

Bor (B) Toksisitesine Toleranslı ve Duyarlı Buğday Fidelerinde Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişimlerin Belirlenmesi

Aylin BAŞALP, Işıl ÖNCEL, Esra KOÇ*
Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü/ ANKARA
Alınış Tarihi:08.04.2011, Kabul Tarihi:21.09.2011

Özet:Bu çalışmada, iki buğday türüne ait iki genotipin (*Triticum aestivum* L. cv. Kıraç 66 ve *Triticum durum* Desf. cv. Kunduru 1149) bor (B) toksisitesine tepkileri incelenmiştir. Sera koşullarında 6 hafta süreyle yetiştirilen fideler toprak yüzeyinden hasat edilmiştir. B toksisitesi uygulaması toprağa 0 (Kontrol), 10, 20, 30, 40 ve 50 mg/kg B eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonunda B toksisitesi altındaki bitkilerde fide boyunun azaldığı, B miktarının arttığı, % kuru madde ve oransal su içeriğinde ise önemli bir değişikliğin olmadığı tespit edilmiştir. Serbest prolin miktarının Kıraç 66 ve Kunduru 1149 çeşitlerinde arttığı saptanmıştır. Glukoz miktarının Kıraç 66 çeşidinde 10, 30, 50 mg/kg B konsantrasyonlarında arttığı, Kunduru 1149 çeşidinde ise 20 mg/kg B konsantrasyonunda artarken 40 ve 50 mg/kg B konsantrasyonlarında azaldığı belirlenmiştir. Fruktoz miktarı Kıraç 66 çeşidinde 10, 20, 30, 40 mg/kg B konsantrasyonlarında, Kunduru 1149 çeşidinde ise 20 mg/kg'lık B uygulamasında artış göstermiştir. Sonuçlar, incelenen iki genotip arasında B toksisitesine toleransta önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bor toksisitesi, buğday, çözünür karbonhidrat, prolin

Determination of Some Physiological and Biochemical Changes in Tolerant and Sensitive Wheat Seedlings to Boron (B) Toxicity

Abstract:Responses to Boron (B) toxicity of two different wheat genotypes (*Triticum aestivum* L. cv. Kıraç 66 and *Triticum durum* L. cv. Kunduru 1149) were studied in this study. The seedlings which were cultivated for 6 weeks in greenhouse conditions were harvested from the surface of soil. B applications to the seedlings were carried out in the concentrations of 0 (Control), 10, 20, 30, 40 and 50 mg/kg B by adding to soil.

At the end of the study, it was determined that the length of seedlings decreased whereas, B concentration increased. But, percent dry matter and relative water content didn't show any considerable changes. Free proline amount increased in Kıraç 66 and Kunduru 1149. Glucose amount in Kıraç 66 increased at 10, 30, 50 mg/kg B concentrations. In Kunduru 1149, glucose amount increased at 20 mg/kg B concentration whereas it decreased at 40 and 50 mg/kg B concentrations. Fructose amount increased at 10, 20, 30, 40 mg/kg B concentrations in Kıraç 66 and 20 mg/kg B concentrations in Kunduru 1149. The results indicate that there are considerable differences between the 2 genotypes in terms of tolerance to B toxicity.

Key Words: Boron toxicity, wheat, soluble corbonhydrate, proline

Giriş

Bor (B) elementi bitkiler tarafından eser miktarda gereksinim duyulan eksikliği ve toksisite sınırı birbirine çok yakın elementtir (Brown vd., 2002). Eksikliği kadar yaygın olmasa da, dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerinde B toksisitesi büyük bir sorun oluşturmaktadır.

Ülkemizde atık sularla kirlenmiş akarsuların sulama amaçlı kullanılmaları sonucu yaygın olarak bazı yöre topraklarımızda B kirliliği ve bu yörelerde yetiştirilen bitkilerde B zehirlenmesi sorunları ile karşılaşılmaktadır (Eraydın, 2000).

Türkiye'de özellikle Batı Anadolu Bölgesi'nin dünyadaki B rezervlerinin % 61'ine sahip olduğu ve bölgede B toksisitesinin su kaynaklarını ve tarım alanlarını etkileyen önemli bir problem olduğu bilinmektedir (Nebiler vd., 1999; Özkurt, 2000).

Bitkilerin normal gelişebilmeleri için mutlak gerekli besin elementlerinden biri olan B'un toksik seviyeleri, dünyanın birçok yerinde bitki yetiştiriciliğini sınırlayan önemli bir problemdir (Chauhan ve Power, 1978; Severson ve Gouch, 1983; Cartwright vd., 1984; Roesser vd., 2006). Yapılan çalışmalar B toksisitesini yönetmenin gübreleme ile engellenebilir olan B yetersizliğinden daha zor olduğunu göstermektedir (Takona vd., 2008). Dolayısıyla B yetersizliği veya toksisitesi için konsantrasyon aralığını ayarlamak diğer birçok besin maddesine göre daha zordur.

Bitkilerin ihtiyaç duydukları B miktarı oldukça azdır. Gerek duyulan borun çok az da olsa fazlası, B noksanlığında olduğu gibi bitkinin gelişmesi üzerine olumsuz etki yapmakta ve gelişme çoğu kez durmaktadır. Normal beslenen bitkiler 25-100 mg kg⁻¹ arasında B içerirler. Scaife ve Turner (1983) bitki kuru maddesinde 20 mg kg⁻¹ B'u kritik düzey olarak nitelendirmişlerse de bitkilerin B kapsamları arasında dikkate değer farklılıklar vardır ve bitkilerin B kapsamları yetiştirildikleri

* ekoc78@gmail.com , ekoc@science.ankara.edu.tr

ortamlarda bulunan yarayırlı bor miktarı ile yakından ilgilidir. Tahıllar B elementine karşı duyarlı bitkilerdir (Eaton, 1944).

Tahıl türlerinin ve çeşitlerinin B toksisitesinden etkilenmelerinin nedeni, tahıllardan özellikle buğday ve arpanın topraktaki ve dokularındaki B'un fazlalığına diğer bitki türleriyle karşılaştırılmayacak kadar büyük bir duyarlılık göstermesine bağlanmaktadır. Bitkilerin büyük bir bölümünde B toksisite zararı 100000mg/kg B düzeyinde ortaya çıkarken, buğday ve arpada 50 mg/kg B düzeyinde görülebilmektedir (Gupta, 1985; Bergmann, 1992).

Bitki türleri arasında olduğu gibi, aynı türün çeşitleri arasında da bora duyarlılıkta büyük farklılıklar olduğu ve bu farklılıkların nedeninin de bitkilerin B toksisitesinden aynı derecede fizyolojik olarak etkilenmemesinden kaynaklanmaktadır (Paul vd., 1988; Nable, 1988). B toksisitesine direnç gösteren buğday çeşitleri 150 mg B kg⁻¹ uygulanan toprakta yetiştirildiklerinde üründe önemli bir azalma göstermezlerken, aynı konsantrasyonda yetiştirilen B'a duyarlı çeşitlerde ise şiddetli ürün kayıpları olmakta ve hatta bu çeşitler 25 mg B kg⁻¹ uygulamasında dahi verim azalması göstermektedirler (Paul vd., 1988). Buğday çeşitlerinin B'a gösterdikleri tepkiler farklı olmasına karşın, B uygulaması çeşitlerin çoğunda kuru ağırlığı azalmaktadır (Barut, 1997).

B toksisitesi bitkisel üretimi sınırlandıran ve önemli oranda ürün kayıplarına neden olan bir beslenme problemidir. Bu durumda olumsuz toprak koşullarına toleransı yüksek bitki çeşitlerini seçmek veya bitki besin maddeleri arasında mevcut olan etkileşimlerden yararlanarak bu sorunun üstesinden gelmek mümkündür (Güneş ve Soy, 2003).

Bu çalışmada B toksisitesine karşı toleranslı olan ekmeklik (*T. aestivum* cv. Kırış 66) ve duyarlı olduğu bilinen makarnalık (*T. aestivum* cv. Kunduru 1149) buğday fidelerinde B elementinin toksik düzeylerinin bitki boyu, % kuru madde miktarı ve oransal su içeriği gibi fizyolojik parametrelerle ve serbest prolin, çözünür karbonhidrat gibi biyokimyasal parametrelerle belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada iki buğday türüne ait 2 genotip kullanılmıştır. Bunlar *T. aestivum* cv. Kırış 66 ve *T. aestivum* cv. Kunduru 1149'dur. Toprak, saksılara doldurulmadan önce hava kurusu haline getirilmiştir. Buğday tohumları, içerisine polietilen torbalar geçirilmiş 2 kg mutlak kuru toprak alan plastik saksılara 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 mg/kg konsantrasyonlarındaki B ile karıştırılmış olan toprağa ekilmiştir. B tabiatta serbest halde bulunmaz. B mineralinin bitkiler tarafından kullanılabilir formu borik asittir (H₃BO₃) (Boşgelmez vd., 2001). Bu nedenle araştırma sırasında uygulanan B konsantrasyonları için H₃BO₃ (Riedel- de Haen, S231100) kullanılmıştır. Deneme 5 paralel olarak yürütülmüş ve

toplam 60 saksı kullanılmıştır. Fidelerin yetiştirilmesinde kullanılan topraklara temel gübre olarak her saksıya amonyum nitrat (NH₄NO₃) formunda 100 ppm N uygulanmıştır. Her saksıya 30 adet tohum ekilmiş ve çimlendikten sonra fideler 25'e seyreltilmiştir. Denemelerde kullanılan saksı toprağı tarla kapasitesine (% TK= % 25,78) yakın noktada tutulmaya çalışılmış ve sulama düzenli olarak saf su ile yapılmıştır. Fideler serada 24-33 °C hava sıcaklığı, % 51 nisbi nem ve doğal ışık koşullarında 6 hafta yetiştirilip toprak yüzeyinden hasat edilmiştir.

Hasattan hemen sonra her deneme grubundan rastgele seçilen 10 fidenin boyu ve yaş ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Kontrol ve uygulama gruplarından rastgele seçilen 10 fidenin yapraklarından 4mm çapındaki disklerin kullanılmasıyla oransal su içeriği belirlenmiştir (Kastori vd., 1992).

Deneme topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri analizlerle belirlenmiştir (çizelge 1.). Toprakta fiziksel analizlerden; nem tayini (Richards, 1954), tarla kapasitesi (Richards, 1954), kimyasal analizlerden ise, mikroelement Zn ve Mn (FAO, 1990), Fe ve Cu (Lindsay ve Norvell, 1978), B (Wolf, 1971), toplam azot (Bremner, 1965), yarayırlı fosfor (Olsen vd., 1954; Murphy ve Riley, 1962), alınabilir potasyum (Jackson, 1958), elektriksel iletkenlik (Richards, 1954) ve pH (Richards, 1954; Ülgen ve Yurtsever, 1974) tayinleri yapılmıştır.

Çizelge 1. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

pH	7,97	
Elektriksel iletkenlik	Tuzsuz	
Nem (%)	3,4	
Tarla Kapasitesi (%)	25,78	
B (mg/kg)	4	
N (%)	0,1165	
P (ppm)	11,8	
K (me 100/ kg)	0,160	
Mikroelement Konsantrasyonu (ppm)	Zn	0,86
	Mn	8,49
	Fe	7,64
	Cu	0,44

Oransal Su İçeriği

Hasattan hemen sonra her deneme grubundan rastgele seçilen 10 fidenin boyu ve yaş ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Kontrol ve uygulama gruplarından rastgele seçilen 10 fidenin yapraklarından 4 mm çapındaki disklerin kullanılmasıyla oransal su içeriği belirlenmiştir (Kastori vd., 1992).

B Analizi

B analizinde kullanılmak üzere, kimyasal ve biyolojik değişimleri en düşük düzeyde tutmak için fideler, 65 °C'de 48 saat süre ile kurutulmuş ve kuruma işlemi bittikten sonra da öğütülmüşlerdir. Bitkide B tayini, kuru yakılan bitki süzüklerinde Azomethin-H yöntemine göre Shimadzu UV-201 marka UV-VIS model spektrofotometrede belirlenmiştir (Wolf, 1971).

Serbest Prolin Analizi

Serbest prolin ekstraksiyonu ve tayini Bates vd. (1973)'e göre yapılmıştır.

Çözünür Karbonhidrat Analizi

Çözünür karbonhidrat tayini Halhoul ve Kleinberg (1972)'e göre gerçekleştirilmiştir.

İstatistik Analiz

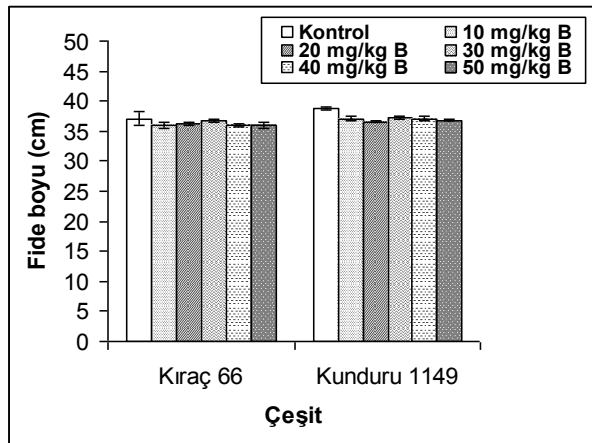
Tüm veriler Minitab ve Mstat yazılımı ile dengelenmiş anova testi yapılarak, tekrarların aritmetik ortalamaları ve standart hataları hesaplanmıştır (Düzgüneş, 1963).

Bulgular

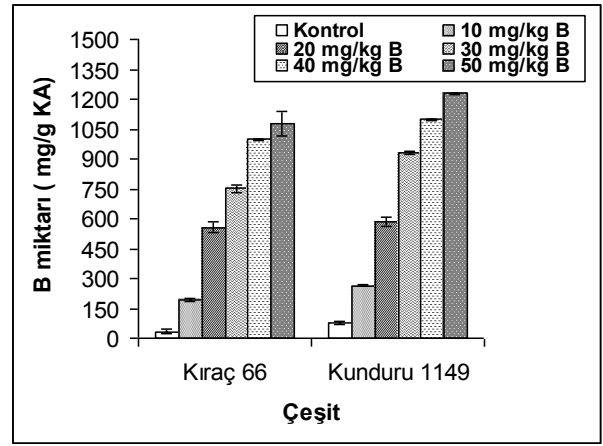
Kontrol ve uygulama grubunda yer alan örneklerin karşılaştırılması ile B toksisitesinin bitki büyümesi ve metabolizması üzerine etkileri incelenmiştir.

B toksisitesi altında her iki çeşide ait fidelerin uygulanan B konsantrasyonunun artışına bağlı olarak fide boyu ($p < 0.01$) (şekil 1.) azalırken, B miktarı ($p < 0.01$) (şekil 2.) artmıştır.

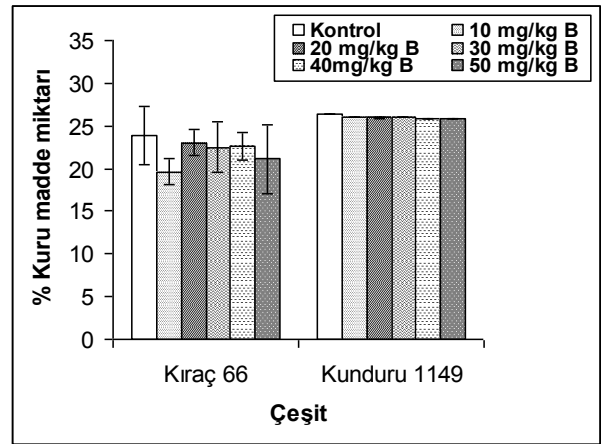
% Kuru madde miktarında (şekil 3.) ve oransal su içeriğinde (şekil 4.) gözlenen farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.



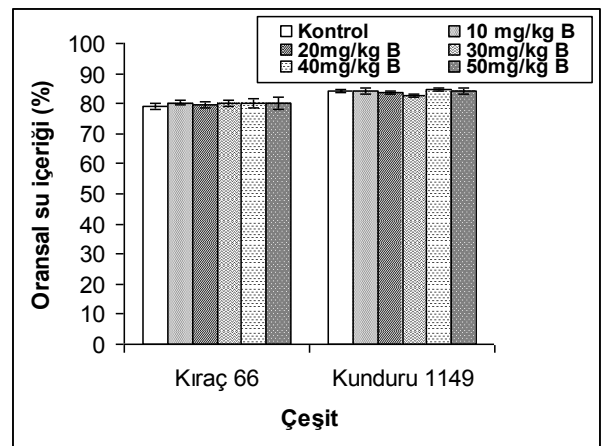
Şekil 1. Farklı B konsantrasyonlarında (Kontrol (0), 10, 20, 30, 40, 50 mg/kg) yetiştirilen ekmeklik (Kıraç 66) ve makarnalık (Kunduru 1149) buğday fidelerinin fide boyu ($n=10$)



Şekil 2. Farklı B konsantrasyonlarında (Kontrol (0), 10, 20, 30, 40, 50 mg/kg) yetiştirilen ekmeklik (Kıraç 66) ve makarnalık (Kunduru 1149) buğday fidelerinin B miktarı ($n=3$).



Şekil 3. Farklı B konsantrasyonlarında (Kontrol (0), 10, 20, 30, 40, 50 mg/kg) yetiştirilen ekmeklik (Kıraç 66) ve makarnalık (Kunduru 1149) buğday fidelerinin % kuru madde miktarı ($n=10$).

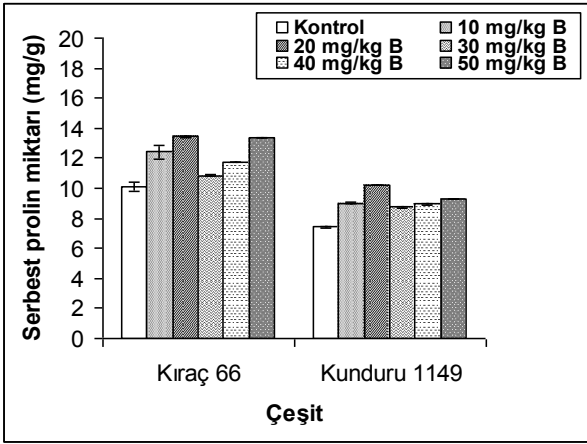


Şekil 4. Farklı B konsantrasyonlarında (Kontrol (0), 10, 20, 30, 40, 50 mg/kg) yetiştirilen ekmeklik (Kıraç 66) ve makarnalık (Kunduru 1149) buğday fidelerinin oransal su içeriği ($n=3$).

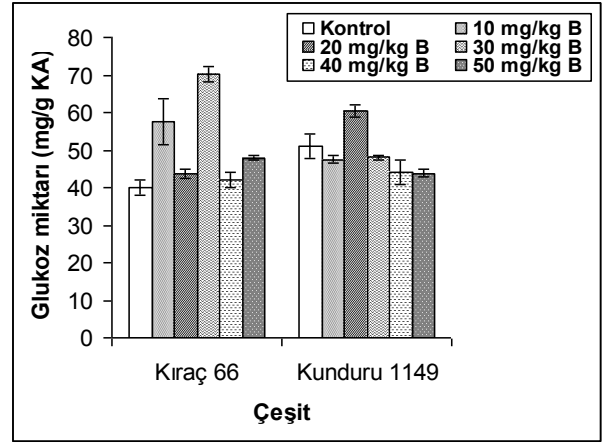
Uygulanan farklı B konsantrasyonlarında ekmeklik ve makarnalık buğday fideleri arasındaki etkileşimin serbest prolin miktarına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). Ekmeklik ve makarnalık buğday fidelerinde uygulanan tüm B konsantrasyonlarındaki artış önemli bulunmuştur ($p < 0.01$) (şekil 5.).

Uygulanan farklı B konsantrasyonlarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday fideleri arasındaki etkileşimin glukoz miktarı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). Ekmeklik buğday (Kıraç 66) fidelerinde glukoz miktarında en fazla artış 30 mg/kg B konsantrasyonunda olmuştur. Ekmeklik buğday fidelerinde 10 ve 50 mg/kg B konsantrasyonunda da glukoz miktarında artışın önemli olduğu ($p < 0.01$), diğer konsantrasyonlardaki artışın ise önemli olmadığı bulunmuştur. Makarnalık buğday (Kunduru 1149) fidelerinde, kontrole göre glukoz miktarında en fazla artış 20 mg/kg B konsantrasyonunda olduğu saptanmıştır.

Makarnalık buğday fidelerinde, glukoz miktarında en fazla azalış ise 40 ve 50 mg/kg B konsantrasyonlarında bulunmuştur (şekil 6.)

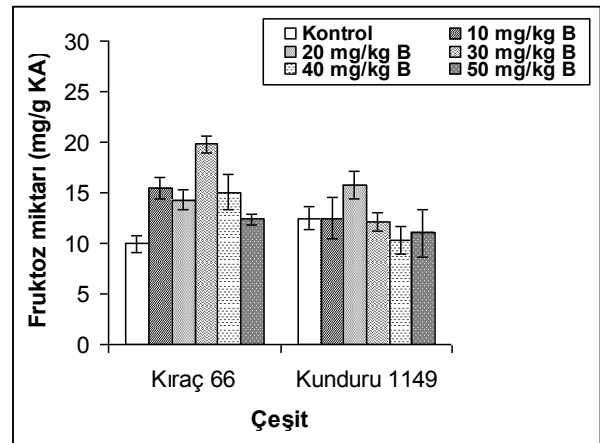


Şekil 5. Farklı B konsantrasyonlarında (Kontrol (0), 10, 20, 30, 40, 50 mg/kg) yetiştirilen ekmeklik (Kıraç 66) ve makarnalık (Kunduru 1149) buğday fidelerindeki serbest prolin miktarı



Şekil 6. Farklı B konsantrasyonlarında (Kontrol (0), 10, 20, 30, 40, 50 mg/kg) yetiştirilen ekmeklik (Kıraç 66) ve makarnalık (Kunduru 1149) buğday fidelerindeki glukoz miktarı

Uygulanan farklı B konsantrasyonlarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday fideleri arasındaki etkileşimin fruktoz miktarı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.01$) (şekil 7). Ekmeklik buğday (Kıraç 66) fidelerinde fruktoz miktarında en fazla artış 30 mg/kg B konsantrasyonunda olmuştur. Ekmeklik buğday fidelerinde uygulanan 10, 20, 40 mg/kg B konsantrasyonlarındaki artışlar da, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). Ancak 50 mg/kg B konsantrasyonundaki artış ise, istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Makarnalık buğday (Kunduru 1149) fidelerinde kontrole göre fruktoz miktarında en fazla artış 20 mg/kg B konsantrasyonunda saptanmıştır. Makarnalık buğday fidelerinde uygulanan diğer B konsantrasyonlarındaki azalış, istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.



Şekil 7. Farklı B konsantrasyonlarında (Kontrol (0), 10, 20, 30, 40, 50 mg/kg) yetiştirilen ekmeklik (Kıraç 66) ve makarnalık (Kunduru 1149) buğday fidelerindeki fruktoz miktarı

Tartışma ve Sonuç

Bitkilerde stres faktörlerinin en önemlilerinden biri olan besin elementlerinin eksikliği veya toksisitesi metabolizmanın işlevini engellemekte ve bitkilerde hasarlara neden olabilmektedir.

Bitkiler diğer streslerde olduğu gibi B ile baş edebilmek için de çeşitli biyokimyasal ve moleküler mekanizmalar geliştirmişlerdir (Seçkin, 2005).

Çalışmamızda ekmeklik ve makarnalık buğday fidelerinin B toksisitesine karşı oluşturdukları tepkiler önemli farklılıklar göstermiştir. Fide boyu, % kuru madde miktarı ve oransal su içeriği ekmeklik buğdayda (Kıraç 66), makarnalık buğdayda (Kunduru 1149) göre daha az bulunmuştur.

Ekmeklik ve makarnalık buğday fidelerinde uygulanan B konsantrasyonlarında fide boyu azalırken, konsantrasyonlar arasında fark bulunmamıştır. Farklı B konsantrasyonlarının uygulandığı ekmeklik ve makarnalık buğday fidelerinde artan B konsantrasyonlarına bağlı olarak meydana gelen B toksisitesi semptomları, toleranslı olan ekmeklik çeşitte duyarlı olan makarnalık çeşide göre daha geç ortaya çıkmıştır. Uygulanan B konsantrasyonlarına bağlı olarak ekmeklik ve makarnalık buğday fidelerinde yaprak ayası genişliğinin kontrol gruplarına göre küçüldüğü ve gelişmede gerileme olduğu gözlenmiştir. Semptomlar, B toksisitesine karşı duyarlı olduğu bilinen makarnalık buğday fidelerinde ilk önce şiddetli ve hızlı bir şekilde, B toksisitesine karşı dayanıklı olduğu bilinen ekmeklik buğday fidelerinde ise daha geç ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Paull vd. (1988)'in sonuçları ile uyumlu bulunmuştur.

B toksisitesi daha çok mevcut B'un önemli miktarda sitozolde birikmesiyle kendini göstermektedir. Fakat B

daha çok hücre çeperinde veya vakuolde bulunursa bitki üzerindeki tahribatın daha az olacağı bildirilmiştir (Marshner, 1995). Bu bilgiler doğrultusunda, B konsantrasyonundaki artışın çok belirgin olmadığı türlerde, toleranslı türün (Kıraç 66) sahip olduğu B'un büyük bir kısmının hücre çeperinde veya vakuolde, B'a duyarlı türün (Kunduru 1149) ise sahip olduğu B'un önemli bir bölümünü sitoplazmada biriktirdiğini söylemek mümkündür.

Çalışmamızda B toksisitesine dayanıklı ekmeklik buğday fidelerindeki kuru madde miktarı, duyarlı olan makarnalık buğday fidelerine kıyasla daha az bulunmuştur. Bu durumun çeşitler arası farklılıktan kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

Kıraç 66 ve Kunduru 1149 fidelerinde B konsantrasyonlarına bağlı olarak oransal su içeriğinde meydana gelen değişimler arasında belirgin bir fark saptanmamıştır. Baykal (2004), farklı B konsantrasyonlarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday fidelerinde oransal su içeriğinin dayanıklılıkta önemli bir değişikliğe yol açmadığını saptamıştır. Elde

ettiğimiz sonuçlar Baykal'ın bulgularıyla uyumludur. Bu, B konsantrasyonlarının oransal su içeriği üzerinde önemli etkisinin olmadığını göstermektedir.

Toksik düzeyde B konsantrasyonu vasküler bitkilerin yaşam döngüsü süresince farklı fizyolojik etkilere yol açmaktadır. Aşırı B, kök ve sürgün büyümesini, kök hücre bölünmesini, çimlenme yüzdesini azaltırken (Ölçer ve Kocaçalışkan, 2007; Liu vd., 2000; Reid, 2007), lipidlerin peroksidasyonunu ve prolin birikimini ise artırmaktadır. (Eraslan vd., 2007). Serbest prolin bitkilerde çeşitli stres koşullarında biriken bir aminoasittir. Birikim bitkilerde dayanıklılık oluşumu ile ilişkilidir. Prolin birikimi, stresin sebep olduğu zarardan çok stres toleransının bir göstergesidir (Yashu vd., 1997). Mevcut bilgilere göre B, bitki bünyesinde karbonhidrat ve protein metabolizmasında da önemli roller üstlenmektedir (Marschner, 1995).

B karbonhidrat metabolizmasında yaptığı bileşikler sayesinde hem eksikliğinde hem de toksikliğinde karbonhidrat miktarında artışa neden olmaktadır. B konsantrasyonunun artmasına paralel olarak fıstık bitkisinin (*Pistacia vera*) yapraklarında toplam çözünür şeker miktarının artış göstermesi bu sonucu doğrulamaktadır (Brown ve Hu 1996; Ortaca, 2005).

Hücre özsuyu osmotik yoğunluğunun düzenlenmesinde rol oynayan ve koruyucu eriyik molekülleri olarak tanımlanan şekerler özellikle stres koşullarında birikmektedir. Hücre dehidrasyonunu önlemede önemli role sahip olan çözünür karbonhidratların bitki yapraklarında yeterli miktarda bulunması, prolin oksidasyonunu önlemektedir (Oaks vd., 1970). Bu prolin birikiminin çözünür karbonhidrat ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Nitekim, şekerlerin serbest prolin sentezini sağlayan öncü maddeler olarak rol oynadıkları kabul edilmektedir (Stewart, 1978).

Bu çalışmada ekmeklik buğday fidelerinde (Kıraç 66) 30 mg/kg B konsantrasyonunda çözünür karbonhidrat miktarındaki artış maksimum değerdedir. 40 ve 50 mg/kg B konsantrasyonlarında elde edilen çözünür karbonhidrat miktarları, 30 mg/kg B konsantrasyonunda elde edilen çözünür karbonhidrat miktarlarına göre azalma göstermiştir. Bu azalma dayanıklılık kazanımı için prolin miktarının artması ile ilişkili olabilir.

Makarnalık buğday fidelerinde 20 mg/kg B konsantrasyonunda çözünür karbonhidrat ve serbest prolin miktarındaki artış maksimum değerdedir. Bu B toksisitesine duyarlı çeşidin hem prolin hem de çözünür karbonhidrat miktarını birlikte artırarak dayanıklılık mekanizmasını sağladığı şekilde yorumlanabilir. Çözünür karbonhidrat ve serbest prolin ile ilişkili olarak elde ettiğimiz sonuçlar çözünür karbonhidratların prolin sentezini sağlayan öncü maddeler olduğunu ileri süren Stewart (1978)'in görüşlerini desteklemektedir.

Bu çalışmada, B toksisitesine dayanıklı ekmeklik buğday çeşidinin dayanıklılık mekanizması ya prolin ya da çözünür karbonhidrat miktarını artırarak sağlarken,

duyarlı çeşidin her iki metabolik maddeyi birden artırmaya ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, B toksisitesinin belirlenmesinde serbest prolin ve çözünür karbonhidrat miktarının önemli olduğunu ve B toksisitesine karşı oluşturulan biyokimyasal adaptasyonda serbest prolin ve çözünür karbonhidratların ilişkili olabileceğini göstermektedir.

Kaynaklar

- Bates, L.S., Waldern, R.P., Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Barut, H. 1997. Çinko eksikliği ve bor toksisitesi gösteren topraklarda gytja uygulamasının buğdayın büyümesi ve çinko ve bor konsantrasyonları üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Adana.
- Baykal, Ş. 2004. Buğday fidelerinin bor toksisitesine toleransında çözünür fenol ve protein değişimlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bergmann, W. 1992. Nutritional Disorders of plants. Pp. 289-294. Gustav Fischer Verlag Jena.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen in methods of soil analysis 2. Pp. 1145-1178. In. Black C.A. (editor). American Society of Agronomy, Madison, Wis.
- Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ.İ., Savaşçı, S., Paşlı, N. 2001. Ekoloji II. Toprak, Başkent Klise matbaacılık, Ankara, 675pp.
- Brown, P.H., Bellaloui, N., Wimmer, M.A., Bassil, E.S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeiffer, H., Dannel, F., Römhald, V. 2002. Boron in plant biology. *Plant Biol.*, 4, 205-223.
- Brown, P.H., Hu, H. 1996. Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol- rich species. *Annals of Botany*, 77, 497-505.
- Cartwright, B., Zacinas, B.A., Mayfelt, A. 1984. Toxic concentrations of boron in red-brown earth at blad Stone, South Australia. *Aust. J. Soil. Res.*, 22, 261-272.
- Chauhan, R.P.S., Power, S.L. 1978. Tolerance of wheat and pea to boron in irrigation water. *Plant and Soil*, 50, 145-149.
- Düzgüneş, O. 1963. Bilimsel araştırmalarda istatistik prensipleri ve metotları. Ankara Üni. Ziraat Fak. Matb., Ankara, 275 s.
- Eaton, F.M. 1944. Deficiency, toxicity and accumulation of boron in plants. *J. Agric. Res.*, 69, 237-277.
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., Alpaslan M. 2007. Boron toxicity alters nitrate reductase activity, proline accumulation, membrane permeability and mineral constituents of tomato and pepper plants. *Journal of Plant Nutrition*, 30, 981-994.
- Eraydın, E. 2000. Topraklarda bor adsorpsiyonu üzerine bazı anyonların etkisi. Yüksek Lisans Tezi, AÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- FAO, 1990. Micronutrient, Assesment at the country level: An intenational study. FAO Soil Bulletin by Sillanpaa, Rome.
- Gupta, U.C., Jame, Y.W., Campbell, C.A., Leyshon, A.S., Micholaichuk, W. 1985. Boron toxicity and defieny. *A review Ca. J. Soil Sci.*, 65, 381-409.
- Güneş, A., Soy, M. 2003. Fosforun domates (*Lycopersicum esculentum* L.) bitkisinde bor toksisitesini önlemede etkisi. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Dergisi, 9, 273-277.
- Halhoul, M.N., Kleinberg, I. 1972. Differential determination of glucose and fructose yielding substances with anthrone. *Anal. Biochem.*, 50, 337-343.
- Jackson, M.L. 1958. Soil chemical analysis. Pp. 1-198. Prentice- Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., USA.
- Kastori, R., Petrovic, M., Petrovic, N., Loomis, W.D., Druts, R.W. 1992. Chemistry and biology of boron. *Biofactors*, 3, 229-239.
- Lindsay, W.L., Norwell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, 42, 421-428.
- Liu, Jiang, W., Zhang, L., Li, L. 2000. Effects of boron ions on root growth and cell division of broadbean (*Vicia faba* L.) . *Israel journal of Plant Sciences*, 48, 47-51.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Pp. 379-396. 2nd ed, Academic Press, Newyork.
- Murphy, J., Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.*, 27, 31-36.
- Nable, R.O. 1988. Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat Cultivars: A preliminary examination of the resistance mechanism. *Plant and Soil*, 112, 45-52.
- Nebiler, H., Erdoğan, Y., Olgun, A., Yerlikaya, C. 1999. The effect of Bon in vineyard. 1st. Symposium on protection of environmental and Erhami Karaçam, Kütahya.

- Oaks, A., Mitchell, D.J., Barnard, R.A., Johnson, F.J.1970. The regulation of proline biosynthesis in maize roots. *Can. J. Bot.*, 48, 2249-2258.
- Olsen, S.R., Cole, V., Watanabe, F., Dean, L.B. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. Of. Agr., Washington D.C, 936 pp.
- Ortaca, Ş. 2005. Borun ayçiçeği bitkisinde vejetatif büyüme, pigment, protein miktarı, ve protein profili üzerine etkileri. Yüksek Lisan Tezi, Dumlupınar Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Ölçer, H., Kocaçalışkan, I. 2007. Excess boron reduces polyphenol oxidase activities in embryo and endosperm of maize seed during germination. *Journal of Biosciences*, 62, 111-115.
- Özkurt, Ş. 2000. Boron accumulation in carps tissues (*Cypriks carpio L.*, 1758) in dam lakes Çatören and Kunduzlar (Kırka- Eskişehir). *Turk J. Biol.*, 24, 663-676.
- Paull, J.G., Rathjen, A.J., Carwright, B. 1988. Response of wheat and barley genotypes to toxic concentration of soil boron. *Euphytica*, 39,137-144.
- Reid, R. 2007. Update on boron toxicity and tolerance in plants. , Pp. 83-90. In. H.E. Goldbach, P.H. Brown, R.W. Bell, T. Fujiwara, C.D. Hunt, S. Golberg, L. Shi, (Editors). *Advances in plant and animal boron nutrition*, Springer, Dordrecht.
- Richards, L.A.1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA, Salinity labatory, Agricultural Handbook, 60, 110-118.
- Roessner, U., Patterson, J.H., Forbes, M.G., Fincher, G.B., Langidge, P., Baciv, A. 2006. An investigation of boron toxicity in barley using metabolomics. *Plant physiology*, 142, 1087-1101.
- Scaife, A., Turner, M. 1983. Diagnosis of Mineral Disorders in Plants. Pp. 96. In. J.B.D. Robinson (Editor). *Vegetables*, HMSO, London.
- Seçkin, B. 2005. Mannitolün tuz stresine maruz bırakılan buğday fidelerinin antioksidant enzim düzeyleri üzerindeki etkilerinin araştırılması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Severson, R.C., Gouch, L.P. 1983. Boron in mine soils and rehabilitation plant species at selected surface coal mines in Western United State *J. Environ Qual.*, 12, 142-146.
- Stewart, C.R. 1978. Role of carbohydrates in proline accumulation in wilted barley leaves. *Plant Physiol.*, 61, 775-778.
- Takano, J., Miwa, K., Fuiwara T. 2008. Boron transport mechanisms. Colaboration of channels and transporters. *Trends in Plant Science*, 13, 451-457.
- Ülgen, N., Yurtsever, N., 1974. Türkiye gübre ve gübreleme rehberi. Toprak ve gübre araştırma enstitüsü teknik yayın no:28, Ankara.
- Yashu, Y., Tomohiro, K., Kazuko, Y.S. 1997. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. *Plant Cell Physiology*, 38, 1095-1102.
- Wolf, B. 1971. The determination of boron in soil extracts, plant materials, compost, manures, water and nutrient solutions. *Soil Sci and Plant Analy.*, 2, 363-374.