

วิทยาลัยอาชีวศึกษา พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษปริญาตรี



เรื่อง

การศึกษาอิทธิพลของสารปราบศัตรูพืช
ที่มีต่อปริมาณแบคทีเรียในเขตอิทธิพลของรากถั่วเหลือง

โดย



T099718

นางสาวจรงใจ หินสูงเนิน

เสนอ

ภาควิชาปฐพีวิทยา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ร.พ.

๑ 141 11 เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

2534

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 99718
รับเดือนปี 18 3 1934

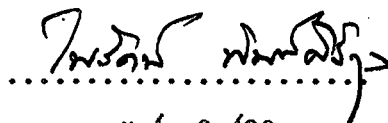
ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาปรัชญาศึกษา

เรื่อง

การศึกษาค้นคว้าของสารปราบศัตรูพืช
ที่มีต่อปริมาณแบคทีเรียในเขตอิทธิพลของรากถั่วเหลือง

โดย

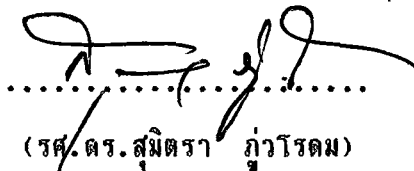
นางสาวจรงใจ หินสูงเนิน



(อ.ไพรัตน์ นิมพ์ศิริกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ดร.สมิตรา ก้าวโรตม)

หัวหน้าภาควิชาปรัชญาศึกษา

วันที่.../...เดือน.....พ.ศ. 2538

รพ.
๑๑๑๓
๒๕๓๗

คำนิยม

ปัญหาพิเศษเล่มนี้กว่าจะสำเร็จเป็นรูปเล่มได้ก็เพราะข้าพเจ้าได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลาย ๆ ท่าน ก่อนอื่นข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ไพรัตน์ ติมส์ศิริกุล ที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำปัญหาพิเศษของข้าพเจ้ามาโดยตลอด และกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้ข้าพเจ้าเกิดมาเป็นผู้ให้คำปรึกษา แนะนำ อบรม ตักเตือน และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ให้ข้าพเจ้าได้มีความรู้และศีลธรรมอันดีงาม และขอขอบคุณที่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และช่วยเหลือมาโดยตลอด และที่จะลืมไม่ได้เลยก็คือเพื่อนของข้าพเจ้า นางสาวนิจพร นราพงษ์ ที่ช่วยเหลือข้าพเจ้าโดยตลอด จนกระทั่งปัญหาพิเศษฉบับนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ได้ด้วยดี



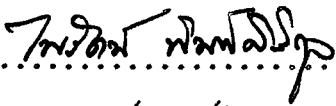
นางสาวจรุงใจ หินสูงเนิน

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การศึกษาอิทธิพลของสารปราบศัตรูพืชที่มีผลต่อปริมาณแบคทีเรียในดินเขตอิทธิพลของรากถั่วเหลือง

โดย : นางสาวจรุงใจ หินสูงเนิน

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

อาจารย์ที่ปรึกษา : 
(อ.ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล)

การศึกษาอิทธิพลของสารปราบศัตรูพืชที่มีผลต่อปริมาณแบคทีเรียในดินเขตอิทธิพลของรากถั่วเหลือง โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Random Design (CRD) โดยใช้ Azodrin ที่ความเข้มข้น 7 ระดับ (0, 1000, 2000, 4000, 8000, 16,000 และ 32,000 ppm.) และ Round up ที่ความเข้มข้น 7 ระดับ (0, 500, 10,000, 20,000, 40,000, 80,000 และ 160,000 ppm.) ฝังลงในกระถางที่ปลูกและไม่ได้ปลูกถั่วเหลือง ต่ารับละ 3 ขี้้า โดยกระถางที่ปลูกถั่วเหลืองจะใส่สารหลังจากต้นถั่วงอกได้ 10 วัน จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินมาตรวจนับปริมาณแบคทีเรียในอาหาร Nutrient Agar ภายหลังจากการใส่สารทั้งสองเมื่อเวลา 1, 3, 7, 15 และ 30 วัน ผลการทดลองพบว่าหลังใส่ 'Azodrin ในดินที่ปลูกถั่วเหลือง 1 และ 30 วันที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันมีผลให้ปริมาณแบคทีเรียที่พบมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ และการใส่สารอัตรา 32,000 ppm. ในดินที่ไม่ปลูกถั่วเหลืองจะทำให้ปริมาณของแบคทีเรียที่พบภายหลังใส่สาร 7 วันในดินที่ปลูกถั่วเหลือง และ 3 วันในดินที่ไม่ปลูกถั่วเหลือง นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ Round up อัตรา 160,000 ppm. ในดินที่ปลูกถั่วเหลืองและ 0 ppm. ในดินที่ไม่ปลูกถั่วเหลืองมีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียที่พบในดินภายหลังใส่สารดังกล่าวที่ระยะเวลา 1, 3, 7, 15 และ 30 วันมีค่าแตกต่างกันในทางสถิติ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	31
ผลการทดลอง	35
สรุปผลการทดลอง	50
วิจารณ์ผลการทดลอง	51
เอกสารอ้างอิง	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ปริมาณแบคทีเรียในชั้นต่าง ๆ ของหน้าตัดดิน	18
2. เอนไซม์ที่ถูกชักนำให้สร้างขึ้นในแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช	26
3. จุลินทรีย์ที่สามารถสร้างเอนไซม์อะมิเลส	27
4. ความคงทนของสารกำจัดวัชพืชบางชนิดในดินและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์	28
5. แสดงปริมาณเฉลี่ยของแบคทีเรียคิดเป็น logarithm หลังจากการใส่ Azodrin ในระดับและเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ปลูกถั่วเหลือง	36
6. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรียคิดเป็นค่า logarithm ภาย หลังการใส่ Azodrin ในอัตรา 0, 1000, 2000, 4000, 8000 , 16000 และ 32000 ppm. ในกระถางที่ปลูกถั่วเหลือง	37
7. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรียคิดเป็นค่า logarithm ภาย หลังการใส่ Azodrin ลงไป 1, 3, 7, 15 และ 30 วันตามลำดับในกระถาง ที่ปลูกถั่วเหลือง	38
8. แสดงปริมาณเฉลี่ยของแบคทีเรียคิดเป็น logarithm หลังจากการใส่ Azodrin ในระดับและเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ไม่ปลูกถั่วเหลือง	39
9. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรียคิดเป็นค่า logarithm ภาย หลังการใส่ Azodrin ในอัตรา 0, 1000, 2000, 4000, 8000 , 16000 และ 32000 ppm. ในกระถางที่ไม่ปลูกถั่วเหลือง	40
10. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรียคิดเป็นค่า logarithm ภาย หลังการใส่ Azodrin ลงไป 1, 3, 7, 15 และ 30 วันตามลำดับในกระถาง ที่ไม่ปลูกถั่วเหลือง	41
11. แสดงปริมาณเฉลี่ยของแบคทีเรียคิดเป็น logarithm หลังจากการใส่ Round up ในระดับและเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ปลูกถั่วเหลือง	43

ตารางที่	หน้า
12. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรียคิดเป็นค่า logarithm ภาย หลังการใส่ Round up ในอัตรา 0, 500, 10000, 20000, 40000, 80000 และ 160000 ppm. ในกระถางที่ปลูกข้าวเหลือง	44
13. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรียคิดเป็นค่า logarithm ภาย หลังการใส่ Round up ลงไป 1, 3, 7, 15 และ 30 วันตามลำดับในกระถาง ที่ปลูกข้าวเหลือง	45
14. แสดงปริมาณเฉลี่ยของแบคทีเรียคิดเป็น logarithm หลังจากการใส่ Round up ในระดับและเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ไม่ปลูกข้าวเหลือง	47
15. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรียคิดเป็นค่า logarithm ภาย หลังการใส่ Round up ในอัตรา 0, 500, 10000, 20000, 40000, 80000 และ 160000 ppm. ในกระถางที่ไม่ปลูกข้าวเหลือง	48
16. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรียคิดเป็นค่า logarithm ภาย หลังการใส่ Round up ลงไป 1, 3, 7, 15 และ 30 วันตามลำดับในกระถาง ที่ไม่ปลูกข้าวเหลือง	49

คำนำ

ถ้าเรามองดูกันให้ดี เราจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันนี้ได้มีการใช้สารกำจัดแมลงและสารกำจัดวัชพืชกันอย่างมากมายในหมู่เกษตรกร จุดประสงค์ในการใช้สารปราบศัตรูพืชเหล่านั้นเพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชเศรษฐกิจที่ปลูกให้สูงขึ้น โดยเฉพาะ Azodrin และ Round up เป็นสารปราบศัตรูพืชที่ค่อนข้างนิยมใช้กันอย่างมาก และมีผลตกค้างหรือสะสมในดินเป็นระยะเวลาอันยาวนาน อาจทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ตลอดจนมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อยู่ในดิน รวมถึงจุลินทรีย์และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งจุลินทรีย์ในดินมีบทบาทสำคัญหลายประการ กล่าวคือช่วยย่อยอินทรีย์วัตถุ ช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาให้พืชใช้และช่วยแปรสภาพของธาตุอาหารพืชให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ เป็นต้น นอกจากนี้สารปราบศัตรูพืชบางชนิดเมื่อสลายตัวแล้วยังสามารถกลายเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ได้ด้วย ในพื้นที่ทั่วไปที่มีการใช้สารปราบศัตรูพืชในการปลูกพืช อิทธิพลของรากพืชอาจมีอิทธิพลต่อสารปราบศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามสารที่สะสมอยู่ในดินก็จะสามารถสลายตัวสูญหายจากดินไปได้ซึ่งการสลายตัวของสารส่วนใหญ่ จะเป็นปฏิกิริยาทางชีววิทยา หรืออาจจะจะเป็นปฏิกิริยาทางเคมีก็ได้แต่มิใช่ และในดินที่มีการปลูกพืชนั้น รากพืชอาจสามารถขับสารบางอย่างออกมา ซึ่งสารที่พืชขับออกมาจะส่งเสริมหรือยับยั้งความเป็นพิษของสารปราบศัตรูพืชที่มีผลต่อจุลินทรีย์ สำหรับความคงทนของสารปราบศัตรูพืชที่สะสมอยู่ในดินจะอยู่ได้นานมากน้อยแค่ไหนนั้นอาจขึ้นอยู่กับ อิทธิพลของรากพืช ชนิด และปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการสลายตัวของสารปราบศัตรูพืชชนิดนั้น ๆ ดังนั้นการศึกษาถึงผลตกค้างของสารปราบศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อการมีชีวิตอยู่รอดของจุลินทรีย์ภายใต้เขตอิทธิพลรากพืชที่ระยะเวลาต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการเลือกใช้สารปราบศัตรูพืชให้มีประสิทธิภาพในการผลิตพืชต่อไป

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารปราบศัตรูพืชที่มีต่อปริมาณแบคทีเรียในดินเขตอิทธิพลรากแก้วเหลือง
2. เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของสารปราบศัตรูพืชที่มีต่อปริมาณแบคทีเรีย
3. เพื่อศึกษาผลของสารปราบศัตรูพืชที่มีต่อปริมาณแบคทีเรียที่ระยะเวลาต่างๆกัน

การตรวจเอกสาร

1. สารกำจัดวัชพืช

1.1 การจำแนกกลุ่มและสมบัติบางประการของสารกำจัดวัชพืช

มีการจำแนกสารกำจัดวัชพืชตามโครงสร้างทางเคมีโดยอาศัยลักษณะโครงสร้างโมเลกุล และตำแหน่งของอะตอม ของสารภายในโมเลกุลที่คล้ายคลึงกัน การจำแนกโดยอาศัยลักษณะของโครงสร้างทางเคมีสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. สารกำจัดวัชพืชที่เป็นอินทรีย์สาร (organic herbicides)
2. สารกำจัดวัชพืชที่เป็นอนินทรีย์สาร (inorganic herbicides) ในที่นี้ไม่ขอกล่าวถึงรายละเอียดเนื่องจากสารกำจัดวัชพืชที่ทำการศึกษาไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มนี้
3. สารกำจัดวัชพืชที่ไม่จัดอยู่ในกลุ่มหนึ่งกลุ่มใด (miscellaneous or unclassified herbicides)

สารกำจัดวัชพืชที่เป็นอินทรีย์สาร

สารกำจัดวัชพืชประเภทนี้ต่างจากสารกำจัดวัชพืชประเภทอนินทรีย์สาร คือสารประเภทนี้จะมีอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลของสารอย่างน้อยหนึ่งอะตอม สารกำจัดวัชพืชที่มีจำหน่ายในปัจจุบันส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มนี้และมีการผลิตชนิดใหม่เพิ่มขึ้นทุกปี สารประเภทนี้แบ่งเป็นหลายกลุ่ม การศึกษาพื้นฐานทางอินทรีย์เคมีจะช่วยให้เข้าใจการแบ่งกลุ่มธาได้ง่ายขึ้น เพราะการแบ่งกลุ่มของสารประเภทนี้อาศัยสูตรโครงสร้างทางเคมีช่วยจำแนก

พื้นฐานอินทรีย์เคมีบางประเภท

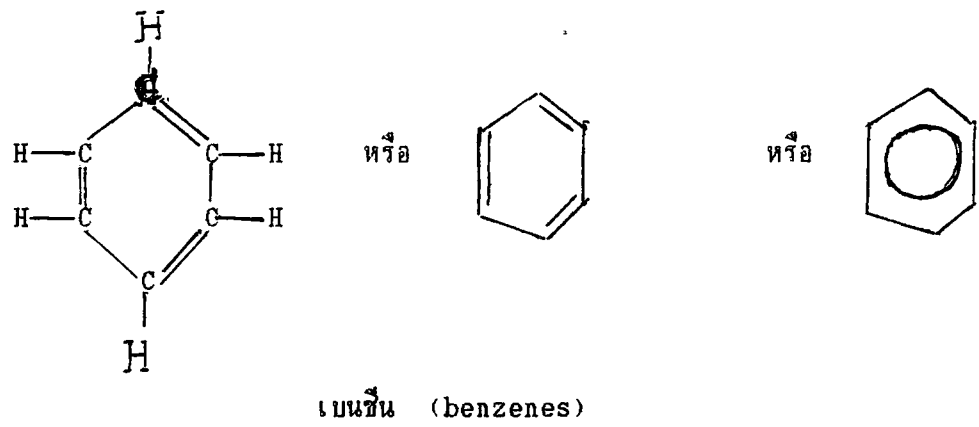
สารอินทรีย์มีอะตอมของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอย่างน้อย 1 อะตอม การยึดระหว่างคาร์บอนหลายอะตอมหรือยึดกับสารอื่น เรียกว่า บอนด์ (bond) ระหว่างอะตอม ดังนั้นจึงมีการเรียงตัวของอะตอมของคาร์บอนกับสารอื่นเป็นลูกโซ่ ซึ่งอาจจะเรียงตัวเป็นลูกโซ่ยาวเป็นเส้นตรงหรือมีการแตกกิ่งก้านสาขาหรือรูปวงแหวน อะตอมของคาร์บอนตัวเดียวหรือที่ยึดกันเป็นลูกโซ่สามารถเกิดบอนด์กับอะตอมของคาร์บอนเหมือนกัน หรือกับสารอื่นถึง 4 อะตอมในเวลาเดียวกัน

โดยทั่วไปโมเลกุลของสารอินทรีย์ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ 12 ชนิด ธาตุที่พบบ่อย ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ธาตุอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส และธาตุในกลุ่มฮาโลเจน

(ฟลูออรีน คลอรีน ไอโอดีน และโบรมีน) นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่น ๆ ที่เป็นโลหะ เช่น เหล็ก แมกนีเซียม และโคบอลต์ สกเวน เหล็ก แมกนีเซียมและโคบอลต์ ธาตุอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของสารกำจัดวัชพืช ที่เป็นอินทรีย์สารจะถูกย่อยสลาย

สารอินทรีย์ซึ่งมีอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจน เรียกว่าไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอนมี 2 ชนิด คือแซททูเรทเทด (saturated) หรืออั้นแซททูเรทเทด (unsaturated) ขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนระหว่างอะตอมของคาร์บอน 2 อะตอม ซึ่งในโมเลกุลหนึ่งจะมีหลายตำแหน่ง แซททูเรทเทด ไฮโดรคาร์บอนที่โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนหลายอะตอม เรียกว่า อัลเคน (alkanes) ส่วนอั้นแซททูเรทเทดไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีดับเบิลบอนด์ (double bonds) ระหว่างคาร์บอน 2 อะตอม เรียกว่า อัลคีน (alkenes) หรือ โอลีฟิน (olefines) ที่มีทริเบิลบอนด์ (triple bonds) เรียกว่า อัลคีน (alkynes) หรือ อะเซทิลีน แซททูเรทเทดไฮโดรคาร์บอนด์ (acetylene saturated hydrocarbons) ที่อะตอมของคาร์บอนไม่ได้ติดต่อกันเป็นวงแหวน เรียกว่า อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ส่วนอั้นแซททูเรทเทดของพวกอัลคีนที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ในวงแหวน เรียกว่า อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbons) หรือ เบนซีน (benzene) อะลิฟาติก และอะโรมาติกเป็นส่วนประกอบที่พบอยู่เสมอในโมเลกุลของสารกำจัดวัชพืช

เบนซีนเป็นส่วนประกอบของสารกำจัดวัชพืชหลายชนิด และควรที่จะทำความเข้าใจกับโครงสร้างเหล่านี้ บางครั้งการเขียนโครงสร้างของอะตอมอาจจะไม่จำเป็นต้องเขียนอะตอมของคาร์บอน และไฮโดรเจน



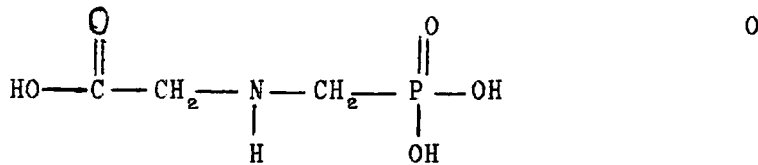
ปฏิกิริยาเบนซีนส่วนใหญ่เกิดจากการแทนที่ในริง (ring) อย่างไรก็ตามเบนซีนจะไม่ทำปฏิกิริยาแม้ว่าจะมี 2 บอนด์ ซึ่งความจริงเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางเคมี ว่าเลนท้อเลคตรอน (valence electron) ที่เป็นอิสระของอะตอมของคาร์บอนแต่ละตัวของเบนซีน จะ

ไม่ติดกับอะตอมของคาร์บอนตัวใดตัวหนึ่งในริง แต่จะเคลื่อนย้ายอย่างอิสระรอบ ๆ ริง ในโมเลกุลของเบนซีนถือว่าเป็นสนามแข่งขันของอิเล็กตรอน

โครงสร้างของอะตอมที่ขาด ไฮโดรเจนอะตอม เรียกว่า ฟีนิล ริง (phenyl ring) หรือกลุ่มฟีนิล (phenyl group) ซึ่งได้แก่โครงสร้างทางเคมีที่เป็นส่วนประกอบโมเลกุลของสารกำจัดวัชพืชบางชนิด

สารที่ไม่จัดอยู่ในกลุ่มหนึ่งกลุ่มใด (miscellaneous or unclassified herbicides)

สารในกลุ่มนี้ไม่ได้จำแนกว่าอยู่ในกลุ่มใด เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลแตกต่างจากสารกลุ่มต่างๆ ที่กล่าวมาและผลิตขึ้นมาเพียงชนิดเดียว ซึ่งไม่สามารถเรียกว่าเป็นกลุ่ม ดังนั้นจึงต้องนำมารวมไว้ในกลุ่มนี้ อาทิเช่น ไกลโฟเสท (glyphosate)



เอ็น-ฟอสโฟโนเมทิลไกลซีน

(N-phosphonomethyl glycine)

1.2 การเข้าสู่ภายในต้นพืชของสารกำจัดวัชพืช

การเข้าสู่ต้นพืชของสารกำจัดวัชพืชมีความสำคัญที่จะแสดงให้เห็นว่าสารกำจัดวัชพืชนั้นมีประสิทธิภาพในการทำลายวัชพืชได้หรือไม่ ถ้าสารไม่สามารถที่จะเข้าสู่วัชพืชได้ หรือ เข้าได้น้อย โอกาสที่จะทำลายวัชพืชก็มีน้อยด้วย พืชที่รับสารกำจัดวัชพืชเข้าสู่ภายในต้นพืชในปริมาณมากเกินไปอาจจะเป็นพืชต่อพืชนั้นด้วยการเข้าสู่ต้นพืชของสารกำจัดวัชพืชในอัตราที่แตกต่างกัน นับได้ว่าเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเลือกทำลาย ปัจจัยที่เห็นได้ชัดเจนน่ามีอิทธิพลต่ออัตราการเข้าสู่ต้นพืชของสารกำจัดวัชพืช ก็คือชนิดของสารที่ใช้ เวลาที่ใช้ ชนิดของวัชพืชและพืชปลูก นอกจากนี้พืชที่ปลูกชนิดเดียวกัน แต่ต่างพันธุ์อาจจะมีความสามารถที่จะยอมให้สารกำจัดวัชพืชเข้าสู่ภายในต้นพืชได้ไม่เท่ากัน

การเข้าสู่ภายในต้นพืชของสารกำจัดวัชพืชสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การเข้าสู่ต้นพืชโดยผ่านส่วนที่อยู่เหนือดิน คือ ใบ ได้แก่ การใช้สารประเภทหลังงอก หรือ การฉีดทางใบ การใช้สารประเภทหลังงอกมุ่งที่จะฉีดสารไปที่ใบวัชพืชเป็นส่วนใหญ่ ใบจึงมีความสำคัญมาก

ที่จะยอมให้สารกำจัดวัชพืชผ่านเข้าภายในต้นพืช ใบพืชจะได้รับสารมากหรือน้อยนั้น เนื่องจากการจัดเรียงของใบและมุมของใบกับกิ่ง ถ้ามุมระหว่างใบกับกิ่งอยู่ระหว่าง 50° ถึง 90° จะทำให้ใบเปียกมากหลังฉีดสาร และการที่ใบเปียกมากจะทำให้สารมีโอกาสที่จะเข้าสู่ภายในใบได้มาก สารสามารถเข้าสู่ใบได้ทางผิวใบพืช ทั้งด้านบนและด้านล่าง ผิวใบด้านล่างมีคิวติเคิล (cuticle) บางกว่ายอมให้สารผ่านเข้าได้ดีกว่าผิวใบด้านบน (Anderson, 1977) แนวทางที่จะเข้าสู่ภายในใบแบ่งได้ 2 ทาง คือ ก) การผ่านทางผิวใบ ข) การผ่านทางปากใบ (stomata)

2. การเข้าสู่ต้นพืชโดยผ่านส่วนที่อยู่ใต้ดิน คือ ราก ได้แก่ การใช้สารประเภทก่อนงอก ก่อนปลูก หรือการใช้สารทางดิน หลังจากวัชพืชงอกจากเมล็ดแล้ววัชพืชช่วงสัปดาห์ส่วนใหญ่จะยอมให้สารกำจัดวัชพืชเข้าสู่ภายในต้นได้ตรงบริเวณยอดใต้ดิน แต่วัชพืชใบกว้างชนิดอื่นยอมให้สารเข้าสู่ภายในรากเป็นส่วนใหญ่

บริเวณที่สารกำจัดวัชพืชเข้าสู่รากนั้นเชื่อว่าเป็นบริเวณเดียวกับที่น้ำเข้าสู่ต้นพืช คือบริเวณที่ห่างจากปลายราก 5 - 50 มิลลิเมตร ซึ่งบริเวณนี้อาจถือว่าเป็นบริเวณที่มีการยืดตัวของเซลล์ (cell elongation) เข้ามาบริเวณที่มีท่อน้ำเรียงตัวกันอย่างเพียงพอ และผนังเซลล์เอนโดเดอมิส (endodermis) มีลักษณะเรียงตัวกันอย่างไม่หนาแน่น ส่วนที่อยู่ภายนอกของบริเวณนี้มีเซลล์เอพิเดอมิส ซึ่งบางส่วนของเซลล์นี้ได้เปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ขน (root hair) และมีอยู่เป็นจำนวนมาก ในสภาพที่เหมาะสมของของเซลล์เอพิเดอมิสจะเปลี่ยนแปลงเป็นรากขนหมด แต่ภายใต้สภาพที่ไม่เหมาะสม สัดส่วนของเซลล์เอพิเดอมิสที่เปลี่ยนแปลงเป็นรากขนลดลงเหลือ 1 ต่อ 10 หรือน้อยกว่า รากขนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 - 20 ไมครอน ในพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร อาจมีรากขนเป็นจำนวน 50 - 500 ราก รากขนสามารถที่จะผ่านเข้าไปในช่องว่างของดินที่มีขนาดใกล้เคียงกัน และจะแนบสนิทกับอนุภาคของดิน รากขนช่วยเพิ่มพื้นที่สำหรับการดูดธาตุอาหารมากขึ้นถึง 20 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์เอพิเดอมิสเพียงอย่างเดียว ปกติรากขนจะมีอายุเพียง 2 - 3 วัน หรือ 2 - 3 สัปดาห์เท่านั้น แต่อาจมีอายุนานกว่านี้ อย่างไรก็ตามเมื่อแก่แล้วอาจจะไม่สามารถดูดน้ำและแร่ธาตุได้ เพราะผนังเซลล์จะหนาขึ้น เนื่องจากมีลักษณะหุ้มที่ผิว พืชจะสร้างรากขนขึ้นมาใหม่เสมอเพื่อทดแทนรากขนที่แก่

1.3 การเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืชภายในต้นพืช

ทางผ่านของสารกำจัดวัชพืชภายในต้นพืชจำแนกตามความมีชีวิตของพืชได้ 2 ทาง (Hay, 1976) คือ

1. อะโพรพลาส (apoplast) Munch (1930) ได้ให้ความหมายว่าเป็นการเคลื่อนย้ายที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งได้แก่ช่องว่างในผนังเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space)

(Lauchli, 1976 ; Baker, 1978) ท่อน้ำ (Craft and Crisp 1971) หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเป็นส่วนที่ไม่มีชีวิต (Anderson, 1977) ภายในต้นพืช เพราะช่องว่างในผนังเซลล์หรือช่องว่างระหว่างเซลล์ หรือท่อน้ำแต่ละส่วนจะเชื่อมติดต่อกันโดยตลอด จึงทำให้น้ำหรือสารละลายสามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างอิสระ ได้แก่ การเคลื่อนย้ายระหว่างผนังเซลล์ และระหว่างเซลล์ที่อยู่ในใบพืช (spongy) และพาลิเสด (palisade) ไปจนถึงท่อน้ำที่อาหาร หรือการเคลื่อนย้ายผ่านผนังเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ในคอร์เทกซ์ของราก

2. ซิมพลาสต์ (symplast) หมายถึง ภายในส่วนที่ทอหุ้มด้วยเมมเบรน หรือส่วนที่มีชีวิตภายในต้นพืช (Anderson, 1977; Klingmans and Ashton, 1975) คือการเคลื่อนย้ายภายในโปรโตพลาสต์นั่นเอง ปกติโปรโตพลาสต์ในเซลล์จะแยกกันอยู่ แต่สามารถเชื่อมต่อกันโดยพลาสโมเดสมตา (plasmodesmata) มีไซพลาสซึม (mesoplasm) อยู่ระหว่างเซลล์ไอออน และโมเลกุลสามารถเคลื่อนย้ายจากเซลล์หนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่งได้โดยปราศจากสิ่งกีดขวาง เช่น เมมเบรน ได้แก่การเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืชใน สีฟ อีลีเมนต์ (seive element) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของท่ออาหาร (Crafts and Crisp, 1971) การเคลื่อนย้ายของสารบางอย่างจากเซลล์ที่ผิวใบ (epidermis) ไปสู่เซลล์มีไซฟิลและท่อน้ำ ท่ออาหาร การเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืชจากไซโตพลาสต์ภายในรากขนผ่านภายในเซลล์ของคอร์เทกซ์ไปสู่ท่อน้ำที่อาหาร

1.4 ลักษณะพิเศษของการเคลื่อนย้ายสารกำจัดวัชพืชในต้นพืช

การเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืชภายในต้นพืช อาจถูกกระตุ้นให้เกิดขึ้นหรือยับยั้งโดยมีปฏิริยาภายในต้นพืช การถูกกระตุ้นให้เคลื่อนย้ายอาจเกิดขึ้นได้เมื่อไอออนหรือโมเลกุลของสาร เกาะหรือยึดกับสารที่ถูกสร้างขึ้นภายในต้นพืช และเป็นองค์ประกอบของเซลล์ สารกำจัดวัชพืชที่ไม่เคลื่อนย้ายภายในต้นพืชนั้น อาจเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

1. เกิดปฏิริยาระหว่างสารกับสารที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ เปลี่ยนเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือสารอื่นที่ไม่เคลื่อนย้ายในเซลล์
2. มีการยึดไอออนหรือโมเลกุลของสารกำจัดวัชพืชไว้ในแวกคิวโอลของเซลล์ สารไม่สามารถเคลื่อนย้ายออกจากแวกคิวโอล โดยผ่านโทโนพลาส (tonoplast)
3. มีการดูดยึดไอออนหรือโมเลกุลของสารกำจัดวัชพืชกับผนังเซลล์ขณะที่สารเคลื่อนที่ผ่านท่อน้ำที่อาหาร

สารกำจัดวัชพืชเข้าสู่ต้นพืชทางราก หรือส่วนที่อยู่ใต้ดินของพืชแล้วเคลื่อนย้ายขึ้นไปสู่ส่วนบนของต้นพืชโดยท่อน้ำและถูกส่งไปที่ใบพืช สารอาจจะไม่เคลื่อนย้ายในใบหรือเคลื่อนย้ายออกจากใบตามสารที่สังเคราะห์ขึ้นทางท่ออาหาร อัตราการเคลื่อนย้ายไปสู่ใบพืชเพิ่มตามอัตราการคายน้ำ

สารกำจัดวัชพืชที่เข้าสู่ต้นพืชทางใบ อาจจะไม่เคลื่อนย้ายออกจากใบหรือเคลื่อนย้ายออกจากใบไปพร้อมกับสารที่สังเคราะห์ในใบ สารอาจจะเคลื่อนย้ายออกจากท่ออาหารไปสู่เซลล์ข้างเคียงได้ อัตราการเคลื่อนย้ายของสารจากใบไปสู่รากขึ้นอยู่กับอัตราการเคลื่อนย้ายสารที่สังเคราะห์ขึ้นที่ใบไปสู่ราก อย่างไรก็ตามใบที่มีขีดจำกัดสามารถเคลื่อนย้ายไปสู่รากได้แต่ปริมาณน้อย สารกำจัดวัชพืชบางชนิดอาจเคลื่อนย้ายลงสู่ราก แล้วอาจเคลื่อนย้ายไปสู่ยอดโดยท่อน้ำได้อีก หรือบางอย่างเคลื่อนย้ายจากใบลงสู่ราก ถูกปลดปล่อยที่รากแล้วถูกดูดเข้าไปในราก เคลื่อนย้ายโดยท่อน้ำขึ้นไปสู่ใบพืชได้อีก

การเคลื่อนย้ายสารกำจัดวัชพืชภายในใบสู่ท่อน้ำ ท่ออาหารพบแยกออกได้ 2 ลักษณะ คือ

1. สารกำจัดวัชพืชถูกดูดเข้าภายในเซลล์เอพิเดอมิส จะเข้าสู่เซลล์มีไซโทฟิลล์รวมทั้งเซลล์พาลิเสดและสpongified พาเรนาไคมา การผ่านเซลล์หนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่งโดยทางพลาสโมเดสมาตาจนกระทั่งถึงเซลล์พาเรนาไคมาชนิดพิเศษที่ห่อหุ้มท่อน้ำ ท่ออาหาร (bundle sheath) แล้วจึงเข้าสู่ท่อน้ำท่ออาหาร

2. สารกำจัดวัชพืชบางชนิด โดยเฉพาะที่ละลายน้ำได้ จะเข้าสู่เซลล์เอพิเดอมิสเฉพาะบริเวณที่อยู่ส่วนบนของท่อน้ำท่ออาหาร แล้วสารนี้จะผ่านเข้าสู่เซลล์พาเรนาไคมาที่ล้อมรอบท่อน้ำท่ออาหารโดยตรง

สารกำจัดวัชพืชที่เคลื่อนย้ายในส่วนที่ไม่มีชีวิตภายในใบ จะเข้าสู่ท่อน้ำท่ออาหารโดยผ่านเมมเบรนหรือพลาสมาเลมมาของเซลล์มีไซโทฟิลล์ แล้วจึงเคลื่อนย้ายไปสู่ท่อน้ำท่ออาหาร

การเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืชบางชนิด จะมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลในพืช ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับอายุของใบที่ได้รับสาร ซึ่งพอจะแบ่งได้ดังนี้

1. ใบอ่อนของต้นพืชจะไม่เคลื่อนย้ายน้ำตาลออกจากใบ สารกำจัดวัชพืชก็ไม่เคลื่อนย้ายออกจากใบอ่อนนั้น

2. การเคลื่อนย้ายของน้ำตาลในใบที่เริ่มแก่ จะเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนยอดของพืช สารกำจัดวัชพืชก็จะเคลื่อนย้ายไปสู่ยอดของพืชเช่นเดียวกัน

3. ใบที่มีความแก่อย่างเต็มที่ก็จะเคลื่อนย้ายน้ำตาลไปสู่ราก สารจะเคลื่อนย้ายไปสู่รากด้วย

4. ใบที่มีอายุระหว่างใบที่เริ่มแก่กับใบที่แก่เต็มที่ จะมีปริมาณการเคลื่อนย้ายน้ำตาลไปสู่ส่วนบนและส่วนล่างของต้นพืชเท่ากัน สารกำจัดวัชพืชก็จะเคลื่อนย้ายเช่นเดียวกัน

5. น้ำตาลเคลื่อนย้ายจากใบพืชไปยังส่วนที่มีการเจริญเติบโต เช่น ยอดอ่อน ดอก และผลที่กำลังเจริญเติบโต สารกำจัดวัชพืชจะเคลื่อนย้ายไปสะสมพร้อมกับน้ำตาลด้วย ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช

6. เมื่อการเคลื่อนย้ายน้ำตาลในพืชชะงักลง การเคลื่อนย้ายของสารกำจัดวัชพืชก็จะชะงักลงด้วย

1.5 Glyphosate

อยู่ในรูปเกลือไอโซโพรพิลเอมีน (isopropylamine salt) ของไกลโฟเสทเป็นสารที่ใช้แบบหลังงอกและไม่เลือกทำลาย สารไม่เป็นพิษต่อพืชเมื่อลงสู่ดินแล้ว สารนี้สามารถเคลื่อนย้ายจากใบลงสู่ส่วนล่างของต้นพืชที่อยู่ใต้ดิน ควบคุมวัชพืชทั้งใบแคบและใบกว้างที่มีอายุฤดูเดียว แต่ส่วนใหญ่ใช้ควบคุมวัชพืชที่มีอายุหลายฤดู เช่น หญ้าคา หญ้าชันอากาศ วิธีการใช้โดยป้องกันไม่ให้ละอองสารปลิวไปสัมผัสกับใบพืชหรือส่วนที่มีสีเขียว ทำให้สารชนิดนี้สามารถใช้ในพืชปลูกหลายชนิดได้ อาการเป็นพิษที่พืชแสดงหลังจากได้รับสารจะปรากฏให้เห็นหลังจากใช้สารแล้ว 10 วัน สำหรับวัชพืชอายุหลายฤดูแต่ถ้าเป็นวัชพืชอายุฤดูเดียวอาการจะแสดงให้เห็นประมาณ 3 วันหลังจากใช้สารไกลโฟเสท ยับยั้งขบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโน ซึ่งเป็น อะโรมาติก ริง ซึ่งอาจจะมีการยับยั้งการทำงานของ คลอริสเมท มิวเทส (chorismate mutase) หรือ/และ พีโฟเนตดีไฮเดรเตส (prephenate dehydratase)

ไกลโฟเสทถูกย่อยสลายในพืชขึ้นสูงได้ช้ามาก เช่นในแคนนาดา ทิสเทิล (canada thistle) ไม่พบว่าการย่อยสลายไกลโฟเสทภายใน 1 สัปดาห์หลังจากการได้รับยา (Gottrapp, 1976) และไม่พบว่าการย่อยสลายในหัวหอม 16 วันหลังจากได้รับยา (Zandstra and Nishimoto, 1977) หรือมีการย่อยสลายในมิลล์ทรีด (milkeed หรือ *Asclepias syriaca*) และ เฮมพ์ดอกเป็น (hemp dogbend หรือ *Apocynum cannabinum*) (Wynill and Burnside, 1976) อย่างไรก็ตาม Putnum (1967) พบว่าการย่อยสลาย ^{14}C -1-methanglyphosate อย่างช้า ๆ ไปเป็นกรด ^{14}C -1-aminomethyl phosphoric acid หรือ AMP ในต้นแอปเปิลและสาละ 94 และ 80 วันหลังจากได้รับยาพบว่ามีกรดรูปเดิมอยู่ 92 ถึง 98 % ของที่สกัดได้ นอกจากนี้ยังมีผู้พบ AMP และ ซาร์โคซีน (sarcosine) หรือ $\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{COOH}$ เพียงเล็กน้อยในต้นผักบุ้งป่า (*Ipomoea purpurea*) ที่ได้รับยาไกลโฟเสท 1,7 และ 21 วัน (Sanberg et al, 1978)

นอกจากนี้สารกำจัดวัชพืชยังมีผลกระทบต่อกระบวนการหายใจและเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้พืชตายได้

2. สารกำจัดแมลง

มีสารกำจัดแมลงเป็นจำนวนมากที่นำมาใช้ในทางเกษตรกลางสู่ดิน อาจจะเป็นการฉีดคลุกเคล้ากับดินโดยตรง หรืออาจตกลงสู่ดินโดยทางอ้อมขณะทำการฉีดพ่น หรือหลังจากการฉีดพ่นแล้วถูกน้ำชะล้างจากส่วนต่าง ๆ ของพืชลงสู่ดิน สารกำจัดแมลงเหล่านี้โดยทั่วไป ถ้าตกค้างอยู่ตามผิวดินหรือใบพืช จะมีการสลายหายไปได้อย่างรวดเร็ว แต่มีเหตุผลหลายอย่างที่ทำให้เชื่อว่าสารกำจัดแมลงอาจแทรกซึมลงสู่ส่วนลึกของดิน สารกำจัดแมลงตามส่วนลึกของดินย่อมมีความทนทานต่อการย่อยสลายตัวเพิ่มขึ้น (Lichtenstein et al 1964) และ Nicholson et al (1962) ยิ่งพบว่าสารกำจัดแมลงที่ถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำลำคลอง อ่างเก็บน้ำต่าง ๆ นั้นมีผลเสียต่อแหล่งน้ำนั้นจำนวนมาก

สารกำจัดแมลงที่ตกลงสู่ดินและตกค้างอยู่ในดินจะค่อย ๆ ถูกย่อยสลายโดยขบวนการต่างๆ ได้ยากง่ายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารกำจัดแมลง และสภาพแวดล้อม ขบวนการต่างๆ ที่ย่อยสลายสารกำจัดแมลงนั้น อาจกล่าวได้ว่ามีขบวนการระเหย ขบวนการย่อยสลายทางเคมีธรรมดา ขบวนการย่อยสลายทางฟิสิกส์ และขบวนการย่อยสลายโดยการกระทำของจุลินทรีย์ นอกจากนี้สารกำจัดแมลงเหล่านี้ อาจถูกพืชดูดขึ้นไปใช้ หรือสะสมในส่วนต่างๆ ของลำต้น และถูกน้ำชะล้างออกไปจากบริเวณนั้น ขบวนการต่างๆ นี้เป็นทางหนึ่งที่ทำให้สารกำจัดแมลงสลายหายไป แต่สารปราบศัตรูพืชบางชนิดถูกคอลลอยด์ของดินดูดซับเอาไว้ มีผลให้สารกำจัดแมลงนั้นคงทนหรือตกค้างอยู่ในดินได้นานยิ่งขึ้น

2.1 สารปราบศัตรูพืชที่สะสมอยู่ในพืช

โดยทั่วไป พืช terrestrial จะไม่สะสมสารกำจัดแมลงชนิด epolar เช่น chlorinated hydrocarbon มากเหมือนที่สะสมอยู่ในดิน สารกำจัดแมลงชนิดดูดซึมสามารถดูดซึมเข้าไปในเซลล์พืชได้ดี และสารกำจัดแมลงชนิด semilipophilic ก็สามารถผ่านจากผิวใบพืชเข้าสู่ภายในได้ดีกว่าชนิด lipophilic ซึ่งสะสมอยู่ที่ผิวใบ รากพืชก็เป็นอีกแหล่งหนึ่งที่มีการสะสมของสารกำจัดแมลงโดยสะสมอยู่ที่ผิวราก

นอกจากคุณสมบัติของสารและพืชที่ทำให้การสะสมของสารกำจัดแมลงมีมากหรือน้อยแล้วยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกบางประการ เช่น วิธีการ ความเข้มข้น และความถี่ในการใช้สารกำจัดแมลง

สารกำจัดแมลงบางชนิดสะสมอยู่ที่ผิวพืชเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ถูกชะล้างออกได้ง่ายโดยการล้างน้ำ เช่น ผักบางชนิดที่ฉีดด้วย นิโคติน 1 ชั่วโมง พาราไซออน 24 ชั่วโมง และท็อกซาฟีน 24 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างน้ำปรากฏว่า 90% ของปริมาณสารที่ตกค้างถูกชะล้างไป

2.2 ปัจจัยที่ควบคุมการย่อยสลายสารกำจัดแมลงโดยจุลินทรีย์

Alexander (1966) ได้ให้เหตุผลว่าทำไมสารกำจัดแมลงที่ตกค้างอยู่ในดินมีความทนทานต่อการย่อยสลาย โดยกล่าวว่า

1. สารประกอบเหล่านั้นอาจจะไม่ย่ำต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดินภายใต้สภาวะนั้น หรือ
2. สารประกอบนั้นเป็นสารประกอบที่แปลกปลอมต่อจุลินทรีย์ หรือสารประกอบหลายชนิดในบริเวณนั้นเกิด interaction ทำให้เกิดสารประกอบใหม่ที่ทนทานต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ก็ได้

สารกำจัดแมลงบางชนิดอาจจะถูกย่อยสลายได้ แต่ถ้าหากมีการใช้ในอัตราสูงมาก ๆ จนเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระยะแรก ๆ ก็จริง แต่เมื่อทิ้งไว้นาน ๆ จุลินทรีย์จะปรับปรุงตัวให้มีความสามารถในการย่อยสลายจนจุลินทรีย์เหล่านั้นเพิ่มปริมาณมากขึ้น บางครั้งปริมาณที่เพิ่มขึ้นอาจจะมากกว่าในดินที่ไม่ได้รับสารกำจัดแมลงเสียอีก (Martin and Pratt, 1968) ความสามารถในการปรับปรุงตัวให้มีการย่อยสลายสารกำจัดแมลงนั้น อาจจะเป็นการรอให้ความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงลดลง โดยขบวนการย่อยสลายอื่น ๆ หรือเป็นการปรับปรุงเพื่อผลิตน้ำย่อยชนิดใหม่ออกมา และปรับปรุงน้ำย่อยที่ผลิตออกมาเพียงเล็กน้อยเพื่อให้มีความเหมาะสมเข้าทำการย่อยสลายได้ (Alexander, 1965)

การศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ควบคุมการย่อยสลายสารกำจัดแมลงโดยจุลินทรีย์ดิน ส่วนมากจะมุ่งศึกษาเฉพาะพวกที่มีความทนทานมาก ๆ เช่นพวก chlorinated hydrocarbon ซึ่งมีความทนทานได้สูงมากในดิน ทั้งนี้ Harris (1969) ได้ให้เหตุผลไว้ว่าสารกำจัดแมลงจำพวก chlorinated hydrocarbon มีความทนทานได้สูงมากในดิน ส่วนพวก organophosphorous compound เป็นพวกที่มีความทนทานค่อนข้างน้อย จึงไม่ค่อยมีใครสนใจมากนัก แต่เมื่อพิจารณาถึงความเป็พิษแล้ว สารกำจัดแมลงจำพวก organophosphorous compound มีความเป็นพิษได้สูง

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารกำจัดแมลง

การใช้สารกำจัดแมลงในการเกษตรจะได้ผลมากน้อยแค่ไหน สัมพันธ์อยู่กับปัจจัยหลายประการ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของสารกำจัดแมลงแตกต่างกันไป ปัจจัยที่สำคัญได้แก่

1. ปัจจัยที่เกิดจากคุณสมบัติของสารกำจัดแมลงเอง

ความสามารถของสารกำจัดแมลงแต่ละชนิด ในการเข้าสู่ร่างกายของแมลงจะแตกต่างกันไป เช่น DDT ผ่านเข้าสู่ร่างกายแมลงทางผนังลำตัวได้ดีกว่ายา Lindane และ Lindane ดีกว่า Chlordane แต่ในทางตรงข้ามสารกำจัดแมลง Chlordane เข้าสู่ร่างกายทางรูหายใจได้ดีกว่า Lindane และ Lindane ดีกว่า DDT เป็นต้น

สารกำจัดแมลงบางชนิดมีฤทธิ์ในทางเป็น repellent ทำให้แมลงไม่กินอาหาร หรือสารกำจัดแมลงบางชนิดเมื่อกินเข้าไปทางปากแล้วอาจถูกดูดซึมใน mid gut หรือทำให้สารเสื่อมประสิทธิภาพใน mid gut ได้

2. ระยะเวลาเจริญเติบโตของแมลง โดยปกติหนอนและตัวอ่อนจะถูกกำจัดได้ง่ายกว่าไข่ ดักแด้ และตัวแก่ หนอนหรือตัวอ่อนระยะแรกย่อมมีความต้านทานน้อยกว่าหรือตัวอ่อนที่มีอายุมากกว่าไข่จะอ่อนแอมากที่สุด ในระยะที่จะฟักออกเป็นตัว ระยะดักแด้เป็นระยะที่ทนทานต่อสารกำจัดแมลงมากที่สุด

3. สภาพแวดล้อม สภาพแวดล้อมในที่นี้หมายถึงสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ แสงแดด ความชื้น ฝน เป็นต้น ซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสารกำจัดแมลง สารกำจัดแมลงจะออกฤทธิ์ฆ่าแมลงได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ยกเว้น DDT, methoxychlor และ TDI ฝนที่ตกลงมาช่วยชะล้างสารกำจัดแมลงที่ละลายน้ำได้ดีออกไปได้มาก หรือกระแสน้ำพัดพาละอองของสารกำจัดแมลงไปที่อื่น

4. สภาพของพืช พืชที่มีผิวใบเป็นไข (wax) ทำให้สารปราบศัตรูพืชไม่ค่อยติดใบพืช และรวมตัวกันไหลลงสู่พื้นดินได้ง่าย หรือพืชที่มีการเจริญเติบโตเร็ว จะมีส่วนของพืชที่แตกใหม่ไม่มีพิษตกค้างของสารกำจัดแมลง

5. การเลือกใช้เครื่องมือฉีดสารกำจัดแมลง เครื่องมือฉีดสารมีผลอย่างมากต่อการป้องกันกำจัดแมลง การกำหนด droplet ของสารที่ตกลงบนต้นพืช ย่อมมีผลโดยตรงต่อการทำลายแมลง โดยปกติขนาดของ droplet ที่เหมาะสมสำหรับการฉีดสารบนพื้นดิน ตั้งแต่ 30-40 ไมครอน ถ้าฉีดจากเครื่องบินในระยะ 25 ฟุต ขนาดของ droplet ควรเป็น 70-100 ไมครอน

2.4 ประเภทของสารกำจัดแมลง (classes of insecticides)

นักวิทยาศาสตร์ได้แบ่งประเภทของสารกำจัดแมลงเป็นหลายแบบด้วยกัน ทั้งขึ้นอยู่กับวิธีการที่จะยึดอะไรเป็นหลักในการแบ่งประเภทของสารกำจัดแมลง เช่น แยกประเภทตามหนทางที่สารกำจัดแมลงจะเข้าทำลาย หรือตามแบบที่เป็นพิษต่อประเภทของแมลงหรือตามพิษตกค้าง หรือลักษณะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับแมลง เป็นต้น ก่อนการสังเคราะห์สารกำจัดแมลงประเภทอินทรีย์สังเคราะห์ นักวิทยาศาสตร์ได้แบ่งประเภทของสารตามหนทางที่สารเข้าทำลาย คือ

1. stomach poison หมายถึงสารพิษที่ทำอันตรายโดยการกินสารพิษเข้าไป
2. contact poison หมายถึงสารพิษที่ทำอันตรายโดยการสัมผัสทางผิวหนัง
3. fumigant poison หมายถึงสารพิษที่ทำอันตรายโดยการเข้าสู่ร่างกายในรูปของก๊าซทาง

ระบบหายใจ

หลังจากที่ได้มีการสังเคราะห์สารกำจัดแมลงประเภทอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น DDT, parathion, cabaryl เป็นต้น ทำให้การแบ่งประเภทของสารกำจัดแมลงเกิดซ้ำซ้อนขึ้น เพราะสารชนิดเดียวกันสามารถทำอันตรายแมลงได้หลายทาง เช่น เป็นทั้ง stomach, contact และ fumigant poison เพื่อให้สะดวกและง่ายขึ้น แบ่งประเภทของสารกำจัดแมลงตามลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของสารพิษนั้น ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

1. Inorganic insecticides ได้แก่สารกำจัดแมลงประเภทสารหนู เช่นสารหนูตะกั่ว สารหนูขาว สารหนูเขียว โบแรกซ์ และผงกำมะถัน เป็นต้น

2. Organic insecticides ได้แก่สารกำจัดแมลงประเภทน้ำมันชนิดต่าง ๆ สารกำจัดแมลงได้จากพืช และจากการสังเคราะห์สารประเภทสารอินทรีย์ เช่น พาราไธออน เป็นต้น

Azodrin

ชื่อสามัญ Monocrotophos

ชื่อทางเคมี 1-methyl-2-methylcarbamoylvinyl phosphate

สูตรโครงสร้าง $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{PO}.\text{OC}(\text{CH}_3)=\text{CH}.\text{CO}.\text{NH}.\text{CH}_3$

เป็นสารกำจัดแมลงที่จัดอยู่ในประเภท organophosphate ซึ่งสารเหล่านี้ได้มาจากการแปรสภาพของกรดฟอสฟอริก ซึ่งสารนี้มีความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังสูงกว่าสารกำจัดแมลงชนิด organochlorine มีความสามารถในการกำจัดแมลงกว้างขวางมากกว่า และไม่มีความคงทน ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีของสารจำพวกนี้ คือมีประสิทธิภาพสูงในการฆ่าแมลงและมีพิษตกค้างน้อยมากในสิ่งแวดล้อม Azodrin จัดอยู่ในประเภทสารปรออลิฟาติก ซึ่งเป็นสารแปรง่าย ๆ ของกรดฟอสฟอริกที่ประกอบด้วยโบคาร์บอนสั้น ๆ ต่อเชื่อมกันในทางตรง มีคุณสมบัติเป็นสารดูดซึมในพืช ออกฤทธิ์ได้เร็ว สามารถกำจัดแมลงได้หลายชนิดเช่นเพลี้ยชนิดต่างๆ ไร ค้างคาวแมง และหนอนผีเสื้อ และหนอนชอนใบ เป็นต้น และมีพิษต่อสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมสูง โดยเฉพาะดูดซึมทางรากของพืชแล้วขนย้ายไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช สารพวกนี้มีพิษต่อแมลงชนิดที่มีปากแบบดูดเจาะทั่ว ๆ ไปได้ดี หนอนที่กัดกินอยู่ภายในเนื้อเยื่อหรือหนอนกินใบจะไม่ค่อยมีผลนักเพราะกัดกินปริมาณไม่มากและเพียงพอที่จะทำให้เกิดพิษได้

2.5 สารกำจัดแมลงที่สะสมในดิน

ในการใช้สารกำจัดแมลงกับพืชชนิดต่างๆ มีผลทำให้สารบางส่วนหรือส่วนใหญ่ตกลงสู่พื้นดินปริมาณของสารกำจัดแมลงจะสะสมอยู่ในดินได้มากหรือน้อย ย่อมขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกหลายประการ ได้แก่

1. การดูดซับของเม็ดดินและอินทรีย์วัตถุ
 2. การชะล้างของน้ำ
 3. การระเหยไปในอากาศ
 4. การ degradation หรือ activation โดยจุลินทรีย์ในดิน
 5. สภาพของดิน หรือส่วนประกอบของดิน ในการทำให้เกิดปฏิกิริยา degradation หรือ activation
 6. การสลายตัวโดยน้ำ
 7. การเคลื่อนย้ายของสารกำจัดแมลงสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก เช่นรากพืชดูดสารกำจัดแมลง
- ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการตัดสินใจเกี่ยวกับความคงทนของสารกำจัดแมลง ได้แก่คุณสมบัติของสารกำจัดแมลง เช่น การละลาย การระเหย เป็นต้น สารปราบศัตรูพืชที่สะสมอยู่ในดินได้นาน ส่วนใหญ่เป็นประเภท Chlorinated hydrocarbon เช่น DDT, BHC, Chlordane, Dieldrin และ Hyptachlor เป็นต้น

2.6 การเคลื่อนย้ายของสารกำจัดแมลงในดิน

Helling (1971 a,b,c) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดแมลงในดิน

1. โดยอาศัย Thin Layer Chromatography (TLC) โดยอ้างถึงค่า R_f ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ซึ่งจะคงไม่ไวต่อการเคลื่อนย้ายของทรายขนาดหยาบ และขนาดปานกลาง ระยะทางที่เคลื่อนย้าย ความหนาของชั้นดิน อุณหภูมิและขนาดของตัวอย่าง (0.3-5.0 ไมโครกรัม) จึงได้ใช้ water flux มาเกี่ยวข้องกับวิธี soil amendment (โดยการเติมทั้งอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุ) ทำให้การซึมผ่านของน้ำในดินลดลงโดยการ pretreat ดินด้วย longchain aliphatic compounds หรือ polyvalent anions แต่จะเพิ่มเมื่อเติม polyvalent cations ลงไป และวิธี solvent amendment โดยการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของ solvent การเพิ่มขึ้นของ flux อาจจะไปเพิ่มการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดแมลง

2. โดยอาศัย Soil Thin Layer Chromatography พบว่าการแพร่กระจายมีทั้งในดินในดินที่ชื้นและดินที่แห้งในที่ที่มีการเกิด methyl esterification จะทำให้การเคลื่อนย้ายไปข้างหน้าลดลง แต่ในขณะที่การแพร่กระจายและการระเหยของสารกำจัดแมลงเพิ่มขึ้นค่า R_f ที่ได้จะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของดินในช่วง pH 5.0 ถึง 6.5 หรือ 7.0 โดยจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนย้าย ทำให้การเคลื่อนย้ายเพิ่มขึ้น แล้วยังเกี่ยวข้องกับรากที่สองของของเวลาด้วย นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบ

ของดินรวมทั้งการเกิด oxidation ของอินทรีย์วัตถุในดินและ clay ก็เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายด้วยการเคลื่อนย้ายจะเพิ่มขึ้นตามการเคลื่อนย้ายของอินทรีย์วัตถุ

3. โดสวิธี simple correlation และ multiple linear regression พบว่าคุณสมบัติของดินมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดแมลงโดยอาศัยการวิเคราะห์โดสวิธี simple correlation และ multiple linear regression โดยพบว่าการเคลื่อนย้ายของ monoionic compounds จะเป็นสัดส่วนกลับกับปริมาณความชื้นในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณดินเหนียวภายในดิน และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ส่วนการเคลื่อนย้ายสารประกอบที่เป็นกรด จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับปฏิกิริยาของดิน และการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดแมลงมีแนวโน้มเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของ water flux

3. จุลินทรีย์ดิน

ดินนั้นมีส่วนประกอบที่เป็นสิ่งมีชีวิตอยู่ด้วย และสิ่งมีชีวิตที่จะกล่าวถึง ก็เป็นเพียงเฉพาะสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่า "จุลินทรีย์" ซึ่งปกติจะถือว่าเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จึงจะมองเห็นได้ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก หรือจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ในดิน มีอยู่หลายกลุ่มด้วยกัน เช่น แบคทีเรีย (Bacteria) แอคติโนมายซีส (Actinomycetes) รา (Fungi) สาหร่าย (Algae) โปรโตซัว (Protozoa) เชื้อไวรัส (Viruses) ฯลฯ ในแต่ละกลุ่มก็มีอยู่หลายสกุล (Genus) หลายชนิด (Species) และหลายสายพันธุ์ (Strain)

3.1 แบคทีเรีย

โดยทั่วไปแบคทีเรียในดินมีอยู่หลายจำพวกด้วยกัน เฉพาะที่อยู่ใน Class Schizomycetes มีอยู่ 10 order แต่มีอยู่เพียง 3 order เท่าที่ปรากฏว่ามีอยู่มาก และมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติของดินแบคทีเรีย 3 order ดังกล่าวนี้ คือ

1) Order Pseudomonadales

Family Pseudomonadaceas. *Pseudomonas*, short, gram-negative, non-spore-forming rods. Aerobic, Frequently produce blue or green fluorescent pigments

2) Order Eubacteriales

Family Rhizobiaceae.

Rhizobium. Gram-negative, aerobic, non-spore-forming rods that form nodules on legumes. Numerically not abundant.

Agrobacterium. Short, gram-negative, non-spore-forming rods. Facultative anaerobes. Non-Chromogenic.

Chromobacterium. Short, gram-negative, non-spore-forming rods. Facultative anaerobes. produce violet pigments.

Family Achromobacteriaceae.

Achromobacter. Gram-negative, non-spore-forming, non-chromogenic rods

Flavobacterium. Short, gram-negative rods. produce yellow or organic pigments.

Family Micrococaceae.

Micrococcus. Spherical cells, gram-positive or sometime gram-negative. Cells in irregular groups.

Serina. Spherical cells in packets. Usually gram-positive

Family Corynebacteriaceae.

Corynebacterium. Rods straight or slightly bent, usually aerobic. Cells contain irregularly stained segments or granular. gram-positive. Soil forms often more aptly considered as *arthrobacters*.

Arthobacter. Usually rods when young becoming coccoidal. Gram variable when young positive when old.

Family Bacillaceae.

Bacillus. Aerobic or facultatively anaerobic rods that form endospores.

Clostridium. Anaerobic rods that form endospores.

3) Order Actinomycetales.

Family Mycobacteriaceae. *Mycobacterium*. Gram-positive, aerobic, non-motile rods. Acid fast. (Many isolates originally placed in genus are now considered to be actinomycetes of the genus *Nocardia*)

3.2 นิเวศวิทยา และปริมาณของแบคทีเรียในดิน

ตามหลักทางนิเวศวิทยา นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Winogradsky แบ่งจุลินทรีย์ดินรวมทั้งแบคทีเรียด้วย ออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ "autochthonous" หรือจุลินทรีย์พวก "indigenous species" และอีกพวกหนึ่งคือ "Zymogenous" หรือที่เรียกว่า "fermentation-producing organisms" พวกแรกประกอบด้วยจุลินทรีย์ หรือแบคทีเรียที่อาหารที่มีอยู่แล้วในดินโดยเฉพาะอินทรีย์วัตถุในดิน ดังนั้นจึงไม่ต้องการอาหารภายนอกดิน ปริมาณของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียพวกนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่จะคงที่อยู่ตลอดเวลา พวกที่สอง (Zymogenous) ปกติจะมีอยู่น้อยมากในดินแต่เมื่อมีอาหารโดยเฉพาะอินทรีย์วัตถุเพิ่มเติมลงไปดิน ปริมาณจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์พวกนี้เป็นจุลินทรีย์ที่มีความไวต่อสิ่งแปลกปลอมที่เพิ่มเติมลงไปดินอย่างยิ่งเมื่อสิ่งแปลกปลอมหรืออาหารที่เพิ่มเติมลงไปดินลดลงปริมาณของจุลินทรีย์พวกนี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียพวกแรก คือแบคทีเรียใน genus *Arthobacter* และบาง species ของ *Bacillus* ส่วนพวกที่สองนั้นได้แก่แบคทีเรียส่วนใหญ่ใน genus ต่างๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

ปริมาณของแบคทีเรียในดินโดยทั่วไป นับได้ว่ามีอยู่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์ดินกลุ่มอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการประเมินจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ นั้นเป็นการยากที่จะทำให้กล่าวได้อย่างมีความเชื่อมั่นว่าจุลินทรีย์กลุ่มไหนมีมากกว่ากลุ่มไหน ทั้งนี้เพราะอาหารที่ใช้ในเทคนิคการประเมินปริมาณจุลินทรีย์นั้นไม่สามารถจะทำให้จุลินทรีย์ทุกชนิดเจริญเติบโตได้แม้แต่แบคทีเรียกลุ่มเดียว อาหารที่นิยมใช้สำหรับการนับนั้น ก็ไม่สามารถจะทำให้แบคทีเรียทุกๆ genus หรือ species เจริญได้ คงมีบางพวกที่เจริญได้ดี และบางพวกที่เจริญได้พอสมควร บางพวกเจริญไม่ได้เลย อย่างไรก็ตามก็มีเทคนิคกลางๆ ที่นิยมใช้สำหรับการประเมินปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (total number) ไว้เป็นเกณฑ์มาตรฐาน

การประเมินปริมาณแบคทีเรีย นอกจากนี้อาจยังมีข้อผิดพลาดอันอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากเทคนิคการนับหรือการประเมินแล้ว การส่มตัวอย่างหรือการเก็บตัวอย่างดินก็นับได้ว่ามีความสำคัญ เพราะแบคทีเรียในแต่ละชุดดินอาจแตกต่างกันได้ นับเป็นหนึ่งพัน หรือหนึ่งหมื่นเซลล์ เช่น ในกรณีของปริมาณของแบคทีเรียในชั้นต่างๆ ของหน้าตัดดิน ดังที่ปรากฏในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแบคทีเรียทั้งพวกที่ต้องการ

อากาศ (aerobic) และพวกที่ไม่ต้องการอากาศ (anaerobic) ในการหายใจมีความแตกต่างกันมากในแต่ละชั้นของหน้าตัดดิน

ค่าที่ได้จากการประเมิน ปริมาณทั้งหมดของจุลินทรีย์ หรือแบคทีเรียนี้ คงมีความหมายเพียงเล็กน้อยในแง่ของการประเมินกิจกรรมของแบคทีเรียในดิน หรือบางกรณีอาจใช้ประเมินถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อย่างคร่าวๆ การประเมินปริมาณของแบคทีเรียจะมีความหมายมากขึ้น และใช้ประกอบการพิจารณากิจกรรม รวมทั้งความเป็นไปได้ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของดินได้ดียิ่งขึ้นจำเป็นต้องประเมินจุลินทรีย์ หรือแบคทีเรีย ที่มีกิจกรรมนั้นๆ โดยเฉพาะการใช้อาหารสำหรับแบคทีเรียในกลุ่มนั้นๆ (selective medium)

ตารางที่ 1 ปริมาณแบคทีเรียในชั้นต่างๆ ของหน้าตัดดิน

ชั้นในหน้าตัดดิน	ความลึก ซม.	จำนวนแบคทีเรียต่อดินแห้ง 1 กรัม * 10 ³	
		Aerobic	Anaerobic
A ₁	3-8	7,800	1,950
A ₂	20-25	1,800	379
A ₂ -B ₁	35-40	472	98
B ₁	65-75	10	1
B ₂	135-145	1	0.4

แบคทีเรีย ตามที่ปรากฏในตารางนั้นมักมีอยู่ในดินในปริมาณที่แตกต่างกันไป เช่นแบคทีเรียพวกมักจะปรากฏว่ามีอยู่มากในดินโดยทั่วไป ในบรรดาแบคทีเรียดังกล่าวนี้แบคทีเรียใน genus Pseudomonas และ Bacillus เป็นพวกที่มีอยู่มากที่สุดในดินรองลงมาก็คือ genus Arthrobacter

และ Agrobacterium ทั้งนี้ต้องยกเว้นดินที่มีสมบัติเฉพาะ เช่น ดินเปรี้ยวจัด ดินเค็ม หรือดินที่มีต้นกำเนิดหรือมีการสะสมของธาตุ สารประกอบ ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือหลายชนิดอยู่ในปริมาณสูงเป็นพิเศษ ดินพวกนี้ย่อมมีชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์แตกต่างไปจากดินโดยทั่วไป ทั้งนี้เป็นเพราะจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย ที่มีอยู่ในดินนั้นๆ จะต้องเป็นพวกที่สามารถใช้ประโยชน์ หรือมีความทนทานต่อสภาพหรือสมบัติของดินนั้นๆ ได้ดี จึงจะมีชีวิตและเจริญอยู่ได้ในดินนั้น ตัวอย่างเช่น ในดินเปรี้ยวจัด มักจะมีแบคทีเรียพวก Thiobacillus และ Desulfovibrio และในดินเค็ม ก็มักจะมีพวก halophillic microorganisms อยู่เป็นจำนวนมาก

3.3 แบคทีเรียในอาณาเขตอิทธิพลรากพืชต่างๆไป

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า โดยทั่วไปบริเวณรากพืชจะมีปริมาณของจุลินทรีย์มากกว่าในบริเวณที่ห่างออกไป จากการทดลองตั้งแต่ปี ค.ศ. 1903 จนถึงปัจจุบันได้พยายามพิสูจน์ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับชนิด และปริมาณของจุลินทรีย์ ที่เพิ่มขึ้นมาในบริเวณรากพืช เริ่มตั้งแต่ Velich (1903) ได้พบว่าแบคทีเรียในบริเวณรากพืชมากกว่าในบริเวณที่ตัดออกไป และได้รับการสนับสนุนโดย Hoffman (1914) และ Le Clair (1915) สำหรับเรื่องนี้ Hiltner (1904) เป็นผู้หนึ่งที่ได้พยายามศึกษาอย่างจริงจังขึ้นมา ในระยะต่อมากการทดลองเพื่อทดสอบข้อเท็จจริงนั้นได้พยายามใช้เทคนิคใหม่ๆ เช่น Witsor and Lyon (1926) ได้ปลูกพืชในสภาพ Sterile condition แล้วใส่เชื้อแบคทีเรียที่บริสุทธิ์ลงไป พบว่าแบคทีเรียเหล่านั้นเพิ่มปริมาณมากขึ้นกว่าบริเวณที่ไม่ได้ปลูกพืช

ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์กับสารต่างๆ ที่พืชขับออกมาสามารถอธิบายได้ว่าการปลูกพืชในสภาพ sterile condition สารขับจากรากพืชที่ขับออกมามีน้อยกว่าการปลูกพืชในสภาพ non sterile condition ที่เชื่อกันว่าเป็นเพราะจุลินทรีย์นั่นเองที่ช่วยกระตุ้นให้พืชขับสารขับจากรากพืชออกมามากยิ่งขึ้น Martin (1958) ได้สนับสนุนว่าแบคทีเรียเป็นสาเหตุให้สารขับจากรากพืชพวก skopoletin ขับออกมาเพิ่มขึ้นสามเท่า และ Norman (1955) ก็ได้สนับสนุนเช่นกันว่า antibiotic ที่จุลินทรีย์บางชนิดผลิตออกมาเช่น polyxin และ polypeptides เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมสารต่างๆ ที่พืชขับออกมามีสาร antibiotic จำพวกนี้จะช่วยทำให้พืชขับสารขับจากรากพืชออกมากขึ้น ดังนั้นในปัจจุบันเชื่อว่าจุลินทรีย์ดินมีบทบาทต่อการขับสารขับจากรากพืชของพืชได้สามทาง คือ จุลินทรีย์ช่วยเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการซึมซับน้ำ (permeability) ของเซลล์รากพืช จุลินทรีย์ช่วยปรับปรุงแก้ไข (modifying) กระบวนการ metabolism ของรากและจุลินทรีย์ที่ช่วยปรับปรุงแก้ไขสารบางอย่างที่พืชขับออกมา ความสัมพันธ์เหล่านี้เองที่ช่วยกระตุ้น การขับสารขับจากรากพืช (Rovira, 1963)

3.4 ปริมาณของแบคทีเรียในบริเวณรากพืช

Starkey (1929) ได้กล่าวว่าเมื่อพิจารณากันอย่างใกล้ชิดจะพบว่าชนิดของจุลินทรีย์ในบริเวณรากพืชมิได้แตกต่างกันเลยแต่ปริมาณเท่านั้นที่แตกต่างกันไป จุลินทรีย์ที่เพิ่มปริมาณขึ้นมาจะมีทั้งแบคทีเรียรา และแอคติโนมายซิส แต่การศึกษาส่วนใหญ่ จะมุ่งไปเฉพาะแบคทีเรียซึ่ง Alexander (1961) พบว่าแบคทีเรียที่เพิ่มปริมาณขึ้นมาอาจถึง 10^8 เซลล์ต่อดินหนึ่งกรัม การศึกษาปริมาณของจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรีย ไม่น่าจะมีความสำคัญเท่ากับชนิดของแบคทีเรียที่เพิ่มปริมาณขึ้นมา

3.5 ชนิดของแบคทีเรียในบริเวณรากพืช

การที่แบคทีเรียชนิดไหนสามารถเพิ่มปริมาณได้อย่างมากในบริเวณรากพืช นักวิทยาศาสตร์หลายท่าน เช่น Kaunat (1970) ได้ให้เหตุผลว่า เนื่องจากพืชขับสารจำพวก growth factor บางชนิด เช่น vitamin B complex, trace element บางชนิด และ amino acid เป็นต้น พืชจะขับสารต่าง ๆ ได้แตกต่างกันไป แต่เมื่อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นมาได้หลายชนิดจะพบการแก่งแย่งกันขึ้น ซึ่ง Katznelson and Rouatt (1957) เชื่อว่าแบคทีเรียที่แยกเชื้อจากดินบริเวณรากพืชจะมีกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วว่า จะสามารถทำการ reduce methylene blue ซึ่งสามารถผลิตกรดจาก glucose และผลิต ammonia จาก peptone ได้ดีกว่าแบคทีเรียที่แยกเชื้อจากดินธรรมดา นอกจากนี้ Alexander (1961) ก็ได้สนับสนุนเช่นกันว่าแบคทีเรียที่แยกเชื้อออกจากดินบริเวณรากพืชจะเจริญในอาหารพิเศษที่ใช้เลี้ยงเชื้อได้ดีกว่าแบคทีเรียที่แยกเชื้อจากดินธรรมดา

การศึกษานิดของแบคทีเรียในบริเวณรากพืชที่เพิ่มปริมาณขึ้นมาโดยการแยกเชื้อบริสุทธิ์ กระทำโดยนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน Lochhead (1940), Johnson and Levine (1971), Rouatt and Katznelson (1961), Ranggaswami and Vasantharajan (1962) and Vagnerova *et al.* (1960a) and (1960b) มีความคิดเห็นตรงกันว่าบริเวณรากพืชที่เรียกว่า rhizosphere จะพบแบคทีเรียพวก Gram-negative nonsporulating rod shape มากกว่า Gram-positive nonsporulating rod shape, pleomorphic rod and cocci ดังนั้นจึงเชื่อว่าแบคทีเรียพวก Gram-negative rod shape น่าจะเป็นพวกที่ปฏิกริยามีกิจกรรมได้มากกว่าแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ แต่ King and Wallace (1956) ได้กล่าวอ้างว่าการพิจารณาชนิดของแบคทีเรานั้นต้องพิจารณาถึงชนิดและอายุของพืชด้วย เพราะพืชต่างชนิดกันหรืออายุต่างกันจะขับสารขั้บจากรากพืชออกมาต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อชนิดของแบคทีเรียต่างกันไป เช่นพบว่าเมื่อข้าวบาร์เลย์แก่เต็มที่แบคทีเรียพวก Gram positive และ Gram negative rod shape มีปริมาณเท่า ๆ กันเนื่องจากอิทธิพลของอายุรากพืชนั่นเอง

3.6 การย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชโดยจุลินทรีย์ในดิน

สารกำจัดวัชพืชที่เป็นอินทรีย์สารส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน และส่วนใหญ่ของสารที่ถูกสลายนี้ยังเป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ ได้แก่แบคทีเรีย รา และแอคติโนมายซีท จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงหรือแยกโมเลกุลของสารที่เป็นอินทรีย์สาร เป็นผลให้สารหมดประสิทธิภาพ

การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินมีความสำคัญมาก เมื่อพิจารณาถึงการสลายตัวของสารในดิน โดยขบวนการอื่น ๆ เพราะจุลินทรีย์มีเอนไซม์เฉพาะสำหรับการย่อยสลายสาร สารอาจจะเข้าสู่ภายในจุลินทรีย์และถูกย่อยสลาย หรือจุลินทรีย์สามารถปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสาร

มีปัจจัยทางดินหลายอย่างที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งจะช่วยให้มีการย่อยสลายสารได้ดีขึ้น ปัจจัยดังกล่าวได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ อากาศ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยทั่ว ๆ ไปแล้วสภาพที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ได้แก่ ความชื้นประมาณ 50-100 % ของฟิลล์คาร์ปาซิตี (Field capacity) มีอากาศถ่ายเทสะดวก อุณหภูมิ 27-32°C pH 6.5-8 และต้องมีอินทรีย์วัตถุด้วยเมื่อเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุจะเร่งการทำงานของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชในดิน ส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณ 30 เซนติเมตรของผิวดิน

ในดินที่มีปริมาณดินเหนียว และปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง จะสามารถดูดซับสารปราบวัชพืชได้มาก จุลินทรีย์เข้าหากการย่อยได้ยาก (Edwards et al. 1957, Young and Rawlins, 1958, Lichtenstein and Schulz, 1959(a), 1959(b) and (1960)) นอกจากนี้ดินที่มีปริมาณดินเหนียวมากสารปราบศัตรูพืชในดินนั้นจะระเหยออกไปได้มากเหมือนกัน (Harris and Lichtenstein, 1961) และการเปลี่ยนจากสารหนึ่งไปเป็นอีกสารหนึ่งก็ยากเช่นกัน (Wheatley and Hardman, 1962) อิทธิพลของปริมาณดินเหนียว และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอาจจะเป็นปัจจัยเกี่ยวข้องอยู่กับความยากต่อการเข้าย่อยสลายของจุลินทรีย์ดิน เช่นบางครั้งพบว่าส่วนโครงสร้างของสารปราบศัตรูพืชที่เป็นพิษจะถูกดูดซับทำให้ความเป็นพิษลดลง หรือทำให้น้ำย่อยที่จุลินทรีย์ผลิตออกมาแล้วมีความเหมาะสมในการย่อยสลาย แต่บางครั้งการดูดซับส่วนต่างๆ ของสารปราบศัตรูพืชจะเป็นการส่งเสริมให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายยากขึ้น โดยชนิดและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินขึ้นอยู่กับ

1. การเขตกรรม การเขตกรรมเป็นการเร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากเป็นการเพิ่มการถ่ายเทอากาศและน้ำในดิน จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนอย่างเต็มที่ ความสามารถในการย่อยสลายก็เพิ่มขึ้น ดังนั้นการคลุกเคล้าสารปราบศัตรูพืชกับดินอาจเป็นทางหนึ่งที่ช่วยลดความเป็นพิษและความคงทนในดิน เช่นการคลุกเคล้าสารปราบศัตรูพืชจำพวก chlorinated hydrocarbon insecticides กับ

ห้องสมุดพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ดินพบว่าผลทำให้ความคงทนของสารปราบศัตรูเหล่านี้ลดลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ได้รับการคลุกเคล้า (Wheatley and Hardman, 1962 and Lichterstein and Schulz, 1961)

2. ปริมาณน้ำฝน และความชื้นของดินปัจจัยนี้อาจไม่มีผลโดยตรงต่อการย่อยสลายสารปราบศัตรูพืช โดยจุลินทรีย์ดินแต่ความชื้นในดินเมื่อเกิดการระเหยหรือน้ำในดินซึมผ่านดินจะเป็นการนำสารปราบศัตรูพืชที่ละลายน้ำได้หายไปด้วย การระเหยหายไของสารปราบศัตรูพืชในดินที่มีความชื้นสูงจะเป็นไปได้ดีกว่าดินที่มีความชื้นน้อย (Harris and Lichterstein, 1961) ดังนั้นการใช้สารปราบศัตรูพืชในดินที่มีความชื้นสูง หรือหลังจากที่ฝนตกใหม่อาจเป็นทางหนึ่งที่จะช่วยลดความเข้มข้น เมื่อให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายได้ โดยไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ชนิดนั้นๆ

3. อุณหภูมิ และแสงแดด กระบวนการย่อยสลายสารปราบศัตรูพืชเช่นกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ การระเหยและการถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลาย กระบวนการเหล่านี้ถูกควบคุมโดยอุณหภูมิ และแสงแดดทั้งสิ้น (Lichterstein and Schulz, 1959(a) and 1959 (b), Young and Rawlins, 1958 and Harris, 1969) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสูญหายไของสารปราบศัตรูพืชจะรวดเร็วยิ่งขึ้น

ปัจจัยที่เกี่ยวกับสารเห็นได้แก่ คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของสาร ซึ่งจะก่อให้เกิดการดูดซับ การแพร่กระจาย การระเหย หรือถูกชะล้างจากดิน โครงสร้างทางเคมีของสารมีบทบาทสำคัญต่อการถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลเพียงเล็กน้อย จะมีผลต่อการย่อยสลายว่าเกิดขึ้นยากหรือง่าย เช่นการย่อยสลายของเบนซีนริงโดยจุลินทรีย์จะลดลงเมื่อมีจำนวนฮาโลเจน (F, Cl, Br และ I) ในเบนซีนริงนั้นเพิ่มขึ้นและการย่อยสลายจะลดลงเมื่อมีการแทนที่ในริงในตำแหน่งที่ 3 และ 5 โดยเฉพาะสารในกลุ่มฟีนอกซี ความยาวของเชนด้านข้าง (ส่วนที่เป็นแอลกอฮอล์) ที่เป็นเอสเทอร์ของสารกลุ่มฟีนอกซี มีอิทธิพลต่อการถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เช่น เอสเทอร์ที่มีสายสั้นถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าเอสเทอร์ที่มีสายยาว

3.7 การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับการวิวัฒนาการและการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ ยังไม่เป็นที่เข้าใจกัน แต่มีหลักฐานว่าจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนแบบเป็นเส้นโค้ง ซิกมอยด์ (sigmoid curve) เมื่อจุลินทรีย์ได้รับสารใหม่ๆจะเป็นระยะที่มีการปรับตัว ดังนั้นจึงมีการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อยหรือแทบไม่มีเลย เรียกว่าระยะ lag เมื่อสิ้นสุดระยะนี้ จะเป็นระยะที่จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนมากขึ้น หลังจากปรับตัวให้เข้ากับสภาพต่างๆ เรียกระยะนี้ว่า phase of physiological youth ต่อจากนั้นจะเป็นระยะที่เจริญเติบโต (growth or logarithmic phase) จุลินทรีย์มีจำนวนเพิ่มขึ้นมากและมีการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชอย่างรวดเร็วหลังจากนั้นจะเป็นระยะสุดท้ายคือจำนวนจุลินทรีย์ที่ตายจะเท่ากับจำนวนจุลินทรีย์ที่แบ่งเซลล์ขึ้นมาใหม่ ซึ่งเรียกว่าระยะคงที่หรือระยะพักตัว (stationary or resting phase) ถ้ามีการให้ยาแก่จุลินทรีย์อีกจะมีระยะ lag เกิดขึ้นใหม่ แต่อาจจะเป็นระยะที่สั้นหรือไม่มีเลยแต่ถ้าไม่มีการให้ยาอีกจุลินทรีย์ก็จะตาย (decline phase) ระยะต่างๆจะช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์

ในสภาพธรรมชาติความยาวนานของระยะ lag จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารกำจัดวัชพืชแต่อาจมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความเข้มข้นของสารและชนิดของดิน มีผู้เสนอทฤษฎีการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชโดยจุลินทรีย์ 2 ทฤษฎี คือการกลายพันธุ์ (mutation) ของจุลินทรีย์ และการกระตุ้นจุลินทรีย์ให้สร้างเอนไซม์

ทฤษฎีการกลายพันธุ์ของจุลินทรีย์นั้น เกิดขึ้นเมื่อคนได้รับสารชนิดใหม่ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องปรับเมื่อย่อยสลายสารชนิดนั้น และการปรับตัวนี้มีการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ส่วนทฤษฎีที่มีการกระตุ้นให้มีการสร้างเอนไซม์นั้น เชื่อว่าก่อนที่จุลินทรีย์จะได้รับสาร จุลินทรีย์ไม่มีเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารได้ เมื่อได้รับสารแล้วจะมีระยะ lag เกิดขึ้น ระยะ lag คือระยะที่เอนไซม์สำหรับย่อยสลายถูกสร้าง

3.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชโดยจุลินทรีย์

1. ชนิดของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสาร การย่อยสลายสารที่เกิดขึ้นเร็วแม้จะใช้ในอัตราสูงในดินเนื่องจากในดินนั้นมีจุลินทรีย์มีพร้อมจะย่อยสลายสารได้ทันที
2. การใช้สารซ้ำในที่เดิม และช่วงระยะเวลาที่ใช้แต่ละครั้ง โดยทั่วไปเมื่อสารในดินถูกย่อยสลายจนเกือบหมดนั้นจะมีการใช้สารอีกครั้ง การย่อยสลายสารครั้งที่ 2 จะเกิดขึ้นเร็ว แต่เมื่อการใช้สารครั้งที่ 2 มีระยะเวลาห่างจาก การใช้ครั้งแรกมากจุลินทรีย์ลดปริมาณลงมากแล้วอัตราการย่อยสลายจึงเหมือนกับการใช้สารในครั้งแรก

3. ระบบการปลูกพืช การปลูกแต่ละชนิดมีอิทธิพลต่อจำนวนจุลินทรีย์ในดินอย่างมาก การปลูกพืชติดต่อกับการปลดปล่อยดินให้ว่างเว้นจากการปลูกพืช เป็นช่วงระยะเวลาต่าง ๆ นั้นทำให้จำนวนและชนิดของจุลินทรีย์แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อจุลินทรีย์ในดินมีน้อย การย่อยสลายย่อมเกิดขึ้นน้อยด้วย

4. พฤติกรรมทางเคมีและฟิสิกส์ของสารกำจัดวัชพืชในดิน ส่วนใหญ่สารกำจัดวัชพืชจะถูกย่อยสลายในดินยกเว้นสารบางชนิดที่ถูกดูดซับไว้อย่างรุนแรงจะไม่ถูกย่อยสลาย

การสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชโดยจุลินทรีย์ดินนั้นเกิดจากกระบวนการที่เรียกว่าการสลายตัวร่วม (cometabolism) คือมีจุลินทรีย์มากกว่า 1 ชนิดทำการย่อยสลายสาร เช่น รามักจะย่อยสลายสารโดยกระบวนการ dealkylation ส่วนแบคทีเรียจะทำให้เกิดปฏิกิริยา hydrolysis และ dehalogenation อย่างไรก็ตาม เมื่อสารถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทางเคมีอย่างหนึ่งแล้ว อาจถูกดูดซับโดยอนุภาคดินเพิ่มขึ้น

3.9 จุลินทรีย์ในดินและความสัมพันธ์กับเอนไซม์

แบคทีเรียมักย่อยสลายสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง และไม่ถูกยึดกับดิน แต่เราอาจย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำและที่ถูกยึดไว้กับผิวดิน เหตุผลสำหรับเรื่องนี้ยังไม่เป็นที่ทราบกัน อย่างไรก็ตามการขยายพันธุ์ของแบคทีเรียแบบ binary fission นั้นทำให้มันสามารถย่อยสลาย substrate ส่วนรานั้นมีการเจริญเติบโต โดยมีไมซีเลียมและสร้างแคปซูล มีความสามารถในการแทรกเข้าไปในอนุภาคดินและย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชโดยทั่วไปเชื่อว่ารามมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสาร และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กับอินทรีย์วัตถุอื่น การย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชในดินโดยจุลินทรีย์นั้นอาจจะศึกษาได้ถึงระดับเอนไซม์และเซลล์ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายอย่าง และสารตัวกลางที่ได้จากการย่อยสลายนั้นได้ถูกนำมาศึกษาอย่างละเอียด ซึ่งการศึกษาเหล่านี้ทำได้โดยการแยกเชื้อบริสุทธิ์ การชักนำให้เกิดเอนไซม์โดยสารชนิดต่างๆ เอนไซม์ของจุลินทรีย์เกือบทั้งหมดจะถูกชักนำให้เกิดขึ้นโดย substrate แต่มีเอนไซม์เพียง 2-3 ชนิดถูกชักนำให้เกิดขึ้นโดยสารอื่นซึ่งไม่ใช่ substrate

เอนไซม์หลายชนิดที่ย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชถูกแยกจากจุลินทรีย์ในดิน สารที่มีอยู่ตามธรรมชาติที่มีพันธะระหว่าคาร์บอนและฮาลोजенนั้น มักจะไม่พบ อย่างไรก็ตามมีเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่สามารถแยกพันธะระหว่าคาร์บอนและฮาลोजенทุกตัวแต่เอนไซม์ที่ย่อยสลายสารแต่ละอย่างมีลักษณะเฉพาะ นอกจากนี้ยังพบว่า มีเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในดิน สามารถทำให้พันธะระหว่าคาร์บอนและฮาลोजенแยกออกจากกัน มีเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชในกลุ่ม อินทรีย์ฮาเซบิกอล

เอนไซม์ acylamidase หลายชนิดสามารถแยกได้จากจุลินทรีย์ในดิน ทุกชนิดมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน มีหลักฐานแสดงว่าเอนไซม์ acylamidase จะถูกชักนำให้สร้างขึ้นมากกว่า 1 ชนิดในจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง

3.10 จุลินทรีย์กับความคงทนของสารกำจัดวัชพืชในดิน

สารกำจัดวัชพืชที่ควรทำลายเฉพาะวัชพืชที่ต้องการ และสลายตัวอย่างรวดเร็วในเวลาที่ต้องการ ดังนั้นจึงมีการจำแนกออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาพิษของยาและการย่อยสลาย นอกจากนี้ยังศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโมเลกุลของสารกับการย่อยสลาย อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นพิษ โครงสร้างโมเลกุลและการย่อยสลายยังไม่แน่นอน เช่นสารในกลุ่มคาร์บาเมต ซึ่งจะจำแนกเป็นเมทิลคาร์บาเมต หรือเบนซิลคาร์บาเมต (คาร์บาบิวเรท) ซึ่งพบว่ามีและไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นพิษและการย่อยสลาย อย่างไรก็ตามพบว่ามีความสัมพันธ์ในกลุ่มฟีนอกซ์

ตารางที่ 2 เอนไซม์ที่ถูกชักนำให้สร้างขึ้นในแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช (Kaufman and Kearney, 1976)

ชนิดของจุลินทรีย์	ชนิดของเอนไซม์	substrate (ฮากำจัดวัชพืช)	ปฏิกิริยาที่เกิด ขึ้นเป็นส่วนใหญ่	สารที่ได้จาก การย่อยสลาย
<u>Aspergillus fumigatus</u>		ไดโพรทรามีน	ดีอัลคิลเลชัน	ไพรูเวท
<u>Arthobacter sp.</u>		ดาลาพอน	ดีฮาลोजีนเนชัน	
<u>Pseudomonas sp.</u>		ทีซีเอ	ดีฮาลोजีนเนชัน	
<u>Fusarium oxysporum</u>		โพรพะนิล	ไฮโดรไลซิส	3, 4-ไดคลอโรอะนิลีน
<u>Paecilomyces varioti</u>	อะคิลอะมิเดส	โพรปะนิล	ไฮโดรไลซิส	3, 4-ไดคลอโรอะนิลีน
<u>P. sp.</u>		โพรพะนิล	ไฮโดรไลซิส	3, 4-ไดคลอโรอะนิลีน
<u>P. marquandii</u>		โพรพะนิล	ไฮโดรไลซิส	3, 4-ไดคลอโรอะนิลีน
<u>Bacillus shaericus</u>	อะคิลอะมิเดส	ลินูรอน	ไฮโดรไลซิส	
<u>Fusarium solani</u>	เมอร์ออกซิเดส	อะนิลีน	ออกซิเดชัน	
	อะนิลีนออกซิเดส	อะนิลีน	ออกซิเดชัน	
<u>Arthobacter sp.</u>		เอ็มซีบีเอ	อีเทอร์คลีเวท	2-เมทิล-4-คลอโรฟีนอล
		2, 4-ดี	อีเทอร์คลีเวท	2, 4-ไดคลอโรฟีนอล
		2, 4-ไดคลอโรฟีนอล	ไฮดร็อกซิเลชัน	3, 5-ไดคลอโรแคมป์โซล
		4-คลอโรฟีนอล	ไฮดร็อกซิเลชัน	4-คลอโรแคมป์โซล

ตารางที่ 3 จุลินทรีย์ที่สามารถสร้างเอนไซม์อะมิเดส (Kautman and Kearney, 1976)

ชนิดจุลินทรีย์	ตัวชี้กนา (สารกำจัดวัชพืช)	pH ที่ เหมาะสม	substrate อื่น ที่ถูกย่อยสลายได้	สารกำจัดวัชพืช ที่ไม่ถูกย่อยสลาย	สารกำจัดวัชพืช ที่ยับยั้งกิจกรรม
<u>Arthobacter</u> sp.	โพรแพม		เฟินฟิลคาร์บาเมท		
<u>Bacillus</u> <u>sphaericus</u>	ลินูรอน	7.0-8.5	เม็ทท็อกซีซีบสทิกิวเทด เฟินฟิลยูเรีย อะคิลอะนิลาสต์โพรแพม		3,4-ดีซีเอ
<u>Fusarium</u> <u>oxysporum</u>	โพรพาฟิล	9.0	อะคิลอะนิลาสต์	คลอร์โพรแพม ไดยูรอน ลินูรอน	คาร์บาริล คลอร์โพรแพม ไดยูรอน
<u>Fusarium solani</u>	โพรพาฟิล อะเซทานิลาสต์	7.5-9.0	อะเซทและ โพรนิโออะนิลาสต์	ฟีนูรอน โมนูรอน โพรแพม ฟลอมาคีไฮด์	โพรพาคลอร์
<u>Penicillium</u> sp.	บาร์บาน		คลอร์โพรแพม โพรแพม โพรพานิล		ดีซีเอ็มซี
<u>Pseudomonas</u> <u>striata</u>	คลอร์โพรแพม	8.0-9.0	เฟินฟิลคาร์บาเมท	โมนูรอน	คาร์บาริล

ตารางที่ 4 ความคงทนของสารกำจัดวัชพืชบางชนิดในดินและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Alexander, 1961)

สารกำจัดวัชพืช	ระยะเวลาที่คงทนในดิน	จุลินทรีย์ที่ย่อยสลาย
โมนูรอน	4-12 เดือน	<u>Pseudomonas</u> <u>Achromobacter</u> <u>Flavobacterium</u>
2,4-ดี	2-8 สัปดาห์	<u>Achromobacter</u> <u>Corynebacterium</u> <u>Flavobacterium</u>
เอ็มซีพีเอ	3-12 สัปดาห์	<u>Achromobacter</u> <u>Mycoplasma</u>
กลาฟอน	2-4 สัปดาห์	<u>Agrobacterium</u> <u>Pseudomonas</u>
ดีเอ็นบี	2-6 เดือน	<u>Corynebacterium</u> <u>Pseudomonas</u>
ทีซีเอ	2-9 สัปดาห์	<u>Corynebacterium</u> <u>Pseudomonas</u>

4. สารขับจากรากพืช

Hilner บัญญัติคำว่า rhizosphere ซึ่งได้ให้ความหมายว่าเป็นบริเวณอิทธิพลรากพืชต่อสภาพแวดล้อมในระยะทางอย่างน้อย 1 หรือ 2 มม. ซึ่งในเขตอิทธิพลรากพืช สารขับจากรากพืชมีความสำคัญมากเพราะสารขับจากรากพืชมีลักษณะเป็นสารคัดเลือก (selective) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ นอกจากนั้นยังมีบทบาทอื่น ๆ อีก เช่น การเกิดคีเลต (chelation) การละลายได้ของธาตุอาหารพืช การเกิดเม็ดดิน (soil aggregation) ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน สารขับจากรากพืชจึงเป็นตัวการสำคัญ ในการกำหนดบทบาทของรากต่อสภาพแวดล้อมดังกล่าว

สารขับจากรากพืชโดยความหมายในทางปฏิบัติได้รวมเอาสารอินทรีย์หลายอย่างในบริเวณเขตรากพืชเอาไว้ด้วย คือ root lysate, mucigel, cell wall residuas, sloughage เป็นต้น สารอินทรีย์ที่สำคัญที่จะกล่าวถึง คือ mucigel และ sloughage

mucilage (เรียกว่า mucigel แทนเพราะ mucilage มีลักษณะเป็นสารกึ่งเหลวห่อหุ้มไว้และมีขอบเขตชัดเจน) เป็นสารคาร์โบไฮเดรตในพืช จะแข็งเมื่อแห้ง และจะพองตัวมีลักษณะเป็นเมือก (slimy) เมื่อชื้น ห่อหุ้มผิวรากและรากขนอ่อนเอาไว้ก่อนสัมผัสอนุภาคดินมี 2 ชนิด คือ cellulose mucilage ซึ่งทำปฏิกิริยากับ zinc-chloride-iodine เมื่อทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะมีลักษณะเป็น microfibril และ peptin mucilage ซึ่งเป็นสารอสัณฐาน (amorphous) ไม่มีโครงสร้าง ส้อมติดสีด้วย Ruthenium Red และ Methyl Blue อาจมองเห็นเป็นเม็ด

mucilage อาจถูกขับออกมาจากเซลล์ที่มีชีวิตอยู่ นอกจากนั้นอาจได้จากการเปลี่ยนรูปของผนังเซลล์ที่มีลักษณะพิเศษบางชนิด เมล็ดพืชขณะแตกออกและแทงยอดจากเมล็ดก็จะขับ mucilage ออกมาเช่นกัน

ส่วนประกอบของ mucilage นั้นเป็น highly hydrated polysaccharide สารขับจากรากนี้จะทำให้อนุภาคดินเหนียวฟุ้งกระจายได้มากขึ้นจึงเป็นการเพิ่มพื้นผิวของอนุภาคอันมีบทบาทต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชต่อพืช นอกจากนี้ mucilage ยังสามารถเป็นเกราะป้องกันและหล่อลื่นรากเป็นที่เกาะยึดของจุลินทรีย์ใกล้บริเวณผิวราก และเป็นตัวกั้นการฟุ้งกระจายของสารขับจากรากพืชชนิดอื่นในสภาพดินแห้งแล้ง mucigel จะทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันให้รากและจุลินทรีย์ที่เจริญในบริเวณอิทธิพลรากพืชมิให้แห้งตายเหมือนพวกที่อยู่ในดินเขตนอกรากพืช

ในขณะที่รากเจริญนั้น หมวกรากจะทำหน้าที่มิให้รากเกิดแผล และเซลล์ลอกหลุด (sloughed cell) จากการเจริญยาวออกไปของรากจะเป็นตัวรองรากมิให้เกิดบาดแผล ขณะเดียวกันก็เป็นแหล่ง

อาหารให้จุลินทรีย์ เซลล์ที่หลุดลอกนี้ทั้งจากหมากพรากและเนื้อเยื่อโดยรอบของพราก เซลล์ที่หลุดลอกนี้
จะมี C, H, N เป็น 15%, 3% และ 1.3% ตามลำดับ

ชนิดของสารที่พรากที่ปลดปล่อยออกมาในอาณาบริเวณพรากที่ว ได้แก่

Sugars : Glucose, Fructose

Amino acids : Leucines, Valine, α -Aminobutyric acid, Glutamine,
 α -Alanine, Asparagine, Serine, Glutamic acid

อื่น ๆ : Flurescent, Biotin, Thiamine, Flavorone

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สารกำจัดแมลง

สารกำจัดแมลงที่ใช้ในการทดลองใช้ Azodrin ซึ่งเป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืชชนิดน้ำเป็นสารประเภทออร์แกโนฟอสเฟตได้เร็ว สามารถกำจัดแมลงได้หลายชนิดมีชื่อทางเคมีคือ 1-Methyl-2-methylcarbamoylviny phosphate ชื่อสามัญคือ Monocrotophos ชื่ออื่น Azodrin, Nuvacron, carvin, Pitded, Parazol, Agrodin, Azocron, Azodren ความเป็นพิษ พิษทาง acute oral ที่มีต่อหนูมีค่า LD₅₀ เท่ากับ 20 mg/kg. พิษทาง acute dermal ที่มีต่อกระต่าย มีค่า LD₅₀ เท่ากับ 342 mg/kg. มีพิษต่อผึ้ง สูตรโครงสร้าง $(\text{CH}_3\text{O})_2 \text{PO} \cdot \text{OC}(\text{CH}_3) = \text{CH} \cdot \text{CO} \cdot \text{NH} \cdot \text{CH}_3$

2. สารกำจัดวัชพืช

สารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในการทดลองคือ Round up หรือ Glyphosate เป็นสารกำจัดวัชพืชแบบหลังงอกและไม่เจาะจงพืช ใช้กำจัดวัชพืชตระกูลหญ้าและวัชพืชใบกว้างทั้งประเภทล้มลุกและยืนต้นตามพื้นที่เพาะปลูกและไม่มีการเพาะปลูกด้วยการฉีดพ่นที่ใบมีชื่อทางการค้า ไกลโฟเสท ราวด์อัฟ และความปลอดภัยความเป็นพิษมีค่า LD₅₀ ทางปาก(หนู) 4,900 มก./กก.

3. ดินที่ใช้ทดลองซึ่งใช้ชุดดินสรรพสา ซึ่งมีสมบัติดังนี้

ชุดดินสรรพสา (Sanphaya series : Sa)

การจำแนก : Loamy, mixed, isohyperthemic,

Aquic Ustifluvents

สภาพพื้นที่ : ที่ราบน้ำท่วมขัง น้ำมักจะท่วมในฤดูฝน มีความชื้นน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

การใช้ประโยชน์ที่ดิน : ใช้ในการผลิตพืชไร่ และทำนาบางส่วน

การจัดเรียงชั้น : A1-A2-Ac-C1-C2

สีฐานดิน : ดินบนมีเนื้อดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีพื้นเป็นสีน้ำตาลแก่
ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง มีจุดประชัดเจนกว่าดินบน

ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ : ความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลางถึงสูง เนื้อดินค่อนข้างละเอียด
ถึงปานกลาง การระบายน้ำค่อนข้างดี มีข้อจำกัดน้อย แต่ควร
ระวังน้ำท่วมฤดูฝน

4. เมล็ดถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง สจ. 5

จากภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. อาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar

Beef extract	3.0 g
Peptone	5.0 g
Agar	15.0 g
Distilled water	1000 ml
Sodium chloride	5 g

6. ตู้เขี่ยเชื้อ อุปกรณ์และเครื่องแก้วต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา

การเตรียม Nutrient agar

การเตรียม Nutrient agar สามารถกระทำได้โดย ชั่ง Beef extract 3.0 g
Peptone 5.0 g, Agar 15.0 g และ Sodium chloride 5 g นำสารที่ชั่งมาผสมกัน แล้วเติมน้ำ
กลั่นลงไป 1000 ml และเขย่าให้เข้ากัน นำสารที่ได้ไปใส่ flask ปิดจุกด้วยสำลีและหุ้มด้วยกระดาษ
ฟอยล์ หลังจากนั้นนำสารผสมที่ได้ไปนึ่งใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15
ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 30 นาที จากนั้นนำอาหารที่ได้ไปเทใส่ในจานเลี้ยงเชื้อเพื่อเก็บไว้สำหรับใช้ใน
การทดลอง

วิธีการ

1. แผนการทดลอง

การศึกษาอิทธิพลของสารปราบศัตรูพืชที่มีต่อปริมาณแบคทีเรียในเขตอิทธิพลรากแก้วเหลือง ซึ่งสารที่นำมาศึกษาคือ Azodrin และ Round up โดยวางแผนการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 7 คำรับการทดลอง โดยสารที่ใช้แต่ละชนิดใช้ความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ

Azodrin

ใช้ระดับความเข้มข้น 0, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000, 32000 ppm. โดยฉีดลงไปในกระถางที่ปลูกแก้วเหลือง และกระถางที่ไม่ปลูกแก้วเหลือง คำรับละ 3 ซ้ำ

Round up

ใช้ระดับความเข้มข้น 0, 500, 10000, 20000, 40000, 80000, 160000 ppm. โดยฉีดลงไปในกระถางที่ปลูกแก้วเหลือง และกระถางที่ไม่ปลูกแก้วเหลือง คำรับละ 3 ซ้ำ

2. วิธีการทดลอง

การเก็บตัวอย่างดินกระทำโดยการสุ่ม (random) จากบริเวณต่างๆ ซึ่งมีทั้งบริเวณที่ปลูกแก้วเหลืองเจริญได้ดี และไม่ดี ปะปนกันโดยพยายามให้ได้ตัวแทนของดินทั้งหมดให้มากที่สุด แล้วนำตัวอย่างดินเหล่านี้มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เมื่อดินแห้ง บดดินและคลุกเคล้าดินให้เข้ากันมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด และตัวอย่างดินที่ได้นี้จะ เป็น composite sample โดยยึดถือว่าทุกๆ ส่วนของ composite sample นั้นเหมือนกันหมด และใช้เป็นตัวแทนของดินทั้งไร่ได้แบ่งดินใส่ถุงพลาสติก ถุงละประมาณ 2 กิโลกรัม แล้วใส่ลงไปในกระถางอีกทีหนึ่งแล้วค่อยเติมน้ำทุกๆ วัน ในแต่ละกระถางจนเห็นว่าดินชื้นแล้วใส่สารกำจัดแมลง Azodrin และสารกำจัดวัชพืช Round up ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน 7 อัตรา โดยการผสมน้ำ จากนั้นใส่ลงไปในแต่ละกระถาง กระทำโดยใช้วิธีการสุ่ม โดยจะใส่ลงไปในกระถางที่ปลูกแก้วเหลือง และกระถางที่ไม่ปลูกแก้วเหลือง สำหรับกระถางที่ปลูกแก้วเหลืองจะใส่สารทั้งสองชนิดหลังจากที่แก้วเหลืองอายุ 10 วันหลังจาก

3. การเก็บข้อมูล

เก็บตัวอย่างดินแต่ละกระถางประมาณ 10 กรัม ไปตรวจนับหาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่มีอยู่ในดิน (total counts) เมื่อเวลา 1, 3, 7, 15 และ 30 วัน โดยวิธี serial dilution plate

methode ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar แล้วบ่ม (incubated) ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28 - 30 องศาเซลเซียส) ประมาณหนึ่งวันแล้วตรวจนับปริมาณของแบคทีเรียที่ปรากฏบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยเลือกนับจากจานเลี้ยงเชื้อ (plate) ที่มีปริมาณของแบคทีเรียประมาณ 30 - 300 โคลน (colonies) ต่อหนึ่ง plate

สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

สถานที่ อาคารเรซินชั้น 5 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลา ตั้งแต่ เดือนมกราคม พ.ศ.2538 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2538

ผลการทดลอง

1. ผลของสารกำจัดแมลง Azodrin ที่มีต่อปริมาณของแบคทีเรีย

1.1 ในอาณาเขตอิทธิพลรากของถั่วเหลือง

ปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมดภายหลังจากการใส่ Azodrin ลงในอัตราต่าง ๆ กัน 7 ระดับในดินในระดับ 0, 1,000, 2,000, 4,000, 8,000, 16,000 และ 32,000 ppm. ในกระถางที่ปลูกถั่วเหลือง ภายหลังจากการใส่ไวนาน 1, 3, 7, 15 และ 30 วันจึงตรวจนับปริมาณของแบคทีเรีย ปรากฏว่ามีเฉพาะภายหลังจากการใส่ Azodrin ไวนาน 1 และ 30 วันเท่านั้น ที่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติเลยและไม่มีแนวโน้มที่จะแสดงความแตกต่าง ไม่ว่าจะในระดับ 0 ไปจนถึงระดับ 32,000 ppm. ปริมาณค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียหลังจากการใส่ Azodrin ในระดับและเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ปลูกถั่วเหลืองดังแสดงในตารางที่ 5 สำหรับผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงไว้ในตารางที่ 6 และตารางที่ 7

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียคิดเป็น logarithm หลังจากการใช้ Azodrin ในระดับ และเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ปลูกข้าวเหลือง

Treatment	Days after application					Average
	1 ^๒	3	7	15	30 ^๒	
0 ppm.	4.07B	4.66	4.64	4.06	5.39AB	4.56
1,000 ppm.	5.78A	5.28	4.64	4.67	3.99B	3.99
2,000 ppm.	4.62AB	5.75	5.12	5.09	5.19AB	5.15
4,000 ppm.	5.67A	5.74	5.81	5.60	4.05B	5.37
8,000 ppm.	5.35AB	5.52	5.07	5.35	5.18AB	4.90
16,000 ppm.	5.73A	5.13	6.40	5.69	6.05A	5.80
32,000 ppm.	5.30AB	5.73	5.80	6.00	4.60B	5.49
Average	5.22	5.40	5.35	5.21	4.92	

หมายเหตุ ¹ อักษรต่างกันในกลุ่มนี้แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรีย คิดเป็นค่า logarithm เมื่อใส่ Azodrin ในอัตรา 0, 1,000, 2,000, 4,000, 8,000, 16,000 และ 32,000 ppm. ในกระถางที่ปลูกข้าวเหลือง

วันที่นำมาวิเคราะห์	Analysis of variance					Average \bar{x}
	SOV	df	SS	MS	F	
	Total	20	16.269			
1 วันหลังใส่	Treatment	6	7.433	1.239	1.963*	5.22
	Error	14	8.836	0.631		
	Total	20	16.463			
3 วันหลังใส่	Treatment	6	2.965	0.494	0.512 ^{NS}	5.40
	Error	14	13.498	0.964		
	Total	20	28.474			
7 วันหลังใส่	Treatment	6	8.003	1.334	0.912 ^{NS}	5.35
	Error	14	20.471	1.462		
	Total	20	31.662			
15 วันหลังใส่	Treatment	6	8.026	1.338	0.792 ^{NS}	5.21
	Error	14	23.635	1.688		
	Total	20	17.792			
30 วันหลังใส่	Treatment	6	10.020	1.670	3.008*	4.92
	Error	14	7.772	0.555		

หมายเหตุ NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรีย คิดเป็นค่า logarithm ภายหลังจากใส่ Azodrin ลงไป 1, 3, 7, 15 และ 30 วันตามลำดับในกระถางที่ปลูกถั่วเหลือง

อัตราที่ใส่ลงไป	Analysis of variance					Average \bar{x}
	SOV	df	SS	MS	F	
0 ppm.	Total	14	12.176			
	Treatment	4	3.562	0.890	1.034 ^{NS}	4.56
	Error	10	8.615	0.861		
1,000 ppm.	Total	14	14.797			
	Treatment	4	5.568	1.392	1.508 ^{NS}	4.87
	Error	10	9.230	0.923		
2,000 ppm.	Total	14	15.605			
	Treatment	4	1.939	0.485	0.355 ^{NS}	5.12
	Error	10	13.667	1.367		
4,000 ppm.	Total	14	19.668			
	Treatment	4	6.658	1.664	1.279 ^{NS}	5.38
	Error	10	13.010	1.301		
8,000 ppm.	Total	14	12.518			
	Treatment	4	0.363	0.091	0.075 ^{NS}	5.29
	Error	10	12.156	1.216		
16,000 ppm.	Total	14	13.866			
	Treatment	4	2.670	0.668	0.596 ^{NS}	5.80
	Error	10	11.196	1.120		
32,000 ppm.	Total	14	10.078			
	Treatment	4	3.739	0.935	1.475 ^{NS}	5.49
	Error	10	6.339	0.634		

หมายเหตุ NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2 ในดินที่ปราศจากรากของถั่วเหลือง

ส่วนปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมดภายหลังจากการใช้ Azodrin ลงในอัตราต่าง ๆ กัน 7 ระดับในดิน ในระดับ 0, 1,000, 2,000, 4,000, 8,000, 16,000 และ 32,000 ppm. ในกระถางที่ไม่ปลูกถั่วเหลือง ภายหลังจากการใช้ไวนาน 1, 3, 7, 15 และ 30 วันจึงตรวจนับปริมาณของแบคทีเรียปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติเลยและไม่มีแนวโน้มที่จะแสดงความแตกต่าง ไม่ว่าจะ เป็นระดับ 0 ไปจนถึงระดับ 16,000 ppm. ยกเว้นที่ระดับ 32,000 ppm. ที่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียหลังจากการใช้ Azodrin ในระดับ และเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ปลูกถั่วเหลืองดังแสดงในตารางที่ 8 สำหรับผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงไว้ใน ตารางที่ 9 และตารางที่ 10

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียคิดเป็น logarithm หลังจากการใช้ Azodrin ในระดับ และเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ไม่ปลูกถั่วเหลือง

Treatment	Days after application					Average
	1	3	7	15	30	
0 ppm.	4.67	4.68	4.13	4.67	4.64	4.56
1,000 ppm.	4.05	4.08	4.64	5.24	3.46	4.29
2,000 ppm.	4.65	5.28	5.25	5.22	3.96	4.87
4,000 ppm.	5.00	4.67	5.64	5.71	5.12	5.23
8,000 ppm.	4.62	5.13	5.62	6.28	5.55	5.44
16,000 ppm.	5.31	6.06	6.24	5.24	5.10	5.59
32,000 ppm. ¹	5.27AB	4.61B	6.57A	6.25A	4.65B	5.47
Average	4.79	4.93	5.45	5.52	4.64	

หมายเหตุ ¹ อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรีย คิดเป็นค่า logarithm เมื่อใส่ Azodrin ในอัตรา 0, 1,000, 2,000, 4,000, 8,000, 16,000 และ 32,000 ppm. ในกระถางที่ไม่ปลูกข้าวเหลือง

วันที่นำมาวิเคราะห์	Analysis of variance					Average \bar{X}
	SOV	df	SS	MS	F	
	Total	20	16.415			
1 วันหลังใส่	Treatment	6	3.449	0.575	0.621 ^{NS}	4.79
	Error	14	12.966	0.926		
	Total	20	21.836			
3 วันหลังใส่	Treatment	6	7.170	1.195	1.141 ^{NS}	4.93
	Error	14	14.666	1.048		
	Total	20	27.243			
7 วันหลังใส่	Treatment	6	13.109	2.185	2.164 ^{NS}	5.44
	Error	14	14.134	1.010		
	Total	20	31.662			
15 วันหลังใส่	Treatment	6	8.026	1.338	0.792 ^{NS}	5.21
	Error	14	23.635	1.688		
	Total	20	32.674			
30 วันหลังใส่	Treatment	6	9.347	1.558	0.935 ^{NS}	4.64
	Error	14	23.328	1.666		
	Total	20	32.674			

หมายเหตุ NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแมคทีเรีย คิดเป็นค่า logarithm ภายหลังจากการใส่ Azodrin ลงไป 1, 3, 7, 15 และ 30 วันตามลำดับในกระถางที่ไม่ปลูกข้าวเหลือง

อัตราที่ใส่ลงไป	Analysis of variance					Average \bar{x}
	SOV	df	SS	MS	F	
	Total	14	12.028			
0 ppm.	Treatment	4	0.689	0.172	0.152 ^{NS}	4.56
	Error	10	11.339	1.134		
	Total	14	12.005			
1,000 ppm.	Treatment	4	0.689	1.359	2.069 ^{NS}	4.29
	Error	10	11.339	0.657		
	Total	14	7.511			
2,000 ppm.	Treatment	4	3.938	0.984	2.755 ^{NS}	4.87
	Error	10	3.573	0.357		
	Total	14	22.690			
4,000 ppm.	Treatment	4	2.424	0.606	0.299 ^{NS}	5.23
	Error	10	20.266	2.027		
	Total	14	21.660			
8,000 ppm.	Treatment	4	4.517	1.129	0.659 ^{NS}	5.44
	Error	10	17.143	1.714		
	Total	14	10.566			
16,000 ppm.	Treatment	4	3.230	0.807	1.100 ^{NS}	5.59
	Error	10	7.337	0.734		
	Total	14	15.663			
32,000 ppm.	Treatment	4	9.833	2.458	4.217*	5.47
	Error	10	5.829	0.583		

หมายเหตุ NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ผลของสารกำจัดวัชพืช Round up ที่มีต่อการปริมาณแบคทีเรีย

2.1 ในอาณาเขตอิทธิพลรากของถั่วเหลือง

ปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมดภายหลังจากการใส่ Round up ลงในอัตราต่าง ๆ กัน 7 ระดับในดิน ในระดับ 0, 500, 10,000, 20,000, 40,000, 80,000 และ 160,000 ppm. ในกระถางที่ปลูกถั่วเหลือง ภายหลังจากการใส่ไว้นาน 1, 3, 7, 15 และ 30 วัน จึงตรวจนับปริมาณของแบคทีเรียปรากฏว่ามีเฉพาะ ภายหลังจากการใส่ Round up ไว้นาน 7 วันเท่านั้นที่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% นอกนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติเลยและไม่มีแนวโน้มที่จะแสดงความแตกต่าง ไม่ว่าจะป็นระดับ 0 ไปจนถึงระดับ 80,000 ppm. ยกเว้นจากที่ระดับ 160,000 ppm. ที่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปริมาณค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียหลังจากการใช้ Azodrin ในระดับ และเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ปลูกถั่วเหลืองดังแสดงในตารางที่ 11 สำหรับผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงไว้ในตารางที่ 12 และตารางที่ 13

ตารางที่ 11 แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียคิดเป็น logarithm หลังจากการใช้ Round up ในระดับ และเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ปลูกข้าวเหลือง

Treatment	Days after application					Average
	1	3	7 ¹	15	30	
0 ppm.	4.56	4.68	5.29ABC	4.30	4.67	4.70
500 ppm.	4.62	5.68	5.10ABC	5.25	5.14	5.16
10,000 ppm.	5.72	5.25	5.27ABC	4.63	4.05	4.98
20,000 ppm.	5.13	5.75	5.77AB	5.19	4.74	5.32
40,000 ppm.	5.65	5.08	3.45C	5.25	4.05	4.70
80,000 ppm.	4.59	5.17	4.07ABC	5.86	5.18	4.97
160,000 ppm. ²	4.59	6.11	6.10A	5.27	6.56	5.73
	B	AB	AB	AB	A	
Average	4.98	5.39	5.01	5.11	4.91	

หมายเหตุ ¹ อักษรที่ต่างกันในกลุ่มนี้แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (DMRT)

² อักษรที่ต่างกันในกลุ่มนี้แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (DMRT)

ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรีย คิดเป็นค่า logarithm เมื่อใส่ Round up ในอัตรา 0, 500, 10,000, 20,000, 40,000, 80,000 และ 16,000 ในกระถางที่ปลูกข้าวเหลือง

วันที่นำมาวิเคราะห์	Analysis of variance					Average \bar{x}
	SOV	df	SS	MS	F	
	Total	20	27.004			
1 วันหลังใส่	Treatment	6	4.876	0.813	0.514 ^{NS}	4.98
	Error	14	22.127	1.581		
	Total	20	14.983			
3 วันหลังใส่	Treatment	6	4.214	0.702	0.913 ^{NS}	5.39
	Error	14	10.769	0.769		
	Total	20	25.615			
7 วันหลังใส่	Treatment	6	15.681	2.614	3.863 ^{**}	5.01
	Error	14	9.934	0.710		
	Total	20	11.566			
15 วันหลังใส่	Treatment	6	4.549	0.758	1.513 ^{NS}	5.11
	Error	14	7.017	0.501		
	Total	20	27.659			
30 วันหลังใส่	Treatment	6	13.297	2.216	2.160 ^{NS}	4.91
	Error	14	14.362	1.026		

หมายเหตุ NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
 ** = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรีย คิดเป็นค่า logarithm ภายหลังจาก
Round up ลงไป 1, 3, 7, 15 และ 30 วันตามลำดับในกระถางที่ปลูกถั่วเหลือง

อัตราที่ใส่ลงไป	Analysis of variance					Average \bar{x}
	SOV	df	SS	MS	F	
0 ppm.	Total	14	18.200			
	Treatment	4	1.564	0.391	0.235 ^{NS}	4.70
	Error	10	16.636	1.664		
500 ppm.	Total	14	14.999			
	Treatment	4	1.736	0.434	0.327 ^{NS}	5.16
	Error	10	13.263	1.326		
10,000 ppm.	Total	14	10.750			
	Treatment	4	5.089	1.272	2.247 ^{NS}	4.98
	Error	10	5.661	0.566		
20,000 ppm.	Total	14	13.496			
	Treatment	4	2.329	0.582	0.523 ^{NS}	5.32
	Error	10	11.140	1.114		
40,000 ppm.	Total	14	18.421			
	Treatment	4	9.953	2.488	2.939 ^{NS}	4.69
	Error	10	8.468	0.847		
80,000 ppm.	Total	14	10.435			
	Treatment	4	5.522	1.380	2.809 ^{NS}	4.97
	Error	10	4.914	0.491		
160,000 ppm.	Total	14	11.574			
	Treatment	4	7.447	1.862	4.511 ^{**}	5.73
	Error	10	4.127	0.413		

หมายเหตุ NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
** = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

2.2 ในดินที่ปราศจากรากถั่วเหลือง

ส่วนปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมดภายหลังจากการใส่ Round up ลงในอัตราต่าง ๆ กัน 7 ระดับในดินในระดับ 0, 500, 10,000, 20,000, 40,000, 80,000 และ 160,000 ppm. ในกระถางที่ไม่ปลูกถั่วเหลืองภายหลังจากการใส่ไวนาน 1, 3, 7, 15 และ 30 วันจึงตรวจนับปริมาณของแบคทีเรีย ปรากฏว่ามีเฉพาะภายหลังจากการใส่ Round up ไวนาน 3 วันเท่านั้นที่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% นอกนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติเลยและไม่มีแนวโน้มที่จะแสดงความแตกต่างไม่ว่าจะเป็นระดับ 500 จนถึงระดับ 160,000 ppm. ยกเว้นที่ระดับ 0 ppm. ที่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ปริมาณค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียหลังจากการใช้ Round up ในระดับและเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ปลูกถั่วเหลืองดังแสดงในตารางที่ 14 สำหรับผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงไว้ในตารางที่ 15 และตารางที่ 16

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียคิดเป็น logarithm หลังจากการใช้ Round up ในระดับ และเวลาต่าง ๆ ในกระถางที่ไม่ปลูกข้าวเหลือง

Treatment	Days after application					Average
	1	3 ¹	7	15	30	
	A	B	AB	AB	AB	
0 ppm. ²	6.46	3.50B	4.60	4.08	4.65	4.66
500 ppm.	6.14	4.42AB	5.06	6.38	4.34	5.67
10,000 ppm.	5.69	5.95A	5.23	5.19	4.04	5.22
20,000 ppm.	5.23	4.06AB	4.68	4.61	5.17	4.75
40,000 ppm.	5.21	5.19AB	5.73	4.58	4.03	4.95
80,000 ppm.	5.02	5.57AB	4.49	5.10	4.98	5.03
160,000 ppm.	5.26	4.39AB	6.08	5.10	4.66	5.18
Average	5.57	4.73	5.12	5.07	4.55	

หมายเหตุ ¹ อักษรที่ต่างกันในกลุ่มนี้แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (DMRT)

² อักษรที่ต่างกันแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (DMRT)

ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรีย คิดเป็นค่า logarithm เมื่อใส่ Round up ในอัตรา 0, 500, 10,000, 20,000, 40,000, 80,000 และ 160,000 ppm. ในกระถางที่ไม่ปลูกข้าวเหลือง

วันที่นำมาวิเคราะห์	Analysis of variance					Average \bar{x}
	SOV	df	SS	MS	F	
	Total	20	17.331			
1 วันหลังใส่	Treatment	6	3.350	0.892	1.042 ^{NS}	5.57
	Error	14	11.981	0.856		
	Total	20	23.714			
3 วันหลังใส่	Treatment	6	13.712	2.285	3.199 ^{**}	4.73
	Error	14	10.002	0.714		
	Total	20	16.623			
7 วันหลังใส่	Treatment	6	6.507	1.084	1.501 ^{NS}	5.12
	Error	14	10.116	0.723		
	Total	20	28.409			
15 วันหลังใส่	Treatment	6	9.460	1.577	1.165 ^{NS}	5.01
	Error	14	18.949	1.353		
	Total	20	23.623			
30 วันหลังใส่	Treatment	6	3.483	0.581	0.404 ^{NS}	4.55
	Error	14	20.139	1.439		

หมายเหตุ NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
 ** = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแบคทีเรีย คิดเป็นค่า logarithm ภายหลังจาก
Round up ลงไป 1, 3, 7, 15 และ 30 วันตามลำดับ ในกระถางที่ไม่ปลูกถั่วเหลือง

อัตราที่ใส่ลงไป	Analysis of variance					Average \bar{x}
	SOV	df	SS	MS	F	
0 ppm.	Total	14	23.513			
	Treatment	4	14.838	3.709	4.276**	4.66
	Error	10	8.675	0.867		
500 ppm.	Total	14	24.432			
	Treatment	4	10.870	2.718	2.004 ^{NS}	5.27
	Error	10	13.562	1.356		
10,000 ppm.	Total	14	12.425			
	Treatment	4	6.465	1.616	2.712 ^{NS}	5.22
	Error	10	5.960	0.596		
20,000 ppm.	Total	14	9.050			
	Treatment	4	2.722	0.681	1.075 ^{NS}	4.75
	Error	10	6.328	0.633		
40,000 ppm.	Total	14	10.518			
	Treatment	4	5.155	1.289	2.403 ^{NS}	4.95
	Error	10	5.363	0.536		
80,000 ppm.	Total	14	21.690			
	Treatment	4	1.772	0.443	0.222 ^{NS}	5.03
	Error	10	19.918	1.992		
160,000 ppm.	Total	14	12.572			
	Treatment	4	5.498	1.374	1.943 ^{NS}	5.18
	Error	10	7.074	0.707		

หมายเหตุ NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
** = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

สรุป

จากผลการศึกษาการทดลองใช้สารกำจัดแมลง Azodrin และสารกำจัดวัชพืช Round up ใส่ลงไปบนดินทั้งในกระถางที่ปลูกถั่วเหลือง และในกระถางที่ไม่ปลูกถั่วเหลือง ในอัตราความเข้มข้นต่าง ๆ กันพอที่จะสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อใส่ Azodrin ลงไปในดินที่ปลูกถั่วเหลืองพบว่าที่ระยะเวลา 1 และ 30 วันหลังใส่ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน มีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียในดินมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลา 3, 7 และ 15 วัน รวมถึงระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารที่ใช้ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน
2. เมื่อใส่ Azodrin ลงไปในดินที่ไม่ปลูกถั่วเหลืองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของสาร 32,000 ppm. มีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ไม่ว่าจะเป็นระดับ 0, 1000, 2000, 4000 และ 8000 ppm. รวมถึงระยะเวลาต่าง ๆ ก็ใช้ระดับความเข้มข้นของสารต่างกันด้วย
3. เมื่อใส่ Round up ลงไปในดินที่ปลูกถั่วเหลืองพบว่าระยะเวลา 7 วันหลังใส่ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน และการใส่ระดับความเข้มข้น 160,000 ppm. ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันจะมีผลให้ปริมาณแบคทีเรียในดินมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% นอกนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติไม่ว่าจะเป็นระยะเวลา 1, 3, 7, 15 วัน (ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน) และความเข้มข้น 0, 500, 10000, 20000, 40000, 80000 ppm. (ระยะเวลาต่าง ๆ กัน)
4. เมื่อใส่ Round up ลงไปในดินที่ไม่ปลูกถั่วเหลืองพบว่าระยะเวลา 3 วันหลังใส่ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน และการใส่ระดับความเข้มข้น 0 ppm. ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันจะมีผลให้ปริมาณแบคทีเรียในดินมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% นอกนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลา 1, 7, 15, 30 วัน (ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน) และความเข้มข้น 500, 10000, 20000, 40000, 80000 , 160000 ppm. (ระยะเวลาต่าง ๆ กัน)

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า Azodrin ที่ใส่ลงไปในการถางที่ปลูกถั่วเหลือง 1 และ 30 วันที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และในการถางที่ไม่ปลูกถั่วเหลืองใส่ในอัตรา 32,000 ppm. ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ก็มีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียในดินมีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้การใส่ Round up ในการถางที่ปลูกถั่วเหลือง 7 วันที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และที่ 160,000 ppm. ที่ระยะเวลาต่างๆ รวมถึงในการถางที่ไม่ปลูกถั่วเหลือง 3 วันที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และที่ 0 ppm. ที่ระยะเวลาต่างๆ ก็มีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียในดินมีความแตกต่างทางสถิติเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจาก Azodrin และ Round up ที่ใส่ลงไป在地ไปมีผลต่อปริมาณแบคทีเรียในดิน ซึ่งสารเหล่านี้ อาจจะมีส่วนในการยับยั้งการเจริญเติบโตหรือมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโดยทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงาน แหล่งอาหารของแบคทีเรียโดยจะเห็นความแตกต่างของปริมาณแบคทีเรียที่ระดับความเข้มข้นสูง ๆ ของสารอย่างเด่นชัดแต่ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาไม่เห็นแนวโน้มของความแตกต่างที่เด่นชัดนัก การที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้ อาจจะมีสาเหตุจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง เช่น ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากความไม่ระมัดระวังในเรื่องการใช้เครื่องมือ การจับเวลาของการนับฆ่าเชื้ออาจจะไม่เที่ยงตรง การทำความสะอาดตู้เขี่ยเชื้อไม่ดีพอ การเคลื่อนย้ายจานเลี้ยงเชื้อ (plate) หลังจากทำการทดลองเสร็จแล้วเกิดมีการปนเปื้อนโดยเชื้อรา หรือเชื้ออื่น ๆ ซึ่งสาเหตุดังกล่าวก่อให้เกิดความผิดพลาดของผลการทดลองได้

เอกสารอ้างอิง

- ขวัญชัย สมบัติศิริ, ดร. ยาช่าแมลง. ภาควิชากีฏวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บรรพต ณ ป้อมเพชร. หลักการควบคุมแมลงศัตรูพืชความรู้พื้นฐานและความปลอดภัยเกี่ยวกับยาปราบศัตรูพืช. ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสำนักงานคณะกรรมการแห่งชาติ
- ปกรณ์ สุเมธานนท์ และโกมล ศิวบรร. 2526. ยาช่าแมลงต่อพิษภัยสุขภาพ. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ปรีชา ฉั่วพานิช และพัฒน์เก้ สังฆะตววรรณ. 2528. สารกำจัดศัตรูพืชในประเทศไทย. ฝ่าอวัตภูมิพิษกองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- รังสิต สุวรรณเขตนิคม, รศ. สารกำจัดวัชพืชกับผลทางสรีรวิทยาของพืชเล่ม 2 กลไกการทำลายพืช. ภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิชา มะเสนา, ดร. 2526. จุลชีววิทยาทางดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, ดร. 2529. จุลชีววิทยาของดินเพื่อผลผลิตทางการเกษตร. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2.
- สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, ดร. 2519. ยาช่าแมลง. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- สุชาติ สุนทรพันธ์. 2517. อิทธิพลของยาช่าแมลงและยาช่าวัชพืชที่มีต่อปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- สมศักดิ์ วัจโน. 2524. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Alexander, M. 1961. Introduction to soil microbiology. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Alexander, M. 1961. Microbiology of the rhizosphere. Introduction to soil microbiology. Tokyo, Toppan company.
- Alexander, M. 1965. Persistence and biological reactions of pesticides in soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 1-7.

- Alexander, M. 1966. Degradation of pesticides by soil bacteria. Ecology of soil bacteria. Liverpool : Univ. of Liverpool Preas.
- Anderson, W.P. 1977. Weed Science : Printiples West Publising Company. St.Paul.
- Ashton, F.M. and A.S. Crafts. 1987. Mode of Action of Herbicides. Edition. John Wiley & son, Inc., New York.
- Brain, R.C. 1964. The metabolism of herbicides. Weed Res. 4:105-117.
- Chacko, C.L. and J.L. Lockwood. 1966. Chlorinated hydrocarbon pesticides :degradation by microbes. Science, 154:893-895.
- Craft, A.S. and C.E. Crisp.1971. Phloem Transport in Plant. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- De Rose, H.R. and A.S. Newman.1948. The comparison of persistance of certain plant growth regarators when applied to soil. Soil Science. Soc. Amer., 12:222-225.
- Gottrup, O., P.A.O'Sullivan, R.J. Schraa and W.H. Vander Born. 1976. Uptake translocation, metabolism and selectivity of Glyphosate in canada thistle and leafy spurge. Weed Res. 197 : 201.
- Harris, C.R. and E.P. Lichtenstein. 1961. Factors affecting the volatilization of insecticidal residues from soil. J.Econ, Entomol. 54 : 1038-1045.
- Katznelson, H. and J.W. Rouatt. 1957. Studies on incidence of certion Phisiology groups of bacteria in the rhizosphere. Can.J. Microbiology. 3 : 265-275.
- Kaufman, D.D and P.C. Kearney. 1976. Microbial tranformation in the soil. In Herbicides. 2nd Edition. Edited by L.J. Audus. Academic Press, New York.
- Kaunat, H. 1970. Growth factor requiring bacteria in the near rhizosphere of cultivated plants. V. Nature of the growth factors. Zentbl. Bakt. Parasitkde Abt. II. 124 : 56-67.

- King, H. Del. and R.H. Wallace. 1956. Morphological and physiological groups of soil bacteria from the roots of barley and oats. *Can. J. Microbiology*. 2 : 473-481
- Lauchli, A. 1976. Apoplasmic transport in tissue. In transport in Plants II. Part B. Tissue and organ. Vol. 2. Edited by U.Luttge and M.G. Pitman. Springer-Verlage, Berlin.
- Lichtenstein, E.P. ; G.R. Myrdal and K.R. Schulz. 1964. Effect of formulation and mode of application of aldrin on the loss of aldrin and its epoxide from soils and thier translocation into carrots. *J. Econ. Entomol.* 57 : 133-136
- Lichtenstein, E.P. and K.R. Schulz. 1959(a). Breakdown of lindance and aldrin in soils. *J. Econ. Entomol.* 52 : 118-124.
- Lichtenstein, E.P. and K.R. Schulz. 1959(a). Persistance of some chlorinated hydrocarbon insecticides as influenced by soil types, rates of application and temperature. *J. Econ. Entomol.* 52 : 124-131.
- Lochhead, A.G. 1940. Quantitative studies of soil microorganisms. III. Influence of plant growth on the character of the bacteria flora. *Can. J. Research.* 18 : 42-53.
- Nichoson, H.P. ; H.J. Webb ; G.J. Lauer ; R.E.O.'Brien ; A.R. Gzenda and D.W. Shanklin. 1962. Insecticide contamination in a farm pond. *Trans. Am. Fish. Soc.* 91 ; 213-222.
- Rangaswami, G, and V.N. Vasantharajan. 1962. Studies on the rhizosphere microflora of citrus trees. II. Quanlitative distribution on the bacteria flora. *Can J. Microbiology.* 8 : 479-484.
- Rouatt, J.W. and H. Katznrison. 1961. A study of the bacteria on the root surface and the rhizosphere soil of crop plants. *J. Appl. Bacteriol.* 1961 : 52-53.

- Rovira, A.D. 1965. Plant root exudates and their influence upon soil microorganism. Ecology of soil-borne plant pathogens. Berkely, Los Angeles : Univ. of california press.
- Sanberg, C.L., W.F. Meggitt and D. Penner. 1978. Metabolism of ^{14}C -glyphosate by tall morningglory (*Ipomoea purpurea*(L) Roth, Canada thistle (*Cirsium arvensis*(L) Scop.) and field bindweed (*Convolvulus arvensis* L) Weed Sci. Soc. Am. Abstr. No. 74.
- Wheatley, G.A. and J.A. Hardman. 1962. Entomology report. Bioassay of insecticide residue in soils. Rep. Nat. Veg. Res. Sta. Wellesbourru for 1961 : 52-53.
- Wyrill, J.B. III and O.C. Burnside. 1976. Absorption translocation and metabolism of 2,4-D and glyphosate in common milk weed and hemp dogbane. Weed Sci. 24 : 557-566.
- Zandstra, B.H. and R.K. Nishimoto. 1977. Movement and activity of glyphosate in purple nutsedge. Weed Sci. 25 : 268-274.

