

BÖLÜM 3

BİTKİLERDE AĞIR METALLER VE FİTOREMEDİASYON

Halil Uğur AYTEKİN¹

1. GİRİŞ

Sanayileşme, madencilik, tarımsal ilaçların ve kimyasal gübrelerin yoğun kullanımı gibi insan faaliyetleri sonucunda, çevreye salınan ağır metaller, toprak, su ve hava kirliliğine neden olmakta ve ekosistem sağlığını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), cıva (Hg), arsenik (As), krom (Cr) ve nikel (Ni) gibi ağır metaller, biyobirikim ve biyobozunmazlık özellikleri nedeniyle çevrede uzun süre kalabilir ve hem insan sağlığına hem de diğer canlılara toksik etkiler gösterebilir (1,2,4).

Bitkiler, toprakta bulunan bu toksik maddelere doğrudan maruz kalan ilk canlı grubu olarak, ağır metallerin biyolojik döngüsünde önemli bir rol oynar. Bazı bitki türleri, bu metallerin alımını, taşınmasını ve birikimini düzenleyerek çevresel streslere karşı direnç geliştirmiştir. Bu doğal savunma mekanizmaları, çevre kirliliğiyle mücadelede biyoteknolojik çözümlerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (543,7,12).

Bu kapsamda son yıllarda çevre bilimlerinde öne çıkan ve sürdürülebilir ekosistem hedeflerine katkı sağlayan önemli bir strateji olan fitoremediasyon, ağır metallerin bitkiler aracılığıyla uzaklaştırılması, stabilize edilmesi ya da zararsız hale getirilmesini hedefler. Bu yöntem, geleneksel kimyasal ve fiziksel arıtma tekniklerine kıyasla daha ucuz, çevre dostu ve uygulanabilir bir alternatif sunar (9,10,11).

Bu bölümde, ağır metallerin bitkiler üzerindeki etkileri, bitkilerin bu metallere karşı geliştirdiği fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlar ile fitoremediasyon stratejileri

¹ Öğr. Gör., Gaziantep Üniversitesi, Araban Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, haytekin@gantep.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-3811-4295

11. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE SONUÇ

11.1 Fitoremediasyonun Geleceği

Fitoremediasyon, özellikle gelişen biyoteknolojik yaklaşımlarla birlikte gelecekte daha etkili ve yaygın bir yöntem olarak kullanılacaktır. Genetik mühendislik tekniklerinin yardımıyla metal toleransı artırılmış transgenik bitkiler geliştirilmektedir (31). Ayrıca, tarım dışı arazilerin ıslahında kullanımı ve metal geri kazanımı (phytomining) gibi yeni kullanım alanları üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır (10).

11.2 Sürdürülebilir Çevre Politikalarıyla Entegrasyonu

Fitoremediasyon, düşük maliyetli ve çevre dostu olması nedeniyle sürdürülebilir kalkınma politikalarıyla kolaylıkla entegre edilebilir. Özellikle Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) doğrultusunda, toprak ve su kalitesinin iyileştirilmesi hedefiyle uyumlu çalışmaktadır (33). Yerel yönetimlerin, kentsel dönüşüm ve tarımsal ıslah projelerinde fitoremediasyona daha fazla yer vermesi gelecekteki çevresel restorasyon projeleri için önemlidir (9).

12. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fitoremediasyon, ağır metal kirliliğiyle mücadelede umut vadeden, ekonomik ve çevreci bir yöntemdir. Ancak, her kirletici için uygun bitki türlerinin seçimi, toprak ve iklim koşullarının göz önünde bulundurulması gereklidir. Gelecekte multidisipliner çalışmalarla desteklenen projeler, bu yöntemin yaygınlaştırılmasına katkı sağlayacaktır. Uygulamalarda başarı için biyoteknolojik geliştirmeler, mikroorganizma destekli uygulamalar ve uygun politika desteği büyük önem taşımaktadır (30,32).

KAYNAKLAR

1. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
2. Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*, 101, 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
3. Renu, S., Chakraborty, S., & Singh, P. (2021). A comprehensive review on heavy metal toxicity and carcinogenicity in environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 62076–62115. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14775-y>
4. World Health Organization (WHO). (2023). *Health risks of heavy metals in contaminated environments: Technical report*. WHO Regional Office for Europe. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2023-8983-48755-72523>
5. Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 8(3), 199–216. <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>

6. Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.007>
7. Sharma, P., & Dubey, R. S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 35–52. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100004>
8. DalCorso, G., Farinati, S., & Furini, A. (2010). Regulatory networks of cadmium stress in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 5(6), 663–667. <https://doi.org/10.4161/psb.5.6.11566>
9. Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15–39. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>
10. Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
11. Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 643–668. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.643>
12. Gupta, D. K., Chatterjee, S., Datta, S., Veer, V., & Walther, C. (2014). Role of phosphate fertilizers in heavy metal uptake and detoxification of toxic metals. In D. K. Gupta et al. (Eds.), *Heavy metal stress in plants* (pp. 39–59). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14526-6_3
13. Tangahu, B. V., Abdullah, S. R. S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2011, Article ID 939161. <https://doi.org/10.1155/2011/939161>
14. Blaylock, M. J., & Huang, J. W. (2000). Phytoextraction of metals. In I. Raskin & B. D. Ensley (Eds.), *Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment* (pp. 53–70). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470172797.ch4>
15. Glick, B. R. (2010). Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnology Advances*, 28(3), 367–374. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.01.002>
16. Rajkumar, M., Ae, N., & Freitas, H. (2009). Endophytic bacteria and their potential to enhance heavy metal phytoextraction. *Chemosphere*, 77(2), 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.06.015>
17. Cobbett, C., & Goldsbrough, P. (2002). Phytochelatins and metallothioneins: Roles in heavy metal detoxification and homeostasis. *Annual Review of Plant Biology*, 53, 159–182. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.100301.135154>
18. Clemens, S. (2006). Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, 88(11), 1707–1719. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.07.003>
19. 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. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
20. Hall, J. L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53(366), 1–11. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.1>
21. Yan A, Wang Y, Tan SN, Mohd Yusof ML, Ghosh S, Chen Z. Phytoremediation: A promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. *Front Plant Sci*. 2020;11:359.
22. Mani D, Kumar C. Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation. *Int J Environ Sci Technol*. 2014;11(3):843–872.
23. Chen YX, Wang YP, Lin Q, Luo YM, He YF, Zhen SJ. Phytoremediation of cadmium, copper, and lead in contaminated soils using *Vetiveria zizanioides*. *Plant Soil*. 2004;263(1–2):49–58.
24. Angelova, V., Ivanova, R., Delibaltova, V., & Ivanov, K. (2004). Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*, 19(3), 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.10.001>
25. Baker, A. J. M., & Brooks, R. R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements—A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1, 81–126.

26. Kumar, P. B. A. N., Dushenkov, V., Motto, H., & Raskin, I. (1995). Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science & Technology*, 29(5), 1232–1238. <https://doi.org/10.1021/es00005a014>
27. Ma, L. Q., Komar, K. M., Tu, C., Zhang, W., Cai, Y., & Kennelley, E. D. (2001). A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*, 409(6820), 579–579. <https://doi.org/10.1038/35054664>
28. Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, N. P. B. A., Dushenkov, V., Ensley, B. D., Chet, I., & Raskin, I. (1995). Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology*, 13(5), 468–474. <https://doi.org/10.1038/nbt0595-468>
29. Van der Ent, A., Baker, A. J. M., Reeves, R. D., Pollard, A. J., & Schat, H. (2013). Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction. *Plant and Soil*, 362(1–2), 319–334. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1287-3>
30. Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L. Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*, 368(2–3), 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016>
31. Chaney, R. L., Angle, J. S., Broadhurst, C. L., Peters, C. A., Tappero, R. V., & Sparks, D. L. (2007). Improved understanding of hyperaccumulation yields commercial phytoextraction and phytomining technologies. *Journal of Environmental Quality*, 36(5), 1429–1443. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0514>
32. Ghosh, M., & Singh, S. P. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(1), 1–18.
33. 1 (United Nations Environment Programme). (2016). *Global Environment Outlook*. Nairobi, Kenya: UNEP.