NAMANGAN SHAHAR SHAROITIDA AYRIM MANZARALI DARAXTLAR BARGLARIDA OG'IR METALLAR BIOAKKUMULYATSIYASI VA FITOREMEDIATSION SALOHIYATINI BIOKIMYOVIY BAHOLASH: ADABIYOTLAR SHARHI

Murodova Hilola Zafarjon qizi

Annotatsiya. Manzarali daraxtlar shahar havosidagi og'ir metallarni barglarida to'plab, ularni arzon biomonitoring va fitoremediatsiya vositasiga aylantirishi mumkin. Ushbu sharhda xorijiy, MDH va O'zbekiston tadqiqotlari uchta yo'nalish bo'yicha ko'rib chiqildi: barglarda metall to'planishi, o'simlikning biokimyoviy javobi va chidamlilik indekslari. Tahlil shuni ko'rsatdiki, metall miqdori va biokimyoviy ko'rsatkichlar ko'pincha alohida o'rganilgan, natijalar esa tur va hududga kuchli bog'liq. Namangan sharoitida bu ikki yo'nalishni birlashtirgan tizimli ishni aniqlay olmadik. Bu holat tadqiqot uchun hal etilmagan masala sifatida ajratildi.

Kalit so'zlar: og'ir metallar, bioakkumulyatsiya, fitoremediatsiya, manzarali daraxtlar, biokimyoviy ko'rsatkichlar, urbanoflora, Namangan.

Kirish

Shaharlarda transport va sanoat havoni va tuproqni qo'rg'oshin (Pb), kadmiy (Cd), rux (Zn) va mis (Cu) kabi og'ir metallar bilan ifloslantiradi. Bu metallar parchalanmaydi, shuning uchun tuproqda va o'simlik to'qimalarida uzoq vaqt saqlanadi. Ularning ko'pi o'simlik uchun zaharli, ayrimlari (Zn, Cu) esa kam miqdorda zarur mikroelementdir.

Fitoremediatsiya, ya'ni o'simliklar yordamida muhitni tozalash, 1990-yillardan beri arzon va ekologik toza usul sifatida o'rganilmoqda (Salt va boshq., 1995; Raskin va boshq., 1997). Biroq giperakkumulyator o'simliklarning ko'pi o'tsimon, biomassasi kam va o'sishi sekin turlardir (Baker va Brooks, 1989). Shu sababli shahar sharoitida yirik bargli, uzoq yashaydigan va ekilgan manzarali daraxtlarga qiziqish ortgan. Daraxtning katta barg yuzasi zarrachalarni ushlaydi va metallarni to'qimalarida to'playdi (Sawidis va boshq., 2011).

Metall to'planishi o'simlikka ham ta'sir qiladi: hujayrada oksidlovchi stress paydo bo'ladi, pigmentlar, prolin va antioksidant fermentlar faolligi o'zgaradi (Sharma va Dietz, 2009; Gill va Tuteja, 2010). Demak, bargdagi metall miqdorini biokimyoviy javob bilan birga baholash daraxtning haqiqiy fitoremediatsion salohiyatini aniqroq ko'rsatadi.

Xorijiy tadqiqotlar. Xorijiy ishlar uch yo'nalishda to'plangan: daraxt barglarida metall to'planishi, biokimyoviy javob va chidamlilik indekslari.

Barglarda metall to'planishi. Sawidis va boshq. (2011) uchta Yevropa shahrida daraxt barglarini og'ir metallar ifloslanishining bioindikatori sifatida o'rgandi va turlar orasida farq borligini ko'rsatdi. Sæbø va boshq. (2012) turli daraxt va buta turlari barg yuzasida zarrachalarni turlicha ushlashini aniqladi: barg yuzasining tuzilishi muhim rol o'ynaydi. Shu sababli ko'p ishlarda barg yuvilgan va yuvilmagan holda tahlil qilinadi, chunki yuzaga o'tirgan zarracha bilan to'qimaga kirgan metallni ajratish zarur.

Biokimyoviy javob. Sharma va Dietz (2009) metall toksikligi hujayrada redoks muvozanatini buzishini umumlashtirdi. Gill va Tuteja (2010) reaktiv kislorod turlariga qarshi antioksidant tizimni (SOD, katalaza, askorbat peroksidaza, prolin) tavsiflagan. Eksperimental ishlarda keng qo'llanadigan

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

usullar: xlorofill va karotinoidlar (Lichtenthaler, 1987), erkin prolin (Bates va boshq., 1973) va lipid peroksidlanishi mahsuloti MDA (Heath va Packer, 1968).

Chidamlilik indekslari. Singh va Rao (1983) havo ifloslanishiga chidamlilik indeksini (APTI) taklif qildi. U to'rt ko'rsatkichni birlashtiradi: askorbin kislota, umumiy xlorofill, barg ekstrakti pH va nisbiy suv miqdori. Indeks tez va arzon bo'lgani uchun daraxt turlarini saralashda keng ishlatiladi, lekin u metall miqdorini bevosita o'lchamaydi.

Claudia Dadea boshchiligidagi olimlar 2017-yilda shahar muhitida biomonitoring va fitoremediatsiya vositasi sifatida daraxt turlarining rolini o‘rganib chiqib, Markaziy Yevropada keng tarqalgan 9 ta manzarali daraxt turini tahlil qilishgan va ularning ifloslantiruvchi moddalarga chidamliligi hamda atrof-muhit holatini baholashdagi salohiyatini baholashgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, Betula pendula va Robinia pseudoacacia turlari o‘zining yuqori chidamliligi va pioneer xususiyatlari tufayli fitoremediatsiya hamda biomonitoring uchun arzon va ideal nomzodlar ekanligi aniqlangan, shuningdek, Tilia cordata ham barglari orqali havodagi ifloslantiruvchi moddalarni ushlab qolish qobiliyati bilan shahar sharoitida muhim ahamiyatga ega ekanligi ko‘rsatib berilgan.

Shuni Shamim Umer boshchiligidagi olimlar 2023-yilda shaharlarning sanoat va turar joy hududlarida og‘ir metallar ifloslanishini kamaytirishda manzarali daraxt turlarining fitoremediatsiya salohiyatini o‘rganib chiqib, Conocarpus erectus, Dalbergia sissoo va Bismarckia nobilis kabi turlar kadmiy, nikel hamda qo‘rg‘oshin kabi zaharli elementlarni to‘plash va bioindikatorlik qilishda yuqori samaradorlik ko‘rsatganini, shuningdek, ushbu o‘simliklar atrof-muhitni tozalash bilan birga shahar yashil hududlarini kengaytirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini aniqlashgan.

Reza Amareh boshchiligidagi olimlar 2024-yilda Janubiy Eronning Busher shahridagi 10 ta manzarali o‘simlikda 10 ta og‘ir metalning to‘planishi hamda ularning antioksidant fermentlar faolligi va osmolitlar sintezi orqali himoyalanish strategiyalarini o‘rganib chiqib, buta turlari daraxtlarga qaraganda og‘ir metallarni yutishda samaraliroq ekanligini, xususan Clerodendrum inerme, Ficus elastica va Bougainvillea turlari fitoremediatsiya uchun eng maqbul nomzodlar ekanligini aniqlashgan bo‘lsa, Xiliang Song boshchiligidagi tadqiqotchilar 2020-yilda shahar tuproqlaridagi qo‘rg‘oshin stresi manzarali o‘simliklarning o‘sishi va fotosintez jarayoniga salbiy ta’sir ko‘rsatishini hamda o‘simliklar bunga prolin va eriydigan shakar miqdorini oshirish orqali moslashishini ko‘rsatib, o‘rganilgan turlar orasida Canna generalis eng yuqori qo‘rg‘oshin to‘plash qobiliyatiga va chidamlilikka ega ekanligini isbotlashgan.

Xorijiy tadqiqotlar metall to'planishi va biokimyoviy javobni isbotlagan. Ammo natijalar tur, iqlim va ifloslanish manbasiga bog'liq, shuning uchun bir shahar ma'lumotini boshqasiga ko'chirib bo'lmaydi.

MDH hududida bu mavzu asosan rus ekologik maktabi doirasida rivojlangan. Kulagin (1974) sanoat muhitida daraxt va butalarning gazga chidamliligini o'rgangan. Il'kun (1978) atmosfera ifloslantiruvchilarining o'simliklarga ta'sirini fiziologik jihatdan tahlil qilgan. Alekseev (1987) esa og'ir metallarning tuproq va o'simliklardagi harakatini umumlashtirgan. Mikroelementlar bo'yicha xalqaro tayanch manba Kabata-Pendias va Pendias (2001) kitobidir.

Camila Silva Rocha boshchiligidagi olimlar 2022-yilda manzarali o‘simliklardan fitoremediatsiyada foydalanishning ekologik va iqtisodiy afzalliklarini tahlil qilib, bu o‘simliklar estetik go‘zallik va turizm imkoniyatlarini yaratish bilan birga, oziq-ovqat zanjiriga ifloslantiruvchi moddalarning kirib kelishining oldini olishi va ko‘plab ekotizim xizmatlarini taqdim etishini ko‘rsatib berishgan bo‘lsa, Larisa Afanasyeva va Tuyana Ayushina 2019-yilda Rossiyaning Ulan-Ude shahri misolida avtomobil yo‘llari va sanoat zonalari yaqinida o‘sadigan Sibir tilog‘ochining ignabarglarida og‘ir metallar miqdori fon

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

qiymatlaridan bir necha barobar yuqori ekanligini, shuningdek, o'simlik stressga qarshi kurashish uchun xlorofil b, karotinoidlar, prolin va peroksidaza faolligini oshirib, havo ifloslanishini aniqlovchi sezgir bioindikator sifatida xizmat qilishini aniqlashgan.

Necmettin Gür va Özgür Kahraman 2026-yilda Turkiyaning Izmir shahridagi sanoat ta'siridagi Aliag'a tumanining dam olish maskanlarida o'simlik turlarining bioakkumulyatsiya va fitoremediatsiya salohiyatini baholab, o'simliklarning tur xilma-xilligidan tashqari, ularning hududdagi tarqalish zichligi (vakillik darajasi) muhimligini, shuningdek, og'ir metallar eng ko'p barg to'qimalarida, keyinchalik ildiz va novdalarda to'planishini aniqlab, sanoat shaharlarini ko'kalamlashtirishda ekologik funksiyalarni hisobga olish muhimligini ta'kidlashgan.

Nurhayot Kenjaboyeva 2026-yilda mahalliy o'simlik turlari misolida og'ir metallarning to'planish mexanizmlari va fitoremediatsiya salohiyatini tahlil qilib, sanoat, urbanizatsiya hamda qishloq xo'jaligi ta'sirida tuproq va suvda to'plangan kadmiy, qo'rg'oshin, rux, mis hamda nikel kabi zaharli elementlarni tozalashda tez o'suvchi, yuqori biomassa beruvchi va mahalliy sharoitga yaxshi moslashgan o'simlik turlaridan foydalanish ekologik havfsiz hamda iqtisodiy samarali usul ekanligini ilmiy jihatdan asoslab bergan.

Fitoremediatsion salohiyat odatda uchta jihat bo'yicha baholanadi: metallni to'plash darajasi, daraxtning chidamliligi va barg yuzasining ushlash qobiliyati. Birinchi jihat bioakkumulyatsiya koeffitsienti (BAK) bilan ifodalanadi: bargdagi metall konsentratsiyasi tuproqdagi konsentratsiyaga bo'linadi.

$$BAK = C(barg) / C(tuproq)$$

Ko'p ishlarda BAK qiymati 1 dan katta bo'lsa, tur metallni tuproqdan to'playdi deb hisoblanadi. Chidamlilik esa APTI orqali baholanadi (Singh va Rao, 1983):

$$APTI = [A \times (T + P) + R] / 10$$

bunda A - askorbin kislota (mg/g), T - umumiy xlorofill (mg/g), P - barg ekstrakti pH, R - nisbiy suv miqdori (%). Indeks yuqori bo'lgan tur ifloslanishga chidamliroq hisoblanadi. Toifa chegaralari (sezgir, oraliq, chidamli) ishlarda farq qilishi mumkin, shuning uchun o'z tadqiqotingizda tanlangan chegarani manba bilan asoslang.

Biokimyoviy ko'rsatkichlar stress darajasini ko'rsatadi: prolin va antioksidant fermentlar faolligining ortishi himoya javobi, MDA ortishi membrana zararlanishi, xlorofill kamayishi esa fotosintez susayishi belgisi sifatida talqin qilinadi (Gill va Tuteja, 2010). Bu talqinlar umumiy bo'lib, tur va muhitga qarab farq qilishi mumkin. Shu sababli bitta ko'rsatkichga emas, ularning birgalikdagi fiziologik xususiyatlariga tayanish kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Alekseev Yu.V. (1987). Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh. Leningrad: Agropromizdat.
2. Amareh, R. Antioxidant defense strategies of urban ornamental plants in southern Iran against heavy metals / R. Amareh, B. Kaviani, S. Sedaghathoor, M. S. Allahyari // Bioremediation Journal. – 2024. – Vol. 28, no. 4. – P. 472–490.
3. Baker A.J.M., Brooks R.R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: a review. Biorecovery, 1(2), 81–126.
4. Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39, 205–207.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

5. Gill S.S., Tuteja N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, 48(12), 909–930.
6. Heath R.L., Packer L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125(1), 189–198.
7. Il'kun G.M. (1978). Zagryazniteli atmosfery i rasteniya. Kiev: Naukova dumka.
8. Dadea, C. Tree species as tools for biomonitoring and phytoremediation in urban environments: A review with special regard to heavy metals / C. Dadea, A. Russo, M. Tagliavini, T. Mimmo, S. Zerbe // Arboriculture & Urban Forestry. – 2017. – Vol. 43, no. 4. – P. 155–167.
9. Kabata-Pendias A., Pendias H. (2001). Trace elements in soils and plants (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press.
10. Kulagin Yu.Z. (1974). Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda. Moskva: Nauka.
11. Lichtenthaler H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology, 148, 350–382.
12. Raskin I., Smith R.D., Salt D.E. (1997). Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. Current Opinion in Biotechnology, 8(2), 221–226.
13. Rocha, C. S. Phytoremediation by ornamental plants: a beautiful and ecological alternative / C. S. Rocha, D. C. Rocha, L. Y. Kochi, D. N. M. Carneiro, M. V. Dos Reis, M. P. Gomes // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – Vol. 29, no. 3. – P. 3336–3354.
14. Sæbø A., Popek R., Nawrot B., Hanslin H.M., Gawronska H., Gawronski S.W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. Science of the Total Environment, 427–428, 347–354.
15. Salt D.E., Blaylock M., Kumar N.P.B.A., et al. (1995). Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Bio/Technology, 13, 468–474.
16. Sawidis T., Breuste J., Mitrovic M., Pavlovic P., Tsigaridas K. (2011). Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. Environmental Pollution, 159(12), 3560–3570.
17. Sharma S.S., Dietz K.-J. (2009). The relationship between metal toxicity and cellular redox imbalance. Trends in Plant Science, 14(1), 43–50.
18. Singh S.K., Rao D.N. (1983). Evaluation of plants for their tolerance to air pollution. In: Proceedings of the Symposium on Air Pollution Control, New Delhi, 218–224.
19. Umer, S. Potential of ornamental trees to remediate trace metal contaminated soils for environmental safety and urban green space development / S. Umer, Z. Abbas, I. Aziz, M. Hanif, Z. Abideen, S. Mansoor, N. Hamid, M. A. Ali, F. M. Al-Hemaid // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, no. 11. – Art. 8963.
20. Kenjaboyeva, N. Accumulation of heavy metals in plants and the potential of phytoremediation: analysis based on local species / N. Kenjaboyeva // Journal of Pedagogical and Philological Research. – 2026. – Vol. 1, no. 2. – P. 180–184.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.