

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 การจำแนกชนิดและประเภทของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (Classification of pesticides)

สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชหรือสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่ใช้สามารถแบ่งตามประเภทศัตรูพืชและสัตว์ที่สำคัญดังนี้คือ

2.1.1 สารเคมีกำจัดแมลง (Insecticides)

สารเคมีที่สามารถทำลาย (destroying) ไล่ (repelling) และทำให้แมลงมีน้อยลง (mitigating) สารฆ่าแมลงยังมีความจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตพืชในปัจจุบัน นอกจากใช้ในทางการเกษตรแล้วมีการใช้สารฆ่าแมลงในการควบคุมแมลงศัตรูในบ้านเรือน ในโรงเก็บผลผลิตควบคุมแมลงนำโรคมานุษย์และสัตว์ในการใช้สารดังกล่าวอย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพและความปลอดภัย สารฆ่าแมลงนั้นสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มตามองค์ประกอบทางเคมีเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ สารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic compounds) และสารประกอบอินทรีย์ (Organic compounds)

2.1.2 สารเคมีกำจัดวัชพืช (Herbicide)

สารเคมีที่ใช้ฆ่าหรือกำจัดวัชพืชหรือพืชที่ไม่ต้องการ มนุษย์รู้จักวิธีการกำจัดวัชพืชมาเป็นเวลานานโดยใช้มือถอน ไถพรวนกำจัดวัชพืช และพัฒนามาใช้สารเคมี วัชพืชเป็นปัญหาสำคัญในการปลูกพืชเนื่องจากเป็นตัวก่อกำแพงป้องกันการเจริญเติบโตของพืชปลูก ทำให้ผลผลิตของพืชปลูกลดต่ำลง ปัจจุบันสารฆ่าวัชพืชได้รับความนิยมในการใช้กำจัดวัชพืชทดแทนการควบคุมโดยวิธีกล เช่น การไถ ใช้จอบ หรือถอนด้วยมือ เนื่องจากการขาดแรงงาน ประกอบกับการควบคุมโดยใช้สารเคมีให้ผลในการควบคุมที่ดี ประหยัด และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการควบคุมวัชพืชได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ

2.1.3 สารเคมีกำจัดโรคพืช (Fungicide)

สารเคมีที่สามารถป้องกัน (preventing) หรือกำจัด (eradicating) โรคที่มีสาเหตุมาจากเชื้อราสามารถแบ่งกลุ่มได้ตามลักษณะทางเคมี (chemical nature) เป็น 2 กลุ่มใหญ่ดังนี้คือ สารฆ่าเชื้อราอนินทรีย์ (inorganic fungicides) และสารฆ่าเชื้อราอินทรีย์ (organic fungicides) เนื่องจากโรคพืชส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาสารฆ่าเชื้อรามากกว่าสารเคมีที่ใช้ป้องกันกำจัดโรคพืชที่เกิดจากเชื้ออื่น ๆ และปัจจุบันจึงมีสารฆ่าเชื้อรามากกว่า 300 ชนิด

2.2 สารป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช (Insecticide)

2.2.1 ประเภทและชนิดของสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช

สารฆ่าแมลงที่มนุษย์สังเคราะห์หรือสกัดขึ้นมานั้นเป็นสารประกอบอินทรีย์มีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ คาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H) และธาตุอื่นๆ ได้แก่ คลอรีน (Cl), ออกซิเจน (O), ฟอสฟอรัส (P) และไนโตรเจน (N) สามารถแบ่งสารประกอบอินทรีย์เป็นกลุ่มย่อยต่างๆ ได้แก่

1. สารประกอบออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine compounds)

สารกลุ่มนี้เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์โมเลกุลประกอบด้วย คาร์บอน (C), คลอรีน (Cl), ไฮโดรเจน (H), และบางครั้งมีออกซิเจน (O) อาจเรียกรวมกันว่า "chlorinated hydrocarbons" หรือ "chlorinated insecticides" สารที่รู้จักกันดีได้แก่ ดีดีที (DDT) และบีเอชซี (BHC) คุณสมบัติของสารทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวสามารถใช้เป็นสารฆ่าแมลงได้ และมีการค้นพบสารฆ่าแมลงสังเคราะห์สารอินทรีย์อื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นสารฆ่าแมลงอีกมากมาย สารประกอบออร์กาโนคลอรีนแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยต่าง ๆ ดังนี้

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1.1 กลุ่ม Diphenyl aliphatics | ได้แก่ chloreside, DDT, chlofenethol, dicofol, chlorobenzilate และ methoxychlor DDT |
| 1.2 กลุ่ม Benzene derivatives | ได้แก่ benzene hexachloride (BHC, HCH), lindane (gamma BHC) และ pentachlorophenol |
| 1.3 กลุ่ม Cyclodienes | ได้แก่ chlordane, endosulfan, heptachlor, dieldrin, chlordecone, endrin, mirex และ aldrin |
| 1.4 กลุ่ม Polychloroterpenes | ได้แก่ camchloroterpenes (Toxaphene) และสาร strobane |

2. สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphorus insecticides)

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้งหมดเป็นเอสเทอร์ (ester) ของกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid, H_3PO_4) จึงถูกเรียกว่า organophosphates (OPs) หรือ phosphorus esters สารฆ่าแมลงกลุ่มนี้นับว่าเป็นกลุ่มใหญ่มีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ โดยทั่วไปมีพิษเฉียบพลันต่อมนุษย์และสัตว์มีกระดูกสันหลัง และมีการตกค้างสั้น (non-persistent) จากการมีคุณสมบัติการตกค้างสั้นดังนั้นต้องมีการฉีดพ่นซ้ำในการควบคุมแมลงศัตรูพืช สารในกลุ่มนี้ได้แก่ พาราไธออนหรือโพลิดอล, ชูมิไซออน, มาลาไทออน, กุซาไทออน, เมวินฟอส, ไดอะซีโนน, ไคซีสตอน ฯลฯ

3. สารฆ่าแมลงกลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate insecticides)

สารกลุ่มคาร์บาเมตเป็นสารสังเคราะห์จากสารอนุพันธ์ (derivatives) ของสาร physostigmine สารดังกล่าวเป็นสารอัลคาลอยด์ที่สกัดมาจากพืช calabar bean (Physostigma

venenosum) ต่อมา มีการสังเคราะห์สาร prostigmine ซึ่งเป็นสาร analogue ของ physostigmine สารกลุ่มนี้มีการออกฤทธิ์ในการควบคุมแมลงเหมือนสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต สารกลุ่มคาร์บาเมท เป็นเอสเทอร์ของ carbamic acid โดยทั่วไปมีการตกค้างสั้นสามารถออกฤทธิ์ในการควบคุมแมลงได้กว้างขวาง (broad-spectrum) มีคุณสมบัติเป็นทั้งสารฆ่าแมลง สารฆ่าไร สารฆ่าไส้เดือนฝอย และ สารฆ่าหอย สารกลุ่มคาร์บาเมทยังมีคุณสมบัติเป็นสารฆ่าวัชพืชและสารฆ่าเชื้อราได้ด้วย เช่น สารคาร์บาริล หรือเซวิน, เทมิก, ฟุราเดน, กลุ่ม thiocarbamate และ dithiocarbamate

4. สารฆ่าแมลงกลุ่มไพรีทรอยด์ (pyrethroids)

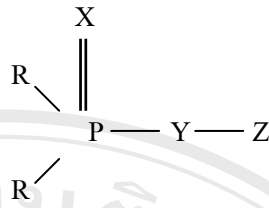
สารไพรีทรอยด์ (pyrethroids) หรือไพรีทรอยด์สังเคราะห์ (synthetic pyrethroids) เป็นสารสังเคราะห์ที่เลียนแบบโครงสร้างโมเลกุลจากสารที่สกัดได้จากดอกไพรีทรัมซึ่งมีองค์ประกอบของสารเคมี 6 ชนิดด้วยกันคือ cinerin I, pyrethrin I, jasmolin I, cinerin II, pyrethrin II และ jasmolin II เนื่องจากสารไพรีทรอยด์สังเคราะห์นั้นได้สร้างเลียนแบบโมเลกุลของสารตัวใดตัวหนึ่งดังกล่าวทั้ง 6 ชนิด จึงพบว่าแมลงสามารถสร้างความต้านทานได้เร็วกว่าสารสกัดจากดอกไพรีทรัมที่มีองค์ประกอบของสารทั้ง 6 ชนิด ซึ่งปัจจุบันไม่มีรายงานการสร้างความต้านทานต่อสารที่สกัดมาจากพืชดังกล่าว คุณสมบัติทั่วไปของสารไพรีทรอยด์สังเคราะห์คือมีพิษต่ำต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แต่ก็มีลักษณะเหมือนกับไพรีทรัม คือมีพิษต่อปลาและผึ้ง มีพิษตกค้างในพืชสั้นแต่มีพิษต่อแมลงสูง

2.2.2 สารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และการนำมาใช้ประโยชน์

สารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเป็นสารที่มีการนำมาใช้มากขึ้นในปัจจุบัน เพื่อทดแทนสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน เนื่องจากสามารถใช้สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตได้ดีกับแมลงกลุ่มที่พัฒนาความต้านทานต่อสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ตลอดจนสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน้อยกว่าสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (พาลาภ, 2540) ดังนั้นสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจึงถูกสังเคราะห์ขึ้นมากกว่า 100,000 ชนิด และปัจจุบันมีการนำมาผลิตในเชิงการค้ามากกว่า 100 ชนิด (สุภาณี, 2540)

ลักษณะโครงสร้าง

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphates) มีลักษณะโครงสร้างหลักดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างหลักของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

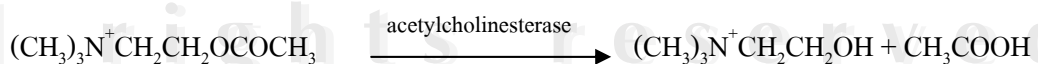
ที่มา: ศุภมาส (2540)

เมื่อ X และ Y อาจเป็นกำมะถันหรือออกซิเจน R คือ ไฮโดรคาร์บอน ส่วน Z เป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (ศุภมาส, 2540) สารกลุ่มนี้ที่จะสามารถป้องกันกำจัดแมลงได้ต้องมีคุณสมบัติคือ ซัลเฟอร์หรือออกซิเจนต้องเชื่อมโดยตรงกับฟอสฟอรัส ซึ่งมีวาเลนซ์เป็นห้า (pentavalent phosphorous) และ R อาจเป็นกลุ่ม alkoxy, alkyl หรือ amino และกลุ่ม acyl ต้องเป็นกลุ่มที่มีประจุลบในกรดอินทรีย์ เช่น fluorine, cyanate, thiocyanate หรือต้องเป็นส่วนหนึ่งของกรด เช่น enol, mercaptan (Matsumura, 1976)

กลไกการออกฤทธิ์

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเป็นพิษต่อทั้งแมลงและสัตว์เลื้อยคลานด้วยนม ออกฤทธิ์ในการกำจัดแมลงโดยการยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในระบบประสาท โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholinesterase) แหล่งที่แสดงพิษคือ รอยต่อของใยประสาท ตามปกติเมื่อปลายประสาทข้างหนึ่งถูกกระตุ้นจะมีการส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านสารอะเซทิลโคลีน (acetylcholine) ซึ่งเป็นตัวส่งผ่านสัญญาณดังกล่าวผ่านรอยต่อระหว่างใยประสาทหนึ่งไปสู่ใยประสาทที่อยู่ถัดไป และจะทำหน้าที่เช่นนี้จนกว่าสารอะเซทิลโคลีนจะถูกเปลี่ยนเป็นโคลีน (choline) และกรดอะซิติก (acetic acid) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาชื่อ เอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรส (ศุภมาส, 2540) ดังสมการ

ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาบริเวณรอยต่อใยประสาทเมื่อมีการสื่อกระแสประสาทตามปกติ

ที่มา: ศุภมาส (2540)

เมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ การกิน หรือ สัมผัส จะเกิดการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholine inhibition) ในระบบสื่อประสาท ทำให้เกิดการส่งสัญญาณประสาทช้าลงและเกิดการสะสมของอะซิติลโคลีนซึ่งเป็นสารกระตุ้นประสาทอย่างแรง อวัยวะต่างๆ จึงตื่นตัวตลอดเวลา (รพีพัฒน์, 2538) ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่ได้รับสารนี้เข้าไปจะเกิดความผิดปกติของระบบประสาท การส่งสัญญาณในสมองเสื่อมลง มีผลต่อระบบสัมผัส การเคลื่อนไหว พฤติกรรมและการทำงานของระบบหายใจ มีอาการทางระบบประสาทและกล้ามเนื้อ เกิดการชักกระตุก เสียชีวิตในที่สุด (สุภมาศ, 2540) การเสียชีวิตมักเกิดจากระบบหายใจถูกกด แต่ร่างกายสามารถกลับเป็นปกติได้เมื่อมีการสร้างเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสไปชดเชย (สาวิตร, 2529)

ความเป็นพิษ

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตนับว่าเป็นสารกลุ่มที่มีพิษสูงทั้งต่อแมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จากการจัดแบ่งระดับความเป็นพิษโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) พบว่า สารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับที่มีพิษร้ายแรงยิ่ง พิษร้ายแรง และพิษปานกลาง สำหรับความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยเฉพาะมนุษย์ ของสารกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับความไวในการถูกเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ในร่างกาย ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ตับ ตามปกติแล้วเมื่อมีสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการเปลี่ยนรูปของสารดังกล่าวไปโดยปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกาย โดยใช้เวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมง นอกจากกรณีที่ได้รับในปริมาณสูงมากในครั้งเดียว หรือการทำงานของตับมีความผิดปกติไป (Cheremisinoff and King, 1994)

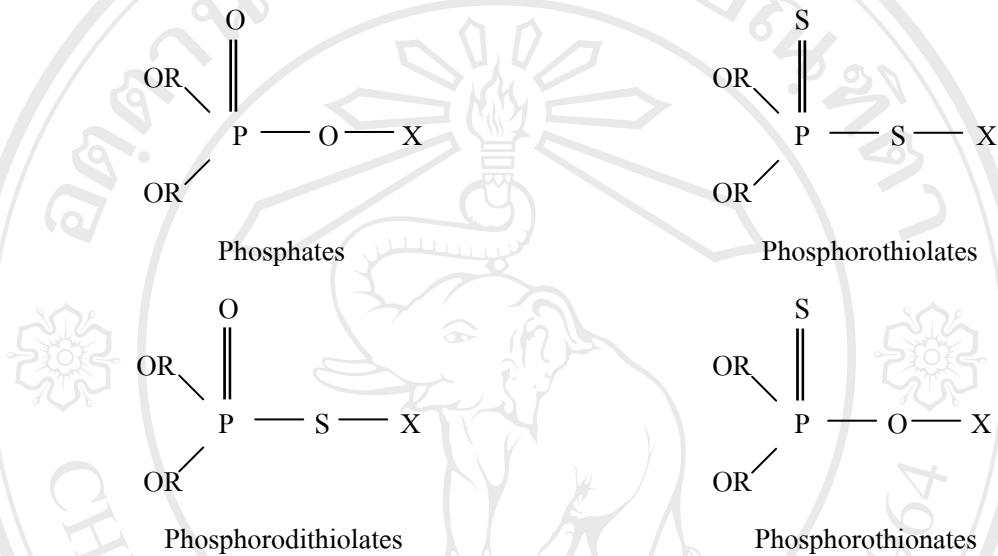
สารป้องกันและกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเป็นกลุ่มที่มีความเป็นพิษสูงสุดต่อทั้งแมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ถือได้ว่าเป็นยดพิษ (super toxic) ต่อมนุษย์ สารในกลุ่มนี้แทบทุกชนิดจัดว่าอยู่ในระดับมีพิษร้ายแรงยิ่ง ยกเว้นมาลาโทออน (สุภมาศ, 2540)

การจำแนกประเภทของสารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

การจัดประเภทของสารป้องกันกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต อาจแบ่งได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการจัดแบ่ง เช่น ลักษณะโครงสร้างทางเคมี ระดับความเป็นพิษ ลักษณะการใช้ในทางปฏิบัติ และคุณสมบัติในการกำจัดแมลง

1. การจัดประเภทของสารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี

โดยทั่วไปสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจะมีสูตรโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีเป็นกลุ่มอนุพันธ์ของ ester, amide หรือ thiol ของกรด phosphoric, phosphonic, phosphorothioic หรือ phosphonothioic ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานของสารเคมีกำจัดแมลงออร์กาโนฟอสเฟต
ที่มา: สมิง และ ยุพา (2541)

2. การจัดประเภทของสารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตามลักษณะการใช้งาน

สุภาณี (2540) จัดแบ่งประเภทของสารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตามลักษณะการใช้งานทางปฏิบัติออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นสารกลุ่มที่มีพิษฆ่าแมลงโดยการสัมผัส มีความคงทนต่ำ สารกลุ่มนี้สามารถละลายน้ำได้น้อย และสลายตัวได้ง่ายโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แต่เป็นสารกลุ่มที่ได้รับความนิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากออกฤทธิ์ฆ่าแมลงได้อย่างรวดเร็วและราคาถูก แต่มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูง ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ได้แก่ เมวินฟอส (mevinphos) และเตทตระคลอวินฟอส (tetrachlorvinphos)

กลุ่มที่ 2 เป็นสารกลุ่มที่เป็นพิษโดยการสัมผัสเช่นเดียวกัน แต่สามารถดูดซึมผ่านเข้าไปในพืชได้บ้างเล็กน้อย แต่ไม่มีการเคลื่อนย้ายภายในต้นพืช ทำให้ออกฤทธิ์ฆ่าแมลงได้นานขึ้น มีความ

คองทนปานกลาง สารกลุ่มนี้ได้แก่ มาลาไรออน (malathion) พาราไรออน (parathion) เมทิลพาราไรออน (methyl parathion) ไดอะซินอน (diazinon) และเฟนิโตรไรออน (fenitrothion) สารในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นแตกต่างกัน เช่น มาลาไรออน เป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นต่ำ แต่เมทิลพาราไรออน และพาราไรออน (หรือเอทิลพาราไรออน) มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูงกว่ามาลาไรออนมาก

กลุ่มที่ 3 เป็นสารกลุ่มที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ (systemic insecticide) สามารถละลายในไขมันและละลายน้ำได้ดีด้วย สามารถซึมผ่านชั้นไขที่ผิวใบพืชเข้าสู่เนื้อเยื่อและมีการลำเลียงเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆ ของพืช แล้วออกฤทธิ์กำจัดแมลงที่กัดกินหรือดูดกินพืชนั้นๆ ได้ นอกจากนี้ ยังสามารถเคลื่อนที่ผ่านทางรากไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชได้ กรณีที่อยู่ในรูปเม็ดที่ใช้ใส่ทางดิน ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ได้แก่ โฟเรท (phorate) ไดเมทโทเอท (dimethoate) และโมนโครโทฟอส (monocrotophos) นอกจากนี้สารในกลุ่มนี้ยังไม่วางชะล้างโดยน้ำหรือน้ำฝน และสามารถป้องกันการทำลายของแมลงในทุกส่วนของพืชที่สารเคลื่อนย้ายไปถึง แม้ว่าจะไม่ได้รับสารดังกล่าวโดยตรงก็ตาม

กลุ่มที่ 4 เป็นสารกลุ่มที่มีพิษทางการหายใจด้วย มีค่าความดันไอค่อนข้างสูง จึงสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิปกติ และไอระเหยนั้นมีพิษฆ่าแมลงได้ด้วย สารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูง แต่สามารถสลายตัวได้เร็วมาก (ประมาณ 1-3 วัน ภายหลังจากใช้) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น ไดโครวอส (dichlovos) เป็นต้น

2.3 พฤติกรรมของสารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในดิน (Behavior of organophosphates in soil environment)

2.3.1 การปนเปื้อนของสารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในดิน

สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่มีการใช้สามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง เช่น การแพร่กระจายโดยลมเมื่อมีการพ่น การชะล้างสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดินไปกับตะกอนดิน และการแพร่กระจายสู่แหล่งน้ำภายนอกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงถ่ายน้ำกับแหล่งน้ำดังกล่าว เมื่อมีการพ่นสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชละอองของสารบางส่วนจะตกสู่ดินและน้ำโดยตรง และเมื่อมีการให้น้ำหรือฝนตก สารที่ตกค้างบนลำต้นหรือใบของพืชและที่ตกค้างบนดินบนแปลงปลูกจะถูกชะล้างไปสู่ร่องน้ำต่อไป เมื่อเกษตรกรเปลี่ยนถ่ายน้ำกับแหล่งน้ำภายนอกก็จะทำให้มีการแพร่กระจายของสารที่ตกค้างในน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้

2.3.2 การตกค้างและความคงทนของสารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในดิน

ศุภมาส (2540) กล่าวว่า การตกค้างของสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในดิน อาจเกิดจาก ละอองสารบางส่วนตกลงสู่พื้นดินโดยตรงเมื่อมีการพ่นสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช หรืออาจเกิด จากการชะล้างสารที่ตกค้างบนใบพืชจากการให้น้ำหรือฝนตกลงสู่พื้นดิน การฉีดพ่นสารกำจัด ศัตรูพืชกับต้นพืชจะมีส่วนที่ไม่สัมผัสพืชเป้าหมายเสมอ มีการประมาณว่ามากถึงร้อยละ 50 ของ สารกำจัดศัตรูพืชที่ฉีดพ่นพืชจะตกสู่ดิน สารกำจัดศัตรูพืชทุกชนิดที่ใช้กับพืชทางใบจะมีผลทำให้ เกิดการตกค้างของสารนั้นในดินอันเนื่องจากการฉีดพ่นที่ใบไม่ใช่มาจากการใช้กับดินโดยตรง (Khan, 1980) การตกค้างของสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในดินขึ้นอยู่กับชนิดของสารและชนิด ของดิน ซึ่งการตกค้างดังกล่าวจะพบมากที่ระดับความลึกของดินจากผิวดินตั้งแต่ 0-10 เซนติเมตร และปริมาณที่พบตกค้างจะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (อุดมลักษณ์, 2531) จากการศึกษา สารพิษตกค้างในดินของสิวารักษ์ และคณะ (2540) พบการสะสมของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ในดินสวนองุ่น คือ โมโนโครโทฟอส ปริมาณตั้งแต่ 0.024-0.101 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และได เมทโรเอท ปริมาณตั้งแต่ 0.002-0.154 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจากการศึกษาของสิวารักษ์ และ คณะ (2538) พบการตกค้างของไดเมทโรเอทและเมทิลพาราไรออนในดินจากสวนส้มโอ ปริมาณ ตั้งแต่ 0.001-0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม วิภา และ อารี (2539) ซึ่งศึกษาการตกค้างของวัตถุมีพิษใน สวนองุ่น อำเภอคำเม้นสะควก จังหวัดราชบุรี พบการตกค้างของไดเมทโรเอทและเมทิลพาราไร ออนในดินจากสวนองุ่น ในปริมาณตั้งแต่ 0.002-0.007 และ 0.001-0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

นอกจากนี้กรมควบคุมมลพิษได้ดำเนินการติดตามตรวจสอบการตกค้างของสารป้องกัน และกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในสิ่งแวดล้อมในดิน ในปีพ.ศ. 2542 จากตัวอย่างดิน 107 ตัวอย่าง ตรวจ พบการตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 1 ตัวอย่าง เป็นสารเมทิลพาราไรออน ในปริมาณ 0.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2543) และสำนักวิจัยและ พัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 กรมวิชาการเกษตร ได้นำตัวอย่างดิน 98 ตัวอย่าง จากแหล่งการเกษตร บริเวณพื้นที่สูงภาคเหนือมาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารพิษตกค้าง พบสารพิษตกค้างกลุ่มออร์กา โนฟอสเฟตประกอบด้วยเมวินฟอส และเมทิลพาราไรออน (พงศพัทธ์ และคณะ, 2540)

การคงสภาพของสารออร์กาโนฟอสเฟตในดิน

สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตได้มีการใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ทำให้สาร กำจัดแมลงดังกล่าวกระจายปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมซึ่งรวมทั้งดินด้วย แต่ Khan (1980) ได้กล่าวว่า สารออร์กาโนฟอสเฟตส่วนมากจะไม่ค่อยพบการตกค้างในดินเกินหนึ่งปี ในทำนองเดียวกัน Chambers and Levi (1992) ได้กล่าวว่า ระยะเวลาการตกค้างหรือการคงสภาพของสารออร์กาโน ฟอสเฟตในดินค่อนข้างสั้น เพราะมีขบวนการย่อยสลายเกิดขึ้น ขบวนการย่อยสลายอาจเป็น

ขบวนการทางเคมี เช่น ไฮโดรไลซิส หรือขบวนการทางชีวภาพ ซึ่งเป็นการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 1 เป็นค่าครึ่งชีวิต (half-life) ของสารออร์กาโนฟอสเฟตในดินชนิดต่างๆ จะเห็นได้ว่ามีระยะเวลาต่างกัน ซึ่งน่าจะขึ้นกับปัจจัยหลายด้าน ดังรายงานของ Burns (1978) ซึ่งรายงานไว้ว่า ปฏิกิริยาของสารกำจัดแมลงกับดินจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของดิน ถ้าสารกำจัดแมลงที่ลงดินแล้วไม่ถูกดูดซับด้วยอนุภาคดิน การเปลี่ยนแปลงของสารกำจัดแมลงจะขึ้นกับสภาพแวดล้อม เช่น พีเอช อุณหภูมิ ความชื้นของดิน เป็นต้น ในทางตรงกันข้ามถ้าสารกำจัดแมลงถูกดูดซับด้วยอนุภาคดิน การลดลงของสารกำจัดแมลงจะลดลงเรื่อยๆ เท่าที่ปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยเอนไซม์จะเป็นไปได้

ตารางที่ 1 ค่าครึ่งชีวิต (half-life) ของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตบางชนิดในดิน

สารกำจัดแมลง	ค่าครึ่งชีวิตในดิน (วัน)				
	Muck	Sandy loam	Silty clay loam	Loam	Clay loam
Parathion	11	-	-	-	-
Diazinon	14	-	-	22	-
Chlorpyrifos	18	-	-	-	14
Fensulfotion	7	-	-	-	-
Pirimiphos-ethyl	-	70	-	-	-
Isofenphos	-	-	-	-	32
Fonofos	28	-	35	-	18
Trichloronate	28	-	-	141	-
Dimethoate	-	-	-	11	-
Chlormephos	-	28	-	-	-
Ethion	56	-	-	-	-
Phorate	-	7	9	-	8
Disulfoton	-	7	-	-	7
Terbufos	-	-	9	-	14
Chlorfenvinphos	7	63	-	135	-

ที่มา: Chambers and Levi (1992)

2.3.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในดิน

เมื่อสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตออกสู่สิ่งแวดล้อม เช่น พืช ดิน อากาศ หรือน้ำ โดยการพ่นหรือใส่ทางดินของเกษตรกร จะมีกระบวนการทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้เกิดการเคลื่อนย้าย เปลี่ยนรูป หรือสูญหายของสารดังกล่าว ซึ่ง Zongmao and HaiBin (1997) ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆที่ทำให้เกิดการสลายตัวของสารเคมีกำจัดแมลง โดยทำการศึกษาอัตราการสลายตัวของสารเคมีที่ติดอยู่ตามผิวของต้นและใบพืชโดยใช้ต้นชาเป็นกรณีศึกษาพบว่า การลดลงของสารเคมีเกิดขึ้นเนื่องจากแสง (photodegradation) การระเหยไปในอากาศ (evaporation) การชะล้างโดยน้ำฝน เป็นต้น ดังนั้นกระบวนการต่างๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องดังกล่าว สามารถรวบรวมได้ดังนี้

1. กระบวนการทางด้านเคมีและฟิสิกส์ในดิน (Physicochemical process)

การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับมีผลต่อการเคลื่อนย้ายและการสลายตัวของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้งทางชีวภาพ (biological degradation) และไม่ใช่ทางชีวภาพ (non- biological degradation) การดูดซับเป็นปฏิกิริยาของแรงที่บริเวณผิวของตัวดูดซับ (adsorbate) ทำให้โมเลกุลของสารเหล่านั้นถูกยึดไว้โดยกลไกหลายกลไก เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchanged) ทั้งแคตไอออนและแอนไอออน การเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และการเกิดโคออร์ดิเนชันเชิงซ้อน (coordination complex) เป็นต้น อัตราการดูดซับนอกจากขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวคอลลอยด์หรือตัวดูดซับเองแล้ว ยังขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของสารแต่ละชนิด ได้แก่ ขนาดและโครงสร้างโมเลกุล สารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และประกอบด้วยโครงสร้างในกลุ่มฟังก์ชัน OH NR₃ NH₂ NHR CONH₂ หรือ COOR จะถูกดูดซับได้ดีกว่าสารที่มีกลุ่มฟังก์ชันอื่นๆ เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่แพร่กระจายสู่ดินและน้ำบางส่วนจะถูกดูดซับโดยอนุภาคและคอลลอยด์ต่างๆ ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (ศุภมาส, 2540)

การเคลื่อนที่ในดิน (Movement in soil)

การชะล้าง (leaching) ศุภมาส(2540) กล่าวว่า กระบวนการชะล้างเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตลงไปตามชั้นดิน (soil profile) หรือการเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน โดยมีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง คือ โครงสร้างและคุณสมบัติของสาร เช่น การถูกดูดซับ ความคงทน ปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และลักษณะหรือคุณสมบัติของดิน เช่น ความพรุน ส่วนใหญ่สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจะถูกดูดซับไว้

ที่หน้าดินโดยพวกอินทรีย์วัตถุ (organic matter) โดย Davies and Jabeen (2002) ได้กล่าวว่า สารเคมี ทั้งกลุ่มที่ใช้กำจัดวัชพืชและกำจัดแมลงที่ใช้ในการเกษตร ส่วนที่ตกลงไปในดินบางส่วนจะถูกแร่ ดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุดูดซับไว้ ดังนั้นการเคลื่อนย้ายโดยกระบวนการการชะล้างจึงเกิดขึ้นไม่ มากนัก จึงพบการปนเปื้อนของสารกลุ่มนี้ในน้ำใต้ดินน้อยมาก แม้ว่าจะเป็นพื้นที่ที่มีการใช้อย่าง ต่อเนื่องเป็นเวลานานก็ตาม

การพัดพา (run off) ก็เป็นสาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่ ตกค้างในดินเกิดการเคลื่อนย้าย โดยศุภมาศ (2540) และ Roberts (1994) กล่าวว่า การพัดพาทำให้เกิด การเคลื่อนย้ายของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่ตกค้างในดินลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิด ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตนอกเป้าหมายที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำต่อไป การพัดพาที่เกิดกับสารกลุ่ม ดังกล่าวที่สามารถละลายน้ำได้ดี (มากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะเคลื่อนย้ายไปกับน้ำที่ผ่านหน้า ดิน แต่สำหรับสารที่ละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลายน้ำจะเคลื่อนย้ายไปกับอนุภาคดินในรูปของ ตะกอน (sediment) สารกลุ่มที่สามารถละลายน้ำได้ดีอัตราการพัดพาจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสาร คือ ความคงทน และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน การดูดซับน้ำของดิน สำหรับกลุ่มที่ ไม่ละลายน้ำและดูดซับอยู่กับอนุภาคดิน อัตราการพัดพาจะขึ้นอยู่กับการชะล้างพังทลายของดิน (soil erosion) ในธรรมชาติ สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเคลื่อนย้ายโดยกระบวนการพัดพาน้อยมาก คาดว่า น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ของปริมาณที่มีการใช้ทั้งหมด

การระเหย (volatilization)

Hemond and Fechner (1993) กล่าวว่า การระเหยเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้มีการ เคลื่อนย้ายของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในสิ่งแวดล้อม อัตราการระเหยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แสงแดด ความชื้น และคุณสมบัติของสาร เช่น ความคงทน คุณสมบัติในการถูกดูด ซับ การละลายน้ำ ความดันไอ โครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุล ซึ่ง Racke (1992) รายงานว่า สารที่มีความดันไอสูง เช่น ไดโครวอส อีโทรโพรฟอส จะมีการเคลื่อนย้ายโดยการระเหยสูงกว่าสารที่มีความดันไอต่ำ เช่น EPN ไอระเหยของสารเหล่านี้สามารถแพร่กระจายไปได้เป็นระยะทางไกล แต่ก็ จะมีการเจือจางโดยมวลอากาศและการสลายโดยแสง ซึ่งไอระเหยของสารในชั้นบรรยากาศอาจตกลงสู่พื้นดินหรือแหล่งน้ำอีกครั้งเมื่อเกิดการรวมตัวกับหยดน้ำหรือฝน

การสลายตัวด้วยแสง (photodegradation)

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตหลายชนิดสลายตัวโดยใช้แสง ซึ่งอาจเป็นการสลายตัวจากแสง โดยตรง (direct photolysis) คือ โมเลกุลของสารเมื่อได้รับแสงก็จะดูดซับพลังงานทำให้อิเล็กตรอน

อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (excited state) จนทำให้โครงสร้างโมเลกุลของสารเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีความซับซ้อนน้อยลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆ ต่อไป หรือถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น สารจึงเกิดการเปลี่ยนรูปหรือสูญหายไป (Dureja, 1989) การสลายตัวของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตโดยแสงเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลได้รับแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 290-450 นาโนเมตร และอัตราการสลายตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น เช่น แสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) สารบางชนิด เช่น โมโนโครโทฟอส จะไม่ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 300 นาโนเมตร แต่จะดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 215 นาโนเมตรมากที่สุด (Hill and Wright, 1978)

นอกจากนี้อาจเกิดการสลายตัวโดยแสงทางอ้อม (indirect photolysis) ซึ่งเกิดเนื่องจากโมเลกุลของสารแขวนลอย สารอนินทรีย์ หรือรงควัตถุ (pigment) ของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในสิ่งแวดล้อม เมื่อโมเลกุลของสารแขวนลอยเหล่านี้ได้รับแสงและดูดซับพลังงานไว้ ทำให้เกิดสารใหม่ที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เช่น O_2 radical, peroxide ทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆ ตามมา เช่น การเกิด photooxidation (Miyamoto *et al.*, 1994) การเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวโดยแสงทั้งทางตรงและทางอ้อมนี้อาจเกิดกับสารที่อยู่ในรูปของไอระเหยในบรรยากาศ สารละลายในน้ำหรือสารที่ตกค้างอยู่ตามบริเวณผิวดินและลึกลงไปประมาณ 1-2 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังเกิดได้ที่บริเวณผิวน้ำหรือส่วนของพืชที่ได้รับแสงโดยตรง (ศุภมาส, 2540)

การเปลี่ยนรูปและการสลายตัวทางเคมี (chemical degradation)

ปฏิกิริยาทางเคมีสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปและการสลายตัวของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ออกซิเดชัน (oxidation) ไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) การแตกตัวเป็นไอออน (ionization) และการเกิดเกลือ (salt formation) ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดในการสลายตัวของสารออร์กาโนฟอสเฟต คือ ไฮโดรไลซิส เนื่องจากกลุ่มฟังก์ชันเอสเทอร์ของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเป็น phosphate ester bond ซึ่งเป็น weak link การสลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจึงเกิดขึ้นได้ง่าย อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นอยู่กับสภาพกรด่างของสภาพแวดล้อม สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตส่วนใหญ่ไวต่อปฏิกิริยาแบบ basecatalyze hydrolysis ทำให้เกิดการสลายตัวในสภาพด่าง แต่ก็มีสารในกลุ่มนี้บางชนิดเป็น acidcatalyze hydrolysis เช่น ไดอะซินอน ซึ่งการสลายตัวจะเกิดขึ้นในอัตราสูงในสภาพกรด (Racke, 1992) และ Bavcon *et al.* (2003) ได้ทำการทดลองพบว่าสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตคือ diazinon, malathion และ malaoxon ถ้าละลายอยู่ในน้ำจะมีการสลายตัวโดยกระบวนการทางไฮโดรไลซิส แต่การสลายตัวจะไม่เท่ากัน โดยมี diazinon สลายตัวได้ร้อยละ 95 ในขณะที่ malathion สลายตัวได้

เพียงร้อยละ 10 และเมื่อใส่สารกลุ่มนี้ลงไปดินพบว่า การสลายตัวเกิดขึ้นจากกระบวนการโฟสโตไลซิส โดย diazinon สลายตัวได้ถึงร้อยละ 90

การสลายตัวโดยปฏิกิริยาทางเคมีของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่สำคัญอีกประเภท คือ เกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-reduction) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวอาจเกิดจากการกระตุ้นโดยพลังงานแสง การกระตุ้นของสารที่เป็นองค์ประกอบในดินและน้ำตามธรรมชาติ หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดสารเมทาบอลิต์ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความเป็นพิษ ความเสถียรแตกต่างไปจากสารดั้งเดิม สารเมทาบอลิต์จากการสลายตัวของสารบางชนิดอาจมีความเป็นพิษสูงกว่าสารเดิม เช่น พาราออกซอน ซึ่งเป็นเมทาบอลิต์ของพาราไรธอน นอกจากนี้เมทาบอลิต์ของสารบางชนิดอาจมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีความเสถียรน้อยกว่าเดิม จึงสามารถถูกทำให้สลายตัวโดยกระบวนการต่างๆ ได้ง่ายกว่าในสารที่อยู่ในรูปของสารดั้งเดิม (สุภาณี, 2540)

2. กระบวนการทางด้านชีวภาพ (Biological process)

ศุภมาส (2540) กล่าวว่า การสลายตัวทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของสารประกอบในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจนสูญเสียสภาพโครงสร้างโมเลกุลเดิมโดยชีวปัจจัยหรือปฏิกิริยาของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น ออกซิเดชัน-รีดักชัน ไฮโดรไลซิส ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการสลายตัวทางชีวรูปที่สำคัญ ได้แก่ ชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ เช่น รา แบคทีเรีย

การสลายตัวโดยจุลินทรีย์ดิน (Microbial decomposition)

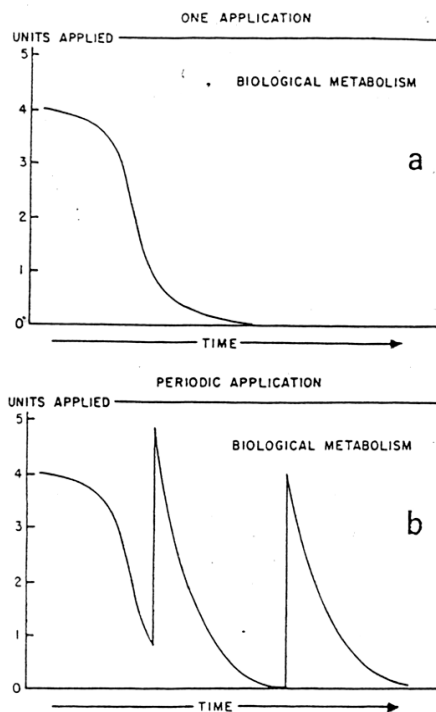
ในการศึกษาการสลายตัวของสารกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนอยู่ในดินในกลุ่มของออร์กาโนฟอสเฟตมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายได้ Kang *et al.* (2002) รายงานว่าสารกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ถูกย่อยสลายหรือลดความเป็นพิษลงได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ โดยอาศัยเอ็นไซม์จากจุลินทรีย์บางชนิด ได้แก่ *Escherichia coli* ที่ผลิตเอ็นไซม์ออร์กาโนฟอสฟอรัสไฮโดรเลส (organophosphorus hydrolase) นอกจากนี้ยังรายงานเพิ่มเติมอีกว่าเชื้อ *Pseudomonas diminuta* สามารถสร้างเอ็นไซม์ออร์กาโนฟอสฟอรัสไฮโดรเลสได้เช่นกัน และปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมก็มีผลต่อการดำรงชีวิตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดังกล่าว เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณออกซิเจน นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลของสารด้วย สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตส่วนใหญ่ที่มีโครงสร้างของ OH COO หรือ NH₂ เป็นองค์ประกอบ และเป็นสารมีขั้วจะเกิดการสลายตัวทางชีวภาพได้ง่าย

Racke (1992) กล่าวถึงลักษณะการถูกย่อยสลายของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์ต่างๆ ว่า อาจเป็นการย่อยสลายแบบ co-metabolism ซึ่งเป็นการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินท

รีซหลายกลุ่ม สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นสารเมทาบอลไลต์โดยจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่ง สารดังกล่าวอาจสะสมในสิ่งแวดล้อมหรือถูกย่อยสลายต่อไปโดยจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ ซึ่งสามารถนำ สารดังกล่าวไปใช้เป็นปัจจัยในการเจริญเติบโตได้ อัตราการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น มาลาไธออน จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่แยกได้จากกากของเสียจากโรงงาน อุตสาหกรรม ให้กลายเป็นสารเมทาบอลไลต์ ซึ่งจะถูกละลายต่อไปโดยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งจน กลายเป็นเอทานอลหมดภายใน 28 ชั่วโมง นอกจากนี้อาจมีการย่อยสลายแบบ catabolism ซึ่งเป็นการย่อยสลายที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์เพียงกลุ่มเดียว เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถนำสารที่ ได้จากการย่อยสลายสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตไปใช้ในรูปของแหล่งคาร์บอน แหล่งพลังงาน หรือแหล่งอาหารในการเจริญเติบโตได้ ในหลายกรณีการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์จะได้ผลผลิต สุดท้ายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งพบทั่วไปในดิน แหล่งน้ำ นาข้าว และ ของเสีย สามารถย่อยสลายพาราไธออนหรือโคอะซิโนนแล้วนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและ พลังงานในการเจริญเติบโตได้ โดยมีเอนไซม์ต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการสลายตัวดังกล่าว จากการรายงานของ Castillo *et al.* (2001) พบว่าเชื้อ *Phanerochaete chrysosporium* สร้างเอนไซม์ lignin peroxidase และ manganese peroxidase/laccase ช่วยย่อยสารกำจัดวัชพืช bentazone ได้ร้อยละ 65 ภายใน 20 วัน เมื่อใส่สารนี้ร่วมกับใส่ฟางข้าวเป็นการบ่งชี้ว่าอินทรีย์วัตถุมีส่วนช่วยในการย่อยสลายได้ด้วย

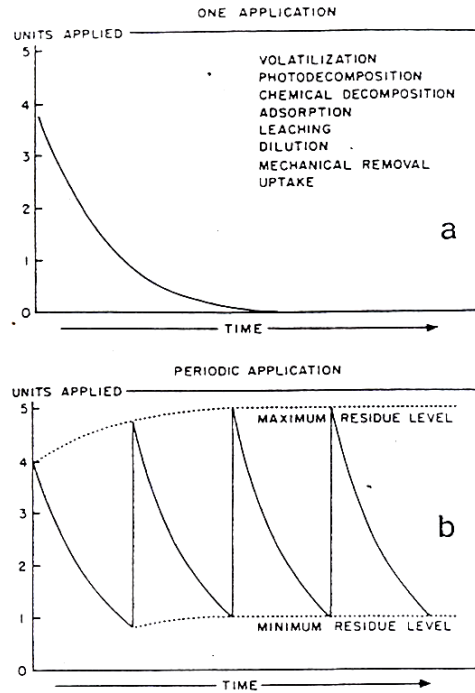
Hiltbold (1974) และ Khan (1980) ได้แสดงการสูญสลายของสารกำจัดศัตรูพืชจากดินโดย เปรียบเทียบระหว่าง การใช้สารกำจัดศัตรูพืชครั้งเดียวกับหลายครั้ง ดังรูปที่ 4 และ 5 รูปที่ 4a และ 4b เป็นการลดลงของสารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งมีผลมาจากจุลินทรีย์ จะเห็นได้ว่า รูปที่ 4a หลังจากการใช้ ในช่วงแรก ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชจะลดลงอย่างช้าๆ ซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า lag period เนื่องจากจุลินท รียอยู่ระหว่างการปรับตัว หรือเปลี่ยนสารกำจัดศัตรูพืชเป็นเมทาบอลไลต์ที่ไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ หลังจากผ่านช่วงนี้ไปแล้วจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว การเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ทำ ให้ดินอยู่ในสถานะที่จะย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชได้อย่างรวดเร็ว และเมื่อมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืช ชนิดเดียวกันครั้งต่อไปดังรูปที่ 4b จะไม่ปรากฏช่วง lag period ส่วนรูปที่ 5 เป็นการอธิบายในกรณี ที่สารกำจัดศัตรูพืชเมื่ออยู่ในดินจะไม่ทำให้มีการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์โดยใช้คาร์บอนจากสารกำจัด ศัตรูพืชนั้น ดังนั้นการย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชจึงเกิดขึ้นได้โดยจุลินทรีย์เฉพาะจำนวนที่มีอยู่ใน ดินขณะนั้น พร้อมกับกลไกอื่นๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ผิวของดินเหนียว การระเหย การ สลายตัวโดยแสง เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 5a แสดงการสูญสลายของสารกำจัดศัตรูพืชอย่าง ต่อเนื่อง เมื่อได้ภาพ 5a แล้วก็สามารถคำนวณระดับต่ำสุดและสูงสุดของการตกค้างในดิน สำหรับ กรณีใช้หลายครั้งต่อเนื่องกันจึงปรากฏการสะสมของสารกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่ปลูกพืชที่มีการใช้

อย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 5b ซึ่งคล้ายกับผลการทดลองของ Suett and Judes (1988) ซึ่งศึกษาการสลายตัวของสารออร์กาโนฟอสเฟตในดิน และพบว่าจะมีการกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวเร็วขึ้นในดินที่เคยใช้สารออร์กาโนฟอสเฟตชนิดเดียวกันมาแล้ว เมื่อเทียบกับดินที่ไม่เคยใช้สารนั้นมาก่อน นอกจากนี้ Brown (1978) ได้รายงานว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่พบสารออร์กาโนฟอสเฟตคงสภาพในดินนานข้ามปี เพราะจากการทดลอง พาราไรออน จะสูญเสียไปจากดินในเวลา 5 เดือน แต่เมื่อมีการใช้พาราไรออนติดต่อกันนาน 4 ปี ทำให้ยังคงพบพาราไรออนตกค้างในดินในปริมาณเล็กน้อยนานถึง 16 ปี ภายหลังจากที่เลิกใช้ไปแล้ว



รูปที่ 4 การสลายตัวของสารกำจัดศัตรูพืชในดินเนื่องจากจุลินทรีย์ เปรียบเทียบระหว่างการใช้สารกำจัดศัตรูพืชครั้งเดียว (รูป a) และใช้ต่อเนื่องหลายครั้ง (รูป b)

ที่มา: Hiltbold (1974)



รูปที่ 5 การสลายตัวของสารกำจัดศัตรูพืชในดินเนื่องจากปัจจัยทางกายภาพและทางเคมี
เปรียบเทียบระหว่างการใช้สารกำจัดศัตรูพืชครั้งเดียว (รูป a) และใช้ต่อเนื่องหลายครั้ง (รูป
b)

ที่มา: Hilbold (1974)

Miles *et al.* (1979) ได้ศึกษาสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 5 ชนิด ได้แก่ คลอเฟนวินฟอส เฟนนิโตรไซออน พาราไซออน คลอร์ไพริฟอส และไดอะซินอน พบว่า สารทั้ง 5 ชนิด ไม่มีพิษต่อแบคทีเรีย และเชื้อราในดินอินทรีย์และดินร่วนปนทราย ยังมีบางรายงานแสดงให้เห็นว่าสารกำจัดแมลงจะทำให้จุลินทรีย์ดินหยุดการเจริญเติบโตหรือลดจำนวนลง ดังเช่นรายงานของ Prasad-Reddy *et al.* (1984) พบว่า มาลาไซออนที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทรายและดินร่วนปนซลท์ แต่ในบางกรณีการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อันเนื่องมาจากสารกำจัดแมลงจะยับยั้งในช่วงระยะแรกและหลังจากนั้นจำนวนจุลินทรีย์ดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะเห็นได้จากผลการทดลองสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในดินร่วนปนทรายในสภาพห้องปฏิบัติการของ Prasad-Reddy *et al.* (1984) พบว่าจำนวนแบคทีเรียลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังจาก 2 วันเมื่อใช้พาราไซออนและไตรอะโซฟอสที่อัตรา 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน แต่จำนวนจุลินทรีย์จะกลับมาเพิ่มขึ้นจนเท่าเดิมในเวลาต่อมา

บางกรณีจะพบว่าสารกำจัดแมลงจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ดังการศึกษาของ Congregado *et al.* (1978) ได้พบการกระตุ้นให้จุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อใช้มาลาไธออนและไดเมทโทเอทในอัตรา 10 และ 100 ไมโครกรัมต่อกรัมดิน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับที่ สมศักดิ์ (2528) ได้อธิบายไว้ว่า การสลายตัวของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ดินคาร์บอนส่วนหนึ่งที่ได้จากการย่อยสลายจะถูกใช้ป็นองค์ประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ในการเพิ่มจำนวนเซลล์ และนอกจากสารกำจัดแมลงจะมีผลต่อจุลินทรีย์ดินบางครั้งผลิตภัณฑ์หรือเมทาโบไลต์ที่ได้จากการสลายตัวของสารกำจัดแมลงก็มีผลต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์เช่นกัน ดังจากการศึกษาของ Camper (1991) ได้พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของสารกำจัดศัตรูพืชมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ดิน ซึ่งผลกระทบดังกล่าวอาจทำให้ประชากรจุลินทรีย์เพิ่มหรือลดก็ได้

การดูดของพืช (Plant uptake)

รัชนี (2541) รายงานว่า สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารในกลุ่มดูดซึม (systemic) เช่น โมโนโครโทฟอส ไดเมทโทเอท สามารถดูดซึมเข้าสู่ต้นพืชได้ทางปากใบและผิวใบ สารที่ดูดซึมผ่านเข้าไปแล้วจะเคลื่อนย้ายลงสู่ราก โดยผ่านท่อลำเลียงอาหาร (phloem) เป็นการเคลื่อนย้ายซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ หลังจากนั้นจะเคลื่อนย้ายไปสู่ท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ซึ่งจะเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชอย่างรวดเร็ว เมื่อเข้าสู่ต้นพืชแล้วสารเหล่านี้อาจจะอยู่ในรูปสารดั้งเดิม (parent compound) หรือเปลี่ยนรูปไปโดยกระบวนการทางชีวเคมีและเมตาบอลิซึมในเนื้อเยื่อพืช สารที่เปลี่ยนรูปไปอาจไม่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์หรือสัตว์ หรือมีความเป็นพิษรุนแรงกว่าเดิมก็ได้ ดังเช่น ในแมลง เมื่อสารมาลาไธออนเข้าสู่ลำตัวแมลงจะมีการเปลี่ยนรูปโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยระบบเอนไซม์โมโนออกซิจีเนส (mono-oxygenase system) ได้สารมาลาออกซอน (malaoxon) ซึ่งมีพิษสูงขึ้นกว่ามาลาไธออนมาก ดังนั้นสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่ตกค้างในส่วนต่างๆ ของพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่ใช้บริโภค จึงอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ได้

2.4 การใช้สารป้องกันและกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่เกษตรกรนิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ คลอร์ไพริฟอส ไคโครโทฟอส ไตรอะโซฟอส และโปรฟีโนฟอส ซึ่งมีข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะและคุณสมบัติต่างๆ ของสารเหล่านี้ที่ได้จากการรวบรวมเอกสารของ ปรีชา (2542) สมิง และ ชูพา (2541) Chlorpyrifos (2005) Dicrotophos (2005) Triazophos (2005) และ Profenofos (2005) สามารถสรุปได้ดังนี้

2.4.1 คลอร์ไพริฟอส

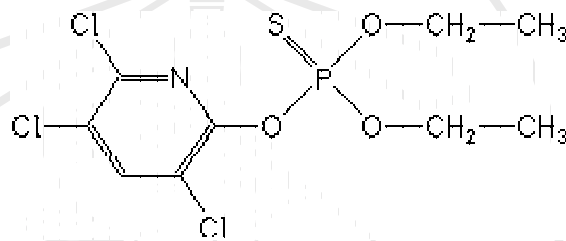
ชื่อสามัญ คลอร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos)

ชื่อการค้า คลอร์ไพริฟอส, คลอร์ดิน, โคมิก 40, ชูปลา, แซทเทอโฟส, เทททู, บาดี การ์ด-40, ไพรีเน็กซ์, เมกาฟอส และชื่ออื่นๆ

ชื่อเคมี *O,O*-diethyl *O*-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate

สูตรโมเลกุล $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$

สูตรโครงสร้าง มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของสารคลอร์ไพริฟอส

ที่มา: Chlorpyrifos (2005)

การออกฤทธิ์ เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ประเภทไม่ดูดซึม ออกฤทธิ์ในทางสัมผัสและกินตาย และเป็น cholinesterase inhibitor

ความเป็นพิษ มีพิษเฉียบพลัน (acute oral LD 50) ทางปาก (หนู) 97-276 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทางผิวหนัง (กระต่าย) 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ศัตรูพืชที่กำจัดได้ เพลี้ยอ่อน มด หนอนใยผัก หนอนผีเสื้อขาหวะห้ำ หนอนกระทู้ต่างๆ หนอนเจาะสมอสีชมพู หนอนกอลาย เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยกระโดด ไรแดง ไรสนิมส้ม เพลี้ยหอย เพลี้ยแป้ง แมลงวันทอง แมลงหวี่ขาว และด้วงวงเจาะสมอ

พืชที่ใช้ ผักต่างๆ ข้าวโพด ฝ้าย ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มันฝรั่ง ข้าว อ้อย ยาสูบ ส้ม สตรอเบอร์รี่ แอสปารากัส ไม้ผล มะเขือเทศ ไม้ดอก และไม้ประดับทั่วไป

สูตรผสม 20% อีซี, 40% อีซี และ 2.5% จี

อัตราการใช้ ชนิด 20% อีซี ใช้อัตรา 25-90 ซีซี ผสมกับน้ำ 20 ลิตร ควรศึกษา

รายละเอียดจากฉลากเพิ่มเติมก่อนใช้ ผสมกับน้ำกวนให้เข้ากันดีแล้วฉีดพ่นให้ทั่วต้นพืช

2.4.2 ไดโครโตฟอส

ชื่อสามัญ ไดโครโตฟอส (Dicrotophos)

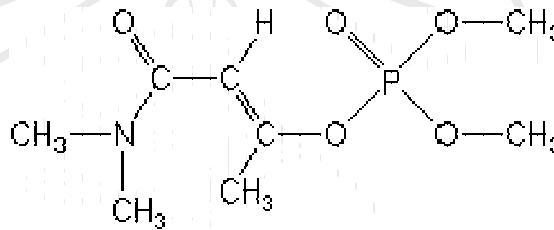
ชื่อการค้า โกลเอ็ม, ครีเอเตอร์, คอนโทน, คอมโพส, คาโบร่า, คาร์การ์ด, คาร์นิคซ์, คาร์ไบครอน 33, ซินแบด, เซฟออฟ และชื่ออื่นๆ

ชื่อเคมี (*E*)-2-dimethylcarbamoyl-1-methylvinyl dimethyl phosphate หรือ

3-dimethoxyphosphinoyloxy-*N,N*-dimethylisocrotonamide

สูตรโมเลกุล $C_8H_{16}NO_5P$

สูตรโครงสร้าง มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของสารไดโครโตฟอส

ที่มา: Dicrotophos (2005)

การออกฤทธิ์ เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตประเภทดูดซึม ออกฤทธิ์ในทางสัมผัสและกินตาย

ความเป็นพิษ มีพิษเฉียบพลันทางปาก 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทางผิวหนัง 225 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ศัตรูพืชที่กำจัดได้ เพลี้ยอ่อน เพลี้ยไฟ เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยไก่อั่ว้ เพลี้ยกระโดด เพลี้ยแป้ง เพลี้ยหอย ไรชนิดต่างๆ หนอนม้วนใบ หนอนกระทู้กล้า หนอนกระทู้ควายพระอินทร์ หนอนกอ หนอนเจาะลำต้น หนอนใยผัก แมลงค้ำหนาม บั่ว แมลงลิสง มวนเขียว มวนแดง ตัวงวงเจาะสมอ และแมลงอื่นๆ

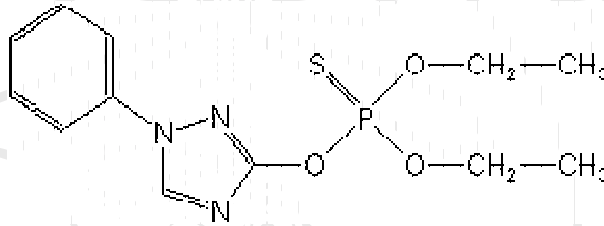
พืชที่ใช้ ข้าว มันฝรั่ง ัญพืช ส้ม อ้อย ปาล์ม ยาสูบ ทุเรียน ถั่วลิสง กาแฟ ผักต่างๆ และไม้ผลทั่วไป

สูตรผสม 24% อีซี, 33% อีซี และ 50% อีซี

อัตราการใช้ สำหรับชนิด 24% อีซี โดยทั่วไปใช้อัตรา 20-40 ซีซี ผสมกับน้ำ 20 ลิตร กวนให้เข้ากันดีแล้วฉีดพ่นให้ทั่วต้นพืช ภายหลังจากตรวจพบว่ามีแมลงศัตรูพืชรบกวน สำหรับสูตรความเข้มข้นชนิดอื่นให้ศึกษารายละเอียดจากฉลากก่อนใช้

2.4.3 ไตรอะโซฟอส

ชื่อสามัญ	ไตรอะโซฟอส (Triazophos)
ชื่อการค้า	ไตรอะโซฟอส 40, ฟอสต้า, ฮอสตาธีออน 40 และชื่ออื่นๆ
ชื่อเคมี	<i>O,O</i> -diethyl <i>O</i> -1-phenyl-1 <i>H</i> -1,2,4-triazol-3-yl phosphorothioate
สูตรโมเลกุล	$C_{12}H_{16}N_3O_3PS$
สูตรโครงสร้าง	มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 โครงสร้างทางเคมีของสารไตรอะโซฟอส

ที่มา: Triazophos (2005)

การออกฤทธิ์ เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ออกฤทธิ์ในทางสัมผัสและกินตาย และเป็น cholinesterase inhibitor

ความเป็นพิษ มีพิษเฉียบพลันทางปาก (หนูตัวเมีย) 64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทางผิวหนัง (หนู) มากกว่า 1,100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ศัตรูพืชที่กำจัดได้ หนอนกินใบ หนอนเจาะลำต้น หนอนเจาะสมอ หนอนหนาม หนอนกระทู้ หนอนกอ หนอนม้วนใบ เพลี้ยหอย เพลี้ยแป้ง เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยไฟ แมลงหัว-ขาว แมลงดำหนาม มวน และไส้เดือนฝอย

พืชที่ใช้ ข้าว ฝ้าย อ้อย ส้ม ยาสูบ มันฝรั่ง ผักต่างๆ และพืชอื่นๆ

สูตรผสม 40% อีซี, 3% และ 5% จี และ 15% ยูแอลวี

อัตราการใช้ ชนิด 40% อีซี กำจัดแมลงทั่วไป ใช้อัตรา 40-80 ซีซี ผสมกับน้ำ 20 ลิตร กวนให้เข้ากันดี ฉีดพ่นที่ใบให้ทั่วต้นพืช เมื่อตรวจพบว่าแมลงเริ่มระบาดใช้ซ้ำได้ตามความจำเป็น สำหรับชนิดอื่นๆ ใช้อัตราตามที่แนะนำบนฉลาก

2.4.4 โพรฟีโนฟอส

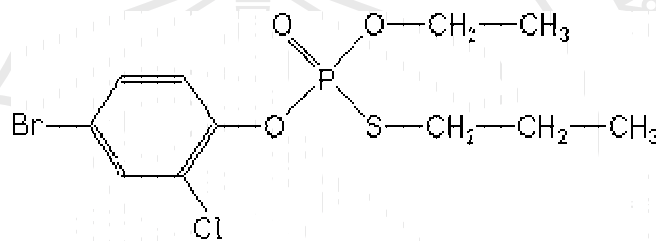
ชื่อสามัญ โพรฟีโนฟอส (Profenofos)

ชื่อการค้า กัดดาซี, การูก้า, กาแลกซี่ 500, คูราครอน-เอ, เคมีฟอส, ซีลีครอน 500 อีซี, ซูเปอร์ครอน 500 อีซี, ดาวทอง, ดีลักซ์, ดีเลอร์, เคฟครอน และชื่ออื่นๆ

ชื่อเคมี (RS)-O-4-bromo-2-chlorophenyl O-ethyl S-propyl phosphorothioate

สูตรโมเลกุล $C_{11}H_{15}BrClO_3PS$

สูตรโครงสร้าง มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 โครงสร้างทางเคมีของสาร โพรฟีโนฟอส

ที่มา: Profenofos (2005)

การออกฤทธิ์ เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ประเภทไม่ดูดซึม ออกฤทธิ์ในทางสัมผัสและกินตาย และเป็น cholinesterase inhibitor

ความเป็นพิษ มีพิษเฉียบพลันทางปาก (หนู) 358 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทางหนัง (กระต่าย) 472 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ศัตรูพืชที่กำจัดได้ หนอนใยผัก หนอนเจาะสมอฝ้าย หนอนกระทู้ยาสูบ หนอนกระทู้ความพระอินทร์ หนอนก๊ีบกระหล่ำ ตัวงวงเจาะสมอ เพลี้ยอ่อน เพลี้ยไฟ เพลี้ยกระโดด ไรฝ้าย

พืชที่ใช้ ฝ้าย อ้อย มันฝรั่ง ยาสูบ ถั่วเหลือง หอม พริก ผักตระกูลกระหล่ำ องุ่น ข้าวโพด และพืชอื่นๆ

สูตรผสม 50% อีซี และ 25% ยูแอลวี

อัตราการใช้ กำจัดแมลงศัตรูพืชทั่วไปใช้อัตรา 40-60 ซีซี ผสมกับน้ำ 20 ลิตร กวนให้เข้ากันดี และฉีดพ่นให้ทั่วใบและต้นพืช เมื่อพบเห็นว่ามีแมลงศัตรูพืชระบาดใช้ซ้ำได้ตามความจำเป็น และสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจากฉลากก่อนใช้

2.5 การวิเคราะห์สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้าง

2.5.1 การสกัดสารป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชในดิน

ได้มีผู้ทำการศึกษาวิธีการสกัดสารป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชดังนี้เช่น Jiries *et al.* (2002) ได้ทำการวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินและน้ำด้วยอะซิโตน เพื่อดูการกระจายตัวของสารกำจัดศัตรูพืช พบว่า การกระจายตัวของสารกำจัดศัตรูพืชขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายน้ำของสารกำจัดศัตรูพืชเหล่านั้นและถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในดินพืชได้ด้วย ในการศึกษาของ Aoyagi *et al.* (2001) ได้ใช้อะซิโตนในไตรทสกดเพื่อหา *N*-methylcarbamate ในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร หลังจากสกัดตัวอย่างพืชแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC/MS) และ HPLC พบว่าการใช้ GC/MS ตรวจวัดมี %recovery ระหว่าง 75.0% และ 121.9% ขณะที่เครื่อง HPLC มีค่าระหว่าง 71.2% และ 110.3% ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ *N*-methylcarbamate ในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร และจากการศึกษาของ Tse *et al.* (2004) ได้วิเคราะห์หาสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในน้ำและตะกอนที่มีสารปนเปื้อนในปริมาณต่ำ โดยสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน หรืออะซิโตน/เฮกเซน วัดปริมาณสารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี โดยใช้ capillary column และใช้ nitrogen-phosphorus (NPD) และ electron capture (ECD) เป็นตัวตรวจวัด พบว่าสามารถตรวจวัดสารที่มีอยู่ในน้ำตั้งแต่ 0.003 ถึง 0.029 $\mu\text{g/L}$ ในตะกอนวัดได้ตั้งแต่ 0.0004-0.005 $\mu\text{g/g}$ W.W และในสิ่งมีชีวิตพบตั้งแต่ 0.001-0.005 $\mu\text{g/g}$ W.W โดยมี %recovery ตั้งแต่ 76% - 102%

2.5.2 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatograph: GC)

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตโดยวิธีการใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี โดยเลือกใช้ตัวตรวจวัดชนิด Flame Photometric Detector (FPD) ซึ่งจะต้องทำให้สารที่ต้องการศึกษาดังกล่าวอยู่ในรูปที่เป็นแก๊สหรือไอ แล้วผ่านแก๊สหรือไอดังกล่าวผ่านเฟสคงที่ เพื่อแยกสาร โดยอาศัยคุณสมบัติการกระจายตัวที่แตกต่างกันของแก๊สระหว่างเฟสเคลื่อนที่กับเฟสคงที่ ที่มีของเหลวภายในอยู่ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับแยกสารที่เป็นแก๊สหรือสารที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอหรือแก๊สได้ที่อุณหภูมิที่กำหนด (อารยา, 2537)

หลักการวิเคราะห์

เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีจะแยกสารผสมออกจากกัน โดยสารที่ต้องการแยกนั้นจะต้องถูกทำให้อยู่ในสภาพของไอหรือแก๊สก่อนที่จะเข้าสู่คอลัมน์ เมื่อนำเข้าสู่คอลัมน์ (column) ซึ่งบรรจุสารที่ทำหน้าที่แยกสาร ซึ่งเรียกว่า เฟสคงที่ (stationary phase) ซึ่งเป็นของเหลวที่ระเหยยากเคลือบ

อยู่บนสารแข็งรองรับ โดยมีแก๊สพา (carrier gas) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ทำหน้าที่พาสารที่กลายเป็นไอแล้วผ่านคอลัมน์ในอัตราเร็วที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อสารผ่านเข้าสู่คอลัมน์สารต่างชนิดจะมีการกระจายตัวแตกต่างกันในเฟสคงที่และเฟสเคลื่อนที่ เนื่องจากสารแต่ละตัวมีค่า partition coefficient (K) ไม่เท่ากัน ทำให้สารผ่านคอลัมน์ออกมาด้วยเวลา (retention time) แตกต่างกัน (ฉัญจนา, 2537)

ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างต้องทำให้สารตัวอย่างอยู่ในตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วฉีดสารตัวอย่างเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟที่ตั้งสภาวะที่เหมาะสมเรียบร้อยแล้ว สารจะกลายเป็นไอและถูกพาเข้าไปสู่คอลัมน์ด้วยแก๊สพาอย่างช้าๆ สารผสมจะถูกแยกออกเป็นส่วนๆ ที่คอลัมน์ แล้วออกสู่ตัวตรวจวัด (detector) ทำให้เกิดสัญญาณขึ้น และสามารถเขียนออกมาเป็นโครมาโตแกรมด้วยเครื่องพิมพ์ ทำให้สามารถจำแนกชนิดและวิเคราะห์ปริมาณสารตัวอย่างจากรายงานโครมาโตแกรมดังกล่าวได้