บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

จากหนังสือเรื่อง “Silent spring” แต่งโดย Rachel Carson ที่ตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1962 ได้กล่าวถึงโทษของสารกำจัดศัตรูพืชโดยเฉพาะสารดีดีที ซึ่งทำให้โลกขาดความสมดุลในระบบนิเวศน์ เนื่องจากการใช้สารเคมีดังกล่าวที่เกินขอบเขตทำให้มนุษย์และสัตว์บนโลก ได้รับผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมจนอาจทำลายสิ่งมีชีวิตบนโลกจนสูญสิ้น หนังสือเล่มนี้ทำให้ประเทศต่าง ๆ ได้ตระหนักถึงความโทษของการใช้สารเคมีที่เกินความจำเป็นและนำไปสู่การยกเลิกการใช้สารดีดีทีในที่สุด (Jjemba, 2004)

ถึงแม้ดีดีทีจะเป็นสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ถูกเลิกใช้มาระยะเวลาหนึ่ง แต่พบว่าในอดีตได้มีการใช้สารดีดีทีในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลกทั้งทางด้านการเกษตรและสาธารณสุขในปริมาณที่สูง เนื่องจากประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดศัตรูพืชรวมถึงยุงที่เป็นพาหะนำโรคไข้มาเลเรีย ทำให้เกิดการตกค้างของสารในปริมาณมาก นอกจากนั้นการที่สารมีลักษณะที่ย่อยสลายได้ยากจึงตกค้างเป็นระยะเวลานาน และยังสะสมเพิ่มขึ้นตามลำดับห่วงโซ่อาหาร ทำให้เกิดการสะสมในสิ่งมีชีวิตแม้มีปริมาณที่ตกค้างเพียงเล็กน้อย ซึ่งก่อให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรัง ทั้งต่อระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เป็นสารก่อมะเร็ง รวมถึงยังมีผลต่อระบบประสาททั้งในมนุษย์และสัตว์ (Vallack *et al.,* 1998) ในประเทศไทยมีการนำเข้าและใช้สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นระยะเวลานานก่อนที่จะมีการเลิกใช้สารในกลุ่มนี้บางชนิด เช่น บีเอชซี ดีลดริน (Dieldrin) และดีดีที แต่ก็ยังมีการตรวจพบสารในหลายพื้นที่ของประเทศ เช่น พื้นที่บริเวณทะเลสาบสงขลา (บุญเสริม เซ่งล่าย, 2540; นิคม ละอองศิริวงศ์ และ อดินันท์ หมัดหมาน, 2542) และในพื้นที่เพาะปลูกหลายแห่ง รวมทั้งได้มีรายงานถึงการได้รับพิษจากสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนบ่อยครั้ง (โศรยา พันธุ์วิริยะพงศ์ และพูลสุข หฤทัยธนาสันติ์, 2542) โดยเฉพาะจากสารดีดีทีและเอชซีเอช ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดศัตรูพืช

จากปัญหาดังกล่าว จึงมีความพยายามในการกำจัดสารดีดีทีด้วยวิธีการต่าง ๆ สำหรับกระบวนการทางชีวภาพ ได้มีการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารดีดีทีดังมีรายงานหลายฉบับ เชื้อที่คัดเลือกได้เช่น *Pseudomonas* sp. (Nawab *et al.*, 2003) *Serratia*

marcescens DT-1P (Bidlan and Manonmani, 2002) *Lactobacillus plantarum* และ *Micrococcus varians* (Abou-Arab, 2002) รวมถึงแอคติโนมัยซีส และเชื้อราบางชนิด เป็นต้น การสำรวจหาจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเพื่อกำจัดสารดีดีทีจึงมีความน่าสนใจ เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสาร คือ อากาศร้อนและชื้น ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารดีดีทีจากแหล่งดินที่ปนเปื้อน ตลอดจนถึงหาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลาย จึงเป็นแนวทางเริ่มต้นในการพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์ของจุลินทรีย์เพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในการกำจัดสารดีดีทีที่ปนเปื้อนในพื้นที่อื่น ๆ ต่อไป

ตรวจเอกสาร

1. คุณสมบัติและลักษณะของสารพารา,พารา′-ดีดีที

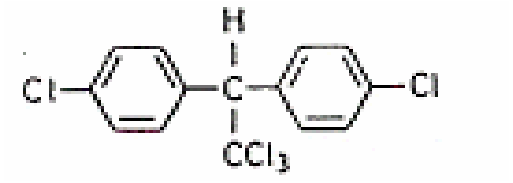
ดีดีที หรือ พารา,พารา′-ดีดีที (*p,p′*-DDT) (ภาพที่ 1) มีสูตรทางเคมี คือ $C_{14}H_9Cl_5$ ชื่อทางเคมี คือ 1,1,1-Trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane (Smith, 1991) เป็นยาฆ่าแมลงจำพวกคลอรินเนตไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbon) ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1874 โดย Othmar Zeidler ซึ่งเป็นชาวเยอรมัน ในขณะนั้นยังไม่มีการค้นพบคุณสมบัติการเป็นสารฆ่าแมลง ต่อมาในปี ค.ศ. 1939 Paul Müller ชาวสวิตเซอร์แลนด์เป็นผู้พบว่าสารประกอบชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นยาฆ่าแมลงได้ (เปี่ยมศักดิ์ มานะเศวต, 2540) จึงได้จดสิทธิบัตรไว้ในปี ค.ศ. 1940 และนำออกวางจำหน่ายในปี ค.ศ. 1942 (Fuchs and Schröder, 1983)

ดีดีที มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวละเอียด มีจุดหลอมเหลวที่ 108.5 - 109 องศาเซลเซียส มีจุดเดือดที่ 185 องศาเซลเซียส และมีความดันไอ 1.5×10^{-7} มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส ดีดีทีมีคุณสมบัติละลายได้ดีในไขมัน ทำให้สะสมได้ดีในเนื่อเยื่อไขมัน ดีดีทีไม่สลายง่ายโดยแสงอุลตราไวโอเลต และสามารถคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน (เปี่ยมศักดิ์ มานะเศวต, 2543)

ดีดีทีที่ใช้ทั่วไปเป็นชนิดเทคนิคอลเกรดที่อยู่ในรูปของพารา,พารา′-ดีดีทีร้อยละ 77.1 ออโธ,พารา-ไดคลอโรไดฟีนิลไดคลอโรอีเทน หรือ ออโธ,พารา-ดีดีดี (*o,p*-DDD) ร้อยละ 0.3 ออโธ,พารา-ไดคลอโรไดฟีนิลไดคลอโรอีทีน หรือ ออโธ,พารา-ดีดีอี (*o,p*-DDE) ร้อยละ 0.1 พารา,พารา′-ไดคลอโรไดฟีนิลไดคลอโรอีทีน หรือ พารา,พารา′-ดีดีอี (*p,p′*-DDE) ร้อยละ 4 และองค์ประกอบอื่น ๆ อีกร้อยละ 3.5

ดีดีทีละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว มีความสามารถในการละลาย (ต่อตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร) 58 กรัมในอะซิโตน 2 กรัมในเอทานอล 106 กรัมในเบนซีน 45 กรัมในคาร์บอน

เตตระคลอไรด์ 116 กรัมในไซโคลเฮกซะโนน และ 28 กรัมในเอทิลอีเทอร์ ดีดีทีจดทะเบียนภายใต้ชื่อทางการค้ามากมายเช่น Anofex®, Casarex®, Didimac®, Digma®, Dinocide®, Genitox®, Guesarol®, Gyron®, Ixodex®, Neocid®, และ Zerdane® (Smith, 1991)



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของดีดีที

Figure 1. Chemical structure of DDT.

ที่มา : Fuchs และ Schröder (1983)

2. ผลกระทบของสารพารา,พารา′-ดีดีทีต่อสิ่งมีชีวิต

สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคลอริเนตไฮโดรคาร์บอนจะออกฤทธิ์ฆ่าแมลงโดยการเปลี่ยนระบบสรีรวิทยาของอิเล็คตรอนในเซลล์ (electro-physiological) และคุณสมบัติของระบบเอนไซม์ของเนื้อเยื่อเซลล์ประสาท เป็นสาเหตุให้เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของโซเดียม และโพแทสเซียมไอออน (Na^+, K^+) ผ่านเนื้อเยื่อดังกล่าว นอกจากนั้นยังรบกวนการขนถ่ายแคลเซียม หรือ กิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase และ กิจกรรมของเอนไซม์ฟอสโฟไคเนส (phosphokinase) (Smith, 1991)

สารพารา,พารา′-ดีดีทีเป็นสารกลุ่มคลอริเนตไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีคุณสมบัติตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน และย่อยสลายได้ยาก ทำให้สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียงเมื่อได้รับสารชนิดนี้เข้าสู่ร่างกายจะเกิดการสะสมทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว โดยเฉพาะในมนุษย์ซึ่งส่วนใหญ่ได้รับสารกลุ่มนี้เนื่องจากการปนเปื้อนในอาหาร สารจะเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตทางลมหายใจ การรับประทาน และการดูดซึมผ่านผิวหนัง ซึ่งการดูดซึมทางผิวหนังมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยในกรณีที่สารพิษอยู่ในรูปผง แต่ถ้าอยู่ในรูปของสารละลายเมื่อละลายในไขมันหรือตัวทำละลายจะดูดซึมอย่างรวดเร็วผ่านผิวหนังทำให้เกิดความเป็นพิษได้ (เปี่ยมศักดิ์ มานะเศวต, 2543) ระดับความเป็นพิษของดีดีทีต่อสิ่งมีชีวิตจะแตกต่างกันเมื่ออยู่ในสภาพที่ต่างกัน (ตารางที่ 1)

ปฏิกิริยาหลักในการย่อยสลายสารดีดีทีในร่างกายมนุษย์อาจเกิดผ่านปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชั่น (dehydrogenation) ได้เป็นดีดีอี หรือปฏิกริยาดีฮาโลจีเนชั่น (dehalogenation) ได้เป็นดีดีดี จากนั้น

ผ่านกระบวนการรีดักทีฟดีคลอริเนชั่น (reductive dechlorination) และออกซิเดชั่น (oxidation) ตามลำดับ จนได้สารไดคลอโรไดฟีนิลไดคลอโรอะซิเตต หรือ ดีดีเอ (ภาพที่ 2) ซึ่งสารพิษเหล่านี้จะซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปอยู่ในชั้นไขมันตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น บริเวณระบบประสาทส่วนกลาง ตับ และไต เป็นต้น สารพิษเหล่านี้จะเข้าไปทำลายระบบเอนไซม์ที่สำคัญในแต่ละส่วนและเปลี่ยนแปลงกิจกรรมทางชีวเคมีของเซลล์ (Smith, 1991)

ตารางที่ 1 ระดับความเป็นพิษเฉียบพลันของดีดีที (LD_{50}) ทางปากและผิวหนังต่อสัตว์

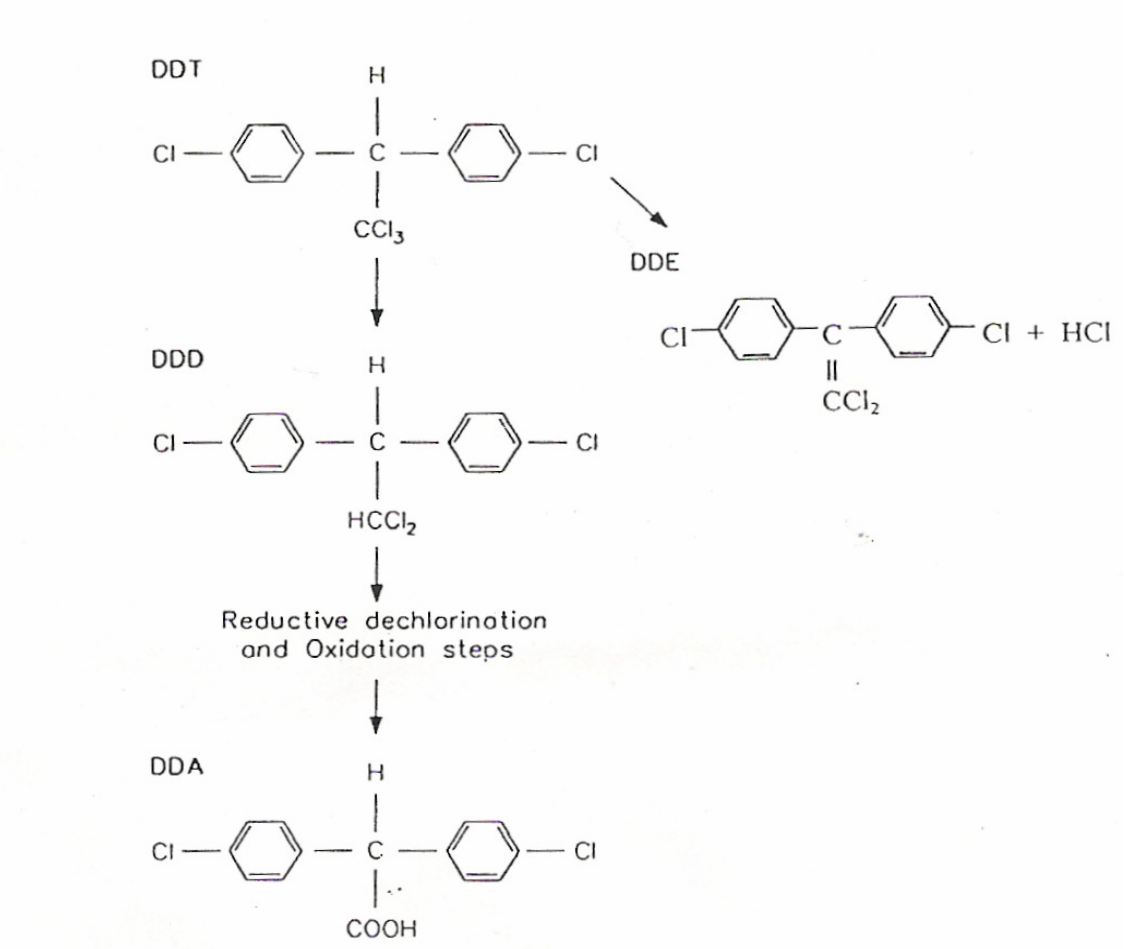
Table 1. Acute oral and dermal LD_{50} levels of DDT to animals.

Species	Formulation	Oral (mg/kg)	Dermal (mg/kg)
Rat	Water suspension or powder	500 - 2500	1000
	Oil solution	113 - 450	250 - 3000
Mouse	Water suspension or powder	300 - 1600	375
	Oil solution	100 - 800	250 - 500
Guinea pig	Water suspension or powder	2000	1500
	Oil solution	250 - 560	1000
Rabbit	Water suspension or powder	275	375
	Oil solution	300 - 1770	300 - 2820
Dog	Water suspension or powder	>300	
	Oil solution		
Cat	Water suspension or powder	100 - 410	

ที่มา : Smith (1991)

มีรายงานการตกค้างของสารดีดีทีในร่างกายของมนุษย์ในผลงานวิจัยหลายฉบับ เช่น รายงานของ Stuetz และคณะ (2001) ได้ทำการสำรวจสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำนมของผู้หญิงที่มีบุตร 25 คน ทางตอนเหนือของประเทศไทย พบสารในกลุ่มดีดีทีทั้งในระดับปานกลางและระดับสูง คือ 209 และ 2012 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร นอกจากนั้นยังพบสารสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดอื่น ๆ เช่น เฮปตาคลอ (Heptachlor) และเอชซีเอช ในน้ำนมด้วยเช่นเดียวกัน

โศรยา พันธุ์วิริยะพงษ์ และ พูลสุข หฤทัยธนาสันติ์ (2542) ได้ทำการสำรวจเลือดเกษตรกร จำนวน 104 ตัวอย่างจากพื้นที่เกษตรกรรมในจังหวัดสระแก้วและอุทัยธานี ประเทศไทย พบปริมาณสารพิษกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในเลือดจาก 100 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 96 โดยเป็นสารชนิด พารา,พารา′-ดีดีทีถึงร้อยละ 31 ของจำนวนตัวอย่างที่พบ



ภาพที่ 2 วิถีการย่อยสลายสารดีดีทีในมนุษย์

Figure 2. Degradation pathway of DDT in human body.

ที่มา : Baloch และ Haseeb (1996)

สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนมักก่อให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรัง เช่น มีผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกันในสิ่งมีชีวิต โดยระบบภูมิคุ้มกันจะมีความไวต่อความเปลี่ยนแปลงสูงเมื่อได้รับสารนี้ (Han and Stone, 1998 อ้างโดย Vallack *et al*., 1998) เช่น ในการศึกษาผลของเอชซีเอชต่อ

ระบบภูมิคุ้มกันในลูกหนู พบว่า มีผลต่อการลดลงของเม็ดเลือดขาว (lymphocyte) ในขณะที่จากการศึกษาของ Broughton และคณะ (1990 อ้างโดย Vallack *et al*., 1998) พบว่า การได้รับสารกลุ่มคลอเดน (chlordane) มีผลทำให้ระบบภูมิคุ้มกันของผู้ป่วยไม่ทำงาน (autoimmune disorder)

มีรายงานว่าสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดดีดีทีสามารถละลายได้ดีในไขมัน และมีผลต่อการเกิดมะเร็งเต้านม โดยเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างดีดีทีและตัวรับเอสโตรเจน (estrogen receptors) ในเนื้อเยื่อบริเวณเต้านมทำให้เกิดความผิดปกติ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุในการเกิดมะเร็งเต้านมได้ (Jaga, 2000) นอกจากนั้นมีรายงานว่าปลาเทราว์จะมีอาการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่สูญเสียไปเมื่อได้รับพิษสะสมของดีดีทีเป็นระยะเวลานาน (Anderson, 1968 อ้างโดย เปี่ยมศักดิ์ มานะเศวต, 2543)

พิษของดีดีทีขึ้นอยู่กับลักษณะที่ถูกนำไปใช้ เช่น ในรูปฝุ่นผงจะมีพิษมากในสัตว์พวกแมลง แต่ถ้าดีดีทีที่ละลายในน้ำมันแล้ว เมื่อถูกผิวหนังจะดูดซึมทันทีและเป็นพิษต่อสัตว์หลายชนิด ดีดีทีที่เข้าไปสะสมในร่างกายมนุษย์ตามอวัยวะต่างๆ จะทำให้ร่างกายเกิดความอ่อนเพลีย ระบบประสาทอ่อนแอ ทำให้เซลล์หุ้มประสาทและเยื่อสมองอักเสบเป็นแผลได้ ส่วนอาการของพิษเฉียบพลันได้แก่ ลิ้นหมดความรู้สึก ริมฝีปากและหน้าหมดความรู้สึก วิงเวียน เดินเซ อาเจียน ตัวสั่น และปวดศีรษะ (เปี่ยมศักดิ์ มานะเศวต, 2543)

3. การเพิ่มขึ้นตามลำดับห่วงโซ่อาหารของสารพารา,พารา′-ดีดีที

สารพารา,พารา′-ดีดีทีจัดเป็นสารที่คงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน (persistent) กลไกการเพิ่มขึ้นตามห่วงโซ่อาหารเกิดขึ้นเนื่องจากสารที่ปนเปื้อนนั้นมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำและทนต่อการย่อยสลายโดยกระบวนการเมแทบอลิซึม ดังนั้นสารปนเปื้อนที่คงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นานส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ช้ามาก จึงทำให้สารเหล่านั้นสะสมในปริมาณสูงในสิ่งมีชีวิตแม้ว่าจะมีปริมาณตกค้างในธรรมชาติเพียงเล็กน้อยก็ตาม (Vallack *et al*., 1998)

กระบวนการย่อยสลายและกระบวนการแพร่กระจายทางชีวภาพของสารกลุ่มนี้ในระบบนิเวศวิทยาในดินยังมีการศึกษากันน้อย แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่าพืชสามารถดูดซับสารในกลุ่มนี้ได้บริเวณผิวสัมผัส ดังนั้นในใบของพืชบางชนิดจะสามารถใช้ประโยชน์ในการเป็นดัชนี (indicator) เพื่อบอกถึงการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในพื้นที่บริเวณนั้น (Eriksson *et al*., 1998 อ้างโดย Vallack *et al*., 1998) การทนต่อกระบวนการย่อยสลายและสารเคมีของสารปนเปื้อนที่คงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นานทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปตามลำดับในห่วงโซ่อาหาร ทำให้ผู้บริโภคลำดับสุดท้ายในห่วงโซ่อาหารได้รับสารปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นสูงกว่า

ผู้บริโภคลำดับต่ำกว่าโดยเฉพาะในระบบนิเวศน์ทางน้ำซึ่งมีลำดับห่วงโซ่อาหารที่ซับซ้อน (Vallack *et al.*, 1998)

Woodwell และคณะ (1967) และ Menasveta และคณะ (1979) (อ้างโดย เปี่ยมศักดิ์ มานะเศวต, 2540) ได้รายงานว่า ดินตะกอนในทะเลสาบมิชิแกนมีสารดีดีทีอยู่ 0.0085 ไมโครกรัมต่อกรัม ในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังซึ่งเป็นผู้บริโภคขั้นแรกมีสารดีดีทีอยู่ในร่างกาย 0.41 ไมโครกรัมต่อกรัม ปลากินเนื้อมีความเข้มข้น 3 - 8 ไมโครกรัมต่อกรัม และเนื้อเยื่อไขมันของนกกินปลามีปริมาณสะสมสูงถึง 3,177 ไมโครกรัมต่อกรัม

Tanabe และคณะ (1984) ศึกษาปริมาณตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตามลำดับห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศน์ทางทะเล พบว่า ความเข้มข้นของสารดีดีทีและเอชซีเอชจะเพิ่มขึ้นตามลำดับห่วงโซ่อาหาร โดยพบปริมาณสารดีดีทีรวมที่ตกค้างในน้ำ แพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton) ไมโตฟิต (Myctophids, *Diaphus suborbitalis*) ปลาหมึก (*Todarodes pacificus*) และปลาโลมา (*Stenella coeruleoalba*) เท่ากับ 0.0014, 1.7, 43, 22, และ 5200 นาโนกรัมต่อกรัม เช่นเดียวกับกลุ่มพีซีบีพบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.0028, 1.8, 48, 68, และ 3700 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

Galassi และคณะ (1996) ได้สำรวจการสะสมของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในปลาเรนโบว์เทราว์ (Rainbow trout) ในแม่น้ำโป (Po River) ประเทศอิตาลี เป็นเวลา 0, 7, 15, และ 30 วัน พบว่า ปริมาณการสะสมของสารเอชซีเอชและดีดีทีในชั้นไขมันของปลาเรนโบว์เทราว์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป

ในประเทศไทย Kumblad และคณะ (1999) ได้สำรวจปริมาณสารพารา,พารา′-ดีดีทีและอนุพันธ์ ในปลาทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลสาบสงขลา จำนวน 113 ชนิด พบปริมาณสารดีดีทีรวมอยู่ในช่วง 0.086 - 7.7 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งปริมาณดังกล่าวต่ำกว่าปริมาณตกค้างในสัตว์ทะเลที่สามารถบริโภคได้ ตามที่มีการกำหนดไว้ที่ 5000 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

4. การปนเปื้อนของสารพารา,พารา′-ดีดีทีในสิ่งแวดล้อม

ปัญหาการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเกิดขึ้นทั่วโลกนับตั้งแต่มีการใช้สารกลุ่มนี้ทางการเกษตร โดยจะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมจากคุณสมบัติที่คงอยู่ในระบบนิเวศน์และสิ่งแวดล้อมได้นาน และมีศักยภาพในการสะสมในสิ่งมีชีวิต (บุญเสริม เช่งล่าย, 2540) สารกลุ่มนี้มักพบในประเทศที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เนื่องจากมีการใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการรบกวนของแมลงต่อผลิตผลทางการเกษตร จากการสำรวจการปนเปื้อนของสารพารา,พารา′-ดีดีทีและสารอื่นๆ ในกลุ่มเดียวกัน พบการตกค้างของสารในหลายพื้นที่ทั่วโลก ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Nhan และคณะ (1999) ได้สำรวจตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลทางตอนเหนือของประเทศเวียดนาม พบการตกค้างของสารเอชซีเอชและดีดีทีในช่วง 1.2 - 33.7 นาโนกรัมต่อกรัม และ 6.2 - 10.4 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบสารดีดีทีตกค้างในเนื้อเยื่อของหอยกาบในปริมาณ 12.0 - 23.3 นาโนกรัมต่อกรัม

ในประเทศเกาหลีใต้มีการสำรวจปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินที่เพาะปลูกข้าว พบว่า มีปัญหาการปนเปื้อนของสารแกมมาและซิกมาเอชซีเอช (γ-, δ-HCH) เฮปตาคลอ อีพอกไซด์ (Heptachlor epoxide) และดีลดรินในช่วงปริมาณ 0.17 - 0.94, 0.77 - 2.97, 1.38 - 4.8 และ 0.32 - 0.49 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Kim and Smith, 2001)

Zi-Wei และคณะ (2002) สำรวจสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในทะเลแบริ่ง (Bering Sea) และทะเลชุกชี (Chukchi Sea) พบปริมาณของสารเอชซีเอช 412.7 พิกโคกรัมต่อลิตร และ 445.8 พิกโคกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สำหรับในประเทศไทยได้มีการสำรวจปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในหลายแหล่งทั่วประเทศ ดังตัวอย่างรายงานของสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2533 อ้างโดย บุญเสริม เซ่งล่าย, 2540) ได้สำรวจการตกค้างของสารกลุ่มดีดีทีในเขตที่มีการใช้สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชและสัตว์มาก เช่น ในพื้นที่อำเภอระโนด อำเภอเมือง และอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา อำเภอเมืองและอำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง พบสารพารา-ดีดีทีและพารา,พารา′-ดีดีทีตกค้างในตัวอย่างดินที่สำรวจร้อยละ 38 และ 73 ตามลำดับ โดยสารพารา,พารา′-ดีดีทีที่ตรวจพบในตัวอย่างดินและพืช มีค่าเฉลี่ย 0.71 และ 2.82 พีพีบี (ppb) ตามลำดับ สำหรับในพื้นที่ที่มีการใช้สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชน้อย พบสารออโธ,พารา-ดีดีที และพารา,พารา′-ดีดีที มีค่าเฉลี่ย 0.06 และ 0.82 พีพีบี ตามลำดับ เมื่อสำรวจปริมาณสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในน้ำและดินตะกอน พบการตกค้างของสารกลุ่มเอชซีเอชและดีดีทีในปริมาณที่สูงกว่าสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในกลุ่มอื่น โดยพบสารแกมมา-เอชซีเอชและพารา,พารา′-ดีดีทีในปริมาณที่มากที่สุด (บุญเสริม เซ่งล่าย, 2540)

นอกจากนั้นยังมีการตกค้างของสารออร์กาโนคลอรีนชนิดอื่นๆ อีกในหลายพื้นที่ซึ่งมีความเป็นพิษและมีอันตราย การสำรวจสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในทะเลสาบสงขลา 3 บริเวณ คือทะเลสาบตอนใน ทะเลสาบตอนกลาง และทะเลสาบตอนนอก ระหว่างเดือนกรกฎาคมและกันยายน พ.ศ. 2540 พบปริมาณสารดีดีทีมีความเข้มข้นสูงสุด 23, 143 และ 68 นาโนกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (นิคม ละอองศิริวงศ์ และ อดินันท์ หมัดหมาน, 2542)

5. การย่อยสลายทางชีวภาพของสารพารา,พารา′-ดีดีที

5.1 ปฏิกิริยาในการย่อยสลายทางชีวภาพของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน

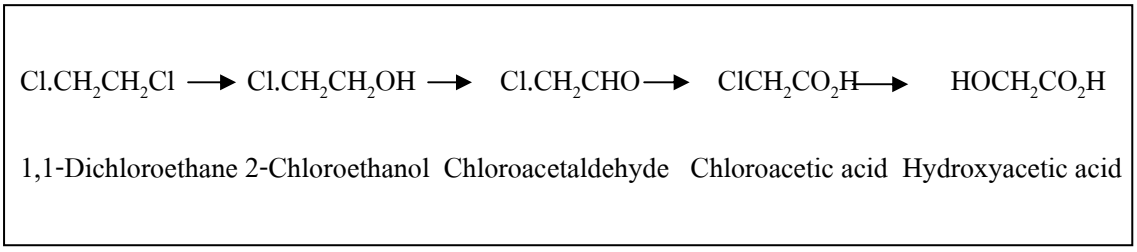
มีการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษปนเปื้อนที่ผลิตโดยมนุษย์ (Xenobiotics) กันอย่างกว้างขวางมานาน ทั้งในด้านวิถีการย่อยสลายและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลาย การเปลี่ยนรูปของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนโดยจุลินทรีย์แบ่งได้เป็น 3 ทาง (Wackett, 1995) คือ

1. ผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึม
2. ใช้ฮาโลคาร์บอนเป็นตัวรับอิเล็คตรอนเพื่อให้ ATP แก่กระบวนการขนส่งอิเล็คตรอน
3. ใช้ร่วมในกระบวนการเมแทบอลิซึม (Co-metabolism) แต่ไม่ให้พลังงาน

การแบ่งกลุ่มวิถีการย่อยสลายสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจะขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารตั้งต้น ซึ่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน อาจแบ่งเป็นกลุ่มกว้าง ๆ ได้ 4 กลุ่ม (Neilson, 1995) คือ

5.1.1 Hydrolytic displacement

เป็นการย่อยสลายสารคลอริเนตไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรง (Aliphatic chlorinated hydrocarbon) และกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) (ภาพที่ 3) ปฏิกิริยานี้จะพบได้น้อยในกลุ่มคลอริเนตไฮโดรคาร์บอนที่เป็นวง (Aromatic chlorinated hydrocarbon) เป็นปฏิกิริยาที่ค่อนข้างซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับกลุ่มเอนไซม์ฮาโลไฮโดรเลส (Halohydrolase)



ภาพที่ 3 การย่อยสลายคลอริเนตไฮโดรคาร์บอนโดยปฏิกิริยา Hydrolytic displacement

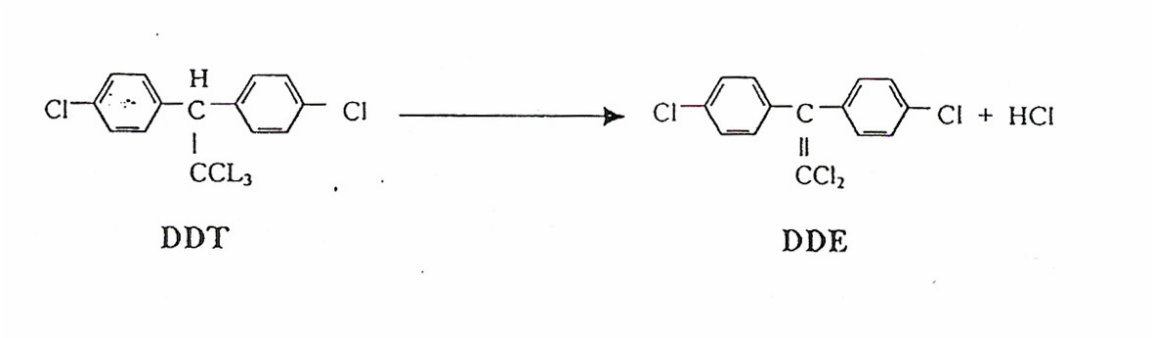
Figure 3. Hydrolytic displacement of chlorinated hydrocarbon.

ที่มา : Neilson (1995)

5.1.2 Elimination of HCl หรือ Dehydrochlorination

เช่นในการย่อยสลายสารดีดีทีให้อยู่ในรูปของสารดีดีอี ในสัตว์ชั้นสูงปฏิกิริยานี้จะเกิดโดยเอนไซม์ Glutathione transferase (GSH) อย่างไรก็ตามไม่พบว่าเอนไซม์นี้มีบทบาทสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาโดยจุลินทรีย์ ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นระหว่างคาร์บอนที่มีคลอรีนเกาะอยู่ทั้ง 3 แขน (Saturated chlorinated carbon) และคาร์บอนใกล้เคียงที่มีไฮโดรเจนเกาะอยู่ ทำให้เกิดสารประกอบ

ที่มีพันธะคู่ (Olefin compound) (Matsumura, 1982) เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปสารตั้งต้นเป็นอัลคีน (alkene) และไซโคลอัลคีน (cycloalkene) (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การย่อยสลายสารดีดีทีโดยปฏิกิริยา Elimination of HCl

Figure 4. Elimination of HCl in DDT.

ที่มา : Matsumura (1982)

5.1.3 Reductive displacement

เป็นปฏิกิริยาหลักในการแทนที่คลอรีนในสารประกอบออร์กาโนคลอรีนแบบวงแหวน (Aromatic organochlorine) ในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งเกิดทั้งในสารประกอบแบบโซ่ตรง และแบบวงแหวน (Neilson, 1995) กลไกที่พบได้บ่อย คือ Reductive dehalogenation ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอิเล็คตรอนไปยังสารประกอบฮาโลเจน (Halogenated compound) ทำให้เกิดการแทนที่หมู่ฮาโลเจนด้วยไฮโดรเจน (Adriaens and Vogel, 1995) ซึ่งปฏิกิริยานี้เป็นการเปลี่ยนสารดีดีทีเป็นไตรคลอโรไดฟีนิลอีเทน หรือ ดีดีดี (ภาพที่ 5)

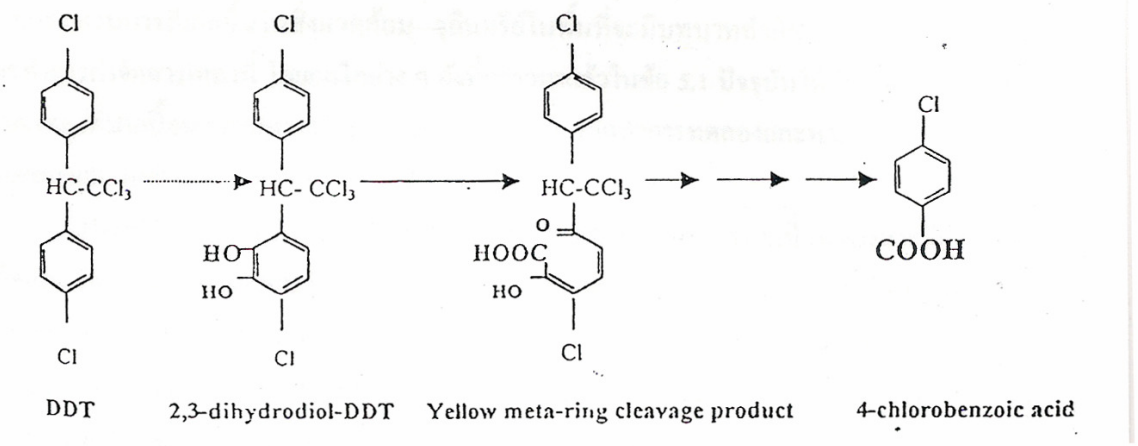
ภาพที่ 5 ปฏิกิริยา Reductive displacement ภายใต้สภาวะไร้อากาศ

Figure 5. Reductive displacement under anaerobic condition.

ที่มา : Matsumura (1982)

5.1.4 Oxidative displacement

เป็นปฏิกิริยาการแทนที่คลอรีนในสารประกอบออร์กาโนคลอรีนแบบวงแหวนในสภาวะที่มีอากาศโดยเอนไซม์ไดออกซิจิเนส (Dioxygenase) ขั้นตอนที่สำคัญในปฏิกิริยานี้ คือ การเปิดวงแหวนของสารประกอบ โดยปฏิกิริยาจะเกิดตามลำดับคือ ออกซิเดชั่น (Oxidation) ที่วงแหวนตามด้วยปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชั่น (Hydroxylation) ทำให้ได้กรดอินทรีย์ที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดจะลดลงตามจำนวนโมเลกุลของคลอรีนที่อยู่บนวงแหวน ดังนั้นอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีนแทนที่อยู่มากจะย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ยากกว่าเมื่อมีคลอรีนแทนที่น้อย (Matsumura, 1982) เช่น การย่อยสลายสารดีดีทีแบบใช้ออกซิเจนโดยเชื้อ *Alcaligenes eutrophus* A5 (ภาพที่ 6) เริ่มแรกจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นบนหมู่ฟีนิลเป็นไฮดรอกซี-ดีดีที (hydroxy-DDT) ที่ตำแหน่งเมตา จากนั้นจะออกซิไดส์ต่อจนเกิดการเปิดของวงแหวนให้สารสีเหลือง (Nadeau *et al.*, 1995)



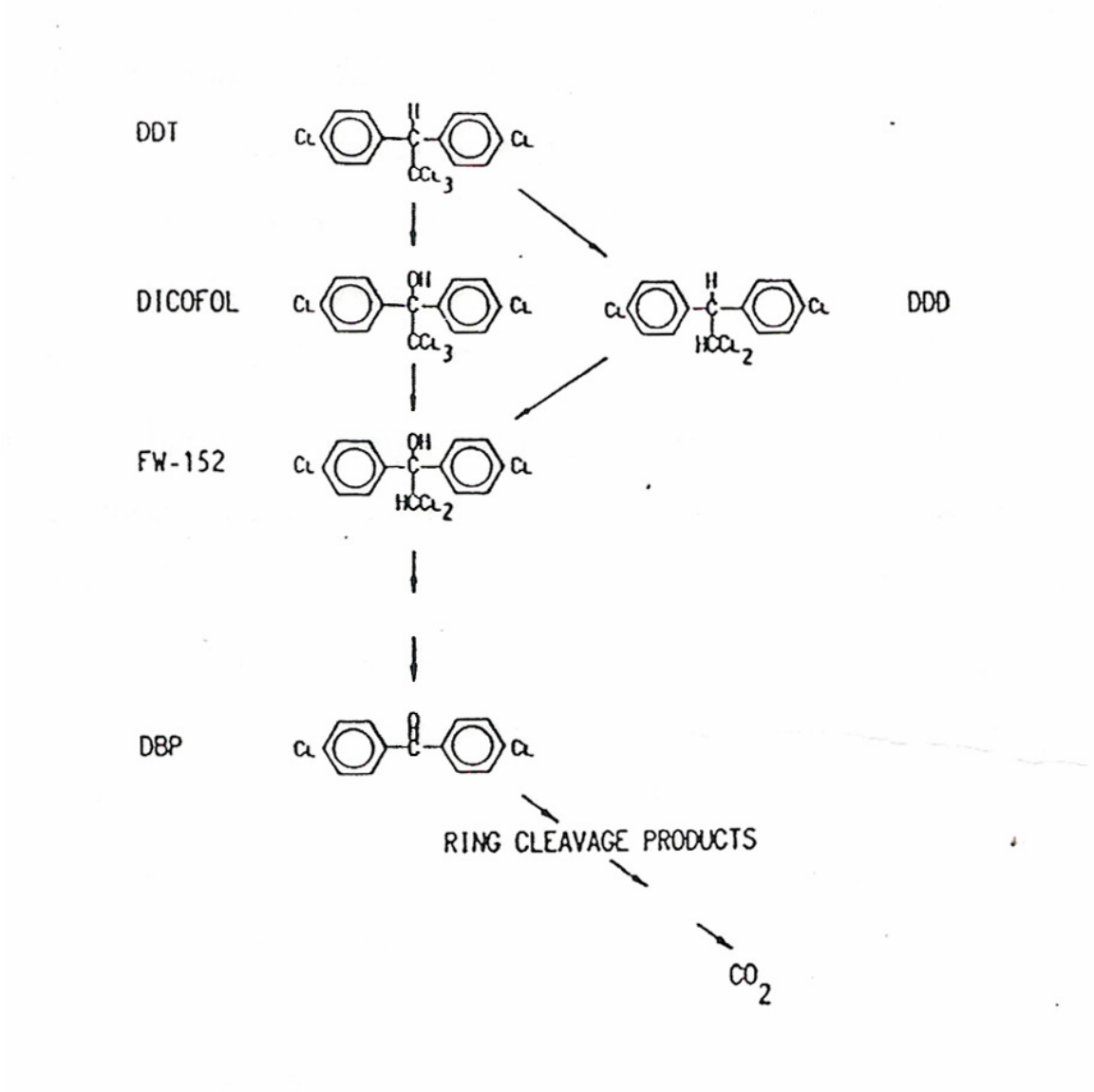
ภาพที่ 6 วิถีการย่อยสลายสารดีดีทีโดยเชื้อ *Alcaligenes eutrophus* A5 ภายใต้สภาวะมีอากาศ

Figure 6. Proposed pathway for DDT degradation by *Alcaligenes eutrophus* A5 under aerobic condition.

ที่มา : Nadeau และคณะ (1995)

นอกจากนั้นยังพบการย่อยสลายสารดีดีทีโดยเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ เช่น เชื้อรา *Phanerochaete chrysosporium* (ภาพที่ 7) พบว่า สารดีดีทีจะถูกออกซิไดส์ครั้งแรกไปเป็น 2,2,2-Trichloro-1,1-bis(4-chlorophenyl)ethanol (Dicofol) หรือจะได้สารดีดีดี ตามด้วยการเกิดปฏิกิริยาดีคลอรีเนชั่น (Dechlorination) จนอยู่ในรูปของ 2,2-Dichloro-1,1-bis(4-chlorophenyl)ethanol (FW 152) จากนั้น

จะเกิดการออกซิเดชั่นที่พันธะคาร์บอนจนได้ 4,4-Dichlorobenzophenone (DBP) ก่อนเข้าสู่วิถีการแตกของวงแหวนเบนซิน (ring cleavage) หรือปฏิกิริยารีดักทีฟ ดีคลอริเนชั่นและย่อยสลายต่อไปจนได้คาร์บอนไดออกไซด์ (Bumpus and Aust, 1987)



ภาพที่ 7 การย่อยสลายสารดีดีทีโดยเชื้อรา *Phanerochaete chrysosporium*

Figure 7. Proposed pathway for DDT degradation by *Phanerochaete chrysosporium*.

ที่มา : Bumpus และ Aust (1987)

5.2 จุลินทรีย์ที่ใช้การย่อยสลายสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน

กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นอีกกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม จุลินทรีย์ในพื้นที่จะมีบทบาทสำคัญในกระบวนการดังกล่าว โดยจะทำการกำจัดสารเหล่านี้ โดยกลไกต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 5.1 ปัจจุบันได้มีการศึกษาการคัดแยกเชื้อจากแหล่งที่ปนเปื้อนสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนต่างๆ เพื่อทำการทดลองและหาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารกลุ่มนี้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Nawab และคณะ (2003) ทำการคัดแยกเชื้อจากแหล่งดินที่มีการปนเปื้อนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มเอชซีเอช พบเชื้อ *Pseudomonas* sp. 2 สายพันธุ์ คือ PSI-1 และ PSI-2 ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารแกมมา-เอชซีเอชที่เป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อได้ นอกจากนั้น Gupta และคณะ (2000) ยังสามารถแยกเชื้อ *Bacillus circulan* และ *Bacillus brevis* จากแหล่งดินที่ปนเปื้อนสารกลุ่มเอชซีเอช พบว่าเชื้อ *Bacillus brevis* มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายแกมมา- และอัลฟา-เอชซีเอชความเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และซิกมา-เอชซีเอชความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ได้สูงถึงร้อยละ 98.4, 94.9 และ 88.6 ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อ *Bacillus circulan* สามารถย่อยสลายอัลฟา-เอชซีเอชและซิกมา-เอชซีเอชความเข้มข้น 1 และ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ถึงร้อยละ 96.5 และ 85.1 ตามลำดับ

Olaniran และคณะ (2001) ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนของเชื้อ *Bacillus* และ *Corynebacterium* spp. ที่แยกได้จากดินและตะกอนน้ำเสีย พบว่า ในการย่อยสลายกรดไตรคลอโรอะซิติกโดยใช้เชื้อเดี่ยวของ *Bacillus* sp. หรือ *Corynebacterium* sp. กิจกรรมของเอนไซม์ดีฮาโลจีเนสเท่ากับ 0.43 และ 0.74 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อใช้เชื้อทั้ง 2 ชนิดร่วมกันจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ดีฮาโลจีเนสสูงถึง 0.81 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อชั่วโมง

Kantachote และคณะ (2001) ได้สำรวจเชื้อจุลินทรีย์ที่ทนต่อสารดีดีที โดยเปรียบเทียบปริมาณเชื้อระหว่างแหล่งดินที่ปนเปื้อนดีดีที 1 แหล่ง และแหล่งดินที่ไม่ปนเปื้อนดีดีที 2 แหล่ง พบว่าปริมาณเชื้อที่ได้ไม่แตกต่างกัน และเชื้อรา แอคติโนมัยซีสและแบคทีเรียในแหล่งดินที่ปนเปื้อนสามารถทนต่อสารดีดีทีความเข้มข้น 150 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรได้ถึงร้อยละ 58, 52 และ 27 ตามลำดับ ในขณะที่แบคทีเรียจากแหล่งดินที่ไม่ปนเปื้อนสารดีดีทีไม่สามารถทนต่อสารดีดีทีได้

Bidlan และ Manonmani (2002) ได้คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารดีดีทีจากแหล่งดินที่ปนเปื้อน พบว่าเมื่อทำการถ่ายเชื้อซ้ำลงในอาหาร Minimal salt medium ที่ผสมดีดีที 25 พีพีเอ็ม พบว่ามีจุลินทรีย์เพียง 4 ชนิดที่สามารถย่อยสลายสารดีดีทีได้ โดยเชื้อ *Serratia marcescens* DT-1P สามารถย่อยสลายสารดีดีทีความเข้มข้น 15 พีพีเอ็มได้อย่างสมบูรณ์ และพบว่าปริมาณเชื้อ

เริ่มต้น พีเอช และแหล่งคาร์บอนเสริมเช่นยีสต์สกัด เปปโตน และกลีเซอรอล สามารถเพิ่มอัตราการย่อยสลายสารดีดีทีได้ถึงร้อยละ 100

Abou-Arab (2002) ทำการทดสอบการใช้เชื้อ *Lactobacillus plantarum* และ *Micrococcus varians* ในการย่อยสลายพารา,พารา′-ดีดีที และลินเดน (Lindane)ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy broth (TSB) และอาหาร Minimal salt medium (MSM) ทั้งแบบเติมและไม่เติมไนไตรท์ (nitrite) พบว่าดีดีทีสามารถย่อยสลายได้ในอาหาร TSB และ MSM ที่ไม่เติมไนไตรท์ ปริมาณร้อยละ 24.1 และ 32.5 ตามลำดับ ส่วนในอาหารที่เติมไนไตรท์สามารถย่อยสลายได้ร้อยละ 37.5 และ 46.4 ตามลำดับ ในขณะที่ลินเดนสามารถย่อยสลายได้ร้อยละ 27.9 และ 40 ตามลำดับ ในอาหารทั้งสองชนิดที่ไม่เติมไนไตรท์ และย่อยสลายได้ร้อยละ 38.4 และ 48.4 ตามลำดับ สำหรับอาหารที่เติมไนไตรท์

Benimelli และคณะ (2003) ทำการคัดแยกและจำแนกเชื้อแอคติโนมัยซีสที่ทนต่อสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 10 ชนิด ได้แก่ อัลดริน คลอเดน ดีดีที ดีดีดี ดีดีอี เดลดริน เฮปตาคลอ เฮปตาคลอ อีพอกไซด์ ลินเดน และไมทอกซอ พบแอกติโนมัยซิส 93 ชนิด โดยมี 4 ชนิดที่อยู่ในกลุ่มของ *Streptomyces* sp. คือ M4, M7, M9, และ M15 สามารถเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนผสมของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนสูงถึง 50 กรัมต่อลิตรได้

Nadeau และคณะ (1994) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของสารดีดีทีโดยเชื้อ *Alcaligenes eutrophus* A5 เมื่อเลี้ยงในอาหาร mineral salt ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า ในการย่อยสลายได้สารไฮดรอกซี-ดีดีทีเป็นสารตัวกลางจากนั้นเกิดการแตกวงแหวนเบนซินแบบเมทา (meta-cleavage) จนได้ 4-Chlorobenzoic acid ทำให้ทราบว่าการย่อยสลายดีดีทีในเชื้อชนิดนี้จะผ่านกระบวนการออกซิเดชั่นโดยเอนไซม์ไดออกซิจิเนส

5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนโดยจุลินทรีย์

การย่อยสลายสารกลุ่มคลอริเนตไฮโดรคาร์บอนนอกจากขึ้นอยู่กับสรีรวิทยาของจุลินทรีย์และโครงสร้างของสารแล้ว ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ พีเอช ปริมาณสารเริ่มต้น เป็นต้น ก็ยังมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ด้วยเช่นเดียวกัน ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ได้แก่

5.3.1 อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการย่อยสลายสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน มีรายงานว่าในเขตร้อนอัตราการย่อยสลายของสารกลุ่มนี้ในดินจะสูงกว่าในเขตหนาว เนื่องจากอุณหภูมิจะมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Sethunathan *et al.*, 1982) จากรายงานการทดลองของ Bidlan และ Manonmani (2002) ซึ่งศึกษาการย่อยสลายสารดีดีทีโดยเชื้อ *Serratia marcescens* DT-1P ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 4 - 50 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารดีดีทีโดยเชื้อ *Serratia*

marcescens DT-1P คือที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับรายงานของ Olaniran และคณะ (2001) ที่พบว่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ดีฮาโลจีเนสใน *Bacillus* และ *Corynebacterium* sp. ที่แยกได้จากดินและตะกอนของเสียมีค่าสูงที่สุด กระบวนการดีฮาโลจีเนชั่นจะสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 5 - 50 องศาเซลเซียส แต่ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 และ 43 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าอุณหภูมิดังกล่าวเหมาะสมในการย่อยสลายสารโพลีคลอริเนตไบฟีนิล (Polychlorinated biphenyl, PCB) (Wu *et al.*, 1992 อ้างโดย Suflita and Townsend, 1995) ในขณะที่ในเชื้อบางชนิดอุณหภูมิไม่มีผลต่อการย่อยสลายมากนัก เช่น Bumpus และ Aust (1987) พบว่าเชื้อรา *P. chrysosporium* ME-446 และ BKM1767 มีความสามารถย่อยสลายสารดีดีทีที่อุณหภูมิห้อง (22 - 27 องศาเซลเซียส) (การย่อยสลายร้อยละ 10.3 และ 13.1 ตามลำดับ) และที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกันมากนัก (การย่อยสลายร้อยละ 13.5 และ 10.5 ตามลำดับ) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลาย

5.3.2 พีเอช เมื่อพีเอชสูงขึ้นในระดับหนึ่งอัตราการย่อยสลายจะสูงขึ้น แต่ถ้าเพิ่มมากกว่าระดับนั้นอัตราการย่อยสลายก็จะลดลง มีการศึกษาพบว่าสารออร์กาโนคลอรีนกลุ่มดีดีทีและเอชซีเอช สามารถย่อยสลายได้ดีในดินที่มีสภาวะเป็นด่าง (พีเอช 9.5) มากกว่าในสภาวะที่เป็นกรด (Chawla and Chopra, 1967 อ้างโดย Sethunathan, 1982) แต่ในการย่อยสลายสารดีดีทีโดยเชื้อ *Serratia marcescens* DT-1P พบว่า พีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อที่ใช้ในการย่อยสลายคือที่พีเอช 7 และ 7.5 นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าเชื้อ *Serratia paucimobilis* สามารถย่อยสลายสารเอชซีเอชในสภาวะที่เป็นกรดได้ดี (Bidlan and Manonmani, 2002) ในการย่อยสลายสารออร์กาโนคลอรีนโดยเชื้อ *Bacillus* และ *Corynebacterium* sp. พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ดีฮาโลจีเนสมีค่าสูงในช่วงพีเอช 7.6 - 8.0 และที่พีเอช 7.6 กิจกรรมของเอนไซม์ดีฮาโลจีเนสสูงที่สุด (Olaniran *et al.*, 2001) อาจกล่าวได้ว่าพีเอชที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารในกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และสารที่จะทำการย่อยสลายเช่นเดียวกับปัจจัยอย่างอุณหภูมิ

5.3.3 ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน มีรายงานว่าความเข้มข้นของสารที่ปนเปื้อนมีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ Kale และคณะ (1989) ศึกษาการเจริญของ *Azotobacter chrooccum* ในอาหารที่มีไนโตรเจน พบว่า ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชปริมาณ 0.5 - 5 พีพีเอ็ม ไม่มีผลต่อการเจริญของเชื้อ แต่ที่ความเข้มข้นสูงกว่านั้นจะมีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ Nawab และคณะ (2003) พบว่าการเจริญของเชื้อ *Pseudomonas* PSI-1 และ PSI-2 จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารแกมมา-เอชซีเอชสูงขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าที่ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนสูงจะใช้เวลาในการย่อยสลายนานอีกด้วย ในการย่อยสลายสารดีดีทีโดยเชื้อ *Serratia marcescens* DT-1P พบว่า

การย่อยสลายโดยสมบูรณ์ของสารดีดีทีที่ความเข้มข้น 5, 10, และ 15 พีพีเอ็ม ใช้เวลา 96, 100, และ 120 ชั่วโมง ตามลำดับ (Bidlan and Manonmani, 2002)

5.3.4 สารอาหารและแร่ธาตุ จากการศึกษาพบว่าแหล่งคาร์บอนที่เติมลงไปจะมีผลต่ออัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ มีรายงานว่าการเติมสารโซเดียมอะซิเตตและโซเดียมซัคซิเนต มีผลยับยั้งการย่อยสลายสารเอนโดซัลเฟน (endosulfan) อย่างไรก็ตามผลของอะซิเตตต่อการย่อยสลายแกมมา-และเบตา-เอชซีเอชโดยเชื้อ *Pseudomonas* sp. ให้ผลที่แตกต่างกัน คืออะซิเตตจะยับยั้งการย่อยสลายแกมมา-เอชซีเอช ในขณะที่จะเร่งอัตราการย่อยสลายของเบตา-เอชซีเอช ในกรณีของแกมมา-เอชซีเอช อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์ใช้อะซิเตตเป็นสารอาหารในการเจริญเป็นผลให้เกิดการชะลอการย่อยสลายสาร ส่วนในกรณีของเบตา-เอชซีเอช จุลินทรีย์ย่อยสลายโดยกระบวนการ co-metabolism อะซิเตตไม่เพียงแต่ช่วยเร่งสร้างสารเมแทบอไลท์ แต่ยังมีส่วนช่วยในกระบวนการเมแทบอลิซึมด้วย (Sahu, 1993)

Bidlan และ Manonmani (2002) ศึกษาแหล่งคาร์บอนที่มีผลต่อการย่อยสลายสารดีดีทีโดยเชื้อ *Serratia marcescens* DT-1P พบว่าการให้กลีเซอรอล เปปโตน ยีสต์สกัด และอาหาร TSB เป็นแหล่งคาร์บอนแก่เชื้อทำให้อัตราการย่อยสลายสารดีดีทีสูงสุดคือย่อยสลายได้ร้อยละ 100 ในขณะที่เกลือโซเดียมซิเตรทให้อัตราการย่อยสลายต่ำสุดเพียงร้อยละ 6.67

นอกจากปัจจัยที่กล่าวมาแล้วยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมอื่นๆที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายของสารออร์กาโนคลอรีนในพื้นที่ที่ปนเปื้อน เช่น ความชื้น ซึ่งมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการเข้าจับสารตกค้างและทำการย่อยสลาย สภาพพื้นที่เป็นที่แห้งหรือน้ำท่วมขังก็จะมีผลต่อกลไกและชนิดของจุลินทรีย์ในย่อยสลาย โดยในพื้นที่แห้งการย่อยสลายเกิดโดยจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศในขณะที่พื้นที่ท่วมขังการย่อยสลายเกิดโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ นอกจากนี้พบว่าพื้นที่ที่มีปริมาณสารอินทรีย์มากอาจมีผลเร่งการย่อยสลายของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนโดยจุลินทรีย์ เป็นต้น (Sethunathan *et al*., 1982)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อคัดเลือกและจำแนกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารพารา,พารา′-ดีดีที
2. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้ในการย่อยสลายสารพารา,พารา′-ดีดีที

ขอบเขตการวิจัย

คัดเลือกจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญในดินบริเวณที่ปนเปื้อนสารพารา,พารา′-ดีดีที ศึกษาการเจริญของเชื้อที่คัดเลือกในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนผสมของสารพารา,พารา′-ดีดีที คัดเลือกเชื้อที่ย่อยสลายสารพารา,พารา′-ดีดีทีได้ดีที่สุด และศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายของสารพารา,พารา′-ดีดีที โดยศึกษาผลของพีเอช, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารพารา,พารา′-ดีดีที, และ สารอาหารที่เสริมในอาหารเลี้ยงเชื้อ และจำแนกเชื้อที่คัดเลือกได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารพารา,พารา′-ดีดีที
2. ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารพารา,พารา′-ดีดีที
3. เป็นแนวทางในการคัดเลือกและปรับปรุงสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในกลุ่มอื่นๆ