

BİTKİLERDE DEMİR KLOROZU

Ahmet ÖZGÜMÜŞ*

ÖZET

Kireçli topraklarda yetişen bitkilerde sık olarak görülen demir klorozu çok yaygın bir fizyolojik bozukluk olup, bunun düzeltilmesi genellikle oldukça pahalıya mal olmaktadır. Kireçli topraklardaki demir klorozunun, topraktaki demir yarayırlılığının düşüklüğünden daha çok aşırı HCO_3^- iyonlarının etkisiyle oluşan fizyolojik bir bozukluk olduğu konusunda kanıtlar vardır.

Sorunun çözümü için, demir klorozuna neden olan çeşitli faktörler arasındaki ilişkinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Demir klorozunu düzeltici önlemler toprak özelliklerinin iyileştirilmesi, çeşit seçimi ve demir uygulamalarını içermektedir. Demir şelatlar, inorganik demir kaynaklarından daha etkili olup hem toprağa uygulanabilmekte hem de yapraklara püskürtülebilmektedirler.

SUMMARY

Iron Chlorosis in Plants

Iron chlorosis in plants grown on calcareous soils is a widespread physiological disorder and correction of the chlorosis is generally rather expensive. There is now evidence that iron chlorosis in calcareous soils results primarily not because of low iron availability in the soil, but because of a physiological disorder induced by excess HCO_3^- .

In order to solve this problem it is of great importance to detect the causal relationship of the various factors involved in iron chlorosis. Corrective measures for iron chlorosis include soil improvement, cultivar selection and supplemental iron application. Iron chelates are more effective than inorganic iron sources and can be applied either as a soil additive or as foliar spray.

1. TOPRAKTA DEMİR YARAYIŞLILIĞINI ETKİLEYEN ETMENLER

Toprakların toplam demir kapsamı genellikle çok yüksek olup ağırlıkça % 0.5-5 arasında değişmektedir. Ancak topraktaki toplam demir miktarı bitki gelişmesi yönünden fazla bir anlam taşımamaktadır. Esas önemli olan, toprakta çözünabilir halde olan ve bitkinin yararlanabileceği demir düzeyidir. Toprakların bitkiye

* Doç. Dr.; Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü.

yarayışlı demir miktarları ise, toplam demir kapsamları ile karşılaştırıldığında, son derece düşüktür.

Topraktaki demirin yarayışlılığı üzerine çok çeşitli etmenler etki yapmaktadır. Toprak pH'ı ve toprağın redoks potansiyeli ile toprağın kireç kapsamı, topraktaki demirin yarayışlılığını kontrol eden en önemli etmenlerdir. Topraktaki fosfat iyonları ile Zn, Cu, Mn, Co, Ni ve Cd gibi ağır metal iyonları da demir yarayışlılığı üzerinde oldukça önemli etki yaparlar.

Topraktaki yarayışlı demir miktarı toprak pH'ı ve toprağın redoks potansiyeli ile çok yakından ilişkilidir. Topraktaki Fe^{+2} ve Fe^{+3} iyonları konsantrasyonu büyük ölçüde sulu demir oksitlerin çözünürlüğü tarafından kontrol edilir. İyi havalandırılan koşullarda Fe^{+2} iyonları Fe^{+3} iyonlarına yükseltgendiği için, çoğunlukla toplam çözünebilir inorganik demir miktarının yalnızca küçük bir bölümünü Fe^{+2} iyonları oluşturur. Diğer taraftan pH'ın yükselmesi ile ilişkili olarak Fe^{+3} iyonları da hidroksitler halinde çökelmeye başlamakta ve toprak çözeltisindeki Fe^{+3} etkinliği azalmaktadır. Aşağıda gösterilen bu denge tepkimesi pH : 3'ün yukarısına çıktıkça daha çok $Fe(OH)_3$ çökmesi yönünde oluşmaktadır:



Yüksek pH düzeylerinde her bir birim pH yükselmesi ile, çözeltideki Fe^{+3} etkinliğinin 1000 kez azaldığı ve pH : 6.5-8.0 arasında en düşük düzeye indiği belirlenmiştir (Lindsay, 1972).

İndirgeyici olayların etkin olduğu anaerobik (havasız) toprak koşullarında Fe^{+3} iyonları bir kısım anaerobik bakterilerin yardımıyla Fe^{+2} iyonlarına indirgenir ve demir çözünürlüğü artar. Fe^{+2} iyonlarının sulu oksitler veya hidroksitler halinde çökmesi, Fe^{+3} iyonlarına oranla daha yüksek pH değerlerinde başlamaktadır. İndirgeyici olayların etkin olduğu toprak koşullarında demir hidroksitler aşağıdaki denge tepkimelerinde görüldüğü gibi Fe^{+2} iyonlarını oluşturacak şekilde çözümler:



veya



pH : 7'nin altında bu denge Fe^{+2} iyonları yönünde iken, alkalın topraklarda demir hidroksitlerin çökmesi yönünde oluşmaktadır. Bu nedenle alkalın topraklarda demir yarayışlılığı asit topraklara oranla oldukça düşüktür. Özellikle redoks potansiyelinin yüksek olduğu iyi havalandırılan koşullarda pH'ın yükselmesi, çözünebilir toplam inorganik demir miktarında hızlı bir düşmeye neden olmaktadır. İndirgeyici olayların etkin olduğu durumda demir çözünürlüğünün artması, kireçli topraklarda su ile doygunluk oranının artmasına bağlı olarak demir klorozunun şiddetlenmesi ile ters düşmektedir. Ancak kireçli topraklarda demir klorozunun temel nedeni HCO_3^- iyonlarıdır ve bu iyonların etkisiyle oluşan kloroz, topraktaki demir yarayışlılığından daha çok bitkideki fizyolojik olaylar ile ilişkilidir.

2. BİTKİLERDE DEMİR KLOROZUNUN ORTAYA ÇIKMASINDA ETKİLİ OLAN ETMENLER

Çözelti kültürleri ve toprakla yapılan araştırmalar sonunda çok çeşitli etmenlerin bitkilerde demir klorozuna neden olabildikleri belirlenmiştir. Bunlar içerisinde: 1) Yüksek ortam pH'sı, 2) Kalsiyum ve magnezyumun karbonat ve bikarbonatları, 3) Yüksek orandaki toprak nemi (kireçli topraklarda), 4) Fazlaca HCO_3^- iyonları içeren sulama suları, 5) Kötü toprak havalanması, 6) Yarıyıllı demir miktarının düşüklüğü, 7) Kök ortamındaki fosfat iyonlarının ve Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Cd gibi ağır metal iyonlarının yüksek konsantrasyonları, 8) Azot kaynağı olarak NO_3^- ile beslenme, 9) Bitki çeşitlerinin kloroza duyarlılığı, 10) Sıcaklıktaki ekstrem değerler ve yüksek ışık intensitesi, 11) Toprak organik maddesinin çok düşük ya da yüksek olması, 12) Virüsler ve diğer hastalıklar sayılabilir.

Demir klorozu asit kumlu topraklarda görüldüğü gibi ender olarak mutlak demir noksanlığından ileri gelir.

Yeryüzündeki karalarla kaplı alanın yaklaşık üçte birine yakın bölümü kireçli topraklarla kaplıdır. Kireçli ve alkalın topraklarda demir klorozuna çok yaygın ve sık olarak rastlanır. Bu tip toprak koşullarında görülen kloroz, mutlak bir demir noksanlığından ileri gelmeyip, daha çok demirin bitki dokularındaki immobilizasyonu (hareketsizleşmesi) sonucu fizyolojik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde oluşan kloroz, mutlak bir demir noksanlığından ayırdedilmek üzere *kireçten ileri gelen kloroz (lime induced chlorosis)* şeklinde ifade edilmektedir.

Kireçli ve alkalın toprak koşullarında demir çözünürlüğünün azaldığı, bitkinin topraktan demir alımının ve bitki bünyesinde demir taşınımının olumsuz olarak etkilendiği bilinmektedir. Ancak, bu tip koşullarda bitkideki demir klorozunun temel nedeni, topraktaki demir yarıyıllılığının veya bitkinin demir alımının azalması olsaydı, klorotik bitkilerin toplam demir kapsamlarının, sağlıklı bitkilerinkinden çok daha düşük olması beklenirdi. Yapılan çok çeşitli araştırmalar demir klorozu gösteren bitkilerin toplam demir kapsamlarının, çoğunlukla demir klorozu göstermeyen bitkilerinki kadar ya da daha yüksek olduğunu göstermiştir (Jacobson 1945, Mengel ve ark. 1979, Chen ve Barak, 1982). Bu durumda demirin fizyolojik olarak etkinliğinin, bitki yapraklarındaki toplam demir konsantrasyonundan daha çok bitkideki demirin çözünürlüğü veya hareketsizliği tarafından kontrol edildiği anlaşılmaktadır. Nitekim bitkilerin demirle beslenme durumlarını belirlemede, bitkinin toplam demir kapsamının fazla bir anlam taşımadığı, seyreltik HCl veya o-fenantrolin gibi belirli çözücülerde çözünen ve çoğu kez *etkin demir (active iron)* olarak nitelendirilen Fe^{+2} fraksiyonunun önemli olduğu bildirilmektedir (Katyal ve Sharma 1980, Takkar ve Kaur 1984, Lang ve Reed 1987, Rao ve ark. 1987).

Kireçli topraklarda demir klorozunun ortaya çıkmasına neden olan en önemli etmen bikarbonat (HCO_3^-) iyonlarıdır. Daha 1945'li yıllarda, fazlaca HCO_3^- içeren sulama sularının elma ve armut gibi meyve ağaçlarında demir klorozuna neden olduğu belirlenmiştir (Kissel ve ark. 1985). Rutland (1971), radyoaktif demir kullanarak açelya ile yaptığı araştırma sonunda, fazla kalsiyum bikarbonat içeren koşullarda Fe^{59} 'un kök ve yaşlı dokulardan genç dokulara taşınımının azaldığını saptamıştır. Araştırmacı ayrıca bikarbonat iyonları konsantrasyonunun yüksek olduğu durumda demirin genç dokulardaki damarlar çevresine yığıldığını ve damarlar arası hücrelere taşınımının engellendiğini belirlemiştir.

Demir noksanlığı gösteren bitki yapraklarının çoğunlukla yüksek düzeyde fosfor içermesi (Brown ve ark. 1959, Azrabadi ve Marschner 1979, Kolesch ve ark. 1984), bazı araştırmacıların, kireçli topraklardaki demir klorozunun ortamdaki Ca^{+2} ve fosfat iyonlarının birlikte etkisi sonucu ortaya çıktığını ileri sürmelerine neden olmuştur. Ancak son yıllardaki araştırma sonuçları kireçli topraklardaki demir klorozunun temel nedeninin HCO_3^- iyonları olduğunu doğrulamaktadır.

Kök ortamında fazlaca bulunan HCO_3^- iyonlarının demir klorozu yaratmadaki etkisi kesin olarak ortaya konulmuş olmakla birlikte, bu olayın mekanizması henüz tam olarak açıklanamamıştır. Mengel ve Kirkby (1987)'e göre bitki tarafından aşırı miktarlarda alınan HCO_3^- iyonlarının bitki dokularında pH'ın yükselmesine ve bunun da demirin immobilizasyonuna neden olması yani demiri metabolik olarak etkin olmıyan duruma dönüştürmesi olasıdır. Bu varsayım, demir klorozunun NO_3^- ile beslenen bitkilerde, NH_4^+ ile beslenen bitkilere göre daha çok görülmesi ile de uygunluk göstermektedir. Besin çözeltileri ile yürütülen denemelerde azot kaynağı olarak amonyumun kullanıldığı durumda çözelti pH'ının düştüğü, nitratın kullanıldığı durumda ise, bitki köklerinden ortama OH^- salınması sonucu, çözelti pH'ının yükseldiği bilinmektedir (Breteler 1973, Aktaş ve Van Egmond 1979). NO_3^- ile beslenen bitkilerde demir klorozunun daha çok görülmesi de alkalın etki sonucu demirin bitki bünyesindeki immobilizasyonuna dayandırılmaktadır. Rutland (1971), Mengel ve Bübl (1983)'ün araştırma sonuçları da apoplastlardaki yüksek pH değerlerinin, demirin plasma membranından geçişini engellediğini göstermektedir. Mengel ve Geurtzen (1986), yaprakların apoplastlarındaki pH'ın yükselmesinin, demirin Fe-3-hidroksit halinde çökmesine neden olabileceğini ifade etmişlerdir.

Kireçli topraklarda kalsiyum ve magnezyum bikarbonatlar, bitki kökleri ve mikroorganizma solunumu sonucu oluşan CO_2 ile tepkimeye girerek çözünür ve aşağıdaki tepkime denkleminde görüldüğü gibi HCO_3^- oluşur.



Eğer toprak iyi bir yapıya (strüktüre) sahipse ve atmosfer ile gaz değişimi yeterince sağlanabiliyorsa, topraktan CO_2 uzaklaşacağı için HCO_3^- birikimi fazla olmayacaktır. Ancak kireçli topraklarda toprak neminin fazla olduğu koşullarda, eğer toprak yapısı da bozüksa, oluşan CO_2 in atmosfere diffüzyonu çok yavaş olacağı için toprakta CO_2 birikimi artar. CO_2 'nin bir yandan doğrudan toprak suyunda çözünmesi, bir yandan da karbonatlar ile tepkimeye girmesi sonucu topraktaki HCO_3^- konsantrasyonu artar ve dolayısıyla demir klorozu ortaya çıkar. Fazla yağışlı koşullarda ve kötü havalandırılan topraklarda demir klorozunun daha çok görüldüğüne ilişkin bazı araştırmacıların (Boxma 1972, Kovancı ve ark. 1978, Mengel ve Kirkby 1987) görüşleri de bu açıklamaları doğrulamaktadır. Demir klorozu, özellikle ilkbahar ve yaz aylarının fazla yağışlı geçtiği yıllarda şiddetlendiği için *kötü hava klorozu* (*bad weather chlorosis*) olarak da adlandırılmaktadır (Mengel ve Geurtzen 1986).

Yukarıda açıklanan nedenlerle kireçli topraklardaki demir klorozunu kontrol etmek üzere başvuru en temel uygulamalardan biri toprak yapısının düzeltilmesidir. Mengel ve Kirkby (1987), bağlarda asma sıraları arasında derin köklü bitkilerin (brassica türleri) yetiştirilerek toprakla karıştırılmasının, toprak yapısını düzeltmek kloroz etkisini azalttığını bildirmektedirler.

Toprak çözeltisinde yüksek konsantrasyonlarda bulunan fosfat iyonlarının, demirin bitkiler tarafından alınımını ve bitki bünyesindeki taşınımını engellediği çeşitli araştırmacılarca ileri sürülmüştür. Mengel ve Kirkby (1987) fazla fosfat iyonlarının, demirin bitki köklerinin dış yüzeylerinde çökmesine neden olduğunu, ayrıca demirin bitkideki taşınımını ve işlevlerini olumsuz olarak etkileyerek demir noksanlığının ortaya çıkmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Robson ve Pitman (1983), kök ortamındaki yüksek fosfor konsantrasyonunun sadece topraktaki demirin yayılmasını etkilemekle kalmadığını, bitki bünyesinde de demir ile fosfor arasında girişim olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar demirin ferrik fosfat halinde yaprak damarları boyunca iletim demetleri içerisinde çökeldiğini ve buna bitişik dokuların demir bakımından önemli ölçüde fakir olduğunu belirtmişlerdir.

Kök ortamında yüksek konsantrasyonlarda bulunan serbest Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Cd, Cr ve Mo gibi iyonların da demir üzerine girişim yaparak bitkilerde demir klorozuna neden olabildikleri belirlenmiştir (Wallace ve DeKock 1966, Wallace ve ark. 1976). Mengel ve Kirkby (1987), demir klorozu üzerine etkileri yönünden ağır metalleri şu şekilde sıralamaktadır: $Cu > Ni > Co > Zn > Mn$.

Toprakta potasyum noksanlığı olduğu durumlarda da çeşitli bitkilerde demir klorozunun ortaya çıktığı belirlenmiştir. Hewitt (1983), potasyumun noksan olduğu durumda eğer fosfor fazlalığı da söz konusu ise demir klorozunun daha şiddetli olduğunu bildirmektedir. Potasyum noksanlığının bitkilerde demir noksanlığına neden olması, kısmen bitki köklerinde demirin tutulması ve yapraklara taşınmaması ile açıklanmaktadır.

3. DEMİRİN BİTKİDEKİ BİYOKİMYASAL İŞLEVLERİ VE DEMİR NOKSANLIĞINDA ORTAYA ÇIKAN BELİRTİLER

Demir her ne kadar klorofil molekülünün yapısında yer almıyorsa da klorofil sentezinde çok önemli bir yeri vardır. Bitki bünyesindeki toplam demirin çok büyük bir bölümü kloroplastların yapısında yer alır. Demir burada başlıca *fitoferitin* adı verilen ferrik fosfoprotein halinde depo edilmekte ve fotosentetik gereksinimler için plastidlerin oluşumunda kullanılmaktadır (Mengel ve Kirkby 1987). Kloroplastların yapısında yer alan diğer bir demirli bileşik de *ferredoksin*'dir. Bu bileşik indirgenme-yükseltgenme olaylarında elektron taşıyıcı olarak görev yapar. Çeşitli enzimlerin yapısında koenzim olarak yer alan demir, *katalas*, *peroksidaz* ve *sitokromoksidaz* gibi önemli solunum enzimlerinin etkinlikleri için de gereklidir. Metabolizmada çok önemli etkileri olmakla birlikte, hem pigmentlerindeki demir miktarı, bitki yapraklarındaki toplam demirin yaklaşık % 0.1'ini oluşturmaktadır.

Demir noksanlığı belirtileri önce genç doku ve yapraklarda görülür. Yapraklardaki kloroz, damarlar arasının yaygın ve homojen biçimde sararması şeklinde oldukça karakteristiktir. Noksanlığın ilk dönemlerinde yaprak damarları koyu yeşil renklerini korurken, damarların hemen bitişiğinden başlayarak bütün yaprak ayası açık yeşil ve sarımsı renk almaktadır. Geniş yapraklı bitkilerde, yaprak damarları dışında bütün yaprak ayasının açık yeşil-fildişi arası renk alması ve buna kontrast oluşturacak biçimde koyu yeşil renkli yaprak damarlarının ağ şeklindeki görünümü ile demir klorozunun tanınması oldukça kolaydır. Mangan noksanlığından farklı olarak yeşil renkli damarlardan, damarlar arasındaki açık renkli dokulara kes-

kin bir geçiş vardır. En genç yapraklar çoğu kez tamamen beyaza yakın renkte ve klorofilden yoksun olabilirler. Tahıllarda olduğu gibi yaprakları paralel damarlı bitkilerde ise, damarlar arasındaki dokuların oluşturduğu açık renkli zemin üzerinde koyu renkli damarların birbirine paralel ince uzun şeritler halinde yaprak boyunca uzandıkları görülür.

Noksanlığın ileriki dönemlerinde ve şiddetli noksanlık durumunda genç yapraklardan başlıyarak damarlar da yeşil rengini kaybeder. Bu durum, önce en ince damarlardan başlar, daha sonra kalın damarlara kayar. Genç yapraklar bütünüyle beyaza yakın renk alırlar. Klorozu düzeltici önlemler alınmadıkça, bu belirtiler git-tikçe daha da şiddetlenir. şiddetli klorotik durumlarda ve noksanlığın ileriki dönemlerinde nekrotik yreler ortaya çıkar, yapraklarda bükülmeler ve dökülmeler görülür. Dallar u kısımlardan başlıyarak tamamen yapraksız bir görünüm alır ve bütün dal, hatta bitkinin tamamı kuruyup ölür. Bu tip şiddetli etkiler daha çok kireçli topraklarda yetiştirilen şeftali ve kiraz gibi demir noksanlığına son derece duyarlı meyve ağaçlarında görülür (Bergmann 1968). Herhangi bir meyve bahçesinde önceleri birkaç ağaçta kloroza rastlanmakta, şiddetli kloroz durumunda ise bütün bahçenin etkilendiği görülmektedir. Demir klorozunun, herhangi bir ağacın yalnızca bir dalında ortaya çıkıp, diğer daldaki yaprakların sağlıklı görünmesi de sık karşılaşılan bir durumdur (Bergmann 1968, Teskey ve Shoemaker 1978).

Demir noksanlığı daha çok meyve ağaçlarında, asmalarda, ss, çalı ve bitkilerinde görülür. ilek, tarla fasulyesi, soya fasulyesi ve sorgum da demir noksanlığına duyarlı bitkiler olarak bilinir. Demir klorozunun mutlak demir noksanlığından daha çok başka etmenlerin etkisiyle ortaya çıkması, noksanlığı belirlemede toprak analizlerini yetersiz kılmaktadır. Klorotik bitki dokularının çoğunlukla sağlıklı bitkiler kadar ya da daha yüksek düzeylerde toplam demir içermeleri de bitki analizlerinin yorumlanmasında güçlükler yaratmaktadır. Bitkilerde demir başlıca iki şekilde bulunmaktadır. Bunlar *etkin (active)* ve *etkin olmayan (inactive)* ya da *serbest* ve *bağlı* şeklinde gruplandırılmaktadır. Bitkilerde demir klorozunu incelemek amacıyla dokularda toplam demir analizinin yapılması çoğunlukla yetersiz kalmakta iken *etkin demir* analizlerinin bu amaçla başarı ile kullanılabileceği belirlenmiştir (Llorente ve ark. 1976, Katyal ve Sharma 1984, Lang ve Reed 1987).

4. DEMİR KLOROZUNUN DÜZELTİLMESİ

Demir klorozunu önlemek veya gidermek üzere uygulanan işlemler genel olarak üç grup altında toplanabilir. Bunlar; a) Genetik kontrol, b) Kloroza neden evre koşullarının düzeltilmesi ve c) Toprağa veya yapraklara demirli gübrelerin uygulanması şeklinde sıralanabilir.

Demir klorozunu gidermek kolay olmadığı gibi çoğu kez de oldukça pahalıya malolur. Özellikle kireçli topraklarda demir noksanlığına duyarlı bitki tür ve çeşitlerinin yetiştirildiği durumda bu sorunla sık karşılaşılır. Bu konuda izlenecek en iyi yol, kloroza daha az duyarlı bitki tür ve çeşitlerini yetiştirmeye çalışmaktır. Çünkü demir klorozuna duyarlılığı yönünden bitki tür ve eşitleri arasında çok önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu durum demir klorozunun genetik olarak kontrolünde kolaylık sağlamaktadır. Soya fasulyesi ve mısır gibi çeşitli bitkilerde demir noksanlığına dayanıklı (iron efficient = demir etkin) ve demir noksanlığına duyarlı (iron

inefficient = demir etkin olmayan) çeşitler ayırılmıştır. Demir etkin bitkilerin, kök çevresindeki koşulları değiştirilebilme ve demiri yararlı hale dönüştürme yeteneğinde olduklarını bildiren Brown ve ark. (1972) ile Brown (1978), bu tip bitkilerde demir noksanlığına uyum sağlamak üzere çeşitli biyokimyasal tepkimelerin oluştuğunu ve çeşitli ürünlerin ortama salındığını rapor etmişlerdir. Bunlar: a) Bitki köklerinden H^+ iyonlarının salınması, b) Bazı bitkilerin köklerinden indirgeyici bileşiklerin salınması ve köklerde Fe^{+3} 'ün ve Fe^{+2} 'ye indirgenme hızının artması, c) Kök hücre özsularında organik asitlerin (özellikle sitratın) artması, d) Bitkinin, yetiştirme ortamındaki nispeten yüksek fosfor düzeylerine tolerans gösterebilmesidir.

Demir klorozunu önlemek üzere başvurulacak uygulamalardan biri de kloroza neden olan toprak koşullarının düzeltilmesidir. Bu konuda, alkalın topraklarda pH'ı düşürücü önlemlerin alınması, drenajı bozuk olan kireçli topraklarda yeterli drenajın sağlanması su birikintilerinin önlenmesi, toprak strüktürünün düzeltilmesi, pulluk tabanının patlatılması, toprağa organik madde karıştırılması vb. sayılabilir. Toprağa organik gübrelerin karıştırılması, demiri organik kompleksler halinde bağlayarak yararlılığını artırmak ve toprak strüktürünü düzeltmek şeklinde olumlu etkiler yapmaktadır. Ancak, mikrobiyel parçalanma sonucu CO_2 üretimini ve dolayısıyla HCO_3^- oluşumunu artırması nedeniyle olumsuz etki de söz konusudur. Bu nedenle toprağa katılacak organik maddelerin ayrışmaya dayanıklı humin maddelerince zengin olması arzu edilir. Çiftlik gübresinin, iyice ayrıştırılmadan toprağa katılması da sakıncalıdır.

Demir klorozunu düzeltmek üzere topraklara uygulanan veya/ve bitkilere püskürtülen demirli gübreler mevcuttur. Bunları, inorganik demir kaynakları ve demir içeren organik şelatlar (chelate) olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür.

Demir şelatların ticari olarak üretilmeye başlanmasından önce demirli gübre olarak inorganik demir tuzları yaygın olarak kullanılmaktaydı. Demirli gübre olarak en çok kullanılan inorganik demir kaynakları ferrous sulfat ($FeSO_4 \cdot 7 H_2O$), ferric sulfat $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 4 H_2O$ ve ferrous amonyum sulfat $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$ tir. Bu tuzların, demir şelatlarla oranla oldukça ucuz olmaları demir klorozunu düzeltmek üzere bugün bile zaman zaman tercih edilmelerine neden olmaktadır. Ancak demir klorozunu düzeltmede inorganik demir tuzlarının çoğu kez etkisiz kaldığı bilinmektedir.

Inorganik demir tuzlarının etkinlikleri toprak pH'ına ve toprağın etkin kireç kapsamına büyük ölçüde bağlıdır. Bu nedenle topraktaki kireci nötralize etmek ve toprak pH'ını düşürmek amacıyla toprağa sülfürik asit ve kükürt gibi materyaller uygulayarak demirli gübrelerin etkinliklerini ve topraktaki demirin yararlılığını artırmak üzere çok sayıda araştırmalar yapılmış bulunmaktadır. Ancak fazla kireçli topraklarda tamponluk kapasitesinin çok yüksek olduğu ve kullanılması gereken fazla miktardaki kükürt veya sülfürik asidin çoğu kez ekonomik olmayacağı gözden uzak tutulmalıdır. Nitekim, 30 cm derinliğindeki 1 dekar alanda mevcut her % 1 oranındaki $CaCO_3$ 'ü nötrleştirmek için 4396 kg H_2SO_4 'e gereksinim olduğu hesaplanmıştır (Kissel ve ark. 1985). Bununla birlikte bu materyalleri banda uygulayarak, toprağın belirli kısımlarındaki pH'ın düşürülmesi ile iyi sonuçlar alınabildiği ve bu materyallerin kullanımında tasarruf yapılabildiği belirlenmiştir (Wallace ve Mueller 1978).

Kireçli topraklara ahır gübresi ve turba gibi organik materyaller karıştırılması veya demirli gübrelerin organik materyallerle birlikte toprağa verilmesi de demir yarayışlılığını artırmaktadır (Chen ve Barak 1982, Cehen ve ark. 1982, Hangstrom 1984). Organik materyaller, inorganik demirli gübrelerin CaCO_3 ile doğrudan temasını azaltarak demirin yarayışsız şekilde çökmesini önlemek ve demir içeren çözünebilir organik kompleksler oluşturarak demir yarayışlılığını artırmaktadırlar. Süs bitkileri yetiştiriciliğinde, toprak karışımında pH'ı düşük turbaların kullanılması da demir klorozunu önlemede oldukça yararlı olmaktadır. Horesh ve ark. (1986), Washington Navel portakallarının kök yöresindeki küçük bir alana FeSO_4 ile birlikte uygulandıkları turba ile kireçten ileri gelen klorozun önlendiğini, bitkideki klorofil miktarının ve peroksidaz enzim etkinliğinin arttığını saptamışlardır.

Şelatlar, bitkilerde demir noksanlığını gidermek üzere kullanılan en güvenilir demir kaynakları olarak bilinir. Ticari olarak üretilen şelatlar yapay organik bileşiklerdir ve demir ile kompleks bir yapı oluşturarak, demirin toprakta çözünemez bileşikler haline dönüşmesini önlerler. İnorganik demir kaynaklarına oranla çok az miktarlardaki demir şelatlar klorozu önlemede yeterli olmaktadır. Ancak demir şelatların fiyatlarının inorganik demir kaynaklarına oranla çok yüksek olması, ekonomik olarak kullanılmalarını büyük ölçüde sınırlamaktadır.

Organik şelatlar içerisinde en yaygın olarak kullanılanlar EDTA (etilendiamin tetraasetik asit), EDDHA (etilendiamin di-*o*-hidroksi fenilasetik asit), DTPA (diethylentriamin pentaasetik asit) ve HEDTA (hidroksietil etilendiamin triasetik asit)'dir. Bu şelatların demir içeren şekilleri çeşitli ticari isimler altında piyasada satılmaktadır. Şelatların alkalın topraklardaki etkinlikleri, çeşitli pH düzeylerindeki etkinliklerine bağlıdır (Norvell 1972). Yukarıda adı geçen şelatlar içerisinde kireçli topraklar için en etkin demir kaynağı Fe-EDDHA'dır.

Kuykendall ve ark. (1957) Arizona'da demir klorozu gösteren limon ve portakal ağaçlarında, ağaç başına 12-24 gram Fe olacak şekilde toprağa uygulanan FeEDDHA'nın klorozu giderdiğini ve bitkilerin hızlı bir şekilde yeşil renge dönuştüklerini bildirmişlerdir. Mengel ve Kirkby (1987), narenciyeler için ağaç başına 10-20 g Fe hesabıyla demir şelatların toprağa karıştırılması ile başarılı sonuçlar alındığını bildirmekte dirler.

MAFF (1985), sera bitkileri ve süs çalıları için 1 m^2 'ye 4 g Fe-EDDHA'nın toprağa uygulanması ile klorozun önlenebileceğini bildirmektedir. Meyve ağaçları için, klorozun görüldüğü ilk yıl 3 g/m^2 veya 60 g/ağaç hesabıyla Fe-EDDHA'nın Şubat ayı başlarında ağaçların tac izdüşümündeki toprağa karıştırılması ve daha sonraki yıllarda kullanılan miktarın yarıya indirilmesi önerilmektedir. Kireçli topraklarda yetiştirilen çalı tipi meyvelerde demir klorozunu düzeltmek üzere de 8 g/m^2 hesabıyla Fe-EDDHA'nın her yıl Şubat ayı başlarında kök yöresine yakın toprağa uygulanması önerilmektedir.

Teskey ve Shoemaker (1978), erken ilkbaharda ağaç başına 0.23-0.45 kg olacak şekilde toprağa uygulanacak demir şelatların şeftalide demir klorozunu önleyebileceğini bildirmektedir.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı gibi demir yarayışlılığının oldukça düşük olduğu alkalın topraklarda çözünabilir inorganik demir tuzlarının toprağa verilmesi, demirin hızla immobilizasyonu nedeniyle fazla etkili olamamaktadır. Kireçli topraklardaki serbest CaCO_3 'ün tamamı bir asit yardımıyla nötrale edilse bile

yine pH 7.3-7.5 dolayındadır ve demir çözünürlüğü hala düşüktür. Ancak demirin toprakta tepkimeye girerek çökelmeyecek formda yani şelat halinde verilmesi etkinliğini artırmaktadır. Şelatların çok yüksek maliyetleri ise ekonomik yönden kullanılmalarını sınırlamaktadır. Bu durumda demirli gübrelerin yapraktan uygulanması önem kazanmaktadır.

Demirin yapraktan uygulanmasında hem çözünebilir inorganik tuzlar hem de şelatlar kullanılabilir. Ancak inorganik demir tuzlarının yapraklara püskürtülmesi ile her zaman iyi sonuç alınmadığı ve ayrıca bitki dokularını yakma tehlikelerinin fazla olduğu, bu nedenle de şelatların tercih edilmesi gerektiği bildirilmektedir (Patel ve ark. 1977, Needham 1983, Mengel ve Kirkby 1987).

Demir klorozu gösteren bitkilere inorganik demir tuzlarının yapraktan uygulanması durumunda, genellikle ferrous sulfat'ın % 3-4'lük çözeltisinin 25 l/da olarak püskürtülmesi önerilmektedir (Hagin ve Tucker 1982). Yapraklara püskürtmenin etkisi çok hızlıdır ve yapraklar kısa sürede yeşil renge dönebilirler. Ancak demir yaşlı yapraklardan genç yaprak ve dokulara taşınmadığı için püskürtmenin birçok kez tekrarlanması gerekir. Püskürtülecek çözeltiye, damlacıkların yaprak yüzeyine tutunmasını artırıcı bir maddenin (surfactant agent, wetter) katılması uygulamanın etkinliğini artırmaktadır.

Yapay demir şelatların ticari olarak üretilmeleriyle birlikte, yapraktan demir uygulamasında inorganik demir tuzlarının kullanılması büyük ölçüde yerini demir şelatları terk etmiştir. Demir klorozunu gidermek üzere yapraktan demir uygulamasında en çok Fe-EDTA kullanılmaktadır. Bu şelat, Fe-EDDHA'a göre daha ucuzdur.

Her iki şelat için de yapraktan uygulamada kullanılan konsantrasyon genellikle % 0.05-0.1 dir. Yani püskürtülen çözeltinin her bir litresinde 0.5-1 gram demir şelat bulunmaktadır. Püskürtülecek çözeltinin ısıtıcı bir madde içermesi ve bitkileri iyice ıslatacak şekilde fazla hacimdeki su içerisinde püskürtülmesi önerilmektedir (1 dekar alan için ortalama 100 litre çözelti hesaplanmaktadır). Buna göre örneğin % 0.1'lik çözelti püskürtülecek ise, 1 dekar alan için 100 gram Fe-EDTA 100 litre su içinde çözülmelidir.

MAFF (1985), meyveler için % 0.1'lik konsantrasyonda Fe-EDTA'nın çiçeklerde taç yaprakların dökülmesinden başlayarak 14 gün ara ile 4-5 kez püskürtülmesini önermektedir. Yaprak gübresi üreten çeşitli firmalar tarafından, demir klorozunu gidermek üzere, diğer bitki besin maddelerini de içeren ancak demir ağırlıklı olan yaprak gübreleri de üretilmektedir. Çeşitli ticari isimler altında satılan bu gübreler son yıllarda artan bir şekilde kullanılmakta ve başarılı sonuçlar alınmaktadır.

Demir içeren bileşiklerin sulama suları ile birlikte uygulanmalarının da demir noksanlığını gidermede etkili olduğu bildirilmektedir (Wallace ve North 1966, Murphy ve Walsh 1972, Kacar 1977).

Yapraktan demir uygulamasından başarılı sonuçlar alabilmek için uygulamaya bitkilerin ilk gelişme dönemlerinde (erken) başlanması çok önemlidir. Kloroz görüldüğünde gecikmeden püskürtme başlatılmalı ve kloroz düzelineye dek uygulama belirli aralıklarla (ortalama 2 hafta ara ile) sürdürülmelidir. Kloroz ne kadar ilerlemiş (şiddetlenmiş) ise uygulamanın o oranda fazla tekrarlanması gerekmektedir. Diğer taraftan çok şiddetli kloroz durumunda yalnızca yapraktan uygulama başarısız olabilmekte ve ek önlemler alınması gerekmektedir (Bu konuda demir

şelatların toprağa uygulanması ve toprakta demir yayırlılığını azaltan koşulların ortadan kaldırılmasına yönelik diğer düzeltici önlemler düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- AKTAŞ, M. and VAN EGMOND, F. 1979. Effect of nitrate nutrition on iron utilization by an Fe-efficient and an Fe-inefficient soybean cultivar. *Plant and Soil* 51: 257-274.
- AZRABADI, S. and MARSCHNER, H. 1979. Role of the rhizosphere in utilization of inorganic iron-III. compounds by corn plants. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 142: 751-764.
- BERGMANN, W. 1968. Die Bedeutung der Mikronährstoffe in der Landwirtschaft. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin. DDR.
- BOXMA, R. 1972. Bicarbonate as the most important soil factor in lime induced chlorosis in the Netherlands. *Plant and Soil* 37: 233-243.
- BRETELER, H. 1973. A comparison between ammonium and nitrate nutrition of young sugarbeet plants grown in nutrient solution at constant acidity. 1. Production of dry matter, ionic balance and chemical composition. *Neth. J. Agric. Sci.* 21: 227-244.
- BROWN, J.C. 1978. Mechanism of iron uptake by plants. *Plant Cell Environ.* 1: 249-257.
- BROWN, J.C., AMBLER, J.E., CHANEY, R.L. and FOY, C.D. 1972. Differential response of plant genotypes to micronutrients. In: *Micronutrients in Agriculture* (eds. J.J. Mortvedt, P.M. Giordano, W.L. Lindsay). Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wisconsin.
- BROWN, J.C., HOLMES, R.S. and TIFFIN, L.O. 1959. Hypotheses concerning from chlorosis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23: 231-234.
- CHEN, Y. and BARAK, P. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron.* 35: 217-240.
- CHEN, Y., NAVROT, J. and BARAK, P. 1982. Remedy of lime-induced chlorosis with iron-enriched muck. *J. Plant Nutrition* 5: 927-940.
- HAGIN, J. and TUCKER, B. 1982. Fertilization of Dryland and Irrigated Soils. Springer Verlag. Berlin-Heidelberg, New York.
- HANGSTROM, G.R. 1984. Current management practices for correcting iron deficiency in plants with emphasis on soil management. *J. Plant Nutrition* 7: 23-46.
- HEWITT, E.J. 1983. The effects of mineral deficiencies and excesses on growth and composition. In: *Diagnosis of Mineral Disorders in Plants* (ed. J.B.D. Robinson). Her Majesty's Stationery Office London, p. 54-110.
- HORESH, I., LEVY, Y. and GOLDSCHMIDT, E.E. 1986. Prevention of lime-induced chlorosis in citrus trees by peat and iron treatments to small soil volumes. *Hort. Sci.* 21 (6): 1363-1364.
- JACOBSON, L. 1945. Iron in the leaves and chloroplasts of some plants in relation to their chlorophyll content. *Plant Physiol.* 20: 233-245.
- KACAR, B. 1977. Bitki Besleme, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları No: 637, Ders Kitabı No: 200, Ankara.

- KATYAL, J.C. and SHARMA, B.D. 1980. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. *Plant and Soil* 55: 105-119.
- KATYAL, J.C. and SHARMA, B.D. 1984. Some modification in the assay of Fe^{+2} in 1-10, o-phenanthroline extracts of fresh plant tissues. *Plant and Soil* 79: 449-450.
- KISSEL, D.E., SANDER, D.H. and ELLIS, R.Jr. 1985. Fertilizer-plant interactions in alkaline soils. In: *Fertilizer Technology and Use* (ed: O.P. Engelstad). Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- KOLESCH, H., OKTAY, M. and HÖFNER, W. 1984. Effect of iron chlorosis-inducing factors on the pH of the cytoplasm of sunflower (*Helianthus annuus*). *Plant and Soil* 82: 215-221.
- KOVANCI, I., HAKERLERLER, H. and HÖFNER, W. 1978. Ursachen der Chlorosen an Mandarinen (*Citrus reticulata blanco*) der aegaeischen Region. *Plant and Soil* 50: 193-205.
- KUYKENDALL, J.R., HILGEMAN, R.H. and VANHORN, C.W. 1957. Responses of chlorotic citrus trees in Arizona to soil applications of iron chelates. *Soil Sci.* 84: 77-86.
- LANG, H.J. and REED, D.W. 1987. Comparison of HCl extraction versus total iron analysis for iron tissue analysis. *J. Plant Nutr.* 10 (7): 795-804.
- LINDSAY, W.L. 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: *Micronutrients in Agriculture* (eds. J.J. Mortvedt, P.M. Giordano, W.L. Lindsay). Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wisconsin, pp. 41-57.
- LLORENTE, S., LEON, A., TORRECILLAS, A. and ALCARAZ, C. 1976. Leaf iron fractions and their relation with iron chlorosis in citrus. *Agrochimica* 20: 204-212.
- MENGEL, K. and BÜBL, W. 1983. Verteilung von Eisen in Blättern von Weinreben mit HCO_3^- induzierter Fe-Chlorose. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 146: 560-571.
- MENGEL, K. and GEURTZEN, G. 1986. Iron chlorosis on calcareous soils. Alkaline nutritional condition as the cause for the chlorosis. *J. Plant Nutr.* 9 (3-7): 161-173.
- MENGEL, K. and KIRKBY, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition. 5th edition. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- MENGEL, K., SCHERER, H.W. und MALISSIOVAS, N. 1979. Die Chlorose aus der Sicht der Bodenchemie und Rebenernaehrung. *Mitt. Klosterneuburg* 29: 151-156.
- MINISTRY of AGRICULTURE, FISHERIES and FOOD. 1985. Fertilizer Recommendations 1985-86. Her Majesty's Stationery Office, London.
- MURPHY, L.S. and WALSH, L.M. 1972. Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. In: *Micronutrients in Agriculture* (eds. J.J. Mortvedt, P.M. Giordano, W.L. Lindsay). Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisconsin.
- NEEDHAM, P. 1983. The Occurrence and Treatment of Mineral Disorders in the Field. In: *Diagnosis of Mineral Disorders in Plants, Vol 1. Principles.* (ed: J.B. D. Robinson), Her Majesty's Stationery Office, London.

- NORVELL, W.A. 1972. Equilibria of metal chelates in soil solution. In: *Micronutrient in Agriculture*, (ed: J.J. Mortved et al.) Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisconsin.
- PATEL, G.J., RAMAKRISHNAYYA, B.V. and PATEL, B.K. 1977. Effect of soil and foliar application of ferrous sulfate and of acidulation of soil on iron chlorosis of paddy seedlings in Goradu soil nurseries in India. *Plant and Soil* 46: 209-219.
- RAO, J.K., SAHRAWAT, K.L. and BURFORD, J.R. 1987. Diagnosis of iron deficiency in groundnut, *Arachis hypogea L.*, *Plant and Soil* 97: 353-359.
- ROBSON, A.D. and PITMAN, M.G. 1983. Interactions between nutrients in higher plants. In: *Inorganic Plant Nutrition* (ed: A. Lauchli and R. L. Bielecki). Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
- RUTLAND, R.B. 1971. Radiosotopic evidence of immobilization of iron in Azelea by excess calcium bicarbonate. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96: 653-655.
- TAKKAR, P.N. and KAUR, N.P. 1984. HCl method for Fe^{+2} estimation to resolve iron chlorosis in plants. *J. Plant Nutr.* 7 (1-5): 81-90.
- TESKEY, B.J.E. and SHOEMAKER, J.S. 1978. Tree Fruit Production. Avi Publishing Comp. Inc. Westport, Connecticut.
- WALLACE, A. and DEKOCK, P.C. 1966. Translocation of iron in tobacco, sunflower, soybean and bush bean plants. In: *Current Topics in Plant Nutrition* (ed. A. Wallace), Edwards Bros., Ann. Arbor, Mich.
- WALLACE, A., MUELLER, R.T. and ALEXANDER, G.V. 1976. High levels of four heavy metals on the iron status of plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 7: 43-46.
- WALLACE, A., MUELLER, R.T. 1978. Complete neutralization of a portion of calcareous soil as a means of preventing iron chlorosis. *Agron. J.* 70: 888-890.
- WALLACE, A. and NORTH, C.P. 1966. Supplying FeEDDHA to orange trees in irrigation water. In: *Current Topics in Plant Nutrition* (ed. A. Wallace). Edwards Bros., Ann. Arbor, Mich. p. 15.