



Ecotoxicological effects of heavy metal stress on antioxidant enzyme levels of *Triticum aestivum* cv. Alpu

Ayşe AK ^{*1}, Ersin YÜCEL ¹

¹ Anadolu University, Science Faculty, Department of Biology, Eskişehir/Turkey

Abstract

Pollution caused by heavy metals is one of the factors that reduces yield and quality and affects all aspects of crop production negatively. Activation and induction of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) enzymes are one of the metal detoxification mechanisms in plants and it is important that combined effect of SOD and CAT enzymes are mitigating the effects of oxidative stress. In this study, ecotoxicological effects of cadmium, lead and cadmium+lead on antioxidant enzyme levels in wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Alpu) were investigated. As a result of different concentrations (100, 200 and 300 µM) applied heavy metals (cadmium, lead and cadmium + lead) has led to decreases in SOD and catalase enzyme activity. Heavy metal cadmium has the least impact on the activity of SOD and combined effect of heavy metals (cadmium + lead) was found to be more effective on the activity of catalase enzyme when compared to one by one application of cadmium and lead. In addition, effects of heavy metal depend on metal type and concentration on enzyme activities in wheat.

Key words: Antioxidant enzyme, Heavy metal, Catalase, SOD, Wheat

----- * -----

Triticum aestivum cv. Alpu buğday çeşidinde ağır metal stresinin antioksidan enzim seviyeleri üzerine ekotoksikolojik etkileri

Özet

Bitkisel üretimin tüm aşamalarını olumsuz etkileyen, verim ile kaliteyi düşüren faktörlerden birisi ağır metallerin sebep olduğu kirliliktir. Süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) enzimlerinin uyarılması ve aktivasyonu bitkilerdeki önemli metal detoksifikasyon mekanizmalarından olup SOD ve CAT enzimlerinin kombine etkisi oksidatif stresin etkilerini hafifletmede önemlidir. Bu çalışmada, kadmiyum, kurşun ve kadmiyum+kurşunun buğdayda (*Triticum aestivum* L. cv. Alpu) antioksidan enzim seviyeleri üzerine ekotoksikolojik etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metaller (kadmiyum kurşun ve kadmiyum + kurşun) SOD ve katalaz enzim aktivitesinde azalışlara neden olmuştur. SOD enzim aktivitesi, ağır metallerin kombine etkisinin (kadmiyum + kurşun) tek tek ağır metal uygulamasına göre katalaz enzim aktivitesi üzerinde daha fazla etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca ağır metalin etkisi ağır metalin çeşidine ve konsantrasyonuna bağlı olarak bitkinin enzim seviyelerini değiştirmektedir.

Anahtar kelimeler: Antioksidan enzim, Ağır metal, Katalaz, SOD, Buğday

1. Giriş

Günümüzde, ekosistemlerin toprak, su ve hava gibi ortamlarında yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller tüm canlıların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline almıştır. Canlı sisteme giren ağır metaller, besin zinciri ile bir organizmadan diğerine taşınarak canlı sistemlerde yüksek konsantrasyonlara ulaşmakta ve zararlarını yıllarca sürdürebilmektedir (Yücel vd., 2010). Atmosfer, toprak ve suda oluşan ağır metal kirliliği artarak bitkisel üretimin miktar ve kalitesini düşürmektedir. Son yıllarda buğday yetiştirilmesine elverişli olmayan marjinal

* Corresponding author / Haberleşmeden sorumlu yazar: Tel.: +902223350580; Fax.: +902223204910; E-mail: a_ak@hotmail.com

alanlarda bile buğday ekimi yapılmaktadır. Üretim artırılması için birim alandan alınan verimin yükseltilmesi gerekmektedir. Bunun için uygun kültürel teknikler kullanılarak yüksek verimli, üstün kaliteli, biyotik ve abiyotik stres şartlarına dayanıklı çeşitler kullanılmalıdır (Mut vd., 2005).

Abiyotik stres şartları altında bitkilerde reaktif oksijen türleri (ROS) olarak adlandırılan oldukça toksik ve reaktif moleküller oluşmaktadır. Bu moleküller protein, lipid karbohidrat ve DNA'nın yapısını bozarak oksidatif stresin oluşmasına neden olmaktadır. Bu hasarın önlenmesine yönelik olarak bitkiler de antioksidant savunma sistemlerine sahiptir. Bu antioksidant sistemler enzimatik (süperoksit dismutaz, SOD; katalaz, CAT; askorbat peroksidaz, APX; glutatyon redüktaz, GR vb.) ve enzimatik olmayan (fenolik bileşikler, alkaloid, askorbik asit, glutatyon vb.) olmak üzere ikiye ayrılır (Gill ve Tuteja, 2010).

Ağır metaller, koloidal adsorbsiyon ve iyon değişimi ile toprakta kalıntı (birikim) yaparak toprağın biyoelverişliliği üzerine olumsuz etki yapmaktadır (Algan ve Bilen, 2005). Bitkilerde ise ağır metal toksisitesinin büyüme ve gelişmede yavaşlama, enzim aktivitesinde bozulma, kökte hasar, depolama faaliyetlerinde bozulma, fotosentez aktivitesinde gerileme, besin elementlerinin alınımında yavaşlama ve verimde düşme gibi zararlara neden olduğu bilinmektedir (Yağdı vd., 2000).

Kadmiyum insan, hayvan ve bitkiler için oldukça toksik etkili bir ağır metaldir. Bitki bünyesinde azot ve karbohidrat metabolizmalarını değiştirmesi nedeniyle birçok fizyolojik değişikliğe sebep olmaktadır. Proteinlerin -SH gruplarındaki enzimleri inaktive etmekte, protoklorofil redüktaz ile aminolevulinik asit sentezini bozup fotosentezi engellemekte ve stomaların kapanmasına, transpirasyon ile su kaybının azalmasına neden olmaktadır (Sheoran vd., 1990; Zengin ve Munzuroğlu, 2005).

Kurşun bütün bitkilerde doğal olarak bulunsa da bitki için gerekli bir element değildir. Kurşunun toksik etkisi konsantrasyonuna, tuz oluşturma şekline, toprak özelliğine ve bitki türüne ve çeşidine bağlı olarak değişim göstermektedir. Kurşunun toksik seviyeleri bitkideki makromoleküller içindeki fonksiyonel gruplarda yer alan metal iyonlarını, fotosentezi, mineral nutrisyonunu ve bitki su kapasitesini düzenleyen çeşitli enzim aktivitesini değiştirmek suretiyle çimlenme, sürgün gelişimi, tolerans indeksi, kök ve sürgün kuru ağırlığı gibi olayları etkilemektedir (Lamhamdi vd., 2011).

Bu çalışmada, Eskişehir ve çevresinde ekimi yapılan *Triticum aestivum* L. cv. Alpu buğday çeşidinde kadmiyum, kurşun ve her ikisinin birlikte uygulanması ile antioksidan enzimler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada, ülkemizde önemli bir tarım bitkisi olan buğdayın (*Triticum aestivum* L.) T.a. cv. 'Alpu' çeşidi seçilmiştir. Tohumlar Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiş olup tescilli bir çeşittir. Çimlendirme işlemi için 100 adet tohum, Whatman No.1 filtre kağıdı içeren, petri kaplarına yerleştirilmiştir. Tohumlar kadmiyum, kurşun ve kadmiyum ile kurşun birlikte verilerek 100, 200 ve 300 µM konsantrasyonlarında, sıcaklık + 22 °C, ± 1 °C ve beyaz ışık kaynağı (16 saat aydınlık/ 8 saat karanlık günlük fotoperiyot) altında iklim kabininde çimlendirilmiştir.

1.1. Enzim analizleri için ekstraksiyon yöntemi

Ağır metal uygulamasından 10 gün sonra, 1 gram taze yaprak örneği porselen havanda 10 mM EDTA içeren 50 mM potasyum fosfat (pH 7.6) çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örnekler 15 dakika 12000 g ve +4°C' de santrifüj edildikten sonra elde edilen santrifügatlar enzim ve protein analizlerinde kullanılmıştır.

2.2. Enzim analizleri

Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi 19160 SOD determination kit (Sigma-Aldrich) ile ölçülmüştür.

Katalaz (CAT) aktivitesi, spektrofotometrede H₂O₂'nin 240 nm'de (E=39.4mM cm⁻¹) degradasyonu esas alınarak ölçülmüştür. Buna göre, son hacmi 1 ml olan reaksiyon ortamını, 0.1 mM EDTA içeren 50 mM'lık fosfor tamponu (pH 7.6), 0.1 ml 100 mM H₂O₂ ve enzim ekstraktı oluşturmaktadır (Çakmak ve Marschner, 1992).

2.3. İstatistik

Ağır metal uygulaması ve kontrol gruplarından elde edilen sonuçlar one way Anova varyans analizi (ANOVA) ile karşılaştırıldı. Sonuçlar arası farklar, varyanslar arasındaki homojenlik durumuna göre Duncan testi ile belirlendi. Veri analizinde SPSS istatistik programı (SPSS, versiyon 16.0, SPSS Science, Chicago, IL) kullanıldı.

3. Bulgular

Triticum aestivum L. cv. Alpu çeşidinde 100, 200 ve 300 µM konsantrasyonlarında sırasıyla kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve her ikisi birlikte kadmiyum ile birlikte kurşun (Cd+Pb) uygulaması yapıldıktan sonra süperoksit dismutaz ve katalaz enzim aktivitelerine olan etkilerine ait bulgular aşağıda verilmiştir.

3.1. Ağır metallerin SOD enzim aktivitesi üzerine etkileri

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 μM) uygulanan ağır metallerin (Cd, Pb ve Cd + Pb), süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi (yüzde inhibisyon) bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi bakımından, enzim aktivitesi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p < 0,012$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Ağır metallerin (Cd, Pb ve Cd+Pb) *T. a. cv. 'Alpu'* çeşidinde SOD enzim aktivitesine göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
SOD enzim aktivitesi (Yüzde inhibisyon)	Kareler toplamı	Serbestlik faktörü	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	5826,800	9	647,422	3,357	0,012
Grup içinde	3856,667	20	192,833		
Toplam	9683,467	29			

T. a. cv. 'Alpu' çeşidinde SOD enzim aktivitesi bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda 3 farklı homojen grup oluşmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Alpu'* çeşidinde SOD enzim aktivitesi bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

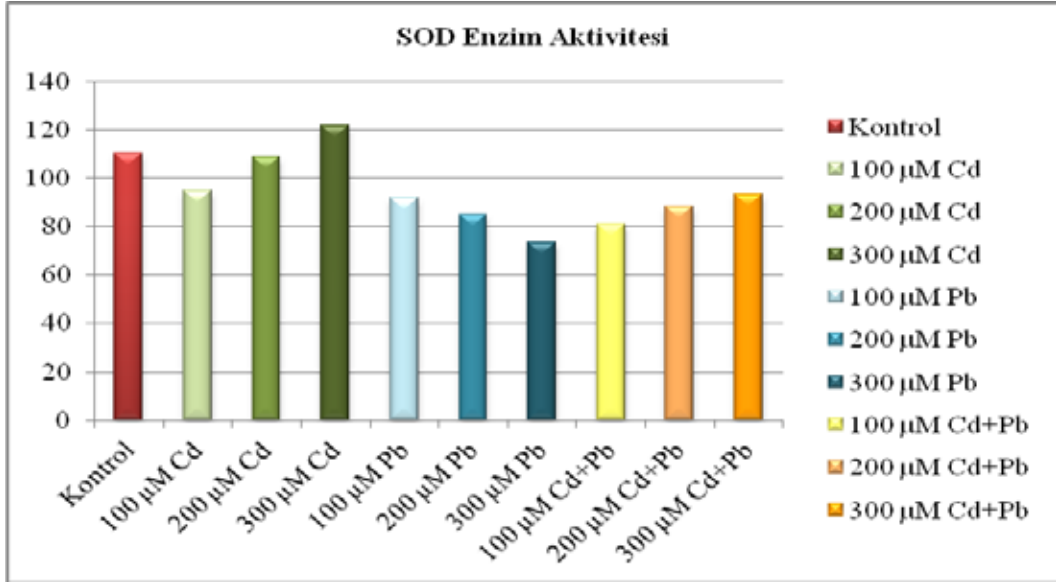
SOD enzim aktivitesi (Yüzde inhibisyon)				
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3
300 μM Kurşun	3	73,67		
100 μM Kadmiyum+Kurşun	3	81,00		
200 μM Kurşun	3	85,00	85,00	
200 μM Kadmiyum+Kurşun	3	88,33	88,33	
100 μM Kurşun	3	91,67	91,67	
300 μM Kadmiyum+Kurşun	3	93,33	93,33	
100 μM Kadmiyum	3	95,00	95,00	
200 μM Kadmiyum	3		108,67	108,67
Kontrol	3		110,33	110,33
300 μM Kadmiyum	3			121,67
Önem düzeyi		0,113	0,063	0,291

Ağır metal uygulamalarından kadmiyum, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, SOD enzim aktivitesi bakımından düşük konsantrasyonlarda enzim aktivitesini düşürürken, konsantrasyon arttıkça kontrol grubu seviyelerini de geçen ölçülerde enzim aktivitesinde artışa neden olmuştur. Kurşun incelendiğinde ise, kontrole göre konsantrasyon arttıkça enzim aktivitesinde azalışa neden olmuştur. Hem kadmiyum hem de kurşun aynı anda uygulandığında kontrole göre SOD enzim aktivitesinde düşüş belirlenmiştir. Ancak 100, 200 ve 300 μM Cd + Pb uygulamaları kendi içinde karşılaştırıldığında konsantrasyon arttıkça enzim aktivitesinin de arttığı bulunmuştur (Şekil 1).

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 μM) uygulanan ağır metallerin (Cd, Pb ve Cd + Pb) katalaz enzim aktivitesi bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda, katalaz enzim aktivitesi bakımından enzim aktivitesi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3).

3.2. Ağır metallerin katalaz enzim aktivitesi üzerine etkileri

T. a. cv. 'Alpu' çeşidinde katalaz enzim aktivitesi bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 2 farklı homojen grup oluşmuştur (Tablo 4).

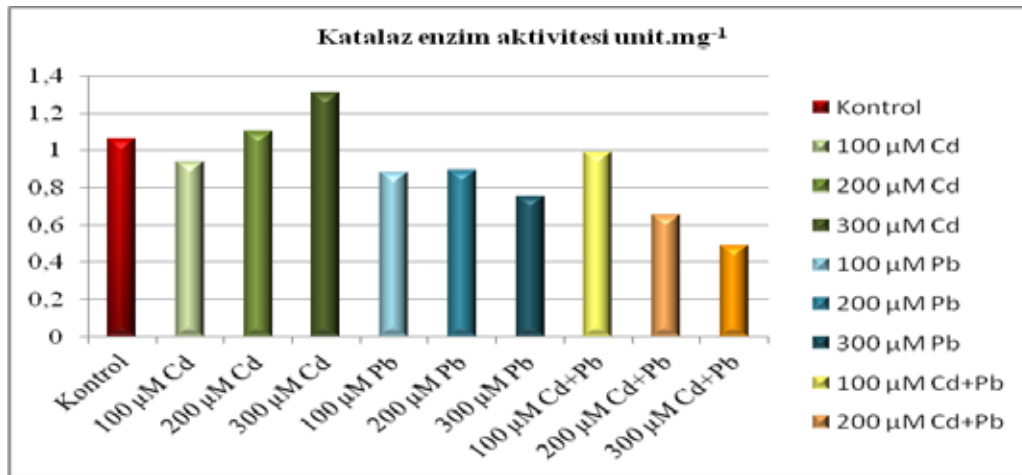
Şekil 1. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Alpu'* çeşidinde SOD enzim aktivitesi bakımından karşılaştırılmasıTablo 3. Ağır metallerin (Cd, Pb ve Cd + Pb) *T. a. cv. 'Alpu'* çeşidinde katalaz enzim aktivitesine göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Katalaz enzim aktivitesi (unit.mg ⁻¹)	Kareler toplamı	Serbestlik faktörü	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	1,501	9	0,167	1,233	0,330
Grup içinde	2,706	20	0,135		
Toplam	4,207	29			

Tablo 4. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Alpu'* çeşidinde katalaz enzim aktivitesi bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Katalaz enzim aktivitesi (Unit.mg ⁻¹)			
Uygulama	Örnek sayısı	1	2
300 µM Kadmiyum+Kurşun	3	0,49100	
200 µM Kadmiyum+Kurşun	3	0,65633	0,65633
300 µM Kurşun	3	0,75800	0,75800
100 µM Kurşun	3	0,88067	0,88067
200 µM Kurşun	3	0,89533	0,89533
100 µM Kadmiyum	3	0,94833	0,94833
100 µM Kadmiyum+Kurşun	3	0,99067	0,99067
Kontrol	3	1,06900	1,06900
200 µM Kadmiyum	3	1,10000	1,10000
300 µM Kadmiyum	3		1,31867
Önem düzeyi		0,093	0,070

Ağır metal uygulamalarından kadmiyum, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında katalaz enzim aktivitesi bakımından düşük konsantrasyonlarda enzim aktivitesini düşürürken, konsantrasyon arttıkça kontrol grubu seviyelerini de geçen ölçülerde enzim aktivitesinde artışa neden olmuştur. Kurşun incelendiğinde ise, kontrole göre konsantrasyon arttıkça enzim aktivitesinde azalışa neden olmuştur. Hem kadmiyum hem de kurşun aynı anda uygulandığında konsantrasyon artışına bağlı olarak katalaz enzim aktivitesinde kontrole göre azalma olduğu belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Alpu'* çeşidinde katalaz enzim aktivitesi bakımından karşılaştırılması.

4. Sonuçlar ve tartışma

Ağır metal stresine bağlı oluşan oksidatif strese karşı antioksidanların oluşturduğu direnç mekanizmaları bitkilerin metal toleranslarını güçlendirmek için önemli bir strateji sağlamaktadır. Metal stresine karşı oluşturulan antioksidan cevapların altında yatan süreçleri bilmek önem arz etmektedir.

Bulgularımızla paralel olarak buğdaya uygulanan çinko ve krom (Panda vd., 2003), ayçiçeğine uygulanan demir ve kadmiyum (Gallego vd., 1996), çeltik bitkisine uygulanan kurşun ve civa (Mishra ve Choudhuri, 1999), buğday bitkisine uygulanan kurşun ve kadmiyumun (Dey vd., 2007), SOD aktivitesinde azalışa neden olduğu belirlenmiştir. Yine iki farklı *Atriplex* türü ile yapılan çalışmada süperoksit dismutaz aktivitesinde azalışlar olduğu, ancak katalaz ve glutatyon redüktaz aktivitelerinde artışların olduğu ve metal stresine karşı toleransın bu artışlar sayesinde olduğu bildirilmiştir (Kachout vd., 2010). Bununla birlikte hücrelerdeki süperoksit radikalini yok etmekten sorumlu olan SOD enzimi aktivitesi ağır metalin çeşidine, konsantrasyonuna, uygulama süresine ve bitkinin türüne ve genotipine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Dixit vd., 2001). Çalışmamızda kadmiyum, kontrole göre SOD enzim aktivitesini konsantrasyon artışına bağlı olarak artırmıştır. Diğer ağır metal uygulamalarında ise kontrole göre azalışlar gerçekleşmiştir. Böylece kadmiyumun neden olduğu ağır metal stresine, diğer metallerin neden olduğu strese göre daha fazla tolerans gösterebildiği belirlenmiştir. Yine yapılan bir çalışmada buğdaya uygulanan kadmiyumun SOD, katalaz, guaiacol peroksidaz (GPX) ve glutatyon redüktaz (GR) gibi antioksidant enzimlerin upregülasyonuna neden olduğuna yönelik bulgular mevcuttur. Bunun nedeninin kadmiyumun sebep olduğu süperoksit radikallerinin aşırı artışı olduğu bildirilmiştir (Singh vd., 2008). Yine benzer olarak bezelyede kadmiyum uygulamasının SOD, katalaz, askorbat peroksidaz (APX) gibi enzimlerin artışına neden olduğu belirlenmiştir. Metal stresinin neden olduğu antioksidant enzim seviyelerinin artışları fitoremediasyon gibi bitki ve tohum teknolojilerinin gelişimi için önemli bir yer teşkil etmektedir (Kranter ve Colville, 2011).

SOD enziminin aktivitesi sonucu ortaya çıkan hidrojen peroksit (H₂O₂) ise katalaz ve askorbat peroksidaz gibi enzimlerin aktivitesi ile ortamdan uzaklaştırılır (Dixit vd., 2001). Farklı bitki türleri ve farklı konsantrasyonlardaki ağır metal uygulamalarının olduğu çalışmalarda, katalaz enziminin ağır metalin düşük konsantrasyonlarında artış gösterdiği, ancak belli bir konsantrasyondan sonra azalışa geçtiği belirlenmiştir (Sinha ve Saxena, 2006; Mishra vd., 2006; Razinger vd., 2008). 500 µM kadmiyum, kobalt ve nikel ve 0,5 M kobalt, krom ve bakır gibi aşırı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin klorofil içeriğini, katalaz ve peroksidaz enzim aktivitelerini düşürdüğü, bitkide klorozise neden olduğu (Pandey ve Sharma, 2002), ayrıca protein içeriği, makro ve mikro besin elementlerinin miktarını ve klorofil a ve klorofil b içeriğini ve yine katalaz enzim aktivitesini düşürdüğü (Chatterjee ve Chatterjee, 2000) bildirilmiştir.

Artmış süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve askorbat peroksidaz enzim aktivitelerinin ağır metalin neden olduğu reaktif oksijen türlerinin yok edilmesinde çok etkili olduğu bilinmektedir (Uraguchi vd., 2006). Çalışmamızda ise yine kadmiyum, SOD enzim aktivitesinde de belirlendiği gibi katalaz enzim aktivitesini kontrole göre artırmış, diğer ağır metal uygulamaları ise konsantrasyon artışına bağlı olarak enzim aktivitesini azaltmıştır.

Sonuç olarak, *T. a. cv. 'Alpu'* çeşidi kadmiyum toksisitesine karşı hem SOD enzimi aktivitesini hem de katalaz enzim aktivitesini artırarak ağır metal stresine daha dirençli hale gelmektedir. Ekotoksikolojik olarak ağır metal stresine verilen cevaplar ağır metale, konsantrasyona, uygulama süresine, bitkinin tür ve çeşidine ve buna benzer birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bir tarım ülkesi olan Türkiye'nin çeşitli nedenlerle toprak ve su kaynaklarının gittikçe kirlendiği düşünülürse, topraklarımızda yetiştirilen ve ekonomik önemi olan türlerin daha dirençli hale getirilmesi veya dirençli türlerin ekilmesi önemlidir. Elbette ki diğer buğday türlerinin de ekotoksikolojik denemelerinin yapılması ve başka ağır metal stresine ışık tutacak parametrelerin çalışılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- Algan, F.T.K., Bilen, S., 2005. Toprak Kirlenmesi ve Biyolojik Çevre. Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 36/1. 83-88.
- Chatterjee A., Chatterjee, C., 2000. Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. *Environmental Pollution*. 109/1. 69-74.
- Çakmak, I., Marschner, H. 1992. Magnesium deficiency and highlight intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology*. 98. 1222-1226.
- Dey, S.K., Dey, J., Patra, S., Potha, D., 2007. Changes in the antioxidative enzyme activities and lipid peroxidation in wheat seedling exposed to cadmium and lead stress. *Braz. J. Plant Physiol.* 19/1. 53-60.
- Dixit, V., Pandey, V., Shyam, R., 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad). *Journal of Experimental Botany*. 52/358. 1101-1109.
- Gallego, S.M., Benavides, M.P., Tomaro, M.L., 1996. Effect of heavy metal ion excess on sunflower leaves evidence for involvement of oxidative stress. *Plant Science*. 121/20. 151-159.
- Gill S., ve Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 48. 909-930.
- Kachout, S. S., Mansoura, A. B., Leclerc, J.C., Mechergui, R., Rejeb, M.N., Ouerghi, Z. 2010. Effects of heavy metals on antioxidant activities of *Atriplex hortensis* and *A. Rosea*. *EJEAFCh*. 9/3. 444-457.
- Kranner, I., Colville, L. 2011. Metals and seeds: Biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. *Environmental and Experimental Botany*. 72. 93-105.
- Lamhamdi, M., Bakrim, A., Aarab, A., Lafont, R., Sayah, F. 2011. Lead phytotoxicity on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedlings growth. *Comptes Rendus Biologies*. 334. 118-126.
- Mishra, A., Choudhuri, M.A., 1999. Effects of Salicylic Acid on Heavy Metal-Induced Membrane Deterioration Mediated by Lipoxygenase in Rice. *Biologia Plantarum*. 42/3. 409-41.
- Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R.D., Kumar, R., Seth, C.S., Gupta, D.K., 2006. Lead detoxification by coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) involves induction of phytochelatins and antioxidant system in response to its accumulation. *Chem*. 65. 1027-1039.
- Mut, Z., Aydın, N., Özcan, H., Bayramoğlu, H.O. 2005. Orta Karadeniz bölgesinde ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin verim ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*. 22/2. 85-93.
- Panda, S.K., Chaudhury, I., Khan, M.H. 2003. Heavy Metals Induce Lipid Peroxidation and Affect Antioxidants in Wheat Leaves. *Biologia Plantarum*. 46/2. 289-294.
- Pandey, N., ve Sharma, P., 2002. Effect of heavy metals Co^{2+} , Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage. *Plant Science*. 163/4. 753-758.
- Razinger, J., Dermastia, M., Koce, J.D., Zrimec, A. 2008. Oxidative stress in Duckweed (*Lemna minor* L.) caused by short-term cadmium exposure. *Environ. Pollut.* 153. 687-694.
- Sheoran, I.S., Aggarwal, N., Singh, R. 1990. Effects of cadmium and nickel on in vivo carbon dioxide exchange rate of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Plant and Soil*. 129. 243-249.
- Singh, H.P., Batish, D.R., Kaur, G., Arora, K., Kohli R.K. 2008. Nitric oxide (as sodium nitroprusside) supplementation ameliorates Cd toxicity in hydroponically grown wheat roots. *Environmental and Experimental Botany*. 63. 158-167.
- Sinha, S., Saxena, R. 2006. Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidants and Bacoside-a content in medicinal plant *Bacopa monnieri* L. *Chem*. 62. 1340-1350.
- Uraguchi, S., Watanabe, I., Yoshitomi, A., Kiyono, M., Kuno, K., 2006. Characteristics of cadmium accumulation and tolerance in novel Cd-accumulating crops, *Avena strigosa* and *Crotalaria juncea*. *Journal of Experimental Botany*. 57/12. 2955-2965
- Yağdı, K., Kaçar, O., Azkan, N. 2000. "Topraklardaki Ağır Metal Kirliliği ve Tarımsal Etkileri", On Dokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 15/2. 109-115.
- Yücel, E., Edirnelioğlu, E., Soydam, S., Çelik, S., Çolak, G., 2010. *Myriophyllum spicatum* (Spiked water-milfoil) as a biomonitor of heavy metal pollution in Porsuk Stream/Turkey. *Biological Diversity and Conservation*. 3/2. 133-144.
- Zengin, F., Munzuroğlu, Ö. 2005. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.Strike) klorofil ve karotenoid miktarı üzerine bazı ağır metallerin (Ni^{+2} , Co^{+2} , Cr^{+3} , Zn^{+2}) etkileri. *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 17/1. 164-172.

(Received for publication 25 September 2011; The date of publication 15 December 2011)