

ประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตในดินด้วยจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ Efficiency of Contaminated Glyphosate Reduction in Soil by Selective Microbes

พรจิรา การภักดี¹, ศศิธร หาสิน¹, อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์², อภิชา สวัสดิ์^{1*}
Pornjira Kanparkdee¹, Sasitorn Hasin¹, Ananya Popradit², Apichaya Sawasdee^{1*}

¹สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

²สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

¹Program in Innovation of Environmental Management, College of Innovative Management,

Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

²Program in Environmental Studies, College of Innovative Management,

Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

*02 909 3021 E-mail: apichaya.s@vru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตในดินด้วยจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ ประกอบด้วย *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis* โดยในการดำเนินงานวิจัยจะทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินที่นำมาใช้ในงานวิจัย จากนั้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตในดิน ออกแบบการทดลองโดยแปรผันความเข้มข้นของไกลโฟเสตเพื่อติดตามความเปลี่ยนแปลง เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้น เก็บตัวอย่างดินเพื่อไปวิเคราะห์ปริมาณของไกลโฟเสตด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography: GC) และนำมาคำนวณประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตจากผลการวิจัยพบว่า คุณสมบัติดินที่ใช้ในการวิจัยมีลักษณะเป็นดินเหนียว และค่าอินทรีย์วัตถุในดินตัวอย่างมีปริมาณ 26 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง โดยมีค่าพีเอช 6.58 ซึ่งเป็นกรดอ่อน ในส่วนการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตนั้นพบว่า เมื่อใช้ปริมาณของจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ 10 กรัม และความเข้มข้นของไกลโฟเสต 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นั้น จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดไกลโฟเสตมากกว่าการใช้ความเข้มข้นของไกลโฟเสต 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คือ ร้อยละ 91.69 และ ร้อยละ 90.81 ตามลำดับ ดังนั้น จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการไกลโฟเสตที่ตกค้างในดินที่เกิดขึ้นในภาคเกษตรโดยใช้จุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ จากงานวิจัยนี้ได้

คำสำคัญ : จุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ ไกลโฟเสต ประสิทธิภาพการกำจัด

ABSTRACT

This research studied the efficiency of glyphosate reduction in soil contamination by selective microbes. The selective microbes consisted of *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*. In this research was examined the physical and chemical properties in the soil. Then, the efficiency of glyphosate reduction in soil was investigated. The experimental design was varied the concentration of glyphosate within 7 days. Soil samples were collected

Received 19-02-2023

Revised 16-03-2023

Accepted 18-04-2023

to glyphosate analysis by gas chromatography (GC) and calculated the efficiency of glyphosate reduction. The results showed that soil properties were clay and organic matter in sample soil was 26 g/kg within medium level. In term of pH was 6.58 as weak acid. Regarding glyphosate contamination reduction, 10 g of selective microbes and 240 mg/kg of glyphosate concentration was found the greatest removal efficiency of glyphosate compared to 120 mg/kg of glyphosate concentration as 91.69 and 90.81%, respectively. Therefore, this research can also apply to glyphosate management in the agricultural sector by selective microorganisms from this research.

Keyword: Selective microbes; Glyphosate; Removal efficiency

1. บทนำ

ไกลโฟเสต ($C_{12}H_{14}N_2^{+2}$) เป็นหนึ่งในสารกำจัดวัชพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในวงกว้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด [1] เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำการเกษตร [2] มีความสามารถในการละลายสูงในตัวทำละลายที่ขบขันและความสามารถในการเคลื่อนที่สูงช่วยให้การชะล้างไกลโฟเสตลงสู่ดินอย่างรวดเร็ว ซึ่งนำไปสู่การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินและการสะสมในเนื้อเยื่อพืชดินเสื่อมโทรม ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ และเป็นผลคุกคามชีวิตมนุษย์และสัตว์ [3] จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าไกลโฟเสตสามารถเปลี่ยนแปลงความหลากหลายของกลุ่มจุลินทรีย์ ทั้งยังเพิ่มจำนวนประชากรของเชื้อราก่อโรคพืชอีกด้วย แม้ว่าการใช้ไกลโฟเสตยังปลอดภัยกว่าการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทอื่น แต่เมื่อใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดผลกระทบเรื้อรังต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ทั้งยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศบนบกและทางน้ำ และเนื่องจากไกลโฟเสตนั้นสามารถถูกดูดซับ (Adsorption) กับดินที่มีอินทรีย์วัตถุ จึงทำให้ไกลโฟเสตสามารถตกค้างได้เป็นระยะเวลานาน [4-10] โดยเฉพาะอย่างยิ่งไกลโฟเสตสามารถตกค้างในดินเหนียวมากกว่า 1 ปี เนื่องจากดินเหนียวมีสารอินทรีย์วัตถุมาก แต่อย่างไรก็ตามจะถูกชะล้างได้เร็วในดินทราย [6-7,11]

อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชนั้นยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเกษตรกร ดังนั้นการนำ

เทคโนโลยีมาช่วยในการลดการตกค้างของสารเคมีจึงเป็นทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำจุลินทรีย์ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในการจัดการกับสารกำจัดศัตรูพืชนั้นมีจำนวนมาก ดังนี้ *Aerobacter aerogenes*, *Trichoderma viridae*, *Pseudomonas* sp., *Micrococcus* sp., *Arthrobacter* sp. และ *Bacillus* sp. สามารถกำจัด DDT นอกจากนี้ *Pseudomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Achromobacterium* sp., *Sphingomonas* sp. และ *Arthrobacter* sp. ยังสามารถกำจัด Carbofuran ซึ่งเป็นสารกลุ่ม Carbamate ได้ [12-15] และได้มีการรวบรวมจุลินทรีย์ที่สามารถย่อย Organophosphorus โดยพบว่าแบคทีเรียและเชื้อราหลายชนิดสามารถย่อยได้ เช่น *Pseudomonas* sp. และ *Flavobacterium* sp. สามารถย่อยได้ทั้ง Chlorpyrifos, Parathion, Methyl parathion และ Glyphosate ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพ คือ จุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ จะเป็นทางเลือกที่สามารถลดการตกค้างของสารเคมี เนื่องจากมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์จำนวนมาก เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา แอคติโนไมซีต และจุลินทรีย์สายพันธุ์อื่นๆ สามารถย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชได้ [16] ผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เช่น Enzymatic degradation เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในศึกษาประสิทธิภาพการลด

ไกลโฟเสตในดิน โดยใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์คัสดสายพันธุ์

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 จุลินทรีย์คัสดสายพันธุ์

จุลินทรีย์ผสมที่ผ่านการคัดสายพันธุ์ประกอบด้วย *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis* ที่สามารถย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปของสารไกลโฟเสตในดิน ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ได้รับการพัฒนาจากอาจารย์หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ร่วมกับบริษัทเอกชน

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

2.2.1 สมบัติทางกายภาพ: การวิเคราะห์ประเภทของดินโดยการแจกกระจายขนาดของอนุภาคดิน (Particle size distribution) ด้วยวิธีไปเปตต์ [17] และนำค่าที่ได้ไปคำนวณ ดังสมการที่ 1-3

สมการคำนวณ ปริมาณอนุภาคขนาดทรายทรายแป้ง และดินเหนียวในดิน

$$1) \text{ ร้อยละอนุภาคทราย} = \frac{(100 \times A)}{W} \quad (1)$$

$$2) \text{ ร้อยละอนุภาคดินเหนียว} = \frac{(100 \times A)}{W} \quad (2)$$

$$3) \text{ ร้อยละอนุภาคทรายแป้ง} = 100 - (\%sand + \%Clay) \quad (3)$$

โดยที่

W = น้ำหนักดินหลังอบ (กรัม)

A = น้ำหนักอนุภาคทรายหลังอบ (กรัม)

B = น้ำหนักอนุภาคดินเหนียวหลังอบ (กรัม)

H = ความสูงในการดูดสารแขวนลอยในกระบอกตวง (มิลลิเมตร)

2.2.2 สมบัติทางเคมี: ค่าความเป็นกรดต่างในดิน (pH) โดยใช้เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบค่าพีเอชคือ Soil pH meter

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสต

การศึกษาประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสต จะออกแบบการทดลองเพื่อติดตามความเปลี่ยนแปลงของไกลโฟเสตที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังจากการเติมจุลินทรีย์คัสดสายพันธุ์ดำเนินการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ โดยแบ่งออกเป็น 2 ทรีตเมนต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณของจุลินทรีย์คัสดสายพันธุ์และไกลโฟเสตที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

ทรีตเมนต์	ปริมาณของจุลินทรีย์คัสดสายพันธุ์ (กรัม)	ปริมาณของไกลโฟเสต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1*	0	240
2*	0	120
3	10	240
4	10	120

หมายเหตุ * คือ Control

โดยนำไกลโฟเสตใส่ในตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนของดินในที่ใช้ในการเกษตร ดำเนินการทดลองในภาชนะขนาด 20 x 30 เซนติเมตร ในปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 1 และติดตามการเปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 7 วันตลอดระยะเวลาการดำเนินการวิจัย จากนั้นเก็บตัวอย่างดิน และเตรียมดินตัวอย่างดิน โดยใช้ 1M NaOH ในการสกัดตัวอย่างดิน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณของไกลโฟเสตด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography: GC) คอลัมน์ Fused-silica capillary โดยใช้ Helium เป็นก๊าซตัวพา (Carrier gas) ที่ Flow rate 0.7 มล./นาที [18]

จากนั้นนำมาคำนวณประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตดังสมการที่ 4

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดไกลโฟเสต} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่

C_i = ความเข้มข้นของไกลโฟเสตที่เวลาเริ่มต้น

C_f = ความเข้มข้นของไกลโฟเสตที่เวลา t

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

จากการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ โดยวิธีการแจกกระจายขนาดอนุภาคดินพบว่าดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และเมื่อพิจารณาค่าอินทรีย์วัตถุในดินตัวอย่างพบว่ามีปริมาณ 26 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ในส่วนค่าความเป็นกรดด่างมีค่าพีเอช 6.58 ซึ่งมีค่าเป็นกรดอ่อน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

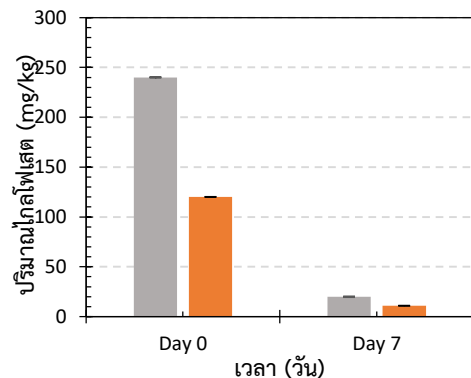
แหล่งเก็บ ตัวอย่าง ดิน	พารามิเตอร์			
	ค่าพี เอช	การแจกกระจาย ขนาดอนุภาคดิน (%)		
		ทราย	แป้ง	เหนียว
ดินจาก พื้นที่นา ข้าว	6.58	14	28	58

ซึ่งค่าพีเอชนั้นมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายพาราควตของจุลินทรีย์ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของมัลลิกา ชีระกุล และคณะ พบว่า ที่ค่าพีเอช 5 มีประสิทธิภาพการย่อยสลายไกลโฟเสต 41.17% แต่เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 6 ทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเป็น 81.31% และจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 8 โดยมีค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายไกลโฟเสต 75.77% สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ เนื่องจากค่าพีเอชในดินมีค่า 6.58 ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดนั้นสูงสุด 91.69% [19]

3.2 ประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสต

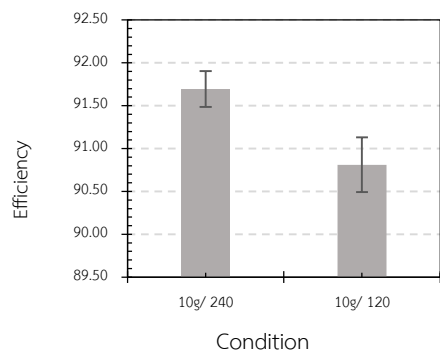
จากการเก็บข้อมูลการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสต โดยใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์คัตสายพันธุ์ *Pedococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis* พบว่า การเติมจุลินทรีย์คัตสายพันธุ์ 10 กรัม ที่ความเข้มข้นของไกลโฟเสตเริ่มต้น 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นั้น

สามารถลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตได้ในวันที่ 7 ซึ่งมีไกลโฟเสตคงเหลือ 19.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 11.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณไกลโฟเสตที่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้จุลินทรีย์คัตสายพันธุ์ 10 กรัม ความเข้มข้นของไกลโฟเสตเริ่มต้น 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดไกลโฟเสตที่สภาวะควบคุม (Control) ไกลโฟเสตสามารถย่อยสลายไปได้เพียง ร้อยละ 2.47-10.17 ในส่วนชุดการทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์และไกลโฟเสตที่แตกต่างกันนั้น พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่าร้อยละ 85 ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดไกลโฟเสตโดยใช้จุลินทรีย์คัตสายพันธุ์

สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Yu XM, Yu T, Yin GH, et al. [20] โดยระบุว่า *Bacillus subtilis* สามารถย่อยสลายไกลโฟเสตได้ โดยใน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นพบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายไกลโฟเสตของ *Bacillus subtilis* นั้นอยู่ที่ 71.57% ในระยะเวลา 96 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไกลโฟเสตในงานวิจัยนี้สูงกว่า แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของระยะเวลาการบำบัดนั้นมียุทธศาสตร์ที่นานกว่างานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งในการจัดการไกลโฟเสตในสิ่งแวดล้อมนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น การใช้วิธีทางกายภาพ การใช้วิธีทางชีวภาพ การใช้กระบวนการออกซิเดชันรีดักชัน เป็นต้น [21] จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ในการย่อยสลายไกลโฟเสต ซึ่งถือเป็นทางเลือกที่ต้นทุนต่ำ ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างของกลุ่มจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการย่อยสลายไกลโฟเสต คือ *Aerobacter aerogenes*, *Trichoderma viridae*, *Pseudomonas* sp., *Micrococcus* sp., *Arthrobacter* sp. และ *Bacillus* sp. สามารถกำจัด DDT นอกจากนี้ *Pseudomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Achromobacterium* sp., *Sphingomonas* sp. และ *Arthrobacter* sp. ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณากับจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis* พบว่าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์นี้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไกลโฟเสตได้ดี และใช้ระยะเวลาอันสั้นแบบที่เรียสามารถใช้ไกลโฟเสตเป็นแหล่งคาร์บอนไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ผ่าน 2 Pathway คือ Glyphosate oxidoreductase และ C-P lyase [22] โดยใน Glyphosate oxidoreductase pathway นั้น ไกลโฟเสตจะถูกเปลี่ยนเป็น Glyoxylic acid ($C_2H_2O_3$) และ Aminomethyl-phosphonic acid (AMPA) จากนั้น AMPA จะเข้าสู่ C-P lyase pathway และสามารถเปลี่ยนเป็นเมทิลามีนและฟอสเฟตซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำฟอสเฟตไปใช้เป็นธาตุอาหารได้ นอกจากนี้เมื่อไกลโฟเสตเข้าสู่ C-P lyase pathway จะทำให้ไกลโฟเสตถูกเปลี่ยนเป็น ฟอสเฟตและSarcosine ซึ่ง

Sarcosine นั้น สามารถเปลี่ยนเป็น Formaldehyde และ Glycine ต่อไป [21]

ไกลโฟเสตไม่เพียงแต่มีผลกระทบในดิน ยังมีผลกระทบต่อแหล่งน้ำและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เช่น โพรโตซัว หอย และปลา [23] มีการรายงานถึงผลกระทบของไกลโฟเสตในปลา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมในปลา ยังมีการรายงานผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการได้รับไกลโฟเสตในผิวน้ำ พันธุ์ที่มีการให้บริการทางระบบนิเวศ เช่น การผสมเกสรอีกด้วย นอกจากนี้ไกลโฟเสตถูกพบในอาหารสัตว์ รวมถึงอาหารของมนุษย์อีกด้วย จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการตกค้างของไกลโฟเสตส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการตกค้างของไกลโฟเสตส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมทั้งในดินและในแหล่งน้ำ เป็นอย่างมาก นำไปสู่การตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงถือเป็นวิธีการที่สามารถช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการตกค้างของไกลโฟเสตได้ทางหนึ่ง และนำไปสู่การจัดการสารเคมีตกค้างในดินที่เกิดขึ้นในภาคเกษตรได้ ทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมดินก่อนการทำ เกษตรปลอดภัยได้อีกด้วย

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตในดินด้วยจุลินทรีย์ผสมคัดสายพันธุ์ ประกอบด้วย *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis* ซึ่ง จากผลการวิจัยพบว่า การใช้จุลินทรีย์คัดสายพันธุ์มีประสิทธิภาพในการลดไกลโฟเสตได้มากกว่าร้อยละ 85 ภายในระยะเวลา 7 วัน ดังนั้นจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์นี้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไกลโฟเสตได้ดี และใช้ระยะเวลาอันสั้นแบบที่เรียสามารถใช้ไกลโฟเสตเป็นแหล่งคาร์บอนไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gill JPK, Sethi N, Mohan A. Analysis of the glyphosate herbicide in water, soil and food using derivatising agents. *Environ Chem Lett*. 2017;15(1):85-100.
- [2] Zhang C, Hu X, Luo J, et al. Degeneration Dynamics of Glyphosate in Different Types of Citrus Orchard Soils in China. *Molecules*. 2015;20(1): 1161-75.
- [3] Singh S, Kumar VA, Gill JPK, et al. Herbicide Glyphosate: Toxicity and Microbial Degeneration. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(20):7519.
- [4] Banks ML, Kennedy AC, Kremer RJ, et al. Soil microbial community response to surfactants and herbicides in two soils. *Soil Ecol*. 2014;(74):12-20.
- [5] Cassigneul A, Benoit P, Bergheaud V, et al. Fate of glyphosate and degradates in cover crop residues and underlying soil: A laboratory study. *Sci Total Environ*. 2016;(545-546):582-90.
- [6] Okada E, Costa JL, Bedmar F. Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no- till and conventional tillage. *Geoderma*. 2016;(263):78-85.
- [7] Sidoli P, Baran N, Angulo-Jaramillo R. Glyphosate and AMPA adsorption in soil: laboratory experiments and pedotransfer rules. *Environ Sci Pollut Res*. 2016;23(6):5733-42.
- [8] Simonsen L, Fomsgaard IS, Svensmark, B, et al. Fate and availability of glyphosate and AMPA in agricultural soil. *J Environ Sci Health B*. 2008;43(5):365-75.
- [9] Sviridov AV, Shushkova TV, Ermakova IT, et al. Microbial degradation of glyphosate herbicides (Review). *Appl Biochem Microbiol*. 2015;51(2):183-90.
- [10] Travaglia C, Masciarelli O, Fortuna J, et al. Towards sustainable maize production: Glyphosate detoxification by *Azospirillum* sp. and *Pseudomonas* sp. *Crop Protection*. 2015;77(6):102-9.
- [11] Bergstrom L, Borjesson E, Stenstrom J, et al. Laboratory and lysimeter studies of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a sand and a clay soil. *J Environ Qual*. 2011;40(1):98-108.
- [12] Porto AM, Melga GZ, Kasemodel MC, et al. Biodegradation of Pesticides. *Pesticides in the Modern World – Pesticides Use and Management*. 1st ed. Rijeka: In Tech; 2011.
- [13] Singh BK, Walker A, Morgan JA, et al. Microbial degradation of organophosphorus compounds. *FEMS Microbiol Rev*. 2006;30(3):428-71.
- [14] Singh BK, Walker A, Morgan JA, et al. Effects of soil pH on the biodegradation of chlorpyrifos and isolation of a chlorpyrifos- degrading bacterium. *Appl Environ Microbiol*. 2003;(69):5198-5206.
- [15] Singh BK, Walker A, Morgan JA, et al. Biodegradation of chlorpyrifos by *Enterobacter* strain B- 14 and its use in bioremediation of contaminated soil.

- Appl Environ Microbiol. 2004;70(8):4855-63.
- [16] Huang Y, Xiao L, Li F, et al. Microbial Degradation of Pesticide Residues and an Emphasis on the Degradation of Cypermethrin and 3-phenoxy Benzoic Acid: A Review. *Molecules*. 2018;23(9):2313.
- [17] USDA Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Laboratory Methods Manual. No. 42. Version 4.0. Washington DC: Soil Survey Investigation Report; 2004.
- [18] Borjesson E, Torstensson L. New methods for determination of glyphosate and (aminomethyl)phosphonic acid in water and soil. *J Chromatogr A*. 2000;886(1-2):207-16.
- [19] Teerakun M, Saraphirom P, Reungsang A. Optimization of Paraquat Degradation by Microbial Consortium from Rhizosphere Soil. *EAU Herit J*. 2017;11(2):90-99.
- [20] Yu XM, Yu T, Yin GH, et al. Glyphosate biodegradation and potential soil bioremediation by *Bacillus subtilis* strain Bs-15. *Genet Mol Res*. 2015;14(4):14717-30.
- [21] Castrejon-Godinez ML, Tovar-Sanchez E, Valencia-Cuevas L, et al. Glyphosate Pollution Treatment and Microbial Degradation Alternatives, a review. *Microorganisms*. 2021;9(11):2322.
- [22] Singh S, Kumar VA, Singh J, Kinetic study of the biodegradation of glyphosate by indigenous soil bacterial isolates in presence of humic acid, Fe (III) and Cu (II) ions. *J Environ Chem Eng*. 2019;7(3):103098.
- [23] Van Bruggen AHC, He MM, Shin K, et al. Environment and health effects of the herbicide glyphosate. *Sci Total Environ*. 2018;616-617(3):255-68.