บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดิน

ดิน คือ วัตถุที่เกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อน รวมตัวกันเป็นชั้นๆ ปกคลุมผิวบนของเปลือกโลก เป็นสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกันของบรรยากาศและระบบทางชีววิทยาโดยกระบวนการสลายตัวของแร่ธาตุต่างๆ ผสมกับอินทรีย์วัตถุ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยผุพังไปตามกาลเวลา ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น ความแปรปรวนของอุณหภูมิ ความชื้น ลม กระแสน้ำ และการกระทำของมนุษย์ เป็นต้น

องค์ประกอบของดิน

ดินประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้คือ

1. แร่ธาตุอาหาร ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดจากการสลายตัวของแร่ธาตุและหิน และส่วนนี้จะเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชในดิน มีปริมาณร้อยละ 45 โดยปริมาตร

2. อินทรีย์วัตถุ เป็นส่วนที่เกิดจากการสลายตัวหรือเน่าเปื่อยผุพังของซากพืช ซากสัตว์ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กในดินที่ทับถมกัน ส่วนนี้ก็จะเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชในดินเช่นกัน มีปริมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร

3. อากาศ เป็นช่องว่างระหว่างก้อนดินซึ่งมีอากาศอยู่ ส่วนนี้จะเป็นแหล่งของอากาศแก่พืชในดิน มีปริมาณร้อยละ 25 โดยปริมาตร

4. น้ำ เป็นส่วนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างก้อนดิน เป็นแหล่งของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน มีปริมาณร้อยละ 25 โดยปริมาตร

จากการรวมตัวกันขึ้นโดยทางธรรมชาติของแร่ธาตุและอินทรีย์วัตถุ ประกอบกับมีอากาศและน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ดินก็จะกลายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชพันธุ์ไม้นานาชนิดได้อาศัยดินเป็นที่หยั่งรากและขยายพันธุ์ เพื่อเป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ต่อๆ ไป

แต่อย่างไรก็ตาม ดินที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบดังกล่าวนี้ มักพบน้อยมากในดินที่ใช้ทำการเกษตรทั่วๆ ไป ดินส่วนใหญ่มักจะมีสัดส่วนขององค์ประกอบที่แตกต่างไปจากนี้ ดังนั้น จึงทำให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าที่ควร และดินที่น่าจะมีสัดส่วนขององค์ประกอบใกล้เคียงกับองค์ประกอบที่กล่าวมาแล้วนี้ ได้แก่ ดินชั้นบน ซึ่งดินชั้นบนคือ ชั้นดินตั้งแต่ผิวหน้าดินจนถึงดินลึกลงไปประมาณ 15 เซนติเมตร จากผิวดิน

สมบัติบางประการของดิน

1. เนื้อดิน (soil texture)

เนื้อดิน คือ สมบัติของดินที่มีความหยาบ ความร่วน และความเหนียว เมื่อสัมผัสด้วยมือ สมบัตินี้เกิดจากการที่ดินมีขนาดอนุภาคเม็ดดินที่เล็กใหญ่แตกต่างกัน และอยู่รวมกันเป็นปริมาณและสัดส่วนแตกต่างกัน ถ้าดินมีขนาดอนุภาคดินเหนียวที่มีขนาดเล็กอยู่มาก จะทำให้ดินเหนียวเละลื่นเมื่อเปียกน้ำ แต่จะแข็งและจับตัวกันแน่นเมื่อแห้ง ถ้าดินมีขนาดอนุภาคหยาบหรือมีขนาดเม็ดทรายอยู่มาก ดินนั้นจะมีความหยาบร่วน เมื่อดินเปียกจะไม่เหนียว เมื่อดินแห้งก็จะไม่แข็ง และถ้าดินมีส่วนผสมของอนุภาคดินเหนียว อนุภาคทราย และอนุภาคตะกอน ดินนั้นจะมีเนื้ออ่อนนุ่ม ไม่เหนียวและไม่ร่วน หรือสากมือจนเกินไป มีความสามารถในการอุ้มน้ำดีและไม่แน่นทึบหรือแข็งจนเกินไป ความสำคัญของเนื้อดิน คือ มีผลทางด้านความยากง่ายในการไถพรวน มีผลทางด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน มีผลทางด้านความโปร่งและร่วนซุยและมีผลทางด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ

2. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC)

ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก หมายถึง ความจุของสารคอลลอยด์ในดินที่สามารถดูดยึดธาตุที่มีประจุบวกไว้ได้มากที่สุด มีหน่วยเป็นมิลลิอีควิวาเลนท์ (milliequivalent, meq.) ต่อดินแห้งหนัก 100 กรัม ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน เป็นสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องอยู่กับชนิดและปริมาณของสารคอลลอยด์ในดิน และยังเกี่ยวข้องอยู่กับระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน กล่าวคือ ถ้าดินมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ก็หมายความว่าดินนั้น

มีแนวโน้มที่จะมีความอุดมสมบูรณ์สูง ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดดินด้วยว่าจะมีธาตุอาหารพืชที่มีประจุเป็นบวกดูดยึดไว้มากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ระดับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกยังบอกให้ทราบถึง ระดับความมากน้อยในการสลายตัวของหิน และแร่ที่เป็นวัตถุต้นกำเนิดดินด้วย โดยปกติความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินทรายจะมีค่าอยู่ในช่วง 5-10 มิลลิอีควิวาเลนท์ต่อดินแห้ง 100 กรัม ของดินร่วนจะมีค่าอยู่ในช่วง 10-20 มิลลิอีควิวาเลนท์ต่อดินแห้ง 100 กรัม และของดินเหนียวจะมีค่ามากกว่า 20 มิลลิอีควิวาเลนท์ต่อดินแห้ง 100 กรัม ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินชนิดหนึ่งๆ นั้นมักจะคงที่ การเปลี่ยนแปลงจะมีบ้างแต่ต้องใช้เวลานานในการที่จะเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของสารคอลลอยด์

3. อินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter)

อินทรีย์วัตถุ ประกอบด้วยสารประกอบแทบทุกชนิดที่สามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติ เช่น สารประกอบในพืชและสัตว์ จุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และตายแล้ว สารประกอบที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้น และสารประกอบที่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งช่วยส่งเสริมให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นก้อน ถ่ายเทอากาศได้ดี และช่วยให้ดินมีความจุในการอุ้มน้ำ

4. ปฏิกิริยาของดิน (soil pH)

ปฏิกิริยาของดินนั้น ปกติมักจะใช้บอกความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ดินโดยทั่วไปจะมีค่า pH อยู่ระหว่างประมาณ 3.0-9.0 ค่า pH 7.0 จะบอกถึงสภาพความเป็นกลางของดิน ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชชนิดต่างๆ ในดินที่พืชดูดเข้าไปจะยากง่ายเพียงใดนั้น จะขึ้นอยู่กับระดับ pH ของดินเป็นอย่างมาก ธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดินบางพวกจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่ายและมีปริมาณมากที่ค่าของ pH ช่วงหนึ่ง ถ้าดินมี pH สูงหรือต่ำกว่าช่วงนั้นๆ ก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นรูปที่ยากที่พืชจะดูดเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งโดยปกติแล้วความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชจะมากที่สุดเมื่อดินเป็นกลาง

ประโยชน์ของดิน

ดินมีความสำคัญยิ่งต่อชีวิตของมนุษย์ และยังมีความสัมพันธ์อย่างลึกซึ้งกับสิ่งแวดล้อมอื่นๆ อีกด้วย สิ่งมีชีวิตต่างก็ผูกพันอยู่กับดิน เนื่องจากดินถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อ

1. การเกษตรกรรม ดินเป็นที่เพาะปลูก เป็นแหล่งผลิตอาหารของมนุษย์ เพราะดินจะ

ทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ทำให้น้ำ แสงแดดและอากาศ ร่วมกันสร้างพืชพันธุ์ทุกชนิดให้เจริญงอกงาม และดินจะเป็นที่ยึดเกาะ เป็นที่เก็บน้ำ ดินจะให้อากาศแก่รากพืชในการหายใจ และให้ธาตุอาหารแก่พืช

2. การปศุสัตว์ ดินเป็นแหล่งอาหารสัตว์ มีพืชและหญ้าที่เป็นอาหารสัตว์ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติมากมาย ซึ่งเหมาะแก่การเลี้ยงสัตว์

3. พื้นที่ป่าไม้ ดินเป็นแหล่งกำเนิดของปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิต 4 ประการ คือ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค และที่อยู่อาศัย นอกจากนี้ดินยังเป็นแหล่งกักเก็บน้ำตามธรรมชาติอีกด้วย

4. แหล่งที่อยู่อาศัย เป็นที่ตั้งของเมือง เป็นรากฐานของความเจริญมั่นคงทางเศรษฐกิจและสังคม ทำให้เกิดวัฒนธรรมและอารยธรรม และมีอิทธิพลทางการเมืองอีกด้วย

5. แหล่งอุตสาหกรรม พาณิชยกรรมและเหมืองแร่ ดินถือว่าเป็นทรัพยากรธรรมชาติและเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญประการหนึ่ง

6. แหล่งพักผ่อนหย่อนใจ ดินเป็นฐานที่ตั้งของทิวทัศน์ที่สวยงาม ซึ่งถือได้ว่าดินมีบทบาทต่อสุขภาพจิตของประชาชนโดยทั่วไป และมีบทบาทสำคัญต่อการท่องเที่ยวด้วย

อย่างไรก็ตาม มนุษย์ไม่สามารถจะใช้ประโยชน์จากดินตามที่ต้องการได้ทุกอย่าง มนุษย์พึ่งพาอาศัยดินโดยมีขอบเขตจำกัด จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของดินและระบบนิเวศวิทยาที่มีอยู่ในแต่ละท้องถิ่น มนุษย์ใช้ดินในแต่ละท้องถิ่นเพื่อประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ไม่ใช่ทุกอย่างในดินแห่งเดียวกัน ที่ดินย่อมมีความเหมาะสมในการผลิตสิ่งต่างๆ สนองความต้องการของมนุษย์แตกต่างกันไป

ปัญหาของดิน

การใช้ประโยชน์จากดินของมนุษย์ในปัจจุบันนี้ มักจะมองข้ามในเรื่องคุณลักษณะระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมของดิน ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นฐานทางเศรษฐกิจ สังคม และสภาพแวดล้อมอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไป เมื่อประชากรเพิ่มมากขึ้น ความต้องการในปัจจัยสี่ที่เป็นความต้องการพื้นฐานในการดำรงชีวิตก็เพิ่มขึ้น ทำให้มีการขยายเนื้อที่เพาะปลูก เร่งผลผลิต ใส่ปุ๋ยเคมีและสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของดิน สิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นเพียงสาเหตุบาง

ประการที่ทำให้เกิดปัญหาดินเสื่อมโทรมขึ้นได้ นอกจากนี้ความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการและเทคโนโลยี ที่ทำให้เกิดของเสียที่ทำลายยากและตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน ก็มีส่วนเร่งให้ดินเสื่อมโทรมได้เร็วขึ้น

ปัญหาของดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประการ คือ

1. ปัญหาการพังทลายของดินและการสูญเสียหน้าดิน คือ การที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของดินหรือทั้งหมดถูกพาให้เคลื่อนที่ อาจจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น การชะล้าง การกัดเซาะของน้ำและลม การเคลื่อนที่ของดิน การถล่มของดิน เป็นต้น หรือดินอาจจะพังทลายโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำลายป่า เผาป่า การทำการเพาะปลูกที่ผิดวิธี เป็นต้น

2. ความเสื่อมโทรมของดิน คือ การที่ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์และธาตุอาหารในดิน ด้วยมีสาเหตุหลายประการ เช่น ขาดน้ำ ขาดอากาศ ขาดปุ๋ย ดินเค็มจัด ดินเปรี้ยวจัด สารเป็นพิษตกค้างอยู่ในดิน เป็นต้น สำหรับสาเหตุของความเสื่อมโทรมนั้น อาจจะเนื่องมาจากสาเหตุดั้งเดิมคือ การที่มีสารเป็นพิษเกิดขึ้นมาพร้อมกับการเกิดดิน เช่น มีโลหะหนัก มีสารประกอบที่เป็นพิษ ซึ่งอาจทำให้ดินเค็ม ดินด่าง ดินเปรี้ยวได้ นอกจากนี้ยังมีสาเหตุอื่นๆ ที่เกิดจากสารเป็นพิษและสิ่งสกปรกจากภายนอกปะปนอยู่ในดิน เช่น ขยะจากบ้านเรือน ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม สารเคมีตกค้างจากการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นสาเหตุโดยทั่วไป ได้ดังนี้

2.1 ความเสื่อมโทรมของดินที่เกิดจากการสะสมของเกลือและด่างในดิน หรือความเป็นกรดจัด จะมีผลทำให้การถ่ายเทอากาศมีจำกัด อัตราการซึมซาบของน้ำในดินลดลง ปริมาณน้ำที่พืชจะนำไปใช้ลดลง และธาตุอาหารบางอย่างอาจถูกละลายออกมามากเกินไป จนไม่อยู่ในสภาพที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย

2.2 ความเสื่อมโทรมและสกปรกเป็นพิษของดินที่เกิดจากการปล่อยของเสีย และสิ่งปฏิกูลจากบ้านเมือง ไม่ว่าจะเป็นสิ่งขับถ่ายและขยะมูลฝอยจากบ้านเมือง หรือเศษอาหาร เศษไม้ เศษกระดาษ เศษโลหะ สารเคมีจากโรงงานอุตสาหกรรมก็ตามจะถูกทับถมอยู่ในดิน จึงทำให้ดินเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของเชื้อโรค พยาธิ สัตว์ที่เป็นพาหะนำโรค

2.3 ความเสื่อมโทรมและสกปรกเป็นพิษของดิน ที่เนื่องมาจากสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์และการใช้ปุ๋ยเคมี เมื่อมีการใช้ปุ๋ยเคมีหรือสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ จะมีสารเคมีที่เป็นพิษตกค้างอยู่ในดินและคงอยู่เป็นเวลานาน สารเหล่านี้จะเคลื่อนย้ายหรือถูก

ดูดซึมเข้าไปอยู่ในพืชได้

2.4 ความเสื่อมโทรมและสกปรกเป็นพิษของดินเนื่องจากสารกัมมันตภาพรังสี สารกัมมันตภาพรังสีที่เกิดจากการทดลอง หรือจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม อาจจะตกจากอากาศหรือปะปนมากับของเหลว หรือของเสียของกากกัมมันตภาพรังสีสะสมอยู่ในดิน สารเหล่านี้สามารถถูกดูดซึมเข้าไปสะสมอยู่ในใบและดอกของพืชได้

<u>บทบาทของดินกับปัญหามลพิษ</u>

ดิน หรือที่ดินมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในโลกนี้เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะมนุษย์ได้ใช้ทรัพยากรดินเป็นที่อยู่อาศัย เป็นแหล่งผลิตอาหาร สร้างโรงงานอุตสาหกรรม ทำเกษตรกรรม ตลอดจนเป็นแหล่งเก็บน้ำเพื่อบริโภคและอุปโภค

แต่ถ้ามองลึกลงไปถึงสมบัติตามธรรมชาติของดินแล้ว จะพบว่าดินมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของสภาวะแวดล้อมมาก เนื่องจาก อนุภาคของดินมีความสามารถที่จะดูดซึม (absorb) และดูดซับ (adsorb) ประจุต่างๆ ที่ผ่านเข้ามาในระบบของดิน ตลอดจนมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุต่างๆ ที่เข้ามาในระบบอีกด้วย ในกรณีที่มีการปนเปื้อนเกิดขึ้น เช่น การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง สารเคมีป้องกันกำจัดวัชพืชและปุ๋ยเคมี ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สลับซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในดิน จะช่วยลดความเป็นพิษที่เกิดขึ้นจากสารปนเปื้อนได้ในระดับหนึ่ง หากระดับของสารปนเปื้อนสูงขึ้นกว่านั้น จะทำให้เกิดมลพิษขึ้นในดิน และสภาพแวดล้อมใกล้เคียง

นอกจากสมบัติทางเคมีของดิน จะสามารถลดระดับความเป็นพิษของสารปนเปื้อนลงได้ระดับหนึ่งแล้ว ในกรณีที่สารปนเปื้อนอยู่ในรูปของน้ำมัน สมบัติทางกายภาพของดิน เช่น เนื้อดิน ความหนาแน่นของดิน และความพรุนของดิน สามารถลดอัตราการแพร่กระจายของน้ำมันลงสู่ระบบน้ำใต้ดิน และแหล่งน้ำในพื้นที่ใกล้เคียงได้ โดยทั่วไปดินที่มีเนื้อละเอียด มีอนุภาคดินเหนียวปนอยู่มาก จะยอมให้น้ำมันซึมผ่านไปในอัตราที่ช้ากว่าในดินเนื้อหยาบ

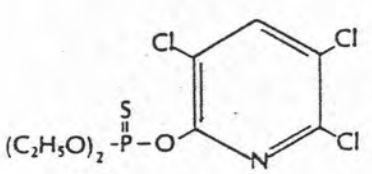
สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง

สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง หมายถึงสารเคมีหรือส่วนผสมของสารเคมีใดๆ ที่ใช้สำหรับป้องกันกำจัด หรือขับไล่แมลงที่เป็นศัตรูพืช สัตว์ และมนุษย์ (พาลาภ สิงหเสนี, 2535)

เนื่องจากสารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นสารที่มีความเป็นพิษร้ายแรง มีการสลายตัวยาก อีกทั้งยังมีการตกค้างและสะสมในร่างกายมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อมได้ยาวนานกว่าสารกลุ่มอื่นๆ ดังนั้นในปัจจุบันนี้ กิจกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมทางด้านการเกษตรกรรม ด้านสาธารณสุข หรือกิจกรรมอื่นๆ เช่น สนามกอล์ฟ จึงพยายามหลีกเลี่ยงที่จะไม่ใช้สารเคมีกลุ่มดังกล่าว โดยจะใช้สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและกลุ่มคาร์บาเมตมากกว่า แต่สารเคมีทั้ง 2 กลุ่มนี้ ถ้าหากมีการใช้ในปริมาณที่มากและมีฝนตกก็จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงได้ สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่ใช้ในสนามกอล์ฟใหม่ที่ทำการศึกษา มีเพียง 2 ชนิด คือคลอร์ไพริฟอส และคาร์บาริล ซึ่งสารเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้ มีการใช้บ่อยครั้งและสม่ำเสมอมากกว่าสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ประเภทอื่นๆ ที่ใช้ในสนามกอล์ฟแห่งนี้ สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงชนิดอื่นๆ สารเคมีป้องกันกำจัดวัชพืช สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราและสารพ่นรมดิน ที่นิยมใช้กันเป็นส่วนมากในสนามกอล์ฟทั่วๆ ไป ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

1. คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos)

คลอร์ไพริฟอส เป็นสารป้องกันกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เป็นสารประกอบพวกไดเอททอกซี มีสูตรโครงสร้างดังนี้คือ



018868

คลอร์ไพริฟอสเป็นชื่อสามัญ ชื่อทางเคมีคือ O,O-diethyl O-(3,5,6-trichloro-2-pyridinyl) phosphorothioate ส่วนชื่อทางการค้าที่รู้จักกันทั่วไป ได้แก่ ลอร์สแบน และ เดอร์สแบน สูตรโมเลกุลคือ $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$ และ มวลโมเลกุลเท่ากับ 350.57 คลอร์ไพริฟอสมีลักษณะสมบัติเป็นผลึกสีขาว จุดหลอมเหลว 42.5-43.0 องศาเซลเซียส ความดันไอ 1.87×10^{-5} มิลลิเมตรปรอทที่ 25 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในน้ำ อะซีโตน เบนซีน คลอโรฟอร์มและเมทธานอล ประมาณ 2 มิลลิกรัม, 6.5 กิโลกรัม, 7.9 กิโลกรัม, 6.3 กิโลกรัม และ 450 กรัมต่อลิตรตามลำดับ สลายตัวได้ดีในสภาพที่เป็นด่าง โดยที่อัตราการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำจะแปรผันตาม pH และอุณหภูมิ และภายใต้สภาวะของการทดลอง คลอร์ไพริฟอสจะถูกย่อยสลายไปร้อยละ 50 ภายในเวลา 1.5 วัน และ 100 วันในน้ำที่มี pH 8 และ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและในสารละลายบัฟเฟอร์ของฟอสเฟตที่มี pH 7 และอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสตามลำดับ

ความเป็นพิษของคลอร์ไพริฟอส ได้แก่ พิษเฉียบพลันทางปากที่มีต่อหนูตัวผู้ หนูตัวเมีย หมู ไก่ และกระต่าย มีค่า LD_{50} = 135, 165, 500, 32 และ 1,000-2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ความเป็นพิษนี้จะถูกทำลายลงอย่างรวดเร็วในหนู สุนัข และสัตว์ชนิดอื่นๆ ในปลา rainbow trout มีค่า 96-h LC_{50} = 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ADI (acceptable daily intake) สำหรับมนุษย์มีค่าเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารเคมีชนิดนี้เป็นอันตรายต่อกุ้งและปลา จัดเป็นสารประเภทที่มีพิษปานกลาง (สาวิตร วรรณพิณ, 2529)

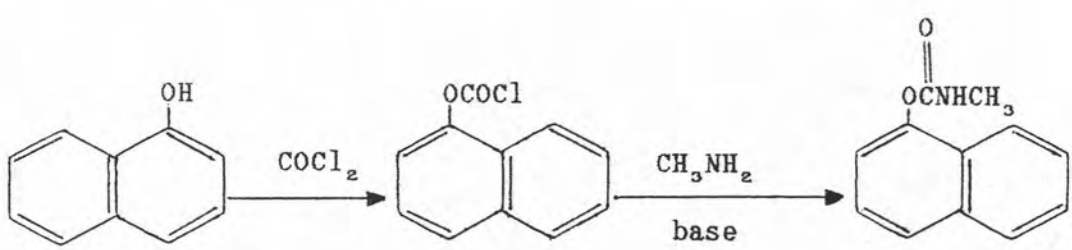
คลอร์ไพริฟอสเป็นสารเคมีประเภทออกฤทธิ์โดยการสัมผัส การกินและการหายใจ ใช้กำจัดแมลงได้หลายชนิด ได้แก่ แมลงวัน แมลงศัตรูในบ้านเรือน ยุง(ตัวอ่อนและตัวเต็มวัย) และแมลงศัตรูพืชต่างๆ ทั้งที่อยู่ในดินและบนต้นพืช มีพิษตกค้างบนพืชได้นานพอควร แต่ไม่เป็นพิษต่อพืช การใช้ส่วนมากจะมีอยู่หลายรูปแบบ (formulations) คือ แบบผงผสมน้ำ (wettable powder,WP) แบบน้ำมัน (emulsifiable concentrate, EC) แบบอุลวี (ultra-low-volume, ULV) และแบบเม็ด (granules, G) ปกติจะใช้ในอัตรา 240-480 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ จะใช้สลับกับคาร์บาริล เพื่อป้องกันการดื้อต่อสารเคมีของแมลงศัตรูพืช

คลอร์ไพริฟอสมีความสามารถคงทนอยู่ในดินได้ประมาณ 60-120 วัน แล้วจะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่กลุ่มฟอสฟอรัสเอสเทอร์ โดยจุลินทรีย์ในดิน การย่อยสลายจะได้สาร 3,5,6-trichloro-2-pyridinol และสารกลุ่มฮาโลเจนของ pyridinol ซึ่ง

ต่อมาก็จะถูกย่อยสลายต่อไปด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิส และถูกออกซิไดซ์แยก pyridinol ring และปลดปล่อยแกสคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Smith, 1968)

2. คาร์บาริล (carbaryl)

คาร์บาริล เป็นสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงกลุ่มคาร์บาเมต ซึ่งสารกลุ่มคาร์บาเมตมีสมบัติทั่วไปดังนี้คือ เป็นสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่มีอันตรายน้อยต่อสัตว์เลือดอุ่น คาร์บาริลเป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์ในการกำจัดแมลงได้อย่างกว้างขวาง ส่วนดีคือ ค่อนข้างจะมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสัตว์เลือดอุ่นน้อยมาก นอกจากนี้ฤทธิ์ตกค้างในสิ่งแวดล้อมและพืชผักก็มีในระยะเวลาที่สั้น แต่มีข้อเสียคือ มีพิษสูงต่อผึ้งและปลา ถึงแม้ว่าสารคาร์บาริลนี้จะสลายตัวได้รวดเร็วในธรรมชาติ แต่ถ้ามีการใช้สารนี้อย่างต่อเนื่อง และใช้อย่างไม่ถูกวิธี ก็สามารถก่อให้เกิดการตกค้างและสะสมของสารพิษในแหล่งน้ำ และก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อสัตว์น้ำได้ คาร์บาริลเป็นพวกฟีนิลคาร์บาเมต เป็นสารประกอบประเภทแอลฟา-แนพทิล (α-naphthyl) ซึ่งเตรียมได้จากแอลฟา-แนพทอล (α-naphthol) แสดงได้ดังสมการ



α-naphthol carbaryl

สูตรโมเลกุลของคาร์บาริล คือ $C_{12}H_{11}NO_2$ และมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 201.22 คาร์บาริลเป็นชื่อสามัญ มีชื่อทางเคมีคือ 1-naphthyl methylcarbamate ส่วนชื่อทางการค้านั้นมีมากมายหลายชื่อ ได้แก่ เซฟวิน 85 เซโนวา เอสวิน 85 คาร์บาริล เซฟดริน เอส-85 เรฟยอน คาร์บาริลคาร์ลาวิ้นผง เซฟ 85 ดี วาตาบาริล เซฟวิน เอฟ 3 ที เอส 85 เซราทอก ไดคาร์แบม แนพทิล และพลังใหม่ เป็นต้น (วิเชียร ณัฐวัฒนานนท์, 2525 และ ขวัญชัย สมบัติศิริ, 2528)

คาร์บาริลมีสมบัติและลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 142 องศาเซลเซียส ความดันไอน้อยกว่า $4x10^{-5}$ และเท่ากับ $2x10^{-3}$ มิลลิเมตรปรอทที่อุณหภูมิ 25 และ 40 อาศาเซลเซียสตามลำดับ มีความหนาแน่น 1.232 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้ประมาณ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายโดยละลายในไดเมทธิลฟอร์มาไมด์ และ ไดเมทธิลซัลฟอกไซด์ได้ 400-450 กรัมต่อลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส มีความเสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส มีความทนทานไม่สลายตัวง่ายเมื่อถูกแสงและความร้อน สลายตัวไวในสภาพที่เป็นด่าง (pH มากกว่า 9) ให้สารแอลฟา-แนพทอล แต่ไม่สลายตัวในสภาพที่เป็นกรด (ชวลิต เข็มพรหมมา, 2529) สามารถรวมกับสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงได้เกือบทุกชนิด

ความเป็นพิษของคาร์บาริล มีพิษเฉียบพลันทางปากที่มีต่อหนูตัวผู้มีค่า LD_{50} = 850 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พิษเฉียบพลันทางผิวหนังที่มีต่อหนูและกระต่ายมีค่า LD_{50} มากกว่า 4,000 และ มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และจากการให้อาหารที่มีสารนี้ต่อหนู 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเป็นเวลา 2 ปี ไม่ปรากฏว่ามีความผิดปกติแต่อย่างใด สารนี้มีอันตรายน้อยต่อนก สัตว์ปา และจุลินทรีย์ในดิน แต่มีอันตรายมากต่อปลา (LD_{50} = 5-13 มิลลิกรัมต่อลิตร) และผึ้ง (ขวัญชัย สมบัติศิริ, 2528 และ Worthing, 1983) ค่า ADI สำหรับมนุษย์มีค่าเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดเป็นสารเคมีประเภทที่มีพิษปานกลาง (มัณฑนา ชำเลขะสิงห์, 2529)

คาร์บาริลเป็นสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงประเภทที่ออกฤทธิ์โดยการสัมผัส กิน และหายใจ มีสมบัติเป็นสารประเภทดูดซึมเล็กน้อย ใช้กำจัดแมลงทั้งชนิดปากกัดและปากดูดโดยเฉพาะกับหนอนผีเสื้อต่างๆ และใช้กำจัดแมลงในบ้านเรือน แมลงศัตรูสัตว์เลี้ยง ไม่แนะนำให้ใช้กำจัดแมลงวันบ้าน ไรแดง เพลี้ยอ่อน รูปแบบการใช้กันส่วนมากก็มีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ แบบผงผสมน้ำ แบบเม็ด แบบผงฝุ่น (dust powder, DP) แบบเหยื่อล่อ (baits,B) และแบบน้ำเข้มข้น (solution concentrate, SC) โดยปกติจะใช้ในอัตรา 300 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ หรือใช้คาร์บาริลร้อยละ 85 สำหรับพืชในอัตรา 75 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร เมื่อสังเกตุพบแมลงศัตรูพืชจำนวนมาก เป็นสารที่มีอันตรายน้อยมากและพิษตกค้างสั้น

<u>ค่าครึ่งชีวิตของคาร์บาริลในดิน จะมีค่าประมาณ 8 วัน</u> แต่<u>มีความสามารถคงทนอยู่ในดินได้นานถึง 30 วัน</u> การสลายตัวมักเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยจุลินทรีย์ในดิน ได้

ผลิตผลที่สำคัญ คือ 1-naphthol (Coburn et al., 1976) ซึ่งมีพิษต่ำต่อแมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยปกติแล้วพิษสัมผัสต่อมนุษย์และสัตว์มีน้อย แต่มีพิษทางปากและระบบหายใจสูง การสลายตัวในน้ำ ภายในเวลา 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ จะสลายตัวไปจนเหลือร้อยละ 5 และสลายตัวหมดไปตามลำดับ

การปนเปื้อนของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงในดิน

การปนเปื้อนของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงในดิน เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษที่สำคัญเรื่องหนึ่ง ในการศึกษาถึงการปนเปื้อนของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงภายในดินภายหลังจากการใช้สารเคมีเหล่านี้ฉีดพ่นลงบนพืชหรือใช้โดยตรงลงบนดิน พบว่าสารเคมีบางส่วนจะฟุ้งกระจายและระเหยปะปนอยู่ในอากาศ แต่บางส่วนประมาณ 1/3 ของปริมาณสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงทั้งหมดจะตกลงสู่พื้นดิน นอกจากนั้นสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่ตกอยู่บนพืชและฟุ้งกระจายในอากาศ อาจจะตกลงสู่พื้นดินได้อีกในภายหลัง โดยน้ำฝน หรือการรดน้ำต้นไม้ หรือลม

สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงเหล่านี้ ถึงแม้ว่าจุดมุ่งหมายจะใช้เพื่อกำจัดศัตรูพืชและสัตว์พวกแมลงเท่านั้น แต่ปรากฏว่าสารเคมีส่วนใหญ่จะตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งการตกค้าง ความคงทนตลอดจนความเป็นพิษของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงเหล่านี้ในดินจะมากหรือน้อยนั้น ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญดังนี้คือ

1. สภาพภูมิอากาศ ได้แก่

1.1 การเคลื่อนที่ของอากาศ หรือลม จะมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง โดยความสามารถในการพัดพานั้น ลมจะมีความสามารถในการพัดพาสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงไปได้ในระยะทางที่ไกลกว่าน้ำ (Hill and Wright, 1978)

1.2 แสงแดด โมเลกุลของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่เป็นสารอินทรีย์บางชนิดจะถูกเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสงแดด และทำให้สารชนิดนั้นๆ หมดสภาพการทำลาย โดยทั่วไปกระบวนการย่อยสลายโดยแสงแดด อาจจะเกิดขึ้นดังนี้

1.2.1 อิเลคตรอนของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงดูดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแสงแดด

1.2.2 การดูดพลังงานแสง จะทำให้โมเลกุลไม่คงตัว ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโมเลกุล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ถูกชักนำโดยแสงแดดนั้นขึ้นอยู่กับ

- ความอ่อนแอของโมเลกุลของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงต่อแสงอุลตราไวโอเลต
- ปริมาณของพลังงานแสงที่ได้รับ
- ความสามารถของโมเลกุลของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง ในการดูดซึมแสงอุลตราไวโอเลต

1.3 อุณหภูมิอากาศ ในสภาพที่อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น จะมีผลต่อความสามารถในการระเหยของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงในดิน โดยจะทำให้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงระเหยได้รวดเร็วและมากขึ้นทำให้มีการตกค้างอยู่ในดินน้อย

1.4 <u>ปริมาณน้ำฝน</u> จะมีผลต่อการชะล้างของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงลงสู่ดิน และจากดินไปสู่แหล่งสิ่งแวดล้อมอื่น Cohen (1990) พบว่าโดยทั่วไปแล้วการชะล้างจะเกิดขึ้นได้หลายแนว คือ แนวดิ่งทิศทางขึ้น-ลง และแนวระดับ ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงไปสู่แหล่งสิ่งแวดล้อมอื่นทั้งสิ้น

2. สภาพภูมิประเทศ ได้แก่

2.1 ความลาดชันของพื้นที่ มีผลต่อการชะล้าง และการกษัยการของดิน (soil erosion) อย่างมาก ถ้าความลาดชันของพื้นที่สูงก็จะทำให้เกิดการชะล้างและการกษัยการของดินสูงด้วย ซึ่งก็จะส่งผลให้การปนเปื้อนหรือการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงในดินลดลง

2.2 ทิศด้านลาด จะมีผลต่อปริมาณแสงแดดและความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่พื้นที่นั้นจะได้รับ ซึ่งความร้อนและแสงแดดนี้ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงถูกทำลายหรือถูกทำให้หมดสภาพไปดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.3 ชนิด สมบัติ และองค์ประกอบของดิน มีหลายลักษณะคือ

2.3.1 <u>เนื้อดินและโครงสร้างดิน</u> ในดินที่มีลักษณะโครงสร้างและเนื้อดินเป็นทรายสูง จะมีความสามารถในการดูดซึมสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงได้ต่ำ ทำให้เกิดการชะล้างสูง ส่วนดินที่มีลักษณะเป็นดินร่วน หรือดินเหนียวจะดูดซึมได้ดีกว่า จึงมีการสะสมของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงในดินมากกว่า (Kahler, 1991)

2.3.2 <u>ปฏิกิริยาดิน</u> จะมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในดิน Hill และ Wright (1978) พบว่า ในดินที่มี pH ต่ำกว่า 5.0 จุลินทรีย์พวกแบคทีเรียจะมีกิจกรรมการย่อยสลายสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่ลดลงและจะหยุดไปในที่สุด ในขณะที่พวกราจะดำเนินกิจกรรมต่อไปถึงแม้ pH ของดินจะต่ำกว่า 3.0 ก็ตาม

Aly และ El-Dib (1971); Larkin และ Day (1985) พบว่า คาร์บาริลจะมีความเสถียรมากขึ้น ถ้า pH ลดลง ส่วน Fisher และ Lohner (1986) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของ pH แล้วพบว่า pH มีความสำคัญต่อการเคลื่อนย้าย ความคงตัว และความเป็นพิษของคาร์บาริลในแหล่งน้ำ

Murthy และ Raghu (1991) พบว่า ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นสูงและมีน้ำท่วม คาร์บาริลจะมีความคงทนอยู่ในดินที่มีเนื้อดินเป็น sandy clay มากกว่า clay โดยรูปแบบของความคงทนของคาร์บาริลในดินทั้ง 3 ชนิดภายใต้การได้รับอิทธิพลของ pH เป็นเวลา 56 วัน จะพบคาร์บาริลอยู่ในดินที่มีเนื้อดินเป็น sandy clay, sandy loam และ clay ร้อยละ 32.1, 6.4 และ 1.0 ตามลำดับ

2.3.3 ความชื้นและอุณหภูมิดิน จะมีผลต่อการระเหยของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงและกิจกรรมการย่อยสลายสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงของจุลินทรีย์ในดิน โดยที่สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงจะระเหยได้รวดเร็วและได้มากในดินที่ชื้น ส่วนจุลินทรีย์ในดินนั้นก็ต้องการความชื้นในสภาพที่แตกต่างกันไป พวกราต้องการความชื้นสูงกว่าพวกแบคทีเรีย กิจกรรมการย่อยสลายถึงจะดำเนินต่อไปได้

2.3.4 <u>ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน</u> มีผลต่อความสามารถในการดูดยึดสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงในดิน ถ้าหากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมาก ความสามารถในการดูดยึดสารเคมีป้องกันกำจัดในดินก็จะสูง ซึ่งสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่ถูกยึดโดยดินนั้นจะพบในปริมาณที่น้อยมากในแหล่งน้ำใต้ดิน ถึงแม้ว่าในบริเวณนั้นจะมีการชะล้างสูงในสภาพที่ดินเป็นทราย มีฝนตกหนัก และมีการชลประทานที่ดีก็ตาม (Kladivko et al.,1989) นอกจากนี้สารอินทรีย์วัตถุในดินยังเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ในดินอีกด้วย

2.3.5 <u>ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน</u> มีผลต่อความสามารถในการดูดยึดสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงของดินมาก ถ้าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ความสามารถในการดูดยึดสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงของดินก็จะสูงด้วย ทำให้การปนเปื้อนหรือการเคลื่อนย้ายของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงไปสู่แหล่งสิ่งแวดล้อมอื่นเกิดขึ้นได้น้อย

2.3.6 จุลินทรีย์ในดิน เป็นปัจจัยสำคัญมากต่อการตกค้างและปนเปื้อน หรือความคงทน ตลอดจนความเป็นพิษของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงในดิน สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน และส่วนของสารเคมีที่ถูกย่อยสลายนี้ยังเป็น

แหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์อีกด้วย จุลินทรีย์ในดินส่วนมาก ได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอกทีโนมัยซีท จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงหรือแยกบางส่วนของโมเลกุลของสารเคมีให้เป็นอินทรียสาร ทำให้สารเคมีหมดประสิทธิภาพหรือมีความเป็นพิษน้อยลงได้

จากการศึกษาของ Chester และคณะ (1971) พบว่า มีปัจจัยทางดินหลายอย่างที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งช่วยทำให้มีการย่อยสลายสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงได้ดีขึ้น ซึ่งบางส่วนก็ได้กล่าวไปแล้วในเบื้องต้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกได้แก่

- ชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง
- การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงซ้ำในที่เดิมและช่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละครั้ง
- ระบบการปลูกพืช
- พฤติกรรมทางเคมีและทางกายภาพของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง

Boush และ Matsumura (1967) ศึกษาการย่อยสลายของคาร์บาริลโดย Psuedomonas melophthora พบว่า สารที่ได้จากกระบวนการย่อยสลาย คือ 1-naphthol (ร้อยละ 46) และสารที่มีชื่อ (ร้อยละ 6) และจากการศึกษาของทั้งสองคนในปี ค.ศ. 1968 พบว่าจุลินทรีย์ในดิน 2 ชนิด คือ T. viride และ Pseudomonas sp. สามารถย่อยสลายคาร์บาริลได้เช่นเดียวกัน

Hirakoso (1968) ศึกษาถึงอิทธิพลของแบคทีเรีย 32 ชนิด ที่มีผลต่อการย่อยสลายคลอร์ไพริฟอส เฟนนิโตรไธออน ไดคลอร์วอส และ เฟนไธออน พบว่า คลอร์ไพริฟอสยังมีความเสถียรในอาหารที่มีแบคทีเรียทั้ง 32 ชนิดนี้อยู่ ในขณะที่เฟนนิโตรไธออน ไดคลอร์วอส และเฟนไธออน ถูกทำให้มีประสิทธิภาพลดลงโดยแบคทีเรีย 4, 7 และ 1 ชนิดตามลำดับ

นอกจากนี้ Bollag และ Liu (1971) ยังศึกษาพบอีกว่า มีจุลินทรีย์ในดินชนิดอื่นๆ ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของคาร์บาริลให้กลายเป็น 1-naphthol ได้เช่นเดียวกัน โดยทำการศึกษาจุลินทรีย์พวกรา ด้วยการแยกราชนิด Gliocladium roseum ออกจากดินที่ได้รับการใส่คาร์บาริลลงไปเป็นเวลานานถึง 4 สัปดาห์ พบว่าราชนิดนี้จะย่อยสลายคาร์บาริลให้กลายเป็น 1-naphthyl N-hydroxymethylcarbamate,4- และ 5-hydroxy-1-naphthyl methylcarbamate และยังพบอีกว่า N-desmethylcarbaryl ถูกพบได้เช่นเดียวกับ N-hydroxymethylcarbaryl ใน Aspergillus terreus แต่จะพบสารนี้ได้น้อยกว่าใน Aspergillus flavus

และจากการศึกษาของทั้งสองคนนี้ในปี ค.ศ. 1972 โดยการทดสอบเกี่ยวกับปฏิกิริยาการย่อยสลายคาร์บาริลของรา 18 ชนิด พบว่ามีรา 13 ชนิดสามารถย่อยสลายคาร์บาริลได้เป็นอนุพันธ์ของ N-hydroxymethyl และรา 11 ชนิด สามารถสร้าง 4- และ 5-hydroxy-1-naphthyl methylcarbamate

3. สมบัติและลักษณะของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง ได้แก่

3.1 กลุ่มและสูตรโครงสร้างของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง มีผลต่อการย่อยสลายสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงโดยจุลินทรีย์ และความสามารถในการละลายน้ำของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง โดยที่สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ช้ากว่า และละลายน้ำได้น้อยกว่าสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต จึงทำให้มีการสะสมและตกค้างอยู่ในดินได้สูงกว่า 2 ชนิดหลัง

3.2 ความสามารถในการถูกเปลี่ยนรูปของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง ซึ่งส่วนมากจะถูกเปลี่ยนรูปให้ไปอยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยกว่า หรือมีความคงทนในดินและสภาพแวดล้อมได้น้อยกว่า ซึ่งการเปลี่ยนรูปของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงนี้ มักจะถูกกระทำโดยจุลินทรีย์และปฏิกิริยาจากแสงแดด

3.3 ความสามารถในการระเหย ขึ้นอยู่กับประเภทและองค์ประกอบของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง ความชื้นและอุณหภูมิของดินและอากาศ เป็นต้น ถ้าสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงมีความสามารถในการระเหยได้ดีก็จะมีปริมาณตกค้างอยู่ในดินน้อย

3.4 ความสามารถในการละลายน้ำ สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและกลุ่มคาร์บาเมตสามารถละลายน้ำได้มากกว่ากลุ่มออร์กาโนคลอรีน จึงถูกชะล้างออกจากดินได้ง่าย ปริมาณการสะสมและตกค้างอยู่ในดินจึงมีน้อย

3.5 การเคลื่อนย้ายของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง มีความสำคัญมากในเรื่องการปนเปื้อนและความเป็นพิษของสารเคมี ถ้าสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงมีการเคลื่อนย้ายไปสู่แหล่งสิ่งแวดล้อมอื่นได้ดี ปริมาณการตกค้างในดินก็จะมีน้อย แต่จะไปปนเปื้อนและก่อให้เกิดปัญหาในแหล่งสิ่งแวดล้อมอื่นแทน เช่น แหล่งน้ำ เป็นต้น

4. วิธีการดูแลรักษาพื้นที่ ได้แก่

4.1 ชนิด ความถี่และลักษณะการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง มีผลต่อการตกค้าง การปนเปื้อน ความคงทน และความเป็นพิษของสารเคมี สำหรับสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่ใช้

ในสนามกอล์ฟนั้น ส่วนมากจะไม่ค่อยเคลื่อนย้าย ความเป็นพิษน้อยและมีความคงทนไม่นาน ความถี่ในการใช้ไม่เกิน 1-2 ครั้งต่อปี และจะใช้ในรูปแบบที่เจือจางมากกว่าในรูปที่เข้มข้น (Cooper, 1990)

4.2 ชนิดและความหนาแน่นของพืชที่ปลูก ในสนามกอล์ฟนั้นส่วนมากจะปลูกหญ้าประเภทที่ทนแล้งและต้องการน้ำน้อย เช่น หญ้าตระกูลเบอร์มิวดา และหญ้าแพรกชนิดอื่นๆ เป็นต้น หญ้าตระกูลเบอร์มิวดาที่นิยมใช้ปลูกบนกรีน คือ tifdwarf bermudagrass (Cyndon dactylon L.) ส่วนบนที-ออฟ และแฟร์เวย์ จะใช้ 419 hybrid bermudagrass (Daniel and Freebrog, 1987)

ความหนาแน่นของเรือนยอดและรากของต้นหญ้า มีผลต่อการชะล้างของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง จากการศึกษาของ Watschke และ Mumma (1989); Fermanich, Daniel และ Lower ศึกษาในปีเดียวกันพบว่า ความหนาแน่นของเรือนยอดและรากของต้นหญ้าหรือพืชที่ปลูกนั้นจะช่วยลดการเคลื่อนย้าย การถูกชะล้างของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง นอกจากนี้ยังช่วยลดอัตราการไหลบ่าของน้ำได้ ทำให้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงปนเปื้อนไปสู่แหล่งสิ่งแวดล้อมอื่น โดยเฉพาะแหล่งน้ำได้น้อย หรืออาจจะไม่ปนเปื้อนเลย

4.3 ปริมาณและความถี่ในการให้น้ำ เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลาย และเป็นตัวที่ทำให้เกิดการชะล้างและการกษัยการของดินที่สำคัญ ปริมาณการให้น้ำในแต่ละครั้ง ตลอดจนความถี่ของการให้น้ำจึงสำคัญด้วยเช่นกัน

5. ลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณใกล้เคียง สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงนอกจากจะมาจากการใช้ในพื้นที่เองแล้ว ยังอาจจะปนเปื้อนมาจากบริเวณใกล้เคียงได้อีกด้วย เช่น ถ้าบริเวณใกล้เคียงเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่มีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงเช่นเดียวกัน สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่ฟุ้งกระจายในบริเวณดังกล่าว อาจถูกลมพัดพามาตกลงสู่พื้นที่ของเราได้ เป็นการเพิ่มปริมาณของสารเคมีในดินอีกทางหนึ่ง เป็นต้น

ปัญหาการปนเปื้อนและตกค้างของคลอร์ไพริฟอสและคาร์บาริลในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

ผลเสียของการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่สำคัญอย่างหนึ่ง ก็คือ พิษตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ที่อาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์

และสัตว์โดยตรงแล้ว ยังตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยมีการถ่ายทอด (transfer) และเพิ่มปริมาณของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงตกค้างในสิ่งมีชีวิตให้สูงขึ้น

การนำเอาคลอร์ไพริฟอสและคาร์บาริลมาใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงนั้น เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดพิษตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงทั้ง 2 ชนิดนี้ในมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งปริมาณตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงทั้ง 2 ชนิดนี้ได้ก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญ คือ

1. ปัญหาอันตรายเนื่องจากพิษของคลอร์ไพริฟอสและคาร์บาริลต่อมนุษย์

ถึงแม้ว่าคลอร์ไพริฟอสและคาร์บาริล จะจัดได้ว่าเป็นสารเคมีที่มีการสลายตัวเป็นสารที่ปราศจากพิษโดยเร็ว เมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่นในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน โดยไม่มีสารตกค้างอยู่ในธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมยาวนาน แต่ก็นับได้ว่าเป็นสารเคมีที่ออกฤทธิ์หยุดยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส และจัดเป็นสารที่มีพิษเฉียบพลันสูง

2. ปัญหาการทำลายแมลงก่อประโยชน์

แมลงก่อประโยชน์บางชนิด เช่น ผึ้งพันธุ์ (Apis mellifera) มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสมดุลทางธรรมชาติ เพราะผึ้งมีหน้าที่ในการผสมเกสร ซึ่งจำเป็นต่อการติดผลของผลไม้หลายๆ ชนิด พิษต่อผึ้งเนื่องจากสารเคมีสังเคราะห์ มิใช่เป็นแต่พิษที่เกิดเนื่องจากการสัมผัสโดยตรง แต่ยังเกิดขึ้นเนื่องจากการทำให้น้ำและน้ำหวาน ซึ่งเป็นอาหารของผึ้งปะปนด้วยสารพิษ Brown (1978) พบว่า สารเคมีในรูปผงจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผึ้งได้มากกว่าในรูปสเปรย์ นอกจากนี้ สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เช่น ทีอีพีพี เมวินฟอส และคลอร์ไพริฟอส ล้วนแล้วแต่มีความเป็นพิษสูงต่อผึ้ง ในขณะที่บางชนิด เช่น ไตรคลอร์ฟอน ค่อนข้างมีพิษต่ำ และอาจกล่าวได้ว่าสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตทุกชนิดมีความเป็นพิษสูงต่อผึ้ง (Anderson and Atkins, 1968)

3. ปัญหาการเกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดิน

ถึงแม้ว่าสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต จะสลายตัวได้ค่อนข้างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการสลายตัวของสารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีน เช่น มีรายงานว่าคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในดินสลายตัวร้อยละ 75-100 ภายในเวลา 12 สัปดาห์ ในขณะที่สารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีน เช่น อัลดริน ที่สะสมในดินใช้เวลาในการสลายตัวไปร้อยละ 75-100 ภายในเวลาถึง 3 ปี (Matsumura, 1975) แต่ถ้ามีการใช้สารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในปริมาณที่มากเป็นระยะเวลาติดต่อกันนานๆ ก็อาจมีผลทำให้เกิดการสะสมของสารเคมีในดินได้

Thompson และ Sans (1974) ศึกษาถึงพิษตกค้างของคาร์บาริลในทุ่งหญ้า พบว่าหลังจากใช้คาร์บาริล 3 สัปดาห์ ไม่พบพิษตกค้างของคาร์บาริลในไส้เดือนเลย และหลังจาก 1 ปี ก็ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างปริมาณไส้เดือนในแปลงที่ใช้คาร์บาริลและแปลงที่ไม่ใช้คาร์บาริล

Brown (1978) รายงานว่า พบแมลงขนาดเล็กที่อาศัยอยู่ในดิน อาจเกิดพิษจากสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตได้ พบว่าหวกไร (mite) จะมีความไวสูงต่อสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ส่วนคาร์บาริล ถ้าใช้ในขนาด 5 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 6 ไร่ พบว่าจะลดปริมาณไรลงร้อยละ 25

4. ปัญหาการเกิดพิษต่อปลา

เนื่องจากปลาเป็นทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในน้ำที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะปลาเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ ดังนั้นสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่มีพิษต่อปลา จึงนับได้ว่ามีศักยภาพในการก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน

การศึกษาความเป็นพิษของคาร์บาริลที่มีต่อสัตว์น้ำ ยังมีการศึกษากันน้อยในประเทศไทย เท่าที่ปรากฏ มีดังต่อไปนี้ คือ

สุธรรม อารีกุล และณิศ กีร์ติบุตร (2510) ได้ทดสอบความเป็นพิษของคาร์บาริลต่อปลาไน พบว่ามีค่า 12-h LC_{50} = 1.65 มิลลิกรัมต่อลิตร

มัณฑนา อนุตตะกุล และคณะ (2521, 2522) พบว่า พิษเฉียบพลันของคาร์โบฟูรานที่มีต่อปลานิลอายุ 1-1.5 เดือน จะสูงมากเมื่อเทียบกับความเป็นพิษของคาร์บาริล โดยได้ค่า 48-h LC_{50} ของคาร์โบฟูรานและคาร์บาริลที่มีต่อปลานิลเท่ากับ 0.048 และ 6.20 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

ชวลิต เข็มพรหมมา (2529) ศึกษาพิษเฉียบพลันของคาร์บาริล, คาร์โบฟูราน และส่วนผสมของสารทั้งสองชนิดที่มีต่อปลาตะเพียนขาว โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบน้ำนิ่ง พบว่า ค่า 96-h LC_{50} ของคาร์บาริลและคาร์โบฟูรานที่มีต่อปลาตะเพียนขาว เท่ากับ 7.36 และ 1.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และค่า 96-h LC_{50} ที่มีต่อกุ้งก้ามกรามเท่ากับ 0.076 และ 0.089 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความเป็นพิษเฉียบพลัน ระหว่างคาร์บาริล และคาร์โบฟูรานที่มีต่อสัตว์ทดลองทั้ง 2 ชนิด พบว่า คาร์บาริลมีพิษต่อปลาตะเพียนขาวต่ำกว่าคาร์โบฟูราน แต่มีพิษต่อกุ้งสูงกว่าคาร์โบฟูราน

ในต่างประเทศมีรายงานเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นพิษของคาร์บาริลต่อปลา ดังนี้

Brown (1978) ได้ศึกษาความเป็นพิษของคาร์บาริลที่มีต่อปลา 4 ชนิด คือ coho salmon, brook trout, rainbow trout, cutthroat trout และ threespine stickleback โดยวัดออกมาเป็นค่า 96-h LC_{50} (TL_m) ในระบบน้ำนิ่ง ได้ค่าความเป็นพิษดังนี้คือ 1,300, 1,070, 1,470, 1,500 และ 3,990 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Juhnkec และ Luedemann (1978) พบว่าคาร์บาริลที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลา Leuciscus idus metanotus ตายไปร้อยละ 50 และถ้ามีความเข้มข้นสูงถึง 30 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลาทดลองตายหมด

Arunachalam และคณะ (1980) ได้ทดลองใช้คาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้น 32.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อปลาแขยงข้างลาย (Mystus vittatus Bloch) พบว่าทำให้ปลาตายหมดภายในเวลา 24 ชั่วโมง และได้ค่า 72-h LC_{50} = 17.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับความเข้มข้นของคาร์บาริลที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 12.5 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น จะไม่มีผลทำให้ปลาตายภายในเวลา 72 ชั่วโมง แต่จะมีผลทำให้ปลาว่ายน้ำไปมาอย่างรวดเร็ว ในลักษณะกระวนกระวาย กระพุ้งแก้มปิด-เปิดเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการให้คาร์บาริลที่ความเข้มข้น 12.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อปลาตลอดเวลา 27 วัน จะมีผลทำให้อัตราการกินอาหารและอัตราการเจริญเติบโตของปลาลดลงด้วย

Bansal และคณะ (1980) รายงานว่ามัธยฐานความเข้มข้นที่ปลาทนอยู่ได้ร้อยละ 50 (median tolerance limit, TL_{50}) ภายในเวลา 30 วัน ของคาร์บาริลที่มีต่อปลาคาร์ฟ 4 ชนิด ที่อยู่ในช่วง larvae และ juvenile ตอนต้น มีค่าระหว่าง 1.42-2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และได้เสนอค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ (maximum acceptable toxicant concentration, MATC) เป็น 0.42-0.50 ไมโครกรัมต่อลิตร

Kasymov และคณะ (1981) พบว่า ปลา sturgeon fry แสดงอาการผิดปกติ เมื่อได้รับคาร์บาริลเพียง 0.001-0.01 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น และจะทำให้ปลาชนิดนี้ตายหมด เมื่อความเข้มข้นสูงถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับคลอร์ไพริฟอสนั้น ถึงแม้ว่าจะไม่มีการรายงานเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นพิษที่มีต่อปลาก็ตาม แต่ก็จัดว่าเป็นสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อปลาสูงมาก

5. ปัญหาการเกิดพิษต่อนก

สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตหลายชนิดมีพิษเฉียบพลันรุนแรงต่อนก ซึ่ง Tucker และ Crabtree (1970) ; Tucker และ Haegele (1971) ได้ศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงชนิดต่างๆต่อนก 5 ชนิดคือ ring-necked pheasant, coturnix quail, mallard duck, rock dove (pigeon) และ chukar partridge พบว่า ค่า LD_{50} ในช่วงเวลา 14 วัน ของคลอร์ไพริฟอสต่อนกทั้ง 5 ชนิดนี้ มีค่าเท่ากับ 12.0, 17.0, 75.0, 27.0 และ 61.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ สำหรับคาร์บาริล ค่า LD_{50} ต่อนก 4 ชนิดแรก มีค่ามากกว่า 2,000, 2,290, มากกว่า 2,180 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ส่วนนก chukar partridge พบว่ายังไม่มีการศึกษา

จากการศึกษาของ Carpenter และคณะ (1961) โดยฉีดคาร์บาริลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 25 และ 40 เข้าไปใต้ผิวหนัง (subcutaneous) ของไก่เพศเมียพันธุ์ rhode island red พบว่า ไก่ที่ได้รับคาร์บาริล 1 กรัมต่อกิโลกรัม หรือน้อยกว่านี้ จะไม่แสดงอาการของกล้ามเนื้ออ่อนเพลีย แต่ถ้าได้รับในปริมาณ 2 กรัมต่อกิโลกรัม จะแสดงอาการอ่อนแอให้เห็นในวันแรก หรือวันที่ 2 และถ้าได้รับ 3 กรัมต่อกิโลกรัม จะแสดงอาการอ่อนเพลียและหมดแรง และยังพบอีกว่า ไขมันไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปยังกล้ามเนื้อ gastrocnemius

สำหรับคลอร์ไพริฟอส ซึ่งใช้เป็นสารกำจัดตัวอ่อนของยุงเช่นเดียวกับเฟนไธออน จะมีพิษเรื้อรังใกล้เคียงกับพาราไธออนและเฟนไธออน มีรายงานว่าเมื่อให้คลอร์ไพริฟอสปนอับอาหารในปริมาณ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมแก่ลูกไก่ ลูกไก่จะมีน้ำหนักลดลง และเมื่อให้ขนาด 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยวิธีเดียวกัน จะพบว่าระดับเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสในเลือดจะลดลงและพบว่ามีลูกไก่ตายบ้าง (Brust et al., 1971)

6. ปัญหาการเกิดพิษต่อสัตว์อื่นๆ

มีผู้รายงานว่า คลอร์ไพริฟอสขนาดความเข้มข้นต่ำกว่าที่จะทำให้เสียชีวิต จะลดความทนทานต่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมในคางคกชนิดหนึ่ง (western toads) ในระยะที่ยังมีขนาดเล็ก (Johnson and Prine, 1976) ในขณะที่คาร์บาริลเมื่อใช้ในขนาด 1.25 ปอนด์ต่อเอเคอร์ จะไม่มีผลใดๆ ต่อมนุษย์ คางคก และงู (Connor, 1960) ซึ่งสอดคล้องกับ Barrette (1968) ที่ว่า คาร์บาริลมีพิษต่ำต่อสัตว์ป่าหลายชนิด

7. ปัญหาการตกค้างในผลิตผลทางการเกษตร

จากการสำรวจชนิดและปริมาณสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่พบตกค้างในผลไม้และพืชผักชนิดต่างๆระหว่างปี พ.ศ.2530-2532 โดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พบว่ามีคาร์บาริลตกค้างอยู่ในผลไม้ 3 ชนิด คือ ส้มเขียวหวาน ฝรั่งและองุ่น ในปริมาณ 0.15-0.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับในพืชผักนั้นตรวจพบคาร์บาริลในปริมาณที่น้อยกว่า 0.01 จนถึง 1.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่คลอร์ไพริฟอสที่ถูกตรวจพบในพืชผักนั้นมีปริมาณ 0.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม