บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันสารฆ่าแมลงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการเพิ่มและรักษาคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงสารฆ่าแมลงเหล่านี้ได้ เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ส่งผลให้สารฆ่าแมลงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช แม้ว่าหน่วยงานของทางราชการได้กำหนดมาตรการในการลดปริมาณการใช้สารฆ่าแมลง โดยแนะนำให้เกษตรกรใช้สารจากพืช หรือสารฆ่าแมลงจากธรรมชาติ (natural insecticide) และมีการควบคุมการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตรมากขึ้น แต่จากการตรวจสอบการนำเข้าของสารฆ่าแมลงในประเทศไทยพบว่ามีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2547) เนื่องจากเกษตรกรให้ความสำคัญต่อการใช้สารฆ่าแมลงในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชมากกว่าสารจากพืช หรือสารจากธรรมชาติ เพราะสะดวกต่อการใช้ ให้ผลในการควบคุมศัตรูพืชรวดเร็ว หาซื้อได้ง่าย เป็นต้น ในกระบวนการผลิตเพื่อต้องการผลผลิตในปริมาณที่มากเพียงพอสำหรับความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้น และการส่งจำหน่ายยังต่างประเทศ เกษตรกรยังคงต้องใช้สารฆ่าแมลงเหล่านี้ โดยมิได้คำนึงถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในภายหลังมุ่งหวังเพียงผลผลิตและกำไร ดังนั้นจึงพบการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตรอยู่เสมอ

การปนเปื้อนสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตร เป็นผลจากการใช้สารฆ่าแมลงไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยเกษตรกรจะใช้สารฆ่าแมลงชนิดใหม่ๆ ที่มีพิษสูง และใช้สารฆ่าแมลงในปริมาณที่มากเกินขนาดหรือความจำเป็น ขณะเดียวกันก็นิยมผสมสารฆ่าแมลงหลายๆ ชนิดด้วย เป็นผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตรและเพิ่มต้นทุนการผลิต (พูนสุข หฤทัยธนาสันต์, 2526) นอกจากนี้การเร่งเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อให้ทันต่อความต้องการของผู้บริโภค โดยขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติการสลายตัวของสารฆ่าแมลง เช่น สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต มีระยะเวลาในการสลายตัวประมาณ 7-14 วัน แต่เกษตรกรส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วง 1-3 วัน ภายหลังจากการใช้สารฆ่าแมลงจึงทำให้มีการตกค้างหรือปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภคได้ (เลอศักดิ์ จตุรภุช, 2526) จากการสำรวจปริมาณการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ ได้แก่ ผัก และผลไม้ พบการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตอยู่ประมาณร้อยละ 90 ของตัวอย่างทั้งหมด โดยเฉพาะพืชผักต่างๆ มีจำนวนไม่น้อยที่พบการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงอยู่ใน

ระดับเกินค่าความปลอดภัย (นวลศรี ทยาพัชร, 2527) ดังนั้นการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในพืชผักต่างๆ นับว่าเป็นปัญหาหนึ่งที่มีผลกระทบต่อผู้บริโภคโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เนื่องจากสารฆ่าแมลงดังกล่าวเป็นที่นิยมของกลุ่มเกษตรกรในการใช้เพื่อป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่เข้ามารบกวนหรือทำลายพืชผักได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าสารฆ่าแมลงกลุ่มนี้จะสามารถสลายตัวได้เร็ว แต่ก็มีความเป็นพิษสูงต่อมนุษย์และสัตว์ โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทธิลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholinesterase, AChE) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในพลาสมา ทำหน้าที่ในการทำลายอะเซทธิลโคลีน (acetylcholine, ACh) ในเนื้อเยื่อประสาทของแมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ผลจากการยับยั้งการทำงานดังกล่าว ก่อให้เกิดการสะสมหรือการคั่งของอะเซทธิลโคลีน ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทที่สำคัญของการส่งกระแสประสาท ทำให้ระบบประสาททำงานผิดปกติ (Hill and Wright, 1978) หากได้รับพิษของสารฆ่าแมลงกลุ่มนี้ในระดับความเข้มข้นต่ำจะแสดงอาการเซื่องซึม สับสน เป็นตะคริว อุจจาระร่วง อาเจียน ปวดศีรษะ และหายใจลำบาก แต่หากได้รับในระดับความเข้มข้นสูง จะแสดงอาการชักกระตุกอย่างรุนแรง สั่น กล้ามเนื้ออ่อนแรง หมดสติ และตายในที่สุด (Chiras, 1991)

กะหล่ำปลีเป็นพืชผักชนิดหนึ่งที่มีการใช้สารฆ่าแมลงกันมากทั้งชนิดและปริมาณ เนื่องจากมีแมลงศัตรูพืชเข้าทำลายหรือรบกวนที่สำคัญหลายชนิดได้แก่ หนอนใยผัก ด้วงหมัดผัก หนอนกระทู้หอม หนอนกระทู้ผัก และหนอนเจาะยอดกะหล่ำ เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2545) ดังนั้นเกษตรกรจึงใช้สารฆ่าแมลงเพื่อเพิ่มและรักษาคุณภาพผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค แต่เกษตรกรไทยส่วนใหญ่ขาดความรู้ความเข้าใจหรือละเลยต่อการใช้สารฆ่าแมลงในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกวิธี จากการใช้สารฆ่าแมลงที่ไม่ถูกวิธีและไม่เหมาะสม ก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลกระทบทางตรง คือ สุขภาพอนามัยของเกษตรกรผู้ใช้สารฆ่าแมลงโดยตรง ส่วนผลกระทบทางอ้อมได้แก่ การปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตรซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วย

สำหรับในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่พบว่า พืชผักที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดมีการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงทั้งที่อยู่ในระดับปลอดภัย และไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค (เทศบาลนครหาดใหญ่, 2547) อย่างไรก็ตาม จากรายงานการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นหรือการตรวจสอบแบบคัดกรอง โดยตรวจสอบการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในพืชผัก โดยใช้หลักการของโคลีนเอสเตอเรสอินฮิบิชั่นเทคนิค (The Cholinesterase Inhibition Method) ซึ่งสามารถตรวจสารฆ่าแมลงได้เพียง 2 กลุ่มคือ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และกลุ่มคาร์บาเมท แสดงผลในเชิงคุณภาพคือ พบหรือไม่พบการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในพืชผัก แต่ไม่สามารถระบุชนิดและปริมาณการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในพืชผักได้ ดังนั้นหากทราบชนิดและปริมาณการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในกะหล่ำปลีจะสามารถ

แสดงถึงระดับการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในกะหล่ำปลี และ ระดับความปลอดภัยของ ผู้บริโภคจากการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น จากประเด็นดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยศึกษาชนิดและปริมาณการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในกะหล่ำปลีจากตลาดต่างๆ ในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ เพื่อประเมินสภาพปัญหาการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในกะหล่ำปลี และประเมินสถานการณ์ความปลอดภัยของผู้บริโภค ซึ่งข้อมูลที่ได้รับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอาจนำไปใช้ในการจัดทำมาตรการ แนวทางในการควบคุมและแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงเพื่อคุ้มครองผู้บริโภคได้ต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

การศึกษาการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในกะหล่ำปลีจากตลาดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จะทำการตรวจเอกสาร 3 ประเด็นหลักๆ ประกอบด้วย กะหล่ำปลี สารฆ่าแมลง และการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นจากการบริโภค ประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.2.1 กะหล่ำปลี

กะหล่ำปลีมีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตเมดิเตอเรเนียนทางทวีปยุโรป กรีกเป็นชาติแรกที่เริ่มปลูกกะหล่ำปลีเมื่อราว 600 ปีก่อนคริสตกาล (เมฆ จันทร์ประยูร, 2541) กะหล่ำปลีเป็นผักที่อยู่ในตระกูลกะหล่ำ (Cruciferae) เป็นพืชล้มลุก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* var. *capitata* Linn. (นิจศิริ เรืองรังษี, 2534) ลำต้นเป็นกอมีใบเกาะกันแน่นหุ้มซ้อนหลายชั้น กะหล่ำปลีมีลักษณะที่แตกต่างกันได้แก่ สี เช่น สีเขียวและสีแดงม่วง ลักษณะใบ เช่น ใบเรียบและขรุขระเป็นคลื่น ลักษณะหัว เช่น แบนและกลมเรียว อายุการเก็บเกี่ยวหลังย้ายกล้าตั้งแต่ประมาณ 50 วัน จนถึง 120 วัน พันธุ์ที่มีลักษณะสีเขียวและหัวแบน เป็นพันธุ์ที่นิยมบริโภคและพบมากที่สุด พันธุ์ของกะหล่ำปลีที่พบโดยทั่วไปในประเทศไทยแบ่งได้ 3 ชนิด ได้แก่ Common cabbage, Red cabbage และ Savoy cabbage (Shinohara, 1984) กะหล่ำปลีสามารถปลูกได้ตลอดปีทั่วทุกภาคของประเทศไทย แต่จะปลูกได้ดีในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากกะหล่ำปลีชอบอากาศหนาว ความชื้นสูง อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 7.2-29.4 องศาเซลเซียส และต้องไม่เกิน 37.7 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ได้ผลผลิตไม่ดีหรืออาจตายได้ ช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะปลูกกะหล่ำปลีได้ดีคือ ระหว่างเดือนตุลาคม-มกราคม และในระหว่างเดือนมีนาคม-กันยายน (ฐานเกษตรกรรม, บรรณาธิการ, 2541) กะหล่ำปลีเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถรับประทานได้ทั้งสุกและดิบ อุดมด้วยวิตามินซี รวมทั้งเป็นสารต้านการก่อตัวของโรคมะเร็ง การรับประทานกะหล่ำปลีสดจะได้รับวิตามินซีสูง เนื่องจากวิตามินซีสูญเสียได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน กะหล่ำปลีจะมีอายุการเก็บรักษาได้นาน และทนทาน

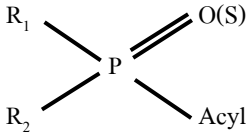
ต่อการขนส่งพอสมควร ดังนั้นจึงได้รับความนิยมในการบริโภคภายในประเทศ และเป็นผักส่งจำหน่ายต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศมาเลเซีย (มณีฉัตร นิกรพันธุ์, 2545) การปลูกกะหล่ำปลีมักมีแมลงศัตรูพืชทำลายและรบกวนที่สำคัญคือ หนอนใยผัก (มณีฉัตร นิกรพันธุ์, 2545) ซึ่งเป็นศัตรูสำคัญและหาวิธีในการป้องกันกำจัดได้ยาก จึงได้มีการนำยีนของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* มาถ่ายบนกะหล่ำปลี ซึ่งสามารถต้านทานต่อหนอนใยผักได้ (Cai, 1999) เกษตรกรส่วนใหญ่มักแก้ไขปัญหาด้วยการใช้สารฆ่าแมลงเพื่อต้องการเพิ่มและรักษาคุณภาพของผลผลิต และตอบสนองให้ทันต่อความต้องการของผู้บริโภค

1.2.2 สารฆ่าแมลง

สารฆ่าแมลงเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการปลูกพืชผักเพื่อการค้าในยุคปัจจุบัน แม้กระแสความต้องการพืชผักจากเกษตรอินทรีย์จะได้รับความสนใจ ประกอบกับการเข้มงวดเรื่องการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตรมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสินค้าส่งออก ทำให้เกษตรกรต้องเพิ่มความระมัดระวังการใช้สารฆ่าแมลงมากขึ้น อย่างไรก็ตามความต้องการการใช้สารฆ่าแมลงจะลดลงเพียงเล็กน้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ทั้งนี้พบว่าเกษตรกรยังคงใช้สารฆ่าแมลงเพื่อป้องกันแมลงศัตรูที่เข้ามารบกวนหรือทำลายผลผลิตทางการเกษตร เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น

สารฆ่าแมลง (insecticide) หมายถึง สารเคมีที่มีคุณสมบัติในการทำลาย (destroying) ไล่ (repelling) และทำให้แมลงอ่อนแอลง (mitigating) (อรัญ งามผ่องใส, 2547) หรือหมายถึง สารเคมีที่มีความเป็นพิษ ซึ่งแสดงผลในการกำจัดหรือป้องกันแมลงได้ โดยอาจจะเป็นสารประกอบทางเคมีที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น หรือเป็นสารเคมีที่ได้จากธรรมชาติ ทั้งนี้ยังหมายรวมถึงจุลินทรีย์ที่ใช้ในการป้องกันเชื้อโรคและแมลงด้วย (สุภาณี พิมพ์สมาน, 2540) สารฆ่าแมลงสามารถจำแนกประเภทได้เป็น 8 กลุ่ม คือ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphate) กลุ่มคาร์บาเมท (carbamate) กลุ่มออร์กาโนคลอรีน (organochlorine) กลุ่มไพรีทรอยด์ (pyrethroid) กลุ่มยับยั้งการลอกคราบ (chitin inhibition) กลุ่มสารจุลินทรีย์ (microbial) กลุ่มรมควัน (fumigant) และกลุ่มสารเคมีอื่น ๆ (miscellaneous)

สารฆ่าแมลงกลุ่มที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบันคือ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เนื่องจากเป็นสารที่ออกฤทธิ์ในการป้องกัน และกำจัดแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงต่อแมลงประเภทกัดกินใบ ดอก ผล แมลงปากดูด เช่น เพลี้ยชนิดต่างๆ และหนอนเจาะกิ่ง ลำต้น ผล เป็นต้น รวมทั้งราคาไม่สูง และยังสามารถสลายตัวได้เร็วหลังจากการใช้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ โดยทั่วไปสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีสูตรโครงสร้างพื้นฐาน แสดงดังภาพประกอบ 1



หมายเหตุ

- R_1 และ R_2 อาจเป็น mino group
- Acyl เป็น anion ของกรดอินทรีย์หรืออนินทรีย์ เช่น fluorine, cyanate, thiocyanate หรือกรดอื่นๆ

ภาพประกอบ 1 สูตรโครงสร้างทั่วไปของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (อรัญ งามผ่องใส, 2547)

สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้งหมดเป็นเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริค (H_3PO_4) เรียกว่า organophosphates หรือ phosphorus esters เป็นสารฆ่าแมลงที่มีคุณสมบัติสำคัญ 2 ประการคือ มีพิษเฉียบพลันต่อมนุษย์และสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง และสามารถสลายตัวได้เร็วหรือการตกค้างสั้น จากคุณสมบัติของการตกค้างสั้นส่งผลให้เกษตรกรต้องฉีดพ่นสารฆ่าแมลงบ่อยครั้ง เพื่อป้องกันแมลงศัตรูพืชที่เข้ามารบกวนผลผลิตทางการเกษตร สารฆ่าแมลงกลุ่มนี้จะมีอะตอมของ ออกซิเจน (O) คาร์บอน (C) ซัลเฟอร์ (S) และไนโตรเจน (N) เกาะกับอะตอมของฟอสฟอรัส (P) ภายในโมเลกุล สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกับก๊าซพิษที่ทำลายระบบประสาท เรียกว่า “nerve gases” จึงมีกลไกการออกฤทธิ์คล้ายกัน ก๊าซเหล่านี้ได้แก่ ก๊าซ sarin, soman และ tabun ในสงครามของประเทศสาธารณรัฐเยอรมันในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ในระยะแรกสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนสารนิโคติน เนื่องจากมีการใช้กันมากในประเทศสาธารณรัฐเยอรมัน แต่มีปริมาณไม่เพียงพอ จากคุณสมบัติที่ตกค้างสั้นของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจึงนำมาใช้ทดแทนสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต จะออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทธิลโคลีนเอสเทอเรส (acetylcholinesterase, AChE) เมื่อเอนไซม์ถูกจับด้วยโมเลกุลของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เอนไซม์จะอยู่ในรูปที่เรียกว่า phosphorylated enzyme อย่างไรก็ตาม การจับตัวจะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราว สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ ผลจากการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้ทำให้เกิดการสะสมหรือการคั่งของสารอะเซทธิลโคลีน (acetylcholine, ACh) บริเวณรอยต่อระหว่างเซลล์ประสาท (neuron/neuron junction) หรือเรียกว่า บริเวณซิแนปส์ (synapse) หรือระหว่างเซลล์ประสาทกับกล้ามเนื้อ (neuron/muscle junction) ส่งผลให้กล้ามเนื้อสั่น และชักกระตุกอย่างรุนแรง ทำให้แมลงเป็นอัมพาตและตายในที่สุด ส่วนในมนุษย์นั้นสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทธิลโคลีนเอสเตอเรส ซึ่งเป็นเอนไซม์ในพลาสมาทำหน้าที่ในการทำลายอะเซทธิลโคลีน

ในเนื้อเยื่อประสาท ผลจากการยับยั้งการทำงานดังกล่าว ก่อให้เกิดการสะสมหรือการคั่งของอะเซทธิลโคลีน ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทที่สำคัญของการส่งกระแสประสาท ทำให้ระบบประสาททำงานผิดปกติ (Hill and Wright, 1978) หากมนุษย์ได้รับพิษของสารฆ่าแมลงกลุ่มนี้ในระดับความเข้มข้นต่ำจะแสดงอาการเซื่องซึม สับสน เป็นตะคริว อุจจาระร่วง อาเจียน ปวดศีรษะ และหายใจลำบาก หากได้รับในระดับความเข้มข้นสูงจะแสดงอาการชักกระตุกอย่างรุนแรง สั่น กล้ามเนื้ออ่อนแรง หมดสติ และตายในที่สุด (Chiras, 1991) สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต สามารถจำแนกกลุ่มย่อยได้ 5 กลุ่ม คือ กลุ่ม phosphates, phosphonates, phosphorothioates, phosphorothiolates และ phosphoramidates อย่างไรก็ตาม ในกลุ่มย่อยดังกล่าวสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่ม 3 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกันคือ กลุ่ม aliphatic derivatives, phenyl derivatives และ heterocyclic derivatives ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. กลุ่มสารอนุพันธ์อะลิฟาติก (aliphatic derivatives) โมเลกุลของสารกลุ่มนี้มีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายยาวโดยไม่มีเบนซีนริง (benzene ring) อยู่ในโมเลกุล สารชนิดแรกที่นำมาใช้ในทางการเกษตรคือสาร TEPP โดยนำเข้ามาใช้ในปี ค.ศ. 1946 สารอีกชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มนี้ซึ่งเป็นสารรู้จักกันเป็นอย่างดีคือสารมาลาไธออน (malathion) เนื่องจากสารชนิดนี้สามารถควบคุมแมลงได้หลายชนิดและมีความปลอดภัยสูงต่อสัตว์เลือดอุ่น มีการใช้กันอย่างกว้างขวางมานานเกือบ 40 ปี และในปัจจุบันก็ยังนิยมใช้สารชนิดนี้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชทางการเกษตร รวมทั้งแมลงศัตรูพืชใน โรงเก็บผลผลิตแม้ว่ามีรายงานการสร้างความต้านทานของแมลงต่อสารดังกล่าวก็ตาม แต่ยังมีสารอีกชนิดหนึ่งคือ สารนาเลด (naled) เป็นสารที่ค่อนข้างปลอดภัย มีพิษตกค้างสั้น และมีคุณสมบัติเป็นสารรมควัน สารชนิดนี้ใช้ในการควบคุมแมลงวันและหมัดในสัตว์เลี้ยง นอกจากนี้มีสารในกลุ่มอนุพันธ์อะลิฟาติกอีกหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการดูดซึม ซึ่งสามารถใช้ควบคุมแมลงปากดูดได้ดี เช่น เพลี้ยอ่อน เพลี้ยจั๊กจั่น มวนชนิดต่างๆ สารเหล่านี้ได้แก่ สารโมโนโครโตฟอส (monocrotophos) และ ไดเมโทเอต (dimethoate) อย่างไรก็ตาม สารโมโนโครโตฟอสถูกห้ามใช้ทางการเกษตรในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ.2543 เนื่องจากมีพิษเฉียบพลันสูงและตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรในปริมาณสูงเกินค่าปลอดภัย (MRL) สารในกลุ่มอนุพันธ์อะลิฟาติกชนิดอื่นๆ ได้แก่ สารอะซีเฟต (acephate) ไดซัลโฟตัน (disulfoton) อีไทออน (ethion) โอเมโทเอท (omethoate) ฟอร์โมไทออน(formothion) อ๊อกซีดีมีตอน- เมทธิล (oxydemeton-methyl) ไดคลอร์วอส (dichlorvos) ฟอเรท (phorate) ไดโครโตฟอส (dicrotophos) เมทามิโดฟอส (methamidophos) ฟอสฟามิดอน (phosphamidon) เมวินฟอส (mevinphos) ไธโอมีตัน (thiometon) ไตรคลอร์ฟอน (trichlorfon) เป็นต้น แต่ทั้งนี้พบว่าสารเมทามิโดฟอส และเมวินฟอสได้ประกาศยกเลิกใช้แล้วในประเทศไทย

2. กลุ่มสารอนุพันธ์ฟีนิล (phenyl derivatives) ประกอบด้วย phenyl ring ซึ่งอะตอมของไฮโดรเจนหนึ่งอะตอมส่วนใหญ่ถูกแทนที่ด้วย Cl, NO_2, CH_3, CN หรือ S โดยทั่วไปสารกลุ่มนี้จะมี

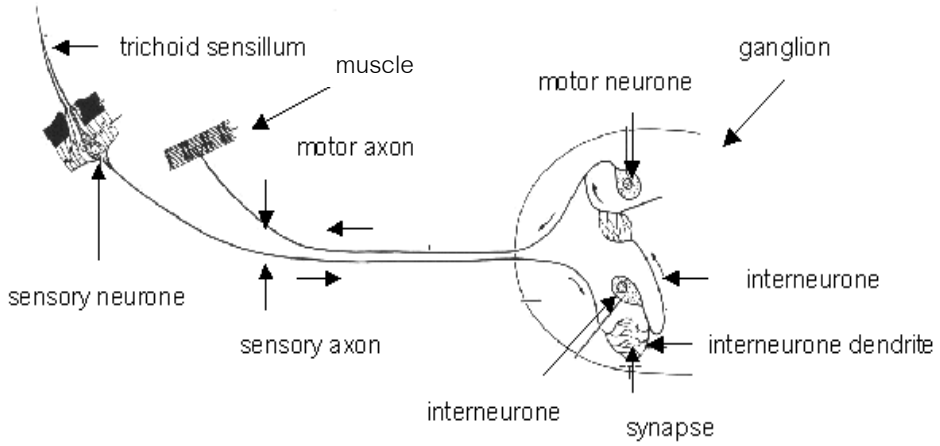
ความเสถียรกว่าสารกลุ่มอนุพันธ์อะลิฟาติกและตกค้างนานกว่า สารที่สำคัญที่ใช้กันมากคือ สารเมธิล พาราไทออน ซึ่งนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1947 แต่เนื่องจากมีพิษสูง ปัจจุบันประเทศไทยยกเลิกใช้สารเมธิล พาราไทออนเมื่อ พ.ศ. 2547 แล้ว สารฆ่าแมลงชนิดอื่นๆ ในกลุ่มนี้ได้แก่ สารไอโซเฟนฟอส (isofenphos) พาราไธออน (parathion) คลอร์เฟนวินฟอส (chlorfenvinphos) โพซาโลน (phosalone) เฟนนิโตรไธออน (fenitrothion) โพรฟีโนฟอส (profenofos) โพรไทโอฟอส (prothiofos) เฟนไธออน (fenthion) โฟโนฟอส (fonofos) เตตร้าคลอร์วินฟอส (tetrachlorvinphos) และ ไตรอะโซฟอส (thiazophos)

3. กลุ่มสารอนุพันธ์เฮทเทอโรไซคลิก (heterocyclic derivatives) ซึ่งคำว่า เฮทเทอโรไซคลิก หมายถึง โครงสร้างโมเลกุลที่เป็นวงแหวน จะประกอบด้วยอะตอมที่ไม่เหมือนกัน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน หรือกำมะถัน สารชนิดแรกคือสารไดอะซินนอน (diazinon) ถูกนำเข้ามาใช้ในปี ค.ศ. 1952 สารกลุ่มนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลยาวและซับซ้อนกว่าสาร 2 กลุ่มแรก สามารถสลายตัวให้สารเมแทบอไลท์ (metabolites) ซึ่งยากต่อการวิเคราะห์ สารบางชนิดให้ผลในการควบคุมไรและแมลงในดิน สารกลุ่มนี้ได้แก่ สารอะซินฟอส-เอทธิล (azinphos-ethyl) มีฟอสโฟลาน (mephosfolan) คลอร์ไพริฟอส(chlorpyrifos) เมทธิดาไธออน(metidathion) คลอร์ไพริฟอส-เมทธิล (chlorpyrifos-methyl) ฟอสเมท (phosmet) ไดอะซินอน (diazinon) พิริมิฟอส-เมทธิล(pirimiphos-methyl) และไอโซซาไธออน (isoxathion)

สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตอาจมีสารกำมะถันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล เรียกว่า organosulphur compounds โดยทั่วไปมี phenyl ring 2 วง ลักษณะคล้ายกับสูตรโครงสร้างของสาร DDT แต่มีอะตอมของกำมะถันแทนที่อะตอมของคาร์บอนในโมเลกุล โดยทั่วไปกำมะถันมีฤทธิ์ควบคุมไร แต่เมื่อผสมอยู่กับ phenyl ring จะส่งเสริมให้ออกฤทธิ์ฆ่าไรได้ดีขึ้น สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ฆ่าแมลงน้อยได้แก่ ovex, propargite และ tetradifon

กลไกการออกฤทธิ์ (mode of action) ของสารฆ่าแมลง หมายถึง วิถีทางที่สารฆ่าแมลงเข้าไปออกฤทธิ์เป็นสาเหตุให้แมลงหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ตาย (สุภาณี พิมพ์สมาน, 2540) หรือหมายถึง ผลของสารฆ่าแมลงที่มีต่ออวัยวะเป้าหมาย (target organs) เป็นตำแหน่งหรือเป้าหมายที่สารฆ่าแมลงออกฤทธิ์ (site of action) ดังนั้นกลไกการออกฤทธิ์ของสารฆ่าแมลงสามารถจำแนกออกเป็น 5 กลุ่มคือ สารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท ระบบกล้ามเนื้อ ระบบหายใจ สารที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และสารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบทางเดินอาหารของแมลง สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเป็นสารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทเพียงอย่างเดียว โดยสารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทของแมลง ซึ่งระบบประสาทของแมลงประกอบด้วย 3 ระบบย่อยคือ central nervous system (CNS), visceral หรือ

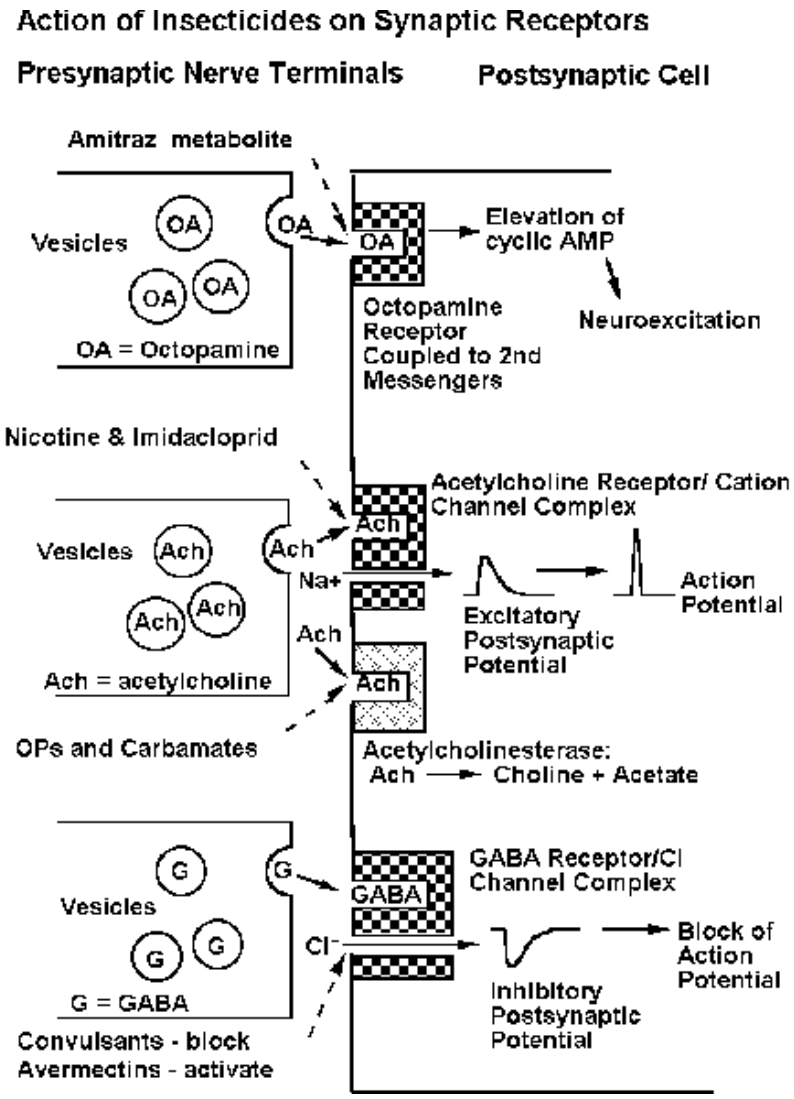
sympathetic nervous system และ peripheral nervous system ระบบ CNS เป็นระบบสำคัญ ประกอบด้วยปมประสาท (ganglion) ซึ่งตั้งอยู่บนส่วนหัวเรียกว่าสมอง (brain) ปมถัดมาอยู่ใต้หลอดอาหารของแมลงเรียก suboesophageal ganglion และปมส่วนอกและส่วนท้องซึ่งพาดตามความยาวลำตัวทางด้านล่างเรียก ventral nerve cord ทำหน้าที่เป็นศูนย์รวมประสาทของแมลง ระบบ visceral nervous system ประกอบด้วย 3 ส่วนย่อย คือ stomodeal หรือ stomatogastric ได้แก่ frontal ganglion, ventral visceral และ caudal visceral โดยทั้งสามส่วนย่อยดังกล่าวทำหน้าที่ส่งและรับกระแสประสาทในลำไส้ส่วนหน้าและส่วนหลัง ระบบ endocrine system เช่น corpora cardiaca, corpora allata ระบบสืบพันธุ์และระบบการหายใจ ส่วนระบบ peripheral nervous system ประกอบด้วยเซลล์ประสาท motor neuron ที่เชื่อมระหว่าง CNS กับกล้ามเนื้อโดยมีเส้นประสาท axon ส่งกระแสประสาทจาก CNS ไปยังกล้ามเนื้อรวมทั้งเซลล์ประสาท sensory neuron ที่รับสิ่งกระตุ้นภายนอกแสดงดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงกลไกการทำงานของระบบประสาทของแมลง (อรัญ งามผ่องใส, 2547 อ้างถึง Gullan and Cranston, 1994)

สารฆ่าแมลงในปัจจุบันที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่จะออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทของแมลง โดยเฉพาะสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง มีการออกฤทธิ์ต่อระบบดังกล่าว สารฆ่าแมลงที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทของแมลงมีตำแหน่ง และกลไกการออกฤทธิ์ ซึ่งสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเป็นสารที่มีตำแหน่งการออกฤทธิ์ที่ synaptic receptors บริเวณ synapse เป็นบริเวณรอยต่อซึ่งเป็นช่องว่างระหว่างเซลล์ประสาท (ภาพประกอบ 2) กระแสประสาท (nerve impulse) สามารถผ่านช่องว่างนี้ได้ต้องอาศัยสารนำกระแสประสาท (neurotransmitters) สารที่สำคัญในแมลงคือ acetylcholine (Ach) หลังจากนำกระแสประสาทผ่าน synapse เรียบร้อยแล้ว เอนไซม์อะเซทธิลโคลีนเอสเทอเรส (acetyl cholinesterase) ทำการย่อยสาร acetylcholine สาร

ฆ่าแมลงที่มีการออกฤทธิ์ที่ synaptic receptors แสดงดังภาพประกอบ 3

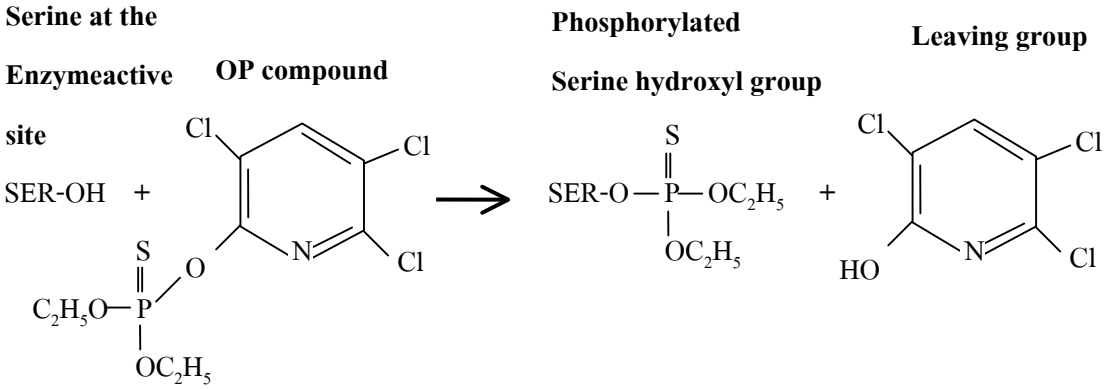


ภาพประกอบ 3 การออกฤทธิ์ของสารฆ่าแมลงที่ synaptic receptor (อรัญ งามผ่องใส, 2547 อ้างถึง Bloomquist, 1999)

สารฆ่าแมลงที่มีการออกฤทธิ์ที่ synaptic receptors แบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ดังนี้

(1) สารยับยั้งเอนไซม์อะเซทธิลโคลีนเอสเทอเรส (cholinesterase inhibition) ได้แก่ สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทธิลโคลีน โดยโมเลกุลของสารฆ่าแมลงจะจับกับเอนไซม์ดังกล่าวที่ serine hydroxyl group ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ ผลที่ตามมาคือ มีการสะสมของอะเซทธิลโคลีน จึงมีการกระตุ้นของกระแสประสาทอย่างรุนแรง (hyperexcitation) แมลงแสดงอาการกระวนกระวาย สั่น เคลื่อนไหวไปมา และชักกระตุกเป็นอัมพาตและตายในที่สุด ในแมลงผลของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต จะจำกัดอยู่เฉพาะระบบ

ประสาทส่วนกลาง (CNS) เนื่องจากมีอะเซทธิลโคลีนอยู่บริเวณดังกล่าว ดังนั้นสารจะต้องเดินทางและแทรกซึมผ่านเข้าไปในเส้นประสาท (ventral nerve cord) และปมประสาท (ganglion) การไปจับตัวกับเอนไซม์ของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เรียกว่าเกิดกระบวนการ phosphorylation และเป็นการเกิดที่ค่อนข้างอยู่ได้นาน (persistent) ซึ่งการจะกลับคืนมาสู่รูปเดิมของเอนไซม์ (reactivation) ต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงหรืออาจเป็นวัน ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทธิลโคลีนเอสเตอเรส โดยสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต แสดงดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 การจับของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตกับอะเซทธิลโคลีนเอสเตอเรส
(อรัญ งามผ่องใส, 2547 อ้างถึง Bloomquist, 1999)

(2) สารที่มีกลไกการทำงานคล้ายอะเซทธิลโคลีน (acetylcholine mimics) สารกลุ่มนี้ได้แก่ nicotine และ imidacloprid เนื่องจากสารทั้งสองชนิดนี้มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายสารอะเซทธิลโคลีน ในสภาพที่ไม่มีสารฆ่าแมลงดังกล่าว acetylcholine ซึ่งถูกสร้างขึ้นที่ presynaptic nerve จะนำกระแสประสาทไปยัง post-synaptic โดยไปจับกับ acetylcholin receptor ที่บริเวณดังกล่าว หลังจากส่งกระแสประสาทเรียบร้อยแล้ว acetylcholine ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ acetylcolinesterase กระแสประสาทจึงถูกหยุดส่ง เมื่อมีสาร nicotine และ imidacloprid สารทั้ง 2 ชนิดนี้ทำหน้าที่เหมือน acetylcholine แต่ไม่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ acetylcolinesterase ทำให้การจับกับ acetylcholine receptor ของสารดังกล่าวเกิดขึ้นยาวนานทำให้มีการส่งผ่านกระแสประสาทอยู่ตลอดเวลาที่บริเวณ post-synaptic nerve ทำให้เกิดการสั่น ชักกระตุก อัมพาตและตายในที่สุด ตำแหน่งของการออกฤทธิ์ (ภาพประกอบ 3)

(3) สารที่มีกลไกการทำงานคล้าย octopamine สารกลุ่มนี้ได้แก่ สารประกอบอะมิดิน (amidine compounds) ตัวอย่างเช่น สารกลุ่ม formamidines ได้แก่ chlordimeform และ amitraz การออกฤทธิ์มีการเลียนแบบการทำงานเหมือนสาร octopamine โดยโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกัน

สาร dopamine เป็นสารนำกระแสประสาทใน CNS และ peripheral nervous system โดยปกติสาร octopamine จะนำกระแสประสาทและไปจับกับสาร cyclic adenosine monophosphate

(AMP) ซึ่งเป็นตัวรับ (receptor) ทำให้เกิดส่งกระแสประสาทได้ หากแมลงได้รับสารฆ่าแมลงกลุ่มนี้เข้าไป สารฆ่าแมลงเหล่านี้จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับสาร dopamine แต่การกระตุ้นของกระแสประสาทเกิดขึ้นมากผิดปกติ ทำให้มีการสั่น ชักกระตุกในแมลง

(4) สารที่มีผลต่อคลอไรด์อิออน (compounds affecting chloride channels) สารในกลุ่มนี้ได้แก่ สารกลุ่ม lipophilic polychlorocycloalkanes เช่น dieldrin, endrin, lindane, endosulfan และ fipronil ทั้งในแมลงและสัตว์เลือดอุ่นมีผลไปยับยั้งการส่งผ่านคลอไรด์ อิออนใน CNS โดยไปยับยั้งการทำงานของสาร gamma aminobutyric acid (GABA) โดยปกติเมื่อสาร GABA ถูกปล่อยจาก presynaptic nerve สาร GABA จะไปจับกับ receptor ที่ postsynaptic nerve จะทำให้ช่องเปิดของคลอไรด์ (chloride channel) เปิดออก มีผลให้คลอไรด์อิออนผ่านไปยัง presynaptic nerve ได้ (ภาพประกอบ 3) ทำให้กระแสประสาทถูกส่งไปได้ตามปกติ ขณะเดียวกันจะทุเลาไม่ให้เกิดการส่งกระแสประสาทมากผิดปกติ เมื่อมีสารฆ่าแมลงดังกล่าวจะไปจับกับ chloride channel และยับยั้งการทำงานของ GABA ทำให้เกิดการกระตุ้นอย่างแรงเกิด hyperexcitation ของ CNS ในแมลง สารอะบาเมคตินก็มีผลต่อคลอไรด์อิออน ในระบบประสาทและกล้ามเนื้อ โดยไปเพิ่มการเคลื่อนย้ายของคลอไรด์อิออนผ่านเนื้อเยื่อบริเวณ postsynaptic cell

สำหรับกลไกการออกฤทธิ์ของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่มีผลต่อมนุษย์ เช่นเดียวกับแมลง จากการรวมตัวของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตกับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถย่อยสารอะเซทธิลโคลีน ซึ่งเป็นตัวส่งกระแสความรู้สึกจากปลายประสาทไปยังกล้ามเนื้อ เกิดการสะสมหรือการคั่งของอะเซทธิลโคลีน ทำให้การส่งต่อความรู้สึกดำเนินตลอดอยู่เวลา เกิดอาการกระตุกของกล้ามเนื้อ เป็นอัมพาตและตายในที่สุด เนื่องจากสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตสามารถยับยั้ง (inhibit) การทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส (enzyme cholinesterase) เอนไซม์ชนิดนี้สามารถตรวจพบได้ในเลือด ในตัวอ่อน ในเนื้อเยื่อสมอง ในเซลประสาท และในน้ำไขสันหลัง จากปฏิกิริยาการรวมระหว่างออร์กาโนฟอสเฟตกับโคลีนเอสเตอเรส ทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของโคลีนเอสเตอเรสจึงไม่สามารถ hydrolyse acetylcholine ให้กลายเป็น choline กับ acetic acid เกิดการสะสมของอะเซทธิลโคลีนที่จุดต่อระหว่างปลายประสาท (nerve ending) ทำให้ระบบประสาททำงานผิดปกติ เนื่องจากอะเซทธิลโคลีนเป็นสารตัวกลางในขบวนการนำความรู้สึกของระบบประสาท (neurotransmitter of the nerve impulse) อะเซทธิลโคลีนจะถูกหลั่งออกมาจากปลายประสาท parasympathetic vagus nerve แล้วสามารถสลายตัวด้วยเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส ถ้าโคลีนเอสเตอเรสถูกยับยั้งโดยออร์กาโนฟอสเฟตให้มีปริมาณน้อยลงไม่สามารถสลายอะเซทธิลโคลีนเป็นสาเหตุให้เกิดการสะสมขึ้น ในขั้นสุดท้ายจะปรากฏอาการต่างๆ ตามลักษณะของการที่ได้รับสารฆ่าแมลงชนิดนั้น (ขวัญชัย สมบัติศิริ และ กฤษณา รุ่งโรจน์วณิชย์, 2539)

สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์หรือสัตว์ได้ 3 ทาง คือ ทางปาก (oral) ทางผิวหนัง (dermal) และทางการหายใจ (inhalation) เมื่อสารฆ่าแมลงเข้าสู่ร่างกายอาจแสดงอาการความเป็นพิษเกิดขึ้น หรือมีผลต่อระบบการทำงานของร่างกาย หรือไม่แสดงอาการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารที่ได้รับ ถ้าปริมาณสารฆ่าแมลงที่ได้รับมากเกินไปอาจทำให้เสียชีวิตได้ ลักษณะอาการที่เกิดขึ้นมีดังนี้

1. อาการที่เกิดเป็นพิษชนิดเฉียบพลัน (acute poisoning) การได้รับพิษจากสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตชนิดเฉียบพลัน โดยสูดตัวยาเข้าทางลมหายใจ เข้าทางปากหรือซึมเข้าทางผิวหนัง จะปรากฏอาการภายใน 30 นาที ถึง 60 นาที หลังจากได้รับพิษอาการที่พบบ่อยคือ แน่นหน้าอก หายใจลำบาก ชัก ม่านตาหดตัว หมดสติ หัวใจหยุดเต้น ควบคุมการขับถ่ายไม่ได้ ท้องเดินอย่างแรง ปอดบวม ในรายที่ได้รับพิษเพียงเล็กน้อยจะปรากฏอาการ ปวดศีรษะ ตาพร่ามัว คลื่นไส้อาเจียน วิตกกังวล ชีพจรเต้นช้าลง

2. อาการเกิดพิษชนิดเรื้อรัง (chronic poisoning) การได้รับพิษชนิดเรื้อรังเป็นเวลานานๆ เมื่อทำการตรวจหาระดับโคลีนเอสเตอเรสในเลือด ปรากฏว่าระดับจะต่ำลงเป็นเวลา 2 ถึง 6 อาทิตย์ ในรายที่ได้รับพิษเรื้อรัง โดยสารเข้าสู่ร่างกายในปริมาณน้อยๆ อาจจะไม่ปรากฏอาการแสดงทางระบบประสาท (ดรุณี มิตรอารี, 2523)

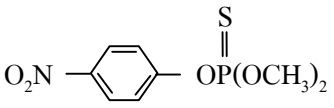
คุณสมบัติของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่ทำการศึกษาได้แก่ ไดเมโทเอต เมธิลพาราไทออน คลอร์ไพริฟอส และโพรไทโอฟอส มีดังต่อไปนี้

1. ไดเมโทเอต (dimethoate) เป็นสารฆ่าแมลงทางการเกษตรที่มีความสามารถในการซึมผ่านเข้าสู่ภายในพืชได้ และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชที่เข้ามารบกวนผลผลิตทางการเกษตรชนิดที่ใช้ปากดูดหรือปากกัด (sucking and biting) ได้แก่ หนอนใยผัก หนอนคืบกะหล่ำ เป็นต้น ทั้งนี้ไดเมโทเอตมีชื่อทางเคมี (IUPAC) คือ O,O-dimethyl S-methylcarbamoylmethyl phosphoroditrioate หรือที่เรียกทางการค้าว่า ไดเมทโธเอท 40 ไดเม่ เป็นต้น ไดเมโทเอตมีสูตรโมเลกุลคือ $C_8H_{12}NO_3PS_2$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 229.2 การละลายน้ำเท่ากับ 250 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส (Hayes and Laws, 1991) และมีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังภาพประกอบ 5

ภาพประกอบ 5 สูตรโครงสร้างของสารไดเมโทเอต (ดำริห์ รุ่งสุข, 2543)

ความเป็นพิษของสารไดเมโทเอตซึ่งมีค่า LD_{50} ที่มีพิษเฉียบพลันแบบให้ทางปากสำหรับหนูขาว (rat) หนูถีบจักร (mice) กระต่ายและหนูตะเภาเท่ากับ 290-325, 160, 400-500 และ 600 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และมี LD_{50} เฉียบพลันแบบให้ทางผิวหนังสำหรับหนูขาว และหนูตะเภา > 800 และ > 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และนอกจากนี้ยังมี LC_{50} แบบสูดดมติดต่อกัน 4 ชั่วโมง สำหรับหนูขาว > 0.2 มิลลิกรัม/อากาศ 1 ลิตร เป็นสารที่ค่อนข้างจะคงทนในสภาพที่เป็นสารละลายที่ pH 2-7 แต่เป็นสารที่จะย่อยสลายในตัวกลางที่เป็นด่าง โดยมีค่า DT_{50} เท่ากับ 12 วัน (pH 9) และเป็นสารที่สลายตัวได้เมื่อถูกความร้อน และยังสลายตัวได้ในดินโดยมี DT_{50} เท่ากับ 2-4 วัน (ในดินที่มีอากาศ) อาการที่แสดงความเป็นพิษของการได้รับสารไดเมโทเอตคือ ปวดศีรษะ ม่านตาหรี่ ตาพร่า เซื่องซึม หายใจขัด แน่นหน้าอก น้ำลายไหล คลื่นไส้ อาเจียน ปวดเกร็งในช่องท้อง ท้องร่วง อ่อนเพลีย ตัวสั่น และเหงื่อออกมาก เป็นต้น (ดำริห์ รุ่งสุข, 2543)

2. เมธิล พาราไทออน (methyl parathion) เป็นสารฆ่าแมลงทางการเกษตรที่สามารถซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อพืชได้น้อย และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชที่เข้ามารบกวนผลิตผลทางการเกษตรชนิดที่ใช้ปากดูด หรือปากกัด (sucking and biting) ได้แก่ หนอนใยผัก หนอนกระทู้ เป็นต้น ทั้งนี้เมธิล พาราไทออน มีชื่อเคมี (IUPAC) คือ O,O-dimethyl O-4-nitrophenyl phosphorothioate หรือที่เรียกทางการค้าว่า เมธิล พาราไทออน โรทราฟอส โพลิคอล เอ็ม 605 เป็นต้น สูตรโครงสร้างทางเคมีเมธิล พาราไทออน ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 สูตรโครงสร้างของสารเมธิล พาราไทออน (ดำริห์ รุ่งสุข, 2543)

เมธิล พาราไทออนมีสูตรโมเลกุล คือ $C_8H_{10}NO_5PS$ มวลโมเลกุลเท่ากับ 263.21 จุดหลอมเหลวที่ 35-36 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 109 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 0.04 มิลลิเมตรของปรอท หรือ 160 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 มิลลิเมตรของปรอท ความดันไอ คือ 0.57×10^{-5} มิลลิเมตรของปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นคือ 1.358 ที่ 4 องศาเซลเซียส ความดัน 20 มิลลิเมตร ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1.2655 การละลายน้ำเท่ากับ 55-60 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Hayes and Laws, 1991) และสามารถละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ทุกชนิด เช่น acetone, alcohol, ketones, ether, benzene, xylene, light petroleum และ mineral oils ยกเว้น alkanes

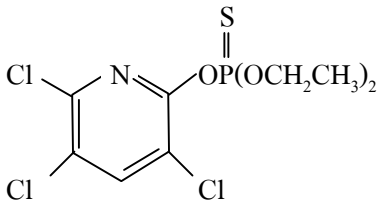
ความเป็นพิษของสารเมธิล พาราไทออนซึ่งมีค่า LD_{50} มีพิษเฉียบพลันแบบให้ทางปากสำหรับหนูขาว (rat) หนูถีบจักร (mice) ตัวผู้ และกระต่ายประมาณ 6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,

ประมาณ 30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเท่ากับ 19 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และมี LD_{50} เฉียบพลันแบบให้ทางผิวหนังนาน 24 ชั่วโมง สำหรับหนูขาวประมาณ 45 มิลลิกรัม/กิโลกรัม นอกจากนี้ยังมี LC_{50} แบบสูดดมติดต่อกัน 4 ชั่วโมง สำหรับหนูขาวประมาณ 0.17 มิลลิกรัม/อากาศ 1 ลิตร เป็นสารที่สลายตัวในตัวกลางที่เป็นกรดและเป็นด่างได้ไวกว่าชนิด เอทธิล พาราไทออนประมาณ 5 เท่า มี DT_{50} (28 องศาเซลเซียส) เท่ากับ 33 วัน (pH 9), 40 วัน (pH 7), 68 วัน (pH 5) นอกจากนี้ยังสลายตัวได้ด้วยความร้อน ด้วยแสงแดดและอย่างรวดเร็วด้วยจุลินทรีย์ในดิน อาการของผู้ที่ได้รับเมธิล พาราไทออนจะเกิดขึ้นภายใน 1-4 ชั่วโมง หลังจากการ ได้รับ โดยจะมีม่านตาหรี่ มึนงง ปวดศีรษะ มองเห็นเลือนลาง แน่นหน้าอก หายใจขัด คลื่นไส้ น้ำลายและเหงื่อออกมาก อาเจียน ปวดเกร็งในช่องท้อง ท้องเดิน กล้ามเนื้อกระตุก มีสิ่งที่ขับออกมาจากหลอดลมเพิ่มขึ้นจึงรู้สึกคล้ายปอดบวม ดังนั้นควรสังเกตอาการผู้ป่วยไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง ในกรณีที่สารพิษชนิดผงสัมผัสผิวหนังก็จะมีอาการเป็นผื่นคัน แต่หากสูดดมก็จะคัดจมูก และอาการเป็นพิษเรื้อรัง โดย U.S. EPA ได้จัดให้เมธิล พาราไทออนเป็นสารที่ทำให้พัฒนาการของทารกในครรภ์ผิดปกติ จากความเป็นพิษของเมธิล พาราไทออนจะทำความเสียหายแก่การทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง และการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายทอดความรู้สึกของประสาท ผลกระทบนี้จะสะสมเมื่อได้รับพิษซ้ำแล้วซ้ำอีก และจะเป็นอันตรายต่อผู้ได้รับพิษ จากการศึกษาผู้ได้รับพิษจากสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 100 คน พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วภายหลังที่ได้รับพิษ 9 ปี พิษของสารนี้จะมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบความจำ อารมณ์ และความรู้สึก

สารเมธิล พาราไทออนจะมีพิษอย่างรุนแรงต่อสัตว์น้ำไม่มีกระดูกสันหลัง และนกหรืออย่างน้อยก็เป็นพิษในระดับปานกลางต่อสิ่งมีชีวิตที่ไม่ใช่ศัตรูที่เราต้องการกำจัด ในการวิจัยภาคสนาม พบว่า เมธิล พาราไทออน มีผลกระทบต่อการขยายพันธุ์นกด้วย (สมชัย ภัทรธนานันท์, 2539) จากการประชุมเกี่ยวกับ การปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในอาหาร และสภาพแวดล้อม (The Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment และ the WHO Expert Group on Pesticide Residues) เมื่อเดือนธันวาคมปี ค.ศ.1979 ได้กำหนดปริมาณชั่วคราวของเมธิล พาราไทออนที่ร่างกายมนุษย์สามารถยอมรับได้ใน 1 วัน (temporary acceptable daily intake) ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.001 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักตัว ซึ่งระดับของเมธิล พาราไทออนที่ไม่ก่อให้เกิดพิษต่อมนุษย์เท่ากับ 0.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักตัว/วัน ส่วนการดูดซึม (absorption) ของสารเมธิล พาราไทออนพบว่าสามารถดูดซึม โดยผ่านลำไส้ ผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ ซึ่งสามารถตรวจวัดจากการดูดซึมของสารเมธิล พาราไทออนในรูปปริมาณฟอสเฟตของ para-nitrophenal ในปัสสาวะ (IARC, 1983) ซึ่งมนุษย์สามารถรับสารเมธิล พาราไทออนโดยการรับประทาน การหายใจ และซึมผ่านผิวหนัง (IRPTC, 1982) ภายหลังจากการรับ

ประทานเข้าไปแล้ว การดูดซึมของสารเมธิล พาราไทออนจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1-3 ชั่วโมง การดูดซึมในเส้นเลือดจะอยู่ในระดับสูงสุด และในที่สุดการดูดซึมดังกล่าวจะลดลง (IRPTC, 1982) ในการดูดซึมของสารเมธิล พาราไทออน ในระดับสูงจะเกิดขึ้นได้ดีที่ตับ (IRPTC, 1982) ซึ่งลักษณะการแพร่กระจาย (distribution) ของสารเมธิล พาราไทออนสามารถแพร่กระจายอยู่ทั่วไปในร่างกาย สามารถตรวจพบปริมาณสารเมธิล พาราไทออนแพร่กระจายในน้ำดีอยู่เป็นจำนวนมาก (Kagan, 1963) นอกจากนี้ยังพบการแพร่กระจายอยู่ในสมอง ตับ และในกล้ามเนื้อของตัวอ่อนในครรภ์ของหนูทดลอง (rat) อัตราการสะสม (bioconcentration) ของสารเมธิล พาราไทออนจะไม่ก่อให้เกิดการสะสมของสารฆ่าแมลงต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (IRPTC, 1982) เมแทบอลิซึม (metabolism) ของสารเมธิล พาราไทธออนจะถูกเมแทบอไลท์ต่างกันในโครงสร้าง โดยมีออกซิเจนเข้ามาแทนที่จึงกลายเป็น methyl paraoxon โดยการทดลองใช้ 3,2 p-methyl parathion กับหนู (mice) ทางปากจะมีกัมมันตรังสี 75 เปอร์เซ็นต์ และถูกขับออกมาอย่างรวดเร็วในลักษณะเป็นเมแทบอไลท์ในปัสสาวะ และเมื่อศึกษาเกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของสารเมทธิลพาราไธออนใน sunfish และหนูถีบจักร (mice) พบว่าตับของปลาและหนูถีบจักร มีคุณสมบัติในการเร่ง (calalyzed) glutathione (GSH)-dependent ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของสารเมธิล พาราไทออนในตับหนู (rodent) พบว่าเมแทบอไลท์ที่สำคัญของสารเมธิล พาราไทออนในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมคือ para-nitrophenal และ dimethyl phosphate ดังนั้นความเป็นพิษของสารเมธิล พาราไทออน จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการเมแทบอลิค โดยการทำให้เกิดการออกซิเดชันกลายเป็น methyl paraoxon โดยอาศัยเอนไซม์ oxidase ในไมโครโซมของตับ และการแก้ความเป็นพิษของสารเมธิล พาราไธออนโดยอาศัย glutathione-dependent alkyl และ aryl transferases นอกจากนี้การสร้าง para-nitrophenol ยังอาศัยการเร่ง (catalysed) จาก microsomal และ nonmicrosomal hydrolases ทั้งนี้จากการตรวจวัดเมแทบอไลท์สามารถถูกขับออกมาทางปัสสาวะ และถูกนำมาใช้กับผู้ที่เกี่ยวข้องกับสารเมธิล พาราไทออนและการกำจัดออกจากร่างกายในกรณีที่เกิดพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

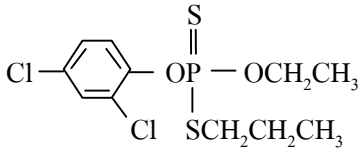
3. คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos) เป็นสารฆ่าแมลงทางการเกษตรที่ไม่สามารถซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อของพืชได้ และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชที่เข้ามารบกวนผลผลิตทางการเกษตรชนิดที่ใช้ปากดูดหรือปากกัด (sucking and biting) ได้แก่ หนอนใยผัก หนอนคืบกะหล่ำ และเพลี้ยอ่อน เป็นต้น ทั้งนี้สารคลอร์ไพริฟอส มีชื่อเคมี (IUPAC) คือ O,O-dimethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate หรือที่เรียกทางการค้าว่า คลอริดิน ลอร์สแบน เป็นต้น คลอร์ไพริฟอสมีสูตรโมเลกุล คือ $C_9H_{11}NO_3PS$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 350.6 การละลายน้ำเท่ากับ 2 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Hayes and Laws, 1991) และมีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 สูตรโครงสร้างของสารคลอร์ไพริฟอส (ดำริห์ รุ่งสุข, 2543)

ความเป็นพิษของสารคลอร์ไพริฟอส ซึ่งมีค่า LD_{50} เฉียบพลันแบบให้ทางปากสำหรับหนูขาว (rat) หนูตะเภา และกระต่ายเท่ากับ 135-163, 504 และ 1,000-2,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และมี LD_{50} เฉียบพลันแบบให้ทางผิวหนังสำหรับหนูขาว และกระต่าย >2,000 และเท่ากับ 2,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมี LC_{50} แบบสูดดมติดต่อกัน 4-6 ชั่วโมง สำหรับหนูขาว > 0.2 มิลลิกรัม/อากาศ 1 ลิตร เป็นสารที่มีอัตราการสลายตัวเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ pH มี DT_{50} (ฟอสเฟตบัฟเฟอร์, ที่ 15 องศาเซลเซียส, pH 7) เท่ากับ 100 วัน ถึงเท่ากับ 1.5 วัน (น้ำ, ที่ 25 องศาเซลเซียส, pH 8) และมีการสลายตัวในดินอย่างช้าๆ โดยมี DT_{50} ในดินประมาณ 60-120 วัน อัตราการใช้คลอร์ไพริฟอส 40% W/V EC ในอัตรา 25-90 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร จะใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชของพืชตระกูลกะหล่ำ ภายหลังฉีดพ่นครั้งสุดท้ายแล้ว 14 วัน จึงสามารถนำผลผลิตไปบริโภคได้ อาการที่แสดงจากการได้รับสารคลอร์ไพริฟอสได้แก่ ปวดศีรษะ ตาพร่า ม่านตาหรี่ หายใจขัด เซื่องซึม ปวดเกร็งในช่องท้อง น้ำลายไหล คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง เหงื่อออกมาก ตัวสั่น และกล้ามเนื้ออ่อนเพลีย (ดำริห์ รุ่งสุข, 2543)

4. โพรไทโอฟอส (prothiofos) เป็นสารฆ่าแมลงทางการเกษตรที่ไม่สามารถซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อของพืชได้ แต่ก็เป็นที่นิยมใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชที่เข้ามารบกวนผลผลิตทางการเกษตรชนิดที่ใช้ปากดูดหรือปากกัด (sucking and biting) ได้แก่ หนอนใยผัก หนอนกระทู้ผัก และหนอนเจาะยอดกะหล่ำ เป็นต้น ทั้งนี้สารโพรไทโอฟอส มีชื่อเคมี (IUPAC) คือ O-2, 4-dichlorophenyl O-ethyl S-propyl phosphorodithioate หรือที่เรียกทางการค้าว่า โตกุไธออน โพรไทโอฟอสมีสูตรโมเลกุล คือ $C_{11}H_{15}Cl_2O_2PS$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 345.2 การละลายน้ำเท่ากับ 1.7 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Hayes and Laws, 1991) และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 สูตรโครงสร้างของสารโพรไทโอฟอส (ดำริห์ รุ่งสุข, 2543)

การแสดงความเป็นพิษของสารโพรไทโอฟอส ซึ่งมีค่า LD_{50} เฉียบพลันแบบให้ทางปากสำหรับหนูขาว (rat) และตัวถีบจักร (mice) ประมาณ 1,500 และ 2,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และยังมี LD_{50} เฉียบพลันแบบให้ทางผิวหนังนาน 24 ชั่วโมง สำหรับหนูขาว > 5,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม นอกจากนี้ยังมี LC_{50} แบบสูดดมติดต่อกัน 4 ชั่วโมง สำหรับหนูตัวใหญ่ > 2.7 มิลลิกรัม/อากาศ 1 ลิตร โพรไทโอฟอสจะย่อยสลายตัวด้วยด่างและแสงแดดโดยมี DT_{50} (22 องศาเซลเซียส) เท่ากับ 12 วัน (pH 9) 280 วัน (pH 7) 120 วัน (pH 4) และ 13 ชั่วโมง (โดยแสงแดด) เป็นสารที่ถูกยึดไว้ในดินได้ดี ในการใช้สารโพรไทโอฟอสจะใช้ในอัตราของสารโพรไทโอฟอส 50% W/V EC ในอัตรา 20-30 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร ภายหลังจากฉีดพ่นครั้งสุดท้ายแล้ว ต้องเว้นระยะ 14 วัน จึงจะนำผลผลิตไปบริโภคได้ เมื่อรับพิษโพรไทโอฟอสทั้งผิวหนัง ทางปาก และสูดดมแล้วจะมีอาการม่านตาหรี่ ปวดศีรษะ มึนงง แน่นหน้าอกอึดอัดหายใจไม่เต็มปอด อ่อนเพลีย กระวนกระวาย กล้ามเนื้อกระตุก ตัวเขียวคล้ำเพราะขาดออกซิเจนปวดท้องเกร็ง คลื่นไส้ อาเจียน เหงื่อออกมาก และน้ำตาน้ำลายไหล (ดำริห์ รุ่งสุข, 2543)

1.2.3 การประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นจากการบริโภค

สารฆ่าแมลงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชที่เข้ามารบกวนหรือทำลายผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่หากใช้ไม่ถูกวิธีหรือไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของเกษตรกรโดยตรง มีการตกค้างในสิ่งแวดล้อม และรวมถึงสุขภาพอนามัยของผู้บริโภคด้วย เช่น การใช้สารฆ่าแมลงในปริมาณมากหรือการใช้สารฆ่าแมลงหลายๆ ชนิดผสมเข้าด้วยกัน และรวมถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิตก่อนระยะเวลาอันควร จึงส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตร แม้ว่าหน่วยงานของทางราชการได้เข้ามามีบทบาทในการกำหนดมาตรการในการลดปริมาณการใช้สารฆ่าแมลง และแนะนำให้เกษตรกรใช้สารจากพืช หรือสารฆ่าแมลงจากธรรมชาติ ประกอบกับการควบคุมการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตร แต่ก็ไม่เป็นผลสำเร็จ ทั้งนี้ยังพบการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงในผลผลิตทางการเกษตรที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภค

องค์การอนามัยโลก และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (WHO/FAO) ได้นำหลักการวิเคราะห์ความเสี่ยง (risk analysis) มาใช้ในโครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (Codex) (FAO/WHO, 1995) ซึ่งการวิเคราะห์ความเสี่ยง เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญ และเกี่ยวข้องกับการพิจารณาดำเนินการ และการกำหนดมาตรการต่างๆ ที่เกี่ยวกับความปลอดภัยของมนุษย์จากการบริโภคอาหาร โดย FAO/WHO ได้นิยามการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของอาหารไว้ว่า เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ประการคือ การประเมินความเสี่ยง (risk assessment) การจัดการความเสี่ยง (risk management) และการสื่อสารความเสี่ยง (risk

communication) และได้ให้นิยามความเสี่ยง (risk) ว่า เป็นความสัมพันธ์ของโอกาสและระดับของการเกิดผลกระทบที่ร้ายแรงที่เกิดมาจากอันตรายในอาหาร

การประเมินความเสี่ยง หมายถึง การประเมินทางวิทยาศาสตร์ถึงสิ่งที่รู้หรือสิ่งที่มีความเป็นไปได้ (potential) ว่าเป็นผลกระทบให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของคนจากการได้รับสิ่งที่เป็นอันตรายจากอาหาร ซึ่งจะครอบคลุมถึงการประเมินความเสี่ยงทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ รวมถึงการพิจารณาความไม่แน่นอนในการประเมินด้วย (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , 2545) ดังนั้นในการประเมินความเสี่ยง เป็นกระบวนการที่นำเอาความรู้ทางพิษวิทยามาประเมินหาโอกาสที่จะเกิดขึ้น (probability) และความรุนแรง (magnitude) ของผลอันไม่พึงประสงค์ (adverse effect) ที่จะมีผลต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตจากการได้รับสารฆ่าแมลง (exposure to insecticide) (พาลาภ สิงหเสนี, 2540) และทั้งนี้พบว่าการประเมินความเสี่ยงประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ

1) การบ่งชี้ถึงอันตราย (hazard identification)
2) การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณ (dose-response assessment) หรือการอธิบายลักษณะอันตราย (hazard characterization)
3) การประเมินการได้รับสัมผัส (exposure assessment) และ
4) อธิบายลักษณะความเสี่ยง (risk characterization)

ทั้งนี้จากการประเมินความเสี่ยงใน 2 ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับอันตราย (hazard) ของสารฆ่าแมลง โดยนำข้อมูลมาใช้ประเมินอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อการบริโภค จากผลการประเมินใน 2 ขั้นตอนนี้จะทำให้สามารถอธิบายถึงลักษณะอันตรายและความเป็นพิษต่อคน รวมทั้งสามารถกำหนดค่าที่ใช้วัดระดับความปลอดภัยต่อคนของสารฆ่าแมลงได้ ขั้นตอนที่ 3 คือการประเมินการได้รับสัมผัส เป็นขั้นตอนสำคัญที่จะแสดงให้เห็นโอกาสและปริมาณการได้รับ (exposure) สารฆ่าแมลงที่ตกค้างอยู่ในผลิตผลทางการเกษตรจากการกิน (oral exposure) โดยเก็บตัวอย่างตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารฆ่าแมลงที่ตกค้างในพืชผัก ซึ่งจะนำไปประเมินการได้รับสารฆ่าแมลงของผู้บริโภค และในขั้นตอนที่ 4 คือการอธิบายลักษณะความเสี่ยง จากการเปรียบเทียบผลการประเมินการได้รับสัมผัสในขั้นตอนที่ 3 กับค่าชี้วัดความปลอดภัยที่ได้จากการประเมินในขั้นตอนที่ 1 และ 2 หากการได้รับสัมผัสต่ำกว่าค่าชี้วัดความปลอดภัย ถือว่าความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ คือมีความปลอดภัยเพียงพอ แต่หากการได้รับสัมผัสสูงกว่าค่าชี้วัดความปลอดภัยถือว่าความเสี่ยงอยู่ในระดับสูงไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ในการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นจาการบริโภคสามารถประเมินได้จากค่าความเสี่ยง (Hazard Quotient, HQ) โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Hazard Quotient} = \frac{\text{ADD}}{\text{ADI}}$$

โดยที่ ADD = Average Daily Dose

ADI = Acceptable Daily Intake

จากค่าความเสี่ยง กรณีที่พบว่าค่า Hazard Quotient มีค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1 แสดงว่าปริมาณสารฆ่าแมลงโดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับนั้นไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อร่างกายได้ แต่ถ้าค่า Hazard Quotient มากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณสารฆ่าแมลงโดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับเกินเกณฑ์ค่าความปลอดภัย หรือถือว่าอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ส่วนการหาค่าปริมาณสารฆ่าแมลงที่ผู้บริโภคได้รับต่อวัน (Average Daily Dose, ADD) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ADD} = \frac{(C \times IR \times EF \times ED)}{BW \times AT}$$

โดยที่ C = Concentration (mg/kg)

IR = Intake Rate (kg/day)

EF = Exposure Frequency (days/yrs)

ED = Exposure Duration (yrs)

BW = Body Weight (kg)

AT = Averaging Time (days)

(U. S. EPA, 1992)

FAO (2004) ได้กำหนดค่าที่ยอมให้ตกค้างได้สูงสุด (Maximum Residue Limit, MRL) และค่ามาตรฐานความปลอดภัยจากการบริโภค (Acceptable Daily Intake, ADI) แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 ค่า Maximum Residue Limit (MRL) และค่า Acceptable Daily Intake (ADI)

ชนิดสารฆ่าแมลง	**ค่า MRL (mg/kg)**	**ค่า ADI (mg/kg BW)**
ไดเมโทเอต	2.0	0.02
เมธิล พาราไทออน	0.05	0.0002
คลอร์ไพริฟอส	1.0	0.003
โพรไทโอฟอส	0.2	0.0001

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในพืชผักต่างๆ มีดังต่อไปนี้

ตาราง 2 รายงานการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรณีศึกษา/แหล่ง	ชนิดพืชผัก	ชนิดสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต	ปริมาณการปนเปื้อน (mg/kg)	เอกสารอ้างอิง
แหล่งจำหน่ายในภาคกลาง	- ผักคะน้า	- โมโนโครโตฟอส - เมวินฟอส - ไดเมโทเอต - ไดอะซินอน - เมธิล พาราไทออน	0.01-5.36 0.01-3.36 < 0.01-0.03 0.01-0.04 < 0.01-0.01	จินตนา ภู่มงกุฎชัย (2536) อ้างถึงใน วรรณวิมล แพ่งประสิทธิ์ และคณะ (2540)
แหล่งจำหน่ายในจังหวัดสระบุรี อยุธยา และปทุมธานี	- ผักคะน้า - ถั่วฝักยาว - ถั่วเหลือง	- เมวินฟอส - ไดโครวอส - ไดเมโทเอต - เมธิล พาราไทออน	0.02-0.05 0.01-0.06 0.01-0.20 0.04	นงพงา ดวงแก้ว และ จันทร์ทิพย์ ธำรงศรีสกุล (2538)
แหล่งปลูกและแหล่งจำหน่ายในจังหวัดนครปฐม อ่างทอง นนทบุรี และชลบุรี	- กะหล่ำปลี	- เมวินฟอส - ไดเมโทเอต - ไดอะซินอน - เมธิล พาราไทออน - พิริมิฟอส เมทธิล - ไดโครวอส - โมโนโครโตฟอส	0.06-0.65 0.01-0.31 0.01-0.09 0.02-0.03 0.01-0.03 0.03 0.08	สมสมัย ปาลกุล และคณะ (2538)
พืชผักส่งออกของประเทศไทย	พืชผักส่งออกได้แก่ - ข้าวโพดฝักอ่อน - ถั่วแขก - ผักโขม	- โมโนโครโตฟอส - เมทโธมิล	0.01 0.27	สุปราณี อิ่มพิทักษ์ และคณะ (2538)

ตาราง 2 (ต่อ)

กรณีศึกษา/ แหล่ง	ชนิดพืชผัก	ชนิดสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต	ปริมาณการปนเปื้อน (mg/kg)	เอกสารอ้างอิง
พืชผักส่งออกของประเทศไทย (ต่อ)	- แครอท - พริกหวาน - หอมหัวใหญ่ - ถั่วแระ - ดอกกะหล่ำ			
แปลงปลูกผักของนักศึกษาคณะเทคโนโลยีการเกษตร	- ผักคะน้า	- เมวินฟอส - ไดอะซินอน - ไดเมโทเอต - มาลาไธออน	0.00396 0.00113 0.00051 0.00105	ลักขณา อมรสิน และ วีระณีย์ ศรีพรมสุข (2538)
	- ผักกวางตุ้ง	- ไดอะซินอน - ไดเมโทเอต - มาลาไธออน	0.00122 0.00206 0.00066	
แหล่งจำหน่ายในภาคกลาง	- ถั่วฝักยาว	- คลอร์ไพริฟอสเอทธิล - เมทามิโดฟอส - โอเมโทเอท - โมโนโครโตฟอส - โพรฟีโนฟอส - โพซาโลน	2.03 13.46 9.79 2.79 0.34 1.61	กรมวิชาการเกษตร (2543)
	- ถั่วลันเตา	- เมวินฟอส	0.17, 0.42	
	- ถั่วแขก	- เมวินฟอส - โมโนโครโตฟอส	0.16 0.15	
พืชผักที่ปลูกในเขตอำเภอเมืองจังหวัดอุบลราชธานี	- ผักคะน้า	- เมวินฟอส และเมทามิโดฟอส	0.1112-0.8523	พิมพ์พัฒน์ สิมะวัฒนะ (2543)
	- ผักกวางตุ้ง	- เอธิล พาราไทออน	0.8216	

ตาราง 2 (ต่อ)

กรณีศึกษา/แหล่ง	ชนิดพืชผัก	ชนิดสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต	ปริมาณการปนเปื้อน (mg/kg)	เอกสารอ้างอิง
พืชผักที่ปลูกในเขตอำเภอเมืองจังหวัดอุบลราชธานี (ต่อ)		- เมทามิโดฟอส	0.1517	
	- ผักกาดเขียว	- เมวินฟอส และเอธิล พาราไทออน	0.1116-1.096	
	- ผักบุ้ง	- เอธิล พาราไทออน	0.8882	
	- กะหล่ำปลี	- เมทามิโดฟอสและเมวินฟอส	0.0863-0.2105	
	- ผักกวางตุ้งดอก	- เมวินฟอสและเอธิลพาราไทออน	0.1126-0.8862	
	- กะหล่ำดอก	- เมธามิโดฟอสและเมวินฟอส	0.0569-0.7829	
พืชผักที่วางจำหน่ายในตลาดเขตเทศบาลเมืองลำปาง	- ถั่วฝักยาว	- เมธิล พาราไทออน	0.0262	ยุพา อภิโกมลกร (2547)
		- คลอร์ไพริฟอส	< 0.03	
	- แตงกวา/แตงร้าน	- คลอร์ไพริฟอส	< 0.03	
แหล่งจำหน่ายในเมืองและชนบทของ Mauritius ในมหาสมุทรอินเดีย	- กะหล่ำปลี	- เมทามิโดฟอส	0.008-0.14	Lee Fook Choy and Seeneevassen (1997)
	- มะเขือเทศ	- โพรฟีโนฟอส	0.011-0.076	
	- กะหล่ำดอก	- เมทามิโดฟอส	0.13	
	- ผักกาดขาว	- เมทามิโดฟอส	0.14	
	- ผักน้ำ	- โพรฟีโนฟอส	0.15-0.28	

ตาราง 2 (ต่อ)

กรณีศึกษา/แหล่ง	ชนิดพืชผัก	ชนิดสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต	ปริมาณการปนเปื้อน (mg/kg)	เอกสารอ้างอิง
แหล่งจำหน่ายใน Haryana ของประเทศอินเดียช่วงฤดูหนาว	- กะหล่ำปลี	- มาลาไธออน - เฟนนิโตรไธออน - โมโนโครโตฟอส - ฟอสฟามิดอน - ไดนาฟอส - คลอร์ไพริฟอส	0.007 0.018 0.048 1.284 0.018 0.003	Kumari *et al.* (2001)
แหล่งปลูกผักรอบๆ เมืองเดลี (Delhi) ในประเทศอินเดีย	- กะหล่ำปลี	- เมธิล พาราไทออน - มาลาไธออน - คลอร์ไพริฟอส - โคนอลฟอส	ND-0.41 ND-0.12 ND-0.45 ND-0.09	Mukherjee (2002)

1.4 วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในกะหล่ำปลีจากตลาดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในกะหล่ำปลีระหว่างเดือนสิงหาคมและเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547
3. เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคกะหล่ำปลีจากตลาดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบชนิดและปริมาณการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในกะหล่ำปลีที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
2. ทราบสถานการณ์ความปลอดภัยจากการบริโภคกะหล่ำปลี
3. เป็นข้อมูลพื้นฐาน ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปพิจารณาใช้ในการจัดทำแนวทางและมาตรการในการควบคุมและแก้ไขปัญหาการตกค้างของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตได้ต่อไป

1.6 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาชนิดและปริมาณการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในกะหล่ำปลีจากตลาดสดประเภท 1 ในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จำนวน 5 แห่ง คือ ตลาดพลาซ่า ตลาดหาดใหญ่ใน ตลาดปี่นเจริญ ตลาดกิมหยง และตลาดทุ่งเสา และเปรียบเทียบชนิดและปริมาณการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในกะหล่ำปลี ระหว่าง เดือน โดยเก็บตัวอย่างในเดือนสิงหาคมและเดือนธันวาคม พ.ศ.2547