

บทที่ 2

เอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชีววิทยาบางประการและการแพร่กระจายของหอยสองฝาบางชนิด

หอยสองฝาหรือหอยกาบถูกจัดอยู่ใน Class Bivalvia ของไฟลัม มอลลัสคา (Phylum Mollusca) ซึ่งหมายถึงมีฝาหรือกาบ 2 อัน หอยทุกชนิดในชั้นนี้มีเปลือกหุ้มภายนอก มีกล้ามเนื้อยึดเปลือกแข็งแรงและเปลือกทั้งสองประกบกันได้แน่นสนิท โครงสร้างของตัวมีลักษณะคล้ายคลึงกับรูปแบบของบรรพบุรุษ ลำตัวซีกซ้ายและขวาเหมือนกันและเท่ากัน หัวไม่เจริญที่หัวไม่มีตาและหนวด ไม่มีแผงฟันในช่องปากมี labialpalp อยู่สองข้างของปากทางด้านหน้ามีเหงือกขนาดใหญ่ 1 คู่ ใช้สำหรับหายใจและกรองอาหาร ซึ่งอยู่ในช่องแมนเทิล (mantle) ทางเดินอาหารมีช่องปากทางด้านหน้าและช่องทวารหนักทางด้านท้ายของตัว การผสมพันธุ์เป็นแบบภายนอกตัว หอยสองฝาที่เรานิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารมีอยู่หลายชนิด เช่น หอยนางรมและหอยแมลงภู่ เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีลักษณะลำตัวและถิ่นที่อยู่แตกต่างกัน (วันทนา อยู่สุข, 2528)

หอยนางรม (Oyster)

หอยนางรม (Oyster) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Saccostrea cucullata* เป็นหอยสองฝาชนิดหนึ่ง ฝาข้างหนึ่งจะเกาะติดกับวัตถุแข็ง เช่น ก้อนหินหรือไม้หลัก ฝาด้านล่างมีรูปร่างเว้าคล้ายถ้วยหรือจาน ฝาด้านบนแบนราบ ส่วนปลายด้านบนพับมีลักษณะค่อนข้างแหลม ด้านริมขอบเป็นรอยหยักหรือเป็นเกล็ด บางตัวอาจมีขอบเรียบ ทั้งนี้รูปร่างของมันจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ขนาด และอายุของหอย หอยชนิดนี้ดำรงชีวิตเกาะติดกับวัตถุแข็งโดยไม่มีการเคลื่อนที่ตลอดชีวิต มีการเคลื่อนไหวเพียงการเปิดและปิดฝาเพื่อหายใจ กินอาหาร ถ่ายของเสียและสืบพันธุ์เท่านั้น มีลักษณะการกินอาหารโดยการกรอง (filter feeder) คือ สามารถกรองเอาสิ่งต่าง ๆ ที่แขวนลอยจากน้ำบริเวณรอบ ๆ ตัวของมัน สำหรับการสืบพันธุ์มีเพศผู้กับเพศเมียแยกกันคนละตัว โดยหอยนางรมตัวผู้จะฉีดน้ำเชื้อและตัวเมียจะปล่อยไข่ที่สุกเต็มที่พร้อมที่จะผสมพันธุ์ออกไปผสมกันภายนอกร่างกาย เมื่อไข่และน้ำเชื้อผสมกันแล้วจะมีวิวัฒนาการเปลี่ยนรูปร่างเจริญวัยตามขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นคัพพะ (embryonic stage) ขั้นตัวอ่อน (larval stage or embryonic plankton stage) และขั้นเกล็ด (Spat stage) ซึ่งขั้นเกล็ดเป็นระยะที่หอยเริ่มเกาะติดอยู่กับที่และไม่มีการเคลื่อนย้ายที่อีก (ไพโรจน์ พรหมมานนท์, 2505 อ้างถึงในสิทธิพันธุ์ ศิริรัตนชัย, 2523) แหล่งเพาะเลี้ยงหอย

นางรมในประเทศไทยนั้นมียู่ทั่วไปตามจังหวัดชายฝั่งทะเลทั้งด้านอ่าวไทยและฝั่งอันดามัน ซึ่ง หอยนางรมอยู่หลายชนิดด้วยกัน คือ หอยนางรมพันธุ์เล็ก เช่น หอยปากจีบ (*Saccostrea cucullata*) มีชุกชุมในจังหวัดชลบุรีและจันทบุรีและหอยนางรมพันธุ์ใหญ่หรือที่รู้จักกันในอีกชื่อว่า หอย ตะโกรม (*Saccostrea cucullata*) มีชุกชุมในจังหวัดสุราษฎร์ธานีและทางภาคใต้ของประเทศไทย (บรรจง เทียนสังรัมย์, 2515) ในปัจจุบันหอยนางรมนับว่าเป็นอาหารทะเลที่มีผู้นิยมบริโภคมาก จัดเป็นหอยที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

หอยแมลงภู่ (Green mussel)

หอยแมลงภู่ (Green mussel) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis* เป็นหอยสองฝา มีเปลือก คล้ายช้อนรูปโค้งขนาดยาวประมาณ 10 เซนติเมตรด้านนอกมีผิวเรียบเป็นมันสีน้ำตาลขอบเขียว เมื่อแกะเปลือกออกจะเห็นเนื้อและอวัยวะภายใน ผิวเปลือกด้านในเป็นมันวาวหอยชนิดนี้จะอาศัย อยู่ในบริเวณตื้นน้ำตลอดเวลา ส่วนมากจะเกาะติดอยู่ตามหลัก โป๊ะเสาสะพาน โขดหิน หอยแมลงภู่ จะมีส่วนที่เป็นหมวดเป็นกระจุกฝอย ๆ สีดำอยู่ปลายด้านหนึ่งยื่นออกมานอกเปลือกใช้สำหรับยึด เกาะหลักและมืกร ซึ่งอาจมีพิษได้ก่อนนำมาประกอบอาหารจึงควรล้างส่วนนี้ทิ้งให้หมด ปัจจุบันมี การทำฟาร์มเลี้ยงหอยแมลงภู่โดยใช้ไม้ไผ่ปักล่อลูกหอยให้มาเกาะ

สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (organochlorine)

สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (organochlorine) มีลักษณะทั่วไปของโครงสร้างโมเลกุล ดังนี้

1. ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน ไฮโดรเจน และคลอรีนเป็นองค์ประกอบหลัก (บางกรณีอาจมีออกซิเจนและกำมะถัน) และมีพันธะ C-Cl ในโมเลกุล
2. ไม่มีตำแหน่งทำปฏิกิริยา (reactive site) ภายในโมเลกุล
3. มีโครงสร้างส่วนที่เป็นวงแหวนคาร์บอนอยู่ในโมเลกุล รวมทั้งวงแหวนเบนซีน (benzene ring) ด้วย
4. โมเลกุลไม่มีขั้ว (nonpolar molecule) ละลายในไขมันได้ดี
5. มีเสถียรภาพไม่สลายตัวง่ายในสิ่งแวดล้อม

สำหรับฤทธิ์ของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในการฆ่าแมลงจะออกฤทธิ์ค่อนข้างช้าในระยะเริ่มแรก แต่จะมีฤทธิ์คงทนสามารถป้องกันกำจัดแมลงได้ในระยะเวลานาน โดยเฉพาะในกรณีที่สารไม่ถูก แสงแดด ฤทธิ์ของสารอาจคงทนนานถึง 10 ปี สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนนี้มีหลายชนิด หลาย

โครงสร้าง เช่น ดีดีที บีเอชซี(หรือลินเดน) คลอเดน เฮพตาคลอร์ คีลคริน เอนคริน เอนโคซัลเฟน และอัลดริน เป็นต้น (ขวัญชัย สมบัติศิริ, 2528)

ดีดีทีถูกพบโดยนักเคมีชาวสวิส ชื่อ พอล มุลเลอร์ (Paul Muller) เมื่อปี พ.ศ. 2482 ในขณะนั้นเป็นที่กล่าวขวัญกันทั่วไปว่า เป็นสารมหัศจรรย์ เพราะ

1. มีฤทธิ์ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชอย่างกว้างขวาง (broad spectrum) และมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลื้อยคลานต่ำ
2. มีความคงทน ไม่เสื่อมสภาพเร็วในสิ่งแวดล้อม จึงไม่ต้องใช้บ่อย
3. ไม่ละลายในน้ำ จึงทำให้ไม่ถูกชะล้างโดยน้ำฝนได้ง่าย
4. มีราคาถูกและใช้ง่าย

และเป็นเพราะประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงดีและช่วยให้ผลผลิตไม่เสียหายจากการทำลายของแมลงศัตรูพืช มีราคาไม่แพง จึงทำให้การใช้ดีดีทีแพร่หลายไปทั่วโลกอย่างรวดเร็วดีดีทีไม่ได้ใช้เฉพาะภาคการเกษตรเท่านั้น ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ยังใช้กำจัดเห็บ เหา และไรที่รบกวนหรือเป็นพาหนะนำโรคต่าง ๆ เช่น กาฬโรค ให้กับทหารในสมรภูมิด้วย จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2503 ดีดีทีได้ถูกนำมาใช้ในการกำจัดยุง ซึ่งเป็นพาหนะนำโรคไข้เลือดออก และไข้มาลาเรียในบริเวณที่พัก โดยเจ้าหน้าที่อนามัยจะฉีดพ่นยากำจัดยุงตามบ้านพักอาศัย มีลักษณะเป็นหมอกขาวฟุ้งกระจายไปทั่ว ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยดีดีทีถูกห้ามใช้ในภาคเกษตรแล้ว แต่ยังคงมีใช้เฉพาะด้านสาธารณสุขเท่านั้น ประสิทธิภาพของดีดีทีทำให้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ผลผลิตไม่เสียหายโรคมมาลาเรียและโรคไข้เลือดออกถูกควบคุมได้ (ปัจจุบันโรคมมาลาเรียและไข้เลือดออกได้ระบาดเพิ่มขึ้นเป็นเพราะยุงกันปล่องและยุงลายซึ่งเป็นพาหนะนำโรคได้พัฒนาความต้านทานสารเคมีเพิ่มขึ้น) ศัตรูพืชและแมลงพาหนะนำโรคหลายชนิดถูกควบคุมอย่างง่ายดายและมีราคาถูก

สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (organochlorine) แบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย (สุภาณี พิมพ์สมาน, 2537) ได้แก่

1. ดีดีที และสารคล้ายดีดีที (DDT and DDT analogues)

สารดีดีทีเป็นสารฆ่าแมลงที่ใช้แพร่หลายทั่วโลก ในช่วงระยะกว่า 20 ปีนับจากออกขาย ดีดีทีได้รับการยกย่องว่าเป็นสารฆ่าแมลงสมบูรณ์แบบ เพราะเหตุผลหลายประการ คือ มีพิษต่อแมลงมากชนิด มีความคงทนออกฤทธิ์อยู่ได้นาน มีพิษเฉียบพลันต่อคนและสัตว์เลื้อยคลานค่อนข้างต่ำ (จัดอยู่ในระดับพิษปานกลาง) และราคาถูกเพราะต้นทุนการผลิตต่ำ ปริมาณการใช้ดีดีทีเริ่มลดลง

เนื่องจากปัญหามลภาวะในสิ่งแวดล้อม และการสร้างความต้านทานโดยแมลง ได้มีการประกาศห้ามใช้ดีดีทีในประเทศที่พัฒนาแล้วหลายประเทศรวมทั้งสหรัฐอเมริกาซึ่งประกาศห้ามใช้ภายในประเทศแต่ยังมีการผลิตเพื่อส่งขายประเทศที่กำลังพัฒนา เพื่อใช้ควบคุมโรคมalaria และแมลงเบียนภายนอก เช่น หมัดและเหา ในประเทศไทยก็มีการห้ามใช้ ดีดีทีในการเกษตร แต่ยังอนุญาตให้ใช้ในสาธารณสุขได้

สารคล้ายดีดีที เคยมีการใช้เป็นสารฆ่าแมลง ได้แก่ ทีดีอี (TDE) หรือ ดีดีดี เมทอกซีคลอโร (DDD methoxychlor ไดโคฟอล (dicofol) คลอโรเบนซิลเลท (chlorobenzilate) และเพทเทน (perthane) แต่ในปัจจุบันเฉพาะสองชนิดหลังเท่านั้นที่ยังมีการใช้ทั่วไป รวมทั้งในประเทศไทยที่มีการใช้เพื่อกำจัดศัตรูพืช

2. เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (hexachlorocyclohexane)

สารกำจัดแมลงในกลุ่มนี้มีชนิดเดียว คือ บีเอชซี (benzenehexachloride) เป็นสารผสมของ 5 ไอโซเมอร์ มีความเป็นพิษต่อแมลงแตกต่างกัน มีพิษสูงต่อปลวก ผีเสื้อและศัตรูธรรมชาติ แกมมาไอโซเมอร์ (gamma isomer) มีความเป็นพิษสูงสุดชื่อสามัญเรียกว่า ลินเดน ละลายน้ำได้ดีกว่าดีดีทีประมาณ 100 เท่า มีค่าความดันไอสูง ระเหยเป็นไอได้ง่ายมีความเป็นพิษต่อทางเดินหายใจ

3. ไซโคลไดเอิน (cyclodiene)

ไซโคลไดเอินเป็นสารเคมีกลุ่มไดเอิน (diene) เป็นสารสังเคราะห์ที่มีคาร์บอน 6 คาร์บอน ประกอบเป็นวงแหวน จากไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวแบบไซเปิด สารฆ่าแมลงในกลุ่มนี้ ได้แก่ คลอเดน (chlordane) และอัลดริน (aldrine) ใช้กำจัดแมลงได้มากชนิดแต่การใช้มีข้อจำกัด เนื่องจากมีพิษต่อพืช ปัจจุบันใช้กำจัดแมลงที่อยู่ในดิน เช่น มดและปลวก

นอกจากนี้ยังมีดีลดริน (dieldrin) เอนดริน (endrin) และเอนโดซัลเฟน (endosulfan)

การตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน

สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน เป็นกลุ่มของสารฆ่าแมลงสังเคราะห์ที่ยังมีผู้นิยมใช้ในประเทศไทยเพื่อกำจัดปลวกและแมลงอื่นๆ เป็นที่ยอมรับกันว่าสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนนี้มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำ แต่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดพิษเรื้อรังในระยะยาว เนื่องจากสลายตัวยากและสะสมในสิ่งแวดล้อมสูง เพราะมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

1. มีความคงทนสูง (high persistence) ถูกทำลายจากระบบสิ่งมีชีวิตหรือในสิ่งแวดล้อมได้ช้า แม้จะถูกเปลี่ยนแปลงก็ยังคงได้อนุพันธ์ที่มีความเป็นพิษและมีความคงทนสูง

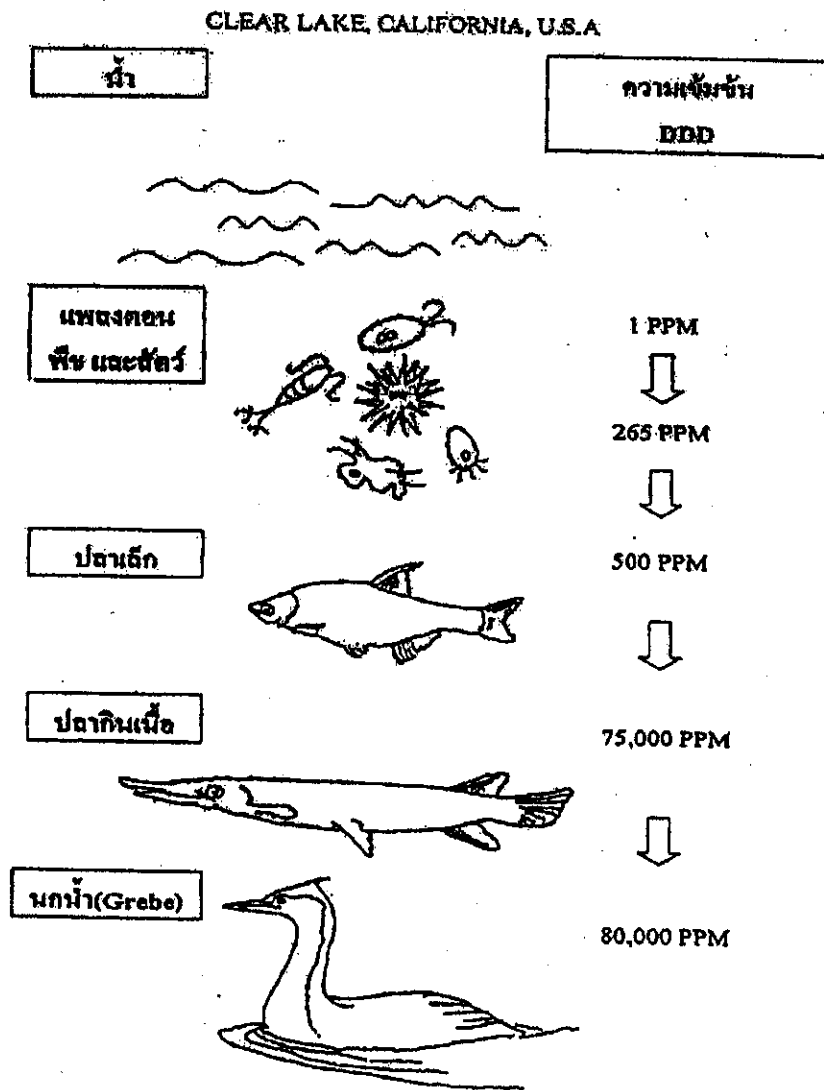
2. ละลายในน้ำได้น้อย แต่สามารถละลายได้ดีในไขมัน ทำให้มีการสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตและมีปริมาณการสะสมเพิ่มขึ้นตามวงจรห่วงโซ่อาหาร

3. โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยพันธะ C-C, C-H, และ C-Cl ซึ่งเป็นลักษณะที่ทำให้มีเสถียรภาพและเกิดการแตกสลายได้ช้ามาก

สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนมีความคงทนต่างกัน ที่มีความคงทนสูงจะมีโอกาสเคลื่อนย้ายจากบริเวณแหล่งที่เข้าปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ทำให้มีการตกค้างและแพร่กระจาย ทั้งอากาศ ดิน แหล่งน้ำต่าง ๆ และทางสิ่งมีชีวิต

ตารางที่ 1 ลำดับความคงทนของสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและระยะเวลาที่มีความคงตัวอยู่ในสภาพแวดล้อม

ระดับความคงทน	ระยะเวลาที่สารตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม
Highly persistence	> 2 ปี
Persistence	6 เดือน – 1 ปี
Moderately persistence	1 เดือน – 6 เดือน
Slightly persistence	< 1 ปี



ภาพที่ 1 การสะสมของสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในห่วงโซ่อาหาร (ศักดิ์ดา ศรีนิเวศน์, ออนไลน์, น.ป.ป.)

การตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำ

ในแหล่งน้ำต่าง ๆ มีการปนเปื้อนของสารพิษกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจากการที่มีการฉีด พ่นสารปราบศัตรูพืชลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง เพื่อกำจัดยุงและวัชพืชน้ำ (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวด, 2539) จากการชะล้างจากฝน และน้ำที่ถูกพัดพาจากบริเวณที่มีการใช้สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนลงสู่แหล่งน้ำและทะเลอันเป็นพื้นที่สุดท้ายที่รองรับของเสีย และเมื่อสารพิษลงสู่แหล่งน้ำจะละลายน้ำได้น้อย แต่จะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและตกลงสะสมในตะกอนใต้น้ำ

การตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดิน

ในดินมักจะพบสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนปนเปื้อนอยู่บริเวณหน้าดินลึก 1-2 นิ้ว สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมโดยอนุภาคดิน สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนมีคุณสมบัติการละลายน้ำได้สูงกว่า 5 ppm. จึงมีการชะล้าง (leaching) เกิดขึ้น การทำให้แตกสลายของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเกิดขึ้นได้โดยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งอยู่ในดินเป็นตัวการสำคัญ ดังนั้น ปิ๊จจัยใด ๆ ก็ตามที่มีผลในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์ ก็มีผลให้เกิดการแตกสลายเร็วขึ้นด้วย ปิ๊จจัยดังกล่าวได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ความโปร่ง และปริมาณอินทรีย์วัตถุ เป็นต้น อนุภาคดินที่มีอยู่ในน้ำจะมีผลทำให้สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกตะกอนมากและเร็วขึ้น ดินตะกอนที่ตกอยู่กันแหล่งน้ำต่าง ๆ จึงเป็นแหล่งสะสมของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในปริมาณสูงกว่าในน้ำ รายงานการศึกษาปริมาณสารออร์กาโนคลอรีนในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างและคลองที่เชื่อมต่อในเขตกรุงเทพฯ พบว่าการแพร่กระจายของสารขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำ และปริมาณการตกค้างของสารในตะกอนดินมีค่าสูงกว่าในน้ำ 200-300 เท่า (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวด, 2539)

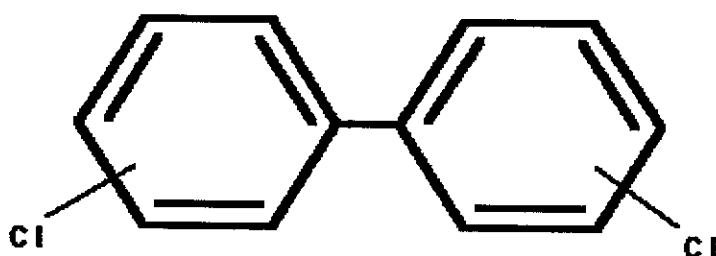
การสะสมของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในสิ่งมีชีวิต

การสะสมสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในสิ่งแวดล้อมทางน้ำมีอัตราสูงกว่าสิ่งแวดล้อมทางบกเนื่องจากการละลายได้ดีในไขมันของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน โดยมีน้ำเป็นตัวกลางที่ดีในการเคลื่อนย้ายไปสะสมในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ และสิ่งมีชีวิตในน้ำยังมีโอกาสได้รับสารตกค้างได้สองทาง โดยผ่านทางอาหารและได้รับโดยตรงจากน้ำที่อยู่ล้อมรอบ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตในน้ำจึงสามารถสะสมสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในเนื้อเยื่อไขมันสูงกว่าปริมาณสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำ เช่น หอย ซึ่งกินอาหารโดยการกรอง พบว่ามีการสะสมของสารดีดีทีไว้ในเนื้อเยื่อในระดับประมาณ 70,000 เท่าของระดับดีดีทีที่มีอยู่ในน้ำทะเล ในปลากินพืช ซึ่งอยู่ในน้ำที่มีเอนโดรินปนเปื้อนอยู่เพียง 2-3 เดือน จะมีปริมาณสะสมในตัวประมาณ 10,000 เท่าของที่มีอยู่ในน้ำ นอกจากนี้การสะสมสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนสามารถเพิ่มขยายปริมาณตามห่วงโซ่อาหาร (biological magnification) โดย

การกินอย่างต่อเนื่องตามลำดับชั้นของอาหาร (food trophic level) สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในลำดับชั้นอาหารที่ต่างกันมีปริมาณสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนสะสมต่างกัน ปริมาณสารที่สะสมจะสูงในสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในลำดับชั้นอาหารสูงกว่า ซึ่งท้ายสุดย่อมเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ที่เป็นผู้บริโภคส่วนปลายสุดของโซ่อาหาร

สารกลุ่มพีซีบี (PCBs)

พีซีบี เป็นชื่อย่อของสารเคมีสังเคราะห์จำพวกคลอรีเนเตด ไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated hydrocarbon) ซึ่งมีชื่อทางเคมีว่า โพลีคลอรีเนเตด ไบฟีนิล (Polychlorinated biphenyl, PCBs) สารกลุ่มพีซีบีประกอบด้วยสารประกอบที่มีกำเน็ดคล้ายกัน (homologues) และไอโซเมอร์ (isomer) ของพีซีบีจะมีคลอรีนอะตอมตั้งแต่หนึ่งถึงสิบ โมเลกุล และเป็นสารที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น ตั้งแต่ปี ค.ศ.1930 จากปฏิกิริยาคลอรีนชัน (chlorination) ของ biphenyl กับ anhydrous chlorine โดยมี ion fillings หรือ ferric chlorine เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีคล้ายกับดีดีทีที่มีสารที่เป็นอนุพันธ์ประมาณ 209 ชนิด ซึ่งมีสูตรทั่วไปเป็น $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ โดยที่ $n = 1 - 10$ (Erickson, 1997)



Polychlorinated Biphenyl (PCBs)

ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพีซีบี

พีซีบีเป็นของเหลวที่มีคลอรีน (Cl) ไฮโดรเจน (H) คาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบสำคัญ ลักษณะที่ปรากฏและองค์ประกอบคล้ายมินรัล ออยล์ (mineral oils) สารพีซีบีที่เตรียมได้ในรูป

คลอโรไบฟีนิล (chlorobiphenyls) จะมีน้ำหนักโมเลกุลและปริมาณคลอรีนที่เป็นองค์ประกอบในแต่ละกลุ่มอนุพันธ์แตกต่างกันไป รวมทั้งมีจำนวนไอโซเมอร์แตกต่างกันด้วย นอกจากน้ำหนักโมเลกุล ปริมาณคลอรีนและจำนวนไอโซเมอร์แล้ว ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพ ไม่ว่าจะเป็นจุดเดือด จุดหลอมเหลว ความดันไอและความสามารถในการละลายน้ำของสารพีซีบีในแต่ละกลุ่ม (ดังแสดงในตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสารพีซีบี (Erickson, 1997)

PCB isomer group	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Vapor pressure (Pa) at 25°C	Water solubility at 25°C (g/m ³)
Biphenyl	71	256	4.9	9.3
MonoCB	25-77.9	285	1.1	4.0
DiCB	24.4-149	312	0.24	1.6
TriCB	28-87	337	0.054	0.65
TetraCB	47-180	360	0.012	0.26
PentaCB	76.5-124	381	2.6 x 10 ⁻³	0.099
HexaCB	77-150	400	5.8 x 10 ⁻⁴	0.038
HeptaCB	122.4-149	417	1.3 x 10 ⁻⁴	0.014
OctaCB	159-162	432	2.8 x 10 ⁻⁵	5.5 x 10 ⁻³
NonaCB	182.8-206	445	6.3 x 10 ⁻⁶	2.0 x 10 ⁻³
DecaCB	305.9	456	1.4 x 10 ⁻⁶	7.6 x 10 ⁻⁴

สารพีซีบีเป็นสารสังเคราะห์ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย ทั้งนี้เนื่องจากพีซีบีเป็นสารที่มีคุณสมบัติพิเศษและเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรม คือ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

1. นำความร้อนสม่ำเสมอและคงที่
2. เกือบต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน และไม่ทำปฏิกิริยากับกรด ด่างหรือสารเคมีอื่น ๆ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก (dielectric)

3. มีสมบัติเป็นพลาสติก (plasticizing ability)
4. ละลายน้ำได้น้อย และยังละลายได้น้อยลงเมื่อสารนั้นมีปริมาณคลอรีนเพิ่มขึ้น
5. มีความคงตัวและสลายตัวได้ยาก
6. ระเหยได้ยาก
7. ไม่ติดไฟ

จากคุณสมบัติของสารพีซีบี จึงได้มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั้งโดยตรง และในรูปของสารผสม โดยปรับส่วนผสมให้ได้ส่วนผสมตามต้องการ เช่น ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมที่ใช้ พีซีบีหรือมีส่วนผสมของพีซีบี ได้แก่

1. หม้อแปลงไฟฟ้า
2. ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor)
3. สารหล่อลื่น (lubricant)
4. พลาสติกซีเซอร์ (plasticizer)
5. รีแอกเตอร์ (reactor)
6. สารช่วยยึดเกาะ (adhesive)
7. ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger)
8. ระบบไฮดรอลิก (hydraulic system)
9. หมึกพิมพ์ (printing inks)

ฯลฯ

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของสารพีซีบี (Choi, 2001)

Congener group	Numer	Molecular weight (g/molecular)	Vapor pressure at 25° C (Pa)	Water solubility at 25°C (g/m ³)	Log K _{ow} *
Monochlorobiphenyl	-	188.7	0.9 – 2.5	1.21 – 5.5	4.3 – 4.6
Dichlorobiphenyl	5,7,8,15	223.1	0.008 – 0.6	0.06 – 2.0	4.9 – 5.3
Trichlorobiphenyl	18,19,20/33,22,24,16/32,25,26,28, 29,31,34,37	257.5	0.003 – 0.22	0.015 – 0.4	5.5 – 5.9
Tetrachlorobiphenyl	40,41/64,42,44,45,46,47/48,49,50, 52,59,60/56,66,70,74,77	292.0	0.002	0.0043 – 0.010	5.6 – 6.5
Pentachlorobiphenyl	82,83,84,85,87,88,91,92,95,97,99, 100,101,103,105,107/108,110,114, 118,119,126	326.4	0.0023 – 0.051	0.004 – 0.02	6.2 – 6.5
Hexachlorobiphenyl	128,129,130/137,132,133,135,136, 138,139,141,144,146,149,151,153, 154,156,158,159,167	360.9	0.0007 – 0.012	0.0004 – 0.0007	6.7 – 7.3
Heptachlorobiphenyl	169,170,171,172,174,176,179,180, 182/187,183,185,188,189,191	395.3	0.00025	0.000045 – 0.0002	6.7 – 7
Octachlorobiphenyl	194,195,196,198,200,201,202,203,205	429.8	0.0006	0.0002 – 0.0003	7.1
Nonachlorobiphenyl	206,208	464.2	-	0.00018 – 0.0012	7.2 – 8.16
Decachlorobiphenyl	209	498.7	0.00003	0.000001 – 0.000761	8.26

*K_{ow} = octanol/water partition coefficient

ปริมาณความเข้มข้นของสารพีซีบีในสิ่งแวดล้อม

1. ในน้ำปริมาณสารพีซีบีในแหล่งน้ำที่ได้รับการปนเปื้อนมาก (heavily contaminated waters) จะมีค่าสูงกว่าที่ละลายน้ำได้หลายเท่าตัว เนื่องจากสารแขวนลอยในน้ำจะดูดซับไว้ (จงจิตร นีรนาทเมธิกุล และจารุพงศ์ บุญหลง, 2527)

2. ในสิ่งมีชีวิต ปริมาณสารพีซีบีที่ตรวจพบในสิ่งมีชีวิตมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งมีชีวิตที่ตรวจนั้นอยู่ในบริเวณที่มีมลภาวะเนื่องจากสารพีซีบีหรือไม่ ปริมาณไขมันในเนื้อเยื่อ และ trophic stage ของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหาร (จงจิตร นีรนาทเมธิกุล และจารุพงศ์ บุญหลง, 2527)

สารพีซีบีที่ผลิตได้ตั้งแต่ปี 1930 ประมาณ 1 ล้านตันซึ่งมากกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนนี้ถูกกำจัดโดยการถมทิ้ง (dumps and landfills) และจะคงสภาพหรือสลายตัว ตลอดจนรั่วไหลออกจากสิ่งแวดล้อมได้ช้ามาก ส่วนที่เหลืออีกจำนวนมากแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยผ่านทาง การกำจัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม โดยการรั่วไหลออกจากการใช้ที่เป็นแบบเปิด (nonenclosed system) หรือโดยการระเหยจากการเผาขยะ (incineration) ที่มีพวกพีซีบีเป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งสารคลอรีเนเตด ไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbon) เมื่อถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำ ส่วนใหญ่จะรวมอยู่กับสารแขวนลอยต่าง ๆ ในน้ำมากกว่าที่จะอยู่ในรูปของการละลาย เนื่องจากละลายน้ำได้น้อยมาก ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่จะตกตะกอนและสะสมตัวอยู่ในดินตะกอน ความเข้มข้นของสารเหล่านี้ที่มีอยู่ในน้ำตามปกติโดยทั่วไปนั้นมีความเข้มข้นต่ำ (Higgins & Burns, 1975 อ้างถึงใน สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย, 2523)

ตารางที่ 4 ปริมาณพีซีบีที่มีในประเทศไทย (Chareonsong, 2002)

	No. of units (tons)	Total weight of units parts	Total weight of metallic (tons)	Total weight of liquids (tons)
Total units	849	3403	2544	858
Total no. of transformer Capacitors (unknown dielectric)	16	12		
Transformers 100% PCB	15	47	32	15
Transformers (unknown dielectric)	711	3045	2277	768
PCB > 50 ppm	15	36	27	9
Transformers retrofillde	1	2.7	1.3	1.4
Transformers < 50 ppm	72	278	207	71
Dry transformers	20	29	29	
Transformers > 30 years	64	420	303	116

การแพร่กระจายของพีซีบีสู่สิ่งแวดล้อม (pathways into the environment)

สารพีซีบีที่แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม เกิดจากการกระทำของมนุษย์เท่านั้น ไม่ได้เกิดจากธรรมชาติ สารพีซีบีที่ผลิตได้จะคงสภาพหรือสลายตัว ตลอดจนรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ช้า ส่วนที่เหลืออีกจำนวนมากจะแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยผ่านทางน้ำทิ้งด้านอุตสาหกรรม โดยรั่วออกจากการใช้ที่เป็นระบบเปิด (non-enclosed system) หรือโดยการระเหยจากการเผาขยะ (incineration) ที่มีสารพีซีบีประกอบอยู่ และสารพีซีบีที่แพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมนี้ ในที่สุดจะไปสะสมอยู่ในตะกอนดินตามแหล่งน้ำต่างๆ โดยเฉพาะจะมีผลต่อห่วงโซ่อาหาร (จงจิตร นีรนาทเมธิกุล และจารุพงศ์ บุญหลง, 2527) สารพีซีบีสามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยอาศัย 2 กระบวนการ คือ

1. กระบวนการ Grasshopper effect เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยการระเหย (evaporating) และการพัดพาไปนอนก้นทะเล (deposit) โดยเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันเป็นวงจร
2. กระบวนการทางห่วงโซ่อาหาร โดยเริ่มจากปลา นกกินปลา สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และสุดท้ายคือ มนุษย์ ซึ่งอยู่บนยอดสุดของห่วงโซ่อาหาร

สารพีซีบีแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ได้ 3 ทาง คือ

1. การแพร่กระจายไปในบรรยากาศ การแพร่กระจายของสารพีซีบี เข้าสู่บรรยากาศจากกระบวนการผลิต สารพีซีบีนั้นมักไม่เกิดขึ้น แต่จะเกิดภายหลังจากการใช้และการทำลายหรือกำจัดทิ้ง โดยที่แพร่กระจายมาจาก

- การระเหยของสารพีซีบี พลาสติกไซด์ เรซิน (PCBs plasticized resin) โดยเฉพาะพวกที่มีปริมาณคลอรีนต่ำ ๆ
- การเผาขยะหรือของเหลือใช้จากอุตสาหกรรม และบ้านเรือน ซึ่งเตาเผาขยะส่วนใหญ่ไม่มีประสิทธิภาพดีพอที่จะทำลายสารพีซีบี
- การระเหยจากดินและจากกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำทิ้ง (sewage sludge)

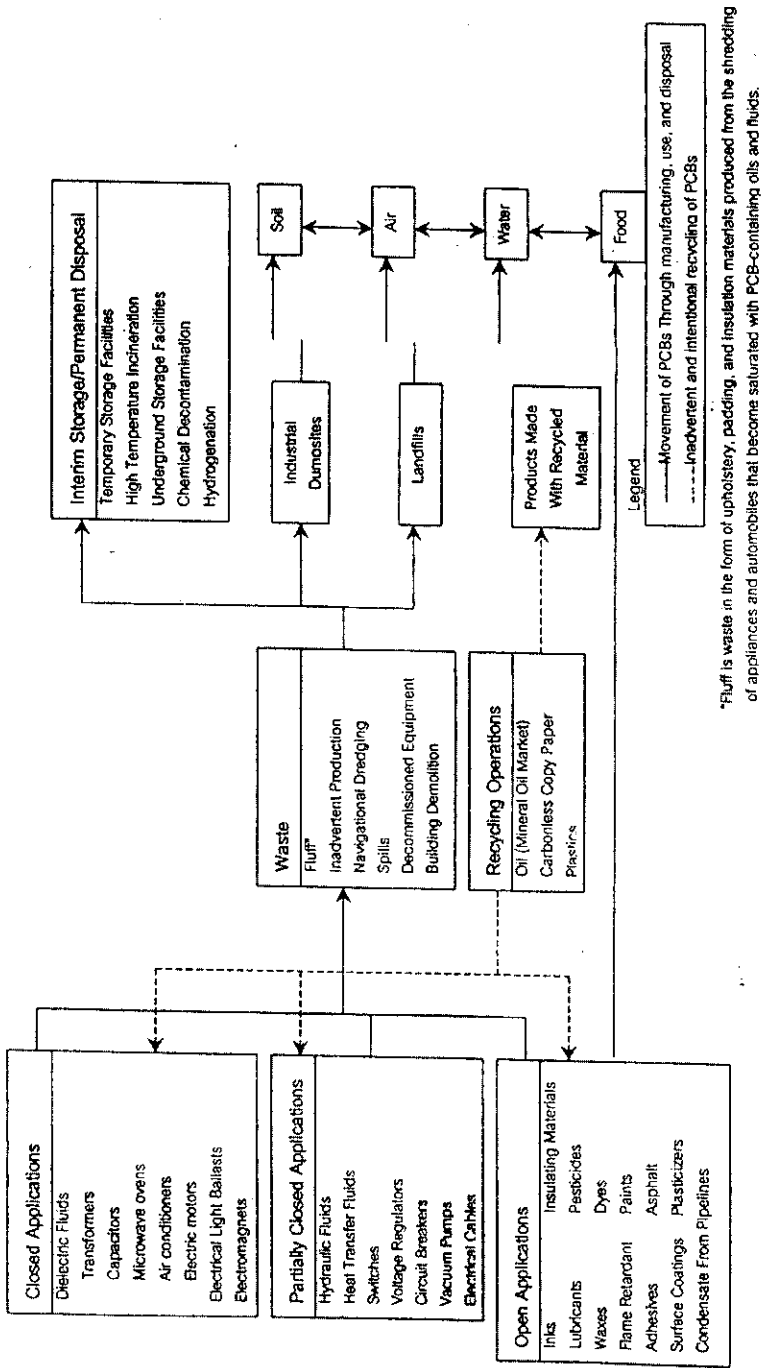
2. การรั่วไหลและการกำจัดของเหลือใช้ของสารพีซีบีจากการอุตสาหกรรม การแพร่กระจายในลักษณะนี้มีผลต่อปัญหามลภาวะในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะห่วงโซ่อาหาร (food chain)

3. การใช้พีซีบีในแง่ของสารกำจัดแมลง pesticides เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ Aroclor (ชื่อทางการค้าของสารพีซีบี) ที่ประกอบด้วยเปอร์เซ็นต์ของคลอรีนต่ำ ๆ จะมีประสิทธิภาพในการเป็นสารกำจัดแมลง (pesticides) ได้ดี (Peakal & Lincer, 1970 อ้างถึงใน ชลรัตน์ พยอมแย้ม, 2519)

การสะสมของสารพีซีบี ในสิ่งมีชีวิต

สารพีซีบีที่รั่วไหลอยู่ตามบริเวณต่าง ๆ ในที่สุดก็จะลงสู่แหล่งน้ำและอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้ ซึ่งไม่เพียงจะสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศเท่านั้น ยังสามารถที่จะถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารและมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นทางชีวภาพด้วย สารพีซีบีที่มีคลอรีนอะตอมมากจะสะสมได้มากกว่าสารพีซีบีชนิดที่มีคลอรีนอะตอมน้อยกว่า (Wong & Kaiser, 1975 อ้างถึงใน สิทธิพันธุ์ ศิริรัตนชัย, 2523) อย่างไรก็ตาม สารพีซีบีเมื่อเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตแล้วก็ยังสามารถที่จะขับออกมาได้ แต่โดยทั่วไปแล้วเป็นอัตราที่ช้ากว่าอัตราการสะสมของมัน และถูกย่อยสลายโดยสิ่งมีชีวิตได้โดยตัวที่มีคลอรีนอะตอมในโมเลกุลน้อยกว่าจะถูกย่อยสลายแบบที่เร็วกว่าสารพีซีบีที่มีคลอรีนอะตอมในโมเลกุลสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามขบวนการเหล่านี้เกิดได้ช้ามาก เมื่อสารพีซีบีเข้าสู่ร่างกายมนุษย์จะไปสะสมอยู่ในส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อไขมัน เนื่องจากเป็นสารไม่มีขั้ว (nonpolar) และมีคุณสมบัติในการยับยั้งการย่อยสลาย โดยกระบวนการทางชีวเคมี (Erickson, 1997) โดยทั่วไปแล้ว สารพีซีบีสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการกิน บุคคลทั่วไปในประเทศอุตสาหกรรมจะสัมผัส สารพีซีบีเข้าสู่ร่างกายโดยการกินอาหาร เฉลี่ย $1 \mu\text{g}$ /น้ำหนักตัว 1 kg /วัน และจากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารพีซีบีในเนื้อเยื่อไขมัน พบว่ามีค่าเฉลี่ย 1 mg/kg (ประมาณ 1,000 เท่าที่กินเข้าไปในแต่ละวัน) การที่ปริมาณที่ตรวจพบสูง เนื่องจากสารพีซีบีสลายตัวยากและสะสมในไขมันได้นาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

เมื่อสารพีซีบีได้เข้าเจือปนในแหล่งน้ำแล้วก็จะมีโอกาสสะสมตัว และเพิ่มขยายตามชีวภาพไปตามโซ่อาหาร เช่นเดียวกับดีดีทีที่มนุษย์ได้เริ่มตระหนักถึงภัยอันตรายของสารพีซีบีเป็นครั้งแรกโดยการตรวจพบสารพีซีบีที่มีปริมาณตกค้างอยู่ในปลาทะเลบอลติกในปี ค.ศ. 1966 (Olsson et al., 1972 อ้างถึงใน เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต, 2539) หลังจากนั้นเป็นต้นมาก็ได้มีการศึกษาถึงปริมาณตกค้างและผลกระทบของ สารพีซีบีต่อสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง ดังภาพที่ 3 และตารางที่ 5



ภาพที่ 3 การแพร่กระจายของสารพีซีบีในสิ่งแวดล้อม (UNEP Chemical, 1999)

ตารางที่ 5 สรุปข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณตกค้างของสารพีซีบีในสิ่งมีชีวิต (Holden, 1972 อ้างถึงใน เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต, 2539)

ชนิดของตัวอย่าง	เนื้อเยื่อ	พิสัยความเข้มข้น ($\mu\text{g/g}$)
แพลงก์ตอนทะเล	ทั้งหมด	0.01 – 10
หอยทะเล	เฉพาะเนื้อหอย	0.01 – 2
ปลาทะเล	กล้ามเนื้อ	0.01 – 20
ปลาน้ำจืด	กล้ามเนื้อ	0.01 – 100
นก	กล้ามเนื้อ	0.01 – 10,000
	ไข่	0.1 – 100
สิงโตทะเล	ไข่ม้วน	1 – 3,000

ผลกระทบของสารพีซีบีต่อมนุษย์

สารพีซีบีสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการกิน เช่น ผัก ผลไม้และเนื้อสัตว์ สารพีซีบีจะดูดซับไปสะสมในเนื้อเยื่อไขมันเป็นส่วนใหญ่และปริมาณที่สะสมจะมีระดับสูง (จงจิตร นีรนาทเมธิกุล และจารุพงศ์ บุญหลง) โดยเฉพาะสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำที่ได้รับการปนเปื้อนจากสารพีซีบี ซึ่งสารพีซีบีจะดูดซึมเข้าสู่ร่างกายผ่านทางระบบทางเดินอาหาร ดับ และผิวหนัง แล้วไปสะสมในเนื้อเยื่อไขมัน และถูกขับออกจากร่างกายได้บ้างบางส่วนทางอุจจาระ ปัสสาวะ ซึ่งอัตราการขับออกจากร่างกายจะขึ้นอยู่กับอัตราเมตาบอลิซึมและจำนวนคลอรีนในสารนั้น สารพีซีบีอาจจะทำงานระบบประสาท ทำให้เกิดความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ และระบบภูมิคุ้มกัน และอาจทำให้เกิดมะเร็ง (จงจิตร นีรนาทเมธิกุล และจารุพงศ์ บุญหลง, 2527; วราพร ชลอำไพ, 2541) สารพีซีบีที่แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมเกิดจากการกระทำของมนุษย์เท่านั้น ไม่ได้เกิดจากธรรมชาติ แหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของสารพีซีบี คือจากการผลิตและการนำไปใช้สารพีซีบี หลังจากถูกใช้แล้วสามารถที่จะแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทางด้วยกัน โดยเฉพาะการแพร่กระจายสู่บรรยากาศและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้น นับเป็นขบวนการสำคัญที่ทำให้สารเหล่านี้แพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้มากที่สุด และเมื่อสารเหล่านี้ฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศนั้น สามารถที่จะจับตัวอยู่กับฝุ่นผงในบรรยากาศได้ (Risebrough et al., 1968 อ้างถึงในสิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย, 2523)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศไทย

สำหรับในประเทศไทยมีผู้ให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับชนิดและปริมาณการตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในสิ่งแวดล้อม ดังนี้

Asian Institution of Technology (1979) ตรวจสอบสารพีซีบีในดินตะกอนจากแม่น้ำเจ้าพระยามีค่าND (nondetectable) – 0.152 ng/kg และกรมควบคุมมลพิษ (2541) พบสารพีซีบีในตะกอนดินจากแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง 0.3 - 2.9 ng/kg

Chumnantana and Abe (1994) ได้หาชนิดและปริมาณสารออร์กาโนคลอรีนในสัตว์ทะเล ได้แก่ ปลาทุ ปลาแพะ ปลาปากคม ปลาทรายขาว หมึก และหอยแครง บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดจันทบุรี พบว่าปริมาณสารพิษตกค้างมากที่สุดในตัวอย่างหมึก 1.65 $\mu\text{g/g}$ และปริมาณสารพิษต่ำสุดในตัวอย่างหอยแครง 0.39 $\mu\text{g/g}$ ชนิดของสารที่พบมากที่สุด ได้แก่ พารา,พารา-ดีเอซีซี และแกมมาเอชซีเอช

Huschenbeth and Hares (1974) พบว่าปริมาณดีดีทีที่สะสมในสัตว์ชนิดต่าง ๆ ในอ่าวไทยมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.006 – 0.407 $\mu\text{g/g}$ และสารพีซีบีมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.01 - 0.103 $\mu\text{g/g}$

Menasveta and Cheevaparanapiwat (1979) ซึ่งทำการศึกษาในบริเวณปากแม่น้ำสำคัญสี่แห่งของประเทศไทย พบปริมาณดีดีทีในปลากระบอกมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.022 – 0.089 $\mu\text{g/g}$ ดีดีทีในหอยแมลงภู่มีค่าเฉลี่ยในช่วง 0.032 – 0.042 $\mu\text{g/g}$ และปริมาณสารพีซีบีในปลากระบอกมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.002 – 0.019 $\mu\text{g/g}$ ในหอยแมลงภู่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.002 – 0.040 $\mu\text{g/g}$

ก่องกนก เมนะรุจิ (2536) ศึกษาปริมาณสารออร์กาโนคลอรีน ในน้ำบริเวณลุ่มน้ำย่อยของภาคตะวันออกในจังหวัดชลบุรี ระยอง และจันทบุรี ในปี พ.ศ. 2531-2532 พบว่ามีการปนเปื้อนของสารออร์กาโนคลอรีนสูงทั้งลุ่มน้ำ คือ บีเอชซี เฮพตาคลอร์และดีดีที โดยมีปริมาณค่าเฉลี่ย 0.131 0.056 และ 0.037 ส่วน/พันล้านส่วน ตามลำดับ

กอบทอง ฐปหอม และคณะ (2530) ศึกษาปริมาณสารเคมีกำจัดแมลงประเภทสารประกอบคลอรีนและสารพีซีบีในบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกและชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 - 2529 รายงานว่ามีการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงในหอยจากทั้งสองฝั่งของอ่าวไทย คือ ดีดีที บีเอชซี อัลดริน และ ลินเดนปริมาณทุกชนิดที่พบมีระดับต่ำกว่า 0.01 ppm ส่วนน้ำพบการตกค้างของ ดีดีทีเพียง 5 ตัวอย่าง (ร้อยละ 7) จากฝั่งตะวันออก

และพบลินเดน 4 ตัวอย่าง (ร้อยละ 3) จากฝั่งตะวันตก ไม่พบการตกค้างของสารพีซีบีในหอย ตัวอย่างและน้ำทั้งหมด และไม่พบความแตกต่างของระดับการปนเปื้อนของสารที่พบในตัวอย่างทั้งสองของอ่าวไทยตอนบน

ชลีรัตน์ พยอมรัมย์ (2519) ศึกษาการกระจายของดีดีทีและพีซีบี ในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างพบว่าปริมาณสารพีซีบีในตัวอย่างดิน น้ำ และปลา มีค่าระหว่าง 0.000016 - 0.04 $\mu\text{g/g}$ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ ในต่างประเทศ

ชลีพร พุฒนวล (2538) ศึกษาปริมาณสารออร์กาโนคลอรีน ในหอยนางรมบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี ได้แก่ อ่างศิลา แหลมแท่น และศรีราชา ในปี พ.ศ. 2536-2537 พบ ว่าสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบมีแนวโน้มสูง แต่ไม่สูงมากจนก่อให้เกิดอันตรายโดยเฉียบพลันแต่อาจก่อให้เกิดพิษเรื้อรังในระยะยาวขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ อังคณา สาส์คงประยูร (2536) ศึกษาปริมาณสารออร์กาโนคลอรีน 11 ชนิดในหอยนางรมบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี ได้แก่ อ่างศิลา แหลมแท่นและศรีราชา ในปี พ.ศ. 2535-2536 สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบมากที่สุด คือ ลินเดน

ประพัทธ์ สุนทรสาร (2520) ปัญหาการสะสมสารดีดีทีจะเกิดขึ้นในสัตว์น้ำนานาชนิด เช่น แพลงก์ตอน จุลินทรีย์ต่างๆ และหอย หลังจากนั้น ปลาที่กินอาหารที่มีสารดีดีทีตกค้างสะสมเข้าไปมาก ๆ ตลอดชีวิตของปลาจะมีการตกค้างของสารดีดีทีสะสมอยู่เป็นทวีคูณ (biological magnification) จากรายงานพบว่าในแหล่งน้ำหนึ่งอาจมีปริมาณดีดีทีเพียง 0.0005 ppm. แต่ในนกที่กินปลาเป็นอาหารตรวจพบว่ามีดีดีทีถึง 100 ppm.

ปิยวรรณ ศรีวิลาส และจันทร์จรัส วัฒนโชติ (2541) ได้วิเคราะห์ชนิด และปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช และสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในหอยทะเลเศรษฐกิจ 3 ชนิด ได้แก่ หอยนางรม หอยแครง และหอยแมลงภู่ โดยเก็บตัวอย่างช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน โดยเก็บจากฟาร์มเพาะเลี้ยงและตลาดบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก สารตกค้างกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตรวจพบ นั้น ได้แก่ บีเอชซี เอนดริน ลินเดน เอนโดซัลเฟน อัลดริน เดลเดริน ดีดีที Endrin aldehyde และ Methoxychlor และพบว่าช่วงฤดูร้อนจะตรวจพบสารเหล่านี้มากที่สุดใน ตัวอย่างหอยนางรมที่เพาะเลี้ยงบริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี (0.9298 mg/kg) และพบว่าปริมาณไขมันของตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารตกค้าง ส่วนขนาดของตัวอย่างไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารตกค้าง

ศิริพงษ์ สุขสำราญ (2536) ได้ทำการศึกษาปริมาณสารออร์กาโนคลอรีน ที่ตกค้างในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี ในระหว่างปี พ.ศ. 2535 พบสาร 2 ชนิด คือ ลินเดน มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.001-0.004 ppb และอัลดริน มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.002-0.006 ppb.

สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย (2523) ศึกษาปริมาณการสะสมของสารดีดีที สารพีซีบี และโลหะหนักบางชนิดในหอยตะไกรและหอยนางรมในอ่าวไทย พบว่าในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณของสารพีซีบีปริมาณสะสมของสารออร์กาโนคลอรีน ในตัวอย่างดิน น้ำ และหอยนางรมจาก ต.อ่างศิลา จ.ชลบุรี อ.ขลุง จ.จันทบุรี และหอยตะไกรจาก อ. กาญจนดิษฐ์ จ. สุราษฎร์ธานี พบปริมาณสารดีดีทีในหอยนางรมที่นำมาทำการศึกษามาจาก อ.ขลุง จ.จันทบุรี สูงสุด ค่าเฉลี่ยประมาณ 0.032 $\mu\text{g/g}$ และพบต่ำสุดในหอยตะไกรจาก อ. กาญจนดิษฐ์ จ. สุราษฎร์ธานี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.019 $\mu\text{g/g}$ ซึ่งอาจเนื่องจาก บริเวณ จ.จันทบุรีนั้นมีการทำการเกษตรกรรมในด้านปลูกผลไม้มาเป็นเหตุให้มีการใช้ยาฆ่าแมลงมากแต่ไม่พบปริมาณสารพีซีบีทั้งในตัวอย่างหอยน้ำ ดินที่นำมาศึกษา ซึ่งทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณที่มีอยู่ในหอยนั้น มีน้อยเกินกว่าที่จะตรวจพบได้โดยวิธีที่วิเคราะห์

งานวิจัยต่างประเทศ

Adb-Allah. (1994) ได้ทดลองหาปริมาณสารออร์กาโนคลอรีนและพีซีบี ในตัวอย่างปลาจากอ่าว Abu-Quin และทะเลสาบ Idlen Lake Alexandria ประเทศอียิปต์ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ พบว่าสารออร์กาโนคลอรีนมี ปริมาณเพิ่มขึ้นในปลาขนาดใหญ่ขึ้นเพราะจำนวนไขมันที่มากขึ้นและตรวจพบสารดีดีทีและสารพีซีบีในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อของปลามากกว่าสารพิษชนิดอื่น

Bavel et al. (1996) ศึกษาระดับของสารพีซีบีในสิ่งแวดล้อมทางน้ำบริเวณอ่าว Bothnia โดยศึกษาในสัตว์ทะเลและดินตะกอน พบว่าระดับความเข้มข้นรวมของสารพีซีบีในดินตะกอนมีค่าประมาณ 1600-8500 ng/g ในแอมฟิพอด(amphipods) ประมาณ 400-1000 ng/g และในไอโซพอด(isopods)ประมาณ 700 – 2400 ng/g

Bressa et al. (1997) ศึกษาถึงปริมาณสารพีซีบี และสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในปลาไหล จาก Po Delta โดยสกัดจากตัวอย่างกล้ามเนื้อจากปลาไหลที่จับมาและตรวจสอบปริมาณสารพีซีบีเหล่านี้ พบว่าค่าความเข้มข้นของสารพีซีบีในปลาไหลที่จับในฤดูใบไม้ผลิมีค่าสูงกว่าในฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งค่านี้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันในเนื้อเยื่อ โดยที่ระดับสารพีซีบีมีค่าเฉลี่ย $265 \pm 9 \mu\text{g/kg wet wt}$ ในฤดูใบไม้ผลิ และ $211 \pm 6.9 \mu\text{g/kg wet wt}$ ในฤดูใบไม้ร่วง

Galindo (1992) ได้ทำการวิเคราะห์สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ปนเปื้อนในน้ำดินตะกอน กุ้งและหอยกาบ บริเวณฝั่งทะเลสองแห่งใน Sinaloa ประเทศเม็กซิโก เป็นบริเวณแหล่ง

เกษตรกรรม มีการทิ้งและระบายของเสียทางการเกษตรลงสู่แหล่งน้ำ ตรวจพบลินเดน ซึ่งค่าที่ตรวจพบเกินค่ามาตรฐานของ FWPCA (Federal Water Pollution Control Administration, U.S.)

Harding et al. (1997) ศึกษาการสะสมในสิ่งมีชีวิตของสารพีซีบีในห่วงโซ่อาหารสัตว์ในทะเล บริเวณทางตอนใต้ของอ่าวเซนต์ลอเรนซ์ ซึ่งปริมาณสารพีซีบีที่ได้จากการศึกษาในน้ำทะเลมีค่า 3.1 ± 1.0 ng/l ในแพลงก์ตอนมีค่า 2.9 ± 3.3 ng/g และในปลา มีค่า 155 ± 194 ng/g wet wt.

Hope et al. (1996) ศึกษารูปแบบการกระจายอนุพันธ์ของพีซีบีในน้ำ ดินตะกอน และสิ่งมีชีวิตจาก Midway Atoll (North Pacific Ocean) พบว่าอนุพันธ์ของสารพีซีบีทั้งหมดที่พบในดินตะกอน มีความเข้มข้นเฉลี่ย $0.03 - 0.20$ $\mu\text{g/kg}$ ในบริเวณผิวน้ำมีค่าเฉลี่ย $0.0003 - 0.001$ $\mu\text{g/kg}$ และความเข้มข้นในสิ่งมีชีวิตมีค่าระหว่าง $0.1 - 50$ $\mu\text{g/kg}$ โดยอนุพันธ์ตัวที่พบมากที่สุดได้แก่ พีซีบี 138, 153, 170 และ 187 ซึ่งชนิดของพีซีบีที่พบสอดคล้องกับการศึกษาของ Thompson et al. (1996) ได้ทำการศึกษาในหอยแมลงภู่และดินตะกอนจาก Great Britain และ Irish Sea Coast พบว่าชนิดที่มีการปนเปื้อนในปริมาณมาก ได้แก่ พีซีบี 118, 138 และ 153 โดยที่ พีซีบี 118 และ 138 เป็นองค์ประกอบสำคัญใน Aroclor 1254 และพีซีบี 153 เป็นองค์ประกอบหลักใน Aroclor 1260

Menirith et al. (1999) ทำการทดลองหาปริมาณสารออร์กาโนคลอรีนบริเวณแม่น้ำโขงและชายฝั่งทะเลประเทศกัมพูชา พบว่าปริมาณสารออร์กาโนคลอรีนในปลาบริเวณแม่น้ำมากกว่าปลาที่อาศัยอยู่ในทะเลและหอยแมลงภู่ เนื่องจากบริเวณแม่น้ำเป็นเขตติดต่อกับบริเวณทำการเกษตรที่มีการใช้สารปราบศัตรูพืชแล้วมีการชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ

Viet et al. (2000) การศึกษาหาปริมาณสารออร์กาโนคลอรีนในดินประเทศเวียดนามพบปริมาณสารดีดีทีและลินเดนมีปริมาณมากที่สุดที่บริเวณอ่าวฮาลอง (Halong Bay) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการทำการเกษตรมากและยังพบว่าปริมาณลินเดนในดินบริเวณชายฝั่งทะเลประเทศเวียดนามมีปริมาณสูงสุดเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Iwata et al. (1994) ที่ทำการหาปริมาณสารออร์กาโนคลอรีนในดินบริเวณประเทศอินเดีย ไทย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่นและไต้หวัน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารออร์กาโนคลอรีนในประเทศเวียดนามและประเทศอื่นในเอเชีย (ng/g dry wt)

ประเทศ	สารดีดีที	สารลินเดน	เอกสารอ้างอิง
เวียดนาม			
- อ่าวฮาลอง	28	6.06	Viet et al. (2000)
- ฮานอย	5	0.35	Viet et al. (2000)
- เวียดนาม	5.2	0.68	Viet et al. (2000)
- Binhtrithien	34	0.29	Iwata et al. (1994)
- โฮจิมินห์ ซิตี้	110	1.1	Iwata et al. (1994)
อินเดีย	180	1.3	Iwata et al. (1994)
ประเทศไทย	94	0.64	Iwata et al. (1994)
อินโดนีเซีย	21	0.043	Iwata et al. (1994)
ญี่ปุ่น	6.4	0.56	Iwata et al. (1994)
ไต้หวัน	7.1	0.054	Iwata et al. (1994)