

Derleme/Review

Abiyotik ve Biyotik Stres Şartlarında Silisyumun Rolü

Ayhan HORUZ*, Güney AKINOĞLU, Ahmet KORKMAZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Böl., Samsun, Türkiye
*e-mail: ayhanh@omu.edu.tr; Tel:03623121919/1061; Faks: 03624576034

Özet:Bu çalışmada bitkilerin olumsuz çevresel faktörler karşısında (abiyotik ve biyotik) geliştirdiği mekanizmalarda silisyumun rolü incelenmiştir. Silisyum bitkiler tarafından aktif veya pasif absorpsiyonla $\text{Si}(\text{OH})_4$ anyonu şeklinde alınmaktadır. Abiyotik stres şartlarında kök, yaprak veya kavuzda biriken Si silis asidi şeklinde polimerize olmak suretiyle transpirasyonu azaltarak su stresini önlemektedir. Toprak çözeltisinde Si ile Al, Fe, Mn, Cd, Pb vs kompleksleri oluşturarak olası ağır metal toksitesini azaltır. Hücre duvarının kalınlığını artırmak suretiyle gövdenin dayanıklılığını artırır. Ayrıca etileni (C_2H_4) uyarmak suretiyle yaprakların süperoksit dismutaz aktivitesini (SDA) artırarak hücrede lipidlerin peroksidasyonuna sebep olan reaktif oksijen türlerini (H_2O_2 , $^1\text{O}_2$ ve O_3) baskılamaktadır. Biyotik streslerde sitinas, peroksidaz, polipenoksidaz aktivasyonunu uyarmakta veya hızlandırmaktadır. Özellikle fitopatolojik hastalıklarda veya entomolojik zararlanma durumlarında Si dikotiledon ve monokotiledon bitkilerde flavonoidler ve anti fungal özelliklere sahip olan düşük molekül ağırlıklı bileşikler oluşturarak bu zararları azaltabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Abiyotik, Biyotik, Silisyum, Stres şartları

The Role of Silicon in Abiotic and Biotic Stress Conditions

Abstract:In this study, the role of silicon (Si) in the mechanisms developed by plants in response to adverse environmental factors (abiotic and biotic) was investigated. Silicon is taken up in the form of the anion $\text{Si}(\text{OH})_4$ with active or passive absorption by plants. Si accumulating in roots, leaves or husk under abiotic stress conditions prevents water stress by reducing transpiration by means of polymerizing in the form of silicic acid. Generating Al, Fe, Mn, Cd, Pb etc complexes in the soil solution with silicon reduces the potential heavy metal toxicity. The silicon increases the strength and rigidity of the plant stem increasing the thickness of the cell wall. It also suppresses reactive oxygen species (H_2O_2 , $^1\text{O}_2$ and O_3) which cause peroxidation of lipids in the cell by increasing the superoxide dismutase activity (SDA) of the leaves inducing ethylene (C_2H_4). It stimulates or accelerates the activation of sitinase, peroxidase, polyphenol oxidase under biotic stress conditions. Especially in the case of phytopathological diseases or entomological damages, silicon can reduce these damages forming low molecular weight compounds having flavonoids and antifungal properties in dicotyledonous and monocotyledonous plants.

Keywords: Abiotic, Biotic, Silicon, Stress condition

Giriş

Silisyum normal pH sınırları içerisinde toprak çözeltisinde genellikle çözünmüş silisik asit [$\text{H}_2\text{SiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ veya $\text{Si}(\text{OH})_4$] ve polisilisik asitler şeklinde ortaya çıkar. Bitkiler tarafından monosilisik asit $\text{Si}(\text{OH})_4$ formunda absorbe edilir (Frayse ve ark. 2010). Toprak çözeltisinin Si konsantrasyonu 0.9-23.4 ppm arasında değişmektedir (Kovda 1985).

Silisyum $\text{pH} < 8$ 'in altındaki topraklarda genellikle yüksüz H_4SiO_4 formundadır (Dietzel 2000). Toprakların çoğunda ve doğal sularda silisik asit genellikle çözünmeyen monomerik formdadır. Bununla birlikte H_4SiO_4 $\text{pH} > 9$ topraklarda $\text{H}^+ + \text{H}_3\text{SiO}_3^-$ 'e daha ileri toprak reaksiyonlarında ($\text{pH} > 11$) ise $2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$ formuna dönüşür (Knight ve Kinrade 2001). Eşitliklerden anlaşılacağı üzere toprak pH'sının yükselmesi, orto silisik asidin H^+ iyonu kaybetmesi suretiyle, -2 değerlikli anyon formuna dönüşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle toprak çözeltisinde en düşük silisyum konsantrasyonunun pH 9 ve üzerinde olduğu anlaşılmaktadır.

Toprak çözeltisinde silisyum konsantrasyonu pH, sıcaklık, tanecik boyu, minerallerinin kimyasal bileşim ve çözünürlüğü, organik madde, su içeriği, redoks potansiyeli ve sekioksitler tarafından etkilenmektedir (Savant ve ark. 1997). Toprakların çoğu silisyumca zengin olmasına karşın aşırı derecede ayrılmış, yıkanmış, asidik ve

düşük baz doygunluğuna sahip oxisisol ve ultisol topraklarda yayırlı Si genellikle düşüktür (Snyder ve ark. 1986). Toprakta silisyum i) toprak çözeltisinde ii) adsorbe formda iii) primer ve sekonder minerallerin (amorf ve özellikle kristalin yapıda olanlar) yapısında olmak üzere 3 formda bulunur (Sauer ve ark. 2006).

Silisyum bitki bünyesinde makro elementler kadar yüksek konsantrasyonlarda biriktirilmesine rağmen (Ma ve ark. 2001); yüksek bitkilerin gelişimi için mutlak gerekli elementler arasında yer almaz. Ancak fonksiyonel olarak kabul edilen (Kacar ve Katkat 2009), bitki biyolojisinde rolü az anlaşılışmış bir elementtir. Silisyumun bazı bitki türlerinin gelişimi için gerekliliği, büyümeye ve verim artışına yararı, biyokimyasal reaksiyonları düzenlediği, tuz, ağır metaller (Cd, Pb, Al, Mn vs) ve patojenik mantar katkısı hastalıklarına karşı bitki direncini arttırdığı birçok bilim adamı tarafından deneysel olarak onaylanmıştır (Inanaga ve ark. 2002; Datnoff 2005; Datnoff ve ark. 2005).

Silisyum bitkilerin kök ve sürgün dokuları (yaprak, dal vs) tarafından alınmakla birlikte biyodegradasyona (metabolik yıkıma) uğramayan bir elementtir. Silisyum bitki hücresinde DNA ve RNA moleküllerine bağlanabildiği gibi, kloroplastik membranlarda ve sitoplazmada da bulunabildiği keşfedilmiştir. Bu bulgu bitki hastalıklarına direnç mekanizmalarının geliştirilmesinde bitkilerin uyarılmalarına ilişkin streslerde çok önemli bir yere sahiptir. Bitkilerde yatma, kuraklık, don gibi bazı fiziksel stres şartlarından (Marschner ve ark. 1990); tuz zararı (Natoh ve ark., 1986), buğdayda Mn (Ahmad ve ark. 1992), fasulyede Al (Horst ve Marschner 1978), çeltikte Fe toksitesi (Li ve ark. 1989) gibi kimyasal stres şartlarına kadar silisyumun faydalı rolü (Fox ve ark. 1967) birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir.

Bu çalışmada bitkilerde abiyotik ve biyotik nedenlerle ortaya çıkan stres şartlarında silisyumun rolü incelenmiştir.

Abiyotik Streslerde Silisyumun Rolü

Bitkilerde gelişen abiyotik stres şartları fiziksel ve kimyasal olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır (Ma 2004).

Fiziksel Stresler

Silisyum kuraklık ve su stresi, rüzgar zararı, düşük ve yüksek ışık intensitesi, aşırı radyasyon, yatma ve don gibi fiziksel stres şartlarında bitkileri korur. Kuraklık ve aşırı sıcaklığın sebep olduğu yüksek transpirasyon şartlarında ksilemin epidermal hücre dokularında silisyum-selüloz membran şeklinde birikmek suretiyle transpirasyonu azaltarak su kaybını önlediği gibi aşırı transpirasyonun ksilem iletim demetlerinde oluşturacağı sıkıştırma basıncına da mani olur (Ma 2004). Yaprakların aksine çeltik kavuzu stoma içermediği için transpirasyon sadece kütikül vasıtasıyla gerçekleşir. İşte silisyum kuvuzun kütikülünde birikmek suretiyle transpirasyonla su kaybını azaltarak bitkinin kuraklıktan zarar görmesini önler (Ma ve ark. 2001).

Ayrıca Si çeltik ve buğday gibi tahılların sap hücrelerinin kalınlığını ve damar hacmini artırmak suretiyle rüzgarlı havalarda bitkilerin yatmaya karşı direncini artırdığı gibi başaktan su kaybını önleyerek sterilitiyi sağlar. Silisyum yaprakları dik tutarak ışıktan yararlanma oranını artırır (Hamayun 2010). Silisyumlu ve silisyumsuz çeltik fideleri farklı seviyelerde γ -ışınına maruz bırakıldığında +Si fidelerin diğer fidelere göre daha iyi geliştikleri ve çok daha az ağırlık kaybı gösterdikleri belirlenmiştir (Takahashi 1995). Burada silisyumun hücre membranlarındaki lipidlerin termal stabilitesini artırarak yüksek ısılarda bitkilerin zarar görmelerinin önlediği düşünülmektedir (Ageria ve ark. 1998).

Kimyasal Stresler

Kimyasal stres şartlarından fosforun noksanlığı, fosfor toksitesi, aşırı azot zararı, ağır metal toksitesi (Al, Cd, As, Pb, Mn, Fe, Cu vs), tuzluluk zararı ve Na toksitesi gibi faktörler sayılabilir.

Topraklara uygulanan monosilisilik asit $\text{Si}(\text{OH})_3^-$ Ca, Mg, Al ve Fe fosfatlardaki HPO_4^{2-} anyonu ile yer değiştirmek suretiyle P-fiksasyonunu azaltmaktadır (Voronkov ve ark. 1978). Ortamda aşırı P bulunması durumunda ise köklerin endodermal hücrelerinde fosforun kökten ksileme olan radyal taşınımına karşı apoplastik bariyer oluşturarak veya ksilemde polimerize olarak fosfor alımını azaltır (Lux ve ark. 2003).

Aşırı azot bitkilerin fazla su almaları nedeniyle hücre duvarlarını sucul yapar. Bu durum bitkilerin yatmalarına neden olur. Silisyum SiO_2 formunda gövdede, çeltik gibi bitkilerin kavuzunda depolanması hücre duvarının kalınlığını ve dolayısıyla gövdenin dayanıklılığını artırarak yatmayı ve su kaybını önler. Ayrıca silisyum yaprakların açılma açısını iyileştirerek de bitkinin dik durmasını sağlar (Muad ve ark. 2003).

Silisyum hücre duvarının ağır metallerle katyon köprüleri oluşturma özelliklerini değiştirerek ve silisyumla kompleksler oluşturmasını sağlayarak metabolizmaya verdiği zararları azaltmak suretiyle klorofil, kloroplast gibi hücre organelciklerinin stabilite ve aktivitesini artırır (Horst ve Marschner 1978).

Toprakta aşırı tuz bulunması durumunda, toprağa verilen silisyum Na-silikat oluşturmak suretiyle bitki tarından alınan Na miktarını azaltarak bitkilerde oluşacak tuz zararını önler. Bu etki, i) fotosentetik aktiviteyi artırarak ii) K/Na oranını artırarak iii) enzim aktivitesi artırarak iv) ksilemde çözünebilir maddelerin konantrasyonunu artırarak gerçekleştirilir (Matichenkov ve Bocharnikova 2001). Ayrıca silisyum tuz stresi şartlarında etileni (C₂H₄) uyarmak suretiyle yaprakların süperoksit dismutaz aktivitesini (SDA) artırarak hücrede lipidlerin peroksidasyonuna sebep olan reaktif oksijen türlerini (H₂O₂, ¹O₂ ve O₃) baskılamaktadır (Alexieva ve ark. 2003). Bu olay süperoksit olarak adlandırılan reaktif oksijen türlerinin H⁺-ATPaz (H⁺ pompası) tarafından protonlanarak H₂O'ya indirgenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu sayede bitkiler için hayati öneme sahip plazma membranlarının fonksiyonu, strüktürel yapısı ve hemeostazisi (denge hali) korunmaktadır (Liang ve ark. 2002). Ayrıca Aleshin (1982) tarafından DNA ve RNA molekülündeki fosfat anyonlarının yerine geçmek suretiyle DNA ve RNA moleküllerinin stabilitelerini artırdığı bildirilmiştir.

Biyotik Streslerde Silisyumun Rolü

Silisyumun bitki hastalıklarının meydana gelme sıklığı ve şiddetini azaltmadaki faydalı etkisi Fauteux ve ark (2005) tarafından etraflı bir şekilde rapor edilmiştir. Silisyumun koruyucu etkisini meydana getirme yolu şimdiye kadar tam olarak anlaşılabilmiş değildir (Currie ve Perry, 2007). Ancak, silisyum uygulamasına bağlı bazı bitkilerde belirli fungal hastalıkların etkilerinin azaldığı rapor edilmiştir. Bunlardan bazıları gül bitkisinde *Diplocarpen rosae* (Gillman ve ark., 2003), hıyarda *Colletotrichum orbiculare* (Sun ve ark., 2002), buğdayda *Septoria nodorum* (Rodgers-Gray ve Shaw, 2004), mısırdaki *Pythium aphanidermatum* ve *Fusarium moniliforme* (Sun ve ark., 1994), çeltikte Magnoport grisea (Seebol ve ark., 2000), arpada *Alternaria* spp. (Kunoh ve Ishiazaki, 1975) örnek olarak verilebilir.

Silisyum biyotik streslerde i) bitki büyümesini ve gelişimini uyararak verimi artırır ii) bakteri ve mantarların sebep olduğu hastalıkları baskılar (hıyar, bal kabağı, buğday, arpada gibi bazı bitkilerde toz mildiyö, çok yıllık çimlerde ve bermuda çiminde gri yaprak lekesi) iii) koçan kurdu, sap tırtılı, yaprak örümcek böceği ve değişik yaprak yiyicilerin zararlarını baskılayarak zararlarını azaltır veya önler iv) hücre duvarında birikmek suretiyle bitkiyi dış etkenler karşı güçlendirir v) hastalıklara neden olan mikroorganizmalar ile zararlanmalara yol açan böceklerle karşı koruyucu (kalkan) etki gösterir.

Biyotik etkilerin epidermal dokuda absorbe edilen Si akümülyasyonunun patojenlerin sebep olduğu konukçulara savunma tepkisi şeklinde ortaya çıktığı düşünülür. Hücre duvarında polimerize olan silisyumun meydan getirdiği çift kutikula tabakası (bir nevi kalkan) mekanik olarak bitkiyi güçlendirir ve koruyarak zararlıların neden olduğu etkileri azaltır. Silisyum aynı zamanda epidermal hücrelerin hücre duvarlarındaki organik bileşiklerle kompleksler oluşturarak; funguslar tarafından salgılanan enzimler ile hücre duvarlarının parçalanmaya karşı direncini de artırır (Hodson ve Sangster 1988). Ayrıca Mauad ve ark. (2003) silisyumun hücre duvarı kalınlığını artırarak patojen fungusların girişine mekanik direnç sağladığını bildirmişlerdir. Bu sayede silisyumun birçok bitki hastalığı (Çizelge 1) ve böcek (insektisit ve diğer pestler) zararlarını (Çizelge 2) bastırdığı bulunmuştur. Ayrıca Datnoff (2005) tarafından çim çeşitlerinde bitki patojen ve hastalıklarını önlemede silisyum gübrelemesinin etkilerine ilişkin sonuçlar Çizelge 3'de sunulmuştur.

Araştırmalar aktif olarak bitkide Si'un rolü ve bu elementin bitki hastalıklarına karşı savunma reaksiyonlarının sebepleri üzerinde durmaktadır. Silisyumun sitinase aktivitesini uyardığı ve fungus enfeksiyonundan sonra peroksidaz ve polipenoksidazın aktivasyonunu hızlandırdığı gösterilmiştir (Belanger ve ark. 1995). Silisyumla iyileştirilmiş bitkilerden ekstrakte edilen fenolik bağlı glikozitlerden β-glukosidas enziminin hidrolizini sağlayarak kuvvetli bir fungustatik aktivite oluşturduğu gözlenmiştir. Son zamanlarda; Si ile gübrelenmiş dikotiledon ve monokotiledon bitkilerde flavonoidler ve anti fungal özelliklere sahip olan düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin oluştuğu görülmüştür. Si gübrelenmesi uygulanan bitkiler Si uygulanmayan bitkilere göre inoküle edilen patojenlere karşı dayanıklı bulunmuşlardır. Bu durumun Si uygulaması sonucu oluşan antifungal bileşiklerin bitki hastalıklarını azaltmadaki aktif rolünden kaynaklandığı düşünülmüştür (Rodrigues ve ark. 2004).

Çizelge 1. Silisyumla önlenen bitki hastalıkları (Barker ve Pilbeam 2007).

Bitki	Hastalık	Patojen
Arpa (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	Külleme	<i>Erysiphe graminis</i>
Hıyar (<i>Cucumis sativus</i> L.)	Kök çürüklüğü	<i>Pythium</i>
Çeltik (<i>Oriza sativa</i> L.)	Kahverengi yaprak lekesi	<i>Helminthosporium oryzae</i>
Çeltik	Kabukta kahverengi benek lekesi	<i>Cochliobolus miyabeanus</i> (<i>bipolaris oryzae</i>)
Çeltik	Danede renk solukluğu	<i>Bipolaris, Fusarium, Epicoccum, etc.</i>
Çeltik	Çeltik yanıklığı	<i>Magnaportha grisea</i> (<i>Pyricularia grisea</i>)
Çeltik	Yaprak yanıklığı	<i>Gerlachia oryzae</i>
Çeltik	Kın yanıklığı	<i>Thanatephorus cucumeris</i> (<i>Rhizoctonia solani</i>)
Çeltik	Kılıf yanıklığı	<i>Corticium saskii</i> (<i>shiraii</i>)
Çeltik	Sap çürüklüğü	<i>Magnaporthe salvanii</i>
Buğday (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Septorya yaprak lekesi	<i>Septoria nodorum</i>
Şeker kamışı (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	Yaprak mantari pas lekesi	<i>Besin maddesi noksanlığı</i>
	Leptosphaeria halka leke	<i>Leptosphaeria sacchari</i>
Domates (<i>Lycopersicon esulentum</i> Mill)	Külleme	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>
Bezelye (<i>Pisum sativum</i>)	Mycosphaerella yaprak lekesi	<i>Mycosphaerella pinodes</i>
Asma (<i>Vitis vinifera</i> L.)	Külleme	<i>Uncinula necator</i>
Hıyar (<i>cucumis sativus</i> L.)	Kök çürüklüğü	<i>Pythium aphanidermatum</i>
Çim (<i>Zoysia japonica steud</i>)	Kök çürüklüğü ve yaprak yanıklığı	<i>Rhizactonia solani</i>

Çizelge 2. Silisyumla önlenen böcek zararlıları (Snyder ve ark. 2006).

Bitki	Zararlı	Böcek
Mısır (<i>Zea mays</i> L.)	Mısır koçan kurdu	<i>Sesamia calamistis</i>
Çeltik (<i>Oriza sativa</i> L.)	Çizgili gövde kurdu	<i>Chilo suppressalis</i> Scirpophage incertulas
Çeltik	Gövde kurdu	<i>Chlorops oryzae</i>
Çeltik	Yeşil yaprak zararlısı	<i>Nephotettix bip nctatus</i> cinticeps
Çeltik	Kahverengi emici böcekği	<i>Nilaparvata lugens</i>
Çeltik	Beyaz-siyah emici böceği	<i>Sogatella furcifera</i>
Çeltik	Kırmızı örümcek	<i>Tetranychus</i> spp.
Çeltik	Akar	Noninsect pests (akar)
Çeltik	Gri bahçe sümüklü böceği	<i>Deroceras reticulatum</i>
Çeltik	Kelebek kurdu	<i>Chilo zacconius</i>
Buğday (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Un biti	<i>Tribotium castaneum</i>
Asma (<i>Vitis vinifera</i> L.)	Meyve çatlatan	Noninsect pests (akar)
İtalyan karaçayı (<i>Lolium multiforum</i> Lam)	Çayır kurdu	<i>Oscinella frit</i>
Sorgum (<i>Sorghum bicolar Moenh</i>)	Parazit bitkisi	Scrophulariaceae; <i>Striga asiatica</i> Kuntze
Şeker kamışı (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	Gövde kurdu	<i>Diatraea succharira</i>
Çim (<i>Zoysia japonica steud</i>)	Çim kurdu	<i>Spodoptera depravata</i>

Çizelge 3. Çim çeşitlerinin bitki patojen ve hastalıklarına rezistans bakımından silisyum gübrelemesinin etkisi (Datnoff 2005).

Çim Çeşitleri	Hastalık	Patojen	Etki*	Referans
Zoysia japonicum	Yaprak yanıklığı	Rhizoctonia solani	<	Saigusa ve ark. 2000
	Kök çürüklüğü	Pythium aphanidermatum	<	Gussack ve ark. 1998
Agrustis palustris	Kahverengi leke	Rhizoctonia solani	<	North Carolina State 1997
	Dollar lekesi	Sclerotinia homoeocarpa	<	Uriarte ve ark. 2004
Poa pretensis	Külleme	Sphaerotheca fuliginea	<	Hamel ve Heckman 1999
Cyndondctylon	Yaprak lekesi	Bipolaris cynodontis	<	Datnoff ve Rutherford 2004
Stenatophrum secundatum	Gri yaprakyanıklığı	Magnaporthe grisea	<	Breth ve ark. 2004 Datnoff ve Nagata 1999
Lolium perenne	Gri yaprak yanıklığı	Magnaporthe grisea	<	Nanayakkara ve ark. 2005

*Kalsiyum silikat

Silisyumun çevresel stres faktörlerindeki önemi kadar genotip faktörleri de önemlidir. Aktaş ve Tunalı (1986) yaptıkları çalışmada çeltiğin önemli hastalıklarına karşı çeltik çeşitlerinin reaksiyonlarını incelemişler ve kök çürüklüğüne karşı Rocca, Iskra, Radina çeşitleri ile NI-41T-IT-DT hattını dayanıklı, diğer denedikleri 28 çeşit ve hattı ise duyarlı ve orta derecede dayanıklı ve orta derecede duyarlı bulduklarını bildirmişlerdir.

Silisyum Gübrelemesi

Silisyumlu gübre olarak, kalsiyum silikat (CaSiO_3), magnezyum silikat (MgSiO_3), potasyum silikat (K_2SiO_3), silis asidi [Si(OH)_4] veya monosilik acid (H_4SiO_4) kullanılabilir. Silisyumlu gübrelerin kullanımı ile çeşitli bitkilerde direkt veya dolaylı verim artışına yönelik pekçok araştırma sonucu bulunmaktadır. Bunların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Aşırı azotlu gübreleme sonucu oluşabilecek yatma problemlerinin önlenmesi yönünden çeltik bitkisine azotlu gübre dozuna bağlı olarak silisyumlu gübrelemenin de yapılması gerektiği belirtilmiştir (Gascho ve Korndörfer 1998). IAC 202 çeltik çeşidine azot'un üre formunda (5-75-150 ppm N) ve silisyum'un kalsiyum silikat formunda (0-200-400 ve 600 ppm SiO_2) uygulanarak yürütülen tarla denemesinde çeltiğin yetersiz azotlu gübreleme durumunda aşırı kardeşlenmeden dolayı fertil bitki ve başakçık yüzdesi ile 1000 dane ağırlığı azalmıştır. Silisyumlu gübreleme ise salkımdaki boş başakçık sayısını azaltmış, ancak istatistiksel olarak önemli olmasa da 1000 dane ağırlığını artırmıştır (Mauad ve ark. 2003).

Horuz ve Korkmaz (2012) Samsun yöresinde sera şartlarında yürüttükleri çalışmada 25 farklı çeltik toprağına silisik asik formunda 0-50-100-200-400 ppm Si uygulaması sonucu yöre topraklarının % 72'sinin 50-400 ppm arasında silisyumlu gübre gereksinimleri olduğu, silisyum gübrelemesinin çeltik dane verimini ortalama % 45 oranında artırdığı ve optimum silis dozunun 200 ppm olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca yapılan çalışmada silis gübrelemesinin tuzların zararlı etkilerini azalttığı; ancak toprakların EC ve SAO oranı arttıkça Si gübrelemesinin çeltik dane veriminde sağladığı artışlarda azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Liang ve ark. (2005) sera denemesinde mısır bitkisine 20-40 ppm Cd ile 400 ppm Si uygulaması sonucu toprak pH'sının arttığı Cd'u immobilize olduğu ve bitkide Cd-detoksifikasyonu oluşturarak biomas gelişiminin artarak devam ettiğini bildirmişlerdir. Yapraktan 1.1-2.2 kg Si/ha, topraktan 22,4 kg Si/ha dozlarında potasyum silikat şeklinde silisyum uygulamalarının bitkide yıpranma zararını %20 oranında azalttığı tespit edilmiştir (Takahashi ve ark., 1990). Si ile gübrelenmiş çimlerin gübrelenmemişlere göre yaprak kalite ve renginde artış olduğu, kuraklık stresine daha iyi dayandıkları ve yaprak yoğunluğunun da %23,5 oranında arttığı görülmüştür (Trenholm ve ark. 2004))

Dobermann ve Fairhurst (2000) 1 ton çeltik dane verimi ile kaldırılan Si miktarının 50-110 kg arasında olduğunu, çeltiğin ortalama 80 kg Si kaldırdığını bildirilmişlerdir. Aynı araştırmacılar toprakta kritik Si seviyesinin 40 ppm altına düşmesi halinde çeltiğe dönüme 12 ile 20 kg arası Ca-silikat, 4 ile 6 kg arası K-silikat tavsiye edildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca litrede 3-8 mg Si içeren sulama suyundan 1000 mm kullanılması durumunda dönüme 3-8 kg Si girişi olabileceğini de belirtmişlerdir.

Fertigasyonla yapılacak uygulamalarında besin solüsyonu tanklarına silisyumun 50 ppm konsantrasyonunda uygulanması gerektiği aksi takdirde tanklarda çökelmeye sebep olacağı bunu önlemek için ikinci bir tankta 100 ppm Si'un haftada bir kez uygulaması önerilmiştir (Heckman ve Provance-Bowley 2011).

Silisyumun organik bir kaynaktan verilmesi gerektiğinde çeltik kavuz külünün uygulanabileceği de belirtilmiştir. Zira çeltik dane ağırlığının % 22'sini kavuz oluşturmakta ve kavuzun %85-90'i amorf silika ve lignin içermekte olup, 1000 kg daneden 220 kg kavuz elde edildiği, 220 kg kavuzun da 55 kg küle eşdeğer olduğu tespit edilmiştir (Anonymous, 2009). IRRİ (1980) kongre raporunda Amarasiri (1978)'nin Sri Lanka'da çeltik bitkisi ile sürdürdüğü denemelerinde 69:20:18 NPK'ya ilaveten 0,74 ton/ha çeltik kavuz külü uygulaması ile hektara 1-1,4 ton ilave verim artışı elde etmiştir. Ancak çeltik kavuz külünün daha fazla artırılması ürünü azaltmıştır (Amarasiri ve Wickramasinghe 1977).

Kaya ve ark. (2008), tuz stresi altında (0-100 mM NaCl) gelişen buğday bitkilerinde besin çözeltisine Nasilikatı(Na_2SiO_3) 0,25-0,5 mM Si oranlarında ilave etmişler ve tuzun bitki kuru maddesi ve klorofil kapsamı üzerine negatif etkileri silisyum ilavesiyle düzeltildiğini ve yapraklarda prolin kapsamı ve membran permaabilitesinin azaldığını bildirmişlerdir.

Sonuç

Silisyumun faydalı etkileri kök, yaprak, sap, kabuk veya kavuzda depo edilmek suretiyle ortaya çıkmaktadır. Bitkilerin özellikle tahılların sürgünlerinde ne kadar çok silisyum akümüle edilirse faydalı etkiler o kadar çok artmaktadır. Diğer yandan, sürgülerde akümüle olan silisyum genotip faktörlere (bitki çeşidine) göre önemli derecede farklılık arz etmektedir. Çoğu bitki sürgünlerinde yüksek seviyelerde silisyum akümüle etme yeteneğinde değildir. Bitkilerin silisyum türü akümülyasyonundaki bu farklılık köklerin Si alım kabiliyetindeki farklılıktan kaynaklanır. Örneğin çeltik bitkisi köklerinde silisyuma özel taşıyıcı proteinlere sahip olduğundan silisyuma affinitesi yüksektir. Özellikle dikotiledon baklagil bitkileri bu çeşit taşıyıcılara sahip olmadıkları için silisyum alma kabiliyetleri monokotiledon tahıllardan daha azdır.

Çalışma sonunda çeşitli çevresel faktörlerden dolayı bitkilerde meydana gelen abiyotik stres şartlarında ve özellikle bitki hastalık ve zararlılarıyla mücadeleden harcanan para ve kaybedilen sağlık göz önüne alındığında biyotik stres şartlarının üstesinden gelinmesinde mücadelede silisyumun üstünlüğü çok açık bir şekilde gözükmektedir. Bu yüzden ülkemizde silisyumla yapılacak çalışmalara ağırlık verilmesi rolü ve ülkemiz dahilinde K veya Ca silikat gibi silisyumlu gübrelerin imalatının yapılarak çiftçilerimiz tarafından kullanımının teşvik edilmesi önerilmiştir.

Kaynaklar

- Ahmad RS, Zaheer H, Ismail S (1992). Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Sci.*, 85: 43-50
- Aktaş H, Tunalı B (1986). Türkiye' de ekimi yapılan ve ümit var çeltik çeşitlerinin *Pyricularia oryzae* Bri.et Cav., *Drechslera oryzae* Subram. and Jan ve *Fusarium moniliforme* Sheld' ye karşı reaksiyonlarının saptanması. *Bitki Koruma Bülteni*, 26 (1-2): 41-58.
- Alexieva V, Ivanov S, Sergiev I, Karanov E (2003). Interaction Between Stress Bulg. *J. Plant Physiol*, Special Issue 1-17.
- Amarasiri SL, Wickramasinghe K (1977). Use of rice straw as a fertilizer material. *Trop. Agric* 33: 39-49.
- Barker AV, Pilbeam DJ (2007). *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press/Taylor and Francis, USA.
- Belanger RR, Bowen PA, Ehret DL, Menzies JG (1995). Soluble silicon: Its role in crop and disease management of greenhouse crops. *Plant Dis.* 79: 329-336.
- Brecht MO, Datnoff L E, Kucharek TA, Nagata RT (2004). Influence of silicon and chlorothalonil on the suppression of gray leaf spot and increase plant growth in St. Augustine grass. *Plant Dis.*, 88: 338-344.
- Currie H, Perry C (2007). Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Ann. Bot.* 100: 1383-1389.
- Datnoff L, Brecht M, Kucharek T, Trenholm L, Nagata R, Synder G, Unruh B, Cısar J (2005). Influence of silicon (Si) on controlling gray leaf spot and more in St. Augustine grass in Florida. *TPI Turf News*. 3(2): 30-32.
- Datnoff LE (2005). *Plant Management Network*. Silicon in the life and performance of Turfgrass. Online. *Applied Turfgrass Science* doi:10.1094/ATS2005-0914-01-RV.
- Datnoff LE, Korndorfer G, Synder G (2001). *Silicon in agriculture*. Elwiser Science Publishing, p.17-39, New York.

- Datnoff LE, Nagata RT (1999). Influence of silicon on gray leaf spot development in St. Augustinegrass. *Phytopathology* 89: S19 (Abstr.).
- Dietzel M (2000) Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid. *Geochim Cosmochim Acta* 64:3275–3281
- Dobermann A, Fairhurst TH (2000). Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management. International Rice Research Institute. First edition, ISBN 981-04-2742-5, pp. 95-98.
- Fauteux F, Rémus-Borel W, Menzies J, Bélanger R (2005). Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiol. Lett.* 249: 1-6.
- Fox RL, Silva JA, Younge OR, Plucknett DL, Sherman GD (1967). Soil and plant silicon and silicate response by sugar cane. *Soil Sci. Soc. Am.* 31: 775-779
- Fraysse F, Pokrovsky OS, Schott J (2006). Surface properties, solubility and dissolution kinetics of bamboo Phytoliths. *Geochim Cosmochim Acta* 70: 1939-1951
- Gascho GJ, Korndörfer GH (1998). Availability of silicon from several sources determined by chemical and biological methods. *In: Soil Science Society of America Annual Meeting.* 18-22 October Baltimore, p. 308.
- Gillman J, Zlesak D, Smith J (2003). Applications of potassium silicate decrease black spot infection of *Rosa hybrida* 'Meilpelta'. *HortScience* 38: 1144-1147.
- Gussack E, Petrovic M, Rossi F (1998). Silicon: The universal contaminant. *Turfgrass Times*, 9: 9-11.
- Hamayun M, Sohn EY, Khan SH, Shinwari ZK, Khan AL, Lee IJ (2010). Silicon alleviates the adverse effects of salinity and drought stress on growth and endogenous plant growth hormones of soybean (*Glycine max* L.). *Pak. J. Bot.*, 42(3): 1713-1722
- Heckman JR, Provance-Bowley M (2011). Silicon in Soil Fertility and Crop Production; Ten years of Research. Northeast Branch Crops, Soils and Agronomy Meeting Abstracts. njaes.rutgers.edu/pubs/soilprofile/sp-v20.pdf. (Erişim tarihi: 20 Mart, 2014)
- Hodson MJ, Sangster AG (1988). Silica deposition in the influence bracts of wheat (*Triticum aestivum*). 1 Scanning electron microscopy and light microscopy. *Can. J. Botany.* 66: 829-837.
- Horst WJ, Marschner H (1978): Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Soil.* 50: 287-303
- Horuz A, Korkmaz A (2012). Terme ve Bafra yöresinde çeltik yetiştirilen asit, tuzlu ve sodyumlu toprakların silisyum durumu ile ihtiyaçlarının belirlenmesi ve bu topraklarda elverişli silisyum miktarının belirlenmesinde kullanılacak yöntemlerin seçimi. OMÜ PYO.ZRT. 1901.11.008 BAP projesi sonuç raporu. Samsun
- Inanaga S, Higuchi Y, Chishalci, N (2002). Effect of silicon application on reproductive growth of rice plant. *Soil Sci Plant Nutr.* 48(3): 341-345.
- IRRI (1980). Organic matter and rice. International rice research institute. ISBN 971-104-104-9.
- Kaya C, Tuna L, Higgs D, Murillo-Amador B, Aydemir S, Girgin AR (2008). Silicon Improves Salinity Tolerance in Wheat Plants. *Environmental and Experimental Botany.* 62: 10-16.
- Knight CTG, Kinrade SD (2001) A primer on the aqueous chemistry of silicon. *In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndörfer GH (eds) Silicon in agriculture.* Elsevier, Amsterdam, pp. 57–84
- Kovda VA (1985) Biogeochemistry of soil cover. Nauka Publication, Moscow, pp 159-179
- Kunoh H, Ishizaki H (1975). Silicon levels near penetration sites of fungi on wheat, barley, cucumber and morning glory leaves. *Physiol. Plant Pathol.* 5: 283-287.
- Leusch H, Buchenauer H (1989). Effect of soil treatments with silica-rich lime fertilizers and sodium trisilicate on the incidence of wheat by *Erysiphe graminis* and *Septoria nodorum* depending on the form of N-fertilizer. *J. Plant Dis. Prot.* 96: 154-172.
- Liang Y, Wong JW, Wei L (2005). Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. *Chemosphere*, 58(4): 475-83.
- Liang YC, Ding RX (2002). Influence of silicon on microdistribution of mineral ions in roots of salt-stressed barley as associated with salt tolerance in plants. *Sci China (Series C)*, 45: 298-308
- Lux A, Luxová M, Abe J, Morita S, Inanaga S. (2003). Silicification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) root and leaf. *Plant and Soil.* 255(1): 85–91
- Ma JF (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses, *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(1): 11-18
- Ma JF, Miyake Y, Takahashi E (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. *In: Datnoff, L., Korndorfer, G., Snyder, G. (Eds.), Silicon in Agriculture.* Elsevier Sci. Publishing, New York, pp. 17-39.
- Ma JF, Takahashi E (2002). *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*, Elsevier Science, Amsterdam
- Marschner H, Oberle H, Cakmar I, Romheld V (1990). *Plant Nutrition-Physiology and Application.* Kluwer Academic Dordrecht (M.L. Van Benschoten, ed.) pp: 241-249.

- Matichenkov VV, Bocharnikova EA (2001). The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, H. Korndorfer, eds. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier, pp. 209–219.
- Mauad M, Crusciol CAC, Filho HG, Correa JC (2003). Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 60:4
- Nanayakkara UN, Uddin W, Datnoff LE (2005). Effects of silicon on development of gray leaf spot in perennial ryegrass turf. *Phytopathology* 95: S172.
- Natoh T, Kairusmee P, Takahashi E (1986). Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate. *Soil Sci Plant Nutr* 32: 295-304.
- North Carolina State University 1997. Effect of soluble silica on Brown patch and dollar spot of creeping bentgrass. *North Carolina Turfgrass Aug/spt.* pp. 34-36.
- Rodgers-Gray B, Shaw M (2004). Effects of straw and silicon soil amendments on some foliar and stem-base diseases in pot-grown winter wheat. *Plant Pathol.* 53: 733-740.
- Rodrigues FA, McNally DJ, Datnoff LE, Jones JB, Labbe C, Benhamou N, Menzies JG, Belanger RR (2004). Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: A biochemical mechanism for blast resistance. *Phytopathology* 94: 177-183.
- Saigusa M, Onozawa K, Watanabe H, Shibuya K (2000). Effects of porous hydrate calcium silicate on the wear resistance, insect resistance, and disease tolerance of turfgrass “Miyako”. *Grassland Sci.* 45: 416-420.
- Sauer D, Saccone L, Conley DJ (2006) Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments. *Biogeochemistry* 80: 89-108
- Savant NK, Synder GH, Datnoff LE (1997). Silicon management and sustainable rice production. Pages 151-199 in *Advances in Agronomy*, vol. 58. D.L. Sparks ed. Academic Pres, San Diego, CA.
- Seebold K, Datnoff L, Correa-Victoria F, Kucharek T, Snyder G (2000). Effect of silicon rate and host resistance on blast, scald, and yield of upland rice. *Plant Dis.* 84: 871-876.
- Snyder GH, Jones DB, Gascho GJ (1986) Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. *Soil Sci Soc Am J* 50: 1259-1263
- Snyder HG, Matichenkov VV, Datnoff EL (2006). *Handbook of Nutrition. Silicon Chapter 19*, Ed: Barker, A.V. and Pilbeam D.J. CRC pp. 551-568.
- Sun W, Liang Y, Yang Y (2002). Influences of silicon and inoculation with *Colletotrichum lagenarium* on peroxidase activity in leaves of cucumber and their relation to resistance to anthracnose. *Sci. Agric. Sin.* 35: 1560-1564.
- Takahashi E (1995). Uptake mode and physiological functions of silica. *Japan J. Soil Science Plant Nutrient* 49: 357-360
- Takahashi E, Ma JF, Miyake Y (1990). The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comments Agric. Food Chem.* 2: 99-122.
- Trenholm LE, Datnoff LE, Nagata RT (2004). Influence of silicon on drought and shade tolerance of St. Augustinegrass. *Hort Technology*, 14: 487-490.
- Uriarte RF, Shew HD, Bowman DC (2004). Effect of soluble silica on brown patch and dollar spot of creeping bentgrass. *J. Plant Nutri.* 27: 325-339.