



Exogenous Salicylic Acid Applications as an Example of Molecules Effective in Abiotic Stress Tolerance in Plants[#]

Ayşe Gul Nasircilar^{1,a,*}, Kamile Ulukapi^{2,b}, Sevinc Sener^{3,c}

¹Department of Mathematics and Science Education, Faculty of Education, Akdeniz University, 07070 Antalya, Turkey

²Department of Plant and Animal Production, Vocational School of Technical Sciences, Akdeniz University, 07070 Antalya, Turkey

³Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Akdeniz University, 07070 Antalya, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>[#]This study was presented as an oral presentation at the 1st International Congress of the Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology (Antalya, TURJAF 2019)</p> <p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 18/11/2019 Accepted : 28/11/2019</p> <p>Keywords: Abiotic stress Exogenous applications Salicylic acid Signal transduction Tolerance</p>	<p>Plant growth and development, which is associated with endogenous and exogenous factors, is greatly affected by abiotic stress factors such as drought, salt, high and low temperature, radiation and heavy metals. Coping with stress in plants takes place by making changes in cell metabolism under adverse conditions and activating defence mechanisms. Salicylic acid (SA) is one of the molecules that activate these mechanisms in plants and it is an internal plant growth regulator which is especially effective in responding to pathogen attacks. SA, which is a phenolic compound and also known as a plant hormone, acts as a signalling molecule under stress conditions and regulates the response of the plant under stress conditions and ensures its survival. It is known that especially exogenous SA applications provide resistance by activating pathogenicity-related genes in plants. There are many studies showing that externally applied SA increases plant resistance against abiotic stress factors as well as biotic stress factors. Exogenous SA applications were researched in different plants such as tomato, pepper, corn, maize and bean and it was found to be effective in forming resistance for salt, high and low temperature, drought and heavy metal stresses. However, some studies have shown that exogenous SA applications have inhibitory properties in some vegetative and biochemical contents of some plant species. It is concluded that the effects of SA may vary depending on the application dose, plant species and the mode of application.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(sp3): 5-10, 2019

Bitkilerde Abiyotik Stres Toleransında Etkili Olan Moleküllere Örnek Olarak Eksojen Salisilik Asit Uygulamaları

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 18/11/2019 Kabul : 28/11/2019</p> <p>Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres Eksojen uygulama Salisilik asit Sinyal iletimi Tolerans</p>	<p>Endojen ve eksojen faktörlere bağlı olan bitki büyüme ve gelişmesi; kuraklık, tuz, yüksek ve düşük sıcaklık derecesi, radyasyon ve ağır metaller gibi abiyotik stres faktörlerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Bitkilerde stresle başa çıkma, olumsuz koşullarda hücre metabolizmasında değişiklikler yapılması ve savunma mekanizmalarının harekete geçirilmesi ile gerçekleşmektedir. Salisilik asit (SA) bitkilerde bu mekanizmaları harekete geçiren moleküllerden biri olup, özellikle patojen saldırılarına karşı cevap oluşturulmasında etkili olan, içsel bir bitki büyüme düzenleyicisidir. Fenolik bir bileşik olan ve bir bitki hormonu olarak da tanımlanan SA, stres koşulları altında sinyal molekülü olarak görev alarak bitkinin stres koşullarında oluşturduğu cevabı düzenlemekte ve hayatta kalmasını sağlamaktadır. Özellikle eksojen SA uygulamalarının bitkilerde patojenite ile ilişkili genleri aktive ederek hastalıklara direnç sağladığı bilinmektedir. Dışarıdan uygulanan SA'nin biyotik stres faktörleri yanında abiyotik stres faktörlerine karşı da bitkinin toleransını artırdığını gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Eksojen SA uygulamaları domates, biber, mısır ve fasulye gibi farklı bitkilerde uygulanmış ve tuz, yüksek ve düşük sıcaklık, kuraklık ve ağır metal streslerine cevap oluşturmada etkin olduğu belirlenmiştir. Buna karşın bazı çalışmalarda eksojen SA uygulamalarının bazı bitki türlerinde vejetatif ve biyokimyasal içeriklerde inhibe edici özelliğinin bulunduğu gösterilmiştir; SA etkilerinin uygulama dozu, bitki türü ve uygulanma şekline bağlı olarak değişebileceği sonucunu vermektedir.</p>

^a kamileonal@akdeniz.edu.tr
^c svncsener@gmail.com

^b <https://orcid.org/0000-0002-2602-804X> | svncsener@gmail.com
^d <https://orcid.org/0000-0001-5335-9250>

^e <https://orcid.org/0000-0001-8184-8967>



Giriş

Bitki metabolizmasında değişikliklere veya bozulmalara neden olarak bitkinin büyüme ve gelişme durumunu olumsuz etkileyen faktörler stres olarak adlandırılmaktadır (Shulaeva ve ark., 2008; Korkmaz ve Durmaz, 2017). Tüm dünyada, tarımı yapılan bitkiler üzerinde yaklaşık olarak %50' nin üzerinde ürün kayıplarına neden olan; kuraklık, tuzluluk, ağır metal toksisitesi, ekstrem sıcaklıklar ve radyasyon gibi olumsuz çevre koşullarının tümü ise abiyotik stres olarak tanımlanmaktadır (Hasanuzzaman ve Fujita, 2013; Hasanuzzaman ve ark., 2014; Rodríguez ve ark., 2005). Bitkiler tolerans sınırları dışında kalan ve gerek metabolizma gerekse morfolojilerinde bozulmalara neden olan stres faktörlerine karşı hayatta kalabilmek için bir takım içsel düzenlemelere giderek farklı fizyolojik ve moleküler cevaplar oluşturmaktadırlar (Büyük ve ark., 2012; Korkmaz ve Durmaz, 2017). Bitkilerde stres koşullarına tolerans oluşturulması oldukça karışık bir süreç olup, abiyotik stres koşullarında bitkinin yaşamını devam ettirebilmek için oluşturduğu cevaplar, stresin şiddetine ve maruz kalınan süreye göre değişmektedir (Ashraf ve Foolad, 2007; Kosová ve ark., 2011). Bitki türüne ve adaptasyon yeteneğine bağlı olarak farklı zararlar oluşturan stres faktörlerine ilişkin mekanizmaların aydınlatılması ve tolerans geliştirilmesi, tarımsal üretimdeki verim kayıplarının önlenmesi açısından çok önemlidir (Büyük ve ark., 2012; Madhova ve ark., 2005). Tolerans geliştirmek için yapılan çalışmaların bir kısmı stres koşullarında bitkiye dışarıdan bazı maddelerin uygulanması şeklinde olup, özellikle bitki büyüme düzenleyicilerinin dışarıdan uygulanmasının, kuraklıktan metal toksisitesine kadar farklı pek çok stres koşullarında bitkilerde tolerans oluşturduğu yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır (Yıldız ve ark., 2014; Khan ve ark., 2015).

Abiyotik Stres Koşullarında Bitkilere Dışarıdan Yapılan Bazı Uygulamalar

Bitkilerde stres yaratan faktörlere karşı geliştirilen mekanizmaların anlaşılması ve ıslah yöntemleri ile stres koşullarına toleranslı bitki geliştirilmesi, olumsuz çevre koşullarında daha fazla ürün elde edilmesi açısından oldukça önemlidir. Bunun yanı sıra stres koşullarında bitkilere dışarıdan bazı maddelerin uygulanması da verim kayıplarının önüne geçilmesi açısından alternatif olarak değerlendirilmesi gereken bir konudur. Farklı stres koşullarında bitkilere dışarıdan uygulanan pek çok madde bulunmaktadır. Bunlar arasında en sıklıkla kullanılanlara birkaç örnek verilecek olursa; glisin betain, kuraklık (Hussain ve ark., 2008) tuz (Heuer, 2003) ve don (Park ve ark., 2006) streslerinde; prolin tuz (Heuer, 2003; Okuma ve ark., 2004) ve selenyum toksisitesinin azaltılmasında (Aggarwal ve ark., 2011); nitrik oksit (NO) don (Esim ve Atici, 2014), kuraklık (Garcia-Mata ve Lamattina, 2001) ve tuz (Wu ve ark., 2011) streslerinde; melatonin tuz (Karaca, 2019) ve kuraklığa karşı tolerans oluşturulmasında (Wang ve ark., 2013); silikon ise tuzlu koşullarda (Moussa, 2006; Avestan ve ark., 2019) bitkilere dışarıdan uygulanan bazı maddelerdir. Bu maddelerin dışında brassinosteroidler (Anuradha ve Rao, 2007; Mahesh ve ark., 2013), poliaminler (Çömlekcioglu ve

Arıkan, 2017), paclobutrazol (Parvin ve ark., 2015), askorbik asit (Khan ve Ashraf, 2008) ve salisilik asit (Hussain ve ark., 2008; Farooq ve ark., 2009; Heuer, 2003; Noreen ve Ashraf, 2008) de yine farklı stres koşullarında bitkilere dışarıdan uygulanan maddeler arasında yer almaktadır.

Salisilik Asit

Salisilik asit (SA), hem prokaryot hem de aralarında bitkilerin de bulunduğu ökaryotik organizmalar tarafından sentezlenen bir bileşiktir (Chen ve ark., 2009). Bitkilerde bulunan ve hormon benzeri bir özelliğe sahip, fenolik yapıda bir bileşik olan SA, bitki büyüme ve gelişiminin düzenlenmesinde önemli bir işleve sahiptir. Bitkilerde SA tarafından kontrol edilen metabolik olaylar; çimlenme, büyüme ve gelişme, iyon alımı ve transportu, fotosentez, çiçeklenme ve senesens gibi oldukça geniş bir spektruma sahiptir (Chen ve ark., 2009; Eraslan ve ark., 2007; Cutt ve Klessig, 1992; Harper ve Balke, 1981; Klessig ve Malamy, 1994; Rivas-San Vicente ve Plasencia, 2011). Bu özellikleri nedeniyle bir bitki büyüme düzenleyici olarak da tanımlanan SA, stres koşullarında bitkinin sinyal iletim yollarını harekete geçiren ve strese karşı cevap oluşumunun düzenlenmesini başlatan tetikleyici bir molekül olarak davranmaktadır (Akbar-Mozafari ve ark., 2018; Chaparzadeh ve Hosseinzad-Behboud, 2015). Farklı bitkilerde yapılan araştırmalar SA'ın bitkilerde PR proteinleri, ekstensin, ısı şoku proteinleri, lektinler ve protein kinazların üretimini indüklediğini göstermiştir (Merkouropoulos ve ark., 1999; Burkhanova ve ark., 1999; Shakirova ve ark., 1993; Mikolajczyk ve ark., 2000). Bu durum SA'ın bitkilerde stres koşullarına tolerans oluşturan, birbirinden farklı metabolik yollarda rol oynadığını düşündürmektedir (Sakhabutdinova ve ark., 2003).

Özellikle SA'ın sistemik kazanılmış dayanıklılığı (SAR) indüklemeye yeteneğinin keşfedilmesinden sonra, dışsal SA uygulamalarının da patojene bağımlı gen ifadesini indüklediği ve sistemik kazanılmış dayanıklılık sağladığı bulunmuştur (Bi ve ark., 1995; Raskin, 1992). Biyotik stres faktörü olan mikroorganizmalar tarafından bitki dokularının enfekte edilmesi sonucunda eğer enfeksiyon kontrol edilemezse bir süre sonra hücre ve dokular ölmektedir. Bu olay membran lipidlerinin oksidatif yıkımına neden olan serbest radikal ataklarının gerçekleşmesi ile oluşmaktadır. Abiyotik stres faktörleri de benzer bir mekanizma ile serbest radikallerin artmasına ve bu artış sonucunda membran lipid ve proteinlerinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu iki olay arasındaki benzerlikten hareketle patojen saldırılarına karşı dayanıklılık oluşumunu indükleyen SA'ın abiyotik stres faktörlerinin etkilerini de azaltacağı düşünülmüş ve bu çalışmalar bu konu üzerine yoğunlaşmıştır (Keppler ve Novacky, 1987; Senaratna ve ark., 1985; Senaratna ve ark., 1987; Senaratna ve ark., 2000).

Bitkilerde Abiyotik Stres Koşullarında Dışsal Salisilik Asit Uygulamaları ve Etkileri

SA ve türevlerinin abiyotik stres faktörlerine tolerans oluşturulmasında etkilerinin kanıtlandığı ilk çalışma

fasulye ve domates bitkilerinde yüksek sıcaklık, don ve kuraklık stresine tolerans geliştirilmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla SA bitkilere üç farklı yolla uygulanmış olup, ilk yöntemde SA bitkinin sulama suyuna karıştırılmıştır. Diğer uygulamalar ise bitkilere ait tohumların SA ve türevlerinde bekletilmesi veya yaprakten spreyleme yöntemiyle yapılan uygulamalardır. Her üç uygulamadan da olumlu sonuç elde edilmiş olup; bitkilerin soğuk, yüksek sıcaklık ve kuraklık stresi koşullarında SA uygulamaları sonrasında kontrol bitkilerine kıyasla canlılıklarını sürdürdükleri tespit edilmiştir. Bu çalışma ile SA ve türevlerinin abiyotik stres faktörlerine karşı tolerans oluşturulması amacıyla tarım, bahçecilik ve ormancılıkta pratikte de uygulanmasının yolu açılmıştır (Senaratna ve ark., 2000).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde dünya genelinde abiyotik stres faktörlerinden bitkiler üzerinde en fazla verim kaybına neden olan faktörlerden ikisinin tuzluluk ve kuraklık olduğu görülmektedir. Bu nedenle çalışmaların önemli bir kısmının bu iki konu üzerinde yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Tuzluluk, tarımı yapılan bitkilerde yüksek oranda ürün kayıplarına neden olan bir stres faktörüdür. Geleneksel ıslah yöntemleri ile tuza tolerant bitki geliştirilmesi oldukça karmaşık ve zor bir süreç olup, bitki büyüme düzenleyicilerinin dışarıdan uygulanmasının toleransı arttırdığı bildirilmektedir (Yıldız ve ark., 2014). Buğday tohumlarına ekim öncesi uygulanan SA'ın tuzlu koşullarda tohumların çimlenme yüzdesini arttırırken aynı zamanda çimlenme süresini önemli ölçüde öne çektiği bildirilmektedir (Afzal ve ark., 2006). Sakhabutdinova ve ark. (2003) buğday bitkisinde yaptıkları çalışmada stres koşullarında SA uygulanmasının, bitkide özellikle absisik asit ve indolasetik asit gibi bazı hormon düzeylerinde değişiklik oluşturmak suretiyle tuz ve kuraklık stresine tolerans oluşumu sağladığını bildirmektedirler. Tuz stresi altındaki domates fidelerine yaprakten SA uygulanması sonrasında kök ve gövdede sodyum iyonu birikimi azalmasına bağlı olarak toksik etkinin azaltıldığı (He ve Zhu, 2008), yine domateste SA ön uygulamasını takiben tuzlu koşullarda yapraklarda glukoz, fruktoz ve prolin gibi ozmolitlerin artarak bitki büyüme ve gelişiminin teşvik edildiği (Szepesi, 2006) bildirilmektedir. Arpa (*Hordeum vulgare*)' da NaCl tarafından oluşturulan oksidatif stres, SA uygulaması ile azaltılmış olup, bu durum membran lipid peroksidasyonun belirteçlerinden biri olan malondialdehit (MDA) miktarı ölçülerek belirlenmiştir (Fayez ve ark., 2014). Chaparzadeh ve Hosseinzad-Behboud (2015) tuzlu koşullarda SA uyguladıkları bitkilerde uygulamanın, bitkilerin sürgün ve kök taze ağırlığı, klorofil a, klorofil b, flavonoidler ve membran stabilite indeksini azalttığı, buna karşın yaprak ve köklerde antosiyanin, yaprak karotenoidleri, fenolik bileşikler, prolin ve hidrojen peroksit miktarını arttırdığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlardan hareketle dışarıdan uygulanan SA'ın bitkinin tuz toleransı üzerindeki etkisinin doza bağlı olduğunu ve tuzlu koşullarda SA'ın sekonder oksidatif stres oluşumuna yol açtığı yorumunu yapmışlardır.

Kuraklık stresinin bitkilerde oluşturduğu hasarlar özellikle fotosentezin inhibe edilmesi ile oluşan büyüme ve gelişim geriliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Kuraklık koşulları bu sonucu; fotosentetik pigment oluşumunu engelleme, kloroplastlarda hasar oluşturma, elektron transport zincirini bozarak sonuç olarak fotooksidatif

hasara neden olan aktif oksijen türevlerinin oluşumuna neden olarak meydana getirmektedir. Stoma iletkenliğinin azaltılması da diğer olumsuz etkiler arasındadır (Asada, 1999; Hasanuzzaman ve ark., 2013). Eksojen SA uygulamaları özellikle önemli enzimatik yolları düzenleyerek oksidatif hasarın azaltılması yoluyla kuraklığın olumsuz etkilerini azaltmaktadır (Alam ve ark., 2013). Kuraklık koşullarında SA'ın bitkiler üzerindeki etkileri domates (Senaratna ve ark., 2000; Hayat ve ark., 2008), mısır (Ne'meth ve ark., 2002), buğday (Agarwal ve ark., 2005; Al-Hakimi ve Hamada, 2001; Singh ve Usha 2003) fasulye (Senaratna ve ark., 2000) gibi bitkilerde çalışılmıştır. Kurak koşullarda SA domates bitkisine yaprakten spreyleme şeklinde uygulandığında fotosentetik parametreler, membran stabilizasyonu ve yaprak su potansiyeli üzerinde olumlu etki yaptığı ve bu şekilde tolerans oluşturduğu bildirilmektedir (Hayat ve ark., 2008). Kuraklık stresi koşullarında bir haftalık turp fidelerine kök yolu ile SA uygulaması yapılan bir çalışmada ise 0,2 mM'lık konsantrasyonun kuraklığa tolerans üzerinde etkili olmadığı, 1 ve 2 mM gibi daha yüksek konsantrasyonların ise fidelerde osmotik stres oluşturup, toksik etki yaparak, taze ağırlık, protein ve klorofil miktarında düşümlere neden olduğu bildirilmiştir (Çanakçı, 2008).

SA'ın metal toksisitesinin etkilerinin azaltılmasında etkili olduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur. Strobel ve Kuc (1995) SA uygulamasının kabak ve tütün bitkisinde bakır klorit ($CuCl_2$) in toksik etkisinin azaltılmasında etkili olduğunu; Mishra ve Choudhuri (1999) ise iki farklı pirinç çeşidinde civa ve kurşunun toksik etkilerinin azaltılmasında eksojen SA uygulamalarının özellikle bu ağır metallerin hücre membranı üzerindeki etkilerini azaltmak yoluyla etkili olduğunu bildirmişlerdir. Ağır metal stresine karşı SA uygulamaları arpa (Metwally ve ark., 2003), soya fasulyesi (Drazic ve Mihailovic, 2005) ve mısır (Pa'l ve ark., 2002) gibi tarla bitkileri üzerinde de etkin olarak araştırılmıştır.

Yüksek ve düşük sıcaklık streslerine karşı SA uygulamaları oldukça farklı bitki çeşidinde çalışılmıştır. Eksojen SA uygulaması bezelyede yüksek sıcaklık derecelerinde bitkinin hayatta kalmasını sağlarken (Pan ve ark., 2006), salatalıkta yapraklara sprey şeklinde yapılan uygulamanın da diğer stres koşullarına benzer şekilde, yine özellikle membran bozulmasına yol açan oksijen radikallerinin miktarında düzenleme yapmak yoluyla etkili olduğunu bildirmektedir (Shi ve ark., 2006). Düşük sıcaklık derecelerinde görülen don stresi özellikle tropikal ve subtropikal kökenli bitkiler için önemli bir stres faktörü olup, uygulama şekli nasıl olursa olsun eksojen SA uygulamalarının farklı türlerde soğuk toleransını arttırdığı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Horváth ve ark., 2007). Mısır, pirinç ve salatalıkta SA uygulamalarının gövde dokularında glutatyon redüktaz gibi enzim aktivitelerini arttırarak dona karşı toleransı sağladığı, fakat köklerde aynı etkiyi oluşturmadığı görülmüştür (Kang ve Saltveit, 2002). Muzda da hem spreyleme hem de sulama suyuna karıştırma şeklinde uygulanan SA'nın don stresine karşı etkili olduğu bildirilmiştir (Kang ve ark., 2003).

Sonuç

Bitki metabolizmasında farklı fizyolojik olaylarda rolü bulunan SA, stres koşulları altında tetiklenen sinyal iletim

ağının bir parçası olup, doğrudan ya da dolaylı olarak stresle başa çıkmada etkin rol alan bir moleküldür. Stres koşulları altında farklı şekilde yapılan eksojen SA uygulamalarının bitkilerde tuzluluk, kuraklık, ağır metal toksisitesi, don ve yüksek sıcaklık stresi gibi farklı abiyotik stres koşullarında bitkiye tolerans sağladığını gösteren çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu durum SA'ın tarla ve bahçe bitkilerinde ve ormancılıkta abiyotik stres faktörlerine karşı pratik olarak uygulanabilir bir bileşik olmasının yolunu açmış ve farklı metabolik yollardaki işlevlerinin moleküler düzeyde anlaşılması için yapılacak çalışmalara temel oluşturmuştur. Bununla birlikte bazı çalışmalarda, abiyotik stres koşullarında, özellikle yüksek dozlardaki eksojen SA uygulamalarının; bitki türü, uygulama şekli ve bitkinin içsel SA konsantrasyonu gibi etkenlere bağlı olarak, sekonder stres oluşumunu indükleyebildiği ve bazı vejetatif ve biyokimyasal parametrelerde düşüşe neden olduğu bildirilmektedir. Sonuç olarak farklı bitki tür ve çeşidinde farklı uygulama dozlarının belirlenmesi amacıyla daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Kaynaklar

- Afzal I, Basra SM, Farooq M, Nawaz A. 2006. Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8(1), 23-28.
- Agarwal S, Sairam RK, Srivastava GC, Meena RC. 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, 49(4), 541-550.
- Aggarwal M, Sharma S, Kaur N, Pathania D, Bhandhari K, Kaushal N., ... Nayyar H. 2011. Exogenous proline application reduces phytotoxic effects of selenium by minimising oxidative stress and improves growth in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Biological trace element research*, 140(3), 354-367.
- Akbar Mozafari A, Dedejani S, Ghaderi N. 2018. Positive responses of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) explants to salicylic and iron nanoparticle application under salinity conditions. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 134(2), 267-275.
- Alam MM, Hasanuzzaman M, Nahar K, Fujita M. 2013. Exogenous salicylic acid ameliorates short-term drought stress in mustard (*Brassica juncea* L.) seedlings by up-regulating the antioxidant defense and glyoxalase system. *Australian Journal of Crop Science*, 7(7): 1053.
- Al-Hakimi AMA, Hamada AM. 2001. Counteraction of salinity stress on wheat plants by grain soaking in ascorbic acid, thiamin or sodium salicylate. *Biologia Plantarum*, 44(2): 253-261.
- Anuradha S, Rao SSR. 2007. The effect of brassinosteroids on radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings growing under cadmium stress. *Plant Soil and Environment*, 53(11): 465.
- Asada K. 1999. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annual review of plant biology*, 50(1): 601-639.
- Ashraf M, Foolad MR. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 206-216.
- Avestan S, Ghasemnezhad M, Esfahani M, Byrt CS. 2019. Application of Nano-Silicon Dioxide Improves Salt Stress Tolerance in Strawberry Plants. *Agronomy*, 9(5): 246.
- Bi YM, Kenton P, Mur L, Darby R, Draper J. 1995. Hydrogen peroxide does not function downstream of salicylic acid in the induction of PR protein expression. *The Plant Journal*, 8(2): 235-245.
- Burkhanova EA, Fedina AB, Kulaeva ON. 1999. Effect of salicylic acid and (2'-5')-oligoadenylates on protein synthesis in tobacco leaves under heat shock conditions: A comparative study. *Russian journal of plant physiology*, 46(1): 11-16.
- Büyük İ, Soydam-Aydın S, Aras S. 2012. Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Turkish Bulletin of Hygiene and Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, 69(2).
- Chaparzadeh N, Hosseinzad-Behboud E. 2015. Evidence for enhancement of salinity induced oxidative damages by salicylic acid in radish (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 5(1): 23-33.
- Chen Z, Zheng Z, Huang J, Lai Z, Fan B. 2009. Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant signaling and behavior*, 4(6): 493-496.
- Cutt JR, Klessig DF. 1992. Salicylic acid in plants. A changing perspective. *Pharmaceutical Technology*, 16: 25-34.
- Çanakçı S. 2008. Effects of salicylic acid on fresh weight change, chlorophyll and protein amounts of radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings. *Journal of Biological Science*, 8(43), 435.
- Çömlekçioğlu N, Arıkan S. 2017. Fizyolojik stres ve eksojen poliaminlerin *Isatis tinctoria* L. yapraklarındaki indigo miktarı ve fide gelişimi üzerine etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(3): 261-267.
- Dražić G, Mihailović N. 2005. Modification of cadmium toxicity in soybean seedlings by salicylic acid. *Plant science*, 168(2): 511-517.
- Eraslan F, Inal A, Gunes A, Alpaslan M. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia horticulturae*, 113(2): 120-128.
- Esim N, Atici O, Mutlu S. 2014. Effects of exogenous nitric oxide in wheat seedlings under chilling stress. *Toxicology and Industrial Health*, 30: 268-274.
- Farooq M, Basra SMA, Wahid A, Ahmad N, Saleem BA. 2009. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(4), 237-246.
- Fayez KA, Bazaid SA. 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(1): 45-55.
- Garcia-Mata C, Lamattina L. 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. *Plant Physiology*, 126: 1196-1204.
- Harper JP, Balke NE. 1981. Characterization of the inhibition of K⁺ absorption in oat roots by salicylic acid. *Plant Physiology*, 68: 1349-53.
- Hasanuzzaman M, Fujita M. 2013. Exogenous sodium nitroprusside alleviates arsenic-induced oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings by enhancing antioxidant defense and glyoxalase system. *Ecotoxicology*, 22(3), 584-596.
- Hasanuzzaman M, Nahar K, Gill SS, Fujita M. 2013. Drought stress responses in plants, oxidative stress, and antioxidant defense. *Climate change and plant abiotic stress tolerance*, 209-250.
- Hasanuzzaman M, Alam MM, Nahar K, Ahamed KU, Fujita M. 2014. Exogenous salicylic acid alleviates salt stress-induced oxidative damage in *Brassica napus* by enhancing the antioxidant defense and glyoxalase systems. *Australian Journal of Crop Science*, 8(4): 631.
- Hayat S, Hasan SA, Fariduddin Q, Ahmad A. 2008. Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions*, 3(4): 297-304.
- He Y, Zhu ZJ. 2008. Exogenous salicylic acid alleviates NaCl toxicity and increases antioxidative enzyme activity in *Lycopersicon esculentum*. *Biologia Plantarum*, 52(4): 792.

- Heuer B. 2003. Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. *Plant Science*, 165(4): 693-699.
- Horváth E, Szalai G, Janda T. 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(3): 290-300.
- Hussain M, Malik MA, Farooq M, Ashraf MY, Cheema MA. 2008. Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(3): 193-199.
- Kang G, Wang C, Sun G, Wang Z. 2003. Salicylic acid changes activities of H₂O₂-metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 50(1): 9-15.
- Kang HM, Saltveit ME. 2002. Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedling leaves and roots are differentially affected by salicylic acid. *Physiologia Plantarum*, 115(4): 571-576.
- Karaca P. 2019. Tuz stresi uygulanan domates bitkisinde ekzojen melatonin bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisi (Master's thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü). P: 25.
- Keppler LD, Novacky A. 1987. The initiation of membrane lipid peroxidation during bacteria-induced hypersensitive reaction. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 30(2): 233-245.
- Khan A, Ashraf M. 2008. Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 63(1-3): 224-231.
- Khan MIR, Fatma M, Per TS, Anjum NA, Khan NA. 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6: 462.
- Klessig DF, Malamy J. 1994. The salicylic acid signal in plants. *Plant Molecular Biology*, 26: 1439-1458.
- Korkmaz H, Durmaz A. 2017. Bitkilerin Abiyotik Stres Faktörlerine Karşı Geliştirilen Cevaplar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2): 192-207.
- Kosová K, Vítámvása P, Prášila IT, Renaut J. 2011. Plant proteome changes under abiotic stress -Contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *Journal of Proteomics*, 74: 1301-1322.
- Madhava Rao KV, Raghavendra AS, Janardhan Reddy K. 2005. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Netherlands: Springer, 2005: 345.
- Mahesh K, Balaraju P, Ramakrishna B, Rao SSR. 2013. Effect of brassinosteroids on germination and seedling growth of radish (*Raphanus sativus* L.) under PEG-6000 induced water stress. *American Journal of Plant Sciences*, 4(12): 2305.
- Merkouropoulos G, Barnett DC, Shirsat AH. 1999. The Arabidopsis extensin gene is developmentally regulated, is induced by wounding, methyl jasmonate, abscisic and salicylic acid, and codes for a protein with unusual motifs. *Planta*, 208(2): 212-219.
- Metwally A, Finkemeier I, Georgi M, Dietz KJ. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Plant physiology*, 132(1): 272-281.
- Mikołajczyk M, Awotunde OS, Muszyńska G, Klessig DF, Dobrowolska G. 2000. Osmotic stress induces rapid activation of a salicylic acid-induced protein kinase and a homolog of protein kinase ASK1 in tobacco cells. *The Plant Cell*, 12(1): 165-178.
- Mishra A, Choudhuri MA. 1999. Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. *Biologia Plantarum*, 42(3): 409-415.
- Moussa HR. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 8(3): 293-297.
- Németh M, Janda T, Horváth E, Páldi E, Szalai G. 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. *Plant Science*, 162(4): 569-574.
- Noreen S, Ashraf M. 2008. Alleviation of adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of salicylic acid: growth and photosynthesis. *Pakistan Journal of Botany*, 40(4): 1657-1663.
- Okuma E, Murakami Y, Shimoishi Y, Tada M, Murata Y. 2004. Effects of exogenous application of proline and betaine on the growth of tobacco cultured cells under saline conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(8): 1301-1305.
- Pa' l M, Szalai G, Horva'th E, Janda T, Pa' ldi E. 2002. Effect of salicylic acid during heavy metal stress. *Acta Biologica Szegediensis*, 46:119-120.
- Pan Q, Zhan J, Liu H, Zhang J, Chen J, Wen P, Huang W. 2006. Salicylic acid synthesized by benzoic acid 2-hydroxylase participates in the development of thermotolerance in pea plants. *Plant Science*, 171(2): 226-233.
- Park EJ, Jeknic Z, Chen TH. 2006. Exogenous application of glycinebetaine increases chilling tolerance in tomato plants. *Plant and cell physiology*, 47(6): 706-714.
- Parvin S, Javadi T, Ghaderi N. 2015. Proline, protein, RWC and MSI contents affected by paclobutrazol and water deficit treatments in strawberry cv. Paros. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 48(1): 107-114.
- Raskin I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annual review of plant biology*, 43(1): 439-463.
- Rivas-San Vicente M, Plasencia J. 2011. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of experimental botany*, 62(10): 3321-3338.
- Rodríguez M, Canales E, Borrás-Hidalgo O. 2005. Molecular aspects of abiotic stress in plants. *Biotechnología Aplicada*, 22 (1): 1-10.
- Sakhabutdinova AR, Fatkhutdinova DR, Bezrukova MV, Shakirova FM. 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 21: 314-319.
- Senaratna T, Mckersie BD, Borochoy A. 1987. Desiccation and free radical mediated changes in plant membranes. *Journal of Experimental Botany*, 38(12): 2005-2014.
- Senaratna T, McKersie BD, Stinson RH. 1985. Simulation of dehydration injury to membranes from soybean axes by free radicals. *Plant physiology*, 77(2): 472-474.
- Senaratna T, Touchell D, Bunn E, Dixon K. 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30(2): 157-161.
- Shakirova FM, Bezrukova MV, Khairullin RM, Yamaleev AM. 1993. Increased Lectin Level in Wheat Seedlings Induced by Salt Stress. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya*, (1): 142-145.
- Shi Q, Bao Z, Zhu Z, Ying Q, Qian Q. 2006. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant growth regulation*, 48(2): 127-135.
- Shulaeva V, Cortesa D, Miller G, Mittler R. 2008. Metabolomics for plant stress response. *Physiologia Plantarum*, 132: 199-208.
- Singh B, Usha K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, 39(2): 137-141.

- Strobel NE, Kuc JA. 1995. Chemical and biological inducers of systemic resistance to pathogens protect cucumber and tobacco plants from damage caused by paraquat and cupric chloride. *Phytopathology* (USA).
- Szepesi Á. 2006. Salicylic acid improves the acclimation of *Lycopersicon esculentum* Mill. L. to high salinity by approximating its salt stress response to that of the wild species *L. Pennellii*. *Acta Biologica Szegediensis*, 50(3-4): 177-177.
- Wang P, Sun X, Li C, Wei Z, Liang D, Ma F. 2013. Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple. *Journal of Pineal Research*, 54(3): 292-302.
- Wu X, Ding H, Zhu W, Zhang H, Zhang HJ. 2011. Exogenous nitric oxide protects against salt-induced oxidative stress in the leaves from two genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 23: 304-307.
- Yıldız M, Terzi H, Akçalı N. 2014. Bitki Tuz Stresi Toleransında Salisilik Asit ve Poliaminler. Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering, 14: 7-22.