การบำบัดพื้นที่การปนเปื้อนแคดเมียม

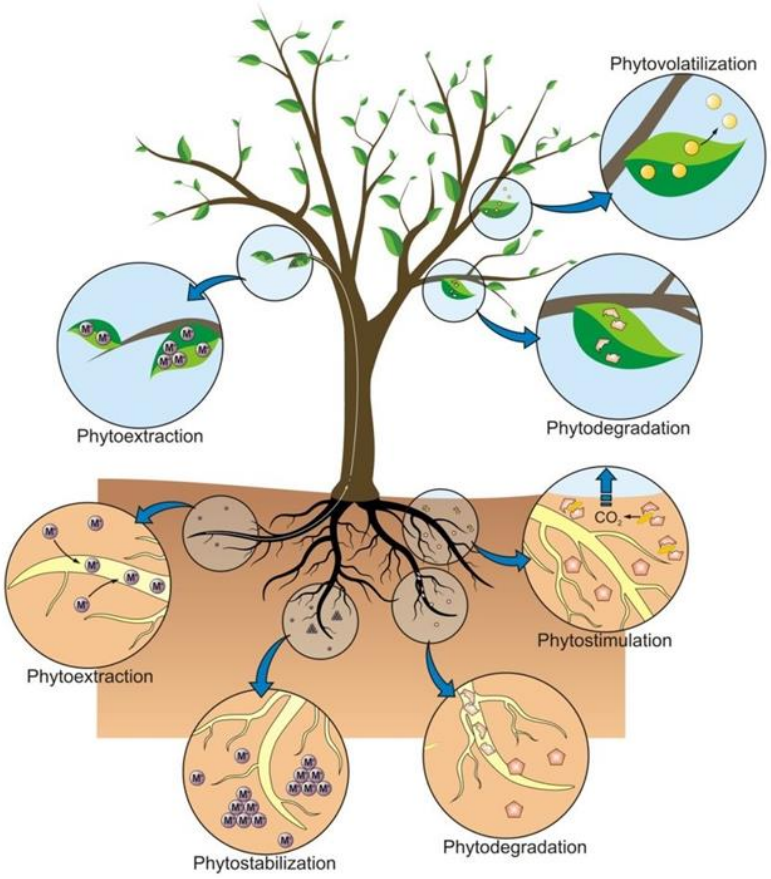
การปนเปื้อนแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม เป็นปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอย่างมาก เพราะแคดเมียมจัดเป็นโลหะหนักที่ไม่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต สามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของประชาชน โดยเฉพาะการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่เพาะปลูก เพราะแคดเมียมไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ และสามารถถูกสะสมผ่านทางห่วงโซ่อาหารได้ ดังนั้น จึงต้องหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมให้อยู่ในสภาวะที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม

วิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อน คือ วิธีทางชีวภาพ (Bioremediation) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับ ส่วนใหญ่เน้นการใช้สิ่งมีชีวิต 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์และพืชในการบำบัดโลหะหนักในดิน

การบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้พืช (Phytoremediation) เป็นทางเลือกหนึ่งโดยอาศัยความสามารถของพืชที่ทนทานต่อโลหะหนัก และสะสมโลหะหนักได้เป็นปริมาณมาก[1] ข้อดีของเทคโนโลยีนี้ คือ มีประสิทธิภาพสูงในการลดปริมาณอิออนของโลหะหนัก มีค่าใช้จ่ายต่ำ เหมาะกับการบำบัดดินหรือน้ำที่มีการปนเปื้อน ไม่มีการทำลายบริเวณที่มีการปนเปื้อน และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก นอกจากนี้ยังเป็นเทคโนโลยีสีเขียวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม[2]

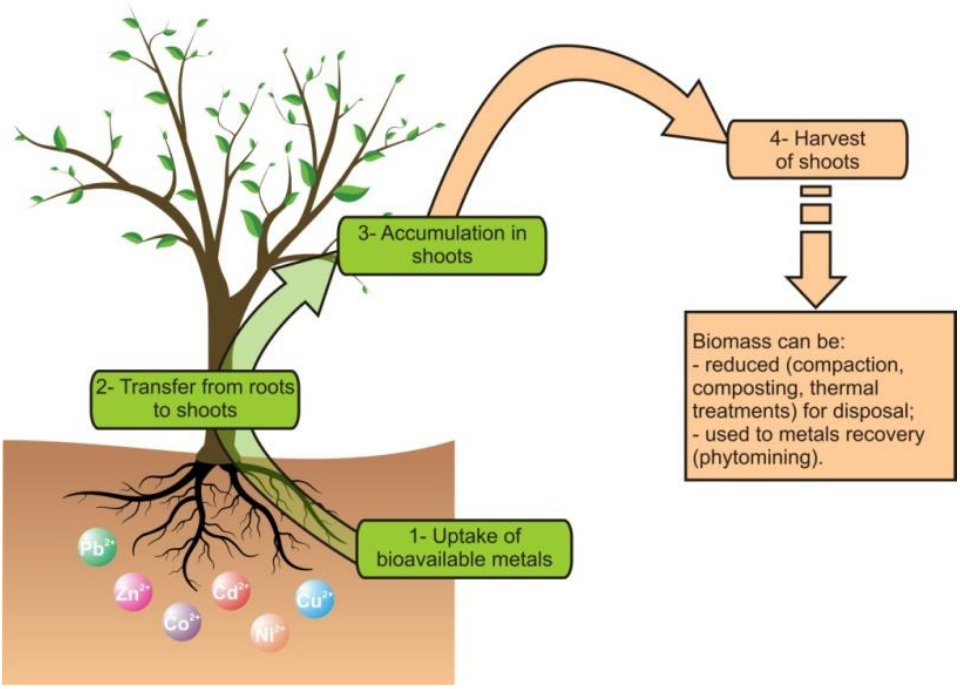
เทคโนโลยีการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้พืช มีหลายกระบวนการ[3]

1. **กระบวนการดึงดูดและสะสมโลหะหนักของพืช (Phytoextraction/ Phytoaccumulation)** โดยรากพืชดึงดูดโลหะหนักจากดิน และเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากรากไปสะสมยังส่วนลำต้นหรือส่วนเหนือดิน เช่น ยอด ใบ ผล
2. **กระบวนการระเหยโลหะหนักของพืช (Phytovolatilization)** โดยพืชดึงดูดโลหะหนักจากดินและปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดยกระบวนการระเหยออกทางปากใบ กระบวนการนี้เกิดกับโลหะบางชนิดที่ระเหยได้เท่านั้น เช่น ปรอท สารหนู
3. **กระบวนการตรึงโลหะหนักของพืช (Phytostabilization)** โดยพืชจะตรึงโลหะหนักไว้ที่รากหรือบริเวณรอบรากพืช โดยไม่เคลื่อนย้ายไปสู่เหนือดิน
4. **กระบวนการกรองโลหะหนักโดยพืช (Phytofiltration)** กระบวนการนี้นิยมใช้ในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำปนเปื้อน โดยรากพืชจะตรึงโลหะหนักที่ละลายในน้ำไว้ในส่วนของรากพืช



รูปที่ 1 กระบวนการการบำบัดโลหะหนักโดยใช้พืช (Phytoremediation)[4]

กระบวนการ Phytoextraction เป็นวิธีการกำจัดแคดเมียมออกจากดินอย่างถาวร โดยรากพืชจะดึงดูดโลหะหนัก (ส่วนที่อยู่ในรูป Bioavailable) จากดิน และลำเลียงเคลื่อนย้ายขึ้นมาสะสมในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดิน หรือส่วนที่เก็บเกี่ยวได้ (Harvestable parts) หลังจากนั้นโลหะหนักจะถูกนำออกไปโดยการเก็บเกี่ยวพืช มวลชีวภาพ (biomass) ของพืชที่สะสมโลหะหนักนี้สามารถนำไปเผาหรือนำไปย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ ส่วนมวลชีวภาพของพืชที่สะสมโลหะหนักที่มีราคาอาจส่งเข้าโรงงานถลุงแร่เพื่อโลหะกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีการบำบัดสารปนเปื้อนในดินที่ให้ทัศนียภาพที่สวยงาม ซึ่งพืชที่ใช้ในการบำบัดต้องมีความสามารถในการสะสมโลหะหนักได้ในปริมาณสูง (Hyperaccumulator) และไม่ควรเป็นพืชอาหาร เพื่อป้องกันโลหะหนักนั้นไม่ให้เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของผู้บริโภค



รูปที่ 2 กระบวนการ Phytoextraction ดึงดูดโลหะหนักออกจากดิน[4]

คุณลักษณะของพืชที่นำมาใช้ในการสะสมโลหะหนัก (Accumulating plants) มีดังนี้ [5]

1) มีความทนทานต่อโลหะหนักที่สะสม

2) เจริญเติบโตเร็ว แข็งแรง และมีมวลชีวภาพสูง

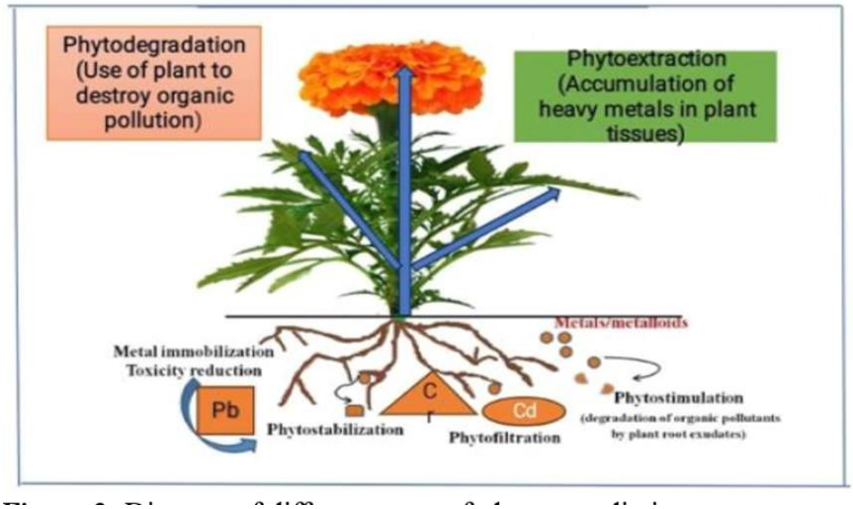
3) สามารถดึงดูดและสะสมโลหะหนักในส่วนเหนือดินในปริมาณที่สูงกว่าในดิน

4) สามารถเก็บเกี่ยวส่วนที่มีการสะสมโลหะหนักได้ง่าย และนำไปเผาหรือฝังกลบได้โดยง่าย

การบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้ดาวเรือง

ดาวเรือง (*Tagetes erecta* L. วงศ์ Asteraceae) เป็นพืชที่สะสมโลหะหนักในปริมาณสูง สามารถนำมาใช้ในการบำบัดการปนเปื้อนของโลหะหนักได้ เนื่องจากดาวเรืองมีคุณลักษณะของพืชที่นำมาใช้ในการสะสมโลหะหนัก ได้แก่ สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีโลหะหนัก มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว มีระบบรากที่เพียงพอ สามารถสะสมโลหะหนักปริมาณมาก สามารถดึงดูดและเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากพื้นที่ปนเปื้อน และยังสามารถปรับตัวได้ในดินหลายชนิด ดังนั้น ดาวเรืองซึ่งเป็นพืชไม้ดอกที่ไม่ใช่พืชอาหารจึงเป็นพืชที่น่าสนใจในการนำมาใช้ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม[6-8]

Biswal และคณะ[7] รายงานว่าดาวเรืองมีประสิทธิภาพในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม โดยสะสมแคดเมียมได้ดี สามารถดูดซับและสะสมแคดเมียมไว้ในลำต้นและใบในปริมาณมากกว่าปกติ และไม่แสดงอาการผิดปกติกับต้นพืช ดาวเรืองมีค่าอัตราส่วนของปริมาณโลหะหนักในส่วนต้นของพืชกับปริมาณโลหะหนักในรากของพืช (translocation factor, TF) = 12.1 (TF >1 แสดงว่ามีความสามารถในการดูดซึมและขนส่งโลหะหนักจากดินไปสู่บริเวณลำต้นได้ดี) นอกจากนี้ดาวเรืองยังมีความสามารถในการดึงดูดโครเมียม และตะกั่วด้วย



รูปที่ 3 การบำบัดโลหะหนักโดยใช้ใช้ดาวเรือง

จากการศึกษาการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยพืชบริเวณพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชน: กรณีศึกษาตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยใช้พืช 3 ชนิด ได้แก่ ดาวเรือง มะเขือ และหญ้าแฝก พบว่าดาวเรืองมีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนัก โดยสามารถดูดแคดเมียมได้สูงสุด คือ 56.53% รองลงมา คือ สังกะสี 53.30% เหล็ก 35.91% ทองแดง 26.95% และตะกั่ว 13.80% ตามลำดับ ดังนั้น ควรหลีกเลี่ยงการนำดาวเรืองที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นอาหารสัตว์ เพราะอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการถ่ายทอดสารมลพิษลงสู่ห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้น[9]

จากการศึกษาการบำบัดการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน โดยใช้ดาวเรืองร่วมกับจุลินทรีย์ *Stutzerimonas stutzeri* และ *Pseudomonas Sundara* พบว่าดาวเรืองสามารถดูดโลหะหนัก (โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว) ไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้มากขึ้น และจากการวิเคราะห์ดินพบว่ามีตัวชี้วัดมลพิษลดลง จากผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการและลดการปนเปื้อนของพื้นที่ที่ปนเปื้อนโลหะหนัก โดยใช้จุลินทรีย์ร่วมกับพืชทำให้เพิ่มประสิทธิภาพดาวเรืองในการดึงดูดโลหะหนักได้ดีขึ้น[10]

การบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้ทานตะวัน

ทานตะวัน (*Helionthus annus* L. วงศ์ Asteraceae) เป็นพืชที่นำมาใช้บำบัดดินที่ปนเปื้อน โดยกระบวนการ Phytoextraction เนื่องจากทานตะวันเป็นพืชที่สะสมโลหะหนักในปริมาณสูงชนิดหนึ่งที่มีมวลชีวภาพสูง มีระบบรากที่ยาว ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิจัยโดยนำทานตะวันมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักออกจากดิน

การศึกษาของ Chen และ Cutright[11] ใช้ทานตะวันในการกำจัดแคดเมียม โครเมียม และนิกเกิลออกจากดิน นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของ Phytoextraction ทำให้โลหะหนักในดินมาอยู่ในสารสะสายมากขึ้น โดยการเติมตัวคีเลต (chelating agent) ทำให้เพิ่มปริมาณโลหะหนักสะสมในใบและลำต้นของทานตะวันมากขึ้น เช่น การศึกษาของ Liphadzi และ Kirkham[12] พบว่าการเติม EDTA ซึ่งเป็นตัวคีเลตช่วยเพิ่มปริมาณแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่วในสารละลายดิน และเพิ่มการสะสมโลหะทั้ง 3 ชนิด ในใบและลำต้นของทานตะวัน

จากการศึกษาศักยภาพของทานตะวันในการบำบัดแคดเมียมออกจากดินบริเวณโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีในเมืองอีบาดัน ประเทศไนจีเรีย[13] พบว่าทานตะวันสามารถดึงดูดและสะสมแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ โดยสะสมมากที่สุดในราก รองลงมา คือ ยอดและใบ และมีศักยภาพในการเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากดินไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยทานตะวันสามารถดึงดูดแคดเมียมออกจากดินชั้นบนและดินชั้นล่างได้ 40.6% และ 47.8% ตามลำดับ เมื่อมีการเติมปุ๋ยอินทรีย์เคมีในดินพบว่าทานตะวันสามารถดึงดูดแคดเมียมออกจากดินได้เพิ่มขึ้นโดยสามารถดึงดูดแคดเมียมออกจากดินชั้นบนและดินชั้นล่างได้ 53.1% และ 51.6% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าทานตะวันมีศักยภาพในการดึงดูดแคดเมียมจากดินที่ปนเปื้อนได้ และการเติมปุ๋ยอินทรีย์เคมีจะทำให้เพิ่มศักยภาพของทานตะวันในการดึงดูดแคดเมียมมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Salt DE, Blaylock M, Kumar PBA, Dushenkov V, Ensley BD, Chet I. Phytoremediation : A novel strategy for the removal of toxic metals from the environmental using plants. Biotechnol 1995; 14: 468-74.
2. Flathman PE, Lanza GR. Phytoremediation : current reviews on an emerging green technology. J Soil Contam 1998; 7: 415-32.
3. Padmavathiamma PK, Li LY. Phytoremediation technology: Hyper-accumulation metals in plants. Water Air Soil Pollut 2007; 184: 105-26.
4. Favas PJC, Pratas J, Varun M, D'Souza R, Paul MS. In: Hernandez Soriano MC, editor. Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flora. Environmental Risk Assessment of Soil Contamination. 2014. p485-517. http://dx.doi.org/10.5772/57469

5. Li JT, Baker AJM, Ye ZH, Wang HB, Shu WS. Phytoextraction of Cd-contaminated soils: Current status and future challenges. Crit Rev Environ Sci Technol 2012; 42: 2113-52.
6. Mahmood-UI-Hassan M, Yousra M, Saman L, Ahmad R. Floriculture: Alternate non-edible plants for phyto-remediation of heavy metal contaminated soils. Int J Phytoremediation 2020; 22(7): 725-32.
7. Biswal B, Singh SK, Patra A, Mohapatra KK. Evaluation of phytoremediation capability of French marigold (*Tagetes patula*) and African marigold (*Tagetes erecta*) under heavy metals contaminated soils. Int J Phytoremediation 2022; 24(9), 945-54.
8. Bose SK, Chakraborty A, Mandal K, Das D, Mistri G, Kar S, et al. A review on phytoremediation capability of *Tagetes erecta* Linn. against heavy metals. J Adv Zool 2023; 44(S6): 2333-8
9. การบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยพืชบริเวณพื้นที่กำจัดมูลฝอยชุมชน: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์. สืบค้นจาก http://etheses.psru.ac.th/lib-irpsru/sites/default/files/site/default/thesis/ch%205_19.pdf
10. Khilji SA, Waseem M, Tariq S, Jabeen S, Jamal A, Alomrani SO, at al. Microbe assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil by using African marigold (*Tagetes erecta* L.). Plant Stress 2024;11: 100369.
11. Chen H, Cutright T. EDTA and HEDTA effects on CD, Cr, and Ni uptake by *Helionthus annus*. Chemosphere 2001; 45: 21-8.
12. Liphadzi MS, Kirkham MB. Availability and plant uptake of heavy metals in EDTA-assisted phytoremediation of soil and composed biosoils. S Afr J Bot 2006; 72: 391-7.
13. Ogungbile PO, Ajibare AO, Enochoghene AE, Ogunbode TO, Omotayo OEO, Ekanade CT, et al. Phytoremediation with sunflower (*Helionthus annus*) and its capacity for cadmium removal in contaminated soils. Trop Aqua Soil Pollut 2024; 4(1): 1-9.