บทที่ 2

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การตรวจเอกสาร

1. ชีววิทยาบางประการของไรแดง

ไรแดง (water flea) เป็นสัตว์น้ำจำพวกสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง จัดอยู่ในกลุ่มครัสเตเซียน (crustacean) พบทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ สำหรับไรแดงในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นไรแดงชนิด *Moina macrocopa* Straus (ธรรมนูญ โรจนะบุรานนท์ และ ฉวีวรรรณ อภิสิทธิ์ไพศาล , 2523) ไรแดงนับว่าเป็นอาหารธรรมชาติที่สำคัญและมีคุณค่าทางอาหารสูงเหมาะสมต่อการนำมาใช้อนุบาลลูกปลาวัยอ่อน โดยมีโปรตีน (crude protein) ประมาณร้อยละ 67 ถึง 70 (ธรรมนูญ โรจนะบุรานนท์ และ ฉวีวรรรณ อภิสิทธิ์ไพศาล , 2523) ส่วน สันทนา ดวงสวัสดิ์ (2529) รายงานประมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 74

ไรแดงมีลำดับขั้นทางอนุกรมวิธาน (Barnes, 1968) ดังนี้

Phylum	Arthopoda
Class	Crustacea
Subclass	Branchiopoda
Order	Diplostraca
Suborder	Cladocera
Family	Daphniae
Genus	*Moina*
Species	*Moina macrocopa*

ไรแดงเป็นแพลงค์ตอนสัตว์ชนิดหนึ่งลำตัวมีสีแดงเรื่อๆ ถ้าอยู่รวมกันเป็นจำนวนมากจะมองเห็นสีแดงชัดเจน โดยเฉพาะในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่น้อยมาก (สันทนา ดวงสวัสดิ์, 2529) ไรแดงมีลักษณะทางชีววิทยาดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 รูปร่างลักษณะ

ไรแดงมีขนาด 0.4 - 1.8 มิลลิเมตร ไรแดงเพศเมียมีขนาดใหญ่กว่าเพศผู้ ลำตัวอ้วนเกือบกลม มีขนาดเฉลี่ย 1.3 มิลลิเมตร ไรแดงเพศผู้มีขนาดเล็กและลำตัวค่อนข้างเรียวกว่า มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ตัวอ่อนที่ออกจากถุงไข่ (brood chamber) ของตัวแม่ใหม่ๆ จะมีขนาด 0.22 x 0.35 มิลลิเมตร (ภานุ เทวรัตน์มณีกุล และคณะ, 2532) หรือมีขนาด 0.38 - 0.5 มิลลิเมตร (สันทนา ดวงสวัสดิ์, 2529)

ไรแดงมีส่วนหัวกว้าง มีตารวมขนาดใหญ่ซึ่งเป็นอวัยวะที่ไวต่อแสง สามารถหมุนรอบได้ด้วยการทำงานของกล้ามเนื้อ 3 มัดรอบดวงตา บริเวณส่วนต่อระหว่างหัวกับลำตัวมีลักษณะเป็นแอ่งเห็นได้ชัด เรียกว่า cervical sinus ไรแดงมีหนวด 2 คู่ หนวดคู่แรกมีขนาดเล็ก สั้น ไม่แบ่งเป็นปล้อง อยู่ทางด้านล่างของส่วนหัว ปลายหนวดมีขนเล็กๆ 5 - 6 เส้น ตรงเกือบกึ่งกลางของหนวดมีขนรับความรู้สึก 1 เส้น หนวดคู่ที่สอง มีขนาดใหญ่อยู่ทางด้านข้างของหัวเป็นอวัยวะหลักในการว่ายน้ำ ประกอบด้วยหลายปล้อง ตอนปลายแยกเป็น 2 กิ่ง ลักษณะเฉพาะของไรแดงอีกประการหนึ่งคือ ลำตัวมีเปลือกหรือฝาคลุมลักษณะ 2 ฝาประกบกันเรียกว่า carapace และเป็นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อใช้ในการหายใจ (Brooks, 1966) ส่วนท้ายของเปลือกหุ้มมีลักษณะคล้ายรูปกรวย ตอนปลายแยกเป็น 2 แฉกเรียกว่า bident ไรแดงเพศผู้ ขาคู่แรกมีลักษณะงอเป็นตะขอ หนวดคู่แรกมีขนาดเล็กและยาวกว่าเพศเมีย ตัวเต็มวัยของเพศเมียจะมีขนาดใหญ่เฉลี่ยประมาณ 1.25 มิลลิเมตร เนื่องจากมีตัวอ่อนอยู่ใน ถุงไข่ (brood chamber) ซึ่งมีลักษณะเป็นช่องว่างรูปรีอยู่ตรงส่วนหลังลำตัว

บริเวณช่องท้อง มีขา 5 - 6 คู่ มีลักษณะแบนเรียบ เป็นอวัยวะที่ช่วยในการพัดโบกให้น้ำหมุนเวียนเพื่อนำออกซิเจนมาใช้ในการหายใจและนำอาหารเข้าสู่ร่างกาย (Brooks, 1966)

1.2 การสืบพันธุ์ ไรแดงมีการสืบพันธุ์อยู่ 2 ลักษณะ คือ

1.2.1 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (parthenogenesis)

การสืบพันธุ์แบบนี้เป็นการสืบพันธุ์แบบปกติของไรแดง ซึ่งเกิดขึ้นเกือบตลอดปี โดยตัวเมียที่มีการสืบพันธุ์แบบนี้จะผลิตไข่ชนิดพิเศษที่เรียกว่า parthenogenesis eggs ซึ่งมีหลายใบ ไข่ชนิดนี้สามารถเจริญเป็นตัวอ่อนโดยไม่ต้องอาศัยเชื้อตัวผู้เพื่อการการผสมพันธุ์ โดยไรแดงเพศเมีย

จะผลิตไข่และไข่จะเคลื่อนเข้าสู่ช่องฟักไข่หรือถุงไข่ซึ่งสามารถเปิดและปิดได้โดยอาศัยเส้นขน 2 เส้น ตรงส่วนท้ายของลำตัว ไข่จะเจริญอยู่ในช่องฟักไข่นับตั้งแต่ฟักเป็นตัวอ่อนที่มีรูปร่างคล้ายตัวเต็มวัย จนกระทั่งถูกปล่อยออกมาจากตัวแม่โดยจะมีการขยับส่วนหลังของลำตัวมาทางล่าง โดยทั่วไปไข่ไรแดงชุดใหม่จะเคลื่อนเข้าสู่ช่องฟักไข่ทันทีที่ตัวอ่อนชุดแรกถูกปล่อยออกจากตัวแม่ กระบวนการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศจะดำเนินเช่นนี้เรื่อยไปจนตัวแม่ตาย ไรแดงที่เกิดขึ้นจากการสืบพันธุ์แบบนี้มักจะเป็นเพศเมีย ส่วนใหญ่มีสัดส่วนเป็น ไรแดงเพศผู้ประมาณร้อยละ 5 และเป็นไรแดงเพศเมียร้อยละ 95 (สำรวย เสร็จกิจ, 2533) จากการศึกษาของ Bellosillo (1957) อ้างถึงใน โชคชัย ยะฐศรี (2536) พบว่าสัดส่วนเพศของลูกที่ได้ถูกควบคุมด้วยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น อาหาร ความหนาแน่นของประชากร ซึ่งถ้าเลี้ยงไรแดงเพศเมียหลายๆตัวในอาหารความเข้มข้นต่างๆจะให้ลูกไรแดงเพศผู้จำนวนมาก แต่ถ้านำมาแยกเลี้ยงเดี่ยวในความเข้มข้นของอาหารต่ำๆจะเกิดไรแดงเพศผู้จำนวนน้อย

1.2.2 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexaul reproduction)

การสืบพันธุ์แบบนี้จะเกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ขาดแคลนอาหาร สภาวะอากาศไม่เหมาะสม อุณหภูมิต่ำกว่า 14 องศาเซลเซียส (Pennak, 1985) ปัจจัยดังกล่าวจะมีอิทธิพลทำให้ไรแดงเปลี่ยนวิธีการสืบพันธุ์ ไรแดงเพศเมียจะผลิตไข่ชนิดที่เรียกว่า sexual egg ขึ้นจำนวน 2 ฟอง (รังไข่ละ 1 ฟอง) มีลักษณะทึบแสง ซึ่งจะต้องผสมกับเชื้อเพศผู้จึงจะเจริญเป็นตัวอ่อนได้ sexual egg ที่ถูกผลิตขึ้นมาจะมีการสร้างเปลือกหุ้มไข่โดยผนังไข่ มีลักษณะคล้ายอานม้า เรียกไข่ที่มีเปลือกหุ้มว่า ephippium egg ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วจะเคลื่อนเข้าสู่ช่องฟักไข่ เมื่อไรแดงตัวแม่ลอกคราบครั้งต่อไป ephippium egg จะถูกปล่อยออกจากตัวแม่และจมลงสู่พื้น เมื่อสภาวะแวดล้อมกลับคืนสู่สภาวะปกติ ไข่ดังกล่าวจะเจริญเป็น parthenogenesis eggs อีกครั้งหนึ่ง ส่วน sexual egg ที่ไม่ได้รับการผสมจะสลายตัวไปโดยไม่ต้องเคลื่อนเข้าสู่ช่องฟักไข่และเปลือกหุ้มไข่ที่สร้างขึ้นก็จะสลายตัวไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 วงชีวิต

ไรแดงเป็นสัตว์ที่มีวงชีวิตสั้นและเจริญเติบโตได้รวดเร็วรวมระยะเวลาการเจริญเติบโตของไรแดงจากตัวอ่อนที่หลุดออกมาจาก brood chamber ของตัวแม่จนเป็นตัวเต็มวัยและสามารถ

ผลิตลูกได้ ใช้เวลาประมาณ 48 - 60 ชั่วโมง และจะมีการลอกคราบ 1 ครั้งแล้วจึงให้ลูกรุ่นต่อไป ไรแดงแต่ละตัวจะผลิตลูกได้ประมาณ 2 ครั้ง โดยมีระยะห่างของการให้ลูกประมาณ 24 - 36 ชั่วโมง ดังนั้นวงจรชีวิตของไรแดงจึงมี 3 ขั้นตอน คือ ไข่ ตัวอ่อน และตัวเต็มวัย

1.4 ที่อยู่อาศัยและอาหารของไรแดง

ไรแดงมักชอบอาศัยอยู่ในแหล่งที่มีสภาพค่อนข้างสกปรก มีเศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์ และขยะมูลฝอยต่างๆ รวมทั้งจุลินทรีย์และแพลงค์ตอน น้ำที่พบไรแดงเกิดขึ้นหนาแน่น ส่วนมากจะมีสีเหลืองปนน้ำตาล ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในช่วง 0.5 - 4.2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.2 - 7.8 (สันทนา ดวงสวัสดิ์, 2529) ไรแดงจะกินอาหารจำพวกโปรโตซัว แบคทีเรีย ทั้งแบบแท่ง (bacillus) และแบบกลม (coccus) และยังมี *Euglena* sp. และ *Chlorella* spp. ไรแดงจะกินอาหารโดยการโบกพัดอาหารต่างๆเข้าไปในปาก อาหารจะถูกบดให้ละเอียดด้วยขากรรไกรล่าง จากนั้นผ่านลงสู่หลอดอาหารมายังกระเพาะอาหารที่อยู่บริเวณส่วนหัวของไรแดง ทำหน้าที่ย่อยอาหาร โดยปกติไรแดงจะกินอาหารตลอดเวลาด้วยวิธีการกรองแยกอาหารไว้ (filter feeder)

1.5 ศัตรูของไรแดง

Bellosillo (1957) อ้างถึงใน โชคชัย ยะฐศรี (2536) พบว่าศัตรูของไรแดง คือ cyclops ปลาชนิดต่าง และไฮดรา ส่วนที่เป็นพาราสิต ได้แก่ *Vorticella* sp.และ rotifer โดยเฉพาะ *Brachionus rubens* โดยจะยึดเกาะและปกคลุมตัวไรแดงจนเกือบมิด ทำให้ไรแดงไม่สามารถเคลื่อนไหวและหาอาหารได้ ส่วนพวกมวลของแบคทีเรียและรา ถ้าเข้าไปอยู่ในตัวไรแดงมากเกินไปจะทำให้ไรแดงตายได้ แต่พบว่าลูกน้ำยุงไม่ทำอันตรายไรแดงโดยตรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

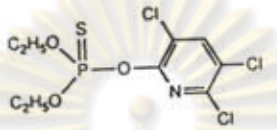
2. สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่ทำการศึกษา

2.1 คลอร์ไพริฟอส (chlorpyifos)

ชื่อทางเคมี 0,0-diethyl 0-(3,5,6-trichloro-2-pyridyl) phosphorothioate

สูตรเคมี $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$

สูตรโครงสร้าง



ชื่อสามัญ คลอร์ไพริฟอส

ชื่อทางการค้า ลอสแบน (Lorsban)

คุณสมบัติ คลอร์ไพริฟอสบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวมีกลิ่นคล้าย mercaptan มีจุดหลอมเหลว 42.5 - 43 °C ละลายน้ำได้เพียง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) ที่อุณหภูมิ 35 °C สามารถละลายใน isooctane ถึง 79% และใน methanol 43% นอกจากนี้ยังละลายได้ง่ายในตัวทำละลายอินทรีย์ตัวอื่นๆ คลอร์ไพริฟอสมีความเสถียรและเก็บไว้ได้ในสภาพปกติ อัตราการเกิดปฏิกริยาไฮโดรไลซิสจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH และอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น มีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ใน aqueous methanolic solution ที่ pH 6 เท่ากับ 1930 วัน , ที่ pH 9.96 เท่ากับ 7.2 วัน (Gallo และ Lawryk, 1991) และมีค่าครึ่งชีวิต 1.5 วัน ในน้ำที่ pH 8 อุณหภูมิ 25 °C (Worthing, 1983)

การใช้ คลอร์ไพริฟอสเป็นสารเคมีกำจัดแมลงที่มีฤทธิ์กว้างขวาง ใช้ควบคุมแมลงในกิจกรรมต่างๆ อาทิ ด้านเกษตรกรรม ,สวนไม้ดอกไม้ประดับ,ด้านอุตสาหกรรม และด้านสาธารณสุข เป็นต้น มีการใช้คลอร์ไพริฟอสในรูปเม็ดเพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในพื้นดินของไร่ข้าวโพด และถั่ว หรือการฉีดพ่นคลอร์ไพริฟอสแบบน้ำเข้มข้นเพื่อควบคุมยุง หรือกำจัดแมลงที่ทำลายไม้ สำหรับภายในอาคารมีการใช้คลอร์ไพริฟอสในการควบคุมแมลงตามบ้านเรือน เช่น แมลงสาบหรือไร เป็นต้น (Racke, 1992) ตลอดจนการควบคุมตัวอ่อนในแหล่งน้ำบางชนิด (Gallo and Lawryk, 1991)

ความเป็นพิษ พิษเฉียบพลันทางการกิน (acute oral) ทดสอบกับหนูโดยการกินมีค่า LD_{50} เท่ากับ 135 - 163 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหนูตะเภาเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในไก่เท่ากับ 32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันโดยการสัมผัส (acute dermal) ในกระต่าย มีค่า LD_{50} เท่ากับ 2000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คลอร์ไพริฟอสถูกทำลายพิษได้อย่างรวดเร็ว

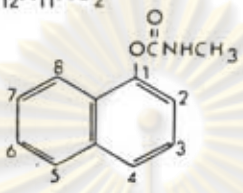
ภายในร่างกายของสัตว์ (Worthing, 1983 และ Dikshith, 1991) อย่างไรก็ตามคลอร์ไพริฟอสมีความเป็นพิษอย่างมากต่อปลา กุ้ง และสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำบางชนิด (Worthing, 1983 และ Holz, 1972)

2.2 คาร์บาริล (carbaryl)

ชื่อทางเคมี 1-naphthyl methylcarbamate

สูตรทางเคมี $C_{12}H_{11}NO_2$

สูตรโครงสร้าง



ชื่อสามัญ คาร์บาริล

ชื่อทางการค้า เอส-85

คุณสมบัติ คาร์บาริลบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวกลิ่นคล้ายฟีนอล มีจุดหลอมเหลว 142°C สามารถละลายน้ำได้ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 30°C ละลายได้พอสมควรในตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ dimethylformamide , dimethyl sulfoxide และ acetone ละลายได้น้อยใน hexane , benzene และ methanol และละลายได้เพียง 5% ใน petroleum oils คาร์บาริลความเสถียรสามารถเก็บไว้ในสภาวะปกติ ไม่สลายตัวง่ายเมื่อถูกแสงหรือความร้อน สลายตัวให้สาร α - naphthol อย่างรวดเร็วในสภาวะที่เป็นเบส (pH $\geq$ 10) (Baron, 1991 และ Worthing, 1983)

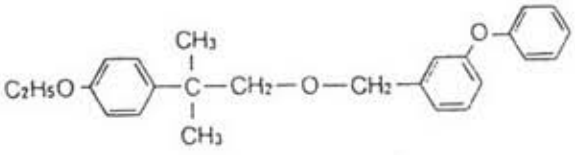
การใช้ คาร์บาริลเป็นสารเคมีกำจัดแมลงประเภทสัมผัสและกินตาย มีฤทธิ์กว้าง ใช้กำจัดแมลงทั้งชนิดปากกัดและปากดูดโดยเฉพาะหนอนผีเสื้อชนิดต่างๆ ใช้กำจัดแมลงในเรือนและแมลงศัตรูสัตว์เลี้ยง อัตราการใช้ประมาณ 40 - 320 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ (Worthing, 1983)

ความเป็นพิษ คาร์บาริลมีความเป็นพิษน้อยต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ความเป็นพิษเฉียบพลันทางปากและทางสัมผัสเมื่อทดสอบกับหนู มีค่า LD_{50} เท่ากับ 500 - 850 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรืออาจสูงถึง 4000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนพิษต่อกระต่าย มีค่า LD_{50} มากกว่า 2000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Worthing, 1983) คาร์บาริลมีอันตรายน้อยต่อกลุ่มสิ่งมีชีวิตนอกเป้าหมาย เช่น สัตว์ในฟาร์มสัตว์ นก ปลา และ สิ่งมีชีวิตอื่นๆ (Kuhr และ Dorough, 1976) แต่คาร์บาริลมีพิษสูงต่อผึ้งโดยมีค่า LD_{50} เฉลี่ยประมาณ 1.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Worthing, 1983)

2.3 อีโธเฟนพร็อกซ์ (etofenprox)

ชื่อทางเคมี 2-(4-ethoxyphenyl)-2-methylpropyl 3-phenoxybenzyl ether

สูตรโครงสร้าง



ชื่อสามัญ อีโธเฟนพร็อกซ์

ชื่อการค้า ทรีบรอน (Trebon)

คุณสมบัติ เป็นสารเคมีกำจัดแมลงที่มีคุณสมบัติคล้ายสารเคมีกำจัดแมลงในกลุ่มไพริทรอยด์ ที่เรียกว่า like pyretroid ซึ่งมี CHO เป็นองค์ประกอบ มีจุดหลอมเหลว 36.4 - 37.5°C สามารถละลายน้ำได้ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ละลายได้ดีในตัวทำละลาย acetone, ethylacetate และ chloroform เป็นต้น

การใช้ อีโธเฟนพร็อกซ์ มีฤทธิ์กว้าง และ มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดแมลงจำพวก ยุง แมลงวัน แมลงสาบ เป็นต้น มีความคงสภาพอยู่ได้นาน

ความเป็นพิษ อีโธเฟนพร็อกซ์มีพิษน้อยต่อสัตว์ลูกด้วยนม ความเป็นพิษเฉียบพลันทางการกินและทางการสัมผัสเมื่อทดสอบกับหนู มีค่า LD_{50} มากกว่า 40,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับความเป็นพิษของอีโธเฟนพร็อกซ์ต่อสัตว์น้ำนั้นพบว่าค่าความเป็นพิษ (Tolerance Limit , 48-hTLm) ต่อปู (*Cyprinus carpio*) มีค่าเท่ากับ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นพิษต่อปลา Rainbow trout และ Ayu (*Plecoglossus altivelis*) เท่ากับ 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีพิษต่อไรแดง *Daphnia pulex* ที่เวลา 3 ชั่วโมง มีค่ามากกว่า 40 มิลลิกรัมต่อลิตร (Kariya และคณะ, 1982)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ภาวะมลพิษจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำ

ลักษณะของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดพิษต่อสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำ พิจารณาได้จากปัจจัยต่างๆดังนี้

3.1 คุณสมบัติของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำ

Edwards (1977) รายงานคุณสมบัติของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำไว้ดังนี้

3.1.1 ความเสถียรและความคงตัว (stability and persistance) ความเสถียรและความคงสภาพอยู่ในสิ่งแวดล้อมของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์แตกต่างกันไปตามโครงสร้างทางเคมีของสารนั้นๆ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่มีความเสถียรสูงและมีความคงตัวอยู่ในแหล่งน้ำได้นานๆ จะทำให้เป็นอันตรายต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ เมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับสารเคมีในเข้าไปในระยะเวลายาวนานจะเกิดการสะสมของสารเหล่านั้นในร่างกาย

3.1.2 ความสามารถละลายน้ำได้ (water solubility) โดยทั่วไปสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดี จะสามารถแพร่กระจายในแหล่งน้ำได้เป็นบริเวณกว้าง และมักจะไม่ดูดซึมเข้าสู่สิ่งมีชีวิต ระเหยได้น้อยและมีความคงทนน้อย สามารถเจือจางและกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้มาก

3.1.3 ศักยภาพของการรับเข้าสู่สิ่งมีชีวิตและการสะสมในสิ่งมีชีวิต (potential for uptake and bioconcentration) สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำสามารถรับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ เข้าสู่ร่างกายได้โดย 1) การกินอาหารที่มีการปนเปื้อนของสารเคมีนั้น , 2) รับสารเคมีในน้ำโดยผ่านทางเหงือก , 3) cuticular diffusion และ 4) ดูดซึมโดยตรงจากตะกอน (Livingston , 1977) การสะสมของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เป็นดัชนีบ่งบอกศักยภาพการเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสารเคมีในระบบนิเวศแหล่งน้ำ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์สามารถสะสมอยู่ในร่างกายสิ่งมีชีวิตได้ ต่อเมื่อการรับเข้าสู่ร่างกาย (rate of uptake) มีอัตราสูงกว่าการขับออกจากร่างกาย (rate of elimination) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในสิ่งมีชีวิตคือ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารนั้น ธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต และ คุณสมบัติของแหล่งน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ ที่มีค่า lipoid / water coefficient สูง จะมีการสะสมสูง

3.1.4 ความเป็นพิษต่อพืชและสัตว์น้ำ (toxicity to aquatic fauna and flora) ความรุนแรงของพิษของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำจะแตกต่างกันไปตามชนิดหรือกลุ่มของสารเคมี และแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มของสิ่งมีชีวิต สารเคมีบางชนิดมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตประเภทหนึ่งสูง แต่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตประเภทอื่นอาจจะต่ำได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 คุณสมบัติของแหล่งน้ำ

3.2.1 ขนาดของแหล่งน้ำ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจือจางของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ

3.2.2 ลักษณะของแหล่งน้ำ ในแหล่งน้ำไหล สารเคมีจะแพร่กระจายและเจือจางได้ง่ายกว่าและเร็วกว่าในแหล่งน้ำนิ่ง

3.2.3 บริเวณของแหล่งน้ำ แหล่งน้ำที่อยู่ใกล้บริเวณเกษตรกรรม และบริเวณแหล่งชุมชน มีโอกาสได้รับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์มากกว่าบริเวณอื่น

4. การเคลื่อนย้ายและความเป็นไปของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำ

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ส่วนหนึ่งจะระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ ส่วนที่เหลืออยู่ในแหล่งน้ำจะมีการเคลื่อนย้าย (transport) และความเป็นไป (fate) ปรากฏขึ้น คือ บางส่วนละลายอยู่ในน้ำ บางส่วนจับกับวัตถุแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ ซึ่งอาจถูกพัดพาไปสู่บริเวณอื่น หรืออาจสะสมอยู่ในตะกอนใต้น้ำ การเคลื่อนย้ายและความเป็นไปดังกล่าวมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 3 ประการ (Duke, 1977) คือ

4.1 การเข้มข้น (concentration)

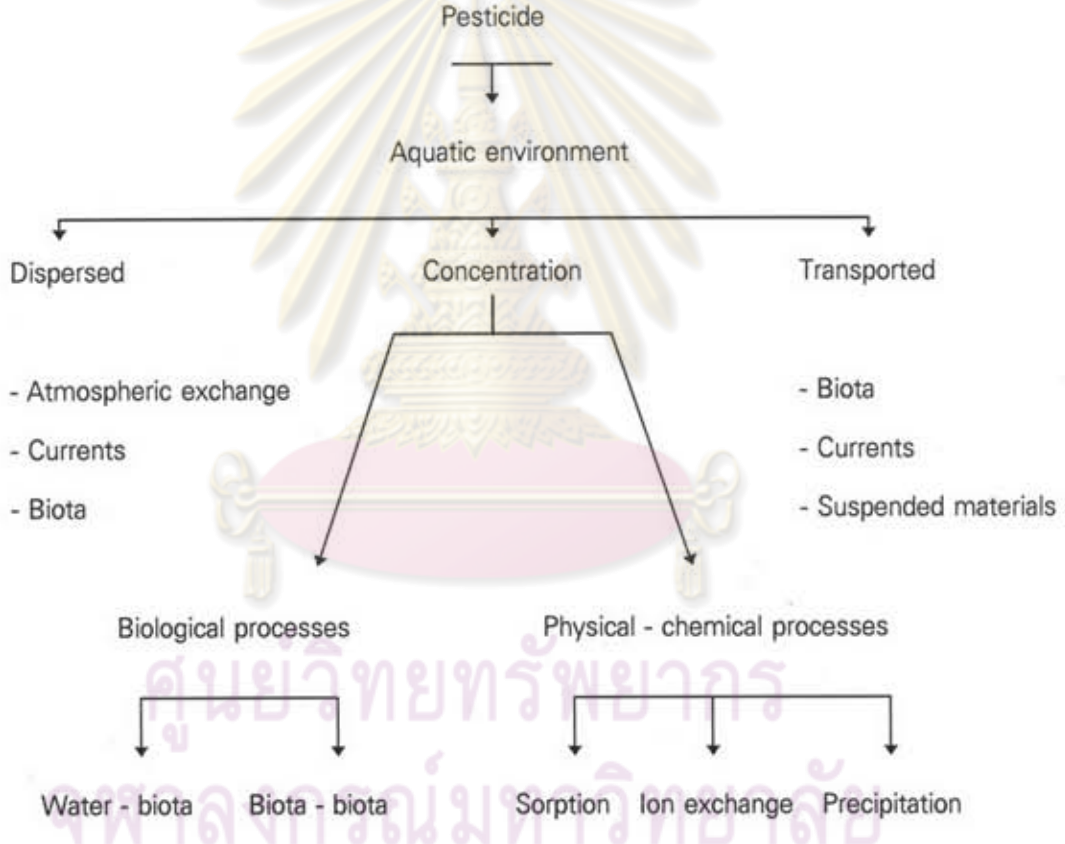
เป็นการสะสมของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในส่วนประกอบที่เฉพาะเจาะจงของสิ่งแวดล้อมหนึ่งๆ ตัวอย่างเช่น การสะสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในพืชหรือสัตว์ในปริมาณที่มากขึ้น มีความเข้มข้นสูงกว่าที่พบในน้ำที่พืชหรือสัตว์นั้นอาศัยอยู่ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์อาจเกิดการสะสมเข้มข้นขึ้นโดยตรงจากน้ำโดยสิ่งมีชีวิต หรืออาจมีการแลกเปลี่ยนจากสิ่งมีชีวิตหนึ่งไปยังสิ่งมีชีวิตหนึ่งโดยผ่านทางห่วงโซ่อาหารในระดับที่สูงกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การเจือจาง (dilution)

เกิดจากการแพร่กระจายของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ตลอดลำน้ำจากจุดแหล่งกำเนิด โดยสารเคมีจะสะสมติดไปกับสิ่งมีชีวิตที่เคลื่อนที่โดยการว่ายน้ำจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง (pelagic organisms) ทำให้สามารถแพร่กระจายได้รวดเร็วและเป็นระยะทางไกล

การเข้มข้นและการเจือจางของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำมีกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องดังรูปที่ 2.1



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1 การเคลื่อนย้ายของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำ (Ketchum, 1967)

4.3 การสลายตัวและการเปลี่ยนรูป (degadation and transformation)

เนื่องจากน้ำเป็นตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกริยาเคมี (Crosby, 1973) ดังนั้นเมื่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ จะมีการเปลี่ยนรูปซึ่งแตกต่างไปจากสารเดิม (transformation) การเปลี่ยนรูปของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์นั้นเกิดจากการสลายตัวเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง (degradation) หรือเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่ได้รับสารนั้นเข้าไป

การเปลี่ยนรูปของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

4.3.1 <u>การเปลี่ยนรูปที่ไม่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต</u> (non-biological transformation) การเปลี่ยนรูปลักษณะนี้เกิดขึ้นโดยมีปัจจัยที่สำคัญคือ แสงสว่าง ตัวรีดิวซ์ และความเป็นกรด-ด่างของน้ำ กระบวนการของการเปลี่ยนรูปที่ไม่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต ที่สำคัญคือ

1). กระบวนการทางฟิสิกส์-เคมี ได้แก่ การสลายตัวเนื่องจากแสง (photo-degradation) โดยมีแสงอุลตราไวโอเลตเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนรูปของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ การสลายตัวจะเกิดขึ้นหลังจากมีการดูดกลืนแสงเข้าไปในสารเคมีนั้น

2). กระบวนการทางเคมี เป็นการเปลี่ยนรูปของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ ที่เกิดจากปฏิกริยาเคมีที่สำคัญคือ ออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และรีดักชัน

4.3.2 <u>การเปลี่ยนรูปที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต</u> (biological transfomation) การเปลี่ยนรูปของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์โดยสิ่งมีชีวิตนั้น ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ คือ การสลายตัวทางชีวภาพ (biodegradation) การทำลายพิษ (detoxification) และการสันดาป (metabolism) (Connell และ Miller, 1984) กระบวนการดังกล่าวอาจทำให้ความเป็นพิษของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่ตกค้างในร่างกายลดลง หรืออาจขับถ่ายออกจากร่างกายได้ง่ายขึ้น บางชนิดอาจเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุพันธุ์ที่มีความเป็นพิษเพิ่มขึ้นได้ปฏิกริยาการเปลี่ยนรูปที่ก่อให้เกิดการทำลายพิษและการสลายตัวของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์นั้น เกิดขึ้นได้ในพืชน้ำและสัตว์น้ำชั้นสูง รวมทั้งสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและตัวอ่อนของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำ (Johnson และคณะ, 1971) โดยทั่วไปแล้ว กิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆมีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการเปลี่ยนรูปทางชีวเคมีของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์

ในแหล่งน้ำ (Hill และ Wright, 1978) กระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์โดยสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำประกอบด้วยปฏิกริยาที่สำคัญๆ คือ ปฏิกริยารีดักชั่น (reduction) ออกซิเดชัน (oxidation) ไฮโดรลิซิส (hydrolysis) และคอนจูเกชัน (conjugation)

5. ผลกระทบของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ต่อสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำ

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำในด้านต่างๆ (สุธรรม สิทธิชัยเกษม, 2528) ดังนี้

5.1 ผลกระทบด้านชีววิทยา

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นๆ ระดับความรุนแรงของอันตรายขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดและความเข้มข้นของสารเคมี ความต้านทานของสิ่งมีชีวิตต่อสารเคมี ลักษณะคุณภาพของแหล่งน้ำ เป็นต้น

ลักษณะผลกระทบที่เป็นอันตรายของสารเคมี แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

5.1.1 ผลกระทบต่อชีวิตของสัตว์น้ำ (lethal effect) คือ การที่สัตว์น้ำได้รับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์จนถึงระดับที่ทำให้สัตว์น้ำตาย ปกติผลกระทบประเภทนี้จะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและรวดเร็ว ปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ ความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำ ซึ่งความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตของสัตว์น้ำ เรียกว่าความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์น้ำตาย (lethal concentration)

5.1.2 ผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของสัตว์น้ำ (sublethal effect) คือการที่สัตว์น้ำได้รับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในระดับที่ไม่ทำให้สัตว์น้ำตาย แต่เป็นอันตรายต่ออวัยวะและระบบต่างๆ ของร่างกาย และต่อความเป็นอยู่ตลอดช่วงชีวิตของสัตว์น้ำ เช่น พฤติกรรม การเจริญเติบโต

ขบวนการทางสรีรวิทยา และพันธุกรรม เป็นต้น ผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของสัตว์น้ำจะมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป และอาศัยระยะเวลานานพอควรจึงจะแสดงอาการ ความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบประเภทนี้จะต่ำกว่าความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์น้ำตาย เรียกว่า ความเข้มข้นที่ต่ำกว่าความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์น้ำตาย (sublethal concentration)

5.2 ผลกระทบด้านนิเวศวิทยา

การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำมีผลกระทบที่เป็นอันตรายโดยตรงต่อกลุ่มมีชีวิตทุกกลุ่มของส่วนประกอบที่มีชีวิต (biological component) ของระบบนิเวศแหล่งน้ำ นั่นคือ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เว้นแต่จุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์เป็นแหล่งพลังงานได้ อันตรายของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำดังกล่าวยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อเนื่องต่อส่วนประกอบพลังงาน (energy compartment) ของระบบนิเวศแหล่งน้ำด้วย นั่นคือ เกิดการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนย้ายของแร่ธาตุอาหารและพลังงาน ในแหล่งน้ำด้วย

5.3 ผลกระทบด้านการประมง

การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำมีผลกระทบต่อการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ

5.3.1 <u>ผลกระทบต่อการประมง</u> การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำทำให้ขนาดของทรัพยากรประมงในแหล่งน้ำลดลง เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของทรัพยากรประมงและเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมต่างๆของสัตว์น้ำที่มีคุณค่าทางการประมง โดยเฉพาะผลกระทบต่อพฤติกรรมการผสมพันธุ์และการวางไข่ของสัตว์น้ำ และการอพยพย้ายถิ่นของสัตว์น้ำ

5.3.2 <u>ผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ</u> การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำที่ใช้เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอาจทำให้แหล่งน้ำนั้นๆไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไป เนื่องจากมีการสะสมของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในดินตะกอนสูง

รวมทั้งมีการสะสมเป็นปริมาณมากในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคสัตว์น้ำเหล่านั้นได้

6. กลไกการออกฤทธิ์ของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์

สารเคมีกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต มีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholinesterase enzyme) ซึ่งอยู่บนเยื่อเซลล์หลังซินแนปส์ (postsynaptic membrane) ของเซลล์ประสาทหรือกล้ามเนื้อที่เป็นตัวรับกระแสความรู้สึกจากเซลล์ประสาทอื่น จึงทำให้การทำงานของเซลล์ชะงักลง (สุภาณี พิมพ์สมาน, 2537)

โดยปกติเมื่ออะซิติลโคลีน (acetylcholine) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาท แพร่กระจายในรอยต่อเซลล์ประสาท (synapse) และไปจับกับตัวรับอะซิติลโคลีน (acetylcholine receptor) ที่เยื่อเซลล์หลังซินแนปส์แล้ว อะซิติลโคลีนจะต้องถูกทำลายไปอย่างรวดเร็วด้วยเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส เพื่อให้เยื่อเซลล์หลังซินแนปส์กลับเข้าสู่สภาวะปกติและพร้อมที่จะถูกกระตุ้นได้อีก แต่การรวมตัวระหว่างออร์กาโนฟอสเฟตหรือคาร์บาเมตกับอะซิติลโคลีนเอสเตอเรส จะทำลายฤทธิ์เอนไซม์ให้ไม่สามารถทำหน้าที่ทำลายอะซิติลโคลีนได้ตามปกติ เมื่อมีอะซิติลโคลีนสะสมเป็นจำนวนมากที่รอยต่อเซลล์ประสาท ทำให้เกิดการเพิ่ม depolarization ของ เยื่อเซลล์หลังซินแนปส์อยู่ตลอดเวลา เกิดการกระตุ้นเซลล์ประสาทส่วนกลางอย่างมากและติดต่อกัน แมลงจะแสดงอาการว่องไวผิดปกติ กล้ามเนื้อกระตุกจนเกิดอาการเกร็ง แต่เมื่อความเข้มข้นของอะซิติลโคลีนเพิ่มมากเกินไปจะทำให้เกิดฤทธิ์ตรงข้าม คือ เกิดอาการอ่อนเพลียมากจนอัมพาตและตายในที่สุด (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2534 ; Cheremisnoff และ King, 1994)

สำหรับสารเคมีกำจัดแมลงในกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์นั้น มีฤทธิ์ในการน็อก-ดาวน์ โดยแสดงผลเกี่ยวข้องกับโครงสร้างส่วนที่เป็นสภาพมีขั้วโมเลกุล ซึ่งเกี่ยวข้องกับการผ่านเข้าสู่ลำตัวแมลงของสารนั้น หรือการเคลื่อนย้ายของสารไปยังตำแหน่งออกฤทธิ์ในระบบประสาท แมลงจะมีอาการเป็นอัมพาตอย่างรวดเร็วแต่ไม่ตาย และหลังจากช่วงระยะหนึ่ง (2 - 3 ชั่วโมง) แมลงจะฟื้นได้

อย่างไรก็ตาม ยังไม่ทราบแน่ชัดถึงกระบวนการทางชีวเคมีและสรีรวิทยาในสิ่งมีชีวิตพวกสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (invertebrate) เมื่อได้รับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ แต่ผลกระทบหลักของสารเหล่านี้คือ มีผลต่อระบบประสาทเช่นเดียวกับแมลง โดยจะไปรบกวนการส่งกระแสประสาทเป็นผลให้

การเคลื่อนที่ของ filter-feeding appendages ของสิ่งมีชีวิตน้อยลง หรือเคลื่อนที่ไม่ได้เลยรวมไปถึงการกรองอาหารและการรับอาหารของเซลล์ลดลง (Ware, 1983)

7. การทดสอบสารพิษทางพิษวิทยา

การทดสอบทางพิษวิทยาของนิเวศวิทยาแหล่งน้ำ (aquatic toxicity tests) เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยในการประเมินความเป็นพิษของสารเคมีทั้งชนิดและปริมาณ ตลอดจนทำนายระดับความเข้มข้นของสารเคมีที่จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อประชากรสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศแหล่งน้ำ เทคนิคที่นิยมใช้ในการศึกษาทดลองทางพิษวิทยาโดยใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวทดสอบ (bio-testing) กับสารเคมีที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และสังเกตผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตนั้น แล้วนำผลมาแปรความหมายเทียบกับตัวมาตรฐานหรือตัวควบคุมโดยใช้หลักการทางสถิติมาช่วยในการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล เทคนิคดังกล่าวเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า "เทคนิคทางชีววิเคราะห์" (bioassay) ซึ่งได้มีการนำเทคนิคทางชีววิเคราะห์นี้มาใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเค็ม ความขุ่น ปริมาณคลอรีน และสารพิษต่างๆ เช่น สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ ตัวทำละลาย และโลหะหนัก เป็นต้น ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญในระบบนิเวศแหล่งน้ำถึงความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำเพียงใดและถ้าพารามิเตอร์ในแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตชนิดใดได้บ้างและมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ยังอาจใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ และเป็นมาตรฐานคุณภาพน้ำที่จะใช้ควบคุมปริมาณการปล่อยน้ำเสียที่ควรได้รับการอนุมัติจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอีกด้วย

7.1 การทดสอบพิษเฉียบพลัน (acute toxicity test)

การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน เป็นการทดสอบเพื่อตรวจวัดผลหรืออาการที่สัตว์ทดลองตอบสนองต่อสารพิษภายหลังจากได้รับสารพิษในปริมาณมากเพียงครั้งเดียว หรือหลายครั้งในช่วงระยะเวลาสั้นๆภายใต้สภาวะที่ควบคุม โดยทั่วไปมักแสดงค่าความเป็นพิษเฉียบพลันด้วยสัญลักษณ์ LC_{50} (median lethal concentration) ซึ่งหมายถึง ความเข้มข้นต่ำสุดของสารพิษที่ทำให้ประชากรสัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 ของประชากรสัตว์ทดลองทั้งหมดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยปกติใช้ระยะเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการทดสอบ 24 - 96 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสัตว์ทดลอง เกณฑ์การตอบสนองในการทดสอบพิษเฉียบพลันนั้นคือ การตาย (mortality) ซึ่งพิจารณาจากความบกพร่องในการเคลื่อนที่ (lack of movement) และมีปฏิกริยาสนองตอบน้อยเมื่อได้รับการกระตุ้น สำหรับสัตว์ทดลองที่มีขนาดเล็ก การพิจารณาการตายค่อนข้างยาก จึงมักใช้การไม่เคลื่อนไหว (immobilization) และการสูญเสียการทรงตัว (loss of equilibrium) ของสัตว์ทดลองเป็นเกณฑ์ โดยแสดงค่าความเป็นพิษด้วยค่า EC_{50} (median effective concentration) (Parrish, 1985)

7.2 การทดสอบพิษรองเฉียบพลัน (sublethal toxicity test)

การทดสอบความเป็นพิษรองเฉียบพลัน เป็นการทดสอบโดยให้สัตว์ทดลองได้รับสารพิษในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์ทดลองตายจากการทดสอบพิษเฉียบพลัน แต่ได้รับซ้ำกันหลายๆครั้งและต่อเนื่องกัน แล้วสังเกตการตอบสนองต่างๆที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะการตอบสนองด้านพฤติกรรม ที่สำคัญได้แก่ การเติบโต (growth) การสืบพันธุ์ (reproduction) การมีชีวิตรอด (survival) และการมีอายุขัยของประชากรสัตว์ทดลอง ความเข้มข้นของสารพิษที่ได้จากการทดสอบพิษรองเฉียบพลันนั้น จะใช้ในการประมาณความเข้มข้นที่ปลอดภัย (safe concentration) ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบ (no-effect concentration) หรือเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (maxium aceptable toxic concentration, MATC) โดยไม่เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (Buikema และคณะ, 1982) สำหรับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ โดยทั่วไปแล้วสามารถทำให้สิ่งมีชีวิตตายได้โดยตรงที่ระดับความเข้มข้นที่น้อยมาก การศึกษาถึงระดับพิษรองเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์จึงทำให้มีความเข้าใจถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำได้ดีขึ้น

8. การหาค่าความเป็นพิษเฉียบพลัน , LC_{50}

วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการหาค่าความเป็นพิษเฉียบพลันหรือค่า LC_{50} ของสารพิษต่อสัตว์ทดลองที่นิยมกันอย่างกว้างขวางคือ วิธีโพรบิท (probit analysis) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาโดย Finney, 1971 โดยให้สิ่งมีชีวิตหรือสัตว์ทดลองได้รับสารพิษหรือตัวกระตุ้น (stimuli) ชนิดใดชนิดหนึ่งแล้วพบว่า สิ่งมีชีวิตจะตอบสนองต่อสารพิษนั้นโดยที่จำนวนของสิ่งมีชีวิตที่แสดงอาการตอบสนอง (response) ต่อสารพิษจะแตกต่างกันที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งเรียกการตอบสนองของสัตว์ทดลองนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ว่า biological variation โดยตัวที่อ่อนแอหรือว่องไวต่อการตอบสนอง (sensitivity) จะแสดงอาการออกมาก่อนเมื่อได้รับสารพิษที่ความเข้มข้นระดับต่ำๆ ส่วนตัวที่ทนทานต่อสารพิษจะแสดงอาการเมื่อได้รับสารพิษที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นหรือปริมาณ (dose) และการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตนี้ จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งซิกมอยด์ (sigmiod curve) เรียกกราฟนี้ว่า "dose-response cruve" (รูปที่ 2.2ก) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เปอร์เซนต์การตอบสนองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารพิษกับการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตมาเขียนเป็นกราฟ log จะได้กราฟสะสมโดยมีการกระจายแบบ normal distribution (รูปที่ 2.2ข) ซึ่งสามารถอธิบายได้ถึงระดับความทนทานของประชากรสัตว์ทดลองแต่ละตัว โดยที่ระดับความเข้มข้นสารพิษต่ำๆ มีสัตว์ทดลองเพียงจำนวนเล็กน้อยเท่านั้นที่ตาย ส่วนระดับความเข้มข้นปานกลางสัตว์ทดลองเกือบทุกกลุ่มทดลองได้รับผลกระทบ และที่ระดับความเข้มข้นสูงๆมีเพียงสัตว์ทดลองที่ทนทานมากๆเท่านั้นรอดชีวิต และเมื่อนำความสัมพันธ์นี้มาแจกแจงความถี่ จะได้แผนภูมิการแจกแจงเป็นรูปโค้งระฆังคว่ำ (normal frequency distribution) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ทางซ้ายสุดของเส้นโค้งนี้ คือ พวกที่ตอบสนองได้ว่องไวที่สุด (hypersusceptible organisms) และพวกที่อยู่ทางขวาสุดคือ พวกที่ทนทานต่อสารพิษ (resistant organisms)

ประชากรสิ่งมีชีวิตที่มีการแจกแจงความถี่แบบ normal frequency distribution นี้มีค่า $\mu \pm 1\delta$, $\mu \pm 2\delta$ และ $\mu \pm 3\delta$ เท่ากับ 68.3 , 95.5 และ 99.7 เปอร์เซนต์ ของประชากรทั้งหมด ตามลำดับ เมื่อ μ คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นทั้งหมด และ δ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้น

เนื่องจากการหาค่า LC_{50} จากเส้นโค้งซิกมอยด์จะได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำจำเป็นต้องมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและเปอร์เซนต์การตอบสนองจำนวนมาก เพื่อแก้ปัญหานี้จึงมีการเปลี่ยนความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งนี้ให้เป็นเส้นตรง โดยการเปลี่ยนความน่าจะเป็นในการตอบสนอง (probability, P) หรือเปอร์เซนต์ในการตอบสนองให้อยู่ในเทอมของ normal equivalent deviation (N.E.D) (Finneny, 1952) โดยสมการดังนี้

$$Y' = (X - \mu) / \delta \qquad (1)$$

เมื่อ $X = \mu$ จะได้ $Y' = 0$

Y'= N.E.D ของค่า P ใดๆ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 เมื่อ $\mu = 0$ และ $\delta = 1$

X = ค่า log ของความเข้มข้นใดๆ ถ้าให้ $b = 1 / \delta$ และ $a' = -\mu / \delta$

ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N.E.D กับค่าความเข้มข้นจะเป็นสมการเส้นตรง คือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$Y' = a' + bX \qquad \text{——————} \quad (2)$$

จากสมการ (2) จะเห็นว่า Y′ มีค่าอยู่ระหว่าง -∞ ถึง +∞ และจะมีค่าเป็นลบเมื่อค่า $P < 0.5$ ดังนั้น เพื่อความสะดวกในการหาค่าทางสถิติ Bliss (1934) จึงเสนอให้เพิ่มค่าคงที่ (+5) ลงไปเพื่อปรับหน่วยให้มีค่าเป็นบวก ดังสมการ (3) และ (4) การปรับหน่วย N.E.D โดยการบวก 5 เข้าไปนี้ เรียกว่า โพรบิท (probit)

$$\text{probit } (Y) = 5 + Y' \qquad \text{——————} \quad (3)$$

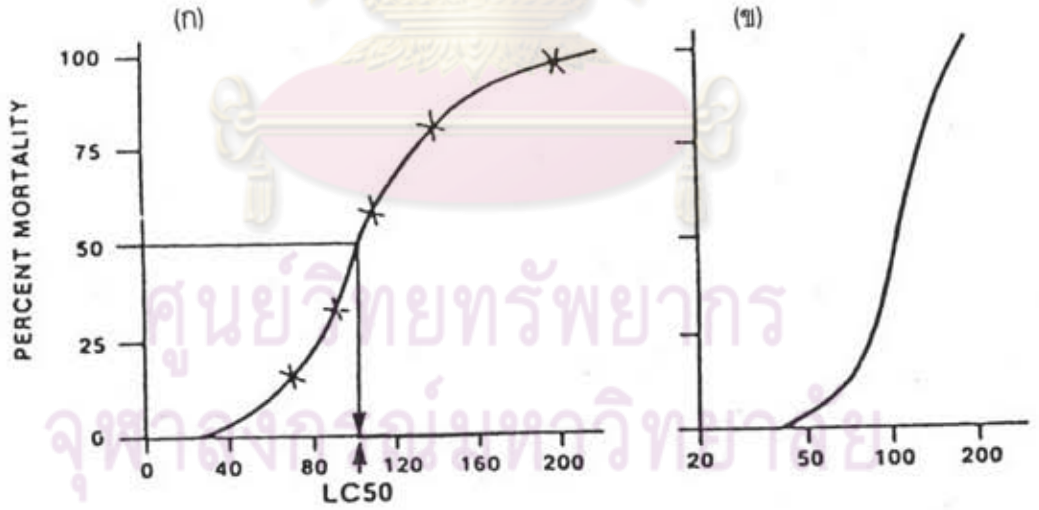
$$Y = 5 + a + bX$$

ถ้าให้ $a' = 5 + a$

ดังนั้น $Y = a' + bX$ ——————— (4)

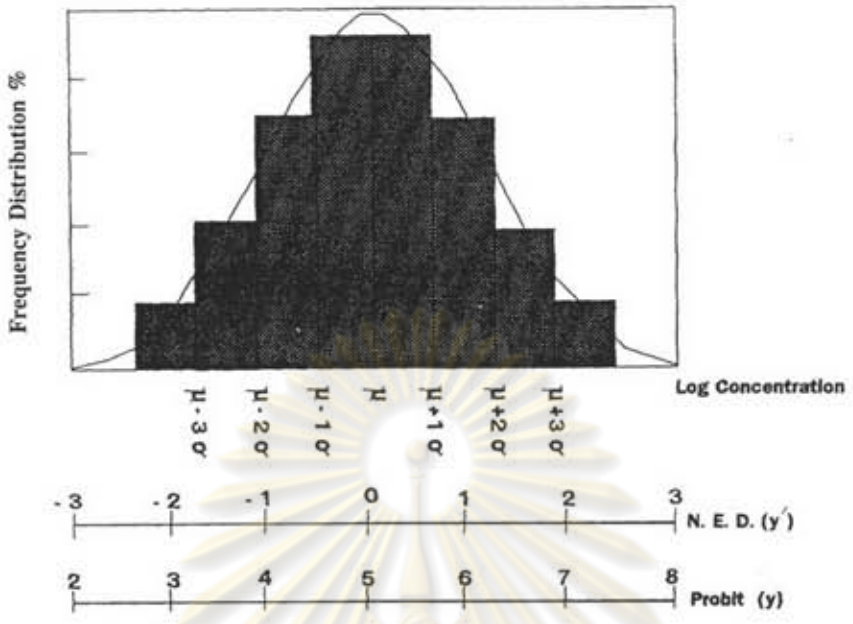
จากสมการ (4) ยังเป็นสมการเส้นตรง ด้วยเหตุนี้ การหาค่า LC_{50} จึงหาได้จากกราฟเส้นตรง (probit line) ระหว่างความเข้มข้นและค่าโพรบิต ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยเปลี่ยนค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองเป็นค่าโพรบิทเสียก่อน โดยการคำนวณจากสมการหรือดูจากตารางสำเร็จ (Finney, 1971)

ปัจจุบันการหาค่า LC_{50} สามารถทำได้สะดวกรวดเร็วโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปในการวิเคราะห์

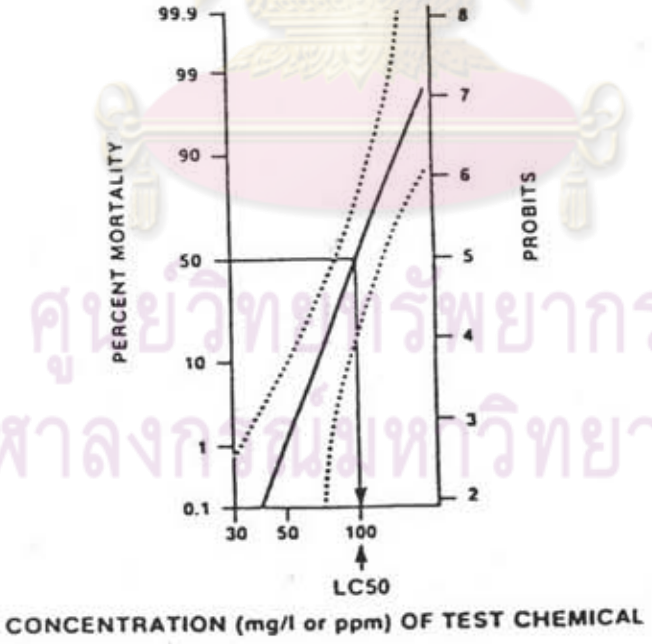


รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารพิษและเปอร์เซนต์การตอบสนองของสัตว์ทดลองมีลักษณะเป็นเส้นโค้งซิกมอยด์ (ก) และเมื่อเปลี่ยนเป็นกราฟล็อค (ข) (Rand และ Petrocelli, 1985)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 การแจกแจงความถี่แบบปกติ (normal freqency distribution) และความเข้มข้น (log concentration) N.E.D. และค่าโพรบิท (Rand และ Petrocelli, 1985)

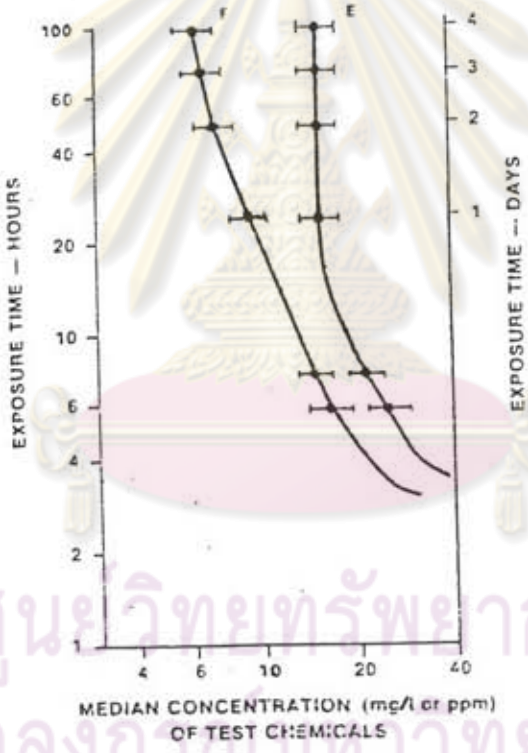


รูปที่ 2.4 กราฟเส้นตรงแสดงความเข้มข้นกับเปอร์เซนต์การตายและค่าโพรบิท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เส้นโค้งความเป็นพิษ (Toxicity curve)

การทำเส้นโค้งความเป็นพิษ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระดับเริ่มเป็นพิษหรือระดับเริ่มหยุดความเป็นพิษ ซึ่งคือระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 ที่ระยะเวลาน้อยที่สุด หรือความเข้มข้นที่ร้อยละ 50 ของประชากรสัตว์ทดลองสามารถมีชีวิตอยู่ในระยะเวลาหนึ่ง เรียกระดับความเข้มข้นนี้ว่า threshold หรือ incipient LC_{50} ซึ่งได้จากการเขียนเส้นโค้งของค่า LC_{50} ที่ระยะเวลาต่างๆ กันลง log scale โดยที่ค่า incipient LC_{50} จะอยู่ตรงจุดที่เส้นโค้งเริ่มเป็นเส้นตรงขนานกับแกนที่เป็นระยะเวลาสัมผัส (asymptotic LC_{50}) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ระยะเวลาทดลองสำหรับหาค่า incipient LC_{50} นี้ควรเป็น 48 - 96 ชั่วโมง (ประสงค์ โรจน์เลิศจรรยา, 2531)



รูปที่ 2.5 เส้นโค้งความเป็นพิษแสดงค่า incipient LC_{50} ของสารพิษสองชนิด E และ F (Randและ Petrocelli, 1985)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ไรแดงและสัตว์น้ำอื่น ๆ

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ต่อไรแดงและสัตว์น้ำอื่นๆ มีการศึกษากันค่อนข้างมาก รวบรวมมาได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับความเป็นพิษเฉียบพลันและความเป็นพิษรองเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ต่อไรแดงและสัตว์น้ำอื่นๆ

สารเคมีกำจัดแมลง	สิ่งมีชีวิตแหล่งน้ำ	LC_{50} or EC_{50}	ชั่วโมง	แหล่งที่มา
*Carbaryl	*Daphnia* spp.	6.4 µg/l	48-h EC_{50}	Sanders และ Cope,1966
*Pyrethrins	-	25 µg/l	-	-
Malathion	-	1.8 µg/l	-	-
Parathion	-	0.6 µg/l	-	-
Phosdrin	-	0.16 µg/l	-	-
Phosphamidon	-	8.8 µg/l	-	-
Diazinon	-	0.9 µg/l	-	-
Dibrom	-	0.35 µg/l	-	-
Dicholorvos	-	0.066 µg/l	48-h EC_{50}	Sanders และ Cope,1966
Methoxychlor	-	0.78 µg/l	-	-
Lindane	-	460 µg/l	-	-
Heptachlor	-	42 µg/l	-	-
*Dursban	*Gummarus lacustris*	0.11 µg/l	96-h LC_{50}	-
*Carbaryl	-	16 µg/l	-	Sanders และ Cope,1966
*Pyrethrum	-	12 µg/l	-	-
Rotenone	-	2,600 µg/l	-	-
Malathion	-	1.8 µg/l	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ)

สารเคมีกำจัดแมลง	สิ่งมีชีวิตแหล่งน้ำ	LC_{50} or EC_{50}	ชั่วโมง	แหล่งที่มา
Diazinon	*Gummarus lacustris*	200 µg/l	96-h LC_{50}	Sanders และ Cope,1966
Temephos	-	82 µg/l	-	-
Propoxur	-	34 µg/l	-	-
Diedrin	-	460 µg/l	-	-
Heptachor	-	29 µg/l	-	-
Aldrin	-	9,800 µg/l	-	-
Lindane	-	48 µg/l	-	-
Chordane	-	26 µg/l	-	-
Endosulfan	-	5.8 µg/l	-	-
Methoxychlor	*Gummarus lacustris*	0.8 µg/l	96-h LC_{50}	Sanders และ Cope,1966
Acrolein	*Daphnia magna*	57 µg/l	48-h LC_{50}	Macek et al.,1976a
Atrazine	-	6.9 µg/l	-	Macek et al.,1976b
Endosulfan	-	166 µg/l	-	Macek et al.,1976a
Heptachor	-	78 µg/l	-	Macek et al.,1976a
Lindane	-	485 µg/l	-	Macek et al.,1976c
Toxaphene	-	10 µg/l	-	Sandres,1980
Trifluralin	-	193 µg/l	-	Macek et al.,1976a
Trifluralin	*Daphnia pulex*	625 µg/l	48-h EC_{50}	Johnson และ Finley,1980
*Carbaryl	-	6.4 µg/l	-	-
Trifluralin	*Daphnia magna*	560 µg/l	-	-
Methyl parathion	-	0.14 µg/l	-	-
*Dursban	*Pimephales promelas*	44 µg/l	-	Holcombe et al., 1982
*Permethrin	fathead minnow	7.2 µg/l	-	-
*Sevin	*Mysidopsis bahia*	7.7 µg/l	96-h LC_{50}	Nimmo et al.,1981

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ)

สารเคมีกำจัดแมลง	สิ่งมีชีวิตแหล่งน้ำ	LC_{50} or EC_{50}	ชั่วโมง	แหล่งที่มา
*Sevin® dust	Mosquito fish	103 µg/l	96-h LC_{50}	Naqvi และ Hawkins,
Spartan®	*Gambusia affinis*	12 µg/l	-	
*Fonofos	*Daphnia* spp.	2.7 µg/l	48-h LC_{50}	Fairchild,Little และ
*Fonofos	Bluegill	5.3 µg/l	96-h LC_{50}	-
*Fonofos	midge	39 µg/l	48-h LC_{50}	-
*Chlorpyrifos	*Daphnia longispina*	0.3 µg/l	48-h EC_{50}	van wijngaarden
*Chlorpyrifos	*Simocephalus*	0.4 µg/l	-	
*Chlorpyrifos	*Daphnia magna*	1.0 µg/l	48-h EC_{50}	Kersting และ van
Micro-Tech®	*Ceriodaphnia dubia*	14.36 µg/l	48-h LC_{50}	Ort,Fairchild และ
Bicep®	-	15.93 µg/l	-	-
Extrazine®	-	32.99 µg/l	-	-
Lexone®	-	35.36 µg/l	-	-
*etofenprox	*Culex triaeniorhynchus*	1.0 mg/l	24-h LC_{50}	Gautam, 1994
Dieldrin	*Puntius gonionotus*	12.1 µg/l	96-h LC_{50}	พีระ อ่าวสมบูรณ์,
Heptachor	-	20.6 µg/l	-	2527
*Carbaryl	*Cyprinus carplo*	7.0 mg/l	48-h LC_{50}	มนู โพธารส , 2509
-	*Puntius gonionotus*	1.84 mg/l	96-h LC_{50}	วินิจ ตันสกุล, 2528
-	*Poecilia reticulata*	3.97 mg/l	-	-
-	*Esomus metallicus*	4.21 mg/l	-	-
Lindane	*Tilapia nilotica*	0.0592 mg/l	24-h LC_{50}	ยงยุทธ ไผ่แก้ว และ
DDT	-	0.0645 mg/l	-	อรุณี สมมณี , 2527
Chlordane	-	0.0752 mg/l	-	-

หมายเหตุ เครื่องหมาย * หมายถึงสารเคมีกำจัดแมลงที่ศึกษาหรือสารที่มีคุณสมบัติคล้ายกับสารที่ทำการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ความเป็นพิษรองเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ต่อไรแดงและสัตว์น้ำอื่นๆ

สำหรับการตอบสนองของไรแดงหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆในแหล่งน้ำต่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในด้านพิษรองเฉียบพลัน มีการศึกษาวิจัยกันมากขึ้น ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

Stratton และ Corke (1981) ศึกษาพบว่า ค่า 48-h LC50 ของ permethrin ต่อ *Daphnia magna* ในระยะตัวอ่อน (juvenile) และ ตัวเต็มวัย (adult) มีค่าเท่ากับ 0.2 - 0.6 ไมโครกรัมต่อลิตร และยังศึกษาในระดับความเป็นพิษรองเฉียบพลัน พบว่า permethrin มีผลไปยึดจับ (adhesion) อนุภาคแขวนลอยในน้ำและยึดติดกับหนวด (antenna) ซึ่งเป็นอวัยวะที่ใช้ว่ายน้ำของ *Daphnia magna* ทำให้การเคลื่อนที่เป็นไปได้ยาก จากการศึกษาครั้งนี้ Anderson (1989) ได้เสนอว่าการเกิด adhesion นั้นอาจเป็นการตอบสนองที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปของสัตว์เมื่อได้รับสารเคมีในระดับความเข้มข้นรองเฉียบพลัน (sublethal concentration) ซึ่ง Anderson และ Shubat (1984) ได้เคยทำการศึกษาพบว่า ผลกระทบของไพรีทรอยด์สังเคราะห์ flucythrinate ต่อการว่ายน้ำของ Pteronarcys เกิดขึ้นรวดเร็วภายหลังได้รับสารทดสอบเพียง 2 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 0.033 ไมโครกรัมต่อลิตร และเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของสารทดสอบ 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่า สัตว์ทดลองมีความบกพร่องในการเคลื่อนที่ถึง 55%

Makee และ Knowles (1986) ศึกษาความเป็นพิษรองเฉียบพลันที่มีผลในระดับชีวเคมี พบว่า หลังจาก *Daphnia magna* ได้รับสารไพรีทรอยด์สังเคราะห์ fenvalerat ที่ความเข้มข้น 0.25 และ 0.5 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 7 วัน มีผลให้ระดับโปรตีน , RNA , DNA และ glycogen ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Reddy, Bhagyalakshmi และ Pamamurthy (1986) ได้ศึกษาความเป็นพิษรองเฉียบพลันของ malathion ในระดับชีวเคมี พบว่า มีผลต่อการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตของ crustaceans บางชนิด

Day และ Kaushik (1987a) ศึกษาผลของสารไพรีทรอยด์สังเคราะห์ fenvalerate ที่มีต่อช่วงชีวิตของ *Daphnia geleata mendotae* ภายใต้การทดลองแบบ static renewal พบว่า ที่ความเข้มข้น 0.005 ไมโครกรัมต่อลิตร มีผลให้สัตว์ทดลองมีอายุอยู่ได้ยาวนานขึ้นแต่จำนวนลูกที่เกิดจะลดลง สังเกตจากการวัดขนาดเฉลี่ยของถุงไข่ (brood) และนับจำนวนสะสมของลูกที่เกิด และที่ความเข้มข้นสูงขึ้น (0.01 - 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร) มีผลในการลดลงของการมีชีวิตรอดและการสืบพันธุ์ของสัตว์ทดลอง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Makee และ Knowles (1986) ได้รายงานไว้ว่า ที่ความเข้มข้นของ

fenvalerate 0.25 และ 0.5 ไมโครกรัมต่อลิตร จะมีผลต่อการสืบพันธุ์หลังจากได้รับสารทดสอบ 13 และ 21 วันตามลำดับ โดยจำนวนลูกสะสมต่อตัวเมียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

Day และ Kaushik (1987b) พบว่า อัตราการกรองอาหาร (^{14}C-labeled *Chlorella reinhardii*) ของ *Daphnia geleata mendotae* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับสาร fenvalerate ที่ระดับความเข้มข้นรองเฉียบพลัน (0.01 ไมโครกรัมต่อลิตร) เป็นเวลาเพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น และยังพบว่า fenvalerate มีผลไปยึดเกาะอนุภาคบน setate appendages ของ *Daphnia* ทำให้การเคลื่อนที่เป็นไปได้ยาก

Savino และ Tanabe (1989) ศึกษาพบว่าพิษรองเฉียบพลันของสาร phenanthrene, nicotine และ pinane มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนลูกและการเจริญเติบโตของ *Daphnia pulex* โดยค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารทั้งสามที่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์ทดลอง (LOEC) มีค่าเป็น 16% , 29% และ 3% ของค่า 48-h LC_{50} ตามลำดับ

Fairchild , Little และ Huckins (1992) ศึกษาพบว่าสารเคมีกำจัดแมลงออร์กาโนฟอสเฟต 'fonofos' มีพิษสูงต่อปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยเฉพาะ *Daphnia* sp. จะมีความไวสูงสุด fonofos มีความเป็นพิษเรื้อรังต่อการสืบพันธุ์ วัดได้ที่ความเข้มข้น $\geq$ 0.08 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยไปลดจำนวนลูกของ *Daphnia* เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และจากการทดลองได้ค่า NOEC เท่ากับ 0.42 ไมโครกรัมต่อลิตร และค่า LOEC เท่ากับ 1.45 ไมโครกรัมต่อลิตร

Hanazato (1992) ศึกษาพบว่า *Daphnia ambigua* จะมีการพัฒนาโครงสร้างที่เป็นโหนก (helmet) ขึ้น เมื่อได้รับ carbaryl ที่ความเข้มข้นค่อนข้างสูงในระยะเวลาสั้น ซึ่ง Hanazato (1991) ได้ทำการทดสอบโดยสารเคมีกำจัดแมลงในกลุ่มคาร์บาเมตและออร์กาโนฟอสเฟตบางตัว ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แต่ไม่พบการตอบสนองดังกล่าวเมื่อทดสอบกับสารเคมีกำจัดวัชพืชและสารเคมีกำจัดเชื้อรา ทั้งนี้เนื่องจากสารเคมีกำจัดแมลงเป็นสารที่มีผลต่อระบบประสาท Hanazato และ Donson (1993) ศึกษาพบว่าการตอบสนองเมื่อได้รับสารเคมีกำจัดแมลง 'carbaryl' เป็นปรากฏการณ์โดยทั่วไปที่เกิดกับ *Daphnia* และการกระตุ้นระบบประสาทของ *Daphnia* sp. อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะแบบค่อยเป็นค่อยไปได้

Chu และ Lau (1994) พบว่าที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่าค่า LC_{50} ของ diazinon, malathion และ paraquat มีผลไปยับยั้งสารเคมีที่ดึงดูดการกินอาหารของกุ้ง *Matapenaeus ensis* ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์อาจมีผลต่อพฤติกรรมในการตอบสนองต่อการกระตุ้นของสารเคมีที่มีต่อกุ้งบางชนิดได้

Fernandez-Caslderrey, Ferrando และ Andreu Moliner (1994) ศึกษาความเป็นพิษรองเฉียบพลันของ endosulfan และ diazinon ที่ระดับความเข้มข้น 1/4, 1/2 และ 2/3 LC_{50} และ LC_{50} ของสารทั้งสอง พบว่าอัตราการกรองอาหาร (filtration rate) และอัตราการรับอาหาร (ingestion rate) ของ *Daphnia. magna* ลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลังได้รับสัมผัสสารทดสอบเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย