



BOR DERGİSİ

JOURNAL OF BORON

Journal homepage: www.journal.boren.gov.tr



Toksisite düzeyinde bor uygulamalarının besin çözeltisi koşullarında hibrit mısır çeşitlerinin anatomik özellikleri üzerine etkisi

Mehmet Hamurcu^{1*}, Canan Özdemir², Okan Kocabaş², Erdoğan E. Hakkı¹, Tijen Demiral³, Sait Gezgin¹

¹Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 42250 Konya, Türkiye

²Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 45110 Manisa, Türkiye

³Harran Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 63300 Şanlıurfa, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

İlk gönderi 22 Şubat 2016
Revize gönderi 9 Mayıs 2016
Kabul 17 Mayıs 2016
Online yayınlanması 9 Eylül 2016

Araştırma Makalesi

Anahtar kelimeler:

Bor toksisitesi,
Anatomi,
Mısır (*Zea mays* L.)

ÖZET

Bu çalışma farklı düzeylerde uygulanan borun bor toksisitesine toleranslı RX 770 ve hassas TTM 81.19 mısır çeşitlerinin kök ve gövde anatomisine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bunun için in vitro'da hibrit mısır çeşitlerine 1/5 oranında seyreltilmiş Hoagland çözeltisi ile kontrol (0,3 mg.L⁻¹ B), 2,5, 25, 50 ve 100 mg.L⁻¹ seviyelerinde bor uygulanmıştır. Bitkiler ilk üç yapraklı evrelerinde araştırmada belirtilen seviyelerde borun uygulanmaya başlandığı 0. günde, daha sonra bor uygulamasını takip eden günden itibaren ilk tepkilerin görülmeye başlandığı gün olan 5. Günde, son olarak da 10. günde alınan örneklerde kök, gövde ve yaprakların anatomik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar artan seviyelerde bor uygulamaları ile kontrol uygulamalarına göre her iki mısır çeşidinde de kök metaksilem, gövde trake ve korteks çaplarının önemli düzeylerde azaldığını göstermiştir. Bu azalmalar bor toksitesine toleranslı RX 770 çeşidinde hassas TTM 81.19 çeşidine göre daha fazla olmuştur.

Effects of boron toxicity on the anatomical features of hybrid maize varieties grown in nutrient solution culture

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 February 2016
Received in revised form 9 May 2016
Accepted 17 May 2016
Available online 9 September 2016

Research Article

Keywords:

Boron toxicity,
Anatomy,
Maize (*Zea mays* L.)

ABSTRACT

In this study, a boron toxicity tolerant maize variety, RX 770 and a susceptible genotype, TTM 81.19 were screened to determine the effects of different levels of Boron on the anatomical structure of roots and shoots. Seeds were grown until tri-foliolate stage in 1/5 times diluted Hoagland's solution under hydroponic conditions. Further, plants were supplied with different Boron concentrations, as 0.3 (Control), 2.5, 25, 50 and 100 mg/liter; and root and shoot samples for anatomical studies were collected on day 0 i.e., before starting the treatment, day 5 i.e., after the detection of symptoms and finally on day 10. According to the results obtained, we concluded that root meta xylem, shoot trachea and cortex diameters of both the maize varieties were significantly reduced under different B concentrations. However, the reductions were more evident in the Boron toxicity tolerant maize variety RX 770 in comparison to the susceptible genotype TTM 81.19.

1. Giriş (Introduction)

Bitkilerde stres faktörlerinin en önemlilerinden biri de besin elementlerinin eksikliği veya toksisitesidir. Bunlar metabolizmanın işlevini engellemekte ve bitkide çeşitli zararlara neden olabilmektedirler. Bitkiler tarafından eser miktarda gereksinim duyulan, eksikliği ve toksisite sınırı birbirine en yakın element ise bordur [1]. Borun bitkilerin büyüme ve gelişmesinde önemli bir element olduğu ilk olarak 1923'te Warington tarafın-

dan kanıtlanmıştır. Bitki besin elementleri bitki organlarının dışı yakın hücrelerinde zarların incilmesi veya kalınlaşması, hücre boylarının ve enlerinin artması veya azalması gibi anatomik değişiklikler meydana getirerek, bitkilerin patojen zararına karşı dayanıklılığını ve duyarlılığını etkilemektedir [2]. Bor da bitkilerin mikro besin elementi olarak ihtiyaç duydukları, önemli elementlerden biridir ve diğer etkileri yanında bitki doku kısımlarını da etkilemektedir [3]. Bor, hücre duvarı komponentleri ile tepkimeye girerek polihidroksil bi-

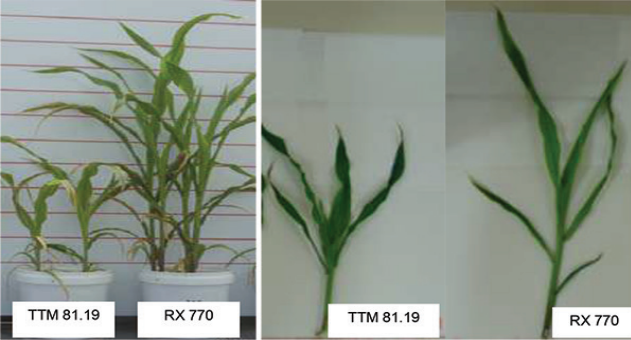
*Sorumlu yazar: mhamurcu@selcuk.edu.tr

leşikleri oluşturmak suretiyle hücre zarının ince yapıda olmasında ve güçlü bir şekilde sentezlenmesinde rol oynar. Yeterli düzeyde bor içermeyen bitkilerin hücre duvarlarında belirgin şekil bozuklukları ortaya çıkar [4]. Bu nedenle bor bitki anatomik yapısında etken bir faktördür. Literatürde farklı bitki örneklerine ait borun anatomik özellikler üzerine etkisine ilişkin çalışmalarda bor eksikliğinin kök ve gövde meristem hücrelerinde büyüme düzensizliklerine sebep olduğu belirtilmiştir [5,6].

Borun bitkideki işlevleri üzerinde pek çok araştırma yapılmış olmasına rağmen bitkilerin anatomik yapılarındaki etkilerine ilişkin çalışma oldukça azdır [7]. Su kültüründe yapılan bu çalışmada toksisite seviyelerinde bor uygulamalarının bor noksanlığı ve toksisitesine tepkileri farklı olan iki hibrit mısır çeşidinin anatomik yapısına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve yöntem (Material and methods)

Araştırmada, Gezgin ve ark. [8]'nin yaptıkları çalışmada bor toksitesine toleranslı ve bor noksanlığına hassas olduğu belirlenen RX 770 ile bor toksitesine hassas ve bor noksanlığına toleranslı olduğu belirlenen TTM 81.19 hibrit mısır çeşitleri kullanılmıştır (Resim 1). Araştırmanın yürütüldüğü iklim odası; bitkilerin tohum çimlenmesi ve çimlenme sonrası genç fidecikleri, büyüme ve gelişme süresince %45-55 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık fotoperiyot, 21 ± 1 °C sıcaklık ile 14000 lüks/gün ışık intensitesi olacak şekilde ayarlanmıştır.



Resim 1. Araştırmada kullanılan mısır çeşitlerinin bor toksitesine ($40 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ B}$) gösterdikleri farklılıkların belirlenmesi amacıyla ön çalışma sonuçlarını gösteren resimler (Pictures showing the results of the preliminary study performed in order to determine the differences of the maize varieties used in the study in response to boron toxicity ($40 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ B}$))

Denemede kullanılan tohumlar önce %5'lik sodyum hipoklorit ile 10'ar dakika muamele edildikten sonra deiyonize su ($\text{dl-H}_2\text{O}$) ile 3 kez yıkanarak steril edilmiştir. Su kültürü düzeneği kurulduktan sonra mısır çeşitlerine ait tohumlar 2 saat deiyonize suda tutularak, nemli filtre kağıdı içeren petrilere yerleştirilmiş ve 4 °C'de gece boyunca bekletilmiştir. Çimlenen tohumlar, naylon telin üzerine alınarak $0,5 \text{ mM}$ 'lık CaCl_2 solüs-

yonunda $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de karanlıkta inkübe edilmiştir. Daha sonra fideler sürekli havalandırılan $1/5$ düzeyinde sulandırılmış Hoagland solüsyonuna aktarılıp ($\text{pH } 6,0$) bitki büyüme odasında yetiştirilmiştir. İlk üç yapraklı evreye gelen bitkilere kontrol ($0,3 \text{ mg.L}^{-1} \text{ B}$), 2,5, 25, 50 ve 100 mg.L^{-1} seviyelerinde borik asit formunda bor içeren $1/5$ ' lik Hoagland solüsyonunda 5 paraleli olarak yetiştirilmiştir. Bitkiler ilk üç yapraklı evrede anılan seviyelerde borun uygulanmaya başlandığı 0. günde, daha sonra bor uygulamasını takip eden günden itibaren ilk tepkilerin görülmeye başlandığı gün olan 5. günde son olarak da 10. günde hasat edilmiş anatomik incelemelerde kullanılmak üzere kök, gövde ve yaprak kısımlardan örnekler alınmış uygun ölçüde parçalara bölünerek %70'lik alkol içinde muhafaza edilmiştir.

2.1. Anatomik analizler (Anatomical analyses)

Mikroskopik gözlemler için bitkinin belirtilen kısımlarından Parafin metodu [9] uygulanarak mikrotom yardımı ile kesitler alınmıştır. Bu şekilde preparat haline getirilen örnekler mikroskopta (Leica dm3000 motorize pc kontrollü dijital görüntüleme sistemli araştırma mikroskobu) 10×4 , 10×10 , 10×20 ve 10×63 büyütme objektifleri kullanılarak incelenmiştir. İncelenen anatomik kesitlerin fotoğrafları çekilmiştir. İncelenen preparatlarda her bir numune için alınan bitki kısımlarına ait hücrelerin boyutları mikrometrik oküler yardımı ile ölçülerek minimum, maksimum, değerleri tespit edilmiştir.

2.2. Bor analizleri (Boron analyses)

Hasat sonrası kese kağıtları içerisinde laboratuvara getirilen bitkilerin vejetatif kısmı ve kök kısmı musluk suyu ile yıkandıktan sonra sırasıyla bir kez saf su, $0,2 \text{ N HCl}$ çözeltisi, iki kez saf su ve bir kez de deiyonize su ile yıkanıp, kaba filtre kağıdı üzerinde fazla suları alınmıştır. Daha sonra kese kağıdına ayrı ayrı konulan bitki kısımları hava sirkülasyonlu kurutma dolabında $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuşlardır. Kuruyan bitki örneklerinin ağırlıkları belirlendikten sonra tungsten kaplı bitki öğütme değirmeninde öğütülmüşlerdir. Polietilen kavanozlara konulan öğütülmüş bitki örnekleri analizde kullanılmadan önce $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutma dolabında bırakılmış ve kavanozların kapakları sıkıca kapatılmıştır.

Kurutulan ve öğütülen bitki örneklerinden $0,3 \text{ g}$ tartılmış $5 \text{ ml HNO}_3 + 2 \text{ ml H}_2\text{O}_2$ ile yüksek sıcaklık ($210 \text{ }^\circ\text{C}$) ve yüksek basınç (200 psi) altında mikrodalga cihazında (CEM Mars 5) çözündürülmüştür. Daha sonra örnekler 25 ml 'lik balonjoje'ye aktarılıp soğutulmuş, deiyonize su ile derecesine tamamlanmıştır. Bu süzükler hemen ince gözenekli (Whatman No:42 veya mavibant) filtre kağıdı ile süzülerek 25 ml 'lik polietilen şişelere aktarılmış ve süzükteki bor içerikleri ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer) (Varian-Vista, axiel) cihazı ile belirlenmiştir [10].

3. Bulgular (Results)

3.1. Bor konsantrasyonu bulguları (Boron concentration)

Araştırmada mısır çeşitlerinin bor konsantrasyonları bor dozundaki artışa bağlı olarak artış gösterdiği saptanmıştır. Mısır çeşitleri kendi aralarında değerlendirildiğinde bor uygulaması yapılmadan önce 0. gün bor konsantrasyonunun birbirlerine yakın değerlerde olduğu (11,9 ve 12,2 mg.kg⁻¹), bor uygulamasının 5. gününde en yüksek bor konsantrasyonu 3710 mg.kg⁻¹ ile bor toksisitesine toleranslı RX 770 çeşidinde ve uygulanan bor dozlarına bağlı olarak kontrole göre gövde bor konsantrasyonundaki artış oranlarının da daha yüksek oranlarda olduğu belirlenmiştir. Bor uygulamasının 10. gününde TTM 81.19 çeşidinde en yüksek bor konsantrasyonu (5740 mg.kg⁻¹) 100 mg.L⁻¹ B dozunda belirlenirken, RX 770 çeşidinde uygulanan bor dozlarına bağlı olarak kontrole göre artış oranlarının daha yüksek oranlarda olduğu görülmüştür (Çizelge 1).

Araştırmada kullanılan mısır çeşitlerinin kök bor konsantrasyonu değerleri uygulanan bor dozuna bağlı olarak artış gösterdiği, bor uygulaması yapılmadan önce 0. günde bor konsantrasyonu değerleri RX 770 çeşidinde TTM 81.19 çeşidinden daha yüksektir. Bor uygulamalarının 5. ve 10. günde yapılan örneklemelerde de köklerin B konsantrasyonu değerlerinde kontrole göre meydana gelen artışlar RX 770 çeşidinde TTM 81.19 çeşidine göre daha yüksek oranlarda olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1).

3.2. Kök anatomisi (Root anatomy)

Araştırmada mısır çeşitlerine ait kök anatomilerinin 0., 5. ve 10. günlerde yapılan örneklemelerde, kontrol (0,3 mg.L⁻¹ B) gurubuna ait kesitlerde kök anatomilerinin her iki çeşitte de benzerlikler gösterdiği ve normal görünüşlerini korudukları görülmüştür (Resim 2). Artan bor dozlarına bağlı olarak kök metaksilem çaplarının çeşitler arasında farklılıklar göstermiştir. Genel olarak

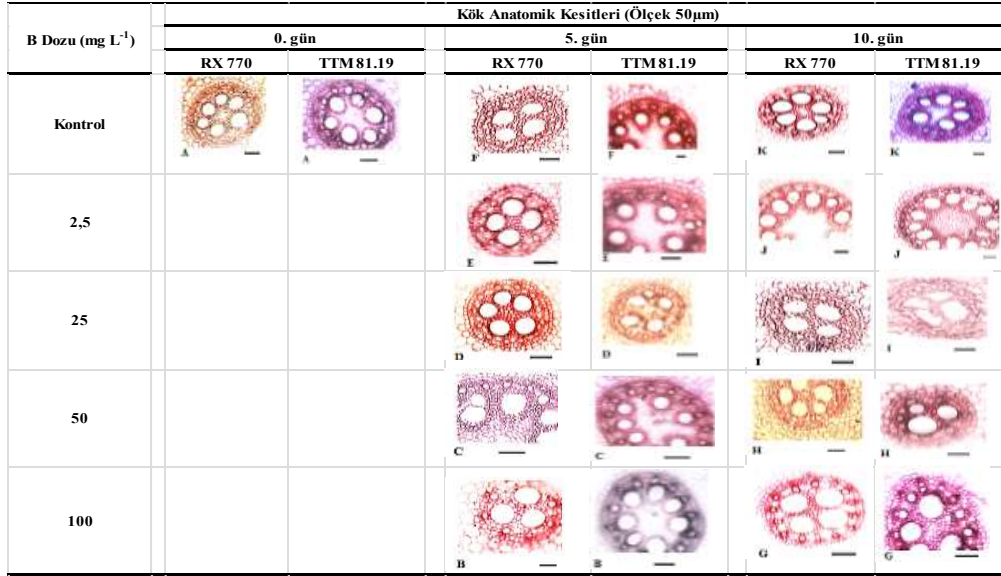
kök metaksilem çaplarının farklı günlerde yapılan ölçümlerde bütün B seviyelerinde bor toksisitesine hassas TTM 81.19 çeşidinde toleranslı RX 770 çeşidine göre çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kök metaksilem çaplarının bor toksisitesine toleranslı RX 770 çeşidinde her iki örneklem zamanında da kontrole göre azalma gösterdiği ve bu azalmanın yaklaşık %50 oranında olduğu tespit edilmiştir. Bor toksisitesine hassas TTM 81.19 çeşidinde ise kök metaksilem çaplarının 5. ve 10. gün örneklem zamanlarında da kontrol uygulamaları ile aynı seviyelerde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Ayrıca, kök anatomik kesitlerinden (Resim 2) de görülebileceği gibi, uygulanan bor miktarının artması ile genel olarak her iki çeşitte de ksilem kol sayılarında azalmalar olmakla birlikte toleranslı RX 770 çeşidinde bu azalma daha belirgin olmuştur.

3.3. Gövde anatomisi (Shoot anatomy)

Gövde anatomik karakterlerine ait ölçümlerde uygulanan B dozu artışına bağlı olarak gövde korteksinde, gövde trake ve korteks çaplarında da mısır çeşitleri arasında farklılıkların olduğu görülmüştür (Çizelge 3). Kontrol uygulamasında (0,3 mg.L⁻¹ B) mısır çeşitlerinin farklı günlerdeki gövde kesitlerinin anatomik yapılarının benzerlik gösterdiği ve normal görünüşlerini korudukları belirlenmiştir (Resim 3). Bununla birlikte bor toksisitesine toleranslı RX 770 çeşidinin gövde kesitlerinde kontrole göre 5. ve 10. gün örneklemelerinde hububatlar için toksisite sınırı olan 2,5 mg.L⁻¹ bor dozunda trake ve korteks çapları kontrol ile aynı seviyede olurken, toksik seviyede bor uygulamasının yapıldığı 25, 50 ve 100 mg.L⁻¹ B dozlarına ait örneklerde gövde trake ve korteks çaplarının kontrole göre %50 oranında azaldığı belirlenmiştir (Çizelge 3, 4). Bor toksisitesine hassas TTM 81.19 mısır çeşidinin her iki örneklem zamanında gövde trake ve korteks çapları bor dozlarındaki artışa bağlı olarak kontrole göre 2,5, 25 ve 50 mg.L⁻¹ bor dozlarında farklılık göstermez iken 100 mg.L⁻¹ bor dozunda trake ve korteks çaplarında azalma olduğu görülmüştür (Çizelge 3, 4).

Çizelge 1. Mısır çeşitlerinin yaprak ve kök bor konsantrasyonu değerleri (mg.kg⁻¹) (Leave and rooth boron concentration values of maize varieties (mg.kg⁻¹))

Çeşit	B dozu (mg.L ⁻¹)	Yaprak bor konsantrasyonu						Kök bor konsantrasyonu					
		0. gün		5. gün		10. gün		0. gün		5. gün		10. gün	
		mg.kg ⁻¹	S.S.	mg.kg ⁻¹	S.S.	mg.kg ⁻¹	S.S.	mg.kg ⁻¹	S.S.	mg.kg ⁻¹	S.S.	mg.kg ⁻¹	S.S.
RX 770	Kontrol	11,9	±0,6	25,0	±2,7	20,0	±0,7	5,3	±0,8	9,3	±0,7	9,0	±0,3
	2,5			94,4	±9,9	212,9	±18,3			39,9	±1,7	39,9	±0,8
	25			898,1	±65,3	1005,0	±70,2			322,7	±7,0	254,8	±2,9
	50			1973,4	±111,5	5021,0	±118,5			1250,0	±79,3	663,0	±24,7
	100			3710,3	±209,9	5654,7	±188,2			2540,7	±368,1	1731,7	±138,3
TTM - 81.19	Kontrol	12,2	±0,9	18,2	±0,6	23,7	±0,4	3,4	±0,7	10,3	±0,9	12,0	±0,5
	2,5			141,2	±12,4	231,6	±17,0			38,4	±2,3	43,5	±2,9
	25			1320,4	±74,7	2376,6	±257,7			218,9	±13,3	277,0	±16,1
	50			2423,9	±210,5	4216,3	±281,8			810,6	±55,7	508,8	±48,2
	100			2896,9	±59,9	5740,1	±258,9			1869,5	±90,3	1311,2	±49,5



Resim 2. Mısır Çeşitlerinin Kök Anatomik Kesitleri (Ölçek 50 µm) (Root anatomical sections of the maize varieties (Scale 50 µm))

Çizelge 2. Mısır çeşitlerinin kök metaksilem anatomik ölçümleri (µm) (Anatomical measurements of the root metaxylem of the maize varieties (µm))

B dozu (mg.L ⁻¹)	Kök metaksilem çap (µm)					
	0. gün		5. gün		10. gün	
	RX 770	TTM 81.19	RX 770	TTM 81.19	RX 770	TTM 81.19
	min- max		min - max		min - max	
Kontrol	58 -88	100-120	63-100	80-120	70-85	80-100
2,5			75-100	100-110	60-65	80-120
25			60-85	80-100	43-60	80-110
50			43-50	80-125	35-40	85-110
100			33-40	100-110	20-25	110-120

Çizelge 3. Mısır çeşitlerinin gövde trake anatomik ölçümleri (µm) (Shoot thracea anatomical measurements of the maize varieties (µm))

B dozu (mg.L ⁻¹)	Gövde trake çap (µm)					
	0. gün		5. gün		10. gün	
	RX 770	TTM 81.19	RX 770	TTM 81.19	RX 770	TTM 81.19
	min - max		min - max		min - max	
Kontrol	40 -70	35-45	40-65	40-50	45-55	35-56
2,5			45-70	50-60	41-51	25-30
25			40-55	18-25	33-70	25-35
50			35-50	20-30	23-50	15-20
100			20-44	12-20	18-45	10-14

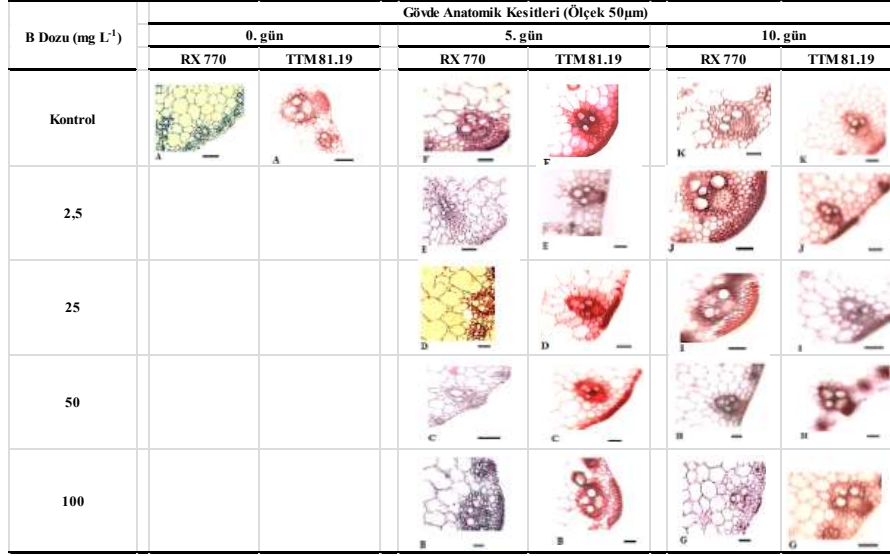
Bor toksitesine toleranslı RX 770 çeşidinin gövde kesitlerinde kontrole göre 5. ve 10 gün örneklemelerinde 100 mg.L⁻¹ B dozlarına ait gövde kesitlerinde hücrelerde yer yer yapısal bozukluklar belirlenirken, bor toksitesine duyarlı TTM 81.19 çeşidine ait gövde kesitlerinde

0. gün, 5. gün ve 10. gün kontrol gruplarına ait örneklerin gövde kesitlerinde iletim demetlerini destekleyen hücrelerin geniş bir alanı kapladığı, 10. gün 25 mg.L⁻¹ B dozuna ait kesitlerde korteks hücre çaplarının oldukça geniş ölçülerde olduğu tespit edilmiştir (Resim 3).

3.4. Yaprak anatomisi (Leave anatomy)

Yaprak kesitleri incelendiğinde, artan miktarlarda bor uygulamaları ile yaprak mezofil hücrelerinin çapları kontrole ($0,3 \text{ mg.L}^{-1} \text{ B}$) göre toleranslı RX 770 mısır

çeşidinde daha stabil bir değişim gösterdiği, hassas TTM 81.19 çeşidinde ise bor dozlarındaki artışa bağlı olarak %50'ye varan oranlarda azalmaların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5, Resim 4).



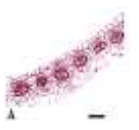
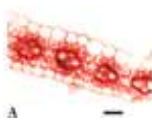
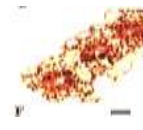
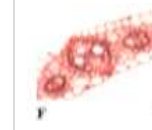
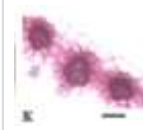
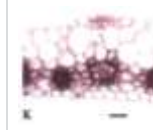


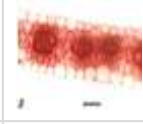
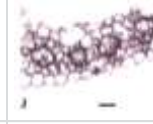

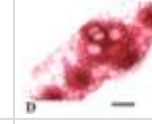

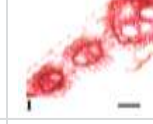
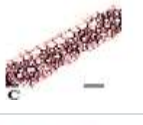


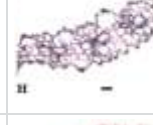
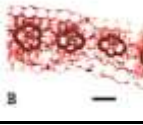
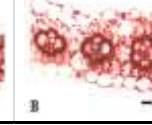


Resim 3. Mısır Çeşitlerinin Gövde Anatomik Kesitleri (Ölçek 50 µm) (Shoot anatomical sections of the maize varieties (Scale 50µm))

Çizelge 4. Mısır çeşitlerinin gövde korteks anatomik ölçümleri (µm) (Shoot cortex measurements of the maize varieties (µm))

B dozu (mg.L ⁻¹)	Gövde korteks çap (µm)					
	0. gün		5. gün		10. gün	
	RX 770	TTM 81.19	RX 770	TTM 81.19	RX 770	TTM 81.19
	min - max		min - max		min - max	
Kontrol	53 -75	22-65	59-120	25-55	55-70	30-55
2,5			65-110	22-55	50-63	20-50
25			50-120	15-28	45-60	15-35
50			40-65	12-25	40-53	12-20
100			35-55	10-15	38-45	8-12

Çizelge 5. Mısır çeşitlerinin yaprak mezofil hücreleri anatomik ölçümleri (µm) (Leave mesophyll cell's anatomical measurements of the maize varieties (µm))

B dozu (mg L ⁻¹)	Yaprak mezofil hücreleri çap (µm)					
	0. gün		5. gün		10. gün	
	RX 770	TTM 81.19	RX 770	TTM 81.19	RX 770	TTM 81.19
	min - max		min - max		min - max	
Kontrol	21-55	15-24	20-30	13-25	20-30	20-35
2,5			15-28	14-20	18-30	15-30
25			15-25	10-15	18-28	12-20
50			15-25	10-13	18-31	10-20
100			15-22	8-10	15-28	10-15

B Dozu (mg L ⁻¹)	Yaprak Anatomik Kesitleri (Ölçek 50µm)					
	0. gün		5. gün		10. gün	
	RX 770	TTM81.19	RX 770	TTM81.19	RX 770	TTM81.19
Kontrol						
2,5						
25						
50						
100						

Resim 4. Mısır Çeşitlerinin Yaprak Anatomik Kesitleri (Ölçek 50 µm) (Leave anatomical sections of the maize varieties (Scale 50 µm))

4. Tartışma ve sonuç (Results and discussion)

Bu araştırmada bor toksitesine toleranslı RX 770 çeşidinin hassas çeşit TTM 81.19'e göre kök ve gövdesinde daha fazla bor bulunmuştur. Bu durum Marschner [2] tarafından da belirtildiği gibi, bor ihtiyaçları fazla ve B toksitesine toleranslı olan bitki tür ve çeşitlerinin genellikle su tüketimlerinin, dolayısıyla transpirasyonlarının yüksek olmasından kaynaklanabilir. Nitekim, artan düzeylerde B uygulamasına araştırmada yer alan her iki mısır çeşidinin kök ve gövde anatomisinde meydana getirdiği değişikliklerle ortaya koyduğu tepkiler su ve bor alımını azaltmaya yönelik olmuştur. Çünkü bitkilerin su alımı ve taşınması ile ilgili olan kök metaksilem, gövde trake ve korteks çaplarının azalması B toksitesine karşı adaptasyon sağlanması için ortaya konan bir tepkinin sonucu olabilir. Benzer bir şekilde, B dozundaki artışa bağlı olarak ksilem kol sayılarında görülen azalmanın da bu adaptasyona katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Nitekim, bitkilerde kök anatomisinin bor toksitesine toleranslı türlerde ksilem dokusunun azalmalar gösterdiği, özellikle ksilem kol sayılarında ki azalmalar ile bitkide su kaybının azaldığı ve bitkinin ortamdan daha az su alınması sağlanarak dayanıklılığını arttırdığı belirlenmiştir [11]. Bu araştırmanın sonuçlarıyla benzerlik gösteren diğer bir çalışmada da toksik seviyede bor uygulamasının yapıldığı ayçiçeği bitkisinde toksisiteye toleranslı çeşitlerin köklerindeki ksilem kolu sayılarının 8'den 4'e bir azalma gösterirken, lateral kök oluşumunda da artışa neden olduğu ifade edilmiştir [4]. Bu çalışmada, bor toksis-

tesine hassas TTM 81.19 çeşidinde kontrol gruplarına göre 2,5 mg.L⁻¹ B, 25 mg.L⁻¹ B dozlarına ait örneklerde ksilem kol sayılarının fazlalığı gözlenmiştir. Buna karşılık bor toksitesine toleranslı RX 770 çeşidinde ise kök kesitlerinin 50 mg.L⁻¹ B dozu uygulamalarında yan kök oluşumunun daha sık görüldüğü gözlenmiştir. Bu sonuçlar daha önceki çalışmalarla [4-7] benzerlikler göstermektedir.

Gezgin ve ark.[8]'nin bor toksitesine toleranslı olduğunu belirledikleri RX 770 çeşidinin Çizelge 2, 3 ve 4'ten de görülebileceği gibi, kök metaksilem, gövde trake ve korteks çaplarının, B toksitesine hassas olarak belirlenen TTM 81.19 çeşidinde göre artan düzeylerde bor uygulaması ile kontrole göre daha fazla azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu çeşitlerin bor toksitesine tepkileri ile uyumlu olmasının yanında yukarıdaki görüşlerimizi de teyit etmektedir.

Araştırmamızda kullanılan mısır çeşitlerinde de mezofil hücre çaplarının bora toleranslı RX 770 çeşidinde artan bor dozlarına bağlı olarak kontrole göre daha az oranda değişim gösterdiği, bor toksitesine hassas TTM 81.19 çeşidinde ise bor dozundaki artışa bağlı olarak mezofil hücre çapları kontrol ile mukayese edildiğinde yaklaşık %50 oranında azalmalar gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 5). Nitekim, bitkide mezofil hücrelerinde meydana gelen bozulmalar sonucunda büyümenin gerilediği ve ksilem dokusunda düzensiz dağılımların gözlemlendiğini daha önceki çalışmalarda da tespit edilmiştir [12].

Sonuç olarak, bu çalışmada bitkilerin bor toksisitesine tepki olarak anatomik özelliklerinden kök metaksilem, gövde trake ve korteks çaplarında dejenerasyona giderek su ve bor alımını azaltmaya çalıştığı belirlenmiştir. Dokularındaki yıkımın ve bor birikiminin bor toksisitesine hassas (TTM 81.19) olan çeşitte toleranslı (RX 770) olan çeşide göre daha fazla olması bu durumu desteklemektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma 110T260 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK-TBAG ve 09401073 proje numarası ile Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] Brown P. H., Benaloui N., Wimmer M. A., Bassil E. S., Ruiz J., Hu H., Pfeffer H., Dannel F., Römhald V., Boron in plant biology, *Plant Biology*, 4, 205-223, 2002.
- [2] Marshner H., Mineral Nutrition of Higher Plants, Institute of Plant Nutrition. University of Hohenheim Federal Republic of Germany, Academic Press., 1986.
- [3] Akçam Oluk E., Demiray H., Yardım D., Bor fazlalığının ayçiçeği (*Helianthus annuus* L..çv. Sambro No) bitkisinin in vitro koşullarda kök gelişimi ve anatomisi üzerine etkileri, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 43 (2), 145-152, 2006.
- [4] Karaömerlioğlu B., *Medicago Sativa* L., *Vicia Sativa* L., Bitkileri kullanılarak topraktan bor gideriminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2011.
- [5] Dugger W. M., Boron in Plant Metabolism, In A Lauchli, RL Bielecki, eds, *Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol 15B, Inorganic Plant Nutrition, Springer-Verlag, New York, pp 626-650, 1983.
- [6] Loomis W. D., Durst R. W., Chemistry and biology of boron, *Biofactors* 3 229-239, 1992.
- [7] Demirtaş A., Bitkide bor ve etkileri, *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36 (2), 217-225, 2005.
- [8] Gezgin S., Dursun N., Hamurcu M., Harmankaya M., Önder M., Sade B., Topal A., Soylu S., vd. Determination of B contents of soils in central anatolian cultivated lands and its relations between soil and water characteristics, in *Boron in Plant and Animal Nutrition*, Goldbach H. E., Brawn P. H., Rerkasem B., Thellier M., Wimmer M. A., Ben R. W., Eds., Kluwer Academic (Plenum Publishers), New York., Pp: 391-400, 2002.
- [9] Algan G., *Microtechnics for the plant tissues*, Publication of Firat University Science & Art Faculty, Number:1, Istanbul, 1981.
- [10] *Soil Survey Laboratory Methods Manual.*, Soil Survey Investigation Report United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service No:42, Version 4.0, November, 2004.
- [11] Saks Y., Feigenbaum P., Aloni R., Regulatory effect of cytokinin on secondary xylem fiber formation in an in vivo system, *Plant Physiology*, 76, 638-642, 1984.
- [12] Rosolem C. A., Costa, A., Cotton growth and boron distribution in the plants as affected by a temporary deficiency of boron, *J. Plant Nutr.*, 23:815-825, 2000.