



Araştırma/Research

Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 34 (2019)
ISSN: 1308-8750 (Print) 1308-8769 (Online)
doi: 10.7161/omuanajas. omuanajas.493910

Kavunda *Fusarium* solgunluk hastalığına karşı bazı rizobakterilerin ve bitki aktivatörlerinin etkinliklerinin belirlenmesi

Kübra Delisoy, Hacer Handan Altınok*

Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kayseri
*Sorumlu yazar/corresponding author: altinokh@erciyes.edu.tr

Geliş/Received 08/12/2018

Kabul/Accepted 10/06/2019

ÖZET

Fusarium solgunluk hastalığı (*Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*) dünyada kavun (*Cucumis melo* L.) yetiştiriciliğini sınırlandıran en önemli fungal hastalıklardan biridir. Hastalık etmeninin en genel yayılma yolu toprak olup, tohumla taşınması da söz konusu olabilmektedir. Bu etmene karşı bitki gelişimini uyararak kök bakterileri (Plant growth promoting rhizobacteria; PGPR)'nden bazılarının [*Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* (B379c), *Pseudomonas aeruginosa* (P07-1 ve P074), *Pseudomonas* sp. (P48-2)] ve bazı bitki aktivatörlerinin (AuxiGro, Crop-Set ve ISR-2000) etkinlikleri, hastalığın mücadelesinde yaygın olarak kullanılan bir fungusit (Maxim® XL) ile karşılaştırılmalı olarak araştırılmıştır. Ayrıca, PGPR ve aktivatörlerin bitki hastalıklarının baskılamada önemli bazı enzimleri (prolin, katalaz ve peroksidaz) aktive etme durumları da değerlendirilmiştir.

Tohum çimlendirme denemelerinde başta P07-4 izolatu olmak üzere diğer PGPR izolatlarının (B379c, P07-1 ve P48-2) kavun tohumlarının radikula-hipokotil uzunluğunu ve tohum canlılık indeksini kontrole göre arttırdığı belirlenmiştir. Bu izolatlar, *F. oxysporum* f. sp. *melonis* (Fom-TR01)'in miseliyal gelişimini % 20-29 oranında engellemiştir. Saksı denemelerinde, PGPR ve bitki aktivatörü uygulamalarının *Fusarium* solgunluk hastalığını kontrole kıyasla önemli oranda azalttıkları saptanmıştır. PGPR izolatları arasında, *P. aeruginosa* (P07-1) hastalık şiddetini pozitif kontrole (% 61.67) kıyasla % 35.67 oranında azaltarak en başarılı izolat olarak belirlenmiştir (%AUDPC 45.39). Bitki aktivatörlerinden AuxiGro hastalık gelişimini pozitif kontrole göre % 49.25 oranında azaltırken, Crop-Set % 41.80 ve ISR-2000 %35.82 oranında azaltmıştır. P07-1 izolatu ve AuxiGro bitki aktivatörü, patojene karşı savunma enzimlerini (Prolin, katalaz (CAT) ve peroksidaz (POX)) teşvik eden en iyi iki uygulama olarak tespit edilmiştir. PGPR izolatlarının hastalığı baskılamadaki mekanizmasının, bitki büyüme düzenleyici rolü ile birlikte uyarılmış dayanıklılık ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler:

Fusarium oxysporum

f. sp. *melonis*

PGPR

Uyarılmış dayanıklılık

Determination of efficiencies of some rhizobacteria and plant activators against *Fusarium* wilt disease of melon

ABSTRACT

Fusarium wilt disease (*Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*) is one of the major pathogens threatening the melon (*Cucumis melo* L.) production worldwide. The most common way that the disease is spread to plants is via infested soil, and infected seeds may also contribute to the disease dispersal. Effects of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) [*Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* (B379c), *Pseudomonas aeruginosa* (P07-1 ve P074), *Pseudomonas* sp. (P48-2)] and some plant activators (AuxiGro, Crop-Set and ISR-2000) were investigated in comparison to a commonly used fungicide (Maxim® XL). Also, the roles of PGPR and activators in activating some enzymes (proline, catalase and peroxidase) which are critical in suppression of plant diseases, were evaluated.

In seed germination experiments, particularly P07-04, and other PGPR isolates, B379c, P07-1 and P48-2 were significantly increased radicle-hypocotyl length and seed vigor index of melon seeds, compared to control. These isolates inhibited the mycelial development of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* (Fom-TR01) at the rates of 20-29%. In pot experiments, it was determined that PGPR and plant activator treatments significantly lowered *Fusarium* wilt disease, compared to positive control. Among PGPR isolates, *P. aeruginosa* (P07-1) was the most successful isolate (AUDPC 45.39%) by lowering disease severity at a rate of 35.67% (61.67% of efficiency compared to positive control). Along with

Keywords:

Fusarium oxysporum

f. sp. *melonis*

PGPR

Induced resistance

disease prevention ability, this isolate also displayed a plant growth promoting effect. Among plant activators, AuxGro was the most successful activator compared to positive control, with an efficiency rate of 49.25% while 41.80% efficiency was obtained with Crop-Set and 35.82% with ISR-2000. These two biotic and abiotic treatments (P07-1 and AuxGro) were identified as the best defense enzyme (Proline, "catalase" (CAT) and peroxidase (POX)) inducers against the pathogen. The disease suppression mechanism of PGPR isolates was determined to be associated with promoting the plant growth, as well as induced resistance. © OMU ANAJAS 2019

1. Giriş

Kavun yetiştiriciliğinde *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. f.sp. *melonis* (Leach & Currence) W.C. Snyder & H.N. Hansen (Fom) etmeninin neden olduğu Fusarium solgunluk hastalığı, gerek ülkemizde gerekse dünyada kavun yetiştiriciliğini sınırlandıran en önemli fungal hastalıklardan biridir (Chupp, 1930; Yücel ve ark., 1994). Fusarium solgunluk hastalığının yanı sıra, mildiyö, külleme, antraknoz ve Verticillium solgunluk hastalıkları da bazı yıllar verim kayıplarına neden olabilmektedir (Erzurum ve Maden, 2002; Kurt, 2013). Kavunda Fusarium solgunluk etmeni (Fom) dünyada ilk kez Chupp (1930) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nin New York eyaletinde rapor edilmiştir. Ülkemizde ise ilk kez, 1939 yılında Manisa'da tespit edilmiştir (Bremer, 1944). Etmenin bildirildiği diğer bölgeler Trakya (Soran, 1975), Ege (Evcil ve Yalçın, 1977; Yıldız, 1977), Güneydoğu Anadolu (Sağır, 1988; Kurt ve ark., 2002), Doğu Akdeniz (Yücel ve ark., 1994), Orta Anadolu ve Marmara (Akdoğan, 1969; Erzurum ve ark., 1999) şeklinde sıralanabilir. Hastalık etmeni toprakta klamidospor formunda canlı kalmakta, buradan gelişen miselyum bitkinin genç köklerini infekte etmekte ve makro ve mikro konidileri ile iletim demetlerini tıkayarak genel bir solgunluğa neden olmaktadır. Vejetasyonun ilerleyen dönemlerinde ise, çökme ve kurumalar gözlemlenmektedir. Fom'un günümüzde ırk 0, ırk 1, ırk 2 ve ırk 1-2 olmak üzere dört ırkı rapor edilmiştir (Risser ve ark., 1976; Mas ve ark., 1981). Ülkemizde Ege Bölgesi'nde Fom'un 0, 1, 1-2 no'lu ırklarının, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 0, 1, 2, 1-2 ırklarının ve Doğu Akdeniz Bölgesi'nde 0, 1, 1-2 ırklarının yaygın olduğu rapor edilmiştir (Şensoy, 2005).

F. oxysporum tür kompleksi (FOSC; *F. oxysporum* species complex), solgunluk ve kök çürüklüğüne neden olan en yaygın fitopatojenik türleri içermektedir. Eşeyli dönemi olmayan patojenik formları konukçuya özelleşmiş olup, infekte ettiği bitki türlerine bağlı olarak farklı formae speciales (f. sp.) grupları içermektedir (Booth 1971; Gordon ve Martyn 1997; Kirk ve ark., 2008). *F. oxysporum* mikrokonidi, makrokonidi ve klamidospor olmak üzere üç çeşit aseksüel spor oluşturmaktadır (Nelson ve ark., 1994; Alexopoulos ve ark., 1996; Agrios, 2005; Leslie ve Summerell, 2006). En genel yayılma yolu toprak olan bu etmenin, tohumla taşınması da söz konusu olabilmektedir. Fusarium solgunluk hastalıklarının mücadelesinde tolerant/dayanıklılık çeşit, sertifikalı tohum, uygun sulama

ve gübreleme, tohum dezenfeksiyonu, ekim nöbeti, bitki artıklarının imhası ve yabancı ot kontrolü gibi kültürel önlemler sıralanabilir (Yıldız, 1977; Hennessy ve ark., 2005; Altınok, 2013). Ayrıca, entegre hastalık yönetiminin bir parçası olarak, biyolojik preparatlar solgunluk hastalıklarının mücadelesinde kullanılabilir (Bora ve Özaktan, 1998).

Toprak kökenli bitki hastalıklarının kontrolünde kimyasal mücadeleye alternatif yöntemler arasında, patojen enfeksiyonundan önce konukçuda savunma genlerinin harekete geçirilmesi esasına dayanan dayanıklılığın teşviki (Induced resistance) çalışmaları giderek önem kazanmaktadır. Bitkide patojenlere karşı dayanıklılık regülasyonunda, salisilik asit (SA), jasmonik asit (JA) ve etilen (ET) sinyal bileşenleri önemli rol oynamaktadır. Bitki kök bölgesi bakterilerinin bitki sağlığını destekleyici özellikleri bilinmektedir. Bitki büyüme düzenleyici rizobakterilerin (Plant Growth Promoting Rhizobacteria; PGPR) bitki gelişimini desteklemelerinin yanı sıra, bitkide savunma mekanizmasını da harekete geçirerek fungal, bakteriyel ve viral çok sayıda etmene karşı koruma sağladıkları bildirilmiştir (Wei ve ark., 1996; van Loon ve ark., 1998). Kitinaz, β -1,3 glukonaz, patojenez ile ilgili proteinler, fitoaleksin birikimi, lignin, kalloz ve hidroksiprolince zengin glikoproteinler, koruyucu biyopolimer oluşumu savunma reaksiyonları PGPR'lar tarafından aktive edilebilmektedir (Glazebrook, 2001).

Günümüzde bitki aktivatörü olarak adlandırılan bazı sentetik bileşiklerin ticari preparatları hazırlanmış ve pratikte kullanıma sunulmuştur. Aktivatörler bitkide patojen saldırısına karşı savunma mekanizmasını aktive etmekte, stres koşullarından bitkiyi korumakta, verim ve kaliteyi olumlu yönde etkilemektedir (Tosun ve Ergün, 2002). Ülkemizde ruhsatlı ürünler arasında; Actigard, Messenger, AuxGro, Humiforte, Crop-Set ve ISR-2000 sayılabilir. ISR-2000 *Lactobacillus acidophilus*, maya ekstraktı, Yucca bitki ekstraktı ve BTH (Benzo-(1,2,3)-thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester) içermektedir. Crop-Set yüksek performanslı mineral vitaminlerin birleşimleri ile birlikte doğal bir bağlayıcı ve nitrojen (azot) katalizörü içermektedir (Tosun ve Ergün, 2002). AuxGro içeriğini oluşturan gamma amino butirik asit (GABA) bitkilerde mineral alımını düzenlemekte, fotosentezi hızlandırmakta ve patojene karşı stresi azaltarak bitkinin hastalık direncini artırmaktadır (Kinnersley, 2000).

Bu çalışmada, ülkemiz kavun tarımında önemli verim kayıplarına neden olan Fusarium solgunluğu hastalığının kontrolünde, bazı rizobakterilerin (*Pseudomonas* ve *Bacillus* spp.) ve mücadelede

alternatif ürünler olarak bazı bitki aktivatörlerinin (ISR-2000, Auxigro ve Crop-Set) etkinlikleri yaygın kullanılan bir fungusla karşılaştırılmalı olarak araştırılmıştır. Ayrıca, PGPR ve bitki aktivatörlerinin bitki savunmasında önemli savunma enzimlerinden CAT, POX ve prolin sentez oranlarına etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Kavun solgunluk hastalığı etmeni *F. oxysporum* f. sp. *melonis* (Fom-TR01, ırk1-2) ve rizobakteriler "*Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* (B379c), *Pseudomonas aeruginosa* (P07-1 ve P07-4), *Pseudomonas* sp. (P48-2)" Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Mikoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonundan temin edilmiştir. Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri (PGPR), ERÜ-BAP FBA1065 kodlu proje kapsamında karakterize edilen bakteriler arasından seçilmiştir (Yıldız ve ark., 2012; Altınok ve ark., 2013). Bitki aktivatörü olarak Auxigro, Crop-Set ve ISR-2000 kullanılmıştır. Ayrıca, Fusarium solgunluk hastalığına karşı üreticilerin yaygın olarak tercih ettikleri, ülkemizde ruhsatlı Maxim® XL (Aktif madde 25 g l⁻¹ Fludioxonil+10 g l⁻¹ Metalaxyl-M) fungusitine de çalışmada yer verilmiştir. Çizelge 1'de çalışmada yer alan aktivatörler ve fungusit ürün bilgileri verilmiştir. *In vitro* kök kolonizasyon testi ve saksı denemelerinde solgunluk hastalığına duyarlı Fransız kavun çeşidi (*Cucumis melo* L. Cantalupensis Group, cv. Luna)'nin tohumları kullanılmıştır.

Çizelge 1. Bitki aktivatörleri ve fungusit ürün bilgileri

Uygulamalar	Üretici Firma	Doz
Auxigro	Emerald Bio	30g/da-yeşil aksam
Crop-Set	Improcrop	60ml/da-yeşil aksam
ISR-2000	Improcrop	100ml/da-yeşil aksam
Maxim	Syngenta	500ml/da-toprak

2.1. Rizobakteri İzolatlarının Antagonistik Etkilerinin Testlenmesi

Kültür koleksiyonunda bulunan 17 adet PGPR'in *in vitro*'da kavunda Fusarium solgunluk etmenine antagonistik aktivitelerinin belirlenmesi çalışmalarında *F. oxysporum* f. sp. *melonis*'in Fom-TR01 izolatu, patates Dekstroz Agar (PDA Merck, Darmstadt, Germany) ortamında, PGPR'ler ise Nutrient Agar (NA, Merck) besi ortamında geliştirilmiştir. Petri kaplarının (9 cm) kenarlarından ve merkezden eşit uzaklıktaki 4 noktaya PGPR izolatından 50 µl (10⁸ hücre ml⁻¹ süspansiyonu olacak şekilde) inokule edilerek 25°C±1'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra Fom-TR01 izolatının bir haftalık taze kültüründen alınan 4 mm'lik agar diski, Petri kabının merkezine inokule edilerek, 25°C±1'de karanlık koşullarda 7 gün inkübe edilmiştir (Yıldız ve ark., 2012). Tesadüf parselleri deneme desenine göre 10 tekerrürlü kurulan

denemede (Her Petri kabı bir tekerrür) patojenin koloni çapı ölçülerek mm cinsinden kaydedilmiş ve yüzde etkisi eşitlik 1'de verilen formüle göre hesaplanmıştır:

$[(R-r)/R]*100$; *r*: bakteri kolonisinin karşısındaki fungal koloninin çapı; *R*: Fungal koloninin maksimum çapı (1)

İzolat seçiminde antibiyosis etki mekanizmasından bağımsız olarak, PGPR izolatlarının daha önce tamamlanan proje kapsamında belirlenmiş karakterizasyon özellikleri dikkate alınmıştır. Bu bağlamda azot bağlayan, fosfat çözebilen, proteaz aktivite gösteren, siderofor ve HCN üreten iki adet izolat (*P. aeruginosa*; P07-1 ve P07-4) ile birlikte azot bağlayan ve proteaz aktivite gösteren iki adet PGPR izolatı (*Bacillus subtilis* subsp. *subtilis*; B379c ve, *Pseudomonas* sp.; P48-2) değerlendirmeye alınmıştır (Yıldız ve ark., 2012).

2.2. Kök Kolonizasyon Testi

Kavun tohumlarının sodyum hipoklorit (%2'lik NaOCl) solüsyonunda yüzey dezenfeksiyonu yapılmış, iki kez steril distile suda durulandıktan sonra kurutulmuştur. Tohumlar 50'şer adet gruplara ayrılmış ve püskürtme yöntemi ile bakterilerin 10⁸ hücre ml⁻¹ yoğunlukta süspansiyonları uygulanmıştır. Tohumlar uygulamadan sonra 60 dakika tekrar kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan tohumlar 11 cm'lik Petri kaplarında 10 adet bulunacak şekilde, 5 tekerrür halinde %1'lik su agar ortamında 24°C'de inkübe edilmiştir. Kontrol tohumları ise bakteri uygulamadan, sadece su agar besiyeri ile kaplanmıştır. Bu şekilde hazırlanan tohumlar 24°C'de 10 gün inkübe edilmiş, inkübasyonun 5. gününde tohumların radikula ve hipokotil uzunluğu ölçülerek mm cinsinden kaydedilerek çimlenme oranı (%) ve tohum canlılık indeksi hesaplanmıştır (Abul-Baki ve Anderson, 1973; Gupta, 1993). Veriler SPSS programında Tukey's HSD testi (P<0.01) ile analiz edilerek uygulamalar arasındaki fark karşılaştırılmıştır.

2.3. PGPR ve Aktivatör Uygulamalarının Kavunda Fusarium Solgunluk Hastalığının Gelişimine Etkileri

Yüzey dezenfeksiyonu yapılan kavun tohumları, steril kum-toprak-torf (1:2:1) içeren plastik küvetlere (28x38 cm) ekilmiş, dikotiledon yapraklı dönemde iken, steril kum-toprak-torf (1:2:1) içeren 13 cm çaplı plastik saksılara şaşırtılmıştır. Fideler 5-6 gerçek yapraklı döneme geldiklerinde, her saksıya 50 ml PGPR izolatı inokule edilmiştir. Bu amaca yönelik olarak, NA besiyerinde 2 gün geliştirilen bakteri hücreleri 10 mM MgCl₂'de süspansiyon edilerek inokulum süspansiyonu hazırlanmıştır (10⁸ hücre ml⁻¹). PGPR uygulandıktan bir hafta patojen (10⁶ cfu ml⁻¹) kök daldırma yöntemi ile inokule edilmiştir (Altınok ve Can, 2010; Altınok ve ark., 2013).

Aktivatörler PGPR uygulaması ile aynı gün yeşil aksama püskürtme şeklinde uygulanmıştır. Auxigro

(300 mg 100 ml⁻¹), Crop-Set (60 µl 100 ml⁻¹), ISR-2000 (100 µl 100 ml⁻¹) uygulamasından bir hafta sonra patojen kök daldırma yöntemi ile inokule edilmiştir. Maxim fungusiti ise eş zamanlı olarak toprağa uygulanmıştır (125 µl 100 ml⁻¹). Pozitif kontrol bitkilere sadece patojen inokulumu, kök daldırma yöntemi ile inokule edilmiştir. Negatif kontrol bitkiler ise, spor süspansiyonu yerine steril distile suya daldırılmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre her bir saksıda 2 fide olacak şekilde 3 tekerrürlü olarak kurulmuş ve 16 saat aydınlık (11000 lüks), 8 saat karanlık fotoperiyota ayarlı, %80 nisbi nem, gündüz 27±2°C ve gece 24±2°C sıcaklık koşullarına sahip, iklim kontrollü kabinlerde yürütülmüştür. Fideler inokulasyondan sonra ilk simptomların gözlemlendiği günden itibaren bitkilerde ölüm görünümlerinin başladığı süreye kadar (21 gün) periyodik olarak 7, 14 ve 21. günlerde Altınok ve Kamberoğlu (2005)'nin solgunluk skalası modifiye edilerek değerlendirilmiştir. Denemenin sonlandırıldığı 21. güne ait skala değerleri üzerinden, Townsend-Heuberger formülüne göre yüzde hastalık şiddeti ve Abbott formülüne göre de uygulamaların yüzde etkileri saptanmıştır (Karman, 1971). Ayrıca, denemede yer alan bitkilerin toprak üstü aksamı bitki boyu (mm) ve kök-yeşil aksam kuru ağırlığı (g) belirlenmiştir. Elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuş (one way ANOVA) ve ortalamalar arasındaki önemli farklılıklar Tukey's HSD testi (P<0.01) ile belirlenmiştir (JMP v9.0 software (SAS Institute Inc., Carry, NC, USA). Ayrıca, hastalık gelişim eğrisi altında kalan alan eşitlik 2'de verilen formüle göre (AUDPC; The area under disease progress curve) hesaplanmıştır (Campbell ve Madden, 1990; Altınok ve Can, 2010).

"AUDPC = $\sum[(x_i + x_{i+1}) / 2] (t_{i+1} - t_i)$, x, i günündeki değerlendirmede kaydedilen hastalık şiddeti;

(t_{i+1} - t_i), ardışık iki ölçüm arasındaki zaman" (2)

2.4. Savunmada Rol Alan Enzimlerin Biyokimyasal Analizleri

2.5.

Saksı denemelerinde biyokimyasal analizler için, patojen inokulasyonundan 24, 48, 72 saat, 7, 14 ve 21 gün sonra bitkilerden yaprak örnekleri (1 g) alınarak, distile suda yıkandıktan sonra sıvı azotta dondurulmuş ve analiz yapılabildiği kadar -80°C'de bekletilmiştir. Prolin ekstraksiyonu ve saptanması; Bates ve ark. (1973)'nin önerdikleri yöntemle yapılmıştır. Asit-ninhidrin karışımı renk maddesi olarak kullanılmıştır. Ninhidrin (1.25 g), glasiyal asetik asit (30 ml) ve 6 M fosforik asit (20 ml) içerisinde çözülmüştür. Yaprak örnekleri 10 ml %3'lük sülfosalisilik asit içinde homojenize edilmiştir. Homojenizasyon Whatman No: 2 filtre kağıdından geçirildikten sonra 2 ml'lik karışım 100°C'de 1 saat süreyle kaynatılmış ardından reaksiyon buz içerisinde sonlandırılmıştır. Absorbans 515 nm toluen kontrolüne karşı okunmuştur. Standart olarak önceden hazırlanmış olan L-Prolin solüsyonu kullanılmıştır. Katalaz (CAT) enzimi; Milosevic ve Slusarenko (1996)'nin yöntemine

göre saptanmıştır. Bu amaca yönelik olarak 50 µl protein ekstraktı, 2.95 ml (10 mM H₂O₂, 50 mM potasyum fosfat buffer (pH 7.0) ve 4 mM Na₂EDTA) reaksiyon karışımına ilave edilerek, 240 nm'de 25°C'de 30 sn süre ile ölçülmüştür. Reaksiyon kinetiği, ΔA240 mg⁻¹ protein min⁻¹ olarak kaydedilmiştir. Peroksidaz (POX) ölçümü; Cvikorová ve ark. (1994)'nin yöntemine göre yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak 1 g yaprak örneği homojenize edilmiş, 100 µl yaprak ekstraktı 3 ml reaksiyon karışımına (13 mM gayacol, 5 mM H₂O₂ ve 50 mM Na-fosfat (pH 6.5) eklenmiştir. Peroksidaz aktivitesi 470 nm'de 25°C'de 1 dakikalık sürede ölçülmüştür. Reaksiyon ilk kinetiğini gösterdiği durum ΔA240 mg⁻¹ protein min⁻¹ olarak ifade edilmiştir (Altınok ve ark., 2013; Altınok ve Dikilitas, 2014).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Rizobakteri İzolatlarının Antagonistik Etkileri ve Kök Kolonizasyon Yetenekleri

Rizobakteri ve patojen (Fom-TR01) arasındaki antagonistik ilişkinin belirlenmesi çalışmaları kapsamında, kültür koleksiyonundan toplam 17 adet PGPR izolatı değerlendirilmeye alınmıştır. Rizobakteri izolatlarının Fom-TR01'in miseliyal gelişimini engellemediği yada çok sınırlı engellediği saptanmıştır. Kontrole göre patojen koloni gelişimini sınırlı engelleyen B379c, P07-1, P07-4 ve P48-2 izolatlarının istatistiksel analizlerinde uygulamalar arasındaki fark önemli bulunmuştur (F=116.2720; P<0.01). Bu dört rizobakteri, Fom-TR01 patojen izolatın koloni gelişimini kontrole göre %20-29 oranında engellemiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Rizobakteri izolatlarının *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*'in (Fom-TR01) miseliyal gelişimine etkisi

Rizobakteriler	İzolat Kodu	Koloni Çapı (mm)	Yüzde Etki
<i>Bacillus subtilis</i> subsp. <i>subtilis</i>	B379c	64.00 c*	28.89
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	P07-1	65.00 c	27.78
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	P07-4	72.00 b	20.00
<i>Pseudomonas</i> sp.	P48-2	70.00 b	22.22
Kontrol		90.00 a	

*Farklı harfle gösterilen sütunlar içindeki rakamlar Tukey's HSD testine P<0.01 düzeyinde önemli

PGPR izolatlarının kök kolonizasyon yetenekleri incelenmiştir. B379c, P07-1, P07-4 ve P48-2 inokule edilen kavun tohumlarında çimlenme oranı %74-86 arasında değişmiştir. Kontrole göre uygulamalar

arasında istatistiksel olarak fark saptanmamıştır. Benzer durum çimlenme hızında da gözlenmiştir. Tohumların kontrole göre radikula-hipokotil uzunlukları değerlendirildiğinde P07-4 izolatu ilk sırada yer alırken, bunu sırasıyla P07-1, B379c ve P48-2 izlemiştir. Radikula ölçümlerinde kontrole göre uygulamalar arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Tohum

çimlenme indeksi değerlendirildiğinde ise, kontrole göre uygulamalar arasındaki fark önemli bulunmuştur. En yüksek indeks değeri (3365.71) P07-4 izolatından elde etmiştir. Bu izolatu 3236.57 değeri ile P07-1, 3194.86 değeri ile B379c ve 2811.42 ile P48-2 izolatları takip etmiştir. Kavun tohumlarında PGPR'ların kök kolonizasyon yetenekleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. PGPR inokule edilen patlıcan tohumlarının çimlenme oranı, çimlenme hızı, radikula-hipokotil uzunluğu, hipokotil uzunluğu ve tohum canlılık indeksi

Uygulamalar	Çimlenme Oranı (%)	Çimlenme Hızı	Radikula-Hipokotil (mm)	Radikula (mm)	Tohum Canlılık İndeksi
B379c	82.8 a*	1.11 a	39.96 ab	24.6 a	3236.57 ab
P07-1	82.8 a	0.96 a	40.56 ab	24.6 a	3365.71 b
P07-4	77.1 a	0.99 a	41.60 b	22.84 a	3194.86 ab
P48-2	74.2 a	0.90 a	38.04 ab	21.52 a	2811.42 a
Kontrol	85.7 a	1.03 a	32.04 a	20.96 a	2753.14 a

*Farklı harfle gösterilen sütunlar içindeki rakamlar Tukey's HSD testine P<0.05 düzeyinde önemli

3.2. PGPR ve Bitki Aktivatörü Uygulamalarının Bitki ve Hastalık Gelişimine Etkileri

Kavun fidelerine PGPR uygulandıktan bir hafta sonra patojen inokulasyonunun, ISR mekanizmasının uyarılması için optimum zaman aralığı olduğu ön denemelerle ve daha önce yayınlanan bir araştırmamızda belirlenmiştir (Altınok ve ark., 2013). Bu amaca yönelik olarak PGPR izolatlarının ve bazı bitki aktivatörlerinin, kavunda *Fusarium solgunluk* hastalığına karşı etkinlikleri ruhsatlı bir fungusitle karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Patojen inokulasyonundan bir hafta sonra fidelerde ilk solgunluk belirtileri gözlenmiştir. Denemenin sonlandırıldığı 21. günde skala değerleri üzerinden yüzde hastalık şiddeti ve periyodik değerlendirmeler üzerinden de AUDPC (%) değerleri hesaplanmıştır. Hastalık şiddeti değerleri ve AUDPC değerleri birbiri ile pozitif korelasyon göstermiştir ($r=0.78$). PGPR izolatları arasında *P. aeruginosa* (P07-1) % 35.67 hastalık şiddeti (pozitif kontrole göre % 61.67 etki) ile en başarılı izolat olarak belirlenmiştir (%AUDPC 45.39). P07-1 izolatının hastalığı baskılamada başarı oranının, ruhsatlı fungusit maxium uygulamasının etkisine (% 67.17) oldukça yakın bir değer olduğu görülmektedir (Çizelge 4). Bu izolatu % 55.23 hastalık şiddeti ile *Pseudomonas* sp. (P48-2) takip etmiştir (%AUDPC 51.44). Diğer iki rizobakteri izolatu *B. subtilis* subsp. *subtilis* (B379c) ve *P. aeruginosa* (P07-4) ise, kontrole göre sırasıyla % 43.41 ve % 37.31 oranlarında kavunda *Fusarium solgunluk* hastalığını önlemiştir.

Araştırma kapsamında bu rizobakterilerin bitki gelişimini düzenleyici olarak rolleri de belirlenmiştir. *P. aeruginosa* (P07-1) izolatının hastalığı engelleme yeteneğine paralel olarak bitki gelişimini de teşvik ettiği

belirlenmiştir. Negatif kontrolde bitki boyu 62.88 mm ve kök-yeşil aksam kuru ağırlığı 1.32 g iken, bu oran P07-1 inokulasyonu sonucunda sırasıyla 70.40 mm ve 1.62 g saptanmıştır. Bu izolatu, sırasıyla bitki boyu ve kuru ağırlık değerleri ile P48-2 (62.32 mm-1.45 g), B379c (60,50 mm-1.22 g) ve P07-4 (59.00 mm-1.35 g) rizobakterileri izlemiştir (Çizelge 4).

Bitki aktivatörlerinden AuxiGro hastalık gelişimini engellemede pozitif kontrole göre %49.25 etki oranı ile en başarılı aktivatör olarak belirlenmiştir. Bunu %41.79 ve %35.82 etki oranları Crop-Set ve ISR-2000 izlemiştir. Benzer şekilde bu aktivatörlerin bitki gelişimini de negatif kontrole göre kısmen teşvik ettikleri saptanmıştır. Çizelge 4'de PGPR ve bitki aktivatörü uygulamalarının kavunda *Fusarium solgunluk* hastalığı gelişimine etkileri verilmiştir.

3.3. Savunma Enzimlerinin Biyokimyasal Analizleri

Kavun fidelerine patojen inokulasyonundan sonra 24, 48, 72 saat, 7, 14 ve 21. günlerde alınan yaprak örneklerinde Prolin, CAT ve POX seviyeleri analiz edilmiştir. Bu enzimlerin sentez oranları (+) kontrol, (-) kontrol ve maxium fungusit uygulaması ile birlikte Şekil 1, 2 ve 3'de verilmiştir. Kavun fidelerine PGPR uygulamalarının hepsinde prolin değerlerinde kontrol gruplarına göre artış saptanmıştır. Prolin değeri en yüksek 72 saat ölçümlerinde saptanmıştır (Şekil 1). CAT ve POX enzim oranlarında da prolin'e benzer bir trend görülmüştür (Şekil 2 ve 3). *P. aeruginosa* (P07-1) en yüksek prolin üreten ($28.33 \mu\text{mol g}^{-1}$) izolat olarak belirlenmiştir. Bunu $25.22 \mu\text{mol g}^{-1}$ değeriyle *Pseudomonas* sp. (P48-2) izolatu takip etmiştir. Aynı gün ölçümlerinde prolin benzer şekilde CAT (0.79 mg^{-1}

protein min^{-1}) ve POX ($8.31 \text{ mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$) enzimleri de en yüksek oranda *P. aeruginosa* (P07-1) izolatından elde edilmiştir. Prolin, CAT ve POX enzim aktivitesinde bu izolatı *Pseudomonas* sp. (P48-2), *B. subtilis* subsp. *subtilis* (B379c) ve *P. aeruginosa* (P07-4) izlemiştir. PGPR uygulamaları patojene karşı bitkide savunma mekanizmasını maksimum oranda patojen inokulasyonunda 72 saat sonra tetiklemiş, daha sonra savunma enzimlerinin sentez oranlarında haftaya bağlı olarak göreceli bir düşüş saptanmıştır.

Bitki aktivatörleri arasında patojene karşı savunma enzimlerini en iyi teşvik eden aktivatörün AuxiGro olduğu belirlenmiştir (Şekil 1, 2 ve 3). Eş zamanlı ölçümlerde (72 saat) prolin ortalama $23.32 \mu\text{mol g}^{-1}$ olarak saptanmıştır. Bu aktivatörü, Crop-Set ve ISR-2000 aktivatörleri izlemiştir (Şekil 1). Her üç aktivatör için 7. gün ölçümlerinde CAT ve POX enzim aktivitesi yüksek saptanmıştır (Şekil 2 ve 3). AuxiGro aktivatörü için CAT ve POX oranları sırasıyla $0.65 \text{ mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ ve $5.66 \text{ mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Rizobakteri izolatlarının Fom-TR01'in miseliyal gelişimini engellemediği yada çok sınırlı engellediği saptanmıştır. Araştırmada kullanılan rizobakterilerin

antibiyosis etki mekanizmasından çok, PGPR olarak karakterize edilmiş (azot bağlama, fosfat çözme, proteaz aktivite, siderofor ve HCN üretme) özellikleri dikkate alınmıştır. PGPR'ların ürettikleri bazı metabolitlerle ve rekabet yetenekleriyle rizosferdeki patojen popülasyonlarını baskılayabildiği, ancak hastalıklara karşı geniş spektrumlu korumadaki asıl rollerinin bitkilerde dayanıklılığı teşvik etmek olduğu rapor edilmiştir (Anderson ve Guerra, 1985). Tohum çimlendirme denemelerinde, başta P07-4 PGPR izolatı olmak üzere B379c, P07-1 ve P48-2 izolatları kavun tohumlarının radikula-hipokotil uzunluğunu ve tohum canlılık indeksini kontrole göre artırmıştır.

Kültür koleksiyonumuzdan elde edilen P07-1 ve B379c rizobakterilerinin patlıcanda kök kolonizasyon yetenekleri de başarılı bulunmuştur (Karimi, 2016). Rizobakterilerin yanı sıra *Trichoderma* türlerinin de tohum çimlenme oranı ve tohum canlılık indeksinde artış sağladığı rapor edilmiştir (Doni ve ark., 2014). Benzer bazı araştırmalarda ise, *Pseudomonas* ve *Bacillus* cinsi rizobakterilerin bitkide gelişimi teşvik ederken, bitki tohumlarında çimlenme oranını azalttığı bildirilmiştir (Vrbničanin ve ark., 2011).

Çizelge 4. PGPR ve bitki aktivatörlerinin kavunda Fusarium solgunluk hastalığına etkileri

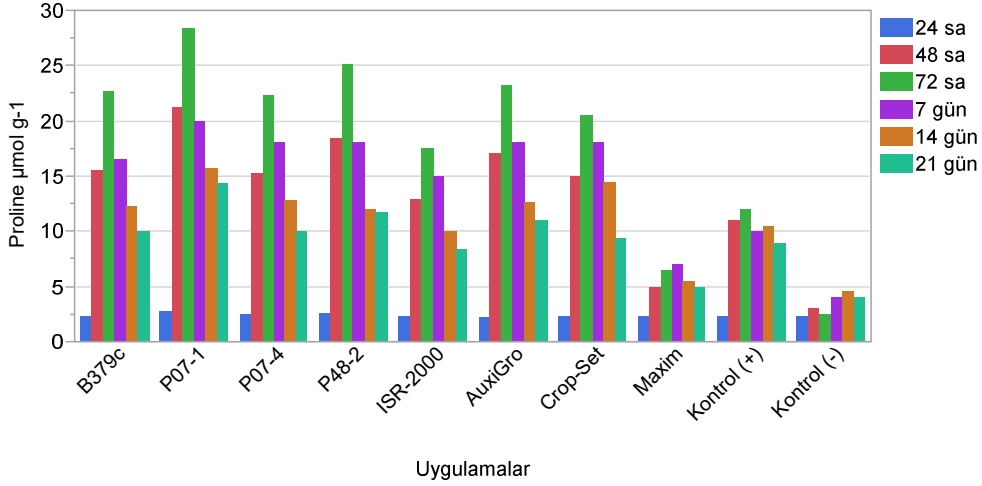
Uygulamalar	Bitki Boyu (mm)	Kuru Ağırlık (g)	Hastalık Şiddeti (%) ¹	Etki (%)	AUDPC (%) ²
B379c	60.50 ± 5.16* bcd**	1.22 ± 0.23 b	52.66 ± 4.81 c	43.40	55.50
P07-1	70.40 ± 8.52 a	1.62 ± 0.23 a	35.67 ± 1.47 f	37.31	45.39
P07-4	59.00 ± 4.01 cd	1.35 ± 0.29 ab	58.33 ± 3.73 b	61.67	60.58
P48-2	62.32 ± 6.41 bc	1.45 ± 0.34 ab	41.66 ± 2.69 e	55.23	51.44
ISR-2000	58.00 ± 4.74 d	1.24 ± 0.27 b	59.72 ± 3.07 b	35.82	65.58
AuxiGro	64.00 ± 6.63 b	1.39 ± 0.17 ab	47.22 ± 5.12 d	49.25	54.95
Crop-Set	60.00 ± 4.23 bcd	1.35 ± 0.21 ab	54.16 ± 3.45 c	41.80	62.21
Maxim	60.85 ± 7.99 bcd	0.90 ± 0.17 c	30.55 ± 3.06 g	67.17	39.83
Kontrol (+)	43.33 ± 4.34 e	0.58 ± 0.12 d	93.05 ± 0.75 a		100.00
Kontrol (-)	62.88 ± 5.25 bc	1.32 ± 0.30 ab			

* Standart sapma

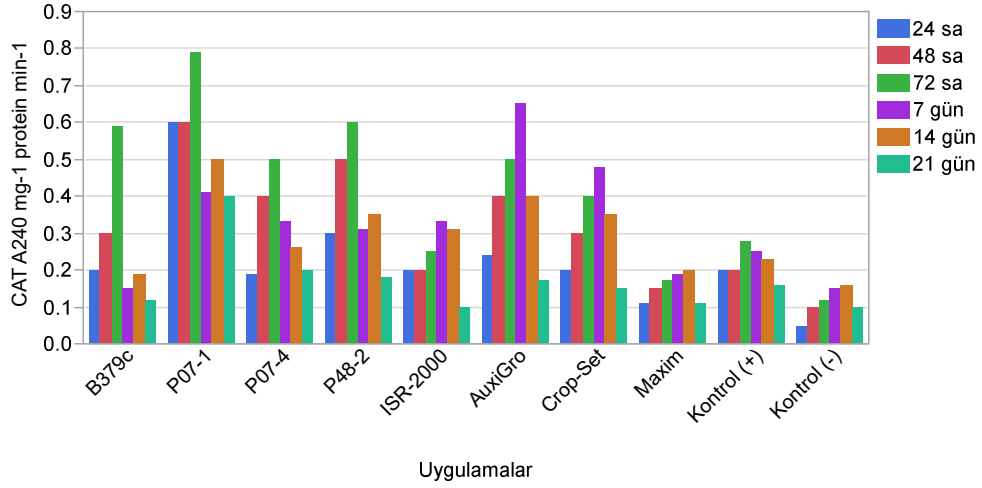
**Farklı harfle gösterilen sütunlar içindeki rakamlar Tukey's HSD testine $P < 0.01$ düzeyinde önemli

¹ Hastalık şiddeti (%), 21. günde skala verileri üzerinden hesaplanmıştır (0: Simptom yok, 4: şiddetli solgunluk)

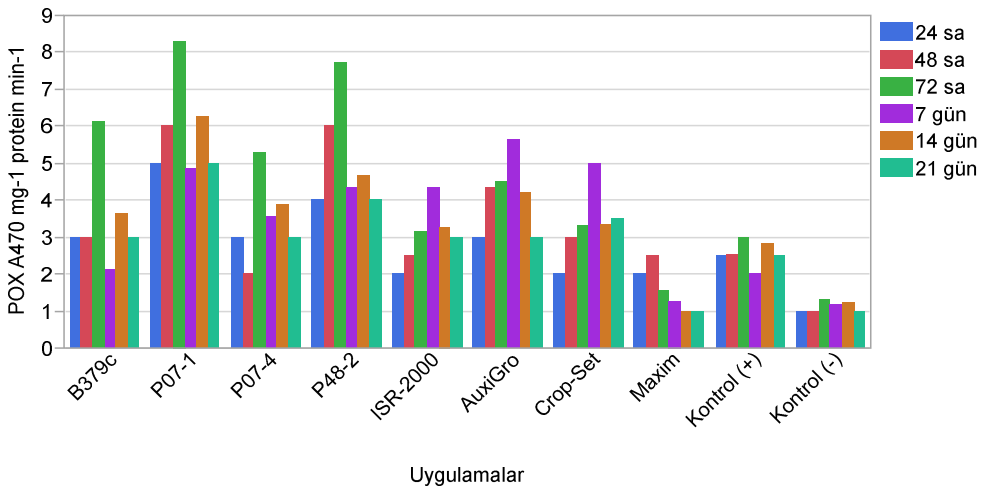
² Hastalık gelişim eğrisi altında kalan alan (AUDPC). AUDPC rakamları, tüm uygulamalar arasındaki en yüksek değer baz alınarak, yüzdelik değerlere dönüştürülmüştür.



Şekil 1. Patojen (Fom-TR01) inokulasyonundan 24, 48, 72 sa, 7, 14 ve 21 gün sonra PGPR ve bitki aktivatörü uygulamalarının kavunda prolin içeriğine etkisi



Şekil 2. Patojen (Fom-TR01) inokulasyonundan 24, 48, 72 sa, 7, 14 ve 21 gün sonra PGPR ve bitki aktivatörü uygulamalarının kavunda katalaz (CAT), enzim aktivitelerine etkisi



Şekil 3. Patojen (Fom-TR01) inokulasyonundan 24, 48, 72 sa, 7, 14 ve 21 gün sonra PGPR ve bitki aktivatörü uygulamalarının kavunda peroksidaz (POX) enzim aktivitelerine etkisi

Araştırmamızda PGPR'ların kavunda Fusarium solgunluk hastalığına karşı koruma mekanizmasının; PGPR ve Fom-TR01 arasındaki kısmi antagonizmin yanı sıra, bitkide gelişme düzenleyici rolü ile birlikte uyarılmış dayanıklılık özellikleri olduğu değerlendirilmiştir. PGPR uygulamaları, hem bitki biyomasında artış sağlamış hem de savunma enzimlerini değişik oranlarda tetiklemiştir. PGPR uygulanmış kavun fidelerinde, pozitif kontrole göre savunma enzimleri yüksek oranda sentezlenmiştir. Prolin, CAT ve POX enzimlerinin 72 sa. sonra indüksiyonu, kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede yüksek seyretmiştir. Patojen stres faktörüne karşı bitki dokularında cevap olarak aminoasit, prolin ve metabolik bileşenlerinin birikiminin saptandığı belirtilmiştir (Bates ve ark., 1973). Benzer araştırmalarda, biyotik faktörlerin fungal hastalıkları baskılamada direkt antagonistik etkileri ile birlikte, bitki savunma mekanizmalarını da teşvik ettiği rapor edilmiştir (Benhamou ve ark., 2002; Harman ve ark., 2004). Bazı biyotik ve abiyotik uyarıcıların, patojen ve konukçu bitkinin reseptörleri arasındaki etkileşimi aktifleştirerek konukçuda bulunan ve dayanıklılığı yöneten bazı dayanıklılık genlerini harekete geçirdiği belirtilmiştir (Liu ve ark., 1995).

POX enzimi, pozitif kontrol fidelerinde de saptanmıştır. Bu durum reaktif oksijen türlerinin (ROS; reactive oxygen species) patojenle infekte olan bitkilerde de yüksek seyredebileceğini göstermektedir. Bitkilerde, reaktif oksijen türleri patojen saldırılarına yanıtla ilişkilidir. Aktif oksijen türlerinden H₂O₂'nin, bitkide patogeneze ile ilişkili (PR; Pathogenesis Related) proteinlerinin sentezine ve fitoaleksinin üretimine neden olarak dayanıklılık mekanizmasını tetiklediği bildirilmiştir (Bolwell ve Daudi, 2009). Bitki savunma reaksiyonu, fenolik bileşiklerin birikmesine yol açan antioksidan ve fenolik enzimlerin artmasıyla tetiklenebilir (Van Steekelenburg, 1976). Arfaoui ve ark. (2006) proteinlerin indüklenmesinin ve fenolik birikiminin *F. oxysporum* f. sp. *ciceris*'in enfeksiyonunu engellediğini bildirmiştir. Araştırmamızda patojene karşı bitkide savunma enzimlerinden CAT ve POX enzimlerinin yüksek 72 saat ölçümlerinde *P. aeruginosa* (P07-1) izolatından elde edilmiştir. Aynı enzimler açısından bu izolatı *Pseudomonas* sp. (P48-2), *B. subtilis* subsp. *subtilis* (B379c) ve *P. aeruginosa* (P07-4) izlemiştir. Kültür koleksiyonumuzda yer alan *P. aeruginosa* (P07-1) izolatının patlıcanda Fusarium solgunluğu hastalık gelişimini %80'in üzerinde baskıladığı ve CAT, POX ve PPO savunma enzimlerini aktive ettikleri belirlenmiştir (Altınok ve ark., 2013). Benzer şekilde kültür koleksiyonumuzda bulunan *B. subtilis* subsp. *subtilis* (B379c) *P. aeruginosa* (P07-1) kök bakterileri patlıcanda kurşuni küf hastalığını engellemiş ve bitki savunmasında rol alan CAT ve POX enzimlerinin sentez oranlarında da artışa neden olmuştur (Çiftçi ve Altınok, 2009). Cattelan ve ark. (1999), soya bitkisinin rizosferinden elde edilen fosforu çözebilen ACC deaminase, β-1,3-glucanase ve sideroforlar üretebilen

rizobakterilerin steril olmayan toprakta soya üretimini arttırdığını saptamışlardır. Scher ve Baker (1982), demir elementinin *F. oxysporum* f. sp. *lini*'nin mikrokonidilerinin çim tüpü oluşturmaları için gerekli olduğunu ve *P. putida*'nın ürettiği sideroforların patojenin demir kullanımını sınırladığı bildirilmiştir. Aktivatörler bitkide patojen saldırısına karşı savunma mekanizması olarak SAR mekanizmasını teşvik ederek, patojen stresinden bitkiyi korumaktadır. Araştırma kapsamında yer alan bitki aktivatörleri arasında, kavunda Fusarium solgunluk hastalığına karşı savunma enzimlerini en iyi teşvik eden aktivatörün AuxiGro olduğu belirlenmiştir. Bu aktivatör hastalık gelişimini engellemede pozitif kontrole göre %49.25 etki göstermiştir. Bunu %41.79 ve 35.82 etki oranları Crop-Set ve ISR-2000 ile izlemiştir. SAR mekanizması aktive olduktan sonra bitki bünyesinde birkaç hafta sürmektedir. Bu sayede bitkide dışarıdan gelebilecek saldırılara karşı bitki korunmaktadır (Tosun ve Ergün, 2002). ISR-2000 ve Crop-Set aktivatörlerinin bazı bakteriyel ve fungal hastalık etmenlerine karşı koruma sağladıkları bildirilmiştir (Çetinkaya Yıldız 2007; Çakır ve Demirci, 2013).

5. Sonuçlar

Araştırma bulgularımız PGPR ve aktivatör uygulamalarının kavunda Fusarium solgunluk hastalığına karşı savunma mekanizmasını aktive eden katalaz ve peroksidaz gibi enzimlerin sentezlendiğini göstermiştir. Ayrıca PGPR uygulamalarının bitki biyomasına olumlu etkisi ile birlikte kısmen antibiyosis etkisi de gösterdiği belirlenmiştir. Biyolojik kontrol sistemlerinde tüm bu mekanizmaların birbiri ile ilişkilendirilmesi önemli olup, PGPR uygulaması sonucu konukçu-patojen interaksyonunun savunma genleri açısından da araştırılması yararlı olacaktır.

Azot bağlama, fosfat çözebilme, proteaz aktivite, siderofor ve HCN üretme gibi özellikleri açısından karakterize edilen bu izolatlar, patlıcanda Fusarium solgunluk hastalığını da önemli ölçüde baskılamıştır. PGPR izolatlarının kavunda Fusarium solgunluk hastalığını önlemedeki başarısı, önceki araştırma bulgularımızı destekler niteliktedir. Aday PGPR'lerin, arazi koşullarında biyokontrol ajanı ve/veya biyolojik gübre olarak kolonizasyon yetenekleri konusunda araştırmalarımız devam etmektedir. Olumlu sonuçlar elde edildiği takdirde, söz konusu rizobakterilerin ticari preparat olarak ruhsatlandırma sürecine geçilmesi hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu makale, yüksek lisans öğrencisi Kübra DELİSOY'un tez verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Enzim analizlerindeki desteği için Doç. Dr. Murat

DİKİLİTAŞ'a (Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Abul-Baki, A.A., Anderson, J. D., 1973. Vigour determination in soybean by multiple criteria. *Crop Science*, 3: 630-637.
- Agrios, G.N., 2005. *Plant pathology*. 5th edition Elsevier Academic Press. London, 952p.
- Akdoğan, M., 1969. Kavun ve karpuzlarda solgunluk hastalığına (*Fusarium* spp.) karşı ilaçlı mücadele usulünün araştırılması. *Bitki Koruma Bülteni*, 9(2):123-129.
- Alexopoulos, C.J., Mims, C.W. Blackwell, M., 1996. *Introductory mycology* (4th Ed.). John Wiley and Sons, New York, USA. 868p.
- Altınok, H.H. Can, C., 2010. Characterization of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae* isolates from eggplant in Turkey by pathogenicity, VCG and RAPD analysis. *Phytoparasitica*, 38(2): 149-157.
- Altınok, H.H. Kamberoğlu, M.A., 2005. Adana ve Mersin illerinde patlıcan üretim alanlarında *Fusarium* ve *Verticillium* solgunluk hastalıklarının yaygınlığı ve şiddeti. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(4): 1-8.
- Altınok, H.H., 2013. *Fusarium* species isolated from common weeds in eggplant fields and symptomless hosts of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae* in Turkey. *Journal of Phytopathology*, 161: 335-340.
- Altınok, H.H. Dikilitas, M. Yıldız, H.N., 2013. Potential of *Pseudomonas* and *Bacillus* isolates as biocontrol agents against *Fusarium* wilt of eggplant. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 27(4), 3952-3958.
- Altınok, H.H. Dikilitas, M., 2014. Antioxydant response to biotic and abiotic inducers for the resistance against *Fusarium* wilt disease in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Acta Botanica Croatica*, 73(1): 79-92.
- Anderson, A.J., Guerra, D., 1985. Responses of bean to root colonization with *Pseudomonas putida* in hydroponic system. *Phytopathology*, 75: 992-995.
- Arfaoui, A., Sifi, B., Boudabous, A., El Hadrami, I., Cherif, M., 2006. Identification of *Rhizobium* isolates possessing antagonistic activity against *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris*, the causal agent of fusarium wilt of chickpea. *Journal of Plant Pathology*, 88(1): 67-75.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Benhamou, N., Garand, C., Goulet, A., 2002. Ability of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* strain Fo47 to induce resistance against *Pythium ultimum* infection in cucumber. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(8): 4044-4060.
- Bolwell, G.P., Daudi, A., 2009. Reactive oxygen species in plant-pathogen interaction. In: Del Rio, L.A., Puppo, A. (Eds). *Signaling and communication in plants*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. pp. 113-133.
- Booth, C., 1971. The Genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England, 237p.
- Bora, T., Özaktan, H., 1998. Bitki hastalıklarıyla biyolojik savaş. Prizma Matbaası,
- Bremer, H., 1944. Über Welkekrankheiten in Südwest Anatolien, Istanbul schriften, 40 pp.
- Campbell, C.L., Madden, L.V., 1990. *Introduction to plant disease epidemiology*. New York: John Wiley and Sons Inc.; 1990. Temporal analysis of epidemics. I: description and comparison of disease progress curves; pp. 161-202.
- Cattelan, M.E., Hartel, P.G., Fuhrmann, J.J., 1999. Screening of plant growth-Promoting Rhizobacteria to Promote Early Soybean Growth, *Soil Science Society of America*, 63: 1670-1680.
- Chupp, C., 1930. *Fusarium* wilt of muskmelon. *Plant Disease Report*, 14:160.
- Cvikorová, M., Hrubcová, M., Vágner, M., Machácková, I., Eder, J., 1994. Phenolic acids and peroxidase activity in alfalfa (*Medicago sativa*) embryogenic cultures after ethephon treatment. *Physiologia Plantarum*, 91: 226-233.
- Çakır E., Demirci F., 2013. Bazı bitki aktivatörlerinin patates sigil hastalığı [*Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Per.]'na etkileri. *Bitki Koruma Bülteni*. 53(4): 239-250
- Çetinkaya Yıldız R., 2007. Domates bakteriyel solgunluk hastalık etmeni (*Clavibacter michiganensis* subsp *michiganensis*)'nin tanılanması ve bitki büyüme düzenleyici rizobakteriler ile biyolojik mücadele olanaklarının araştırılması. Doktora Tezi.
- Doni, F., Anizan, I., Radziah, C.M.Z., Salman, A.H., Rodzihan, M.H., Yusoff, W.M.W., 2014. Enhancement of rice seed germination and vigour by *Trichoderma* spp. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(21): 4547-4552.
- Erzurum K., Maden, S. 2002. Türkiye' de Orta Anadolu Bölgesi'nde kavunlarda *Verticillium* solgunluğu. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 8(4): 310-312.
- Erzurum, K., Taner, Y., Secer, E., Yanmaz, R., Maden, S., 1999. Occurance of races of *F. oxysporum* f.sp. *melonis* causing wilt on melon in Central Anatolia. *Journal of Turkish Phytopathology*, 28(3): 87-97.
- Evcil, F., Yalçın, O. 1977. Ege Bölgesinde kavunlarda görülen solgunluk etmeni fungusların tespiti üzerinde ön araştırmalar. *Zirai Mücadele Araştırma Yıllığı*, 11:78.
- FAO, 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division. <http://www.fao.org/faostat>. (Erişim Tarihi August 2017).
- Glazebrook J., 2001. Genes controlling expression of defense responses in *Arabidopsis* - 2001 status. *Current Opinion in Plant Biology*, 4: 301-308.

- Gordon, T.R., Martyn, R.D., 1997. The evolutionary biology of *Fusarium oxysporum*. Annual Review of Phytopathology, 35: 111-128.
- Gupta, P.C., 1993. Seed vigour testing. In: Agarwal, P.K (Ed). Handbook of Seed Testing National Seed Corporation, New Delhi, India. pp. 245-246.
- Çiftçi, G., Altınok, H.H., 2019. Patlıcan tohumlarında bitki büyüme düzenleyici rizobakteri uygulamalarının kurşuni küf (*Botrytis cinerea* Pers.: Fr.) hastalığına ekileri. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi 22(3): 421-429.
- Harman, G.E., Howell, C.R., Vitebo, A., Chet, I., Lorito, M., 2004. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Reviews Microbiology, 2: 43-56.
- Hennessy, C., Walduck, G., Daly, A., Padovan, A., 2005. Weed hosts of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in northern Australia. Australasian Plant Pathology, 34, 115-117. İzmir. 205 s.
- Karimi, A.K., 2016. Örtü altı patlıcan yetiştiriciliğinde kurşuni küf (*Botrytis cinerea*) ve beyaz çürüklük (*Sclerotinia sclerotiorum*) hastalık etmenlerine karşı bazı biyokontrol ajanlarının in vitro'da etkinliklerinin belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Karman, M., 1971. Bitki Koruma araştırmalarında genel bilgiler, denemelerin kuruluşu ve değerlendirme esasları. T.C. Tarım Bakanlığı Zirai Mücadele ve Zirai Karantina Genel Müdürlüğü Yayınları. Bornova, İzmir, 279s.
- Kinnersley, A.M., 2000. Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. Critical Reviews in Plant Sciences, 19(6): 479-509.
- Kirk, P. M., Cannon, P. F., Minter, D. W., Stalpers, J. A., 2008. "Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi", 10th Edn CAB International, Wallingford, UK.
- Kurt, S., Baran, B., Sarı, N., Yetisir, H., 2002. Physiologic races of *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis* in the Southeastern Anatolia Region of Turkey and varietal reactions of races of the pathogen. Phytoparasitica, 30(4): 395-402.
- Kurt, Ş., 2013. Bitki fungal hastalıkları. Akademisyen Kitapevi. ISBN: 978-605-464-901-3. Ankara. 214 s.
- Leslie, J.F., Summerell, B.A., 2006. The *Fusarium* laboratory manual. Ames, Iowa, USA, Blackwell Professional.
- Lui, L., Klopper, J.W., Tüzün, S., 1995. Induction of systemic resistance in cucumber by plant growth promoting rhizobacteria duration of protection and effect of host resistance on protection and root colonization. Phytopathology, 85: 1064-1068.
- Mas, P., Molot, P.M., Risser, G., 1981. Fusarium wilt of muskmelon. In: Nelson, P.E., Toussen, T.A., Cook R.J. (Eds). *Fusarium*, disease, biology and taxonomy, Pennsylvania State University Press, University Park, PA and London, UK. pp. 169-177.
- Milosevic, N., Slusarenko, A.J., 1996. Active oxygen metabolism and lignification in the hypersensitive response in bean. Physiol. Mol. Plant Pathology, 49: 143-158.
- Nelson, P.E., Dignani, M.C., Anaissie, E.J., 1994. Taxonomy, biology, and clinical aspects of *Fusarium* species. Clinical Microbiology Reviews, 7, 479-504.
- Pitrat, M., Chauvet, M., Fourcy, C., 1999. Diversity, history and production of cultivated cucurbits. Acta Horticulturae, 492: 21-28.
- Risser, G., Banihashemi, Z., Davis, D.W., 1976. A proposed nomenclature of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* races and resistance genes in *Cucumis melo*. Phytopathology, 66:1105-1106.
- Sağır, A., 1988. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kavun ve karpuzlarda kök ve kökboğazı çürüklüğüne neden olan fungal etmenler. Bitki Koruma Bülteni, 28(3-4): 141-150.
- Scher, F.M., Baker R., 1982. Effect of *Pseudomonas putida* and synthetic iron chelator on induction of soil suppressiveness to Fusarium wilt pathogens. Phytopathology, 72: 1567-1573.
- Soran, H., 1975. Ankara, Edirne, Sakarya illerinde kavun solgunluk hastalığı, fungal etmenlerinin tespiti, dağılımları, bunlardan *Fusarium* türlerinin tanımı ve patojenisiteleri üzerinde araştırmalar (Doçentlik tezi) Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi.
- Şensoy, S., 2005. Türkiye kavunlarındaki genetik varyasyonun ve *Fusarium* solgunluğuna dayanıklılığın fenotipik ve moleküler yöntemlerle araştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 164 s, Van.
- Tosun, N. Ergün A., 2002. Bitkisel üretimde ve tarımsal savaşta yeni bir yaklaşım olarak bitki aktivatörlerinin rolü. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayın No:10,248-263s.
- van Loon L.C., Bakker P.A., Pieterse C.M.J., 1998. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. Annual Review of Phytopathology, 36, 453-483.
- van Steekelenburg, N.V., 1976. Fusarium wilt of eggplant in the Netherlands. Journal of Plant Pathology, 82(5): 191-192.
- Vrbničanin, S., Božić, D., Sarić, M., Pavlović, D., Raičević, V., 2011. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on *Ambrosia artemisiifolia* L. seed germination. Pesticides & Phytomedicine, 26(2): 141-146.
- Wei G., Klopper J. W., Tuzun S., 1996. Induction of systemic resistance to cucumber diseases and increases plant growth by plant growth-promoting rhizobacteria under field conditions. Phytopathology, 86: 221-224.
- Yıldız, M., 1977. Ege Bölgesinde kavun solgunluk etmeninin patojenisitesi, ırkları ve yerli çeşitlerin dayanıklılıklarının saptanması üzerinde araştırmalar

- (Doçentlik Tezi), E.Ü. Ziraat Fakültesi, Fitopatoloji ve Zırai Botanik Kürsüsü
- Yıldız, H.N. Altınok, H.H. Dikilitas, M., 2012. Screening of rhizobacteria against *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae*, the causal agent of wilt disease of eggplant. African Journal of Microbiology Research, 6(15): 3700-3706.
- Yücel, S., Pala, H., Sarı, N. Abak, K., 1994. Determination of *F. oxysporum* f.sp. *melonis* races in the East Mediterranean Region of Turkey and response of some melon genotypes to the disease. 9th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union, Kuşadası-Türkiye. p:87-89.