

Bitki Koruma Bülteni / Plant Protection Bulletin

<http://dergipark.gov.tr/bitkorb>

Original article

Effects of different population densities of root-knot nematode *Meloidogyne luci* on growth of tomato and nematode reproduction

Kök-ur nematodu *Meloidogyne luci*'nin farklı popülasyon yoğunluklarının domates gelişimine ve nematod üremesine etkileri

Gökhan AYDINLI^{a*}, Cüneyt CİVELEK^b

^a *Bafra Vocational High School, Ondokuz Mayıs University, 55400 Bafra, Samsun, Turkey*

^b *Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Bozok University, 66200 Yozgat, Turkey*

ARTICLE INFO

Article history:

DOI: 10.16955/bitkorb.415169

Received : 28.11.2017

Accepted : 09.03.2018

Keywords:

Root-knot nematode, *Meloidogyne luci*, tomato, inoculum levels

* Corresponding author:

Gökhan AYDINLI

✉ gokhanay@omu.edu.tr

ABSTRACT

The pot experiment was conducted to determine the effects of four initial population (Pi) densities (10^1 , 10^2 , 10^3 ve 10^4 eggs/plant) of root-knot nematode *Meloidogyne luci* on plant growth of susceptible tomato and nematode reproduction. Initial values of shoot length and stem diameter as a plant growth criteria were determined prior to nematode inoculation. Additionally, chlorophyll contents of leaf were weekly recorded from nematode inoculation to end of the experiment to assess their differences. The experiment was terminated sixty days after nematode inoculation to determine shoot length, shoot weight, stem diameter, and root weight. Galls of root were evaluated according to 0-10 scale, and nematode final population (Pf) and reproduction factor (Rf) were determined. The increase in Pi densities caused reduction of plant growth parameters except for root weight. Significant reductions were found stem diameter at 10^1 of Pi and shoot length and weight at 10^3 of Pi in comparison to control (Pi=0) (P<0.05). A lower chlorophyll content was determined during the experiment period in nematode-inoculated plants compared to non-inoculated plants, but not significantly. Significant increases in the value of gall scale were found with an increase in Pi (P<0.05). Similarly, Pf increased with an increase in Pi but egg numbers of gram root had no significant differences between 10^3 and 10^4 at Pi. Maximum Rf values were recorded at low Pi values but statistically significant reduction was determined at higher Pi level than 10^3 . Regression analyses were performed to detect the relationship between nematode and plant growth resulting in a positive correlation between Pi levels and the percentage decrease in shoot length and stem diameters in relation to the actual growth in control. Similar positive relations were also determined between values of gall scale and percentage reduction shoot length and weight over control. In conclusion, considerable reductions in the growth of tomato were at 10^3 of Pi when plant growth parameters, galling rates, and nematode reproduction were evaluated together.

GİRİŞ

Bitki paraziti nematodlar içerisinde ekonomik olarak en önemli grubu oluşturan *Meloidogyne* cinsi, bitkilerin köklerinde oluşturdıkları ur şeklindeki simptomlar

nedeniyle kök-ur nematodları olarak adlandırılmaktadır. Şu ana kadar 100'den fazla türü tanımlanmış olup, bunlar içinde en yaygın görülen türler *Meloidogyne arenaria*

Neal, *Meloidogyne incognita* Kofoid & White, *Meloidogyne javanica* Treub ve *Meloidogyne hapla* Chitwood'dır (Seid et al. 2015). Ayrıca, son yıllarda *Meloidogyne chitwoodi* Golden, O'Bannon, Santo & Finley ve *Meloidogyne fallax* Karsen gibi türlerin yayılışında da artış görülmüştür (Wesemeal et al. 2011). Avrupa kıtasında varlığı daha önce bilinen türlerden farklı bir tür olarak *Meloidogyne ethiopica* Whitehead ilk defa 2003 yılında Slovenya'da domates bitkisinde tespit edilmiştir (Sirca et al. 2004). Daha sonraki yıllarda, Sloven popülasyonu ile aynı türe ait popülasyonlar Yunanistan, İtalya ve Türkiye'de tespit edilmiş ve *M. ethiopica* olarak kaydedilmiştir (Aydınlı et al. 2013, Conceição et al. 2012, Maleita et al. 2012a). Carneiro et al. tarafından 2014 yılında dünya literatürü için yeni bir kök-ur nematodu türü olan *Meloidogyne luci* Carneiro, Correa, Almeida, Gomes, Deimi, Castagnone-Sereno & Karsen tanımlanmıştır. Bu türün tanımlanmasında kullanılan popülasyonlar, Brezilya, Şili ve İran'da sebze, meyve ve süs bitkilerinde tespit edilmiştir. Janssen et al. (2016) tarafından tropik kök-ur nematodu türlerinin esteraz enzimi dikkate alınarak yapılan moleküler gen analizinde, daha önce *M. ethiopica* olarak tespit edilen Sloven popülasyonu ilk defa *M. luci* olarak belirtilmiştir. Daha sonra, EPPO (Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Örgütü) tarafından da Avrupa kıtasında *M. ethiopica*'nın ilk kaydı durumunda olan bu popülasyon, *M. luci* olarak düzeltilmiştir (EPPO, 2016). Geric-Stare et al. (2017), Sloven popülasyonu ile aynı esteraz enzim fenotipi gösteren ve *M. ethiopica* olarak tespit edilen bütün Avrupa popülasyonlarını *M. luci* olarak yeniden tanımlamıştır. Avrupa kıtasında son olarak Portekiz'de patatesten tespit edilen *M. luci*'nin (Maleita et al. 2018), şu ana kadar en yaygın görüldüğü yer Türkiye'dir (Aydınlı and Mennan 2016a).

Bitki köklerinde kalıcı endoparazit olarak yaşan kök-ur nematodlarının köke giriş yapan ikinci dönem larvaları, kök hücrelerinde kendileri için özel beslenme alanı oluştururlar. Çok sayıda çekirdek ihtiva etmesi ve normal bir kök hücresinden çok daha büyük yapıya sahip olması nedeniyle dev hücre olarak adlandırılan beslenme alanları, nematodun gelişmesi ve üremesi için gerekli besin ihtiyacını sağlamaktadır (Abad et al. 2003, Bird 1996). Kök-ur nematodlarının beslenmesi sonucu oluşan ur şeklindeki yapılar, kökün yapısını bozarak topraktan su ve besin maddesi alınımının engellenmesine neden olmakta, fotosentez ürünlerinin bitki içerisindeki dağılımını değiştirerek, özellikle nematodun gelişimi ve üremesi süresince bu ürünlerin kök bölgesine doğru hareketini artırmaktadır (Carneiro et al. 1999, Fortnum et al. 1991, Maleita et al. 2012b). Ayrıca, kök-ur nematodlarının fotosentez oranını ve klorofil miktarını azalttığı yönünde

bilgiler bulunmaktadır (Gine et al. 2014, Lopez-Gomez et al. 2015, Lovelys and Bird 1973, Melakeberhan et al. 1985). Bitkideki nitrojen miktarı ile yapraktaki klorofil miktarı arasında güçlü bir ilişki bulunması nedeniyle, klorofil değerlerinin nematod zararını değerlendirmek için indikatör olarak kullanılabilmesi belirtilmektedir (Lopez-Gomez and Verdejo-Lucas 2017). Özellikle, bitkinin gelişim süresince, bitkiye zarar vermeden yapraklardaki klorofil miktarının belirlenebilmesi, hastalık belirtileri ortaya çıkmadan bitkinin sağlık durumunun izlenebilmesine fırsat vermesi bakımından pratik olarak kullanılabilir (Wagner et al. 2006). Melakeberhan et al. (1985), *M. incognita* ile bulaştırılan fasulyede, bitki gelişim parametrelerinde görülen azalıştan daha önce klorofil içeriğinin azaldığını bildirmiştir. Bununla birlikte, SPAD-502 ölçerlerin erken dönemde klorofil içeriğini doğru bir şekilde belirleme hassasiyeti tam olarak bilinmemekte ve bu konuda yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Lopez-Gomez et al. 2015).

Dünya'da 2016 yılı verilerine göre 177 milyon ton ile en fazla yetiştirilen sebze durumunda olan domatesin en önemli zararlılarından birisi kök-ur nematodları'dır (FAO 2018, Seid et al. 2015). Domates bitkisi, kök-ur nematodu türleri için genellikle üniversal bir konukçu olarak ifade edilmektedir (Seid et al. 2015). Çünkü bu bitki türü şu ana kadar tanımlanan pek çok kök-ur nematodu türünün konukçusu durumundadır. Ayrıca, Kuzey Carolina Konukçu Testinde olduğu gibi kök-ur nematodunun ekonomik olarak önemli türlerinin domateste çok iyi bir şekilde üreme yeteneğine sahip olması "üniversal konukçu" teriminin kullanımına fazlaca katkı yapmaktadır (Seid et al. 2015). Kök-ur nematodlarının en yaygın türleri olan *M. arenaria*, *M. incognita* ve *M. javanica*'ya dayanıklılık sağlayan *Mi* geni, yabani domatesten aktararak dayanıklı domates çeşitleri elde edilmiştir (Devran et al. 2010). Bu yaygın türler dışında, *Mi* geninin *M. luci*'ye de dayanıklılık sağladığı tespit edilmiştir (Aydınlı and Mennan 2016b). Buna karşın, gen aktarılan bitkilerde bazı istenmeyen özelliklerin de (küçük meyve şekli vb.) bitkiye geçişi söz konusu olmaktadır (Devran et al. 2010). Dolayısıyla bu özelliklere sahip bitkiler, çiftçiler tarafından tercih edilmemektedir. Bununla birlikte, alternatif olarak dayanıklı anaçlar üzerine, arzu edilen tarımsal özelliklere sahip hassas çeşitlerin aşılabilmesi, bu sorunu ortadan kaldırmaktadır (Lopez-Perez et al. 2006). Buna karşın, dayanıklı anaçların en büyük dezavantajı ise maliyeti olup, özellikle bazı küçük ölçekli üretim yapan çiftçiler için başlangıç maliyetini arttırması nedeniyle tercih edilmemektedir. Nematod ile bulaşık alanlarda hassas domates bitkisinin yetiştirilmesi durumunda, değişen popülasyon yoğunluklarının, bitkinin gelişimini nasıl

etkiyeceğinin bilinmesi önemlidir. Kök-ur nematodu türlerinin, farklı popülasyon yoğunluklarının nematod ve bitki gelişimine olan etkisi üzerine değişik araştırmacılar tarafından ortaya konulan çalışmalar bulunmasına rağmen (Azam et al. 2011, Carneiro et al. 1999, Fortnum et al. 1991, Gine et al. 2014, Kamran et al. 2013, Kayani et al. 2017, Lopez-Gomez et al. 2015, Lopez-Gomez and Verdejo-Lucas 2017, Maleita et al. 2012b), yeni bir kök-ur nematodu olarak tanımlanan *M. luci* ile ilgili bu kapsamda bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışma ile ilk defa kök-ur nematodu *M. luci*'nin farklı inokulum yoğunluklarının hassas domates bitkisinin gelişimine olan etkileri ve bitkideki potansiyel zararın belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, nematodun farklı popülasyon yoğunlukları ile yapraktaki klorofil içeriği arasında bir ilişki bulunup bulunmadığı araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bitki materyali ve nematod inokulumu

Çalışmada kullanılan domates çeşidi Ferman F1 (Axia Toh.), ticari olarak üretim yapan bir fide firmasından temin edilmiştir. Fideler, içerisinde 250 ml steril toprak bulunan 8 cm çaplı plastik saksılara birer adet olacak şekilde şaşırtılmış ve çalışmanın yürütüleceği $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ile 16 saat aydınlık, 8 karanlık olarak yapay aydınlatmaya sahip bitki yetiştirme odasına yerleştirilmiştir.

Aydınlık and Mennan (2016a) tarafından izole edilen ve hassas domates bitkisi (Falcon, May Toh.) üzerinde saksı kültürü olarak muhafaza edilen *M. luci*'nin saf bir popülasyonu çalışmada kullanılmıştır. Popülasyon kullanılmadan önce türü, esteraz enzim fenotipi kullanılarak teyit edilmiştir. İnokulumun elde edilmesinde kullanılan sodyum hipoklorit (NaOCl) oranı, yumurta canlılığına olabilecek olumsuz etkiyi minimize etmek için yarıya düşürülmüştür. Saksı kültürüne ait bitkilerin kökleri, 1-2 cm uzunluğunda kesilerek içerisinde %5'lik çamaşır suyu (%0,25 NaOCl) bulunan erlene yerleştirildikten hemen sonra 3 dakika kuvvetlice çalkalanmıştır (Hussey and Barker 1973). Çalkalanan bu solüsyon, sırasıyla 200 ve 500 mesh şekilde yerleştirilen elek setinden geçirilmiş ve alt elek (500 mesh) takılan yumurtalar su yardımıyla bir cam beher içerisine toplanmıştır.

Denemenin kurulması, yürütülmesi ve verilerin elde edilmesi

Saksılara şaşırtıldıktan 5 gün sonra, domates bitkilerinin kök bölgesinde açılan deliklere nematodun başlangıç popülasyonunu (P_i) oluşturan 10^1 , 10^2 , 10^3 ve 10^4 yumurta mikropipet yardımıyla inokule edilmiştir. Nematod

bulaştırılmayan bitkiler ise kontrol grubunu oluşturmuştur. Saksı denemesi, her bir uygulama için 10 tekerrür olacak şekilde, tesadüf parselleri deneme desenine göre 60 gün yürütülmüştür. Deneme süresince, sadece uygulamaların neden olduğu değişimi belirleyebilmek için su dışında herhangi bir bitki besleme işlemi uygulanmamıştır. Nematodun farklı P_i yoğunluklarının bitki gelişimine etkisini değerlendirmek amacıyla her bir bitkinin gövde boyu ve gövde çapına ait değerler, denemenin başlangıcında ve sonunda ölçülerek kaydedilmiştir. Bitkilerdeki klorofil değişikliğini belirlemek için denemenin başlangıcından itibaren haftalık olarak klorofil değerleri, Konica Minolta SPAD-502 Plus klorofil ölçer yardımıyla periyodik olarak kaydedilmiştir. Nematodun inokulasyonundan hemen önce ilk ölçüm değerleri alınırken, uygulamalardaki her bir bitkiden 3 adet yaprak işaretlenmiş ve deneme sonuna kadar ölçümler hep aynı yapraklardan yapılmıştır. Denemenin sonunda, bitkilerin gövde ağırlığı ve kök ağırlığı değerleri kaydedilmiş, nematodun bitki köklerinde oluşturduğu ırlanma oranı 0-10 skalasına göre değerlendirilmiştir (Bridge and Page 1980). Bitki köklerindeki nematod üreme oranını belirlemek amacıyla, en düşük P_i (10^1) dışındaki uygulamalarda, her bir bitki kökündeki nematod yumurtaları Blender-Elek yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Cortada et al. 2008). Bitki kökleri, içerisinde % 20 çamaşır suyu solüsyonu bulunan (%1 NaOCl) blenderde 10 saniye süre ile aralıklı olarak 3 defa çalkalanmıştır. En düşük başlangıç popülasyonunun uygulandığı bitkilerde çok az (0-2 arasında) yumurta kümesi tespit edilmiş olup, bunlar stereomikroskop altında pens yardımıyla kapaklı plastik tüplere (50 ml hacmindeki) aktarılmış ve diğer P_i yoğunlukları için kullanılan konsantrasyondaki çamaşır suyu solüsyonu ile 3 dakika elde çalkalanmıştır. Yumurta solüsyonları, inokulum olarak kullanılan nematodların elde edilmesinde bahsedildiği şekilde, eleklerden geçirilerek final popülasyon (P_f) yoğunluğunu oluşturan yumurtalar elde edilmiştir. Her bir uygulama için belirlenen P_f değerinin, P_i değerine bölünmesi ile üreme faktörü ($R_f = P_f/P_i$) hesaplanmıştır.

Verilerin analizi

Verilere SPPS 13 paket programında varyans analizi (ANOVA) yapılarak, uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıklar $P=0.05$ önem seviyesinde Tukey HSD testine göre değerlendirilmiştir. Ur skalası, gram kökteki yumurta sayısı ve üreme indeksine ait verilere, analizden önce $\log_{10}(x+1)$ transformasyonu uygulanmıştır. Nematodun P_i seviyeleri veya bitkide meydana getirdiği ırlanma oranları ile bitki gelişim kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi kullanılarak belirlenmiştir (Mukhtar et al. 2013).

SONUÇLAR

Meloidogyne luci'nin farklı Pi yoğunluklarının domates gelişimine etkisini değerlendirmek amacıyla gövde boyu, gövde çapı ve klorofil içeriği (SPAD değeri), denemenin başlangıcında ve sonunda elde edilen ölçümlere göre değerlendirilmiştir (Çizelge 1). Buna göre, gövde boyu ve gövde çapı değerleri arasındaki artış miktarı nematod verilmeyen kontrol uygulamasında en yüksek tespit edilirken, nematodun Pi yoğunluğu arttıkça ele alınan bu iki kriterin gelişim oranında azalış belirlenmiştir (Çizelge 1). Gövde boyundaki artış miktarının en yüksek

tespit edildiği kontrol uygulaması (% 407.35) ile Pi seviyesinin 10^1 ve 10^2 olduğu durumlarda tespit edilen artış miktarları arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamaktadır ($P \geq 0.05$). Buna karşın, Pi değerinin 10^3 ve 10^4 olduğu bitkilerde gövde boyu artış oranı, kontrole göre önemli seviyede azalmıştır ($P < 0.05$), fakat bu iki Pi değeri (10^3 ve 10^4) arasında istatistiksel olarak bir fark saptanmamıştır (Çizelge 1). Farklı Pi değerleri uygulanan bitkilerin gövde boyundaki artış, kontroldeki artış oranına göre değerlendirildiğinde, başlangıç popülasyonu arttıkça gövde boyunda % 40'a varan azalış tespit edilmiştir (Şekil 1). Gövde çapındaki artış miktarı, nematod en

Çizelge 1. *Meloidogyne luci*'nin farklı başlangıç popülasyonlarının (Pi) inokulasyonundan sonra kontrollü koşullarda ($25 \pm 3^\circ\text{C}$) 60 gün yetiştirilen domates bitkisinde gövde boyu, gövde çapı ve klorofil içeriklerindeki (SPAD değeri) değişim miktarları ve oranları*

Pi	Gövde Boyu (cm)		Gövde Çapı (mm)		SPAD Değeri	
	Artış Miktarı	Artış oranı (%)	Artış Miktarı	Artış oranı (%)	Azalış Miktarı	Azalış oranı (%)
0	46.50 \pm 7.42 a	407.35	0.77 \pm 0.34 a	24.18	14.17 \pm 6.77 a	30.92
10^1	43.03 \pm 6.52 a	340.16	0.45 \pm 0.25 b	14.09	17.46 \pm 5.37 a	37.35
10^2	37.67 \pm 9.68 a	313.47	0.36 \pm 0.15 bc	11.73	15.15 \pm 7.82 a	33.01
10^3	28.61 \pm 6.53 b	246.37	0.34 \pm 0.09 bc	11.30	15.43 \pm 5.93 a	34.01
10^4	27.83 \pm 3.44 b	236.65	0.12 \pm 0.05 c	3.62	16.83 \pm 5.35 a	36.73

* Denemenin başlangıcında ve sonunda ölçülen değerler arasındaki farkı gösteren artış ve azalış miktarı 10 tekrerrün ortalama \pm standart sapması olup, Tukey HSD testine göre, sütun içerisinde aynı harfe sahip değerler $P < 0.05$ göre istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

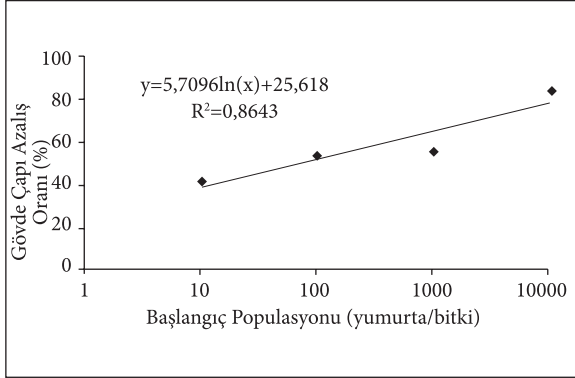
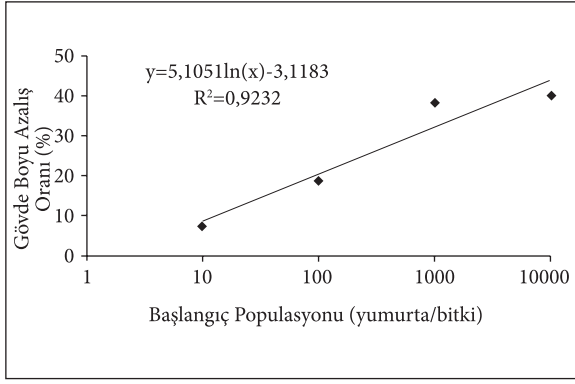
Çizelge 2. *Meloidogyne luci*'nin farklı başlangıç popülasyonlarının (Pi) inokulasyonundan sonra kontrollü koşullarda ($25 \pm 3^\circ\text{C}$) 60 gün yetiştirilen domates bitkisinin köklerindeki ırlanma oranı, üreme faktörü (Rf) ve gram kökteki yumurta sayısı*

Pi	Ur skalası (0-10) ¹	Rf ²	g kökteki yumurta sayısı
10^1	0.9 \pm 0.3 d	62.8 \pm 10.3 a	422 \pm 69 c
10^2	4.4 \pm 0.5 c	63.6 \pm 5.9 a	3129 \pm 1442 b
10^3	6.7 \pm 0.5 b	47.2 \pm 8.7 a	20075 \pm 14621 a
10^4	8.3 \pm 0.5 a	25.7 \pm 16.4 b	30798 \pm 4787 a

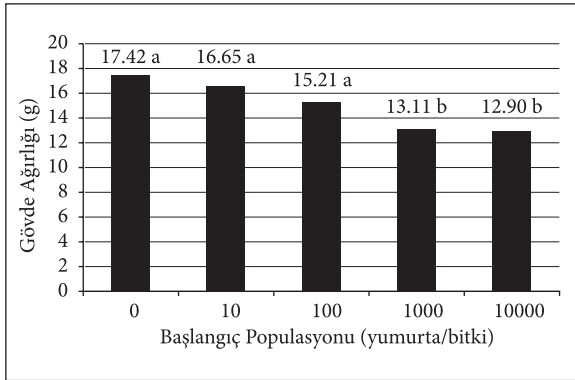
*Veriler 10 tekrerrün ortalama \pm standart sapması olup, analiz edilmeden önce $\log_{10}(x+1)$ transformasyonu uygulanmıştır. Tukey HSD testine göre, sütun içerisinde aynı harfe sahip değerler $P < 0.05$ göre istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

¹ Bridge ve Page (1980)'in 0-10 ur skalası kullanılmıştır.

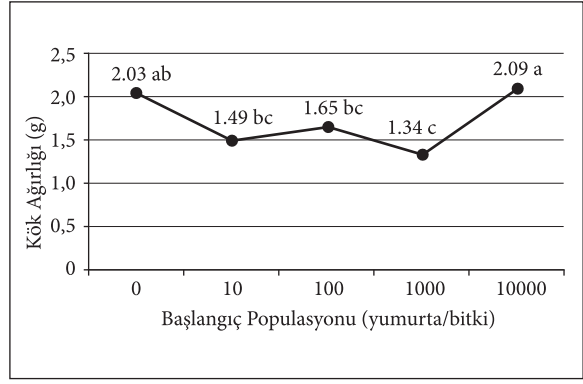
² Rf= Final popülasyon yoğunluğu/Pi



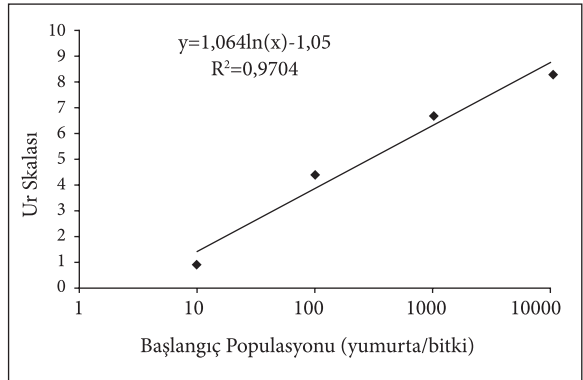
Şekil 1. Kontrollü koşullarda (25±3°C) 60 gün yetiştirilen domates bitkisinde, *Meloidogyne luci*'nin farklı başlangıç popülasyonu ile gövde boyu ve gövde çapı artış miktarlarının kontrole göre azalış yüzdesi arasındaki ilişki



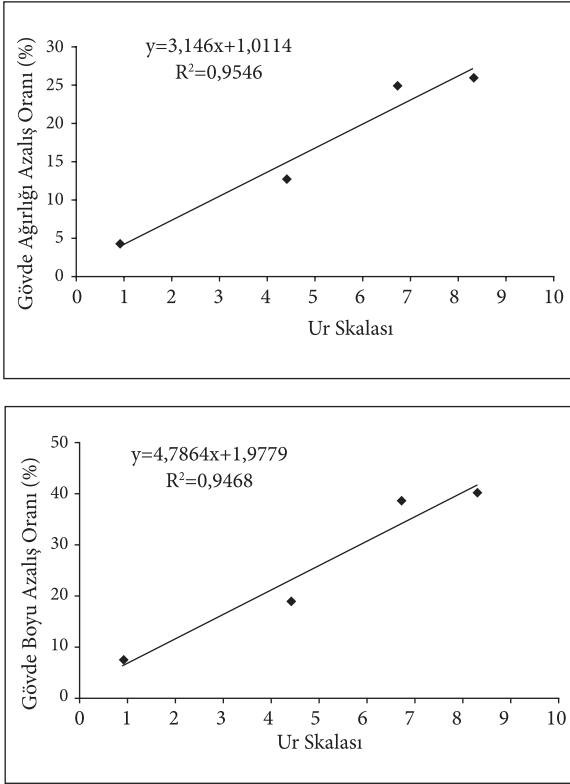
Şekil 2. *Meloidogyne luci*'nin farklı başlangıç popülasyonlarının inokulasyonundan sonra kontrollü koşullarda (25±3°C) 60 gün yetiştirilen domates bitkisinde elde edilen gövde ağırlıkları (Veriler 10 tekrerrün ortalaması olup, Tukey HSD testine göre, sütun içerisinde aynı harfe sahip değerler P≤0.05 göre istatistiksel olarak farklıdır)



Şekil 3. *Meloidogyne luci*'nin farklı başlangıç popülasyonlarının inokulasyonundan sonra kontrollü koşullarda (25±3°C) 60 gün yetiştirilen domates bitkisinde elde edilen kök ağırlıkları (Veriler 10 tekrerrün ortalaması olup, Tukey HSD testine göre, sütun içerisinde aynı harfe sahip değerler P≤0.05 göre istatistiksel olarak farklıdır)



Şekil 4. Kontrollü koşullarda (25±3°C) 60 gün yetiştirilen domates bitkisinde, *Meloidogyne luci*'nin farklı başlangıç popülasyonu ile köklerdeki urganlaşma oranı arasındaki ilişki



Şekil 5. Kontrollü koşullarda ($25\pm 3^\circ\text{C}$) 60 gün yetiştirilen domates bitkisi köklerinde *Meloidogyne luci*'nin oluşturduğu urlanma oranı ile gövde boyu artış miktarları ve gövde ağırlığının kontrole göre azalış yüzdesi arasındaki ilişki

düşük Pi seviyesinde bile kontrole göre önemli seviyede azalmıştır ($P<0.05$). Kontrol bitkisindeki gövde çapı artış oranı % 24.18 olarak tespit edilirken, en yüksek Pi değeri olan 10^4 'de ise sadece % 3.62'dir (Çizelge 1). Gövde çapı artış oranı kontrol ile kıyaslandığında, Pi değeri arttıkça gövde çapı artış oranı azalmış olup, bu azalış oranı %41'den %85'e kadar çıkmıştır (Şekil 1). Denemenin başlangıcından itibaren haftalık olarak ölçülen klorofil SPAD değerleri bitki yaşlandıkça düşmeye başlamıştır. Özellikle, klorofil miktarının 2. haftadan itibaren tüm uygulamalarda düşmeye başladığı ve denemenin sonuna kadar bu azalmanın devam ettiği tespit edilmiştir. Deneme sonunda en yüksek SPAD değeri kontrol grubunda tespit edilmesine rağmen, uygulamalar arasında klorofil değişim miktarı bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark oluşmamıştır (Çizelge 1). Bitki gelişimi bakımında değerlendirilen diğer bir kriter bitki ağırlığı olup, gövde ağırlığı ve kök ağırlığı ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Daha önce bahsedilen bitki gelişim kriterleri gibi gövde ağırlığı da nematodun Pi değerindeki artışla birlikte azalmaya başlamış ve Pi yoğunluğu 10^3 ve 10^4 olduğunda azalışın önemli seviyede olduğu tespit edilmiştir ($P<0.05$) (Şekil 2).

Kök ağırlığı bakımından ise nematod verilmeyen kontrol grubu ile en yüksek Pi seviyesi (10^4) arasında istatistiksel fark bulunmaktadır ($P<0.05$). Buna karşın, en yüksek Pi ile daha düşük Pi değerleri arasında kök ağırlığı bakımından önemli seviyede azalış tespit edilmiştir (Şekil 3).

Nematodun artan Pi değerleri, köklerdeki urlanma oranını önemli seviyede arttırmıştır (Şekil 4). En düşük Pi yoğunluğunda 0.9 olan ur skalası, en yüksek Pi seviyesinde 8.3'e kadar yükseltmiş olup, uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 2). Bitki köklerindeki urlanma oranındaki artış ile bitki gelişim kriterlerinden gövde ağırlığı ve gövde boyunda önemli bir azalış gerçekleşmektedir (Şekil 5). Deneme sonunda bitki köklerinde elde edilen Pf değerlerine bakıldığında, ur skalasına benzer şekilde Pi yoğunluğu arttıkça Pf değeri artmış olmasına rağmen, Pi yoğunluğu 10^3 ve 10^4 olan uygulamalarda gram kökte elde edilen yumurta sayıları istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Çizelge 2). Bununla birlikte, yüksek Pi seviyelerinde elde edilen bu değerler, diğer Pi seviyelerinden ise önemli derecede fazladır ($P<0.05$). Pi değeri 10^1 'den 10^3 'ye yükseldiğinde, gram kökteki yumurta sayısı istatistiksel olarak önemli derecede artarak 422'den 3129'a çıkmıştır. Değişen Pi seviyelerinde elde edilen en yüksek Rf değeri 63.6 ile Pi yoğunluğu 10^2 olan uygulamada tespit edilmiş, bunu 62.8 ile 10^1 ve 47.2 ile 10^3 olan Pi uygulamaları takip etmiştir (Çizelge 2). Rf değeri 47.2'den 63.6'ya kadar değişen bu Pi seviyeleri arasında istatistiksel anlamda önemli bir fark yoktur ($P\geq 0.05$). Bununla birlikte, en yüksek Pi seviyesi olan 10^4 'de 25.7 ile en düşük Rf değeri tespit edilmiş olup, bu değer diğer uygulamalardan önemli seviyede düşüktür.

TARTIŞMA VE KANI

Meloidogyne luci'nin artan Pi yoğunlukları domatesin gövde boyu ve ağırlığında azalışa neden olmaktadır. Bitki boyunda bodurluk, yapraklarda kloroz ve bitki ağırlığında azalış, kök-ur nematodlarının bitki üst kısmında neden olduğu semptomlardır (Azam et al. 2011, Kayani et al. 2017, Lopez-Gomez et al. 2015, Maleita et al. 2012b). Kök-ur nematodlarının köklerde oluşturduğu dev hücreler, kök sisteminin işleyişini bozarak bitkinin topraktan su ve besin maddesi alımını sınırlandırmakta, bunun sonucunda bitkilerde bodurlaşma ve gelişme geriliği görülmektedir (Kayani et al. 2017, Maleita et al. 2012b). Ayrıca köklerde oluşan bu özel beslenme alanı, bitki metabolizmasında değişikliğe neden olarak fotosentez ürünlerin bu hücrelere doğru yönelmesine neden olmaktadır. Bird and Loveys (1975), domates köklerinde beslenen *M. javanica* dişilerinin yumurta bırakma döneminde ihtiyaç duyduğu fazla miktardaki enerjinin karşılanması için,

yapraklardaki fotosentez ürünlerinin floem aracılığıyla beslenme hücrelerine taşındığını bildirmiştir. Sonraki yıllarda yapılan benzer çalışmalar, nematodun beslenme hücrelerinin bitkide oluşan fotosentez ürünlerini kendine yönlendiren bir metabolik hazne (metabolic sink) olduğunu ortaya koymuştur (Carneiro et al. 1999, Fortnum et al. 1991, McClure, 1977). Dolayısıyla, fotosentez ürünlerinin dağılımının değişmesi sonucu, sürgün gelişimi için gerekli olan fotosentez ürünlerinin nematodun beslenme alanlarına taşınması, bitki boyunda ve ağırlığında azalışa neden olmaktadır (Carneiro et al. 1999, Fortnum et al. 1991). Çalışmada, *M. luci*'nin artan Pi yoğunlukları gövde boyu ve ağırlığında azalışa neden olmasına rağmen, kontrole göre istatistiksel olarak önemli azalış 10^3 ve 10^4 seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu iki gelişim kriteri bakımından önemli azalışın görüldüğü Pi seviyesi, Azam et al. (2011) tarafından domateste *M. incognita* için de tespit edilmiştir. Kamran et al. (2013) tarafından yürütülen çalışmada ise *M. incognita* için domateste en düşük Pi seviyesi olarak seçilen 250 yumurta, gövde boyu ve ağırlığında önemli azalışa neden olmuştur. Çalışmamızda, bu iki kriter bakımından önemli farklılık Pi değeri 10^2 'nin üzerinde olduğunda elde edilmiştir. Bu itibarla, 10^2 ve 10^3 arasındaki hangi Pi değerinde istatistiksel olarak önemli farklılığın ortaya çıkmış olabileceği bilinmemektedir. Dolayısıyla, Kamran et al. (2013) tarafından belirlenmiş Pi seviyesinde önemli azalışlar ortaya çıkabilir. Bu sonuçların aksine, domateste *M. incognita*'nın farklı Pi seviyelerinin etkisini araştıran Fortnum et al. (1991) ve Ehwaeti et al. (1998), bitki gövde boyu ve/veya ağırlığı için 10^5 gibi yüksek bir Pi değerinin gerekli olduğunu belirlemişlerdir. Bu farklılığın nedeni, toprak hacmi veya gramı başına düşen nematod sayısından kaynaklanabilir. Çünkü bu iki çalışmada da daha büyük saksı hacmi kullanılmıştır. Fortnum et al. (1991) tarafından bildirilen 10^5 değeri için toprağın 1 ml'sinde 400 yumurta, Ehwaeti et al. (1998)'da ise toprağın 1 gramında 20 yumurta bulunmaktadır. Birim başına düşen yumurta sayısı dikkate alındığında, çalışmamızda 1 ml toprak hacmi başına düşen yumurta sayısı sırasıyla 0.04, 0.4, 4 ve 40 adettir. Greco and Di Vito (2009), çoğu kültür bitkisinde kök-ur nematodlarına tolerans sınırının, 1 cm³ toprakta 1 adet nematod yumurtasından daha az olduğunu, Moens et al. (2009) ise toprağın 1 gramındaki ikinci dönem larva sayısının 0.5-2 arasında olmasının, ekonomik kaybın ortaya çıkması için yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Nematod türü, bitki türü, bitki çeşidi ve çevre, bitki gelişimde azalışa neden olan en düşük Pi değerlerinin belirlenmesini etkileyen başlıca faktörlerdir (Barker and Olthof 1976, Ehwaeti et al. 1998, Kayani et al. 2017). Çalışmada değerlendirmeye alınan bitki gelişim kriterlerinden gövde çapı, en düşük Pi yoğunluğundan

bile önemli derecede etkilenmiştir. Nematodun Pi seviyesi artıkça, gövde çapı büyüme oranındaki azalış, Kankam and Adomako (2014) tarafından da tespit edilmiştir. Gövde çapı ile başlangıç popülasyonu arasında belirlenen linear ilişki, Zhang and Noe (1996) tarafından kenaf (*Hibiscus cannabinus*) bitkisindeki *M. arenaria* ve *M. incognita*'da da tespit edilmiştir.

Artan Pi yoğunluğunun domates, fasulye, hıyar ve kabakta klorofil içeriğini azalttığını bildiren bazı çalışmalar bulunmaktadır (Gine et al. 2014, Lopez-Gomez et al. 2015, Lovelys and Bird 1973, Melakeberhan et al. 1985). Bu çalışmada, nematod ile bulaşık bitkilerde belirlenen klorofil içeriği, nematod verilmeyen kontrol bitkilerinden daha düşük tespit edilmesine rağmen, bu azalış oranı önemli seviyede değildir. Benzer şekilde, Lopez-Gomez and Verdejo-Lucas (2017) tarafından *M. javanica*'nın farklı Pi seviyelerinin karpuzda klorofil içeriğini etkilemediği bildirilmiştir. *Meloidogyne javanica*'nın farklı Pi yoğunluklarını kabak bitkisine inokule ettikten 40 gün sonra ilk klorofil ölçümünü yapan Lopez-Gomez et al. (2015), yüksek Pi seviyelerinde kontrole göre klorofil içeriğinde önemli azalışlar tespit etmişlerdir. Araştırmacılar daha erken dönemlerde değişikliğin tespit edilmesi durumunda, nematodun neden olabileceği zararın önceden tahmin edilerek bitki besleme ve mücadele gibi gerekli önemlerin alınabileceğini bildirmişlerdir. Buna karşın, çalışmamızda nematod inokulasyonundan itibaren haftalık olarak klorofil ölçümleri yapılmasına rağmen, hiçbir dönemde nematodla bulaşık bitkiler ile kontrol bitkileri arasında bu değer bakımından bir farklılık tespit edilmemesi, Lopez-Gomez et al. (2015) tarafından öngördüğü gibi bir erken uyarının domateste kullanımını mümkün kılmamaktadır. Ayrıca, diğer biyotik ve abiyotik stres faktörleri de bitkide klorofil içeriğini değişmesine neden olabilir.

Çalışmamızda, urlanma oranındaki artış ile verim arasında negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Benzer ilişki, farklı kök-ur nematodu türleri ile havuç, yerfıstığı, hıyar, kabak ve mercimek gibi farklı bitkilerde de tespit edilmiştir (Ansari et al. 2018, Belair and Boivin 1988, Korayem and Bondok Moawad 2013, Lopez-Gomez et al. 2015, Mukhtar et al. 2013). Bitki köklerinde kök-ur nematodlarının neden olduğu urlar, bu nematod cinsinin varlığını belirlemek için önemli bir semptomdur. Ayrıca, nematoda hassas bir bitkinin yetiştirildiği alanda, nematodun dağılımının belirlenmesine hatta köklerde oluşturduğu urlanma oranına göre yoğunluğunun tahmin edilmesine yardımcı olabilmektedir (Lopez-Gomez et al. 2015). Köklerdeki urlanmanın, kök ağırlığında artışa neden olduğu kabul edilmektedir (Carneiro et al. 1999, Kayani et al. 2017).

Çalışmamızda ise sadece en yüksek Pi seviyesinde kontrolden çok az miktarda, önemli olmayan seviyede bir artış bulunmaktadır. Kök-ur nematodlarının fotosentez ürünlerinde azalışa neden olduğu ve kökler için gerekli olan bitki besin elementlerinin azalması nedeniyle kök gelişiminin yavaşladığı bilinmektedir. Buna karşın, kök ağırlığındaki bu azalış, ur oluşumu ile dengelenmekte ve urlanmanın yoğun olduğu bitkilerde kök ağırlığının sağlıklı bitkilerden daha fazla olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, bitki gelişim kriteri olarak kök ağırlığının değerlendirilmesi çok doğru olmayabilir.

Sınırlayıcı bir faktör bulunmadığında, Pi değeri arttıkça, kök-ur nematodunun popülasyon yoğunluğu da artış göstermektedir (Gine et al. 2014). Aynı şekilde, bu çalışmada Pi değeri arttıkça Pf değeri artmıştır. Kök-ur nematodlarının parthenoetik olarak çoğalan türlerinde, nematodun beslenmesi ve üremesi için gerekli besin ihtiyacının yeterli olması durumunda, köke giriş yapan ikinci dönem larvaların büyük bir bölümü dişi birey olmaktadır. Besinin yetersiz olması durumunda ise kök içerisindeki ikinci dönem larvalarının büyük bir bölümünün erkek birey olarak farklılaştığı görülmektedir (Maleita et al. 2012b). Bu itibarla, kökün besleyebileceği larva kapasitesinden daha yüksek miktarda ikinci dönem larvanın köke giriş yapması durumunda, kökteki yetersiz besinden dolayı dişilerin oranında azalış görülecek ve bunun sonucunda üreme oranı olumsuz etkilenecektir (Di Vito et al. 1991, Lopez-Gomez and Verdejo-Lucas 2017). Bu nedenle, Pi seviyesindeki artış belli bir düzeye ulaşana kadar Pf değeri artmaya devam edecektir. Hassas ve dayanıklı domates çeşitlerinde *M. incognita*'nın farklı Pi yoğunluklarının etkisini araştıran Di Vito et al. (1991), 1 cm³ toprakta 8 yumurta ve larva bulunana kadar Pf değerinin artış gösterdiğini, bu Pi seviyesinden itibaren ise giderek azaldığını bildirmiştir. Kökteki besin miktarı ile dişilerin üremesi arasındaki bu ilişkiden dolayı, farklı Pi seviyelerinin Pf yoğunluğuna etkisini değerlendirmek için gram kök başına nematod sayısını dikkate almak daha uygun olabilmektedir. Buna göre, çalışmada artan Pi seviyesi ile gram kökteki yumurta sayısı da artmış olmasına rağmen, 10³ ve 10⁴ arasında istatistiksel bir fark yoktur. Üreme faktörü olarak kullanılan Rf (Pf/Pi) değerinin, düşük Pi seviyelerinde en yüksek değerlerde olduğu belirtilmektedir (Di Vito et al. 1991, Gine et al. 2014). Rekabet ve besin yetersizliğinin sonucu olarak, Pi seviyesindeki artış miktarı ile Rf değerinde azalışlar görülmektedir (Gine et al. 2014). Pf değeri ile Pi değerlerinin eşit olduğu seviye (Rf=1), bitkinin Pi seviyesini koruyabilecek kadar yeterli besini temin edebileceği seviyeyi göstermektedir (Gine et al. 2014). Çalışmamızda en yüksek Rf değeri Pi seviyesi 10² olduğunda tespit edilmiş olmasına rağmen, istatistiksel

olarak önemli azalış Pi seviyesi 10³'ün üzerine çıktığında gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak, bitki gelişim parametreleri, köklerde nematod zararını gösteren urlanma oranı ve nematodun üremesi birlikte değerlendirildiğinde 10³ ve üzerindeki Pi seviyelerinde, domates bitkisinde önemli azalışların görüldüğü tespit edilmiştir. Çalışmada logaritmik bir artış kullanılmış olması nedeniyle 10³'ün bir önceki Pi seviyesi olan 10² arasında geniş bir aralık bulunmaktadır. Bu iki değer arasındaki hangi Pi seviyelerinde bitki gelişiminde azalışların başladığını tahmin etmek için daha detaylı çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Bununla birlikte, büyük bir bölümünü floem ve ksilemin oluşturduğu gövde çapının, en düşük Pi seviyesinde önemli oranda azalması, zarara neden olabilecek en düşük Pi seviyesinin 10³'ye daha yakın olduğunu göstermektedir. Dünya için yeni bir tür konumunda olan *M. luci*'nin farklı Pi seviyelerinin hassas domates çeşidindeki bitki gelişimine etkisinin ilk defa araştırıldığı bu çalışma, bu nematod türünün domates bitkisinde önemli zarara neden olabilecek potansiyelde olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, nematod popülasyonunun yüksek olduğu durumlarda, domates üretimine başlamadan önce gerekli mücadele önlemlerinin alınması gerekmektedir.

ÖZET

Kök-ur nematodu *Meloidogyne luci*'nin dört farklı başlangıç popülasyon (Pi) yoğunluğunun (10¹, 10², 10³ ve 10⁴ yumurta/bitki) hassas domates bitkisinin gelişimine ve nematod üremesine etkisini belirlemek için saksı denemesi yürütülmüştür. Bitki gelişimine ait kriterlerden, gövde boyu ve gövde çapına ait başlangıç değerleri nematod inokulasyonundan hemen önce kaydedilmiştir. Ayrıca, yapraklardaki klorofil içeriklerindeki değişimin belirlenebilmesi amacıyla nematod inokulasyonundan deneme sonuna kadar haftalık olarak ölçümler yapılmıştır. Nematod inokulasyonundan 60 gün sonra deneme sonlandırılarak gövde boyu, gövde ağırlığı, gövde çapı ve kök ağırlıkları belirlenmiştir. Köklerdeki urlanma oranı 0-10 skalasına göre değerlendirilmiş ve nematodun final popülasyon (Pf) yoğunlukları ile üreme faktörü (Rf) tespit edilmiştir. Pi yoğunluğundaki artış, kök ağırlığı dışındaki bitki gelişim kriterlerinde azalışa neden olmuştur. Gövde çapı artış oranı Pi seviyesi 10¹, gövde boyu artış oranı ile gövde ağırlığı ise Pi yoğunluğu 10³ olduğunda kontrolden (Pi=0) önemli seviyede azalmıştır (P<0.05). Nematod ile bulaşık bitkilerde, kontrole göre başlangıçtan itibaren daha düşük bir klorofil içeriği tespit edilmiş olsa bile, bu değişim istatistiksel olarak önemsizdir. Pi arttıkça, ur skalası değerinde istatistiksel olarak önemli artışlar tespit edilmiştir

($P < 0.05$). Benzer şekilde, Pi yoğunluğundaki artış ile Pf değerinde de artışlar meydana gelmiş, fakat Pi yoğunluğu 10^3 ve 10^4 olan uygulamalarda gram kökte elde edilen yumurta sayıları istatistiksel olarak birbirinden farksız bulunmuştur. En yüksek Rf değerleri düşük Pi yoğunluklarında tespit edilmiş olup, istatistiksel olarak önemli azalış Pi seviyesi 10^3 'ün üzerine çıktığında gerçekleşmiştir. Nematod ile bitki gelişimi arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla yapılan regresyon analizlerinde, gövde boyu ve gövde çapı artış miktarının kontrole göre yüzde azalışı ile Pi seviyesi arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Benzer bir pozitif ilişki, ur skalası ile gövde boyu ve ağırlığının azalış oranları arasında da belirlenmiştir. Sonuç olarak, bitki gelişim parametreleri, ırlanma oranı ve nematodun üremesi birlikte değerlendirildiğinde, Pi seviyesi 10^3 olduğunda, domates gelişimde önemli gerileme olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abad P., Favery B., Rosso M. N., Castagnone-Sereno P., 2003. Root-knot nematode parasitism and host response: molecular basis of a sophisticated interaction. *Molecular Plant Pathology*, 4, 217-224.
- Ansari T., Asif M., Siddiqui M. A., 2018. Resistance screening of lentil cultivars against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Hellenic Plant Protection Journal*, 11, 9-18.
- Aydınlı G., Mennan S., Devran Z., Sirca S., Urek G., 2013. First report of the root-knot nematode *Meloidogyne ethiopica* on tomato and cucumber in Turkey. *Plant Disease*, 97 (9), 1262.
- Aydınlı G., Mennan S., 2016a. Identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) from greenhouses in the Middle Black Sea Region of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 40 (5), 675-685.
- Aydınlı G., Mennan S., 2016b. Reproductive ability of *Meloidogyne ethiopica* populations on tomato plant with Mi resistance gene. 32nd International Symposium of the European Society of Nematologists, 28th August-1st September 2016, Braga, Portugal, p: 159.
- Azam T., Hisamuddin S., Singh S., Robab M. I., 2011. Effect of different inoculum levels of *Meloidogyne incognita* on growth and yield of *Lycopersicon esculentum*, and internal structure of infected root. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 44, 1829-1839.
- Barker K. R., Olthof T. H. A., 1976. Relationships between nematode population densities and crop responses. *Annual Review of Phytopathology*, 14, 327-353.
- Belair G., Boivin G., 1988. Spatial pattern and sequential sampling plan for *Meloidogyne hapla* in muck-grown carrots. *Phytopathology* 78, 604-607.
- Bird A. F., Loveys B. R., 1975. The incorporation of photosynthates by *Meloidogyne javanica*. *Journal of Nematology*, 7, 111-113.
- Bird D. M., 1996. Manipulation of host gene expression by root-knot nematodes. *Journal of Parasitology*, 82, 881-888.
- Bridge J., Page S. L. J., 1980. Estimation of Root-Knot Nematodes Infestation Levels Using a Rating Chart. *Tropical Pest Management*, 26, 296-298.
- Carneiro R. G., Mazzafera P., Ferraz L.C.C.B., 1999. Carbon partitioning in soybean infected with *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. *Journal of Nematology*, 31, 348-355.
- Carneiro R. M. D. G., Correa V. R. M., Almeida R. A., Gomes A. C. M. M., Deimi A. M., Castagnone-Sereno P., Karssen G., 2014. *Meloidogyne luci* n. sp. (Nematoda: Meloidogynidae), a root-knot nematode parasitising different crops in Brazil, Chile and Iran. *Nematology*, 16 (3), 289-301.
- Conceição I. L., Tzortzakakis E. A., Gomes P., Abrantes I., da Cunha M. J., 2012. Detection of the root-knot nematode *Meloidogyne ethiopica* in Greece *European Journal of Plant Pathology*, 134, 451-457.
- Cortada L., Sorribas F. J., Ornat C., Kaloshian I., Verdejo-Lucas S., 2008. Variability in infection and reproduction of *Meloidogyne javanica* on tomato rootstocks with the Mi resistance gene. *Plant Pathology*, 57, 1125-1135.
- Devran Z., Söğüt M. A., Mutlu N., 2010. Response of tomato rootstocks with the Mi resistance gene to *Meloidogyne incognita* race 2 at different soil temperatures. *Phytopathologia Mediterranea*, 49, 11-17.
- Di Vito M., Cianciotta V., Zaccheo G., 1991. The effect of population densities of *Meloidogyne incognita* on yield of susceptible and resistant tomato. *Nematologia Mediterranea*, 19, 265-268.
- Ehwaeti M. E., Phillips M. S., Trudgill D. L., 1998. Dynamics of damage to tomato by *Meloidogyne incognita*. *Fundamentals and Applied Nematology*, 21, 627-635.
- EPPO, 2016. Previous finding of *Meloidogyne ethiopica* in Slovenia is now attributed to *Meloidogyne luci*. Reporting Service No. 11-2016. <https://gd.eppo.int/reporting/article-5957> (Erişim tarihi: 25 Aralık 2016).
- FAO, 2018. Production quantity. <http://www.fao.org/>

faostat (Erişim Tarihi: 2 Nisan 2018).

Fortnum B. A., Kasperbauer M. J., Hunt P. G., Bridges W. C., 1991. Biomass partitioning in tomato plants infected with *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology*, 23, 291-297.

Gerič Stare B., Strajnar P., Susic N., Urek G., Širca S., 2017. Reported populations of *Meloidogyne ethiopica* in Europe identified as *Meloidogyne luci*. *Plant Disease*, 101 (9), 1627-1632.

Gine A., Lopez-Gomez M., Vela, M. D., Ornat C., Talavera M., Verdejo-Lucas S., Sorribas F. J., 2014. Thermal requirements and population dynamics of rootknot nematodes on cucumber and yield losses under protected cultivation. *Plant Pathology*, 63, 1446-1453.

Greco N., Di Vito M., 2009. Population dynamics and damage levels. In: *Root-knot nematodes*. Perry, R. N., Moens, M., Starr, J. L. (Eds). CABI Publishing, Wallingford, UK, 246-274 p.

Hussey R. S., Barker K. R., 1973. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter*, 57, 1025-1028.

Janssen T., Karssen G., Verhaeven M., Coyne D., Bert W., 2016. Mitochondrial coding genome analysis of tropical root-knot nematodes (*Meloidogyne*) supports haplotype based diagnostics and reveals evidence of recent reticulate evolution. *Scientific Reports*, 6, 22591.

Kamran M., Anwar S. A., Javed N., Khan S. A., Abbas H., Iqbal M. A., Zohaib A., 2013. The influence of *Meloidogyne incognita* density on susceptible tomato. *Pakistan Journal of Zoology*, 45(3), 727-732.

Kankam F., Adomako J., 2014. Influence of inoculum levels of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Asian Journal of Agriculture and Food Science*, 2, 171-178.

Kayani M. Z., Mukhtar T., Hussain M. A., 2017. Effects of southern root-knot nematode population densities and plant age on growth and yield parameters of cucumber. *Crop Protection*, 92, 207-212.

Korayem A. M., Bondok Moawad M. M. M., 2013. Damage threshold of root-knot nematode, *Meloidogyne arenaria* on peanut in relation to date of planting and irrigation system. *Canadian Journal of Plant Protection*, 1, 117-124.

López-Gómez M., Flor-Peregrín E., Talavera M., Sorribas F. J., Verdejo-Lucas S., 2015. Population dynamics of *Meloidogyne javanica* and its relationship with the leaf chlorophyll content in zucchini. *Crop Protection*, 70, 8-14

López-Gómez M., Verdejo-Lucas S., 2017. Penetration and post-infection development of root-knot nematodes in watermelon. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15 (4), e1010.

Lopez-Perez J. A., Strange M. L., Kaloshian I., Ploeg A. T., 2006. Differential response of Mi gene-resistant tomato rootstocks to root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*). *Crop Protection*, 25, 382-388.

Loveys B. R., Bird A. F., 1973. The influence of nematodes on photosynthesis in tomato plants. *Physiological Plant Pathology*, 3, 525-529.

Maleita C. M., Simões M. J., Egas C., Curtis R. H. C., Abrantes I. M., de O., 2012a. Biometrical, biochemical, and molecular diagnosis of Portuguese *Meloidogyne hispanica* isolates *Plant Disease*, 96 (6), 865-874.

Maleita C. M. N., Curtis R. H. C., Powers S. J., Abrantes I. M. de O., 2012b. Inoculum levels of *Meloidogyne hispanica* and *M. javanica* affect nematode reproduction, and growth of tomato genotypes. *Phytopathologia Mediterranea*, 51 (3), 566-576.

Maleita C., Esteves I., Cardoso J. M. S., Cunha M. J., Carneiro R. M. D. G., Abrantes I., 2018. *Meloidogyne luci*, a new root-knot nematode parasitizing potato in Portugal. *Plant Pathology*, 67 (2), 366-376.

McClure M. A., 1977. *Meloidogyne incognita*: a metabolic sink. *Journal of Nematology*, 9, 88-90.

Melakeberhan H., Webster J. M., Brooke R. C., 1985. Response of *Phaseolus vulgaris* to a single generation of *Meloidogyne incognita*. *Nematologica*, 31, 190-202.

Moens M., Perry R. N., Starr J. L., 2009. *Meloidogyne* species- a diverse group of novel and important plant parasites. In: *Root-knot nematodes*. Perry R. N., Moens M., Starr J.L. (Eds). CABI Publishing, Wallingford, UK, 1-17 p.

Mukhtar T., Kayani M. Z., Hussain M. A., 2013. Response of selected cucumber cultivars to *Meloidogyne incognita*. *Crop Protection*, 44, 33-17.

Seid A., Fininsa C., Mekete T., Decraemer W., Wesemael W. M. L., 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) - a century-old battle. *Nematology*, 17(9), 995-1009.

Širca S., Urek G., Karssen G., 2004. First report of the root-knot nematode *Meloidogyne ethiopica* on tomato in Slovenia *Plant Disease*, 88, 680.

Wagner A., Michalek W., Jamiolkowska A., 2006. Chlorophyll fluorescence measurements as indicators of fusariosis severity in tomato plants. *Agronomy Research*,

4, 461-464.

Wesemael W. M. L., Viaene N., Moens M., 2011. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Europe. *Nematology*, 13, 3-16.

Zhang F., Noe J. P., 1996. Damage potential and reproduction of *Meloidogyne incognita* race 3 and *M. arenaria* race 1 on Kenaf. Supplement to *Journal of Nematology*, 28 (4S), 668-675.