



## Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

### Absisik Asit ve Arbusküler Mikorizal Fungus Uygulamalarının Fasulyede Kömür Çürüklüğü Hastalığı [(*Macrophomina phaseolina*) (Tassi) Goid.] ve Bitki Gelişimine Etkisi †

Ali VURAL<sup>1</sup>, Semra DEMİR<sup>\*1</sup>, Çeknas ERDİNÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 65040, Van, Türkiye

<sup>2</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, 65040, Van, Türkiye

Ali VURAL, ORCID No: 0009-0006-9053-9529, Semra DEMİR, ORCID No: 0000-0002-0177-7677,

Çeknas ERDİNÇ, ORCID No: 0000-0003-1208-032X

\*Sorumlu yazar e-posta: [semrademir@yyu.edu.tr](mailto:semrademir@yyu.edu.tr)

#### Makale Bilgileri

Geliş: 19.03.2024

Kabul: 16.05.2024

Online Ağustos 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1452862

#### Anahtar Kelimeler

Absisik asit,  
Arbusküler mikorizal  
funguslar (AMF),  
Fasulye,  
Goidanich,  
*Macrophomina phaseolina*  
(Tassi)

**Öz:** Bu çalışmada, fasulyede önemli bir patojen olan kömür çürüklüğü hastalığı etmenine karşı (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) (Goidanich) (Mp) Arbusküler mikorizal fungus (AMF) ve absisik asit (ABA) uygulamasının etkileri incelenmiştir. İlk aşamada *in vitro* koşullarda ABA'nın 0, 1, 5, 10, 20 µM dozlarının Mp'ya karşı etkisine bakılmış ve 5 µM ABA dozunun Mp'nin koloni gelişimini yüksek oranda kısıtladığı görülmüştür. İkinci aşamada, iklim odası koşullarında yetiştirilen Gina fasulye çeşidine ait fidelerde AMF ve farklı ABA dozlarının bitki gelişimi ve kömür çürüklüğü hastalığına etkileri incelenmiştir. Bazı fide gelişim parametrelerinde (*yaprak sayısı, toplam yaprak alanı, yaş ağırlık, kuru ağırlık*) tüm ABA dozları kontrole göre azalmaya neden olurken, bazı parametrelerde ise (*toplam yaprak alanı, yaş ve kuru ağırlık*) 5 µM ABA'nın diğerlerine göre daha etkili olduğu bulunmuştur. Tek başına ABA dozlarının hastalık şiddeti üzerindeki etkisinde, 5 µM ABA dışındaki diğer dozların hastalık şiddetini arttırdığı belirlenmiştir. Genel olarak ABA dozlarının AMF ile birlikte uygulanmasının %33 oranında hastalık şiddetinde azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar, uygun ABA dozu ve AMF'nin kombine uygulanmasının hastalık yönetiminde etkili olabileceğini göstermiştir.

### Abscisic Effect of Abscisic Acid and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Applications on Coal Rot Disease [(*Macrophomina phaseolina*) (Tassi) Goid.] and Plant Growth in Bean

#### ArticleInfo

Received: 19.03.2024

Accepted: 16.05.2024

Online Published August 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1452862

#### Keywords

Abscisic acid,  
Arbuscular mycorrhizal fungi  
(AMF),  
Bean,  
Goidanich,

**Abstract:** In this study, the effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and abscisic acid (ABA) treatment against charcoal rot disease, an important pathogen of bean (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) (Goidanich) (Mp) were investigated. In the first stage, the effects of 0, 1, 5, 10, 20 µM doses of ABA against Mp were investigated under *in vitro* conditions and it was observed that 5 µM ABA dose highly restricted the colony growth of Mp. In the second stage, the effects of AMF and different ABA doses on plant growth and charcoal rot disease in seedlings of Gina bean cultivar grown under climate chamber conditions were investigated. While all ABA doses caused a decrease in some seedling growth parameters (number of leaves, total leaf area, wet weight, dry weight) compared to the control, in some parameters (total leaf area, wet and dry weight) 5 µM ABA was found to be more effective than the others. In the effect of ABA doses alone on

† Bu çalışma Ali VURAL'ın "Fasulyede Kısıtlı Sulama Koşullarında, Absisik Asit ve Arbusküler Mikorizal Fungus (AMF)

Uygulamalarının Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Kömür Çürüklüğü (*Macrophomina phaseolina*) (Tassi) Goid. Hastalığına ve Bazı Verim Unsurlarına Etkisi" isimli doktora tez çalışmasının bir kısmını oluşturmaktadır.

*Macrophomina phaseolina*  
(Tassi)

disease severity, it was determined that all doses except 5 µM ABA increased the disease severity. In general, it was determined that the application of ABA doses together with AMF caused a 33% decrease in disease severity. The results obtained showed that the combined application of appropriate ABA dose and AMF may be effective in disease management.

## 1. Giriş

Dünya üzerinde en çok yetiştiriciliği yapılan türler arasında yer alan fasulye, Türkiye’de de hem sebze hem de tarla bitkisi olarak yaygın olarak yetiştirilmektedir. Çok geniş bir tür çeşitliliğine sahip olan Fabaceae familyasına dahil olan fasulye önem bakımından baklagiller içinde dünyada üçüncü sırada yer almaktadır (Blair ve ark., 2009). İnsan beslenmesinde temel protein ihtiyacının yaklaşık olarak % 30’unu karşılama yanı sıra, içerdiği antioksidan bileşikler nedeniyle birçok hastalığın tedavisinde etkili olduğu belirtilmektedir. Ayrıca gıda olarak tüketilmesinin dışında kozmetik ve boya sanayisinde de kullanılmaktadır (Singh ve ark., 2007). Türkiye, dünya taze fasulye üretiminde 519.713 ton üretim ile Çin, Endonezya ve Hindistan’dan sonra dördüncü sırada yer almaktadır (FAOSTAT, 2022).

Ülkemizde hem olgunlaşmamış taze baklası hem de olgunlaşmış kuru tohumları tüketildiği için hemen hemen her bölgede yetiştiriciliği yapılan fasulyede, pek çok abiyotik ve biyotik stres kaynağı önemli verim kayıplarına neden olmaktadır. Önemli biyotik stres faktörlerinden biri de toprak kökenli fungal etmen *Macrophomina phaseolina*’nın neden olduğu kömür çürüklüğü hastalığıdır. Nekrotrofik patojen *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. (Khan, 2007), bitkilerin kök bölgesinde hastalık meydana getirmekte, önemli verim kayıpları oluşturmaktadır (Mihail, 1992; Partridge, 2003; Ndiaye ve ark., 2007). Sulu şartlarda kömür çürüklüğünün şiddetinin, kuru şartlara göre çok daha düşük olduğu (Mengistu ve ark., 2018); kömür çürüklüğü nedeniyle verim düşüklüğünün % 6-33 arasında seyrettiği bildirilmiştir (Mengistu ve ark., 2011). Etmen, fasulyenin de içinde bulunduğu birçok kültür bitkisinde hastalığa neden olur (Pastor-Corrales & Abawi, 1988). *M. phaseolina*’nın fasulyede neden olduğu kayıplar; çıkış öncesi ve sonrası fide ölümleri, dayanıklılık kaybı veya olgun bitkilerde verim kayıpları şeklinde ortaya çıkmaktadır. Ciddi şekilde enfekte olmuş bitkilerde solgunluk, kloroz, erken yaprak dökülmesi, erken olgunluk ve ölüm görülür (CIAT, 1983). Fungus çoğaldıkça, mikrosklerot adı verilen küçük siyah hif kümeleri oluşturur ve enfekte olmuş ölü bitkiler toprağa dahil olarak fungusun gelecekteki enfeksiyon kaynağını oluştururlar (Dhingra, 1978; Gupta ve ark., 2012; Iqbal ve ark., 2014). Mikrosklerotlar, toprakta 2-15 yıl boyunca hayatta kalabilirler. Fungusun, primer enfeksiyon kaynağı olan mikrosklerotların yanısıra, konukçu türüne (Dhingra, 1978) ve ortama bağlı olarak konidia oluşturma yeteneği de bulunmaktadır (Ma ve ark., 2010).

*M. phaseolina*’ya karşı konukçu düzeyinde genetik dayanıklılık ile ilgili bilgiler sınırlıdır. *M. phaseolina* enfeksiyonunu inhibe eden veya sınırlayan bilinen bir dikey direnç (R-genine dayalı) olmamakla birlikte, enfeksiyonu sınırlamayan, ancak hasarları azaltan veya telafi eden kısmi bir direnç olduğu ifade edilmektedir. Fasulye gibi önemli bir bitkide verim kayıplarına neden olan *M. phaseolina*’ya karşı konukçu dayanıklılığının tek başına yetersiz kalması; bu patojenle mücadelede sulama, organik katkıların eklenmesi ve ürün rotasyonu gibi kültürel önlemlerin de çok etkili olmamasından dolayı bu hastalıkla mücadelede; biyolojik mücadele ajanları ve bitki büyüme düzenleyicilerinden faydalanılabilir ve bu yönde yapılmış araştırmalar da mevcuttur (Marquez ve ark., 2021).

Etmene karşı biyolojik mücadelede kullanılabilecek ajanlardan biri Arbusküler Mikorizal Fungus (AMF)’dur. AMF’ler bitki besin maddesi ve su alınımını arttırmak suretiyle bitki gelişimini teşvik etmekte, ürün kalite ve kantitesini arttırarak verim unsurlarını arttırmakta ve bitkinin biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadırlar (Koide, 2006). Konukçu bitki ile simbiyotik ilişki kuran Arbusküler Mikorizal (AM) fungus bitkiye penetrasyondan sonra önemli fizyolojik değişikliklere neden olarak, bitkilerin hastalık etmenlerine predispozisyonunu etkilemektedir. AM fungusu ile bitki arasındaki interaksiyon kök bölgesinde cereyan ettiğinden, bu alanda yapılan çalışmalar genellikle toprak kaynaklı patojenlerin, özellikle fungusların neden olduğu hastalıklar üzerinde yoğunlaşmıştır (Demir & Onoğur, 1999). Genel olarak bazı AM fungusları, kültür bitkileri ile simbiyotik yaşamı sadece bitki gelişimi açısından değil, toprak kaynaklı patojenlere karşı dayanıklılık

sağlaması yönüyle de önemlidir (Dehne, 1982; Linderman, 1994). Soya fasulyesi, mung fasulyesi ve kavun gibi kültür bitkilerinde AMF'nin kömür çürüklüğü etmeninin konukçu köklerinde yayılışını engelleyerek hastalık şiddetini azalttığı ve hastalığa karşı dayanıklılık sağladığı bildirilmiştir (Zambolim & Schenck, 1983; Jalali ve ark., 1990; Demir, 1998). AMF'nin, *M. phaseolina*'nın soya fasulyesinde biyokütle ve tohum üretimi üzerindeki olumsuz etkilerini minimize ettiği (Marquez ve ark., 2018), soya fasulyesinde, patojen varlığında (*M. phaseolina*) düşük seviyelerde AMF (*G. intraradices*) kolonizasyonu ve canlılığı gözlenirken, AMF uygulamasının hastalığı azalttığı (Spagnoletti ve ark., 2017), ekimden önce AMF (*Glomus deserticola* ve *Gigaspora gigantea*) inokulasyonu yapılan ve 10 günlük çimlenmeden sonra *M. phaseolina* aşılanan toprakta daha yüksek büyüme parametrelerinin kaydedildiği, eş zamanlı aşılanan bitkide ise hastalık şiddetinin en düşük düzeyde kaydedildiği bildirilmiştir (Oyewole ve ark., 2017).

Bitki büyüme düzenleyicilerinden absisik asit de (ABA) stres koşullarına karşı temel bitki savunma tepkilerine aracılık eder (Jiang & Zhang, 2001; Stec ve ark., 2016; Chen ve ark., 2020). ABA'nın embriyo olgunlaşması, tohum dormansisi, çimlenme, hücre bölünmesi ve uzaması, çiçek indüksiyonu ve kuraklık, tuzluluk, soğuk, patojen saldırısı ve UV radyasyonu gibi çevresel streslere verilen tepkiler dahil olmak üzere bitki büyümesi ve gelişiminin birçok yönünü düzenlediği gösterilmiştir (Finkelstein, 2013). Yüksek ABA konsantrasyonunun, patojen enfeksiyonu zamanında ekzojen uygulama nedeniyle bitki hastalık direncini etkilediği (Mohr & Cahill, 2003), ABA'nın, bitkinin patojen enfeksiyonuna cevabında negatif veya pozitif etki yapabildiği, bitkilerdeki daha yüksek ABA seviyelerinin, SA, JA veya etilenin aracılık ettiği sinyali baskılayarak savunma gen ekspresyonunu baskılayabildiği bildirilmiştir (Anderson ve ark., 2004). ABA'nın, stomaların hızlı kapanması yoluyla penetrasyon direncini artırarak patojenlere karşı pre-invaziv (enfeksiyon öncesi) savunmada ağırlıklı olarak olumlu tepkiler verdiği ifade edilmektedir (Melotto ve ark., 2006; Başak, 2011). Ekzojen ABA uygulamasının *Medicago truncatula* A17 bitkilerinde *Macrophomina phaseolina*'nın hastalık gelişimini daha çok hızlandırdığı (Hefel, 2010), bu çalışmanın sonucunda; bitkilere düşük doz ABA (10-20  $\mu$ M) uygulamasının hastalığın ilerlemesini hızlandırdığı ve ABA üretimi ve sinyalizasyonunun *M. phaseolina* ile enfekte olmuş bitkilere zararlı olabileceği ifade edilmiştir.

AMF-bitki interaksyonunun stres koşulları altında bitki açısından avantaj yarattığı, özellikle bitkinin hormon dengesinde farklılıklar yarattığı bilinmektedir. Nitekim Wu ve ark. (2021), bitki başına AMF spor yoğunluğu arttıkça bitkideki absisik asit, indol asetik asit ve giberallik asit birikiminin arttığını rapor etmiştir. Aynı zamanda Martinez-Medina ve ark. (2011), kavun bitkilerinin sürgünlerinde *T. harzianum* ve AMF (*Glomus intraradices* ve *Glomus mosseae*) ile eş zamanlı inokulasyonların sürgündeki zeatin (Ze), indol-3-asetik asit (IAA), 1-aminosiklopropan-1-karboksilik asit (ACC), salisilik asit (SA), jasmonik asit (JA) ve absisik asit (ABA) içeriğinde farklı tepkileri gösterdiğini ve bu etkilerin fusarium solgunluğuna karşı bazal dirençte etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada; *in vitro* koşullarda farklı ABA konsantrasyonlarının *Mp*'nin gelişimine etkilerinin belirlenmesi ve bu ABA dozlarının AMF (*Rhizopagus irregularis*) ile birlikte *in vivo* şartlarda fasulyede hastalık şiddeti ve bitki gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada bitkisel materyal olarak bodur Gina fasulye çeşidi (May tohum); patojen olarak kömür çürüklüğü hastalığı etmeni *Macrophomina phaseolina*'nın (*Mp*) önceden yüksek virülensliği bilinen 7<sub>2</sub> izolatu; biyolojik kontrol ajanı olarak Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Mikoloji laboratuvarı stoklarından temin edilen *Rhizopagus intraradices* Schenck and Smith (*Rhizopagus irregularis*) kullanılmış; absisik asit (ABA)(CAT NO: 190673), MP Biyomedikal firmasından temin edilmiştir.

### 2.1. *In vitro* koşullarda farklı ABA dozlarının *M. phaseolina*'ya etkisinin belirlenmesi

Bu aşamada, *Mp*'nin *in vitro*'daki gelişimini en yüksek oranda engelleyen ABA dozu tespit edilmeye çalışılmıştır. ABA dozlarının, daha önce yapılmış çalışmalar dikkate alınarak; 9 cm'lik petrilere 15'er ml PDA ile birlikte 0, 1, 5, 10, 20  $\mu$ M konsantrasyonları uygulanmıştır (Başak, 2011; Hefel, 2010). Önceden PDA ortamında geliştirilmiş 7-10 günlük *Mp* kültürlerinden corkborer yardımıyla 5 mm'lik parçalar alınarak, ABA+PDA içeren petri kaplarına yerleştirilmiştir (Soliman &

Badeaa, 2002). Petri kapakları parafilm ile sıkıca sarıldıktan sonra 27 °C’de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun 3., 4., 5. ve 6. günlerinde petrilere gelişen fungusların koloni çapları dijital kumpas kullanılarak ölçülmüştür.

## 2.2. *In vivo* koşullarda farklı ABA dozlarının *M. phaseolina*’ya etkisinin belirlenmesi

Çalışmanın bu aşamasında *in vitro* denemede kullanılan absisik asit dozları (0, 1, 5, 10 ve 20 µM) ile birlikte AMF’nin *Mp*’ya ve bitki gelişimine etkisi araştırılmıştır. Çalışma, ortalama 23±2 °C sıcaklık, 16 saat aydınlık, 8 saat karanlık fotoperiyot ve 4000-6000 lux ışık şiddetine sahip iklim odası koşullarında tesadüf parselleri deneme desenine göre 5 tekerrürlü olacak şekilde yürütülmüştür. Tohumlar, önce 2:1 oranında torf ve perlit karışımı içeren plastik bardaklarda her bardağa bir tohum olacak şekilde ekilmiştir. AMF’nin olduğu deneme parsellerinde, inokulum tohum ekim yatağına konulduktan sonra tohum ekimi gerçekleştirilmiştir. Bitkiler ilk gerçek yapraklı dönemden itibaren Hoagland besin solüsyonu içeren (% 0.2) su ile sulanmış ve 3 gerçek yapraklı döneme ulaşıncaya 2:1 oranındaki torf ve perlit içeren 3 litrelik saksılara aktarılmıştır. Deneme, 8. haftanın sonunda sonlandırılmıştır.

### 2.2.1. Fide gelişim parametrelerinin belirlenmesi

Kömür çürüklüğü hastalığına karşı farklı ABA dozları ile AMF uygulamasının bitki gelişimine etkilerinin belirlenebilmesi için bitki boyu, gövde çapı, yaprak sayısı ve sürgün yaş ağırlığı (SYA) belirlenmiştir. Ayrıca, yaprak alanı LI-3000 C (LI-COR Biosences) marka cihaz ile ölçülmüştür. Bitkilerde gerekli ölçümler tamamlandıktan sonra oda koşullarında nemini kaybetmesi sağlanmış ve sonrasında 65 °C etüvde 48 saat süreyle kurutularak sürgün kuru ağırlıkları (SKA) belirlenmiştir.

### 2.2.2. AMF kök kolonizasyonu, toprakta AMF spor yoğunluğunun belirlenmesi

AMF kök kolonizasyonu, bitkilerin kök bölgesinden yaklaşık 0.5-1g olacak şekilde parçalar alınarak AFA fiksasyon sıvısına (% 70’lik 90 ml alkol, 5 ml formaldehit ve 5 ml asetik asit) konulan köklerde (Phillips & Hayman, 1970), Grid-Line Intersect Metodu kullanılarak (Giovanetti & Mosseae, 1980), 1 no’lu Eşitlik yardımıyla belirlenmiştir.

$$\% \text{ AMF} = \text{AMF}_K / K \times 100 \quad (1)$$

AMF<sub>K</sub> = AMF ile kolonize olmuş kök sayısı;

K = Toplam kök sayısı

Toprakta AMF spor yoğunluğu, AMF’li bitkilerin rizosfer bölgesindeki topraklarda Gerdemann & Nicholson (1963) tarafından geliştirilen ıslak eleme metodu ile tespit edilmiştir.

### 2.2.3. *M. phaseolina*’nın hastalık şiddeti ve topraktaki propagül yoğunluğunun belirlenmesi

Fasulye bitkilerinde *Mp*’nın neden olduğu hastalık şiddetini belirlemek amacıyla, hasattan sonra bitki kökleri musluk suyunda yıkanmış, *M. phaseolina*’nın hastalık şiddeti 0-3 skalasına göre belirlenmiştir (Demir, 1998).

0= Sağlıklı

1= Kök boğazında 3 cm’den daha küçük hastalık belirtisi

2= Kök boğazında 3 cm’den daha büyük hastalık belirtisi

3= Bitki tamamen kurumuş ve ölmüş

Tanımsal skalaya göre belirlenen değerlerle, yeşil aksam Hastalık Şiddeti İndeksi (HŞİ) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$H\dot{S}\dot{I} (\%) = [\Sigma(SD \times BS)] \times 100 / ESD \times TB \quad (2)$$

SD: Skala değeri

BS: Aynı skala değerindeki bitki sayısı

ESD: En yüksek skala değeri

TB: Toplam bitki sayısı

*M. phaseolina*'nın topraktaki propagül yoğunluğunun belirlenmesi için; kaba unsurlarından ayrılmış ve elenmiş 1 g toprak örneği bir beher içerisinde 100 ml su içine karıştırılarak yaklaşık 10 dakika bekletilmiş ve bir blender yardımıyla 5 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra, önce 150 µm'lik elekten geçirilmiş, elek altı atılarak eleğin üzerindeki materyal su ile yıkanarak 45 µm'lik elekten geçirilmiştir. Eleğin üzerinde kalan materyal yine su ile yıkanarak bir kapta toplanmış, toplanan bu materyal 100 ml % 0.25'lik sodyum hipoklorit (NaClO) içinde 8 dakika kadar bekletildikten sonra, tekrar su ile yıkanarak NaClO uzaklaştırılmıştır. Bir süre bekletildikten sonra bu süspansiyondan 1 ml alınarak içinde PDA ortamı bulunan petrilere aktarılmış, 24°C ±2'de 7 gün inkübe edildikten sonra mikroskop altında incelenerek *M. phaseolina* kolonileri sayılmıştır (Demir, 1998).

### 2.3. İstatistiksel analizler

Hem *in vitro*, hem de *in vivo* deneme, tesadüf parselleri deneme planına göre 5 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmalardan elde edilen tüm verilerin istatistiki varyans analizleri SPSS (ver. 21) paket programı yardımıyla oneway varyans analizine tabi tutulmuş, uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine göre karşılaştırılmıştır. *In vitro* koşullarda koloni çaplarından elde edilen veriler PAST paket programında kümeleme analizine tabi tutulmuştur. Ayrıca ABA dozları ve uygulamalara karşılık gelen bağımsız değişkenlerin ısı haritası kümelemesi (ClustVis) yapılmıştır (Metsalu & Vilo, 2015).

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. *In vitro* koşullarda *Macrophomina phaseolina*'ya (Mp) en etkili absisik asit (ABA) dozunun belirlenmesi

ABA'nın *in vitro* koşullarda, Mp'nın koloni gelişimine etkisinin araştırıldığı denemede, koloni çapları ekim yapıldıktan sonra 3.,4.,5. ve 6. günlerde ölçülmüş ve elde edilen değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere elde edilen bulgular ve istatistiki değerlendirmelere göre 5 µM ABA dozunun, diğer dozlar ve kontrole göre Mp'nın gelişimini önleme yönünden en uygun doz olduğu belirlenmiş, özellikle 4, 5 ve 6. günlerde gerçekleştirilen ölçümlerde koloni çapının gelişiminde yarattığı etkinin diğer dozlardan önemli bir farklılık gösterdiği ( $p \leq 0.05$ ) ve kontrole göre Mp'nın gelişimini % 18.64 oranında daha fazla kısıtladığı tespit edilmiştir. Ayrıca 10 ve 20 µM ABA dozlarının kontrol ile aynı grupta olduğu ve bu bağlamda koloni gelişimini azaltmadığı da araştırma bulgularına yansımıştır (Çizelge 1).

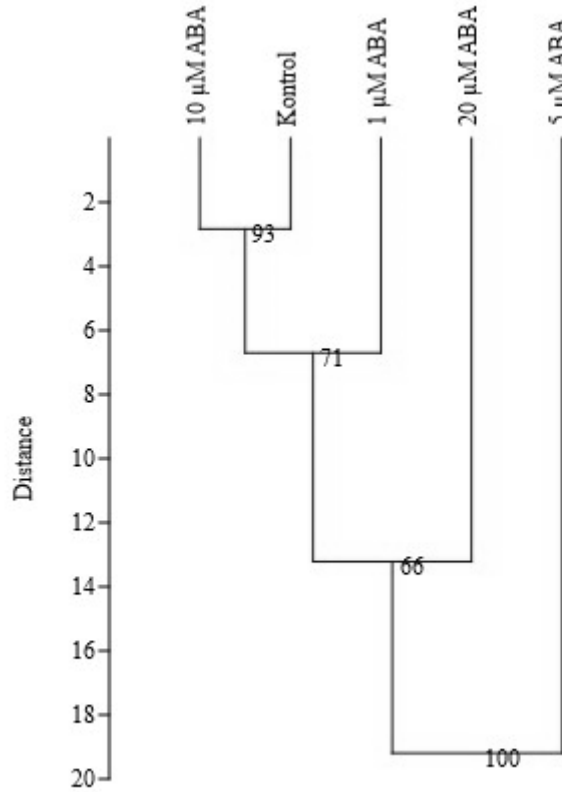
Absisik asitin biyotik etkenlere karşı bitki savunmasındaki etkisi negatif veya pozitif olabilmekte, mekanizmanın kesinlik kazanması için bilimsel çalışmalar süregelmektedir. Bu bağlamda ABA'nın bitki savunma mekanizmasını olumlu etkileyen, biyotik patojenlere karşı bitki gelişmesi ve sağlığında yararlı etki gösterdiğini ifade eden çalışmalar mevcuttur (Bari ve Jones, 2009; Maksimov, 2009; Khedia ve ark., 2020). Mevcut çalışmamızda da nekrotrofik patojen *M. phaseolina*'ya karşı 20 µM ABA uygulaması hariç tüm ABA dozları kontrole göre engelleyici etki göstermişlerdir (Çizelge 1). Hefel (2010), düşük doz ekzojen ABA uygulamasının *Macrophomina phaseolina*'nın hastalık belirtilerinin gelişimini daha çok hızlandırdığını tespit etmiş ve bunun ABA'nın hipersensitive tepkideki (HR) rolü ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar, çalışmamızın sonuçlarıyla çelişki göstermektedir. Söz konusu farklılığın *in vitro* ve *in vivo* çalışma sonuçlarının her zaman paralellik göstermemesinden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 1. *In vitro*da farklı ABA dozları uygulanmış Mp kültürlerinde farklı günlerdeki koloni çapı gelişimleri

Uygulamalar	Koloni Çapı Gelişimleri (mm)			
	3.Gün $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	4.Gün $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	5.Gün $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	6.Gün $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
1 $\mu$ M ABA	49.98 $\pm$ 1.83 <sup>b*</sup>	58.80 $\pm$ 1.57 <sup>b</sup>	69.10 $\pm$ 0.11 <sup>c</sup>	77.68 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>
5 $\mu$ M ABA	49.17 $\pm$ 0.94 <sup>b</sup>	55.25 $\pm$ 0.85 <sup>c</sup>	65.59 $\pm$ 0.04 <sup>d</sup>	64.94 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>
10 $\mu$ M ABA	53.86 $\pm$ 1.19 <sup>ab</sup>	60.41 $\pm$ 0.76 <sup>ab</sup>	73.92 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	78.56 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>
20 $\mu$ M ABA	60.68 $\pm$ 1.35 <sup>a</sup>	66.40 $\pm$ 1.52 <sup>a</sup>	79.95 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	80.91 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>
Kontrol	52.00 $\pm$ 1.71 <sup>ab</sup>	62.04 $\pm$ 1.37 <sup>ab</sup>	74.51 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	79.82 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>

\*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P > 0.05).

Farklı ABA dozları kullanılarak *in vitro* koşullarda geliştirilen Mp kültürlerinden elde edilen koloni çaplarına ait veriler kümeleme analizine tabi tutulmuş ve bir dendogram elde edilmiştir (Şekil 1). Bu dendograma göre 5  $\mu$ M ABA dozu tek başına ayrı bir grupta konumlanırken, 0, 1, 10 ve 20  $\mu$ M ABA konsantrasyonları ikinci ana grupta yer almıştır. Bu bağlamda varyans analizinde de ortaya konduğu üzere 5  $\mu$ M ABA'nın diğer muamele gruplarından farklı olduğu kümeleme analizinde de ortaya çıkmıştır.



Şekil 1. *In vitro* koşullarda geliştirilen Mp kültürleri ile farklı ABA dozları arasındaki ilişkiyi gösteren kümeleme analizine ait dendogram.

### 3.2. *In vivo* koşullarda ABA'nın farklı dozlarının *Macrophomina phaseolina*'ya ve AMF'ye etkisinin belirlenmesi

*In vitro* koşullarda *Mp*'ya etkisi belirlenen ABA dozlarının, daha sonra *in vivo* koşullarda, AMF ile birlikte *Mp* inokule edilmiş Gina fasulye çeşidinde fide gelişimi ve hastalığa etkisi test edilmiştir. ABA dozları ve AMF uygulamalarının fide gelişimi ve hastalık şiddetine etkisine ilişkin sonuçlar Çizelge 2 ve Çizelge 3'te verilmiştir.

#### 3.2.1. Fide gelişim kriterleri

*In vivo* koşullarda da AMF ve *M. phaseolina* uygulaması yapılan fasulye bitkilerine aynı ABA dozları (0, 1, 5, 10 ve 20  $\mu$ M) uygulanmıştır. Fide gelişim kriterleri açısından hem ABA dozları hem de uygulamalar arasında farklılıklar belirlenmiştir (Çizelge 2). Bitki gelişim kriterleri açısından genel olarak tüm ABA dozları kontrole göre azalmaya neden olmakla birlikte, Toplam yaprak alanı, SYA ve SKA gibi bazı parametrelerde kontrolden sonraki en yüksek değerlerin 5  $\mu$ M ABA dozundan elde edildiği görülmüştür (Çizelge 2). AMF'un tek başına olduğu uygulamada bitki boyunda kontrole göre artış, diğer parametrelerde azalış görülürken, istatistiki olarak fark sadece SYA'da ortaya çıkmıştır (Çizelge 2). AMF'un, negatif kontrol hariç (0  $\mu$ M ABA), diğer ABA dozlarıyla birlikte uygulandığı durumda; yaprak sayısı, SYA ve SKA hariç, kendi kontrolleri ve negatif kontrole göre bitki gelişim parametrelerinde olumlu sonuçlar elde edilmiş ve bu olumlu etki en çok 1 ve 10  $\mu$ M ABA dozlarında belirlenmiştir.

Çizelge 2 incelendiğinde, *Mp* uygulamasında bitki boyu, gövde çapı ve yaprak sayısı, AMF+*Mp* uygulamasında ise bitki boyu ve SYA özelliklerinde ABA dozları arasındaki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir ( $p \leq 0.05$ ) (Çizelge 2).

ABA dozlarının uygulamalarda ABA uygulanmamış (0  $\mu$ M) bitkilere göre fide gelişim özelliklerindeki değişim oranı incelendiğinde (Şekil 2) bitki boyunda kontrol grubunda tüm dozlarda belirli oranlarda bir artışın olduğu gözlenmiştir. *Mp*'da sadece 5  $\mu$ M dozun etkili olduğu, *Mp* ile birlikte AMF varlığında ise 20  $\mu$ M dozun pozitif bir artış sağladığı tespit edilmiştir. Gövde çapında 20  $\mu$ M ABA'nın tüm uygulamalarda artış yarattığı, yaprak sayısında ise *Mp* uygulamasında ABA dozu ile paralel bir şekilde artış yaşandığı belirlenmiştir. Yaprak sayısına benzer şekilde kontrol grubunda ABA dozları olumsuz etki yaparken, hastalık stresi koşullarında 1, 5 ve 20  $\mu$ M dozlarının etkili olduğu göze çarpmıştır. SYA ve SKA özelliklerinde kontrolde ABA etkili olmamış, ancak özellikle 1 ve 20  $\mu$ M ABA dozları *Mp* ve AMF+*Mp* uygulamalarında olumlu bir katkı sağlamıştır.

Stres koşulu altında bulunmayan bitki hücrelerinde genelde çok düşük seviyelerde bulunan ABA'nın bitki büyümesi için gerekli olduğu ifade edilmektedir (Jiang & Zhang, 2001; Finkelstein, 2013; Stec ve ark., 2016). Genel olarak büyümeyi engelleyici hormonlar içerisinde yer alan ABA'nın bu etkisinin yüksek dozlarda kendisini gösterdiği ve özellikle düşük doz ABA'nın büyümeyi teşvik edici etkisinin olduğu da belirtilmiştir (Chen ve ark., 2020). Farklı dozların değişen stres şartlarında bitki gelişimine etkilerinin değişkenlik gösterdiği yapılan bazı çalışmalarda da rapor edilmiştir (Yang ve ark., 2007; Çavuşoğlu ve ark., 2009; Başak, 2011; Abdeal, 2015; Zhang ve ark., 2021).

AMF genel olarak bitki gelişimi açısından teşvik edici unsurlara sahiptir (Dehne, 1982; Linderman, 1994). AMF'un bazı baklagil bitkilerinin (fasulye, soya fasulyesi, maş fasulyesi) de gelişimine olumlu etkilerde bulunduğu bazı çalışmalarda teyit edilmiştir (Aysan & Demir, 2009; Erdinç ve ark., 2017; Hindumathi ve ark., 2017; Marquez ve ark., 2018; Spagnoletti ve ark., 2020). Çalışmamızda, AMF'un gerek tek başına gerekse bazı ABA dozları ile birlikte uygulandığı durumlarda bazı fide gelişim parametreleri açısından olumlu etki gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 2). Fide gelişim parametreleri açısından ortaya çıkan farklılık bitki türü ve uygulanan AMF türü veya izolatına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Ullah ve ark., 2023).

Çizelge 2. Fasulyede farklı ABA dozlarında AMF ve *M. phaseolina* uygulamalarının bazı morfolojik gelişim parametrelerine etkileri ( $\bar{x} \pm S$ )\*

ABA Dozları	Uygulamalar	Bitki Boyu (cm)	Gövde çapı (cm)	Yaprak Sayısı (adet bitki <sup>-1</sup> )	Toplam Yaprak Alanı (cm <sup>2</sup> bitki <sup>-1</sup> )	SYA (g bitki <sup>-1</sup> )	SKA (g bitki <sup>-1</sup> )
0 µM	Kontrol	43.40±3.33	3.71±0.10	52.20±3.32 <sup>a</sup>	531.03±41.96 <sup>a</sup>	16.63±1.45 <sup>a</sup>	1.85±0.16 <sup>a</sup>
	AMF (+)	48.00± 4.21	3.54±0.26	44.40±2.42 <sup>ab</sup>	368.60±49.66 <sup>ab</sup>	12.16±0.76 <sup>b</sup>	1.40±0.13 <sup>ab</sup>
	Mp(+)	49.00±1.84 <sup>B*</sup>	3.90±0.11 <sup>AB</sup>	29.00±7.65 <sup>b B</sup>	204.45±88.65 <sup>b</sup>	8.22±2.17 <sup>bc</sup>	0.88±0.24 <sup>b</sup>
	AMF + Mp	57.20± 4.44 <sup>A</sup>	3.46±0.14	28.00±6.68 <sup>b</sup>	228.83±64.37 <sup>b</sup>	6.61±1.18 <sup>c A-C</sup>	0.89±0.28 <sup>b</sup>
p <sup>ABA0</sup>		0.093	0.270	0.015	0.006	0.001	0.011
1 µM	Kontrol	45.00±3.35	3.59±0.21	35.40±5.42 <sup>bc</sup>	387.38±64.47	10.89±2.66	1.29±0.34
	AMF (+)	52.80±1.24	3.75±0.13	48.60±4.04 <sup>a</sup>	461.43±65.30	15.45±1.72	1.76±0.22
	Mp(+)	40.00±3.96 <sup>C</sup>	3.43±0.15 <sup>B</sup>	30.20±2.56 <sup>c B</sup>	403.99±90.66	12.26±2.33	1.35±0.32
	AMF + Mp	51.20±5.30 <sup>AB</sup>	3.98±0.07	42.80±2.40 <sup>ab</sup>	415.17±77.31	9.78±1.17 <sup>AB</sup>	0.97±0.17
p <sup>ABA1</sup>		0.101	0.100	0.018	0.910	0.269	0.267
5 µM	Kontrol	48.60±4.47 <sup>ab**</sup>	4.10±0.17 <sup>a</sup>	43.60±6.19	446.65±56.81	15.55±1.66 <sup>a</sup>	1.68±0.20 <sup>a</sup>
	AMF (+)	40.60±4.15 <sup>b</sup>	3.98±0.22 <sup>a</sup>	41.60±5.70	440.99±97.58	14.13±2.68 <sup>a</sup>	1.41±0.32 <sup>a</sup>
	Mp(+)	57.80± 2.58 <sup>a A</sup>	3.40±0.20 <sup>bb</sup>	36.00±3.02 <sup>B</sup>	397.59±62.69	10.19±1.46 <sup>ab</sup>	1.08±0.20 <sup>ab</sup>
	AMF + Mp	42.80± 3.88 <sup>b B</sup>	3.36±0.17 <sup>b</sup>	36.80±10.18	229.84±127.65	4.56±1.80 <sup>b C</sup>	0.42±0.21 <sup>b</sup>
p <sup>ABA5</sup>		0.026	0.024	0.827	0.329	0.005	0.01
10 µM	Kontrol	55.20±3.43	3.91±0.07	44.60±1.29	367.38±50.02 <sup>ab</sup>	13.88±0.88 <sup>a</sup>	1.50±0.10 <sup>a</sup>
	AMF (+)	48.80± 3.35	3.94±0.39	46.40±6.76	476.64±90.19 <sup>a</sup>	14.74±2.54 <sup>a</sup>	1.58±0.34 <sup>a</sup>
	Mp(+)	47.00±1.41 <sup>BC</sup>	3.63±0.23 <sup>AB</sup>	40.20±3.79 <sup>AB</sup>	220.99±36.69 <sup>bc</sup>	7.39±0.71 <sup>b</sup>	0.75±0.12 <sup>b</sup>
	AMF + Mp	56.40± 2.73 <sup>A</sup>	3.60±0.25	36.20±6.72	156.56±67.35 <sup>c</sup>	5.03±1.56 <sup>b BC</sup>	0.62±0.26 <sup>b</sup>
p <sup>ABA10</sup>		0.083	0.698	0.520	0.014	0.001	0.016
20 µM	Kontrol	49.20±1.07 <sup>bc</sup>	4.14±0.17	45.60±4.68	399.12±24.45	13.00±1.60	1.41±0.19
	AMF (+)	52.20±1.93 <sup>b</sup>	3.78±0.14	35.80±3.43	412.97±117.28	9.84±1.66	0.96±0.25
	Mp(+)	45.20± 1.93 <sup>c BC</sup>	4.12±0.18 <sup>A</sup>	53.00±5.28 <sup>A</sup>	436.02±84.68	12.76±1.37	1.46±0.23
	AMF + Mp	58.80± 3.12 <sup>a A</sup>	3.64±0.13	40.40±5.14	340.77±88.98	10.31±1.97 <sup>A</sup>	1.12±0.27
p <sup>ABA20</sup>		0.003	0.093	0.098	0.878	0.372	0.414
p <sup>kontrol</sup>		0.151	0.084	0.177	0.179	0.205	0.393
p <sup>AMF</sup>		0.094	0.728	0.387	0.912	0.253	0.301
p <sup>Mp</sup>		0.001	0.039	0.015	0.117	0.145	0.194
p <sup>AMF+Mp</sup>		0.050	0.119	0.599	0.265	0.049	0.241

\*: Büyük harfler her uygulamadaki ABA dozlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.

\*\* : Küçük harfler her ABA dozunda uygulamaların karşılaştırmasını ifade etmektedir.

Aynı harflerle gösterilen rakamlar arasında istatistiki bakımdan fark yoktur ( $p \leq 0.05$ )





Şekil 2. Fide gelişim özelliklerinde ABA dozlarının, ABA uygulanmamış bitkilere göre uygulamalar bazında % değişim oranları.

### 3.2.2. AMF ve ABA uygulamalarının *Macrophomina phaseolina*'nın hastalık şiddeti ve toprakta Mp'nın koloni sayısı üzerine etkisi

ABA dozlarında Mp ve AMF+Mp uygulamalarının hastalık şiddeti üzerine etkisi önemsiz bulunurken, Mp koloni sayısında 0 ve 10  $\mu$ M ABA dozlarında bu uygulamalar arasındaki farkın etkili olduğu saptanmıştır ( $p \leq 0.05$ ) (Çizelge 3). AMF'nin hastalık şiddetini azalttığı görülse de bu azalışın önemli olmadığı gözlenmiştir. Mp koloni sayısında 0  $\mu$ M ABA dozunda AMF koloni sayısını önemli miktarda azaltırken, 10  $\mu$ M ABA dozunda tersi bir durum yaşanmıştır. Mp ve AMF+Mp uygulamalarında ABA dozları arasındaki farklılıkların karşılaştırılmasında da hastalık şiddetine ABA dozları etkisiz bulunmuştur (Çizelge 3). Koloni sayısında hem Mp hem de AMF+Mp uygulamasında önemli etkinin olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3). ABA'nın biyotik stres koşulları altındaki etkinliği abiyotik strese göre daha az bilinmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda hem nekrotrofik hem de biyotrofik patojenlere karşı savunma tepkileri ABA ile ilişkili bulunmakla ve salisilik asit (SA), jasmonik asit (JA) ve etilen (ET) gibi stres hormonları ile interaksiyonları bilinmekle beraber bitki savunmasındaki rolü bu hormonlar kadar anlaşılabilmiştir (Ton ve ark., 2009; Qi ve ark., 2016). ABA hipersensitiv reaksiyona neden olan ve patojenin yayılmasını önleyen reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini tetikleyebilmekte (Kawano, 2003), ayrıca kalloz birikiminde artış yoluyla bazı patojenlere karşı direnci artırmaktadır (Ton ve ark., 2009). Maksimov (2009), ABA eksikliği olan bazı mutantların biyotrofik patojenlere karşı yüksek direnç gösterdiğini, ancak nekrotrofik patojenlere karşı direncin azaldığını rapor etmiştir. Benzer şekilde Bari ve Jones (2009), ABA-eksik Arabidopsis mutantların nekrotrofik patojenlere karşı direncinin negatif etkilendiğini ya da ABA sinyalinin bozulması ile birlikte nekrotroflara karşı dayanıklılık seviyesinin yabancı bitkilerden daha iyi olduğunu belirtmiştir. Qi ve ark. (2016) ise buğdayda *Fusarium graminearum*' a karşı eksojen ABA uygulanmasının, duyarlılığı artırdığı yönünde bulgular elde ettiklerini bildirmiştir. Bu çalışmada, 5  $\mu$ M ABA dozunun kontrole göre hastalık şiddetinde artışa neden olmayan tek doz olması, toprakta Mp propagül sayısında 10  $\mu$ M ABA dozundan sonra en düşük değere sahip olması ve aralarındaki farkın istatistiki olarak önemli bulunmamasından dolayı, hastalık açısından en uygun ABA dozu, 5  $\mu$ M olarak belirlenmiştir. Adie ve ark. (2007), eksojen ABA uygulamasının, arabidopsis bitkisinde, *Pythium irregulare* ve *Alternaria brassicicola*' ya, Wiese ve ark. (2004), arpada *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*'ye karşı bitki direncine katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir. Agarwal ve ark. (2016) ve Kheida ve ark. (2020) ABA'nın bazı bitki ekstraktları ile birlikte kullanıldığında uyarıcı hormonlar salisilik asit (SA) ve absisik asit (ABA)'in maksimum birikim gösterdiklerini ve bu hormonların uyarıcı etkisiyle bitkilerin *M. phaseolina*'ya karşı direnç sağlandığını bildirmişlerdir. Söz konusu bulgular çalışmamızla uyumlu sonuçlardır. Mevcut çalışmamızda 5  $\mu$ M ABA dışındaki ABA dozlarının hastalık şiddetini artırmıştır. Benzer çalışmalarda bitkilerde daha yüksek ABA seviyelerinin, SA, JA veya etilenin aracılık ettiği sinyali baskılayarak savunma gen ekspresyonunu baskılayabildiğini ve patojenlerin bitki üzerindeki virulensliğini artırdığını belirtmişlerdir (Audenaert ve ark., 2002; Anderson ve ark., 2004; de Torres-Zabala ve ark., 2007). Ayrıca Hefel (2010) de, *Medicago truncatula* A17 bitkilerine eksojen 10 ve 20  $\mu$ M ABA uygulamasının, *M. phaseolina*'nın hastalık belirtilerinin gelişimini daha çok hızlandırdığını bildirmiştir.

AMF'nin tek başına, ve bütün ABA dozlarıyla uygulanmasında hastalığı azaltıcı etkisi olduğu, en yüksek baskılayıcı etkinin (% 33.34) AMF'nin 10  $\mu$ M ABA dozuyla uygulamasında ortaya çıktığı; toprakta Mp koloni sayısında ise, AMF'nin, 10 ve 20  $\mu$ M ABA dozlarında pozitif kontrollerine göre artış, diğer dozlarda azalma yarattığı görülmüştür (Çizelge 3). Konukçu bitki ile simbiyotik ilişki kuran AM fungusu bitkiye penetrasyondan sonra önemli fizyolojik değişikliklere yol açarak, bitkilerin hastalık etmenlerine predispozisyonunu etkilemektedir (Dehne, 1982; Linderman, 1994; Demir & Onoğur, 1999). Önemli bir kök patojeni olan *M. phaseolina*'nın baskılanmasında da AMF'un etkili olduğu birçok çalışmada kanıtlanmıştır (Jalali ve ark., 1990; Zambolim & Schenck, 1983; Demir, 1998; Hindumathi ve ark., 2017; Spagnoletti ve ark., 2017; Spagnoletti ve ark., 2020). İlgili çalışmalar ile mevcut çalışmamızın sonuçları birbiri ile paralellik göstermiş olup, AMF'un tek başına veya etkili ABA dozları ile beraber kullanıldığı durumlarda *M. phaseolina*'nın hastalık şiddetinin minimize ettiği ve bu baskılamada ABA'nın da stimüle edici etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3. Fasulyede farklı ABA dozlarında, AMF ve Mp uygulamalarının hastalık ve AMF özelliklerine etkisi

ABA Dozları	Uygulamalar	Hastalık şiddeti (%)	Mp koloni sayısı (Adet/g toprak)	Hastalık baskılama oranları (%)	AMF kök kolonizasyonu (%)	Toprakta AMF propagül sayısı (adet/ 10 g toprak)
0 µM	AMF (+)				5.96±1.16 <sup>b</sup>	19.20±4.22 <sup>C</sup>
	Mp(+)	46.67±8.17***	76.40±14.32 <sup>a A</sup>	0.00		
	AMF + Mp	44.44±11.11	36.00±6.96 <sup>b B</sup>	4.78	17.11±3.17 <sup>a A</sup>	26.20±10.67 <sup>BC</sup>
$p^{ABA0}$		0.875	0.035		0.011	0.537
1 µM	AMF (+)				6.97±0.60 <sup>b</sup>	37.80±9.92 <sup>BC</sup>
	Mp(+)	50.00±9.62	85.00±12.85 <sup>A</sup>	-6.66		
	AMF + Mp	46.67±8.17	71.20±15.45 <sup>A</sup>	6.66	16.82±0.86 <sup>a A</sup>	66.60±13.49 <sup>A</sup>
$p^{ABA1}$		0.798	0.512		0.000	0.124
5 µM	AMF (+)				6.99±1.46	80.00±8.95 <sup>a A</sup>
	Mp(+)	46.67±8.17	55.00±10.49 <sup>AB</sup>	0.00		
	AMF + Mp	41.67±8.34	36.00±6.00 <sup>B</sup>	10.71	13.96±4.03 <sup>AB</sup>	22.00±5.07 <sup>b C</sup>
$p^{ABA5}$		0.685	0.154		0.143	0.000
10 µM	AMF (+)				10.98±2.23 <sup>a</sup>	55.00±8.21 <sup>B</sup>
	Mp(+)	50.00±9.62	30.00±7.07 <sup>b B</sup>	-6.66		
	AMF + Mp	33.33±0.00	60.00±8.94 <sup>a AB</sup>	33.34	3.04±0.37 <sup>b C</sup>	54.25±15.34 <sup>AB</sup>
$p^{ABA10}$		0.089	0.030		0.008	0.965
20 µM	AMF (+)				7.02±1.75	19.00±3.76 <sup>C</sup>
	Mp(+)	53.33±18.26	60.00±16.73 <sup>AB</sup>	-12.49		
	AMF + Mp	40.00±14.91	64.00±12.63 <sup>AB</sup>	25.00	8.31±0.99 <sup>BC</sup>	14.40±2.87 <sup>C</sup>
$p^{ABA20}$		0.242	0.853		0.542	0.359
$p^{AMF}$					0.213	0.000
$p^{Mp}$		0.977	0.050			
$p^{AMF+Mp}$		0.698	0.085		0.002	0.007

\*: Büyük harfler her uygulamadaki ABA dozlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.

\*\* : Küçük harfler her ABA dozunda uygulamaların karşılaştırmasını ifade etmektedir.

\*\*\*: Her uygulamadaki ABA dozları ve her ABA dozundaki uygulamalarda hastalık şiddeti arasında istatistiksel fark yoktur.

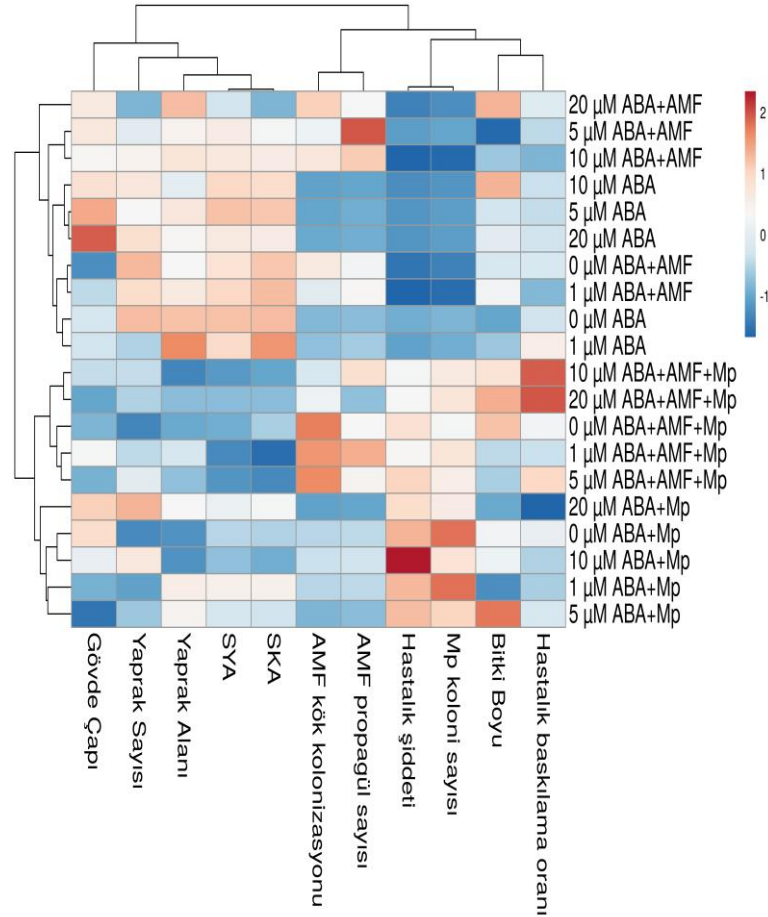
Aynı harflerle gösterilen rakamlar arasında istatistiksel bakımdan fark yoktur ( $p \leq 0.05$ )

### 3.2.3. ABA ve Mp uygulamalarının AMF'nin kök kolonizasyonu ve topraktaki propagül sayısı üzerine etkisi

AMF kök kolonizasyonu ve AMF propagül sayısı parametrelerinde AMF ve AMF+Mp uygulamaları varyans analizine tabi tutularak çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır (Çizelge 3). ABA'nın 0, 1 ve 10 µM dozlarında bu iki uygulamanın AMF kök kolonizasyonuna etkileri önemli bulunurken, AMF propagül sayısında sadece 5 µM ABA dozunda uygulamaların etkili olduğu saptanmıştır ( $p \leq 0.05$ ). Bu bağlamda 0 ve 1 µM ABA dozunda hastalık stresi altında AMF kolonizasyonu daha yüksek çıkarken, 10 µM ABA'da sadece AMF uygulamasında kolonizasyon daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3). AMF+Mp uygulamasında ABA dozlarının AMF kök kolonizasyonuna etkileri önemli bulunmuş, toprakta AMF propagül sayısında ise AMF ve AMF+Mp uygulamalarının ikisinde de ABA dozları arasındaki farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir ( $p \leq 0.05$ ). AMF+Mp uygulamasında ABA konsantrasyonu arttıkça kök kolonizasyonun da azaldığı görülmüştür (Çizelge 3). [Stec ve ark. \(2016\)](#) ABA konsantrasyonu arttıkça AM oluşumunda gerileme olduğunu ve düşük dozlardaki ekzojen ABA uygulamasının AMF kolonizasyonu üzerinde olumlu etkisinin olduğunu bildirirken, [Zhang ve ark. \(2019\)](#) da AMF gelişiminin belli ABA dozlarında teşvik edici olduğunu ifade etmişlerdir.

Çalışmamızda genel olarak patojen (Mp)'nin yer aldığı ve, 10 µM hariç, tüm ABA uygulamalarında (0 µM ABA dahil) AMF'un kök kolonizasyon oranlarının kontrole göre düşüş gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 3). Toprakta AMF spor sayısına bakıldığında ise ABA dozları arttıkça patojenin yer aldığı uygulamalarda kontrole göre bir artış olduğu gözlenmiştir (Çizelge 3). Yapılan çalışmalarda da biyotik ve abiyotik faktörlerin AMF'un gelişim parametrelerine etkisine yönelik farklı sonuçlar elde edilmiş ([Zambolim & Schenck, 1983](#); [Akköprü & Demir, 2005](#); [Turhan & Demir, 2013](#); [Spagnoletti ve ark., 2017](#)) ve AMF'lerin kolonizasyonu ve rizosfer toprağındaki spor yoğunluğunun lokalize oldukları bölgedeki abiyotik ve biyotik stres koşullarına bağlı olduğu ifade edilmiştir ([Akköprü & Demir, 2005](#)).

Çalışmada 5 farklı ABA dozu ile birlikte AMF ve Mp uygulamalarının bitki gelişimi, AMF ve Mp'nın bazı özellikleri ile ilişkilerini ortaya koymak amacıyla kümeleme ısı haritası (cluster heat map) analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Isı haritası, bir veri matrisine ait verilerin hiyerarşik kümeleme yapısıyla beraber ilişkilerini ortaya koyan ve bir olgunun büyüklüğünü göstermek için renk dağılımını kullanan iki boyutlu bir veri görselleştirme analizini ifade etmektedir (Barua ve ark., 2022; Karaman, 2023). Bu bağlamda oluşan iki ayrı kümelemenin olduğu görülmektedir. Satırlarda ABA ve uygulamaların meydana getirdiği dendogramda iki ana kümeleme grubunun meydana geldiği tespit edilmiştir. İlk grupta ABA'nın tek başına veya AMF ile birlikte olduğu uygulamalar yer alırken, ikinci grupta Mp uygulamasının olduğu muamele grupları kümelanmıştır. Sütunları oluşturan ve renk dağılımını belirleyen özelliklerde iki ana grup halinde kümelanmıştır. SYA, SKA, yaprak sayısı ve alanı ile gövde çapı ilk grubu oluştururken, AMF ve hastalık gelişimi ile ilgili özellikler ve bitki boyu ikinci ana grup içerisinde konumlanmıştır. Kırmızı renk yüksek değerleri, mavi renk ise düşük değerleri ifade etmektedir. Renk değişimleri dikkate alındığında özellikle bitki boyu hariç fide gelişimini belirleyen özelliklerde yüksek değerlerin genellikle hastalığın olmadığı ana grupta yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Fide gelişim özellikleri ile ilgili mavi renk yoğunlaşmasının ise Mp uygulamasını içeren muamele gruplarında görüldüğü tespit edilmiştir. Renk değişimine göre hastalık şiddetinin baskınmasında AMF ile birlikte özellikle 10 ve 20  $\mu\text{M}$  ABA dozlarının daha etkili olduğu gözlenmektedir. Hastalık stresi altında 1 ve 5  $\mu\text{M}$  ABA dozlarının AMF kolonizasyonunu artırabildiği de aynı zamanda görülmektedir.



Şekil 3. ABA dozları ve farklı uygulamalar ile bitki, hastalık ve AMF parametrelerinin hiyerarşik kümeleme modelini ifade eden ısı haritası.

#### 4. Sonuç

Çalışmada elde edilen sonuçlar ışığında; fasulyede ekonomik boyutta ürün kaybına yol açan kömür çürüklüğü etmeni *Macrophomina phaseolina*'ya karşı AMF ve uygun ABA dozlarının birlikte

kullanılmasının bitki gelişimi ve hastalık baskısını minimize etme bağlamında olumlu sonuçlar verebileceği söylenebilir. Bitkiler ekzojen olarak verilen ABA'nın ya kuraklığa bağlı birikim veya patojen enfeksiyonunda bitkinin direncini etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, söz konusu yaklaşımın farklı patosistemler üzerinde ve abiyotik stres faktörlerine karşı da etkisinin olacağı ve elde edilecek sonuçların sürdürülebilir tarım açısından anlamlı olacağı düşünülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri koordinasyon Birimi tarafından FDK-2018-6589 No'lu proje olarak desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Abdeelal, K. A. A. (2015). Effect of salicylic acid and abscisic acid on morpho-physiological and anatomical characters of faba bean plants (*Vicia faba*) under drought stress. *Journal of Plant Production*, 6(11), 1771-1788. <http://dx.doi.org/10.21608/jpp.2015.52096>
- Adie, B. A., Pérez-Pérez, J., Pérez-Pérez, M. M., Godoy, M., Sánchez-Serrano, J. J., Schmelz, E. A., & Solano, R. (2007). ABA is an essential signal for plant resistance to pathogens affecting JA biosynthesis and the activation of defenses in Arabidopsis. *Plant Cell*, 19(5), 1665-1681. <https://doi.org/10.1105/tpc.106.048041>
- Agarwal, P., Patel, K., Das, A. K., Ghosh, A., & Agarwal, P. K. (2016). Insights into the role of seaweed *Kappaphycu salvarezii* towards phytohormone signalling and regulating defence responsive genes in *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Applied Phycology*, 28, 2529-2537. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0784-1>
- Akköprü, A., & Demir, S. (2005). Biological control of Fusarium wilt in tomato caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. lycopersici by AMF *Glomus intraradices* and some rhizobacteria. *Journal of Phytopathology*, 153, 544-550. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2005.01018.x>
- Anderson, J. P., Badruzsafari, E., Schenk, P. M., Manners, J. M., Desmond, O. J., Ehlert, C., ... & Kazan, K. (2004). Antagonistic interaction between abscisic acid and jasmonate-ethylene signaling pathways modulates defense gene expression and disease resistance in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 16, 3460-3479. <https://doi.org/10.1105/tpc.104.025833>
- Audenaert, K., De Meyer, G. B., & Höfte, M. M. (2002). Abscisic acid determines basal susceptibility of tomato to *Botrytis cinerea* and suppresses salicylic acid-dependent signaling mechanisms. *Plant Physiology*, 128(2), 491-501. <https://doi.org/10.1104/pp.010605>
- Aysan, E., & Demir, S. (2009). Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli against *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Pathology Journal*, 8(2), 74-78. <https://doi.org/10.3923/ppj.2009.74.78>
- Bari, R., & Jones, J. D. (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Molecular Biology*, 69(4), 473-488. <https://doi.org/10.1007/s11103-008-9435-0>
- Barua, H., Saha, S. R., Ivy, N. A., Rasul, G., & Islam, A. A. (2022). Genetic divergence of guava (*Psidium guajava* L.) genotypes in Bangladesh: Guava Genotypes in Bangladesh. *SAARC Journal of Agriculture*, 20(1), 15-28. <http://dx.doi.org/10.3329/sja.v20i1.60618>
- Başak, H. (2011). *Absisik asit (ABA) uygulamalarının domates (Lycopersicon esculentum mill.) fidelerinde bazı fizyolojik ve morfolojik özellikler ile kök gelişim değerlerine etkisi*. (Doktora tezi), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Blair, M. W., Diaz, L. M., Buendia, H. F., & Duque, M. C. (2009). Genetic diversity, seed size associations and population structure of a core collection of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 119, 955-972. <https://doi.org/10.1007/s00122-009-1064-8>
- Chen, K., Li, G. J., Bressan, R. A., Song, C. P., Zhu, J. K., & Zhao, Y. (2020). Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 62(1), 25-54. <https://doi.org/10.1111/jipb.12899>
- CIAT. (1983). *Bean program annual report*. CIAT, Cali, Colombia. 288 pp.

- Çavuşoğlu, K., Kılıç, S., & Kabar, K. (2009). Effects of plant growth regulators on the root, stem and leaf anatomies of radish seedlings grown in abscisic acid medium. *Advances in Food Sciences*, 31(1), 34-40.
- de Torres-Zabala, M., Truman, W., Bennett, M. H., Lafforgue, G., Mansfield, J. W., & Rodriguez Egea, P., ... & Grant, M. (2007). *Pseudomonas syringae* pv. tomato arabidopsis abscisic acid signalling pathway to cause disease. *Embo Journal*, 26, 1434-43. <https://doi.org/10.1038/sj.emboj.7601575>
- Dehne, H. W. (1982). Interaction between vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology*, 72, 1115-1119.
- Demir, S. (1998). *Bazı kültür bitkilerinde vesiküler-arbusküler mikoriza (VAM) oluşumu ve bunun bitki gelişimi ve dayanıklılıktaki rolü üzerinde araştırmalar*. (Doktora Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Demir, S., & Onoğur, E. (1999). Bitkilerde vesiküler arbusküler mikoriza oluşumunun bitki besleme ve bitki korumadaki önemi. *Anadolu Journal of Agriculture*, 9(2), 12-31.
- Dhingra, O. D., Sinclair, J. B. (1978). *Biology and pathology of Macrophomina phaseolina*. Universidade Federal De Viosa, Minas Gerais.
- Erdinç, Ç., Demire Durak E., Ekincialp A., Şensoy, S., & Demir, S. (2017). Variations in response of determinate common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41, 1-9. <http://dx.doi.org/10.3906/tar-1609-68>
- FAOSTAT, 2022. Faostat–food and agriculture organization of the United Nations. Erişim Tarihi: 28.02.2023. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Finkelstein, R. (2013). Abscisic acid synthesis and response. *The Arabidopsis book/American Society of Plant Biologists*, 11. <http://dx.doi.org/10.1199/tab.0166>
- Gerdemann, J. W., & Nicholson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from the soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- Giovanetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84, 489-500.
- Gupta, G. K., Sharma, S. K., & Ramteke, R. (2012). Biology, epidemiology and management of the pathogenic fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. with special reference to charcoal rot of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Journal of Phytopathology*, 160(4), 167-180. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2012.01884.x>
- Hefel, A. J. (2010). *Molecular interactions between the pathogenic fungus Macrophomina phaseolina and its plant host Medicago truncatula*. (Master Thesis), Graduate School of Wichita State University.
- Hindumathi, A., Reddy, B. N., Sabitha Rani, A., & Narsimha Reddy, A. (2017). *Associative effect of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium on plant growth and biological control of charcoal rot in green gram [Vigna radiata L. (Wilczek)]* (Bhukya B., and Tangutur, A.D.). Apple Academic Press.
- Iqbal, U., Mukhtar, T., & Iqbal, S.M. (2014). In vitro and in vivo evaluation of antifungal activities of some antagonistic plants against charcoal rot causing fungus *Macrophomina phaseolina*. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 51(3), 689-694.
- Jalali, B. L., Chhabra, M. L., & Singh, R. P. (1990). Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal endophyte and *Macrophomina phaseolina* in mung bean. *Indian Phytopathology*, 43(4), 527-530.
- Jiang M., & Zhang, J. (2001). Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. *Plant and Cell Physiology*, 42(11), 1265-1273. <https://doi.org/10.1093/pcp/pce162>
- Karaman, R. (2023). Fasulye genotiplerinde çok değişkenli istatistiksel yöntemler ile tohum fiziksel özelliklerinin karakterizasyonu. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60(3), 451-464. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1258084>
- Kawano, T. (2003). Roles of the reactive oxygen species-generating peroxidase reactions in plant defense and growth induction. *Plant Cell Reports*, 21, 829-837. <https://doi.org/10.1007/s00299-003-0591-z>

- Khan, S. N. (2007). *Macrophomina phaseolina* as causal agent for charcoal rot of sunflower. *Mycopathologia*, 5(2), 111-118.
- Khedra, J., Danghariya, M., Nakum, A.K., Agarwal, P., Panda, A., Parida, A.K., ... & Agarwal, P.K. (2020). *Sargassum* seaweed extract enhances *Macrophomina phaseolina* resistance in tomato by regulating phytohormones and antioxidative activity. *Journal of Applied Physiology*, 32, 4373-4384. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02263-5>
- Koide, R. T. (2006). Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytol*, 117(3), 365-386. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb00001.x>
- Linderman, R. G. (1994). Role of VAM fungi in biocontrol. *Mycorrhizae and Plant Health*, 1-17.
- Ma, J., Hill, C. B., & Hartman, G.L. (2010). Production of *Macrophomina phaseolina* Conidia by multiple soybean isolates in culture. *Plant Disease*, 94(9), 1088-1092. <https://doi.org/10.1094/pdis-94-9-1088>
- Maksimov, I.V. (2009). Abscisic acid in the plants-pathogen interaction. *Russian Journal of Plant Physiology*, 56(6), 824-835. <http://dx.doi.org/10.1134/S102144370906003X>
- Marquez, N., Giachero, M. L., Gallou, A., Debat, H. J., Cranenbrouck, S., Di Rienzo, J. A., ... & Declerck, S. (2018). Transcriptional changes in mycorrhizal and nonmycorrhizal soybean plants upon infection with the fungal pathogen *Macrophomina phaseolina*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(8), 842-855. <https://doi.org/10.1094/MPMI-11-17-0282-R>
- Marquez, N., Giachero, M.L., Declerck, S., & Ducasse, D.A. (2021). *Macrophomina phaseolina*: General characteristics of pathogenicity and methods of control. *Frontiers in Plant Science*, 12, 634397. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634397>
- Martínez-Medina, A., Roldán, A., Albacete, A., & Pascual, J.A. (2011). The interaction with arbuscular mycorrhizal fungi or *Trichoderma harzianum* alters the shoot hormonal profile in melon plants. *Phytochemistry*, 72, 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.11.008>
- Melotto, M., Underwood, W., Koczan, J., Nomura, K., & He, S.Y. (2006). Plant stomata function innate immunity against bacterial invasion. *Cell*, 126, 969-80. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.06.054>
- Mengistu, A., Smith, J. R., Ray, C. D., & Bellaloui, N. (2011). Seasonal progress of charcoal rot and its impact on soybean productivity. *Plant Disease*, 95(9), 1159-1166. <https://doi.org/10.1094/pdis-02-11-0100>
- Mengistu, A., Ray, J. D., Smith, J. R., Arelli, P. R., Bellaloui, N., Chen, P., ... & Boykin, D. (2018). Effect of charcoal rot on selected putative drought tolerant soybean genotypes and yield. *Crop Protection*, 105, 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.11.012>
- Metsalu, T., & Vilo, J. (2015). ClustVis: A web tool for visualizing clustering of multivariate data using Principal Component Analysis and heatmap. *Nucleic Acids Research*, 43, 566-570. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv468>
- Mihail, J. D. (1992). *Macrophomina*. *Methods for Research on Soilborne Phytopathogenic Fungi*, 134-136.
- Mohr, P. G., & Cahill, D. M. (2003). Abscisic acid influences the susceptibility of *Arabidopsis thaliana* to *Pseudomonas syringae* pv. tomato and *Peronospora parasitica*. *Functional Plant Biology*, 30(4), 461-469. <https://doi.org/10.1071/fp02231>
- Ndiaye, M., Termorshuizen, A.J., Van Bruggen, A. H. C. (2007). Combine deffects of solarization and organic amendment on charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina* in the Sahel. *Phytoparasitica*, 35(4), 392-400. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02980703>
- Oyewole, B.O., Olawuyi, O.J., Odebode, A.C., & Abiala, M.A. (2017). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on drought tolerance and charcoal rot disease of cowpea. *Biotechnology Reports*, 14, 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.02.004>
- Partridge, D. (2003). *Macrophomina phaseolina*. Erişim Tarihi: 16.09.2017. [http://www.cals.ncsu.edu/course/pp728/Macrophomina/macrophominia\\_phaseolina](http://www.cals.ncsu.edu/course/pp728/Macrophomina/macrophominia_phaseolina).
- Pastor-Corrales, M.A., & Abawi, G.S. (1988). Reactions of selected bean accessions to infection by *Macrophomina phaseolina*. *Plant Disease*, 72, 39-41.
- Phillips, J.M., & Hayman, D.S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158- 161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)

- Qi, P. F., Balcerzak, M., Rocheleau, H., Leung, W., Wei, Y. M., Zheng, Y. L., & Ouellet, T. (2016). Jasmonic acid and abscisic acid play important roles in host–pathogen interaction between *Fusarium graminearum* and wheat during the early stages of fusarium head blight. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 93, 39–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmpp.2015.12.004>
- Singh, R. J., Chung, G. H., & Nelson, R. L. (2007). Landmark research in Legumes. *Genome*, 50, 525–537. <https://doi.org/10.1139/g07-037>
- Soliman, K.M., & Badeaa, R.I., (2002). Effect of oil extract from some medicinal plants on different mycotoxigenic fungi. *Food and Chemical Toxicology*, 40(11), 1669–1675. [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(02\)00120-5](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(02)00120-5)
- Spagnoletti, F., Carmona, M. E. Tobar Gómez, N. E. T., Chiocchio, V. S., & Lavado. R. S. (2017). Arbuscular mycorrhiza reduces the negative effects of *M. phaseolina* on soybean plants in arsenic-contaminated soils. *Applied Soil Ecology*, 121, 41–47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.019>
- Spagnoletti, F. N., Cornero, M., Chiocchio, V., Lavado, R. S., & Roberts, I. N. (2020). Arbuscular mycorrhiza protects soybean plants against *Macrophomina phaseolina* even under nitrogen fertilization. *European Journal of Plant Pathology*, 156, 839–849. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01934-w>
- Stec, N., Banasiak, J., & Jasinski, M. (2016). Abscisic acid an overlooked player in plant-microbe symbioses formation?. *Acta Biochemica Polonica*, 63, 53–58. [https://doi.org/10.18388/abp.2015\\_1210](https://doi.org/10.18388/abp.2015_1210)
- Ton, J., Flors, V., & Mauch-Mani, B. (2009). The multifaceted role of ABA in disease resistance. *Trends in Plant Science*, 14(6), 310–317. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.03.006>
- Turhan, P., & Demir, S. (2013). Çilekte siyah kök çürüklüğü (*Rhizoctonia solani* Kühn.) hastalığına karşı bazı biyolojik mücadele elemanlarının etkileri. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 4(2), 125–140.
- Ullah, F., Ullah, H., Ishfaq, M., Khan, R., Gul, S.L., Gulfraz, A., ... & Zhifang, L. (2023). Genotypic variation of tomato to AMF inoculation in improving growth, nutrient uptake, yield, and photosynthetic activity. *Symbiosis*, 9(12), 1–14. <http://dx.doi.org/10.1007/s13199-023-00961-5>
- Wiese, J., Kranz, T., & Schubert, S. (2004). Induction of pathogen resistance in barley by abiotic stress. *Plant Biology (Stuttg)*, 6, 529–536. <https://doi.org/10.1055/s-2004-821176>
- Wu, M., Yan, Y., Wang, Y., Mao, Q., Fu, Y., Peng, X., ... & Ahammed, G.J. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi for vegetable (VT) enhance resistance to *Rhizoctonia solani* in watermelon by alleviating oxidative stress. *Biological Control*, 152. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104433>
- Yang, L., Yu, C. L., Shi, F., Wei, Y. Q., Wang, C. C., Hu, H. T., & Cheng, C. G. (2007). Effects of abscisic acid on growth and dehydration tolerance of *Cynanchum komarovii* seedlings. *Plant Growth Regulation*, 51, 177–184. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9160-0>
- Zambolim L., & Schenck, N. C. (1983). Reduction of the effects of pathogenic, root-infecting fungi on soybean by the mycorrhizal fungus, *Glomus mossea*. *Phytopathology*, 73, 1402–1405. <http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-73-1402>
- Zhang, X. H., Liu, Y. H., Liu, B. W., Liu, Q., Wen, S. Y., Ao, B., ... & Xu, Y. F. (2019). Arbuscular mycorrhiza fungus improved growth, antioxidant defense and endogenous hormones in tall fescue under low-light stress. *South African Journal of Botany*, 127, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.08.032>
- Zhang, X., Tahir, M. M., Li, S., Tang, T., Mao, J., Li, K., ... & Zhang, D. (2021). Effect of exogenous abscisic acid (ABA) on the morphology, phytohormones, and related gene expression of developing lateral roots in ‘Qingzhen 1’ apple plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 148, 23–34. <https://doi.org/10.1007/s11240-021-02157-5>