



Tarım Bilimleri Dergisi
Tar. Bil. Der.
Dergi web sayfası:
www.agri.ankara.edu.tr/dergi

Journal of Agricultural Sciences
Journal homepage:
www.agri.ankara.edu.tr/journal

Türkiye’de Ekimi Yapılan Bazı Arpa Çeşitlerinde Erken Fide Evresi Tuz Toleransının Belirlenmesi

Mustafa YILDIZ^a, Hakan TERZİ^a

^a Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Afyonkarahisar, TÜRKİYE

ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi — Bitkisel Üretim

Sorumlu Yazar: Mustafa YILDIZ, e-posta: mustafa_yildizus@yahoo.com, Tel: +90(272) 228 1339

Geliş tarihi: 02 Şubat 2011, Düzeltmelerin gelişi: 25 Nisan 2011, Kabul: 26 Nisan 2011

ÖZET

Bu araştırmada, farklı NaCl konsantrasyonlarına (0, 100, 150 ve 200 mM) maruz bırakılan on iki arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidi erken fide evresinde tuza toleransları bakımından sınıflandırılmıştır. Arpa çeşitlerinin tuza toleransındaki tepkileri belirlemek için kök ve gövde kuru ağırlığının bir fonksiyonu olarak tuza tolerans indeksi (%) bir kriter olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, Avcı-2002 tuza en toleranslı ve Tokak 157/37 tuza en hassas arpa çeşidi olarak belirlenmiştir. Na⁺/K⁺ oranının tuza tolerans açısından etkili bir kriter olarak kullanılıp kullanılmayacağını değerlendirmek için Avcı-2002 ve Tokak 157/37 arpa çeşitleri, kontrol veya artan NaCl konsantrasyonlarına (100, 200 ve 300 mM) 6 gün için maruz bırakılmıştır. Her iki arpa çeşidi, köküne göre gövdesinde daha fazla Na⁺ ve K⁺ biriktirmiştir. Her iki arpa çeşidinin kök ve gövde dokusunda NaCl konsantrasyonunun artmasıyla Na⁺ içeriği önemli düzeyde artarken, K⁺ içeriği önemli düzeyde azalmıştır ($P<0.05$). Bu bağlamda, Na⁺/K⁺ oranındaki artış, Avcı-2002 arpa çeşidine göre Tokak 157/37 arpa çeşidinde genellikle daha yüksek bulunmuştur ($P<0.05$). Sonuç olarak, kuru ağırlık ve Na⁺/K⁺ oranı bir genotipin tuza toleransının güvenilir indeksi olarak kullanılabilir.

Keywords: *Hordeum vulgare*; Kuru ağırlık; Na⁺; K⁺; NaCl toleransı

Determination of Early Seedling Stage Salt Tolerance in Some Barley Cultivars Grown in Turkey

ARTICLE INFO

Research Article — Crop Production

Corresponding author: Mustafa YILDIZ, e-mail: mustafa_yildizus@yahoo.com, Tel: +90(272) 228 1339

Received: 02 February 2011, Received in revised form: 25 April 2011, Accepted: 26 April 2011

ABSTRACT

In this research, twelve cultivars of barley (*Hordeum vulgare* L.) subjected to different NaCl concentrations (0, 100, 150 and 200 mM NaCl) were classified according to their salt tolerance at early seedling stage. To evaluate responses in salt tolerance of barley cultivars, the salt tolerance index (%), which is a function of root and shoot dry weights, was evaluated as a criterion. As a result, the most salt-tolerant barley cultivar, Avcı-2002, and the most salt-susceptible barley cultivar, Tokak 157/37, were selected. In order to evaluate whether Na⁺/K⁺ ratio could be used as an effective criterion for salt tolerance in barley cultivars, Avcı-2002 and Tokak 157/37 were subjected to control or increased concentrations of NaCl (100, 200 and 300 mM) for 6 days. Both barley cultivars accumulated more Na⁺ and K⁺ in their shoots than roots. The contents of Na⁺ in the root and shoot of both cultivars increased significantly

with increasing concentrations of NaCl, whereas the contents of K⁺ decreased ($P<0.05$). In this sense, the increment in Na⁺/K⁺ ratio was found generally higher in Tokak 157/37 barley cultivar than Avcı-2002 barley cultivar ($P<0.05$). In conclusion, dry biomass and Na⁺/K⁺ ratio can be used as reliable index of salt tolerance of a genotype.

Anahtar sözcükler: *Hordeum vulgare*; Dry biomass; Na⁺; K⁺; NaCl tolerance

© Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

1. Giriş

Dünyanın yaklaşık %7’si, kültüre alınmış alanların %20’si ve sulama yapılabilen alanların neredeyse yarısı tuzluluktan etkilenmektedir (Zhu 2001). Ülkemizde ise tuzlu topraklar toplam 1.5 milyon ha alanı kapsamaktadır (TÜİK 2004). Yüksek tuz konsantrasyonlarında tüm bitki türleri belirgin büyüme inhibisyonları göstermesine karşın, büyüme ve üretkenlik açısından türler ve çeşitler arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır (Munns 2002). Tuza tolerans için agronomik seleksiyon parametreleri arasında verim, canlılığın sürdürülmesi, bitki boyu (Noble & Rogers 1992), nispi büyüme oranı (Cramer et al 1990), nispi büyüme inhibisyonu (He & Cramer 1992; Bağcı et al 2003), yaprak yüzey alanı (Franco et al 1993), hücresel zarar (Munns 1993) ve Na⁺/K⁺ oranı (Joshi et al 1979; Kholová et al 2010) gösterilmektedir. Bununla birlikte, bir bitki türü hücre, doku veya tüm bitki seviyesinde tuza toleransın ayırt edici indikatörlerine sahipse, seleksiyonun çok daha elverişli ve uygulanabilir olduğu ileri sürülmüştür (Munns 2002; Ashraf & Harris 2004).

Tuzlu topraklarda, aşırı miktarda değiştirilebilir Na⁺ iyonlarından dolayı yüksek Na⁺/K⁺ oranının oluşması karakteristiktir. Bu topraklarda büyüyen bitkilerde yüksek oranda Na⁺ birikirken, K⁺ gibi elementlerin alınımı azalmaktadır (Davenport et al 1997). Yüksek NaCl konsantrasyonlarında büyümedeki azalmanın K⁺ alınımındaki azalmadan kaynaklandığı bildirilmiştir (Sairam & Tyagi 2004). Bitkilerin tuza toleranslarının Na⁺ ve K⁺ içerikleri ile belirlenmesi, genotiplerin farklı seviyede Na⁺ ve K⁺ biriktirmeleriyle karakterize edilmiştir (Misra & Dwivedi 2004). Birçok çalışmada, tuz stresine bağlı olarak Na⁺/K⁺ oranındaki artışın tuza toleranslı genotiplere göre hassas genotiplerde daha fazla olduğu bildirilmiştir (Sairam et al 2002; Khan & Panda 2008; Kholová et al 2010).

Leonova et al (2005), fide uzunluğu temelinde 12 arpa çeşidini, Bağcı et al (2003) ise kuru ağırlık

temelinde 8 arpa çeşidini tuzluluk toleransı açısından sınıflandırmışlardır. Leonova et al (2005), tuza toleranslı ve hassas ikişer çeşitte, Bağcı et al (2003) ise tüm çeşitlerde Na⁺ ve K⁺ analizleri yaparak arpa çeşitlerinin tuza toleranslarındaki karakteristikleri belirlemiştir. Bu çalışmada ise Türkiye’de ekimi yapılan 12 arpa çeşidi farklı NaCl konsantrasyonlarına (0, 100, 150 ve 200 mM) maruz bırakılmış ve erken fide evresinde tuza toleranslarındaki genotipik çeşitlilik bakımından sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre NaCl tuzluluğuna en toleranslı ve en hassas arpa çeşitleri, artan konsantrasyonda NaCl (0, 100, 200 ve 300 mM) koşullarına maruz bırakılmış ve Na⁺ ve K⁺ içerikleri bakımından çeşitler arasındaki farklılıklar ortaya konmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Bitki materyalleri ve yetiştirme koşulları

Bu çalışmada, Türkiye’de ekimi yapılan ve Ankara Merkez Tarımsal Araştırma Enstitüsünden temin edilen 12 arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidini (Angora, Avcı-2002, Aydanhanım, Başgül, Bülbül-89, Çatalhöyük-2001, Çetin-2000, Çumra-2001, Orza-96, Tarm-92, Tokak 157/37, Zeynelağa) ait tohumluklar kullanılmıştır. Tohumların kabuk yüzey sterilizasyonu %10’luk ticari sodyum hipoklorürde 10 dakika süreyle yapılmış ve üç kez distile sudan geçirilmiştir. Sonrasında tohumlar, içerisinde distile su ile ıslatılmış filtre kağıdı bulunan çimlendirme kaplarında 3 gün boyunca karanlıkta ve 25±1°C sıcaklıkta çimlendirilmiştir. Yaklaşık aynı koleoptil ve embriyonal kök uzunluğuna sahip seçilmiş etiyolederler, kontrol (0, ½ Hewitt besin çözeltisi) ve farklı NaCl konsantrasyonlarını (½ Hewitt besin çözeltisi ile hazırlanmış 100, 150 ve 200 mM NaCl çözeltileri) içeren hidroponik kültür ortamına transfer edilmiş ve kontrollü iklim kabini (25±1°C, %60 nispi nem ve 13.000 lüks ışık şiddetinde 12 saat fotoperiyot) 7 gün süreyle büyütülmüştür. Besin

çözeltileri güneşini yenilenmiştir. Kontrol ve NaCl konsantrasyonlarına ait fidelerin kök ve gövde dokuları ayrılmış, 80°C'de 48 saat kurutulmuş ve kuru ağırlıkları (mg) belirlenmiştir. Denemeler, üç tekrarlı ($n=10$) olmak üzere iki kez tekrar edilmiştir.

2.2. Arpa çeşitlerinin tuza tolerans seviyelerinin belirlenmesi

Erken fide evresinde, arpa çeşitlerinin NaCl tuzluluğuna toleransı bakımından genotipik çeşitliliği belirlemek için kök ve gövde kuru ağırlığının (KKA ve GKA) bir fonksiyonu olarak tuza tolerans indeksi (TTİ, %) hesaplanmıştır (Bağcı et al 2003):

$$TTİ (\%) = [(KKA \text{ veya } GKA)_{NaCl} / (KKA \text{ veya } GKA)_{Kontrol}] \times 100$$

Her bir NaCl konsantrasyonunda 12 arpa çeşidi için hesaplanan TTİ (%) değerleri, en düşükten (1 puan) en yükseğe (12 puan) doğru puanlandırılmıştır (Ayhan et al 2007). Daha sonra, her bir arpa çeşidi için tüm konsantrasyonlardaki puanlar toplanmış ve toplam puanlar dikkate alınarak 12 arpa çeşidi tuza toleransları bakımından sınıflandırılmıştır.

2.3. Na⁺ ve K⁺ içeriğinin belirlenmesi

Tuza toleranslı Avcı-2002 ve hassas Tokak 157/37 arpa çeşitlerine ait üç günlük etiyole fideler, ½ Hewitt besin çözeltisi içeren hidroponik kültür ortamına transfer edilmiş ve kontrollü iklim kabininde 24 saat daha büyütülmüştür. Dört günlük de-etiyole fideler, kontrol (0, ½ Hewitt besin çözeltisi) ve artan NaCl konsantrasyonlarında (½ Hewitt besin çözeltisi ile hazırlanmış 100, 200 ve 300 mM NaCl çözeltileri) kontrollü iklim kabininde 6 gün süreyle büyütülmüştür. Tuza toleranslı ve hassas arpa çeşidinin Na⁺ ve K⁺ içeriklerindeki farklılığın daha belirgin ortaya konulabilmesi için konsantrasyon artışı yapılmıştır. Denemenin sonunda, kontrol ve NaCl konsantrasyonlarına ait fidelerin kök ve gövde dokuları ayrılmış ve 80°C'de 48 saat kurutulmuştur. Kuru kök ve gövde dokuları (1 g) %65'lik HNO₃ çözeltisi içinde mikrodalga fırında (Berghof Products & Instruments, Germany) yakılmıştır. Örneklerin Na⁺ ve K⁺ içerikleri ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, Perkin Elmer 2100 DV) kullanılarak belirlenmiştir. Kök ve

gövde dokularındaki Na⁺ ve K⁺ içerikleri mg g⁻¹ KA olarak hesaplanmıştır. Denemeler üç tekrarlı gerçekleştirilmiştir.

2.4. Verilerin analizi

Denemeler, tesadüf parselleri çeşitler×tuz konsantrasyonları faktöriyel düzeninde gerçekleştirilmiştir. Verilerin varyans analizi SPSS 15.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verilere ait ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($P<0.05$) farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Yüksek toprak tuzluluğuna toleranslı ve ekonomik ürün verebilen bitki tür ve çeşitlerinin belirlenmesi, tuzluluk problemi olan alanların ekime kazandırılabilmesinde birincil biyotik yaklaşım olarak bildirilmiştir (Ashraf & Harris 2004).

Tuz stresi iyon toksisitesi, iyon dengesizliği ve/veya bu faktörlerin etkileşimleri ile bitki büyümesinde inhibisyona neden olabilmektedir (Ashraf 1994). Arpa çeşitlerinin kök ve gövde kuru ağırlıkları üzerine çeşit ve NaCl tuzluluğu ana faktör etkileri ve bu faktörlere ait etkileşimler (çeşit×NaCl) önemli düzeyde bulunmuştur ($P<0.001$). Araştırmamızda, Türkiye'de ekimi yapılan 12 arpa çeşidinin NaCl tuzluluğuna toleransındaki genotipik çeşitlilik bitki kuru ağırlığı temelinde belirlenmiştir. Arpa çeşitlerinin kök ve gövde kuru ağırlıkları, NaCl konsantrasyonundaki (100, 150 ve 200 mM) artışa bağlı olarak önemli düzeyde ($P<0.001$) farklılıklar göstermiştir (Çizelge 1). Arpa çeşitlerinin kök kuru ağırlıkları kontrole göre 100, 150 ve 200 mM NaCl konsantrasyonlarında genellikle önemli düzeyde azalmış ve bu azalma sırasıyla % 0.5-7, % 2-18 ve % 10-45 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Neumann (1995), tuzluluğun topraktan su ve mineral besinlerin alımını engelleyerek süratle kök büyümesini inhibe ettiğini belirtmiştir. Arpa çeşitlerinin gövde kuru ağırlıkları kontrole göre 100, 150 ve 200 mM NaCl konsantrasyonlarında önemli düzeyde azalmış ve bu azalma sırasıyla % 8-28, % 18-34 ve % 38-60 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Artan tuzluluk ile bitki

Çizelge 1-Bazı arpa çeşitlerinin kök ve gövde kuru ağırlıkları üzerine farklı NaCl konsantrasyonlarının etkisi

Table 1-Effect of different NaCl concentrations on root and shoot dry weights of some barley cultivars

Arpa çeşidi	NaCl, mM	Kök ağırlığı, mg	Gövde ağırlığı, mg
Angora	0	83.7±1.9 a	327.3±6.4 a
	100	78.0±1.2 b	268.0±3.5 b
	150	69.0±1.0 c	225.3±5.4 c
	200	64.0±1.5 d	176.7±3.8 d
Avcı-2002	0	61.0±0.6 a	248.0±2.5 a
	100	65.7±1.5 b	229.0±4.4 b
	150	60.7±1.5 c	203.7±3.2 c
	200	50.3±2.9 d	151.7±3.8 d
Aydanhanım	0	83.3±0.9 a	273.3±2.3 a
	100	78.0±1.0 b	226.3±3.9 b
	150	72.3±1.5 c	197.3±3.5 c
	200	56.3±1.9 d	157.3±0.7 d
Başgül	0	82.0±1.0 a	333.7±1.7 a
	100	84.3±0.7 a	290.7±1.2 b
	150	74.7±0.9 b	249.7±5.6 c
	200	58.7±1.9 c	174.3±7.2 d
Bülbül-89	0	78.0±1.2 a	335.0±5.5 a
	100	73.3±2.3 ab	277.3±2.7 b
	150	69.3±0.9 b	230.7±2.8 c
	200	42.7±2.0 c	160.0±1.2 d
Çatalhüyük-2001	0	85.0±3.2 a	361.3±7.7 a
	100	82.3±2.7 a	260.7±5.2 b
	150	83.0±1.7 a	259.3±4.4 b
	200	55.0±1.5 b	165.0±1.7 c
Çetin-2000	0	55.3±2.0 a	274.7±7.9 a
	100	54.3±0.3 a	214.3±3.0 b
	150	52.0±1.2 ab	199.0±1.7 c
	200	50.0±1.0 b	171.3±3.2 d
Çumra	0	83.7±2.6 ab	319.7±3.0 a
	100	85.3±2.2 a	285.3±5.6 b
	150	78.0±2.1 b	252.0±3.5 c
	200	53.7±0.7 c	182.3±2.3 d
Orza-96	0	82.3±1.7 a	355.7±2.6 a
	100	82.0±0.6 a	308.3±4.4 b
	150	77.0±2.1 b	255.0±5.2 c
	200	60.3±1.2 c	177.0±3.1 d
Tarm-92	0	77.7±0.9 a	317.0±4.2 a
	100	77.0±0.6 a	270.0±5.5 b
	150	68.3±1.3 b	215.0±1.2 c
	200	53.0±1.2 c	158.3±4.2 d
Tokak 157/37	0	90.0±0.6 a	386.7±4.1 a
	100	89.0±1.2 a	319.7±7.8 b
	150	79.0±3.5 b	258.3±6.7 c
	200	54.7±0.7 c	154.3±2.0 d
Zeynelağa	0	79.7±1.8 a	306.7±2.7 a
	100	81.7±1.2 a	264.7±2.9 b
	150	69.3±0.7 b	201.7±1.3 c
	200	49.3±1.5 c	143.0±0.6 d
<i>Ana etkiler ortalaması</i>			
Angora		73.7±2.4 cd	249.3±16.8 a
Avcı-2002		59.4±1.9 ab	208.1±11.0 a
Aydanhanım		72.5±3.1 cd	213.6±12.8 a
Başgül		74.9±3.1 cd	262.1±17.8 ab
Bülbül-89		65.8±4.2 bc	250.8±19.4 ab

Çatalhüyük-2001	76.3±3.9 cd	261.6±21.1 ab
Çetin-2000	52.9±0.8 a	214.8±11.6 a
Çumra	75.2±3.9 cd	259.8±15.4 ab
Orza-96	75.4±2.8 cd	274.0±20.1 b
Tarm-92	69.0±3.0 bcd	240.1±18.0 ab
Tokak 157/37	78.2±4.4 d	279.8±25.9 b
Zeynelağa	70.0±3.9 cd	229.0±18.8 ab
0	78.5±1.7 a	319.9±6.6 a
100	77.6±1.6 a	267.9±5.3 b
150	71.1±1.4 b	228.9±4.2 c
200	54.0±1.0 c	164.3±2.1 d
<i>P değerleri</i>		
Çeşit (Ç)	<0.001	<0.001
NaCl (T)	<0.001	<0.001
Ç × T	<0.001	<0.001

^{a,d}; Bir kritere ait kolondaki farklı harfler, istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($P<0.05$) farklılıkları göstermektedir

biyokütlesindeki azalmanın, bitkinin büyüyen genç dokularına metabolitlerin sınırlı taşınımından ve yüksek tuz konsantrasyonlarında metabolik aktivitenin önemli derecede bozulmasından kaynaklandığı bildirilmiştir (Şiler et al 2007). Araştırmamızda, kök kuru ağırlıklarına göre gövde kuru ağırlıklarının tuz stresinden daha fazla etkilendiği belirlenmiştir. Ashraf & Harris (2004), bitki büyümesindeki tuz teşvikli inhibisyonda bitki organları arasında farklılığın olduğunu bildirmişlerdir.

Tuza tolerans, bitkilerin tuzlu koşullar altında hayatta kalma ve büyüme döngüsünü tamamlayabilme yeteneği olarak tanımlanır ve farklı mekanizmaları içeren kompleks bir olaydır (Ashraf 1994). Royo & Aragües (1999), arpanın tuza toleranslı bir tahıl türü olmasına rağmen, tuzlu koşullar altında genotipleri arasında geniş bir çeşitliliğin bulunduğunu belirtmişlerdir. Tuz stresi altında bitki büyümesi, tuza toleranslı genotiplerin belirlenmesinde yaygın bir tarama kriteri olarak kullanılmaktadır (Parida & Das 2005). Mevcut araştırmada, erken fide evresinde arpa çeşitlerinin tuza toleransında genotipik çeşitliliği belirlemek için kök ve gövde kuru ağırlığının bir fonksiyonu olarak tuza tolerans indeksi (% TTİ) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 2). Bu bağlamda, yapılan puanlandırmaya göre Avcı-2002 NaCl tuzluluğuna en toleranslı, Tokak 157/37 ise NaCl tuzluluğuna en hassas arpa çeşidi olarak belirlenmiştir. Leonova et al (2005) yaptığı çalışmada, 12 arpa çeşidini fide uzunluğu temelinde tuza tolerans bakımından değerlendirmişler ve en yüksek tuz

konsantrasyonunda (170 mM NaCl) tuz-teşvikli büyüme inhibisyonuna bağlı olarak yapılan sınıflandırmada üç çeşidi tuza toleranslı (Local from Ecuador, Elo ve Odesskii 115) ve ikisini tuza hassas (Belogorskii ve QB 60.1) olarak sınıflandırmışlardır. Bununla birlikte, Bağcı et al (2003), tuz stresi altındaki bazı arpa genotiplerinin uzun kök ve gövdeye sahip olmalarına karşın, daha ince olmaları ve yeterli kuru ağırlık oluşturmamaları nedeniyle stres toleransının belirlenmesinde kuru ağırlığın primer seleksiyon kriteri olarak kullanılmasının daha uygun olacağını bildirmişlerdir. Ayrıca, aynı araştırmacılar Türkiye’de ekimi yapılan 8 arpa çeşidini (Bülbül-89 ve Tokak 157/37 arpa çeşitleri mevcut çalışmada da kullanılmış) kök ve gövde kuru ağırlığı temelinde tuza tolerans bakımından sınıflandırmış ve araştırmamıza benzer olarak Tokak 157/37 arpa çeşidini tuza hassas olarak belirlemişlerdir.

Tuz stresine maruz kalan bitkilerde Na^+ içeriğindeki artış ve K^+ içeriğinde azalış iyonik dengesizliğe neden olmaktadır (Khan & Panda 2008). Arpa çeşitlerinin kök ve gövde Na^+ , K^+ içerikleri ve Na^+/K^+ oranları üzerine çeşit ve NaCl tuzluluğu ana faktör etkileri ve bu faktörlere ait etkileşimler (çeşit \times NaCl), gövde K^+ içerikleri hariç genellikle önemli bulunmuştur ($P<0.001$). Mevcut araştırmada, NaCl konsantrasyonundaki artış tuza toleranslı Avcı-2002 ve hassas Tokak 157/37 arpa çeşidinin kök ve gövde dokusunda Na^+ içeriğinde artışa, K^+ içeriğinde ise azalmaya neden olmuştur (Çizelge 3). Bununla birlikte, her iki arpa çeşidinin kök dokusuna göre gövde dokusunda daha fazla

Çizelge 2-Farklı NaCl konsantrasyonlarında yetiştirilen arpa çeşitlerinin tuza tolerans indeksi (% TTİ) değerleri ve puanları*Table 2-Salt tolerance index (STI %) values and scores of barley cultivars grown in different NaCl concentrations*

Çeşitler	Kök TTİ (%)			Gövde TTİ (%)			Toplam puan
	100 mM	150 mM	200 mM	100 mM	150 mM	200 mM	
Angora	93.2 (1)*	82.5 (1)	76.5 (10)	81.9 (3)	68.8 (4)	54.0 (8)	27
Avcı-2002	107.7	99.5 (12)	82.5 (11)	92.3 (12)	82.1 (12)	61.2 (11)	70**
Aydanhanım	93.6 (2)	86.8 (5)	67.6 (6)	82.8 (6)	72.2 (9)	57.6 (10)	38
Başgül	102.8	91.1 (7)	71.5 (8)	87.1 (10)	74.8 (10)	52.3 (7)	53
Bülbül-89	94.0 (3)	88.9 (6)	54.7 (1)	82.7 (5)	68.9 (5)	47.8 (4)	24
Ç.hüyük-2001	96.9 (4)	97.6 (11)	64.7 (5)	72.1 (1)	71.8 (7)	45.7 (2)	30
Çetin-2000	98.2 (5)	94.0 (10)	90.4 (12)	78.0 (2)	72.5 (8)	62.4 (12)	49
Çumra	102.0 (9)	93.2 (8)	64.1 (4)	89.3 (11)	78.8 (11)	57.0 (9)	52
Orza-96	99.6 (8)	93.5 (9)	73.3 (9)	86.7 (9)	71.7 (6)	49.8 (6)	47
Tarm-92	99.1 (7)	88.0 (4)	68.2 (7)	85.2 (7)	67.8 (3)	49.9 (5)	33
Tokak 157/37	98.9 (6)	87.8 (3)	60.7 (3)	82.6 (4)	66.8 (2)	39.9 (1)	19**
Zeynelağa	102.5	87.0 (2)	61.9 (2)	86.3 (8)	65.8 (1)	46.6 (3)	26

* Parantez içindeki rakamlar TTİ (%) değerlerine göre verilen puanlardır

** En yüksek puan en az zararı, en düşük puan ise en fazla zararı ifade etmektedir

Çizelge 3-Bazı arpa çeşitlerinin kök ve gövde Na⁺, K⁺ içerikleri ve Na⁺/K⁺ oranları üzerine farklı NaCl konsantrasyonlarının etkisi*Table 3-Effect of different NaCl concentrations on root and shoot Na⁺, K⁺ contents and Na⁺/K⁺ ratios of some barley cultivars*

Arpa çeşidi	NaCl, mM	Kök			Gövde		
		Na ⁺ içeriği, mg g ⁻¹ KA	K ⁺ içeriği, mg g ⁻¹ KA	Na ⁺ /K ⁺ oranı	Na ⁺ içeriği, mg g ⁻¹ KA	K ⁺ içeriği, mg g ⁻¹ KA	Na ⁺ /K ⁺ oranı
Avcı-2002	0	5.6±0.4 a	13.2±0.6 a	0.41 a	0.8±0.02 a	102.9±4.3 a	0.01 a
	100	6.9±0.4 a	11.9±0.5 b	0.58 b	22.6±2.1 b	71.3±2.4 b	0.32 b
	200	13.5±0.4 b	7.9±0.5 d	1.71 c	29.0±2.0 b	57.9±2.4 c	0.50 d
	300	23.8±0.9 d	3.7±0.4 f	6.50 g	79.1±3.1 d	29.3±2.1 d	2.70 f
Tokak 157/37	0	6.3±0.4 a	9.7±0.4 c	0.65 b	0.9±0.03 a	102.2±4.6 a	0.01 a
	100	13.9±0.7 b	7.4±0.4 d	1.89 d	26.4±2.0 b	67.2±2.5 b	0.39 c
	200	18.2±0.9 c	6.0±0.4 e	3.03 e	29.4±2.1 b	50.3±2.6 c	0.58 e
	300	25.6±1.1 d	5.3±0.4 e	4.87 f	62.5±3.3 c	17.6±1.1 e	3.55 g
<i>Ana etkiler ortalaması</i>							
Avcı-2002		12.4±1.9 a	9.2±1.0 a	2.30 a	32.9±7.5 a	65.3±6.9 a	0.88 a
Tokak 157/37		16.0±1.8 b	7.1±0.5 b	2.61 b	29.8±5.7 a	59.3±8.0 b	1.13 b
	0	5.9±0.3 a	11.5±0.8 a	0.52 a	0.85±0.02 a	102.6±2.9 a	0.01 a
	100	10.4±1.4 b	9.6±0.9 a	1.23 b	24.5±1.5 b	69.2±1.8 b	0.35 b
	200	15.8±1.0 c	7.0±0.5 b	2.37 c	29.2±1.4 b	54.1±2.2 c	0.54 b
	300	24.7±0.7 d	4.5±0.4 c	5.68 d	70.8±3.8 c	23.4±2.5 d	3.12 c
<i>P değerleri</i>							
Çeşit (Ç)		<0.001	<0.001	<0.001	0.053	0.008	<0.001
NaCl (T)		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Ç × T		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.301	<0.001

^{a-g}, Bir kritere ait kolondaki farklı harfler, istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki (P<0.05) farklılıkları göstermektedir

Na⁺ ve K⁺ birikmiştir. Tuz stresi altında büyüyen bitkilerde Na⁺'un biriktiği ve bu birikimin köklere göre gövdede daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu belirtilmiştir (Tester & Davenport 2003).

Buna karşın, birçok bitki türünde iyon zararını azaltmak için gövdeye Na⁺ iyonlarının taşınımının engellendiği ve kök hücre vakuollerinde Na⁺'un biriktiği bildirilmiştir (Saqib et al 2005; Apse &

Blumwald 2007). Bununla birlikte, fotosentez yapan, aktif olarak büyüyen ve meristematik hücrelere Na^+ girişinin sınırlanmasının tuza tolerans ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Hasegawa et al 2000). Mevcut araştırmada, kontrole göre 300 mM NaCl konsantrasyonunda, tuza toleranslı Avcı-2002 arpa çeşidinin gövde dokusundaki Na^+ birikimi 94 kat, tuza hassas Tokak 157/37 çeşidinde ise 73 kat artış göstermiştir (Çizelge 3). Bununla birlikte, NaCl konsantrasyonundaki artış Avcı-2002 çeşidinin kök dokusundaki Na^+ birikiminde 1.2-4.3 kat, Tokak 157/37 çeşidinde ise 2.2-4.1 kat artışa neden olmuştur (Çizelge 3). Bu bulgudan farklı olarak, Leonova et al (2005) tarafından NaCl stresine maruz kalan tuza hassas arpa çeşitlerinin toleranslı çeşitlere göre gövde dokusunda daha yüksek oranda, kök dokusunda ise daha düşük oranda Na^+ biriktirdiği bildirilmiştir. Diğer taraftan, tuza hassas arpa ve çeltik genotiplerinin hem kök hem de gövde dokularındaki Na^+ birikiminin tuza toleranslı genotiplere göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Wei et al 2003; Khan & Panda 2008). Araştırmamızda, Tokak 157/37 arpa çeşidine göre Avcı-2002 arpa çeşidinin K^+ içeriğindeki azalma gövde dokusunda daha düşük, kök dokusunda ise daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3). Artan NaCl konsantrasyonu tuza toleranslı Avcı-2002 çeşidinin gövde K^+ içeriğinde %30-72, tuza hassas Tokak 157/37 çeşidinde ise %34-83 azalmaya neden olmuştur. Diğer taraftan, Avcı-2002 arpa çeşidinin kök dokusunda K^+ içeriği %14-73 azalırken, Tokak 157/37 çeşidinde %24-46 oranında azalmıştır (Çizelge 3). Leonova et al (2005), tuza hassas arpa çeşidinin gövde dokusunda K^+ içeriğinin azaldığını, buna karşın en toleranslı çeşitte K^+ içeriğinin arttığını belirtmişlerdir. Kholová et al (2010), tuza hassas mısır çeşidinde daha yüksek oranda Na^+ birikiminin tuza hassasiyetin bir nedeni olabileceğini ve toleranslı çeşitte daha yüksek K^+ içeriğinin tuza toleransa katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir.

Buğday ve çeltik çeşitlerinin tuza tolerans indeksi ile ilgili karşılaştırmalarda tek başına Na^+ dan ziyade Na^+/K^+ oranının kullanılmasının Na^+/K^+ ayrımı ve tuzluluk toleransı arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için daha uygun olduğu bildirilmiştir (Chhipa & Lal 1995; Zhu et al 2001). Joshi et al (1979), birçok bitki türünde sitosolde

düşük Na^+/K^+ oranının sürdürülmesinin tuza tolerans için önemli bir seleksiyon kriteri olduğunu bildirmişlerdir. Mevcut araştırmada, her iki arpa çeşidinde, gövde Na^+/K^+ oranı NaCl konsantrasyonunun artışına bağlı olarak önemli düzeyde artmıştır (Çizelge 3). NaCl konsantrasyonunun artışına bağlı olarak Na^+/K^+ oranındaki bu artış, 300 mM NaCl konsantrasyonundaki gövde dokusu hariç, tuza toleranslı Avcı-2002 arpa çeşidinde daha düşük bulunmuştur. Benzer olarak, tuza toleranslı mısır genotipinde düşük Na^+/K^+ oranının tuza toleransla ilişkili olduğu ileri sürülmüştür (Kholová et al 2010). Buna karşın, *Brassica* hatlarında Na^+/K^+ oranları ve tuza tolerans seviyesi arasında kesin bir ilişkinin olmadığı bildirilmiştir (Ashraf & Ali 2008).

Tuza tolerans mekanizmalarının çalışılmasında tür-içi çeşitliliğin belirlenmesi önemli bir kriterdir (Munns 2002; Misra & Dwivedi 2004). Bu bağlamda, tür-içi fizyolojik ve biyokimyasal indikatörlerin belirlenmesi zorunludur. İleriki çalışmalarda, tuza toleranslı ve hassas genotipler kullanılarak tuza tolerans ile ilgili fizyolojik ve moleküler mekanizmaların aydınlatılması, toleranslı çeşitlerin tarımda kullanımı için önemli veriler sağlayacaktır.

4. Sonuç

Bu araştırmada, tuz stresine maruz bırakılan arpa çeşitlerinin kök ve gövde kuru ağırlıkları temelinde belirlenen tuza toleransları önemli farklılıklar göstermiştir. Buna ilaveten, tuza en toleranslı (Avcı-2002) ve hassas (Tokak 157/37) arpa çeşidinde Na^+/K^+ oranının değerlendirilmesi, çeşitlerin tuzluluğa toleransındaki farklılıklarının ortaya konulmasında önemli bir kriter olmuştur. Sonuç olarak, kuru ağırlık ve Na^+/K^+ oranları ile tuza tolerans indeksi arasında önemli ve pozitif etkileşimler bulunmuştur.

Teşekkür

Bu araştırma makalesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi tarafından desteklenen 06.FENED.01 nolu projenin bir kısmıdır.

Kaynaklar

- Apse M P & Blumwald E (2007). Na⁺ transport in plants. *FEBS Letters* **581**: 2247-2254
- Ashraf M (1994). Breeding for salinity tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* **13**: 17-42
- Ashraf M & Harris P J C (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* **166**: 3-16
- Ashraf M & Ali Q (2008). Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). *Environmental and Experimental Botany* **63**: 266-273
- Ayhan B, Ekmekçi Y & Tanyolaç D (2007). Erken fide evresindeki bazı mısır çeşitlerinin ağır metal (kadmiyum ve kurşun) stresine karşı dayanıklılığının araştırılması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* **8**(2): 411-422
- Bağcı S A, Ekiz H & Yılmaz A (2003). Determination of the salt tolerance of some barley genotypes and the characteristics affecting tolerance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **27**: 253-260
- Chhipa B R & Lal P (1995). Na/K ratios as the basis of salt tolerance in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* **46**: 533-539
- Cramer G R, Epstein E & Läuchli A (1990). Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. *Physiologia Plantarum* **80**: 83-88
- Davenport R J, Reid R J & Smith F A (1997). Sodium calcium interactions in two wheat species differing in salinity tolerance. *Physiologia Plantarum* **99**: 323-327
- Franco J A, Esteban C & Rodriguez C (1993). Effects of salinity on various growth stages of muskmelon cv. Revigal. *Journal of Horticulture Science* **68**: 899-904
- Hasegawa P M, Bressan R A & Zhu J K (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology* **51**: 463-499
- He T & Cramer G R (1992). Growth and mineral nutrition of six rapid-cycling *Brassica* species in response to seawater salinity. *Plant and Soil* **139**: 285-294
- Joshi Y C, Quadar A & Rana R S (1979). Differential sodium and potassium accumulation related to sodicity tolerance in wheat. *Indian Journal of Plant Physiology* **22**: 226-230
- Khan M H & Panda S K (2008). Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum* **30**: 81-89
- Kholová J, Sairam R K & Meena R C (2010). Osmolytes and metal ions accumulation, oxidative stress and antioxidant enzymes activity as determinants of salinity stress tolerance in maize genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum* **32**: 477-486
- Leonova T G, Goncharova E A, Khodorenko A V & Babakov A V (2005). Characteristics of salt-tolerant and salt-susceptible cultivars of barley. *Russian Journal of Plant Physiology* **52**: 774-778
- Misra N & Dwivedi U N (2004). Genotypic difference in salinity tolerance of green gram cultivars. *Plant Science* **166**: 1135-1142
- Munns R (1993). Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell and Environment* **16**: 15-24
- Munns R (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* **25**: 239-250
- Neumann P M (1995). Inhibition of root growth by salinity stress: toxicity or an adaptive biophysical response. In: F Baluska, M Ciamporova, O Gasparikova & P W Barlow (Eds.), *Structure and function of roots*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 299-304
- Noble C L & Rogers M E (1992). Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. *Plant and Soil* **146**: 99-107
- Parida A K & Das A B (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **60**: 324-349
- Royo A & Aragues R (1999). Salinity-yield response functions of barley genotypes assessed with a triple line source sprinkler system. *Plant and Soil* **209**: 9-20
- Sairam R K, Rao K V & Srivastava G C (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* **163**: 1037-1046
- Sairam R K & Tyagi A (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science* **86**: 407-421
- Saqib M, Akhar J & Qureshi R H (2005). Na⁺ exclusion and salt resistance of wheat (*Triticum aestivum*) in saline-waterlogged conditions are improved by the development of adventitious nodal roots and cortical root aerenchyma. *Plant Science* **169**: 125-130
- Šiler B, Mišić D, Filipović B, Popović Z, Cvetić T & Mijović A (2007). Effects of salinity on in vitro growth and photosynthesis of common centaury

- (*Centaurium erythraea* Rafn.). *Archives of Biological Science Belgrade* **59**: 129-134
- Tester M & Davenport R (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany* **91**: 503-507
- TÜİK (2004). Tarımsal Yapı ve Üretim, Ankara
- Wei W, Bilsborrow P E, Hooley P, Fincham D A, Lombi E & Forster B P (2003). Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. *Plant and Soil* **250**: 183-191
- Zhu J K (2001). Cell signaling under salt, water and cold stresses. *Current Opinion in Plant Biology* **4**: 401-406
- Zhu G Y, Kinet J-M & Lutts S (2001). Characterization of rice (*Oryza sativa* L.) F3 populations selected for salt resistance. I. Physiological behavior during vegetative growth. *Euphytica* **121**: 25-263