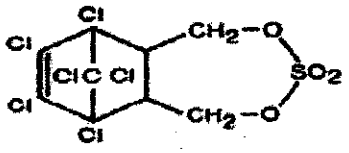
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

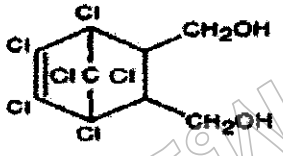
เมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟน (Endosulfan Metabolites)

เอนโดซัลแฟนสามารถเปลี่ยนรูปเป็นเมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟนโดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส ออกซิเดชัน และรีดักชัน ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาศัยน้ำเป็นตัวทำละลายเมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟนมีอยู่ 5 ชนิด ได้แก่ เอนโดซัลแฟนซัลเฟต (Endosulfan Sulfate) เอนโดซัลแฟน-ไดออล (Endosulfan Diol) เอนโดซัลแฟนอีเทอร์ (Endosulfan Ether) เอนโดซัลแฟนไฮดรอกซี-อีเทอร์ (Endosulfan Hydroxyether) และ เอนโดซัลแฟนแลคโตน (Endosulfan Lactone) (Balsenmitter et al., 1967 cited in FAO/PL & WHO/Food Add., 1967) แสงอาทิตย์มีส่วนสำคัญในการเกิดเมตาบอไลท์ต่าง ๆ Goebel, et al. (1971 อ้างถึงใน วรรณวิมล ปาสาณพันธ์, 2542) กล่าวว่า เมื่อฉายแสงอุลตราไวโอเลต (UV) เป็นเวลา 7 วัน ลงบนแผ่นแก้วที่หยดสารเอนโดซัลแฟน พบว่า ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นเอนโดซัลแฟนไดออล และบางส่วนเป็นเอนโดซัลแฟนอีเทอร์ เอนโดซัล แฟนไฮดรอกซีอีเทอร์ และเอนโดซัลแฟนแลคโตน เมื่อฉายแสงอุลตราไวโอเลตกับเอนโดซัลแฟนไดออล จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น เอนโดซัลแฟนไฮดรอกซี-อีเทอร์ เมื่อฉายแสงอุตราไวโอเลตกับเอนโดซัลแฟนแลคโตนจะเปลี่ยนไปเป็น เอนโดซัลแฟนได-ออล น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และเอนโดซัลแฟนอีเทอร์ ส่วน เอนโดซัลแฟนซัลเฟต จะเสถียรในสภาวะที่เกิดโฟโตไลซิส (Photolysis) จึงทำให้ไม่มีเอนโดซัลแฟนซัลเฟตเกิดขึ้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ใช้แสง พนิดา ไชยยันต์บูรณ์ (2538) รายงานว่า การสลายตัวด้วยแสง ขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาที่ได้รับแสง ความเข้มและความยาวคลื่นของแสง คุณสมบัติของสาร คุณสมบัติของตัวกลางที่สารยึดเกาะตัวทำละลายของสาร รวมทั้งตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา โครงสร้างของเมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟนแสดงใน ภาพที่ 2-1 เมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟนที่สำคัญได้แก่ เอนโดซัลแฟนซัลเฟต และเอนโดซัลแฟนไดออล มีคุณสมบัติทางกายภาพแสดงใน ตารางที่ 2 - 1 จากคุณสมบัติของสารทำให้การแพร่กระจายของเมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟนทั้งสองชนิดนี้แตกต่างกันออกไปในสิ่งมีชีวิต เอนโดซัลแฟนซัลเฟตนั้นพบว่าจะมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตใกล้เคียงกับเอนโดซัลแฟน และพบว่าจะมีพิษสูงมากในปลา สำหรับ เอนโดซัลแฟนไดออลนั้นความเป็นพิษต่ำ (Peterson & Batley, 1993) สอดคล้องกับการศึกษาพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity) ของปริมาณเมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟนที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50 เปอร์เซ็นต์ (LD_{50}) พบว่า ในแมลง, ปลา, และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีค่า 9.5, 0.001-0.01 และ 8-76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ของเอนโดซัลแฟนซัลเฟต และ มีค่า

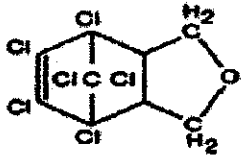
มากกว่า 500, 1-10 และ มากกว่า 1500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ของเอนโดซัลแฟนไดออล (Guerin, 1993; Anonymous, 1998 cited in Guerin, 2001)



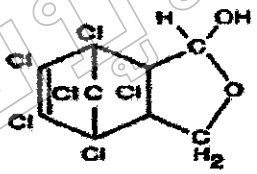
endosulfan sulfate



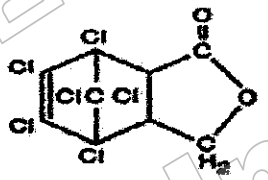
endosulfan diol



endosulfan ether



endosulfan α-hydroxy ether



endosulfan lactone

ภาพที่ 2-1 เมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟน (Hengpraprom & Lee, n.d.)

ตารางที่ 2-1 สมบัติทางกายภาพของเมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟน (Agency for Toxic Substance and Decease Registry [ATSDR], n.d.)

คุณสมบัติ	เอนโดซัลแฟนซัลเฟต	เอนโดซัลแฟนไดออล
น้ำหนักโมเลกุล(กรัมโมเลกุล)	422.9	360.9
การละลายน้ำ (ppm ที่ 25 °C)	0.22	> 0.22
ความดันไอ (mm Hg)	1×10^{-5}	-
สัมประสิทธิ์ระหว่างออกทานอลกับน้ำ ($\log K_{ow}$)	3.66	<< 3.66

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ในสิ่งแวดล้อม พบว่า เอนโดซัลแฟนสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในดินและพืช แล้วเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและเอนโดซัลแฟนไดออลซึ่งเป็นสารเริ่มแรกของการสลายตัว (Primary Degradation) ในดินและพืชที่มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่มาก สารเอนโดซัลแฟนจะเปลี่ยนรูปเป็นเอนโดซัลแฟนซัลเฟต ขณะที่เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีภายใต้สภาวะเบสหรือที่มีจุลินทรีย์อยู่ เอนโดซัลแฟนจะเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นเอนโดซัลแฟนไดออลได้ดีกว่า (Agenda Item, 2003) ปัจจัยที่มีผลต่อจุลินทรีย์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น การถ่ายเทอากาศ ความเป็นกรดด่าง คุณสมบัติของสาร (พนิดา ไชยยันต์บูรณ์, 2538) แต่สารที่สำคัญที่พบได้ในดินและพืชคือ เอนโดซัลแฟนซัลเฟต สำหรับในน้ำ พบว่า เอนโดซัลแฟนจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส เปลี่ยนรูปเป็นเอนโดซัลแฟนไดออล เป็นสำคัญ (Martens, 1977) สอดคล้องกับการศึกษาของ Peterson and Batley (1993) รายงานว่า ในน้ำ มีปริมาณของเอนโดซัลแฟนไดออล 51.8 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 24.1 เปอร์เซ็นต์

Singh, Dureja, and Kumar (2000) ศึกษาการสลายตัวของเอนโดซัลแฟนในดินโดยอาศัยจุลินทรีย์ทั้งในดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ฆ่าเชื้อ พบว่า ดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อมีค่าครึ่งชีวิต ของเอนโดซัลแฟนซัลเฟต 301 วัน และดินที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อมีค่าครึ่งชีวิต 277 วัน

Peterson and Batley (1993) ศึกษาเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและเอนโดซัลแฟนไดออล ในน้ำโดยอาศัยจุลินทรีย์ ในบ่อทดลองไมโครโซม (Microcosm) ที่ความเข้มข้น 5, 50 และ 5000 ไมโครกรัมต่อลิตร จากการทดลอง เอนโดซัลแฟนซัลเฟต พบที่ความเข้มข้น 5 และ 50 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับความเข้มข้น 5000 ไมโครกรัมต่อลิตร พบเฉพาะเอนโดซัลแฟนไดออลเท่านั้น ปริมาณเอนโดซัลแฟนซัลเฟตจะลดลงตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น และที่ความเข้มข้นสูง ๆ จุลินทรีย์จะยับยั้งการเกิดเอนโดซัลแฟนซัลเฟตทำให้สลายตัวเป็นเอนโดซัลแฟนไดออลแทน

Martens (1976) ได้ศึกษาการสลายตัวของเอนโดซัลแฟนในดิน 7 ชนิด ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน พบว่า เอนโดซัลแฟนซัลเฟตเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นมากที่สุด และเอนโดซัลแฟนซัลเฟตยังเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นมากที่ในสภาวะที่มี ไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ (N_2/CO_2) แต่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า คือ 11-12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเอนโดซัลแฟนไดออลพบในปริมาณน้อย สภาวะที่มีน้ำ เอนโดซัลแฟนไดออล จะเกิดขึ้นในปริมาณที่มากกว่า เอนโดซัลแฟนซัลเฟต

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อเอนโดซัลแฟนซัลเฟตในดินนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ใส่ สอดคล้องกับ Rao and Murty (1980) ศึกษาเอนโดซัลแฟนในดินร่วนปนเหนียว โดยทำการใส่สารเอนโดซัลแฟนระดับปกติในดินเปียก และทำการใส่สารเอนโดซัลแฟนในปริมาณที่ต่ำและสูงมากกว่าปกติในดินแห้ง พบว่า การใส่สารเอนโดซัลแฟนในปริมาณที่สูงมากในดินที่แห้งนั้น

เอนโดซัลแฟนไดออลจะเปลี่ยนไปเป็นเอนโดซัลแฟนอีเทอร์ แต่หลังจาก 50 วันไปแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเอนโดซัลแฟนซัลเฟต สำหรับการใส่เอนโดซัลแฟนปริมาณที่ต่ำมากในดินแห้งนั้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเอนโดซัลแฟนซัลเฟต ภายในเวลา 5 วัน สำหรับในดินเปียกนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเอนโดซัลแฟนซัลเฟตภายในเวลา 15 วัน

เมื่อสารเมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟนเข้าสู่พืช พบว่า พืชจะมีการแพร่กระจายของสารที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของพืช คุณสมบัติของสาร กลไกการเคลื่อนย้ายภายในพืช ความคงทนของสาร (พูนสุข หฤทัยธนาสันต์, 2527 อ้างถึงใน วิสุทธิ เชวงศรี, 2531) Donald and Kenneth (1974) ได้ทำการศึกษาสารเอนโดซัลแฟนในมันฝรั่ง โดยทำการใส่สารเอนโดซัลแฟนไปยังดินโดยตรงจำนวน 6.7 กิโลกรัมต่อไร่ และเมื่อนำมันฝรั่งมาตรวจพบว่า เปลือกของมันฝรั่ง พบ เอนโดซัลแฟนซัลเฟตในปริมาณ 0.3 ไมโครกรัมต่อกรัม เนื้อของมันฝรั่ง พบ เอนโดซัลแฟนซัลเฟต 0.03 ไมโครกรัมต่อกรัม หลังจากนั้นได้มีการนำมันฝรั่งมาตรวจอีกในฤดูกาลที่ 2 และ 3 พบว่า สารส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณเปลือกของมันฝรั่ง และปริมาณของเอนโดซัลแฟนจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเอนโดซัลแฟนซัลเฟตมากขึ้น ในเปลือกและเนื้อมันฝรั่ง

เมตาบอไลท์ของเอนโดซัลแฟนเมื่อเข้าสู่สิ่งมีชีวิต สามารถเกิดการแพร่กระจายได้ในเนื้อเยื่อที่มีไขมัน (Agenda Item, 2003) สอดคล้องกับ Leist (1989a cited in International Agency for Research on Cancer, 1998) ได้มีการศึกษาถึงเอนโดซัลแฟนและเมตาบอไลท์เอนโดซัลแฟนที่เข้าสู่หนูตัวเล็กว่ามีการสะสมมากน้อยเพียงใดในระยะเวลา 2 ปี ความเข้มข้นของเอนโดซัลแฟนที่ใช้ คือ 0, 2, 6 และ 18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหนูตัวเล็ก ที่ได้รับ เอนโดซัลแฟนเข้มข้น 18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณของเอนโดซัลแฟนไฮดรอกซีอีเทอร์ เอนโดซัลแฟนแลคโตน และเอนโดซัลแฟนไดออล สะสมอยู่ในตับและไตน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนด (0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบ เอนโดซัลแฟนซัลเฟตในไต 0.1 - 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในตับ 0.7-1.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เอนโดซัลแฟนซัลเฟตในหนูตัวเล็ก ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในตับ 0.2-0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในไต 0.1 - 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

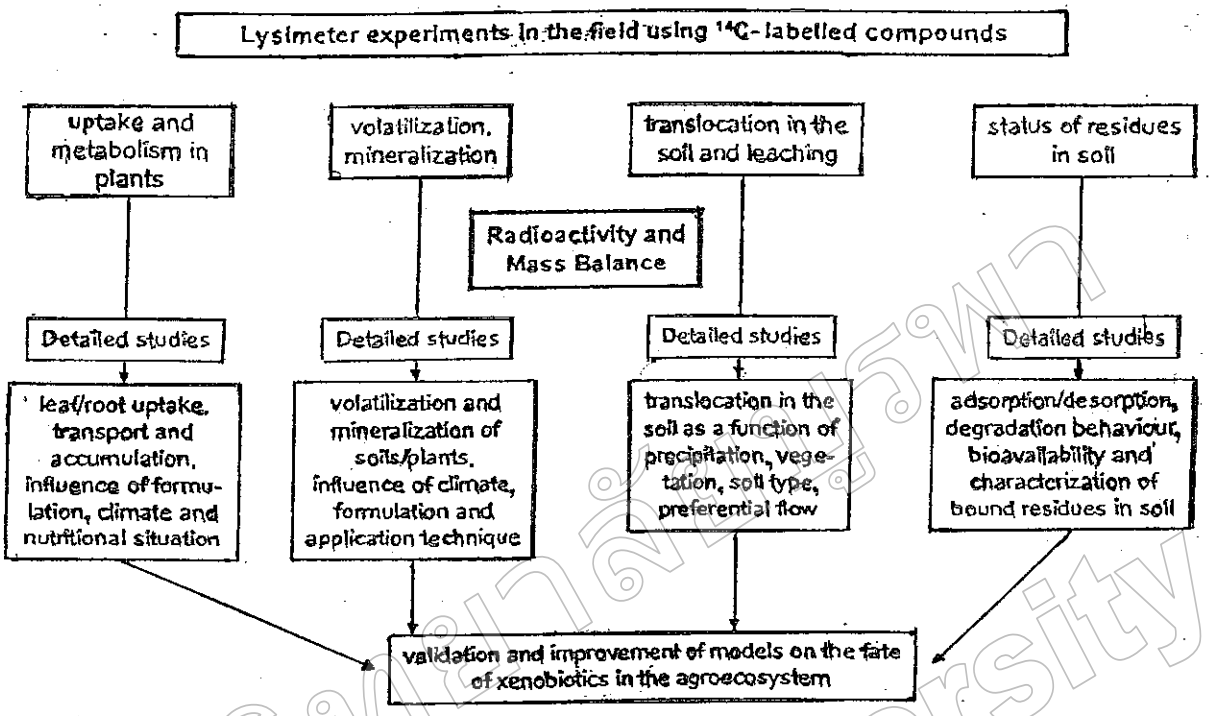
การแพร่กระจายของสารในสิ่งมีชีวิตขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ได้รับและระยะเวลาของการสัมผัสสาร และปริมาณของสิ่งมีชีวิต ซึ่ง Novak and Ahmad (1989) รายงานว่า เมื่อสิ่งชีวิตได้รับสารในปริมาณที่สูงพบว่าจะมีการแพร่กระจายของสารเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและเอนโดซัล-แฟนไดออลมากกว่าได้รับสารในปริมาณต่ำ และเมื่อมีการสัมผัสสารเป็นระยะเวลานานโอกาสที่สารเอนโดซัลแฟนซัลเฟตและเอนโดซัลแฟนไดออลจะเกิดการแพร่กระจายในสิ่งมีชีวิตจะมีได้สูงเช่นเดียวกัน สำหรับน้ำหนักของสารเอนโดซัลแฟนซัลเฟตนั้นพบว่า เมื่อน้ำหนักของสารเพิ่มขึ้นการแพร่กระจายของสารในสิ่งมีชีวิตจะลดลง

ระบบนิเวศจำลอง (Lysimeter Model)

การทดลองระบบนิเวศจำลองเป็นวิธีที่ใช้ศึกษาพฤกติกรรมของสารประกอบที่ติดป้ายรังสีไอโซโทป พฤกติกรรมของสารกำจัดแมลงสามารถพบได้ในระบบนิเวศจำลองซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับที่พบในพื้นที่จริง (Field Condition) Fuhr (1982) ได้มีการสร้างระบบนิเวศจำลอง ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของระบบนิเวศทางการเกษตร ศึกษาชะตากรรมของสารเคมีและผลกระทบถึงความสัมพันธ์ในดินและพืช ต่อมางานของเขาได้เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

ข้อดีของระบบนิเวศจำลอง คือ สารพิษตกค้างและสภาวะทางสิ่งแวดล้อมสามารถกำหนดได้ในระบบนิเวศจำลอง นอกจากนี้รูปแบบและพฤติกรรมของสารกำจัดแมลงสามารถทำให้สมบูรณ์ได้ โดยอาศัยพารามิเตอร์ ได้แก่ การเติมดิน, น้ำ และพืชที่ต้องการลงไปในระบบนิเวศจำลองได้ (Ferris & Haigh, 1983 cited in Anurakpongsatorn, 1998) นอกจากนี้ ดินสถานีต่าง ๆ กันสามารถนำมาไว้ที่สถานีเดียวกันและสภาวะอากาศเดียวกันได้ นอกจากนี้สารรังสีที่ติดป้ายในระบบนิเวศจำลองสามารถนำมาวิเคราะห์ได้หลายวิธีทั้งนี้อาศัยความแตกต่างของเทคนิคในการติดตาม (Tracer Detection) (Fuhr et al., 1998) สำหรับข้อเสียของระบบนิเวศจำลอง คือ เมื่อมีการนำดินออกจากระบบนิเวศจำลอง จะทำให้น้ำเข้าแทนที่ช่องว่างของดิน ทำให้ระบบภายในระบบนิเวศจำลองเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ต้องเสียเงินสูงในการสร้างและการเก็บรักษาระบบนิเวศจำลอง ซึ่งในการทดลองพื้นที่จริงไม่ต้องใช้ในส่วนนี้มากนัก (Robert, 1990)

Fuhr et al. (1998) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากสารอินทรีย์เคมีใน 50 ตัวอย่าง มีการสรุปถึงพฤกติกรรมระยะยาวของสารอินทรีย์เคมีในระบบนิเวศทางการเกษตรในระบบนิเวศน์จำลอง แสดงในตารางที่ 2-2 ซึ่งสามารถบอกถึงการดูดซึมในพืชและเมตาบอลิซึมในพืช การระเหยจากดิน การเคลื่อนย้ายจากดิน การชะในดิน และการกัดกร่อนของสารพิษตกค้างในดิน เพื่อที่จะอธิบายถึงขบวนการที่เกี่ยวข้องในการออกแบบการทดลอง ไปยังการศึกษาถึงการดูดซึมของใบและรากพืช, การเคลื่อนย้ายและการสะสมในพืช, และปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาวะอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้น และการดูดซึมของธาตุอาหารของพืช



ภาพที่ 2-2 สรุปการศึกษาพฤกติกรรมระยะยาวของสารอินทรีย์เคมีในระบบนิเวศทางการเกษตร (Fuhr et al., 1998)

ได้มีการนำระบบนิเวศจำลองมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย

Meissner, Seeger, and Rupp (1998) ได้ทำการศึกษาและทำนายผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของพื้นดินโดยใช้ระบบนิเวศจำลอง 200 พื้นที่ จาก 6 สถานี ระบบนิเวศจำลองถูกนำมาใช้ศึกษาถึงการเปลี่ยนรูป (Transformation) และการถ่ายโอน (Translocation) ของธาตุอาหารและสารเคมี ในดินและดินตะกอนไปยังระบบน้ำ เพื่อที่จะประเมินถึงความแตกต่างของที่ตั้งระบบนิเวศจำลองและความสัมพันธ์กับการทดลอง และ ศึกษาข้อมูลของระบบนิเวศจำลองกับพื้นที่ที่ต้องการศึกษาต่อไป Flury, Yates, Jury, and Anderson (1998) นำระบบนิเวศจำลองประเมินถึงความแตกต่างของการเคลื่อนย้ายของตัวทำละลาย โดยได้ทำการใส่สารโบรไมด์ (Bromide) ไปยังดินร่วน ช่วง 61 และ 122 เซนติเมตร ผลการทดลอง พบว่า การเคลื่อนย้ายของตัวทำละลายจะลดลง เมื่อความลึกของระบบนิเวศจำลองลดลง และอัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น Nkruman, Griffith, Ahmad, and Gumbs (1989) ศึกษาความแตกต่างของความชื้นต่อการเคลื่อนย้ายของสารในน้ำชะ โดยใช้ระบบนิเวศจำลอง 24 พื้นที่ โดยใส่สารรังสีที่ติดป้ายไนโตรเจน-15 สารแอมโมเนียที่ไม่ติดป้าย อัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ ความลึกมากที่สุดของน้ำชะถูกวัดโดยการแพร่ของไนไตรท์ไอออนในฤดูร้อนและฤดูฝน ในช่วงความลึกของดิน 30 เซนติเมตร พบว่า การเคลื่อนย้ายของ ไนโตรเจน-15

ไนไตรท์ นฤดูฝนพบว่าเมื่อฝนตกมากความชื้นจะสูงขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารต่ำ Hellpointner (1998) ศึกษาในระบบนิเวศจำลองเพื่อประเมินพฤติกรรมของน้ำชะของสารอิมิดาคลอพริด (Imidacloprid) ใช้คาร์บอน-14 เป็นตัวติดตาม ใส่สารไปยังหัวบีท (Sugar Beet) ในพื้นที่ระบบนิเวศจำลองขนาด 1 ตารางเมตร ความลึก 1.1 เมตร ในเดือนเมษายน 1991 และ 1994 ใส่ในอัตรา 120 กรัมต่อไร่ ผลจากการทดลอง พบว่า อิมิดาคลอพริดมีการเคลื่อนที่ในน้ำชะน้อยมาก (Low Mobility)

เทคนิคเชิงนิวเคลียร์ (Nuclear Techniques)

เทคนิคเชิงนิวเคลียร์เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ไอโซโทปรังสีในการติดตามปริมาณสารพิษตกค้างที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อม ซึ่งสารพิษตกค้างสามารถวิเคราะห์ได้โดยเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ในขณะที่เทคนิคอื่น ๆ วิเคราะห์ได้ผลไม่แน่ชัด สารไอโซโทปที่นำมาใช้เป็นสารติดตามในการหาปริมาณสารพิษตกค้างที่ให้รังสีเบตา ได้แก่ คาร์บอน - 14 (C-14), ไฮโดรเจน-3 (H-3), ซัลเฟอร์-35 (S-35) และ ฟอสฟอรัส-32 (P-32) (รัตนา สิตะยัง, 2536, หน้า 113-115)

ข้อดีของเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ประการแรกคือ ตัวอย่างที่นำมาทดลองใช้ปริมาณน้อย คือ ใช้ตัวอย่างหนึ่งประมาณ 100-1,000 มิลลิกรัม การวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ปริมาณน้อยนี้ ทำให้สามารถวางแผนการทดลองที่ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยได้ เช่น การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของต้นพืช ในการดูดซึมสารพิษสามารถย่อขนาดการทดลองโดยการปลูกพืชในกระถางใช้ต้นพืชประมาณ 5-10 ต้น ก็สามารถทำการทดลองได้ ประการที่สอง ติดตามสารพิษที่มีปริมาณน้อยได้ ซึ่งเทคนิคอื่น ๆ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ และยังไม่สามารถที่จะสกัดสารบางส่วนที่ยึดเกาะติดแน่นกับอนุภาคของตัวอย่างได้ ดังนั้น เทคนิคนี้จึงมีประโยชน์ในการติดตามปริมาณสารพิษตกค้างในสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะในสัตว์ ทำให้สามารถตอบปัญหาการเกิดพิษในลักษณะเรื้อรังได้เมื่อการติดตามผลตั้งแต่ต้น ประการที่สาม วิธีการวิเคราะห์ไม่ยุ่งยาก โดยสารตกค้างที่มีอยู่ในธรรมชาติของตัวอย่างดิน หรือตัวอย่างใด ๆ ก็ตาม จะไม่มารบกวนผลการวิเคราะห์แม้กระทั่งสารปนเปื้อนในตัวทำละลายที่ใช้ในห้องปฏิบัติการก็ไม่สามารถรบกวนผลได้ เพราะเราทำการวัดปริมาณรังสีจากสารคาร์บอน 14 ที่ติดป้าย (Labelled) ลงบนสารที่ต้องการศึกษา แล้วสามารถคำนวณกลับเป็นความเข้มข้นได้ หรือเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์จากสารเรดิโอไอโซโทปตั้งต้นหักลบด้วยค่าความแรงรังสีในธรรมชาติซึ่งค่อนข้างจะคงที่ ทำให้ได้ผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ประการที่สี่ สามารถหาปริมาณได้ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบของของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ โดยปกติการเตรียมตัวอย่างที่อยู่ในสภาพของแข็งมักนำมาเผาไหม้ที่มีความร้อนสูง แล้วจับ คาร์บอน-14 ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

หรือไฮโดรเจน-3 ในรูปของน้ำ นำไปวัดหาปริมาณ ถ้าอยู่ในสภาพของเหลวอาจสามารถนำมาวัดได้โดยตรงขึ้นอยู่กับชนิดของสารกัมมันตภาพรังสี (ยงยุทธ ไผ่แก้ว, 2543; ยงยุทธ ไผ่แก้ว และประภัสสรา พิมพ์พันธุ์, 2538; รัตนา สิตะยัง, 2536) Ivie (1982 cited in Anurakpongsatorn, 1998) ได้กล่าวว่า สารรังสีส่วนใหญ่ที่ได้มีการนำมาใช้ในการศึกษาจะเป็นสารรังสีคาร์บอน—14 ทั้งนี้ได้อาศัยเหตุผล คือ คาร์บอน-14 สามารถที่จะเกิดการรวมตัวกับสารกำจัดแมลงส่วนใหญ่ของสารอินทรีย์, สาร คาร์บอน-14 จะคายรังสีเบตาคลื่นสั้น ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัดและการปนเปื้อน สามารถสังเคราะห์ได้ง่าย และมีครึ่งชีวิตยาวนาน 5,730 ปี ซึ่งไม่มีสารรังสีตัวอื่นที่สลายตัวใกล้เคียงกับสารรังสีคาร์บอนตัวนี้

ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยมากมายที่ได้ใช้สารรังสี คาร์บอน-14 ในการติดตามเพื่อหาสารพิษ ตกค้างในสิ่งแวดล้อม Koskinen et al. (1998) ใช้คาร์บอน-14 ไดแคมบา (^{14}C-dicamba) เป็นตัวติดตาม ในการศึกษาความคงทนและการเคลื่อนที่ของสารในดิน พบว่า 97 เปอร์เซ็นต์อยู่ในดินช่วงความลึก 20 เซนติเมตร และพบปริมาณรังสีคาร์บอนเล็กน้อยในช่วงความลึก 80-90 เซนติเมตร คิดเป็น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ของสารที่ใส่ Martens (1976) ใช้ คาร์บอน-14 เอนโดซัลแฟน (^{14}C — endosulfan) เป็นตัวติดตาม ในแหล่งอาหารที่มีค่าพีเอชต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 10 วัน พบว่าปริมาณของเอนโดซัลแฟนไดออลที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันตามค่าพีเอชของอาหาร โดยเมื่อค่าพีเอชในอาหารเท่ากับ 4.3 มีเอนโดซัลแฟนไดออลเกิดขึ้นเข้มข้นน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 5.5, 6.3, 7 และ มากกว่า 8 เท่ากับ 2, 8, 28 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จันทร์ทิพย์ ธำรงศรีสกุล และนวลศรี ทยาพัชร (2537) ใช้สารคาร์บอน —14 เอนโดซัลแฟน (^{14}C-endosulfan) เป็นตัวติดตามศึกษาการสะสมและการถ่ายทอดสารพิษจากฟางข้าวสู่เห็ด ซึ่งปริมาณที่ใช้ในการปลูกข้าว 118.55 ไมโครคูรี พบในฟางข้าว 30.8 ไมโครคูรี ของปริมาณที่ใช้ในการปลูกข้าว และเมื่อนำไปเพาะเห็ดพบการตกค้างในแต่ละกอง ในปริมาณ 0.0003 และ 0.0012 ไมโครคูรี ตามลำดับ Mostafa, El-Arab, Abla Ezz, and Zayed (1987) ศึกษาปริมาณการตกค้างของระบบนิเวศน์จำลองในนาข้าว โดยใช้ คาร์บอน-14 ลินเดน (^{14}C-lindane) เป็นตัวติดตาม ระยะเวลาทั้งหมด 90 วัน พบว่า ในน้ำการตกค้างจะเพิ่มสูงในช่วง 20 วันแรก และหลังจากนั้น เริ่มลดลง สำหรับในดินจะลดลงตามลำดับ ตรวจพบสารลินเดนในส่วนของลำต้นข้าวมากที่สุดในวันที่ 4 ของการใส่สาร ปริมาณการตกค้างประมาณ 26 ไมโครกรัมต่อกรัม และในวันที่ 90 พบการตกค้างประมาณ 8 ไมโครกรัมต่อกรัม ในส่วนของรากข้าวนั้นตรวจพบการตกค้างมากที่สุดประมาณ 105 ไมโครกรัมต่อกรัม ในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง Freitag, Scheunert, Klein, and Korte (1984) ใช้คาร์บอน-14 คลอโรอะนิลีน (^{14}C-chloroaniline) เป็นตัวติดตาม ใส่สารที่ความลึก 10 เซนติเมตร หลังจากนั้น 20 สัปดาห์ นำสารรังสีมาวิเคราะห์ พบสารทั้งหมด 32.8 เปอร์เซ็นต์ของสารเริ่มต้น คิดเป็น 32.4 เปอร์เซ็นต์อยู่ใน

ดิน, 0.3 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในพืช และ 0.1 เปอร์เซ็นต์อยู่ในน้ำชะ ในดินพบว่า มีส่วนที่สกัดไม่ได้ 30.8 เปอร์เซ็นต์ และ 1.6 เปอร์เซ็นต์ สารเกิดการเปลี่ยนรูปไป ส่วนในพืชนั้น พบส่วนที่สกัดไม่ได้ 0.24 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นได้มีการนำพืชมาวิเคราะห์ในปี 2 พบสารรังสีอยู่ในมะเขือเทศ 32 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในแครอท 31.2 เปอร์เซ็นต์ Korte and Klein (1970) ศึกษาการตกค้างของสารในต้นข้าวโพด โดยใส่สารรังสี คาร์บอน-14 อัลดริน (^{14}C- aldrin) เป็นตัวติดตาม สรุปได้ว่า ในต้นข้าวโพดนั้น มีการตกค้างของสารในส่วนของ ราก มากที่สุด รองลงมาคือ ใบ ในส่วนของต้น และเมล็ดมีการสะสมในปริมาณน้อยที่สุด ตามลำดับ

ในการวิเคราะห์สารรังสีต้องมีเครื่องมือโดยเฉพาะ ซึ่งเครื่องมือที่นิยมนำมาใช้วัดสารรังสีไอโซโทป คือ ลิควิดซิลติลเลชัน (Liquid Scitillation Counter, LSC) เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ (Efficiently) สูง และสามารถวัดสารรังสีได้ในปริมาณต่ำ (Low Detection Limit) Uannunziata and Legg (1984 cited in Anurakpongsatorn, 1998) ได้สรุปว่า เครื่องวัดลิควิดซินทิลเลชัน นั้น เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณรังสีเบต้าในตัวอย่าง โดยทั้งนี้เครื่องวัดลิควิดซินทิลเลชัน มีข้อดีมากมาย ได้แก่ มีประสิทธิภาพในการวัดสูง การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้กับเครื่องมือไม่ซับซ้อน และระบบมีการทำงานโดยอัตโนมัติ วัดตัวอย่างได้ครั้งละจำนวนมาก จึงทำให้สะดวกในการใช้เครื่องมือ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University