



Salisilik Asitin Domateste (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Kadmiyum Stresini İyileştirici Etkinliğinin Bazı Fizyolojik Parametrelerde İncelenmesi

Esra KOÇ*¹, A. Sülün ÜSTÜN, Işıl ÖNCEL, Yeşim KAPTANBAŞ

¹Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 06100, Ankara

(Alınış Tarihi: 14.01.2013, Kabul Tarihi: 26.03.2013)

Anahtar Kelimeler

Çözünür Karbonhidrat
Domates
Kadmiyum
Klorofil
Salisilik Asit
Prolin

Özet: Bu çalışmada, farklı konsantrasyonlarda kadmiyum uygulanan domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bitkilerinde, kadmiyumun neden olduğu stresi gidermedeki salisilik asitin (SA) rolü, prolin, nişasta, glukoz, fruktoz, klorofil a ve b miktarı analizlerine dayalı olarak incelenmiştir. 6-7 yapraklı fideler 48 saat aralıkla 3 gün süresince. 40, 100, 200 μM CdCl_2 ve bu Cd konsantrasyonlarıyla 0.5 mM SA'in birlikte verildiği uygulamalara maruz bırakılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, domatesin bazı fizyolojik olaylarının kadmiyum ve SA'dan etkilendiğini göstermiştir. Tüm uygulamaların 1.gününde prolin ve nişasta miktarında artış tespit edilmiştir ($P<0.05$). En fazla prolin, nişasta, klorofil a ve b artışı ise 100 μM $\text{CdCl}_2+0.5$ mM SA uygulamasında saptanmıştır ($P<0.05$). Uygulamanın 3. gününde kontrol grubu ile karşılaştırıldığında sadece 40 μM $\text{CdCl}_2+0.5$ mM SA ve 100 μM $\text{CdCl}_2+0.5$ mM SA uygulamalarında prolin miktarı azalmıştır ($P<0.05$). Buna karşın kontrol grubuyla karşılaştırıldığında tüm uygulamalarda hem nişasta hem de klorofil a ve b miktarında azalma tespit edilmiştir ($P<0.05$).

Investigation in Some Physiological Parameters of Improving the Effectiveness of Cadmium Stress of Salicylic Acid in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill)

Keywords

Soluble carbohydrate
Tomato
Cadmium
Chlorophyll
Salicylic acid
Proe

Abstract: In this study, the role of salicylic acid (SA) in removing stress caused by cadmium in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants were exposed to different cadmium concentrations, based on the analysis of proline, starch, glucose, fructose, chlorophyll a and b are investigated. 6-7 leafed seedlings (approximately two months) were exposed to 40, 100, 200 μM CdCl_2 and applications given together of 0.5mM SA with this Cd concentrations for third days at 48 h intervals. The results of the present study showed that the physiological status of tomato was affected by CdCl_2 and $\text{CdCl}_2+0.5$ mM SA exposure. An increase in amount of proline and starch were identified at first day of all applications ($P<0.05$). The greatest proline, starch, chlorophyll a and b in 100 μM $\text{CdCl}_2+0.5$ mM SA treatment were detected ($P<0.05$). When compared to control, the amount of proline decreased by only 40 μM $\text{CdCl}_2+0.5$ mM SA ve 100 μM $\text{CdCl}_2+0.5$ mM SA treatments, on the third day following the application ($P<0.05$). However, when compared to control, a reduction in the amount of starch and chlorophyll a and b have been identified in all applications ($P<0.05$).

1.Giriş

Endüstriyel faaliyetler, kentsel atıklar, madencilik, tarımda gübre ve pestisit kullanılması, motorlu taşıtların egzoz gazları ve volkanik faaliyet gibi pek çok kaynaktan çevreye yayılan ağır metaller, tarım ve ziraat ile ormancılıkta büyük problemler oluşturmaktadır.

Bu kapsamda, kadmiyum da havada, suda ve toprakta bulunan güçlü bir çevre kirletici olup, bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerinde toksik etkiye sahiptir. Kadmiyum bitkilerde oksidatif strese neden olan en yıkıcı ağır metallerden birisidir (Hegedüs vd., 2001). Bu metalin yüksek mobilitesi, besin zincirine kolayca girmesini sağlamakta; sudaki yüksek çözünürlüğü nedeniyle, besin zinciri yoluyla kolaylıkla girdiği insan vücudunda, düşük konsantrasyonlarda bile,

* İlgili yazar: ekoc@science.ankara.edu.tr

nörotoksik, mutagenik ve karsinogenik etkilere yol açmaktadır (Nogawa vd., 1987).

Kadmiyum gibi ağır metallerin çevrede varlığı, bitki metabolizmasını da çeşitli düzeyde etkileyerek; dokuların içine alınıp ve taşınma olaylarında görev yapan farklı mekanizmaları aktive etmektedirler (Owen 1982). Bu yüzden, Cd'un toksik etkisi ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Toksikiteyi sebepleri, fizyolojik ve moleküler boyutları üzerine yapılan bu çalışmalar, toksisiteye karşı oluşan fizyolojik cevaplar ve genel tolerans mekanizmalarına doğru ağırlık kazanmaya başlamıştır.

Salisilik asit (SA), bitkilerde çeşitli biyotik ve abiyotik streslere karşı spesifik cevapların uyarılmasında gerekli olan bir sinyal moleküldür. Birçok araştırmacı, SA'in yeni bir bitki hormonu olabileceğini ileri sürmüştür (Hayat ve Ahmad, 2007). Son çalışmalar, salisilik asitin ağır metal kirliliğinin sonucu oluşan oksidatif hasara karşı koruyucu etkiye sahip olduğunu ve bitki toleransını artırdığını göstermiştir (Hayat ve Ahmad, 2007). Bitkilerde SA uygulaması, zamana ve SA'in konsantrasyonuna, bitkinin türüne bağlı olarak bitki toleransını farklı etkilemektedir (Hakimi ve Hamada, 2011; Sahar vd., 2011; Ghasemzadeh ve Jaafar, 2012; Agamy vd., 2013).

Bu çalışmadaki amaç domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bitkisinde salisilik asidin (SA) stres toleransında gerekli olan bazı fizyolojik parametreleri düzenleyerek, kadmiyum'un neden olduğu stresi azaltmada etkili olup olmadığını araştırmaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitki Yetiştirme ve Uygulama

Domates tohumları % 0.75 sodyum hipoklorürde 1-2 dakika bekletildikten sonra, steril su ile yıkanarak, içinde %70'lik etanol bulunan beherlerde 5'er dakika bekletilmiş ve litresinde 1-2 damla Tween-20 bulunan steril su ile iyice yıkanmıştır. Bu işlem sonrasında tohumlar, 5'er ml steril su ile ıslatılmış 9 cm çapındaki cam petrilere konarak, 3 gün süresince 25°C'ta şişmeye bırakılmıştır. Daha sonra tohumlar, içlerinde elenmiş bahçe toprağı-yanmış ahır gübresi-ince kum (1:1:1) bulunan 15x75x12 cm ebatlarındaki saksılara, 5 cm aralıkla ve her saksıya 3 tohum halinde ekilmiştir. Gün aşırı sulanan saksılarda gelişen fideler 2-3 yapraklı devreye geldiklerinde, eş boyuttakiler seçilerek her saksıda bir fide bırakılmış ve bunlar da, 6-7 yapraklı (yaklaşık olarak 2 aylık) devreye erişince, deneysel işlemler için toplanmıştır. Toplanan 2 aylık domates fidelerinin kökleri çeşme suyu ile yıkanarak, % 0.75'lik sodyum hipoklorürde 1-2 dak. bekletilerek dezenfekte edilmiş ve daha sonra litresinde 1-2 damla tween 20 bulunan steril damıtık su ile yıkanmıştır. Fidler, su kültüründeki

uygulamalar için, içlerinde 40, 100, 200µM CdCl₂ ve 40 µM CdCl₂+0.5mM SA, 100 µM CdCl₂+0.5 mM SA, 200 µM CdCl₂+0.5mM SA bulunan Hoagland besin çözeltisi cam kavanozlara yerleştirilmiştir. Deneylerimizde kontrol grubu olarak tam Hoagland çözeltisi kullanılmıştır. Tesadüfi bloklar deneme deseni modeline göre, 1. ve 3. günde rastgele alınan bitki örneklerinin yaprakları sıvı azottan geçirilerek, analize kadar -80° C'ta saklanmıştır.

2.2. Serbest Prolin Analizi

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

2.3. Çözünür Karbonhidrat Analizi

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

2.4. Klorofil Analizi

Klorofil ekstraksiyonu % 80 lik aseton kullanılarak taze yaprak materyalinden yapılmıştır. Klorofil miktarları Porra vd. (1989)'e göre yapılmıştır.

2.5. İstatistik Analiz

Varyansların homojenliği ve normal dağılıma uyumu için Kolmogorov-Smirnov and Levene's istatistik testi uygulanmıştır. Veriler iki yönlü ANOVA (gün ve uygulama faktörü) testi ile analiz edilmiş ve farklı ortalamaların belirlenmesinde %5 önem düzeyinde yapılan Student-Newman-Keuls Testi (SNK) kullanılmıştır. ANOVA Minitab 16 paket programı, Student-Newman-Keuls testleri ise MSTAT-C programı ile yapılmıştır.

Varyans analizleri sonucunda, tüm özellikler için uygulama x gün interaksyonu, istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.01). Buna uygun olarak yapılan SNK testi sonuçları ortalamaların yanında harfli gösterim şeklinde ifade edilmiştir.

3. Araştırma Bulguları

Uygulamayı takiben 1. günde tüm konsantrasyonlarda prolin miktarı artmıştır. En fazla prolin artışı 100 µM CdCl₂+0.5 mM SA uygulamasında tespit edilmiştir (P<0.05) (Tablo 1). Uygulamayı takiben 3. günde 200 µM CdCl₂+0.5 mM SA uygulaması hariç, diğer CdCl₂+0.5 mM SA uygulamaları prolin miktarında azalmaya neden olmuştur (P<0.05).

Tablo 1. Domates bitkisinin yapraklarında kadmiyum ve kadmiyum+SA uygulamasının prolin miktarı üzerine etkisi (I: Kontrol, II: 40 µM CdCl₂, III: 100 µM CdCl₂, IV: 200 µM CdCl₂, V: 40µM CdCl₂+0.5 mM SA, VI: 100µM CdCl₂+0.5 mM SA, VII: 200 µM CdCl₂+0.5 mM SA).

Uygulama	Prolin (µgr gr ⁻¹ t.a)	
	[$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$]	
	1.gün (n=3)	3.gün (n=3)
Kontrol	77,6±0,18 Eb	108,46±1,12 Da
40 µM CdCl ₂	162,2±4,03 Ba	170,8±0,69 Ba
100 µM CdCl ₂	173,43±0,22 Ba	94,34±2,26 Eb
200 µM CdCl ₂	113,9±2,1 Db	207,57±7,19 Aa
40 µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	164,91±8,69 BCa	38,64±6,2 Gb
100µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	355,37±0,31 Aa	78,54±0,27 Fb
200µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	153,47±2,54 Ca	131,04±3,3 Cb

Uygulamayı takiben 1. günde, kontrol grubuna göre, en fazla nişasta artışı 100 µM CdCl₂ ve 100 µM CdCl₂ + 0.5 mM SA uygulamasında tespit edilmiştir (P<0.05) (Tablo 2). Uygulamanın 3. gününde ise, kontrol grubuna göre, tüm konsantrasyonlarda nişasta içeriği azalmıştır (P<0.05) (Tablo 2.)

Uygulamayı takiben 1. günde tek başına uygulanan tüm kadmiyum konsantrasyonlarında klorofil a içeriğinde, kontrol grubuna göre, belirgin bir azalma saptanmıştır. Buna karşın SA uygulaması tek başına uygulanan kadmiyum stresini azaltarak; 100µM CdCl₂+0.5 mM SA ve 200µM CdCl₂ + 0.5 mM SA uygulamalarında klorofil a içeriğini artırmıştır (P<0.05). 100µM CdCl₂+0.5 mM SA ve 200µM CdCl₂+0.5 mM SA uygulamalarının, hem kontrol hem de tek başına uygulanan CdCl₂'e göre, klorofil b içeriğinde artışa neden olduğu tespit edilmiştir (P<0.05). Uygulamanın 3. gününde ise, kontrol grubuna göre, yapılan tüm uygulamaların, bitki yapraklarında klorofil a ve b içeriğini azalttığı saptanmıştır (P<0.05) (Tablo 3 ve Tablo 4).

Tablo 2. Domates bitkisinin yapraklarında kadmiyum ve kadmiyum+SA uygulamasının nişasta miktarı üzerine etkisi (I: Kontrol, II: 40 µM CdCl₂, III: 100 µM CdCl₂, IV: 200 µM CdCl₂, V: 40µM CdCl₂+0.5 mM SA, VI: 100µM CdCl₂+0.5 mM SA, VII: 200 µM CdCl₂+0.5 mM SA).

Uygulama	Nişasta (ppm gr ⁻¹ t.a)	
	[$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$]	
	1.gün (n=3)	3.gün (n=3)
Kontrol	12,78±0,54 Eb	14,44±0,02 Aa
40 µM CdCl ₂	13,05±0,19 DEa	12,67±0,43 Ba
100 µM CdCl ₂	15,47±0,19 ABa	13,43±0,1 Bb
200 µM CdCl ₂	14,07±0,67 Ca	12,65±0,06 Bb
40 µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	13,81±0,07 CDa	13,52±0,13 Ba
100µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	15,72±0,08 Aa	12,46±0,31 Bb
200µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	14,76±0,02 BCa	12,47±0,14 Bb

Domates fidelerinin yapraklarında uygulamayı takiben 1. günde; 100µM CdCl₂ + 0.5 mM SA hariç, tüm uygulamalarda glukoz miktarında artış tespit edilmiştir (P<0.05). Buna karşın, uygulamanın 3. gününde 0.5 mM SA etkili olmamış, tüm CdCl₂ + 0.5mM SA uygulamalarında glukoz miktarı azalmıştır (P<0.05) (Tablo 5).

Uygulamayı takiben 1.günde 100µM CdCl₂+0.5 mM SA ve 200µM CdCl₂+0.5 mM SA uygulamaları kontrol grubuna göre fruktoz miktarında artışa neden olmuştur (P<0.05) (Tablo 6). Uygulamanın 3. gününde ise 100µM CdCl₂+0.5 mM SA ve 200µM CdCl₂+0.5 mM SA uygulamalarında kontrol grubuna göre fruktoz miktarında bir değişim olmazken, diğer uygulamalar fruktoz miktarında azalmaya neden olmuştur (P<0.05) (Tablo 6).

4. Tartışma ve Sonuç

Prolin genellikle stres koşullarında birikimi gerçekleşen, bitkinin strese dayanım yeteneğini sağlamada bir indikatör görevi yapan (Sairam vd., 2002), suda çözünebilir bir aminoasittir (Matysik vd., 2002). Ozmolit olarak görev yapmasının yanında, hücrelerin stabilizasyonu, sitosolik pH'nın

ayarlanması ve hidroksil radikallerinin düzenlenmesinde etkili bir organik bileşik olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3. Domates bitkisinin yapraklarında kadmiyum ve kadmiyum+SA uygulamasının klorofil a miktarı üzerine etkisi (I: Kontrol, II: 40 µM CdCl₂, III: 100 µM CdCl₂, IV: 200 µM CdCl₂, V: 40µM CdCl₂+0.5 mM SA, VI: 100µM CdCl₂+0.5 mM SA, VII: 200 µM CdCl₂+0.5 mM SA).

Uygulama	Klorofil a (mgr gr ⁻¹ t.a) [$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$]	
	1.gün (n=3)	3.gün (n=3)
Kontrol	1229,6±16,3 Aa	1094,6±4,73 Ab
40 µM CdCl ₂	883,95±7,89 Da	580,3±18,4 Bb
100 µM CdCl ₂	461,35±0,46 Fa	495,7±0,34 CDa
200 µM CdCl ₂	548,62±3,26 Ea	515,7±19,1 Cb
40 µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	558,4±5,62 Ea	372,1±0,94 Ea
100µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	1188,6±4,92 Ba	324,5±20,9 Fa
200µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	1001,6±0,85 Ca	464,42±2,6 Da

Yapılan çalışmalarda değişik stres koşullarında prolin miktarının arttığı rapor edilmiştir. Ağır metale maruz kalmış birçok bitkide strese cevap olarak serbest prolin birikiminin meydana geldiği saptanmıştır (Alia ve Saradhi, 1991). *İn vitro* çalışmalar prolinin bir ROS parçalayıcısı olduğunu göstermiştir. Prolin serbest radikaller ile stabil kompleksler oluşturarak onları detoksifiye etme yeteneğindedir. Bu koruyucu rolü ise prolinin sahip olduğu antioksidan etkisiyle bağlantılıdır (Smirnoff ve Cumbes, 1989). Prolin birikimi bitki stres toleransının düzenlenmesinde düzenleyici bir role sahiptir (Verbruggen ve Hermans, 2008).

Çalışmamızda da özellikle uygulamanın 1. gününde strese karşı prolin artışı belirlenmiş, SA ise 100 µM CdCl₂'e karşı bu prolin birikimini artırmıştır. SA aynı etkiyi 3. günde gösterememiştir. Yapılan çalışmalar dışsal olarak uygulanan SA konsantrasyonunun ve uygulama süresinin farklı biyokimyasal cevaplara neden olduğunu göstermiştir (Aydın ve Nalbantoğlu, 2011). Çalışmamızda olduğu gibi SA'nin kısa dönemli

uygulamalarının bitki üzerinde daha olumlu sonuç verdiği saptanmıştır (Krantev vd., 2006). Cd stresine maruz kalan bezelye bitkilerinde yapılan çalışmada prolin içeriğinde %97 oranında, Cd stresine karşı dışsal olarak uygulanan SA'in ise prolin miktarını %138.8 oranında artırdığı belirlenmiştir (Gaballah ve Rady, 2012). Cd stresi altındaki bezelye bitkileri için SA 'in poatansiyel bir antioksidan olabileceğini de ileri sürmüşler. Uygulanan SA'in bu yararlı etkisinin bir dizi biyokimyasal olayın niteliğindeki değişimler sonucu olduğu saptanmıştır. Cd toksisitesine cevapta prolin birikimi *Triticum aestivum*, *Vigna radiate*, *Helianthus annuus* ve *Phaseolus vulgaris* bitkilerinde de belirlenmiştir (Rady, 2011). Dolayısıyla prolin birikimi stres toleransında bir indikatördür (Ashraf ve Foolad, 2007). Bu yüzden, Cd toksisitesinin birçok biyokimyasal mekanizma üzerindeki olumsuz etkisi uygun konsantrasyonda SA uygulaması ile hafifletilebilir (Gaballah ve Rady, 2012).

Tablo 4. Domates bitkisinin yapraklarında kadmiyum ve kadmiyum+SA uygulamasının klorofil b miktarı üzerine etkisi (I: Kontrol, II: 40 µM CdCl₂, III: 100 µM CdCl₂, IV: 200 µM CdCl₂, V: 40µM CdCl₂+0.5 mM SA, VI: 100µM CdCl₂+0.5 mM SA, VII: 200 µM CdCl₂+0.5 mM SA).

Uygulama	Klorofil b (mgr gr ⁻¹ t.a) [$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$]	
	1.gün (n=3)	3.gün (n=3)
Kontrol	285,27±0,24 Ea	263,42±0,3 Ab
40 µM CdCl ₂	304,14±2,19 Da	214,98±1,48 Bb
100 µM CdCl ₂	202,69±0,06 Ga	200,31±0,16 Ba
200 µM CdCl ₂	395,29±0,29 Ca	195,39±3,04 Cb
40 µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	220,67±6,06 Fa	165,86±0,081 Eb
100µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	542,48±0,21 Aa	132,64±1,45 Fb
200µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	397,46,6±1,5 8 Ba	173,6±1,96 Db

Hücre özsuyu osmotik yoğunluğunun düzenlenmesinde rol oynayan ve koruyucu eriyik molekülleri olarak tanımlanan şekerler, özellikle stres koşullarında birikmektedir. Hücre dehidrasyonunu önlemede önemli role sahip olan çözünür karbonhidratların bitki yapraklarında yeterli

miktarda bulunması, prolin oksidasyonunu önlemektedir (Oaks vd., 1970). Bu, prolin birikiminin çözünür karbonhidrat ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Nitekim, şekerlerin serbest prolin sentezini sağlayan öncü maddeler olarak rol oynadıkları kabul edilmektedir (Stewart, 1978).

Stres altındaki bitkiler, önemli fonksiyonları ozmotik koruma, ozmotik ayarlama, karbon depolama ve radikal temizleme olan glukoz, fruktoz, sukroz, ve nişasta gibi karbonhidratları biriktirirler. Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlar (Klorofil a ve b miktarındaki azalış, prolin ve nişasta miktarındaki artışlar) uygulamanın 1. gününde 100 µM CdCl₂'de bitkinin oldukça yoğun bir stresle karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Kadmiyum ve SA'in, uygulamanın 1. gününde nişasta miktarında artışa neden olması ise SA'in polisakkaritleri hidrolize eden enzim sistemini inhibe etmesi veya çözünür şekerlerin polisakkaritlere dönüşümünü hızlandıran sistemi uyarması olabilir (Khodary 2004).

Tablo 5. Domates bitkisinin yapraklarında kadmiyum ve kadmiyum+SA uygulamasının glukoz miktarı üzerine etkisi (I: Kontrol, II: 40 µM CdCl₂, III: 100 µM CdCl₂, IV: 200 µM CdCl₂, V: 40µM CdCl₂+0.5 mM SA, VI: 100µM CdCl₂+0.5 mM SA, VII: 200 µM CdCl₂+0.5 mM SA).

Uygulama	Glukoz (ppm gr ⁻¹ t.a)	
	[$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$]	
	1.gün (n=3)	3.gün(n=3)
Kontrol	7,62±0,01 Db	10,1±0,39 Aa
40 µM CdCl ₂	8,82±0,19 BCa	7,93±0,2 Bb
100 µM CdCl ₂	8,02±0,05 CDb	9,25±0,23 Aa
200 µM CdCl ₂	8,99±0,14 Bb	9,97±0,17 Aa
40 µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	8,85±0,21 BCa	8,26±0,26 Ba
100µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	7,22±0,58 Ab	8,42±0,18 Ba
200µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	10±0,06 Aa	7,85±0,05 Bb

Baryla (2001) ve Baszynski vd.(1980) Cd'un ilk olarak fotosentetik pigmentler, özellikle de klorofil biyosentezi üzerinde etkili olduğunu ve pigment içeriğinde azalmaya neden olduğu belirlemişlerdir.

Ağır metal stresine bağlı olarak klorofil içeriğinde görülen azalma, klorofil biyosentez yolunda iş gören enzimlerin ağır metaller tarafından engellenmesinin bir sonucu olabilir. Çalışmamızda görülen klorofil miktarındaki azalma bu ve benzeri durumlardan dolayı klorofil yıkımının artması veya sentezinin engellemesi yoluyla meydana gelmiş olabilir (Kırbağ ve Munzuroğlu, 2006). Fakat, SA'in kısa dönemli uygulamalarının bitki büyümesi ve fotosentez üzerinde olumlu sonuç verdiği de saptanmıştır (Krantev vd., 2006). Türkyılmaz vd. (2005), salisilik asidin (SA) sera ve tarla koşullarında yetiştirilen fasulye fidelerinin bitki büyümesi ile bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada, SA uygulamasının fotosentetik pigment (klorofil a, b) miktarında yaklaşık % 30 artışa neden olduğunu saptamışlardır. Çalışmamızda 1. günde CdCl₂ + 0.5mM SA uygulamalarında klorofil miktarında artış tespit edilirken 3. günde klorofil miktarında azalma saptanması bu sonuçları doğrulamaktadır.

Tablo 6. Domates bitkisinin yapraklarında kadmiyum ve kadmiyum+SA uygulamasının fruktoz miktarı üzerine etkisi (I: Kontrol, II: 40 µM CdCl₂, III: 100 µM CdCl₂, IV: 200 µM CdCl₂, V: 40µM CdCl₂+0.5 mM SA, VI: 100µM CdCl₂+0.5 mM SA, VII: 200 µM CdCl₂+0.5 mM SA).

Uygulama	Fruktoz (ppm gr ⁻¹ t.a)	
	[$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$]	
	1.gün (n=3)	3.gün (n=3)
Kontrol	13,99±0,22 ABb	18,12±0,57 Aa
40 µM CdCl ₂	13,99±0,17 ABb	15,4±0,4 Ba
100 µM CdCl ₂	14,52±0,29 ABb	15,97±0,19 Ba
200 µM CdCl ₂	13,29±0,15 Bb	15,66±0,54 Ba
40 µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	13,56±0,019 ABb	15,09±0,42 Ba
100µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	14,73±0,14 Ab	17,67±0,39 Aa
200µM CdCl ₂ + 0.5mM SA	14,8±0,01 Ab	17,62±0,05 Aa

Son yıllarda yapılan çalışmalar SA'in çeşitli biyotik ve abiyotik streslere karşı bitki savunma cevaplarının düzenlenmesinde önemli bir role sahip olan hormon-benzeri bir sinyal molekül olduğunu

desteklemektedir (Hayat ve Ahmad 2007). SA'in düşük ve yüksek konsantrasyonları, uygulama süresi bitkilerin stres faktörlerine karşı olan toleranslarını etkilemektedir. Cd'un stres toleransında gerekli olan bazı fizyolojik parametreler üzerindeki etkisi uygun konsantrasyonda SA uygulaması ile azaltılabilir. Ayrıca, Cd stresi altındaki domateste dışsal SA uygulamasının etkisini daha iyi anlamak için savunma sisteminin dahil olduğu birçok fizyolojik ve biyokimyasal araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

Agamy, R.A., Hafez, E.E., Tarek, H., 2013. Acquired resistant motivated by salicylic acid application on salt stressed tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science, 13, 50-57.

Alia, P., Saradhi, P., 1991. Proline accumulation under heavy metal stress. Journal of Plant Physiology, 138, 554-558.

Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of glycinebetaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp. Bot., 59, 206-216.

Aydın, B., Nalbantoğlu, B., 2011. Effects of cold and salicylic acid treatments on nitrate reductase activity in spinach leaves. Turkish Journal of Biology, 35, 443 - 448.

Baryla, A., Carrier, P., Franck F, Coulomb, C., Sahut, C., Havaux, M., 2001. Leaf chlorosis in oilseed rape plants (*Brassica napus*) grown on cadmium-polluted soil: causes and consequences for photosynthesis and growth. Planta, 212, 696-709.

Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. Plant and Soil, 39, 205-208.

Baszynski, T., Wajda, L., Krol, M., Wolinska, D., Krupa, Z., Tukendorf, A., 1980. Photosynthetic activities of cadmium-treated tomato plants. Physiologia Plantarum 48,365-370.

Gaballah, M.S., Rady, M.M., 2012. Salicylic acid mitigated cadmium toxicity by attenuating the oxidative stress in pea (*Pisum sativum* L.) plants. International Journal of Biological, Ecological and Environmental Sciences, 1(4), 159-165.

Ghasemzadeh, A., Jaafar, H.Z.E., 2012. Effect of salicylic acid application on biochemical changes in Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). Journal of Medicinal Plants Research, 6,790-795.

Hakimi, A.B.M., Hamada, A.M., 2011. Ascorbic Acid, thiamine or salicylic acid induced changes in some

physiological parameters in wheat grown under copper stress. Plant Protection Science, 47,92-108.

Halhoul, M.N., Kleinberg, I., 1972. Differential determination of glucose and fructose, and glucose and fructose -yielding substances with anthrone. Analytical Biochemistry, 50, 337-343.

Hayat S, Ahmad A., 2007. Salicylic acid: a plant hormone. Springer, UK.

Hegedüs, A., Erdei, S., Horváth, G. 2001. Comparative Studies of H₂O₂ Detoxifying Enzymes in Green and Greening Barley Seedlings under Cadmium Stress. Plant Science, 160, 1085 -1093.

Khodary, S.E.A., 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. International Journal of Agriculture and Biology, 6, 5-8.

Kırbağ, Z.F., Munzuroğlu, Ö. 2006. Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) fidelerinin toplam çözünebilir protein, prolin ve klorofil miktarları üzerine civa klorürün (HgCl₂) etkileri. Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18, 25-30.

Krantev, A., Yordanova, R., Popova, L. 2006. Salicylic acid decreases Cd toxicity in maize plants. General and Applied Plant Physiology, Special Issue, 45 -52.

Matysik, J.A., Bhalu, B., Mohanty, P., 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. Current Science, 82, 525-532.

Nogawa, G., Honda, R., Kiod, T., Tsuritani, I., Yamada, Y., 1987. Limits to protect people eating cadmium in rice, based on epidemiological studies. Trace Substance in Environmental Health, 21, 431-439.

Oaks, A., Mitchell, D.J., Barnard, R.A., Johnson, F.J., 1970. The Regulation of Proline Biosynthesis in Maize Roots. Canadian Journal of Botany, 48, 2249-2258.

Owen, C. 1982. Biochemical aspects of copper. Noyes Publications, Park Ridge, NJ.

Porra, P.J., Thompson, W.A., Kriedemann, P.E., 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. Biochimica et Biophysica Acta, 975, 384- 394.

Rady, M.M., 2011. Effect of 24-epibrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under

salinity and cadmium stress. *Scientia Horticulturae*, 129, 232-237.

Sahar, K., Baghizadeh, A., Taher, N.M., 2011. The Salicylic acid effect on the *Salvia officianlis* L. sugar, protein and proline contents under Salinity (NaCl) Stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 7, 80-87.

Sairam, R. K., Rao, K. V., Srivastava, G.C., 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1046.

Smirnoff, N., Cumbes, Q.J., 1989. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solute. *Phytochemistry*, 28, 1057-1060.

Stewart, C.R., 1978. Role of carbohydrates in proline accumulation in wilted barley leaves. *Plant Physiology*, 61, 775-778.

Türkyılmaz, B., Aktas, L.Y., Güven, A., 2005. *Phaseolus vulgaris* L.'de salisilik asit uyarımlı bazı fizyolojik ve biyokimyasal değişimler. *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 319-326.

Verbruggen, N., Hermans, C., 2008. Proline accumulation in plants: A review. *Amino acids*, 35, 753-759.