

**BİTKİLERDE VESİKÜLER - ARBUSKÜLER MİKORRHİZA
OLUŞUMUNUN BİTKİ BESLEME VE BİTKİ
KORUMADAKİ ÖNEMİ**

Semra DEMİR

Ersin ONOĞUR

**Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Bitki Koruma Bölümü 65080
Van/TURKEY**

**Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Bitki Koruma Bölümü, 35100 Bornova-
İzmir/TURKEY**

ÖZ: Bitki kökleri ile toprak fungusları arasındaki yaygın ortak yaşamın bir türü vesiküler-arbusküler mikorrhiza (VAM) olarak anılmakta ve bu konuda çeşitli ülkelerde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu yoğun ilgi başlıca iki nedene dayanmaktadır.

- Fungal partner, bitkinin yararlanamayacağı, çözünürlüğü az veya yetersiz durumdaki besin elementlerini özellikle fosforu absorbe etmekte ve bitkiye kazandırmaktadır.
- Fungal partner, başka yollarla kontrolü güç olan toprak fungusları ve nematodlara karşı konukçunun dayanıklılığını artırmaktadır. Yine karşıt bir durumda, daha iyi beslenen mikorrhizal bitki, zayıf gelişen mikorrhizasız bitkiye nazaran obligat patojenlere karşı daha duyarlı olabilmektedir.

Bu derlemede mikorrhiza üzerinde genel bir bilgi verildikten sonra kültür bitkilerinde VAM oluşumu özellenmiş ve VAM'in olumlu ve olumsuz yönleri göz önünde tutularak bitki besleme ve bitki koruma alanlarında yapılan çalışmalar değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Mikorrhiza, vesiküler-arbusküler mikorrhiza , bitki hastalıkları, bitki besleme

**FORMATION OF VESICULAR-ARBUSCULAR MYCORRHIZAE
IN PLANTS AND ITS IMPORTANCE ON PLANT
NUTRITION AND PLANT PROTECTION**

ABSTRACT: A wide range of plants have a symbiotic association with certain soil fungi located on and in their roots which are called "Mycorrhizae". A special form of this symbiosis is vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) on which intensive studies are being made in many countries. With this symbiotic association;

- The nutrients, especially phosphorus, which are not available to host plant due to low solubility or insufficiency can be absorbed by the fungal partner and can be given to host allowing a better growth of it with higher yield performance.

- *The fungal partner can induce resistance of the host plant against certain soil-borne plant pathogens and nematodes which can not be controlled easily. In opposite the better developed mycorrhizal plant could be more susceptible to obligate pathogens than the poorly grown nonmycorrhizal plant.*

In this review, after the general information given on the mikorrhiza, formation of VAM on the culture plants was summarized and attempted to evaluate some of the studies which are being made on the plant nutrition and plant protection by taking into consideration possitive and negative properties of VAM.

Keywords: *Mycorrhizae, vesicular-arbuscular mycorrhizae, plant diseases, plant nutrition*

GİRİŞ

Bilindiği gibi bitki köklerini çevreleyen toprak içerisinde mikrobiyal aktivitenin en fazla olduğu bölgeye rizosfer adı verilmektedir. Bu bölgede yaşayan saprofitik mikroorganizmaların büyük bir kısmı bitki köklerinin gelişimini etkilemezler. Buna karşılık parazitik mikroorganizmalar, bitki köklerini enfekte ederek onlardan besin kaynağı olarak yararlanırlar. Bu nedenle konukçu bitkide kök hücrelerinin doğal yapısı bozulur ve sonuç olarak bitkide patolojik belirtiler ortaya çıkar. Bazı durumlarda ise kök ile enfeksiyonu yapan mikroorganizma arasında bir denge kurulur. Mikroorganizma bitkinin köklerine zarar vermeden kendisi için gerekli olan besinleri sağlarken, konukçu bitki de aşağıda görülebileceği gibi, bu ortak yaşamdan yararlanır (Hayman, 1981; Newman ve ark., 1992).

Çeşitli fungus türleri ile bitki kökleri arasında meydana gelen bu ortak yaşama **mikorrhiza** denir.

Mikorrhiza'da bitki kökleri ve belli fungus türleri birbirlerinin partneri olacak şekilde sıkı bir yaşam birlikteliği oluştururlar. Bitkiler, bu yaşama sanılanın çok üstünde bağımlıdırlar. Bu yaşama sahip olmayan bitkiler ya gelişme depresyonuna uğramakta (*Pinus* türleri gibi) yada hiç gelişmemektedirler (orkide türleri gibi). Yine bu simbiotik yaşam o denli dengelidir ki konukçu hücrelerin büyük bir çoğunluğu fungal hifler tarafından sarılmasına rağmen, burada gözle görülür bir doku tahribatı yoktur ve belli koşullar altında konukçu bitkinin gelişimi ve çeşitli olumsuzluklara karşı direnci artmaktadır (Rhodes, 1980).

EKTO - ENDO MİKORRHİZA

Mikorrhiza, fungus hiflerinin bitki köklerinin kortikal dokuları içindeki durumlarına göre başlıca 2 gruba ayrılır.

1. Ektomikorrhiza : Bu gruba giren mikorrhiza köklerin etrafını bir hif kılıfı şeklinde saran fungal örtü ile karakterize edilir. Kök korteksinin interselüler bölgelerine doğru gelişen hifler **Hartig ağı** (Bu ağı ilk gözlemleyen Hartig adlı araştırmacıya atfen) adı verilen bir ağ şebekesi oluştururlar. Bu ağ oluşumu ektomikorrhizal funguslar için tipiktir. Ektomikorrhizal kökler genellikle şişkindirler ve bazı konukçu - fungus kombinasyonlarında, mikorrhizasız köklere göre daha fazla çatallanmış görünürler (Agrios, 1988).

Ektomikorrhiza grubuna dahil funguslar genellikle *Pinaceae* (çam, köknar, ladin v.b.), *Fagaceae* (meşe, kayın) ve *Betulaceae* (huş ağacı, akçaağaç) familyalarına dahil orman ağaçlarıyla ortak yaşama girerler.

Taksonomik olarak ektomikorrhizal funguslar, çoğunlukla *Basidiomycotina* alt şubesine dahil olmakla beraber, *Ascomycotina* ve *Zygomycotina* alt şubesine dahil fungusların da ektomikorrhizal ortaklıklar kurduğu görülmektedir. *Basidiomycotina* alt şubesi içinde en iyi bilinen fungal simbiyontlar zehirli *Amanita* türleri ve yemeklik olarak tüketilen yer mantarları (*Tuber melanospora*)dır.

2. Endomikorrhiza: İkinci büyük grup olan endomikorrhiza'da funguslar, kök korteksinde hem hücre içi hem de hücreler arası boşluklarda gelişirler. Ektomikorrhizadaki gibi kök yüzeyinde herhangi bir fungal örtü yoktur.

Endomikorrhiza'nın 3 alt grubu vardır.

2.1. Orkid Mikorrhiza: *Orchidaceae* familyasına ait üyelerde ortaya çıkar ve bu familyadaki simbiyotik yaşam şekli oldukça yaygın olduğundan ayrı bir öneme sahiptir (Peterson ve Farquhar, 1994).

2.2. Erikoid Mikorrhiza: Orman gülü (*Rhododendron*), *Azaleae*, süpürge otu (*Ruscus aculeatus* L.) ve çay üzümü gibi belli bazı bitkileri içeren *Ericaceae* familyasında görülür. Bu simbiozis tipi özellikle azotça fakir ekosistemlerdeki olumlu rolünden dolayı önemli kabul edilir (Rhodes, 1980; Peterson ve Farquhar, 1994).

2.3. Vesiküler - Arbusküler Mikorrhiza (VAM): Endomikorrhizanın en yaygın ve önemli grubu olan VAM birçok tarımsal üründe, örneğin; sebze, meyve ağaçları ve tahıllarda, süs bitkilerinde, çok çeşitli çalı ve ağaç türünde görülür.

VAM'a sahip kökler dışarıdan bakıldığında biçim ve renk bakımından mikorrhizasız köklere benzer görünürler. Fakat mikroskop altında incelendiğinde, fungus hiflerinin köklerin kortikal hücrelerine doğru gelişerek çok dallanmış, arbuskül olarak

adlandırılan emeçleri, ve yağca zengin, oval yapılı, besin deposu görevini gören, vesikül olarak tanımlanan hifsel şişkinlikleri oluşturdukları görülür (Gerdeman, 1968; Rhodes, 1980; Agrios, 1988) (Şekil 1).

Şekil 1. VAM'ın yapısı (*c* korteks; *r.h.* kök uzantısı; *f.m.* fungal miselyum; *s* spor; *v* vesikül; *a* arbuskül (Sanders et al. 1975).

Figure 1. Structure of VAM (*c* cortex; *r.h.* root hair; *f.m.* fungal mycelium; *s* spore *v* vesicle *a* arbuscule.

VAM oluşturan yaklaşık 150 fungus türünün büyük çoğunluğu *Zygomycotina* alt şubesi, *Endogonales* takımı, *Endogonaceae* familyasında yer almakta ve *Gigaspora*, *Glomus*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Glaziella* ve *Sclerocystis* genusları tarafından temsil edilmektedir (Trappe ve Schenck, 1991).

Ekto ve Endomikorrhiza'nın dışındaki bir başka mikorrhiza tipi Ektendomikorrhiza'dır. Pek fazla öneme sahip olmayan bu grup, ekto ve endomikorrhiza arasında yer alır. Tanılaması tam olarak yapılamayan ektotrofik funguslara benzerler. Fakat köklerin kortikal hücrelerinin içinde ve çevresinde gelişebilirler ve bazen köklerin yüzeyinde bir örtü halinde bulunurlar.

VESİKÜLER-ARBUSKÜLER MİKORRHİZA'DA BİTKİ VE FUNGUS ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Simbiozis Oluşumu

Genel olarak mikorrhizal funguslar ve bitki kökleri arasındaki simbiotik yaşam basamakları aşağıda şematize edildiği şekilde gerçekleşir (Şekil 2).

Bitki köklerinin VAM fungusları tarafından penetrasyonu ve kolonizasyonu birçok araştırmacı tarafından mikroskobik ve ultrastrüktürel olarak incelenmiştir (Dehne, 1977; Nehemiah, 1977).

Obligat mikroorganizmalar olan VAM fungusları bitkiye direkt penetrasyon yaparlar ve penetrasyon aşamasında bir simbiyotik ziyade patojenik bir organizma gibi davranırlar.

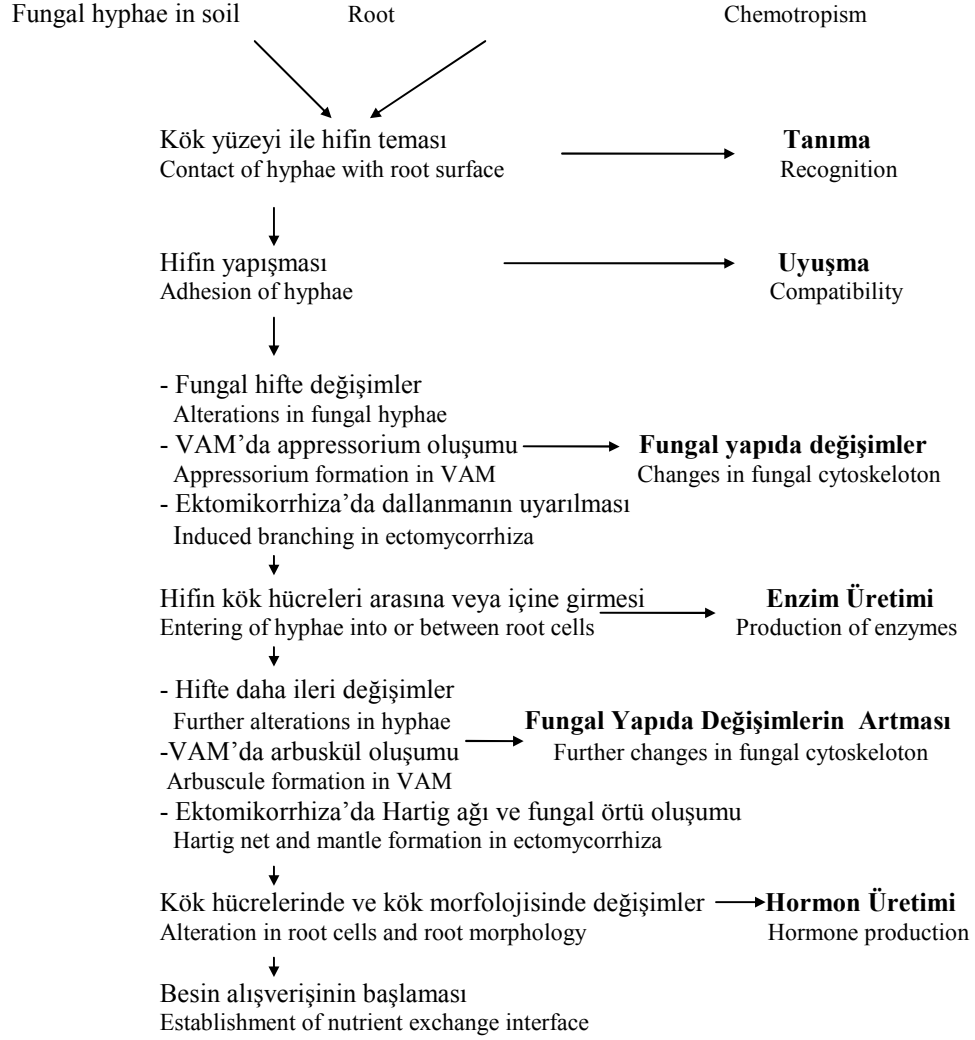
Penetrasyon, genç köklerde meristematik bölgenin arkasındaki epidermal hücrelerden gerçekleşir. Bazı konukçu türlerinde kök bölgesindeki tüylerde de penetrasyona rastlanabilir. Bunu takiben hifler, intrasellüler veya konukçu türüne bağlı olarak intersellüler alanda gelişmeye başlarlar. Bu hiflerin büyüklüğü oldukça değişken olup, şekilleri düzensizdir. Hücrelerarası ve hücre içi anastomosis olayları oldukça yaygındır. Hifler hızlı geliştiğinde bölmesizken, elverişsiz koşullarda yavaş gelişim gösterdiğinde bölmelidir. Kortekse doğru gelişen fungus hifleri endodermis, kök meristemi ve kloroplast içeren hücreleri enfekte etmezler.

Penetrasyondan kısa bir süre sonra fungus, kortikal hücreler içinde arbuskülleri (emeçleri) oluşturur. Haustorium analogu olan arbusküller genellikle hifin uç kısımlarında bulunur, fakat bazı konukçularda hif hücreden hücreye gelişirken onun yan taraflarında da oluşabilirler. Arbusküller kısa ömürlü olup tamamen olgunlaşmaya başlamadan önce konukçu hücrenin etkisiyle uçlardan itibaren büzülmeye başlar ve bir süre sonra bitki tarafından adeta hazmedilirler (Schönbeck, 1980).

OLAY
EVENT

İŞLEM
PROCESS

Toprakta bulunan fungal hifler Bitki kökleri → **Kemotropizm**



Şekil 2. Mikorhizanın oluşum şeması.

Figure 2. Diagrammatic presentation of events in establishment of a mycorrhizae (Peterson and Farquhar, 1994).

Arbusküllerin, özellikle fungus/bitki metabolitlerinin değiş tokuşunun gerçekleşmesi sırasında etkin rol aldığı düşünülmektedir (Fasalo, 1984).

Vesiküller genellikle sarımsı bir yağ damlası içeren, uç kısmı yumurta şekilli, sferik yapılar olarak görünürler ve VAM fungusların hiflerinde terminal veya interkalar olarak yer alırlar. Bazı türlerde vesiküller ince çeperli olup, genellikle köklerde intersellular veya intrasellular alanlarda ve değişik büyüklüklerde (30-50µ- 80-100µ) bulunurlar. Diğer türlerde bu yapılar kalın çeperlidirler ve toprakta bulunan klamidospordan önemli derecede farklılık göstermezler. İnce çeperli vesiküller daha çok besin deposu, toprakta bulunan kalın çeperli vesiküller ise üreme organı (klamidospor) görevi görürler (Gerdemann, 1968).

Araştırmacılar, vesiküllerin rolü üzerinde değişik hipotezler ortaya atmışlardır. Bir kısmı bu organın üreme organı fonksiyonuna sahip olduğunu ileri sürerken; bir kısım araştırmacı da vesiküllerin daha sonra hücrelere transfer edilmek üzere, önemli birer yağ deposu işlevi gördüğünü ileri sürmüşlerdir. Bununla beraber, vesiküllerin sitolojik organizasyonu (çoğunlukla lipitlerdeki zenginlik) ve sayıları, yaşlı ve ölü köklerde bunların daha sonra bir istirahat organı olma yönünde bir görev yüklenmeleri bunların üremede rol aldıkları kanısını kuvvetlendirmektedir (Fasolo, 1984).

Beslenme

VAM konusunda yapılmış birçok araştırmanın vardığı temel sonuç, VAM fungusların bitkilerin besin alınımını arttırdığı yönündedir. VAM, bitki gelişimini özellikle bitki besin maddelerinin yoğunluklarının kritik seviyelerde olduğu marjinal (kuraklık ve tuzluluk) topraklarda veya koşullarda teşvik etmektedir.

Bu olumlu ilişki simbiozis'e sahip köklerin topraktan kantitatif olarak daha iyi fosfor, azot ve potasyum alabilmeleri ile açıklanmaktadır (Hayman, 1982; Johannsen ve ark., 1993; Pearson ve Jacobsen, 1993; Jacobsen, 1994).

VAM fungusların özellikle fosfor alınımı ve bitkiye yarayışsız fosforun yarayışlı forma dönüşmesi üzerinde olumlu etkileri vardır. Bu konuda yapılan çalışmaların ışığında fosfor alınımı ve yarayışsız fosfor'un yarayışlı bir duruma getirilmesi üzerinde aşağıdaki görüşler ileri sürülmektedir:

- VAM funguslar, özellikle *Endogone spp.*, bitki köklerinin hemen çevresinde pH'ı düşürücü bazı enzim ve asitli sıvılar salgılayarak çözünürlüğü çok düşük olan inorganik fosfatları yarayışlı hale getirmektedir (Gür, 1975; 1976).

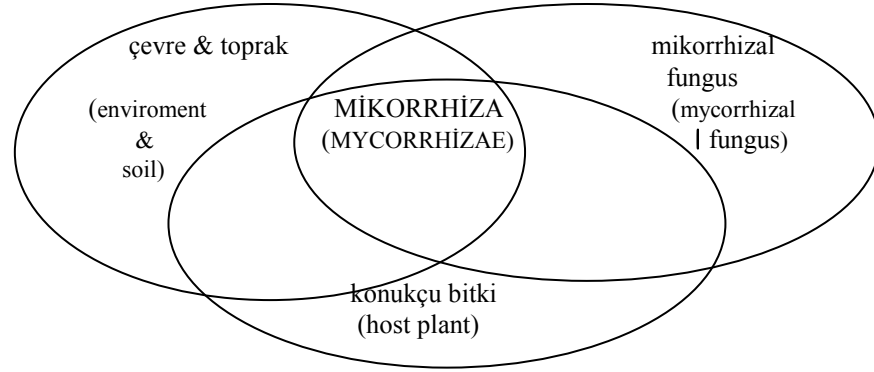
- Bu funguslar toprakta bitkiye elverişli olmayan organik fosfor bileşiklerini kendi besin maddesi gereksinimi olarak bünyelerine almakta ve daha sonra bu fosfor bileşiklerini hif hücresi içerisinde elverişli hale getirerek bitki köklerine taşımaktadır.

- VAM fungus hifleri bitki kökü yüzeyinde bir sünger tabakası gibi sürekli absorbe edici bir yüzey meydana getirmekte, daha önce toprakta çeşitli aktiviteleri ile elverişli hale dönüştürdüğü fosfor bileşiklerini bu absorbe edici yüzey yardımıyla kök yüzeyinde toplayarak hifler yardımıyla bitki köküne taşımaktadır (Hayman ve Mosse, 1972).

Bu üç mekanizmanın işlevi sonunda fungus appressorium oluşturarak bitkiye penetre olmakta ve arbuskülleri aracılığı ile bünyesindeki fosforu kök korteksindeki hücrelere nakletmektedir. VAM'ın bitki beslenmesindeki önemine bölüm 4'te daha detaylı olarak değinilecektir.

VAM - Çevre İlişkileri

Mikorrhizal ortaklıklar mikorrhizal fungus, konukçu bitki, ve çevre/toprak koşulları arasındaki interaksiyon sonucu oluşur (Hayman, 1982; Brundrett, 1991) (Şekil 3).



Şekil 3. Mikorrhiza oluşumunda etkili çevresel faktörler (Brundrett, 1991).
Figure 3. The effective enviromental factors on formation of mycorrhizae.

Buradan da anlaşılacağı üzere ekolojik faktörler VAM oluşumu üzerinde oldukça etkilidirler ve genel olarak bitkinin iyi gelişmesini sağlayan koşullar VA - mikorrhiza oluşumunu da teşvik etmektedir. Fakat burada besin maddeleri içeriğini

ayırmak gereklidir. Çünkü VAM, besin maddelerince fakir topraklarda daha iyi oluşmaktadır.

Bunun yanında humusça zengin topraklar, yüksek oranda azot, fosfor ve potasyum bulunan topraklar, ağır killi topraklar VAM oluşumunu engellemektedir. Kompost gübreler ise VA mikorrhiza'nın gelişimini teşvik etmektedir.

Işık intensitesi de bitkilerde VAM oluşumunu etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda hem yüksek ışık intensitesi, hem de topraktaki yüksek fosfor ve azot noksanlığının, köklerde VAM funguslarının enfeksiyonunda ve karbonhidrat miktarında artışa yol açtığı gözlenmiştir (Björken'e atfen Gerdeman, 1968; Dehne, 1977).

Bazı araştırmaların bulguları düşük sıcaklıklarda, özellikle 5 - 10 °C'lerde mikorrhizal ortaklıklardan beklenen faydaların azaldığını göstermektedir. Ancak mikorrhizal yaşamın sadece sıcak bölgelerde etkili olduğuna dair kesin bir yargı yanlış olur. Zira, kış aylarında da mikorrhizal yaşamın ve bitki ile fungus arasındaki madde değişiminin devam ettiği saptanmıştır (Brundrett, 1991).

Çok nemli, yaş topraklarda VAM görülmez. Aşırı nem de mikorrhiza gelişimi üzerinde bir stress faktörü olmaktadır (Mosse, 1973).

Bunlardan başka, mikorrhizal inokulum düzeyleri insanlar tarafından yapılan manipulasyonlarla da büyük ölçüde değişebilir. Söz konusu etkiler, pestisitler, ağır gübre uygulamaları, toprağın üst tabakasının kaldırılması, mikorrhiza için konukçu olmayan bitki türlerinin yetiştirilmesi, mikorrhizal fungus parazitleri ve toprak sterilizasyonu olup, bunlar topraktaki VAM fungusların miktarını olumsuz yönde etkilemektedir.

BİTKİ BESLEMEDE VAM'IN ÖNEMİ

VAM, topraktaki besin maddeleri konsantrasyonunun düşük olduğu koşullarda ve özellikle kök gelişiminin sınırlı olduğu durumlarda bitkilerin beslenebilmesi açısından faydalı sonuçlar ortaya koymaktadır. Etkili VA mikorrhizal fungus ile inokule edilmiş çok sayıdaki tarla ve saksı bitkilerinde, ürün artışına yönelik sonuçlar elde edilmiştir. Yukarıda da bahsedildiği gibi mikorrhiza, özellikle makro besin elementlerinden fosforun bitki bünyesine alınması yönünde etkili olmaktadır.

Bilindiği üzere fosfor, asit tepkimeli topraklarda fazla bulunan Fe, Al ve Mn gibi kationlarla çözünemez bileşikler oluşturarak lateritik ve podzolik topraklarda fikse olmaktadır. Bunun yanı sıra yine asit tepkimeli topraklarda silikat killeri aracılığı ile de fosfor fiksasyonu gerçekleşmektedir. Diğer taraftan kireçli alkali topraklarda da fiksasyon meydana gelmektedir. pH'ın 7.5'in üzerinde olduğu topraklarda fosfor

$Ca_3(PO_4)_2$ halinde çökmekte, $CaCO_3$ ile temas eden fosfor çözünemez bileşikler meydana getirebilmekte ve kalsiyum ile doyurulmuş killerde daha fazla fosfor fikse edilmektedir (Kacar, 1984).

Fosfor'un bu yarayışsız forma geçmesinden dolayı bitkiler gelişimleri açısından son derece önemli olan bu besin elementinden eksik kalabilmektedir. Yukarıda sayılan nedenlerden ötürü de fosfor, 1 yıllık süre içinde atıldığı noktanın çevresinde ancak 2-3 cm. hareket edebilmektedir. Bunun yanı sıra normal koşullarda toprakta bitkiler tarafından alınabilir miktarı az veya aynı zamanda çeşitli interaksiyonlardan dolayı da bitkiler tarafından alımı çoğu zaman ortam koşulları tarafından sınırlandırılmaktadır.

Mikorrhiza ile simbiyotik yaşama girmiş bitkilerin P alım mekanizması üç kritere bağlıdır. Bunlar toprak, bitki ve mikorrhizal fungustur. Bu üç kriter arasında ciddi bir interaksiyon vardır. Mikorrhizal yaşamın P alımını artırması;

1- Bitki türünün kendisine

2- Toprağın P içeriğine

3- Mikorrhizal infeksiyonun etkinliğine bağlıdır. Bu sonuncu kriter de çoğunlukla bitki besin elementlerinin topraktaki düzeyine, mikorrhizanın toprak ve iklim koşullarına adaptasyon ve aynı zamanda mikorrhiza türünün etkinliğine göre değişebilmektedir. Görüldüğü gibi P'nun topraktan alınması bitki köklerinin kendileri veya mikorrhizal fungus tarafından sağlanmakta (Ortaş, 1995) ve doğal koşullarda fiksasyon sebebiyle etkili olmayan fosfor, simbiyotik yaşam sonucu yarayışlı forma dönüşmektedir. Buna paralel olarak, işaretlenmiş fosfor ile yapılan çalışmalarda fosforca zayıf topraklarda VAM'a sahip bitkilerin mikorrhizasız bitkilere oranla daha fazla fosfor kaldırdığı ve kuru ağırlıklarının 18 - 19 misli, daha fazla olduğu saptanmıştır (Hayman ve Mosse, 1971).

Fosfordan başka hareketsiz olan diğer elementler de mikorrhizal kökler tarafından kolaylıkla absorbe edilmektedirler. Bunların arasında çinko, bakır, sülfür ve kadmiyum gibi iz elementler de yer almaktadır. Ayrıca, potasyum alımında artış ve nitrat iyonlarının daha iyi absorbe edildiklerine dair kayıtlar vardır (Rhodes, 1980; Hayman, 1981; 1982).

BİTKİ KORUMA'DA VAM'IN ÖNEMİ

Yüksek bitkiler ekosistemde yer alan diğer organizmalarla ayrı yaşamamakta, konunun başında belirtildiği gibi onlarla simbiyotik ilişkilerde bulunmaktadır. Bitki ile simbiyotik ilişkiye giren VAM fungusu bitkiye penetrasiyondan sonra bitkide önemli

fizyolojik değişiklere yol açmakta ve bu durum bitkilerin hastalık etmenlerine predispozisyonunu da etkilemektedir.

Toprak Kaynaklı Hastalıklar

VAM fungusu ile bitki arasındaki interaksiyon bitki köklerinde cereyan ettiği için mikorrhiza ve hastalıklar konusunda yapılan araştırmalar toprak kaynaklı patojenlerin, özellikle fungusların yol açtığı hastalıklar üzerinde yoğunlaşmıştır.

Genel olarak hastalık tablosuna göz attığımızda mikorrhizalı bitkiler daha az zarar görmekte, hastalık görünümü azalmakta veya patojenin gelişimi engellenmektedir. Aşağıda çeşitli hastalık gruplarında bu etkilenmeye ait örnekler verilmiştir.

Çizelge 1'de de görüldüğü gibi VA - mikorrhizalı bitkilerde bir dayanıklılık artışı vardır. Bu artış kendini konukçuda daha az zarar, enfeksiyonda azalma ve klamidospor oluşumunun engellenmesi şeklinde göstermektedir.

VAM fungus ve bitki arasındaki interaksiyonlar, dayanıklılık mekanizması ile ilgili olarak şu genel durumla tanımlanabilmektedir.

"Mikorrhizal funguslar, kök sisteminde patojenin gelişimini geciktirme yeteneğindedir. Bu etki mikorrhizal ilişkinin kurulduğu bölge ile sınırlandırılmıştır. Konukçu bitkinin fizyolojisindeki çeşitli değişimler üzerinde VAM funguslarının lokalize edilmiş spesifik etkileri vardır."

Dayanıklılık mekanizmasını açıklayan olaylara göz atacak olursak;

- VAM, kök dokularında morfolojik değişiklikleri teşvik etmekte, mikorrhizal kökler, mikorrhizasız köklere oranla daha fazla lignifiye olmakta ve bu da bir dayanıklılık unsuru olarak konukçu köklerini istila eden funguslara karşı bir bariyer görevi üstlenmektedir. Lignifiye olmuş böyle dokularla karşılaşan *F.oxysporum*, *Pyrenochaeta terrestris* gibi patojenlerin gelişimi büyük oranda engellenmektedir (Schönbeck, 1980; Dehne, 1982; Linderman,1994).

- Simbiyotik konukçu - fungus ilişkisi arbuskül oluşumu ile karakterize edilir. Endofitlerin haustorium analogu olan bu spesifik yapılar penetrasyon ve simbiyotik ilişkinin kurulmasından sonra birbiri arkasından küçülür ve çözülürler. Bu olay "**fungusun hazmedilmesi**" olarak yorumlanmaktadır. Bütün bu süreç içerisinde köklerde yüksek bir kitinolitik aktivite görülür ve anti fungal karakterli bu kitinolitik enzimler diğer fungal patojenlere karşı da etkili olurlar (Linderman, 1994).

Diğer bir spesifik kimyasal etki, mikorrhizal köklerde arginin birikimi olup, tütün bitkilerinde inhibe edilen *Thielaviopsis basicola* etmeninin sporulasyonunun engellenmesi bu yolla açıklanmaktadır (Baltruschat, 1975; Dehne, 1982).

Çizelge 1. Bazı toprak funguslarının yol açtığı hastalıklarda VAM'ın etkileri (Schönbeck, 1980).

Table 1. Effects of VAM on some soil – borne fungi.

Patojen Pathogen	Konukçu Host	Mikorrhiza'lı bitkilerdeki etkiler Effects on mycorrhizal plants
<i>Oplidium brassicae</i>	tütün, marul tobacco, lettuce	Enfeksiyon azalması Reduction of infection
<i>Pythium ultimum</i>	soya fasulyesi (soybean)	Etki yok – None
<i>Phytophthora megasperma</i>	soya fasulyesi (soybean)	Ölen bitki sayısında azalma Fewer plants killed
<i>Phytophthora palmivora</i>	poinsettia (poinsettia)	Etki yok (None)
<i>Phytophthora parasitica</i>	turunçgil (citrus)	Zararın azalması Reduction of damage
<i>Rhizoctonia solani</i>	poinsettia (poinsettia)	Bodurlaşmanın azalması Reduced stunting
<i>Thielaviopsis basicola</i>	tütün tobacco	Klamidospor oluşumunun azalması Inhibition of chlamyosp. Production
" "	yonca (alfa alfa)	"
" "	pamuk (cotton)	"
<i>Cylindrocarpon destrustas</i>	çilek (strawberry)	Daha az bodurlaşma Less stunting
<i>Cylindrocarpon scoparium</i>	kavak (poplar)	Enfeksiyonda azalma Reduction of infection
<i>Fusarium oxysporum</i>	domates (tomato)	"
<i>Phoma terrestris</i>	soğan (onion)	"

Parazitik Nematodlar

Nematodların yol açtığı kök hastalıklarında da, mikorrhizal yaşamın, fungusların yarattığı kök hastalıklarındakine benzer etkileri ortaya koyar. Özellikle endoparazitik nematodların saldırısına uğramış bitkilerde, köklerde VAM'ın oluşmasını takiben nematodların penetrasyon oranı azalır, kök içindeki gelişimleri yavaşlar ve zarar tablosunda düşüşler görülür (Dehne, 1982).

Yine yapılan bir çalışmada (Sikora, 1979) kök ur nematodu *Meloidogyne spp*'ne karşı mikorrhizal bir fungus olan *Glomus mossae* kullanılmış ve bu simbiotik ilişki sonucunda köklerdeki cezbedici maddelerde değişiklik, larvaların penetrasyonunda azalma ve larva gelişiminde duraksama, ur oluşumunda sınırlama görülmüştür.

Çizelge 2. Nematod hastalıklarında VAM'ın etkileri (Schönbeck, 1980).

Table 2. Effects of VAM on diseases caused by nematodes.

Nematod Nematode	Konukçu Host	Mikorrhizalı bitkilerde etkiler Effects in mycorrhizal plants
<i>Heterodera solanacearum</i>	tütün tobacco	Daha az nematod Fewer nematodes
<i>Meloidogyne hapla</i>	havuç carrot	Daha az nematod Fewer nematodes
<i>M. incognita</i>	tütün tobacco	Daha az nematod Fewer nematodes
<i>M. incognita</i>	domates tomato	Daha az nematod Fewer nematodes
<i>M. incognita</i>	yulaf oats	Daha az nematod Fewer nematodes
<i>M. incognita</i>	soya fasulyesi soybean	Verim artışı Increased yield
<i>M. incognita</i>	hıyar cucumber	Daha az ur Fewer galls
<i>M. incognita</i>	pamuk cotton	Daha az nematod Fewer nematodes
<i>Pratylenchus brachyurus</i>	pamuk cotton	Bodurlaşmanın azalması Reduced stunting
<i>Pratylenchus penetrans</i>	hıyar cucumber	Enfeksiyonda azalma Reduction of infection

Nematodlar ve VAM fungusları arasındaki interaksiyonun mekanizması çeşitli olaylarla açıklanabilir.

- *Meloidogyne* gibi konukçuya yapışık beslenen nematod türlerinde hipertropik doku ve gal oluşumu azalmaktadır. Nematod enfeksiyonu sonucu konukçada tepki mekanizması olarak meristematik galler oluşturan büyüme hücreleri, parazite doğru besin alınımını sağlayan transfer hücresi görevi görürler. VAM fungusları özellikle bu hücreler içine yerleşerek onları tahrip ederler ve böylelikle nematodun beslenmesini engellerler.

- Mikorrhizal funguslar direkt olarak gal oluşumunu etkilemeyebilirler (Sikora, 1977; Dehne, 1982). Mikorrhizalı bitkilerin kök salguları ve lignin seviyesindeki artış ta nematod penetrasyonunu etkileyebilir. Yine köklerdeki arginin birikimi ve artan fenolik madde konsantrasyonuna karşın azalan oxin seviyesi, larvaların gelişimine ve büyüme hücresi oluşumuna sekte vurur.

Yeşil Aksam Hastalıkları

Mikorrhizalı veya mikorrhizasız bitkilerin yeşil aksamında, hastalık yapan patojenlerin ortaya çıkardığı hastalık tablosu oldukça ilginç ve sürpriz sonuçlar doğurmaktadır.

Obligat ve fakültatif patojenlerin her ikisi de mikorrhizalı bitkilerin yeşil aksamına uygulandıklarında oldukça şiddetli hastalık oluşumuna neden olmuşlardır.

Çizelge 3. Bazı virus hastalıklarında VAM'ın etkileri (Schönbeck, 1980).

Table 3. Effects of VAM on some virus diseases.

Patojen Pathogen	Konukçu Host	Mikorrhizalı bitkilerdeki etkiler Effects in mycorrhizal plants
TMV	tütün tobacco	Daha fazla lokal lezyon More local lesion
Domates mozaik virusu Tomato mosaic virus	domates tomato	Virus titrinde artış Increase in virus titre
Patates X virusu Potato virus X	domates tomato	Virus titrinde artış Increase in virus titre
Arabis mozaik virusu Arabis mosaic virus	petunya petunia	Virus titrinde artış Increase in virus titre
Arabis mozaik virusu Arabis mosaic virus	çilek strawberry	Virus titrinde artış Increase in virus titre

Çizelge 4. Mikorrhizalı bitkilerin toprak üstü kısımlarında fungal hastalıklara karşı artan duyarlılığın görüldüğü konukçu - patojen kombinasyonları (Schönbeck, 1980).

Table 4. Examples of host-pathogen combinations in which the mycorrhizal plants show increased susceptibility of aerial parts to fungal diseases.

Patojen Pathogen	Konukçu Host
<i>Uromyces phaseoli</i>	fasulye (bean)
<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	fasulye (bean)
<i>Erysiphe cichoracearum</i>	hıyar (cucumber)

<i>Cochliobolus sativus</i>	tütün (tobacco)
<i>Botrytis cinerea</i>	marul (lettuce)

Çizelge 3 ve Çizelge 4'te görüldüğü gibi virus, pas ve külleme gibi obligat patojenlerle, yeşil aksamda hastalık yapan fakultatif patojenlerin bir kısmı mikorrhizalı bitkilerde daha etkili olabilmektedir.

Bu duyarlılık artışı şu mekanizmalarla açıklanmaktadır:

- Mikorrhizal funguslar, sistemik olarak, bitkilerin yeşil aksamlarında hastalık etkisini artırma yetisindedirler. Bu sistemik etki daha iyi beslenme, artan bitki gelişimi ve mikorrhizalı bitkilerdeki fizyolojik uyarımlara atfedilmektedir.

- "Bitki için iyi olan, patojen içinde iyidir" kuralından yola çıkarak besin elementi eksik topraklarda mikorrhizalı bitkilerin besin alınımını artırması hastalık görünümünde artışlara yol açabilir. Teorik olarak daha iyi bitki gelişimi, bir patojen organizma için potansiyel konukçu olma özelliğini artırır. Bu nokta özellikle obligat patojenler için önemlidir (Davis ve ark., 1979).

- Mikorrhizal fungustan, konukçu içine madde alışverişinin artması veya azalması nükleik asit ve proteinlerin yüksek konsantrasyonu ve yüksek fosfor metabolizması ile açıklanmaktadır. Virus enfeksiyonu ve multiplikasyonu kök dokusundaki bu yüksek fizyolojik potansiyelden yararlanabilir. Nükleik asitlerin ve protein sentezinin artması virusların çoğalmasını artırabilir ve böylece virus bütün bitkiye daha iyi yayılabilir.

Özetlenecek olursa ; virus enfeksiyonu ve çoğalması bitkiye artan oranda fosfor verilmesiyle korelasyon halindedir. Fosfor'un nükleik asitler ve enerjice zengin bileşiklerdeki rolü dikkate alınırsa stimüle edilmiş protein sentezinin bu olaya yardım ettiği söylenebilir.

- Sürgün ve yapraklardaki duyarlılık artışı, yüksek besin kapsamı ve bitkideki yüksek fizyolojik aktivite ile bağıntılıdır.

Simbiyotik sistemde hastalık görünümü bitki patojenlerine karşı dayanıklılığı genetiksel olarak tanımlamada etkili değildir. Genetiksel olarak dayanıklı bitkiler dayanıklı kalır, duyarlılık simbiosiz yoluyla modifiye edilebilir (Dehne, 1982).

BİTKİ KORUMA VE BİTKİ BESLEME STRATEJİLERİNDE VAM'IN KULLANILABİLİRLİĞİ

VAM'ın tarımda kullanılma olanakları bitki besleme ve bitki koruma alanlarında yoğunlaşmıştır.

Eksogen hifleriyle topraktan fosfor bileşiklerini alma yeteneğinde olan endofit mikorrhizal funguslar bitkide fosfor içeriğini artırmaktadırlar. Fakat unutulmamalıdır ki mikorrhizal funguslar fosforu yaratmazlar. Bu yüzden fosfor gübrelemesi ihtiyacı ürünlerin mikorrhizal funguslarla inokulasyonu ile giderilemez. Bununla beraber mikorrhizal inokulum'un manipülasyonu ve yönlendirilmesi ile fosfor gübrelemesi ihtiyacı belli ürünlerde azaltılabilir (Rhodes, 1980).

Yine bu tip mikorrhizalı bitkiler uygun olmayan gelişme koşullarının etkilerini bir dereceye kadar ortadan kaldırmaktadır. Bu açıdan bakıldığında VAM, tarım alanlarında gittikçe artan bir ilgi görmektedir. Özellikle fosforlu gübrelerin tahıl bitkileri tarafından daha fazla kullanılması yolunda çalışmalar yapılmaktadır.

Tohumların VAM funguslar ile yapay inokulasyonu ve sonuçta başarılı bir enfeksiyon, tohumların azot fikse eden bakterilerle inokulasyonuna paralel görülmekte ve bu bir **biyolojik gübreleme** olarak düşünülmektedir (Mosse, 1973).

VAM'ın bitki hastalıkları üzerindeki etkileri sera koşullarında umut verici sonuçlar vermişse de tarla koşullarındaki etkileri tam olarak kanıtlanamamıştır.

Hastalık dayanıklılığında değişikliğe yol açabilen VAM çevrenin ve bitkinin bir parçası olarak düşünülmelidir. Günümüzdeki bakış açısı VAM'ın besin maddesi alınımını ve bitki gelişimini teşvik etmesi yönündedir. Bu noktada konukçu bitkilerin patojenler için potansiyel olarak daha iyi duruma gelmeleri beklenebilir. Fakat mikorrhizal fungusların direkt etkisi altındaki kök dokuları, kimyasal savaşımı güç olan toprak patojenlerinin saldırılarına karşı daha dayanıklı olmaktadır.

Özellikle toprak kaynaklı funguslar ve nematodlara karşı bitkilerin daha dayanıklı duruma geldikleri gerçeğinden yola çıkarak *Olpidium brassicae*, *Pythium ultimum*, *Phytophthora spp.*, *Fusarium oxysporum cucumerinum*, *F. o. lycopersici* gibi toprak patojenlerine karşı marul, tütün, soya fasulyesi, narenciye, hıyar ve domates bitkilerinde bu simbiyotik yaşamdan yararlanmak gerekir (Dehne, 1982).

Özetle, seçilmiş VAM fungusların, kültür bitkilerine inokulasyonu sadece gelişim ve büyüme açısından değil, ayrıca toprak kaynaklı patojenlere karşı dayanıklılık artışı sağlaması açısından da önem taşır. Doğal koşullar altında VAM funguslar bu özellikleri ile potansiyel bir **biyolojik kontrol ajanı** olarak kabul edilebilir (Dehne, 1982; Linderman, 1994).

SONUÇ

Bitki kökleri ve funguslar arasındaki ilişkiler son yıllarda akademik çalışmalarda ilgi çekici bir odak noktası haline gelmiştir. Mikorrhiza, topraktaki besin maddesi konsantrasyonunun düşük olduğu koşullarda ve özellikle kök sisteminin gelişiminin sınırlı olduğu durumlarda etkili olmaktadır.

Mikorrhizal fungusların ekolojisi ve fonksiyonlarının bilinmesi, onları kendi yararımıza kullanmamız açısından önemlidir. Bu noktada bazı ileri araştırmalar, verilere gereksinim vardır:

- Topraktaki doğal mikorrhizal populasyon durumunun tespit edilmesi ve bunların etkili ırk veya türleri kapsayıp kapsamadığının saptanması ve bitki gelişimi için yeterli düzeyde olduklarının ortaya konması.

- Toprakta, kaliteli ve verimli ürün elde edebilmek için kullanılabilir fosfor düzeylerinin bilinmesi.

- Yetiştirilecek ürünün doğal inokuluma muhtemel tepkisinin tespit edilmesi.

Bunun yanında mikorrhizal fungusun sporlarının üretilmesi ve toprağa uygulanması da şu ana kadar konuyla ilgilenen araştırmacıların karşılaştığı zorluklardan birisidir.

Türkiye gibi gübre gereksinimi yönünden dışarıya bağımlı ülkeler için mikorrhizal yaşamın bitkisel üretime olan katkısının belirlenmesi ve ona göre gübre gereksiniminin belirlenmesi son derece önemlidir. Günümüzde su kaynaklarının azaldığı veya sulanabilir alanların artması mikorrhizanın bitkinin su kullanım randımanına olan önemli katkısı da ciddi olarak araştırılması gereken konular arasında yer almaktadır.

Diğer mikroorganizmalarla, özellikle patojenlerle mikorrhizal fungusların interaksiyonları, mikorrhizal araştırmaların bir başka alanını oluşturmaktadır. Bazı bitki hastalıklarının biyolojik yolla kontrol olanakları özellikle toprak patojeni funguslar ve nematodlara karşı mücadelede önerilebilir. Ancak VAM funguslarla simbiyotik ilişkiye giren bitkilerin daha iyi gelişmelerine paralel olarak bunların bazı obligat patojenlere karşı (külleme, pas, virus) daha duyarlı hale gelmeleri göz ardı edilmemesi gereken bir özelliktir.

Doğada yaygın olduğu bilinen bu ortak yaşamdan kültür bitkilerinin yetiştirilmesinde olağan bir yöntem gibi faydalanma olanağının araştırılması ülkemiz için

de yeni bir alandır. Bu yönde yapılacak araştırmaların, özellikle tarıma açılacak araziler üzerinde hangi tip kültür bitkisi yetiştirileceği ve fakir toprakların nasıl değerlendirilmesi konusunda önemli katkılarının olacağı muhakkaktır.

Halen Ege Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Bitki Koruma ve Toprak Bölümlerinde yürütölen araştırmalar, bu konularda bazı veriler ortaya koymayı amaçlamaktadırlar.

LİTERATÜR

- Agrios, G. 1988. Plant Pathology. Academic Press, Inc. 803 p.
- Baltruschat, H. 1975. Untersuchungen über den einfluss der endotrophen mycorrhiza auf den befall von pflanger durch pathogene pilze, insbeson dere von *Nicotiana tabacum* durch *Thielaviopsis basicola*. Doktora Tezi, Bonn Üniversitesi. 137 p.
- Brundrett, M. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. Advances in Ecological Research 21: 171-313.
- Davis, R. M., J. A. Menge and D. Erwin. 1979. Influence of *Glomus fasciculatus* and soil phosphorus on *Verticillium* wilt of cotton. Phytopathology 69: 453-456.
- Dehne, H. W. 1977. Untersuchungen über den einfluss der endotrophen mycorrhiza auf die *Fusarium* - welke an tomate und gurke. Doktora Tezi, Bonn Üniversitesi, 150 p.
- Dehne, H. W. 1982. Interaction between vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. Phytopathology 72: 1115-1119.
- Fasola, P. B. 1984. Anatomy and morphology of VA mycorrhizae. **In:** Power, C. LI and D. J. Bagyaraj. (Eds.) VA-Mycorrhizae. CRC Press, Florida.
- Gerdemann, J. W. 1968. Vesicular - arbuscular mycorrhiza and plant growth. Annu. Rev. Phytopathol 6: 397-418.
- Hayman, D. S. 1981. Mycorrhiza and it's significance in horticulture. The Plantsman 2(4): 214-224.
- Hayman, D. S. 1982. Influence of soils and fertility on activity and survial vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. Phytopathology 72: 1119-1126.

- Hayman, D. S., and B. Mosse. 1971. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhizae. I. Growth of Endogene - inoculated plants in phosphate-deficient soils. *New Phytol.* 70: 19-27
- Hayman, D. S., and B. Mosse, 1972. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza. III. Increased uptake of labile P from soil. *New Phytol.* 71: 41-47.
- Gür, K. 1975. Vesiküler-arbusküler (VA) mikoriza'nın aktivite ve dağılışı üzerinde çalışmalar. TBTA Bilim Kongresi, TBTA Yayın No: 361 TOAG. Seri No: 68 s: 239-252.
- Gür, K. 1976. Vesiküler-arbusküler (VA) mikoriza'nın Erzurum Kan siltli tını ve Palandöken çakıllı tınında yetiştirilen soğan bitkisinin gelişmesi ve fosfor alımı üzerine etkisi. *Atatürk Üniv. Zir. Fak. Dergisi* 7(3): 13-23.
- Jacobsen, I. 1994. Research approaches to study the functioning of vesicular arbuscular mycorrhizas in the field. *Plant and Soil*, (159): 141-142.
- Johansen, A., I. Jacobsen, and E.S. Jensen. 1993. Hyphal transport by a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus of N applied to the soil as amonium or nitrate. *Biol.Fertil.Soils*, (16): 66-70.
- Kacar, B. 1984. Bitki Besleme. Ankara Üniv. Zir. Fak. Yayınları: 899, 317 s.
- Linderman, R. G. 1994. Role of VAM fungi in Biocontrol. Pages 1-17 **In:** Pflieger, F.L., and R.G. Linderman (Eds.) mycorrhiza. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA.
- Mosse, B. 1973. Advanced in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Annu. Rev. Phytopathol.* 11, 429-454.
- Nehemiah, J. 1977. Untersuchungen über den einfluss der endotrophen mycorrhiza pilzes *Glomus mosseae* Gerd. et Trappe auf *Zea mays*. L. Doktora Tezi, Bonn Üniversitesi, 105 p.
- Newman, E. I., W. R. Eason, D. M. Eissenstat, and M. I. R. F. Renes. 1992. Interactions between plants: the role of mycorrhizas. *Mycorrhiza* (1): 2, 47-53.
- Ortaş, I. 1995. Mikoriza'nın (Mycorrhizae) besin elementleri (özellikle P) alınımındaki mekanizmaları. İlhan Akalan Toprak ve Çevre Semp. Ankara Üniv. Zir. Fak. Ankara

- Pearson, J. N., and I. Jacobsen. 1993. Symbiotic exchange of carbon and phosphorus between and three arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 124: 481-488.
- Peterson, R. L., and M. L. Farquhar. 1994. Mycorrhizas-Integrated development between roots and fungi. *Mycologia* 86(3): 311-326.
- Rhodes, L. H. 1980. The use of mycorrhizae in crop production systems. *Outlook on Agriculture*, 10(6): 275-281.
- Sanders, F. E., B. Mosse, and P. B. Tinker. 1975. *Endomycorrhizas*. Academic Press, London, New York.
- Schönbeck, F. 1980. Endomycorrhiza in relation to plant diseases. Chapter 23, p. 271-280. **In:** Schippers, B., and W. Gams (Eds). *Soil-borne plant pathogens*. Academic Press, New York, NY.
- Sikora, R. A. 1979. Predisposition to *Meloidogyne* infection by the endotrophic mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Root-Knot Nematodes (Meloidogyne Species) Systematics, Biology and Control*. Academic Press Inc, London, 399-404.
- Trappe, J. M., and N. C. Schenck. 1991. Taxonomy of the fungi forming Endomycorrhizae. A. Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Endogonales). page 1-9 **In:** Schenck, N. C. (ed) *Methods and Principles of Mycorrhizal Research* edited. APS Pres