



Akuatik Makrofitlerde Ağır Metal Akümülayonu

Muhittin DOĞAN

Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 27310, GAZİANTEP

*Sorumlu Yazar

e-posta: doganm@gantep.edu.tr

Geliş Tarihi : 30 Nisan 2011

Kabul Tarihi : 21 Temmuz 2011

Özet

Akuatik makrofitler ağır metalleri sudan alarak bünyelerinde akümüle ederler. Makrofitlerin ana grupları arasında metal akümülayon kapasitelerinin farklı olduğu bilinmektedir. Genel olarak submers makrofitlerin emers ve yüzücü yapraklı makrofitlere göre daha fazla ağır metal akümüle ettiği yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca ekolojik özelliklerine göre makrofitlerin kök, gövde, yaprak, çiçek ve tohumları arasında da metal akümülayon farklılıkları vardır. Şehirleşme, sanayileşme ve pestisit kullanımı gibi faktörler sulardaki metal kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Akuatik makrofitler bu kontaminantları kirlenmiş suların uzaklaştırıldığı için, onların kirlenmiş suların remediasyonundaki rolleri oldukça önemlidir.

Anahtar kelimeler: Akuatik makrofitler, ağır metal akümülayonu, fitoremediasyon

Heavy Metal Accumulation in Aquatic Macrophytes

Abstract

Aquatic macrophytes accumulate heavy metals by uptaking from water. It is known that metal accumulation capabilities among main groups of macrophytes are different. Conducted studies revealed that submerged macrophytes accumulate more heavy metal than emerged and floating-leaf macrophytes. Furthermore, according to ecological properties, there are accumulation differences among root, stem, leaf, flower and seeds of macrophytes. Factors such as urbanization, industrialisation and use of pesticides cause increase in heavy metal pollution in waters. As aquatic macrophytes remove the contaminants from polluted water, their roles in remediation of polluted waters are highly important.

Key words: Aquatic macrophytes, heavy metal accumulation, fitoremediasyon

GİRİŞ

İnsanlar yeryüzünde topluluklar halinde yaşamaya başladığından beri çevrelerini kirlletmeye, değiştirmeye ve var olan dengeleri bozmaya başlamıştır. Bu nedenle günümüzde tüm insanlığı tehdit eden çevre kirlenmesi problemi sanıldığı gibi 20. yüzyılda ortaya çıkmış olmayıp, ilk şehirlerin kurulup atıkların sulara boşaltılmasıyla başlayan bir olgudur. Kısacası insanın ekolojik dengeyi etkilemesiyle birlikte kirlenme olayı da başlamıştır.

Metaller çevremizde doğal olarak bulunmaktadır. Su kütlelerinde bulunan metaller doğal ve antropojenik sebeplerden kaynaklanmaktadır [1]. Aşırı miktardaki endüstriyel aktivite nedeniyle çevredeki ağır metal kontaminasyonu önemli bir sorun haline gelmiştir [2]. Lağım veya kentsel kompostlar, pestisit ve gübre kullanımı, belediyelere ait atıklar, araba ekzozları, madencilik atıkları ve metal eriten endüstriler nedeniyle geniş alanlar Zn, Cd, Pb ve Cu gibi ağır metallerle kontamine olmaktadır.

Akuatik makrofitler nehirler gibi akarsularda ve göller gibi durgun sularda yaşayan tohumlu ve tohumuz bitkileri

kapsamaktadır. Bu makrofitler yaşadıkları ortamın ekolojik özelliklerine göre 3 farklı ana gruba ayrılmışlardır. Bunlar (i) kıyıda kök ve gövdesinin belirli bir kısmı su içerisinde yetişenler emers tipi makrofitler, (ii) kökleri sedimente bağlı yaprakları yüzücü makrofitler ve tüm morfolojik organları suda serbest yüzen makrofitler ile (iii) tamamen su altında yaşayan (bazı türlerde genaratif organlar su üstünde olabilir) yaşayan submers tipi makrofitler olmak üzere gruplandırılmaktadırlar.

Cd, Hg, As ve Pb gibi ağır metaller önemli çevre kirleticilerindedir ve düşük konsantrasyonlarda bile toksiktirler. Makrofitlerin direkt ve dolaylı olarak sulardaki ağır metal döngüsünde önemli rolleri vardır [3]. Ağır metallerin sucul makrofitler tarafından akümülayonu bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [4-7]. Salt ve ark. [8] *Eichhornia crassipes*, *Hydrocotyle umbellata*, *Lemna minor* ve *Azolla pinnata*, gibi bazı sucul makrofitlerin Pb, Cu, Cd, Fe and Hg gibi ağır metalleri kontamine olmuş çözeltilerden yapılarına aldıklarını rapor etmiştir.

Bu derlemede, laboratuvar ve doğal alanlarda yapılan araştırmalara dayanarak sucul makrofitlerin ağır metal akümülayon düzeyleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Akuatik Makrofitlerde Ağır Metal Translokasyonu ve Akümülyasyonu

Bitkiler metalleri kendi dokuları içinde translokasyon yeteneğine sahiptirler. Submers bitkilerle yapılan çalışmada akropetal translokasyonun basipetal translokasyondan daha fazla olduğu belirtilmiştir [8]. Buna ek olarak metallerin translokasyon özelliklerinde de farklılıklar vardır. Örneğin bazı metaller (Cd gibi) oldukça mobil olmalarına rağmen diğerleri (Pb gibi) alımın bölgelerinde kaldığı belirtilmiştir [9].

Elementlerin translokasyonu muhtemelen apoplastik olarak ksilem ve floem yoluyla olmaktadır [8]. Submers makrofitlerde kökler tarafından absorbe edilmiş metallerin translokasyonu için önemli olduğu inanılan bir akropetal su translokasyonu da vardır. *Potamogeton pectinatus* ve *Elodea canadensis* gibi bazı submers makrofitlerde suyun önemli miktarda taşınması ksilemde olmasına karşın, diğerlerinde apoplastik su translokasyonu olduğu ileri sürülmüştür [10].

Artan dış metal konsantrasyonu ile birlikte hücre duvarındaki artan metal miktarları göstermiştir ki hücre duvarı fraksiyonlarındaki metal akümülyasyonu hücre içi konsantrasyondan çok dış ortamın dengesine bağlıdır. Metallerin hücre içi akümülyasyonu tüm organellerde olasıdır. Ancak metallerin esas depolandığı organel vakuoldür. Plazma membranı, taşıyıcılar ve iyon pompaları, iyon selektif kanallar gibi transport sistemleri metallerin hücre içine alınmasında önemlidir [11,12].

Bütün bitki kısımları metalleri direkt olarak akümüle etmelerine karşın, dokulardaki metal konsantrasyonu bitki türleri ve dokuları arasında farklılıklar gösterir. *P. natans*'in yaprakları gövdelerine kıyasla daha fazla konsantrasyonlarda Zn, Cu, Cd ve Pb akümüle etmiştir. Bu farklar muhtemelen yapraklardaki organik içeriğinin gövdelere kıyasla daha yüksek olmasından dolayı olmuştur. Ancak katyon değişim kapasitesi (KDK) gövde ve yapraklarda benzerdir. *E. canadensis*'te KDK ve metal akümülyasyonu köklerde sürgünlerden daha yüksektir [13]. Makrofitlerin ağır metal akümülyasyon kapasiteleri yaşadıkları sucul ortama göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar ilişkide oldukları ortamın (su, sediment) fiziko-kimyasal parametreleri ile makrofitin morfolojik ve anatomik yapısı gibi etmenler tarafından tayin edilmektedir.

Emers tipi makrofitlerde metal akümülyasyonu

Emers tipi makrofitlerin kök, gövde ve yaprak, süğün gibi kısımlarında metal akümülyasyon kapasitelerinde farklılıklar vardır. Emers tipi makrofitlerden *Alisma plantago-aquatica*, *Sagittaria sagittifolia*, *Juncus effusus*, *Lythrum salicaria* ve *Phalaris arundinacea* Pb, Cd, Zn ve Cu gibi ağır metalleri sürgünlerine kıyasla yüksek derişimlerde köklerinde akümüle ettikleri belirlenmiştir [14]. Benzer şekilde Pb akümülyasyonu için *Mentha aquatica* ve *Nasturtium officinale* [15] ve *Thypha latifolia* [16], Cu akümülyasyonu için yine *T. latifolia*'da [17,18] toprak altı kısımlarda toprak üstü kısımlara nazaran yüksek derişimlerde metal akümülyasyonları rapor edilmiştir. Scholes ve ark. [19] yaptıkları çalışmada *T. latifolia*'nın toplandığı alanın metal yüksek olmadığını belirlemelerine rağmen köklerdeki yüksek akümülyasyonun metallerin biyolojik olarak elverişli olmasından dolayı olabileceğini ileri sürmüşlerdir. *T. latifolia*'nın yüksek derişimlerde köklerinde toprak üstü kısımlarına göre metal akümüle etmesi bu makrofitin köklerinin metal stabilizasyonunda etkin olduğunu gösterebilir.

Yüzücü yapraklı makrofitlerde metal akümülyasyonu

Serbest yüzücü yapraklı makrofitlerden *Lemna minor*'ün frondlarında yüksek derişimlerde Pb ve Cd akümüle ettiği rapor edilmiştir [20]. Ayrıca yüzücü yapraklı makrofitlerden *E. crassipes* ve *Spirodela polyrhiza*'de yüksek konsantrasyonlarda metal akümüle edebildiği rapor edilmiştir [21-23]. Serbest yüzücü makrofitler emers tipi makrofitlere göre (örneğin *Thypha* sp. gibi) daha hızlı büyür ve daha kolay hasat edilebilmektedir. Ayrıca bünyelerinde yüksek derişimlerde metal biriktirebilme özelliklerinin de olması bu makrofitlerin ağır metalle kontamine olmuş suların remediasyonu için uygun bitkiler olabileceği sonucuna varılabilir [22].

Submers makrofitlerde metal akümülyasyonu

Sulak alanlardan toplanan submers makrofitlerin kök ve sürgünlerinde yüksek derişimlerde metal akümüle ettiği bulunmuştur (Fritioff ve Greger, 2001). Metalle kontamine olmuş sulardan toplanan submers makrofitlerden *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum brasiliense* ve *Hippuris vulgaris*'in de yapılarında yüksek derişimlerde metal akümüle ettiği rapor edilmiştir [20,25-27]. Doğal ortamlarda sucul makrofitlerin metalleri kökleriyle alıp, sürgünlere taşıdığı belirtilir [28]. Arazi çalışmalarına göre, metal iyonlarının alım bölgeleri bitki türüne ve metal çeşidine göre farklılıklar göstermektedir [29,30]. *P. pectinatus* ile yapılan bir çalışmada bu makrofitin metali direkt olarak sürgünlerden aldığı bulunmuştur [8]. *P. natans* ve *E. canadensis*'in ve olasılıkla diğer submers makrofitlerinde metalleri sudan direkt sürgünleriyle alıyor olması, bunların kirlenmiş sulardaki metallerin remediasyonunda kullanılabileceği sonucunu ortaya çıkarabilir.

Sucul makrofitlerin metal akümülyasyonlarının karşılaştırılması

Sucul makrofitler buldukları ortamdan dikkate değer düzeylerde metalleri yapılarına aldıkları bilinmektedir. Gerek arazi çalışmaları gerekse laboratuvar ve sera şartlarında yapılan araştırmalar sucul makrofitlerin metal akümülyasyon düzeylerinin farklı olduğunu göstermiştir. Saygideger ve Dogan [27] Seyhan Nehrinden toplanan makrofitlerdeki metal akümülyasyon düzeylerini araştırdıkları bir çalışmada submers makrofitlerin (*P. crispus*, *P. pectinatus* ve *M. spicatum*) emers tipi makrofitlere göre (*T. latifolia* ve *P. australis*) yapılarında daha fazla miktarlarda Pb, Cd, Cu ve Zn akümüle ettiklerini belirlemişlerdir (Tablo 1). Benzer bulgular birçok araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir. Stankovic ve ark. [31] Provala Gölü'nün dominant makrofitlerindeki metal konsantrasyonlarını belirlemek için yaptıkları bir çalışmada submers makrofitlerden *M. spicatum* ve *C. demersum*'ün yüzücü yapraklı makrofitlerden *Nymphoides flava*'ya kıyasla yapılarında yüksek miktarlarda metalleri (Cu, Cd, Pb, Zn gibi) akümüle ettiklerini bulmuşlardır.

Metallerin akümülyasyonu sucul makrofitlerin ana grupları arasında farklılıklar göstermesinin yanında bu makrofitlerin dokuları arasında da farklılıklar göstermektedir. Cardewell ve ark. [6] farklı 13 sucul makrofit türünün kök, gövde/rizom ve yaprakları arasındaki Cd, Pb, Zn ve Cu akümülyasyon miktarlarını karşılaştırmışlardır (Tablo 2). Sonuçlar dikkatle incelendiğinde, Cu, Pb ve Cd akümülyasyonlarının sırasıyla kök>gövde/rizom>yaprak şeklinde olduğu görülebilir. Zn akümülyasyonun ise gövde/rizom>yaprak>kök şeklinde olduğu bulunmuştur. Genellikle bitki dokularının metal

Tablo 1. Seyhan nehrinden (Adana) toplanan makrofit ve sedimentteki bazı ağır metallerin düzeyleri [27]

Makrofit	Ağır metal düzeyleri (mg/kg kuru ağırlık)			
	Pb	Cd	Cu	Zn
<i>T. latifolia</i>	2.3 - 9.3	0.07 - 0.71	2.4 - 23.6	38.1 - 198.1
<i>P. australis</i>	1.8 - 6.1	0.03 - 0.19	3.9 - 15.8	51.2 - 160.2
<i>P. crispus</i>	3.5 - 4.3	0.12 - 0.31	4.7 - 14.3	168.7 - 391.3
<i>P. pectinatus</i>	5.7 - 16.8	0.11 - 0.71	7.3 - 19.7	125.1 - 423.0
<i>M. spicatum</i>	5.3 - 33.5	0.18 - 1.64	9.6 - 28.7	175.0 - 526.4

Tablo 2. Farklı 13 akuatik makrofitin dokularındaki bazı ağır metallerin akümülyasyon düzeyleri [6]

Makrofit kısımları	Ağır metal düzeyleri (mg/kg kuru ağırlık)			
	Pb	Cd	Cu	Zn
Kök	46 - 68	1.43 - 3.63	37.4 - 153.4	0 - 398
Gövde/rizom	4.58 - 10.8	0.13 - 0.87	4.1 - 31.3	0 - 718
yaprak	5.69 - 15.1	0.11 - 0.85	1.9 - 45.9	38 - 532

akümülyasyon oranları kök>gövde>yaprak şeklinde olduğu bilinmektedir. Benzer şekilde, Saygideger ve Dogan [15] *M. aquatica*'nın dokularındaki Pb akümülyasyon oranlarının da kök>gövde>yaprak şeklinde olduğu belirlenmiştir.

SONUÇ

Hızlı şehirleşme, sanayileşmenin artışı ve yoğun pestisit kullanımı çevremizde ağır metal kontaminasyonunu artırmaktadır. Sucul makrofitler, kontamine olmuş sulardan dikkate değer düzeylerde metalleri bünyelerine alarak akümüle edebilme yeteneğine sahiptirler. Bu tür kirleticilerin bitkiler tarafından ortamdan uzaklaştırılması ya da etkilerinin azaltılması son zamanlarda popüler bir uygulama haline gelmiştir (Fitoremediasyon). Nitekim ülkemizde de bazı kurum ve kuruluşlar benzer çalışmalara yönelmişlerdir. Gerek doğaya dost olması gerekse düşük maliyetli olması nedeniyle metallerin ortamdan arındırılmasında bu tür sulak alan bitkileri başarılı bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca bu makrofitlerin çevrelerindeki metallerin kirlilik seviyelerini yansıtmaları nedeniyle indikatör organizmalar olarak da kullanılabilirlerdir.

KAYNAKLAR

- [1] Novotny, V., (1995) Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters , In. W. Salamons, U. Förstner, P. Mader (Eds.) Heavy metals problems and solutions pp32-52.
- [2] Bewley, R.J.F., (1980) Effect of heavy metal pollution on oak leaf microorganism, *App. Enviro. Microbiol.*, 40:1053-1059.
- [3] St-Cyr, L., Campbell, P.G.C, Guertin, K., (1994) Evaluation of the role of submerged plant beds in the budget of a fluvial lake. *Hydrobiologia*, 291:141-156.
- [4] Manny, B.A., Nichols, G.J., Schloesser, D.W., (1991) Heavy metals in aquatic macrophytes in drifting in a large river. *Hydrobiologia*, 219:333-344.

- [5] Samecka-Cymerman, A., Kempers, A.J., (1996) Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macrophytes around Wroclaw, Poland. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 35: 242-247.
- [6] Cardwell, A.J., Hawker, D.W., Greenway, M., (2002) Metal accumulation in aquatic macrophytes from Southeast Queensland, Australia. *Chemosphere*, 48:653-663.
- [7] Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, N.P.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*, 13:468-472.
- [8] Greger, M., (1999) Metal availability and bioconcentration in plants. In: Prasad MNV, Hagemeyer J, Ed. Heavy Metal Stress in Plants-From Molecules to Ecosystems, Berlin Heidelberg, Germany, Springer Verlag, 1-27.
- [9] Welsh, R.P.H., Denny, P., (1979) The translocation of lead and copper in two submerged aquatic angiosperm species. *Journal of Experimental Botany*, 30:339-345.
- [10] Pedersen, O., Sand-Jensen, K., (1993) Water transport in submerged macrophytes. *Aquatic Botany*, 44:385-406.
- [11] Marschner, H., (1995) Mineral nutrition of higher plants, second edition. Academic press, Harcourt Brace and Company, Publishers, Cambridge, Great Britain.
- [12] Perfus-Barbeoch, L., Leonhardt, N., Vavasseur, A., Forestier, C., (2002) Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status. *The Plant Journal*, 32:539-548.
- [13] White, P.J., Broadley, M.R., (2003) Calcium in Plants. *Annals of Botany* 92:487-511.
- [14] Fritioff, A., (2005) Metal accumulation by plants; evaluation of the use of plants in stormwater treatment., Printed by PrintCenter Stockholm University.
- [15] Saygideger, S., Dogan, M., (2005) Influence of pH on Lead Uptake, Chlorophyll and Nitrogen Content of *Mentha aquatica* L. and *Nasturtium officinale* R.Br. *J. Environ. Biol.*, 26(4), 753-759.
- [16] Saygideger, S., Dogan, M., Keser, G., (2004) Effect of Lead and pH on Lead Uptake, Chlorophyll and Nitrogen Contents of *Typha latifolia* L. and *Ceratophyllum demersum* L. *Int. J. Agric. Biol.*, 168-172.
- [17] Taylor, G.J., Crowder, A.A., (1983) Uprake and accumulation of heavy metals by *Typha latifolia* L. in wetlands of Sudbury, Ontario region. *Canadian Journal of Botany*, 61:63-73.
- [18] Demirors Saygideger, S., Dogan, M., Gultekin, Z.G., (2009) Effects of copper on amounts of photosynthetic pigments, nitrogen and free proline in the aquatic macrophyte *Typha latifolia* L. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(5):543-548.
- [19] Scholes, L., Shutes, R.B.E., Revitt, D.M., Forshaw, M., Purchase, D., (1998) The treatment of metals in urban runoff by constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 214:211-219.
- [20] Saygideger, S., Dogan, M., (2004) Lead and Cadmium Accumulation and Toxicity in the Presence of EDTA in *Lemna minor* L. and *Ceratophyllum demersum* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 73:182-189.
- [21] Sharma, S.S., Gaur, J.P., (1995) Potential of Lemna polyrrhiza for removal of heavy metals. *Ecological Engineering*, 4:37-43.

- [22] Debusk, T.A., Laughlin, R.B., Schwartz, L.N., (1996) Retention and compartmentalization of lead and cadmium in wetland microcosms. *Water Research*, 30:2707-2716.
- [23] Zayed, A., Gowthaman, S., Terry, N., (1998) Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality* 27:715-721.
- [24] Fritioff, A., Greger, M., (2001) Submersed plant species for removal of copper, zinc and lead from stormwater. Abstract, ICOBTE, 6th International Congress on Biogeochemistry of Trace Elements, Guelph.
- [25] Rai, U.N., Sinha, S., Tripathi, R.D., Chandra, P., (1995) Waste water treatability potential of some aquatic macrophytes: removal of heavy metals. *Ecological Engineering*, 5:5-12.
- [26] Qian, J.-H., Zayed, A.M., Zhu, Y.L., Yu, M., Terry, N., (1999) Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: III. Uptake and accumulation of ten trace elements by twelve plant species. *Journal of Environmental Quality*, 28:1448-1455.
- [27] Saygideger, S., Dogan, M., (2005) Variation of Lead, Cadmium, Copper and Zinc in Aquatic Macrophytes from the Seyhan River, Adana, Turkey. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 74:545-551.
- [28] Jackson, L.J., (1998) Paradigms of metal accumulation in rooted aquatic vascular plants. *The Science of the Total Environment*, 219:223-231.
- [29] Welsh, R.P.H., Denny, P., (1980) The uptake of lead and copper by submerged aquatic macrophytes in two English lakes. *Journal of Ecology*, 68:443-455.
- [30] Szymanowska, A., Samecka-Cymerman, A., Kempers, A.J., (1999) Heavy metals in three lakes in West Poland. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 43:21-29.
- [31] Stankovic, Z., Pjevic, S., Vuckovic, M., Stojanovic, S., (2000) Concentrations of trace metals in dominant aquatic plants of the Lake Provala (Vojvodina, Yugoslavia). *Biol. Plantarum*, 43:583-585.