

บทที่ 2

ตรวจสอบเอกสาร

สารกำจัดศัตรูพืชและสารกำจัดวัชพืช

สารกำจัดศัตรูพืช

สารกำจัดศัตรูพืชคือ สารที่ใช้ป้องกัน กำจัด ยับยั้ง และควบคุมศัตรูพืช สารกำจัดศัตรูพืชเป็นได้ทั้งสารเคมีและสารชีวภาพที่ใช้ควบคุมสิ่งที่ไม่ต้องการในการเพาะปลูกหรือสิ่งที่ไม่ทำลายพืช สารกำจัดศัตรูพืชที่สำคัญของประเทศไทยมีด้วยกัน 8 กลุ่ม ได้แก่ (ธวัชชัย, 2540)

1. สารกำจัดวัชพืช (herbicide) ใช้ควบคุมและกำจัดวัชพืช
2. สารกำจัดแมลง (insecticide) ใช้ควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูพืชในระยะไข่

ตัวอ่อน และตัวเต็มวัย

3. สารกำจัดหอย (molluscicide) ใช้ควบคุมและกำจัดหอยทั้งที่มีเปลือกและไม่มี

เปลือก

4. สารกำจัดเห็บไร (acaricide) ใช้ควบคุมและกำจัดเห็บ ไร ปลวก
5. สารกำจัดเชื้อรา (fungicide) ใช้ควบคุมและกำจัดเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคพืช
6. สารกำจัดสัตว์แทะ (rodenticide) ใช้ควบคุมและกำจัดหนูที่กัดกินทำลายพืชในไร่
7. สารรมควันพิษ (fumigant) ใช้ควบคุมและกำจัดวัชพืช แมลง เชื้อรา และ

สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในดิน

8. สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulator) ใช้ควบคุมการเจริญเติบโตของต้นพืช

สารกำจัดวัชพืช

สารกำจัดวัชพืช หรือที่เรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า “herbicide” นั้น โดยทั่วไปจะเรียกเป็นภาษาไทยที่แตกต่างกันไปได้หลายอย่าง เช่น ยาฆ่าหญ้า ยาปราบวัชพืช ยากำจัดวัชพืช และสารเคมีกำจัดวัชพืช ซึ่งทั้งหมดการใช้คำว่า “สารกำจัดวัชพืช” เป็นชื่อเรียกที่เหมาะสมที่สุด โดยได้มีการเรียกกันอย่างเป็นทางการในสมาคมวิทยาการวัชพืชแห่งประเทศไทย และกองพฤกษศาสตร์และวัชพืช กรมวิชาการเกษตร ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป สารกำจัดวัชพืช หมายถึง สารเคมีใดๆ ก็ตามที่น่ามาใช้เพื่อฆ่า ทำลาย หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของวัชพืช ไม่ว่าจะเป็นในขณะที่วัชพืชงอกขึ้นมาแล้วหรือยังเป็นเมล็ดอยู่ตลอดจนชิ้นส่วนต่างๆ ของวัชพืชที่ขยายพันธุ์ได้ทั้งที่อยู่ในดินหรือ

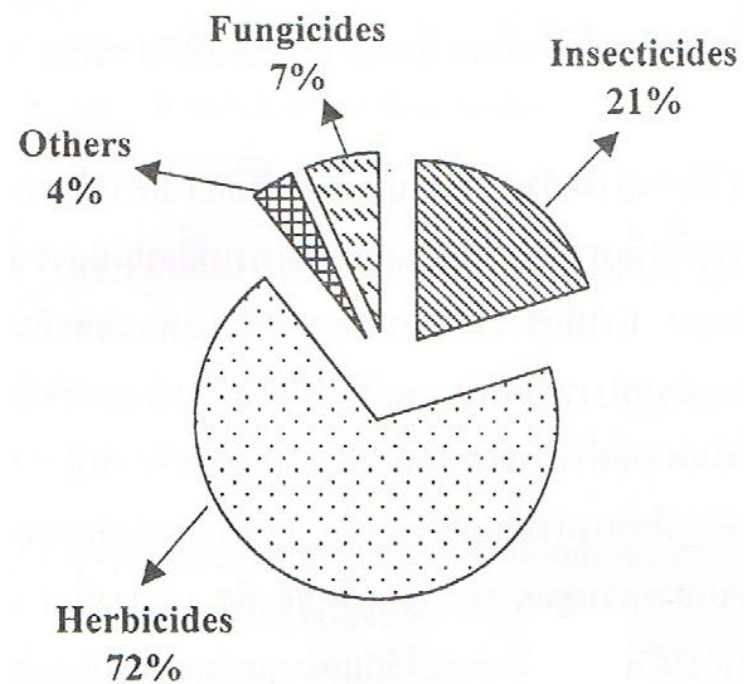
อยู่บนดิน (ทศพล, 2545) สารกำจัดวัชพืชจัดเป็นวัตถุอันตรายชนิดหนึ่ง ซึ่งได้ระบุไว้ในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย ปี พ.ศ. 2535 ของประเทศไทย (กองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2537)

การใช้สารกำจัดวัชพืชในปัจจุบันมีมากกว่าสารกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตรชนิดอื่นๆ การป้องกันกำจัดวัชพืชโดยใช้สารเคมีนั้นเป็นวิธีที่กำลังได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้สะดวกรวดเร็วแล้ว ในหลายกรณียังใช้ต้นทุนที่ต่ำกว่าวิธีอื่นๆ โดยเฉพาะในสภาพที่แรงงานหายากและราคาค่าแรงแพง อย่างไรก็ตามการใช้สารกำจัดวัชพืชให้ได้ผลนั้นผู้ใช้จะต้องมีความรู้ที่เพียงพอ เนื่องจากสารกำจัดวัชพืชที่ใช้อาจเป็นอันตรายต่อพืชปลูก มนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อมได้ (ทศพล, 2545)

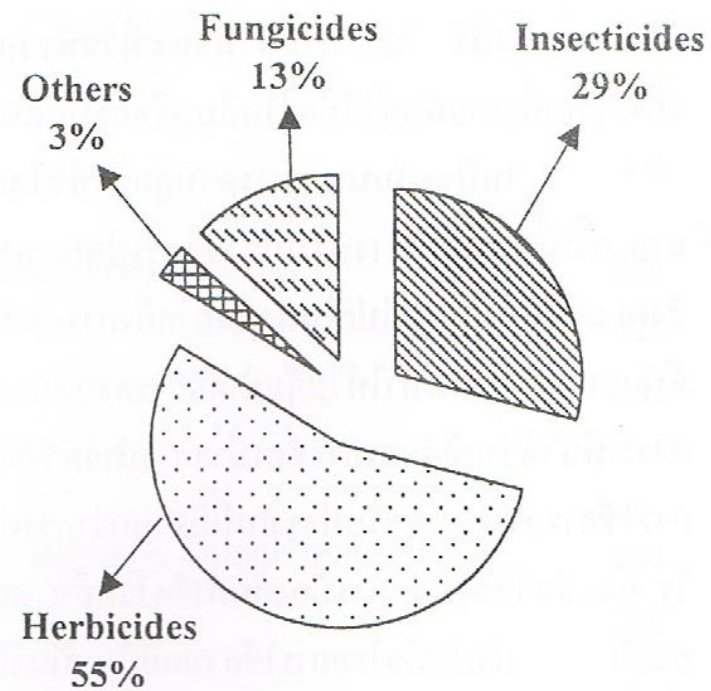
สถิติการจำหน่ายและการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร

ในปัจจุบันการควบคุมวัชพืชโดยใช้สารกำจัดวัชพืชนั้นเป็นวิธีการที่มีความสำคัญอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงวิธีการปลูก การขยายพื้นที่เพาะปลูก ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงสังคมภาคการเกษตรไปเป็นสังคมภาคการอุตสาหกรรม ทำให้แรงงานในภาคการเกษตรขาดแคลนและมีค่าจ้างแรงงานสูงขึ้นทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนและไม่สามารถทำงานได้ทันเวลากับการเจริญเติบโตของวัชพืช ซึ่งจะเห็นได้จากสถิติการจำหน่ายทั้งในตลาดต่างประเทศและประเทศไทยมีการจำหน่ายสารกำจัดวัชพืชในปริมาณที่มาก (ภาพ 1)

ตลาดการค้าสารเคมีเกษตรของประเทศไทยจัดเป็นประเทศในลำดับต้นๆ ของโลกที่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก จากรายงานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations; FAO) เมื่อปี พ.ศ. 2543 พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ทางการเกษตรมากเป็นอันดับที่ 48 ของโลก และมีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชมากเป็นอันดับ 4 ของโลก และใช้สารเคมีกำจัดแมลงมากเป็นอันดับ 5 ของโลก (ชมรมนักข่าวสิ่งแวดล้อม, 2547) ในประเทศไทยมีการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชมาใช้ในการเกษตรในปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี และสารกำจัดวัชพืชมีการนำเข้าสูงที่สุดในทุกๆ ปี ตามข้อมูลของสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ซึ่งได้รวบรวมไว้ในตารางปริมาณการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2548-2555 (ตาราง 1)



(ก)



(ข)

ภาพ 1 สถิติการจำหน่ายสารกำจัดวัชพืชทั้งในตลาดต่างประเทศและประเทศไทย

(ก) สถิติการจำหน่ายสารกำจัดวัชพืชในตลาดต่างประเทศ

(ข) สถิติการจำหน่ายสารกำจัดวัชพืชในตลาดประเทศไทย

ที่มา: Duke (1998); กองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร (2543); ทศพล (2545)

ตาราง 1 ปริมาณการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรของประเทศไทยปี พ.ศ. 2548-2555

ประเภทของวัตถุอันตราย	2548		2549		2550		2551	
	ปริมาณ (ล้าน กก.)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ล้าน กก.)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ล้าน กก.)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ล้าน กก.)	มูลค่า (ล้านบาท)
สารกำจัดแมลง (insecticide)	18.40	2,929.67	20.48	3,856.07	21.58	3,745.74	25.33	4,577.47
สารป้องกันและกำจัด โรคพืช (fungicide)	7.92	1,579.01	9.38	1,722.20	10.62	1,833.18	11.25	2,537.02
สารกำจัดวัชพืช (herbicide)	47.50	5,485.72	62.12	6,820.81	79.23	8,914.13	68.82	11,487.03
สารกำจัดไร (acaricide)	0.52	132.40	0.33	96.47	0.44	111.85	0.44	115.43
สารกำจัดหนู (rodenticide)	0.16	16.34	0.18	21.50	0.26	26.13	0.24	35.13
สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulator)	1.50	180.18	1.72	191.46	2.43	214.39	1.87	211.35
สารกำจัดหอยและหอยทาก (mollussicide)	0.63	96.52	0.56	61.29	0.69	41.71	0.79	61.87
สารรมควันพิษ (fumigants)	0.80	110.81	0.95	129.17	1.08	139.16	1.13	154.86
สารกำจัดไส้เดือนฝอย (nematocide)	-	-	-	-	-	-	0.01	1.5
รวม (total)	75.47	10,530.70	95.76	12,898.57	116.32	15,026.32	109.90	19,181.74

ที่มา: สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร (2555ก)

ตาราง 1 (ต่อ)

ประเภทของวัตถุอันตราย	2552		2553		2554		2555	
	ปริมาณ (ล้าน กก.)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ล้าน กก.)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ล้าน กก.)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ล้าน กก.)	มูลค่า (ล้านบาท)
สารกำจัดแมลง (insecticide)	24.68	3,972.44	23.41	4,669.88	34.67	5,938.02	16.79	3,686.16
สารป้องกันและกำจัด โรคพืช (fungicide)	10.36	2,967.93	9.67	3,859.56	12.17	3,875.35	6.97	3,883.43
สารกำจัดวัชพืช (herbicide)	97.95	9,338.49	80.27	3,859.56	112.17	11,479.52	106.86	11,293.85
สารกำจัดไร (acaricide)	0.62	133.27	0.40	125.88	0.47	133.44	0.19	64.15
สารกำจัดหนู (rodenticide)	0.22	25.78	0.43	61.74	0.49	75.76	0.00001	0.002
สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulator)	2.10	183.01	2.29	192.07	3.04	363.84	2.37	221.80
สารกำจัดหอยและหอยทาก (mollussicide)	0.69	47.17	0.34	32.83	0.60	55.86	0.23	53.60
สารรมควันพิษ (fumigants)	0.94	147.64	0.85	137.38	0.73	122.00	0.94	154.38
สารกำจัดไส้เดือนฝอย (nematocide)	-	-	-	-	0.00003	0.013	0.000004	0.03
รวม (total)	137.59	16,815.76	117.69	17,924.40	164.38	22,043.83	134.37	19,357.44

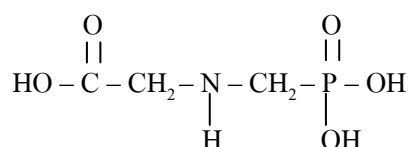
ที่มา: สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร (2555ก)

สารไกลโฟเสท

สารไกลโฟเสทเป็นสารประกอบของสารกำจัดวัชพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอเนต (organophosphonate) ซึ่งโครงสร้างโมเลกุลมีพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนจับกับฟอสฟอรัส (C-P) ที่มีความเสถียร สารไกลโฟเสทเป็นสารที่ออกฤทธิ์ในการกำจัดวัชพืชที่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการทำเกษตรกรรม การใช้สารไกลโฟเสทฉีดพ่นเพื่อกำจัดวัชพืชจะทำให้ใบของวัชพืชเกิดสีเหลืองและตาย ซึ่งเกิดจากการไปยับยั้งการสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิดอะโรมาติก (Rueppel *et al.*, 1977) สารไกลโฟเสทมีคุณสมบัติดังนี้คือ

1. คุณสมบัติทางเคมี

สูตรโครงสร้างทางเคมี



- ชื่อสามัญ : ไกลโฟเสท (glyphosate)
- ชื่อเคมี : เอ็น ฟอสโฟโนเมทิล ไกลซีน (N – phosphonomethyl glycine)
- ชื่อทางการค้า : ราวอี้ฟ (roundup)
- ไกลโฟเสท (glyphosate)
- คาวบอย (cowboy)
- สปาร์ค (spark)
- โฟเสท (phosate)
- เบรส (brace)
- ไฟร์ (fire)
- คลีนอัพ (cleanup)
- สูตรเคมี : $\text{C}_3\text{H}_8\text{NO}_5\text{P}$
- น้ำหนักโมเลกุล : 169.07
- สภาพทางฟิสิกส์ : ของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น
- จุดหลอมเหลว : 200 องศาเซลเซียส

จุดเดือด : 109 องศาเซลเซียส

การละลาย : ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ละลายในน้ำได้ 1.2 เปอร์เซ็นต์
(พรชัย, 2531; ทศพล, 2545)

2. การนำไปใช้ในทางการเกษตร

สารไกลโฟเสตจัดเป็นสารกำจัดวัชพืชที่สามารถกำจัดได้ทั้งวัชพืชใบแคบและวัชพืชใบกว้าง เป็นสารที่ดูดซึมเข้าไปในต้นวัชพืช ในสหรัฐอเมริกานิยมใช้สารไกลโฟเสตเพื่อกำจัดวัชพืชที่ขึ้นในแปลงปลูกข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ส้ม แอปเปิล ท้อ มันฝรั่ง หอมใหญ่ หน่อไม้ฝรั่ง กาแฟ ถั่วลิสง สับปะรด ไม้ดอกไม้ประดับ หญ้าสนาม และในแปลงปลูกป่านอกจากนี้ยังใช้กำจัดวัชพืชที่ขึ้นในบริเวณที่ไม่ใช่ทำการเกษตรด้วย เช่น ริมถนน ทางรถไฟ และตามบ้านเรือน เป็นต้น (กฤษฎา, 2547)

สารไกลโฟเสตเป็นสารที่ใช้ทางใบ และใช้ในการควบคุมวัชพืชแบบหลังออกและไม่เลือกทำลาย สามารถควบคุมวัชพืชพวงวงศ์หญ้า วัชพืชใบกว้างปีเดียว และวัชพืชข้ามปีพวกหญ้าคา ตลอดจนพวกวัชพืชไม้พุ่มเขื่อนแข็ง เช่น ไมยราบยักษ์ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นพิษรุนแรงกับวัชพืชพวงวงศ์หญ้าปีเดียว สารสามารถดูดซึมเข้าทางใบหรือส่วนที่มีสีเขียวอื่นๆ ภายหลังฉีดพ่นสารออกฤทธิ์จะเคลื่อนย้ายหรือถูกดูดซึมเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหารไปยังส่วนต่างๆ ของต้นพืช แล้วทำลายจุดเจริญของพืชทั้งส่วนยอดและราก (Thomson, 1993)

3. ตำแหน่งที่ทาปฏิกิริยาภายในพืช

สารไกลโฟเสตทำงานโดยการเข้าไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 5-enolpyruvylshikimic acid-3-phosphate synthase (EPSPs) ซึ่งกรดอะมิโนดังกล่าวมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนและจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (Carlisle and Trevors, 1988) เอนไซม์ 5-enolpyruvylshikimic acid-3-phosphate synthase (EPSPs) เป็นเอนไซม์ที่พบในคลอโรพลาสต์ของพืชมากกว่าในสัตว์ นอกจากนี้ไกลโฟเสตยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารยับยั้ง phosphoenolpyruvate (PEP) ซึ่งเป็นหนึ่งในสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่มีกลิ่นหอม นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อกระบวนการทางชีวเคมีอื่นๆ อีกด้วย (Tu, 2001)

4. ลักษณะอาการที่พืชได้รับพิษ

ลักษณะอาการที่พืชได้รับพิษหลังจากที่พืชได้รับสารไกลโฟเสตภายใน 4-7 วัน จะมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชทันที และวัชพืชวงศ์หญ้าที่อ่อนแอจะแสดงอาการได้รับพิษภายใน 10-20 วัน ทำให้ใบที่ยังไม่แก่เต็มที่และจุดเจริญถูกทำลายไป

การรับพิษจากการดูดซึมจะทำให้พืชดูดซึมสารไกลโฟเสตโดยผ่านทางคิวติเคิลซึ่งสารไกลโฟเสตที่อยู่ในรูปเกลือจะสามารถเข้าสู่พืชได้เร็วกว่าสารที่อยู่ในรูปกรด

การรับพิษจากการเคลื่อนย้ายเกิดจากสารไกลโฟเสทจะเคลื่อนย้ายจากบริเวณส่วนของใบไปสู่เนื้อเยื่อ โดยเฉพาะส่วนที่อยู่บริเวณเนื้อเยื่อเจริญ เนื้อเยื่อที่สะสมอาหาร เนื้อเยื่อที่อยู่ใต้ดิน และใบที่ยังไม่แก่เต็มที่ ดังนั้นอวัยวะของพืชที่ทำหน้าที่สะสมอาหาร เช่น หัว เหง้า และไหล จึงมีสารไกลโฟเสทไปสะสมอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง เป็นผลทำให้มีประสิทธิภาพสามารถควบคุมวัชพืชอายุข้ามปีได้ดี (ทศพล, 2545)

สารไกลโฟเสทเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขายอยู่ในรูปของเหลวรูปเกลือไอโซพรอฟิลามีน มีสารออกฤทธิ์ 41 เปอร์เซ็นต์ อาการที่พืชแสดงหลังจากฉีดพ่นสารไกลโฟเสทคือ มีอาการเหี่ยวและเหลือง ซึ่งเริ่มจากเนื้อเยื่อที่อ่อนไปสู่เนื้อเยื่อที่แก่ ยอดอ่อนที่งอกใหม่อาจจะมีอาการผิดปกติเนื่องจากสารไกลโฟเสทจะเข้าไปขัดขวางกลไกการสังเคราะห์โปรตีนภายในต้นพืช (อำพร, 2538)

5. พฤติกรรมในดิน

สารไกลโฟเสทจะถูกดูดซับด้วยอนุภาคของดินอย่างรุนแรง จุลินทรีย์ในดินหลายชนิดสามารถย่อยสลายโมเลกุลของสารไกลโฟเสทได้ ถึงแม้ว่าสารไกลโฟเสทจะไม่ค่อยมีการสูญเสียโดยปฏิกิริยาของแสงหรือการระเหยก็ตาม แต่การสูญเสียจะเกิดขึ้นได้มากโดยการที่โมเลกุลของสารไกลโฟเสทสลายตัวด้วยตัวเองมาจากจุลินทรีย์ในดิน คาร์บอนจากโมเลกุลของสารไกลโฟเสทประมาณ 10-70 เปอร์เซ็นต์ถูกเปลี่ยนเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สารไกลโฟเสทมีครึ่งชีวิตในดินนาน 30-47 วัน (พรชัย, 2541; รังสิต, 2547)

6. ข้อมูลความเป็นพิษ

ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันในหนู ทางปาก มีค่า LD_{50} เท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าความเป็นพิษเฉียบพลันในกระต่ายทดลอง ทางผิวหนัง มีค่า LD_{50} เท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ทศพล, 2545) จากการศึกษาผลของสารไกลโฟเสทที่มีต่อหนูทดลองพบว่าเมื่อหนูทดลองได้รับสารไกลโฟเสทเข้าสู่ร่างกายจะมีน้ำหนักตัวลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าหนูตัวผู้เป็นเนื้องอกในตับและตับอ่อนมากขึ้น ในขณะที่หนูตัวเมียเป็นมะเร็งที่ต่อมไทรอยด์มากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากสารไกลโฟเสทมีสารประกอบพวกเอ็นไนโตรโซ (N - nitroso compounds) ที่เป็นสารก่อมะเร็ง (กฤษณา, 2547)

7. ค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของสารไกลโฟเสทในสิ่งแวดล้อม

การกำหนดค่ามาตรฐานของการปนเปื้อนสารไกลโฟเสทที่มีกำหนดอยู่ในปัจจุบันคือองค์กร environmental protection agency (EPA) ของประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งได้กำหนดค่ามาตรฐานการปนเปื้อนสารไกลโฟเสทที่พบได้ในน้ำดื่มของประเทศไทยไว้ตาม safe drinking water act ว่าค่า maximum contaminant level (MCL) ต้องไม่เกิน 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

(EPA, 2009) จากการคำนวณของ EPA ค่าการสัมผัสจากสิ่งแวดล้อมต่อวันที่ยังปลอดภัย (reference dose; RfD) ของสารไกลโฟเสทอยู่ที่ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน (EPA, 1993)

การนำเข้าสารไกลโฟเสท

สารไกลโฟเสทมีขอยกจำหน่ายสูงสุดทั้งในสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่นๆ อีกหลายประเทศ โดยมีการจดทะเบียนเป็นสารเคมีเกษตรใน 130 ประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ยังมีการประชาสัมพันธ์สรรพคุณของสารไกลโฟเสทว่าเป็นสารกำจัดวัชพืชได้หลายชนิดและมีประสิทธิภาพสูง (กฤษฎา, 2547) ทั้งนี้สำนักควบคุมพืชและวัสดุทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ได้รวบรวมข้อมูลปริมาณการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชที่มีการนำเข้ามากที่สุด 10 อันดับแรกของประเทศไทยไว้จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าในปี พ.ศ. 2550-2555 ประเทศไทยได้มีการนำเข้าสารไกลโฟเสทมากที่สุดเป็นอันดับ 1 (ตาราง 2)

ตาราง 2 ปริมาณการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชที่มีการนำเข้าสูงสุด 10 อันดับแรกในปี พ.ศ. 2550-2555

ลำดับ	ปี พ.ศ.								
	2550			2551			2552		
	ชื่อสาร	ปริมาณ (ล้าน ก.ก.)	มูลค่า (ล้านบาท)	ชื่อสาร	ปริมาณ (ล้าน ก.ก.)	มูลค่า (ล้านบาท)	ชื่อสาร	ปริมาณ (ล้าน ก.ก.)	มูลค่า (ล้านบาท)
1	glyphosate	34.98	3,028	glyphosate	19.17	3,610	glyphosate	39.81	2,750
2	paraquat	16.86	1,808	paraquat	19.74	2,402	paraquat	21.69	2,163
3	2,4-D sodium salt	4.03	316	2,4-D sodium salt	4.25	385	carbofuran	4.45	160
4	ametryn	3.96	555	Atrazine	3.76	474	abamectin	4.20	623
5	atrazine	3.68	356	Ametryn	4.06	681	2,4-D sodium salt	3.56	300
6	parathion methyl	2.74	164	Butachlor	2.59	307	atrazine	2.79	330
7	mancoze	2.00	246	Colopyrifos	2.35	449	glyphosate acid	2.69	327
8	endosulfan	2.24	148	2,4 dimethyl	2.51	180	2,4 dimethyl	2.19	117
9	carbendazin	1.78	258	Mancozeb	2.14	209	butachlor	2.02	211
10	mathamidophos	1.53	248	Propanil	1.79	240	ametryn	1.60	262

ที่มา: สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร (2555ข)

ตาราง 2 (ต่อ)

ลำดับ	ปี พ.ศ.								
	2553			2554			2555		
	ชื่อสาร	ปริมาณ (ล้าน ก.ก.)	มูลค่า (ล้านบาท)	ชื่อสาร	ปริมาณ (ล้าน ก.ก.)	มูลค่า (ล้านบาท)	ชื่อสาร	ปริมาณ (ล้าน ก.ก.)	มูลค่า (ล้านบาท)
1	glyphosate	26.02	1,739	glyphosate	47.17	2,820	glyphosate	40.31	2,516
2	paraquat dichloride	21.02	1,662	paraquat dichloride	28.86	2,417	paraquat dichloride	26.72	2,086
3	ametryn	5.14	709	2,4 dimethyl	4.45	359	ametryn	8.34	1,332
4	2,4-D sodium salt	4.13	317	ametryn	4.79	651	2,4 dimethyl	6.65	512
5	atrazine	4.30	447	2,4-D sodium salt	3.81	353	atrazine	5.87	720
6	2,4 dimethyl	3.92	240	Butachlor	3.87	399	2,4-D sodium salt	4.48	521
7	butachlor	2.18	211	Atrazine	3.20	321	diuron	2.41	450
8	diuron	2.18	317	chlorpyrifos	3.48	524	butachlor	2.28	255
9	chlorpyrifos	1.89	272	Diuron	2.29	372	acetochlor	2.36	198
10	glyphosate acid	1.64	215	Mancozeb	1.86	177	mancozeb	1.40	136

ที่มา: สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร (2555ข)

การปนเปื้อนของสารไกลโฟเสทในสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันมีการใช้สารเคมีที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์หลายชนิดในทางเกษตรพบว่าถ้าเกษตรกรไม่มีการจัดการที่ถูกต้องในการใช้สารเคมีเหล่านั้นก็จะทำให้เกิดการสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะในดิน (Stelmack *et al.*, 1999) และสารเคมีบางชนิดยังคงทนอยู่ในสภาพแวดล้อมได้เป็นเวลานานรวมทั้งสามารถยึดเกาะติดกับอนุภาคของดินและเคลื่อนย้ายไปสู่พืชที่มีประโยชน์ได้ (Thapinta and Hudak, 2003)

การใช้สารกำจัดวัชพืชเป็นเวลานาน 30 ปี ภายใต้ระบบนิเวศที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อทำการสำรวจพบว่าสารไกลโฟเสทยังคงปนเปื้อนอยู่ในดินเป็นเวลานาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน สภาพภูมิอากาศ และปัจจัยอื่นๆ สารไกลโฟเสทที่สะสมอยู่ในดินจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ (Eberbach, 1998) การพ่นสารไกลโฟเสทลงดินจะทำให้สารไกลโฟเสทถูกอนุภาคดินยึดจับไว้ (กฤษณา, 2547) สารไกลโฟเสทเกิดการปนเปื้อนในน้ำเนื่องจากน้ำฝนส่วนที่ตกลงบนผิวดินแล้วไหลไปตามผิวดินลงสู่ลำน้ำบางส่วนได้ระเหยและรั่วซึมลงไปในดินส่งผลให้เกิดสารพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำบางชนิดได้ (Alberdi *et al.*, 1996)

สารไกลโฟเสทสามารถเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศทางธรรมชาติโดยส่งผลกระทบต่อความหลากหลายของประชากรจุลินทรีย์ในดิน สารประกอบนี้ยับยั้งการเจริญเติบโตและลดปริมาณความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดิน เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา แอคติโนมัยซิท และยีสต์ (Carlise and Trevors, 1988) ผลกระทบในการใช้สารไกลโฟเสทต่อพืชทำให้พืชตอบสนองต่อการติดเชื้อโดยจุลินทรีย์ก่อโรคในพืช (Levesque and Rahe, 1992)

เมื่อเกษตรกรใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในแปลงเพาะปลูกก็มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใช้โดยตรง การได้รับสารพิษเข้าร่างกายโดยไม่ได้ป้องกันตนเองเพียงพอจะทำให้สารพิษเข้าไปสะสมในร่างกายจนเมื่อมีปริมาณมากพอก็แสดงอาการ ในบางรายอาจจะเข้าไปที่จากรักษาเนื่องจากการสะสมของสารพิษตกค้างในปริมาณสูง ซึ่งเกษตรกรเองอาจไม่ตระหนักถึงความรุนแรงดังกล่าว หรืออาจมีความมุ่งหวังต่อผลตอบแทนในระยะสั้นสูงกว่าปัญหาความเสี่ยงเรื่องสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นในระยะยาว นอกจากนั้นผลกระทบด้านสุขภาพอาจเกิดต่อผู้บริโภคจากสารพิษตกค้างที่อยู่ในผลิตผลต่างๆ รวมทั้งสารพิษตกค้างในน้ำดื่ม และในบรรยากาศ (วราภรณ์, 2550)

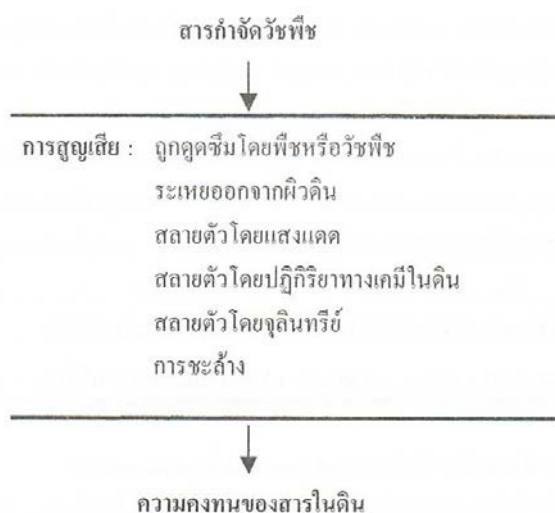
ความคงทนและผลตกค้างของสารกำจัดวัชพืชในดิน

ระยะเวลาที่สารกำจัดวัชพืชมีฤทธิ์ในดิน เรียกว่า ความคงตัวของสารในดิน (soil persistence) ส่วนอายุของสารที่ตกค้างในดิน เรียกว่า ผลตกค้างของสารในดิน (soil residue)

ข้อเสียจากการตกค้างของสารกำจัดวัชพืชในดิน

1. เป็นพิษกับพืชที่ปลูกร่วมกัน
2. เข้าสู่ต้นพืชและสะสมในพืชที่ปลูกร่วมกัน อาจจะเป็นพิษต่อผู้บริโภค
3. สะสมในดินชั้นล่างจนเป็นพิษ
4. ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ลดผลตกค้างได้

ความคงทนของสารในดินเมื่อใช้สารกำจัดวัชพืชไม่ว่าจะเป็นลักษณะการฉีดทางใบแบบหลังออกหรือการฉีดทางดินแบบก่อนงอกโดยตรง โมเลกุลของสารเหล่านี้อาจเกิดความคงทน (persistence of herbicide) ในดินได้ในช่วงระยะเวลายาวนาน แตกต่างกันไป ซึ่งความคงทนของสารในดินนี้ ความจริงแล้วก็คือ ส่วนที่เหลือจากพฤติกรรมต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสีย ได้แก่ การดูดซึมโดยพืชและวัชพืช การระเหยออกจากผิวดิน การสลายตัวโดยแสงแดดหรือโดยปฏิกิริยาทางเคมีในดิน การสลายตัวโดยจุลินทรีย์ในดิน และการชะล้าง เป็นต้น (ภาพ 2)



ภาพ 2 การเกิดความคงตัวของสารกำจัดวัชพืชในดิน

ที่มา: Ross and Lembi (1985)

กระบวนการหลักที่สำคัญในการศึกษาการสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชหลังจากที่สารกำจัดวัชพืชตกลงในดิน สามารถเกิดการดูดซึม การเคลื่อนย้าย และการย่อยสลาย ของสารกำจัดวัชพืชมีลักษณะดังนี้

1. การดูดซึม

ขึ้นอยู่กับลักษณะของสารกำจัดวัชพืชโดยสารละลายคอลลอยด์ในดิน จะสามารถจับตัวหรือยึดเกาะได้ดีกับดินที่เป็นอินทรีย์วัตถุ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอนุภาคของสารโดยถ้าเป็นสารกำจัดวัชพืชที่เป็นประจุบวกโมเลกุลของสารจะยึดเกาะติดแน่นกับอนุภาคดินได้ดีกว่า แต่ถ้าเป็นประจุลบจะเกิดการผลักและห่างจากอนุภาคของดิน เช่น ไคควีท และ พาราควีท ซึ่งมีอนุภาคเป็นบวก สารดังกล่าวจะไม่แสดงกิจกรรมหรือไม่เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่จะใช้ประโยชน์ได้ในดิน เพราะว่าอนุภาคของสารที่เป็นประจุบวกจะถูกยึดไว้กับอนุภาคของดินซึ่งเป็นประจุลบ

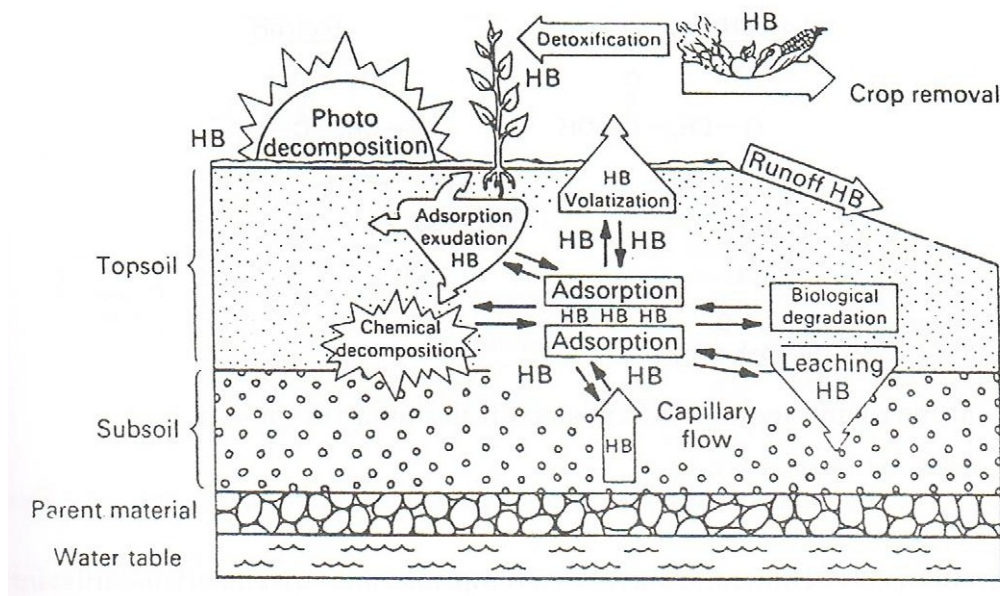
นอกจากนี้ยังพบว่าความชื้นในดินมีผลต่อการยึดเกาะกับอนุภาคของดิน เนื่องจากน้ำมีความสามารถในการยึดเกาะ และเกี่ยวข้องกับการระเหยของสารกำจัดวัชพืชอีกด้วย

2. การเคลื่อนย้าย

ความสามารถของสารกำจัดวัชพืชจะพิจารณาจากการละลายในดินและในน้ำ ซึ่งเกิดจากการระเหยและเคลื่อนตัวของน้ำจากดินไปสู่พืช

3. การสลายตัว

การสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชเหล่านี้เกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของสารกำจัดวัชพืช สภาพแวดล้อม การจับตัวกับอนุภาคของสารละลายในดิน และปริมาณจุลินทรีย์ในดิน โดยสารกำจัดวัชพืชบางชนิดสามารถถูกนำไปใช้ในเมตาบอลิซึมของเซลล์จุลินทรีย์บางชนิดได้ โดยการเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุพันธ์ต่างๆ ซึ่งจะสามารถนำเข้าสู่วิถีต่างๆ ภายในเซลล์ได้ เช่น วิถี catechol ซึ่งคล้ายกับการย่อยสลายอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ซึ่งจุลินทรีย์ที่มีกลไกเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มของรา และแบคทีเรีย เป็นส่วนใหญ่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2542) (ภาพ 3)



ภาพ 3 กระบวนการสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชในสิ่งแวดล้อม

ที่มา: Ross and Lembi (1985)

ในการใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดหนึ่งชนิดหนึ่งลงไปในดิน โดยเฉพาะสารที่มีฤทธิ์ในการควบคุมวัชพืชที่ใช้ทางดินนั้น ผู้ใช้ต้องการให้สารมีความคงทนในดินได้ยาวนาน โดยเฉพาะในช่วงสำคัญที่ต้องการควบคุมวัชพืช ซึ่งจะเห็นได้ว่าขึ้นอยู่กับชนิดของพืชปลูก พืชปลูกบางชนิดที่ต้องการช่วงการปราศจากวัชพืชที่ยาวนานนั้นจำเป็นต้องใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีความคงทนได้ยาวนาน ซึ่งอาจยาวนานเกินช่วงอายุการปลูกพืชในฤดูนั้นและมีผลกระทบต่อพืชปลูกชนิดที่อ่อนแอต่อสารกำจัดวัชพืชชนิดนั้น (ทศพล, 2545)

ผลกระทบจากการใช้สารไกลโฟเสตในการทำการเกษตร

การใช้สารไกลโฟเสตในประเทศไทยมีมานานแล้วโดยที่ปริมาณการใช้ไม่ได้ลดลงมีแต่เพิ่มขึ้นตามปริมาณผลผลิตที่ต้องการ จึงทำให้มีการแพร่กระจายของสารไกลโฟเสตต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมมากขึ้นด้วยและทำให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศมากมาย นอกจากนี้สารเคมีเหล่านี้มีความคงทนและยากต่อการย่อยสลาย เนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อนจึงสามารถสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นระยะเวลานาน (ศิริพรรณ, 2550) องค์การอนามัยโลกได้มีการรวบรวมองค์ความรู้ทางวิจัยที่เชื่อมโยงผลกระทบระหว่างพิษภัยจากสารเคมีเกษตรตกค้างที่มี

ต่อสุขภาพ และมลพิษในสภาพแวดล้อม เพื่อให้ตระหนักถึงภัยและความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการใช้สารเคมีเกินขนาด (WHO, 2011) การใช้สารเคมีเกษตรในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีส่วนช่วยเพิ่มผลผลิตด้านการเกษตร แต่ปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้นมากผนวกกับการใช้ที่ไม่ถูกต้องได้ก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงต่อทั้งสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (วรารักษ์, 2550)

ในปัจจุบันเกษตรกรได้เห็นถึงอันตรายที่เกิดขึ้นจากการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นความเป็นพิษที่เกิดขึ้นกับพืช คน สัตว์ และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งสารเคมีบางชนิดยังเกิดการสะสมอยู่ในดินเป็นเวลานาน ทำให้ส่งผลต่อการเพาะปลูกและสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียง และสามารถคงทนอยู่ในดินได้เป็นเวลานานทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตของพืชปลูกลดลง (รังสิต, 2526) ผลกระทบของการใช้สารไกลโฟเสทในการทำเกษตรกรรม ได้แก่

1. ผลกระทบของสารไกลโฟเสทต่อพืช

ผลกระทบของสารไกลโฟเสทที่มีต่อคุณภาพของพืช เช่น การใช้สารไกลโฟเสทในแปลงฝ้าย มีผลทำให้คุณภาพของเมล็ดฝ้ายต่ำ คือทำให้ความงอกลดลง 24-85 เปอร์เซ็นต์ ต้นกล้าอ่อนแอ และไม่สามารถตั้งตัวได้ดีเมื่อนำไปปลูกในแปลง เป็นต้น

นอกจากนี้สารไกลโฟเสทยังมีผลกระทบทำให้พืชเป็นโรคมากขึ้น เช่น ทำให้ประชากรเชื้อที่เป็นสาเหตุโรครากเน่าในถั่วที่อาศัยอยู่ในดินเพิ่มขึ้น และสารไกลโฟเสทที่เข้าไปในต้นสนจะยับยั้งกลไกการป้องกันตัวของต้นสนจากเชื้อรา จึงทำให้ต้นสนเป็นโรคได้ง่าย การใช้สารไกลโฟเสทพ่นเพื่อกำจัดวัชพืชในแปลงแห่งหนึ่งหลังจากนั้นประมาณหนึ่งเดือนได้ปลูกผักกาดหอมและอีกสี่เดือนต่อมาได้นำผักกาดหอมเหล่านั้นไปวิเคราะห์สารตกค้างพบว่ามีการใช้สารไกลโฟเสทปนเปื้อนอยู่ เช่นเดียวกับกรณีข้าวบาร์เลย์ที่ปลูกภายหลังการใช้สารไกลโฟเสทกำจัดวัชพืชในแปลงหนึ่งเดือนและอีกสี่เดือนต่อมาพบว่าข้าวบาร์เลย์ที่เก็บไปวิเคราะห์นั้นมีการใช้สารไกลโฟเสทปนเปื้อนอยู่ นอกจากนี้การนำวัชพืชไปอบเพื่อนำไปทำเป็นอาหารไม่ได้ช่วยให้พืชตกค้างจากสารไกลโฟเสทลดลงได้ (กฤษณา, 2547)

2. ผลกระทบของสารไกลโฟเสทต่อสิ่งแวดล้อม

ปัญหาเกี่ยวกับสารกำจัดวัชพืชตกค้างในสิ่งแวดล้อมนั้น ไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ที่มีการใช้สารนี้เท่านั้นแต่สามารถแพร่กระจายและตกค้างในบริเวณกว้าง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาล้างแวดล้อมตามมา เริ่มจากสารพิษตกค้างในดินและลำต้นพืชหลังการฉีดพ่นอาจเกิดการสะสมในส่วนหนึ่ง บางส่วนฟุ้งกระจายไปในอากาศ บางส่วนซึมลงไปในดิน และบางส่วนก็ถูกฝนชะและพัดพาไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดินไหลลงสู่แหล่งน้ำ (นวลศรี, 2533)

นอกจากนี้สารเคมีป้องกันกำจัดวัชพืชที่ฉีดพ่นลงในพื้นที่นาข้าว นั้น มีการสะสมในดินได้ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน การสลายตัวขึ้นกับค่าครึ่งชีวิต (half-life) ของสารแต่ละชนิด หาก

สลายตัวได้ซ้ำโอกาสที่จะแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำย่อมเป็นไปได้สูง (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2554) ในการพ่นสารไกลโฟเสทแต่ละครั้งการฟุ้งกระจายของละอองสารเคมีย่อมเกิดขึ้นได้เสมอเนื่องจากกระแสลมในแปลงทำให้ละอองสารเคมีปลิวไปตกที่อื่นได้ไม่ว่าจะเป็นการใช้เครื่องพ่นสารเคมีชนิดใดก็ตาม การศึกษาเรื่องระยะทางที่ละอองสารเคมีปลิวไปนั้นมีกรณีหนึ่งในรัฐแคลิฟอร์เนียที่พบว่าละอองสารไกลโฟเสทสามารถปลิวไปได้ไกลประมาณ 800 เมตร

การพ่นสารกำจัดวัชพืชลงพื้นดินโดยใช้เครื่องพ่นติดตั้งกันรถแทรกเตอร์สามารถทำให้ต้นกล้าที่อยู่ห่างจากจุดพ่นสาร 20 เมตร ตายไปประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และต้นกล้าที่อ่อนแอมากๆ จะตายได้แม้อยู่ห่างจากจุดพ่นสารไกลโฟเสทไกลถึง 40 เมตร และการพ่นสารกำจัดวัชพืชทางอากาศโดยใช้เฮลิคอปเตอร์นิยมใช้พ่นสารกำจัดวัชพืชในบริเวณกว้าง เช่น แปลงปลูกพืชที่มีขนาดใหญ่ หรือพื้นที่ป่า เป็นต้น การพ่นสารทางอากาศเช่นนี้ทำให้ละอองสารปลิวได้ไกลเป็นระยะทาง 200 เมตร ขึ้นไป

รวมถึงการพ่นสารกำจัดวัชพืชด้วยเครื่องบินโดยทดลองพ่นในพื้นที่ป่าของแคนาดา พบว่าละอองสารปลิวได้ไกลถึง 300-400 เมตร และในสหรัฐอเมริกาได้มีรายงานว่า การพ่นสารไกลโฟเสทเพียงครั้งเดียวโดยใช้เครื่องบินพ่นสามารถก่อให้เกิดความเสียหายมากมาย เช่น ทำให้ต้นไม้ใหญ่ถูกทำลายประมาณ 1,000 ต้น ข้าวโพดตาย 250 เอเคอร์ มะเขือเทศตาย 155 เอเคอร์ เป็นต้น (กฤษณา, 2547)

3. ผลกระทบของสารไกลโฟเสทต่อสิ่งมีชีวิต

3.1 ผลกระทบของสารไกลโฟเสทต่อแมลง

ถ้ามีสารไกลโฟเสทปนเปื้อนอยู่ที่บริเวณผิวน้ำ แสงแดด หรือน้ำไม่สามารถทำให้สารไกลโฟเสทแตกตัวได้ทันที การสลายตัวของสารไกลโฟเสทในน้ำใช้เวลาประมาณ 70-84 วัน และในดินประมาณ 47-174 วัน แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าสลายตัวทั้งหมดการสลายตัวนี้จะสลายตัวไปเพียงครั้งหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการปนเปื้อนของสารไกลโฟเสทในดินหรือน้ำจึงมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในสภาพแวดล้อมได้ เช่น แมลงที่มีประโยชน์พวกแตนเบียน แมลงช้างปีกใส และด้วงเต่า เป็นต้น (กฤษณา, 2547)

3.2 ผลกระทบของสารไกลโฟเสทต่อสัตว์

การพ่นสารไกลโฟเสทลงดินติดต่อกันหลายๆ ครั้งมีผลต่อการเจริญและการมีชีวิตรอดของไส้เดือน ถ้าพ่นลงน้ำจะมีพิษเฉียบพลันต่อปลาโดยที่อุณหภูมิของน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่าง ยิ่งสูงทำให้ความเป็นพิษรุนแรงขึ้น นอกจากนี้การพ่นสารไกลโฟเสทเพื่อกำจัดวัชพืชในน้ำให้ไม่มีพืชน้ำเจริญเติบโตให้ร่มเงา น้ำจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดอันตรายต่อปลาหรือสัตว์น้ำบางชนิดที่ไม่ชอบอุณหภูมิสูงได้ ทั้งนี้สารไกลโฟเสทยังมีผลกระทบโดยอ้อมต่อกุ้งและสัตว์เลื้อยลูก

ด้วยนม เนื่องจากสารไกลโฟเสทไปทำลายพืช อาหาร และที่อยู่อาศัยของสัตว์จึงทำให้ประชากรสัตว์เหล่านี้ลดลง ซึ่งการปนสารไกลโฟเสทนี้ทำในบริเวณกว้างจึงมีผลกระทบต่อสัตว์ ในขณะที่ออสเตรเลียมีกฎหมายห้ามใช้สารไกลโฟเสทในน้ำหรือใช้ใกล้แหล่งน้ำเพราะสารชนิดนี้อาจมีผลกระทบต่อทั้งในระยะตัวอ่อนและเต็มวัย (กฤษณา, 2547)

3.3 ผลกระทบของสารไกลโฟเสทต่อมนุษย์

สารกำจัดวัชพืชทำให้เกิดปัญหาเนื่องจากสารกลุ่มนี้ดูดซึมทางผิวหนังได้ดี โดยเฉพาะถ้ามีบาดแผล พืชเจียบพลัน มักมีผลต่อดับ ปอด อาจมีเลือดออกในทางเดินอาหาร พืชเรื้อรัง มีอาการเป็นพังผืดที่ปอด นอกจากนั้นสารกำจัดวัชพืชที่มีแนวโน้มถูกนำมาใช้มากขึ้นในปัจจุบันอีกชนิดหนึ่งสารคือไกลโฟเสท ซึ่งสารกลุ่มนี้ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน แน่นหน้าอก อาการรุนแรง อาจมีอาเจียนปนเลือด ปัสสาวะออกน้อย ไตวาย ปอดบวม อาการทางผิวหนัง ผื่นคัน ผิวหนังไหม้ ตาอักเสบได้ (สำนักกระบาดวิทยา, 2546) สำหรับผลการศึกษาด้านสาธารณสุขทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศพบว่า พืชภัยจากสารเคมีเกษตรมีผลกระทบที่สำคัญต่อระบบประสาท ระบบทางเดินอาหาร ระบบสืบพันธุ์ ระดับฮอร์โมนเพศ รวมทั้งความพิการแต่กำเนิด (ปัตพงษ์ และคณะ, 2547)

การที่ร่างกายของคนเราจะได้รับสารไกลโฟเสทนั้นมีได้หลายทาง เช่น จากการทำงานที่เกี่ยวข้องกับสารไกลโฟเสทโดยตรง ทั้งการผลิต การขนส่ง การจำหน่าย และการนำไปใช้ การรับประทานอาหารที่มีสารไกลโฟเสทปนเปื้อน ละอองสารไกลโฟเสทจากบริเวณที่มีการพ่นสารปลิวมาถูกตัว การสัมผัสดินที่มีไกลโฟเสทปนเปื้อนอยู่ การดื่มน้ำหรืออาบน้ำในบริเวณที่ใกล้กับบริเวณที่มีการใช้สารไกลโฟเสท เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าคนที่ไม่ได้มีอาชีพเกษตรกรก็ยังมีโอกาสได้รับสารไกลโฟเสทเข้าสู่ร่างกายได้เช่นกัน สำหรับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับชาวสวนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับสารไกลโฟเสทนั้นมีรายงานว่าชาวสวนมักได้รับอันตรายที่บริเวณดวงตาและผิวหนังมากที่สุด เช่น ทำให้เกิดอาการแสบร้อนที่ตาและผิวหนัง มองเห็นไม่ชัด ผิวหนังลอกคลื่นไส้ ปวดศีรษะ อาเจียน ท้องร่วง เจ็บหน้าอก เวียนศีรษะ ชา และหายใจมีเสียงหวีดเนื่องจากหลอดลมตีบ อย่างไรก็ตามสารไกลโฟเสทก็ไม่ใช่ว่าสารที่ปลอดภัยต่อมนุษย์และสัตว์ร้อยละ 95 เพราะในการผลิตสารไกลโฟเสทนั้นได้มีการผสมสารไม่ออกฤทธิ์ลงไปด้วย และมีงานวิจัยสรุปว่าสารไม่ออกฤทธิ์เหล่านั้นเป็นตัวทำให้เกิดอันตรายต่อระบบต่างๆ ของร่างกายคนได้ การศึกษาพืชนีเย็บพลันในคนที่เกิดจากการใช้สารไกลโฟเสทเพื่อฆ่าตัวตาย เป็นกรณีศึกษาของแพทย์ชาวญี่ปุ่นต่อผู้ป่วย 9 ราย ที่ถึงแก่กรรมจากการดื่มน้ำสารไกลโฟเสทเข้าไปประมาณ 200 ซีซี หรือสามในสี่ถ้วย พบว่าหลังจากการกลืนสารไกลโฟเสทเข้าไปแล้วเกิดอาการปวดท้อง อาเจียน มีของเหลวในปอดมาก น้ำท่วมปอด และเม็ดเลือดแดงถูกทำลาย นอกจากนี้การศึกษาในผู้ป่วยรายอื่นๆ ก็พบอาการ

ใกล้เคียง เช่น การทำงานของปอดผิดปกติ ทางเดินอาหารถูกทำลาย คลื่นหัวใจผิดปกติ ความดันโลหิตต่ำ ไตถูกทำลาย เป็นต้น การได้รับสารไกลโฟเสตเข้าสู่ร่างกายปริมาณเล็กน้อยก็มีผลต่อร่างกายได้เช่นกัน ยกตัวอย่างถ้าละอองสารปลิวเข้าตาทำให้ตาบวม ชีพจรเต้นเร็วและความดันโลหิตผิดปกติ เป็นต้น ในขณะที่การศึกษาอาการของผู้ป่วยชาวอเมริกาที่ได้รับสารไกลโฟเสตเข้าสู่ร่างกายพบว่าผู้ป่วยมีอาการเจ็บตา ปวดศีรษะ ท้องร่วง และมีอาการคล้ายไข้หวัดใหญ่ นอกจากนี้ยังพบอาการอื่นๆ อีก เช่น ดวงตา ใบหน้า และข้อต่อต่างๆ บวม ชาบริเวณใบหน้า ผิวหนังไหม้ คัน เป็นแผลพุพอง ชีพจรเต้นเร็ว แน่นหน้าอก ไอ และคลื่นไส้อาเจียน เป็นต้น (กฤษณา, 2547)

เทคโนโลยีการบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ

การสะสมของสารต่างๆ ในตะกอนดินในสิ่งแวดล้อมจนก่อให้เกิดมลพิษทางดินนั้น มีสาเหตุทั้งจากธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ โดยจากธรรมชาติตัวอย่างเช่น ดินเค็ม ดินเปรี้ยว หรือดินพรุ และจากการกระทำของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น การใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นเวลานานส่งผลให้ดินมีความเป็นกรดสูง การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชทำให้เกิดสารอินทรีย์มีพิษจำพวกโลหะหนักตกค้างในดิน การปล่อยทิ้งของน้ำเสีย หรือการรั่วไหลของสารกัมมันตภาพรังสีลงสู่ดิน

การใช้ดินเป็นแหล่งวัสดุเหลือใช้หรือการทำเหมืองแร่ ล้วนแต่เป็นสาเหตุทำให้ดินเสื่อมคุณภาพลงทั้งสิ้น การควบคุมและแก้ไขปัญหามลพิษของดินนั้นเบื้องต้นที่สำคัญต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษในดิน มีการพัฒนานำเทคโนโลยีต่างๆ ที่เหมาะสมในการบำบัด และฟื้นฟูดินปนเปื้อนรวมไปถึงการนำมาตรการทางกฎหมายมาควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งจะช่วยให้มีการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างคุ้มค่ามากที่สุด

การย่อยสลายทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์วัตถุในดินลดลงซึ่งสามารถเกิดขึ้นเองได้ในสภาพธรรมชาติ โดยการเปลี่ยนของเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบให้กลับมาเป็นสารชีวมวลในรูปของ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และกรดอินทรีย์ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ ได้แก่

1. สมบัติและความเข้มข้นของมลสารอินทรีย์
2. ชนิดของจุลชีพในดิน
3. ลักษณะและสมบัติของของเสีย ได้แก่ ค่าครึ่งชีวิต และอัตราการคงตัวของมลสาร
4. คุณสมบัติของดิน เช่น เนื้อดิน โครงสร้างของดิน
5. สมบัติของดินในกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ pH อุณหภูมิ ความชื้นของ

ดิน ออกซิเจนที่มีอยู่ในดิน อินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุอาหารในดิน

6. ความสามารถในการอุ้มน้ำ ระดับโครงสร้างของดิน และความเป็นไปได้ในการชะล้างพังทลายดิน (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2554)

กระบวนการในการบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ

การบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ คือเป็นกระบวนการบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีทางชีวภาพที่ทำให้บริสุทธิ์เกิดขึ้น โดยอาศัยความสามารถของจุลินทรีย์หรือพืชในการย่อยสลายของสารมลพิษให้หมดไปหรือการเปลี่ยนแปลงสารมลพิษที่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมให้มีความเป็นพิษน้อยลง

เนื่องจากการบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม หรืออาจจะใช้จุลินทรีย์ที่เติมลงไปเพื่อย่อยสลายสารมลพิษให้มีความเป็นพิษน้อยลง หรือเพื่อใช้สารมลพิษเหล่านั้นเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์รวมไปถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญแบบวิธิเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์เหล่านั้น องค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญของการบำบัดสารพิษทางชีวภาพ ได้แก่

1. จุลินทรีย์และวิธิเมแทบอลิซึม จุลินทรีย์เป็นตัวที่สำคัญที่สุดของกระบวนการบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ และกระบวนการในการย่อยสลายต้องอาศัยเอนไซม์ในจุลินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในทางชีวภาพ และกระบวนการบำบัดนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีการสร้างเอนไซม์ที่แตกต่างกัน ชนิดของเอนไซม์มีผลต่อประเภทของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารมลพิษเป้าหมาย และมีผลต่อวิธิเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์นั้นต่อสารมลพิษซึ่งในที่นี้ หมายถึงวิธีการย่อยสลายสารมลพิษและจุลินทรีย์อาจจะมีสามารถในการย่อยสลายสารมลพิษนั้นด้วยตัวของมันเองหรือต้องอาศัยหลักการทำงานร่วมกันของกลุ่มจุลินทรีย์เพื่อให้การย่อยสลายสารพิษเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. แหล่งพลังงานและตัวรับอิเล็กตรอน นอกจากจะขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์แล้ว ตัวที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ประเภทของตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย และวิธีขนส่งอิเล็กตรอนซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดก็มีกระบวนการนี้แตกต่างกัน

3. ความชื้น เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสารมลพิษที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมซึ่งมีผลต่อ การเจริญและวิธิเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ การกระจายตัวและอัตราการสลายของก๊าซรวมถึงออกซิเจนในน้ำ ชนิดและปริมาณของสารมลพิษที่จุลินทรีย์สามารถนำมาใช้ได้ ระดับความเป็นพิษของสารเคมี มีรายงานว่าปริมาณความชื้นมีความเหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษคือในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับระดับ

ความชื้นแตกต่างกัน เช่นราเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถเจริญได้ในสิ่งแวดล้อมที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าแบคทีเรีย จากการรายงานของ Lamar *et al.* (1990) ราสามารถเจริญได้และมีความสามารถในการย่อยสลายสารมลพิษในดินที่มีความชื้นตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปดังนั้นหากในการบำบัดสารพิษในสิ่งแวดล้อมที่มีปริมาณความชื้นต่ำจึงจำเป็นต้องมีการปรับและควบคุมปริมาณความชื้นให้เหมาะสม

4. ความเป็นกรด-ด่าง ของสิ่งแวดล้อมมีผลต่อการดูดซึมสารอาหาร การทำงาน และการเจริญของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารมลพิษ Vidali (2001) รายงานถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์โดยทั่วไปในดินอยู่ในช่วง 5.5-8.8 แต่ช่วงที่เหมาะสมที่สุดต่อการเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพคือในช่วง 5.5-8.0

5. สารอาหารเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเจริญและการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์จะดูดซึมสารอาหารจากสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติเพื่อการแบ่งเซลล์และการเพิ่มจำนวนเซลล์ โดยแหล่งอาหารที่สำคัญ เช่น คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (ตาราง 3)

ตาราง 3 องค์ประกอบของเซลล์ของจุลินทรีย์

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์	ร้อยละน้ำหนักเซลล์แห้ง
คาร์บอน	50
ออกซิเจน	20
ไนโตรเจน	14
ไฮโดรเจน	8
ฟอสฟอรัส	3
ซัลเฟอร์	1
โพแทสเซียม	1
โซเดียม	1
แคลเซียม	0.5
แมกนีเซียม	0.5
คลอรีน	0.5
เหล็ก	0.2
อื่นๆ	0.3

ที่มา: Stanier *et al.* (1986)

จุลินทรีย์ในธรรมชาติบางชนิดมีความสามารถในการปรับตัวของเซลล์ให้ทนทานต่อความเป็นพิษของสารมลพิษเหล่านี้ในสิ่งแวดล้อม และในเวลาเดียวกันอาจมีความสามารถในการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างเอนไซม์และวิธีเมแทบอลิซึมที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารเหล่านี้เพื่อนำมาใช้เป็นสารอาหารในการเจริญสร้างเซลล์ใหม่และการสร้างพลังงาน จุลินทรีย์ที่มีความสามารถและมีลักษณะสมบัติที่ดีดังกล่าวนี้สามารถพบได้ในสิ่งแวดล้อมทั่วไป และในสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนของสารพิษ เช่น ดิน น้ำ น้ำบาดาล เป็นต้น

นอกเหนือจากการที่จุลินทรีย์มีวิธีเมแทบอลิซึมในการย่อยสลายสารพิษเพื่อให้ได้เป็นสารอาหารแล้ว ในบางกรณีจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายให้สารเหล่านี้หมดไป แต่มีความสามารถในการเปลี่ยนรูปสารมลพิษไปเป็นสารผลิตภัณฑ์อื่นที่มีความเป็นพิษน้อยลง และวิธีเมแทบอลิซึมของการเปลี่ยนรูปสารดังกล่าวเรียกว่าวิธีเมแทบอลิซึมร่วม ซึ่งเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปของสารมลพิษในวิธีนี้ถูกสร้างขึ้นจากการเหนี่ยวนำด้วยวิธีเมแทบอลิซึมหลักอีกวิธี

หนึ่งซึ่งเป็นวิธิเมแทบอลิซึมของการใช้สารอาหารเพื่อการเจริญและการสร้างพลังงานให้เซลล์ สำหรับการเปลี่ยนรูปสารมลพิษไปเป็นสารผลิตภัณฑ์อื่นที่มีความเป็นพิษน้อยลงด้วยวิธิเมแทบอลิซึมร่วมกันจัดเป็นกระบวนการลดพิษ ซึ่งจะช่วยให้จุลินทรีย์สามารถเจริญและดำรงชีวิตในสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนด้วยสารพิษได้โดยเปลี่ยนรูปสารมลพิษเหล่านั้นให้อยู่ในรูปของสารผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีเลย

สำหรับสารพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมจุลินทรีย์สามารถดูดซึมสารมลพิษเหล่านั้นมาเป็นแหล่งอาหารได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ โครงสร้างและระดับความเป็นพิษของสารมลพิษนั้น โดยส่วนใหญ่สารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้แก่สารอินทรีย์ต่างๆ ที่มนุษย์คัดแปลงจากสารอินทรีย์ธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์เป็นยา หรือในการเกษตรและอุตสาหกรรม ดังนั้นสารมลพิษที่เป็นสารอินทรีย์เหล่านี้มีองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และอาจมีหมู่โซ่ข้างจำพวกที่ประกอบด้วยไนโตรเจน ซัลเฟอร์ รวมทั้งฮาโลเจน ดังนั้นตามหลักเบื้องต้นจุลินทรีย์สามารถนำสารมลพิษเหล่านี้มาใช้เป็นสารอาหารได้ อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์สารเคมีและการคัดแปลงโครงสร้างทางเคมีทำให้สารประกอบเหล่านี้มีโครงสร้างที่ซับซ้อนและต้านทานการย่อยสลายตามธรรมชาติ นอกจากนั้นแล้ว พบว่าสารประกอบที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนเหล่านี้ยังมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์อีกด้วย จึงมีการประยุกต์นำกระบวนการทางชีวภาพมาใช้เพื่อย่อยสลายและบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม (อลิสา, 2553)

วิธีการบำบัดสารมลพิษด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

1. การกระตุ้นทางชีวภาพ

เป็นการเติมสารกระตุ้นทางชีวภาพให้แก่จุลินทรีย์ธรรมชาติ เช่น มีการเติมสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ธรรมชาติ หรือเติมสารกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ในวิถีการย่อยสลายสารพิษ รวมทั้งการปรับสภาพให้มีความเหมาะสมต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ เช่น การให้อากาศ และ การให้ออกซิเจน

2. การเติมจุลินทรีย์เพื่อบำบัดสารมลพิษ

ซึ่งจะเติมจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษลงไปในดิน หรือน้ำ ที่มีการปนเปื้อนเพื่อปรับปรุงสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมกับกิจกรรม ของมนุษย์ (อลิสา, 2553)

การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน

การย่อยสลายทางชีวภาพเป็นการทำลายสารปนเปื้อนโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ สารปนเปื้อนเหล่านี้เป็นแหล่งอาหารหรือซับสเตรตของจุลินทรีย์ กระบวนการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์หรือที่เรียกว่า mineralization เกี่ยวข้องกับการออกซิไดซ์สารเหล่านั้นให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำซึ่งเป็นกระบวนการที่ให้ทั้งคาร์บอนและพลังงานเพื่อการเจริญและการสืบพันธุ์ของเซลล์โดยจะเกิดได้ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน การย่อยสลายแต่ละขั้นตอนเกิดจากการเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นมา (วีรณูช, 2551) กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของสารกำจัดวัชพืชด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ อาจเกิดขึ้นได้โดยปฏิกิริยาต่างๆ เช่น oxidation reduction และ hydrolysis เป็นต้น (ศิริพรรณ, 2550)

จุลินทรีย์ในดินที่เกิดการย่อยสลายโมเลกุลสารกำจัดวัชพืช ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีท ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้พลังงานจากโมเลกุลของสารเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ การสร้างโปรตีน และการขยายพันธุ์ แล้วปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ดังนั้นจึงเท่ากับเป็นการทำให้โมเลกุลของสารกำจัดวัชพืชออกไปจากดินได้

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ได้แก่ ชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสาร ความถี่ในการใช้สารกำจัดวัชพืชแต่ละครั้งในพื้นที่ๆ เดียวกัน ระบบการปลูกพืชมีผลต่อจำนวนจุลินทรีย์และชนิด พฤติกรรมทางเคมีและฟิสิกส์ของสารกำจัดวัชพืชในดิน เช่น สารบางชนิดจะถูกดูดซับอย่างรุนแรงก็จะไม่ถูกย่อยสลาย และระดับกิจกรรมของจุลินทรีย์ซึ่งได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมขณะนั้น เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณออกซิเจน การสลายของจุลินทรีย์อาจมีผลต่อปริมาณ และการใช้สารกำจัดวัชพืชได้ เป็นต้น (ทศพล, 2545)

แบคทีเรียมีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษ

ในปัจจุบันมีการรวบรวมดัชนีชนิดของแบคทีเรียที่มีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษต่างๆ โดยรวบรวมเป็นฐานข้อมูลต่างๆ และมีรายงานว่าแบคทีเรีย *Pseudomonas* มีความสามารถในการย่อยสลายสารมลพิษมากที่สุด ซึ่งมีรายงานถึง 66 สายพันธุ์ ที่สามารถย่อยสลายสารมลพิษจำพวกไฮโดรคาร์บอนสายตรง อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายตรงและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนกับหมู่ คลอโร- ไฮยาโน- ไนโตร- ฟอสฟอริล- รวมถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบวง เป็นต้น และแบคทีเรียที่มีความสามารถในการบำบัดทางชีวภาพ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 กลุ่มของแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม

กลุ่มแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อย สลายสารมลพิษ	ดัชนีชนิดของแบคทีเรีย (สกุล)
แบคทีเรียแกรมบวกที่มีองค์ประกอบของ G+C สูง (High G+C gram-positive bacteria)	<i>Arthrobacter, Brevibacterium, Clavibacter,</i> <i>Dehalobacter, Nocardia, Rhodococcus,</i> <i>Streptomyces, Terrabacter, Corynebacterium</i>
แบคทีเรียแกรมบวกที่มีองค์ประกอบของ G+C ต่ำ (Low G+C gram-positive bacteria)	<i>Bacillus, Clostridium, Desulfitobacterium,</i> <i>Eubacterium, Staphylococcus</i>
แบคทีเรียแกรมลบในหมวดโปรติโอ แบคทีเรีย (Proteobacteria gram-negative)	
- กลุ่มอัลฟา	<i>Agrobacterium, Ancylobacter, Chelatobacter,</i> <i>Hyphomicrobium, Methylobacterium,</i> <i>Paracoccus, Rhodobacter, Sphingomonas</i>
- กลุ่มบีตา	<i>Achromobacter, Alcaligenes, Azoarcus,</i> <i>Burkholderia, Hydrogenophaga, Comamonas,</i> <i>Ralstonia, Thauera, Thiobacillus</i>
- กลุ่มแกมมา	<i>Acinetobacter, Aeromonas, Azotobacter,</i> <i>Escherichia, Enterobacter, Klebsiella,</i> <i>Methylobacter, Pseudomonas, Methylococcus,</i> <i>Moraxella</i>
- กลุ่มแอปซิลอน	<i>Desulfovibrio</i>

ที่มา : อลิสา (2553)

การกำจัดสารไกลโฟเสทให้ออกไปจากสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องกระบวนการย่อยสลายทางเคมีไม่ค่อยได้ผลเพราะสารไกลโฟเสทมีความเสถียรสูงซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและฟอสฟอรัส (Gimsing *et al.*, 2004) การใช้แบคทีเรียในการบำบัดทางชีวภาพเพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุดจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับสรีรวิทยา จุลชีววิทยา นิเวศวิทยา ชีวเคมี และโมเลกุล เพราะมีผลในด้านการเปลี่ยนแปลงของสารมลพิษ (Iranzo *et al.*, 2001)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2554) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดสารเคมีทางการเกษตรโดยใช้จุลินทรีย์ เพื่อแก้ปัญหาสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมสำหรับภาคเกษตรและอุตสาหกรรม ซึ่งได้ทำการทดลองในสวนสัมมนาสามารถลดปริมาณสารเคมีตกค้างปนเปื้อนในร่องน้ำได้ถึง 10 เท่า ใช้เวลาเพียง 1 เดือน จากนั้นขยายผลต่อเนื่องในการใช้บำบัดสารเคมีทางการเกษตรตกค้างในพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจแบบยกร่อง เพื่อช่วยลดความเสี่ยงสุขอนามัยประชาชนจากสารเคมีปนเปื้อน ช่วยฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม แก้ไขปัญหามลภาวะอย่างยั่งยืน

Beulke *et al.* (2004) กล่าวว่าจุลินทรีย์ในดินโดยเฉพาะแบคทีเรียเป็นตัวสำคัญในการย่อยสลายสารเคมีทางการเกษตร สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะทำให้อัตราการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สภาพแวดล้อมที่กล่าวถึง คือ อุณหภูมิ ความชื้น และการเติมอากาศ วิธีที่สำคัญในการกำจัดสารไกลโฟเสทในดินคือการย่อยสลายโดยระบบเอนไซม์ของแบคทีเรียบางชนิด (Rueppel *et al.*, 1977; Strange-Hansen *et al.*, 2004) และความเข้มข้นของสารไกลโฟเสทในดินจะย่อยสลายได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและกิจกรรมของแบคทีเรีย (Sorensen *et al.*, 2006)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดสารพิษทางชีวภาพโดยนำแบคทีเรียหลากหลายสายพันธุ์มาทดสอบการย่อยสารไกลโฟเสทที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมให้ลดลง แบคทีเรียเหล่านี้ถูกคัดแยกมาจากแหล่งที่มีการใช้สารกำจัดวัชพืชต่างๆ ซึ่งจากการทดสอบแบคทีเรียที่แยกได้จากดินมีความสามารถในการย่อยสลายสารไกลโฟเสทให้ลดลงได้

จากการศึกษาของ Olawale and Akintobi (2011) ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทโดยคัดแยกแบคทีเรียจากดินที่ใช้ในการเพาะปลูก พบว่าคัดแยกแบคทีเรียได้ 3 ไอโซเลท คือ GDP1 GDP2 และ GDA ซึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายสารไกลโฟเสท และเมื่อนำแบคทีเรียดังกล่าวนี้มาทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีพบว่าแบคทีเรียสาย

พันธุ์ *Pseudomonas putida* *Pseudomonas aeruginosa* และ *Acetobacter faecalis* ตามลำดับ จากนั้นทดสอบการย่อยสลายสารไกลโอฟอสเฟตโดยใช้แบคทีเรีย 3 ไอโซเลท คือ GDP1 GDP2 GDA และการผสมแบคทีเรียทั้ง 3 สายพันธุ์เข้าด้วยกันโดยกำหนดให้เป็น CGD พบว่าเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ GDP1 สามารถย่อยสลายสารไกลโอฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาย่อยสลายสารไกลโอฟอสเฟตได้เร็วกว่าแบคทีเรียไอโซเลท GDP2 และ GDA ที่สามารถย่อยสลายสารไกลโอฟอสเฟตในเวลา 96 ชั่วโมง

นอกจากนี้มีรายงานของ Moneke *et al.* (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดทางชีวภาพโดยใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชไกลโอฟอสเฟตซึ่งทำการคัดแยกจากพื้นที่เพาะปลูกข้าว 4 แหล่ง ผลการทดลองพบว่าสามารถแยกแบคทีเรียได้ 12 ไอโซเลท และคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถเจริญในอาหาร MSM ที่มีสารไกลโอฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบได้ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Escherichia* sp. *Azotobacter* sp. *Alcaligenes* sp. *Acetobacter* sp. และ *Pseudomonas fluorescens* จากนั้นทดสอบความสามารถในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้ง 5 สายพันธุ์ ในอาหารที่มีสารไกลโอฟอสเฟตเป็นแหล่งอาหารโดยการวัดอัตราการเจริญเติบโตด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร วัดค่าการดูดกลืนแสงทุก 12 ชั่วโมง เริ่มจาก 0-180 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ พบว่าแบคทีเรียทั้ง 5 สายพันธุ์ มีอัตราการเจริญที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่แบคทีเรียสายพันธุ์ *Pseudomonas fluorescens* และ *Acetobacter* sp. เป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถในการใช้ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในสารไกลโอฟอสเฟตเป็นแหล่งอาหารและเจริญได้ดีที่สุด รองลงมาคือ *Azotobacter* sp. *Alcaligenes* sp. และ *Escherichia* sp.

Benslama and Boulahrouf (2013) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการคัดแยกแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารไกลโอฟอสเฟตจากดินที่แตกต่างกันของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนแอลจีเรีย พบว่าสามารถแยกเชื้อแบคทีเรียได้ 5 ไอโซเลท ได้แก่ ไอโซเลท Arph1 และ Arph2 คัดแยกได้จากดินทางการเกษตรที่มีการใช้สารไกลโอฟอสเฟต ไอโซเลท Frglu และ Frph คัดแยกได้จากดินในป่าที่มีการใช้สารไกลโอฟอสเฟต ไอโซเลท Bisglu คัดแยกได้จากดินของทะเลทรายซาฮารา จากนั้นได้มีตรวจสอบสายพันธุ์ของแบคทีเรียดังกล่าวโดยวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี และการหาลำดับเบสของดีเอ็นเอในส่วนยีน 16S rRNA แล้วนำไปเปรียบเทียบกับความเหมือนใน GenBank จากข้อมูลเบื้องต้นสามารถจำแนกสายพันธุ์ของแบคทีเรียได้ดังนี้ ไอโซเลท Arph1 คล้ายกับ *Pseudomonas putida* ไอโซเลท Arph2 และ Frglu คล้ายกับ *Enterobacter cloaca* ไอโซเลท Frph คล้ายกับ *Rahnella aquatilis* และไอโซเลท Bisglu คล้ายกับ *Serratia marcescens* เมื่อทดสอบอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในอาหารที่มีสารไกลโอฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบแล้ววัดอัตราการ

เจริญเติบโตได้จากเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร พบว่า *Pseudomonas putida* มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดและถูกคัดเลือกเพื่อนำไปใช้ในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม ผลการทดลองพบว่า *Pseudomonas putida* เจริญเติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นพีเอช 9 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาที่ความเร็รรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 168 ชั่วโมง และสามารถเจริญเติบโตและมีชีวิตรอดในอาหารที่มีสารไกลโฟเสท

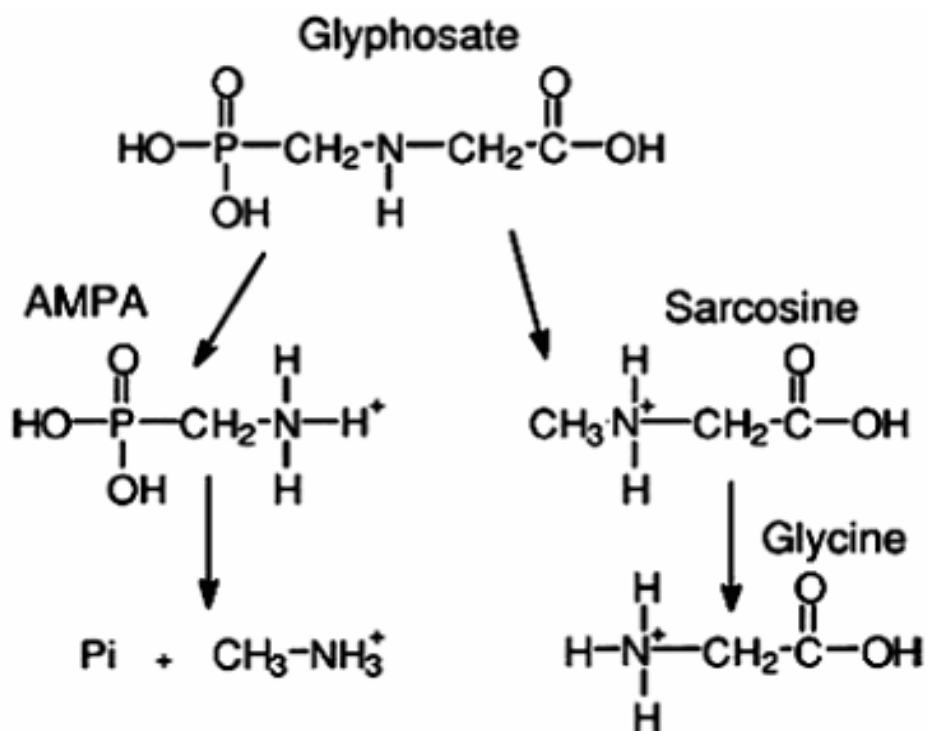
รวมถึงรายงานวิจัยของ Marie-Esther *et al.* (2014) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดทางชีวภาพโดยการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากนาข้าวเพื่อย่อยสลายสารไกลโฟเสท จากการคัดแยกสามารถคัดแยกสายพันธุ์แบคทีเรียได้ 2 สายพันธุ์ คือ ไอโซเลท A และ B และจำแนกสายพันธุ์โดยศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และทางชีวเคมี พบว่าไอโซเลท A คือ *Pseudomonas* sp. ไอโซเลท B คือ *Bacillus subtilis* เมื่อนำแบคทีเรีย *Pseudomonas* sp. และ *Bacillus subtilis* มาวัดอัตราการเจริญเติบโตด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร พบว่า *Pseudomonas* sp. มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดที่ 96 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.15 และ *Bacillus subtilis* มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดที่ 48 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.75 จากนั้นได้มีการทดสอบอัตราการเจริญของ *Pseudomonas* sp. และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารไกลโฟเสทเป็นองค์ประกอบ พบว่า *Pseudomonas* sp. และ *Bacillus subtilis* สามารถใช้สารไกลโฟเสทเป็นแหล่งฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jacob and Kishore (1987) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายสารไกลโฟเสทด้วยกลไกเมแทบอลิซึมของแบคทีเรีย *Pseudomonas* sp. PG2982 พบว่าแบคทีเรีย *Pseudomonas* sp. PG2982 สามารถย่อยสลายสารไกลโฟเสทได้โดยการสลายที่พันธะคาร์บอนและฟอสฟอรัส ทำให้ได้ฟอสฟอรัสและ กรดอะมิโนชาร์โคซีน และ Jacob *et al.* (1988) กล่าวว่า *Pseudomonas* sp. เป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถในการบำบัดทางชีวภาพซึ่งมีความสามารถใช้สารไกลโฟเสทเป็นแหล่งอาหารและแหล่งฟอสฟอรัสได้ โดย *Pseudomonas* sp. สามารถสังเคราะห์เอนไซม์ C-P lyase เพื่อย่อยสารไกลโฟเสทได้

Inna *et al.* (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดทางชีวภาพในดินที่ปนเปื้อนสารไกลโฟเสททั้งในระดับห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง ซึ่งในการทดลองใช้แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์เพื่อทดสอบการย่อยสลายสารไกลโฟเสท คือ *Achromobacter* sp. Kg16 (VKM B-2534D) และ *Ochrobactrum anthropic* GPK3 พบว่าแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถย่อยสลายสารไกลโฟเสทได้ 65.8 และ 49.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Jieyu *et al.* (2012) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายสารไกลโฟเสทที่ปนเปื้อนในดิน จากการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากดินที่ปนเปื้อนสารไกลโฟเสทและทดสอบหาแบคทีเรียที่มีความสามารถย่อยสลายสารไกลโฟเสทโดยวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ

สารไกลโฟเสตจากเครื่อง HPLC พบว่า สามารถคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารไกลโฟเสตได้ 40 สายพันธุ์ ซึ่งได้ทำการคัดเลือกเพื่อมาใช้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพียง 1 สายพันธุ์ คือ ไอโซเลต CB4 จากนั้นได้ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลำดับเบสของดีเอ็นเอในส่วนของยีน 16S rRNA พบว่าเมื่อย้อมแกรมแล้วเป็นแบคทีเรียแกรมบวก และมีความคล้ายคลึงกับ *Bacillus cereus* ร้อยละ 99 หลังจากนั้นแบคทีเรียไอโซเลต CB4 หรือ *Bacillus cereus* มาทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมโดยการวัดอัตราการเจริญด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร พบว่า ไอโซเลต CB4 สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะพีเอช 6 อุณหภูมิที่เหมาะสม 35 องศาเซลเซียส และสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีสารไกลโฟเสต เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารไกลโฟเสตไอโซเลต CB4 เป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่าไอโซเลต CB4 หรือ *Bacillus cereus* มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารไกลโฟเสต 94.47 เปอร์เซ็นต์ และจากรายงานของ Abdel-Megeed *et al.* (2013) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดทางชีวภาพโดยใช้พืชและจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารไกลโฟเสตที่ตกค้างในดินในเรือนกระจกที่มีการใช้สารไกลโฟเสตกำจัดวัชพืช จากการศึกษาพบว่าสามารถคัดแยกแบคทีเรียจากดินได้ 2 ไอโซเลต และเมื่อจำแนกตามวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี และการหาลำดับเบสของดีเอ็นเอในส่วนของยีน 16S rRNA พบว่าแบคทีเรียทั้ง 2 ไอโซเลต เป็นแบคทีเรีย *Pseudomonas aeruginosa* และ *Bacillus megaterium* และจากการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการย่อยสลายสารไกลโฟเสตของแบคทีเรีย *Pseudomonas aeruginosa* และ *Bacillus megaterium* พบว่าสามารถย่อยสลายสารไกลโฟเสตได้ในระยะเวลา 5 วัน ทั้งนี้เกิดจากการปรับตัวให้อยู่รอดโดยใช้สารไกลโฟเสตเป็นแหล่งคาร์บอนและฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Mohsen-Nourouzi *et al.* (2011) ได้ศึกษาในเรื่องการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียและจำแนกสายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกได้ เพื่อใช้ในการทดสอบความสามารถของแบคทีเรียในการใช้สารไกลโฟเสตเป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งได้คัดแยกแบคทีเรียจากดินสวนปาล์มน้ำมัน ผลการคัดแยกพบแบคทีเรียมา 2 สายพันธุ์ คือ *Stenotrophomonas maltophilia* และ *Providencia alcalifaciens* ซึ่งได้นำแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์นี้มาผสมกันและทดสอบความสามารถในการใช้สารไกลโฟเสตเป็นแหล่งคาร์บอนโดยวัดได้จากความเข้มข้นของสารไกลโฟเสตที่ลดลง ผลการทดสอบพบว่าแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์นี้สามารถใช้สารไกลโฟเสตเป็นแหล่งคาร์บอนเท่ากับ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแบคทีเรียมีความสามารถในการใช้สารไกลโฟเสตเป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต รวมถึงสามารถผลิตกรดอะมิโนไกลซีนได้อีกด้วย (ภาพ 4)



ภาพ 4 กลไกและเมแทบอลิซึมสำหรับการย่อยสลายสารไกลโฟเสตด้วยแบคทีเรีย

ที่มา: Mohsen-Nourouzi *et al.* (2011)

จากรายงานการทดลองข้างต้นพบว่าแบคทีเรียบางสายพันธุ์สามารถย่อยและเจริญเติบโตได้ในที่ที่มีสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสต ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่จะนำไปใช้ในการบำบัดทางชีวภาพของสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนสารไกลโฟเสตได้