

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAPRAKTAN BOR VE İNDOL ASETİK ASİT (İAA) UYGULAMALARININ
FASULYE (*Phaseolus vulgaris* L.) BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE KİMİ
FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Emre Can KAYA

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ANKARA
2015**

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

14.01.2015

Emre Can KAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPRAKTAN BOR VE İNDOL ASETİK ASİT (İAA) UYGULAMALARININ FASULYE (*Phaseolus vulgaris* L.) BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE KİMİ FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Emre Can KAYA

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali İNAL

Bu çalışmada bor (B) noksanlığı olan bir toprakta sera koşullarında yetiştirilen fasulye bitkisine yapraktan uygulanan B ve indol asetik asit (İAA)'in, bitki gelişimi ve kimi fizyolojik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla fasulye bitkisine çiçeklenme başlangıcında yapraktan 0, 100, 200 ve 300 mg L⁻¹ B ile 0, 100, 200 ve 300 mg L⁻¹ İAA uygulanmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 2 faktörlü (bor ve İAA) ve 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Uygulamalardan 2 hafta sonra alınan yaprak örneklerinde malondialdehit (MDA), H₂O₂, prolin ve askorbik asit miktarları ile polifenol oksidaz (PFO), katalaz, süperoksit dismutaz (SOD) ve askorbat peroksidaz (AP) enzim aktiviteleri ve membran geçirgenliği belirlenmiştir. Daha sonra hasat edilen bitkilerde yaş ve kuru ağırlık belirlenmiş ve kurutulup öğütülen bitki örneklerinde toplam N ve B ile enzimatik olmayan toplam antioksidan aktivitesi belirlenmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, yapraktan B uygulamasıyla bitkinin B, H₂O₂, prolin ve askorbik asit miktarları ile AP ve SOD enzim aktiviteleri kontrole göre artış gösterirken PFO ve katalaz enzim aktiviteleri ile enzimatik olmayan antioksidan aktivitesi kontrole göre azalma göstermiştir. Membran geçirgenliği, B uygulanmayan ve 300 mg L⁻¹ B uygulanan bitkilerde artış göstermiştir. Bitkinin toplam N içeriği 300 mg L⁻¹ B uygulamasıyla önemli düzeyde azalmıştır. Yapraktan İAA uygulanan bitkilerin kuru ağırlığı ile bor ve H₂O₂ içeriğinde meydana gelen artış istatistik olarak önemli olmuştur. Uygulanan 100 mg L⁻¹ İAA bitkinin prolin içeriği ve katalaz enzim aktivitesini kontrole göre artırmıştır. Bitkinin toplam N ve askorbik asit içeriği ise İAA uygulamasıyla önemli düzeyde azalmıştır. Bu araştırma sonucunda, yapraktan 100-200 mg L⁻¹ B ile 100-200 mg L⁻¹ İAA uygulamalarının B noksan koşullarda yetiştirilen fasulye bitkisinin gelişimini ve bazı fizyolojik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.

Ocak 2015, 56 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bor, İAA, yaprak gübrelenmesi, fasulye

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECTS OF FOLIAR APPLIED BORON AND INDOLE ACETIC ACID (IAA) ON GROWTH AND SOME PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) PLANT

Emre Can KAYA

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Ali İNAL

In this study, effects of foliar applied boron (B) and indole acetic acid (IAA) on the growth and some physiological parameters of bean plants were investigated in B deficient condition under greenhouse conditions. A two factorial (boron and IAA) was conducted as randomized block design with 4 replicates. For this purpose, 0, 100, 200 and 300 mg L⁻¹ B and 0, 100, 200 and 300 mg L⁻¹ IAA sprayed to leaves of plant at the beginning of flowering. Two weeks after foliar application, plant leaves were sampled for determination of content of malondialdehyde (MDA), H₂O₂, proline, ascorbic acid and polphenol oxidase (PPO), catalase, superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX) activities and membran permeability. Fresh and dry weight of plants measured after harvesting. Afterwards, dried and grounded plants were used for determination of total N and B contents and nonenzymatic antioxidant activity. In the results of this experiment, according to control, foliar B application increased B, H₂O₂, proline, ascorbic acid contents and APX, SOD activities, however, decreased PPO, catalase and nonenzymatic antioxidant activities. Membrane permeability was higher in control and 300 mg L⁻¹ B applied plants. Also, total N content of plants were significantly decreased by 300 mg L⁻¹ B application. Besides, boron, H₂O₂ contents and dry weight of plants were increased by foliar IAA application. Application of 100 mg L⁻¹ IAA significantly increased prolin content and catalase activity of plants. Total N and ascorbic acid concentrations decreased in IAA treated plants. In can be concluded that, foliar applied 100-200 mg L⁻¹ B and 100-200 mg L⁻¹ IAA ameliorate growth and some physiological parameters of bean plants grown in B deficient soil.

January 2015, 56 pages

Key Words: Boron, IAA, foliar fertilization, bean

TEŐEKKÖR

Bana bu konuda alıŐma olanağı veren, araŐtırmamın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyip her zaman yanımda olan değerli hocam Prof. Dr. Ali İNAL'a (Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı), tezimin yürütölmesi ve analizlerinde hiçbir yardımını esirgemeyen AraŐ. Gör. Mehmet Burak TAŞKIN (Ankara Üniversitesi Ziraat Faköltesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü) ve Ziraat Yüksek Mühendisi Özge ŐAHİN (Ankara Üniversitesi Ziraat Faköltesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü)'e Őükranlarımı sunarım. Ayrıca varlığıyla ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan Ziraat Yüksek Mühendisi Tuğba İLHAN (Atakey Patates Gıda San. ve Tic. A.Ő.)'a, aileme ve tezimin hazırlanıŐı sürecinde yanımda olan Egemen KAYA (Ege Üniversitesi Ziraat Faköltesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü)'ya teŐekkörü bir borç bilirim.

Bu tez alıŐması Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce 14L0447001 numaralı Lisansüstü tez projesi ile desteklenmiŐtir.

Emre Can KAYA

Ankara, Ocak 2015

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1 Toprak Örneğinin Alınması, Deneme ve Analize Hazırlanması.....	17
3.2 Bitki Materyali	17
3.3 Sera Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi.....	17
3.4 Bitkilerin Örnekleme ve Hasadı.....	18
3.5 Deneme Topraklarının Fiziksel ve Kimyasal Analizlerinde Uygulanan Yöntemler.....	19
3.5.1 Toprak reaksiyonu (pH)	19
3.5.2 Elektriksel iletkenlik (EC).....	19
3.5.3 Kireç (CaCO ₃).....	19
3.5.4 Organik madde.....	19
3.5.5 Tekstür (Bünye).....	19
3.5.6 Toplam azot (N).....	20
3.5.7 Yarıyışlı fosfor (P)	20
3.5.8 Değişebilir potasyum (K).....	20
3.5.9 Yarıyışlı bor (B)	20
3.6 Bitki Analizleri	20
3.6.1 Toplam bor (B)	20
3.6.2 Toplam azot (N).....	21
3.7 Bitkide Fizyolojik ve Enzimatik Analizler	21
3.7.1 Membran geçirgenliği	21
3.7.2 Lipid peroksidasyonu (MDA).....	21

3.7.3 Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂).....	22
3.7.4 Prolin.....	22
3.7.5 Askorbik asit	23
3.7.6 Polifenol oksidaz (PFO) enzim aktivitesi.....	23
3.7.7 Enzimatik olmayan antioksidanlar	23
3.7.8 Antioksidan enzimler için bitki ekstraktının hazırlanması.....	24
3.7.9 Katalaz enzim aktivitesi.....	24
3.7.10 Askorbat peroksidaz (AP) enzim aktivitesi	24
3.7.11 Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi.....	25
3.8 İstatistik Analizler	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	26
4.1 Yaş ve Kuru Ağırlık.....	26
4.2 Toplam Bor (B).....	27
4.3 Toplam Azot (N).....	28
4.4 Membran Geçirgenliği	29
4.5 Lipid Peroksidasyonu (MDA).....	29
4.6 Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂).....	30
4.7 Prolin.....	31
4.8 Askorbik Asit.....	32
4.9 Polifenol Oksidaz (PFO) Enzim Aktivitesi.....	33
4.10 Enzimatik Olmayan Antioksidan Aktivitesi.....	34
4.11 Katalaz Enzim Aktivitesi.....	34
4.12 Askorbat Peroksidaz (AP) Enzim Aktivitesi	35
4.13 Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi	36
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	38
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ	56

KISALTMALAR DİZİNİ

2,4-D	2,4-Diklorofenoksi Asetik Asit
4-Cl-İAA	4-Kloroindol Asetik Asit
ABA	Absisik Asit
AP	Askorbat Peroksidaz
EC	Elektriksel İletkenlik
GA	Gibberellik Asit
İAA	İndol Asetik Asit
İBA	İndol Bütirik Asit
MDA	Malondialdehit
NAA	Naftalen Asetik Asit
NBT	Nitroblue Tetrazolium
NR	Nitrat Redüktaz
PFO	Polifenol Oksidaz
RNA	Ribonükleik Asit
SOD	Süperoksit Dismutaz
TBA	Tiyobarbitürik asit
TCA	Trikloro Asetik Asit

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Deneme toprağının kimi fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	16
Çizelge 4.1 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin yaş ağırlığına etkisi.....	25
Çizelge 4.2 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin kuru ağırlığına etkisi.....	25
Çizelge 4.3 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin toplam bor içeriğine etkisi	26
Çizelge 4.4 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin toplam azot içeriğine etkisi.....	27
Çizelge 4.5 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin membran geçirgenliğine etkisi.....	28
Çizelge 4.6 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin MDA içeriğine etkisi	29
Çizelge 4.7 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin H ₂ O ₂ içeriğine etkisi	29
Çizelge 4.8 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin prolin içeriğine etkisi	30
Çizelge 4.9 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin askorbik asit içeriğine etkisi	31
Çizelge 4.10 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin polifenol oksidaz enzim aktivitesine etkisi.....	32
Çizelge 4.11 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin enzimatik olmayan antioksidan aktivitesine etkisi.....	33
Çizelge 4.12 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin katalaz enzim aktivitesine etkisi.....	34
Çizelge 4.13 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin askorbat peroksidaz enzim aktivitesine etkisi	34
Çizelge 4.14 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin süperoksit dismutaz enzim aktivitesine etkisi	35

1. GİRİŞ

Tarımsal üretimde verim ve kaliteyi artırmak amacıyla Dünya çapında araştırmalar yapılmakta ve yeni uygulama yöntemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Artan Dünya nüfusunun besin ihtiyacını karşılama amacıyla bilim insanları, kamu sektörü ve özel sektör birlikte veya ayrı yürüttükleri çalışmalarla bitkisel ve hayvansal gıda üretimini artırmaya yönelik uygulamalar yapmaktadırlar. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde kişi başına düşen gıda miktarının yetersiz olması beslenme bozukluğuna bağlı olumsuzlukların yaygınlaşmasına neden olmaktadır (Young 2002).

İnsan beslenmesinde son derece önemli olan ve Türkiye bitkisel üretimi içinde büyük bir paya sahip olan sebzeler protein, vitamin ve minerallerce zengin, yağ içeriği düşük besinlerdir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, hayvansal gıdalara göre temel besin kaynağı olarak kullanılan sebzeler insan beslenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Leguminosea ya da diğer adıyla *Fabaceae* (baklagiller) familyasına ait olan fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris* L.) ülkemizde üretimi yapılan önemli bir sebze türüdür. Olgunlaşmamış baklaları, olgunlaşmış tohumlu baklaları ve olgunlaşmış tohumları gıda olarak çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir. Taze tüketilmesinin yanında konserve edilerek, dondurularak, güneşte veya yapay yollarla kurutularak da tüketilmektedir (Vural vd. 2000). Fasulye, özellikle insanların protein ihtiyacının karşılanmasında önemli yer tutmaktadır. Taze fasulyenin 100 gramında 1-3 g protein bulunurken kuru fasulyede bu değer 26 g değerine ulaşmaktadır (Anonim 2008). Yaygın olarak *Phaseolus vulgaris* var. *nomminus* (sırık fasulyesi) ve *Phaseolus vulgaris* var. *nannus* (bodur fasulye) varyeteleri yetiştirilmektedir. Taze fasulye olarak bodur fasulye çeşitlerinde dekara verim 1200-1300 kg, sırık fasulyesi çeşitlerinde ise 1800-2000 kg arasında değişmektedir (Vural vd. 2000).

Türkiye topraklarının %46.2'sinde yetersiz, %31.1'inde yeterli, %19.4'ünde fazla ve %3.3'ünde toksik seviyede bor bulunduğu belirlenmiştir (Arcak 2010). Bor noksanlığı sonucu; bitkilerde şeker taşınımı, hücre duvarı sentezi, ligninleşme, hücre duvarı yapısı, karbonhidrat metabolizması, RNA metabolizması, solunum, fenol metabolizması ve

membran geçirgenliğinde bozulmalar olduğu belirtilmiştir (Parr ve Loughman 1983). Ayrıca, bor noksanlığı askorbat ve fenol metabolizmasını bozmakta (Lukaszewski ve Blevins 1996) ve oksijen aktivasyonuna neden olmaktadır (Marschner 1995). Fenol metabolizmasının bozulması ile birlikte fenolik bileşiklerin ve polifenol oksidaz aktivitesinin artışı B noksanlığının önemli belirtileri arasındadır. Fenol oksidasyonunun artması toksik süper oksit radikallerinin üretilmesine neden olan kininlerin konsantrasyonunu da artırmaktadır. Bu da antioksidan savunma sistemlerine zarar vermekte ve peroksidasyon yoluyla membran lipidleri ve proteinlerin parçalanmasına, dolayısıyla hücre fonksiyonlarının bozulmasına yol açmaktadır (Gomez-Rodriguez vd. 1981, Cakmak ve Römheld 1997, Pfeffer vd. 1998). Hücre duvarı ve plazma membranının yapısında bulunması ve büyüme düzenleyicilerin temel maddesi olan fenolik bileşiklerin oluşmasında önemli işlevlere sahip olması, borun fizyolojik fonksiyonların başlama ve bitişinde önemli rol oynadığını göstermektedir.

Bitkisel hormonlar ya da fitohormonlar, bitki tarafından oluşturulan ya da bitkiye dışarıdan verilen, çok küçük miktarları ile bitkideki birçok büyüme, gelişme ve fizyolojik olayları tek başlarına veya birlikte, olumlu ya da olumsuz yönde etkileyen maddelerdir. Fitohormonlar temel olarak bitkilerde büyüme ve gelişmeyi teşvik edenler ve engelleyenler olmak üzere 2 ana gruba ayrılmaktadır. Oksinler, gibberellinler ve sitokininler bitki gelişimini teşvik eden temel hormonlar olup bitkide hücre bölünmesini, hücre büyümesini, çiçeklenmeyi, meyve tutumunu, kök ve gövde oluşumunu, yaşlanmanın geciktirilmesini ve bitki besin elementleri metabolizmasını teşvik etmektedirler. Absisik asit ve etilen ise bitki gelişimini engelleyen hormonlar olup bitkide tohum ve tomurcukların uyku döneminin uzamasına, stomaların kapatılmasına, yaprakların dökülmesine ve meyvelerin olgunlaşmasına neden olmaktadır. Bunlar dışında brassinosteroidler, jasmonik asit veya jasmonatlar, salisilik asit ve poliaminler gibi bitki gelişimine farklı şekillerde etki eden diğer bazı uyarıcılar da bulunmaktadır (Güven 1991).

Oksinler genel olarak bitkinin her yerinde bulunmalarına rağmen özellikle gövde ve kök uçlarında sentezlenir ve bitkinin diğer kısımlarına taşınırlar. Hücre çeperinin mekaniksel özelliklerini değiştirerek hücre uzamasına neden olurlar. Solunum, protein ve RNA

sentezlerini yönetirler. Hücre büyümesini ve mitoz bölünmeyi düzenleyici özelliklere sahiptirler. Adventif ve primer kök oluşumu, dişi çiçek oluşumu, tohum çimlenmesi, partenokarpik meyve oluşumu ve floemde asimilat taşınımı da oksinler tarafından uyarılmaktadır. Bitkilerde doğal olarak bulunan oksin formu indol-3-asetik asit (İAA) olmakla birlikte, bitki gelişimini oksinlerle benzer şekillerde etkileyen sentetik oksinler de bulunmaktadır. Bunlar arasında indol-3-bütirik asit (İBA), indol-3-pürivik asit, naftalen asetik asit (NAA), 2,4-diklorofenoksi asetik asit (2,4-D) ve 2,4,6-triklorobenzoik asit yer almaktadır (Güven 1991).

Borun İAA metabolizmasında ve taşınımında önemli etkilerinin olduğu bilinmektedir. Eaton (1940) ile Dyar ve Webb (1961), bor noksanlığı görülen bitkilerde İAA miktarının daha düşük olduğunu belirtmiştir. MacVicar ve Tottingham (1947) ile Coke ve Whittington (1968) ise B noksanlığı olan bitkilerde çok yüksek düzeyde İAA bulunduğunu belirtmişlerdir. Neales (1960) bitkilerde yüksek düzeyde İAA bulunmasının bitki gelişimine zarar verdiğini belirtmiştir. Shkolnik vd. (1964) B noksanlığında serbest oksinlerin miktarının azaldığını ancak bağlı oksinlerin miktarının arttığını bildirmiştir. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar ise B noksanlığı durumunda bitkide İAA artışının, İAA oksidaz enzim aktivitesinin bozulmasından kaynaklandığını ortaya koymuştur (Jaweed ve Scott 1967, Coke ve Whittington 1968, Bohnsack ve Albert 1977). Bor noksan bitkilerde önemli düzeyde azalan oksin taşınımı, ortama B ilavesiyle normal seviyesine ulaşmaktadır (Tang ve Dela Fuente 1986). Bor noksanlığında oksin taşınımındaki bu değişimin, osmotik İAA taşınımı hipotezinde (Rubery ve Sheldrake 1974) önemli rol oynayan membran protonlarının ya da plazma membranlarında bulunan taşıyıcıların işlevlerinden kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Cakmak vd. 1995, Cakmak ve Römhald 1997, Blevins ve Lukaszewski 1998). Ayrıca B noksan bitkilerde, stres hormonu olan etilenin artış göstermesiyle İAA taşınımı ve metabolizmasının bozulduğu (Riov vd. 1982) ve İAA taşıyıcıların konsantrasyonunun azaldığı belirtilmiştir (Suttle 1991, Li vd. 2001).

Bor noksanlığı, özellikle noksanlığa duyarlı bitkilerde (fasulye, ayçiçeği, turpgiller vb) bitki gelişimini önemli düzeyde sınırlandırmaktadır. Bunun sonucunda verim ve kalite kaybı oluşmakta, strese giren bitkilerden yeterli verim alınmamaktadır. Yukarıda

açıklanan bilgiler ışığında bu çalışmada, B noksanlığı olan bir toprakta yetiştirilen fasulye bitkisine yapraktan uygulanan B ve İAA'nın, bitkinin kimi fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerinde oluşturduğu değişikliklerin araştırılması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Eaton (1940), bitki gelişimini üzerine bor ve İAA (İndol asetik asit)'nın etkileŐimini araştırmak üzere pamuk bitkisine 0 ve 1 mg L⁻¹ B ile 0.01, 0.001 ve 0.0001 mg L⁻¹ İAA uygulamış ve B noksanlığı belirtilerinin İAA uygulamasıyla kısmen azaltılabildiğini bildirmiştir. Bor noksan besin çözeltilerinde yetiştirilen bitkilerin yaprak yüzey alanı artan İAA dozlarıyla birlikte artış göstermiştir.

MacVicar ve Totttingham (1947), bitkide B noksanlığında meydana gelen olumsuzluklar üzerine İAA'nın etkilerini araştırdıkları çalışmalarında ayçiçeği, pamuk, soya fasulyesi ve tütün bitkilerine 0 ve 0.5 mg L⁻¹ B ile 0 ve 1 mg L⁻¹ İAA uygulamışlar, bitki yaş ağırlığını, kuru ağırlığını ve oransal kuru madde içeriğini belirlemişlerdir. Sadece tütün bitkisinde bor içermeyen besin çözeltilisiyle yetiştirilen ortama İAA ilave edilmesiyle bitki kuru ağırlığı önemli düzeyde artış göstermiştir.

Bohnsack ve Albert (1977), B noksanlığı altında kabak bitkisi köklerinin İAA oksidaz aktivitelerinde meydana gelen değişimleri araştırmış, bu amaçla kabak fidelerini 5 gün boyunca içerisinde 0.1 mg L⁻¹ B bulunan ve B bulunmayan beslenme ortamlarında yetiştirmişlerdir. Bor noksan ortamdaki bitkilerin kök uçlarında 6 ve 9. saatler arasında İAA oksidaz seviyesinin önemli düzeyde artış gösterdiği, 24 saat sonunda ise bu artışın yeterli B bulunan ortamdaki aktiviteye göre 20 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bor noksanlığı bulunan ortamda yetişen bitkilerin köklerindeki anormal gelişim ve İAA oksidaz aktivitesi, bitkilerin tekrar B bulunan ortama alınmasıyla 18-20 saat içerisinde düzelme göstermiştir. Bor bulunan ortamdaki bitkilerin besin çözeltilisine 10⁻⁶ M İAA uygulamasıyla kök uçlarının İAA oksidaz aktivitesi önemli düzeyde artış göstermiştir.

Gomez-Rodriguez vd. (1981), 0.05, 0.25, 0.5 ve 2.0 mg kg⁻¹ B uygulanarak yetiştirilen ayçiçeği bitkisi yapraklarında katalaz, peroksidaz ve İAA oksidaz aktiviteleri ile difenolik bileşiklerin miktarını araştırmışlardır. Bor noksanlığı görülen yapraklarda katalaz aktivitesinin önemli düzeyde artış gösterdiğini, peroksidaz ve İAA oksidaz aktiviteleri ile difenolik bileşiklerin miktarlarının bor uygulamalarından etkilenmediğini belirtmişlerdir.

Hirsch vd. (1982), borun noksan ve yeterli olduğu koşullarda yetiştirdikleri ayçiçeği bitkisinin kök uçlarında İAA seviyesini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, çimlenmeden 3 gün sonra fideleri ¼ oranında seyreltilmiş 0.5 mg L⁻¹ B içeren Hoagland çözeltilisine (Hoagland ve Arnon 1950) almışlar ve 48 saat sonra B bulunmayan ve 0.5 mg L⁻¹ B bulunan besin çözeltilerine aktarıp yetiştirmeye devam etmişlerdir. Bitkilerin B bulunmayan besin çözeltilisine alınmasıyla kök uzamasının yavaşladığı, hücre duvarının ve plazma membranının yapısında bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Bu belirtilerin Hirsch ve Torrey (1980) tarafından yapılan 5x10⁻⁶ veya 5x10⁻⁷ M İAA uygulamasıyla benzer olduğu dikkat çekmiş ancak yapılan analizler sonucunda B noksan ve yeterli ortamda yetiştirilen bitki köklerinin İAA miktarları arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.

Tang ve Dela Fuente (1986), ayçiçeği bitkisi hipokotilinde İAA taşınımı üzerine B ve Ca noksanlığının etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, bitkileri ¼ oranında seyreltilmiş Hoagland çözeltilisinde (Hoagland ve Arnon 1950) yetiştirmişlerdir. Besin çözeltilerine B, Ca ve B+Ca uygulanmaması durumunda İAA taşınımının 2 elementin noksanlığında tek elementin noksanlığına göre daha fazla gerilediğini belirtmişlerdir. Her 2 elementin noksanlığında da plazma membranındaki bozulmalara bağlı olarak K kaybı artmıştır.

Kastori ve Petrovic (1989), ayçiçeği bitkisine 0.1, 5, 25, 100 ve 500 µmol L⁻¹ B uygulamış ve hem noksan hem de toksik düzeydeki B uygulamalarının toplam N ve NR aktivitesini azalttığını bildirmişlerdir.

Mondy ve Munshi (1993), patatese yapraktan 3.36 kg ha⁻¹ B uygulamasının bitkide askorbik asit ve fenolik madde birikimine etkilerini araştırmışlardır. Bor uygulamalarının fenolik madde konsantrasyonunu önemli düzeyde azalttığını, askorbik asit konsantrasyonunu ise önemli düzeyde artırdığını belirtmişlerdir.

Alpaslan vd. (1996), sera koşullarında yetiştirdikleri buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisine 0.01, 0.1, 1.0 ve 10.0 µg mL⁻¹ B ve 25, 100, 200 ve 400 µg mL⁻¹ N uygulamış, bitki gelişimi, bor, azot ve nitrat kapsamaları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Artan

miktarlarda uygulanan bor, buğday bitkisinin kuru madde miktarını ve nitrat kapsamını azaltırken, bor kapsamını artırmıştır. Ayrıca düşük bor düzeylerinde bitkide nitrat biriktiği belirlenmiştir.

Ruiz vd. (1998), bor uygulamasının tütün bitkisinde N metabolizması üzerine etkilerini araştırmak amacıyla yetiştirme ortamına 0.5, 5, 10 ve 20 μM H_3BO_3 (borik asit) uygulamış ve artan B dozlarıyla yaprak B içeriği ve protein miktarının arttığını, NO_3 içeriğinin ise azaldığını tespit etmişlerdir.

Josten ve Kutschera (1999), ayçiçeği bitkisinde B uygulamalarının adventif kök oluşumuna etkilerini incelemek amacıyla 3 günlük fidelerin köklerini kesip, bir denemede 0, 0.001, 0.01, 0.1 ve 10 mM H_3BO_3 , diğer bir denemede ise 0 ve 0.1 mM H_3BO_3 ile 0 ve 10 μM GA (gibberellik asit), İBA (indol bütirik asit) ve 6-furfuril-amino-pürin (kinetin) içeren besin çözeltilerinde köklenmeye bırakmışlardır. İlk denemede, bor noksanlığında ve fazlalığında adventif kök sayısının ve ağırlığının azaldığını, ikinci denemede ise ortama İBA uygulamasıyla hipokotillerde önemli düzeyde kalınlaşma olduğunu, B noksanlığı durumunda adventif kök oluşmadığını, bor içeren ortama İBA ilavesinin adventif kök oluşumunu geriletmediğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde GA uygulamasının da hipokotili kalınlaştırdığını, ortamda bor olup olmamasına bağlı olmaksızın kinetin adventif kök oluşumunu engellediğini belirtmişlerdir.

Li vd. (2001), bezelye bitkisinde B noksanlığının bitkide B dağılımı, hormonal büyüme ve tepe hakimiyeti (apical dominance) ile ilişkilerini araştırmak amacıyla 4 günlük bezelye fidelerini 10 μM B içeren besin çözeltilisine almış, kotiledonlarını kesmiş ve bu ortamda 3 gün süreyle yetiştirmişlerdir. Sonra bu bitkileri iki gruba ayırarak bir gruba 0 μM B diğer gruba ise 10 μM B uygulamışlardır. Bor noksan bitkilerin sürgün uzama hızı ile sürgün uçlarında İAA miktarı ve taşınımının 5. günden itibaren önemli düzeyde azaldığını, B uygulamasına bağlı olarak sürgün ucu ve köklerin B içeriğinin önemli düzeyde artış gösterdiğini, bor içeren besin çözeltilisinde yetiştirilen bitkilerin kök ve sürgün uçlarının İAA içeriğinin 4. günden itibaren artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Cara vd. (2002), kabak bitkisinde B noksanlığının fenol metabolizması ve membran geçirgenliğine etkilerini araştırmak üzere, 30 günlük kabak fidelerini B bulunmayan besin zltisine daldırmış ve PFO (polifenol oksidaz) enzim aktivitesinin zaman geçtikçe azalma gösterdiğini, membran geçirgenliğinin ise arttığını belirtmişlerdir.

Karabal vd. (2003), B toksisitesine dayanıklı ve hassas olan 2 arpa çeşidiyle yürüttükleri denemede, 8 günlük bitkilere 5 gün boyunca 5 ve 10 mM borik asit uygulayarak bazı büyüme parametreleri ve antioksidan enzimlerde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Bor toksisitesinin kök ağırlığını azalttığı, protein içeriğini değiştirmediğini, borik asit uygulamalarının her 2 çeşidin gövde prolin ve H₂O₂ miktarlarını önemli düzeyde etkilemediğini, hassas olan çeşitte B toksisitesinin membranda bozulmalara yol açtığını, 10 mM borik asit uygulamasında gövde katalaz ve SOD aktivitelerinin her 2 çeşitte de önemli düzeyde değişim göstermediğini ancak AP aktivitesinin önemli oranda arttığını belirtmişlerdir.

Keles vd. (2004), Nazilli bölgesinde yüksek düzeyde B içeren kanal suyu ve düşük düzeyde B içeren kuyu suyuyla portakal ağaçlarını sulamışlar ve bitki B içeriği ile antioksidan sisteme etkilerini araştırmışlardır. Kanal suyuyla sulanan ağaçlarda B miktarının, kuyu suyuyla sulanan ağaçlara göre 2 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bor içeriği yüksek olan yapraklarda askorbik asit miktarının 2 kat ve SOD aktivitesinin %14 daha fazla olduğu, katalaz aktivitesinin ise %42 daha az olduğu belirtilmiştir. Ayrıca B içeriği yüksek olan yapraklarda znebilir protein, znebilir karbonhidrat ve znebilir fenolik bileşiklerin daha yüksek olduğu, prolin miktarının ise daha düşük olduğu grlmştir.

Puzina (2004), ZnSO₄ ve H₃BO₃ uygulamalarının, patates bitkisinin hormonal durumuna etkisini ve bunun yumru oluşumu ile ilişkisini araştırmak amacıyla yumruları 6 saat boyunca 3 mM ZnSO₄ veya 8 mM H₃BO₃ zltisine daldırmıştır. iek tomurcuğu oluşumu sırasında yaprakların ve vejetasyon süresi sonunda yumruların hormon içeriklerini belirlemiştir. Borik asit uygulamasının hem yaprak hem de yumruların sitokin (zeatin+zeatin ribozid) içeriği ve İAA içeriğini arttırdığını, ABA içeriğini ise azalttığını belirtmiştir.

Stefanini vd. (2004), limon otu çeliklerinin köklenmesine İBA ve H₃BO₃ uygulamalarının etkilerini araştırmak üzere 15 cm uzunluğundaki yapraksız çelikleri, 24 saat süreyle H₃BO₃ içeren ve içermeyen 0, 150 ve 250 mg L⁻¹ İBA çözeltisine daldırmışlar ve 25 gün vermikulitte yetiştirmişlerdir. Bitkide kök sayısı ve yaprak kuru ağırlığını 150 mg L⁻¹ İBA+H₃BO₃ ve 250 mg L⁻¹ İBA+H₃BO₃ uygulamalarının artırdığını belirtmişlerdir.

San-Francisco vd. (2005), hidroponik biber yetiştiriciliğinde İAA ve İAA öncüllerinin (L-triptofan ve indol) bitki gelişimine, mineral beslenmesine, İAA ve serbest poliamin içeriğine etkilerini incelemek amacıyla besin çözeltisine 0, 10⁻³, 10⁻⁶ ve 10⁻⁹ M indol ve L-triptofan, 0 ve 10⁻⁶ M İAA uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre 10⁻⁹ M triptofan hariç tüm uygulamalar yaprak K içeriğini ve 10⁻⁹ M indol uygulaması yaprak Na içeriğini önemli düzeyde azaltmıştır. Yaprak Ca içeriği tüm triptofan uygulamaları ve 10⁻⁶ M indol uygulamasıyla artış göstermiştir. Uygulanan 10⁻⁹ M triptofan kök N içeriğini, 10⁻⁶ M İAA, 10⁻⁶ ve 10⁻⁹ M triptofan, 10⁻³ ve 10⁻⁹ M indol uygulamaları kök P içeriğini, indol hariç tüm uygulamalar kök K içeriğini, 10⁻⁶ M İAA, 10⁻³ M ve 10⁻⁹ M triptofan kök Ca içeriğini önemli düzeyde artırmıştır. Tüm indol uygulamaları biber bitkisi köklerinin B içeriğini azaltmıştır. Köklerin İAA içeriği 10⁻³ M triptofan ve 10⁻³ M indol uygulanan bitkilerde artış göstermiştir.

Gunes vd. (2006), asmanın B toksisitesine antioksidan ve stomatal tepkilerini araştırmak üzere bitkilere 0, 10, 20 ve 30 mg kg⁻¹ B uygulamış, artan B dozlarıyla birlikte yaprak, gövde, kabuk ve köklerde B miktarının artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Toksik B düzeylerinde H₂O₂, MDA ve membran geçirgenliğinin artış gösterdiğini, prolin miktarının ise azaldığını, kontrole göre katalaz ve SOD aktivitelerinin daha yüksek olduğunu, AP aktivitesinin ise azaldığını belirtmişlerdir.

Mashayekhi ve Neumann (2006), havuç bitkisinde B uygulamalarının somatik embriyogenez üzerine etkilerini araştırmak amacıyla 1 cm uzunluğundaki havuç petiollerini 0 ve 2.26 µM 2,4-D içeren ortamda 21 gün yetiştirdikten sonra 0, 0.1, 0.5, 1, 4 ve 8 mg L⁻¹ B uygulamışlardır. Ortamda 2,4-D bulunmadığında uygulanan tüm B dozlarının bitkinin İAA içeriğini artırdığını, 1 mg L⁻¹ hariç tüm B dozlarının ise toplam

sitokinin içeriğini önemli düzeyde artırdığını, bor uygulanmayan bitkilerin ABA içeriğinin B uygulanan bitkilerin ABA içeriğinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Wang vd. (2006), bor noksanlığı altında yetiştirilen bezelye bitkisinde uç baskınlığı üzerine oksin ve sitokininlerin etkilerini araştırmak üzere, 4 farklı deneme kurmuşlardır. Denemelerde besin çözeltisine 0 ve 10 μM bor ile sürgün uçlarına çeşitli kombinasyonlarda ve sayıda uygulamalarla, 0 ve 10 μL H_3BO_3 , 0, 10 ve 20 mg L^{-1} CPPU (N-2-kloro-4-piridil-N-fenilüre), 0 ve 100 mg L^{-1} gibberellik asit, 0 ve 10^{-6} M İAA uygulamışlardır. Araştırmacılar, B noksan bitkilerin oksin ve sitokinin miktarlarının daha düşük olduğunu ve bitkilerin sürgün uçlarından oksin taşınımının azaldığını belirtmişlerdir. Sürgün uçlarına B uygulamasıyla zeatin/zeatin ribozid oranı, sürgün uçlarından oksin taşınımı ve 72 saat sonraki İAA seviyesi artış göstermiştir. Borun sürgün uçlarına uygulandığı bitkilerde lateral kök gelişiminin artış gösterdiği ve bunun İAA taşınımının artmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Sürgün uçlarına CPPU uygulaması, B noksan bitkilerde İAA konsantrasyonunu ve taşınımını etkilememiş, B uygulaması bitkilerde İAA taşınımını artırmış, zeatin/zeatin ribozid oranını azaltmıştır.

Camacho-Cristobal ve Gonzales-Fontes (2007), hidroponik ortamda 10 μM B ile beslenen tütün bitkisini, B bulunmayan ortama almışlar ve bitkinin hem kök hem de yaprak NO_3 içeriğinde önemli düzeyde azalma meydana geldiğini belirlemişlerdir. Bor noksanlığı durumunda, NO_3 alımında meydana gelen bu azalmanın NO_3 taşıyıcılarının aktivitelerinin azalmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Cervilla vd. (2007), 2 farklı domates çeşidinde B toksisitesinin oksidatif stres ve antioksidanlara etkisini araştırmak üzere bitkilere 0.05, 0.5 ve 2 mM B uygulamışlardır. Malondialdehit ve H_2O_2 içeriğinin 2 mM B uygulamasında önemli düzeyde arttığını belirtmişlerdir. Kosako çeşidinin SOD aktivitesi 0.5 ve 2 mM B dozunda artış gösterirken, Josefina çeşidinde sadece 0.5 mM dozunda artış görüldüğünü, her 2 çeşitte katalaz aktivitesinin 2 mM B dozunda artış gösterdiğini, askorbat peroksidaz aktivitesinin Kosaco çeşidinde en yüksek düzeye 0.05 mM B dozunda, Josefina çeşidinde ise 2 mM B dozunda ulaşıldığını belirtmişlerdir.

Eraslan vd. (2007a), domates ve biber bitkisine 0, 0.5, 5 ve 50 mg kg⁻¹ B uygulamış ve bitkide meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Artan B dozlarıyla orantılı olarak bitki B içeriğinin arttığı, 5 ve 50 mg kg⁻¹ B düzeyinde bitkide toksisite belirtilerinin görüldüğünü belirtmişlerdir. Membran geğirgenliği ve prolin birikiminin 50 mg kg⁻¹ B uygulamasında önemli düzeyde artış gösterdiği araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir.

Eraslan vd. (2007b), tuz ve toksik düzeyde B uygulamasının (300 µM B) marul bitkisinde membran zararlanması ve antioksidatif sisteme etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, toksik düzeydeki bor katalaz aktivitesi, membran geğirgenliği, MDA (malondialdehit), prolin ve askorbik asit içeriğini değiştirmemiş, H₂O₂ (hidrojen peroksit), SOD (süperoksit dismutaz) ve AP (askorbat peroksidaz) aktivitesini önemli düzeyde artırmıştır.

Wang vd. (2007), mısır fidelerinde kurşun (Pb) birikimine 0, 250 ve 500 µM İAA uygulamalarının etkisini araştırmışlar ve 250 µM İAA uygulamasının katalaz ve SOD aktiviteleri ile MDA içeriğini önemli oranda artırdığını belirtmişlerdir.

Ali vd. (2008), maş fasulyesinde İAA ve 4-Cl-İAA'nın büyüme, nodül oluşumu ve N fiksasyonuna etkilerini karşılaştırdıkları bu araştırmada, her iki hormonun da kök ve sürgünlerin yaş ve kuru ağırlıklarını artırırken, N ve karbonhidrat içeriğini hem İAA hem de 4-Cl-İAA'nın azalttığını belirtmişlerdir.

Cervilla vd. (2009), toksik bor koşulunda yetiştirilen domates bitkisinin N metabolizmasında meydana gelen değişimleri araştırmak üzere 42 günlük bitkilere 0.05 (kontrol), 0.5 ve 2 mM B uygulamışlardır. Bor toksisitesinin yaprak ağırlığını, yaprakta organik N ve çözünebilir proteinlerin miktarını önemli düzeyde azalttığı belirtilmiştir. Özellikle kök ortamına 2 mM B uygulanan bitkilerde yaprak NH₄ ve NO₃ konsantrasyonunun en düşük olduğu tespit edilmiştir. Toplam B ve amino asit miktarı toksik B düzeyinde artış göstermiştir. Bor toksisitesinin NO₃ indirgenmesini azalttığı, NH₄ asimilasyonunu ise artırdığı görülmüştür.

Ardic vd. (2009), bor toksisitesinin Küsmen ve Gökçe nohut çeşitlerinin antioksidan sistemleri üzerine etkilerini incelemek amacıyla 3 haftalık nohut fidelerine 7 gün boyunca 0.05 (kontrol), 1.6 ve 6.4 mM B uygulamışlardır. Sürgün SOD aktivitesinin 1.6 ve 6.4 mM B dozlarında önemli oranda arttığı belirtilmiştir. Küsmen çeşidinde katalaz ve AP aktivitelerinin 6.4 mM B dozunda değişiklik göstermediği, Gökçe çeşidinde ise her iki bor dozunda katalaz, SOD, AP aktivitelerinin artış gösterdiği belirtilmiştir. MDA içeriğinin ise Küsmen çeşidinde Gökçe çeşidine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Inal vd. (2009), B toksisitesinin neden olduğu oksidatif stresin etkilerini azaltmak için arpa bitkilerine artan dozlarda silisyum uygulamışlardır. Bitki B konsantrasyonu, H₂O₂ ve MDA içeriği 20 mg kg⁻¹ B dozunda önemli düzeyde artış gösterirken prolin içeriği ile katalaz, SOD ve AP aktivitelerinin önemli düzeyde azalma gösterdiği belirtilmiştir. Silisyum uygulamasına bağlı olarak bitkilerde görülen zararlanmanın azaldığı belirtilmiştir.

Li ve Wu (2009), domatese 0, 4 ve 8 mg L⁻¹ boraks uygulamış ve bu uygulamaların verim, kalite ve antioksidatif kapasite üzerine etkilerini araştırmışlardır. Verimin hem 4 hem de 8 mg L⁻¹ boraks düzeyinde artış gösterdiği, askorbik asit içeriği ve toplam antioksidatif kapasitenin ise yalnız 4 mg L⁻¹ düzeyinde artış gösterdiği belirtilmiştir.

Matas vd. (2009), tütün bitkisine 0.05, 2 ve 5 µM B uygulamış, bu uygulamaların yaprak ve köklerdeki NO₃ konsantrasyonuna etkilerini araştırmışlardır. Bor noksanlığı altında (0.05 µM) yetişen bitkilerde sürgün ağırlığının %25 ve kök ağırlığının %50 oranında azaldığı, yaprak ve kök NO₃ içeriğinin, sırasıyla %45-60 ve %35-45 daha az olduğu belirtilmiştir.

Bellaloui vd. (2010), yapraktan uygulanan borun soya fasulyesinin N metabolizmasına etkisini incelemiş ve yapraktan 0.45 kg ha⁻¹ B uygulanan bitkilerde tohum protein miktarının %13.7 oranında arttığını belirtmişlerdir. Yapraktan 1.8 kg ha⁻¹ B uygulamasının ise N fiksasyonunu olumsuz etkilediği görülmüştür.

Tewari vd. (2010), B noksanlığı ve toksisitesi altında yetiştirilen dut ağacı yapraklarının katalaz, SOD ve AP aktiviteleri ile H₂O₂ miktarlarındaki değişimi incelemek amacıyla 16.5 µM B içeren çözeltilerde yetiştirilen fidanları 3 gruba ayırmış ve bunları 0, 16.5, 33 µM B ile beslemeye devam etmişlerdir. Çalışma sonucunda hem noksan B hem de yüksek B uygulamasında H₂O₂ birikimi görüldüğünü, B noksanlığı görülen yapraklarda katalaz, SOD ve AP enzim aktivitelerinin artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Gangwar vd. (2011a), İAA uygulamalarının bezelye fidelerinde Mn toksisitesi üzerine etkilerini araştırmak amacıyla bitkilere 0, 10 ve 100 µM İAA uygulamış, H₂O₂ ve MDA içeriği ile katalaz, SOD, AP aktivitelerini inceledikleri çalışmalarında 100 µM İAA'nın H₂O₂ ve MDA içeriği ile SOD ve AP enzim aktivitelerini artırdığını, katalaz enzim aktivitesini ise azalttığını belirtmişlerdir.

Kaya vd. (2011), B toksik koşulda yetiştirilen domates bitkisine silisyum uygulamalarının etkilerinin araştırmak üzere bitkilere 0.5, 3.5 ve 6.5 mg L⁻¹ B uygulamışlar ve yüksek B dozlarında SOD ve PFO aktivitelerinde meydana gelen artışın önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Keles vd. (2011), B toksisitesine hassas domates ve orta derecede toleranslı ayçiçeği bitkisine uygulanan 0, 20, 40 ve 60 µg g⁻¹ borun antioksidan enzimlere etkilerini araştırmışlardır. Uygulanan B düzeyi arttıkça domateste SOD aktivitesinin arttığı, katalaz aktivitesinin ise azaldığı belirtilmiştir. Ayçiçeğinde ise hem katalaz hem SOD aktiviteleri B uygulamasına bağlı olarak artış göstermiş ancak 40 µg B g⁻¹ dozundan sonra katalaz aktivitesinin azalmaya başladığı bildirilmiştir.

Shah (2011), çörek otuna yapraktan uygulanan 10⁻⁷, 10⁻⁶, 10⁻⁵ M dozlarında 4-Cl-İAA (4-kloro indol asetik asit)'nin fotosentez, N metabolizması ve verime etkilerini araştırmış, yapraktan uygulanan 10⁻⁶ M 4-Cl-İAA'nın yaprak protein içeriği ve kuru ağırlığını sırasıyla %41 ve %51 oranında artırdığını bildirmiştir.

Wang vd. (2011), B toksisitesi altında yetiştirilen armut yapraklarındaki fotosentetik ve antioksidan sistemlerde meydana gelen değişimleri araştırmak amacıyla 1 yaşındaki

fidanlara 10 (kontrol), 100, 300 ve 500 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B uygulamışlardır. Artan B konsantrasyonlarına bağlı olarak MDA ve H_2O_2 içeriklerinin artış gösterdiğini, katalaz, SOD ve AP aktivitelerinin ise önce artış sonra azalma gösterdiğini belirtmişlerdir.

Aref (2012), mısır bitkisine topraktan 0, 3 ve 6 kg ha^{-1} B ile 0, 8, 16 ve 24 kg ha^{-1} Zn ve yapraktan %0.3 B ve %0.5 Zn uygulayarak bor ve çinko elementlerinin mısır yaprağının N içeriğine etkilerini araştırmıştır. Bor uygulamasıyla mısır yapraklarının N konsantrasyonundaki değişimin önemsiz olduğunu belirtmiştir.

Michael ve Krishnaswamy (2012), bor toksisitesi ve yüksek ışıklandırmanın börülce bitkisinin antioksidan aktivitesinde meydana getirdiği değişimleri araştırmak için 8 günlük fidelere 0, 0.5 ve 50 mg kg^{-1} B uygulamışlardır. Borun noksan ve toksik olduğu her 2 koşulda da bitkilerin kök ve sürgün uzunluklarının azaldığı, membran geçirgenliği, H_2O_2 içeriği ve SOD aktivitesinin önemli düzeyde artış gösterdiği, toksik B düzeyinde PFO aktivitesi ile prolin miktarının azaldığı, MDA içeriğinin ise sadece toksik B koşulunda artış gösterdiği belirtilmiştir.

Olcer ve Mecit (2012), buğday tohumlarında çimlenme sırasında B stresinin embriyo ve endospermdeki PFO aktivitesine etkilerini araştırmak üzere tohumlara 0, 0.1, 50, 100 ve 150 mM B uygulamışlardır. Polifenol oksidaz aktivitesinin 0.1 ve 50 mM B seviyelerinde yüksek olduğunu ancak B düzeyi arttıkça PFO aktivitesinin azalma gösterdiğini belirtmişlerdir.

Stoces vd. (2012), bor ve mavi ışık, *Arabidopsis* hipokotillerinin oksin uygulamasına tepkilerini azalttığını belirttikleri çalışmalarında, normal ve B noksan mutant (*bl-1*) *Arabidopsis* genotiplerine 0, 0.1 ve 2 mM H_3BO_3 ile İAA, 2,4-D (2,4-diklorofenoksiasetik asit) ve NAA (1-Naftalen asetik asit) olmak üzere 3 farklı oksinden 0, 10^{-7} , 10^{-6} , 5×10^{-6} ve 10^{-5} M uygulamışlardır. Çimlenen bitkiler farklı düzeylerde B ve oksin içeren petri kaplarında karanlıkta, kırmızı ve mavi ışıkta 10 gün boyunca bekletilmiştir. Her iki ışık koşulunda da NAA hipokotil gelişimini hem normal bitkide hem de mutant bitkide yavaşlatmış ancak B uygulamaları önemli bir etki yapmamıştır. Bor noksanlığında tüm ışık koşullarında 2,4-D uygulamasıyla normal bitkinin hipokotil

uzaması yavaşlamış ancak mavi ışıkta ortama B ilave edilmesiyle 2,4-D'nin bu etkisi ortadan kalkmıştır. Her iki genotipde İAA uygulamasıyla, kırmızı ışıkta ve karanlıkta hipokotil büyümesi azalmış fakat mavi ışıkta 0.1 mM H₃BO₃ uygulamasında ise hipokotil büyümesi artmıştır. Bu artış 2 mM H₃BO₃ uygulamasında görülmemiştir. Özellikle mavi ışıkta, B uygulaması ile hipokotilin 2,4-D ve İAA'ya duyarlılığının azaldığı belirtilmiştir.

Agami ve Mohamed (2013), 500 ve 1000 µM kadmiyum (Cd) toksisitesi koşulunda yetiştirilen buğday fidelerine uygulanan 500 µM İAA ve salisilik asidin kadmiyum toksisitesine etkilerini araştırmış, 500 µM İAA uygulamasının katalaz ve SOD aktivitesi ile prolin içeriğini kontrole göre artırdığını tespit etmişlerdir.

Esim vd. (2013), mısır fidelerine uygulanan 0, 2 ve 4 mM borun antioksidan parametreler üzerine etkilerini araştırmış, yüksek B dozlarında MDA ve H₂O₂ içerikleri ile SOD ve katalaz enzim aktivitelerinin artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Hajiboland vd. (2013), çay bitkisinde B noksanlığının fenol metabolizmasına etkisini araştırmak üzere 1 aylık fideleri B bulunmayan ve yeterli B bulunan (46 µM) besin çözeltilerine almışlardır. Bor noksanlığına maruz kalan bitki köklerinde PFO aktivitesinin önemli düzeyde azaldığını, yaprakların PFO aktivitesinin ise B noksanlığından etkilenmediğini belirtmişlerdir.

Hamurcu vd. (2013), bor toksisitesi altında yetiştirilen soya fasulyesinde antioksidan enzim aktivitelerindeki değişimi incelemek amacıyla bitkilere 0.2, 2 ve 12 mg kg⁻¹ B uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, 12 mg kg⁻¹ B dozunda katalaz, SOD ve AP enzim aktivitelerinin önemli düzeyde artış gösterdiğini, MDA içeriğinin ise 2 mg kg⁻¹ B dozunda artış gösterirken 12 mg kg⁻¹ dozunda azaldığını bildirmişlerdir.

Landi vd. (2013), serada yetiştirdikleri kabak ve hıyar bitkilerinin fotosentez ve antioksidan sistemleri üzerine artan dozlarda uygulanan borun etkisini incelemek üzere bitkilere 0.2, 10 ve 20 mg L⁻¹ B uygulamışlardır. Bitkilerin katalaz, SOD, AP enzim aktiviteleri ile MDA içeriklerini karşılaştırmışlar ve artan bor dozlarına bağlı olarak

bitkilerin katalaz, SOD, AP enzim aktiviteleri ile MDA içeriklerinin arttığını belirtmişlerdir.

Mukhopadhyay vd. (2013), çayda B noksanlığının fotosentez ve antioksidanlar üzerine etkilerini araştırmak üzere genç çay fidelerine 8 hafta boyunca 0, 2.5 ve 5 µM B uygulamış ve B noksan bitkilerin katalaz, SOD, AP aktivitelerinin artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Rezaee vd. (2013), lalegül bitkisinde B ve Al uygulamalarının antioksidan enzim aktivitesine etkilerini araştırmak üzere bitkilere 0, 0.05 ve 0.1 mM B uygulamışlardır. Artan B dozlarıyla birlikte katalaz aktivitesinin arttığını, SOD aktivitesinin ise azaldığını belirtmişlerdir. Askorbat peroksidaz aktivitesinin 0.05 mM B dozunda diğer B dozlarına göre daha düşük olduğunu, lipid peroksidasyon oranının bu B dozunda en yüksek olduğunu tespit belirtmişlerdir.

Abreu vd. (2014), *Arabidopsis thaliana* bitkisinin kök meristemindeki sitokinin algılayıcı genin baskılanmasına ve anormal hücre farklılaşmasına B noksanlığının etkilerini araştırmak amacıyla besin çözeltisine 0 ve 10 µM H₃BO₃ uygulamışlardır. Bitkileri çimlenmeden 3 gün sonra B bulunan ve bulunmayan ortama almışlardır. Bor bulunmayan ortamdaki bitkilerin hipokotil uzaması 2 gün sonra, kök ucu büyümesi ise şaşırtmadan itibaren yavaşlamıştır. Kök uç meristeminde hücrelerin bölünmesinden farklılaşmasına kadar sitokinlerin sorumlu olduğu ve hücre farklılaşmasıyla organ oluşumu sırasındaki algı mekanizmasının B noksanlığına hassas olduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Toprak Örneğinin Alınması, Deneme ve Analize Hazırlanması

Denemede kullanılan toprak Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nden, Öztürk vd. (2012)'nin belirledikleri bor noksanlığı bulunan H5 (474300, 4385800) noktasından, 0-20 cm derinlikten alınıp 4 mm'lik elekten elenmiştir. Toprak örneğinin kimi fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek üzere bir kısmı alınıp 2 mm'lik elekten geçirilmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Deneme toprağının kimi fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneme toprağının kimi fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Miktar	Özellik	Miktar
pH, (1-2.5 su)	7.76	Toplam N, %	0.08
EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$ (1-2.5 su)	217	P, mg kg^{-1} (NaHCO_3)	5.08
Kireç CaCO_3 , %	34.37	K, mg kg^{-1} ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$)	211
Organik madde, %	1.23	B, mg kg^{-1} (CH_3COONa)	0.28
Tekstür sınıfı	Kil		

3.2 Bitki Materyali

Bitki materyali olarak fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris* L. Gina) kullanılmıştır. Tohumlar May Tohumculuk'tan temin edilmiştir. Gina, Türkiye koşullarına iyi adapte olmuş, erkenci ve yüksek verimli bir çeşittir.

3.3 Sera Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi

Sera denemesi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında yürütülmüştür. Polietilen kaplı plastik saksılara, 4.5 kg toprak doldurulmuştur. Ekim öncesi temel gübreleme olarak bütün saksılara 100 mg kg^{-1} N,

100 mg kg⁻¹ P ve 125 mg kg⁻¹ K, amonyum nitrat (NH₄NO₃), monoamonyum fosfat (NH₄H₂PO₄) ve potasyum nitrat (KNO₃)’tan uygulanmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 2 faktörlü (bor ve İAA) ve 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Tohumlar 10.11.2013 tarihinde her saksıya 8 adet olmak üzere ekilip, çimlenme sonrası her saksıdaki bitki sayısı 4 olacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Çimlenmeden 35 gün sonra çiçeklenme başlangıcında bitkilere yapraktan 0, 100, 200 ve 300 mg L⁻¹ B (H₃BO₃) ve 1 gün sonra da 0, 100, 200 ve 300 mg L⁻¹ İAA uygulanmıştır. Yapraktan uygulanan çözeltilere yapıcı ve yapıştırıcı olarak 0.1 mL L⁻¹ hesabıyla Biostick (Bioglobal Ltd. Şti.) katılmıştır. Deneme süresince bitkiler musluk suyu ile sulanmış ve periyodik olarak saksı konumları değiştirilmiştir. Hastalık ve zararlılarla mücadele amacıyla 15 günde bir olmak üzere 3 kez “Captan” (Hektaş) isimli genel amaçlı fungusit uygulanmıştır.

3.4 Bitkilerin Örneklenmesi ve Hasadı

Taze bitki örneklerinde yapılan fizyolojik ve enzimatik analizler için B ve İAA uygulamalarından 2 hafta sonra bitkinin uç yapraklarının alt yaprakçıklarından 10-12 adet (yaklaşık 5 g) örnek (yaprak ayası ve sapı) alınıp alüminyum folyolara sarılarak analize kadar -20 °C’de dondurulmuş olarak muhafaza edilmiştir.

Membran geçirgenliğini belirlemek üzere bitkinin uç yapraklarının alt yaprakçıklarından 5 adet (yaklaşık 2 g) örnek (yaprak ayası ve sapı) alınıp aynı gün analiz yapılmıştır.

Yaklaşık 10 haftalık gelişim süreci sonunda 23.01.2014 tarihinde bitkiler kök ile gövdenin birleştiği yerden kesilip yaş ağırlıkları belirlenmiş, çeşme suyu ve saf su ile yıkanıp kese kağıtlarına konulmuş, 65 °C’de 3 gün boyunca kurutulup öğütülmüş ve nem çekmemesi için ağzı kilitli naylon torbalarda saklanmıştır.

3.5 Deneme Topraklarının Fiziksel ve Kimyasal Analizlerinde Uygulanan Yöntemler

Toprak örnekleri, laboratuvarında hava kuru duruma getirilip, 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra aşağıda belirtilen fiziksel ve kimyasal analiz işlemlerine tabi tutulmuştur (Anonymous 1951).

3.5.1 Toprak reaksiyonu (pH)

Toprak reaksiyonu (pH), 1:2.5 toprak:su karışımında cam elektrotlu Mettler-Toledo marka pH-metre ile belirlenmiştir (Jackson 1958).

3.5.2 Elektriksel iletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik, 1:2.5 toprak-su karışımında WTW-Cond 720 marka EC metre ile belirlenmiştir (Richards 1954).

3.5.3 Kireç

Hızalan ve Ünal (1966) tarafından açıklandığı şekilde Scheibler kalsimetresiyle belirlenmiştir.

3.5.4 Organik madde

Jackson (1958) tarafından bildirildiği şekilde değiştirilmiş Walkley-Black yaş yakma yöntemine göre belirlenmiştir

3.5.5 Tekstür (Bünye)

Toprak örneklerinin kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucos (1951) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemine göre belirlenmiş, tekstür sınıfları ise "Soil Survey Manual" (Anonymous 1951)'e göre saptanmıştır.

3.5.6 Toplam azot (N)

Bremner (1965) tarafından bildirildiği şekilde Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir.

3.5.7 Yarayırlı fosfor (P)

Olsen vd. (1954) tarafından bildirildiği şekilde, toprak örnekleri 0.5 M NaHCO₃ (pH: 8.5) ile ekstrakte edilmiş ve çözeltiliye geçen fosfor (P), molibdofosforik mavi renk yöntemine göre Shimadzu UV 1201 spektrofotometresinde belirlenmiştir.

3.5.8 Değişebilir potasyum (K)

Pratt (1965) tarafından bildirildiği şekilde, toprak örnekleri 1.0 N nötr (pH: 7.0) amonyum asetat (CH₃COONH₄) ile ekstrakte edilmiş, süzükteki potasyum (K), ICP-OES (Perkin Elmer 2100 DV) cihazı ile belirlenmiştir.

3.5.9 Yarayırlı bor (B)

Wolf (1971) tarafından bildirildiği şekilde; pH'sı 4.8 olan sodyum asetat (CH₃COONa) çözeltilisiyle ekstrakte edilen B, azometin-H yöntemine göre Shimadzu UV 1201 spektrofotometresinde belirlenmiştir.

3.6 Bitki Analizleri

3.6.1 Toplam bor (B)

Kurutulmuş ve öğütölmüş bitki örnekleri kuru yakma yöntemine göre kül fırınında 550 °C'de 8 saat süreyle yakılıp, porselen krezeler oda sıcaklığına geldiğinde üzerine 2 mL 10 N nitrik asit ilave edilmiştir. Krezeler hot plate üzerine konulmuş ve kaynamaya başladıktan 15 dakika sonra indirilip oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Sonra çözeltili 100 mL'lik plastik balonjölere saf suyla yıkanarak aktarılmıştır (Isaac ve Kerber 1971). Yakma işleminden sonra örnekler Whatmann No 10 filtre kağıdından

süzülmüş ve bor ICP-OES (Perkin Elmer 2100 DV) cihazında okuma yapılarak belirlenmiştir (Anonymous 1989, Plank 1992, Isaac ve Johnson 1998).

3.6.2 Toplam azot (N)

Kurutulmuş ve öğütülmüş bitki örneklerinin toplam azot içeriği, Kacar ve İnal (2008) tarafından bildirildiği şekilde Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir.

3.7 Bitkide Fizyolojik ve Enzimatik Analizler

Uygulamaları temsil edecek şekilde ve uygulamalardan 2 hafta sonra bitkilerden alınan yaprak örnekleri -20 °C’de dondurucuda muhafaza edilmiştir. Analizler sırasında dondurucudan çıkarılan yapraklardan, maket bıçağı ile kesilerek hızlı bir şekilde örnekleme yapılmış ve yapraklar tekrar dondurucuya konulmuştur.

3.7.1 Membran geçirgenliği

Membran geçirgenliği belirlemesi için alınan yaprak örneklerinden 1 g tartılmış, önce çeşme suyu ardından saf su ile yıkanmış, maket bıçağı ile doğrandıktan sonra behere konularak 100 mL saf su içerisinde oda sıcaklığında 3 saat bekletilip çözeltinin WTW-Cond 720 cihazı ile EC’si ölçülmüştür (EC₁). Daha sonra hot plate üzerinde kaynamaya bırakılan örnekler, kaynama başladıktan 2 dakika sonra hot plate’den indirilmiş ve oda sıcaklığına ulaşana kadar beklenmiştir. Oda sıcaklığına ulaşan örneklerde EC tekrar ölçülmüş (EC₂) ve membran geçirgenliği aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (Yan vd. 1996).

$$\text{Membran Geçirgenliği} = [EC_1/EC_2] \times 100$$

3.7.2 Lipid peroksidasyonu (MDA)

Bitkilerde lipid peroksidasyonu, MDA içeriği olarak ifade edilmektedir. Dondurulmuş 0.2 g yaprak örneği 4 mL % 0.1’lik TCA (trikloro asetik asit) ile homojenize edildikten

sonra homojenat 15000 g'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örneğin berrak kısmından 1 mL alınıp, deney tüplerine konulmuş ve üzerine 4 mL % 20'lik TCA içerisinde çözülmüş % 0.5'lik TBA (tiyobarbitürik asit) katılmıştır. Karışım 95 °C'de 30 dakika bekletildikten sonra hızla buz banyosunda soğutulmuştur. Tüplerde bulunan örnekler 10000 g'de 10 dakika santrifüj edildikten sonra berrak kısım alınarak Shimadzu UV 1201 spektrofotometresinde 532 ve 600 nm dalga boyunda absorbans değerleri belirlenmiş ve aşağıdaki eşitlik ile MDA içeriği hesaplanmıştır (Heath ve Packer 1968, Sairam ve Saxena 2000).

$$\text{MDA (nmol mL}^{-1}\text{)} = [(A_{532}-A_{600})/155\ 000] 10^6$$

3.7.3 Hidrojen peroksit (H₂O₂)

Titanyum çözeltisi için 150 mL konsantre sülfürik asit üzerine 1 g titanyum dioksit ve 10 g potasyum sülfat ilave edildikten sonra hot plate üzerinde 2 saat kaynatılıp, soğutulmuş ve saf su ile 1.5 L'ye tamamlanmıştır. Bu karışım titanyum çözeltisi olarak kullanılmıştır. Dondurulmuş bitki örneğinden 0.25 g tartılıp, 5 mL soğuk aseton ile homojenize edilmiş ve homojenat Whatman No 10 filtre kağıdından süzümüştür. Süzülen ekstrakt üzerine 4 mL titanyum çözeltisi ve 5 mL konsantre amonyak çözeltisi ilave edilip hidrojen peroksit-titanyum kompleksi oluşturulmuştur. Bu kompleks, 10000 g'de 5 dakika santrifüj edilip, berrak kısım dökülmüş ve çökelti 10 mL 1 M H₂SO₄ ile çözülmüştür. Tekrar 10000 g'de 5 dakika santrifüj yapılarak çözünmemiş materyal uzaklaştırılıp Shimadzu UV 1201 spektrofotometresinde 415 nm'de absorbans değeri belirlenmiştir. Hidrojen peroksit ile hazırlanan standart kurve ile değerlendirme yapılmıştır (Teranishi vd. 1974, Mukherjee ve Choudhuri 1983).

3.7.4 Prolin

Dondurulmuş yaprak örneğinden 0.25 g tartılıp, 5 mL % 3'lük sülfosalisilik asit ile homojenize edilmiş ve Whatman No 2 filtre kağıdından süzümüştür. Bates vd. (1973) tarafından bildirildiği şekilde ekstraktta prolin miktarını belirlemek amacıyla, Shimadzu

UV 1201 spektrofotometresinde 520 nm'de absorbans değeri belirlenmiş ve prolin ile hazırlanan standart kurve ile değerlendirme yapılmıştır.

3.7.5 Askorbik asit

Dondurulmuş yaprak örneğinden 0.2 g alınıp 8 mL %6'lık TCA ile ekstrakte edilmiş, ekstraktın 4 mL'lik kısmı 2 mL % 2'lik dinitrofenilhidrazin (asit ortam) ile karıştırılıp üzerine 1 damla % 10'luk thioüre (%70'lik etil alkolde çözülmüş) katılmıştır. Karışım 15 dakika su banyosunda kaynatılıp oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra üzerine, 0 °C'de 5 mL %80 (v/v)'lik H₂SO₄ ilave edilmiş ve Shimadzu UV 1201 spektrofotometresinde 530 nm dalga boyunda absorbans belirlenmiştir. Askorbik asit konsantrasyonu standart kurveden hesaplanmıştır (Mukherjee ve Choudhuri 1983).

3.7.6 Polifenol oksidaz (PFO) enzim aktivitesi

Dondurulmuş yaprak örneğinden 1 g tartılarak 5 mL % 0.5 polietilen glikol ve 10 mM askorbik asit içeren 0.5 M K-fosfat tamponu (pH 7.30) ile 2 dakika homojenize edilmiştir. Homojenat 20000 g ve 5 °C'de 1 saat süreyle santrifüj edilmiştir. Çökelen kısım atılmış, sıvı kısım enzim çözeltisi olarak kullanılmıştır. Aktivite ölçümünde 0.2 mL enzim çözeltisi alınıp, önceden hazırlanmış olan 2.8 mL 0.05 M Na-fosfat tampon (pH 6) + 0.2 mL 0.1 M kateşol çözeltisine hızlı bir şekilde ilave edildikten sonra Shimadzu UV 1201 spektrofotometresinde 585 nm'de 1 dakikada absorbansda oluşan değişim belirlenmiştir. Bir enzim ünitesi (Ü), reaksiyonun oluştuğu spektrofotometre kuvetinde 1 dakikada meydana gelen 0.001'lik absorbans değişimi olarak değerlendirilmiştir (Yerlitürk 2003, Türkan 2009).

3.7.7 Enzimatik olmayan antioksidanlar

Hasattan sonra kurutulup öğütülen bitki örneğinden 0.2 g tartılıp % 80'lik 4 mL metil alkol ile oda sıcaklığında 24 saat ekstraksiyon yapılmıştır. Örnekler 18000 g'de 5 dakika santrifüj edilmiş ve berrak kısım ayrılmıştır. Berrak kısımdan 0.1 mL alınmış üzerine 3 mL reaksiyon çözeltisi (0.6 M H₂SO₄, 28 mM Na-fosfat buffer, 4 mM

amonyum molibdat) ilave edilmiş ve su banyosunda 95 °C’de 90 dakika bekletilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğuyan örneklerin 695 nm dalga boyundaki absorbansı Shimadzu UV 1201 spektrofotometresinde belirlenmiştir (Banerjee vd. 2005).

3.7.8 Antioksidan enzimler için bitki ekstraktının hazırlanması

Dondurucuda -20 °C’de muhafaza edilen yaprak örneğinden 0.2 g alınıp 5 mL soğuk 0.1 M Na-fosfat pH (7.5), 0.5 mM Na-EDTA ve 1 mM askorbik asit ile homojenize edildikten sonra, homojenat 4 °C’de 18000 g’de 10 dakika santrifüj edilmiş, berrak kısım ayrılmış ve antioksidan enzimlerin aktivitelerinin belirlenmesinde enzim çözeltisi olarak kullanılmıştır. Berrak kısımdan alınan 0.2 mL çözeltide aşağıda açıklandığı şekilde hemen katalaz aktivitesi belirlenmiş, diğer kısmı ise SOD ve AP aktivitelerinin belirlenmesi için tekrar dondurucuya konulmuştur.

3.7.9 Katalaz enzim aktivitesi

Shimadzu UV 1201 spektrofotometresinde 240 nm’de H₂O₂’nin kaybolmasının izlenmesi ile belirlenmiştir. Reaksiyon çözeltisi olarak 1.5 M H₂O₂ içeren 50 mM K-fosfat tamponu (KH₂PO₄) kullanılmıştır. Reaksiyon çözeltisinden 2.5 mL alınıp 0.2 mL bitki enzim çözeltisi ile karıştırılmış ve 240 nm dalga boyunda 1 dakikada absorbansda oluşan değişim belirlenmiştir. Değerlendirme 1 dakika içinde absorbansdaki değişim dikkate alınarak yapılmıştır (Cakmak vd. 1993).

3.7.10 Askorbat peroksidaz (AP) enzim aktivitesi

Askorbik asidin H₂O₂’yi indirgemesi ile absorbansda oluşan değişime göre belirlenmiştir. Reaksiyon çözeltisi olarak 50 mM K-fosfat tamponu (KH₂PO₄), 0.5 mM askorbik asit, 0.1 mM EDTA, 1.5 mM H₂O₂ karışımı kullanılmıştır. Katalaz enzim aktivitesini belirlemek üzere 3 mL reaksiyon çözeltisi (pH 7.0) ile 0.1 mL enzim çözeltisi karıştırılmıştır. Tepkime, reaksiyon çözeltisine 0.1 mL enzim çözeltisinin ilavesi ile başlatılmış, Shimadzu UV 1201 spektrofotometresinde 290 nm dalga

boyunda 1 dakikada absorbandsa oluşan değişim izlenmiş ve değerlendirme bu değişim dikkate alınarak yapılmıştır (Sairam vd. 2005).

3.7.11 Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi

Süperoksit dismutaz enzim aktivitesi, nitroblue tetrazolium (NBT)'un indirgenmesinin engellenmesine göre belirlenmiştir. Reaksiyon çözeltisi olarak 50 mM Na-fosfat tamponu ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 0.1 mM Na-EDTA, 33 μM NBT, 5 μM riboflavin ve 13 mM methionin karışımı kullanılmıştır (pH 7.0). Reaksiyon çözeltisinden 2.5 mL alınıp 0.2 mL enzim çözeltisi ile karıştırılmıştır. Reaksiyon 25 °C'de 75 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (40 W) ışık altında 10 dakika bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde tanık için enzim içermeyen çözeltiler karanlıkta ve ışık altında 10 dakika bekletilmiştir. Sonra tanık ve enzim içeren çözeltilerin absorbands değeri Shimadzu UV 1201 spektrofotometresinde 560 nm dalga boyunda belirlenmiştir. Süperoksit dismutaz enzim aktivitesi ünite olarak NBT'nin % 50'sini indirgeyen aktivite olarak belirlenmiştir (Gong vd. 2005).

3.8 İstatistik Analizler

Araştırma sonunda elde edilen verilerin istatistik olarak önemliliği MINITAB paket programı kullanılarak, ortalamalar arasındaki farkın önemliliği ise MSTAT paket programı kullanılarak Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir (Düzgüneş 1987).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Yaş ve Kuru Ağırlık

Yapraktan bor ve İAA uygulamalarının fasulye bitkisinin yaş ağırlığı ve kuru ağırlığına etkileri çizelge 4.1-4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Yapraktan uygulanan bor ve İAA’nın fasulye bitkisinin yaş ağırlığına etkisi (g bitki⁻¹)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	8.24	8.27	8.33	8.27	8.28
100	8.31	8.67	8.53	8.37	8.47
200	8.53	8.90	8.51	8.41	8.59
300	8.75	8.86	8.77	8.74	8.78
Ortalama	8.46	8.68	8.54	8.45	
F değeri	Bor	0.27^{öd}			
	İAA	1.01^{öd}			
	Bor x İAA	0.08^{öd}			
LSD değeri		-			

öd: önemli değil

Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere fasulye bitkisinin yaş ağırlığı üzerine B, İAA ve BxİAA interaksiyonunun istatistik açıdan önemli bir etkisi gözlenmemiştir. Uygulamalara bağlı olarak bitki yaş ağırlıkları 8.24 ile 8.90 g bitki⁻¹ arasında değişim göstermiştir.

Fasulye bitkisinin kuru ağırlığı üzerine İAA uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli olmuş ancak B uygulamaları ve BxİAA interaksiyonunun etkisi önemsiz olmuştur (Çizelge 4.2). Bitki kuru ağırlıkları 200 ve 300 mg L⁻¹ İAA uygulamalarında kontrole göre artış göstermiştir.

Çizelge 4.2 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin kuru ağırlığına etkisi (g bitki⁻¹)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	1.35	1.40	1.50	1.39	1.41 b
100	1.44	1.52	1.51	1.42	1.47 ab
200	1.55	1.63	1.55	1.45	1.55 a
300	1.58	1.63	1.56	1.50	1.57 a
Ortalama	1.48	1.55	1.53	1.44	
F değeri	Bor	1.51^{öd}			
	İAA	3.40*			
	Bor x İAA	0.31^{öd}			
LSD değeri	0.130				

*: p<0.05, öd: önemli değil

4.2 Toplam Bor (B)

Fasulye bitkisinin toplam B içeriğine yapraktan B ve İAA uygulamalarının etkileri çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin toplam bor içeriğine etkisi (mg kg⁻¹)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	28.35	37.25	44.05	45.40	38.76 b
100	31.25	38.70	47.65	47.75	41.34 ab
200	33.45	40.25	47.80	47.95	42.36 a
300	33.49	44.70	48.00	48.90	43.77 a
Ortalama	31.64 c	40.23 b	46.88 a	47.50 a	
F değeri	Bor	52.50**			
	İAA	4.30**			
	Bor x İAA	0.34^{öd}			
LSD değeri	3.496				

** : p<0.01; öd: önemli değil

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere fasulye bitkisinin toplam B içeriğine, B ve İAA uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli, BxİAA interaksiyonun etkisi ise önemsiz olmuştur. Bitkinin kontrolde 38.76 mg kg⁻¹ olan toplam B içeriği istatistik olarak önemli düzeyde artarak 200 ve 300 mg L⁻¹ İAA uygulamaları ile sırasıyla 42.36 ve 43.77 mg kg⁻¹ a ulaşmıştır. Benzer şekilde 200 ve 300 mg L⁻¹ B uygulamaları ile kontrolde 31.64 mg kg⁻¹ olan bitki B içeriği sırasıyla 46.88 ve 47.50 mg kg⁻¹ a ulaşmıştır.

4.3 Toplam Azot (N)

Yapraktan B ve İAA uygulamalarının fasulye bitkisinin toplam N içeriği üzerine etkileri çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin toplam azot içeriğine etkisi (%)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	5.39	5.45	5.32	4.89	5.26 a
100	5.17	5.35	5.25	4.87	5.16 ab
200	5.00	5.20	5.19	4.83	5.06 b
300	4.99	5.15	5.20	4.81	5.04 b
Ortalama	5.14 ab	5.29 a	5.24 a	4.85 b	
F değeri	Bor	13.07**			
	İAA	3.77*			
	Bor x İAA	0.46^{öd}			
LSD değeri	0.185				

*: p<0.05; **: p<0.01; öd: önemli değil

Çizelge 4.4'te belirtildiği üzere fasulye bitkisinin toplam N içeriği üzerine B ve İAA uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli olmuş, BxİAA interaksiyonunun etkisi ise önemsiz olmuştur. Toplam N içeriğini, 200 ve 300 mg L⁻¹ İAA uygulaması kontrole göre, en yüksek B dozu olan 300 mg L⁻¹ B uygulaması ise tüm diğer B uygulamalarına göre önemli düzeyde azaltmıştır.

4.4 Membran Geçirgenliği

Çizelge 4.5'te yapraktan uygulanan B ve İAA'nın fasulye bitkisinin membran geçirgenliği üzerine etkileri görülmektedir.

Fasulye bitkisinin membran geçirgenliği üzerine B uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli olurken, İAA uygulamaları ve BxİAA interaksyonunun etkisi ise önemsiz olmuştur (çizelge 4.5). Bor uygulanmayan ve 300 mg L⁻¹ B uygulanan bitkilerin membran geçirgenliği, diğer bor uygulamalarına göre istatistik olarak önemli düzeyde yüksek olmuştur.

Çizelge 4.5 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin membran geçirgenliğine etkisi (%)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	17.92	14.08	14.08	16.57	15.66
100	18.64	13.08	14.27	16.98	15.74
200	19.29	12.89	14.39	18.91	16.37
300	18.76	16.07	14.51	19.17	17.13
Ortalama	18.65 a	14.03 b	14.31 b	17.91 a	
F değeri	Bor	7.06**			
	İAA	0.57^{öd}			
	Bor x İAA	0.24^{öd}			
LSD değeri		3.024			

** : p<0.01, öd: önemli değil

4.5 Lipid Peroksidasyonu (MDA)

Yapraktan B ve İAA uygulamalarının fasulye bitkisinin MDA içeriği üzerine etkileri çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelde 4.6'da görüldüğü üzere MDA içeriğine B uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli olmuş ancak İAA uygulamaları ve BxİAA interaksyonunun etkisi

önemsiz olmuştur. Bitkilere uygulanan 300 mg L⁻¹ bor, MDA içeriğini diğer tüm B uygulamalarına göre önemli düzeyde artırmıştır.

Çizelge 4.6 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin MDA içeriğine etkisi (nmol g⁻¹ YA)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	5.52	5.26	4.84	6.35	5.99
100	5.61	5.39	5.03	6.45	6.12
200	5.77	5.42	5.10	6.97	6.32
300	5.81	5.77	5.29	6.94	6.45
Ortalama	5.68 b	5.46 b	5.07 b	6.68 a	
F değeri	Bor	9.83**			
	İAA	0.86^{öd}			
	Bor x İAA	0.07^{öd}			
LSD değeri	0.875				

** : p<0.01, öd: önemli değil

4.6 Hidrojen Peroksit (H₂O₂)

Fasulye bitkisinin H₂O₂ içeriğine yapraktan uygulanan B ve İAA'nın etkileri çizelge 4.7'de verilmiştir.

Fasulye bitkisinin H₂O₂ içeriğine B ve İAA uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli olmuş, BxİAA interaksiyonunun etkisi ise önemsiz olmuştur (Çizelge 4.7). Artan B dozlarına bağlı olarak H₂O₂ içeriği artış göstermiş, kontrolde 5.42 mmol kg⁻¹ YA olan H₂O₂ içeriği 300 mg L⁻¹ B uygulamasıyla 7.77 mmol kg⁻¹ YA'a yükselmiştir. Tüm İAA uygulamaları da kontrole göre H₂O₂ içeriğini artırmış, 300 mg L⁻¹ İAA uygulamasıyla H₂O₂ içeriği 5.73 mmol kg⁻¹ YA (kontrol)'dan 7.85 mmol kg⁻¹ YA değerine ulaşmıştır.

Çizelge 4.7 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin H₂O₂ içeriğine etkisi (mmol kg⁻¹ YA)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	4.14	5.41	6.61	6.76	5.73 c
100	4.89	7.06	7.21	7.36	6.63 b
200	6.09	7.51	8.11	8.11	7.46 a
300	6.54	7.81	8.18	8.86	7.85 a
Ortalama	5.42 c	6.95 b	7.53 ab	7.77 a	
F değeri	Bor	15.00**			
	İAA	11.76**			
	Bor x İAA	0.25^{öd}			
LSD değeri	0.716				

** : p<0.01, öd: önemli değil

4.7 Prolin

Fasulye bitkisinin prolin içeriğine yapraktan uygulanan B ve İAA'nın etkileri çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin prolin içeriğine etkisi (mmol kg⁻¹ YA)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	0.525	0.563	0.564	0.609	0.565 b
100	0.580	0.596	0.617	0.620	0.603 a
200	0.569	0.584	0.584	0.607	0.586 ab
300	0.523	0.576	0.572	0.600	0.568 b
Ortalama	0.549 c	0.580 b	0.584 b	0.609 a	
F değeri	Bor	7.08**			
	İAA	3.52*			
	Bor x İAA	0.51^{öd}			
LSD değeri	0.023				

*: p<0.05; **: p<0.01; öd: önemli değil

Bor ve İAA uygulamalarının fasulye bitkisinin prolin içeriğine etkisinin istatistik olarak önemli olduğu, BxİAA interaksiyonunun etkisinin ise istatistik olarak önemsiz olduğu çizelge 4.8'den de görülmektedir. Bitkinin prolin içeriği artan B dozlarına bağlı olarak artış göstermiş, B uygulanan bitkilerin prolin içeriğinin kontrole göre önemli düzeyde yüksek olduğu görülmüştür. İndol asetik asit uygulamalarına bakıldığında ise 100 mg L⁻¹ İAA uygulamasının bitki prolin içeriğini kontrole göre önemli düzeyde artırdığı görülmüştür.

4.8 Askorbik Asit

Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin askorbik asit içeriğine etkileri çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin askorbik asit içeriğine etkisi (mmol kg⁻¹ YA)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	15.10	16.86	17.58	18.86	17.10 a
100	14.91	16.19	17.22	18.26	16.65 a
200	13.26	15.10	15.78	16.96	15.28 ab
300	11.15	14.91	14.54	16.25	14.21 b
Ortalama	13.61 b	15.77 a	16.28 a	17.58 a	
F değeri	Bor	7.37**			
	İAA	4.67**			
	Bor x İAA	0.15^{öd}			
LSD değeri	2.064				

** : p<0.01, öd: önemli değil

Çizelge 4.9'da görüldüğü üzere fasulye bitkisinin askorbik asit içeriğine B ve İAA uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli olmuş, BxİAA interaksiyonunun etkisi ise önemsiz olmuştur. Uygulanan tüm B dozları bitkinin askorbik asit içeriğini kontrole göre artırmış, 300 mg L⁻¹ B uygulamasıyla kontrolde 13.61 mmol kg⁻¹ YA olan askorbik asit içeriği 17.58 mmol kg⁻¹ YA'a yükselmiştir. Ancak 300 mg L⁻¹ İAA uygulaması ile

bitkinin askorbik asit içeriği 17.10 mmol kg⁻¹ YA'dan 14.21 mmol kg⁻¹ YA'a düşmüş ve kontrole göre önemli düzeyde azalmıştır.

4.9. Polifenol Oksidaz (PFO) Enzim Aktivitesi

Çizelge 4.10'da yapraktan B ve İAA uygulamalarının fasulye bitkisinin polifenol oksidaz enzim aktivitesine etkileri verilmiştir.

Çizelge 4.10 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin polifenol oksidaz enzim aktivitesine etkisi (ünite g⁻¹ YA)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	4.83 bc	4.41 cd	2.96 g	3.81 defg	4.00
100	6.59 a	5.25 b	4.45 cd	4.24 cde	5.13
200	4.29 cde	4.01 cdef	3.48 efg	3.53 efg	3.83
300	3.45 efg	3.37 fg	3.24 fg	3.13 g	3.30
Ortalama	4.79	4.26	3.53	3.68	
F değeri	Bor	18.88**			
	İAA	33.85**			
	Bor x İAA	3.01**			
LSD değeri		0.7547			

** : p<0.01

Bitkilerin PFO enzim aktivitesine B ve İAA uygulamaları ile BxİAA interaksiyonunun etkisi istatistik olarak önemli olmuştur (çizelge 4.10). Bitkilerin PFO enzim aktiviteleri artan B ve İAA dozlarına bağlı olarak çeşitlilik göstermiş, B uygulanmayan ve 100 mg L⁻¹ İAA uygulanan bitkilerin PFO enzim aktivitesi en yüksek (6.59 ünite g⁻¹ YA) olmuş, 200 mg L⁻¹ B uygulanan ve İAA uygulanmayan bitkiler ile 300 mg L⁻¹ B ve 300 mg L⁻¹ İAA uygulanan bitkilerin PFO enzim aktivitesi ise en düşük (sırasıyla 2.96 ve 3.13 ünite g⁻¹ YA) olmuştur. Kontrol ve düşük İAA düzeyinde (100 mg L⁻¹) uygulanan borun yüksek düzeyleri PFO aktivitesini azaltırken, kontrol ve düşük B düzeyinde (100 mg L⁻¹) uygulanan düşük düzeyde (100 mg L⁻¹) İAA uygulaması PFO aktivitesini artırmıştır.

4.10 Enzimatik Olmayan Antioksidan Aktivitesi

Yapraktan uygulanan B ve İAA'nın fasulye bitkisinin enzimatik olmayan antioksidan aktivitesine etkisi çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin enzimatik olmayan antioksidan aktivitesine etkisi (mmol kg^{-1} KA)

İAA (mg L^{-1})	Bor (mg L^{-1})				Ortalama
	0	100	200	300	
0	70.11 a	62.21 bcd	65.76 abc	59.37 d	64.36
100	68.32 ab	61.56 cd	66.88 abc	49.67 e	61.61
200	67.72 abc	59.08 d	58.99 d	50.18 e	58.99
300	65.88 abc	51.51 e	47.66 e	45.50 e	52.64
Ortalama	68.01	58.59	59.82	51.18	
F değeri	Bor	46.50**			
	İAA	24.60**			
	Bor x İAA	3.16**			
LSD değeri		5.747			

** : $p < 0.01$

Çizelge 4.11'den görüldüğü üzere enzimatik olmayan antioksidan aktivitesine borun, İAA'nın ve BxİAA interaksiyonunun etkisi istatistik olarak önemli olmuştur. Özellikle B ve İAA uygulamalarının en yüksek dozlarının birlikte uygulandığı bitkilerin toplam antioksidan aktivitesi kontrole göre önemli düzeyde azalmıştır. Uygulamalara bağlı olarak enzimatik olmayan toplam antioksidan aktivitesi 45.50 ile $70.11 \text{ mmol kg}^{-1}$ KA arasında değişiklik göstermiştir.

4.11 Katalaz Enzim Aktivitesi

Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin katalaz enzim aktivitesine etkisi çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin katalaz enzim aktivitesine etkisi (mmol g⁻¹ YA)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	0.120	0.115	0.099	0.095	0.107 b
100	0.166	0.142	0.129	0.119	0.139 a
200	0.125	0.111	0.108	0.106	0.113 b
300	0.119	0.106	0.095	0.094	0.104 b
Ortalama	0.133 a	0.119 b	0.108 c	0.104 c	
F değeri	Bor	18.61**			
	İAA	41.96**			
	Bor x İAA	1.44^{öd}			
LSD değeri		0.010			

** : p<0.01, öd: önemli değil

Katalaz enzim aktivitesini B ve İAA uygulamalarının istatistik olarak önemli düzeyde etkilediği, ancak BxİAA interaksiyonunun etkilemediği tespit edilmiştir. Artan bor dozlarına bağlı olarak katalaz aktivitesinde meydana gelen azalma önemli olmuş, 300 mg L⁻¹ B uygulamasıyla 0.131 mmol g⁻¹ YA olan katalaz enzim aktivitesi 0.104 mmol g⁻¹ YA'a düşmüştür. Uygulanan İAA dozları arasında ise sadece 100 mg L⁻¹ İAA, katalaz enzim aktivitesini diğer uygulamalara ve kontrole göre önemli düzeyde artırmıştır.

4.12 Askorbat Peroksidaz (AP) Enzim Aktivitesi

Fasulye bitkisinin askorbat peroksidaz enzim aktivitesine yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın etkisi çizelge 4.13'te verilmiştir.

Bor ve İAA uygulamaları ile BxİAA interaksiyonunun fasulye bitkisinin askorbat peroksidaz enzim aktivitesine etkisi istatistik olarak önemli olmuştur. İndol asetik asit uygulamasının yapılmadığı 100, 200 ve 300 mg L⁻¹ B dozlarında enzim aktivitesi artış göstermiş, en düşük enzim aktivitesi ise B uygulanmayan ancak 300 mg L⁻¹ İAA

uygulanan bitkilerde görülmüştür. Genellikle uygulanan B artışına bağlı olarak artan AP enzim aktivitesi, uygulanan İAA artışına bağlı olarak azalmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin askorbat peroksidaz enzim aktivitesine etkisi (mmol g⁻¹ YA)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	8.64 ef	13.17 a	13.30 a	13.30 a	12.10
100	7.92 fg	10.13 cd	11.61 b	8.13 fg	9.45
200	7.25 gh	7.95 fg	10.16 cd	10.67 bcd	9.01
300	6.16 h	9.53 de	10.18 cd	10.80 bc	9.17
Ortalama	7.49	10.20	11.31	10.73	
F değeri	Bor	74.21**			
	İAA	55.51**			
	Bor x İAA	8.84**			
LSD değeri		1.114			

** : p<0.01

4.13 Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi

Fasulye bitkisine yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın süperoksit dismutaz enzim aktivitesi üzerine etkileri çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14'den görüldüğü gibi, fasulye bitkisinin SOD enzim aktivitesine hem B ve İAA uygulamalarının hem de BxİAA interaksiyonunun etkisi önemli olmuştur. Uygulanan 300 mg L⁻¹ İAA ile 300 mg L⁻¹ B dozunda enzim aktivitesinde meydana gelen artış kontrole göre önemli düzeyde olmuştur. Kontrol grubunda 564.0 ünite g⁻¹ YA olan SOD enzim aktivitesi, en yüksek B ve İAA dozlarının uygulandığı bitkilerde 977.2 ünite g⁻¹ YA'a yükselmiştir (Çizelge 4.14). Yüksek B ve yüksek İAA uygulamalarının SOD enzim aktivitesinde artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.14 Yapraktan uygulanan bor ve İAA'nın fasulye bitkisinin süperoksit dismutaz enzim aktivitesine etkisi (ünite g⁻¹ YA)

İAA (mg L ⁻¹)	Bor (mg L ⁻¹)				Ortalama
	0	100	200	300	
0	564.0 e	676.2 de	688.2 cde	704.9 cde	658.3
100	572.2 de	829.0 bc	684.1 de	668.8 de	688.5
200	594.3 de	695.4 cde	716.6 cd	925.8 ab	733.0
300	650.3 de	828.4 bc	897.6 ab	977.2 a	838.4
Ortalama	595.2	757.3	746.6	819.2	
F değeri	Bor	19.68**			
	İAA	12.96**			
	Bor x İAA	3.45**			
LSD değeri	124.7				

** : p<0.01

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada B noksan toprakta yetiştirilen fasulye bitkisine yapraktan uygulanan B ve İAA'nın, bitkinin yaş ve kuru ağırlığına, toplam B ve N içeriğine, membran geçirgenliğine, MDA, H₂O₂, prolin, askorbik asit ve enzimatik olmayan toplam antioksidan içeriğine, PFO ve antioksidan enzimlerden katalaz, SOD ve AP enzim aktivitesine etkileri araştırılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre yapraktan B ve İAA uygulamaları bitkinin yaş ağırlığında istatistik olarak önemli bir değişiklik yaratmamıştır.

Bitki kuru ağırlığı üzerine B uygulamalarının etkisi önemsiz olmuştur. Yapraktan uygulanan İAA dozlarına bağlı olarak bitki kuru ağırlığında meydana gelen artışın önemli olduğu görülmüştür. Benzer şekilde MacVicar ve Tottingham (1947) tütünde, Ali vd. (2008) maş fasulyesinde, Hussain vd. (2011) *Cassia absus*'da, Shah (2011) çörek otunda ve Ali vd. (2014) patateste İAA uygulamalarının kuru ağırlık artışı sağladığını belirtmişlerdir.

Bitkilerin B içerikleri üzerine yapraktan uygulanan hem B hem de İAA'nın etkisi önemli olmuştur. Artan B dozlarına bağlı olarak bitkinin toplam B içeriği artış göstermiştir. Wojcik (1997) erikte, Gunes ve Alpaslan (2000) mısırdaki, Alpaslan ve Gunes (2001) domates ve hıyarda, Goldberg vd. (2003) kavunda, Camacho-Cristobal vd. (2005) tütünde, Eraslan vd. (2007a) domates ve biberde, Eraslan vd. (2008) ıspanakta, Huang ve Snapp (2009) domateste, Inal vd. (2009) arpada, Soylemezoglu vd. (2009) asmada, Ullah vd. (2012) mandarinde, Barman vd. (2014) ayçiçeğinde B uygulamalarının bitki B içeriğini artırdığını belirtmişlerdir. Yapraktan uygulanan İAA'nın yüksek dozları bitkinin B içeriğini artırmıştır.

Fasulye bitkisinin toplam N içeriği üzerine hem B hem de İAA uygulamalarının etkisi önemli olmuştur. Yapraktan uygulanan hem bor hem de İAA'nın yüksek dozları bitkinin N içeriğini azaltmıştır. Kastori ve Petrovic (1989) ayçiçeğinde, Cervilla vd. (2009) domateste yüksek dozda B uygulamasının bitki N içeriğini azalttığını

bildirmişlerdir. Ali vd. (2008) maş fasulyesinde ve Gangwar vd. (2011b) bezelyede İAA uygulamalarının özellikle yüksek dozlarının bitki N içeriğini azalttığını belirtmişlerdir.

Yüksek bitkilerin beslenme durumu, hücre membranlarının yapısal ve işlevsel özelliklerini etkilemektedir. Zarar gören membranların onarımında Ca ve Zn'ye gereksinim duyulmaktadır (Cakmak ve Marshner 1988). Bor, hücre membranlarının sağlamlığı ve membranlarda fizyolojik işlevlerin yerine getirilmesinde gereksinim duyulan bir besin maddesidir (Schon vd. 1990, Ferrol vd. 1993, Cakmak vd. 1995). Bor noksanlığı durumunda membran stabilitesinin bozulması sonucu bitki dokularından yıkanma yoluyla iyon kaybı artış göstermektedir (Pollard vd. 1977, Ruiz vd. 1998). Fasulye bitkisinde membran geçirgenliğini İAA uygulamaları etkilemezken B uygulamaları etkilemiştir. Bor uygulanmayan ve en yüksek dozda B (300 mg L⁻¹) uygulanan bitkilerde membran geçirgenliği önemli düzeyde artmıştır. Alpaslan ve Gunes (2001) domates bitkisinde B noksanlığı ve toksisitesi durumunda membran geçirgenliğinin hafif bir artış gösterdiğini ancak bunun önemsiz olduğunu belirtmişlerdir. Cara vd. (2002) kabakta B noksanlığı durumunda membranların zarar gördüğünü ve noksanlığa maruz kalan bitki hücrelerinde çeşitli organik bileşiklerin ve K'nın hücre dışına daha fazla geçiş yaptığını tespit etmişlerdir. Ferrol vd. (1993) ile Cakmak vd. (1995) ayçiçeğinde, Liu ve Yang (2000) soya fasulyesinde ve Xuan vd. (2001) armutta yeterli düzeyde B uygulamasıyla membran geçirgenliğinin azaldığını bildirmişlerdir.

Malondialdehit (MDA), oksidatif stres durumunda, membran lipidlerinin peroksidasyonu yoluyla çoklu doymamış yağ asitlerinin parçalanması sonucu meydana gelen bileşiği ifade etmektedir (Mittler 2002). Stres koşullarında reaktif oksijen türlerinin (O₂[•], O₂^{•-}, OH[•], H₂O₂) birikim göstermesi lipid peroksidasyonuna yol açmaktadır (Halliwell 2006, Erdal ve Demirtas 2010). Bu çalışmada fasulye bitkisinin MDA içeriğine İAA uygulamalarının etkisi önemsiz, B uygulamalarının etkisi ise önemli olmuştur. En yüksek B uygulamasıyla (300 mg L⁻¹) fasulye bitkisinin MDA içeriği önemli düzeyde artmış, diğer uygulamaların etkisi ise önemsiz olmuştur.

Oksidatif stres koşullarında bitkide birikim gösteren en önemli reaktif oksijen türlerinden biri H_2O_2 'dir. Hücreler için toksik olan bu bileşik katalaz ve peroksidaz enzimleriyle su ve oksijene parçalanmaktadır (Zhu vd. 2004). Askorbat-glutation döngüsünde AP enziminin, elektron verici olarak askorbatı kullandığı ve H_2O_2 içeriğini azalttığı belirtilmiştir (Mittler 2002). Araştırmamızda fasulye bitkisinin H_2O_2 içeriğini yapraktan uygulanan hem B hem de İAA uygulamaları etkilemiştir. Artan dozlarda uygulanan bor, bitkinin H_2O_2 içeriğini artırmıştır. Molassiotis vd. (2006) elmada benzer sonuçları elde etmişlerdir. Bitkilere İAA uygulamasında da artan dozlara bağlı olarak H_2O_2 içeriği artış göstermiştir. Ke vd. (2002) maş fasulyesinde ve Ivanchenko vd. (2013) domateste İAA uygulamalarının H_2O_2 içeriğini artırdığını bildirmişlerdir.

Stres koşulları altında bitkiler sadece antioksidan üretmeyip bazı ozmotik düzenleyici maddeler de üretmektedir. Bunlardan biri olan prolin, birçok stres etmeni (ağır metal toksisitesi, besin elementi eksikliği, fotooksidatif stres vb.) altında bitkilerin dayanımını artırmak için bitkiler tarafından üretilen bir amino asittir. Prolin, ozmotik düzenleyici olarak görev yaptığı gibi makromoleküllerin yapısının korunmasında da rol oynamaktadır. Stres koşulları altında prolin birikimi, bitkilerde en çok görülen savunma mekanizmaları arasındadır (Xiong ve Zhu 2002). Fasulye bitkisine yapraktan uygulanan hem B hem de İAA'nın bitki prolin içeriğine etkisi önemli olmuştur. Prolin içeriği uygulanan B dozlarına bağlı olarak artış göstermiştir. Contreras vd. (2011) domateste, Moeinian vd. (2011) buğdayda B uygulamalarının prolin içeriğini artırdığını ancak bu artışın önemsiz olduğunu bildirmişlerdir. Uygulanan 100 mg L^{-1} İAA dozu bitki prolin içeriğini kontrole ve 300 mg L^{-1} İAA uygulamasına göre önemli düzeyde artırmıştır. Göring ve Plescer (1986) buğdayda, Joshi vd. (2011) *Jatropha curcas L.*'de, Agami ve Mohamed (2013) buğdayda İAA uygulamasının prolin içeriğini artırdığını belirtmişlerdir.

Enzimatik olmayan antioksidanlardan biri olan askorbik asit, H_2O_2 'nin AP enzimi ile parçalanmasında rol almaktadır (Asada 1992, Sairam vd. 1998). Ayrıca süperoksit ($O_2^{\bullet-}$), hidroksil (OH^{\bullet}) radikalleri ve lipid hidroperoksidaz enzimleri ile tepkimeye girmektedir (Reddy vd. 2004). Oksidatif stres koşullarında bitkide askorbik asit birikimi, strese karşı direnç kazandırmaktadır (Sairam vd. 2005, Panda ve Upadhyay 2003). Bu çalışmada

askorbik asit içeriği üzerine hem B hem de İAA uygulamalarının etkileri önemli olmuştur. Tüm B uygulamaları askorbik asit içeriğini kontrole göre önemli düzeyde artırmıştır. Mondy ve Munshi (1993) patateste, Shulka vd. (2011) aonlada (*Embllica officinalis*) benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Yapraktan uygulanan İAA'in yüksek dozu (300 mg L⁻¹) bitkinin askorbik asit içeriğini azaltmıştır. Key (1962) İAA uygulanan hıyar bitkisinde askorbik asit içeriğinin zamanla artış gösterdiğini belirtmiştir.

Oksideredüktazlar sınıfının bir üyesi olan PFO enzimi, fenolik bileşiklerin kinonlara oksidasyonunda görev almaktadır. Kinonlar, hücreler için toksik özelliğe sahip olup aynı zamanda reaktif oksijen türlerinin oluşumuna da neden olmaktadır (Shkolnik vd. 1981). Yapılan birçok çalışmada B noksanlığında fenolik maddelerin birikim gösterdiğini (Camacho-Cristobal vd. 2004, Chatterjee vd. 2005) ve PFO enzim aktivitesinin arttığı belirtilmiştir (Cakmak ve Römheld 1997, Pfeffer vd. 1998). Bu çalışmada bitkilerin PFO enzim aktivitelerine BxİAA interaksiyonunun etkisi önemli olmuştur. Yapraktan uygulanan düşük İAA düzeylerinde yapraktan uygulanan artan B dozlarına bağlı olarak PFO enzim aktivitesi azalmıştır. Chatterjee vd. (1990) börülcede, Kawai vd. (1993) Japon turpunda, Liu ve Yang (2000) soya fasulyesinde, Olcer ve Kocacaliskan (2007) mısırdada, Michael and Krishnaswamy (2012) börülcede, Pandey ve Archana (2013) ile Mandal ve Das (2014) hardalda B noksanlığı durumunda PFO enzim aktivitesinin arttığını belirtmişlerdir. Düşük B düzeylerinde düşük İAA düzeyleri PFO enzim aktivitesinde artışa neden olmuştur. Vernon ve Straus (1972) tütünde İAA uygulamasıyla, Reda vd. (2005) kekikte İBA uygulamasıyla PFO aktivitesinin önemli düzeyde arttığını bildirmişlerdir.

Bitkilerin antioksidan savunma sistemleri katalaz, SOD ve AP gibi enzimatik antioksidanlar ile karotenoid, askorbat, glutation ve α -takoferol gibi enzimatik olmayan antioksidanlardan oluşmaktadır (Niknam vd. 2003, Agarwal ve Pandey 2004). Fasulye bitkisinin enzimatik olmayan toplam antioksidan aktivitesine BxİAA interaksiyonunun etkisi istatistik olarak önemli olmuştur. Bor uygulamasının artan dozları enzimatik olmayan toplam antioksidan içeriğini azaltmıştır. İndol asetik asit uygulamaları da artan dozlara bağlı olarak enzimatik olmayan antioksidan içeriğini azaltmıştır.

Stres durumunda bitkide oluşan reaktif oksijen türlerinin ($O_2^{\cdot-}$, O_2^{\cdot} , OH^{\cdot} ve H_2O_2) parçalanarak zararsız molekül ve bileşiklere dönüşümünde antioksidan enzimler önemli rol oynamaktadır. Antioksidan enzimlerden katalaz H_2O_2 'i su ve oksijene, askorbat peroksidaz (AP) H_2O_2 'i su ve monodehidroaskorbata, süperoksit dismutaz (SOD) ise süperoksiti H_2O_2 ve oksijene parçalayarak bunların bitkiye vereceği zararı önlemektedir (Zhu vd. 2004). Böylece hücre içerisinde reaktif oksijen türlerinin birikmesi ve toksisiteye neden olması engellenmektedir.

Antioksidan enzimlerden biri olan katalaz enzim aktivitesi üzerine hem B hem de İAA uygulamalarının etkileri istatistik olarak önemli olmuştur. Artan B dozlarına bağlı olarak katalaz enzim aktivitesi önemli düzeyde azalmıştır. Gomez-Rodriguez vd. (1981) ile Dube vd. (2000) ayçiçeğinde, Molassiotis vd. (2006) elmada, Ardic vd. (2009) nohutta B noksanlığında katalaz enzim aktivitesinin yüksek olduğunu ve B uygulamasıyla enzim aktivitesinin azaldığını belirtmişlerdir. Yapılan İAA uygulamaları da katalaz enzim aktivitesini önemli düzeyde etkilemiştir. Bitkilerin katalaz enzim aktivitesi 100 mg L^{-1} İAA uygulamasında en yüksek olmuştur. Diğer İAA uygulamaları katalaz aktivitesinde kontrole göre önemli bir artış ya da azalışa neden olmamıştır. Wang vd. (2007) mısırdaki, Agami ve Mohamed (2013) buğdayda İAA uygulamasıyla katalaz enzim aktivitesinin artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Bor ve İAA uygulamaları AP enzim aktivitesini interaksiyon olarak etkilemiştir. Tüm İAA düzeylerinde, artan B dozlarına bağlı olarak AP enzim aktivitesi artış yönünde bir eğilim göstermiştir. Liu ve Yang (2000) soya fasulyesinde, Karabal vd. (2003) arpada, Supanjani (2006) biberde, Eraslan vd. (2007b) marulda, Cervilla vd. (2007) domateste, Eraslan vd. (2008) ıspanakta, Wang vd. (2011) armutta, Hamurcu vd. (2013) soya fasulyesinde düşük B seviyelerinde AP enzim aktivitesinin düşük olduğunu ve B uygulamasıyla enzim aktivitesinin artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Tüm B düzeylerinde, artan dozlarda İAA uygulaması ile AP enzim aktivitesi azalma yönünde bir eğilim göstermiştir.

Enzimatik antioksidanlardan SOD aktivitesi de interaktif olarak B ve İAA uygulamalarından etkilenmiştir. Yüksek B ve yüksek İAA uygulamalarının SOD enzim

aktivitesinde artışa neden olduğu belirlenmiştir. Liu ve Yang (2000) soya fasulyesinde, Sotiropoulos vd. (2006) elmada, Gunes vd. (2006) asmada, Ardic vd. (2009) nohutta, Kaya vd. (2011) domateste düşük B seviyelerinde SOD enzim aktivitesinin düşük olduğunu ve B uygulamaları ile enzim aktivitesinin arttığını belirtmişlerdir. Wang vd. (2007) mısırdada, Gangwar vd. (2011a) bezelyede, Agami ve Mohamed (2013) buğdayda benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Sonuç olarak; yaprakdan B ve İAA uygulamaları bor noksanlığı olan bir toprakta yetiştirilen fasulye bitkisinde kuru ağırlık, membran geçirgenliği, osmotik regülasyonda etkili olan prolin içeriği ve enzim aktiviteleri (katalaz, AP, SOD ve PFO) üzerine etkili olarak bitki gelişmesi ve fizyolojisine olumlu yönde katkılar sağladığından B noksanlığı olan topraklarda yetiştirilen bitkilere 100-200 mg L⁻¹ B ve 100-200 mg L⁻¹ İAA uygulamalarının faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abreu, I., Poza, L., Bonilla, I. and Bolanos, L. 2014. Boron deficiency results in early repression of a cytokinin receptor gene and abnormal cell differentiation in the apical root meristem of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 77, 117-121.
- Agami, R.A. and Mohamed, G.F. 2013. Exogenous treatment with indole-3-acetic acid and salicylic acid alleviates cadmium toxicity in wheat seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 94(1), 164-171.
- Agarwal, S. and Pandey, V. 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. *Biologia Plantarum*, 48, 555-560.
- Ali, B., Hayat, S., Hasan, S.A. and Ahmad, A. 2008. A comparative effect of IAA and 4-Cl-IAA on growth, nodulation and nitrogen fixation in *Vigna radiata* (L.) *Wilczek*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(1), 35-41.
- Ali, J., Chaudhry, N.Y. and Aftab, F. 2014. In vitro development and improvement of chromium (VI)-affected adventitious roots of *Solanum tuberosum* L. with GA₃ and IAA application. *Pakistan Journal of Botany*, 46(2), 687-692.
- Alpaslan, M., Taban, S., İnal, A., Kütük, A.C. ve Erdal, İ. 1996. Besin çözeltilisinde yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinde bor-azot ilişkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2), 215-219.
- Alpaslan, M. and Gunes, A. 2001. Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, membrane permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. *Plant and Soil*, 236, 123-128.
- Anonim. 2008. Fasulye Yetiştiriciliği. Milli Eğitim Bakanlığı MEGEP, 40, Ankara.
- Anonymous. 1951. Soil Survey Staff, Soil Survey Manual. Agricultural Research Administration, United States Department of Agriculture Handbook, 18, 340-377, USA.
- Anonymous. 1989. Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association, 3120, Washington.
- Arcak, Ç. 2010. Türkiye Topraklarının Bor Statüsünün Belirlenmesi ve Haritalanması. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Uzaktan Algılama Bilgi Yönetimi Bölümü, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı TGAE, Ankara.
- Ardic, M., Sekmen, A.H., Tokur, S., Ozdemir, F. and Turkan, I. 2009. Antioxidant responses of chickpea plants subjected to boron toxicity. *Plant Biology*, 11(3), 328-338.
- Aref, F. 2012. Evaluation of application methods and rates of zinc and boron on nitrogen, phosphorus and potassium contents of maize leaf. *Journal of Plant Nutrition*, 35(8), 1210-1224.

- Asada, K. 1992. Ascorbate peroxidase-a hydrogen peroxide scavenging enzyme in plants. *Physiologia Plantarum*, 55, 235-241.
- Banerjee, A., Dasgupta, N. and De, B. 2005. In vitro study of antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit. *Food Chemistry*, 90(4); 727-733.
- Barman, M., Shukla, L.M., Datta, S.P. and Rattan, R.K. 2014. Effect of applied lime and boron on the availability of nutrients in an acid soil. *Journal of Plant Nutrition*, 37, 357-373.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Bellaloui, N., Reddy, K.N., Gillen, A.M. and Abel, C.A. 2010. Nitrogen metabolism and seed composition as influenced by foliar boron application in soybean. *Plant and Soil*, 336(1-2), 143-155.
- Blevins, D.G. and Lukaszewski, K.M. 1998. Boron in plants structure and function. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 481-500.
- Bohnsack C.W. and Albert L.S. 1977. Early effects of boron deficiency on indoleacetic acid oxidase levels of squash root tips. *Plant Physiology*, 59, 1047-1050.
- Bouyoucos, G.J. 1951. A realibration of hydrometer for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*, 43, 434-438.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen, In: *Methods of Soil Analysis*. Black, C.A. (eds), American Society of Agronomy, 1149-1178, Wisconsin.
- Cakmak, I. and Marschner, H. 1988. Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc-deficient plants, *Journal of Plant Physiology*, 132, 356-361.
- Cakmak, I., Strbac, D. and Marschner, H. 1993. Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germinated wheat seeds. *Journal of Experimental Botany*, 44, 127-132.
- Cakmak, I., Kurz, H. and Marschner, H. 1995. Short-term effects of boron, germanium and high light-intensity on membrane-permeability in boron deficient leaves of sunflower. *Physiologia Plantarum*, 95(1), 11-18.
- Cakmak, I. and Römheld, V. 1997. Boron deficiency induced impairments of cellular functions in plants. *Plant Soil*, 193, 71-83.
- Camacho-Cristobal, J.J., Lunar, L., Lafont, F., Baumert, A. and Gonzales-Fontes, A. 2004. Boron deficiency causes accumulation of chlorogenic acid and caffeoyl polyamine conjugates in tobacco leaves. *Journal of Plant Physiology*, 161, 879-881.
- Camacho-Cristobal, J.J., Maldonado, J.M. and Gonzalez-Fontesa, A. 2005. Boron deficiency increases putrescine levels in tobacco plants. *Journal of Plant Physiology*, 162, 921-928.

- Camacho-Cristobal, J.J. and Gonzalez-Fontes, A. 2007. Boron deficiency decreases plasmalemma H⁺-ATPase expression and nitrate uptake, and promotes ammonium assimilation into asparagine in tobacco roots. *Planta*, 226(2), 443-451.
- Cara, F.A., Sanchez, E., Ruiz, J.M. and Romero, L. 2002. Is phenol oxidation responsible for the short-term effects of boron deficiency on plasma-membrane permeability and function in squash roots? *Plant Physiology Biochemistry*, 40, 853-858.
- Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Romero, L. and Ruiz, J.M. 2007. Oxidative stress and antioxidants in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants subjected to boron toxicity. *Annals of Botany*, 100(4), 747-756.
- Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Rubio-Wilhelmi, M.M., Sanchez-Rodriguez, E., Romero, L. and Ruiz, J.M. 2009. Response of nitrogen metabolism to boron toxicity in tomato plants. *Plant Biology*, 11(5), 671-677.
- Chatterjee, C., Sinha, P. and Agarwala, S.C. 1990. Boron nutrition of cowpea. *Proceedings of The Indian Academy Of Sciences-Plant Sciences*, 100(5), 311-318.
- Chatterjee, C., Sinha, P. and Dube, B.K. 2005. Biochemical changes, yield, and quality of gram under boron stress. *Communications In Soil Science and Plant Analysis*, 36(13-14), 1763-1771.
- Coke, L. and Whittington, W.J. 1968. Interrelationships between boron and indol-3-acetic acid in the metabolism of bean radicles. *Journal of Experimental Botanic*, 19, 295-308.
- Contreras, C., Montoya, A., Pacheco, P., Martinez-Ballesta, M.C., Carvajal, M. and Bastias, E. 2011. The effects of the combination of salinity and excess boron on the water relations of tolerant tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Poncho Negro, in relation to aquaporin functionality. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(2), 494-503.
- Diaz, M., Bastias, E., Pacheco, P., Tapia, L., Martinez-Ballesta, M.C. and Carvajal, M. 2011. Characterization of the physiological response of the highly-tolerant tomato cv. 'poncho negro' to salinity and excess boron. *Journal of Plant Nutrition*, 34, 1254-1267.
- Dube, B.K., Sinha, P. and Chatterjee, C. 2000. Boron stress affects metabolism and seed quality of sunflower. *Tropical Agriculture*, 77(2), 89-92.
- Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O. ve Gürbüz, F. 1987. Araştırma ve Deneme Metodları. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, 381, Ankara.
- Dyar, J.J. and Webb, K.L. 1961. A relationship between boron and auxin in ¹⁴C translocation in bean plants. *Plant Physiology*, 36, 672-676.

- Eaton, F.M. 1940. Interrelations in the effects of boron and indoleacetic acid on plant growth. *Botanical Gazette*, 101, 700-705.
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M. 2007a. Boron toxicity alters nitrate reductase activity, proline accumulation, membrane permeability, and mineral constituents of tomato and pepper plants. *Journal of Plant Nutrition*, 30(6), 981-994.
- Eraslan, F., Inal, A., Savasturk, O. and Gunes, A. 2007b. Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 114(1), 5-10.
- Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D.J. and Gunes, A. 2008. Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Matador) grown under boron toxicity and salinity. *Plant Growth Regulation*, 55, 207-219.
- Erdal, S. and Demirtas, A. 2010. Effects of cement flue dust from a cement factory on stress parameters and diversity of aquatic plants. *Toxicology and Industrial Health*, 26(6), 339-343.
- Esim, N., Tiryaki, D., Karadagoglu, O. and Atici, O. 2013. Toxic effects of boron on growth and antioxidant system parameters of maize (*Zea mays* L.) roots. *Toxicology and Industrial Health*, 29(9), 800-805.
- Ferrol, N., Belver, A., Roldan, M., Rodriguezrosales, M.P. and Donaire, J.P. 1993. Effects of boron on proton transport and membrane-properties of sunflower (*Helianthus-annuus* L.) cell microsomes. *Plant Physiology*, 103(3), 763-769.
- Gangwar, S., Singh, V.P., Prasad, S.M. and Maurya, J.N. 2011a. Differential responses of pea seedlings to indole acetic acid under manganese toxicity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(2), 451-462.
- Gangwar, S., Singh, V.P. and Maurya, J.N., 2011b. Responses of *Pisum sativum* L. to exogenous indole acetic acid application under manganese toxicity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86(6), 605-609.
- Goldberg, S., Shouse, P.J., Lesch, S.M., Grieve, C.M., Poss, J.A., Forster, H.S. and Suarez, D.L. 2003. Effect of high boron application on boron content and growth of melons. *Plant and Soil*, 256, 403-411.
- Gomez-Rodriguez, M.V., Alvarez-Tinaut, M.C. and Luna del Castillo, J. 1981. Catalase peroxidase and IAA-oxidase activities and O-diphenolics contents in sunflower leaves grown with different boron levels. *Journal of Plant Nutrition*, 4(4), 375-383.
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S. and Zhang, C. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169, 313-321.
- Göring, H. and Plescher, P. 1986. Proline accumulation induced by weak acids and IAA in coleoptiles of wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, 28,(6), 401-406.

- Gunes, A and Alpaslan, M. 2000. Boron uptake and toxicity in maize genotypes in relation to boron and phosphorus supply. *Journal of Plant Nutrition*, 23(4), 541-550.
- Gunes, A, Soylemezoglu, G., Inal, A., Bagcı, E.G., Coban, S. and Sahin, O. 2006. Antioxidant and stomatal responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 110(3), 279-284.
- Gunes, A., Inal, A. and Bagci, E.G. 2009. Recovery of bean plants from boron-induced oxidative damage by zinc supply. *Russian Journal of Plant Physiology*, 56(4), 503-509.
- Güven, A. 1991. Bitki Büyüme Maddeleri Ders Notları. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, 117, Bornova, İzmir.
- Hamurcu, M., Sekmen, A.H., Turkan, I., Gezgin, S., Demiral, T. and Bell, R.W. 2013. Induced anti-oxidant activity in soybean alleviates oxidative stress under moderate boron toxicity. *Plant Growth Regulation*, 70(3), 217-226.
- Hajiboland, R., Bahrami-Rad, S. and Bastani, S. 2013. Phenolics metabolism in boron-deficient tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] plants. *Acta Biologica Hungarica*, 64(2), 196-206.
- Halliwell, B. 2006. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant Physiology*, 141, 312-322.
- Heath, R.L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198.
- Hızalan, E. ve Ünal, H. 1966. Topraklarda Önemli Kimyasal Analizler. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, 278, Ankara.
- Hirsch, A.M. and Torrey, J.G. 1980. Ultrastructural changes in sunflower root cells in relation to boron deficiency and added auxin. *Canadian Journal of Botany*, 58, 856-866.
- Hirsch, A.M., Pengelly, W.L. and Torrey, J.G. 1982. Endogenous IAA levels in boron-deficient and control root tips of sunflower. *Botanical Gazette*, 143, 15-19.
- Hoagland, D.R. and Arnon, D.I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station Circular*, 347, 23-32.
- Huang, J. and Snapp, S.S. 2009. Potassium and boron nutrition enhance fruit quality in midwest fresh market tomatoes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40, 1937-1952.
- Hussain, K., Hussain, M., Majeed, A., Nawaz, K., Nisar, M.F. and Afghan, S. 2011. Morphochemical response of chaksu (*Cassia absus* L.) to different concentrations of indole acetic acid (IAA). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 7(3), 255-258.

- Inal, A., Pilbeam, D.J. and Gunes, A. 2009. Silicon increases tolerance to boron toxicity and reduces oxidative damage in barley. *Journal of Plant Nutrition*, 32(1), 112-128.
- Isaac, R.A. and Kerber, J.D. 1971. Atomic Absorption and Flamephotometry: Techniques and Uses in Soil, Plant and Water Analysis, In: *Instrumental Methods for Analysis of Soils and Plant Tissue*. Walsh, L.M. (eds), Soil Science Society of America, 34-37, Madison.
- Isaac, R.A. and Johnson Jr, W.C. 1998. Elemental determination by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, In: *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. Kalra, Y.P. (eds), CRC Press, 165-170, London.
- Ivanchenko, M.G., Os, D.D., Monshausen, G.B., Dubrovsky, J.G., Bednarova, A. and Krishnan, N. 2013. Auxin increases the hydrogen peroxide (H₂O₂) concentration in tomato (*Solanum lycopersicum*) root tips while inhibiting root growth. *Annals of Botany*, 112, 1107-1116.
- Jackson, M.L. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, 498, New Jersey.
- Jaweed, M.M. and Scott, E.G. 1967. Effect of boron on ribonucleic acid and indoleacetic acid metabolism in the apical meristems of sunflower plants. *Proceedings of the West Virginia Academy of Science*, 39, 186-193.
- Joshi, G., Shukla, A. and Shukla, A. 2011. Synergistic response of auxin and ethylene on physiology of *Jatropha curcas* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 23(1), 67-77.
- Josten, P. and Kutschera, U. 1999. The micronutrient boron causes the development of adventitious roots in sunflower cuttings. *Annals of Botany*, 84, 337-342.
- Kacar, B. ve İnal, A. 2008. *Bitki Analizleri*. Nobel Yayınevi, 912, Ankara.
- Karabal, E., Yucel, M. and Oktem, H.A. 2003. Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. *Plant Science*, 164(6), 925-933.
- Kastori, R. and Petrovic, N. 1989. Effect of boron on nitrate reductase activity in young sunflower plants. *Journal of Plant Nutrition*, 12(5), 621-632.
- Kawai, T., Hikawa, M., Fujisawa, T., Ono, Y. And Ishibashi, E. 1993. Effects of boron and phosphate on overcoming internal browning in roots of Japanese radish (*Raphanus sativus*). *Journal of The Japanese Society For Horticultural Science*, 62(1), 165-172.
- Kaya, C., Tuna, A.L., Guneri, M. and Ashraf, M. 2011. Mitigation effects of silicon on tomato plants bearing fruit grown at high boron levels. *Journal of Plant Nutrition*, 34(13), 1985-1994.
- Ke, D.S., Wang, A.G., Sun, G.C. and Dong, L.F. 2002. The effect of active oxygen on the activity of ACC synthase induced by exogenous IAA. *Acta Botanica Sinica*, 44(5), 551-556.

- Keles, Y., Oncel, I. and Yenice, N. 2004. Relationship between boron content and antioxidant compounds in *Citrus* leaves taken from fields with different water source. *Plant and Soil*, 265(1-2), 345-353.
- Keles, Y., Ergun, N. and Oncel, I. 2011. Antioxidant enzyme activity affected by high boron concentration in sunflower and tomato seedlings. *Communications In Soil Science and Plant Analysis*, 42(2), 173-183.
- Key, J.L. 1962. Changes in ascorbic acid metabolism associated with auxin-induced growth. *Plant Physiology*, 37(3), 349-356.
- Landi, M., Remorini, D., Pardossi, A. and Guidi, L. 2013. Boron excess affects photosynthesis and antioxidant apparatus of greenhouse *Cucurbita pepo* and *Cucumis sativus*. *Journal of Plant Research*, 126, 775-786.
- Li, C.J., Pfeffer, H., Dannel, F., Romheld, V. and Bangerth, F. 2001. Effects of boron starvation on boron compartmentation, and possibly hormone-mediated elongation growth ve apical dominance of pea (*Pisum sativum*) plants. *Physiologia Plantarum*, 111, 212-219.
- Li, Y. and Wu, J. 2009. Effects of boron and manganese on quality and antioxidative capacity in tomato, XI International Symposium on the Processing Tomato, 8-11 June, *Acta Horticulturae*, 823, 115-119, Toronto.
- Liu, P. and Yang, Y.A. 2000. Effects of molybdenum and boron on membrane lipid peroxidation and endogenous protective systems of soybean leaves. *Acta Botanica Sinica*, 42(5), 461-466.
- Lukaszewski, K.M. and Blevins, D.G. 1996. Root growth inhibition in boron-deficient or aluminium-stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism. *Plant Physiology*, 112, 1135-1140.
- MacVicar, R. and Tottingham W.E. 1947. A further investigation of the replacement of boron by indoleacetic acid. *Plant Physiology*, 22, 598-602.
- Mandal, M. and Das, D.K. 2014. Effect of boron on yield and physiological properties in rape (*Brassica campestris*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 84(6), 702-706.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, 889, USA.
- Mashayekhi, K. and Neumann, K.H. 2006. Effects of boron on somatic embryogenesis of *Daucus carota*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 84, 279-283.
- Matas, M.A., Gonzalez-Fontes, A. and Camacho-Cristobal, J.J. 2009. Effect of boron supply on nitrate concentration and its reduction in roots and leaves of tobacco plants. *Biologia Plantarum*, 53(1), 120-124.
- Michael, P.I. and Krishnaswamy, M. 2012. Oxidative stress and antioxidants in cowpea plants subjected to boron and high irradiance stresses. *Journal of Plant Nutrition*, 35(14), 2180-2197.

- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sciences*, 7, 405-410.
- Moeinian, M.R., Zargari, K. and Hasanpour, J. 2011. Effect of boron foliar spraying application on quality characteristics and growth parameters of wheat grain under drought stress. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 10(4), 593-599.
- Molassiotis, A., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G. and Therios, I. 2006. Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM 9 (*Malus domestica* Borkh). *Environmental and Experimental Botany* 56, 54-62.
- Mondy, N.I. and Munshi, C.B. 1993. Effect of boron on enzymatic discoloration and phenolic and ascorbic-acid contents of potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(4), 554-556.
- Mukherjee, S.P. and Choudhuri, M.A. 1983. Implications of water stress-induced changes in the leaves of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in vigna seedlings. *Physiologia Plantarum*, 58, 166-170.
- Mukhopadhyay, M., Ghosh, P.D. and Mondal, T.K. 2013. Effect of boron deficiency on photosynthesis and antioxidant responses of young tea plantlets. *Russian Journal of Plant Physiology*, 60(5), 633-639.
- Neales, T.F. 1960. Some aspects of boron in root growth. *Australian Journal of Biological Sciences*, 13, 232-248.
- Niknam, V., Razavi, N., Ebrahimzadeh, H. and Sharifizadeh, B. 2003. Effect of NaCl on biomass, protein and proline contents, and antioxidant enzymes in seedlings and calli of two *Trigonella* species. *Biologia Plantarum*, 50, 591-596.
- Olcer, H. and Kocacaliskan, I. 2007. Excess boron reduces polyphenol oxidase activities in embryo and endosperm of maize seed during germination. *Zeitschrift Fur Naturforschung C-A Journal Of Biosciences*, 62(1-2), 111-115.
- Olcer, H. and Mecit, B. 2012. Polyphenol oxidase activities in embryo and endosperm of wheat seeds during germination under boron stress. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(10), 2936-2941.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, N.C. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture Circular, 939, 1-18.
- Öztürk, H.S., Türkmen, F., Soba, M.R., Taşkın, M.B. ve Akça, M.O. 2012. Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği Topraklarının Verimlilik Durumlarının İncelenmesi. A.Ü. Ziraat Fakültesi, 39, Ankara.
- Panda, S.K. and Upadhyay, R.K. 2003. Salt stress injury oxidative alterations and antioxidative defence in the roots of *Lemna minor*. *Biologia Plantarum*, 48, 249-253.

- Pandey, N. and Archana 2013. Antioxidant responses and water status in *Brassica* seedlings subjected to boron stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 697-706.
- Parr, A.J. and Loughman, B.C. 1983. Boron and membrane function in plants, In *Metals and Micronutrients, Uptake and Utilisation by Plants*. Robb, D.A. and Pierpoint, W.S. (eds), Academic Press, 87-107, New York.
- Pfeffer, H., Dannel, F. and Römheld, V. 1998. Are there connections between phenol metabolism, ascorbate metabolism and membrane integrity in leaves of boron-deficient sunflower plants? *Physiologia Plantarum*, 104, 479-485.
- Plank, C.O. 1992. Plant analysis reference procedures for the southern region of the United States. *Southern Cooperative Series Bulletin*, 368, 34-37.
- Pollard, A.S., Parr, A.J. and Loughman, B.C. 1977. Boron in relation to membrane function in higher plants, *Journal of Experimental Botany*, 28, 831-841.
- Pratt, P.F. 1965. Chemical and microbiological properties, In: *Methods of Soil Analysis*. Black, C.A. (eds), American Society of Agronomy, 771-1572, Madison.
- Puzina, T.I. 2004. Effect of zinc sulfate and boric acid on the hormonal status of potato plants in relation to tuberization. *Russian Journal of Plant Physiology*, 51(2), 209-214.
- Reda, F., Abdel-Rahim, E.A., El-Baroty, G.S.A. and Ayad, H.S. 2005. Response of essential oils, phenolic components and polyphenol oxidase activity of thyme (*Thymus vulgaris* L.) to some bioregulators and vitamins. *International Journal of Agriculture & Biology*, 7(5), 735-739.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189-1202.
- Rezaee, F., Ghanati, F. and Behmanesh, M. 2013. Antioxidant activity and expression of catalase gene of (*Eustoma grandiflorum* L.) in response to boron and aluminum. *South African Journal of Botany*, 84, 13-18.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils, In: *United States Department of Agriculture Handbook*, 1070, USA.
- Riov, J., Dror, N. and Goren, R. 1982. Effect of ethylene on ¹⁴C-indole-3-acetic acid metabolism in leaf tissue of woody plants. *Plant Physiology*, 70, 1265-1270.
- Robertson, G.A. and Loughman, B.C. 1974. Reversible effects of boron on the absorption and incorporation of phosphate in *Vicia faba* L, *New Phytologist*, 73, 291-298.
- Rubery, P.H. and Sheldrake, A.R. 1974. Carrier-mediated auxin transport. *Planta*, 171, 507-513.

- Ruiz, J.M., Baghour, M., Bretones, G., Belakbir, A. and Romero, L. 1998. Nitrogen metabolism in tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.): Role of boron as a possible regulatory factor. *International Journal of Plant Sciences*, 159(1), 121-126.
- Sairam, R.K., Deshmukh, P.S. and Saxena, D.C. 1998. Role of antioxidant systems in wheat genotypes tolerance to water stress. *Biologia Plantarum*, 41, 387-394.
- Sairam, R.K. and Saxena, D.C. 2000. Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes, possible mechanism of water stress tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184, 55-61.
- Sairam, R.K., Srivasta, G.C., Agarwal, S. and Meena, R.C. 2005. Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, 49, 85-91.
- San-Francisco, S., Houdusse, F., Zamarreno, A.M., Garnica, M., Casanova, E. and Garcia-Mina, J.M. 2005. Effects of IAA and IAA precursors on the development, mineral nutrition, IAA content and free polyamine content of pepper plants cultivated in hydroponic conditions. *Scientia Horticulturae*, 106, 38-52.
- Schon, M.K., Novacky, A. and Blevins, D.G. 1990. Boron induces hyperpolarization of sunflower root cell-membranes and increases membrane-permeability to K^+ . *Plant Physiology*, 93(2), 566-571.
- Shah, S.H. 2011. Comparative effects of 4-Cl-IAA and kinetin on photosynthesis, nitrogen metabolism and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Acta Botanica Croatica*, 70(1), 91-97.
- Shkolnik, M.Y., Krupnikova, T.A. and Dmitrieva, N.N. 1964. Influence of boron deficiency on some aspects of auxin metabolism in the sunflower and corn. *Soviet Plant Physiology*, 11, 164-169.
- Shkolnik, M.Y., Krupnikova, T.A., Timefeeva, S.S. and Stom, D.I. 1981. Intensification of quinine formation from exogenous polyphenols by homogenates of the leaves of sunflower plant reared under conditioned of boron deficiency. *Soviet Plant Physiology*, 28, 384-388.
- Shulka, H.S., Kumar, V. and Tripathi, V.K. 2011. Effect of gibberellic acid and boron on development and quality of aonla fruits 'Banarasi', II International Symposium on Pomegranate and minor including Mediterranean fruits, 23-27 June, *Acta Horticulturae*, 890, 375-380, India.
- Sotiropoulos, T.E., Molassiotis, A., Almaliotis, D., Mouhtaridou, G., Dimassi, K., Therios, I. and Diamantidis, G. 2006. Growth, nutritional status, chlorophyll content, and antioxidant responses of the apple rootstock MM 111 shoots cultured under high boron concentrations in vitro. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 575-583.

- Soylomezoglu, G., Demir, K., Inal, A. and Gunes, A. 2009. Effect of silicon on antioxidant and stomatal response of two grapevine (*Vitis vinifera* L.) rootstocks grown in boron toxic, saline and boron toxic-saline soil. *Scientia Horticulturae*, 123, 240-246.
- Stefanini, M.B., Ming, L.C., Uesugi, G. and De Figueiredo, R.O. 2004. Influence of IBA and boric acid on rooting of stem-cuttings of *Aloysia triphylla* (L'Herit) Britton, 26th International Horticultural Congress, 11-17 August, Future for Medicinal and Aromatic Plants, 629, 329-332, Toronto.
- Stoces, S., Karlicka, M and Fellner, M. 2012. Boron and blue light reduce responsiveness of *Arabidopsis* hypocotyls to exogenous auxins. *Plant Growth Regulation*, 66, 293-301.
- Supanjani, K.D.L. 2006. Hot pepper response to interactive effects of salinity and boron. *Plant, Soil and Environment*, 52,(5), 227-233.
- Suttle, J.C. 1991. Effect of ethylene treatment on polar IAA transport, net IAA uptake and specific binding of N-1-naphtylphthalamic acid in tissues and microsomes isolated from etiolated pea epicotyles. *Plant Physiology*, 88, 795-799.
- Tang, P.M. and Dela Fuente, R.K. 1986. The transport of indole-3-acetic acid in boron- and calcium-deficient sunflower hypocotyl segments. *Plant Physiology*, 81, 646-650.
- Teranishi, Y., Tanaka, A., Osumi, M. and Fukui, S. 1974. Catalase activity of hydrocarbon utilizing candida yeast. *Agricultural and Biological Chemistry*, 38, 1213-1216.
- Tewari, R.K., Kumar, P. and Sharma, P.N. 2010. Morphology and oxidative physiology of boron-deficient mulberry plants. *Tree Physiology*, 30(1), 68-77.
- Türkan, F. 2009. Iğdır elmasından polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması ve çeşitli özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, 62, Van.
- Ullah, S., Khan, A.S., Malik, A.U., Afzal, I., Shahid, M. and Razzaq, K., 2012. Foliar application of boron influences the leaf mineral status, vegetative and reproductive growth, yield and fruit quality of 'Kinnow' mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). *Journal of Plant Nutrition*, 35, 2067-2079.
- Vernon, S.L. and Straus, J. 1972. Effects of IAA and 2,4-D on polyphenol oxidase in tobacco tissue-cultures. *Phytochemistry*, 11(9), 2723-2727.
- Vural, H., Eşiyok, D. ve Duman, İ. 2000. Kültür Sebzeleri. Ege Üniversitesi Basımevi, 440, İzmir.
- Wang, G., Römheld, V., Lia, C. and Bangerth, F. 2006. Involvement of auxin and CKs in boron deficiency induced changes in apical dominance of pea plants (*Pisum sativum* L.). *Journal of Plant Physiology*, 163, 591-600.

- Wang, H.H., Shan, X.Q., Wen, B., Owens, G., Fang, J. and Zhang, S.Z. 2007. Effect of indole-3-acetic acid on lead accumulation in maize (*Zea mays* L.) seedlings and the relevant antioxidant response. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 246-253.
- Wang, J.Z., Tao, S.T., Qi, K.J., Wu, J., Wu, H.Q. and Zhang, S.L. 2011. Changes in photosynthetic properties and antioxidative system of pear leaves to boron toxicity. *African Journal of Biotechnology*, 10(85), 19693-19700.
- Wojcik, P. 1997. Effect of boron fertilization on growth, yield and fruit quality of plum trees (*Prunus domestica* L.), VI International Symposium on Plum and Prune Genetics, Breeding, Pomology, 18 August, Acta Horticulturae, 478, 255-260, Poland.
- Wolf, B. 1971. The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions. *Soil Science and Plant Analysis*, 2(5), 363-374.
- Xiong, L. and Zhu, J.K. 2002. Molecular and genetic aspects of plant response to osmotic stress. *Plant Cell and Environments*, 25, 131-139.
- Xuan, H., Streif, J., Pfeffer, H., Dannel, F., Römheld, V. and Bangerth, F. 2001. Effect of pre-harvest boron application on the incidence of CA-storage related disorders in 'Conference' pears. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 76(2), 133-137.
- Yan, B., Dai, Q., Liu, X., Huang, S. and Wang, Z. 1996. Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. *Plant and Soil*, 179(2), 261-268.
- Yerlitürk, F.Ü. 2003. *Pyrus elaeagnifolia* meyvesinden polifenol oksidaz enziminin afinite kromatografisi ile saflaştırılması ve bazı kinetik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, 53, Balıkesir.
- Young, L. 2002. *World Hunger* Routledge Introductions to Development. Routledge, 200, USA.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q. and Yu, J. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167, 527-533.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emre Can KAYA
Doğum Yeri : Ankara
Doğum Tarihi : 20.06.1989
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İzmir Nevvar Salih İşören Lisesi (2006)
Lisans : Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü (2011)
Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı (Temmuz 2011- Ocak 2015)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Araştırma Görevlisi (2012-)

Yayımları (SCI)

Gunes, A., Inal, A., Taskin, M.B., Sahin, O., **Kaya, E.C.** and Atakol, A. 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. Soil Use and Management, 30(2), 182-188.