अर्धवार्षिक हिंदी ई-पत्रिका

कृषि ज्ञान सुधा

जुलाई 2025 अंक

ISBN: 987-93-343-6466-8 कृषि ज्ञान सुधा - जुलाई 2025

मृदा कंडीशनर के द्वारा औद्योगिक क्षेत्र से भारी धातुओं को हटाना

प्रवीण कुमार एवं निशा साहू.
भाकृअनुप-भारतीय मृदा विज्ञान संस्थान, बैरसिया रोड,
भोपाल-462 038

सारांश

भारी धातुएँ 40 परमाणु द्रव्यमान इकाई से अधिक परमाणु भार वाली धातु तत्वों को संदर्भित करती हैं, जिनका विशिष्ट गुरुत्व 5 ग्राम/सेमी^{3} से अधिक होता है। भारी धातु आजकल एक प्रमुख पर्यावरणीय मुद्दा बन गया है। क्योकि मिट्टी पर्यावरण में भारी धातु को छुपाने का प्रमुख कार्य करती है, जो पेडोजेनिक और मानवजनित दोनों गतिविधियों द्वारा की जाती है। औद्योगिक गतिविधियाँ भारी धातु प्रदूषण का एक प्रमुख स्रोत हैं जिसमें धातु प्रसंस्करण, खनन, गलाने, इलेक्ट्रोप्लेटिंग और कीटनाशकों का उत्पादन आदि शामिल हैं। मिट्टी में भारी धातु का प्रदूषण जैविक और भौतिक, रासायनिक गुणों (जैसे पीएच, संरचना, उर्वरता और माइक्रोबियल गतिविधि) को बदलकर इसकी विशेषताओं और कार्य को बाधित करता है। यह मुख्य रूप से पौधों के अवशोषण और पशु के माध्यम से खाद्य श्रृंखला को भी दूषित करता है। इससे अंततः फसल उत्पादन में कमी आती है। भारी धातु के प्रभावों को कम करने के लिए विभिन्न मृदा उपचार तकनीकों को सफलतापूर्वक नियोजित किया गया है। इनमें से, भारी धातुओं को अपने स्थान पर स्थिरीकरण के लिए कम लागत वाले और पर्यावरण की दृष्टि से सुरक्षित अकार्बनिक और कार्बनिक मृदा कंडीशनर का उपयोग तेजी से लोकप्रिय हो रहा है।

परिचय

भारी धातुएं वैश्विक पर्यावरणीय चिंता का विषय बन गई हैं, जिसके परिणामस्वरूप न केवल मानव स्वास्थ्य और पारिस्थितिक भी खतरे में हैं, बल्कि भारी आर्थिक प्रभाव भी पड़ते हैं। दुनिया भर में, 10 मिलियन से अधिक साइटों को मिट्टी प्रदूषित माना जाता है, जिनमें से 50% से अधिक भारी धातुओं (जैसे सीडी और पीबी) और/या मेटलॉयड्स (जैसे एएस) से दूषित हैं । भारी धातुओं के विभिन्न स्रोत आमतौर पर पेडोजेनिक होते हैं जो धातु अयस्कों से प्राप्त होती हैं और मानवजनित जिनमें कृषि, औद्योगिक गतिविधियाँ और अपशिष्ट निपटान आदि शामिल हैं। औद्योगीकरण के कारण भारी धातु संदूषण में तेजी आई है। दूषित मिट्टी में पाई जाने वाली सामान्य धातुएं As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn, Cu हैं।

भारी धातुएँ आसानी से विघटित नहीं होती हैं और लंबे समय तक बनी रहती हैं, जिसके परिणामस्वरूप मिट्टी का क्षरण होता है। भारी धातु से प्रदूषित मिट्टी में खराब जैविक और भौतिक रासायनिक गुण होते हैं जैसे कि मिट्टी में कम कार्बनिक पदार्थ, कम उर्वरता, सूक्ष्म पोषक असंतुलन, विषाक्तता, कम नाइट्रोजन और फॉस्फोरस की उपलब्धता, उच्च विद्युत चालकता और अत्यधिक पीएच, उच्च थोक घनत्व, कम मिट्टी छिद्रण। लंबे समय में, इसका परिणाम खराब पौधे की वृद्धि और मिट्टी के सूक्ष्मजीव के गुणों पर प्रभाव पड़ता है

मृदा कंडीशनर मृदा सुधारक हैं जो वायु संचार, जल धारण क्षमता और पोषक तत्वों को बढ़ाकर मृदा की स्थिति में सुधार करते हैं और इनमें स्थिरीकरण एजेंट के गुण होते हैं। ये स्थिरीकरण एजेंट जटिलता, अवक्षेपण, रेडॉक्स अभिक्रिया

 ISBN: 987-93-343-6466-8 कृषि ज्ञान सुधा - जुलाई 2025

और/या सोखना के माध्यम से भारी धातुओं को कम करने में मदद करते हैं। इसके अलावा, कार्बनिक और अकार्बनिक मृदा सुधारकों के प्रयोग से मृदा के जैविक, रासायनिक और भौतिक गुणों में एक साथ सुधार किया जा सकता है, क्योंकि मृदा कार्बनिक पदार्थ की मात्रा बढ़ जाती है, जिससे N, P और K जैसे पोषक तत्व मिलते हैं, धनायन विनिमय क्षमता (CEC) बढ़ती है और मृदा में सूक्ष्मजीवो की गतिविधियों में सुधार होता है।

मृदा कंडीशनर के प्रकार

मृदा कंडीशनर मिट्टी की विशेषताओं और कार्यप्रणाली में सुधार करते हैं और साथ ही धातु को स्थिर करने में भी मदद करते हैं। मृदा कंडीशनर को दो भागो में वर्गीकृत किया जा सकता है:

1. **जैविक मृदा कंडीशनर**: सबसे ज़्यादा इस्तेमाल होने वाले जैविक मृदा सुधारक हैं बायोसॉलिड, छाल और लकड़ी के चिप्स, विभिन्न मूल के कम्पोस्ट, खाद, चूरा, सीवेज कीचड़ और लकड़ी की राख। ये अपेक्षाकृत कम लागत वाले हैं

   • **खाद और कम्पोस्ट के जैविक संशोधन:** इन के द्वारा मिट्टी की भौतिक विशेषताओं जैसे कण आकार वितरण, दरार पैटर्न और छिद्रण को बेहतर बनाया, जिससे मिट्टी की संरचनात्मक विशेषताओं में सुधार होता है । इसके अलावा, जैविक संशोधनों में अक्सर N, P और अन्य आवश्यक तत्व जैसे Ca, Mg और Fe की महत्वपूर्ण मात्रा में होते है जो मिट्टी की उर्वरता शक्ति में सुधार करते हैं।

   • **बायोचार:** यह एक छिद्रयुक्त कार्बनयुक्त संरचना, आवेशित सतह होती है, तथा कई अलग-अलग सतह कार्यात्मक समूह पौधों के अवशेषों और पशु खाद से प्राप्त होते हैं। वे मिट्टी की सीईसी [धनायन विनिमय क्षमता] और सोखने की क्षमता को बढ़ाते हैं। इसके अलावा, वे मिट्टी के थोक घनत्व को कम करते हैं जिससे पानी की घुसपैठ, जड़ों में प्रवेश, मिट्टी का वातन और मिट्टी की समग्र स्थिरता बढ़ जाती है। बायोचार के उपयोग से मिट्टी में कार्बन की मात्रा, N और P जैसे मैक्रोन्यूट्रिएंट्स और Ca, Mg, Na और K जैसे विनिमय योग्य धनायन भी बढ़ जाते हैं।

2. **अकार्बनिक मृदा कंडीशनर**

   • **चूना सामग्री:** $CaCO3$, CaO, $Ca(OH)_2$, और $CaMg(CO_3)_2$ जैसी चूना सामग्री का मुख्य उद्देश्य मिट्टी की अम्लता को कम करना और अप्रत्यक्ष रूप से पौधों में पोषक तत्वों की गतिशीलता को बढ़ाना है। चूना मिट्टी के कणों के फ्लोक्यूलेशन/फैलाव को प्रभावित करता है। यह मिट्टी में Ca संतृप्ति के प्रतिशत को बढ़ाता है, मिट्टी की संरचना में सुधार करता है और माइक्रोबियल गतिविधियों के लिए इष्टतम स्थितियाँ प्रदान करता है।

   • **जिप्सम:** सोडिक मिट्टी सुधार के लिए सबसे अधिक इस्तेमाल किया जाने वाला संशोधन है, जहाँ यह विनिमय स्थलों से सोडियम आयनों को रोकता है। यह उप-मिट्टी की अम्लता को भी कम करता है और यह पौधों में कैल्शियम और सल्फर पोषक तत्वों का एक उत्कृष्ट स्रोत है। जिप्सम संशोधन मिट्टी के भौतिक गुणों में भी सुधार करता है।

   • **फॉस्फोरस संशोधन:** फॉस्फेट पौधों की वृद्धि और चयापचय के लिए एक आवश्यक मैक्रोन्यूट्रिएंट है। यह धातुओं से प्रदूषित मिट्टी में पुनर्वनीकरण को भी बढ़ावा देता है।

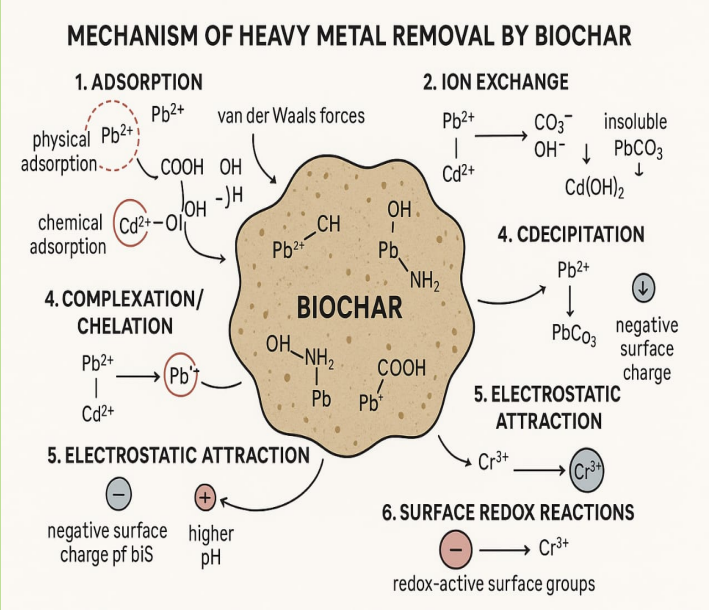
ISBN: 987-93-343-6466-8 कृषि ज्ञान सुधा - जुलाई 2025

• **औद्योगिक उपोत्पाद**: औद्योगिक अपशिष्ट उप-उत्पादों में फ्लाई ऐश, पेपर मिल स्लज, लाल मिट्टी और स्लैग शामिल हैं। फ्लाई ऐश और लाल मिट्टी थर्मल पावर प्लांट और एल्युमीनियम निर्माण से निकलने वाले अंतिम अवशेष हैं। स्लैग लोहे और कच्चे इस्पात के उत्पादन के दौरान उत्पन्न होने वाले क्षारीय उप-उत्पाद हैं। वे मिट्टी की बफरिंग क्षमता को बढ़ाते हैं, जिसमे मिट्टी की भौतिक विशेषताओं में सुधार होता है और आवश्यक खनिजों के स्रोत हैं।

भारी धातु हटाने की प्रणाली

इस प्रक्रिया का उद्देश्य जैवउपलब्ध अंशों को अधिक भू-रासायनिक रूप से स्थिर चरणों में (स्थिर धातु खनिजों या अवक्षेपों का निर्माण) में अधिशोषण, आयन विनिमय, संकुलन और वर्षण की संयुक्त क्रियाविधि के माध्यम से परिवर्तित करना शामिल है।

- **खाद और कम्पोस्ट के जैविक संशोधन:** इनमें ह्यूमिक एसिड की मौजूदगी के कारण भारी धातुओं पर स्थिर करने वाला प्रभाव होता है जो कि Cd, Cr, Cu और Pb जैसी कई धातुओं के साथ जुड़ता है। उदाहरण के लिए, गाय और सुअर की खाद में OM के साथ मजबूत परिसरों के निर्माण के कारण मिट्टी में DTPA-निष्कर्षण योग्य Ni को कम कर दिया। धातुओं का समग्र प्रेरित प्रतिधारण मुख्य रूप से सतही आवेशों और धातु अवशोषण में वृद्धि के कारण होता है।
- **बायोचार:** बायोचार द्वारा धातुओं के प्रतिधारण के लिए सोखना एक महत्वपूर्ण तंत्र था। बायोचार की अत्यधिक छिद्रपूर्ण संरचना में महत्वपूर्ण मात्रा में निकालने वाले योग्य ह्यूमिक- और फुल्विक-जैसे पदार्थ होते हैं जो कार्बनिक और अकार्बनिक दोनों यौगिकों के लिए सोखने की क्षमता को बढ़ाते हैं, और भारी धातुओं के अधिक प्रतिधारण में परिणाम देते हैं।

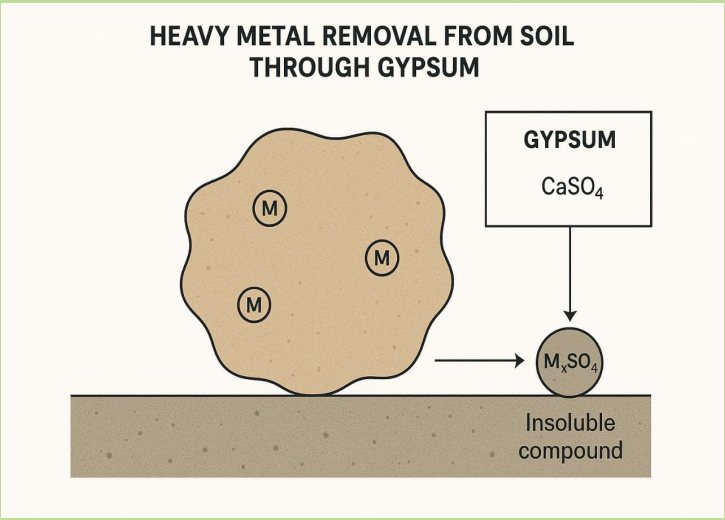


चित्र 1. बायोचार द्वारा भारी धातु हटाने की प्रक्रिया

- **चूना सामग्री:** मिट्टी में भारी धातु विषाक्तता को कम करने के लिए इसे प्रबंधन उपकरण के रूप में भी इस्तेमाल किया जाता है। चूने के मिश्रण के कारण मिट्टी के पीएच में परिवर्तन धातु हाइड्रोलिसिस प्रतिक्रियाओं और/या कार्बोनेट के साथ सह अवक्षेपण को प्रेरित कर सकता है, इस प्रकार चूना मिट्टी में धातुओं के लिए अवक्षेपण एजेंट के रूप में कार्य करने की अनुमति देता है।
- **जिप्सम (CaSO4):** यह मिट्टी में भारी धातु pradusan का मुकाबला करने में मदद करता है, क्योंकि यह सोखने वाले स्थलों को बढ़ावा देता है। उदाहरण के लिए, सोखने वाले कैल्शियम आयन मिट्टी के ऋणात्मक आवेश को बेअसर कर देते हैं और इस प्रकार अधिक सकारात्मक रूप से आवेशित आर्सेनेट सोखने वाले स्थल प्रदान करते

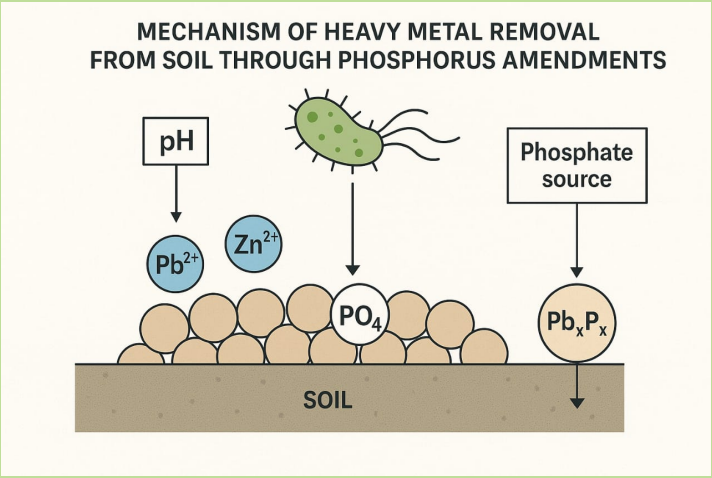
ISBN: 987-93-343-6466-8 कृषि ज्ञान सुधा - जुलाई 2025

हैं। कैल्शियम से समृद्ध पदार्थ के रूप में, जिप्सम ऋणात्मक रूप से आवेशित विघटित कार्बनिक कार्बन (DOC) और मिट्टी के कणों के बीच एक पुल के रूप में कार्य कर सकता है, इसके जमाव में सहायता करता है जिसके परिणामस्वरूप इसकी सांद्रता कम हो जाती है। यह आम तौर पर फायदेमंद होता है क्योंकि उच्च DOC सांद्रता अवांछनीय होती है क्योंकि यह घुले हुए ऑर्गेनो-मेटालिक कॉम्प्लेक्स के निर्माण के माध्यम से धातु फाइटो-उपलब्धता को बढ़ाता है।



चित्र 2. जिप्सम के द्वारा भारी धातुओं को हटाना

- **फास्फोरस संशोधन:** अधिकांश फॉस्फेट यौगिकों का उपयोग सी.डी., सी.यू., पी.बी., तथा जेड.एन. जैसी धातुओं को स्थिर करने के लिए किया जाता है, जो कि पी यौगिकों द्वारा प्रत्यक्ष धातु अधिशोषण/प्रतिस्थापन, पी. आयन-प्रेरित धातु अधिशोषण, तथा धातु फॉस्फेट के रूप में अवक्षेपण के माध्यम से उनकी जैव उपलब्धता को कम करते हैं। उदाहरण के लिए, फॉस्फेट संशोधन लिगैंड विनिमय के साथ-साथ आयनिक विनिमय तथा पाइरोमोर्फाइट-प्रकार के खनिजों [पी.बी.5(पीओ4)3एक्स; एक्स = एफ, सीएल, बी, या ओएच के अवक्षेपण द्वारा पी.बी. गतिशीलता को कम करते हैं।



चित्र 3. फास्फोरस संशोधन के द्वारा भारी धातुओं को हटाने की प्रक्रिया

- **औद्योगिक अपशिष्ट उपोत्पाद:** क्षारीय फ्लाई ऐश भारी धातुओं के स्थिरीकरण के लिए बाध्यकारी एजेंट के रूप में कार्य करता है। फ्लाई ऐश के मिश्रण के बाद धातु निक्षालन में कमी को आमतौर पर सोखने वाले स्थानों की संख्या में वृद्धि और मिट्टी के पीएच के बढ़ने के साथ हाइड्रॉक्साइड के रूप में धातु के अवक्षेपण के लिए जिम्मेदार ठहराया जाता है। लाल मिट्टी से उपचारित मिट्टी में शामिल तंत्र विशिष्ट रसायन अवशोषण (लाल मिट्टी धातुओं को विनिमय योग्य से Fe-ऑक्साइड अंश में स्थानांतरित करती है और एसिड निष्कर्षण क्षमता को कम करती है) और ऑक्साइड कणों (जैसे Fe और Al) के जाल में धातु का प्रसार है। ब्लास्ट फर्नेस स्लैग संभवतः Cu, Ni, Pb और Zn आयनों के लिए आयन सांद्रता और pH मानों की एक विस्तृत श्रृंखला पर सबसे प्रभावी सोखने वाला है, जो स्लैग में Fe और Al ऑक्साइड, हाइड्रॉक्साइड और कैल्शियम द्वारा As के बढ़ते रसायन अवशोषण के कारण होता है।

ISBN: 987-93-343-6466-8 कृषि ज्ञान सुधा - जुलाई 2025

निष्कर्ष

मृदा कंडीशनर औद्योगिक क्षेत्रों में भारी धातु प्रदूषण को कम करने के लिए एक आशाजनक समाधान प्रदान करते हैं। विभिन्न प्रकारों और तंत्रों को समझकर, हम प्रभावी उपचारात्मक रणनीतियाँ विकसित कर सकते हैं। कई मृदा कंडीशनर ने भारी धातुओं को सोखने, जटिलता और अवक्षेपण के माध्यम से हटाने की क्षमता दिखाई है। लागत-प्रभावशीलता और पर्यावरणीय लाभों के कारण, उन्हें मृदा स्वास्थ्य को बहाल करने के लिए एक मूल्यवान उपकरण माना जा सकता है। कंडीशनर गुणों को अनुकूलित करने, नए अनुप्रयोगों की खोज करने और भारी धातु प्रदूषण की जटिलताओं को संबोधित करने के लिए आगे अनुसंधान आवश्यक है।

ISBN: 987-93-343-6466-8 कृषि ज्ञान सुधा - जुलाई 2025

समाप्त

ISBN: 978-93-343-6466-8

कृषि ज्ञान सुधा