

ประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่คัดเลือกในการบำบัดปรอทในดิน Efficiency of Selected Bacteria on Bioremediation of Mercury in Soil

สุมาลี ไบพลูทอง¹ ศศิธร หาสิน¹ อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์² และอภิขญา สวัสดิ์^{1*}
Sumalee Baipluthong¹ Sasitorn Hasin¹ Ananya Popradit² and Apichaya Sawasdee^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียคัดสายพันธุ์เพื่อลดการปนเปื้อนของสารปรอทในดิน ในการดำเนินการวิจัยมีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของสารปรอทในดิน โดยเติมแบคทีเรียคัดสายพันธุ์ในดินที่มีความเข้มข้นของสารปรอทที่แตกต่างกัน ติดตามการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลา 15 วัน จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณของสารปรอทในดินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography: GC) และคำนวณประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของสารปรอท จากผลการวิจัยพบว่าดินมีลักษณะเป็นดินร่วน และเมื่อพิจารณาค่าอินทรีย์วัตถุในดินตัวอย่างพบว่ามีปริมาณ 18 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำ ในส่วนค่าความเป็นกรดต่างมีค่า 6.56 ซึ่งมีค่าเป็นกรดอ่อน และจากการวิเคราะห์การลดการปนเปื้อนของสารปรอท พบว่าการใช้แบคทีเรียคัดสายพันธุ์ปริมาณ 5 กรัม ที่ความเข้มข้นของสารปรอท 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีประสิทธิภาพในการลดการกำจัดสารปรอทสูงสุด คือ ร้อยละ 43.07 และรองลงมาคือ การใช้แบคทีเรียคัดสายพันธุ์ปริมาณ 5 กรัม ที่ความเข้มข้นของสารปรอท 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารปรอทร้อยละ 42.13 ดังนั้นจากงานวิจัยนี้จึงสามารถนำไปสู่การจัดการพื้นที่ที่มีการตกค้างของปรอท รวมถึงการลดการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่ห่วงโซ่อาหารได้อีกด้วย

คำสำคัญ: สารปรอท แบคทีเรียคัดสายพันธุ์ ประสิทธิภาพการกำจัดสารปรอท

¹ สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

² สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

* Corresponding author e-mail: apichaya.s@vru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i2.258015>

Received: 22 February 2023, Revised: 17 March 2023, Accepted: 12 April 2023

Abstract

This research was studied the efficiency study of selective microbes to reduce mercury contaminated in soil. This research was examined the physical and chemical properties in the soil and investigated the efficiency of mercury reduction in soil. The experimental design was varied the concentration of mercury rates within 15 days. Soil samples were investigated by gas chromatography (GC) technique and calculated the efficiency of mercury reduction. The results showed that soil properties were as silty in texture and 18 grams per kilograms (g/kg) of organic matter that medium level. Soil pH was 6.56 that weak acid. Regarding mercury contamination reduction, 5 g of selective microbes and 120 milligrams per kilograms (mg/kg) of mercury concentration was found the greatest removal efficiency of mercury at 43.07%. Followed by 5 grams of selective microbes with 240 mg/kg of mercury concentration, could remove an efficiency of mercury at 42.13% of mercury, respectively. Therefore, this research can lead to the management of areas with mercury residues, including reducing heavy metal contamination in the food chain.

Keywords: Mercury, Selective bacteria, Mercury removal efficiency

บทนำ

ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของความต้องการในการอุปโภคบริโภคมีมากขึ้น ตั้งแต่การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน อุตสาหกรรมอัลคาไลด์ อุตสาหกรรมอื่น ๆ การใช้สารปรอทในวัสดุอุดฟัน เตาเผาขยะติดเชื้อ นอกจากนี้การนำสิ่งของต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์สำหรับกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ทำให้มีการปลดปล่อยสารมลพิษมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนักเป็นสารที่สามารถรวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) และเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (organometallic compound) ทำให้สามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (food chain) โลหะหนักเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ และพืช จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรงเมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต (ชมภู และคณะ, 2561) เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง นิเกิล โครเมียม เหล็ก แมงกานีส โคบอลต์ และสารหนู สามารถส่งผลกระทบต่อมนุษย์ได้อย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปรอทเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูงและสามารถรวมกับสารอินทรีย์ทำให้ความเป็นพิษเพิ่มขึ้นได้ ตัวอย่างของเหตุการณ์ที่เกิดผลกระทบเป็นวงกว้างจากสารปรอท คือ โรคมินามาตะที่เกิดจากการรั่วไหลของสารปรอทจากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารปรอทในน้ำและดิน ทำให้ประชาชนเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก (Hachiya, 2006)

ปรอท (mercury: Hg) เป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูงแม้จะสะสมอยู่ในร่างกายเพียงเล็กน้อย ซึ่งมักพบปนเปื้อนอยู่ในอากาศ น้ำ และดิน เป็นส่วนใหญ่ สาเหตุมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาขยะผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตามบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สารปรอทเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตพลาสติก รวมถึงเกษตรกรยังมีการใช้สารเคมีในการทำเกษตร สาเหตุเหล่านี้ส่งผลให้มีการตกค้างของสารปรอทในดิน เนื่องจากสารปรอทเป็นโลหะหนักที่สามารถแพร่กระจายได้ในระยะไกล และตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม คุณภาพสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของสิ่งมีชีวิต ทั้งยังสามารถสะสมในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งการสะสมทางชีวภาพและการขยายตัวของปรอทในห่วงโซ่อาหาร (Rua-Ibarz *et al.*, 2016) ทำให้เกิดความเครียดต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงต่อมนุษย์ ซึ่งรวมถึงโรคหลอดเลือดอักเสบเฉียบพลัน และโรคปอดอักเสบที่อาจนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบทางเดินหายใจและถึงขั้นเสียชีวิต การได้รับสารปรอทเป็นเวลานานจะส่งผลต่อการทำงานของสมอง มนุษย์ และยังทำให้เกิดความผิดปกติในระบบประสาทส่วนกลาง (Holmes *et al.*, 2009) ปัญหาสุขภาพของมนุษย์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับมลพิษจากสารปรอท ได้แก่ ภาวะโปรตีนในปัสสาวะหรือความผิดปกติของไต (Rafique *et al.*, 2015) ซึ่งผลกระทบต่าง ๆ ของความเป็นพิษของสารปรอทขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารปรอท อย่างไรก็ตามกิจกรรมต่าง ๆ ยังไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงนำไปสู่การหาวิธีการบำบัดสารปรอทที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้พืชฟื้นฟู (phytoremediation) การบำบัดทางชีวภาพ (bioventing) การฟื้นฟูทางชีวภาพ (bioremediation) การออกซิไดซ์ด้วยสารเคมี (chemical oxidation) การสกัดสารระเหยง่ายออกจากดิน (soil vapor extraction) การล้างดิน (soil flushing) การตกผลึก (precipitation) ซึ่งแต่ละวิธีมีความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ต่างกัน (นันทวุฒิ, 2561) อย่างไรก็ตามการฟื้นฟูทางชีวภาพถือเป็นหนึ่งในวิธีการที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการใช้ประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตที่สามารถย่อยสลายสารมลพิษได้

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการหาแนวทางเพื่อให้ประชาชนสามารถดำรงชีวิตได้โดยได้รับผลกระทบจากสารปรอทน้อยที่สุด โดยการนำเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ (bioremediation technology) ซึ่งเป็นการเติมแบคทีเรียคัดสายพันธุ์ในดิน เพื่อใช้ในการบำบัดสารปรอทที่ปนเปื้อนในดิน และสามารถใช้เป็นแนวทางในการฟื้นฟูดินในระยะยาวต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบคทีเรียคัดสายพันธุ์

แบคทีเรียที่ผ่านการคัดสายพันธุ์ที่สามารถย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปของสารปรอทในดิน เป็นแบคทีเรียผสม ประกอบด้วย *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *B. licheniformis* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ได้รับการพัฒนาจากอาจารย์หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่วมกับบริษัทเอกชน

2. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

2.1 สมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์ประเภทของดินโดยการแจกกระจายขนาดของอนุภาคดิน (particle size distribution) ด้วยวิธีไปเพตต์ (USDA Natural Resources Conservation Service, 2004) และนำค่าที่ได้ไปคำนวณ ดังสมการ (1) ถึง (3)

$$\text{ร้อยละอนุภาคขนาดทราย} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักอนุภาคขนาดทรายหลังจากอบแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักดินหลังจากอบแห้ง (กรัม)}} \quad (1)$$

$$\text{ร้อยละอนุภาคขนาดดินเหนียว} = \frac{1,000 \times \text{น้ำหนักอนุภาคขนาดดินเหนียวหลังจากอบแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักดินหลังจากอบแห้ง (กรัม)} \times \text{ความสูงในการดูดสารแขวนลอยในกระบอกตวง (มิลลิลิตร)}} \quad (2)$$

$$\text{ร้อยละอนุภาคขนาดทรายแป้ง} = 100 - (\text{ร้อยละอนุภาคขนาดทราย} + \text{ร้อยละอนุภาคขนาดดินเหนียว}) \quad (3)$$

2.2 สมบัติทางเคมี

1) ค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน (pH) โดยใช้เครื่องมือทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง คือ pH meter รุ่น one-stop IoT provider with soil integrated sensor

2) อินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter) ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ wet oxidation โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันภายใต้การหาความเข้มข้นที่แน่นอน ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate: $K_2Cr_2O_7$) ในกรดซัลฟูริก (sulfuric acid: H_2SO_4) เข้มข้น และทำการไตเตรตสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate: $FeSO_4$) โดยปริมาณของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ไปมีค่าเท่ากับปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ (oxidize) ไป และสามารถคำนวณกลับมาเป็นอินทรีย์คาร์บอนได้ (พัชรี, 2554)

3. การศึกษาประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของสารปรอท

โดยทำการออกแบบการทดลองเพื่อติดตามความเปลี่ยนแปลงของสารปรอทที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการเติมแบคทีเรียคัตสายพันธุ์ โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ดำเนินการทดลองในภาชนะขนาด 20×30 เซนติเมตร ในปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณของแบคทีเรียคัตสายพันธุ์และสารปรอทที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

ชุดทดลองที่	ปริมาณของแบคทีเรียผสมคัตสายพันธุ์ (ผง: กรัม)	ปริมาณของสารปรอท (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1 (ชุดควบคุม)	0	240
2 (ชุดควบคุม)	0	120
3	5	240
4	5	120

โดยนำสารปรอทใส่ในตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนของดินในที่ชุมชนที่อยู่ใกล้พื้นที่เกษตรและโรงงานอุตสาหกรรม ในปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 1 และติดตามการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลา 15 วัน จากนั้นเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของสารปรอทด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography: GC) (Shimadzu GC-2014) จากนั้นนำมาคำนวณประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของสารปรอท ดังสมการ (4)

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดสารปรอท} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารปรอทที่เวลาเริ่มต้น} \times \text{ความเข้มข้นของสารปรอทที่เวลา } t}{\text{ความเข้มข้นของสารปรอทที่เวลาเริ่มต้น}} \times 100 \quad (4)$$

ผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียคัดสายพันธุ์เพื่อลดปริมาณสารปรอทในดินในงานวิจัยนี้ แสดงข้อมูลของสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน และประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของสารปรอท ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

จากการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ โดยวิธีการแจกกระจายขนาดอนุภาคดิน พบว่าดินมีลักษณะเป็นดินร่วน และเมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมี พบว่าดินตัวอย่างมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 18 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำ ในส่วนความเป็นกรด-ด่างมีค่า 6.56 ซึ่งมีค่าเป็นกรดอ่อน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

แหล่งเก็บ ตัวอย่างดิน	พารามิเตอร์			ประเภท ของดิน	อินทรีย์วัตถุ (กรัมต่อ กิโลกรัม)	
	ค่าความเป็น กรด-ด่าง	ร้อยละการแจกกระจาย ขนาดอนุภาคดิน				
		ทราย	แป้ง	เหนียว		
		ดินในชุมชนที่มี การทำเกษตร และมีโรงงานอยู่ บริเวณใกล้เคียง	6.56	51		45

ซึ่งสมบัติของดินทั้งทางกายภาพและทางเคมีมีผลต่อการตกค้างของสารปรอท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในปริมาณมาก ทำให้อินทรีย์วัตถุสามารถรวมตัวกับสารปรอทและเปลี่ยนรูปเป็นสารที่มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นได้

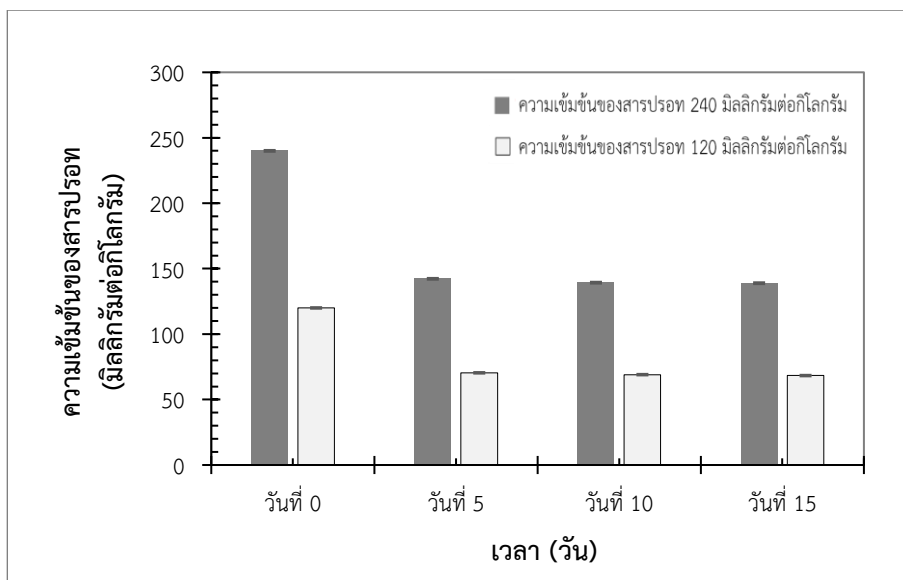
2. ประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของสารปรอท

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการลดการปนเปื้อนของสารปรอท โดยอาศัยการทำงานของแบคทีเรียคัดผสมคัตสายพันธุ์ *Pediococcus* sp. *B. subtilis* และ *B. licheniformis* เปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่าในชุดควบคุมนั้น ปริมาณของสารปรอทไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเติมแบคทีเรียผสมคัตสายพันธุ์จำนวน 5 กรัม ที่ความเข้มข้นของสารปรอทเริ่มต้น 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าแบคทีเรียผสมคัตสายพันธุ์สามารถลดปริมาณสารปรอทได้ตั้งแต่วันที่ 5 โดยเหลือเพียง 142.24 ± 0.690 และ 70.41 ± 0.583 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากนั้นเก็บตัวอย่างวิเคราะห์อีก 2 ครั้ง คือ วันที่ 10 และวันที่ 15 เพื่อติดตามการลดลงของสารปรอท พบว่าในวันที่ 10 มีปริมาณสารปรอทคงเหลือ 139.30 ± 1.082 และ 69.03 ± 0.798 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และในวันที่ 15 มีสารปรอทคงเหลือ 138.39 ± 0.616 และ 68.32 ± 0.401 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าในวันที่ 10 และ 15 ปริมาณสารปรอทที่ลดลงนั้นไม่แตกต่างกันกับวันที่ 5 ดังภาพที่ 1

ตารางที่ 3 ปริมาณของสารปรอทที่ลดลงในการทดลองระยะเวลา 15 วัน

ความเข้มข้นของสารปรอทเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ระยะเวลา (วัน)	ความเข้มข้นของสารปรอทที่ลดลง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
240	5	142.24 ± 0.690
120	5	70.41 ± 0.583
240	10	139.30 ± 1.082
120	10	69.03 ± 0.798
240	15	138.89 ± 0.616
120	15	68.32 ± 0.401

หมายเหตุ: - ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)



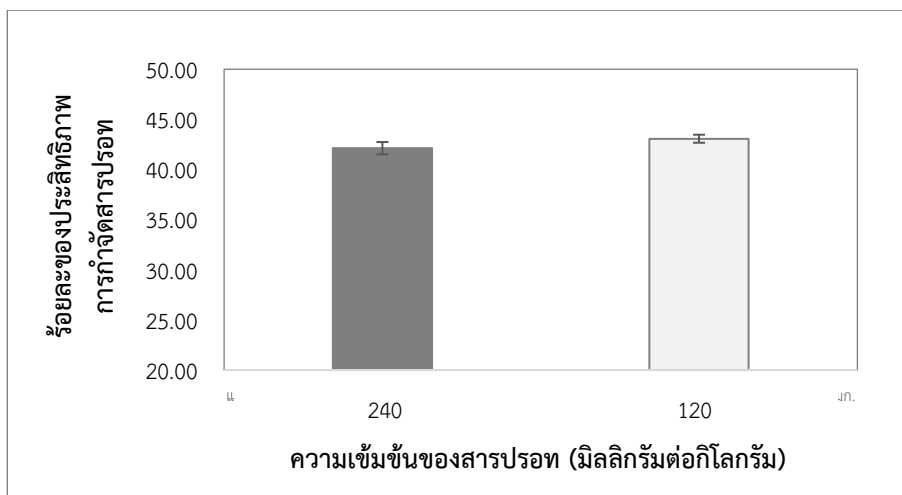
ภาพที่ 1 ปริมาณสารปรอทที่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้แบคทีเรียคัตสายพันธุ์จำนวน 5 กรัม ที่ความเข้มข้นของสารปรอทเริ่มต้น 240 และ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารปรอทที่ปริมาณแบคทีเรียคัตสายพันธุ์และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารปรอทต่างกันพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารปรอทที่ปริมาณแบคทีเรียคัตสายพันธุ์ 5 กรัม ความเข้มข้นสารปรอทเริ่มต้น 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ระยะเวลา 5 วัน มีค่า ร้อยละ 41.32 ± 0.486 ระยะเวลา 10 วัน มีค่าร้อยละ 42.48 ± 0.665 และระยะเวลา 15 วัน มีค่าร้อยละ 43.07 ± 0.334 และความเข้มข้นของสารปรอทเริ่มต้น 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีประสิทธิภาพการบำบัด ระยะเวลา 5 วัน มีค่าร้อยละ 40.73 ± 0.287 ระยะเวลา 10 วัน มีค่าร้อยละ 41.96 ± 0.451 และระยะเวลา 15 วัน มีค่าร้อยละ 42.13 ± 0.257 ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 2

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดสารปรอท

ความเข้มข้นสารปรอทเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ระยะเวลา (วัน)	ประสิทธิภาพการกำจัดของสารปรอท (ร้อยละ)
240	5	40.73 ± 0.287
120	5	41.32 ± 0.486
240	10	41.96 ± 0.451
120	10	42.48 ± 0.665
240	15	42.13 ± 0.257
120	15	43.07 ± 0.334

หมายเหตุ: - ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารปรอทโดยใช้แบคทีเรียคัตสายพันธุ์

การอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียคัตสายพันธุ์ ประกอบด้วย *Pediococcus* sp. *B. subtilis* และ *B. licheniformis* เพื่อลดปริมาณของสารปรอทในดิน พบว่ากลุ่มแบคทีเรียคัตสายพันธุ์สามารถลดการปนเปื้อนของสารปรอทได้ในระยะเวลา 15 วัน โดยการใช้แบคทีเรียคัตสายพันธุ์ผสมปริมาณ 5 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารปรอทที่ความเข้มข้น 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สูงสุดที่ร้อยละ 43.07 ± 0.616 และปริมาณแบคทีเรียคัตสายพันธุ์ 5 กรัม และความเข้มข้นของสารปรอท 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารปรอทร้อยละ 42.13 ± 0.401 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Chien *et al.* (2012) ซึ่งศึกษาการกำจัดสารปรอทโดยใช้ *B. megaterium* MB1 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ที่ร้อยละ 80 และ Zhao *et al.* (2021) ศึกษาการกำจัดสารปรอทโดยใช้ *Pseudomonas cremoricolorate* พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่า แต่ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการกำจัดสารปรอทด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยใช้แบคทีเรียคัตสายพันธุ์ผสมสามารถลดปริมาณสารปรอทได้และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ (Lee and Fisher, 2018) ต้นทุนต่ำและปลอดภัย อย่างไรก็ตามข้อมูลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปสู่การลดการสะสมของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมทั้งในน้ำและในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดการสะสมของสารปรอทในห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากเส้นทางการสะสมสารปรอทที่สำคัญที่สุด คือ การสะสมในห่วงโซ่อาหาร โดยผ่านสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แพลงก์ตอนจะดูดซึมสารปรอทแบบพาสซีฟ (passive surface) ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่ดูดซึมสารปรอทเข้าไป ในทางกลับกันสิ่งมีชีวิตกลุ่มที่ดำรงชีวิตอยู่ได้โดยอาศัยสารอินทรีย์ (heterotrophic) อาจได้รับผลกระทบจากการบริโภคสิ่งมีชีวิตที่มีการดูดซึมสารปรอทเข้าไป และยังคงได้รับระดับความเป็นพิษของสารปรอทมากขึ้น ด้วยสาเหตุนี้การลดการปนเปื้อนของสารปรอทในดินจึงสามารถลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากการสะสมของสารปรอทที่จะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ทำให้เกิดความปลอดภัยในสิ่งแวดล้อมและการบริโภคของสิ่งมีชีวิต และเมื่อพิจารณาถึงความสอดคล้อง

กับการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development goals: SDGs) พบว่าสอดคล้องกับ SDG 3.9 คือ การลดจำนวนการตายและการเจ็บป่วยจากสารเคมีอันตรายจากมลพิษและการปนเปื้อนทางอากาศ น้ำ และดิน ให้ลดลงอย่างมาก ภายในปีพ.ศ. 2573 ซึ่งจากความสอดคล้องนี้แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้สามารถตอบสนองเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนได้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียคัตสายพันธุ์ ประกอบด้วย *Pediococcus* sp. *B. subtilis* และ *B. licheniformis* เพื่อลดปริมาณสารปรอทในดิน พบว่ากลุ่มแบคทีเรียคัตสายพันธุ์ สามารถลดการปนเปื้อนของสารปรอทได้ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารปรอทสูงสุดถึงร้อยละ 43.07 โดยการลดการปนเปื้อนรวมถึงการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักได้ในระยะเวลา 15 วัน อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองสามารถลดการปนเปื้อนของสารปรอทได้ตั้งแต่วันที่ 5 จากงานวิจัยนี้จึงสามารถนำไปสู่การจัดการพื้นที่ที่มีการตกค้างของโลหะหนักรวมถึงการลดการปนเปื้อนโลหะหนักสู่ห่วงโซ่อาหารได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท จีแอนด์บี เอนไซม์ส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แบคทีเรียคัตสายพันธุ์ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ชมภู เหนือศรี นกุล กุดแถลง พิทักษ์ นาสมใจ ปิยะ โมคมูล และเชิดชัย สมบัติโยธา. (2561). การปนเปื้อนของโลหะหนักและการจัดการขยะอันตรายโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน องค์การบริหารส่วนตำบลโคกสะอาด อำเภอเมืองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- นันทวุฒิ จำปางาม. (2561). การฟื้นฟูมลพิษทางดินที่ปนเปื้อนอากาศของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรม. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 12(2), 97-111.
- พัชร ธีรจินดาจร. (2554). คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี. (พิมพ์ครั้งที่ 3). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Chien, M., Nakahata, R., Ono, T., Miyauchi, K. and Endo, G. (2012). Mercury removal and recovery by immobilized *Bacillus megaterium* MB1. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 6(2), 192-197, doi: <https://doi.org/10.1007/s11705-012-1284-3>.
- Hachiya, N. (2006). The history and the present of Minamata disease - entering the second half a century. *Japan Medical Association Journal*, 49(3), 112-118.

- Holmes, P., James, K.A.F. and Levy, L.S. (2009). Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health?. *Science of the Total Environment*, 408(2), 171-182, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.043>.
- Lee, C.S., and Fisher, N.S. (2018). Microbial generation of elemental mercury from dissolved methylmercury in seawater. *Limnology and Oceanography*, 64(2), 679-693, doi: <https://doi.org/10.1002/lno.11068>.
- Rafique, A., Amin, A. and Latif, Z. (2015). Screening and characterization of mercury-resistant nitrogen fixing bacteria and their use as biofertilizers and for mercury bioremediation. *Pakistan Journal of Zoology*, 47(5), 1271-1277.
- Rua-Ibarz, A., Bolea-Fernandez, E., Maage, A., Frantzen, S., Valdersnes, S., and Vanhaecke, F. (2016). Assessment of Hg pollution released from a WWII submarine wreck (U-864) by Hg isotopic analysis of sediments and *cancer pagurus* tissues. *Environmental Science and Technology*, 50(19), 10361-10369, doi: <https://doi.org/10.1021/bacs.est.6b02128>.
- USDA Natural Resources Conservation Service. (2004). *Soil survey laboratory methods manual. no. 42 version 4.0*. Washington, D.C.: Soil Survey Investigation Report.
- Zhao, M.M., Kou, J.B., Chen, Y.P., Xue, L.G., and Fan, T.T. (2021). Bioremediation of wastewater containing mercury using three newly isolation bacterial strains. *Journal of Cleaner Production*, 299, doi: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126869>.