

ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

ERKEN FİDE EVRESİNDEKİ BAZI MISIR ÇEŞİTLERİNİN AĞIR METAL (KADMIYUM VE KURŞUN) STRESİNE KARŞI DAYANIKLILIĞININ ARAŞTIRILMASI

Beycan AYHAN¹, Yasemin EKMEKÇİ², Deniz TANYOLAÇ³

ÖZ

Bu araştırmada, mısır (*Zea mays* L.)'ın bazı çeşitlerine (DK626, DK743, Doge, Luce, Vero, 31G98, 3223 ve 32D99) ait tohumlar erken fide evresinde farklı konsantrasyonlarda Cd (0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4mM) ve Pb (0, 1, 2, 4 ve 6mM) uygulamalarına 8 gün maruz bırakılmıştır. Çeşitlerin çimlenme yüzdelerinde önemli bir inhibisyon gözlenmezken, koleoptil ve kök uzunluklarındaki azalma önemli bulunmuştur. Tüm çeşitlerin kök nispi büyüme hızının artan Pb konsantrasyonu ile azaldığı, ancak bu etkinin Cd stresinde sadece Doge çeşidinde önemli olduğu belirlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda uygulanan Cd ve Pb'un, mısır çeşitlerinin kök ve koleoptil su içerikleri üzerinde genel olarak önemli bir etkisi gözlenmezken sadece yüksek Pb (6mM) konsantrasyonunda DK626 ve Vero çeşitlerinin kök, 32D99 ve Vero çeşitlerinin ise koleoptil su içeriğinde kontrole göre önemli azalış tespit edilmiştir. Kök uzunluklarında meydana gelen inhibisyonların kontrole göre % oranları belirlenerek yapılan sınıflandırmaya göre dayanıklı çeşitlerin Cd için 32D99, Pb için Vero, daha az dayanıklı çeşidin ise her iki metal içinde 3223 olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Mısır (*Zea mays* L.), Kadmiyum, Kurşun, Büyüme parametreleri, Dayanıklılık.

INVESTIGATION OF THE TOLERANCE TO HEAVY METAL (CADMIUM AND LEAD) STRESS OF SOME MAIZE CULTIVARS AT EARLY SEEDLING STAGE

ABSTRACT

In this research, the seeds of some cultivars (DK626, DK743, Doge, Luce, Vero, 31G98, 3223 and 32D99) of maize (*Zea mays* L.) at early seedling stage were exposed to different concentrations of Cd (0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4mM) and Pb (0, 1, 2, 4 and 6mM) applications for 8 days. While significant inhibition in the percentage of germination was not observed, the decrease in the length of roots and coleoptile was found to be significant. Relative root growth rate of all cultivars was decreased with increasing Pb concentration, however, this effect was found to be significant only in Doge cultivar under Cd stress. While different concentrations Cd and Pb did not significantly affect water contents of root and coleoptile of maize cultivars, root water content of DK626 and Vero and coleoptile water content of 32D99 and Vero were decreased at only highly toxic Pb concentration (6mM). In reference to the classification based on inhibition (%) in the length of the roots with respect to control treatment, the cultivars tolerant to Cd and Pb was determined as 32D99 and Vero respectively, and less tolerant cultivar for both heavy metals was 3223.

Keywords: Maize (*Zea mays* L.), Cadmium, Lead, Growth parameters, Tolerance.

¹Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Beytepe, 06800, Ankara.

²Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Beytepe, 06800, Ankara.

³Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06800, Ankara.

1.GİRİŞ

Kadmiyum (Cd^{+2}) ve kurşun (Pb^{+2}), canlı yaşamını olumsuz etkileyen toksik metallerdir. Doğal kaynaklarda bulunan ve belirli düzeylerde açığa çıkan bu metaller, özellikle bu yüzyılın başından itibaren artan endüstriyel faaliyetler, tarımsal faaliyetler ve taşıt kullanımı gibi insan aktiviteleri sonucunda yaygın ve tehlikeli hale gelmiştir (Sanità di Toppi ve Gabbrielli, 1999, Pinto vd., 2004, Benavides vd., 2005, Sharma ve Dubey, 2005, Wang vd., 2006).

Toprakta bulunan Cd ve Pb'un yüksek konsantrasyonları özellikle tarla bitkilerinin büyüme ve gelişmesini etkileyerek, ürün veriminin ve tüketilebilir olma özelliğinin (sağlık açısından) azalmasına neden olmaktadır (Wang vd., 2006, Zheljazkov vd., 2006). Bitkiler, gelişimleri için gerekli olmamasına rağmen, aldıkları Cd ve Pb'u organlarında çeşitli konsantrasyonlarda biriktirmektedirler. Dokularda biriken bu metaller, besin zinciri yolu ile -besin zincirinin her basamağında miktarı daha da artarak- diğer canlılara geçmekte ve insan sağlığını tehdit edecek toksik düzeye ulaşmaktadır. İnsan beslenmesinde önemli rolü olan bitkilerin, bu metalleri ne kadar biriktirdikleri ve ne ölçüde zarar gördüklerinin tespiti sağlık açısından oldukça önemlidir. Bitkinin türüne göre değişmekle birlikte, belli bir konsantrasyondan sonra Cd ve Pb alınımı, bitkilerde çeşitli zararlara yol açmaktadır. Yapılan bir çok araştırmada Cd ve Pb toksisitesinin bitkilerde, tohum çimlenmesinde inhibisyon, kök-gövde uzamalarında ve ağırlıklarında azalma (Lagrifoul vd., 1998, Mishra ve Choudhari, 1998, Obroucheva vd., 1998, Çatak vd., 2000, Munzuroğlu ve Geçkil, 2002, Verma ve Dubey, 2003, Dunbar vd., 2003, Kıran ve Munzuroğlu, 2004, Kıran ve Şahin, 2005, Peng vd., 2005), pigment miktarında azalma (Öncel vd., 2000, Macfarlane ve Burchett, 2001), fotosentetik birimlerde zarar ve fotokimyasal aktivitede azalma (Sanità di Toppi ve Gabbrielli, 1999, Chugh ve Sawhney, 1999, Sarvari vd., 2002), enzim aktivitelerinde değişiklik (Verma ve Dubey, 2003, Zacchini vd., 2003), membran yapısında ve geçirgenliğinde değişiklik (Kocheva vd., 2004), hücre bölünmesinde inhibisyon (Eun vd., 2000, Yang vd., 2000, Kıran ve Şahin, 2005), mineral madde alınımı ve kullanımındaki değişimler (Lagrifoul vd., 1998, Paivoke, 2002), aktif oksijen türlerinin artması (Verma ve Dubey, 2003, Cho ve Seo, 2004) gibi olumsuzluklara neden olduğu bildirilmiştir.

Bitkiler, metallerin alınmalarını engelleyecek ya da alınan metale tolerans (dayanım) göstermelerini sağlayabilecek bazı savunma mekanizmalarına sahiptirler. Bunlar: Organik asitler ve karbonhidratların rizosfere salınıp metal alınımının azaltılması, alınan metallerin aminoasit, ferritin, metalotiyinin ve fitoşelatin gibi moleküllerle kompleks yaparak hücre duvarları ve vakuol gibi metabolik yollardan uzak bölgelerde biriktirilmesi, antioksidant enzim aktivitelerinin ve antioksidant moleküllerinin miktarlarının arttırılması, hücre membranlarının onarılmasıdır (Prasad vd., 2001, Hall, 2002, Verma ve Dubey, 2003, Zacchini vd., 2003, Benavides vd., 2005).

Ligandlar ağır metal toleransında çok önemli rol oynayan moleküllerdir. Merkez metal atomuna ve iyonuna elektron çifti verebilen moleküller ligand olarak adlandırılırlar. Metaller, iki ya da daha fazla liganda bağlanarak şelat dediğimiz yapıları oluştururlar. Canlılarda da ligand rolü oynayan bir çok molekül vardır ve bu moleküllerin ağır metallerle şelatlaşması ağır metal konsantrasyonunu dolayısıyla da ağır metal zararını azaltmaktadır. Baker vd., (2000), ligandları elektron verici merkezlerine göre oksijen verici ligandlar (malat, sitrat, okzalit vb.), azot verici ligandlar (bazı amino asit ve türevleri) ve sülfür verici ligandlar olarak gruplandırmışlardır. Metalotiyoninler ile fitoşelatinler (farklı yoldan sentezlenmelerine ve bazı yapısal farklılıklarına rağmen bir çok kaynak tarafından metalotiyoninlerin bir sınıfı olarak kabul edilirler) bitkilerde ağır metal zararlarının giderilmesinde rol oynayan en önemli sülfür verici ligandlardır. Ağır metaller, enzimlerin ve yapısal proteinlerin sülfüdril gibi elektron verici bölgeleriyle etkileşerek hücre ölümlerine neden olurlar (Van Assche ve Clijters, 1990; Kneer ve Zenk, 1992). Metalotiyoninler ve fitoşelatinler sahip oldukları sülfüdril gurupları ile metallere bağlanmakta, böylece metal zararının azalmasına neden olmaktadır. Bu ligandlara bağlanan metaller vakuole taşınmakta ve çeşitli şekillerde biriktirilmiştir (Cobett, 2000)

Son yıllarda artan Cd ve Pb kirlenmesi, Türkiye için de önemli bir sorun haline gelmektedir. Özellikle tarım için ayrılmış topraklarda bu metallerin birikimi, insan beslenmesinde önemli yeri olan buğday, arpa ve mısır gibi tarım bitkilerinde önemli ürün kayıplarına neden olabilmektedir. Mısır, Türkiye'de buğday ve arpadan sonra en geniş ekim alanına sahip bir tarla bitkisidir (Şahin, 2001). Türkiye'de toplam ekilebilir alanların %39.5' i tahıl tarımına ayrılmıştır ve bunun %3.9' unu mısır bitkisi teşkil etmektedir. 2005 yılında 800 bin hektar alana mısır ekilmiş, 3.5 milyon ton üretim sağlanmış ve verim 4375 kg olmuştur (Anonim, 2005). Mısır önemli bir besin kaynağıdır ve Türkiye'de yetişen mısır çeşitleri üzerinde metallerin etkisini araştıran çalışmalar az sayıdadır. Bu araştırmada; erken fide evresinde uygulanan Cd ve Pb konsantrasyonlarının bazı mısır çeşitleri üzerindeki etkisinin saptanması ve çeşitlerin gördüğü zararlar tespit edilerek bu gelişim evresinde çeşitlerin Cd ve Pb ağır metallerine karşı dayanıklılık derecelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Bitki Materyalleri ve Deneme Koşulları

Araştırmada, mısır (*Zea mays* L.)'ın DK626, DK743, Doge, Luce, Vero, 31G98, 3223 ve 32D99 çeşitlerine ait tohumlar kullanılmıştır. Uygulanacak ağır metal konsantrasyonları ön çalışmalarla belirlenmiş ve buna göre Cd için 0 (kontrol), 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 mM konsantrasyonlarda $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ çözeltileri ve Pb için 0 (kontrol), 1.0, 2.0, 4.0 ve 6.0 mM konsantrasyonlarda $Pb(NO_3)_2$ çözeltileri hazırlanmıştır. Tohumlar, sterilizasyonu için %30'luk ticari sodyum

hipoklorit (NaOCl) çözeltisi ile 20 dakika muamele edilmiş ve daha sonra distile su ile en az 5 kere yıkanarak hazırlanan ağır metal çözeltilerinde 24 saat süre ile şişirilmiştir. Şişirme işleminden sonra tohumlar çimlendirme kaplarına alınmıştır. Çimlendirme için boyutları 20 x 13.5 x 8 cm olan plastik kaplar kullanılmıştır. Çimlendirme kaplarına ilk olarak çimlendirme kağıdı yerleştirilmiş ve üzerine konan filtre kağıtlarına 20ml metal çözeltisi (kontrol için distile su) homojen şekilde emdirilmiştir. Birbirlerine eşit uzaklıkta yerleştirilen bitki tohumlarının üzerleri tekrar bir filtre kağıdı ile örtülmüş ve bu filtre kağıdı da 10ml çözelti (kontrol için distile su) ile ıslatılmıştır. Bu işlemlerin ardından tohumlar $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de, karanlık koşullarda 96 saat (4 gün) çimlenmeye bırakılmıştır. 4. gün bitiminde tohumların üstündeki filtre kağıdı alınarak, kontrollere sadece distile su, diğer gruplara ise her metalin farklı konsantrasyondaki çözeltileri yeniden uygulanmış ve fideler $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 16saat gündüz /8 saat gece fotoperiyotta ve $250 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ışık şiddetinde 4 gün daha büyümeye bırakılmıştır. Büyümenin 8. gününde deneme sonlandırılmıştır.

2.2. Ölçüm ve Analizler

2.2.1. Fide kök ve koleoptil uzunluğu

Her uygulama için üç tekrardan 5 bitki olmak üzere toplam 15 bitkinin kök boğazından koleoptil ucuna ve kök boğazından kök ucuna kadar olan uzunlukları ölçülerek sırası ile koleoptil uzunluğu (cm.fide^{-1}) ve kök uzunluğu (cm.fide^{-1}) belirlenmiştir.

Ayrıca büyümenin 4. ve 8. günlerinde ölçülen kök uzunlarından, gerçek (mutlak) ve nispi büyüme hızları sırasıyla, cm.gün^{-1} ve cm/cm.gün^{-1} olarak aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır (Costa França vd., 2000' dan değiştirilmiştir):

$$\text{Gerçek (Mutlak) büyüme hızı} = (ku_2 - ku_1) / t_2 - t_1 \quad (2.1)$$

$$\text{Nispi büyüme hızı} = (\ln ku_2 - \ln ku_1) / t_2 - t_1 \quad (2.2)$$

Bu eşitliklerde;

ku_1 : 4. günde ölçülen kök veya koleoptil uzunlukları (cm)

ku_2 : 8. günde ölçülen kök veya koleoptil uzunlukları (cm)

t_1 : 4 (gün)

t_2 : 8 (gün)

ln: e tabanına göre logaritma

değerlerini ifade etmektedir.

Dayanıklı mısır çeşitlerinin belirlenmesi amacı ile her bir metal konsantrasyonu için çeşitlerin kök uzunluklarındaki kontrollerine göre yüzde azalma değerleri belirlenmiştir. Uygulamalarda kök uzunluklarında en az inhibisyon gören çeşide 8 puan, en çok inhibisyon

görülen çeşide 1 puan verilmiş ve diğer çeşitlere de gördükleri zarara göre 2-7 arasında puan verilerek değerlendirme yapılmıştır. Çeşitlerin uygulanan farklı metal konsantrasyonlarında aldıkları puanlar toplanmış ve bu toplam puanlara göre çeşitler dayanıklılık derecelerine göre sınıflandırılmıştır.

2.2.2. Fide kök ve koleoptil su içeriği

Çeşitlerin kök ve koleoptilleri kesilerek parçalara ayrılmış ve her uygulama için taze ağırlıkları (TA) g/bitki olarak tespit edildikten sonra bu kısımlar, 80°C 'ye ayarlanmış etüvde 48 saat tutularak kurutulmuş ve kuru ağırlıkları (KA) g/bitki olarak belirlenmiştir.

Bitkilerin kök ve koleoptil su içerikleri aşağıdaki formülle % olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Su içeriği (\%)} = [(Taze ağırlık - Kuru ağırlık) / Taze ağırlık] \times 100 \quad (2.3)$$

2.3. İstatistiksel Analizler

Denemeler, rasgele deneme deseninde 3 tekrarlı olacak şekilde düzenlenmiş, her tekrardan alınan 5 fide ile toplam 15 ($n = 3 \times 5$) fideden elde edilen verilerin istatistiksel varyans analizleri SPSS paket programı kullanılarak test edilmiştir. Her bir bağımsız değişken için uygulama ve çeşitler arasındaki farkın ö-nem kontrolü Anlamlı Önemli Fark (AÖF) %5 düzeyinde hesaplanmıştır (Yurtsever, 1984).

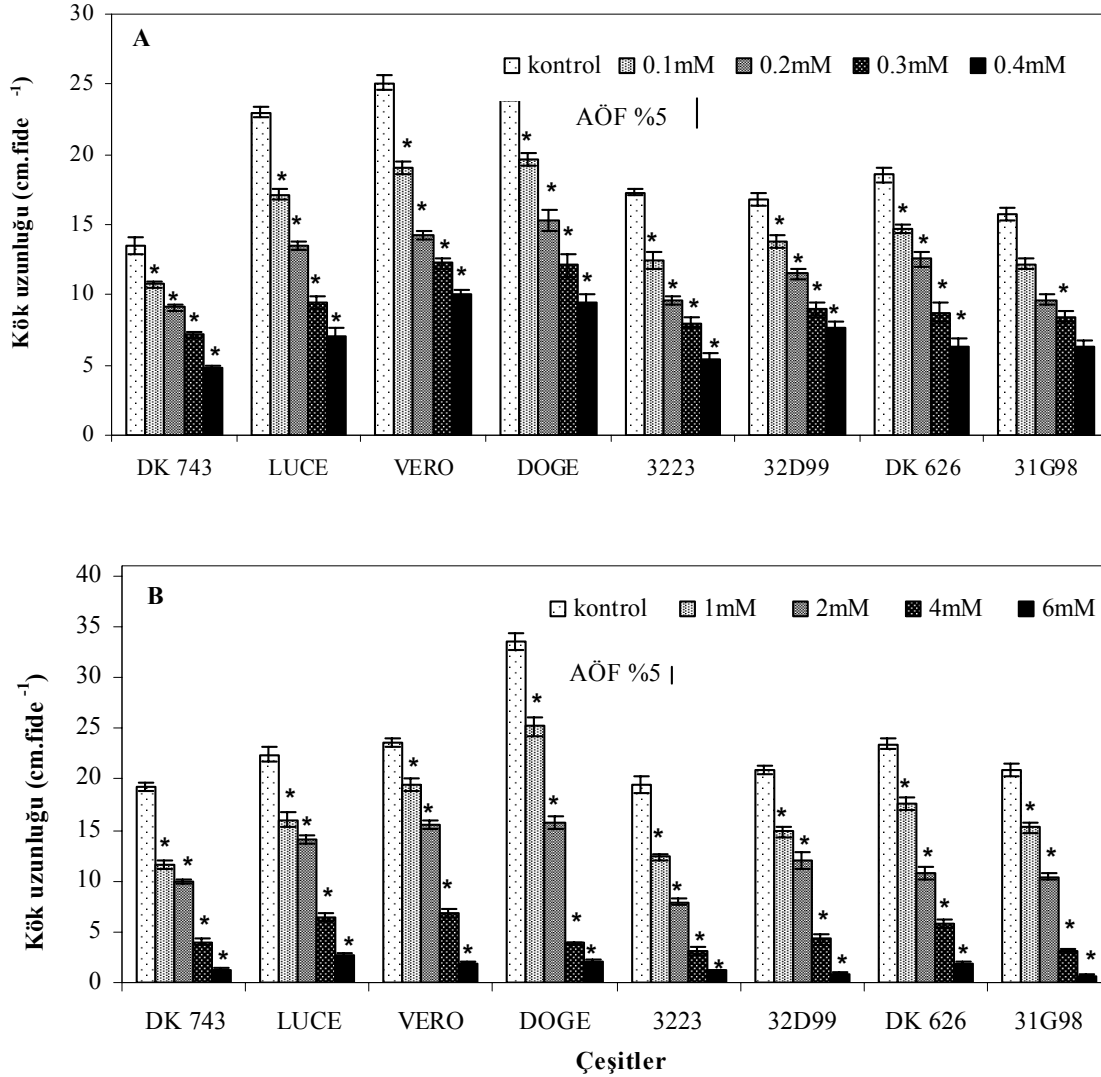
3. BULGULAR

3.1. Cd ve Pb Metallerinin Çimlenme ve Erken Fide Gelişim Evresindeki Mısır Çeşitleri Üzerine Etkisi

Uygulanan Cd ve Pb konsantrasyonlarının, mısır çeşitleri üzerindeki etkisi ve dayanıklı çeşit ve/veya çeşitlerin belirlenmesi amacı ile tohumlar farklı konsantrasyonlarda Cd ve Pb çözeltilerinde şişirilmiş ve çimlendirilmiştir. Cd ve Pb konsantrasyonlarının artışına bağlı olarak çeşitlerin çimlenme yüzdesinde 4. gün sonunda önemli bir değişim olmadığı görülmüştür (%80-90 çimlenme). Çimlenmeden sonraki erken gelişim evresinde ise artan Cd ve Pb konsantrasyonlarına bağlı olarak çeşitlerin koleoptil ve kök büyümelerinde önemli inhibisyonlar tespit edilmiştir. Metal konsantrasyonunun artışına bağlı olarak köklerdeki inhibisyonun, koleoptildeki inhibisyona oranla daha belirgin bir şekilde arttığı saptanarak çeşitler arasında önemli farklar olduğu bulunmuştur.

3.1.1. Kök büyümesi üzerine etkisi

Uygulanan Cd ve Pb'un farklı konsantrasyonlarının, 8 günlük mısır çeşitlerinin kök uzunluklarına etkisi incelendiğinde, konsantrasyon artışına bağlı olarak tüm çeşitlerin kök uzunluğunun önemli derecede ($P \leq 0.05$) azaldığı görülmüştür (Şekil 1A ve B).



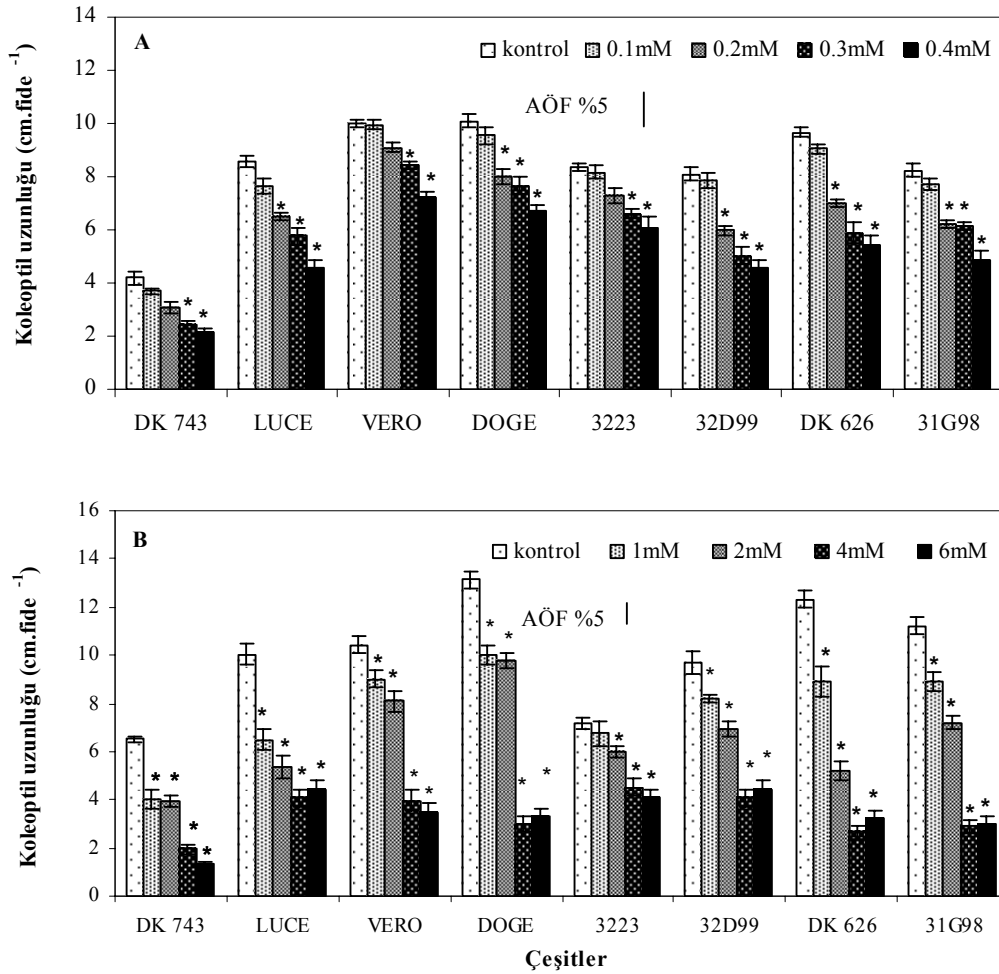
Şekil 1. Farklı konsantrasyonlarda uygulanan Cd (A) ve Pb (B) ağır metallerinin erken fide evresindeki mısır çeşitlerinin kök büyümesi üzerine etkisi. Grafikteki sütunlar üzerindeki barlar \pm standart hata değerlerini, * ise çeşitlerin kök uzunluğundaki değişimin kontrole göre $P \leq 0.05$ düzeyinde önemli olduğunu göstermektedir.

Erken fide evresinde tüm mısır çeşitlerinin kök uzunluklarının kontrole göre %50 ve üzeri inhibisyona uğradığı konsantrasyon aralığı; Cd için 0.2-0.4mM, Pb için ise 1-4mM olmuş ve Cd'nin Pb'ye göre çok daha toksik olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle her iki metal için uygulanan konsantrasyon aralığı aynı tutulmamıştır.

Uygulanan yüksek Cd konsantrasyonunda (0.4mM), kök büyümesinin en az etkilendiği 32D99, Vero ve 31G98 çeşitlerinin kök uzunluklarındaki inhibisyon kontrole göre sırası ile yaklaşık %55, %60 ve %60 olurken, kök büyümesinin en fazla etkilendiği 3223 ve Luce çeşitlerinde ise sırası ile %70 ve %71'e ulaşan inhibisyon görülmüştür. Yüksek Pb konsantrasyonunda (6mM) ise Luce, Vero ve DK626 çeşitlerinin kök uzunlukları kontrole göre yaklaşık %88, %92 ve %92 oranında inhibe olurken, 32D99 ve 31G98 çeşitlerinin kök uzunluklarında sırası ile %96 ve %97 inhibisyon tespit edilmiştir.

3.1.2. Koleoptil büyümesi üzerine etkisi

Koleoptil uzunluklarında da kontrole göre önemli derecede azalma görülmüştür ancak, bu azalmanın köklerdeki inhibisyona oranla daha az olduğu saptanmıştır. Düşük Cd konsantrasyonu (0.1mM) hariç, diğer Cd konsantrasyonlarında çeşitlerin koleoptil uzunluklarında kontrole göre önemli düzeyde inhibisyon görülürken, Pb uygulamalarının tümünde artan metal konsantrasyonu bağlı olarak çeşitlerin koleoptil uzunluklarında, kontrole göre önemli derecede azalma meydana gelmiştir (Şekil 2A ve B). Ancak yüksek Pb konsantrasyonunda (6mM) çeşitlerin koleoptil uzunluklarında kontrole göre önemli oranda azalma görülmesine rağmen, bir önceki uygulama ile kıyaslandığında (4mM) önemli bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 2A ve B).



Şekil 2. Farklı konsantrasyonlarda uygulanan Cd (A) ve Pb (B) ağır metallerinin erken fide evresindeki mısır çeşitlerinin koleoptil büyümesi üzerine etkisi. Grafikteki sütunlar üzerindeki barlar ± standart hata değerlerini, * ise çeşitlerin koleoptil uzunluğundaki değişimin kontrole göre $P \leq 0.05$ düzeyinde önemli olduğunu göstermektedir.

Uygulanan yüksek Cd konsantrasyonunda (0.4mM); Vero ve 3223 çeşidinin koleoptil uzunluğu kontrole göre yaklaşık %28-29 azalırken, 32D99, Luce ve DK743 çeşitlerinde azalma sırasıyla %43, %47, %49 olmuştur. Buna karşın uygulanan yüksek Pb konsantrasyonunda (6mM), 3223 çeşidinin koleoptil uzunluğu kontrole göre yaklaşık %43 azalırken, bu oran Doge çeşidinde %75'e, DK743 çeşidinde %80'e ulaşmıştır.

3.1.3 Gerçek ve nispi kök büyüme hızı üzerine etkisi

Tüm mısır çeşitlerinde, uygulanan Cd ve Pb konsantrasyonlarında gerçek ve nispi kök büyümesi, zamana bağlı olarak da incelenmiştir (Tablo1 ve 2). Büyümenin 4. ve 8. gününde ölçülen kök uzunlukları ile hesaplanan bu değerlerden, Cd ve Pb ağır metal uygulamalarında tüm mısır çeşitlerinin kök gerçek büyüme hızının artan metal konsantrasyonuna bağlı olarak kontrole göre önemli düzeyde azaldığı saptanmıştır. Nispi büyüme hızındaki azalma bitkilerin fizyolojik performansları hakkında bilgi vermektedir. Uygulanan metal konsantrasyonlarının artışına bağlı olarak, çimlenmenin 4 ve 8. günleri arasındaki tüm çeşitlerin kendi içlerindeki büyüme hızı nispi büyüme

hızı ile açıklanabilir. Artan Pb konsantrasyonuna bağlı olarak tüm çeşitlerin kök nispi büyüme hızının, kontrollerine göre önemli derecede etkilendiği tespit edilmiştir. Buna karşın Cd uygulamalarının, Doge çeşidi hariç, mısır çeşitlerinin nispi kök büyüme hızlarına önemli bir etkisi olmadığı saptanmıştır. Cd uygulamasında, çeşitlerin kök nispi büyüme hızındaki değişimin önemli derecede olmaması; bu çeşitlerde kök büyümesindeki inhibisyon etkisinin ilk dört gün içinde görüldüğünü ve zamana bağlı olarak (4 ve 8. gün arasında) her bir uygulama için benzer bir büyüme cevabı sergilemiş olabileceğini düşündürmektedir.

3.1.4. Kök ve koleoptil su içeriği üzerine etkisi

Uygulanan Cd konsantrasyonlarının, mısır çeşitlerinin kök ve koleoptil su içerikleri üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır (Şekil 3A ve Şekil 4A). Pb uygulamasında genel olarak mısır çeşitlerinin su içeriklerinde önemli derecede bir etkisi gözlenmezken sadece yüksek Pb (6mM) konsantrasyonunda DK626 ve Vero çeşitlerinin kök su içeriğinde kontrole göre sırası ile %24 ve %14, 32D99 ve Vero çeşitlerinin ise koleoptil su içeriğinde kontrole göre sırası ile %25 ve %12 azalış tespit edilmiştir (Şekil 3B ve 4B).

Tablo 1. Erken fide evresinde Cd stresinin mısır çeşitlerinin kök gerçek ve nispi büyüme hızı üzerine etkisi.

Çeşitler	Gerçek Büyüme Hızı (cm.gün ⁻¹)					Nispi Büyüme Hızı (gün ⁻¹)				
	Cd Konsantrasyonları (mM)									
	0(kontrol)	0.1	0.2	0.3	0.4	0(kontrol)	0.1	0.2	0.3	0.4
DK 743	29.8±1.49	23.65±0.88	19.98±0.66	15.5±0.62	10.33±0.58	0.545±0.0271	0.565±0.038	0.546±0.028	0.545±0.047	0.540±0.045
Luce	43.0±0.94	30.6±1.05	23.60±0.81	16.52±0.11	12.28±1.46	0.344±0.0059	0.313±0.0097	0.302±0.010	0.306±0.02	0.325±0.043
Vero	44.13±0.14	32.98±0.98	24.48±1.04	21.03±1.09	16.43±0.86	0.305±0.0078	0.295±0.067	0.294±0.015	0.289±0.011	0.270±0.014
Doge	45.42±0.92	34.35±1.00	25.52±1.84	18.83±1.89	14.37±1.42	0.349±0.0077	0.304±0.013	0.274±0.014	0.243±0.021	0.232±0.018
3223	34.18±0.94	24.9±1.54	18.33±0.76	15.42±0.90	10.3±1.12	0.396±0.016	0.403±0.019	0.367±0.017	0.393±0.031	0.410±0.067
32D99	32.6±1.31	27.43±1.19	22.23±1.23	16.58±1.77	14.28±1.56	0.380±0.018	0.397±0.017	0.383±0.028	0.367±0.049	0.351±0.037
DK 626	35.43±1.52	28.13±0.92	24.30±1.42	16.60±1.79	11.95±1.13	0.366±0.017	0.363±0.012	0.381±0.025	0.428±0.074	0.399±0.049
31G98	31.73±1.16	24.53±1.06	19.03±0.80	16.68±1.15	12.18±1.12	0.416±0.018	0.417±0.019	0.399±0.021	0.413±0.037	0.389±0.041
AÖF%5	3.48					AÖF%5	0.09			

*Her bir değer üç tekrarlı 5 fidenin (n=15) ortalaması ve bunların standart hatalarıdır ((SH ±).

Tablo 2. Erken fide evresinde uygulanan Pb stresinin mısır çeşitlerinin kök gerçek ve nispi büyüme hızı üzerine etkisi.

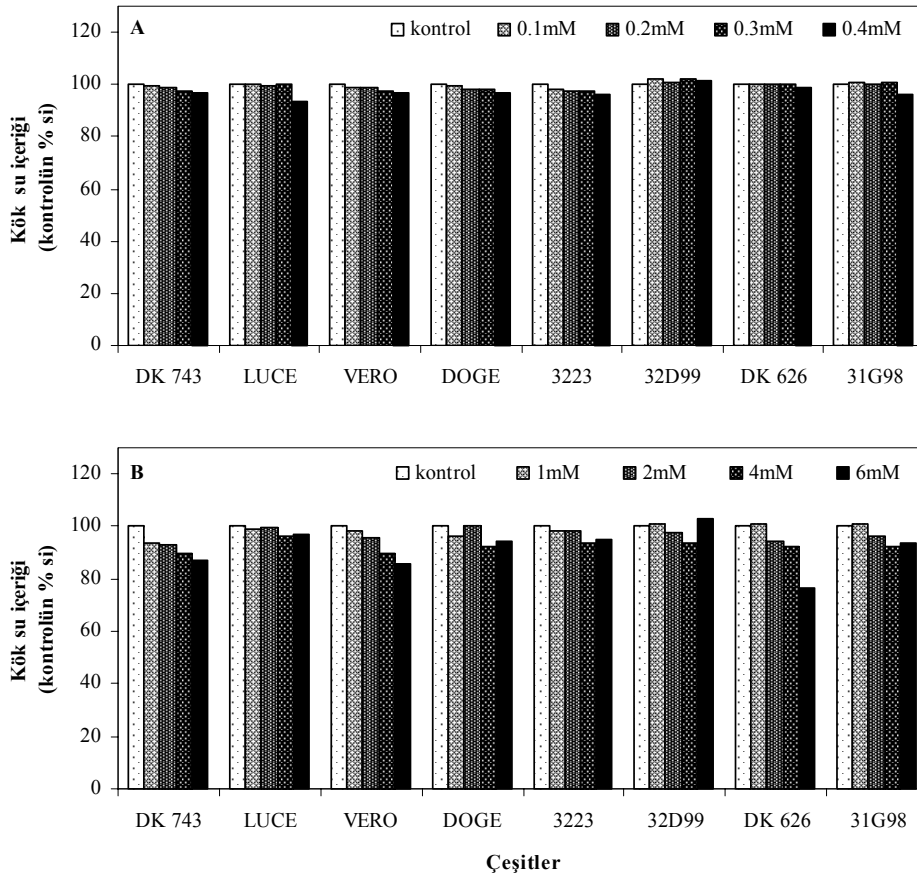
Çeşitler	Gerçek Büyüme Hızı (cm.gün ⁻¹)					Nispi Büyüme Hızı (gün ⁻¹)				
	Pb Konsantrasyonları (mM)									
	0(kontrol)	1	2	4	6	0(kontrol)	1	2	4	6
DK 743	42.42±1.34	23.03±0.99	20.60±0.71	7.36±0.83	2.18±0.33	0.542±0.025	0.405±0.022	0.450±0.020	0.349±0.041	0.284±0.033
Luce	44.57±1.64	31.05±1.93	27.05±0.96	10.82±1.23	3.92±1.05	0.396±0.007	0.373±0.017	0.369±0.089	0.275±0.024	0.223±0.059
Vero	47.53±1.18	38.83±1.59	31.13±1.14	13.20±1.26	2.90±0.35	0.413±0.099	0.407±0.017	0.403±0.013	0.396±0.045	0.293±0.043
Doge	67.57±2.06	51.17±2.42	30.05±1.55	4.31±0.57	2.20±0.55	0.412±0.096	0.419±0.016	0.359±0.012	0.149±0.019	0.144±0.031
3223	40.60±1.78	25.43±1.08	17.10±0.72	6.17±1.08	2.05±0.21	0.452±0.012	0.44±0.025	0.513±0.020	0.371±0.050	0.307±0.031
32D99	44.05±1.18	31.18±1.24	24.53±1.91	8.02±1.25	1.30±0.18	0.464±0.014	0.468±0.021	0.435±0.022	0.376±0.055	0.235±0.035
DK 626	50.38±1.16	37.75±1.60	21.03±1.54	9.63±1.05	2.21±0.46	0.491±0.013	0.494±0.018	0.384±0.021	0.272±0.021	0.174±0.037
31G98	44.37±1.70	33.05±1.05	20.43±0.79	4.88±0.62	0.87±0.17	0.485±0.022	0.507±0.009	0.391±0.013	0.266±0.031	0.178±0.026
AÖF%5	3.57					AÖF%5	0.08			

*Her bir değer üç tekrarlı 5 fidenin (n=15) ortalaması ve bunların standart hatalarıdır (SH ±).

Tablo 3. Farklı konsantrasyonlardaki Cd ve Pb uygulamalarında, mısır çeşitlerinin kök uzunluklarında görülen kontrole göre % azalma ve buna bağlı olarak verilen puanlar.

Çeşitler	Cd					Pb				
	Konsantrasyona göre % azalma ve puanlar					Konsantrasyona göre % azalma ve puanlar				
	0.1mM	0.2mM	0.3mM	0.4mM	Toplam puan	1mM	2mM	4mM	6mM	Toplam puan
DK743	20.7(6)*	32.8(6)	46.0(6)	64.7(4)	22	40.0(1)	48.5(5)	79.3(5)	93.2(5)	16
Luce	25.4(2)	41.4(3)	59.1(1)	69.2(1)	7	28.6(4)	37.5(7)	71.4(7)	88.3(8)	26
Vero	24.1(3)	43.1(2)	51.2(4)	60.1(6)	15	17.6(8)	33.8(8)	70.7(8)	91.9(7)	31
Doge	18.7(7)	36.8(5)	50.1(5)	61.0(5)	22	24.7(7)	52.9(3)	88.5(2)	94.1(3)	15
3223	27.8(1)	44.4(1)	53.9(2)	68.6(2)	6	36.5(2)	59.4(1)	83.7(3)	94.0(4)	10
32D99	17.5(8)	31.5(8)	46.5(7)	54.7(8)	31	29.2(3)	42.9(6)	79.7(4)	95.8(2)	15
DK626	20.5(5)	32.4(7)	52.7(3)	65.7(3)	18	25.2(6)	54.3(2)	75.6(6)	92.0(6)	20
31G98	22.7(4)	38.8(4)	46.4(8)	59.6(7)	23	26.9(5)	50.3(4)	85.5(1)	96.8(1)	11

*Parantez içindeki rakamlar % azalmaya göre verilen puandır.



Şekil 3. Farklı konsantrasyonlarda uygulanan Cd (A) ve Pb (B) ağır metallerinin erken fide evresindeki mısır çeşitlerinin kök su içeriği (%) üzerine etkisi.

3.1.5. Dayanıklı mısır çeşit ve/veya çeşitlerin belirlenmesi

Metal stresine dayanıklı çeşit ve/veya çeşitlerin belirlenmesinde, ağır metal uygulamasından en fazla etkilenen parametre olan kök uzunluklarındaki değişim esas alınmıştır. Dayanıklı mısır çeşitlerinin belirlenmesi amacı ile her bir metal konsantrasyonu için çeşitlerin kök uzunluklarındaki kontrollerine göre yüzde azalma değerleri ve buna bağlı olarak belirlenen puanlama Tablo 3' de verilmiştir.

Artan metal konsantrasyonlarına bağlı olarak kontrole göre kök uzunluğunun en fazla etkilendiği çeşit her iki metal için 3223 olarak belirlenmiştir. En az etkilenen çeşit olarak ise Cd stresi için 32D99, Pb stresi için ise Vero olarak saptanmıştır.

4. TARTIŞMA

Kadmiyum ve kurşun, bitki büyüme ve gelişmesi için gerekli elementler olmayıp, çok tehlikeli çevresel kirleticilerdir. Cd ile kirlenmemiş toprak çözeltilerinin 0.04–0.32 mM arasında Cd içerdiği, ancak kirlenmiş topraklarda da bu konsantrasyonun 0.32–1mM arasında değiştiği bildirilmiştir (Wagner, 1993, Sanità di Toppi ve Gabrielli, 1999). Buna karşın, Pb ile kirlenmiş toprakların 1.9-3.9 mM arasında Pb içerdiği ve endüstriyel alanlarda bu konsantrasyonun 4.8 mM' a ulaştığı bildirilmiştir (Angelone ve Bini, 1992).

Kadmiyum ve kurşun stresi bitkilerde genel olarak benzer zararlara yol açmasına rağmen bu zararların dereceleri arasında büyük fark vardır. Stohs ve Bagchi (1995)'e göre, metallerin farklı toksisite göstermeleri; su içindeki çözünürlükleri, absorblanabilmeleri, iletimleri ve kimyasal reaksiyonlara girme yatkınlıklarındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Birçok araştırmacı, metallerin tohum çimlenmesi ve fidelerin erken büyümesi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir (Obroucheva vd., 1998, Prasad vd., 2001, Munzuroğlu ve Geçgil, 2002, Chatterjee ve Chatterjee, 2003, Lin vd., 2003, An, 2006). Bu çalışmada Cd ve Pb stresi uygulanmış tüm çeşitler ve kontrol grupları 4 gün içerisinde (%80-90) çimlenmişlerdir. Artan metal konsantrasyonlarına bağlı olarak çeşitlerin çimlenme davranışlarında önemli bir fark görülmemiştir. An, (2004)'ün yaptığı araştırmada uygulanan yüksek Cd konsantrasyonunun, mısır tohumlarının çimlenme yüzdesi üzerine etkili olmadığı bildirilmiştir. Bunun yanısıra Wierzbicka ve Obidzińska (1998), Pb ile şişirilen mısır tohumlarını histokimyasal yöntemler ile inceleyerek, tohumlardaki Pb dağılımını tesbit etmişlerdir. Pb⁺² iyonlarının tohum kabuğunda tutunarak embriyoya ulaşmadığını ve tohum çimlenmesi üzerinde inhibisyona neden olmadığını bildirmişlerdir.

Çimlenmeden sonraki erken gelişim evresinde artan Cd ve Pb konsantrasyonlarına bağlı olarak çeşitlerin koleoptil ve kök büyümelerinde, kontrole göre önemli farklılıklar saptanmıştır (Şekil 1. ve 2 A, B). Erken fide evresinde çeşitlerin kök uzunluklarındaki

inhibisyonlar karşılaştırıldığında Cd'un Pb'a göre çok daha toksik olduğu tespit edilmiştir. Erken fide evresinde tüm mısır çeşitlerinin kök uzunluklarının kontrolüne göre %50 ve üzeri inhibisyona uğradığı konsantrasyon aralığı; Cd için 0.2-0.4mM, Pb içinse 1-4mM olmuştur (Şekil 1 A, B). Munzuroğlu ve Geçkil (2002) yaptıkları çalışmada, *Triticum aestivum* ve *Cucumis-sativus* bitkilerine ait çeşitleri erken fide evresinde farklı konsantrasyonlarda Hg, Cd, Co, Cu, Pb ve Zn stresine maruz bırakmışlar ve her iki bitkide de Cd'un Pb oranla kök uzunluklarında daha fazla inhibisyona neden olduğunu tespit etmişlerdir.

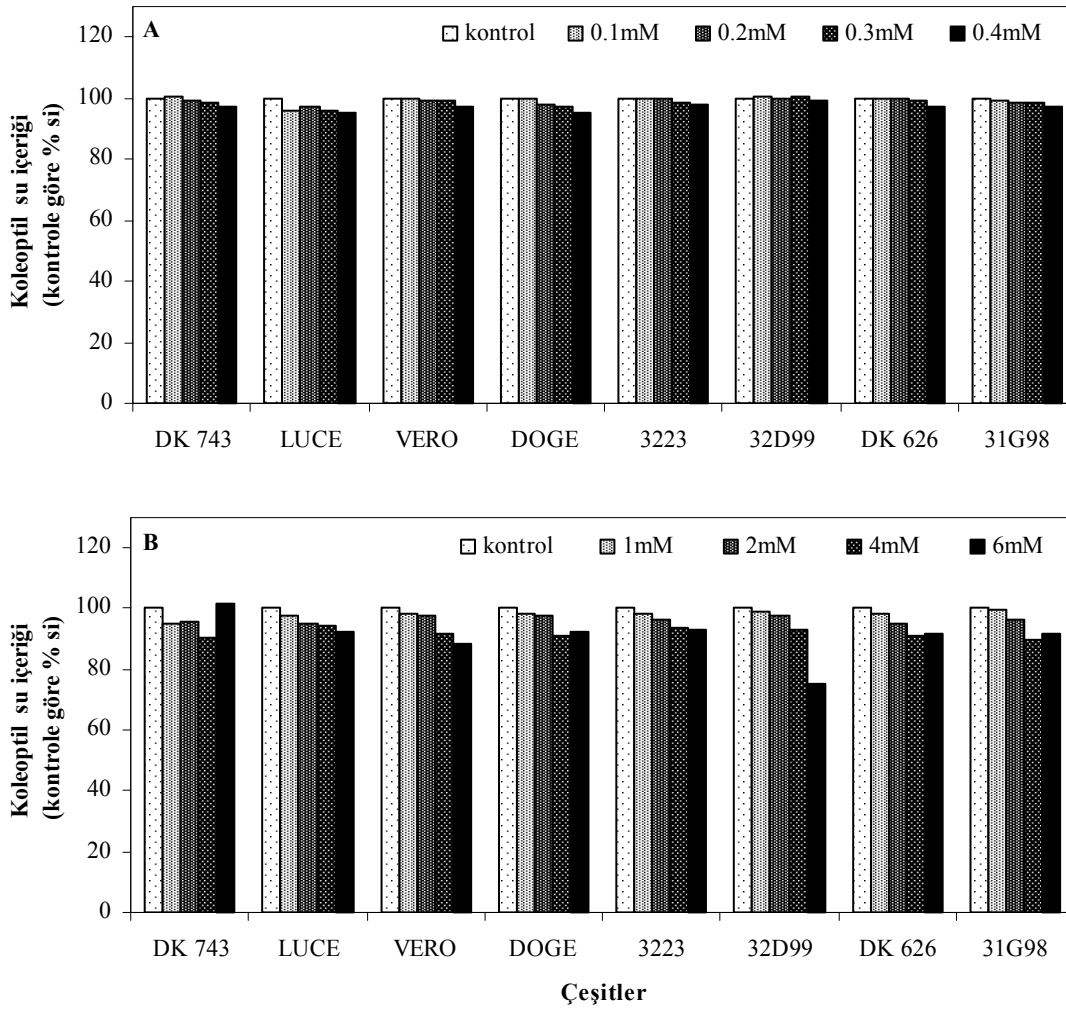
Schützendübel vd. (2001), Cd stresine karşı bitkilerde görülen en hassas ve en hızlı fizyolojik tepkinin kök uzunluğundaki inhibisyon olduğunu bildirmişlerdir. Bitkiler diğer elementler gibi Cd ve Pb'u da genelde kökleri aracılığı ile alırlar. Kökler, ağır metal stresine ilk maruz kalan bölgeler olması nedeniyle, en hızlı yanıtın verildiği ve en fazla zararın görüldüğü bitki kısmıdır (Tester ve Leigh, 2001, Verma ve Dubey, 2003). Bu nedenle, çalışmada dayanıklı çeşidin belirlenmesinde parametre olarak kök uzunluğundaki değişim esas alınmıştır. Kök uzunluğu inhibisyonunun en az olduğu mısır çeşidinin Pb stresi için Vero, Cd için ise 32D99 çeşidi olduğu belirlenirken, her iki metal içinde en fazla kök inhibisyonuna uğrayan çeşidin 3223 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). Pb stresinde, Vero çeşidinin kök uzunluğundaki inhibisyon artan Pb konsantrasyonuna bağlı olarak kontrole göre sırası ile %18, %34, %71, %92 olurken, 3223 çeşidinde kök uzunluğu inhibisyonu %36, %59, %84, %96 olarak bulunmuştur. Cd stresinde, 32D99 çeşidindeki kök uzunluğundaki azalma artan Cd konsantrasyonuna bağlı olarak kontrole göre sırası ile, %17, %32, %47, %55 olurken 3223 çeşidindeki azalma %28, %44, %54, %69 olarak tespit edilmiştir.

Kadmiyum ve Pb'un, bitki gelişimi için gerekli olan bazı elementlerin alınımını ve/veya kullanımını etkilediği bilinmektedir. Toprakta ve bitkide bulunan Cd ve Pb konsantrasyonunun artması, bitkinin K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn gibi besin elementlerini almasını ve/veya kullanmasını olumsuz yönde etkilemektedir (Walker vd., 1977, Haussling vd., 1988, Clarkson ve Lutge, 1989, Godbold ve Kettner, 1991, Rivetta vd., 1997, Sharma ve Dubey, 2005). Metallerin bitkilerde özellikle Ca kullanımını engellemesi üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Pb ve Cd'un hücre içine iletim yollarından biri, başta Ca kanalı olmak üzere hücre zarında bulunan katyon kanallarıdır (Marshall vd., 1994, Huang vd., 1994, Rivetta vd., 1997). Pb'un, hücre zarından hücre içine geçişinde Ca kanallarını kullanması bu kanalların aktivitelerini olumsuz etkilemektedir (Huang ve Cunnigham, 1996). Haussling vd. (1988), köklerde Ca konsantrasyonunun azalmasının hücre bölünmesi ve uzamasının inhibisyonuna neden olabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca Pb'un kök büyüme bölgelerine ulaşabildiği (Malkowski vd., 2002), burada meristem hücrelerinde mikrotübül organizasyonunun bozulmasına neden olduğu ve buna bağlı olarak hücre bölünmesini inhibe ettiği saptanmıştır

(Wierzbicka, 1994, Eun vd., 2000, Yang vd., 2000). Metallerin meristem bölgesini ulaşması ve bölünmeyi doğrudan inhibe etmesi kök uzamasındaki azalmanın ve köklerin hassasiyetinin temel nedeni olabilir. Diğer taraftan kök uzunluğundaki inhibisyon, Cd ve Pb konsantrasyonuna bağlı olarak, hücre içi potasyum miktarının değişmesi nedeniyle de olabilmektedir. Çünkü, potasyum hücre uzaması ve gelişmesi için gerekli bir elementtir (Claussen vd., 1997, Elumalai vd., 2002). Kochian (1995), kök uzunluğundaki inhibisyonu, kök hücrelerinin bölünmesinin aksamasından çok, bölünen yeni hücrelerin gelişmesinin inhibe olmasına bağlamaktadır.

Bu çalışmada, erken fide evresinde metal stresine maruz kalmış mısır çeşitlerinin kök uzunluğundaki inhibisyonunun, koleoptil uzunluğundaki inhibisyona oranla daha fazla olduğu da saptanmıştır (Şekil 1A, B ve Şekil 2 A, B). 6mM Pb uygulamasında, kök uzunluğundaki inhibisyon, tüm mısır çeşitlerinde %88-97 aralığında olurken, koleoptil uzunluğundaki inhibisyon %43-80 aralığında tespit edilmiştir. 0.4mM Cd uygulamasında ise, kök uzunluğundaki inhibisyon; %55-69 arasında değişirken, koleoptil uzunluğundaki inhibisyon %28-49 arasında bulunmuştur. Cd ve Pb stresinin mısır bitkisi üzerindeki etkisini araştıran diğer çalışmalarda köklerin, toprak üstü organlara göre daha fazla inhibisyona uğradığı tespit edilmiştir (Marschner, 1995; Malkowski vd., 2002; An, 2004). Koleoptilin Cd ve Pb stresinden köke oranla daha az etkilenmesi muhtemelen bu metallerin kökte birikmesi ve koleoptile daha az miktarda taşınmasından kaynaklanmış olabilir. Çalışmada, tüm mısır çeşitlerinde, Cd ve Pb konsantrasyonunun artışına bağlı olarak gerçek ve nispi kök büyümesi zamana bağlı olarak da incelenmiştir (Tablo 1 ve 2). Uygulanan Cd ve Pb stresine bağlı olarak, çimlenmenin 4. ve 8. günü arasında tüm çeşitlerin kendi içlerindeki büyüme hızları nispi büyüme hızı ile açıklanabilir. İnkübasyonun 4. ve 8. gününde ölçülen kök uzunlukları ile hesaplanan bu verilerde, tüm çeşitlerin kök nispi büyüme hızının artan Pb konsantrasyonuyla azaldığı, ancak bu etkinin Cd stresinde sadece Doge çeşidinde önemli olduğu belirlenmiştir. Tüm çeşitler için gerçek ve nispi büyüme hızları hesaplanırken metal uygulamasının 4. ve 8. gününde ölçülen kök uzunlukları esas alınmıştır. Uygulanan Cd konsantrasyonlarının Pb'a göre daha düşük olması nedeni ile çeşitlerin nispi büyüme hızının etkilenmemesi, Cd için alınan ilk ölçümün 4. gün yapılmasına bağlı olabilir. Buna bağlı olarak, nispi büyüme hızındaki yavaşlamanın ölçüm yapılmayan ilk 4 gün içinde belirgin olduğu ve sonraki günlerde bu etkinin gözlenemediği düşünülmektedir.

Uygulanan Cd konsantrasyonlarının, mısır çeşitlerinin kök ve koleoptil su içerikleri üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır (Şekil 3A ve Şekil 4A). Pb uygulaması ile mısır çeşitlerinin su içeriklerinde önemli bir değişim belirlenmezken, sadece yüksek Pb (6mM) konsantrasyonunda DK626 ve Vero çeşitlerinin kök su içeriğinde, ve 32D99 ve Vero çeşitlerinin ise koleoptil su içeriğinde kontrole göre önemli düzeyde azalma tespit edilmiştir (Şekil 3 B ve 4 B).



Şekil 4. Farklı konsantrasyonlarda uygulanan Cd (A) ve Pb (B) ağır metallerinin erken fide evresindeki mısır çeşitlerinin koleoptil su içeriği (%) üzerine etkisi.

Genel olarak Cd ve Pb stresinde her iki dokudaki (kök ve koleoptil) su içeriği % 85-90 arasında olup, bu durum bitki köklerinden suyun alınımının önemli ölçüde engellenmediğini göstermektedir. Su normal olarak alınsa bile içindeki çözülmüş metal konsantrasyonlarına bağlı olarak gerek kök gerekse koleoptil büyümesinde suyun kullanımı sınırlandırılmış olabilir. Erken fide gelişim evresinde metal stresine dayanıklı çeşitlerin belirlenmesinde; kök uzamasındaki (kontrolle göre) inhibisyona bağlı olarak belirlenen dayanıklılık dereceleri esas alınmıştır. Dayanıklı çeşit; Pb uygulaması için Vero, Cd uygulaması için ise 32D99 çeşid olduğu belirlenirken, her iki metal içinde en fazla kök inhibisyonuna uğrayan çeşidin 3223 olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, oldukça yaygın biçimde doğaya bırakılan ve canlılar üzerinde sadece toksik etkisi olan Pb ve Cd'un, dünya tahıl ekimi ve üretiminde, buğday ve pirinçten sonra üçüncü sırayı alan mısır bitkisi üzerindeki etkileri erken fide evresinde araştırılmıştır. Pb

ve Cd ağır metalleri artan konsantrasyonlarına bağlı olarak mısır çeşitlerinin büyüme ve gelişmesini önemli ölçüde inhibe etmiştir. Kökler ağır metallerle ilk ve en yoğun şekilde maruz kalan ve doğal olarak en hızlı yanıt verdiği bitki kısımlarıdır. Bu nedenle mısır çeşitlerindeki dayanıklılık dereceleri kök uzunluklarındaki inhibisyona bakılarak tespit edilmiştir. Pb stresine dayanıklı çeşit olarak Vero, Cd stresine dayanıklı çeşit olarak 32D99 çeşidi seçilirken, her iki ağır metal stresinden de en çok etkilenen mısır çeşidi 3223 olarak belirlenmiştir ancak uygulanan ağır metal konsantrasyonlarının yüksekliği göz önüne alınarak 3223 çeşidi için hassas çeşit yerine daha az dayanıklı çeşit ifadesinin kullanılmasının daha uygun olacağı kanısındayız. Bu araştırma sonucunda, erken fide evresinde Cd ve Pb ağır metallerine karşı dayanıklılıkları belirlenen çeşitlerin kök uzunluğundaki değişim kadar kök çapında ve yoğunluğunda meydana gelen değişikliklerin de incelenmesi, ve bunun yanı sıra farklı büyüme ve gelişme evrelerindeki dayanıklılıklarında, bazı fizyolojik ve biyokimyasal analizler ile taranarak belirlenmesi önerilmektedir.

Araştırmada kök uzunluğundaki inhibisyonun de-recesini anlayabilmek için 4. ve 8. günler arasındaki kök gerçek ve nispi büyüme hızları da incelenmiştir. Gerçek büyüme hızları kök uzunluğundaki inhibisyona bağlı olarak önemli oranda azalmıştır. Nispi büyüme hızında ise Pb konsantrasyonuna bağlı önemli bir azalış görülürken, Cd ağır metalinde nispi büyüme hızında önemli bir değişiklik saptanmamıştır. Cd'un çok toksik bir ağır metal olması, nispi büyüme hızındaki azaltıcı etkisini, ölçümün yapılmadığı ilk 4 gün içerisinde göstermiş olabileceğini akla getirmektedir. Bu nedenle nispi büyüme hızının hesaplanmasında bitki türü, uygulanan metal çeşidi ve konsantrasyonuna bağlı olarak en erken alınabilecek ölçüm günü ile son günde alınan değerlerin göz önüne alınması önerilmektedir.

Ağır metallere dayanıklı mısır çeşitlerinin belirlenmesi, onların tüketilebilir olduğu anlamına gelmemektedir, aksine dokulardaki ağır metal birikiminin artması insan ve hayvan sağlığı açısından tehlikeli bir durum oluşturmaktadır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarla, bitkinin çeşitli kısımlarında biriken metal miktarının tespit edilerek, insan ve diğer canlılar üzerindeki etkilerinin araştırılması önerilmektedir.

Birikime dayalı dayanıklılığın tespiti mısır çeşitlerinin üretime yönelik kullanılıp kullanılmayacağı yönündeki çalışmalara da ışık tutacaktır. Önerilen bu araştırma sonuçları tarıma ayrılan topraklarda mısır çeşitlerinin Cd ve Pb'un temizlenmesinde akümülatör bitki olarak kullanılma olasılığını da gündeme getirebilecektir.

KAYNAKLAR

- An, Y. (2004). Soil ecotoxicity assesment using cadmium sensitive plants. *Environ. Pollut.* 127, 21-26.
- An, Y. (2006). Assessment of comparative toxicities of lead and copper using plant assay. *Chemosphere* 62, 1359-1365.
- Angelone, M., ve Bini, C. (1992). Trace elements concentrations in soils and plants of western Europe. *Biogeochemistry of Trace Metals*, Ed: D.C., Adriano, pp. 19-60, Lewis Publishers, Boca Raton, London.
- Anonymous, (2005) Food ve Agricultere Organization of the United Nations (FAO) Statistical Databases, <http://www.fao.org>.
- Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D. ve Smith, J.A.C. (2000). Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Terry, N., and Banuelos, G., (eds.), Lewis, Boca Raton. pp. 85-107
- Benavides, M.P., Gallego, S.M. ve Tomaro, M.L. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17(1), 21-34.
- Chatterjee, J. ve Chatterjee, C. (2000). Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. *Environ. Pollut.* 109, 69-74.
- Cho, U. ve Seo, N. (2004). Oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation. *Plant Sci.* 168, 113-120.
- Chugh, L.K. ve Sawhney, S.K. (1999). Photosynthetic activities of *Pisum sativum* seedlings grown in presence of cadmium. *Plant Physiol. Bioch.* 37(4), 297-303.
- Clarkson, D.T. ve Luttge, U. (1989). Mineral nutrition. Divalent cations, transport and compartmentalization. *Prog. Bot.* 51, 93-112.
- Claussen, M., Lüthen, H., Blatt, M. ve Böttger, M. (1997). Auxin-induced growth and its linkage to potassium channels. *Planta* 201, 227-234.
- Cobbett, C.S. (2000). Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. *Plant Physiol.* 123, 825-832.
- Costa França, M.G., Pham-Thi, C.A.T., Pimentel, R.O.P., Rossiello, Y., Fodil, Z. ve Laffray, D. (2000). Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. *Environ. Exp. Bot.* 43, 227-237.
- Çatak, E., Çolak, G., Tokur, S., ve Bilgiç, O. (2000). Bazı domates ve tütün genotiplerinde kadmiyum etkilerini inceleyen istatistiksel bir çalışma. *B.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2(1).
- Dunbar, K.R., McLaughlin, M.J. ve Reid, R.J. (2003). The uptake and partitioning of cadmium in two cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). *J. Exp. Bot.* 54, 349-354.
- Elumalai, R.P., Nagpal, P., and Reed, J.W. (2002). A Mutation in the Arabidopsis *KT2/KUP2* Potassium Transporter Gene Affects Shoot Cell Expansion. *Plant Cell* 14, 119-131.
- Eun, S.O., Youn, H.S. ve Lee, Y. (2000). Lead distrxurbs microtubule organization in the root meristem of *Zea mays*. *Physiol. Plant.* 110, 357-365.
- Godbold, D.L. ve Kettner, C. (1991). Lead influences root growth and mineral nutrition of *Picea abies* seedlings. *J. Plant Physiol.* 139, 95-99.
- Hall, J.L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *J. Exp. Bot.* 53, 1-11.
- Hausling, M., Jorns, C.A., Lehmbecker, G., Hecht-Buchholz, C. ve Marschner, H. (1988). Ion and water uptake in relation to root development of

- Norway spruce (*Picea abies* L. Karst). *J. Plant Physiol.* 133, 486-491.
- Huang, J.W. ve Cunningham, S.D. (1996). Lead Phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New Phytol.* 134, 75-84.
- Huang, J.W., Grunes, D.L. ve Kochian, L.V. (1994). Voltage dependent Ca²⁺ influx into right-side-out plasma membrane vesicles isolated from wheat roots: characteristic of a putative Ca²⁺ channel. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 91, 3473-3477.
- Kıran, Y. ve Munzuroğlu, Ö. (2004). Mercimek (*Lens culinaris* Medik.) Tohumlarının Çimlenmesi ve Fide Büyümesi Üzerine Kurşunun Etkileri. *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 16, 1-9, 2004.
- Kıran, Y. ve Şahin, A. (2005). The effects of the lead on the seed germination, root growth, and root tip cell mitotic divisions of *Lens culinaris* medik. *G.U. Journal of Science* 18, 17-25.
- Kneer, R. ve Zenk, M.H. (1992). Phytochelatins protect plant enzymes from heavy-metal poisoning. *Phytochemistry* 31, 2663-2667.
- Kocheva, K. Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V. ve Karabaliev, M. (2004). Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry* 63, 121-124.
- Kochian, L.V. (1995). Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46, 237-260.
- Lagriffoul, A., Mocquot, B. Mench, M. ve Vangronsveld, J. (1998). Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.). *Plant Soil* 200, 241-250.
- Lin, J., Jiang, W. ve Liu, D. (2003). Accumulation of copper by roots, hypocotyls, cotyledons and leaves of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Bioresource Technol.* 86, 151-155.
- Macfarlane, G.R. ve Burchett, M.D. (2001). Photosynthetic Pigments and Peroxidase Activity as Indicators of Heavy Metal Stress in the Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Mar. Pollut. Bull.* 42, 233-240.
- Malkowski, E., Kita, A., Galas, W., Karcz, W. ve Kuperberg, J.M., (2002). Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium, *Plant Growth Regul.* 37, 69-76.
- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, pp. 299-312.
- Marshall, J., Corzo, A., Leigh, R.A. ve Sanders, D. (1994). Membrane potential-dependent calcium transport in right-side-out plasma membrane vesicles from *Zea mays* L. roots. *Plant J.* 5, 683-694.
- Mishra, A. ve Choudhari, M.A. (1998). Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. *Biol. Plant.* 41, 469-473.
- Munzuroğlu, O. ve Geckil, H. (2002). Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. *Arch. Environ. Con. Tox.* 43, 203-213.
- Obroucheva, N.V., Bystrova, E.I., Ivanov, V.B., Anupova, O.V. ve Seregin, I.V. (1998). Root growth responses to lead in young maize seedlings. *Plant Soil* 200, 55-61.
- Öncel, I., Keleş, Y. ve Üstün, A.S. (2000). Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings. *Environ. Pollut.* 107, 315-320.
- Paivoke, A.E.A. (2002). Soil lead alters phytase activity and mineral nutrient balance of *Pisum sativum*. *Environ. Exp. Bot.* 48, 61-73.
- Peng, H., Tian, S. ve Yang, X. (2005). Changes of root morphology and Pb uptake by two species of *Elsholtzia* under Pb toxicity. *Journal of Zhejiang University Science* 6B(6), 546-552.
- Pinto, A.P., Mota, A.M., de Varennes, A. ve Pinto F.C. (2004). Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Sci. Total Environ* 326, 239-247.
- Prasad, M.N.V., Malec, P., Waloszek, A., Bojko, M. ve Strzaka, K. (2001). Physiological responses of *Lemna trisulca* L. (duckweed) to cadmium and copper bioaccumulation. *Plant Sci.* 161, 881-889.
- Rivetta, A., Negrini, N. ve Cocucci, M. (1997). Involvement of Ca²⁺ calmodulin in Cd²⁺ toxicity during the early phases of radish (*Raphanus sativus* L.) seed germination. *Plant Cell Environ.* 20, 600-608.
- Sanità di Toppi, L. ve Gabbrielli, R. (1999). Response to cadmium in higher plants. *Environ. Exp. Bot.* 41, 105-131.
- Sarvari, E., Gaspar, L., Fodor, F., Cseh, E., Kropfl, K., Varga, A. ve Baron, M. (2002). Comparison of the effects of Pb treatment on thylakoid

- development in poplar and cucumber plants. *Acta Biol. Szeged* 46, 163-165.
- Schützendübel, A., Schwanz, P., Teichmann, T., Gross, K., Langenfeld-Heyser, R., Godbold, D.L. ve Polle, A. (2001). Cadmium-Induced Changes in Antioxidative Systems, Hydrogen Peroxide Content, and Differentiation in Scots Pine Roots. *Plant Physiol.* 127, 887-898.
- Sharma P. ve Dubey, R.S. (2005). Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17(1), 35-52.
- Stohs, S.J. ve Bagchi, D. (1995). Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. *Free Radical Bio. Med.* 18, 321-336.
- Şahin, S. (2001). Türkiye’de Mısır Ekim Alanlarının Dağılışı ve Mısır Üretimi. G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi 1, 73-90.
- Tester, M. ve Leigh, R.A. (2001). Partitioning of nutrient transport processes in roots. *J. Exp. Bot.* 52, 445-457.
- Van Assche, F. ve Clijsters, H. 1990, Effects of metals on enzyme activity in plants, *Plant Cell Environ.*, 13, 195-206.
- Verma S. ve Dubey R.S. (2003). Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Sci.* 164, 645-655.
- Wagner, G.J. (1993). Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Adv. Agron.* 51,173-212.
- Walker, W.M., Miller, J.E. ve Hassett, J.J. (1977). Effect of lead and cadmium upon the calcium, magnesium, potassium and phosphorus concentration in young corn plants. *Soil Sci.* 124, 145-151.
- Wang, G., Su, M.Y., Chen, Y.H., Lin, F.F., Luo, D. ve Gao, S.F. (2006). Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern. *China. Environ. Pollut.* 144(1), 127-35.
- Wierzbicka, M. (1994). Resumption of mitotic activity in *Allium cepa* root tips during treatment with lead salts. *Environ. Exp. Bot.* 34, 173-180.
- Wierzbicka, M. ve Obidzińska, J. (1998). The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Sci.* 137, 155-171.
- Yang, Y.Y., Jung, J.Y., Song, W.Y, Suh., H.S. ve Lee, Y. (2000). Identification of rice varieties with high tolerance or sensitivity to lead and characterization of the mechanism of tolerance. *Plant Physiol.* 124, 1019-1026.
- Yurtsever, N. (1984). Deneysel İstatistik Metotlar, T.C. Tarım, Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları. Yayın no:121, Teknik yayın no:56, Ankara, 183-220.
- Zacchini, M., Rea, E., Tullio, M. ve Agazio, M. (2003). Increased antioxidative capacity in maize calli during and after oxidative stress induced by a long lead treatment. *Plant Physiol. Bioch.* 41, 49-54.
- Zheljazkov, V.D., Craker, L.E. ve Xing B. (2006). Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. *Environ. Exp. Bot.* 58, 9-16.
- Yasemin EKMEKÇİ**, Hacettepe Üniversitesi, Biyoloji Bölümünden 1986 yılında mezun oldu. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı’nda 1989 yılında Bilim Uzmanlığı ve 1995 yılında Doktora çalışmalarını tamamlamıştır. Halen, Hacettepe Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Botanik Anabilim Dalı’nda doçent olarak görev yapan Yasemin Ekmekçi, bazı çevresel stres (düşük ve yüksek sıcaklık, kuraklık, herbisit ve ağır metal) faktörlerinin tarımsal bitkiler üzerine etkileri ve streslere karşı bitkilerde oluşturulan dayanma mekanizmaları üzerine çalışmaktadır.
- Beycan AYHAN**, 1970 yılında Ankara’da doğdu. 2003 yılında Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Bölümünden lisans, 2006 yılında yüksek lisans derecesi aldı ve aynı bölümde doktora eğitimine başladı. Araştırmacı halen Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalında Doktora eğitimi-ne devam etmektedir.
- Deniz TANYOLAÇ**, 1962 Ankara doğumludur. 1984’de Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur ve halen aynı Üniversitede Profesör kadrosunda öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk annesidir. Paramanyetik özelliğe sahip taşıyıcı destek materyallerinin hazırlanması ve bunların protein saflaştırılması, ağır metal adsorpsiyonu ve immobilize enzim çalışmalarında kullanılabilirliği, biyoayırma proseslerinde kullanılan mikroporoz afinite membranların hazırlanması ve uygulamaları ile sürekli annular kromatografi ile ayırma işlemleri gibi biyoteknoloji alanına giren konularda çalışmaktadır.