

Kükürt Uygulamalarına Bağlı Olarak Hıyar Bitkisinin (*Cucumis Sativus L.*) Antioksidant Enzim Aktivitesindeki Değişimler

Adem GÜNEŞ^{1*}

Osman SÖNMEZ¹

ÖZET: Ülkemiz topraklarının yüksek pH ve kireç içeriği, ya da yanlış gübreleme nedeniyle bazı bitki besin elementlerinin elverişliliği düşmekte ve stres koşulları oluşmaktadır. Ülkemizde örtü altı sebze yetiştiriciliğinde üretim ve ekiliş alanı bakımından önemli yer tutan hıyar (*Cucumis sativus L.*) bitkisinde kalite ve verim açısından olumsuz toprak koşulları ve bitki besin element elverişliliği büyük önem arz etmektedir. Olumsuz koşullara bağlı olarak oluşan oksijen radikallerinin olumsuz etkilerini gidermek için bitkide savunma mekanizmasının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yüksek pH düzeyine sahip toprakta yetiştirilen hıyar bitkisine (*Cucumis sativus L.*) kontrol ve 5 farklı dozda elementel toz kükürt (0, 20, 40, 80, 120 ve 200 kg da⁻¹) uygulanmış ve deneme 4 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. 4 kg'lık saksılarda kükürt uygulaması yapılarak karıştırılmış ve topraklar 3 aylık inkübasyon periyoduna bırakılmıştır. Inkübasyon periyodu sonucunda fide dikimi yapılmıştır. 2. hasat döneminden sonra, antioksidan enzim analizi için yaprak örnekleri alınmış ve antioksidant enzim analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elementel toz kükürt uygulamasının optimum olarak 80-100 kg da⁻¹ dozunda, bitki antioksidant enzim içeriğini artırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cucumis sativus, kükürt, antioksidant enzim

The Changes of Antioxidant Enzyme Activity of Cucumber Plant (*Cucumis Sativus L.*) Depending on Sulfur Application

ABSTRACT: Due to the high pH and lime content of our country, or due to the wrong fertilization, the availability of some plant nutrients decreases and stress conditions occur. In our country cucumber (*Cucumis sativus L.*) plant, which is important in terms of production and cultivation area, the soil conditions and plant nutrient availability are of great importance in terms of quality and yield. In order to eliminate the negative effects of oxygen radicals due to adverse conditions, the defense mechanism must be developed in the plant. For the purpose of cucumber plant grown in soil with high pH six elemental sulphur doses (0, 20, 40, 80, 120 and 200 kg da⁻¹) were applied. Sulphur doses were applied to pots filled with 4 kg soil and soils were exposed to 3-month incubation period. Seedlings were planted after the incubation period. At the end of the 2. harvest, sample were taken for antioxidant enzyme activity analysis, the leaves of the plants were removed and taken to the laboratory. Results revealed that in particular, sulfur applications have been shown to promote enzyme activity in plants up to a certain dozen. As a result of this study, it was determined that the optimum antioxidant activity of the plant would increase with sulfur application in the 80-100 kg da⁻¹ S application doses.

Keywords: Cucumber, Sulfur, antioxidant enzyme

¹Adem GÜNEŞ (Orcid ID: 0000-0003-0411-6134), Osman SÖNMEZ (Orcid ID: 0000-0002-9134-6466), Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kayseri, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Adem GÜNEŞ, e-mail: adem_gunes25@hotmail.com

Bu çalışma 25-27 Nisan 2018 tarihinde Şanlıurfa'da düzenlenen "1. Uluslararası Gap Tarım ve Hayvancılık Kongresinde" sözlü özet bildiri olarak sunulmuştur.

Geliş tarihi / Received: 17.10.2018
Kabul tarihi / Accepted: 29.01.2019

GİRİŞ

Bitkiler olumsuz toprak koşullarına karşı strese maruz kaldığında, reaktif oksijen türlerinin üretimi ile antioksidan enzimlerin aktivitesi arasındaki denge bozulur ve genellikle oksidatif hasar meydana gelir. Bu sitotoksik aktif oksijen türleri, lipidlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin oksidatif hasarı yoluyla normal metabolizmayı ciddi biçimde bozabilmektedir (Greenway ve Munns, 1980; McCord, 2000; Baysal ve ark., 2010). Ancak bitkilerdeki antioksidant miktarının artması, oksidatif strese olan toleransı artırmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda, katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX), peroksidaz (POD) ve süperoksit dismutaz (SOD) gibi antioksidatif enzimlerin aktiviteleri ile stress koşullarına karşı dayanıklılık arasında önemli korelasyonlar bulunmuştur (Mittova ve ark., 2002, 2003).

Sıcaklık, kuraklık ve tuzluluk gibi stress şartlarına bağlı olarak artan oksidatif stress koşulları altında üretilen reaktif oksijen türlerinin olumsuz etkilerini ve zarar düzeylerini azaltmak için bitkiler antioksidant enzimler üretmektedir. Bu antioksidant enzimler ROS sonucu oluşturulan H_2O_2 gibi bileşenlerin H_2O 'ya dönüşmesini sağlayarak, bitkilerin direncini artırmaktadırlar. Yapılan çalışmalarda stress koşullarına karşı toleranslı çeşitlerde duyarlı olanlara göre daha yüksek antioksidant enzim aktivitesi bildirilmiştir (Sudhakar ve ark., 2001; Demiral ve Türkan, 2004).

Kükürt, bitkide bir çok enzimin ve antioksidan molekülün önemli parçasıdır. Bitki enzimatik antioksidanları (SOD, POD, CAT, APX ve GR) ve karotenoidler ve tokoferoller gibi enzimatik olmayan antioksidanlar (Gill and Tuteja, 2010), bitkide savunma sistemini artırmaktadır. Kükürt ise, ROS'a karşı en önemli hücre içi savunma metabolitlerinden biri olan glutathiyonun (GSH) temel bileşenlerinden biridir (Kopriva ve Koprivova, 2005; Ohkama-Ohtsu ve Wasaki, 2010). Bazı kükürt bileşikleri,

reaktif oksijen türlerine karşı savunma hattı oluşturmaktadır (Rezk ve ark., 2004). Oksidatif stress kaynaklı verim kayıpları, kükürt uygulamasının etkisi ile minimize edilebilmektedir (Manna ve ark., 2013). S, kök hücreler tarafından alındıktan sonra, bitkinin ilgili organlarına taşınmaktadır (Nazar ve ark., 2011; Kopriva ve ark., 2015).

Toprak verimliliği, toprak pH'sı ile yakından ilgilidir, çünkü bitkilerin büyümesini etkilemektedir. Sulama, ilaçlama ve bilinçsiz gübre kullanımı gibi tarımsal faaliyetlere bağlı olarak yetiştirme ortamının pH'sında değişimler meydana gelebilmektedir. Ortam pH'sının uygun seviyesini korumak, bitkilerin optimal büyüme seviyesini göstermek için son derece önemlidir (Dewayne, 2014; Affandi ve ark., 2018).

Ülkemizde, seracılık sebze yetiştiriciliğinde ekim alanı ve üretim miktarı bakımında, hıyar ikinci sırada gelmektedir. Hıyar bitkisi farklı özelliklere sahip topraklarda yetişebilsede, nötr pH ve hümik asitce zengin toprakları tercih etmektedir. Hıyar bitkisi topraktaki ekstrem koşullara karşı hassas olup, optimum verim için, toprak besin maddelerinin, özellikle K ve N'un yeteri miktarda bulunması ve besin element dengesinin optimum düzeyde olması gerekmektedir. Bitkide besin element dengesinin korunabilmesi için toprakta yeterli miktarda S'nin diğer bitki besinleriyle birlikte uygulanması çok önemlidir (Scherer, 2001). Topraktaki S miktarı, ürün miktarı ve kalitesi açısından oldukça önemlidir (Jez, 2008). S bitkide, protein ve klorofil oluşumuna katkıda bulunmakta, glutasyon gibi sistein içeren peptitlerin veya çok sayıda ikincil metabolitin bir bileşeni olmakta ve kök büyümesini artırmaktadır. Ayrıca S, bitkide biyokimyasal süreçlerde etkin rol oynayarak, vitamin ve enzimlerin oluşumunda rol oynar (Kacar ve Katkat, 2007; Scherer ve ark., 2008; Abdallah ve ark., 2010; Motior ve ark., 2011).

Yapılan önceki çalışmalarda, farklı stress koşullarında bitkilerin antioksidant enzim miktarları incelenmiştir. Ancak yüksek pH gibi olumsuz toprak koşullarında ıslah amacıyla uygulanan kükürt uygulamasına bağlı olarak bitkilerdeki antioksidant enzim aktivitesinde meydana gelen değişim üzerine çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışma, farklı dozlarda kükürt uygulamasının hıyar bitkisinin antioksidant enzim aktivitesi üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada orta derecede alkalın pH'ya sahip toprakların özelliklerinin bitkisel üretim açısından, optimum seviyelere getirilmesi amacıyla, tam şansa bağlı deneme desenine göre sera şartlarında yürütülmüştür. Bu amaçla hızlı gelişmesi, yüksek verimli ve sürekli hasat periyoduna sahip olması nedeniyle olumsuz toprak koşullarından çabuk etkilenebileceği düşünülen Vista F1 çeşidi hıyar bitkisine (*Cucumis sativus* L.) kontrol ve 5 farklı dozda elementel toz kükürt (0, 20, 40, 80, 120 ve 200 kg da⁻¹) uygulanmış ve deneme 4 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. 4 kg'lık saksılarda kükürt uygulaması yapılarak karıştırılmış ve topraklar 3 aylık inkübasyon periyoduna bırakılmıştır. İnkübasyon periyodu sonucunda fide dikimi yapılmıştır. Vejetasyon periyodu boyunca rutin bakım ve sulama işlemleri yapılmıştır. 2. hasat döneminden sonra, antioksidan enzim analizi için yaprak örnekleri alınmış ve antioksidant enzim analizleri yapılmıştır.

Bitkilerde Antioksidant Enzim (Peroksidaz, Katalaz, Süperoksit Dismutaz) Ekstraksiyonu

Enzimlerin ekstraksiyonu için, taze bitki yapraklarından 0,5 g alınarak havan içine konulup üzerine sıvı azot ilave edilerek toz haline gelinceye kadar öğütülmüştür. Sonra üzerine 5 ml soğuk homojenat tamponu (%1

PVP ve 1 mM EDTA ihtiva eden 0,1 M KH₂PO₄ pH: 7,0) ilave edilmiş ve karışım bir santrifüj tüpüne aktarılarak 15000xg ve +4°C'de 15 dk. santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi sonucunda elde edilen süpernatant antioksidan enzimlerin aktivite ölçümleri için kaynak olarak kullanılmıştır (Angelini ve Federico, 1989; Angelini ve ark., 1990).

Bitkilerde Katalaz (CAT) Aktivitesinin Belirlenmesi

Reaksiyonda azalan H₂O₂ miktarını belirlemede kullanılacak olan H₂O₂ standart grafiği önceden hazırlanmıştır (Havir ve Mchale, 1987). Bunun için 5 mM H₂O₂ çözeltisinden 3 ml'lik spektrofotometre tüpüne konulmuştur. Tüpün hacmi saf su ile 1.5 ml'ye tamamlanıp her tüpe 1.475 ml, 103 mM KH₂PO₄ ve 30 µl su ilave edilmiştir. Küvet spektrofotometreye yerleştirildikten sonra 240 nm'de okunmak suretiyle standart grafik elde edilmiştir. 25°C'de, 1 dakika içinde, absorbansı 1 µM azaltan enzim miktarı 1 enzim ünitesi olarak kabul edilip sonuçlar g yaprak başına düşen enzim ünitesi (EU g⁻¹ yaprak) olarak hesaplanmıştır (Gong ve ark., 2001).

Bitkilerde Peroksidaz (POD) Aktivitesinin Belirlenmesi

Peroksidaz (POD) aktivite tayini için spektrofotometre küvetine; 100 ml 0.1 M, NaH₂PO₄ (pH 5.5) ve 5 mM guaikol içeren substrat çözeltisinden 3 ml konulduktan sonra, üzerine 10 µl enzim ekstraktı ilave edilmiştir. 470 nm'de 5 dakika boyunca absorbans artışı 1 dakika aralıklarla kaydedilip absorbansın doğrusal olarak arttığı kısımdaki absorbans artışı 1 dakikaya oranlanmıştır. 25°C'de 1 dakikada, absorbansı 0.01 artıran enzim miktarı 1 enzim ünitesi olarak kabul edilip sonuçlar g yaprak başına düşen enzim ünitesi (EU g⁻¹ yaprak) olarak ifade edilmiştir (Angelini ve ark., 1990; Yee ve ark., 2002).

Bitkilerde Süperoksid dismutaz (SOD) Aktivitesinin Belirlenmesi

Süperoksid dismutaz (SOD) aktivitesi, nitro blue tetrazoliumun (NBT) fotokimyasal indirgenmesinin inhibisyonunu, spektrofotometrik olarak belirleme esasına dayanır. Bu yöntemde ölçüm için 3 ml spektrofotometre küvetine reaksiyon karışımından 2.84 ml alınıp ve üzerine 100 µl enzim ekstraktı pipetlenmiştir. Reaksiyon, tüp üzerine 2 µM'lık riboflavin çözeltisinden 60 µl pipetlenip karıştırıldıktan hemen sonra, beyaz bir ışık kaynağı önüne yerleştirmek suretiyle başlatılmıştır. Tüp, ışık kaynağının karşısında 15 dk tutularak, NBT'nin renk açılma yoğunluğu 560 nm'de köre karşı okunmuştur. Daha sonra enzim miktarı, 1 enzim ünitesi olarak kabul edilip değerler EU g⁻¹ yaprak olarak hesaplanmıştır (Agarwal ve Pandey, 2004; Yordanova ve ark., 2004).

İstatistiksel Değerlendirme

Elde edilen veriler, SPSS programında ANOVA Duncan çoklu karşılaştırma testi ile istatistiksel açıdan değerlendirilmiş ve p<0.05 önemli düzey olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı dozlarda uygulanan kükürt'ün hıyar bitkisinin antioksidant enzim içeriği üzerine olan etkisi incelendiğinde, kükürt uygulama dozuna bağlı olarak, bitki antioksidant enzim içeriğindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05).

Kükürt dozlarının CAT enzim aktivitesi üzerine olan etkisi incelendiğinde, en yüksek CAT enzim aktivitesi 80 kg da⁻¹ kükürt uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 1). Bu uygulama dozundan sonra, bitki CAT enzim aktivitesi düşük değerler göstermiştir. En yüksek S uygulama dozunda (200 kg da⁻¹) ise CAT enzim aktivitesi 52 EU g⁻¹ yaprak olarak ölçülmüştür. 80 kg da⁻¹ S uygulama dozunda CAT enzim aktivitesi (82 EU g⁻¹ yaprak)

kontrole göre %30 oranında artış göstermiştir (Şekil 1). 200 kg da⁻¹ S uygulama dozunda ise CAT enzim aktivitesi kontrole göre %17 oranında azalmıştır.

Farklı dozlarda S uygulamasına bağlı olarak, bitki POD enzim aktivitesi değerlendirildiğinde, en yüksek POD enzim aktivitesi 200 kg da⁻¹ kükürt uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 2). Artan S uygulama dozlarına bağlı olarak bitki POD enzim aktivitesi varyasyonlar göstermiş olup, kontrole göre sürekli artış göstermiştir. 200 kg da⁻¹ S uygulama dozunda POD enzim aktivitesi (1474 EU g⁻¹ yaprak) kontrole göre %26 oranında artış göstermiştir (Şekil 2). En yüksek CAT enzim aktivitesinin elde edildiği 80 kg da⁻¹ S uygulama dozunda ise POD enzim aktivitesi %24 oranında artış elde edilmiştir.

Bitki SOD enzim aktivitesi üzerine S uygulaması farklı düzeylerde etki etmiş olup, artan S uygulama dozuna bağlı olarak SOD enzim aktivitesi kontrole göre artış göstermiştir (Şekil 3). En yüksek SOD enzim aktivitesi 120 kg da⁻¹ S uygulamasından elde edilmişti. Bu uygulama dozundan sonra, bitki SOD enzim aktivitesi düşmeye başlamıştır. En yüksek S uygulama dozunda (200 kg da⁻¹) ise SOD enzim aktivitesi 324 EU g⁻¹ yaprak olarak ölçülmüştür. 120 kg da⁻¹ S uygulama dozunda SOD enzim aktivitesi (386 EU g⁻¹ yaprak) kontrole göre %66 oranında artış göstermiştir (Şekil 3). 200 kg da⁻¹ S uygulama dozunda ise SOD enzim aktivitesi kontrole göre %40 oranında daha yüksek değer olarak ölçülmüştür.

Son çalışmalar, kükürtün bitkilerin uygun büyümesi, metabolik aktiviteleri ve gelişimi için önemli olduğunu göstermiştir. Kükürt, sistein ve metiyonin gibi amino asitlerin ve ayrıca birçok metabolitin amino asidinin önemli bir bileşeni olduğu için bitkilerin ihtiyaç duyduğu en temel makro besinlerden biridir (Leustek ve Saito, 1999). Kükürt, birçok enzimin önemli bir parçasıdır. Kükürt içeren bazı bileşikler

reaktiflere karşı bitkide etkili bir savunma sistemi oluşturabilmektedir (Rezk ve ark., 2004).

Shoja ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, kükürt uygulamasına bağlı olarak enzim aktivitesinin artış gösterdiğini belirlemiştir. Özellikle kükürt, bor ve çinko uygulamasının super oksid dismutaz enzim aktivitesini artırdığı ve kolza bitkisinin verim ve verim bileşenlerinin artmasına yardımcı olduğu belirlenmiştir. Bybordi ve Mamedov (2010) yaptıkları çalışmada benzer sonuç elde etmiş ve kükürt uygulamasının SOD enzim aktivitesini kontrole göre artırdığını belirlemiştir. Enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidant bileşikler kükürt noksanlığına bağlı olarak farklı düzeylerde oluşmuş ve yetersiz kükürt beslenmesi durumunda düzensiz antioksidant enzim aktivitesinin meydana geldiği yapılan bazı çalışmalarda ortaya konulmuş ve bu çalışma ile benzer sonuçlar göstermiştir (Chandra ve Pandey, 2014).

Diğer yapılan benzer çalışmalarda kükürt uygulamalarına bağlı olarak, çeşitli stress koşullarında üretilen serbest oksijen radikallerinin miktarlarında azalma ve bitki antioksidant enzim aktivitesinde ise artış meydana geldiği belirtilmiştir (Khan ve ark., 2014; Giordano ve Raven, 2014; Harsco, 2015). Astolfi ve Zuchi, (2013), Anjum ve ark. (2012), Zenda ve ark. (2017) gibi araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda, S uygulaması ile bitkide POD ve SOD enzim aktivitesinin stress koşullarında artış gösterdiği, organik bileşikler ile S bağlarının oluşarak bitkide dayanıklılığın arttığı, S uygulanmayan bitkilere göre S uygulamasının CAT, POD, SOD gibi enzim aktivitesini artırdığı belirtilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, literatür çalışmalarında elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermiştir.

SONUÇ

Kükürt, bitki gelişimi ve bir çok biyokimyasal olaylarda önemli bir bitki besin

elementidir. Özellikle çeşitli stress koşullarına maruz kalan bitkilerde, ortaya çıkan ROS türlerinin zararlı etkisini ortadan kaldırmak ve bitkinin tolerans derecesini artırmak için S uygulamaları önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışma sonuçlarına göre, bitkilerde S uygulamasına bağlı olarak CAT, POD ve SOD gibi enzim aktivitesi artış göstermiştir. Özellikle toprak analiz sonuçlarına göre 80-100 kg da⁻¹ S uygulamasının, bitkide optimum enzim aktivitesini artıracak şekilde belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Agarwal S, Pandey V, 2004. Antioxidant enzyme response to NaCl stress in *Cassia angustifolia* *Biologia Plantarum*, 48(4): 555-560.
- Abdallah M, Dubousset L, Meuriot F, Etienne P, Avicé JC, Ourry A, 2010. Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus* L. *Journal of Experimental Botany*, 61(10): 2335-2346
- Affandi FL, Rusli SH, Suhaini AM, Baharulrazi N, 2018. Effect of pH on Growth Rate and Yield of *Cucumis sativus*. *The Italian Association of Chemical Engineering*. 63:133-138.
- Angelini R, Federico R, 1989. Histochemical evidence of polyamin oxidation and generation of hydrogen peroxide in the cell wall. *Journal of Plant Physiology*, 135: 212-217.
- Angelini R, Manes F, Federico R, 1990. Spatial and functional correlation between diamine-oxidase and peroxidase activities and their dependence upon deetilation and wounding in chick-pea. *Planta*, 182: 89-96.
- Anjum NA, Gill SS, Umar S, Ahmad I, Duarte AC, Pereira E, 2012. Improving Growth and Productivity of Oleiferous brassicas Under Changing Environment: Significance of Nitrogen and Sulphur Nutrition, and Underlying Mechanisms. *The Scientific World Journal Volume 2012*. Article ID 657808, pp:12.

- Astolfi S, Zuchi S, 2013. Adequate sulfur supply protects barley plants from adverse effects of salinity stress by increasing thiol contents. *Acta Physiologiae Plantarum* 35(1): 175-181.
- Baysal GF, Tipirdamaz R, 2010. Physiological and antioxidant response of three cultivars of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salinity. *Turkish Journal of Biology*, 34: 287-296.
- Bybordi A, Mamedov G, 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2(1): 94-103.
- Cahandra N, Pandey N, 2014. Influence of Sulfur Induced Stress on Oxidative Status and Antioxidative Machinery in Leaves of *Allium cepa* L. *Hindawi Publishing Corporation International Scholarly Research Notices Volume 2014*, Article ID 568081.
- Demiral T, Türkan I, 2004. Does exogenous glycinebetaine affect antioxidative system of rice seedlings under NaCl treatment? *Journal of Plant Physiology*, 161: 1089-1100.
- Dewayne LI, 2014, Understanding soilless media test results and their implications on nursery and greenhouse crop management. *Agriculture and Natural Resources Publications*, 161, University of Kentucky, USA.
- Gill SS, Tuteja N, 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 909-930.
- Giordano M, Raven JA, 2014. Nitrogen and Sulfur assimilation in plants and algae. *Aquatic Botany* 118: 45-61.
- Gong Y, Toivonen PMA, Lau OL, Wiersma PA, 2001. Antioxidant system level in 'Braeburn' apple in related to its browning disorder. *Botany Bulletin in Academy*, 42: 259-264.
- Greenway H, Munns R, 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annuals Review Plant Physiology*, 31: 149-190.
- Harsco, 2015. 'Sustainable Management of Greens and Tees Under Abiotic Stress', cross over from soil to plant, *Product Information Bulletin*, Florida, USA. Available online at (Accessed 26 April 2017).
- Havir EA, Mchale NA, 1987. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. *Plant Physiology*, 84: 1291-1294.
- Jez J, 2008. Sulfur: A missing link between soils, crops, and nutrition. *Agron. Monogr.* 50. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Kacar B, Katkat AV, 2007. *Plant Nutrition*. 3rd edn. Nobel Press; Ankara, Turkey
- Khan NA, Khan MIR, Asgher M, Fatma M, Masood A, Syeed S, 2014. Salinity tolerance in plants: Revisiting the role of sulfur metabolites. *Journal of Plant Biochemistry and Physiology* 2: 120.
- Kopriva S, Calderwood A, Weckopp SC, Koprivova A, 2015. Plant sulphur and Big Data. *Plant Science* 241: 1-10.
- Kopriva S, Koprivova A, 2005. Sulphate assimilation and glutathione synthesis in C4 plants. *Photosynthesis Research* 86(3): 363-372.
- Manna P, Das J, Sil PC, 2013. Role of sulfur containing amino acids as an adjuvant therapy in the prevention of diabetes and its associated complications. *Current Diabetes Reviews*, 9: 237-248.
- McCord JM, 2000. The evolution of free radicals and oxidative stress. *American Journal of Medicine*, 108: 652-659.
- Mittova V, Guy M, Tal M, 2002. Response of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt dependent oxidative stress: increased activities of antioxidant enzymes in root plastids. *Free Radicals Research*, 36: 195- 202.

- Mittova V, Tal M, Volokita M, 2003. Up-regulation of the leaf mitochondrial and peroxisomal antioxidative systems in response to salt-induced oxidative stress in the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*. *Plant Cell Environment*, 26: 845-856.
- Motior MR, Abdou AS, Fareed HD, Khaled AT, Awad MA, Golam F, Azirun MS, 2011. Influence of elemental sulfur on nutrient uptake, yield and quality of cucumber grown in sandy calcareous soil. *Australian Journal of Crop Science*, 5(12): 1610-1615.
- Nazar R, Iqbal N, Syeed S, Khan NA, 2011. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulphur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. *Journal of Plant Physiology*, 168: 807-815
- Ohkama-Ohtsu N, Wasaki J, 2010. Recent Progress in Plant Nutrition, Research: Cross-Talk Between Nutrients, Plant Physiology and Soil Microorganisms. *Plant and Cell Physiology* 51(8): 1255-1264.
- Rezk BM, Haenen GR, van der Vijgh WJ, Bast A, 2004. Lipoic acid protects efficiently only against a specific form of peroxynitrite-induced damage. *Journal of Biology and Chemistry*, 279: 9693-9697.
- Scherer HW, 2001. Sulphur in crop production—Invited paper. *European Journal of Agronomy*. 14: 81-111.
- Scherer HW, Pacyna S, Spoth KR, Schulz M, 2008. Low levels of ferredoxin, ATP, and leghemoglobin contribute to limited N₂ fixation of peas (*Pisum sativum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) under S deficiency conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 44: 909-916
- Shoja T, Majidian M, Rabiee M, 2018. Effects of zinc, boron and sulfur on grain yield, activity of some antioxidant enzymes and fatty acid composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Acta Agriculturae Slovenica*, 111: 73-84.
- Sudhakar C, Lakshmi A, Giridarakumar S, 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 161: 613-619.
- Yee Y, Tam NFY, Wong YS, Lu CY, 2002. Growth and physiological responses of two mangrove species (*Bruguira gymnorhiza* and *Kandelia candel*) to waterlogging. *Environmental and Experimental Botany*, 1-13.
- Yordanova RY, Christov KN, Popova LP, 2004. Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 51: 93-101.
- Zenda T, LiuS, Yao D, LiuY, Duan H, 2017. Effects of sulphur and chlorine on photosynthetic parameters, antioxidant enzyme activities and yield in fresh corn grown under field conditions. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 11(6): 32-45.