

ผลของสารกำจัดวัชพืช 2,4-ดี-ไดเมทิลแอมโมเนียม ต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดนครราชสีมา

Effect of the Herbicide 2,4-D-dimethylammonium on the Microbial Population of Maize Plots in Nakhon Ratchasima Province

บุญทริก ฉิมชาติ¹ จิตรา เกาะแก้ว¹ อำนาจ เอี่ยมวิจารณ์¹ กนกอร บุญพา¹ สนธยา ขำดี¹ มนต์ชัย มนัสสิลา¹ จันทิมา ผลทอง² และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย^{3*}

Boontarik Chimchart¹, Jitra kokaew¹, Amnat Eamvijarn¹, Kanokon Bunpha¹, Sontaya Khamtib¹, Monchai Manassila¹, Jantima Phonkongand² and Tawatchai Inboonchuay^{3*}

Received: December 6, 2024

Revised: January 29, 2025

Accepted: January 31, 2025

Abstract: This research focuses on the impact of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) dimethylammonium on soil microorganism populations in maize plots where is used in Nakhon Ratchasima Province. The plot was divided into two smaller sections, each measuring 400 square meters. One plot was treated with only 2,4-D herbicide at the recommended rate of 120 grams of active ingredient per rai, with no other pesticide application. The other plot was not treated with 2,4-D. Soil samples were collected from each plot at five intervals: before application, 2 and 4 hours post-application, and 1, 3, and 7 days afterward. Analyses included soil properties and microorganism populations. Results indicated that 2,4-D applications significantly impacted bacterial and fungal populations in the treated plots compared to the control plots. The bacterial growth in the plots treated with 2,4-D at 2 and 4 hours increased significantly compared to the control plot, with values of 6.59 and 6.73 Log₁₀ CFU, respectively. The fungal population in the control plots was higher than in the plots treated with 2,4-D at 2 and 4 hours, with average values of 5.52 and 5.62 Log₁₀ CFU, respectively. However, the actinomycetes cultured on agar media showed no significant statistical difference. The residual 2,4-D concentration in the soil after spraying at 2 and 4 hours was 0.61 and 0.30 milligrams per kilogram of soil, respectively. After spraying 2,4-D, no residual 2,4-D was detected in the soil at 1, 3, and 7 days. The correlation analysis between soil properties, microbial populations, and 2,4-D content, revealed that the amount of 2,4-D was correlated with the bacterial populations. As the concentration of 2,4-D increased, it influenced bacterial growth. Additionally, 2,4-D concentration was also correlated with the amount of organic matter, clay particles, and cation exchange capacity in the soil. Microorganisms that are resistant to the herbicide 2,4-D could be studied as a potential approach to utilizing soil microorganisms for the degradation of residual pesticides in soil.

Keywords: 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid, Maize, Microorganisms, Residues

¹กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹Soil Science Research Group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900

²กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

²Agricultural toxic substances research group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900

³ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140

³Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: fagrtci@ku.ac.th

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดินในพื้นที่ที่มีการใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีแอซีติก (2,4-D) ไดเมทิลแอมโมเนียม ในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครราชสีมา แบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อย ขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร ได้แก่ แปลงที่พ่นเฉพาะสาร 2,4-D ตามอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียวอัตรา 120 กรัมต่อสารออกฤทธิ์ต่อพื้นที่ 1 ไร่ โดยไม่มีการพ่นสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น และแปลงที่ไม่มีการพ่นสาร 2,4-D เก็บตัวอย่างดินก่อนพ่นสาร และหลังพ่นสารแปลงละ 5 รอบ ได้แก่ หลังพ่นสาร 2 และ 4 ชั่วโมง 1, 3 และ 7 วัน นำมาวิเคราะห์สมบัติดินและนับปริมาณจุลินทรีย์ดินพบว่าในการพ่นสาร 2,4-D ส่งผลกระทบต่อปริมาณแบคทีเรียและราที่เลี้ยงได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อในแปลงควบคุม และแปลงพ่นสาร 2,4-D มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแบคทีเรียแปลงพ่นสาร 2,4-D ที่ 2 และ 4 ชั่วโมงมีการเจริญเพิ่มขึ้นสูงกว่าแปลงควบคุม มีค่า 6.59 และ 6.73 Log₁₀ CFU ปริมาณราในแปลงควบคุมมีปริมาณมากกว่าแปลงพ่น 2,4-D ที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.52 และ 5.62 Log₁₀ CFU ส่วนเอกทิโนไมซีตที่เลี้ยงได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินหลังพ่น 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่า 0.61 และ 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และหลังพ่นสาร 2,4-D ที่ 1, 3 และ 7 วัน ตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ของสมบัติดิน ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณ 2,4-D พบว่าปริมาณ 2,4-D มีความสัมพันธ์กับปริมาณแบคทีเรีย คือเมื่อปริมาณ 2,4-D เพิ่มส่งผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ อนุภาคดินเหนียว และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ซึ่งจุลินทรีย์ที่ทนต่อสารกำจัดวัชพืช 2,4-D สามารถนำไปศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชที่ตกค้างในดิน

คำสำคัญ: 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, จุลินทรีย์ดิน, สารตกค้าง

คำนำ

วัชพืชเป็นปัญหาใหญ่สำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งการใช้แรงงานมีค่าใช้จ่ายสูงและขาดแคลนแรงงาน เกษตรกรจึงหันมาใช้สารกำจัดวัชพืชแทน การเลือกสารควบคุมวัชพืชก่อนออกจะมีผลกระทบต่อพืชปลูกน้อย สารกำจัดวัชพืชที่ใช้ ได้แก่ อะลาคลอร์ (alachlor) ไกลโฟเซต (glyphosate) กลูโฟซิเนต-แอมโมเนียม (glufosinate-ammonium) และหนึ่งในนั้นก็คือ 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) (สดใส และคณะ, 2554) 2,4-D เป็นสารกำจัดวัชพืชในกลุ่ม Chlorophenoxyacetic acid อยู่ในรูปของกรด (acid) แล้วยังมีอนุพันธ์ที่เป็นเกลือ (salt) และเอสเตอ์ (ester) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้หลังวัชพืชงอกสำหรับกำจัดวัชพืชใบกว้าง (broad-leaf weed) ถูกดูดซึมเข้าทางใบและเคลื่อนย้ายไปยังเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอด สารนี้จะออกฤทธิ์โดยทำให้เกิดการแบ่งตัวของเซลล์ในเนื้อเยื่ออย่างไม่สามารถ

ควบคุมได้ทำให้ใบหงิกงอและทำให้พืชตายในที่สุด มีการผลิตเอทิลีนที่ผิดปกติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) สดใส และคณะ (2550) ได้ทดลองควบคุมวัชพืชในไร่ข้าวโพดของเกษตรกร พบว่าการใช้สารควบคุมวัชพืชแบบ หลังออก 2,4-D, กลูโฟซิเนต-แอมโมเนียม, พาราควอต, ไกลโฟเซต, ฟลูรอกซีเพอร์, 2,4-D ผสมพาราควอต และ 2,4-D ผสมไกลโฟเซต ตามหลังการใช้อาหาราชีน พบว่าสามารถควบคุมวัชพืชได้ 70-90 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าการใช้อาหาราชีนเพียงอย่างเดียว

การย่อยสลายของ 2,4-D สามารถย่อยได้ทั้งวิธีทางกายภาพและชีวภาพ โดยทั่วไปการสลายตัวของ 2,4-D มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 10 วัน (Vogue *et al.*, 2004) ซึ่งการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินจะเกี่ยวข้องกับการกระบวนการไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) ดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) การย่อยสลายโดยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การย่อยสลายโดยแสง การแตกสลายด้วยน้ำ การรวมตัว การกลายเป็นไอ และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น

(Gervais *et al.*, 2008) จากกระบวนการย่อยสลายดังกล่าวส่งผลให้มี 2,4-D ตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและเปลี่ยนแปลงของ 2,4-D ในดิน เช่น อินทรีย์วัตถุ pH อนุภาคดิน และปริมาณจุลินทรีย์ในดิน เป็นต้น (Boivin *et al.*, 2005) จากงานวิจัยพบว่า 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ในดินจะแตกต่างกันตามเนื้อดินแต่ละชนิด Bekbölet *et al.* (1999) รายงานว่าการดูดซับ 2,4-D ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคดินเหนียวและทรายแบ่งในดิน แต่เมื่อมีปริมาณของอนุภาคทรายเพิ่มขึ้น การดูดซับ 2,4-D จะลดลง เช่นเดียวกับ Baumgartner *et al.* (2017) รายงานว่า การดูดซับ 2,4-D มีความสัมพันธ์กับอนุภาคดินเหนียวแต่ไม่พบความสัมพันธ์กับอนุภาคทราย เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวมีประจุที่สามารถดูดซับ 2,4-D ที่ตกค้างในดินได้มากกว่า Ismail *et al.* (2009) ศึกษาการดูดซับและการปลดปล่อย 2,4-D ในดินร่วนเหนียวและดินเหนียวพบว่าในดินร่วนเหนียวมีการดูดซับ 2,4-D มากกว่าดินเหนียว เนื่องจากในดินร่วนเหนียวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่าจึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า นอกจากนี้ 2,4-D ยังส่งผลต่อโครงสร้างประชากรและการทำงานของจุลินทรีย์ในดินได้ จุลินทรีย์สามารถใช้ 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึม ทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์เพิ่มและมีความหลากหลายทางชีวภาพมากขึ้น จุลินทรีย์บางชนิดสามารถสร้างเอนไซม์เพื่อช่วยละลายธาตุอาหารที่ถูกตรึงอยู่ในดินเพื่อช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารได้ ส่งผลต่อความหลากหลายและหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน (Lerch *et al.*, 2007; Itoh *et al.*, 2013;). Vieublé Gonod *et al.* (2006) กล่าวว่าจุลินทรีย์และสารกำจัดศัตรูพืชต่างมีผลซึ่งกันและกัน การใช้สารกำจัดวัชพืชมีผลต่อจุลินทรีย์ดินได้ 2 ทาง ทางแรกคือสารกำจัดวัชพืชมีความเป็นพิษของต่อจุลินทรีย์และทางที่ 2 คือ จุลินทรีย์สามารถใช้สารกำจัดวัชพืชเหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อใช้ในการเจริญและการปรับตัวได้ Macur *et al.* (2007) ศึกษาอัตราของ 2,4-D

ที่มีผลต่อโครงสร้างประชากรของจุลินทรีย์ โดยศึกษาที่ความเข้มข้น 0-500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบ Burkholderia, Achromobacter และ Rhodanobacter มากที่สุด ในขณะที่ใช้ 2,4-D อัตรา 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในแปลงทดลอง พบ Burkholderia มากที่สุด สรุปได้ว่า Burkholderia สามารถเจริญเติบโตได้เร็วเมื่อความเข้มข้นของ 2,4-D เพิ่มขึ้น Celina and Gómez (2014) ได้แยกเชื้อแบคทีเรียจากดิน เพื่อศึกษาสาร 2,4-D ต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของเชื้อ พบว่า Cupriavidus necator สามารถใช้ 2,4-D ในกระบวนการเมแทบอลิซึมได้ดีที่สุด

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดิน และปัจจัยที่มีผลต่อการตกค้างของสารกำจัดวัชพืชในดิน และจะทำการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ทนต่อสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ต่อไปเพื่อเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและการย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

พ่นสาร 2,4-D แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และการเก็บตัวอย่างดิน

สำรวจพื้นที่แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บ้านดอนแขวง อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พิกัดที่ตั้ง 14°34'09.4"N 102°28'44.3"E เดือนพฤษภาคม 2566 โดยแบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อยขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร ได้แก่แปลงที่พ่นเฉพาะสาร 2,4-D ตามอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว อัตรา 120 กรัมต่อสารออกฤทธิ์ต่อพื้นที่ 1 ไร่ (กลุ่มวิจัยวัชพืช, 2554) โดยไม่มีการพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น และแปลงที่ไม่มีมีการพ่นสาร 2,4-D ดำเนินปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 339 ทั้ง 2 แปลง มีอายุเก็บเกี่ยวที่ 110 – 115 วัน เมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุครบ 1 เดือน เก็บตัวอย่างดินก่อนพ่นสาร จากนั้นพ่นสาร 2,4-D แล้วเก็บตัวอย่างดินหลังพ่นสารแปลงละ 5 รอบ ได้แก่ หลังพ่นสาร 2 และ 4 ชั่วโมง, 1, 3 และ 7 วัน เก็บตัวอย่างดินตามระยะเวลาด้วยอุปกรณ์

เจาะเก็บตัวอย่างดิน (soil auger) รอบรากพืชที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร เนื่องจากบริเวณรอบรากพืชมีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูงกว่าดินในบริเวณอื่น (Morgan *et al.*, 2005) สุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 11 จุด เพื่อนำไปนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน จากนั้นเก็บตัวอย่างดินแบบ Composite sample เพื่อใช้เป็นตัวแทนที่ดีในการวิเคราะห์สมบัติดินที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 20 จุด โดยครอบคลุม 11 จุดที่เก็บดินเพื่อนับปริมาณจุลินทรีย์ด้วย (เจิบ, 2548) นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) โดยวิธี Pipette (Gee and Bauder, 1986) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (National Soil Survey Center, 1996) อินทรีย์วัตถุ (organic matter) โดยวิธี Walkley-Black (Nelson and Sommers, 1996) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) (Thomas, 1982) และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity; CEC) โดยใช้การชะละลายแคตไอออนด้วยสารละลาย 1M NH₄OAc ที่ pH 7.0 (Chapman, 1965) กรรมวิธีการทดลองมี 2 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 แปลงควบคุมที่ไม่มีการพ่นสาร 2,4-D

กรรมวิธีที่ 2 แปลงที่พ่นเฉพาะสาร 2,4-D ตามอัตราแนะนำของกรมวิชาการเกษตร

การนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน

สุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 11 จุด เพื่อนำไปนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน ได้แก่ รา แอคติโนไมซีต และแบคทีเรีย ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยวิธี Plate count บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) สำหรับรา, Starch Casein Agar (SCA) สำหรับแอคติโนไมซีต และ Nutrient Agar (NA) สำหรับแบคทีเรีย (กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, 2566) นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม XLSTAT version 2022

วัดปริมาณ 2,4-D ในดินโดย High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

ชั่งตัวอย่างปริมาณ 10±0.02 กรัม ใส่ใน centrifuge tube ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายผสมระหว่าง methanol: water: acetic acid (อัตราส่วน 80: 20: 2.5) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แยกสารโดยใช้เครื่อง ultrasonic cleaner (sonicator) นาน 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็ว 4,000 rpm นาน 20 นาที สกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ultra-High Performance Liquid Chromatograph (UHPLC) ยี่ห้อ Agilent Technology รุ่น 1290 หัวตรวจวัดชนิด Diode Array Detector (DAD) ที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ใช้สารละลาย 5 mM ammonium formate (pH 4.0) และ methanol และใช้ Thermo Scientific™ Hypersil™ BDS C₁₈ column เป็น stationary phase (Amarante *et al.*, 2003; Sutherland *et al.*, 2003)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลปริมาณจุลินทรีย์ที่นับได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 11 ค่าไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม XLSTAT version 2022 โดยนำไปวิเคราะห์ F-test two-sample for variances ถ้าผลที่ได้แตกต่างกัน นำข้อมูลไปวิเคราะห์ t-test: two-sample assuming unequal variances ถ้าผลที่ได้จาก F-test two-sample for variances ไม่แตกต่างกัน จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ t-test: two-sample assuming equal variances และหาความสัมพันธ์ correlation matrix (r) ของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติดิน ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณ 2,4-D และนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบ (correlation of principal component ; PCA) ของปัจจัยต่าง ๆ เพื่อดูความสัมพันธ์กับกรรมวิธีการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครราชสีมา พบว่าแปลงควบคุม มี pH เป็นกรดจัด มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับ

ปานกลางถึงต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความจุ แลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง แผลงพ่นสาร 2,4-D มี pH เป็นกรดจัด มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับ ปานกลางถึงต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความจุ แลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993) (Table 1)

ผลวิเคราะห์ดินจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาความสัมพันธ์กับปริมาณจุลินทรีย์ดินและสารตกค้างในดินซึ่งปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง อาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณ 2,4-D ต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ ส่งผลต่อความหลากหลายและหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน (Itoh *et al.*, 2013)

Table 1 General characteristics of soils.

Treatments	pH (1:1)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K (mg kg ⁻¹)	CEC (cmol kg ⁻¹)	Particle size distribution (%)			Textural class
						Sand	Silt	clay	
Control									
2 H AS1	5.32	19.68	46.75	148.25	27.64	35.70	18.04	46.26	Clay
4 H AS	5.26	19.43	45.21	145.81	27.58	30.85	19.50	49.65	Clay
1 D AS	5.27	19.59	41.71	143.51	26.32	36.68	19.55	43.77	Clay
3 D AS	5.29	20.43	41.30	143.56	27.61	33.12	21.91	44.97	Clay
7 D AS	5.32	12.83	42.64	141.19	24.03	36.50	21.10	42.40	Clay
2,4-D									
2 H AS1	5.53	14.04	50.01	160.54	27.36	33.19	18.71	48.10	Clay
4 H AS	5.55	18.44	47.58	151.28	25.26	33.85	20.13	46.02	Clay
1 D AS	5.36	19.10	45.89	164.70	25.29	36.87	20.45	42.68	Clay
3 D AS	5.54	19.88	47.77	160.77	25.41	35.38	21.61	43.01	Clay
7 D AS	5.44	20.57	49.61	161.01	25.40	39.69	18.51	41.80	Clay

Remark: ¹ AS = After spraying 2,4-D

OM = Organic matter; Avail. P = Available phosphorus; Exch. K = Exchangeable potassium;

CEC = Cation exchange capacity

2. การนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน

ปริมาณแบคทีเรียในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสาร 2,4-D ใน (Table 2) พบว่าแปลงควบคุมที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 5.46 และ 5.52 Log₁₀ CFU ที่ 1, 3 และ 7 วัน มีค่า 5.62, 5.61 และ 5.28 Log₁₀ CFU ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D หลังพ่นสารที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีปริมาณแบคทีเรีย 6.59 และ 6.73 Log₁₀ CFU ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าแปลงควบคุม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียต่อกรัมดินที่วัดได้ของแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D โดยใช้ independent sample

t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ พบว่า t Stat แต่ละช่วงเวลา มีค่ามากกว่า t critical two-tail แสดงให้เห็นว่าแปลงพ่นสาร 2,4-D มีปริมาณแบคทีเรียมากกว่าแปลงควบคุมอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากแบคทีเรียสามารถใช้สาร 2,4-D เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนเพิ่มการเจริญได้ (Celina and Gómez, 2014) Maltseva *et al.* (1996) ศึกษาการย่อยสลาย 2,4-dichlorophenoxyacetic acid โดย แบคทีเรียที่เจริญได้ดีในสภาวะที่มี ความเข้มข้นของเกลือสูง (haloalkaliphilic bacteria) พบว่าแบคทีเรียมียีน *tfdA* ที่สังเคราะห์เอนไซม์เพื่อมา

ย่อยสลายสาร 2,4-D แล้วนำคาร์บอนไปใช้ในการเจริญได้ เช่นเดียวกับ Smith and Mortensen (1991) รายงานว่า *Pseudomonas testosteroni* เป็นแบคทีเรียที่พบบริเวณพื้นที่ ๆ มีการใช้ 2,4-D ตลอดทั้งปี ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ใช้ 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญ

ปริมาณราดินระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสาร 2,4-D พบว่าแปลงควบคุม เมื่อครบ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.52 และ 5.62 Log₁₀ CFU ที่เวลา 1, 3 และ 7 วัน นับปริมาณราต่อกรัมดิน ได้ 5.61, 5.28 และ 4.55 Log₁₀ CFU ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D พบว่าหลังพ่นสาร 2,4-D 2 และ 4 ชั่วโมง นับปริมาณราต่อกรัมดินได้ 4.69 และ 4.59 Log₁₀ CFU เมื่อเปรียบเทียบโดยใช้ independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า t Stat แต่ละช่วงเวลา มีค่ามากกว่า t critical two-tail แสดงให้เห็นว่าปริมาณราแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ของ 2,4-D มีการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา นอกจากนี้ 2,4-D อาจมีผลต่อการลดลงของปริมาณราในแปลงที่พ่นสาร Duan *et al.* (2023) ศึกษาผลของ 2,4-D ต่อการยับยั้งการเจริญและการก่อให้เกิดโรคของ *Fusarium graminearum* พบว่า 2,4-D มีผลยับยั้งอัตราการเจริญของรา โดยไปลดการเจริญของโคนิเดียม (conidium) และท่อสืบพันธุ์ (germ tube) ของรา

ปริมาณแอกทิโนไมซีตระหว่างแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D พบว่าแปลงควบคุม เมื่อครบ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.94 และ 6.13 Log₁₀ CFU ที่เวลา 1, 3 และ 7 วัน นับปริมาณแอกทิโนไมซีตได้ 6.12, 6.05 และ 6.12 Log₁₀ CFU ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D พบว่าหลังพ่นสาร 2,4-D 2

และ 4 ชั่วโมง นับปริมาณแอกทิโนไมซีตได้ 5.95 และ 6.16 Log₁₀ CFU เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า t Stat แต่ละช่วงเวลา มีค่าน้อยกว่า t critical two-tail แสดงให้เห็นว่าปริมาณแอกทิโนไมซีตแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสาร 2,4-D ที่ตกค้างในดิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร 2,4-D ที่ตกค้างในตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง (Table 3) พบว่าแปลงที่ใช้เป็นแปลงควบคุมตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อทำการพ่นสาร 2,4-D ทั้ง 2 และ 4 ชั่วโมง ตรวจพบปริมาณ 2,4-D 0.61 และ 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ ตัวอย่างดินหลังพ่นสาร 2,4-D ที่ 1, 3 และ 7 วัน ตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ เนื่องจาก 2,4-D ส่วนใหญ่มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 7 วัน (Boivin *et al.*, 2005) เช่นเดียวกับ Vogue *et al.* (2004) รายงานว่าค่าครึ่งชีวิตของ 2,4-D ในรูปของ acid, diethylamine salt และ ester ในดินมีค่าประมาณ 10 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคดินมีผลต่อการดูดซับประจุของ 2,4-D จากรายงาน Meftaul *et al.* (2020) ได้ศึกษาการดูดซับและเคลื่อนย้ายของ 2,4-D ในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน ได้แก่ ดินร่วน ร่วนปนทราย ร่วนปนทรายแป้ง ทราย ทรายปนร่วน และเหนียว พบว่าในดินที่มีเศษซากอินทรีย์วัตถุอยู่ การดูดซับ 2,4-D จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณอนุภาคดินเหนียว อะลูมินัมออกไซด์และเหล็กออกไซด์เพิ่มขึ้นจากผลการทดลอง ดินร่วน (ATC) ที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 7.66 เปอร์เซ็นต์ สามารถดูดซับ 2,4-D ได้ 58.31 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดินทรายปนร่วน (MAR) ซึ่งมีปริมาณ

Table 2 Quantities of microorganisms in Nakon Ratchasima province.

Treatments	Bacteria						Fungi						Actinomycetes					
	(Log ₁₀ CFU g ⁻¹)																	
	BS ¹	2 HAS ²	4 HAS	1 DAS	3 DAS	7 DAS	BS	2 HAS	4 HAS	1 DAS	3 DAS	7 DAS	BS	2 HAS	4 HAS	1 DAS	3 DAS	7 DAS
Control	-*	5.46	5.52	5.62	5.61	5.28	-	5.52*	5.62*	5.61*	5.28*	4.55	-	5.94	6.13	6.12	6.05	6.12
2,4-D	6.62	6.59*	6.73*	6.26	6.59*	6.67*	4.71	4.69	4.59	4.59	4.62	4.68*	6.09	5.95	6.16	6.36*	6.05	5.96
t Stat	-	-9.45	-14.48	-2.04	-11.17	-9.51	-	9.95	14.75	16.66	4.86	-2.92	-	-0.26	-0.27	-2.25	0.04	1.73
t Critical two-tail	-	2.11	2.07	2.07	2.09	2.1	-	2.07	2.11	2.07	2.13	2.11	-	2.07	2.07	2.09	2.07	2.07

Remark: ¹ BS = Before spraying 2,4-D; ² AS = After spraying 2,4-D; * Significance level of 0.05

* Not analyzed.

Table 3 Amount of 2,4-D-dimethylammonium in soil at Nakon Ratchasima provinces

Treatments	2,4-D (mg kg ⁻¹)				
	2 HAS ¹	4 HAS	1 DAS	3 DAS	7 DAS
Control	ND*	ND	ND	ND	ND
2,4-D	0.61	0.30	ND	ND	ND

Remark: ¹ AS = After spraying 2,4-D

* ND = Not detected (< Limit of detection (LOD) = 0.03 mg kg⁻¹)

อินทรีย์คาร์บอนต่ำสุด (0.21 เปอร์เซ็นต์) ดูดซับเพียง 26.00 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม การดูดซับในดิน MAR มากกว่าในดินทราย (SAL) ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าเล็กน้อย อาจเป็นเพราะ ดิน MAR มีอนุภาคดินเหนียวในปริมาณที่มากกว่าดิน SAL กล่าวคือในดินที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวและปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงส่งผลต่อการดูดซับ 2,4-D สูงตามไปด้วย ในขณะที่มีบางตัวอย่างดินที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำแต่มีการดูดซับ 2,4-D สูง อาจเนื่องจากตัวอย่างดินนี้มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงจึงส่งผลต่อการดูดซับ 2,4-D ได้เช่นเดียวกัน สรุปได้ว่าปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์คาร์บอนมีบทบาทร่วมกันต่อการดูดซับ 2,4-D

4. ปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ดิน

ความสัมพันธ์ของสมบัติดิน ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณ 2,4-D โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ XLSTAT version 2022 (Table 4 และ Figure 1) พบว่าเมื่อปริมาณ 2,4-D เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย อาจกล่าวได้ว่าแบคทีเรีย

สามารถใช้สาร 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อเพิ่มการเจริญได้ (Celina and Gómez, 2014) นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าในดินมีปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนและปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงก็ส่งผลต่อการตกค้างของ 2,4-D ในดินเช่นเดียวกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบสามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 61.37 เปอร์เซ็นต์ โดยองค์ประกอบหลักที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 40.93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแปลงที่พ่นสาร 2,4-D ที่หลังพ่น 2 และ 4 ชั่วโมง โดยปริมาณ 2,4-D มีความสัมพันธ์กับปริมาณแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ อนุภาคดินเหนียว และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน โดยในดินเนื้อละเอียด อนุภาคดินเหนียวมีประจุที่สามารถดูดซับ 2,4-D ได้มากกว่าอนุภาคทรายและทรายแป้ง (Baumgartner *et al.*, 2017) Boivin *et al.* (2005) รายงานว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ pH ขนาดอนุภาคดิน และปริมาณจุลินทรีย์ในดินมีผลต่อการดูดซับและเปลี่ยนแปลงของ 2,4-D ในดิน

Table 4 Correlation matrix (r) between quantities of microorganisms with quantities of 2,4-D-dimethylammonium and soils properties.

	pH (1:1)	OM	CEC	Sand	Silt	Clay	Bacteria	Fungi	Actinomycetes	2,4-D
pH (1:1)	1.00									
OM	0.48	1.00								
CEC	0.27	0.80	1.00							
Sand	0.11	-0.47	-0.77	1.00						
Silt	-0.56	-0.63	-0.40	-0.18	1.00					
clay	0.19	0.77	0.94	-0.86	-0.34	1.00				
Bacteria	0.05	0.12	0.03	0.19	-0.08	-0.14	1.00			
Fungi	0.22	0.18	0.44	-0.33	-0.26	0.45	-0.59	1.00		
Actinomycetes	-0.25	-0.17	-0.15	-0.02	0.32	-0.15	0.06	-0.04	1.00	
2,4-D	0.05	0.50	0.48	-0.35	-0.27	0.47	0.50	-0.33	-0.12	1.00

Remarks: Values in bold are different from 0 with a significance level $\alpha=0.05$ (n = 30).

OM = Organic matter; CEC = Cation exchange capacity

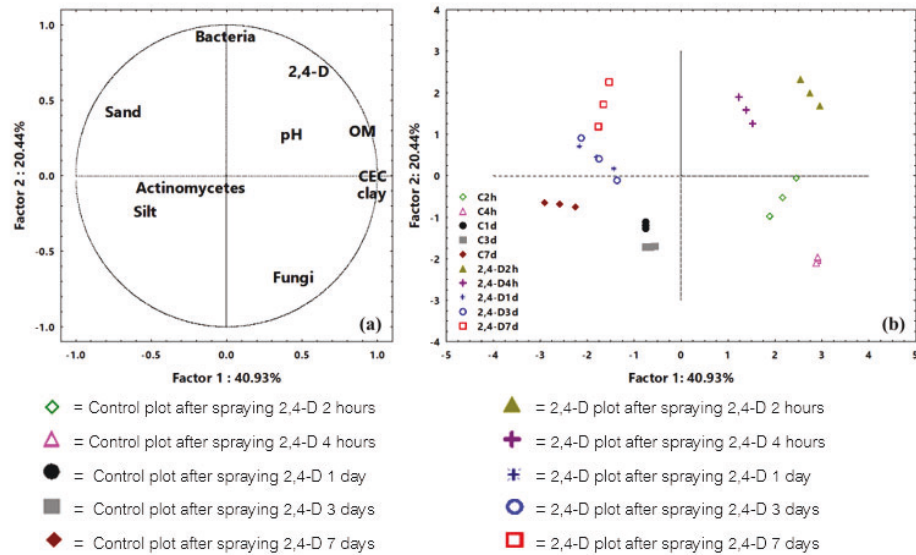


Figure 1 Correlation of principal component analysis of quantities of microorganisms with quantities of 2,4-D-dimethylammonium and soils properties.

สรุป

จากการทดลอง พบว่าสาร 2,4-D ส่งผลต่อปริมาณแบคทีเรียที่เลี้ยงได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในแปลงพ่นสาร 2,4-D หลังพ่นสารที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีปริมาณแบคทีเรีย 6.59 และ 6.73 $\log_{10}$ CFU ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าแปลงควบคุม โดยแบคทีเรียมีการเจริญเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากใช้ 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอน จึงมีส่วนช่วยในการเพิ่มการเจริญได้ ปริมาณวาในแปลงควบคุมมีปริมาณมากกว่าแปลงพ่น 2,4-D ที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.52 และ 5.62 $\log_{10}$ CFU ส่วนแอคติโนมัยซีตที่เลี้ยงได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินหลังพ่นสารที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่า 0.61 และ 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ สรุปได้ว่าปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์คาร์บอนมีบทบาทร่วมกันต่อการดูดซับ 2,4-D และหลังพ่นสาร 2,4-D ที่ 1, 3 และ 7 วัน ตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ เนื่องจาก 2,4-D ส่วนใหญ่มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 7 วัน

เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ของสมบัติดิน

ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณ 2,4-D พบว่าเมื่อปริมาณ 2,4-D เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย และถ้าในดินมีปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงก็ส่งผลต่อการตกค้างของ 2,4-D ในดินเช่นเดียวกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบสามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 61.37 เปอร์เซ็นต์ โดยองค์ประกอบหลักที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 40.93 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแปลงที่พ่นสาร 2,4-D ที่หลังพ่น 2 และ 4 ชั่วโมง โดยปริมาณ 2,4-D มีความสัมพันธ์กับปริมาณแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ อนุภาคดินเหนียว และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ซึ่งจุลินทรีย์ที่ทนต่อสารกำจัดวัชพืช 2,4-D สามารถนำไปศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและการย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดินต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2553. 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีอะซีติก แอซิด (2,4-ดี) = 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) /สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ. สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย, กรุงเทพมหานคร. 76 หน้า.
- กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา. 2566. คู่มือการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพ. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร. 62 หน้า.
- กลุ่มวิจัยวัชพืช. 2554. คำแนะนำการป้องกันกำจัดวัชพืชและการใช้สารกำจัดวัชพืช ปี 2554. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร. 149 หน้า.
- สดีโส ช่างสลัก ทศพล พรพรม นรณ วรามิตร และรังสิต สุวรรณมรรคา. 2554. การใช้สารกำจัดวัชพืชในการผลิตข้าวโพดฝักสด ปี 2552. หน้า 282-287. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- สดีโส ช่างสลัก สมชัย ลิ้มอรุณ รังสิต สุวรรณมรรคา และสมชาย โพธิสาร. 2550. การควบคุมวัชพืชในไร่ข้าวโพดของเกษตรกร. หน้า 188-196. ใน: การประชุมวิชาการข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ ครั้งที่ 33. โรงแรม ทีเค พาเลซ, กรุงเทพมหานคร.
- เอิบ เขียวรณรงค์. 2548. การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 733 หน้า.
- Amarante, D.O.P., N.M. Brito, T.C.R.D. Santos, G.S. Nunes and M.L. Ribeiro. 2003. Determination of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and its major transformation product in soil samples by liquid chromatographic analysis. *Talanta* 60: 115-121.
- Baumgartner, D., E.G. de Souza, S.R.M. Coelho and M.F. Maggi. 2017. Correlation between 2,4-D herbicide residues and soil attributes in southern of Brazil. *Revista Ciencia Agronomica* 48(3): 428-437.
- Bekbölet, M. O. Yenigün and I. Yüce. 1999. Sorption studies of 2, 4-D on selected soils. *Water Air and Soil Pollution* 111: 75-88.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil science* 59: 39-45.
- Boivin, A., S Amellal, M. Schiavon and M.Th. van Genuchten. 2005. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils. *Environmental Pollution* 138: 92-99.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. pp. 891-901. In: C.A. Black (Ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI.
- Duan, K., Q. Shen, P. Xiang, Y. Shi, C. Yang, C. Jiang, G. Wang, J. R. Xu and X. Zhang. 2023. Herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid interferes with MAP kinase signaling in *Fusarium graminearum* and is inhibitory to fungal growth and pathogenesis. *Stress Biology* 3:31, doi: 10.1007/s44154-023-00109-x.

- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, pp. 961-1010. In A. Klute, ed. *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Gervais, J.; B. Luukinen, K. Buhl and D. Stone. 2008. 2,4-D Technical Fact Sheet; National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. (Online). Available Source: <https://npic.orst.edu/factsheets/archive/2,4-DTech.html> (November 19, 2024).
- Ismail, B.S., M. Sameni and M. Halimah. 2009. Adsorption, desorption and mobility of 2, 4-D in two Malaysian agricultural soils. *Asian Journal of Agricultural Research* 3(3): 67-77.
- Itoh, K., M. Kinoshita, S. Morishita, M. Chida and K. Suyama. 2013. Characterization of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid and 2, 4, 5- trichlorophenoxyacetic acid-degrading fungi in Vietnamese soils. *FEMS Microbiology Ecology* 84: 1574-6941.
- Lerch T, M-F. Dignac, E. Barrius, G. Bardoux and A. Mariotti. 2007. Tracing 2, 4-D metabolism in *Cupriavidus necator* JMP134 with ^{13}C -labelling technique and fatty acid profiling. *Journal of Microbiological Methods* 71: 162-174.
- Macur, R.E., J.T. Wheeler, M.D. Burr and W.P. Inskeep. 2007. Impacts of 2, 4-D application on soil microbial community structure and on populations associated with 2, 4-D degradation. *Microbiological Research* 162: 37-45.
- Maltseva O, C. McGowan, R. Fulthorpe and P. Oriel. 1996. Degradation of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid by haloalkaliphilic bacteria. *Microbiology*. *Microbiology* 142: 1115-1122, doi: 10.1099/13500872-142-5-1115.
- Meftaul, I.M., K. Venkateswarlu, R. Dharmarajan, P. Annamalai and M. Megharaj. 2020. Movement and fate of 2, 4-D in urban soils: a potential environmental health concern. *ACS Omega* 5: 13287-13295.
- Morgan, J.A.W., G.D. Bending, P.J. and White. 2005. Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany* 56: 1729-1739.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No.42, Version 3.0. Natural Conservation Service, (NRCS), USDA.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon and organic matter. pp. 961-1010. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke and R.H. Loeppert, eds. *Methods of Soil Analysis. Part III. Chemical Method*. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Smith, A.E. and K. Mortensen. 1991. Degradation of waste 2, 4-D residues using a soil bacterium in a sprayer tank system. *Canadian Journal of Soil Science* 71: 243-246.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil Survey Manual*. United States Department of Agriculture, Washington, DC. 437 p.

- Sutherland, D.J., G.K. Stearman and M. J.M. Wells. 2003. Development of an analytical scheme for simazine and 2,4-D in soil and water runoff from ornamental plant nursery plots. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51: 14-20.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. pp. 159-165. *In*: C.A. Black (Ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Vogue, P.A., E.A. Kerle and J.J. Jenkins. 2004. OSU extension pesticide properties database; Oregon State University: Corvallis, OR
- Vieubl  Gonod, L., F. Martin-Laurent and C. Chenu. 2006. 2,4-D impact on bacterial communities and the activity and genetic potential of 2,4-D degrading communities in soil. *FEMS Microbiology Ecology* 58: 529-537.
- Zabaloy, C. M. and M.A. Gómez. 2014. Isolation and characterization of indigenous 2,4-D herbicide degrading bacteria from an agricultural soil in proximity of Sauce Grande River, Argentina. *Annals of Microbiology* 64: 969-974.