

Ekmeklik Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) İlk Gelişme Döneminde Kök ve Gövde Büyümesi Üzerine Bazı Ağır Metal ve Ağır Metal-Hormon Uygulamalarının Etkileri

Nuray ERGÜN⁽¹⁾

Işıl ÖNCEL⁽²⁾

Öz: Bu çalışmada, buğday bitkisinde kurşun (Pb), çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd) ağır metalleri ve bu ağır metallerle birlikte uygulanan ABA ve GA₃ hormon etkileşimlerinin kök ve sürgün büyümesi üzerine olan etkileri zamana bağlı olarak (5. ve 10. gün) araştırılmıştır. Her üç ağır metalin yüksek konsantrasyonları ve bu ağır metallerle birlikte uygulanan ABA ve GA₃ buğday bitkisinin kök ve sürgün büyümesini engellemiştir. Ağır metallerin konsantrasyon ve uygulama süresinin artışına paralel olarak kök ve sürgün büyümesinin engellenmesi arasında bir paralellik olduğu tespit edilmiştir. Çalışılan parametreler üzerinde genel olarak en toksik etkiyi Cd göstermiş, Cd'ü Pb ve Zn izlemiştir.

Anahtar kelimeler: *Triticum aestivum*, büyüme, kurşun, kadmiyum, çinko

Effects of Some Heavy Metals and Heavy Metal – Hormone Interactions on the Growth of Root and Shoot on Wheat (*Triticum aestivum* L.) in First Vegetation Stage

Abstract: In this study, effects of heavy metals which are lead (Pb), zinc (Zn) and cadmium (Cd), alone, and their interactions with abscisic acid (ABA) and gibberellin (GA₃) hormones on the root and shoot growth have been investigated with respect to time (5th and 10th days) in wheat seedlings. All the three heavy metals at high concentrations and interactions of ABA and GA₃ hormones with them inhibited the growth of root and stem. It was determined that Cd has shown the most toxic effects and lead and zinc followed.

Key words: *Triticum aestivum*, growth, lead, cadmium, zinc

Giriş

Günümüzde çevre kirliliğine neden olan kirleticiler arasında ağır metal kirliliği önemli bir yer teşkil etmektedir. Endüstriyel atıklar önemli ölçüde ağır metal içermektedir. Ağır metaller ve iz elementler, sular ve topraklar için de önemli kirleticilerdir (Topbaş ve ark., 1998). Ağır metale maruz kalan bitkilerde kök büyümesi önemli ölçüde engellenmektedir (Barcelo ve Poschenrieder, 1990; Greger ve Lindberg, 1987; Stiborova ve ark., 1987; Ruano ve ark., 1988; Rubio ve ark., 1994; Marschner, 1997; Fargašová, 2001; Bekiaroglou ve Karataglis, 2002; Munzuroğlu ve Geçgil 2002; Vassiliev ve ark., 2002; Chen ve ark., 2003). Ağır metallerin köklerde meydana getirdiği zarar, temel besin maddelerinin alımında azalmaya ve köklerde elementlerin immobilizasyonuna neden olmakta, sonuçta gövdede önemli ölçüde besin yetersizliği ortaya çıkmaktadır (Rubio ve ark., 1994; Vassiliev ve ark., 2002). Ayrıca Cu, Cd, Fe, Zn ve Pb uygulanan hardal fidelerinde büyüme engellenmesinin en fazla Cu, daha sonra Cd, ardından eşit düzeyde olmak üzere Fe ve Zn, en az seviyede ise Pb'da meydana geldiği bulunmuştur (Fargasova, 2001). Yüksek konsantrasyonda Cd uygulanan. Gerek-79 ve Bolal-2973 ekmeklik buğday çeşitlerinde bitki boyu ve toprak

üstü kısımlarının kuru ağırlığında önemli seviyede azalmalar belirlenmiştir (Öncel ve ark., 2000).

Literatürde çeşitli ağır metallerin bitkiler üzerindeki etkileri ile ilgili pek çok çalışma olmasına rağmen, ağır metaller ile birlikte uygulanan hormonlar ile ilgili çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, buğday bitkisinin ilk gelişme döneminde ağır metal (Pb, Zn ve Cd) ve ağır metal-hormon (ABA ve GA₃) uygulamalarının kök ve sürgün büyümesi üzerinde meydana getirdiği değişiklikler ve ağır metallerin olumsuz etkilerini gidermede hormon uygulamalarının etkilerini belirlemek amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırmada bitki materyali olarak Gün 91 ekmeklik buğday çeşidi (*Triticum aestivum* L.); ağır metal olarak kadmiyum ve çinkonun klor tuzu (CdCl₂, ZnCl₂) ve kurşunun nitrat tuzu (Pb(NO₃)₂), kullanılmıştır. Buğday tohumları Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü'nden (Ankara) temin edilmiştir.

⁽¹⁾ **Yazışma Adresi:** Mustafa Kemal Üniversitesi, Tayfur Sökmen Kampüsü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 31034-HATAY, ergun.nuray@gmail.com

⁽²⁾ Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 06100, Tandoğan-ANKARA

Test bitkilerinin tohumları %2'lik sodyum hipoklorid çözeltisi ile steril edildikten sonra, distile su ile yıkanıp, petrilere distile su ile nemlendirilmiş filtre kağıdı arasında 24 ± 2 °C'lik inkübatörde (Öncel ve ark., 2000) 48 saat süre ile karanlıkta çimlendirilmiştir. Bu süre sonunda fidelikler kum-perlit karışımı (1:1, v:v) içeren saksılarda sera koşullarında 7 gün distile su ile sulanarak büyütülmüştür. 7. günün sonunda fideler kum-perlit karışımından çıkarılmış ve bir litrelik, içi ince bir tabaka halinde parafin ile kaplanmış, dışı ise ışık geçirmeyecek şekilde alüminyum folye ile sarılmış bir litrelik cam kavanozlarda Armon ve Hoagland besin çözeltisi (pH'ı 6) içinde yetiştirilmiştir. Daha sonra fidelerin kök-sürgün ayırım bölgesi bir parça pamuk ile sarılmış ve fideler strafor üzerindeki 10 adet deliğe ayrı ayrı yerleştirilmiştir. Fideler, gün boyu havalandırılmak suretiyle 8 gün büyütülmüşler ve 8 günde bir besin çözeltileri yenilenmiştir. Ağır metal (Pb, Zn, Cd) ve ağır metal ile birlikte hormon (ABA, GA₃) uygulamaları (fideler 19 günlük iken) her bir ağır metal için kontrol (0), 100, 200, 300 µM olacak şekilde besin çözeltilerine ilave edilmek suretiyle uygulanmıştır. Hormon uygulamalarında ise, hormonlar 14 µM (GA₃) ve 19 µM (ABA) olmak üzere besin çözeltilerine ilave edilmiştir (Rubio ve ark., 1994; Moya ve ark., 1995). Deneme süresince kavanozların yerleri tesadüfi olarak belirlenmiş ve kendi aralarında her gün saat yönünde rotasyonla düzenlenerek tekdüzelik sağlanmıştır. Bitkiler 2004 yılı Haziran-Ağustos aylarında gündüz sıcaklığının 20-35 °C arasında değiştiği, nispi nemin %65-80 ve doğal ışık koşullarının ortalama 13000-34000 lüks olduğu Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Araştırma Serasında yetiştirilmiştir. Ağır metal ve ağır metal-hormon uygulamalarından sonraki 5. (fideler 24 günlük iken) ve 10. (fideler 29 günlük iken) günlerde fideler hasat edilmiştir. Araştırma tesadüf parselleri deneme desenine göre üç

tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Her tekerrürden tesadüfi olarak seçilen 10 bitki üzerinde kök ve sürgün boyu ölçümleri milimetrik bir cetvel yardımıyla yapılmıştır. Sonuçlar ortalamanın standart hatası alınmış ve varyans analizi yapılarak istatistik analize tabi tutulmuştur. Varyans analizi karşılaştırılan gruplar arasında istatistik olarak fark bulunmuş ise farklı olan grupların belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Tukey Testi ile $p < 0.05$ ve $p < 0.01$ önem seviyelerinde yapılmış. Verilerin değerlendirilmesinde Minitab paket programından yararlanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Bulgular

Pb, Zn ve Cd tuzlarının ve ayrıca Pb, Cd ve Zn tuzları ile birlikte uygulanan ABA ve GA₃ hormonlarının buğday fidelerinin kök ve gövde büyümesi üzerindeki etkileri Çizelge 1, 2 ve 3' de ayrı başlıklar altında değerlendirilmiştir.

Kurşun (Pb) ve kurşun-hormon uygulamalarının kök boyuna etkisi

Kök boyu 100 µM Pb uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kontrole göre azalmıştır ($p < 0.05$) (Çizelge 1). Kök boyu 300 µM Pb+ABA uygulanan fidelerin 5. gün örneklerinde kontrol+ABA uygulanan fidelere göre daha fazla bulunmuştur ($p < 0.05$). Pb ile birlikte ABA uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örnekleri kök boyları bakımından karşılaştırıldığında, kök boyundaki artış kontrol+ABA uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde $p < 0.01$ düzeyinde, 100 µM Pb+ABA uygulanan fidelerde $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 1. Pb ağır metali ve Pb-hormon uygulamalarının Gün 91 buğday çeşidi fidelerinde ortalama kök ve sürgün boyuna (cm) etkisi
Table 1. The effect of Pb heavy metal and Pb-hormone interactions on Gün 91 wheat variety seedling's root and shoot length (cm)

Ağır Metal Heavy metal	Konsantrasyon Concentration (µM)	Kök boyu Root Length (cm)		Sürgün Boyu Shoot Length (cm)	
		5. Gün /5 th Day	10. Gün/10 th Day	5. Gün /5 th Day	10. Gün/10 th Day
Pb	Kontrol /Control	9.83±0.31 ^a	12.82±0.22B ^b	23.89±0.51 ^a	30.25±0.50B ^b
	100	10.14±0.67	10.36±0.89A	23.58±1.98 ^a	30.33±0.37B ^b
	200	11.26±0.75	11.91±0.66AB	21.70±0.94	24.20±1.01A
	300	10.36±0.29	10.54±0.52AB	24.77±0.19 ^a	28.14±1.03B ^b
	Kontrol+ABA / Control+ABA	8.43±0.17A ^a	9.34±0.17 ^b	25.22±0.14B ^a	25.93±0.14B ^b
	100+ABA	8.58±0.23AB ^a	9.78±0.38 ^b	20.05±0.78A ^a	22.96±0.81A ^b
	200+ABA	8.62±0.67AB	9.67±0.53	21.84±0.65A ^a	24.82±0.95AB ^b
	300+ABA	9.89±0.20B	9.97±0.33	22.74±1.22AB	22.60±0.90A
	Kontrol + GA ₃ / Control+ GA ₃	9.26±0.28B ^a	10.23±0.19B ^b	31.10±0.29B ^a	39.42±0.24B ^b
	100+GA ₃	10.53±0.39C ^a	13.00±0.67C ^b	28.67±0.35AB ^a	36.57±1.81B ^b
	200+GA ₃	6.63±0.16A ^a	7.5±0.18A ^b	27.19±2.92AB	30.56±1.49A
	300+GA ₃	6.82±0.20A	7.6±0.33A	24.44±1.26A ^a	29.00±1.16A ^b

Büyük harfler konsantrasyonlar arasındaki, küçük harfler ise günler arasındaki farkları göstermektedir. / The upper case letters display the differences between the concentrations whereas the lower case letters display the differences between the days.

Kök boyu 100 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerin 5. gün örneklerinde kontrol+GA₃ uygulanan fidelere göre daha fazla, 200 ve 300 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelere göre ise daha az bulunmuştur ($p<0.05$). Kök boyu 100 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kontrol+GA₃ uygulanan fidelere göre daha fazla, 200 ve 300 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerde ise daha az bulunmuştur ($p<0.05$). Pb ile birlikte GA₃ uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örnekleri kök boyları bakımından karşılaştırıldığında, 100 μM ve 200 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerdeki artış $p<0.01$ düzeyinde önemlidir.

Pb ve Pb ile birlikte GA₃ ve ABA uygulanan fidelerin 5. gün örnekleri kök boyları bakımından karşılaştırıldığında 100 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerde kök boyu 100 μM Pb+ABA uygulanan fidelere göre daha fazla bulunmuştur ($p<0.05$). 200 μM Pb+ABA ve 200 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerde kök boyu 200 μM Pb uygulanan fidelere göre daha azdır ($p<0.05$). 300 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerde de 300 μM Pb ve 300 μM Pb+ABA uygulanan fidelere göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$).

Pb ve Pb ile birlikte GA₃ ve ABA uygulanan fidelerin 10. gün örnekleri kök boyları bakımından karşılaştırıldığında, kontrol+ABA ve kontrol+GA₃ uygulanan fidelerde kök boyu kontrole göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$). Kontrol+ABA uygulanan fidelerde kök boyu kontrol+GA₃ uygulanan fidelere göre daha azdır ($p<0.05$). 100 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerde kök boyu, 100 μM Pb ve 100 μM Pb+ABA uygulanan fidelere göre artmıştır ($p<0.05$). 200 μM Pb+ABA ve 200 μM Pb+GA₃

uygulanan fidelerde kök boyu 200 μM Pb uygulanan fidelere göre daha azdır ($p<0.05$).

Kurşun ve kurşun-hormon uygulamalarının sürgün boyuna etkisi

Sürgün boyu, 200 μM Pb uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kontrole göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 1). Pb uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örnekleri sürgün boyları bakımından karşılaştırıldığında kontrol, 100 ve 300 μM Pb uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde sürgün boyundaki artış önemlidir ($p<0.01$).

Pb ile birlikte ABA uygulanan fidelerin 5. gün örneklerinde sürgün boyunun kontrol+ABA uygulanan fidelere göre daha az olduğu ve azalmanın sırasıyla en fazla 100 μM Pb+ABA ve sonra 200 μM Pb+ABA uygulanan fidelerde olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). Kontrol+ABA, 100 ve 200 μM Pb+ABA uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde sürgün boyu artışı 5. gün örneklerine göre $p<0.05$ düzeyinde önemlidir.

300 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerin 5. gün örneklerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak fidelerin sürgün boyunda azalma meydana gelmiştir ($p<0.05$). Sürgün boyu, 200 ve 300 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kontrol+GA₃ uygulanan fidelere göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$). Pb ile birlikte GA₃ uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örnekleri sürgün boyu bakımından karşılaştırıldığında 100 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerin 10 gün örneklerinde sürgün boyundaki artış önemlidir ($p<0.01$).

Çizelge 2. Zn ağır metali ve Zn-hormon uygulamalarının Gün 91 buğday çeşidi fidelerinde ortalama kök ve sürgün boyuna (cm) etkisi
Table 2. The effect of Zn heavy metal and Zn-hormone interactions on Gün 91 wheat variety seedling's root and shoot length (cm)

Ağır Metal Heavy metal	Konsantrasyon Concentration (μM)	Kök boyu Root Length (cm)		Sürgün Boyu Shoot Length (cm)	
		5. Gün /5 th Day	10. Gün/10 th Day	5. Gün /5 th Day	10. Gün/10 th Day
Zn	Kontrol /Control	9.83±0.31A ^a	12.82±0.22B ^b	23.89±0.51AB ^a	30.25±0.50AB ^b
	100	14.18±0.87B ^a	17.02±0.43C ^b	27.11±1.55B ^a	34.38±1.76B ^b
	200	8.69±0.42A ^a	10.25±0.42A ^b	22.35±1.42A ^a	28.64±1.01A ^b
	300	14.56±1.04B	15.13±0.84C	23.10±1.15AB ^a	29.71±1.09A ^b
	Kontrol+ABA / Control+ABA	8.43±0.17A ^a	9.34±0.17A ^b	25.22±0.14C ^a	25.93±0.14C ^b
	100+ABA	8.32±0.46A	8.92±0.10A	20.78±0.77B	22.44±0.59B
	200+ABA	9.84±0.41B ^a	12.38±0.37B ^b	21.18±0.39B	21.50±0.22B
	300+ABA	8.90±0.13AB ^a	9.7±0.25AB ^b	18.38±0.36A	18.80±0.33A
	Kontrol + GA ₃ / Control+ GA ₃	9.26±0.28B ^a	10.23±0.19C ^b	31.10±0.29B ^a	39.42±0.24D ^b
	100+GA ₃	9.46±0.27B ^a	10.39±0.16C ^b	22.52±0.66A ^a	34.08±0.54C ^b
	200+GA ₃	7.42±0.22A ^a	9.49±0.20B ^b	20.54±0.30A ^a	30.56±0.38B ^b
	300+GA ₃	7.50±0.25A ^a	8.50±0.12A ^b	20.90±0.73A ^a	26.46±0.48A ^b

Büyük harfler konsantrasyonlar arasındaki, küçük harfler ise günler arasındaki farkları göstermektedir. / The upper case letters display the differences between the concentrations whereas the lower case letters display the differences between the days.

Pb ve Pb ile birlikte ABA ve GA₃ uygulanan fidelerin 5. gün örnekleri sürgün boyu bakımından karşılaştırıldığında, kontrol+GA₃ uygulanan fidelerde sürgün boyu kontrole göre önemli derecede artmıştır ($p<0.05$). 100 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerde sürgün boyu 100 μM Pb ve 100 μM

Pb+ABA uygulanan fidelere göre önemli derecede artmıştır ($p<0.05$). Pb ve Pb ile birlikte ABA ve GA₃ uygulanan fidelerin 10. gün örnekleri sürgün boyları bakımından karşılaştırıldığında, kontrol+GA₃ uygulanan fidelerde sürgün boyu kontrole ve kontrol+ABA uygulanan fidelere

göre daha fazla bulunmuştur ($p<0.05$). 100 ve 200 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelerde sürgün boyu ise 100 ve 200 μM Pb ve 100 ve 200 μM Pb+ABA uygulanan fidelere göre önemli derecede artmıştır ($p<0.05$). 300 μM Pb ve 300 μM Pb+ABA uygulanan fidelerde sürgün boyu ise 300 μM Pb+GA₃ uygulanan fidelere göre daha azdır ($p<0.05$).

Çinko (Zn) ve çinko-hormon uygulamalarının kök boyuna etkisi

Kök boyu, 100 ve 300 μM Zn uygulanan fidelerin 5. gün örneklerinde kontrole göre daha fazladır ($p<0.05$) (Çizelge 2). 100 ve 300 μM Zn uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kök boyu kontrole göre artmıştır ($p<0.05$). Kontrol ve 100 μM Zn uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kök boyu artışı 5. gün örneklerine göre $p<0.01$ düzeyinde, 200 μM Zn uygulanan fidelerde ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Kök boyu, 200 μM Zn+ABA uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örneklerinde 100 μM Zn+ABA ve kontrol+ABA uygulanan fidelere daha fazladır ($p<0.05$). Zn ile birlikte ABA uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örnekleri kök boyu bakımından karşılaştırıldığında, kontrol+ABA ve 200 μM Zn+ABA uygulanan fidelerde kök boyundaki artış önemlidir ($p<0.01$).

Zn+GA₃ uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kök boyu artışı 5.gün örneklerine göre önemli bulunmuştur ($p<0.01$).

Zn ve Zn ile birlikte ABA ve GA₃ uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örnekleri kök boyu bakımından karşılaştırıldığında, kontrol+GA₃ ve kontrol fidelerinde kök boyu kontrol+ABA uygulanan fidelere göre artmıştır ($p<0.05$). Kök boyu, 100 μM Zn+ABAVE 100 μM Zn+GA₃ uygulanan fidelerde 100 μM Zn uygulanan fidelere göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$). Kök boyu, 300 μM Zn+ABA ve 300 μM Zn+GA₃ uygulanan fidelerde, 300 μM Zn uygulanan fidelere göre daha azdır ($p<0.05$)(Çizelge 2).

Zn ve Zn ile birlikte ABA ve GA₃ uygulanan fidelerin 10. gün örnekleri kök boyu bakımından karşılaştırıldığında, kök boyu kontrol ile birlikte ABA ve GA₃ uygulanan fidelerde kontrole göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$). 100 μM Zn+GA₃ uygulanan fidelerde kök boyu 100 μM Zn+ABA uygulanan fidelere göre daha fazladır ($p<0.05$). Kök boyu, 300 μM Zn ile birlikte ABA ve GA₃ uygulanan fidelerde 300 μM Zn uygulanan fidelere göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$).

Çinko ve çinko-hormon uygulamalarının sürgün boyuna etkisi

Sürgün boyu 100 μM Zn uygulanan fidelerin 5.gün örneklerinde 200 μM Zn uygulanan fidelere ve 10.gün örneklerinde de sürgün boyu 200 ve 300 μM Zn uygulanan fidelere göre yaklaşık olarak 1,2 misli daha fazla bulunmuştur ($p<0.05$). Uygulama süresinin artmasıyla birlikte kontrol, 100, 200 ve 300 μM Zn uygulanan fidelerin sürgün boyu artmıştır (Çizelge 2).

Sürgün boyu 100, 200 ve 300 μM Zn+ABA uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örneklerinde kontrol+ABA uygulanan fidelere göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$).

Sürgün boyu 100, 200 ve 300 μM Zn+GA₃ uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örneklerinde kontrol+GA₃ uygulanan fidelere göre azalmıştır ($p<0.05$).

Zn ve Zn ile birlikte ABA ve GA₃ uygulanan fidelerin 5. gün örnekleri sürgün boyu bakımından karşılaştırıldığında, kontrol+GA₃ uygulanan fidelerde sürgün boyu kontrol+ABA uygulanan fidelere göre 1,2 misli daha fazla bulunmuştur ($p<0.05$). Sürgün boyu, 100 μM Zn+ABA ve 100 μM Zn+GA₃ uygulanan fidelerde 100 μM Zn uygulanan fidelere göre daha azdır ($p<0.05$). 300 μM Zn+ABA uygulanan fidelerde sürgün boyu 300 μM Zn uygulanan fidelere göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$).

Zn ve Zn ile birlikte ABA ve GA₃ uygulanan fidelerin 10. gün örnekleri sürgün boyu bakımından karşılaştırıldığında, sürgün boyu, kontrol fidelerinde kontrol+ABA uygulanan fidelere göre daha fazladır ($p<0.05$). 100 μM ve 200 μM Zn ve 100 μM Zn ve 200 μM Zn ile birlikte GA₃ uygulanan fidelerde sürgün boyu 100 μM Zn+ABA ve 200 μM Zn+ABA uygulanan fidelere göre artmıştır ($p<0.05$). Sürgün boyu, 300 μM Zn+ABA ve 300 μM Zn+GA₃ uygulanan fidelerde 300 μM Zn uygulanan fidelere göre azalmıştır ($p<0.05$). 300 μM Zn+GA₃ uygulanan fidelerde sürgün boyu 300 μM Zn+ABA uygulanan fidelere göre daha fazla bulunmuştur ($p<0.05$).

Kadmiyum (Cd) ve kadmiyum-hormon uygulamalarının kök boyuna etkisi

Kök boyu, 200 ve 300 μM Cd uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kontrole göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 3).

Cd ile birlikte ABA uygulanan fidelerin 5. ve 10.gün örneklerinde kök boyu 100, 200 ve 300 μM Cd+ABA uygulanan fidelerde, kontrol+ABA uygulanan fidelere göre azalmıştır ($p<0.05$). Cd ile birlikte ABA uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örnekleri kök boyu bakımından karşılaştırıldığında, kontrol+ABA ve 300 μM Cd+ABA uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kök boyu artışı $p<0.01$ düzeyinde, 100 ve 200 μM Cd+ABA uygulanan fidelerdeki artış da $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 3).

Kök boyu, kontrol+GA₃ ve 100 μM Cd+GA₃ uygulanan fidelerin 5. ve 10.gün örneklerinde 200 ve 300 μM Cd+GA₃ uygulanan fidelere göre artmıştır ($p<0.05$). Cd ile birlikte GA₃ uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örnekleri kök boyu bakımından karşılaştırıldığında, kontrol+GA₃ uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kök boyu artışı $p<0.05$ düzeyinde ve 200 μM Cd+GA₃ uygulanan fidelerde ise $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Cd ve Cd ile birlikte ABA ve GA₃ uygulanan fidelerin 5. gün örnekleri kök boyu bakımından karşılaştırıldığında, kontrol+ABA uygulanan fidelerde kök boyu kontrole göre azalmıştır ($p<0.05$). 100 μM Cd ve 100 μM Cd+GA₃

uygulanan fidelerde kök boyu 100 μM Cd+ABA uygulanan fidelere göre daha fazladır ($p<0.05$). 300 μM Cd+ABA uygulanan fidelerde kök boyu 300 μM Cd uygulanan fidelere göre azalmıştır ($p<0.05$).

Cd ve Cd ile birlikte ABA ve GA_3 uygulanan fidelerin 10. gün örnekleri kök boyu bakımından karşılaştırıldığında, kontrol ile birlikte ABA ve GA_3 uygulanan fidelerde kök

boyu kontrole göre az bulunmuştur ($p<0.05$). Kök boyu, 100 μM Cd ve 100 μM Cd+ GA_3 uygulanan fidelerde, 100 μM Cd+ABA uygulanan fidelere göre artmış ve 200 μM Cd+ABA uygulanan fidelerde 200 μM Cd uygulanan fidelere göre azalmıştır ($p<0.05$).

Çizelge 3. Cd ağır metali ve Cd-hormon uygulamalarının Gün 91 buğday çeşidi fidelerinde ortalama kök ve sürgün boyuna (cm) etkisi
Table 3. The effect of Cd heavy metal and Cd-hormone interactions on Gün 91 wheat variety seedling's root and shoot length (cm)

Ağır Metal Heavy metal	Konsantrasyon Concentration (μM)	Kök boyu Root Length (cm)		Sürgün Boyu Shoot Length (cm)	
		5. Gün /5 th Day	10. Gün/10 th Day	5. Gün /5 th Day	10. Gün/10 th Day
Cd	Kontrol /Control	9.83±0.31 ^a	12.82±0.22B ^b	23.89±0.51 ^a	30.25±0.50B ^b
	100	9.73±0.35 ^a	11.50±0.62AB ^b	23.41±1.53	25.22±1.20A
	200	10.58±0.85	9.83±0.90A	21.10±1.44	23.71±1.66A
	300	8.73±0.39	9.38±0.61A	20.18±1.05	21.62±1.13A
	Kontrol+ABA / Control+ABA	8.43±0.17C ^a	9.34±0.17B ^b	25.22±0.14C ^a	25.93±0.14B ^b
	100+ABA	6.11±0.23A ^a	6.77±0.18A ^b	24.53±0.30BC	24.67±0.44B
	200+ABA	6.79±0.27AB ^a	7.48±0.17A ^b	20.91±0.51A ^a	24.19±0.47B ^b
	300+ABA	7.08±0.14B ^a	8.79±0.27B ^b	23.80±0.42B ^b	21.57±0.84A ^a
	Kontrol + GA_3 / Control+ GA_3	9.26±0.28B ^a	10.23±0.19C ^b	31.10±0.29C ^a	39.42±0.24C ^b
	100+ GA_3	9.97±0.27B	10.35±0.15C	22.21±0.51B ^a	28.73±0.31B ^b
	200+ GA_3	8.28±0.13A ^a	9.27±0.15B ^b	19.05±0.32A ^a	26.29±0.37A ^b
	300+ GA_3	7.98±0.25A	8.24±0.12A	21.30±0.55B ^a	25.76±0.54A ^b

Büyük harfler konsantrasyonlar arasındaki, küçük harfler ise günler arasındaki farkları göstermektedir. / The upper case letters display the differences between the concentrations whereas the lower case letters display the differences between the days.

Kadmiyum ve kadmiyum-hormon uygulamalarının sürgün boyuna etkisi

Sürgün boyu 100, 200 ve 300 μM Cd uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde kontrol'e göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 3).

Cd ile birlikte ABA uygulanan fidelerin 5. gün örneklerinde sürgün boyu, 200 ve 300 μM Cd uygulanan fidelerde kontrol+ABA uygulanan fidelere göre daha az bulunmuştur ($p<0.05$). Sürgün boyu kontrol+ABA, 100 ve 200 μM Cd+ABA uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde, 300 μM Cd+ABA uygulanan fidelere göre artmıştır ($p<0.05$). Kontrol+ABA ve 200 μM Cd+ABA uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde sürgün boyundaki artış 5. gün örneklerine göre ($p<0.01$) önemli bulunmuştur.

Sürgün boyu 100, 200 ve 300 μM Cd+ GA_3 uygulanan fidelerin 5. ve 10. gün örneklerinde kontrol+ GA_3 uygulanan fidelere göre azalmıştır ($p<0.05$) ve belirtilen fidelerin 10. gün örneklerinde sürgün boyu artışı önemli bulunmuştur ($p<0.01$).

Cd ve Cd ile birlikte ABA ve GA_3 uygulanan fidelerin 5. gün örnekleri sürgün boyu bakımından karşılaştırıldığında, kontrol+ GA_3 ve kontrol+ABA uygulanan fidelerde sürgün boyu kontrole göre artmıştır ($p<0.05$). Sürgün boyu, 300 μM Cd+ABA uygulanan fidelerde 300 μM Cd uygulanan fidelere göre daha fazladır ($p<0.05$).

Cd ve Cd ile birlikte ABA ve GA_3 uygulanan fidelerin 10. gün örnekleri sürgün boyu bakımından

karşılaştırıldığında, kontrol+ABA uygulanan fidelerde sürgün boyu kontrol ve kontrol+ GA_3 uygulanan fidelere göre daha az, 100 μM Cd+ GA_3 uygulanan fidelerde 100 μM Cd ve 100 μM Cd+ABA uygulanan fidelere göre daha fazla bulunmuştur ($p<0.05$). Benzer şekilde, 300 μM Cd+ GA_3 uygulanan fidelerde sürgün boyu, 300 μM Cd ve 300 μM Cd+ABA uygulanan fidelere göre daha fazladır ($p<0.05$).

Tartışma

Elde ettiğimiz bulgulara göre Pb, Zn, Cd ağır metalleri ve bu ağır metallerle birlikte ABA ve GA_3 uygulanan buğday fidelerinde konsantrasyon ve uygulama süresinin artışına paralel olarak kök ve sürgün büyümesinin azaldığı bulunmuştur. Bir ağır metal olan Zn'nun bitkiler üzerindeki etkisi diğer ağır metallerin etkisine benzemekte ancak Zn'nun bitki gelişimi için gerekli bir mikro besin elementi olduğu bilinmektedir (Bekiaroglou ve Karataglis, 2002). Nitekim, çalışmada 100 ve 300 μM Zn uygulanan buğday fidelerinde 5 ve 10 gün süreli uygulamalar sonunda kök boyunda artış bulunmuştur. Bu durum Zn'nun bitkilerde protein ve karbonhidrat metabolizmasını etkilemesinden ve aynı zamanda da IAA biyosentezinde öncü madde olmasından ileri gelmektedir (Kadıoğlu, 2007).

Kök büyümesinin metal toksisitesine çok fazla duyarlı olduğu bilinmektedir (Foy ve ark., 1978). Pb, Cd ve Cu uygulanan fasulye (Kırbağ Zengin; 2002), Cd, Cu, Zn, Pb

ve Fe uygulanan hardal (Fargašová, 2001), Pb ve Zn uygulanan nane (Bekiaroglou ve Karatagtis, 2002), Cd ve Ni uygulanan pirinç (Moya ve ark., 1993), Pb ve Cu uygulanan bakla (Prymusinski ve Gwozdz, 1994) ve Cd uygulanan Gerek-79 ve Bolal-2973 buğday fidelerinde (Öncel ve ark., 2000) kök boyunun azaldığı bulunmuştur. Nitekim Pb, Zn ve Cd düşük konsantrasyonlarda bile kök boyunda azalmaya neden olmuştur ve sonuçlarımız yukarıda ifade edilen sonuçlarla uygunluk göstermektedir. Moya ve ark., (1995) Cd ve Ni ile birlikte ABA uygulanan pirinç fidelerinde ABA'nın ağır metallerin kök büyümesi üzerindeki engelleyici etkisini artırdığını saptamışlardır. Yüksek konsantrasyonlarda Pb, Zn ve Cd ile birlikte ABA uygulanan fidelerde kök boyundaki azalma ile ilgili bulgularımız Moya ve ark., (1995)'in bulgularına benzerlik göstermektedir. Bu durumda yüksek konsantrasyonda Pb, Zn ve Cd ile birlikte uygulanan GA₃'ün ağır metalin kök büyümesi üzerindeki engelleyici etkiyi gideremediği şeklinde yorumlanabilir. Çalışmada Cd ile birlikte ABA uygulanan fidelerde sadece Cd ve Cd+GA₃ uygulanan fidelere göre kök boyunda meydana gelen azalma Cd ile birlikte uygulanan ABA'nın köklerden besin alımını sınırlaması ve belki de hormon dengesini bozmasından ileri gelebilir.

Cd ve Ni uygulanan pirinç (Moya ve ark., 1993), Cd ve Pb uygulanan pancar (Larbi ve ark., 2002) fidelerinde gövde boyunun azaldığı saptanmıştır. Bitki köklerine zarar veren ağır metaller temel besin maddelerinin alımında azalmaya sebep olmaktadır. Bunun önemli ölçüde besin yetersizliği meydana getirdiği ve buna bağlı olarak gövde büyümesinin engellendiği saptanmıştır (Vassilev ve ark., 2002). Çalışmada uygulanan Pb ve Cd'un konsantrasyon artışına bağlı olarak sürgün boyunda meydana gelen azalma ile ilgili bulgularımız Vassilev ve ark. (2002)'nin ve Larbi ve ark. (2002)'nin bulgularına benzerlik göstermektedir. Çalışmada düşük konsantrasyonda Pb uygulanan buğday fidelerinde sürgün boyunda önemli bir değişiklik bulunmamıştır. Greger ve ark. (1991) ağır metallerin büyüme üzerindeki etkisinin uygulanan ağır metalin türü, konsantrasyonları, bitki türü ve uygulama süresine göre değişmesinden kaynaklanabileceğini saptamışlardır. Pb'nun farklı konsantrasyonları ve uygulama süresine bağlı olarak büyüme üzerindeki etkilerinin değişmesi ile ilgili bulgularımız Greger ve ark., (1991)'in bulguları ile uyumludur. Çalışmada özellikle düşük Zn konsantrasyonlarında yüksek Zn konsantrasyonlarına göre sürgün büyümesinin arttığı bulunmuştur. Bu, Zn'nun IAA sentezi, protein ve karbonhidrat metabolizmasında görevli bir element olması ve yüksek Zn konsantrasyonlarında kelat bileşiklerini oluşturarak toksik etkisinin giderilmesinden ileri gelebilir.

Çalışmada düşük konsantrasyonlarda Pb ile birlikte GA₃ uygulanan fidelerde sürgün boyunda artış bulunmuştur. Ashraf ve ark., (2002) yaptıkları çalışmada hem tuzluluk hem de normal koşullarda gelişen buğday fidelerinde GA₃

uygulamalarının fotosentez oranının artmasına neden olduğunu, bu nedenle de bitki boyunda artış olduğunu bulmuşlardır. Bu benzerlikten yararlanarak, düşük konsantrasyonda Pb ile birlikte GA₃ uygulanan buğday fidelerinde sürgün boyunda meydana gelen artış Ashraf ve ark., (2002)'nin bulgularına benzetilebilir. Ashraf ve ark., (2002) GA₃ uygulamasının tuzluluk koşullarında yetişen buğday fidelerinde bitki boyunun arttığını saptamışlardır. Çalışmamızda GA₃ uygulanan fidelerde sürgün boyu kontrole göre artmıştır. Zn ile birlikte GA₃ uygulanan fidelerin gerek 5. gerekse 10. gün örneklerinde ise sürgün boyu azalmıştır. 100 µM Zn+GA₃ uygulanan fidelerin 10. gün örneklerinde sürgün boyundaki artış ile ilgili bulgumuz dışındaki bulgularımız Ashraf ve ark., (2002)'nin bulguları ile uyumluluk göstermemektedir. Cd ağır metali ile birlikte ABA uygulanan fidelerde kök boyundaki azalma, bir stres hormonu ve aynı zamanda bir büyüme inhibitörü olan ABA'nın Cd'un kök büyümesi üzerindeki engelleyici etkisini artırması ile ilişkili olabilir. ABA'nın büyüme üzerindeki engelleyici etkisinin protein sentezinin inhibisyonu ile ilgili olduğu bilinmektedir (Palavan Ünsal, 1993).

Çalışmada, Cd konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak sürgün boyunda meydana gelen azalma ile ilgili bulgular literatürdeki pek çok bulgu ile uyum içerisindedir. Örneğin, Cu, Cd, Fe, Zn ve Pb uygulanan hardal fidelerinde büyüme engellenmesinin en fazla Cu, daha sonra Cd, ardından eşit düzeyde olmak üzere Fe ve Zn, en az seviyede ise Pb'da meydana geldiği bulunmuştur (Fargašová, 2001). Cd uygulanan buğday fidelerinde gövde boyunun konsantrasyon artışına bağlı olarak azaldığı ifade edilmiştir (Shukla ve ark., 2003). Ayrıca yüksek konsantrasyonda Cd uygulanan Gerek-79 ve Bolal-2973 buğday fidelerinde bitki boyunda azalmalar belirlenmiştir (Öncel ve ark., 2000). Uygulanan her üç ağır metal gerek kök ve gerekse de sürgün büyümesi açısından birbirleriyle kıyaslandığında Cd'un diğer metallerle göre daha toksik olduğu tespit edilmiştir. Kök büyümesindeki azalmanın, Cd uygulanan fidelerde sırasıyla Pb ve Zn uygulanan fidelere göre daha fazla olduğu ortaya çıkarılmıştır. Sürgün büyümesinin, Cd uygulanan fidelerde Pb uygulanan fidelere göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak; Pb, Zn ve Cd tuzlarının ve ayrıca Pb, Zn ve Cd tuzları ile birlikte uygulanan ABA ve GA₃ hormonlarının konsantrasyon ve uygulama süresindeki artışa paralel olarak buğday fidelerinin kök ve gövde büyümesini engellediği belirlenmiştir. Her üç ağır metalden, çalışılan parametreler açısından toksik etkisinin Cd>Pb>Zn şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, düşük seviyelerde Pb kirliliğinin bulunduğu alanlardaki bitkilere GA₃ uygulanması ağır metallerin sürgün gelişimi üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırması ile ilişkili olabilir ve ağır metallerle birlikte ABA uygulanan fidelerde büyümede meydana gelen azalma ABA'nın köklerden besin alımını sınırlaması ve belki de hormon dengesini bozmasından ileri

gelebilir. Bu konu ile ilgili olarak, ağır metal-hormon etkileşimlerinin moleküler mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi için ağır metal ve hormon konsantrasyonlarının çeşitlendirilmesine ve yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmanın istatistiklerinin tamamlanmasında yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Fikret GÜRBÜZ (Ankara Ün. Ziraat Fak. Biyometri ve Genetik ABD)'e ve Araştırma görevlisi Özgür KOŞKAN (Ankara Ün. Ziraat Fak. Biyometri ve Genetik ABD)'a, tohum temini aşamasında yardımcı olan Sayın Dr. Aydan OTTEKİN'e (TARM-ANKARA) teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Ashraf, M., Karim, F., Rasul, E., 2002. Interactive effects of gibberellic acid (GA₃) and salt stress on growth, ion accumulation and photosynthetic capacity of two spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Plant Growth Regulation*, 36: 49-59.
- Barcelo, J., Poschenrieder, Ch., 1990. Plant water relations as affected by heavy metal stress. *Journal of Plant Nutrition*, 13(1), 1-37.
- Bekiaroglou, P., Karataglis, S., 2002. The effect of lead and zinc on *Mentha spicata*. *J. Agronomy & Crop Science*, 188, 201-205.
- Chen, X.Y., He, Y.F., Luo, Y.M., Yu, Y.L., Lin, Q., Wong, M.H., 2003. Physiological mechanism of plant roots exposed to cadmium. *Chemosphere*, 50: 789-793.
- Fargašová, A., 2001. Phytotoxic effects of Cd, Zn, Pb, Cu and Fe on *Sinapis alba* L seedlings and their accumulation in roots and shoots. *Biologia Plantarum*, 44(3): 471-473.
- Greger, M., Lindberg, S., 1987. Effects of Cd²⁺ and EDTA on young sugar beets (*Beta vulgaris*) II. Net uptake and distribution of Mg²⁺, Ca²⁺, and Fe²⁺/Fe³⁺. *Physiol. Plantarum*, 69: 81-86.
- Greger, M., Brammer, E., Lindberg, S., Larsson, C., Idestam-Almgist, J., 1991. Uptake and physiological effects of cadmium in sugar beet (*Beta vulgaris*) related to mineral provision. *J. Exp. Bot.*, 42 (239), 729-737.
- Kadioğlu, A., 2007. *Bitki Fizyolojisi*. Esen Ofset Matbaacılık, Trabzon, 432 s.
- Kırbağ Zengin, F., 2002. *Bazı Ağır Metallerin (Hg⁺⁺, Cd⁺⁺, Cu⁺⁺ ve Pb⁺⁺) Fasulye Fidelerinin (Phaseolus vulgaris L.) Gelişmesi Üzerindeki Etkilerinin Biyokimyasal Yönden Araştırılması*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Larbi, A. Morales, Abadia, A., Gogorcena, Y., Lucena, J.J., Abadia, J., 2002. Effects of Cd and Pb in sugar beet plants grown in nutrient solution: induced Fe deficiency and growth inhibition. *Funct. Plant Biol.*, 29,1453-1464.
- Marschner H., 1997. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press Limited. London.
- Moya, J.L., Ros, R., Picazo, I., 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. *Photosynth. Res.*, 36: 75-80.
- Moya, J.L., Ros R., Picazo I., 1995. Heavy metal hormone interactions in rice plants: Effects on growth, net photosynthesis, and carbohydrate distribution. *Journal of Plant Growth Regulator*, 14: 61-67.
- Munzuroğlu, O., Geçkil, H., 2002. Effects of Metals of Seed Germination, Root Elongation and Coleoptile and Hypocotyl Growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 43, 203-217.
- Öncel, I., Keleş, Y., Üstün, A.S., 2000. Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings. *Environmental Pollution*, 107, 315-320.
- Palavan Ünsal, N., 1993. *Bitki Büyüme Maddeleri*. İstanbul Üniversitesi Basım ve Film Merkezi, İstanbul, 367 s.
- Pryzmusinski, R., Gwozdz, E.A., 1994. Increased accumulation of the 16x10³ M, Polipeptide in lupin roots exposed to lead, copper and nitrate ions. *Environmental and Experimental Botany*, 34, No: 1, 63-68.
- Ruano, A., Arcelo, J., Oschenrieder, C.H., 1988. Growth and biomass of zinc toxic bush beans. *J. Plant Nutr.* 11 (5),577-588.
- Rubio, M.I., Escring, I., Martiner-Cortina, C., Lopez-Benet, F.J., Sanz, A., 1994. Cadmium and nickel accumulation in rice plants. Effects on mineral nutrition and possible interactions of abscisic and gibberellic acids. *Plant Growth Regulation*, 14: 151-157.
- Shukla, U.C., Singh, J., Joshi, P.C., Kakkar, P., 2003. Effect of bioaccumulation of cadmium on biomass productivity, essential trace elements, chlorophyll biosynthesis, and macromolecules of wheat seedlings. *Biological Trace Element Research*, 92, 257-273.
- Stiborova, M., Ditrichova, M., Breziona, A., 1987. Effect of heavy metal ions on growth and biochemical characteristics of photosynthesis of barley and maize seedlings. *Biologia Plantarum (PRAHA)*, 29(6): 453-467.
- Topbaş, M.,T., Brohi, A., R., Karaman, M., R., 1998. *Çevre Kirliliği*. T.C. Çevre Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Vassilev, A., Lidon, F.C., Matos, M.C., Ramalho, J.C., Yordanov, I., 2002. Photosynthetic performance and content of some nutrients in cadmium-and copper-treated barley plants. *Journal of Plant Nutrition*, 25, No. 11, 2343-2360.