บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

วัตถุมีพิษส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชนั้นเป็นสารเคมีสังเคราะห์ซึ่งสารกำจัดแมลงเป็นสารกลุ่มใหญ่ที่มีอิทธิพลต่อเศรษฐกิจของประเทศและก่อให้เกิดปัญหาเนื่องจากการตกค้างในผลผลิต สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ซึ่งสถิติการนำเข้าของสารกำจัดแมลงโดยกรมส่งเสริมการเกษตร (ตาราง 2.1) พบว่าสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส (organophosphorus) และกลุ่มคาร์บาเมต (carbamates) เป็นกลุ่มของสารกำจัดแมลงที่ใช้กันมากเพื่อการเกษตร พิษของสารกำจัดแมลงทั้งสองกลุ่มนี้เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ ผู้บริโภคพืชผักที่มีสารเหล่านี้ตกค้าง รวมไปถึงสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่ได้รับสารเหล่านี้ ซึ่งผู้ที่ได้รับสารเหล่านี้ร่างกายจะมีการสะสมและเมื่อปริมาณมากจะเป็นเหตุให้ร่างกายอ่อนเพลียอวัยวะบางส่วนต้องทำงานหนักขึ้น เช่น ตับต้องทำงานหนักเพื่อขับถ่ายสารพิษออกจากร่างกาย หัวใจต้องทำงานหนักมากขึ้นในการสูบฉีดโลหิตไปทั่วร่างกายเพื่อที่จะทำให้สารพิษที่ปะปนอยู่ในอวัยวะและส่วนต่าง ๆ ส่งมาให้ตับทำการกำจัดออก นอกจากนี้อาจทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ อาการของผู้ที่ได้รับพิษจากสารกำจัดแมลงที่มีพิษร้ายแรงคือ การปวดศีรษะ ชาตามหน้า ปากและลิ้น คลื่นไส้ อาเจียน เหงื่อออก น้ำมูกน้ำตาไหล กลั้นอุจจาระปัสสาวะไม่อยู่ กล้ามเนื้อกระตุก อาการทางสมองคือ งุนงง กระสับกระส่ายพลุกพล่าน ชักหมดสติและเป็นอัมพาตในที่สุด ในกรณีที่รุนแรงจะทำให้สิ่งมีชีวิตถึงแก่ชีวิตได้

สาเหตุที่สารกำจัดแมลงเกิดเป็นสารพิษตกค้างในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร คือ

1) เกษตรกรใช้สารกำจัดแมลงปริมาณมากเกินไป เนื่องจากแมลงสามารถปรับตัวให้มีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดนั้น จึงทำให้เกษตรกรเพิ่มปริมาณการใช้สารกำจัดแมลง

2) เกษตรกรใช้สารกำจัดแมลงผิดประเภทหรือเกษตรกรอาจจะผสมสารกำจัดแมลงหลายชนิดปนกันเพื่อให้กำจัดแมลงได้ดีขึ้น จึงเป็นการเพิ่มความร้ายแรงของสารกำจัดแมลง

3) เกษตรกรไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการใช้สารกำจัดแมลง เช่น ปริมาณที่ควรใช้ หรือระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลิตภายหลังจากการใช้กำจัดแมลงนั้นๆ

ดังนั้นความปลอดภัยทางด้านอาหาร จึงเป็นประเด็นสำคัญที่ถูกนำมากล่าวถึงกันอย่างกว้างขวาง รวมไปถึงการถูกใช้เป็นข้อต่อรองทางการค้าระหว่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการซื้อขายสินค้าทางการเกษตร จึงต้องทำให้สินค้าทางการเกษตรสามารถแข่งขันกับประเทศอื่น ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในเรื่องของคุณภาพของสินค้าที่จะส่งออก เนื่องจากประเทศที่พัฒนาแล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกา ได้ใช้ข้อกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยด้านอาหารมาเป็นข้อต่อรองทางการค้าไม่ว่าจะเป็นด้านคุณภาพของผลผลิตและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ปลอดภัยจากสารตกค้างและมาตรการเข้มงวดในการนำเข้าสินค้า โดยมีการกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรที่นำเข้า เรียกว่า maximum residue limit (MRL) หมายถึง ปริมาณสูงสุดของสารที่จะให้มีได้ในผลผลิตการเกษตรมีหน่วยเป็น mg/kg (มิลลิกรัมของน้ำหนักสารต่อน้ำหนักกิโลกรัมของผลผลิต) ซึ่งถ้าหากปริมาณสารมีมากกว่าค่า MR แสดงว่าอยู่ในระดับที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค รวมทั้งมีมาตรการตรวจสอบปริมาณสารพิษตกค้างของสารเคมีบางชนิด ไม่ให้มีปริมาณเกินเกณฑ์มาตรฐานที่แต่ละประเทศกำหนด เพื่อเป็นการคุ้มครองผู้บริโภคภายในประเทศ

ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 9 (พ.ศ. 2545 – 2549) จึงมีกลยุทธ์ทางด้านพัฒนาการเกษตรต่าง ๆ เช่น มีการส่งเสริมการผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์และสินค้าเกษตรปลอดภัยจากสารพิษแบบครบวงจร โดยการสนับสนุนการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านระบบการผลิตและปัจจัยการผลิต ระบบการควบคุมคุณภาพ และรณรงค์เผลแพร่ความรู้ ความเข้าใจให้แก่เกษตรกรในการใช้สารเคมี มีการกำหนดพื้นที่ห้ามใช้สารเคมี เช่น พื้นที่ต้นน้ำ พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำและชุมชน รวมทั้งเร่งรัดให้มีการจัดการการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการในแปลงเพาะปลูกการทำเขตกรรมที่ดีและเหมาะสมให้กับเกษตรกร

1. วัตถุอันตรายทางการเกษตร

วัตถุอันตรายทางการเกษตร ตามที่ปรากฏในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 หมายถึง สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชซึ่งจัดอยู่ในประเภทที่ 4 คือวัตถุมีพิษและจำกัดความจำเป็นแก่การควบคุมจะถูกจัดไว้ในวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 คือผลิต นำเข้า ส่งออก หรือมีไว้ ต้องได้รับอนุญาตแลต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนด

สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (pesticide) หมายถึง สารหรือส่วนผสมของสารใด ๆ ที่ได้มาจากการสังเคราะห์ขึ้น หรือที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกัน ควบคุมและทำลายศัตรูพืช ได้แก่ เชื้อสาเหตุของโรคพืชแมลงและวัชพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 สถิติการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืช พ.ศ. 2549

ประเภทสารกำจัดศัตรูพืช	ปริมาณ(กก.)	มูลค่า (บาท)
สารกำจัดแมลง	-	-
กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส	11,748,232.39	2,211,250,653
กลุ่มคาร์บาเมต	6,122,730.24	1,152,419,427
กลุ่มออร์กาโนคลอรีน	2,287,899.20	430]628,066.6
กลุ่มไพรีทรอยด์ส	129,994.27	24,467,507.03
กลุ่มอื่นๆ	198,241.26	37,312,942.16
สารป้องกันและกำจัดโรคพืช	9,383,248.62	1,722,207,413.34
สารกำจัดวัชพืช	62,129,173.45	6,820,815,586.08
สารกำจัดไร	336,625.00	96,470,531.08
สารกำจัดหนู	182,255.00	21,059,543.00
สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	1,728,595.00	191,468,084.43
สารกำจัดหอยและหอยทาก	563,605.20	61,298,037.00
สารรมควันพิษ	952,509.00	129,172,217.00
สารกำจัดไส้เดือนฝอย	-	-
รวม	**95,763,108.63**	**12,898,570,004.65**

สารกำจัดแมลง

สารกำจัดแมลง หมายถึง สารที่สามารถฆ่าหรือทำลายแมลง สารนี้มีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และมนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมา ลักษณะสารกำจัดแมลงที่ดีนั้น ควรจะฆ่าแมลงได้อย่างรวดเร็ว ไม่มีพิษต่อสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง รวมทั้งมนุษย์ ราคาถูก สามารถหาง่าย สถานะทางเคมีคงทน ไม่ติดไฟ ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ อีกที่ไม่มีฤทธิ์ในการฆ่าแมลง แต่สามารถขับไล่แมลง (repellents) ล่อแมลงให้เข้ามาหา (attractants) ทำให้แมลงเป็นหมัน (chemosterilants) ควบคุมการเจริญเติบโตของแมลง (growth regulators) ซึ่งสารเหล่านี้รวมไว้ในกลุ่มสารกำจัดแมลงด้วย การออกฤทธิ์ของสารกำจัดแมลง เมื่อสารกำจัดแมลงเข้าสู่ภายในตัวแมลงก็จะเข้าไปทำลายระบบการดำรงชีวิต เช่น ก่อให้เกิดโรค เกิดการเปลี่ยนแปลงนิสัย การเจริญเติบโตและความสามารถในการสืบพันธุ์ หรือทำลายแมลงให้ตายในที่สุด สารกำจัดแมลงเมื่อจำแนกตามการออกฤทธิ์แบ่งออกได้ดังนี้ (อุดมลักษณ์, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1. สารออกฤทธิ์เมื่อดูดซึมเข้าสู่กระเพาะอาหาร (stomach toxicant) แมลงกินสารพิษเข้าไปเมื่อตกถึงกระเพาะอาหารจะถูกดูดซึม และออกฤทธิ์ในระบบทางเดินอาหารของแมลง

2. สารออกฤทธิ์เมื่อสัมผัส (contact toxicant) สารพิษจะออกฤทธิ์เมื่อสัมผัสถูกตัวแมลงโดยดูดซึมเข้าสู่ตัวแมลง

3. สารรมควัน (fumigant) สารนี้มีคุณสมบัติคือระเหยง่าย และจะออกฤทธิ์เมื่อเข้าสู่แมลงทางระบบหายใจในระดับความเข้มจ้นที่สูงพอเพียงกับการออกฤทธิ์

4. สารดูดซึม (systemic toxicant) สารนี้มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี จึงซึมผ่านรากของพืชไปสู่ลำต้นและใบ จึงเหมาะสำหรับใช้กับแมลงจำพวกปากดุดและปากเจาะ

5. สารอุดตันทางเดินหายใจ (suffocation material) เป็นสารจำพวกน้ำมันซึ่งสารนี้จะเข้าไปอุดตันทางเดินหายใจของแมลง

การพิจารณาความเป็นพิษทางการเกษตร

การจำแนกระดับอันตราย (hazard) ของสารพิษทางการเกษตร จัดแบ่งโดยการวัดความเป็นพิษ (toxicity) ของสารนั้น ค่าความเป็นพิษนี้เรียกว่า "LD_{50}" (lethal dose) ซึ่งหมายถึง ค่าหรือขนาดของวัตถุมีพิษที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตลงครึ่งหนึ่งของจำนวนสัตว์ทดลองทั้งหมด โดยคิดเป็นมิลลิกรัมของวัตถุมีพิษต่อน้ำหนักตัวของสัตว์ทดลอง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เช่น สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดหนึ่ง หนัก 1 มิลลิกรัมสามารถทำให้หนูซึ่งเป็นสัตว์ทดลองทั้งหมดซึ่งมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 1 กิโลกรัม เสียชีวิตลงครึ่งหนึ่ง ดังนั้น LD_{50} เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การวัดความเป็นพิษที่นิยมใช้กันทั้งในทางการเกษตรและการแพทย์ คือ วิธีวัดผลความเป็นพิษโดยฉับพลัน (acute toxicity) วิธีนี้เป็นวิธีวัดผลของวัตถุมีพิษหลังจากที่สัตว์ทดลองได้รับวัตถุมีพิษนั้น ๆ หนึ่งขนาด 1 ครั้ง ภายในเวลาจำกัดการทดลองวัดความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ ซึ่งทำกับสัตว์ทดลอง สามารถทำได้ 3 วิธี คือ ให้สัตว์ทดลองได้รับยาโดยทางปากหรือโดยทางอาหาร (acute oral, LD_{50}) ผ่านเข้าสู่ตัวสัตว์ทางผิวหนัง (acute lermal, LD_{50}) และทางการหายใจ (inhalation, LC_{50})

LC_{50}= lethal concentration หมายถึง ละอองของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ ที่กระจัดกระจายในอัตราไมโครกรัมต่อหนึ่งลิตรของอากาศโดยปริมาตร และทำให้สัตว์ทดลองตายลง 50 % นอกจากนี้อาจยังจะใช้ได้ในกรณีที่สัตว์ทดลองอยู่ในของเหลวก็ได้ เช่น ปลา และแมลงในน้ำ โดยองค์การอนามัยโลก (WHO = world health organization) ได้มีการจัดระดับอันตรายของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ ออกเป็น 4 ระดับ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ชนิดอันตายร้ายแรงที่สุด (extremely hazardous)

สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ประเภทนี้จะออกฤทธิ์เฉียบพลันสูงมากกล่าวคือถ้าสัตว์ทดลองคือ หนูได้รับสารประเภทนี้เข้าไปเพียง 5 mg โดยทางปาก (oral rats, LD_{50}) หรือ โดยตรงต่อผิวหนัง (dermal rats, LD_{50}) พบว่ามีสารประเภทนี้ฟุ้งกระจายในอากาศเพียง 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ของอากาศโดยปริมาตรจะทำให้หนูทดลองตายไปครึ่งหนึ่งสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ประเภทนี้เป็นอันตรายต่อมนุษย์มาก เพราะได้รับปริมาณเล็กน้อยก็เกิดอันตรายได้ ตัวอย่าง เช่น phosdrin, parathion และ TEPP เป็นต้น

2.ชนิดอันตรายร้ายแรงสูง (highly hazardous)

สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ประเภทนี้จะออกฤทธิ์เฉียบพลันกล่าวคือถ้าสัตว์ทดลองคือ หนูได้รับสารประเภทนี้เข้าไปเพียง 5-50 mg โดยทางปาก (oral rats, LD_{50}) หรือโดยตรงต่อผิวหนัง (dermal rats, LD_{50}) จะทำให้หนูตายลงไปครึ่งหนึ่งส่วนการได้รับพิษโดยการหายใจ (inhalation, LC_{50}) พบว่ามีสารประเภทนี้ฟุ้งกระจายในอากาศเพียง 10-100 ไมโครกรัมต่อลิตร ของอากาศโดยปริมาตรจะทำให้หนูทดลองตายไปครึ่งหนึ่ง สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ประเภทนี้เป็นอันตรายต่อมนุษย์มาก เพราะได้รับเพียงเล็กน้อยก็เกิดอันตรายได้ ตัวอย่าง เช่น aldrin, dieldrin และ methy1 parathion เป็นต้น

3. ชนิดอันตรายปานกลาง (moderately hazardous)

สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ประเภทนี้จะออกฤทธิ์ในระดับปานกลางกล่าวคือ ถ้าสัตว์ทดลองคือ หนู ได้รับสารประเภทนี้เข้าไปเพียง 50-500 มิลลิกรัมโดยทางปาก (oral rats, LD_{50}) จะทำให้หนูตายลงไปครึ่งหนึ่ง ส่วนการได้พิษโดยตรงต่อผิวหนัง (dermal rats LD_{50}) หรือ โดยการหายใจ (inhalation, LC_{50}) จะอยู่ในระดับ 50-1000 mg/kg (น้ำหนักตัว) สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ประเภทนี้เป็นอันตรายต่อมนุษย์มาก ตัวอย่างเช่น BHC, chlordane, heptachlor และ DDT เป็นต้น

4. ชนิดอันตรายน้อย (lightly hazardous)

สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ประเภทนี้จะออกฤทธิ์ในระดับต่ำ กล่าวคือ ถ้าสัตว์ทดลองคือ หนู ได้รับสารประเภทนี้เข้าไปมากกว่า 500 มิลลิกรัมทางปาก (oral rats, LD_{50}) จะทำให้หนูตายลงไปครึ่งหนึ่ง ส่วนการได้รับพิษโดยตรงทางผิวหนัง (dermal rats, LD_{50}) หรือ โดยการหายใจ (inhalation, LC_{50}) ต้องมากถึง 4,000 mg ผลของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ประเภทนี้ต่อมนุษย์ถ้าได้รับเข้าไปมากก็เป็นอันตรายถึงตายได้ ตัวอย่าง เช่น DDD, mirex, kelthane และ methoxychlor เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

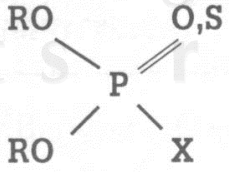
ตาราง 2.2 สรุปการจัดระดับความอันตรายของความเป็นพิษของสารพิษทางการเกษตร

ระดับความอันตรายของความเป็นพิษ	LD_{50}(มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โดยการให้ทางปาก		LD_{50}(มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โดยการให้ทางผิวหนัง	
	ของแข็ง	ของเหลว	ของแข็ง	ของเหลว
1 เอ : อันตรายร้ายแรงมาก	< 5	< 20	< 10	< 40
1 บี : อันตรายร้ายแรง	5 – 50	20 – 200	10 – 100	40 – 400
2 : อันตรายปานกลาง	50 – 500	200 – 2000	100 – 1000	400 - 4000
3 : อันตรายน้อย	> 500	> 2000	> 1000	> 4000

2. ออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphate) (สุภาณี, 2540)

เป็นสารอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นและสารฆ่าแมลงกลุ่มใหญ่ซึ่งมีจำนวนชนิดของสารออกฤทธิ์มากที่สุด การพัฒนาใช้สารในกลุ่มนี้เริ่มตั้งแต่ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน นำโดย Gerhard Schrader เป็นผู้เริ่มทำการวิจัยสารประกอบในกลุ่มนี้ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาเป็นแก๊สพิษซึ่งมีผลต่อระบบประสาท เช่น ทาบุน (tabun) และซาริน (sarin) และสารฆ่าแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

ปัจจุบันมีสารประกอบออร์กาโนฟอสเฟตมากกว่า 100,000 ชนิด ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นพิษต่อแมลง และมีประมาณมากกว่า 100 ชนิดที่ได้มีการผลิตขายในเชิงการค้าชนิดแรกมีพัฒนาขึ้นแนะนำใช้เป็นสารฆ่าแมลงใน พ.ศ. 2488 คือ ซราดาน (schradan) แต่ยังไม่แพร่หลายเท่าสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน จนถึงประมาณ พ.ศ. 2505 จึงได้มีการยอมรับนำสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตชนิดต่าง ๆ มาใช้ทดแทนสารออร์กาโนคลอรีน เนื่องจากมีข้อดีต่าง ๆ ได้แก่ การมีประสิทธิภาพสูงต่อแมลงที่สร้างความต้านทานต่อสารออร์กาโนคลอรีน มีการแตกสลายในสิ่งมีชีวิต (biodegradable) และมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า



ภาพ 2.1 ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

R ทั้ง 2 หมู่ จะเหมือนกัน อาจเป็นหมู่เมททิล (methyl) หรือเอททิล (ethyl) หรือเป็นหมู่ที่ค่อนข้างซับซ้อนกว่า โดยอาจเป็นสารแอลลิฟาติก (aliphatic) โฮโมไซคลิก (homocyclic) หรือเฮทเทอโรไซคลิก (heterocyclic) ซึ่งต่อกับอะตอมฟอสฟอรัสโดยตรง หรือบางครั้งต่อโดยมีเอสเตอร์ (ester) หรือไทโอเอสเตอร์ (thioester) เป็นตัวเชื่อมโยง ได้แก่ P-O-X หรือ P-S-X

นอกจากการแบ่งกลุ่มย่อยตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีแล้ว อาจจัดแบ่งกลุ่มสารฆ่าแมลงออร์กาโนฟอสเฟตเพื่อลักษณะการใช้ในทางปฏิบัติ โดยใช้ลักษณะโครงสร้างทางเคมี แบ่งได้ 4 กลุ่มย่อยดังต่อไปนี้

กลุ่มย่อยที่ 1 เป็นสารออร์กาโนฟอสเฟตที่มีพิษฆ่าแมลงโดยการสัมผัสและมีความคงทนต่ำ สารในกลุ่มนี้มีสมบัติละลายน้ำได้น้อยและสลายตัวได้ง่ายโดยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ตัวอย่างสารฆ่าแมลงในกลุ่มย่อยนี้ ได้แก่ mevinphos และ tetrachlorvinphos สารฆ่าแมลง mevinphos หรือในชื่อการค้าที่รู้จักกันดีว่า ฟอส-ดริน (phosdrin) และในชื่อการค้าอื่นๆ อีกประมาณ 18 ชื่อ เป็นชนิดซึ่งยังมีการใช้แพร่หลายในประเทศไทย ถึงแม้ว่าจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูง ทั้งนี้เนื่องจากการออกฤทธิ์ฆ่าแมลงได้อย่างรวดเร็วและมีราคาถูก

กลุ่มย่อยที่ 2 เป็นกลุ่มย่อยของสารฆ่าแมลงออร์กาโนฟอสเฟตซึ่งเป็นพิษโดยการสัมผัสเช่นเดียวกัน แต่สามารถซึมผ่านเข้าในพืชได้บ้างเล็กน้อย ทำให้ออกฤทธิ์ฆ่าแมลงได้นานขึ้น ตัวอย่างเช่น malathion, parathion, methyl parathion, diazinon และ fenitrothion สารฆ่าแมลงในกลุ่มนี้มีความคงทนปานกลาง เมื่อใช้ฉีดพ่นบนพืชจะซึมผ่านเข้าในพืชบริเวณนั้น ๆ ได้ แต่ไม่มีการเคลื่อนย้ายภายในต้นพืช สารฆ่าแมลงในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นแตกต่างกัน malathion มีความเป็นพิษต่ำ และใช้ได้ดีในการป้องกันการกำจัดแมลงปากดูด เช่น เพลี้ยอ่อน เพลี้ยหอย และเพลี้ยแป้ง ตลอดจนด้วงปีกแข็งขนาดเล็กซึ่งเป็นศัตรูของผลิตผลในโรงเก็บ methyl parathion และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง parathion (หรือ ethyl parathion) เป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูงกว่า malathion มาก

กลุ่มย่อยที่ 3 เป็นกลุ่มย่อยของออร์กาโนฟอสเฟต ซึ่งมีสมบัติเป็นสารฆ่าแมลงประเภทเคลื่อนย้ายได้ (systemic insecticide) สารในกลุ่มนี้ละลายได้ในไขมัน (lipid) และละลายน้ำได้ดี สามารถซึมผ่านชั้นไขที่ผิวใบพืช และเยื่อลิโพโปรตีน (lipoprotein) ได้ และสามารถผ่านเข้าไปในไซเลม (xylem) และโฟลเอม (phloem) มีการลำเลียงเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช กล่าวคือ แม้ต้นพืชจะได้รับสารเป็นเพียงบางส่วน สารนั้นก็มีการเคลื่อนย้ายไปยังส่วนที่ไม่ได้รับสาร และออกฤทธิ์เป็นพิษต่อแมลงซึ่งกัดกินหรือดูดกินพืชในส่วนนั้น ๆ ได้ เช่น phorate, dimethoate และ monocrotophos ข้อดีของสารเหล่านี้ก็คือ ไม่ถูกชะล้างจากพืชโดยน้ำหรือน้ำฝน และสามารถป้องกันการทำลายของแมลงให้ทุกส่วนของพืชแม้จะไม่ได้รับสารโดยตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลุ่มย่อยที่ 4 เป็นกลุ่มของสารออร์กาโนฟอสเฟตที่มีพิษทางการหายใจ ตัวอย่างของสารฆ่าแมลงในกลุ่มนี้คือ dichlorvos เป็นสารเคมีที่มีค่าความดันไอค่อนข้างสูง จึงมีการระเหยเป็นไอได้ในสภาพอุณหภูมิปกติ และไอระเหยมีพิษฆ่าแมลงได้ด้วย dichlorvos ใช้ได้ดีในการกำจัดแมลงวัน เป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูง แต่เสื่อมสลายเร็ว (ประมาณ 1-3 วัน) ภายหลังการใช้

3. กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)

กลไกการออกฤทธิ์ของสารฆ่าแมลง หมายถึง วิถีทางซึ่งสารฆ่าแมลงเป็นสาเหตุให้แมลงหรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ตาย การที่จะสรุปได้อย่างแน่นอนว่าแมลงหรือสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ถูกทำให้ตายได้อย่างไรทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากกระบวนการทางชีวเคมีในการดำรงชีพของชีวิตนั้นมีความซับซ้อนยุ่งยากมากการตายอาจเป็นผลรวมเนื่องมาจากผลหรือปรากฏการณ์หลายอย่าง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการผิดปกติหรือเสียไปของกระบวนการมากกว่าหนึ่งอย่าง สารฆ่าแมลงผ่านเข้าภายในลำตัวแมลงได้โดย 3 ทาง ได้แก่

- *การแทรกซึมผ่านชั้นคิวติเคิล* (cuticle) ที่ผนังลำตัวของแมลง อัตราการแพร่ผ่านชั้นคิวติเคิลขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาพมีขั้ว (polarity) ของสารฆ่าแมลง และคุณสมบัติของชั้นคิวติเคิลในการเป็นตัวกีดขวางการผ่านเข้า ซึ่งมีองค์ประกอบของคิวติเคิลเป็นปัจจัยสำคัญโครงสร้างคิวติเคิลประกอบด้วย 2 ชั้นหลัก ชั้นในเรียกโปรคิวติเคิล (procuticle) ประกอบด้วยไกลโคโปรตีน (glycoprotein) และไคทิน (chitin) เป็นองค์ประกอบหลัก ชั้นนอกเรียก อีพิคิวติเคิล (picuticle) ซึ่งมีลิพิดและลิโพโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก อีพิคิวติเคิลเป็นส่วนนอกสุดของ คิวติเคิล เปรียบเสมือนเปลือกหุ้มลำตัว ซึ่งแม้จะมีความหนาเพียงไม่กี่ไมครอน แต่ก็มีความสำคัญมาก เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่มีคุณสมบัติชอบน้ำมัน (lipophilic) อีพิคิวติเคิล (epicuticle) มีชั้นไขมัน (wax layer) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันในหมู่แมลง และเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งในการอธิบายความแตกต่างในการสร้างความต้านทานของแมลงต่อสารฆ่าแมลง

- *การผ่านเข้าทางช่องหายใจ* (spiracle) เข้าสู่ระบบท่อหายใจ (tracheal system) ของแมลง สารฆ่าแมลงที่แทรกซึมผ่านคิวติเคิล หรือผ่านทางช่องหายใจเข้าในตัวแมลง แล้วจะเข้าสู่ฮีโมลิมพ์ (haemolymph) ซึ่งจะเป็นตัวพาไปยังอวัยวะหรือตำแหน่งเป้าหมายในการออกฤทธิ์ หรือไปสะสมในอวัยวะหรือเนื้อเยื่อต่าง ๆ และอาจมีเมแทบอลิซึมหรือการขับถ่ายออกจากร่างกาย

- *การผ่านทางปากเข้าสู่ทางเดินอาหาร* ในกรณีนี้สารฆ่าแมลงมักถูกกลืนปนกับอาหาร จากนั้นจึงแพร่ผ่านผนังทางเดินอาหารเข้าสู่ฮีโมลิมพ์ ซึ่งจะเป็นตัวพาแพร่กระจายต่อไปเช่นเดียวกัน

ขั้นตอนการเกิดพิษ สารฆ่าแมลงจะก่อให้เกิดผลเสีย หรือออกฤทธิ์เป็นพิษต่อแมลงได้ต่อเมื่อสารฆ่าแมลงนั้นหรือเมแทบอลิซึม (metabolite) ซึ่งเป็นอนุพันธ์จากการแปลงทางชีวภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(biotransformation) สามารถกระจายเข้าสู่ หรือจับตัวกับตัวรับ (receptor) ที่มีอยู่ในระบบชีวภาพได้ ตัวรับอาจเป็นโมเลกุลจำเพาะ หรืออาจเป็นเพียงส่วนหนึ่งของโมเลกุล โดยจะต้องมีปริมาณหรือความเข้มข้นสูงพอ และในเวลานานพออีกด้วย

ลำดับขั้นตอนการเกิดพิษของสารฆ่าแมลงต่อระบบประสาท ขั้นตอนจะเริ่มจากการที่สารฆ่าแมลง ซึ่งโดยทั่วไปเป็นโมเลกุลของสารอินทรีย์ขนาดเล็กทำปฏิกิริยากับชีวสารเป้าหมาย ซึ่งเป็นแมโครโมเลกุล (macromolecule) เช่น เอนไซม์ สารสื่อประสาท (neurotransmitter) กรดนิวคลีอิค โปรตีน คาร์โบไฮเดรต หรือลิพิดบางพวก ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้มักเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวเคมีในการดำรงชีวิตที่สำคัญ

การทำปฏิกิริยาของสารฆ่าแมลงกับชีวสารเป้าหมายระดับโมเลกุล ทำให้เกิดความผิดปกติต่อเนื่องไปยังระดับออร์กาเนลล์ของเซลล์ ระดับเซลล์ โครงข่ายของเซลล์ และระบบ ตามลำดับ ในขั้นนี้แมลงอาจจะแสดงความผิดปกติทางพฤติกรรมและอาจตายในที่สุด

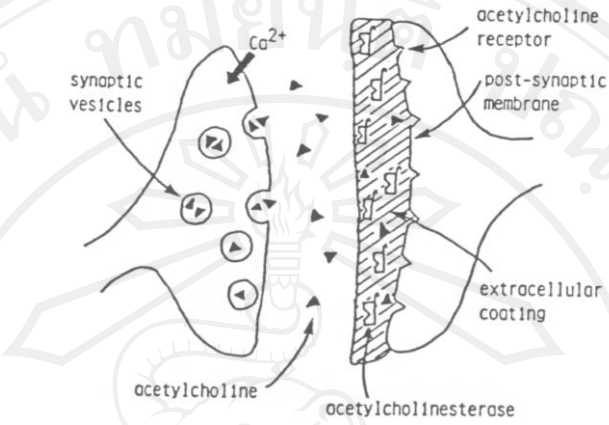
3.1 กลไกการออกฤทธิ์ของสารฆ่าแมลงต่อระบบประสาท

การทำงานของระบบประสาท ระบบประสาทของแมลง มีหน้าที่ควบคุมและประสานงานการทำงานของร่างกายในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมภายในและภายนอกร่างกาย นอกจากนั้นยังทำงานร่วมกับระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system) เพื่อควบคุมและประสานการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย ระบบประสาทมีโครงสร้างที่ค่อนข้างซับซ้อน ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (neuron) จำนวนมาก ประกอบกันเป็น 2 ระบบหลัก คือ ระบบประสาทกลาง (central nervous system) และระบบประสาทรอบนอก (peripheral nervous system)

เซลล์ประสาทเป็นเซลล์ที่มีคุณสมบัติไวมากต่อสิ่งเร้า (stimulus) และมีความสามารถในการส่งผ่านกระแสความรู้สึกหรือคำสั่ง หรือที่เรียกว่าอิมพัลส์ (impulse) โครงสร้างของเซลล์ประสาทประกอบด้วยตัวเซลล์และแขนงของเซลล์ ได้แก่ เดนไดรต์ (dendrite) และแอกซอน (axon) เดนไดรต์ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับอิมพัลส์ผ่านเข้าสู่เซลล์ และแอกซอนทำหน้าที่ส่งผ่านอิมพัลส์ออกจากเซลล์เพื่อส่งต่อไปยังเซลล์ประสาทเซลล์อื่น หรือไปยังอวัยวะสำแดงผลซึ่งเป็นหน่วยปฏิบัติงาน เช่น กล้ามเนื้อหรือต่อมต่าง ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การส่งผ่านอิมพัลล์พาดพิงถึง 2 ขั้นตอน คือ การส่งผ่านภายในเซลล์ไปตามสายแอกซอน ในลักษณะคลื่นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้า และการส่งผ่านซิแนปส์ (synapse) ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างเซลล์ประสาทด้วยกัน หรือรอยต่อของเซลล์ประสาทกับเซลล์ของหน่วยปฏิบัติงาน



ภาพ 2.2 ไดอะแกรมแสดงซิแนปส์ ซึ่งมีอะซิติลโคลีนเป็นสารสื่อประสาท

3.2 การยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส

อะซิติลโคลีนเป็นสารสื่อประสาทระหว่างเซลล์ประสาทชนิดที่เป็นโคลิเนอร์จิก (cholinergic) พบได้ทั้งในระบบประสาทกลางและที่ปลายเซลล์ประสาทส่วนที่จับกับกล้ามเนื้อ สารนี้สร้างขึ้นจากอะซิติลโคเอนไซม์ เอ (cetyl oenzyme a) และโคลีน (choline) โดยมีเอนไซม์โคลีนอะเซททีเลส (choline acetylase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อะซิติลโคลีนจะถูกเก็บไว้ในกระเปาะซิแนปติกเวซิเคิล ซึ่งอยู่ที่เยื่อเซลล์ก่อนซิแนปส์ เมื่ออะซิติลโคลีนแพร่กระจายในซิแนปส์และไปจับกับตัวรับ อะซิติลโคลีนที่เยื่อเซลล์หลังซิแนปส์แล้ว อะซิติลโคลีนจะถูกทำลายไปอย่างรวดเร็ว เพื่อให้เยื่อหลังซิแนปส์กลับเข้าสู่ภาวะปกติ และพร้อมที่จะถูกกระตุ้นได้อีก กลไกการทำลายอะซิติลโคลีนเกิดโดยปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) มีเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholinesterase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลจากปฏิกิริยาจะได้โคลีนและกรดอะซิติก (acetic acid) โดยที่บางส่วนของโคลีนจะกลับคืนไปที่เยื่อก่อนซิแนปส์ โมเลกุลของอะซิติลโคลีนจะเกาะกับเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสที่ตำแหน่งเกาะ 2 แห่ง แห่งแรกคือ ตำแหน่งเอสเตอร์-ฟอร์มมิง (ester-froming site) ซึ่งมีกลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl) ของซีรีน (serine) แห่งที่สองเรียกตำแหน่งแอนไอโอนิก (anionic site) ซึ่งมีประจุลบ และคาดว่ามีเรซิดิวของกรดกลูตามิก (glutamic acid residue) อยู่ลักษณะการเกาะระหว่างโมเลกุลของอะซิติลโคลีนกับโมเลกุลของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ปฏิกิริยาเริ่มจากการดึงดูดระหว่างกลุ่มควอเทอนารีไนโตรเจน (quaternary nitrogen) ในโมเลกุลของอะซิติลโคลีนกับตำแหน่งแอนไอโอนิก ในขณะเดียวกันที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตำแหน่งเอสเตอร์ฟอร์มมิงจะเกิดปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน ขั้นแรก เป็นปฏิกิริยาอะเซททีเลชัน (acetylation) ผลจากปฏิกิริยาได้เอนไซม์-ซับสเตรทคอมเพลกซ์ (enzyme-substrate complex) ขั้นต่อมา โมเลกุลของโคลีนจะแยกออกและขั้นสุดท้ายจะเกิดปฏิกิริยาดีอะเซททีเลชัน (deacetylation) อะตอมออกซิเจนซึ่งได้จากโมเลกุลของน้ำจะทำปฏิกิริยากับอะตอมคาร์บอนของกลุ่มอะเซททีล (acetyl) ได้กรดอะซิติก (CH_3COOH) และเอนไซม์ (E-OH) กลับคืนมา และพร้อมที่จะทำปฏิกิริยากับอะซิติลโคลีนโมเลกุลต่อไป

ความแตกต่างของปฏิกิริยาระหว่างตัวยับยั้งหรือสารฆ่าแมลง กับอะซิติลโคลีนเอสเตอเรส และระหว่างอะซิติลโคลีนเอสเตอเรส อยู่ที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาในช่วงดีฟอสฟอรีเลชัน หรือดีคาร์บามีเลชัน กรณีสารฆ่าแมลงปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้ามาก โมเลกุลของอะซิติลโคลีนเอสเตอเรสไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิม จึงไม่สามารถทำหน้าที่ทำลายอะซิติลโคลีนได้ตามปกติ หรือที่เรียกว่าสารฆ่าแมลงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส เมื่อมีอะซิติลโคลีนสะสมมาก ๆ จะเกิดการขัดขวางดีโพลาไรเซชัน หรืออาจมีผลต่อความไวของตัวรับอะซิติลโคลีน ทำให้การตอบสนองต่ออะซิติลโคลีนลดลง แมลงแสดงอาการว่องไวผิดปกติ (hyperactivity) สั่นหรือชัก เป็นอัมพาตและตายในที่สุด

3.3 ผลต่อการเติบโตและพัฒนาการของแมลง

สารฆ่าแมลงที่มีกลไกการออกฤทธิ์ โดยมีผลรบกวนการเปลี่ยนรูปร่า (metamorphosis) หรือการเติบโตและพัฒนาการโดยปกติของแมลง มีชื่อเรียกโดยรวมว่า สารควบคุมการเติบโตและพัฒนาการของแมลง (insect growth regulator; IGR) ซึ่งแบ่งได้ 2 กลุ่ม ตามความแตกต่างของกลไกการออกฤทธิ์ คือ กลุ่มเบนโซอีลเฟนนีลยูเรีย ซึ่งมีผลต่อการสร้างผนังลำตัวโดยยับยั้งการสร้างไคติน (chitin) และลดอัตราการดำรงชีวิตของแมลงที่กำลังมีพัฒนาการเติบโต และกลุ่มสารคล้ายฮอร์โมนหรือสารยับยั้งการสร้างฮอร์โมนซึ่งมีผลเสียต่อดุลของฮอร์โมนทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแมลงผิดปกติ

3.4 กลไกการออกฤทธิ์ของสารฆ่าแมลงต่อระบบการหายใจ

สิ่งมีชีวิตได้พลังงานจากขบวนการหายใจ โดยการเปลี่ยนโมเลกุลของสารอินทรีย์ซึ่งได้จากอาหารให้เป็นพลังงาน พลังงานที่ได้จากขบวนการหายใจนี้ถูกจับไว้ในพันธะฟอสเฟตของ ATP และ จะถูกนำไปใช้ในขบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ

ความเป็นพิษของสารกำจัดแมลงในกลุ่มนี้จะแตกต่างกัน แม้ว่าจะมีกลไกออกฤทธิ์เหมือนกัน โดยทั่วไปแล้วความเป็นพิษมากหรือน้อยของสารกำจัดแมลง หรือสารพิษใด ๆ สังเกตได้จากค่า LD_{50}

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 อาการแสดงจากการที่มีอะเซทิลโคลินคั่งสะสม

เนื้อเยื่อประสาทและตัวรับ	อวัยวะ	อาการ
Parasympatheticmautonomic (Muscarinic receptors) post ganglionic nerve fibers	Exocrine glands ตา ทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ ระบบไหลเวียนโลหิต ทางเดินปัสสาวะ	น้ำตาไหล น้ำลายฟูมปาก เหงื่อแตก ม่านตาหรี่ หนังตาตก ตาพร่า เยื่อบุตาแดง ตาแดง คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องเกร็ง ท้องร่วง อุจจาระราด น้ำมูกไหล ไอ เสมหะมาก อึดอัดในทรวงอก หลอดลมหดเกร็ง หายใจลำบาก หัวใจเต้นช้า ความดันโลหิตตก ปัสสาวะราด
Parasympathetic และ Sympathetic autonomic fibers(nicotinic receptors)	ระบบไหลเวียนโลหิต	หัวใจเต้นเร็ว ชีดเผือด ความดันโลหิตเพิ่ม
Somatic motor nerve fibers(nicotinic receptors)	กล้ามเนื้อลาย	Muscle fasiculation (หนังตา กล้ามเนื้อใบหน้า) ตะคริว Tendonreflexs ลด กล้ามเนื้อทั่วๆไปอ่อนล้า (รวมทั้งกล้ามเนื้อหายใจ) อัมพาต
สมอง(Acetylcholine receptors)	ระบบประสาทกลาง	ซึม อ่อนล้า สับสน ขาดสมาธิ ปวดศีรษะ หมดสติ ไม่มีreflex สั่น หายใจลำบาก (Cheyne-T strokes) ชัก กดศูนย์หายใจ ตัวเขียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 ประเภทของสารออร์กาโนฟอสเฟต แบ่งตามระดับอันตราย หรือความเป็นพิษ

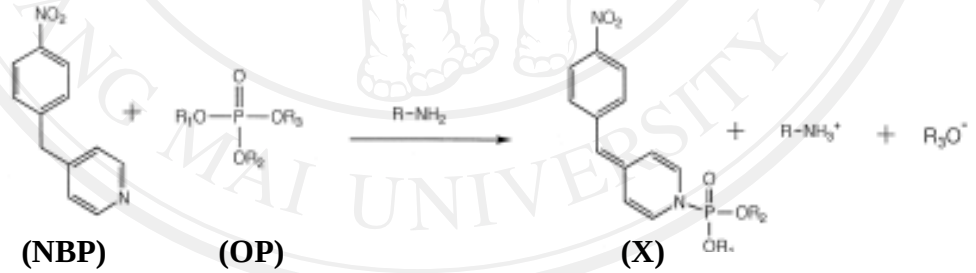
ประเภทสาร	สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต
Ia (LD_{50} < 5 มก./ กก.)	Chorfenvinphos, EPN, Disulfoton, Fonofos, Mephosfolan, Mevinphos, Parathion, Parathion-methyl, Phoxim, Sulfotep
Ib (LD_{50} 5-50 มก./ กก.)	Dichlorvos, Dicrotophos, Fenthion, Mithamidophos, Monocrotophos,
II (LD_{50} 50-500 มก./ กก.)	Chlorpyrifos, Diazinon, Dimethoate, Ethion, Phenthoate, Phosalone, Sulprofos
III (LD_{50} > 500 มก./ กก.)	Acephate, Azamethiphos, Bromophos, Malathion, Pirimiphos-methyl, Trichlorfon

4. การวิเคราะห์สารเคมีตกค้าง

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชหรือที่เรียกกันว่า “ยาฆ่าแมลง” จัดเป็นวัตถุมีพิษที่อนุญาตให้ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูของพืชและสัตว์ที่เป็นผลิตผลการเกษตร ได้แก่ผัก ผลไม้ เป็นต้น แต่ภายหลังจากการใช้สารเคมีเหล่านี้ จะต้องมีปริมาณสารพิษตกค้างในระดับที่ปลอดภัย การวิเคราะห์สารเคมีตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟสโดย GC (gas chromatography) และ การวิเคราะห์สารเคมีตกค้างกลุ่มคาร์บาเมต โดย HPLC (high performance liquid chromatography) สามารถบอกชนิดและปริมาณสารที่ตกค้างในระดับ ppm ได้ถูกต้องและแม่นยำ เป็นวิธีมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วโลก ซึ่งได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานในการบอกระดับความปลอดภัยของสารเคมีตกค้างแต่ละชนิด ที่เราเรียกว่าค่า MRLs (maximum residual limit หมายถึง ค่าปริมาณสารเคมีตกค้างที่ปนเปื้อนได้สูงสุด ซึ่งกำหนดในระดับ ppm) เป็นค่าความปลอดภัยของผักผลไม้ ในการบริโภค และนำเข้า-ส่งออก ค่านี้มีการกำหนดขึ้น ทั้งในระดับประเทศ และระดับสากล เช่น มาตรฐานญี่ปุ่น มาตรฐาน EU มาตรฐาน CODEX แต่การวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานนี้มีค่าเครื่องมือและอุปกรณ์ราคาแพง ทำให้ค่าวิเคราะห์ราคาสูง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยบุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญเฉพาะด้านสูง ใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์นาน ไม่ทันต่อการเน่าเสียของผลผลิตทางการเกษตร ต่อมาได้มีการพัฒนาชุดน้ำยาตรวจสอบสารพิษตกค้างที่รู้จักกันในชื่อ GT-test kit โดยอาศัยหลักการที่สารกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต, คาร์บาเมต และกลุ่มสารพิษอื่นๆ ที่เป็นโคลีนเอสเตอเรสอินฮิบิเตอร์จะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถไปไฮโดรไลส์ อะซิติลโคลีนได้ โดยปริมาณของอะซิติลโคลีน ที่เหลืออยู่จะเป็นตัวกำหนดความเข้ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของสีในชุดตรวจฯ ยิ่งถ้าตัวอย่างที่นำมาตรวจวิเคราะห์มีค่าความเป็นพิษสูง เอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสจะถูกยับยั้งการทำงานมากขึ้นตาม ทำให้มีอะซิติลโคลีนเหลืออยู่ในปริมาณมากเช่นกัน สีที่ได้จากการทดสอบก็จะเข้มมากขึ้น (กัลยวัจณ์ และบุษย์ณิชนา, 2551) จากผลการวิจัยของ โสระยาและคณะ (2547) ที่ได้ทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์สารพิษตกค้างในส้ม กะหล่ำ และกุหลาบ โดยใช้ GT-test kit พบว่าในการทดสอบกับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (มาลาไทออน) ไม่ได้ผลเนื่องจากการพัฒนาสีเกิดขึ้นน้อย จะเห็นได้ว่าการใช้ GT-test kit ไม่สามารถตรวจสารมาลาไทออนได้ นอกจากนี้ขั้นตอนการวิเคราะห์ยังต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา มีขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ยุ่งยากและยังต้องเก็บสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ไว้ในอุณหภูมิเยือกแข็งจากข้อจำกัดที่มากมายจึงทำให้ไม่สะดวกในการนำไปใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการพัฒนาชุดตรวจที่ง่ายต่อการใช้งานโดยอาศัย เทคนิคทาง thin layer chromatograpric (Rathore and Begum, 1993), spectrophotometric (Mathew et al., 2007) และ colorimetric (Namera et al., 2000) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างสาร 4-(4-nitrobenzyl)pyridine (NBP) ที่จะเข้าไปจับตรงตำแหน่งฟอสเฟตของโครงสร้างสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ซึ่งจะเกิดเป็นสารใหม่ (X) (ภาพที่ 2.3) และสารตัวนี้จะทำปฏิกิริยาต่อกับสาร tetraethylenepentamine (TEP) ซึ่งจะเกิดเป็นผลิตภัณฑ์สีม่วงสามารถมองด้วยสายตาได้อย่างชัดเจน หรือนำไปวัดการดูดกลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm



(NBP) **(OP)** **(X)**

ภาพ 2.3 แสดงปฏิกิริยาเคมีของ NBP และสารกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Namera et al. 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปแล้ว 4-(4-nitrobenzyl)pyridine ถูกนำมาใช้เป็น chromotonic reagent เพื่อใช้ในการตรวจจับสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตโดยการเปลี่ยนสีบนกระดาษทดสอบ หรือการเกิดสีบนแผ่น thin layer chromatograph ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงเลือก 4-(4-nitrobenzyl)pyridine มาใช้เป็น coloring reagent ในชุดตรวจการตกค้างของสารกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Namera *et al*. (2000) ได้ทำการตรวจสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในตัวอย่างปัสสาวะ

ของผู้สูงอายุ โดยใช้ 4-(4-nitrobenzyl)pyridine (45%) ปริมาณ 0.1 ml ใส่ลงในตัวอย่างปัสสาวะ 1 ml จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ºC เป็นเวลา 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นและเติม tetraethylenepentamine (100%) ปริมาณ 0.1 ml อ่านผลโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 nm และเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค gas chromatography-mass spectrometer ซึ่งผลการทดลองสามารถตรวจจับสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 50 µg/ml ได้ทั้งหมด 27 ชนิด และความเข้มข้นต่ำสุดของสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในปัสสาวะที่ 0.10-10 µg/ml

Turner (1974) ได้ทำการตรวจสอบสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตโดยใช้ สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (50 µg/ml ในเอทานอล) ปริมาณ 1 ml ทดสอบกับ 4-(4-nitrobenzyl)pyridine (5%) 2 ml และนำไปให้ความร้อนด้วยการต้มที่อุณหภูมิ 100 ºC เป็นเวลาประมาณ 30 นาที จากนั้นเติม tetraethylenepentamine (10%) 5 ml และอ่านผลโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 580 nm Tsunoda (1986) ได้ทำการตรวจสอบสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 45 ชนิด โดยการสเปรย์ 4-(4-nitrobenzyl)pyridine ลงบนแผ่น thin layer chromatography ที่ใช้ทดสอบจากผลการทดลองสามารถตรวจสอบสารกำจัดแมลงได้ทั้ง 45 ชนิด โดยมีความสามารถในการตรวจพบที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ 0.25 ถึง 0.5 µg/L และไตรโครฟอนจะตรวจพบที่ 1 µg/L

ถึงแม้ว่าเทคนิค GC จะเป็นวิธีที่มีความยุ่งยากซับซ้อน เครื่องมือเครื่องใช้และอุปกรณ์ต่างๆ มีราคาแพง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยบุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญเฉพาะด้านสูง ใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์นาน ไม่ทันต่อการเน่าเสียของผลผลิตทางการเกษตร แต่อย่างไรตามในงานวิจัยก็ยังคงใช้เทคนิค GC มาใช้ในการวัดผลการทดลองเนื่องจากสามารถบอกปริมาณและชนิดของสารตกค้างได้อย่างแม่นยำ

การสกัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชออกจากตัวอย่างผัก ผลไม้ ต้องมีการเลือกใช้สารละลายให้เหมาะสมกับวิธีที่ใช้ในการสกัด ฐาปณีและคณะ (2548) ทำการวิจัยโดยใช้วิธีการสกัดแบบ accelerated solvent extraction (ASE) เป็นวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายภายใต้ความดันสูง มักใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ethyl aecetate แต่งานวิจัยส่วนมากจะมีการสกัดโดยการบด หรือหั่นตัวอย่างให้ละเอียด จากนั้นนำไปแช่ในสารละลาย เช่น เมทานอล (No *et al*., 2007) นอกจากนี้น้ำสะอาดหรือน้ำกลั่นสามารถนำมาใช้เป็นตัวทำละลายได้ เช่น Tethgatuk *et al*. (2001) สามารถทำการตรวจสอบสารกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตได้ในน้ำจากไร่ปลูกผัก หรือทำการตรวจสอบจากน้ำคั้นผักและผลไม้โดยตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผักคะน้าเป็นผักที่มักจะมีการรายงานผลการตกค้างของสารกำจัดแมลงค่อนข้างมาก ผักคะน้ามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica alboglabra* เป็นพืชผักใบเขียวที่นิยมรับประทานทั่วไปโดยบริโภคส่วนของใบและลำต้น สามารถปลูกได้ตลอดปี แต่จะให้ผลผลิตดีที่สุดในช่วงเดือนตุลาคม-เมษายน ในประเทศไทยนิยมปลูกกันอยู่ 3 พันธุ์คือ

1. พันธุ์ใบกลม มีลักษณะใบกว้างใหญ่ ปล้องสั้น ปลายใบมนและผิวใบเป็นคลื่นเล็กน้อย
2. พันธุ์ใบแหลม เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะใบแคบกว่าพันธุ์ใบกลม ปลายใบแหลม ข้อห่าง ผิวใบเรียบ
3. พันธุ์ยอดหรือก้าน มีลักษณะใบคล้ายคะน้าใบแหลม แต่จำนวนใบต่อต้นมีน้อยและปล้องยาวกว่า

ซึ่งแมลงศัตรูพืชที่สำคัญของผักคะน้าคือ หนอนใยผัก ด้วงหมัดกระโดด หนอนคืบกะหล่ำและเพลี้ยอ่อน (เมืองทองและสุรีรัตรน์, 2532) จึงทำให้เกษตรกรที่ทำการเพาะปลูกมีการนำสารกำจัดแมลงมาใช้ เช่น คลอร์ไพริฟอสเป็นสารออกฤทธิ์ในทางสัมผัสที่นำมาใช้กำจัดเพลี้ยอ่อนและหนอนกระทู้ผัก และมาลาไทออนเป็นสารออกฤทธิ์ในทางสัมผัสเช่นเดียวกับคลอร์ไพริฟอสซึ่งจะนำมาใช้กำจัดหนอนคืบและด้วงหมัดผัก (กองบรรณาธิการฐานเกษตรกรรม, 2545) ดังนั้นในการศึกษาจึงได้นำสารกำจัดแมลงทั้ง 2 ชนิดนี้มาใช้ในการทดลอง

ความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดของสารกำจัดแมลงในการทดลองจะใช้ตามค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2551) ซึ่งปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (maximum residue limit; MRL) หมายถึง ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่มีได้ในสินค้า กำหนดโดยคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ หรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่ตามกฎหมาย มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสารพิษตกค้างต่อกิโลกรัมสินค้า ซึ่งแต่ละชนิดของสารกำจัดแมลงที่ใช้กับพืชต่าง ๆ จะมีค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดแตกต่างกันออกไปตัวอย่างดังตารางที่ 5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.5 แสดงปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักและผลไม้ที่มีได้ในแต่ละผลผลิต (มกอช. 9002-2551)

วัตถุอันตรายทางการเกษตร	**ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit:MRL) (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)**	
	ต่ำสุด	**สูงสุด**
คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos)	0.5 (พริก)	2 (กล้วย)
ไดคลอร์วอส (dichlorvos)	0.2 (ส้ม และธัญพืช)	
ไดเมโทเอต (dimethoate)	0.05 (หอมแดง และหอมใหญ่)	5 (ส้ม)
ไดอะซินอน (diazinon)	0.05 (ผักกาดขาว และผักคะน้า)	5 (เครื่องเทศกลุ่มเมล็ด)
โพรฟิโนฟอส (profenofos)	0.05 (ชมพู, ทุเรียน, หอมแดง, หอมใหญ่ และองุ่น)	5 (พริก และมังคุด)
มาลาไทออน (malathion)	0.01 (อ้อย)	8 (กระหล่ำปลี และผักกาดขาว)
เมทิดาไทออน (methidathion)	0.2 (ผลไม้ประเภทแพร์ และองุ่น)	0.5 (เงาะ, ทุเรียน, น้อยหน่า และส้ม)
อีไทออน (ethion)	0.3 (แตง ไม่รวมแตงโม และมะเขือ ไม่รวมมะเขือเทศ)	3 (พริก)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.6 แสดงปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในผักคะน้า (มกอช. 9002-2551)

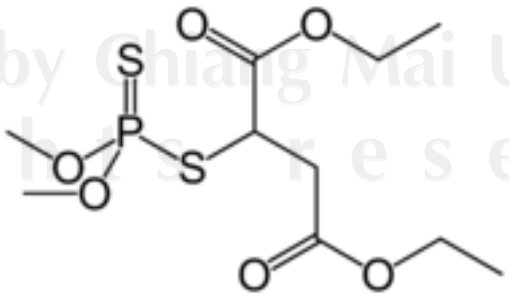
สินค้า	วัตถุอันตรายทางการเกษตร	ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit: MRL) (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ผักคะน้า	คลอโรทาโลนิล (chlorothalonil)	4
	เดลทาเมทริน (deltamethrin)	0.5
	ไดไทโอคาร์บาเมต (dithiocarbamates)	15
	ไดอะซินอน(diazinon)	0.05
	เฟนวาเลอเรต (fenvalerate)	10
	มาลาไทออน (malathion)	3
	เมทาแลกซิล (metalaxyl)	2
	อะบาเมคทิน (abamectin)	0.01

สารที่ใช้ในผักชนิดต่างๆ มีค่า MRL แตกต่างในตามชนิดของสาร (ตาราง 2.5) ดั้งนั้นในการทดลองความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงคลอร์ไพริฟอสจะใช้ความเข้มข้นต่ำสุดที่ 0.5 µl/L (MRL: พริก) และสารกำจัดแมลงมาลาไทออนจะใช้ความเข้มข้นต่ำสุดที่ 0.5 µl/L เนื่องจากเป็นปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดในกะหล่ำดอกซึ่งผักในตระกลูครูซิเฟอร์เช่นเดียวกับผักคะน้า (เมืองทองและสุรีรัตน์, 2532)

มาลาไธออน (malathion)

สูตรโมเลกุล : $C_{10}H_{19}O_6PS_2$ (Mol.wt. 330.0)

สูตรโครงสร้าง :



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อระบบ IUPAC : S-1,2-bis(ethoxycarbony1)ethy1*O,O*-dimethy1 phosphorodithioate

การออกฤทธิ์ : เป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซน์ cholinesterase ในระบบประสาทของแมลงและสัตว์อื่นอย่างถาวรเช่นเดียวกับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสอื่น ๆ

ตาราง 2.7 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารมาลาไทออน

Relative molecular mass	330.0
Melting point	2.8 ˚C
Boiling point	156 – 157 ˚C at 0.7 mmHg
Vapour pressure (25 ˚C)	1.78×10^{-4} mmHg
Solubility in water (20 ˚C)	145 mg/L
Half-lift : in raw river water	< 7 day

ความเป็นพิษ : มีพิษเฉียบพลันทางปาก (หนู) 1,000 mg/kg ทางผิวหนัง (หนู) 4,100 mg/kg

อาการเกิดพิษ : มีอาการม่านตาหรี่ น้ำตาไหล ปวดตา เห็นภาพเลือนราง วิงเวียน เซื่องซึม ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย น้ำมูกไหล น้ำลายฟูมปาก คลื่นไส้ อาเจียน พูดไม่ชัด แน่นหน้าอก กล้ามเนื้อกระตุก ปวดท้อง ท้องเสีย หายใจอึดอัด ชักกระตุก ความจำเสื่อมและหมดสติไม่รู้สึกตัว

แมลงที่กำจัดได้ : เพลี้ยอ่อน เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยไฟ เพลี้ยแป้ง หนอนใยผัก หนอนคืบ หนอนกระทู้ มวนแดง มวนเขียว แมลงดำหนาม แมลงหวี่ขาว บั่ว และไรต่าง ๆ

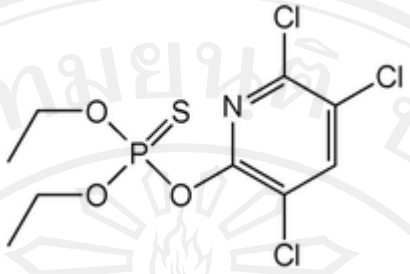
พืชที่ใช้ : ส้ม ข้าว ฝ้าย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ละหุ่ง ถั่วลิสง ผักต่าง ๆ หอม พริก มะม่วง องุ่น ฝรั่ง อ้อย ชา กาแฟ รวมทั้งไม้ดอกและไม้ประดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos)

สูตรโมเลกุล : $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$ (Mol.wt. 350.59)

สูตรโครงสร้าง :



ชื่อระบบ IUPAC : *O*,*O*-diethyl *O*-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate

การออกฤทธิ์ : เป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซน์ cholinesterase ในระบบประสาทของแมลงและสัตว์อื่นอย่างถาวรเช่นเดียวกับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสอื่น ๆ

ตาราง 2.8 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารคลอร์ไพริฟอส

Relative molecular mass	350.59
Melting point	42 ˚C
Boiling point	160 ˚C at 0.7 mmHg
Vapour pressure (25 ˚C)	1.87×10^{-5} mmHg
Solubility in water (25 ˚C)	2 mg/L
Half-life : in raw river water	< 7 day

ความเป็นพิษ : มีพิษเฉียบพลันทางปาก (หนู) 82 mg/kg ทางผิวหนัง (หนู) 240 mg/kg

แมลงที่กำจัดได้ : หนอนกอข้าว หนอนกอข้าวโพด หนอนกออ้อย เพลี้ยหอย เพลี้ยแป้ง ด้วงงวงเจาะสมอ เสี้ยนดิน มด หนอนใยผัก หนอนผีเสื้อขาวกะหล่ำ หนอนกระทู้ต่าง ๆ เพลี้ยจักจั่น

พืชที่ใช้ : ส้ม ข้าว ฝ้าย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ละหุ่ง ถั่วลิสง ผักต่าง ๆ หอม พริก มะม่วง องุ่น ฝรั่ง อ้อย ชา กาแฟ รวมทั้งไม้ดอกและไม้ประดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved