัน แกมมาไอโซเมอร์มีความเป็นพิษสูงสุด มีชื่อสามัญเรียกว่าลินเดน (Lindane) ละลายน้ำได้ดีกว่าดีดีที 100 เท่า และเป็นสารที่มีค่าความดันไอสูง ระเหยเป็นไอได้ง่าย จึงมีความเป็นพิษทางการหายใจด้วยบีเอชซีใช้ได้กับแมลงชนิดปากกัดกิน เช่น หนอนผีเสื้อ และแมลงชนิดปากดูดกิน เช่น เพลี้ยและมวน บีเอชซีมีความเป็นพิษต่อปลวก ผึ้งและแมลงธรรมชาติสูง ลักษณะโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2

กลุ่มย่อยที่ 3 : ไซโคลไดอิน (cyclodiene) เป็นสารเคมีกลุ่มไดอิน (diene) สังเคราะห์ขึ้นตามหลักการของปฏิกิริยาคลัส-อัลเดอร์ ซึ่งเป็นการสังเคราะห์สารเคมีวงแหวนที่มี 6 คาร์บอน ประกอบเป็นวงแหวนจากไฮโดรคาร์บอนแบบไซเปิด ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้คือ อัลดริน (aldrin) คลอเดน (chlordane) เฮปตาคลอร์ (heptachlor) ลักษณะโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 3

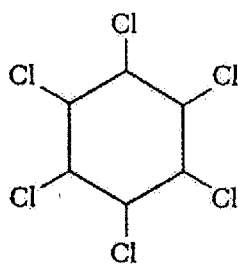
คลอเดน เป็นสารตัวแรกในกลุ่มนี้ที่ผลิตออกขาย ออกฤทธิ์โดยการสัมผัส การกิน และการหายใจจึงใช้กำจัดแมลงได้มากชนิด แต่การใช้มีข้อจำกัดเนื่องจากมีพิษต่อพืช ปัจจุบันใช้เฉพาะการกำจัดแมลงที่อยู่ในดิน เช่น ปลวก มด

อัลดริน คิลดริน และ เอนดริน เป็นสารในกลุ่มที่มีฤทธิ์ตกค้างนานและมีพิษสูงโดยการสัมผัส เมื่ออัลดรินเข้าสู่พืชและสัตว์และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโดยจุลินทรีย์ในดินจะได้เมทาบอลิท์ในรูปของอีพอกไซด์ (epoxide) ซึ่งก็คือ คิลดรินจะมีความคงทนในดินได้นานหลายปี ในการ

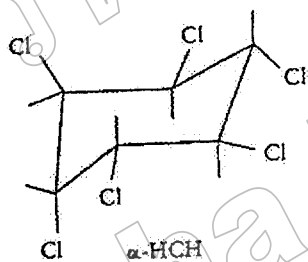
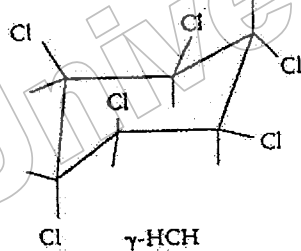
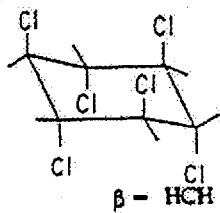
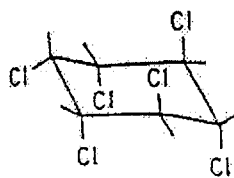
ทดสอบพิษเรื้อรังกับหนูทดลองพบว่าอัลดริน และดิลดรินแสดงพิษในการก่อมะเร็ง แม้จะยังไม่มีข้อสรุปในการเกิดกับคนก็ตามในหลายประเทศรวมทั้งสหรัฐอเมริกา มีการห้ามใช้สารเหล่านี้ในการเกษตรตั้งแต่ปี พ.ศ. 2517 ในประเทศไทยก็มีการห้ามใช้ในการเกษตรเช่นกัน แต่ยังให้ใช้ได้ในการป้องกันกำจัดปลวกตามอาคารบ้านเรือน ส่วนเอนดรินเป็นไอโซเมอร์ของดิลดริน เป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูงปัจจุบันเลิกใช้แล้ว

เอนโดซัลเฟน (endosulfan) เป็นสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่มีออกซิเจนและกำมะถันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล เอนโดซัลเฟนเป็นส่วนผสมของไอโซเมอร์ 2 ชนิด คือ แอลฟา และเบต้า ผสมในอัตราส่วน 3:1 มีฤทธิ์ในการฆ่าแมลงเช่นเดียวกับอัลดริน แต่มีความคงทนปานกลางประมาณ 2-3 สัปดาห์ จึงใช้ฉีดพ่นบนพืชได้ แต่ถ้าใส่ในดินจะเปลี่ยนรูปเป็นเอนโดซัลเฟน ซัลเฟต (endosulfan sulfate) ซึ่งจะมีความคงทนมาก มีพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นในระดับปานกลางและมีพิษในการฆ่าไรด้วย ไม่สะสมในไขมันในร่างกาย เป็นสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดเดียวที่ยังไม่ถูกห้ามใช้ในสหรัฐอเมริกา มีสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนอีกชนิดหนึ่งที่เป็นสารผสมของไฮโดรคาร์บอนมากกว่า 100 ชนิด เรียกรวมว่า คลอรีนเทคแคมฟิน มีชื่อสามัญว่า ท็อกซาเฟน (toxaphene) สารตัวนี้ไม่มีการสะสมในไขมันไม่เป็นพิษต่อพืช ยกเว้นพืชตระกูลแตง แต่ในปัจจุบันห้ามใช้แล้วเนื่องจากเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง (สุภาณี พิมพ์สมาน, 2537) ลักษณะโครงสร้างของสารแสดงดังภาพที่ 4

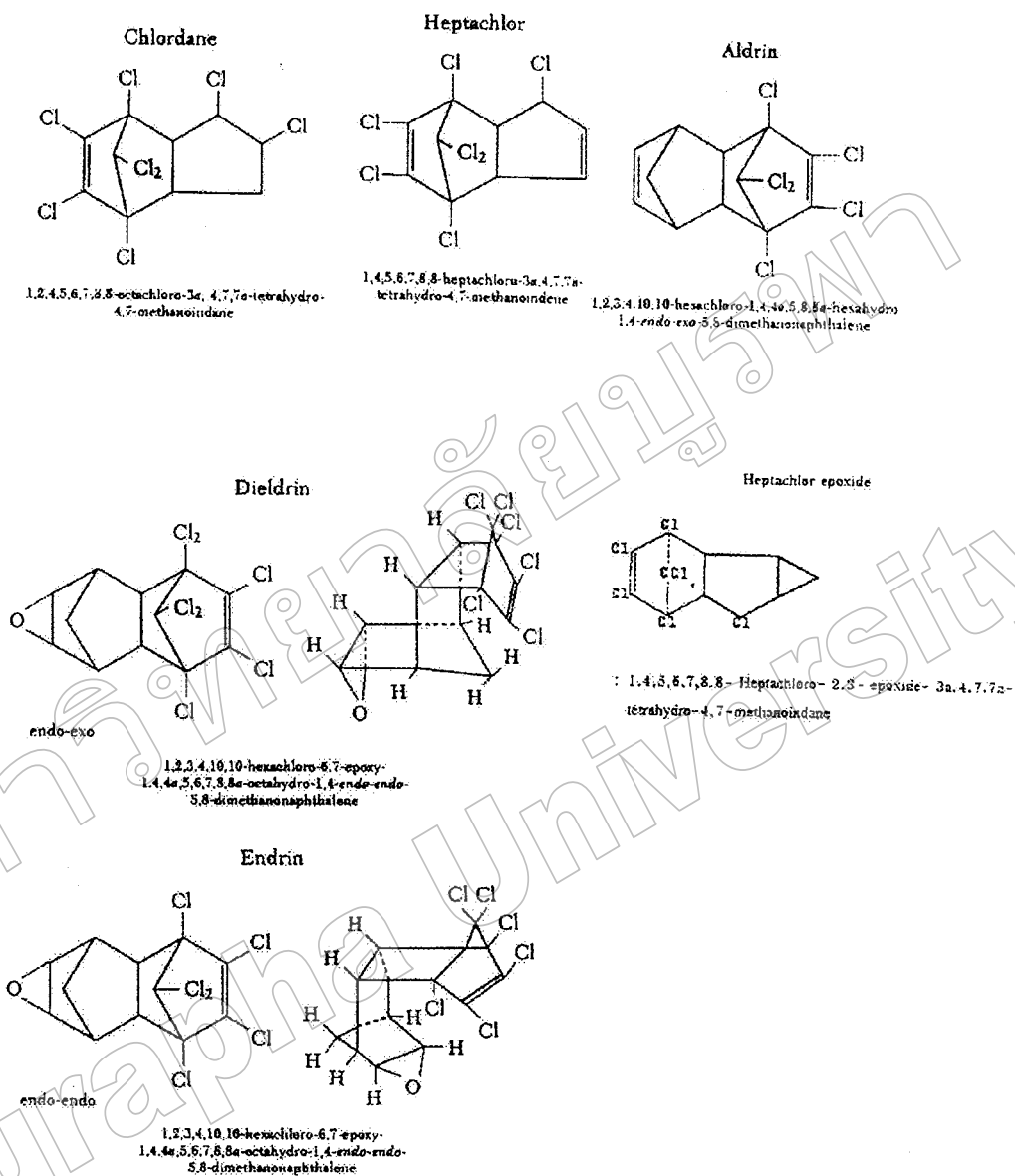
HCH (BHC)



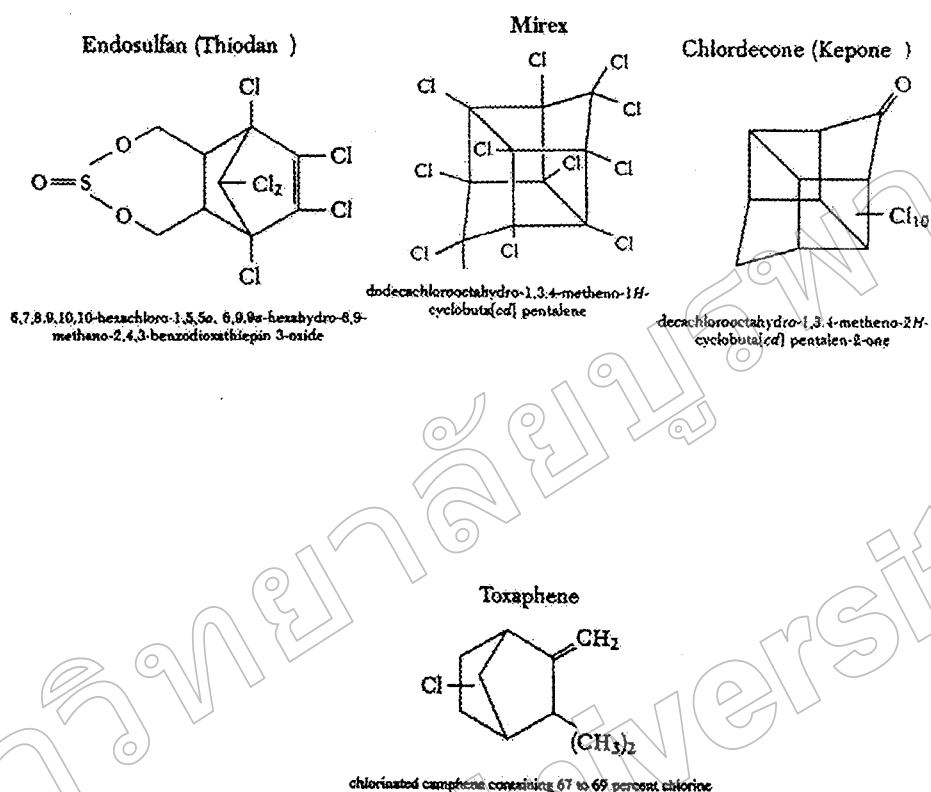
1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane

 α -HCH γ -HCH β -HCH δ -HCH

ภาพที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของสารกลุ่มเฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน



ภาพที่ 3 ลักษณะโครงสร้างของสารกลุ่มไซโคลไดอิน



ภาพที่ 4 ลักษณะโครงสร้างของเอนโดซัลแฟน ไมเร็กซ์ คลอเดน ท็อกซาเฟน

ตารางที่ 1 สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ห้ามนำเข้าใช้ทางการเกษตร
ประเทศไทย (กองควบคุมโรคพืชและวัสดุการเกษตร, 2531)

ชื่อสาร	เดือน ปี ที่ห้ามนำเข้า	เหตุผล
บีเอชซี	มีนาคม 2523	- อาจเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดเนื้องอก - มีฤทธิ์ตกค้างในสิ่งแวดล้อมนาน
เอนดริน	กรกฎาคม 2524	- มีพิษต่อสัตว์เลือดเลี้ยงลูกด้วยนมสูง - มีฤทธิ์ตกค้างในสิ่งแวดล้อมนาน
ดีดีที	มีนาคม 2526	- เป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง - มีฤทธิ์ตกค้างในสิ่งแวดล้อมนาน
ท็อกซาเฟน	มีนาคม 2526	- เป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง - มีฤทธิ์ตกค้างในสิ่งแวดล้อมนาน

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อสาร	เดือน ปี ที่ห้ามนำเข้า	เหตุผล
ดิลดริน	พฤษภาคม 2531	- เป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง - มีฤทธิ์ตกค้างในสิ่งแวดล้อมนาน - ก่อให้เกิดพิษสะสมได้
อัลดริน	กันยายน 2531	- เป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง - มีฤทธิ์ตกค้างในสิ่งแวดล้อมนานและ ก่อให้เกิดพิษสะสมได้
เฮปตาคลอร์	กันยายน 2531	- มีฤทธิ์ตกค้างในสิ่งแวดล้อมนาน

การใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน

การใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของสารเข้าสู่สิ่งแวดล้อม สาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าวเนื่องจากสารมีการเคลื่อนย้ายจากแหล่งที่มีการใช้แพร่กระจายไปสู่แหล่งอื่นๆที่ไม่ต้องการ คือมีการแพร่กระจายเข้าสู่ ดิน น้ำ อากาศ และ ร่างกายของสัตว์และมนุษย์ จะพบว่าสารกำจัดศัตรูและสัตว์มีการแพร่กระจายไปใน ส่วนต่างๆ ของระบบนิเวศได้ดังภาพที่ 5 จากสถิติการนำเข้าสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชปี พ.ศ.2531 พบว่าสารกำจัดแมลงมีการนำเข้าปริมาณสูงสุด คือ 8034 ตัน (กองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2531) และเนื่องจากคุณสมบัติความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมของสารกลุ่มนี้ จึงทำให้เกิดการตกค้างสะสมในสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในแหล่งน้ำ ดินตะกอนและร่างกายของสัตว์น้ำ และสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น จากการศึกษาของกรมวิชาการเกษตร กองวัดภูมิพิษการเกษตร ในช่วงปี 2530-2531 พบสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในแหล่งน้ำทั่วไปและแปลงเกษตรกรรมทั่วประเทศไทย โดยพบสารตกค้างในดินปริมาณตั้งแต่ไม่น้อยกว่า 0.001 mg kg⁻¹ - 0.362 mg kg⁻¹ และชนิดสารที่ตรวจพบได้แก่ แอลฟา-บีเอชซี ลินเดน, เฮปตาคลอร์, อัลดริน, เฮปตาคลอร์-อีพอกไซด์, ดิลดริน, ดีดีที และอนุพันธ์ของดีดีที

การแพร่กระจายของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน

ปัญหาเกี่ยวกับสารกำจัดศัตรูและสัตว์ตกค้างในสิ่งแวดล้อมมิได้เกิดเฉพาะพื้นที่ที่มีการใช้สารนี้เท่านั้นแต่สามารถแพร่กระจายไปยังบริเวณอื่นๆได้ จากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ก่อให้เกิดการตกค้างและปนเปื้อนใน ดิน น้ำ อากาศ และเข้าสู่วัฏจักรของระบบนิเวศทางห่วงโซ่อาหารได้ เนื่องจากเมื่อทำการฉีดพ่นสาร ร้อยละ 20 ของสารจะติดค้างอยู่บนผิวพืช และอีกร้อยละ 80 จะตกลงบนดิน หรือถ้าพ่นสารโดยใช้เครื่องบินประมาณร้อยละ 25 ของสารจะตกถึงพืชที่ต้องการ ส่วนอีกร้อยละ 75 จะกระจายไปในอากาศ และอาจมีสารบางส่วนไปตกในบริเวณที่ไม่ต้องการ เริ่มจากสารนี้ตกค้างในดินและส่วนของต้นพืชบริเวณที่ใช้งาน สารบางส่วนจะแพร่กระจายไปในบรรยากาศบางส่วนซึมลงในดิน ถ้าฝนตกสารเหล่านี้จะถูกฝนชะและพัดพาไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดินและลงสู่แหล่งน้ำต่อไป เมื่อสารเหล่านี้ลงสู่แล้วจะไม่ค่อยละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก โดยสารจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและในที่สุดจะจมลงสู่ท้องน้ำ ทำให้สารเหล่านี้สะสมอยู่ในดินตะกอน (sediment) ซึ่งเสวต สัจจกุล (2519) พบว่าการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตะกอนดินมีสารตกค้างมากกว่าในน้ำ เช่นเดียวกับการศึกษาของ ขงยุทธ ไผ่แก้ว (2531) ที่ตรวจพบสารตกค้างในตัวอย่างดินตะกอนมีค่าสูงกว่าในน้ำประมาณ 322 เท่า และจากรายงานของ นวลศรี ทยาพัชร (2533) พบสารตกค้างในดินตะกอนมากกว่าในน้ำ โดยพบปริมาณสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำ 0.01 ug L^{-1} ส่วนในดินตะกอนพบในปริมาณ $0.1-81.0 \text{ ng g}^{-1}$ ด้วยเหตุนี้สัตว์ที่อาศัยอยู่บนน้ำดินตะกอนท้องน้ำ (benthic organism) จะมีสารเหล่านี้สะสมอยู่ในร่างกาย ซึ่งสัตว์น้ำดินเหล่านี้มีความสำคัญในห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำ

1. การแพร่กระจายของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดิน

ในการเพาะปลูกพืชเกษตรกรรมส่วนใหญ่ต้องใช้สารกำจัดศัตรูพืชทั้งก่อนปลูก ขณะที่พืชกำลังเติบโตและก่อนการเก็บเกี่ยว ดินเป็นแหล่งรองรับสารเหล่านี้โดยตรง นอกจากนี้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์บางชนิดยังนิยมใช้ในอาคารบ้านเรือนด้วย ทำให้โอกาสที่สารเหล่านี้จะสะสมในดินมากยิ่งขึ้น สารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างอยู่ในดินอาจมีการเปลี่ยนแปลงในหลายลักษณะ ได้แก่

1. สลายตัวโดยปฏิกิริยาทางเคมี (chemical decomposition)
2. สลายตัวโดยแสง (photodegradation)
3. สลายตัวโดยจุลินทรีย์ย่อยสลาย (microbial degradation)
4. ระเหยจากดินสู่บรรยากาศ (volatilization)
5. เคลื่อนย้ายไปสู่แหล่งน้ำ (movement by runoff and water-table)
6. เข้าสู่สิ่งมีชีวิต (plant or organism uptake)

2. การแพร่กระจายสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนสู่แหล่งน้ำ

การแพร่กระจายของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์สู่แหล่งน้ำ มาจากสาเหตุต่างๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อมมีดังนี้ (นวลศรี ทยาพัชร, 2533)

1. การฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชลงสู่แหล่งน้ำโดยตรงเพื่อกำจัดยุงและวัชพืชน้ำ
2. การกัดเซาะดินของฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดิน (runoff) ผ่านพื้นที่ที่มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ก่อนลงสู่แหล่งน้ำ
3. การระบายน้ำทิ้งจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ลงสู่แหล่งน้ำ โดยมีได้มีวิธีการกำจัด
4. แหล่งน้ำการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในบริเวณพื้นที่เกษตรใกล้เคียงกับแหล่งน้ำ

การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน

สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์บางชนิดอาจสลายตัวง่าย แต่บางชนิดมีความคงทนมาก สามารถสะสมเป็นเวลานานๆ เช่น สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นสารที่สลายตัวยากมีความคงทนสำหรับความคงทนของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ หมายถึงระยะเวลาที่สารฆ่าแมลงสลายตัวอย่างสมบูรณ์ในสภาวะปกติในอัตราส่วนต่ำสุดร้อยละ 95 ระดับความคงทนของสารฆ่าแมลงจะมี 4 ระดับด้วยกัน (George & Kagan, 1991) โดยใช้ระยะเวลาที่มีความคงตัวอยู่ในสภาพแวดล้อมเป็นเกณฑ์ ดังตาราง 2 และเมื่อพิจารณาตาราง 3 การตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินจะพบว่าสารในกลุ่มนี้อยู่ในระดับความคงทนสูง (highly persistence)

ตารางที่ 2 ลำดับความคงทนของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ และระยะเวลาที่มีความคงตัวอยู่ในสภาพแวดล้อม (George & Kagan, 1991)

ระดับความคงทน	ระยะเวลา ที่สารตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม
Highly Persistence	> 2 ปี
Persistence	6 เดือน - 1 ปี
Moderately Persistence	1 เดือน - 6 เดือน
Slightly Persistence	< 1 เดือน

ตารางที่ 3 ความคงทนของสารพิษที่สะสมอยู่ในดิน ระยะเวลา (ปี) ที่ใช้ในการสลายตัว 50% (ค่าครึ่งชีวิต) และการสลายตัว 95% (นวลศรี ทยาพัชร, 2533)

ชนิดของสารพิษ	สลายตัว50%	สลายตัวร้อยละ 95
อัลดริน	1-4	2-6
คลอเดน	2-4	3-5
ดีดีที	3-10	4-30
ดิลดริน	1- 7	5-25
เฮปตาคลอร์	3- 5	6-12
บีเอชซี	2	-
เอนดริน	4 -8	-
ท็อกซาฟีน	10	-

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำมีดังนี้

1. คุณสมบัติของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ อันได้แก่ การละลายน้ำ การระเหย กำลังในการแยกส่วน K_{ow} (degree of partition) ขบวนการหลักนี้มีอิทธิพลต่อความคงทนของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ โดยเฉพาะสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนนี้ประกอบด้วยไฮโดรเจนอะตอม (H) คาร์บอนอะตอม (C) และคลอรีนอะตอม (Cl) ซึ่งคลอรีนอะตอมในสารประกอบจะมีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบ ถ้ามีจำนวนคลอรีนอะตอมมากอัตราการละลายจะลดลง (Haque, Kearney & Freed, 1977) ถ้าสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ละลายน้ำได้ดีจะส่งผลให้สารไม่สะสมในโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต ส่วนคุณสมบัติการระเหยซึ่งมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายไปตามสิ่งแวดล้อม

ลือมต่งๆ นั้น อัตราการระเหยจะขึ้นกับความดันไอ สารฆ่าแมลงที่มีความดันไอสูงจะมีอัตราการระเหยได้สูงกว่าสารฆ่าแมลงที่มีความดันไอต่ำ Weber (1994) พบว่า 43% ของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนมีอัตราการระเหยของสารในระดับต่ำ และ 57 % มีความดันไอในระดับปานกลางถึงสูง ดังตาราง 4 แสดงการละลายในน้ำและความดันไอของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส จะพบว่าสารในกลุ่มนี้จะละลายในน้ำได้น้อยมาก ส่วนดินเคสามารถละลายน้ำได้ดีที่สุด

ตารางที่ 4 การละลายน้ำและความดันไอของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส (Metcalf & McKelvery, 1976)

ชนิดของสารฆ่าแมลง	สูตรเคมี	การละลายน้ำ (ppm)	ความดันไอ (mmHg)
ดีดีที	C ₁₄ H ₉ Cl ₅	0.0012	1.9 x 10 ⁻⁷
ดีดีอี	C ₁₄ H ₈ Cl ₄	0.0013	4.0 x 10 ⁻⁵
ดีดีดี	C ₁₄ H ₁₀ Cl ₄	0.002	4.68x10 ⁻⁶
อัลดริน	C ₁₂ H ₈ Cl ₆	0.027-0.20	1.8 x 10 ⁻⁷
ดิลดริล	C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O	0.05-0.25	2.0 x 10 ⁻⁷
เอนดริน	C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O	0.06-0.23	3.0 x 10 ⁻⁴
เฮปตาคลอร์	C ₁₀ H ₅ Cl ₇	0.056	3.00x10 ⁻⁴
เฮปตาคลอร์-อีพอกไซด์	C ₁₀ H ₅ Cl ₇ O	0.35	2.60 x 10 ⁻⁶
คลอเดน	C ₁₀ H ₆ Cl ₈	0.009	9.4 x 10 ⁻⁴
ลินเดน	C ₆ H ₆ Cl ₆	7.3	9.46x10 ⁻⁶

2. คุณสมบัติของน้ำในแหล่งน้ำ อันได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และจุลินทรีย์ในน้ำเนื่องจากปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญต่อการย่อยสลาย และความคงทนของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำโดยอุณหภูมิจะมีผลต่อการระเหยและการละลายของสาร ส่วนความเป็นกรด-ด่างจะมีผลต่อความสามารถในการแตกตัวขององค์ประกอบของสาร (ก่องกนก เมนะรุจิ, 2536) เมื่อสารลงสู่แหล่งน้ำแล้วจะมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องหลายประการดังนี้

- 1. อัตราการระเหยขึ้นสู่บรรยากาศของสาร อาจมิได้บ้างในปริมาณน้อยมาก เนื่องจากสารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารแขวนลอยและตกตะกอน
- 2. ชนิดของอนุภาคดินที่ ดูดซับสารที่แตกต่างกัน จะสามารถดูดซับได้ไม่เท่ากัน

3. ปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำถ้าบริเวณใดของแหล่งน้ำมีสารอินทรีย์อยู่มากก็มักตรวจพบสารในปริมาณสูงด้วย (นวลศรี ทยาพัชร, 2533)

3. ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ การปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำมักเกิดจากการใช้ประโยชน์ของที่ดินทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ วิภา เมฆสุด (2523) ได้ศึกษาถึงการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำของลำธารประเทศไทยซึ่งระบายมาจากพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกัน 3 ลักษณะ คือป่าดิบแล้งธรรมชาติ ไร่ร้าง และพื้นที่เกษตรกรรมกับที่อยู่อาศัย ณ บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช จังหวัดนครราชสีมา พบการปนเปื้อนของคลอรินมากที่สุดในพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่อยู่อาศัย รองลงมาคือไร่ร้าง และพบน้อยมากในป่าดิบแล้งธรรมชาติ

การสะสมของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในสิ่งมีชีวิต (bioaccumulation of organochlorine pesticides)

สิ่งมีชีวิตมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องของอาหารที่กิน เช่นเป็นผู้กินสิ่งมีชีวิตอย่างหนึ่งเป็นอาหาร ก็อาจถูกสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นกินเป็นอาหารอีกทอดหนึ่ง จากชั้นของอาหาร (trophic level) ต่ำไปสู่ระดับสูงเป็นลำดับไป เรียกลักษณะนี้ว่า โซ่อาหาร ลักษณะสำคัญอย่างหนึ่งของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน คือสามารถสะสมสารพิษ โดยพบว่าสิ่งมีชีวิตในชั้นอาหารที่แตกต่างกันมักมีปริมาณสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนสะสมในปริมาณที่แตกต่างกันในสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในชั้นสูงกว่าจะมีปริมาณสารสะสมมากกว่าสิ่งมีชีวิตในชั้นที่ต่ำกว่า ซึ่งเรียกการเพิ่มความเข้มข้นของสารพิษตกค้างขึ้นตามชั้นของอาหารว่าเป็นการเพิ่มขยายทางชีวภาพ (biomagnification) (Francois, 1994) การศึกษาสารพิษตกค้างในแพลงก์ตอนซึ่งเป็นตัวเริ่มต้นของห่วงโซ่อาหารโดยประภัสสรา เพชรบุรณิน, กิ่งแก้ว คุณเขต, นวลศรี ทยาพัชร, และประยูร ดีมา (2522) พบว่าสารพิษส่วนใหญ่เป็นสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน โดยพบสารกลุ่มดีดีทีสูงถึง $0.852 \mu\text{g g}^{-1}$ ในแพลงก์ตอนสัตว์จากแม่น้ำเจ้าพระยา และพบดีดลิต $1.998 \mu\text{g g}^{-1}$ ในตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชจากบริเวณอ่าวไทยตอนบน และพบเอนดริน $0.903 \mu\text{g g}^{-1}$ ในแพลงก์ตอนสัตว์จากแม่น้ำท่าจีน และแพลงก์ตอนพืชสามารถสะสมแร่ธาตุและสารพิษที่เป็นสารอินทรีย์ได้ปริมาณมาก (Francois, 1994) จากการศึกษาของวิภา พรพิพัฒน์ (2522) ได้พบว่าสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนคลอรีนใน น้ำ:ตะกอนดิน:ปลา มีค่า 1:8,000:13,500 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิตสามารถสะสมสารพิษได้มากกว่าสภาพแวดล้อมหลายพันเท่า การสะสมของสารพิษในโซ่อาหารนี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตระดับสูงที่อาศัยสิ่งมีชีวิตระดับต่ำเป็นอาหาร โดยเฉพาะมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคอันดับสูงสุดในโซ่อาหารน่าจะมี

โอกาสรับสารพิษสูงสุดด้วย มีการศึกษาพบว่าเมื่อน้ำมีปริมาณดีดีที 0.00005 ส่วนในล้านส่วน ได้ทำให้แพลงก์ตอนมีดีดีที 0.040 ส่วนในล้านส่วน กุ้งซึ่งกินแพลงก์ตอนมีดีดีที 0.16 ส่วนในล้านส่วน ปลาที่กินกุ้งมีดีดีที 0.94 ส่วนในล้านส่วน (Woodwell, Wurster & Isacson, 1967) และจากการสำรวจบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา พบสารคลอริลในน้ำเพียง 0.09 ส่วนในล้านส่วน แต่พบสะสมอยู่ในสัตว์น้ำสูงถึง 0.105 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งสูงกว่าที่พบในน้ำประมาณ 1000 เท่า เช่นเดียวกับบริเวณแม่น้ำแม่กลองพบปริมาณ คลอริลในน้ำ 0.07 ส่วนในพันล้านส่วน แต่พบในสัตว์น้ำถึง 0.358 ส่วนในพันล้านส่วน ซึ่งคิดเป็น 5,000 เท่าของปริมาณที่พบในน้ำ ประภัสสรา เพชรบุรณิน และคณะ (2522) และจากการศึกษาของชกริธน์ พยอมแย้ม (2519) พบว่าการสะสมของสารดีดีที ดีดีอี ดีดีดีในปลา กุ้ง และนกบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาดอนล่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามชั้นของอาหาร โดยพบสารตกค้างในนกมากกว่าในตัวอย่างปลา 10 เท่า ในปลาตรวจพบมากกว่าในกุ้ง 2 เท่า และกรรณิการ์ ดิษยวงศ์ (2522) พบว่ามีการสะสมของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ตามห่วงโซ่อาหารในบริเวณโครงการชลประทานป่าสักใต้ โดยพบว่าการตกค้างของเฮปตาคลอร์ และ พารา,พารา-ดีดีอี เพิ่มขึ้นตามชั้นอาหารที่สูงขึ้น และพบว่าน้ำหนักของตัวอย่างมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับปริมาณของสารพิษ และมีการศึกษาพบว่าในปลากินพืชชนิดหนึ่ง (*Pimephales promelas*) อยู่ในแหล่งน้ำที่มีเอนครินปนเปื้อนอยู่ในระยะเวลาเพียง 2-3 เดือนจะมีปริมาณการสะสมในร่างกายได้ถึงประมาณ 10,000 เท่าที่มีอยู่ในน้ำ (Francois, 1994)

นอกจากนี้พฤติกรรมการกินที่แตกต่างกันก็มีผลต่อการสะสมสารที่แตกต่างกันด้วย จากการศึกษาของ โฮชิและคณะ (Hoshi et al., 1997) พบว่าสารตกค้างในนกที่กินสัตว์เป็นอาหารมีปริมาณสูงกว่าในนกที่กินพืช เช่นเดียวกับการศึกษาของนวลศรี ทยาพัชร (2533)

ในผู้บริโภครดับสูงขึ้นไปของห่วงโซ่อาหารของสัตว์น้ำไม่มีกระดูกสันหลังโดยเฉพาะหอยสองฝาสามารถสะสมสารพิษจากอาหารในปริมาณที่มาก ซึ่งหอยกินอาหารโดยการกรองจากน้ำ มีการศึกษาพบว่าหอยสองฝามีค่า concentration factor ของ ดีดีที และ พีซีบี เท่ากับ 690,000 (Francois, 1994)

อัตราการสะสมของสารพิษในสภาพแวดล้อมทางน้ำมีอัตราสูงกว่าสภาพแวดล้อมทางบก เหตุผลที่สำคัญคือคุณสมบัติในการละลายได้ดีในไขมันของสารกลุ่มนี้โดยอาศัยน้ำเป็นตัวกลางที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายไปสะสมในสิ่งมีชีวิตต่างๆ เหตุผลอีกข้อหนึ่งก็คือ สิ่งมีชีวิตชั้นสูงในน้ำมีโอกาสได้รับสารพิษ 2 ทางคือได้รับโดยตรงจากน้ำซึ่งอยู่ล้อมรอบและได้รับผ่านทางอาหารที่กินเข้าไป

ในสิ่งมีชีวิตชั้นสูงเช่นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีการศึกษาถึงรูปแบบการสะสมของสารกลุ่มนี้กันมาก โดยพบว่าสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนสามารถถ่ายทอดทางน้ำนมเข้าสู่

ตัวอ่อนได้ โดยมีการตรวจพบ พารา,พารา-ดีดีที, ออร์โธ, พารา-ดีดีที, เฮปตาคลอร์ ตกค้างในน้ำนมหญิงชาวจอร์แดน (Alawi, Ammari & Al-shuraiki, 1992) และในปี 1998 พบว่ายังคงมีการตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำนมของหญิงชาวจอร์แดนโดยพารา,พารา-ดีดีที เป็นสารที่ถูกตรวจพบมากที่สุด 80.3% (Kefaya, 1998) ในสัตว์เพศผู้เพศเมียก็มีการสะสมที่แตกต่างกัน จากการศึกษานานาเบ (Tanabe et al., 1997) พบว่าในตัวอย่างโลมาเพศเมียวัยเจริญพันธุ์มีปริมาณสารตกค้างต่ำกว่าในวัยอื่น ซึ่งผู้วิจัยกล่าวว่าในเพศเมียมีการส่งผ่านสารพิษที่สะสมไว้ไปยังลูกโดยผ่านทางน้ำนม ส่วนในเพศผู้ปริมาณการตกค้างของสารแปรผันตามอายุ และในตัวอย่างแมวน้ำเพศเมียจะพบว่าในวัยเจริญพันธุ์ปริมาณสารพิษจะลดลงอย่างมาก (Tanabe et al., 1994) มนุษย์ก็เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดหนึ่งจึงเป็นที่น่าวิตกว่าเด็กที่เกิดมาในอนาคตอาจได้รับผลกระทบจากการสะสมของสารพิษเหล่านี้ได้

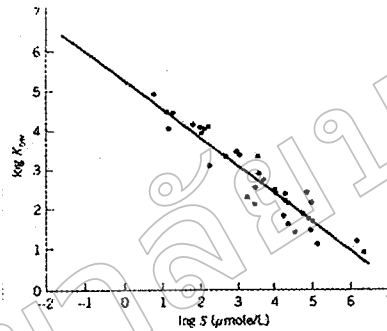
ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในสิ่งมีชีวิต

การสะสมของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในไขมันของสิ่งมีชีวิตสามารถพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การแยกส่วนของสารในระหว่างชั้นของน้ำและสารละลายออกทานอล (octanol water partition coefficient; K_{ow}) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการละลายได้ดีในไขมันของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนได้ โดย

$$K_{ow} = \frac{\text{concentration in n-octanol}}{\text{concentration in water}}$$

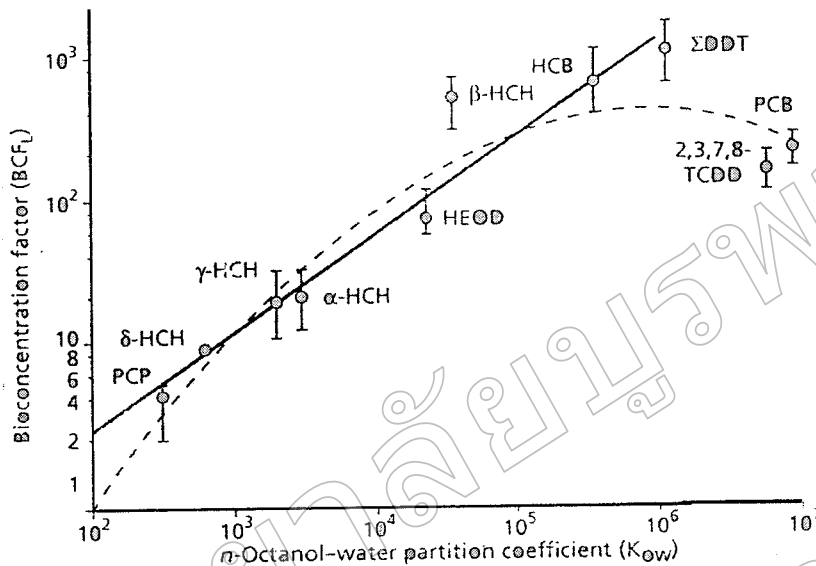
ค่า K_{ow} มีค่าระหว่าง 0.001-100,000,000 เนื่องจากเป็นค่าที่มีช่วงที่กว้างมากดังนั้นจึงมักรายงานเป็นค่า $\log K_{ow}$ ซึ่งสารที่มีค่า K_{ow} มากกว่า 10^5 จะพบความเข้มข้นน้อยมากในชั้นน้ำและจะพบสารนั้นอยู่ในชั้นออกทานอล ซึ่งก็คือสารนั้นจะสะสมได้ดีในชั้นไขมัน ค่า K_{ow} นี้มีความสำคัญเพราะสามารถใช้ทำนายพฤติกรรมของสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และมีความสัมพันธ์กับการสะสมของสารพิษที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้น้อยดังเช่นสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน จะพบว่าส่วนมากมีการสะสมในเนื้อเยื่อไขมันของสิ่งมีชีวิต สารกลุ่มนี้จะเกาะติดกับอินทรีย์วัตถุ (organic matter) หรือแหล่งสารอินทรีย์ที่เป็นสารที่ไม่มีขั้ว (non polar) พิจารณาจากกราฟรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการละลายน้ำ (solubility) ของสารกำจัดศัตรูพืชและ

สัตว์เปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การแยกส่วนระหว่างออกทานอลกับน้ำ (K_{ow}) จะพบว่าสารที่ละลายน้ำได้น้อยจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแยกส่วนระหว่างออกทานอลกับน้ำสูง จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนมีการสะสมในเนื้อเยื่อไขมันของสิ่งมีชีวิตได้ในปริมาณที่สูง



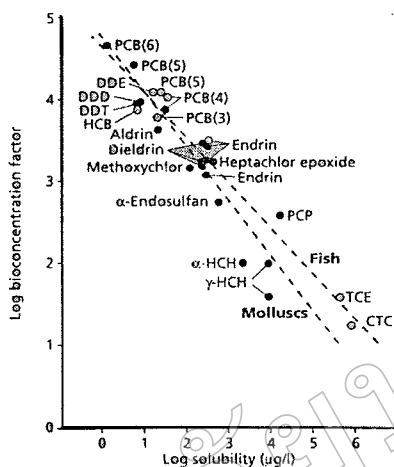
ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการละลายน้ำ ($\log S$) กับค่า octanol water partition coefficient (K_{ow}) (Watts, 1997)

ตาราง 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแยกส่วนระหว่างออกทานอลกับน้ำของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในกลุ่มต่างๆ สารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแยกส่วนระหว่างออกทานอลกับน้ำสูงมักจะสะสมในเนื้อเยื่อไขมันของสิ่งมีชีวิตได้ในปริมาณที่สูงเช่นเดียวกัน หรือมีค่าปัจจัยการสะสมในสิ่งมีชีวิต (bioconcentration factor, BCF) สูงนั่นเอง



ภาพที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า bioconcentration factor (BCF) กับ n-octanol water partition coefficient (K_{ow}) (Watts, 1997)

มีการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ในการละลายน้ำ กับความสามารถในการสะสมตัวในสิ่งมีชีวิตของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างหอย และปลาพบว่า ดีดีที ดีดีอี เอชซีบี อัลดริน ดีลดริน เอนดริน เฮปตาคลอร์ อีพอกไซด์ เมทอกซีคลอร์ มีค่าการละลายน้ำต่ำแต่มีการสะสมในปลาและหอยสูง พิจารณาจากภาพที่ 8 สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนมีคุณสมบัติละลายได้ดีในไขมัน (lipophilic) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้สารกลุ่มนี้มักจะจับตัวกับอนุภาคต่างๆแขวนลอยอยู่ในน้ำหรือยึดติดอยู่กับตะกอนดิน (sediment) สามารถถูกนำเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้อย่างเร็วมากโดยเฉพาะสัตว์ที่กินอาหารโดยการกรอง (filter feeder) ดังเช่นสัตว์จำพวกหอย (molluscs) (Margaret, 1994)



ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า bioconcentration factor กับค่าความสามารถในการละลายน้ำ (log solubility) ของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างหอยและปลา (Watts, 1997)

ตารางที่ 5 ค่า octanol-water partition coefficients (K_{ow}) ของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Watts, 1997)

Compound	Mean log K_{ow}	Range
อัลดริน ¹	5.17	-
บีเอชซี (α, β, γ , isomer)	3.80	
คาร์บาริล ²	2.38	2.31-2.56
ดิลดริน ¹	5.16	-
ดีดีที ¹	6.11	5.76-6.36
ดีดีอี (o,p' และ p,p')	5.70	
เอนดริน ¹	5.02	4.56-5.34
เอนโดซัลแฟน	3.60	
เฮกซะคลอโรเบนซีน ¹	5.65	5.45-6.18
มาราไซออน ³	2.84	-
พาราไซออน ³	3.43	2.15-3.93

1. กลุ่มออร์กาโนคลอรีน, 2 กลุ่มคาร์บาเมต, 3.กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

178356

363-4792
2/ 622 5
ณ. 2

การได้รับสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (route of uptake & exposure)

สัตว์ได้รับสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์เข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ ทางอาหาร ทางหายใจ และทางผิวหนัง จากตาราง 6 แสดงแหล่งที่มาของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์และเส้นทางที่สัตว์น้ำได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย

ตารางที่ 6 เส้นทาง (route of uptake) ที่สัตว์น้ำได้รับสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์เข้าสู่ร่างกาย (Magnus, 1994)

Form of Pesticide	Route of Uptake	Animals
Solution in water-column	Gill,skin	All animals
Particles in the water-column	Gill	All animals
	Gastrointestinal tract	Filter-feeders
Particles on the surface of plants and zooplankton	Gastrointestinal tract	Filter-feeders,plant eating animals
Particles in the sediment	Skin,carapace	Burrowing animals
	Gastrointestinal tract	Bottom-feeding animals
Taken up by small animals	Gastrointestinal tract	Carnivorous animals

อันตรายและผลกระทบจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน

สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่นำมาใช้เพื่อรักษาผลผลิต หรือเพื่อป้องกันการรบกวนของแมลงตามเกษตรสถานนั้น โดยเฉพาะสารอินทรีย์สังเคราะห์เป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงและบางชนิดมีความคงทนในสิ่งแวดล้อม สารบางตัวอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ทางตรงเกิดจากการได้รับสารระหว่างใช้ ทางอ้อมเกิดจากการได้รับสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ตกค้างในอาหารที่บริโภคตลอดจนอยู่ในสิ่งแวดล้อม

1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์

ปัจจัยที่เกี่ยวกับสมบัติของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์แต่ละชนิด สมบัติทางเคมีและสมบัติทางฟิสิกส์มีส่วนเกี่ยวข้องที่สำคัญกับความเป็นพิษอันได้แก่ ส่วนประกอบทางเคมี เสถียรภาพ และความเป็นกรด-ด่าง รูปแบบสูตรผสมของสารรวมทั้งสารเติมแต่งในการผลิตที่ได้เพิ่มลงไป ยังมีผลต่อเนื่องกับคุณสมบัติอื่นๆ เช่น

1. วิธีทางที่เข้าสู่ร่างกาย

2. ปัจจัยเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตที่ได้รับสาร ได้แก่ ชนิดของสิ่งมีชีวิต ความแตกต่างทางพันธุกรรม อายุ และเพศ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้จะเกี่ยวเนื่องกับสภาพทางร่างกายทางสรีระวิทยาของสิ่งมีชีวิต เช่นแมลงตัวอ่อนมักจะมีผิวที่ไวต่อสารพิษมากกว่าแมลงตัวเต็มวัย เนื่องจากในระยะตัวอ่อนกระบวนการเมตาบอลิซึมของสารพิษในร่างกายยังพัฒนาไม่สมบูรณ์

3. ระยะเวลาที่ได้รับสาร และความถี่ของการได้รับสาร

4. ปริมาณสารที่ได้รับ

5. ความเร็วในการกำจัดสารออกจากร่างกาย

ปัจจัยเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นและฤดูกาล เป็นต้น อุณหภูมิเป็นปัจจัยเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่แสดงผลชัดเจนที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดกระบวนการต่างๆ ในร่างกาย เช่นการดูดซึมและการกระจายตัว การเปลี่ยนแปลงและการขับถ่ายสาร การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของระบบเอนไซม์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกลไกการออกฤทธิ์และการทำลายพิษของสาร

พิษของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนสามารถพบได้ทั้งแบบเฉียบพลัน (acute toxicity) อาการพิษต่อระบบประสาทส่วนกลางในกรณีของดีดีที อาการแรกที่พบได้แก่ การเคลื่อนไหวที่ไม่ประสานกันของสิ่งมีชีวิต ตามด้วยอาการสั่นทางร่างกายและแขนขา ผู้ที่ได้รับสารพิษจะแสดงอาการไวต่อสิ่งเร้ามาก กระวนกระวาย เวียนศีรษะ เสียการทรงตัว มีอาการชักตัวเขียวคล้ำ ถ้าได้รับมากๆ ระบบหายใจจะล้มเหลวและตายได้ ส่วนพิษแบบเรื้อรัง (chronic toxicity) ในคนจะมีอาการผิดปกติต่อระบบทางเดินอาหาร เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน น้ำหนักลด เหน็ดเหนื่อย และเมื่อย่ำตามร่างกาย โดยจะมีสะสมในตับ ใน adipose tissue มีผลต่อระบบประสาทและมีผลต่อ thyroid hormones โดยทำให้เกิดความผิดปกติของฮอร์โมนเพศ ลดการผลิตอสุจิในเพศชาย ก่อให้เกิดความผิดปกติของระบบอวัยวะหรือพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลงไปเช่นในปลาที่กินยุง (gambusia) เมื่อได้รับดีดีทีในขนาด 20 ppb เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชอบที่จะอยู่ในน้ำที่มีความเค็มเพิ่มมากขึ้น 2 เท่า (พาลาถ ถึงเฮสนี, 2540) ปลาซัลมอนวัยอ่อน (salmon fingerling) เมื่อได้รับดีดีที 5 ppb เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะมีพฤติกรรมรุนแรงในการหลีกเลี่ยงน้ำ

ๆ และสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นสารที่ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง มีผู้ทำการศึกษาพบว่า การได้รับสารกลุ่มนี้เป็นเวลานานๆ จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดมะเร็งเต้านม ในผู้หญิง ในสหรัฐอเมริกาพบว่าดีดีอี ทำให้เปลือกไข่ของนกอบบางมากจนแตกง่ายก่อนที่จะฟักเป็นตัว และผลกระทบนี้เกือบทำให้ประชากรของนกอินทรีต้องสูญพันธุ์ การที่เปลือกไข่บางลง เป็นผลจากการลดลงของปริมาณแคลเซียมในเปลือกไข่ ซึ่งสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนหลายชนิดทำให้เกิดความผิดปกติในการสร้างแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในเปลือกไข่

2. ปัญหาต่อสุขภาพของมนุษย์

การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในมนุษย์ เช่นเดียวกับสัตว์ทั้งหลาย ซึ่งสามารถรับสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ได้ 2 ทาง คือ โดยทางตรง ได้แก่ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับสาร เช่น เกษตรกร ประชาชนที่ใช้สารตามอาคารบ้านเรือนหรือคนงานในโรงงานที่เกี่ยวข้องกับสารพิษ โดยทางอ้อมคือ จากการกินอาหารหรือดื่มน้ำที่มีสารพิษปนเปื้อนอยู่

สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนมีการรวมตัวกับไขมันในลักษณะการรวมตัวทางฟิสิกส์ (physical binding) ไขมันใดที่ไขมันยังไม่ละลายหรือไขมันยังสามารถดูดซับสารไว้ได้ความเป็นพิษของร่างกายส่วนอื่นจะยังไม่ปรากฏ เมื่อใดที่ไขมันส่วนนี้สลายตัวให้เป็นพลังงานตามความต้องการของร่างกาย สารพิษเหล่านี้จะถูกปล่อยเข้าสู่กระแสโลหิตและอวัยวะสำคัญอื่นๆ สารหลายชนิดในกลุ่มนี้เช่น อัลดริน และเซปตาคลอร์ จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ในตับได้สารอีพอกไซด์ซึ่งมีความเป็นพิษสูงขึ้น

ตามหลักการทางพิษวิทยาสารเคมีอาจทำให้เกิดอันตรายในลักษณะของพิษเรื้อรังต่อมนุษย์ได้ 3 ประการคือ

1. การทำให้เกิดมิวเทชัน (mutagenesis)
2. การทำให้เกิดมะเร็ง (carcinogenesis)
3. การทำให้เกิดความผิดปกติของลูกวิรูป (teratogenesis)

จากการศึกษาผลของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในการก่อมะเร็งในสัตว์ทดลองชนิดต่างๆ IARC ได้ให้ข้อสรุปดังแสดงในตาราง 7

ตารางที่ 7 การก่อกวนของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในสัตว์ทดลองชนิดต่างๆโดยองค์การวิจัยโรคมะเร็งระหว่างประเทศ (IARC) (Smith, 1991)

Chemical	Species	Evaluation
DDT	mouse	positive in both sexes and in various strains
	Rat	positive
	Dog	inconclusive
	Monkey	inconclusive
DDE	mouse	positive
Methoxychlor	mouse	positive
	Rat	inconclusive
chlorbenzilate	mouse	positive
	rat	inconclusive
dicofol	mouse	positive in males
	rat	inconclusive
BHC	mouse	technical mixture , isomer and isomer (lindane) positive
		isomer limited positive evidence
	rat	inconclusive
chlordan	mouse	positive
	rat	inconclusive
heptachlor	mouse	positive
	rat	inconclusive
aldrin	mouse	positive
	rat	negative or inconclusive
dieltrin	mouse	positive
	Rat	negative
	Dog	inconclusive
	Monkey	inconclusive
Endrin	mouse	positive

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Chemical	Species	Evaluation
toxaphene	rat	negative or inconclusive
	mouse	positive
	rat	negative
mirex	mouse	positive in two strains
	rat	negative

สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนและการเกิดมะเร็ง มีรายงานว่าสารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ก่อมะเร็งในสัตว์ทดลองดังตาราง 7 และมีข้อถกเถียงกันว่าสารพิษที่ทำให้เกิดความผิดปกติในสัตว์ทดลองนั้นจะทำให้เกิดความผิดปกติในมนุษย์ได้เช่นเดียวกันหรือไม่ เนื่องจากสัตว์แต่ละชนิด (species) หรือแม้แต่ชนิดเดียวกันแต่คนละสายพันธุ์ (strain) อาจมีการตอบสนองต่อวัตถุพิษในลักษณะที่แตกต่างกัน จึงเป็นการยากที่จะนำผลจากสัตว์ทดลองมาเปรียบเทียบกับมนุษย์ นอกจากนั้นการเกิดมะเร็งอาจปรากฏขึ้นภายหลังจากการได้รับสารเป็นเวลานาน ปัจจุบันยังไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างความเป็นพิษที่เกิดขึ้นจากการศึกษาในสัตว์ทดลองและอันตรายที่เกิดขึ้นกับมนุษย์ แต่ก็มีการประเมินฤทธิ์ก่อมะเร็งของสารเคมีในคนพบว่าดีดีที และ บีเอชซี เป็นสารเคมีที่มีหลักฐานบ่งชี้พอสมควรว่าทำให้คนเป็นมะเร็งได้ ดังตาราง 8 แสดงฤทธิ์ก่อมะเร็งของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน และอวัยวะที่เสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในคนและสัตว์ทดลอง

โดยองค์การวิจัยโรคมะเร็งระหว่างประเทศ: IARC, international agency research on cancer ได้แบ่งระดับการประเมินฤทธิ์ก่อมะเร็งของสารเคมีในคนเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

- กลุ่ม 1 : สารเคมีที่มีหลักฐานบ่งชี้แน่ชัดว่าทำให้คนเป็นมะเร็งได้
- กลุ่ม 2A : สารเคมีที่มีหลักฐานบ่งชี้ค่อนข้างแน่ชัดว่าทำให้คนเป็นมะเร็งได้
- กลุ่ม 2B : สารเคมีที่มีหลักฐานบ่งชี้พอสมควรว่าทำให้คนเป็นมะเร็งได้
- กลุ่ม 3 : สารเคมีที่ยังไม่สามารถบ่งชี้ว่าทำให้คนเป็นมะเร็งได้
- กลุ่ม 4 : สารเคมีที่มีหลักฐาน ว่าไม่ทำให้คนเป็นมะเร็งได้

ตารางที่ 8 ฤทธิ์ก่อมะเร็งของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน และอวัยวะที่เสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในคนและสัตว์ทดลอง (สุภาณี พิมพ์สมาน, 2537)

ชนิดสาร	ฤทธิ์ก่อมะเร็ง		อวัยวะที่เป็น
	ชนิดสัตว์ทดลอง	คน(กลุ่ม)	
aldrin	หนู	3	ตับ
chlordane,heptachlor	หนู	3	ตับ
DDT	หนู	2B	ปอด,ตับ และเม็ดโลหิต
Dieldrin	หนู	3	ตับ
BHC	หนู	2B	ตับ,leukemia
Methoxychlor	หนู	3	ตับ
Toxaphene	หนู	2B	ตับ,leukemia และต่อมไทรอยด์

สภาพปัญหาในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 320 ล้านไร่ โดยประชากรประมาณร้อยละ 70 มีอาชีพทางการเกษตร และมีพื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูกประมาณ 128 ล้านไร่ พืชเศรษฐกิจมีมากมายหลายชนิดที่สำคัญมากที่สุดคือ ข้าว ปัญหาเกี่ยวกับผลผลิตข้าวที่สำคัญคือ ปัญหาเรื่องโรคและแมลงทำลายต้นข้าว รวมไปถึงหญ้าซึ่งเป็นวัชพืชนาข้าว ศัตรูข้าวเหล่านี้ทำให้ผลผลิตลดลงกว่าร้อยละ 30 ของผลผลิตที่ควรจะเป็น นอกจากนี้ยังมีปัญหาศัตรูพืชเศรษฐกิจอื่นๆ ทั้งโรค แมลงและวัชพืชนาแปลงเพาะปลูกฝ้าย ขางพารา ปาล์มน้ำมัน อ้อย ปอ ยาสูบ ผลไม้ และผักชนิดต่างๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ภูมิอากาศร้อนชื้น ฝนตกชุก มีความเหมาะสมของโรคและแมลงที่จะแพร่พันธุ์ได้เป็นอย่างดีทั้งชนิดและปริมาณ การแก้ปัญหาศัตรูพืชที่ปฏิบัติกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ การใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชจากตาราง 9 แสดงปริมาณการนำเข้าสารออกฤทธิ์และรูปผสมของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนบางชนิดที่มีการใช้ในประเทศไทยซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูง

กลุ่มคนหรือบริเวณที่มีปัญหา (risk group and risk behaviour) กิจกรรมทางการเกษตรบางประเภท เช่นการปลูกพืชบางชนิดได้ก่อให้เกิดปัญหาและมีผู้ได้รับพิษเป็นประจำคือ

- 1. การปลูกข้าว เนื่องจากข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพปลูกข้าว มีการนำสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์มาใช้ในปริมาณที่สูงด้วย ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียที่เห็นได้อย่างชัดเจนต่อสภาพแวดล้อม เช่นสารพิษตกค้างในน้ำ มีสารจำนวนมากมายถูกปลดปล่อย

ออกจากรูขี้ผึ้ง เข้าสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เช่นแม่น้ำ ลำคลอง และลงสู่ทะเล ทำให้สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้รับสารเหล่านี้สะสมในร่างกาย

2. การปลูกผักและผลไม้ เป็นกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช มากชนิดที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมีแมลงศัตรูพืชและเชื้อโรคทำลายอยู่ทุกฤดูกาล จึงทำให้เกษตรกรมี โอกาสสัมผัสสารพิษอยู่ตลอดเวลา และยังเกิดปัญหาสารพิษตกค้างในดินและน้ำ และ โรคพืชสร้างความต้านทานซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน

ตารางที่ 9 ปริมาณการนำเข้าสารออกฤทธิ์และรูปผสมของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนบางชนิดที่มีการใช้ในประเทศไทย (ดัดแปลงจากฝ่ายวัตถุมีพิษ ; กองควบคุมพิษและวัสดุการเกษตร, 2531)

		ปี/ปริมาณ (ตัน)							
ชนิดสาร	ประเภท	2524	2525	2526	2527	2528	2529	2530	2531
BHC	ออกฤทธิ์	346	ห้ามนำเข้า			ห้ามนำเข้า			
	รูปผสม	3,698	ห้ามนำเข้า			ห้ามนำเข้า			
lindane	ออกฤทธิ์	1	1	1	1	6	2	3	3
	รูปผสม	9	6	5	8	33	10	16	18
heptachlor	ออกฤทธิ์	40	20	23	40	33	35	50	87
	รูปผสม	131	65	76	131	109	87	126	218
aldrin	ออกฤทธิ์	14	36	19	23	38	36	67	43
	รูปผสม	34	51	50	60	97	89	166	108
chlordane	ออกฤทธิ์	26	12	12	13	16	17	25	50
	รูปผสม	64	30	30	33	41	41	55	125
dieldrin	ออกฤทธิ์	25	28	13	28	16	8	-	2
	รูปผสม	56	58	29	61	34	15	-	5
endrin	ออกฤทธิ์	20	ห้ามนำเข้า			ห้ามนำเข้า			
	รูปผสม	99	ห้ามนำเข้า			ห้ามนำเข้า			
DDT (เกษตร)	ออกฤทธิ์	83	14	ห้ามนำเข้า			ห้ามนำเข้า		
	รูปผสม	264	36	ห้ามนำเข้า			ห้ามนำเข้า		
DDT (สาธารณสุข)	ออกฤทธิ์	225	-	345	522	-	485	-	716
	รูปผสม	720	-	460	696	-	647	-	954

หมายเหตุ - = ไม่ได้นำเข้า

เพื่อเป็นการคุ้มครองผู้บริโภคจึงมีมาตรฐานจากกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย ควบคุมปริมาณสารปนเปื้อนโดยกำหนดเป็นปริมาณสูงสุดของกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ยอมให้มีได้ในอาหารแสดงดังตาราง 10

ตารางที่ 10 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้างที่ปนเปื้อนจากสาเหตุที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ (extraneous residue limit, ERL) (กระทรวงสาธารณสุข, 2538)

ชนิดของอาหาร	ปริมาณสารตกค้างสูงสุดที่กำหนดให้มีได้ (มิลลิกรัมของสารต่อ 1 กิโลกรัมของอาหาร)			
	อัตรินและคลอทริน	คลอเดน	ดีดีที	เฮปตาคลอร์
ไข่	0.1	0.02	0.1	0.05
ธัญพืช	0.02	0.02	0.1	0.02
นมและเมสส์	0.05	0.02	0.01	0.02
นม	0.006	0.002	0.02	0.006
น้ำมันและไขมันพืช	0.2	0.02	0.05	0.02
น้ำมันและไขมันสัตว์	0.2	0.05	1	0.2
เนื้อและเครื่องในสัตว์	0.2	0.05	1	0.2
เครื่องบดเครื่องนํ้า				
เนื้อและเครื่องในสัตว์นํ้า	0.2	0.05	1	0.2
หอยและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง				
เนื้อและเครื่องในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและสัตว์ปีก	0.2	0.05	1	0.2
ผลไม้	0.05	0.02	0.01	0.01
พืชผักและพืชเครื่องเทศ	0.05	0.02	0.01	0.05
พืชที่ใช้เป็นเครื่องคั้น	0.1	0.02	0.01	0.05
พืชที่ให้นํ้าตาล	0.05	0.02	0.01	0.01
ถั่วเมล็ดแห้ง	0.05	0.02	0.01	0.02

หอยแมลงภู๋

1. ลักษณะทั่วไป หอยแมลงภู๋ มีชื่อสามัญทั่วไปว่า green mussel มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis* Linneaus เป็นหอยที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย เป็นสัตว์น้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง และจัดอยู่ในประเภทอาหารทะเลที่รู้จักกันดีเป็นที่นิยมบริโภค หอยแมลงภู๋เป็นสัตว์น้ำที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว หอยแมลงภู๋จะกินพวกแพลงก์ตอน (plankton) จำพวกพืชและสัตว์ขนาดเล็กตลอดจนชิ้นส่วนขนาดเล็กสิ่งเน่าเปื่อยจากพืชและสัตว์ (detritus) เป็นอาหาร อาหารของหอยแมลงภู๋จะแฝงตัวอยู่ในมวนน้ำทะเล เมื่อมีกระแสน้ำไหลก็จะพัดพาอาหารเหล่านี้มายังแหล่งหอย หอยจะดูดน้ำเพื่อกรองอาหารเหล่านั้นจากน้ำที่ผ่านเข้ามาในช่องว่างลำตัว (mantle cavity) โดยการโบกพัดขนของซี่เหงือก อาหารจะติดค้างอยู่บนซี่เหงือก วัตถุ ที่มีขนาดใหญ่หรือมีน้ำหนักมากได้แก่ เม็ดทรายก็จะหลุดจากเหงือกลง ไปอยู่ตามขอบของเยื่อหุ้มตัว (mantle) และออกสู่ภายนอกทางท่อน้ำออก ส่วนอาหารที่มีขนาดเล็กดังกล่าวจะตกค้างอยู่บนเหงือกนั้น ขณะเดียวกันเซลล์บางกลุ่มที่เหงือกจะสร้างเมือกออกมาเพื่อช่วยยึดมวลอาหารเหล่านั้นไว้และเมื่อขนบนซี่เหงือกพัดโบก มวลของอาหารก็จะถูกส่งต่อไปยังริมฝีปาก (labial palp) ซึ่งจะทำหน้าที่คัดเลือกรูปร่างของอาหารอีกครั้งหนึ่งแล้วจึงส่ง ไปยังช่องปากผ่านหลอดอาหาร (oesophagus) และลงสู่กระเพาะอาหารผ่านการย่อยและหล่อเลี้ยงร่างกายเพื่อการเจริญเติบโตต่อไป

หอยแมลงภู๋จึงมีโอกาที่จะสะสมสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนได้เป็นอย่างดี จึงเป็นที่นิยมใช้เป็นดัชนีชีวภาพในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม (เจดจรรย์ ศิริวงศ์, รุจยา บุญขุมานนท์, และมณฑิพย์ ศรีรัตนทา ทาบุญกานอน, 2535 ; Goldberg et al., 1978 ; Ferrington, Goldberg, Risebrougs, Martin, & Bowen, 1983) ฉะนั้นการศึกษาปริมาณสารพิษตกค้างในหอยแมลงภู๋นอกจากจะบ่งบอกถึงความปลอดภัยในการบริโภคสัตว์น้ำแล้วยังสามารถใช้ประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางทะเลในบริเวณนั้นได้ด้วย

2. การเจริญเติบโต จากข้อมูลที่ศึกษาหอยแมลงภู๋ที่เกาะหลักเลี้ยงมีการเจริญเติบโต ดังนี้

1. อายุประมาณ	15 วัน	มีความยาวเฉลี่ย	0.61 ซม.
2. อายุประมาณ	1 เดือน	มีความยาวเฉลี่ย	0.84 ซม.
3. อายุประมาณ	2 เดือน	มีความยาวเฉลี่ย	2.83 ซม.
4. อายุประมาณ	3 เดือน	มีความยาวเฉลี่ย	3.30 ซม.
5. อายุประมาณ	7 เดือน	มีความยาวเฉลี่ย	5.86 ซม.

หอยแมลงภู๋ที่มีขนาดความยาว 6-7 ซม. ซึ่งมีอายุประมาณ 7-8 เดือน เป็นขนาดที่ ต้องการและใช้บริโภคกันโดยทั่วไปมีจำนวนหอย 60-80 ตัว/กิโลกรัม

ความแตกต่างระหว่างเพศของหอยแมลงภู่มิสามารถแยกเพศได้แต่สามารถแยกเพศได้จากลักษณะสีของเนื้อเยื่อภายในตัวในช่วงที่หอยเจริญเติบโตเต็มที่ โดยเพศเมียจะมีเนื้อสีแดงหรือสีแดง ส่วนเพศผู้จะมีสีขาวครีมหรือสีน้ำตาลอมเหลือง

3. การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในเนื้อเยื่อสัตว์ชนิดต่างๆและในหอยแมลงภู่มิจากการศึกษาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ตกค้างในเนื้อเยื่อสัตว์และในตัวอย่างหอยแมลงภู่มิผู้ทำการศึกษาไว้ดังนี้

เจิดจรรย ศิริวงศ์ และคณะ (1991) ได้ทำการศึกษาดิตตามภาวะมลพิษของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในหอยและน้ำทะเล จากบริเวณเพาะเลี้ยงชายฝั่งทะเลตะวันออก จังหวัดฉะเชิงเทราและชลบุรี และชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยจังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สารในตัวอย่างหอยที่ตรวจพบคือ ดีดีที ดีลดริน อัลดริน ในปริมาณที่สูงกว่าสารชนิดอื่น ซึ่งผู้วิจัยกล่าวว่า อัลดริน และดีลดริน ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อป้องกันและกำจัดปลวกจึงพบสารดังกล่าวสูงกว่าสารชนิดอื่นและพบได้บ่อยครั้ง ส่วนดีดีทีเป็นสารกำจัดแมลงที่นิยมใช้กันมากในอดีต ปัจจุบันมีกฎหมายห้ามใช้ในการเกษตรแต่ในทางสาธารณสุขยังคงอนุญาตให้ใช้แต่ปริมาณที่พบยังต่ำกว่าค่า MRL ของดีดีทีในสัตว์น้ำที่กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดไว้เท่ากับ 1 mg kg^{-1} กอบทอง รูปหอม, กนกพร อธิสุข, ยวดี เรืองฉาย, และอมรา วงศ์พุทธพิทักษ์, 2530 ได้ทำการศึกษาดิตตามภาวะมลพิษของสารเคมีกำจัดแมลงประเภทสารประกอบคลอรีนและฟิซีปี บริเวณแหล่งเพาะเลี้ยงหอยแถบชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนบนเขตจังหวัดฉะเชิงเทราตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525-2526 ในตัวอย่างหอยแมลงภู่มิ หอยนางรม หอยแครงตรวจพบบีเอชซี เอนดริน และลินเดน และปริมาณสารทุกชนิดมีระดับต่ำกว่า 0.01 ng g^{-1} และในปี 2525-2529 กอบทอง รูปหอม และคณะได้รวบรวมตัวอย่างทั้งสิ้น 472 ตัวอย่าง ที่เก็บรวบรวมจากแหล่งเพาะเลี้ยงเขตจังหวัดฉะเชิงเทราและชลบุรีและเขตจังหวัดเพชรบุรี พบมีการตกค้างของ ดีดีที ดีลดริน บีเอชซี เอนดริน และลินเดน กาญจน์อติเรกกลาก และคณะ (Kan-ati-reklap, Tanabe, Joompol, & Monthip, 1997) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในหอยแมลงภู่มิ (green mussel, *Perna Viridi*, L.) โดยเก็บตัวอย่างหอยแมลงภู่มิจากชายฝั่งของประเทศไทยในปี 1994-1995 พบปริมาณดีดีทีในปริมาณที่สูงที่สุด และจากการศึกษาการแพร่กระจายของสารกลุ่มนี้ในตัวอย่างหอยนางรมของ ชูสิทธิ์ พุฒนวล (2538) บริเวณแหล่งเพาะเลี้ยงชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก พบการตกค้างของสารจำนวน 11 ชนิดคือ ลินเดน 0.32-1.26 เฮปตาคลอร์ 0.18-3.28 อัลดริน 0.23-2.94 เฮปตาคลอร์-อีพอกไซด์ 0.07-1.92 ออร์โท,พารา-ดีดีอี 0.23-4.37 พารา,พารา-ดีดีอี 0.19-3.42 ดีลดริน 0.12-1.34 ออร์โท,พารา-ดีดีอี 0.11-3.13 ออโร,พารา-ดีดีอี 0.48-6.23 พารา,พารา-ดีดีอี 0.18-1.22 และพารา,พารา-ดีดีอี 0.89-9.53 ng g^{-1} (wet wt.) และในปี 2538 ชูสิทธิ์ พุฒนวล ได้ศึกษาการแพร่กระจายและการ

สะสมของปริมาณสารกลุ่มดังกล่าวบริเวณแหล่งชุมชนชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกพบสารตกค้างในตัวอย่างหอยนางรม 7 ชนิด คือ ลิ้นเดน 0.20-2.19 เฮปตาคลอร์ 0.08-1.08 อัลดริน 0.18-1.67 ดีลดริน 0.88-1.67 พารา,พารา-ดีดีอี 0.30-0.67 ออโร,พารา-ดีดีอี 0.79 พารา,พารา-ดีดีอี 0.85 ng g^{-1} (wet.wt) ในบริเวณที่เลี้ยงหอยทั้งแถบชายฝั่งทะเลตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน และจังหวัดสุราษฎร์ธานี ก็พบการสะสมของดีดีอี ในตัวอย่างหอยทุกชนิดที่นำมาศึกษา (สิทธิพันธ์ศิริรัตนชัย, 2523) และในตัวอย่างปลาน้ำจืด 5 ชนิด ได้แก่ ปลาตะเพียน ปลาหมอไทย ปลาสวาย ปลาดุกด้าน และปลาน้ำเค็ม 3 ชนิด ได้แก่ ปลาตาเดียว ปลาแดง ปลาสิ่กุน ที่วางขายในตลาดเขตกรุงเทพฯและธนบุรี ก็มีการตรวจพบ อัลดริน ดีลดริน เฮปตาคลอร์ เฮปตาคลอร์-อีพอกไซด์ พารา,พารา-ดีดีอี ออโร,พารา-ดีดีอี พารา,พารา-ดีดีอี ซึ่งเป็นสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างปลาทุกชนิดและพบว่าปลาสวายมีสารตกค้างสูงกว่าปลาชนิดอื่น (สุทธิพร วงศ์คำ, 2519)

มีการตรวจพบลิ้นเดนเกินค่ามาตรฐานของ FWPCA (federal water pollution control administration, U.S.) ในตัวอย่างน้ำ ดินตะกอน กุ้งและหอยกาบ บริเวณชายฝั่งทะเล Sinaloa ประเทศเม็กซิโก ซึ่งบริเวณดังกล่าวได้รับน้ำทิ้งจากการเกษตร (Galno, Guerrero-Ibarra, Villagrana-lizarraga, Querada, & Escalante, 1992) โมนาธิธ (Monirith, 1998) ได้ศึกษาสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่าง green mussel, blue mussel, brown mussel และ ask shell จากชายฝั่งของอินเดีย ฟิลิปปินส์ เวียดนามและกัมพูชา พบสารประกอบกลุ่มดีดีอี กลุ่มพีซีบี กลุ่มบีเอชซีในทุกตัวอย่าง และตัวอย่างจากเวียดนามตรวจพบดีดีอีในปริมาณที่สูงที่สุดในปริมาณ 2.7-340 ng g^{-1} dry wt. Chumnatana & Abe (1993) ได้หาปริมาณสารกลุ่มดังกล่าวในเนื้อสัตว์ทะเลบริเวณชายฝั่งจังหวัดจันทบุรีพบสารตกค้างสูงสุดในตัวอย่างปลาหมึกปริมาณ 1.65 ug g^{-1} และต่ำสุดในตัวอย่างหอยแครงปริมาณ 0.39 ug g^{-1} และสารที่ตรวจพบมากได้แก่ พารา,พารา-ดีดีอี และ ลิ้นเดน Abd-Allah (1994) ได้ศึกษาหาสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างปลาจากอ่าว Abu-Quin และจากทะเลสาบ Idleu lake อเล็กซานเดรียประเทศอียิปต์ พบว่าการสะสมของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจะมีมากขึ้นเมื่อปลา มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีปริมาณไขมันมากขึ้นและตรวจพบ ดีดีอี และ พีซีบี มากกว่าสารพิษชนิดอื่น โฮชิ และคณะ (Hoshi et al., 1997) ได้ศึกษาสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและพีซีบีในสัตว์บกที่เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม 8 ชนิด ในนก 10 ชนิด ผลการวิเคราะห์พบว่าสัตว์ที่กินสัตว์เป็นอาหารมีปริมาณตกค้างมากกว่าสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร และมีการตรวจหาสารพิษที่เป็นสารอินทรีย์ในตัวอย่าง common mussel, *Mytilus edulis* (หอยแมลงภู่ชนิดหนึ่ง) บริเวณทางใต้ของชายฝั่งเมือง Perth สารอินทรีย์ที่ตรวจพบมีสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนอยู่ด้วย กาญจน์น้อติเรกกลากและคณะ (Kan-atireklap et al., 1997) ได้ตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโน

คลอรีนในหอยแมลงภู่นิวบริเวนชายฝั่งของประเทศไทย สารในกลุ่มดีดีทีที่เป็นสารที่ตรวจพบในปริมาณที่สูงที่สุด

4. การติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยใช้สิ่งมีชีวิต การติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยใช้สิ่งมีชีวิต (bio-monitoring) ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม ข้อมูลที่ได้จะบอกแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและเป็นการเตือนภัยได้ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งมีชีวิตสามารถสะสมสารปนเปื้อนในระดับที่สูงกว่ามวลน้ำมาก การปนเปื้อนในแหล่งน้ำมักจะมีความเข้มข้นต่ำยากที่จะตรวจวิเคราะห์โดยเทคนิคและเครื่องมือทั่วไป การติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมในแต่ละพื้นที่จึงมีการ ใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวติดตามตรวจสอบแทน (Preston, 1975 ; Holdgate, 1979 ; Martin & Coughtrey, 1982 ; Chapma, Dexter, & Goldstein, 1987)

การติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยใช้สิ่งมีชีวิตได้รับความสนใจและยอมรับในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะการติดตามตรวจสอบการสะสมสารกลุ่มโลหะหนักและอินทรีย์สารที่มีความคงทนในธรรมชาติ เช่น สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน ฟิซีบี ไดออกซิน เป็นต้น แต่ก็ยังมีปัญหาทั้งนี้เนื่องจากมีความแปรปรวนของข้อมูล ซึ่งเกิดจากการใช้สิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกัน สิ่งมีชีวิตในกลุ่ม invertebrate อื่นๆ เช่น ปู มักจะถูกใช้ในการศึกษาสารกลุ่มโลหะหนัก ส่วนหอยสองฝา เช่น หอยนางรม หอยแมลงภู่นิวบริเวน ปลาและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลถูกใช้อย่างมากในการศึกษาสารอินทรีย์ที่มีความคงทนในธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไขมันที่สูงและเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์ (Phillips & Rainbow, 1993) และฟิลลิป (Phillips, 1985) กล่าวว่าในภาคพื้นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) ได้ถูกนำมาเป็น bio-indicator ของพวกโลหะหนักได้เป็นอย่างดีแล้ว การบ่งชี้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนก็ใช้ได้ดีเช่นเดียวกัน

ขนาด น้ำหนักและอายุของสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกัน ก็นำมาซึ่งข้อมูลที่แตกต่างกันและยากต่อการอธิบายผลการศึกษา (Boyden, 1974 ; Phillips, 1980 ; Phillips and Rainbow, 1993 ; Riget, Johansen, & Asmund, 1996 ; Meyer & Medeiros, 1998) นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบ ว่าฤดูกาลก็มีผลอย่างมากต่อผลที่ตรวจพบ (Depledge & Rainbow, 1990) โดยความแตกต่างระหว่างฤดูกาลอาจมีสาเหตุจากปริมาณไขมันที่สะสมในเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน ฤดูกาลผสมพันธุ์ การวางไข่ การออกลูกและให้นมลูกในสัตว์ทะเลที่เลี้ยงลูกด้วยนม (Gaskin, Holdrinet, & Frank, 1971) หรืออาจมีสาเหตุจากการที่ฤดูกาล ที่ฝนตกชะล้างสารจากแหล่งที่ใช้สารลงสู่แหล่งน้ำ (Butler, 1971 ; Phillips & Rainbow, 1993 ; Bergamaschi, Kuivila, & Fram, 2001) การศึกษาผลของขนาด น้ำหนัก และอายุของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม ที่ทำการสำรวจเอกสารส่วน

ใหญ่เป็นการศึกษาสารกลุ่มโลหะหนัก ซึ่งผลพบว่าบางชนิดปริมาณโลหะหนักเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักของสิ่งมีชีวิตเพิ่มขึ้น ในบางชนิดก็ลดลง และบางชนิดน้ำหนักก็ไม่มีผล ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเกิดจากความสามารถในการรับ สะสมและกำจัดโลหะหนักที่แตกต่างกันของสิ่งมีชีวิตที่ทำการศึกษาบัทเลอร์ (Butler, 1971) ได้ศึกษาอัตราการรับและขับสารดีดีที และสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มอื่นๆ ในหอยสองฝา *Mya arenaria* และ *Mercenaria mercennaria* พบว่าหอยทั้งสองชนิดมีการรับและขับสารแต่ละชนิดในอัตราที่แตกต่างกัน

จากการตรวจเอกสารพบว่ายังคงมีการปนเปื้อน ของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน ในหลายประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ยังคงมีการใช้สารกลุ่มนี้และในหลายหน่วยงานยังคงติดตามการตกค้างของสารกลุ่มนี้ โดยมีการตรวจสอบทั้งในตัวอย่างดิน น้ำ สัตว์ แต่การศึกษาผลของขนาด อายุ เพศ และปริมาณไขมันต่อรูปแบบการสะสมสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนในหอยสองฝายังมีข้อมูลน้อยมาก ทำให้เกิดปัญหาในการเปรียบเทียบผล การทำความเข้าใจและการสรุปผลการศึกษา ประเทศไทยเราเป็นหนึ่งในประเทศที่ยังคงมีการใช้สารกลุ่มนี้อยู่ ดังนั้นการศึกษารูปแบบของการสะสมของสารเหล่านี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่ถูกต้อง ที่สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการใช้หอยแมลงภู่หรือหอยนางรมในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมของชายฝั่งทะเลของประเทศไทยต่อไป