पानी में भारी धातुओं की विषाक्तता कम करने में पादपकीलेटर्स की क्षमता का आकलन

Assessing the Potential of Phytochelators in Reducing Heavy Metal Water Poisoning

डॉ नीना कुमार धीमान[1] और डॉ रश्मि सैनी[2]

Dr. Neena Kumar Dhiman[1] and Dr Rashmi Saini[2]

[1,2] Assistant Professor, Department of Zoology, Gargi College, University of Delhi, Delhi

Corresponding Author : [2]rashmi.saini@gargi.du.ac.in, [1]neena.kumar@gargi.du.ac.in

सारांश :

बढ़ती जनसंख्या हेतु कृषि उपज की निरन्तर बढ़ रही मांगों को पूरा करने के लिए, औद्योगीकरण, शहरीकरण ने नतीजतन दुर्भाग्यवश प्रत्येक संसाधन में विषाक्त पदार्थ उत्पन्न तथा मुक्त किये हैं। विषाक्त एवं प्रदूषित जल के जैव–उपचारण के लिए जैव शोषण को अत्यधिक प्रभावी, कुशल, आर्थिक रूप से व्यवहारिक और पर्यावरण के अनुकूल पद्धति माना गया है। वर्तमान अध्ययन में धनिया (*Coriander sativum*), मेंथा (*Mentha piperita*) और गेहूं–घास (*Thinopyrum intermedium*) को इनकी उच्च धातु बाध्यकारी क्षमता के कारण इन से उपचारित पानी में क्रोमियम (Cr), मैंगनीज (Mn), कोबाल्ट (Co), निकल (Ni), तांबा (Cu), जस्ता (Zn), कैडमियम (Cd) और सीसा (Pb) की मात्रा का आंकलन करने के लिए आईसीपी–एमएस (मास स्पेक्ट्रोस्कोपी/MASS-SPECTROSCOPY) तकनीक के द्वारा प्रत्येक की दो भिन्न मात्राओं (0.1 ग्राम और 1.0 ग्राम) के साथ प्रयोग किया गया है। भारी धातुओं के प्रतिशत अवशोषण का अनुक्रमण धनिया द्वारा Mn>Co>Cr>Zn>Cd>Ni>Cu, मेंथा द्वारा Mn>Ni>Pb>Cu>Co>Cd>Zn और गेहूं–घास द्वारा Mn>Cr>Zn>Co>Cd>Ni पाया गया। वर्तमान अध्ययन से यह निष्कर्ष निकलता है कि पादपकीलेटर्स की कौन–सी प्रभावी मात्रा पादपउपचारीकरण तकनीक के रूप में लागू की जा सकती है।

Abstract:

To meet the ever increasing demands of agricultural produce for growing human population, consequent industrialization, urbanization have led to unfortunate generation and release of toxicants in every resource. For bioremediation of contaminated waters, biosorption is proved to be highly effective, efficient, economically viable and environmental friendly methodology. Owing to their high metal binding capacity, present studies were carried to investigate the Chromium (Cr), Manganese (Mn), Cobalt (Co), Nickle (Ni), Copper (Cu), Zinc (Zn), Cadmium (Cd) and Lead (Pb) contents in waters treated with two doses of each of coriander (*Coriander sativum)*, peppermint (*Mentha piperita*) and wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*) by employing ICP&MS (Mass Spectroscopy). Percentage absorption of heavy metals by coriander followed the trend Mn>Co>Cr>Zn>Cd>Ni>Cu, for peppermint Mn>Ni>Pb>Cu>Co>Cr>Cd>Zn and for wheatgrass Mn>Cr>Zn>Co>Cd> Ni. The study also concluded an effective dose of phyto-chelators for implementing it as an integrated phytoremediation technology.

मुख्य शब्द : जैव मात्रा, जैव उपचार, जैव शोषण, भारी धातु, पादपउपचारीकरण, पादपकीलेटर।

Keywords: Biomass, Bioremediation, Biosorption, Heavy metals, Phytoremediation, Phytochelators.

1. प्रस्तावना :

खाद्य श्रृंखला के प्रत्येक पोषण स्तर पर भारी धातुओं का पानी में जैव संचय होता है जिससे जल संदूषित हो जाता है। पानी में बढती हुई भारी धातु की मात्रा, दुनिया भर के पर्यावरण के लिए एक आम खतरा बन चुकी है।यह भारी धातु संदूषण, खाद्य श्रृंखला के शीर्ष पर विद्यमान समूची मानव जाति के लिए स्वास्थ्य सम्बंधित हानि उत्पन्न करता है। यह प्रदूषण प्राकृतिक और मानवजनित स्रोतों से पैदा हो सकता है। मानवजनित स्रोतों से उत्पन्न प्रदूषण, अधिक महत्वपूर्ण है और चिंता का मुख्य विषय है। मानवजनित संदूषण कई कारणों से हो सकता है जैसे कि खनन, औद्योगिक गतिविधियाँ, यातायात, रासायनिक उर्वरकों का अंधाधुंध और अपर्याप्त उपयोग और कीचड़ मल का संशोधन। वर्तमान जल–शुद्धिकरण क्षमतायें पर्याप्त नहीं हैं तथा केवल 60% औद्योगिक अपशिष्ट जल का उपचार किया जाता है जबकि 26% घरेलू अपशिष्ट जल का उपचार किया जाता है (1)। भारी धातु जैसे कैडमियम (Cd), तांबा (Cu), सीसा (Pb), पारा (Hg), निकल (Ni) और जस्ता (Zn) प्रमुख भारी धातु हैं जो प्रदूषक माने गए हैं और जो अन्य जीवन रूपों के लिए भी खतरा पैदा कर सकते हैं। आर्सेनिक (As), सीसा (Pb), कैडमियम (Cd) और पारा (Hg) जैसे तत्वों का अति सूक्ष्मस्तर में भी शरीर में प्रवेश करना असुरक्षित माना गया है। मानव शरीर में इन भारी धातुओं की आवश्यकता नहीं है,लेकिन पर्यावरण में इनकी बढ़ती हुई सांद्रता हमारी चिंता का प्रमुख विषय बन चुका है। इनके कैंसर कारक गुणों, जैव संचय एवं जैव अवक्रमण ना हो पाने के कारण इनका मानव स्वास्थ्य पर विपरीत प्रभाव पड़ता जा रहा है। शरीर में भारी धातुओं की अत्यधिक मात्रा से सेश्लैष्मिक जलन (mucosal irritation), व्यापक कोशिका क्षति (extensive cell damage), यकृत और गुर्दे के परिगलित परिवर्तन (necrotic changes), केंद्रीय तंत्रिका तंत्र की समस्यायें, अवसाद और पेट व आंत की जलन जैसी समस्यायें उत्पन्न हो सकतीं हैं।

अपने अत्यधिक विषैले गुणों के लिए जानी जाने वाली यह भारी धातुएं जलीय पारिस्थितिक तंत्र के लिए एक अदृश्य लेकिन गंभीर खतरा पैदा करती हैं। भारी धातुओं में अपनी अलग घुलनशीलता की क्षमता होती है, लेकिन यह पौधों द्वारा संचित की जा सकती है (2)। सब्जियों और फसलों में भारी धातुओं का संचय न केवल एक बड़े खतरे का कारण बन सकता है, बल्कि कुछ विशिष्ट पौधों की प्रजातियों का खेती में प्रयोग कर के मिटटी से भारी धातुओं को हटाने की संभावना भी दर्शाता है (3)। इस तकनीक को पादप उपचारीकरण (*phyto-remediation*) के नाम से जाना जाता है। पादप उपचारीकरण दूषित मिट्टी का विषहरण करने के लिए एक प्रभावी तकनीक है। प्रकृति में दूषित जल से विषाक्त धातुओं का अपमार्जन करने की अच्छी क्षमता है।

पर्यावरण में उनका विघटन, और संचय प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष मानव गतिविधियों का ही परिणाम है जिसमें बढ़ता हुआ औद्योगिकीकरण और शहरीकरण प्रमुख हैं (4)। Mn, Cu, Zn, Co, Mo और Fe की अत्यधिक मात्रा को विषाक्त माना जाता है व उनका जैव संचय, लम्बे समय तक चलने वाली बीमारियों और मौत का प्रमुख कारण भी बनता है (5)। अपशिष्ट जल को बिना उपचारण किये सिंचाई हेतु उपयोग नहीं करना चाहिए एवं खाद्य श्रृंखला में भारी धातुओं की नियमित निगरानी करनी चाहिए (6)। अपशिष्ट जल से भारी धातुओं को हटाने के तरीकों को विकसित करना, पर्यावरण वैज्ञानिकों का महत्वपूर्ण उद्धेश्य है (7)। महंगी शुद्धि निष्कर्षण प्रक्रियाओं के हानिकारक प्रभावों को ध्यान में रखते हुए, एक वैकल्पिक पद्धति को अपनाया जाना चाहिए जिसमें कम लागत, रासायनिक और जैविक कीचड़ के न्यूनतम उत्पादन के साथ उच्च दक्षता हो। विभिन्न जैविक सामग्री की धातु बाध्यकारी क्षमताओं का उपयोग करके

जहरीले धातुओं को अपशिष्ट जल से निकालने की तकनीक को जैवशोषण (Biosorption) कहते है (8)। इसलिए जैवशोषण धातु के आयनों को दूषित मिश्रण से निकालने में बहुत प्रभावी साबित होता है। वास्तव में जैव शोषण को ही पादप उपचारीकरण (phyto remediation) का दूसरा रूप माना जाता है।

रोज़मर्रा की ज़िन्दगी में धनिया, मेंथा और गेहूं–घास नियमित रूप से हर रसोई में पाए जाते हैं। इन्हें दुनिया के कई हिस्सों में आसानी से उगाया जा सकता है और प्रभावी रूप से जैव शोषण सामग्री बनाने के लिए बड़ी मात्रा में उपलब्ध भी कराया जा सकता है। कार्बोक्जिलिक समूहों (carboxylic groups) और लिग्नोसेलुलोसिक (Ligno-cellulosic) आदि तत्वों से भरपूर होने की वजह से इन कृषि अपशिष्टों में धातुओं के अवशोषण की क्षमता होती है (9,10)। इन यौगिकों से भरपूर धनिया, मेंथा और गेहूं–घास को वर्तमान शोध कार्य मे इस्तेमाल किया गया। उनकी धातु संचय में दक्षता का आकलन दूषित पानी से विषाक्त भारी धातुओं को हटाने के लिए किया गया। धनिया, मेंथा और गेहूं–घास प्रत्येक की दो भिन्न मात्राओं 0.1 ग्राम और 1.0 ग्राम द्वारा उपचारित पानी में क्रोमियम (Cr), मैंगनीज (Mn), कोबाल्ट (Co), निकल (Ni), तांबा (Cu), जस्ता (Zn), कैडमियम (Cd) और सीसा (Pb) की मात्रा का आंकलन किया गया। ये सभी पादपकीलेटर (चीलवबीमसंजवते) आसानी से उपलब्ध हैं और कई लोगों को इन्हें उगाने का अनुभव होता है। विशेष बात यह है कि यह दैनिक आधार पर घरों मे इस्तेमाल भी किये जाते हैं।

2. सामग्री और क्रियाविधि :

पूरी प्रक्रिया को चार चरणों में विभाजित किया गया: (1) पौधों को उगाना (2) जैव मात्रा के पाउडर की तैयारी, (3) दूषित पानी के नमूनों के परीक्षण की तैयारी और (4) वास्तविक प्रयोग।

2.1 पौधों को उगानाः

गेहूं–घास के बीजों को छलनी में डाल कर साफ़ पानी से धोया गया। इस प्रक्रिया में कीटनाशक–मुक्त बीजों का प्रयोग किया गया था। बीजों को भिगोने के लिए साफ़ पानी उपयोग किया। भिगोने से अंकुरण की प्रक्रिया आसानी से हो जाती है। जैविक खाद की दो से तीन इंच मोती परत को ट्रे के अंदर बिछा कर, कुछ दूरी पर इन बीजों को बोया गया। बीजों का रोपण समान रूप से और हलके पानी के छिड़काव के साथ किया गया। बीजों के अंकुरण होने तक ट्रे को हलके सिक्त अखबारों की परत से ढक दिया गया था ताकि अंदर नमी रह सके। अंकुरण के बाद गेहूं –घास को 9 से 10 दिनों के समय पर काट लिया गया था। धनिया भी इसी तरह बीजों से उगाया गया था जबकि मेंथा को उगाने के लिए तने को काट कर इस्तेमाल किया गया। जड़ों के साथ अंकुरित पौधों को12–13 दिनों तक उगाने के बाद उनकी कटाई की गई।

2.2 जैव मात्रा का पाउडर बनानाः

धनिया, मेंथा और गेहूं घास को जैविक मिटटी में उगाने के बाद इसको धातु मुक्त पानी से सींचा गया। इन सब जैव मात्रा को बढ़ जाने पर काटा गया। कटाई के बाद इसे विआयनीकृत (deionized) जल से अच्छी प्रकार से धोया गया। फिर इसे 60 डिग्री सेल्सियस (^oC) पर 2 से 4 घंटे के लिए ओवन में सुखाया गया। सूखने पर प्राप्त इनके पाउडर को जैव शोषण सामग्री के रूप में उपयोग करने के लिए इन्हें अलग अलग संग्रहीत कर लिया गया था।

2.3 भारी धातु परिक्षण के लिए घोल की तैयारीः

विश्लेषणात्मक श्रेणी के निम्नलिखित रसायनों का उपयोग घोल बनाने में किया गया, $K_2Cr_2O_7$, $MnSO_4$, $CoSO_4.7H_2O$, $NiSO_4.7H_2O$, $CuSO_4.7H_2O$, $ZnSO_4.7H_2O$, $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$, $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ और $Pb(C_2H_3O_2)_2$ ।

इन रसायनों को क्रमशः क्रोमियम (Cr), मैंगनीज (Mn), कोबाल्ट (Co), निकल (Ni), तांबा (Cu), जस्ता (Zn), कैडमियम (Cd) और सीसा (Pb) प्राप्त करने के लिए आसुत जल में घोला गया। इस प्रकार तैयार धातुयुक्त घोलों का उपयोग जैव मात्रा के द्वारा जैव शोषण की क्षमता को जानने के लिए विभिन्न प्रयोगों में किया गया (11)। घोल की सांद्रता का मूल्यांकन आईसीपी एमएस (ICP-MS) तकनीक द्वारा किया।

2.4 वास्तविक प्रयोगः

जैव मात्रा का भारी धातु के पानी के घोल के साथ ऊष्मायन 30 डिग्री सेल्सियस (°C) तापमान पर 6 घंटे के लिए किया गया। फिर इसे मध्यम आकार के फिल्टर पेपर (Whatman Paper 125 मिमी Ø) और अंत में 0.22 माइक्रोन सिरिंज फिल्टर (Syringe Filter) के माध्यम से छाना गया। आईसीपी–एमएस माप, स्वचालित क्वाड्रोपोल एगिलेंट 7900 आईसीपी–एमएस (automated quadrupole Agilent 7900 ICP-MS) के उपयोग द्वारा किया गया था। उपकरण का इनपुट वोल्टेज 200–240 वोल्ट, 30 एम्पियर और 50/60 हर्ट्ज पर रखा गया। ठन्डे पानी का प्रवाह 5 लीटर प्रति मिनट, तापमान 15–40 डिग्री सेल्सियस (°C) और दबाव 230–400 किलो पास्कल (KPa) बना कर रखा था। 10–12 मिलीलीटर प्रति मिनट सहायक गैस प्रवाह, 20 लीटर प्रति मिनट शीतलक गैस का प्रवाह और 0.2 मिलीलीटर प्रति मिनट का नेबुलाइजर प्रवाह बनाए रखा गया था। अंशांकन (Calibration) के लिए, 10, 50, 100, 250, 500, 1000, 1500 और 2000 पीपीबी (ppb) के मानक मिश्रण तैयार किए गए थे। सभी मिश्रणों की तैयारी के लिए विआयनीकृत (deionized) पानी का उपयोग किया गया था। सभी मिश्रणों की तैयारी के लिए उपयोग किए जाने वाले पदार्थ उच्च विश्लेषण ात्मक शुद्धता के थे। सभी नमूनों को अपकेंद्रित्र (centrifuge), निस्पंदन (filter) किया गया और आई सी पी शीशियों में स्थानांतरित किया गया। इसके उपरांत आई सी पी–एम एस तकनीक द्वारा इनको चलाया गया। समीकरण के लिए निम्नलिखित गणना का उपयोग किया गया थाः

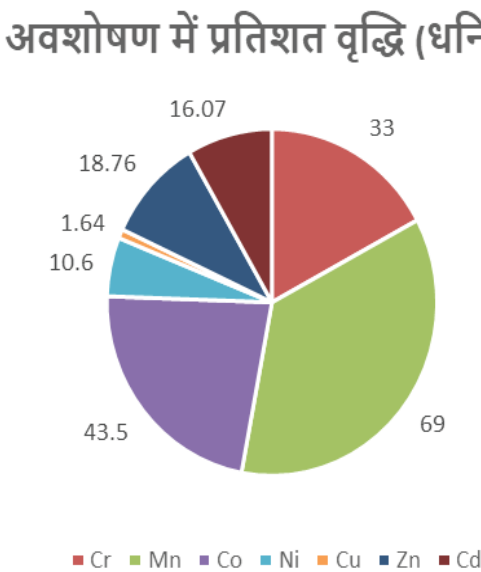
$$100 - (Ce / Ck \times 100) = X$$

जहाँ, Ce की गणना माध्य प्रायोगिक धातु सांद्रता (mean experimental metal concentration) (जैव मात्रा उपचार के बाद ICP के माध्यम से निर्धारित) है, Ck जैव मात्रा जोड़ के बिना ज्ञात धातु एकाग्रता है (धातु नियंत्रण नमूनों में निर्धारित मूल्य से मेल खाती है) और X निकाले गए धातु का प्रतिशत है।तत्वों के बीच संबंध का आकलन करने और तत्व उत्थान प्रक्रिया में बेहतर अंतर्दृष्टि देने के लिए प्रायोगिक डेटा पर सहसंबंध विश्लेषण (Correlation analysis) लागू किया गया था।

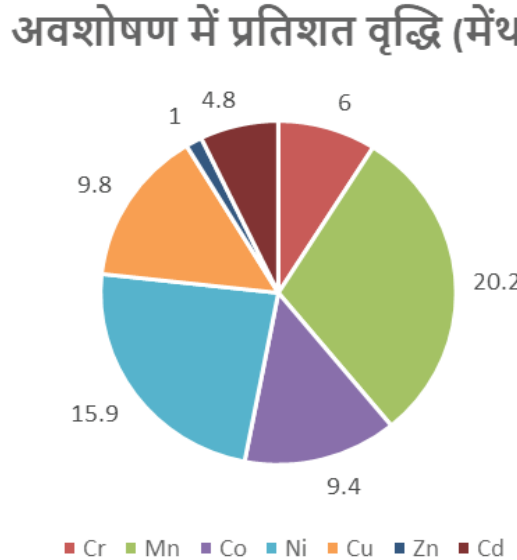
3. परिणाम और परिचर्चा :

इस अध्ययन में धनिया, मेंथा और गेहूं घास के जैव मात्रा द्वारा क्रोमियम (Cr), मैंगनीज (Mn), कोबाल्ट (Co), निकल (Ni), तांबा (Cu), जस्ता (Zn), कैडमियम (Cd) और सीसा (Pb) का जैव शोषण किया गया। धातु आयनों के लिए इन तीन जड़ी बूटियों के जैव मात्रा की बाध्यकारी क्षमता को कार्बोक्जिलिक एसिड समूहों (COOH) और हाइड्रॉक्सिल समूहों (OH) की उच्च मात्रा की उपस्थिति के लिए जिम्मेदार ठहराया जाता है, जहां से यह धातु हाइड्रोजन आयन विनिमय कर सकते हैं। परिणामों से यह स्पष्ट है कि प्रत्येक पौधे के 1.0 ग्राम जैव मात्रा से विलयन से विषाक्त तत्वों को हटाने का प्रतिशत उसी पौधे के 0.1 ग्राम की तुलना में काफी अधिक है, जिससे संकेत मिलता है कि विलयन में विषैले तत्वों की समान सांद्रता (5 पीपीएम) को हटाने के लिए 0.1 ग्राम से अधिक उचित मात्रा 1.0 ग्राम है (चित्र 1–4)।

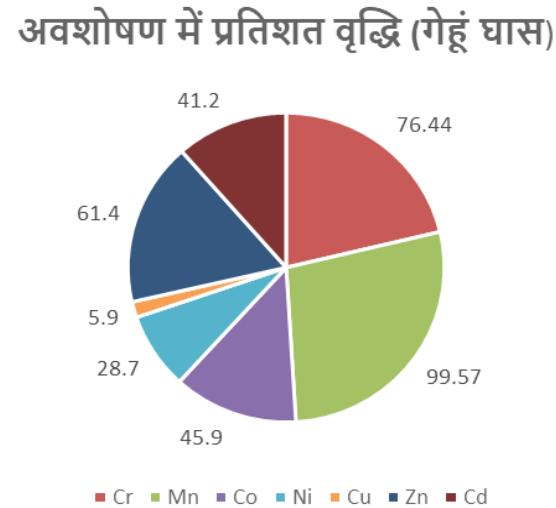
सभी आठ विषाक्त तत्वों के लिए औसत मान चित्र– 4 में प्रस्तुत किए गए हैं। Cr की मात्रा गेहूं–घास में 76.4% एवं धनिया और मेंथा में 33% और 6% प्राप्त हुई। अतः Cr अवशोषण के लिए गेहूं–घास की उच्चतम दक्षता की पुष्टि होती है। Mn के लिए, सबसे अधिक मात्रा गेहूं–घास (99.5%) में पाई गई। धनिया (69%) और मेंथा (20%) में इसकी मात्रा कम प्राप्त हुई। अतः Mn अवशोषण के लिए भी गेहूं–घास की उच्चतम दक्षता की पुष्टि होती है। Co के अवशोषण के लिए, गेहूं घास (45.9%) को, धनिया (43%) और मेंथा (9.3%) की तुलना में सबसे अधिक कुशल पाया गया। Ni के अवशोषण के लिए, मेंथा (15.9%) और धनिया (10.6%) की तुलना में, गेहूं घास को सबसे प्रभावी (28.7%) पाया गया। Cu अवशोषण के लिए, मेंथा (9-7%) को गेहूं घास (5. 8%) और धनिया (1.6%) की तुलना में सबसे प्रभावी पाया गया। Zn के अवशोषण के लिए, गेहूं घास (61.3%) को धनिया (18.7%) और मेंथा (1.0%) से अधिक कुशल पाया गया।



चित्र 1. धनिया में भारी धातुओं का प्रतिशत अवशोषण।



चित्र 2. मेंथा में भारी धातुओं का प्रतिशत अवशोषण।



चित्र 3. गेहूं घास में भारी धातुओं का प्रतिशत अवशोषण।

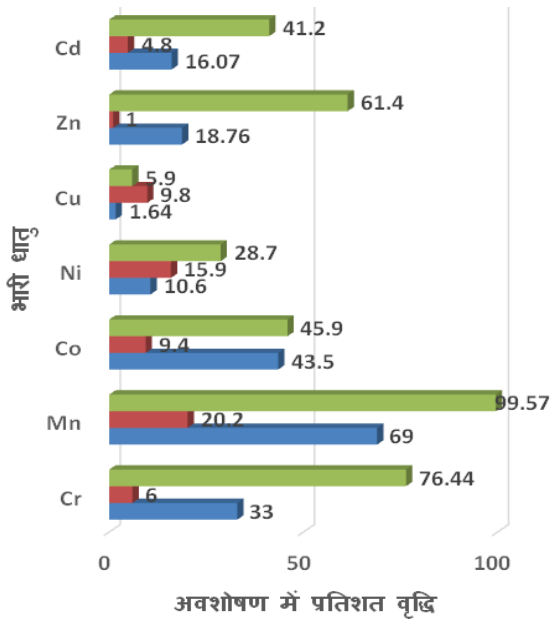
Cd का अवशोषण गेहूं घास में 41.1%, धनिया में 16% और मेंथा में 4.8% पाया गया। केवल मेंथा ही Pb (13%) को अवशोषित करने में सक्षम था, जबकि धनिया और गेहूं–घास का Pb के अवशोषण में कोई योगदान नहीं पाया गया।

गेहूं घास द्वारा थोरियम (Th) और यूरेनियम (U), जैसे रेडियोधर्मी तत्वों को संचित करने की जानकारी भी प्राप्त है। गेहूं–घास के अलावा बाजरा में भारी धातु के संचय की भी जानकारी प्राप्त है। पूर्व में किये गये शोध कार्यो मे यह ज्ञात हुआ है कि मक्का (Zea mays) मे लोहा (Fe), मैंगनीज (Mn) एवं तांबा (Cu) को संचय करने की क्षमता है। इसके अतरिक्त जई (Avena sativa), जौ (Hordeum vulgare), और सरसों (Brassica juncea) मे भी जस्ता (Zn) के संचय की भी जानकारी प्राप्त है। मेथी, काला ज़ीरा और अजवाइन में भी यह गुण होते हैं।

अरबिंद कुमार और सीमा (2016) द्वारा किए गए एक अध्ययन में, जब धनिया को अपशिष्ट जल से सिंचित किया गया तो भारी धातुओं के संचय की सीमा कैडमियम (Cd) के लिए 0.58–1. 47 मिलीग्राम / किलोग्राम, सीसा (Pb) के लिए 1.2–5.0 मिलीग्राम / किलोग्राम, जस्ता (Zn) के लिए 41.2–70.2 मिलीग्राम/ किलोग्राम, तांबा (Cu) के लिए 3.8–8.8 मिलीग्राम / किलोग्राम, क्रोमियम (Cr) के लिए 1.35–2.38 मिलीग्राम / किलोग्राम और निकल (Ni) के लिए 2.4–4.5 मिलीग्राम / किलोग्राम प्राप्त हुई थी (6)। उन्होंने अपशिष्ट जल से सिंचित सब्जियों में भारी धातुओं के संचय का मानव स्वास्थ्य जोखिम सूचकांक (Human Health Risk Index / HRI) भी दिया, जो इस क्रम में है Pb (0. 726)>Cd (0.327)>Ni (0.1083)>Cu (0.094,04)>Zn (0.0652)>Cr (0.00798)। इसी तरह के परिणाम पहले भी दर्शाये गए हैं (6)। Torabian और Mahjouri, 2002 ने बताया कि अपशिष्ट जल से सिंचित पौधों में Cd का जमाव मेंथा के लिए सबसे अधिक था (12)।

4. निष्कर्षः

धनिया, मेंथा और गेहूं–घास के जैव मात्रा को अगर समान मात्रा में मिलाया जाता है, तो इन पौधों से अलग–अलग भारी धातुओं को अलग किया जा सकता है। गेहूं–घास में Cr, Mn, Co, Ni, Zn और Cd के संचय की क्षमता अधिकतम पाई गई। मेंथा में Cu के संचय की क्षमता सबसे अधिक प्राप्त हुई। वर्तमान शोध कार्य में यह भी पाया गया कि Pb का अवशोषण करने के लिए इनमे से सिर्फ मेंथा ही कारगर था।यह तकनीक अत्यंत सुरक्षित और प्रभावी है। इसका उपयोग स्वास्थ्य और पर्यावरण के लिए लाभदायक है।



चित्र 4. अवशोषण में प्रतिशत वृद्धि का तुलनात्मक अध्ययन।

हिंदी शब्दावली तालिका

Absorption	अवशोषण
Automated	स्वचालित
Binding capacity	बाध्यकारी क्षमता
Bio-accumulation	जैव–संचय
Biodegradation	जैव–अवक्रमण
Biomass	जैव–मात्रा
Bio-remediation	जैव–उपचारण
Biosorption	जैवशोषण

Calibration	अंशांकन
Carboxylic groups	कार्बोक्जिलिक समूहों
Centrifuge	अपकेंद्रित्र
Concentration	सांद्रता
Contamination	संदूषण
Coriander sativum	धनिया
Correlation analysis	सहसंबंध विश्लेषण
Deionized	विआयनीकृत
Exchange	विनिमय
Extensive cell damage	व्यापक कोशिका क्षति
Filter	निस्पंदन
Human Health Risk Index (HRI)	मानव स्वास्थ्य जोखिम सूचकांक
Ligno-cellulosic	लिग्नोसेलुलोसिक
Mean experimental metal concentration	माध्य प्रायोगिक धातु सांद्रता
Mentha piperita	मेंथा
Mucosal irritation	सेश्लैष्मिक जलन
Necrotic changes	परिगलित परिवर्तन
Phytochelators	पादपकीलेटर्स
Phytoremediation	पादपउपचारीकरण
Syringe Filter	सिरिंज फिल्टर
Wheatgrass (Thinopyrum intermedium)	गेहूं–घास
Toxicity	विषाक्तता

संदर्भ सूची :

[1] Bhati M. (2016), Nanotechnology Application in Water Purification: An Indian Context. Vigyan Prakash, 14(1& 2),19-28.

[2] Shah K and Reddy M N. (2010), Accumulation of heavy metals by some aquatic macrophytes In: Engineering and Technology, 3(4), 11125-11134.

[3] Karamtothu G N, Devi M A and Naik S J K. (2015), Heavy Metals in Soils and Vegetables Irrigated with Urban Sewage water - A Case Study of Grat-er Hyderabad. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci., 4 (5), 1054-1060.

[4] Akpor O B and M Muchie (2010), Remediation of heavy metals in drinking water and wastewater treatment systems: Processes and applications. Int. J. Phys. Sci., 5 (12), 1807-1817.

[5] Aate J, Urade P, Potey L and Kosalge S. (2017), A Review: Wheat grass and its Health Benefits. Int. J. Pharm. and pharm. Res., 9(4), 288-298.

[6] Kumar A and Seema. (2016), Accumulation of heavy metals in soil and green leafy vegetables, Irrigated with wastewater. IQSR J. Env. Sci. Toxic Food Tech., 10 (10), 8-9.

[7] Baysal A, Ozbek N, and Akman S. (2013), Determination of Trace Metals in Waste Water and their removal processes. In: Waste Water–Treatment Technologies and Recent Analytical Developments. Intech open Science publishers, Ch-7.

[8] Ahluwalia S S and Goyal D. (2007), Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. Biores. Tech., 98 (12), 2243-2257.

[9] Bhat S, Kaushal P, Kaur M and Sharma H K. (2014), Review. Coriander (Coriandrum sativum L.): Processing, nutritional and functional aspects Afr. J. Plant Sci., 8(1), 25-33.

[10] Dinu C, Gheorghe S, Tenea A G, Stoica C, Vasile G, Popescu R L, Serban E A and Pascu L F. (2021), Toxic Metals (As, Cd, Ni, Pb) Impact in the Most Common Medicinal Plant (Mentha piperita) . Int. J. Environ. Res. Public Health, 18(8), 3904.

[11] Welna M, Madeja A S and Pohl P. (2011), Quality of the Trace Element Analysis: Sample Preparation Steps, Wide Spectra of Quality Control, In: Waste Water–Treatment Technologies and Recent Analytical Developments. Intech open Science publishers, Ch-4.

[12] Torabian A and Mahjouri M. (2002), Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated with waste water in South Tehran. J. Env. Study, 16 (2), 34.