



การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมโดยพืชร่วมกับจลนศาสตร์ไฟฟ้าในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วโดย
หญ้าแฝก

**ELECTROKINETIC-ASSISTED PHYTOREMEDIATION OF LEAD CONTAMINATED SOIL
WITH VETIVER GRASS
(CHRYSOPONGON ZIZANIODES)**

ณัฐพร มากพูล บัณฑิต ไตรรัตน์

เพ็ญสุดา มังกร¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย ชลบุรี อำเภอ.บ้านบึง จังหวัดชลบุรี 20170

Email: 06315@pccchon.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการเรื่องการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมโดยพืชร่วมกับจลนศาสตร์ไฟฟ้าในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วโดยหญ้าแฝก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอายุของหญ้าแฝกที่เหมาะสมในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ศึกษาความสามารถของหญ้าแฝกในการดูดซับและสะสมตะกั่วในส่วนรากและใบ รวมถึงศึกษาความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดด้วยกระบวนการจลนศาสตร์ไฟฟ้า โดยมีวิธีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ศึกษาอายุของหญ้าแฝกที่เหมาะสมต่อการบำบัดตะกั่ว โดยใช้หญ้าแฝกที่มีอายุการเพาะชำแตกต่างกัน 4 ชุดการทดลอง (2) ศึกษาปริมาณตะกั่วที่สะสมในส่วนรากและใบ โดยนำตัวอย่างพืชมาย่อยสลายและตรวจวัดปริมาณตะกั่วในแต่ละส่วน (3) ศึกษาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันต่อประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของหญ้าแฝก ผลการทดลองพบว่า หญ้าแฝกอายุ 28 วัน เป็นช่วงอายุที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว โดยหญ้าแฝกสามารถดูดซับและสะสมตะกั่วไว้ในส่วนรากและใบ ซึ่งมีแนวโน้มสะสมในรากมากกว่าส่วนเหนือดิน และความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ สามารถช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ของตะกั่วเข้าสู่บริเวณรากพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น สรุปผลได้ว่าหญ้าแฝกสามารถบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว โดยใช้จลนศาสตร์ไฟฟ้า

คำสำคัญ: กระบวนการทางจลนศาสตร์ไฟฟ้า, ประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วของหญ้าแฝก

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาหนึ่งที่หลายประเทศทั่วโลกต่างให้ความสนใจ สาเหตุของปัญหาดังกล่าวมักเกิดจากการขยายตัวของเทคโนโลยีและการพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ทำให้ต้องมีการทำเหมืองแร่เพื่อนำแร่ดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ซึ่งหากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมก็อาจจะทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของโลหะทั้งในดิน น้ำ และอากาศ สำหรับ ประเทศไทยการปนเปื้อนของโลหะหนักเกิดขึ้นในพื้นที่หลายแห่ง โดยเฉพาะพื้นที่เกษตร

ใกล้แหล่งอุตสาหกรรมหรือเหมืองแร่ ชาวบ้านยังคงต้องพึ่งพาดินเพื่อการเพาะปลูกเพื่อการยังชีพและสร้างรายได้ หากดินปนเปื้อนตะกั่วจะส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตและคุณภาพชีวิตของคนในชุมชน

ปัญหาดินปนเปื้อนโลหะหนักยังพบได้ในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะรอบเขตเหมืองแร่ โรงงานอุตสาหกรรม และพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้สารเคมีที่มีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบ การปนเปื้อนของตะกั่วในดินส่งผลให้ดินเสื่อมคุณภาพ ความอุดมสมบูรณ์ลดลง พืชผลทางการเกษตรปนเปื้อนสารโลหะหนัก โดยตั้งแต่ปี 2562-2566 ประเทศไทยมีอัตราของเสีย



อันตรายจากชุมชนและของเสียจากอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลให้มีปริมาณสารโลหะหนักเพิ่มขึ้น การใช้สารโลหะหนักปริมาณที่สูงนี้อาจนำไปสู่การก่อให้เกิดปัญหาการกระจายของสารโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม จนส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้ การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นจึงมีความจำเป็นสูง การใช้พืชพันธุ์ร่วมกับเทคนิคจลนศาสตร์ไฟฟ้า เป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด โดยหญ้าแฝกเป็นพืชท้องถิ่นที่ปลูกง่าย มีระบบรากลึก สามารถดูดซับโลหะหนักได้ดี และเมื่อใช้ร่วมกับไฟฟ้าจะช่วยเร่งการเคลื่อนย้ายตะกั่วในดินให้พืชดูดซับได้มากขึ้น จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับชุมชนในการฟื้นฟูดินปนเปื้อนตะกั่วอย่างยั่งยืน

จากผลการทดลองของตัวอย่างงานวิจัยของความสามารถแสดงของศักยภาพของหญ้าแฝกในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสีย ให้เห็นว่าสามารถใช้แฝกเป็นพืชดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียได้ โดยอาจปลูกแฝกในพื้นที่ที่ปนเปื้อน ปลูกในน้ำเสียหรือที่น้ำเสียไหลผ่าน ซึ่งนอกจากหญ้าแฝกจะช่วยดูดซับโลหะหนักแล้วยังช่วยป้องกันการกร่อนของดินและกั้นมิให้โลหะหนักเหล่านี้แพร่กระจายไป ยังพื้นที่หรือแหล่งน้ำอื่นๆ รากที่ยาวมากของแฝกเป็นลักษณะเด่นที่สำคัญที่แฝกจะดูดซับโลหะหนักจากชั้นดินที่ลึกได้มากกว่าพืชอื่นในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเน่าเสียมาก มีความเป็นกรด-ด่างรุนแรง และมีสารมลพิษอยู่ในปริมาณสูง เช่น น้ำเสียอุตสาหกรรม และน้ำชะขยะมูลฝอย

วิธีดำเนินการ

ตอนที่ 1 เตรียมอายุหญ้าแฝก

1.1.1 เพาะชำหญ้าแฝกเป็นเวลา 7,14,21,28 วันตามลำดับ

1.2 เตรียมดิน

1.2.1 ชั่งดิน 3 กิโลกรัม

1.2.2 ชั่ง $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 0.52 กรัม ผสมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และนำมาผสมกับดิน

1.3 บำบัดดินโดยใช้หญ้าแฝก

1.3.1 นำหญ้าแฝกจากข้อที่ 1.1 มาปลูกในดินที่เตรียมไว้ในตอนที่ 1.2

1.3.2 บำบัดเป็นเวลา 7,14,21,28 วัน

1.3.3 หลังจาก 7,14,21,28 วัน เก็บตัวอย่างดินและหญ้าแฝก

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณสารตะกั่วที่สะสมไว้ในส่วนใบและส่วนราก

2.1 วิเคราะห์หญ้าแฝก

2.1.1 อบรากหญ้าแฝกและใบหญ้าแฝกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

2.1.2 ชั่งหญ้าแฝกที่ปริมาณ 0.5 กรัม แล้วบดให้ละเอียดก่อนใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม HNO_3 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นวางทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

2.1.3 ควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.1.4 เติม H_2O_2 ที่ละหยด แล้วอุ่นต่อจนกว่าสารจะใสไม่มีสี

2.1.5 เติมน้ำจนได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และจากนั้นนำไปกรองเพื่อให้ได้ตัวอย่างของเหลว

2.2 ตรวจตะกั่วโดยใช้ KI

2.2.1 นำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองที่ 2.1 ผสม KI 5% w/v

2.2.2 หยด KI ลงไป 3-5 หยด จากนั้นนำตะกอน PbI_2 แล้วบันทึกผล

ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้หญ้าแฝกบำบัดตะกั่วได้

3.1 การสร้างกระบะบำบัดดินสำหรับจลนศาสตร์ไฟฟ้า

3.1.1 เตรียมกระบะดินแล้วใช้ผ้าขาวบางแบ่งกระบะตากดินเป็น 3 ช่อง

3.1.2 นำดินมาใส่ในช่องกลาง และนำแผ่นแกรไฟต์และน้ำกลั่นเติมช่องริมทั้งสองฝั่ง แล้วต่อแผ่นแกรไฟต์กับวงจรไฟฟ้าที่เตรียมไว้



3.2 การบำบัดร่วมกับจลนศาสตร์ไฟฟ้า

3.2.1 เพาะชำหญ้าแฝกเป็นเวลา 28 วัน แล้วชั่ง $Pb(NO_3)_2$ 0.52 กรัม ผสมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และนำมาผสมในดิน 3 กิโลกรัม

3.2.2 ปลอ่ยศักย์ไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 1,2,3,4 ชั่วโมง/วัน บำบัดเป็นเวลา 7 วัน และเก็บตัวอย่างดินและหญ้าแฝกเพื่อนำมาวิเคราะห์

3.3 วิเคราะห์ดิน

3.3.1 ร่อนดินผ่านตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร แล้วชั่งดิน 1 กรัมใส่ในบีกเกอร์

3.3.2 เติมน้ำ HNO_3 10 มิลลิลิตร แล้วควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10-15 นาที

3.3.3 ปลอ่ยให้เย็นลงเป็นเวลา 10 นาที แล้วเติมน้ำ HNO_3 5 มิลลิลิตร แล้วควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส อีก 30 นาที ถ้ามีแก๊สสีน้ำตาล เติมน้ำ HNO_3 5 มิลลิลิตร

3.3.4 ปลอ่ยให้อุณหภูมิเย็นลง แล้วเติมน้ำ 2 มิลลิลิตร และ H_2O_2 3 มิลลิลิตรแล้วควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส พร้อมกับเติมน้ำ H_2O_2 ที่ละลายจนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3.3.5 ควบคุมอุณหภูมิจนเหลือปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วหลังจากนั้นเติมน้ำ HCl 10 มิลลิลิตร แล้วควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำไปกรอง แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.4 ตรวจตะกั่วโดยใช้ KI

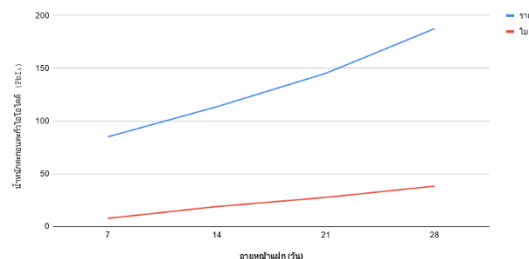
3.4.1 นำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองที่ 2.1 ผสม KI 5% w/v

3.4.2 หยด KI ลงไป 3-5 หยด จากนั้นนำตะกอน PbI_2 แล้วบันทึกผล

ผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาอายุหญ้าแฝกที่เหมาะสมต่อการบำบัดดิน

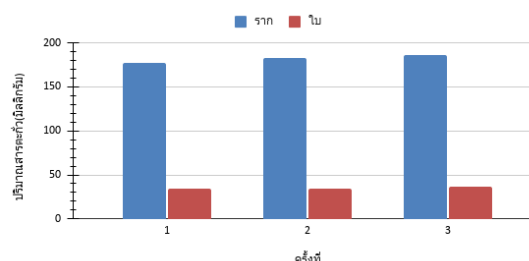
ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพอายุหญ้าแฝก ได้ผลดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงการเตรียมอายุหญ้าแฝกที่เหมาะสมพบว่า อายุหญ้าแฝก 28 วัน จะมีตะกอน PbI_2 อยู่เป็นจำนวนมากกว่าอายุหญ้าแฝก 7,14,21 วัน ทั้งในส่วนของรากและใบ

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณสารตะกั่วที่สะสมไว้ในส่วนใบและราก

ผลการทดลองศึกษาปริมาณสารตะกั่วที่สะสมไว้ในส่วนใบและราก ได้ผลดังรูปที่ 2

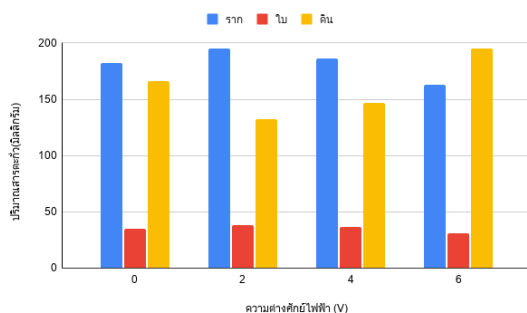


รูปที่ 2 กราฟแสดงปริมาณสารตะกั่วที่สะสมไว้ในส่วนใบและราก

พบว่า แสดงถึงปริมาณตะกั่วที่สามารถวัดได้เบื้องต้น รากสามารถสะสมปริมาณสารตะกั่วได้มากกว่าใบ

ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้หญ้าแฝกบำบัดตะกั่วได้

ผลการทดลองเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้หญ้าแฝกบำบัดตะกั่วได้ดีที่สุด ได้ผลดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงการศึกษาปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้หญ้าแฝกบำบัดตะกั่วได้

พบว่า การใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ ทำให้หญ้าแฝกสะสมตะกั่วในส่วนรากและใบได้มากที่สุด และมีปริมาณตะกั่วคงเหลือในดินต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับศักย์ไฟฟ้า 0, 4, 6 โวลต์ ตามลำดับ

สรุปผลและอภิปรายผล

อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า อายุของหญ้าแฝกและความต่างศักย์ไฟฟ้า เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว โดยหญ้าแฝกอายุ 28 วัน สามารถดูดซับและสะสมตะกั่วได้สูงที่สุด รองลงมาคืออายุ 21, 14 และ 7 วัน ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าตะกั่วสะสมในส่วนรากมากกว่าส่วนใบในทุกช่วงอายุ เนื่องจากระบบรากของหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง จึงสามารถดูดซับและกักเก็บโลหะหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Danh และ คณะ (2009) และ Chen, Shen และ Li (2004) ที่รายงานว่าหญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากแข็งแรง สามารถสะสมโลหะหนัก โดยเฉพาะตะกั่ว ไว้ในระบบรากได้มากกว่าส่วนเหนือดิน จึงเหมาะสำหรับการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักและการศึกษาความต่างศักย์ไฟฟ้า พบว่า การใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ ทำให้หญ้าแฝกสะสมตะกั่วในส่วนรากและใบได้มากที่สุด และทำให้ปริมาณตะกั่วที่คงเหลือในดินต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0, 4 และ 6 โวลต์ แสดงให้เห็นว่าความต่างศักย์ระดับนี้เหมาะสมต่อการเคลื่อนที่ของไอออนตะกั่วเข้าสู่ระบบรากตามหลักการของเทคนิคจลนศาสตร์ไฟฟ้า

(Electrokinetic Remediation) อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความต่างศักย์เป็น 4 และ 6 โวลต์ ประสิทธิภาพในการบำบัดกลับลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในดิน เช่น การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และการเคลื่อนที่ของไอออนที่รวดเร็วเกินไป ส่งผลให้การดูดซับตะกั่วของหญ้าแฝกลดลง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Acar และ Alshawabkeh (1993) และ Siyar และคณะ (2020) ที่ระบุว่าการเลือกความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดดินด้วยเทคนิคจลนศาสตร์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า หญ้าแฝกอายุ 28 วัน ร่วมกับการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว

สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 อายุของหญ้าแฝกที่เหมาะสมต่อการบำบัดตะกั่วผลการทดลองพบว่า หญ้าแฝกในช่วงอายุ 28 วันมีการเจริญเติบโตเต็มที่และมีระบบรากพัฒนาอย่างสมบูรณ์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วได้สูงกว่าหญ้าแฝกในช่วงอายุน้อย เนื่องจากมีมวลชีวภาพและพื้นที่ผิวของรากมากกว่า ส่งผลให้สามารถดูดซับและกักเก็บโลหะหนักได้ในปริมาณที่มากขึ้น ดังนั้น หญ้าแฝกอายุ 28 วัน เป็นช่วงอายุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำมาใช้ในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว การทดลองที่ 2 ความสามารถของหญ้าแฝกในการดูดซับและสะสมตะกั่วในส่วนต่างๆ ของพืชผลการวิเคราะห์พบว่า หญ้าแฝกสามารถดูดซับตะกั่วจากดินและสะสมไว้ในเนื้อเยื่อพืชได้ทั้งในส่วนรากและส่วนเหนือดิน โดยมีการสะสมในส่วนรากมากกว่าส่วนใบอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าหญ้าแฝกมีศักยภาพในการเป็นพืชบำบัด (phytoremediation) โดยเฉพาะในรูปแบบการกักเก็บโลหะหนักไว้ในระบบราก ซึ่งช่วยลดการเคลื่อนย้ายและการแพร่กระจายของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม การทดลองที่ 3 ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด จากการทดลองเปรียบเทียบระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าหลายค่าพบว่าปริมาณ 2 โวลต์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของตะกั่วในดินเข้าสู่



บริเวณรากพืชได้ดี โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงเกินไปอาจทำให้สมบัติดินเปลี่ยนแปลงและส่งผลเสียต่อพืช ดังนั้น ความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 2 โวลต์จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้ร่วมกับหญ้าแฝกในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว

กิตติกรรมประกาศ

โครงการ เรื่อง การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมโดยพืชร่วมกับจุลนาศาสตร์ไฟฟ้าในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วโดยหญ้าแฝก จัดอยู่ในประเภทโครงการ พิธีกรรมนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยความรู้จากคุณครูที่ปรึกษาโครงการที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงการ รวมทั้งยังช่วยในการเสนอแนวคิด และการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงการ

เอกสารอ้างอิง

ภิญญา ชูแสง และคณะ. (2558).

การใช้พืชในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก
วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

สมชาย อินทร์แก้ว และคณะ. (2560).

การประยุกต์ใช้กระบวนการจุลนาศาสตร์ไฟฟ้าในการบำบัดดินปนเปื้อนโลหะหนักวารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

Truong, P., & Baker, D. (1998).

Vetiver Grass System for Environmental Protection.

Chen, Y., Shen, Z., & Li, X. (2004).

The use of vetiver grass for remediation of heavy metal contaminated soils.

Acar, Y. B., & Alshawabkeh, A. N. (1993).

Principles of electrokinetic remediation.

Siyar, S., et al. (2020).

Electro-phytoremediation of heavy metal contaminated soils.

Danh, L. T., Truong, P., Mammucari, R., Tran, T., & Foster, N. (2009).

Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides*: A choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes.