کنترل مؤثر نماتود مرکبات (*Tylenchulus semipenetrans*) با استفاده از روش آفتابدهی انفرادی خاک سایه‌انداز درختان آلوده پرتقال*

EFFECTIVE CONTROL OF CITRUS NEMATODE (*Tylenchulus semipenetrans*) BY INDIVIDUAL CANOPY SOIL SOLARIZATION OF INFECTED SWEET ORANGE TREES

مجید پاک نیت[۱]**

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۹)

چکیده

نماتود مرکبات (*Tylenchulus semipenetrans*) در شمال و جنوب ایران دارای اهمیت زیادی است. در یک آزمایش با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی تأثیر روش آفتابدهی خاک سایه‌انداز درختان آلوده بر کنترل این نماتود در منطقه داراب استان فارس طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای این آزمایش شامل آفتابدهی در اوایل فصل رشد به مدت ۴۵ و ۶۰ روز هم‌زمان با شروع فعالیت نماتود، به هنگام اوج دمای محیط به مدت ۶۰ روز و شاهد بدون آفتابدهی بودند. در زمان آفتابدهی، میانگین حداکثر دمای ماهیانه عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک در زیر ورقه‌های پلاستیکی به ۳۹/۷-۴۱/۸°C رسید. نتایج نشان داد که در همه تیمارها جمعیت نماتود مرکبات بلافاصله پس از آفتابدهی، سه ماه و یک‌سال بعد از اتمام دوره آفتابدهی شدیداً کم شد و درصد بقای نماتود به صفر و یا نزدیک صفر کاهش یافت ($P \leq 0.05$). با این وجود، حساسیت نماتودهای انگل سطحی خانواده‌های مختلف و هم‌چنین راسته Rhabditida نسبت به آفتابدهی کمتر بود. کاهش شدید جمعیت نماتود مرکبات به طور معنی‌داری موجب افزایش شاخص‌های رویشی و زایشی درختان تیمار شده در سال بعد شد به طوری که متوسط میزان محصول هر درخت در تیمارهای مختلف به ترتیب بین ۷۱/۶-۷۷/۹ و۲/ ۷۰-۷۷/۸ درصد نسبت به قبل از آفتابدهی و شاهد افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، آفتابدهی خاک، بقای نماتود، نماتود انگل گیاهی، کنترل بیماری، مرکبات

---

*: بخشی از پروژه تحقیقاتی ارایه شده به موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور

**: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی pakniyat2005@ yahoo.com

۱. مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

مقدمه

نماتود مرکبات (*Tylenchulus semipenetrans* Cobb, 1913) مهم‌ترین نماتود بیماری‌زای مرکبات است. این نماتود برای نخستین بار از روی ریشه درخت پرتقال در ایالت کالیفرنیا آمریکا گزارش شد (Baines *et al*. 1978). تاکنون این نماتود از اغلب مناطق مرکبات‌کاری دنیا گزارش شده است (Siddiqi 1974). در ایران، این گونه در مناطق شمال و جنوب با جمعیت‌های متفاوت شایع می‌باشد (Abivardi *et al*. 1970, Izadpanah and Saffarian 1968, Minassian & Moadab 1970, Tanhamaafi & Damadzadeh 2008).

پارازیته شدن سیستم ریشه به همراه افزایش جمعیت نماتود، باعث ضعف عمومی و زوال تدریجی درختان شده و موجبات ایجاد خسارت اقتصادی به باغ‌های مرکبات فراهم می‌گردد. دوره زندگی نماتود مرکبات به فنولوژی گیاه و تغییرات فصلی بستگی دارد و بر این اساس ممکن است افزایش جمعیت در یک و یا دو دوره مشخص از سال مشاهده شود (O'Bannon *et al*. 1972, Duncan *et al*. 1993, Bello *et al*. 1986, Sorribas *et al*. 2000).

شرفه (۱۹۷۲) با تأیید دو نسله بودن نماتود، زمان تخم‌گذاری و شروع فعالیت اول فصل نماتود مرکبات در منطقه خفر استان فارس را حدود اواسط اردیبهشت گزارش نمود. گسترش و افزایش جمعیت نماتود در دمای بین ۲۰ تا ۳۰°C ذکر شده و دمای نفوذ لارو به داخل ریشه ۲۵°C تعیین شده است. خارج از دامنه ذکر شده، افزایش جمعیت به کندی انجام می‌پذیرد (O'Bannon *et al*. 1966). بر اساس تحقیق انجام شده در اسپانیا و تگزاس، زمانی که دمای خاک در تابستان به حد بالای دامنه حرارتی فوق برسد، رشد و نمو جمعیت نماتود متوقف می‌شود (Sorribas *et al*. 2000, Davis 1984). *رینولد و اوبانون* (Reynold & O'Bannon 1963) طی تحقیقی در آریزونا گزارش کردند مادامی که سایه‌انداز درخت مرکبات توسعه نیافته و سایه مناسبی روی خاک جهت تأمین دمای بهینه به وجود نیامده باشد، رشد جمعیت نماتود روی درختان جوان به کندی انجام می‌پذیرد. خسارت این نماتود روی درختان مرکبات ناشی از جمعیت‌های زیاد آن در خاک و ریشه است (Garibedian *et al*. 1984، Phlis 1989). کنترل نماتود مرکبات به روش‌های مختلفی مانند استفاده از پایه‌های متحمل، نهال‌های سالم و روش‌های فیزیکی و شیمیایی توصیه شده است (Verdejo-Lucas & Mckenry 2004). گل‌دهی در مرکبات بر روی شاخه‌های یک ساله بوقوع می‌پیوندد لذا، توصیه می‌شود که تأثیر تیمارها و میزان محصول یک سال بعد از اجرای تیمارها مورد بررسی قرار گیرد (Davis *et al*. 1982, Van Gundy *et al*. 1982). تعداد ماده‌های بالغ روی ریشه بهترین مشخصه برای فعالیت فصلی نماتود است (Sorribas *et al*. 2000). آفتابدهی خاک عبارت است از گرم کردن خاک در زیر یک ورقه پلی‌اتیلن (پلاستیک) شفاف با استفاده از انرژی خورشیدی، به منظور از بین بردن آفات و عوامل بیماری‌زا (Katan *et al*. 1976). در این زمینه، گزارش‌های زیادی در مورد کنترل نماتودهای بیماری‌زا، به ویژه بر روی گیاهان یک‌ساله و در غیاب میزبان وجود دارد (Heald & Robinson 1987, Stapleton *et al* 1987, Chellemi *et al*. 1993). آفتابدهی علاوه بر کنترل نماتود، باعث افزایش فعالیت آنتاگونیست‌ها و بهبود کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک نیز می‌گردد (Elmore *et al*. 1997). نظر به این که رویشگاه مرکبات عمدتاً در مناطق نیمه حاره‌ای است، لذا گزارش‌ها در مورد تأثیر آفتابدهی روی درختان آلوده به منظور کنترل نماتود مرکبات بسیار اندک است. در این مناطق،

بارندگی‌های تابستانه و در نتیجه رطوبت بالای خاک از یک طرف باعث افزایش پوسیدگی‌های ریشه و سمیت برخی عناصر شده و از طرف دیگر محیط مناسبی را برای افزایش دمای خاک جهت کنترل مؤثر نماتود به وجود نمی‌آورد (Verdejo Lucas & Mckenry 2004). در آفریقای جنوبی کشیدن پلاستیک شفاف به ضخامت ۳۰ میکرومتر و ابعاد تقریبی ۴×۶۰ متر قبل از کاشت درختان مرکبات در اراضی آلوده به عوامل بیماری‌زای خاک‌برد از جمله نماتود مرکبات، جمعیت نماتود را شدیداً کاهش داد ولی بعد از چهار سال جمعیت نماتود مجدداً افزایش یافت (Cronje *et al*. 2002). در مصر، *اسماعیل و همکاران* (Ismail *et al*. 1997) از ورقه‌های پلی‌اتیلنی شفاف و سیاه به ضخامت‌های ۸۰ و ۱۶۰ میکرومتر و ابعاد ۴×۲۰ متر استفاده نمودند و با ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پوشش سطح خاک در ناحیه سایه‌انداز درختان پرتقال، جمعیت نماتود مرکبات را در یک باغ شش ساله ۹/۳- ۹۵/۳۸درصد، نسبت به خاک بدون پوشش کاهش دادند. *پاک نیت* (۲۰۱۰) طی یک بررسی مقدماتی کاهش صددرصدی جمعیت نماتود مرکبات به روش آفتابدهی ناحیه سایه‌انداز را بر روی یک پرتقال محلی با پایه لیموترش در منطقه کازرون (فارس) برای اولین مرتبه از ایران گزارش نمود. در منطقه داراب (فارس)، مدت زمان‌های ۴۵ و۶۰ روزه آفتابدهی بین اول خرداد- اول تیر بر روی درختان پرتقال پیوند والنسیا روی پایه لیموترش جمعیت نماتود را در خاک و ریشه به نزدیکی صفر رساند (Pakniyat & Pakniat 2012). مطالعه حاضر تکمیل مطالعه اخیر می‌باشد و هدف از آن استفاده از آفتابدهی سایه‌انداز درختان پرتقال آلوده به نماتود مرکبات، بررسی تغییرات جمعیت نماتود در فواصل زمانی مختلف بعد از آفتابدهی جهت احیا و افزایش محصول درختان است.

روش بررسی

الف) مشخصات محل آزمایش

به منظور کنترل نماتود مرکبات به روش آفتابدهی خاک سایه‌انداز درخت، این آزمایش طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۹ در یک باغ هفت ساله آلوده با سیستم آبیاری قطره‌ای واقع در شهرستان داراب (استان فارس) انجام گرفت. آمار هواشناسی منطقه بر اساس گزارشات ایستگاه هواشناسی حسن‌آباد که به فاصله تقریبی یک کیلومتر از محل آزمایش قرار داشت، جمع‌آوری گردید (جدول ۱). بافت خاک سیلتی لوم (۲۹/۴٪ شن، ۵۳/۴٪ لای و ۱۷/۲٪ رس) با ۰/۸۴٪ ماده آلی بود. pH و هدایت الکتریکی خاک به ترتیب ۷/۹ و ۱/۴۲ ds/m اندازه‌گیری شد. درختان پرتقال این باغ پیوند رقم والنسیا روی پایه لیموترش و به فاصله ۵×۵ متر از یکدیگر کاشته شده بودند. تغذیه درختان در طول فصل رشد با استفاده از کود شیمیایی Grow more (K: 20%، P: 20%, N: 20%) همراه با عناصر ریزمغذی) در ماه‌های بهمن، اردیبهشت و شهریور در هر نوبت به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار انجام شد.

ب) تعیین تراکم جمعیت اولیه نماتود مرکبات، سایر نماتودهای خاک و فاکتورهای گیاهی قبل از آفتابدهی

در اوایل بهمن سال ۱۳۸۹، تعداد ۳۲ درخت بر اساس فراوانی ماده‌های کامل نماتود روی ریشه‌های موئین، انتخاب شدند. این درختان به صورت پراکنده در یک قطعه با وسعت تقریبی دو هکتار قرار گرفته بودند مشخصه‌های رشدی گیاه شامل ارتفاع، بزرگ‌ترین قطر تاج درخت، تعداد میوه، متوسط قطر ۱۰ میوه (به صورت تصادفی) و میزان محصول هر درخت به تفکیک اندازه‌گیری شد. هم‌زمان با افزایش جمعیت نماتود و تفریخ اکثر تخم‌ها، در اواخر اردیبهشت ۱۳۹۰ از چهار

جدول۱. آمار هواشناسی محل آزمایش (حسن‌آباد- داراب) در ماه‌های خرداد-مرداد سال ۱۳۹۰*

Table 1. Metrological data of experimental area (Hasanabad-Darab) in May 21-August 21, 2011*

متوسط فاکتورهای ماهیانه هواشناسی Monthly average climatological data	خرداد May 21-June 20	تیر June 21-July 21	مرداد July 22-Aug.21
دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) Air temperature (°C)	31.5	33.7	34.1
حداقل دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) Min. air temperature (°C)	22.6	25.8	27.0
حداکثر دمای هوا (درجه سانتی گراد) Max. air temperature (°C)	40.4	41.6	41.1
حداقل دمای سطح زمین (درجه سانتی‌گراد) Min. soil surface temperature (°C)	19.7	23.3	24.2
حداکثر دمای سطح زمین (درجه سانتی‌گراد) Max. soil surface temperature (°C)	45.3	46.6	45.8
دمای سطح خاک در ساعت ۳ بعد از ظهر در محل آزمایش (درجه سانتی‌گراد) Soil surface temperature at 3 pm in experiment site (°C)	44.3	46	45.5
دمای عمق ۱۵ cm خاک زیر ورقه پلاستیک در ساعت ۳ بعد از ظهر (درجه سانتی‌گراد) Soil temperature at 15 cm under plastic sheet at 3 pm (°C)	39.7	41.8	40.5
ساعات آفتابی در روز Daily duration sunshine	11.7	11.0	10.5
حداقل درصد رطوبت نسبی هوا Min. air RH%	9.0	11.0	13.0
حداکثر درصد رطوبت نسبی هوا Max. air RH%	36.0	36.0	36.0
تبخیر(mm) Evaporation (mm)	10.5	11.3	12.0

*: گرفته شده از ایستگاه هواشناسی حسن‌آباد-داراب، واقع در یک کیلومتری محل آزمایش

*: Obtained from Hasanabad-Darab meteorological station, located about one km away from the experimental site.

قسمت مختلف سایه‌انداز درختان منتخب نمونه‌های خاک و ریشه از اعماق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر برداشته شد و نمونه‌های هر عمق جداگانه مخلوط شدند.

در آزمایشگاه، لاروهای سن دوم نماتود موجود در ۳۰۰ گرم خاک با استفاده از روش سینی (Whitehead & Hemming 1965) و ماده‌ها پس از نگهداری ۴۸ ساعته دو گرم ریشه درون طشتک پتری ۸ سانتی‌متر حاوی آب سترون در دمای اتاق (Young 1954) به عنوان جمعیت اولیه به تفکیک شمارش شد.

پ) پلاستیک‌کشی ناحیه سایه‌انداز، تعیین جمعیت نهایی نماتود و فاکتورهای گیاهی بعد از آفتابدهی

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار و هشت تکرار به شرح زیر انجام شد.

۱- درخت آلوده به نماتود (بدون آفتابدهی) - شاهد

۲- درخت آلوده + آفتابدهی از اول خرداد به مدت ۴۵ روز (مصادف با اوایل فعالیت نماتود)

۳- درخت آلوده + آفتابدهی از اول خرداد به مدت ۶۰ روز (مصادف با اوایل فعالیت نماتود)

۴- درخت آلوده + آفتابدهی از اول تیر به مدت ۶۰ روز (بر اساس اوج دمای محیط)

برای آفتابدهی ابتدا علف‌های هرز موجود در ناحیه سایه‌انداز وجین و به منظور تابیدن آفتاب کافی به ناحیه سایه‌انداز، بعضی از شاخه‌های پایینی درختان هرس شدند، به نحوی که فاصله شاخه‌های پایینی تا سطح زمین حدود ۳۰-۴۰ سانتی‌متر بود. برای جاسازی انتهای پلاستیک، حدود ۳۰ سانتی‌متر بعد از انتهای رشد ریشه‌ها، شیاری به عرض و عمق ۲۵-۳۰ سانتی‌متر به شکل دایره در اطراف هر درخت حفر و آبیاری غرقابی با استفاده از لوله‌های ۱۶ میلی‌متری آبیاری قطره‌ای در ناحیه سایه‌انداز انجام شد به نحوی که خاک تا عمق تقریبی ۳۵-۴۰ سانتی‌متری از آب اشباع گردید. برای تأمین نیاز آبی هر درخت در زمان آفتابدهی، لوله‌های آبیاری قطره‌ای ۱۶ میلی‌متری مجهز به ۱۲ قطره‌چکان با خروجی یک لیتر آب در ساعت، روی خاک خیس ناحیه سایه‌انداز مستقر شد.

مرکز یک ورقه پلاستیکی شفاف با ضخامت ۱۰۰ میکرومتر (اندازه‌گیری شده توسط اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان فارس) و به ابعاد حدود ۵×۵ متر (متناسب با سایه‌انداز درخت) را به اندازه کوچک‌تر از قطر طوقه درخت سوراخ کرده و از آنجا تا لبه ورقه برش داده شد. ورقه پلاستیکی از محل برش روی ناحیه سایه‌انداز کشیده شد به نحوی که تنه درخت از مرکز ورقه خارج شده و حدود ۲۰ سانتی‌متر از ورقه پلاستیکی کاملاً طوقه درخت را فرا گرفت.

قسمت برش داده شده (از مرکز تا لبه ورقه) و هم‌چنین ورقه پلاستیکی اطراف طوقه درخت به ترتیب با چسب مایع و نخ پلاستیکی کاملاً مسدود گردید. لبه‌های خارجی ورقه پلاستیکی (محیط ورقه) به داخل شیار حفرشده هدایت و روی آن خاک ریخته شد. بدین ترتیب امکان تبادل دما بین فضای زیر ورقه و محیط خارج به حداقل ممکن رسید. بعد از غرقاب کردن ناحیه سایه‌انداز، استقرار آبیاری قطره‌ای در ناحیه سایه‌انداز و پلاستیک‌کشی، سیستم آبیاری درختان جهت تأمین رطوبت در زمان آفتابدهی و افزایش دما تنظیم شد. برای این منظور، در مسیر لوله ۱۶ میلی‌متری شیر یک ضرب ۱۶ میلی‌متری نصب گردیده و فقط زمانی که این درختان علائم تشنگی (شروع لوله‌ای شدن برگ‌ها) را نشان می‌دادند، آبیاری انجام می‌شد. در طول آزمایش عمل باز و بسته کردن شیر یک ضرب به فاصله هشت روز و تقریباً هم‌زمان با ظهور

علائم تشنگی انجام می‌شد.

به منظور یادداشت‌برداری دمای خاک، در عمق ۱۵ سانتی‌متری در زیر ورقه پلاستیکی یک عدد دماسنج خاک نصب و اطراف بدنه آن کاملاً توسط چسب نواری مسدود شد. هم‌چنین دماسنج دیگری در سطح زمین و در معرض تابش نور خورشید نصب شد. حداکثر دمای روزانه زیر ورقه پلاستیکی و سطح زمین در ساعت سه بعد از ظهر یادداشت‌برداری گردید. در زمان شروع آزمایش، سه ماه و یک‌سال بعد از آفتابدهی جمعیت نهایی لارو سن دوم زنده نماتود مرکبات در ۳۰۰ گرم خاک و ماده‌ها و سنین دیگر لاروی در دو گرم ریشه به ترتیب به روش‌های سینی (Whitehead & Hemming 1965) و (Young 1954) در تیمارهای آفتابدهی شده و شاهد بطور جداگانه شمارش شد. به منظور بررسی تأثیر آفتابدهی به تفکیک روی جمعیت لارو سن دوم و ماده میزان درصد بقاء این دو مرحله در هر دوره زمانی از طریق تقسیم جمعیت نهایی بر جمعیت اولیه ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد. زمان نمونه‌برداری تقریباً هم‌زمان با افزایش جمعیت نماتود در تیمار شاهد (بدون آفتابدهی) بود و از طرف دیگر، محل نمونه‌برداری در فواصل زمانی‌های ذکر شده با یکدیگر تفاوت داشت. جمعیت نهایی سایر نماتودهای خاک بلافاصله بعد از آفتابدهی شمارش شد. برای مقایسه درصد بقای ماده کامل و لارو سن دوم از آزمون T استفاده شد. میزان محصول هر درخت و فاکتورهای رشد و نمو درختان مورد بررسی یک‌سال بعد از آفتابدهی و در زمان مناسب اندازه‌گیری شد.

با توجه به نرمال نبودن بعضی از داده‌ها، تبدیل داده‌ها با استفاده از فرمول $(\sqrt{x} + 0.5)$ انجام شد. داده‌های این آزمایش با برنامه آماری SAS 9 تجزیه واریانس شد و میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج

الف) تعیین جمعیت و بررسی ویژگی‌های حیاتی نماتود مرکبات بلافاصله، سه ماه و یک‌سال بعداز آفتابدهی

تغییرات جمعیت نماتود قبل و در سه فاصله زمانی بلافاصله، سه ماه و یک‌سال بعد از آفتابدهی در جداول ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. در هر یک از فواصل زمانی فوق تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آفتابدهی وجود نداشت ولی همگی با شاهد (بدون آفتابدهی) دارای تفاوت معنی‌داری بودند ($P \leq 0.05$). یک‌سال بعد از آفتابدهی، مقایسه میزان بقای ماده و لارو سن دوم نماتود در تیمارهای مختلف هر دو عمق خاک (جدول ۴) نشان داد که هر چند اعداد نزدیک به صفر می‌باشند ولی مقدار عددی درصد بقای ماده کامل بیشتر از لاروسن دوم است. با این وجود، بر اساس آزمون T تفاوت معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد. بررسی ماده‌ها در زیر استریومیکروسکوپ در تیمارهای آفتابدهی و شاهد نشان داد که در تیمار اخیر نماتودها عمدتاً به صورت متراکم و در پوشش ذرات خاک به‌هم چسبیده (نتیجه فعالیت مواد ترشحی از منفذ دفعی- ترشحی نماتود) با تخم و لارو فراوان همراه بودند. در تیمارهای آفتابدهی یا اصولاً نماتود مشاهده نشده و یا این که ماده‌ها به تعداد کم و انفرادی و بدون پوشش ذرات خاک و تخم و لارو بودند. در بسیاری از موارد بدن ماده‌های کامل و یا لاروها بدون حرکت و ترد و شکننده بودند. در مواردی نیز چسبیدن ذرات خاک به سطح ریشه که بیانگر فعالیت نماتود قبل از آفتابدهی بود، مشاهده گردید ولی زمانی که این ذرات خاک به وسیله سوزنی ظریف به آهستگی

کنار زده می‌شد، تخم و لارو و ماده‌های کامل یا مشاهده نمی‌شدند و یا لاروها و ماده‌ها به تعداد کم و دارای بدنی ترد و شکننده بودند.

ب) تاثیر آفتابدهی بر جمعیت سایر نماتودهای خاک

نماتود *Aphelenchus avenae*، همراه با گونه‌هایی از راسته Rhabditida، خانواده‌های Belonolaimidae و Tylenchidae و در مواردی *Helicotylenchus* spp. در میان نماتودهای جمع‌آوری شده مشاهده گردید. نسبت به شاهد، آفتابدهی خاک ناحیه سایه‌انداز باعث کاهش جمعیت مجموعه این نماتودها در هر دو عمق مورد بررسی گردید ($P \leq 0.5$)(جدول ۵). مقایسه جمعیت نماتودهای فوق با نماتود مرکبات بلافاصله بعد از آفتابدهی نشان داد که تأثیرپذیری نماتود مرکبات بیشتر از سایر نماتودهای خاک، به ترتیب در دو عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری بود. میانگین مجموع لارو سن دوم و ماده در عمق (۰ – ۲۰)و (۲۰ – ۴۰) سانتی متر در تیمارهای اول ، دوم و سوم بلافاصله بعد از آفتابدهی به‌ترتیب (۱/۵، ۰و ۳/۵) و (۰/۵، ۲/۸۷و۰) عدد در۳۰۰ گرم خاک و ۲ گرم ریشه بود در حالی‌که میانگین سایر نماتودهای خاک در همان عمق ها و تیمارها بترتیب (۴۱۱/۳، ۳۲۱/۱ و ۱۲۱/۱) و (۳۱۹/۱، ۲۰۵/۸و ۱۳۱/۵) در ۳۰۰ گرم خاک بود (جداول ۲ و ۵).

ج) فاکتورهای گیاهی قبل و یک سال بعد از آفتابدهی

فاکتورهای رویشی

کاهش شدید جمعیت نماتود مرکبات یک سال بعد از آفتابدهی باعث افزایش متوسط ارتفاع و قطر تاج درختان تمام تیمارها به استثناء تیمار دو نسبت به شاهد گردید ($P \leq 0.05$) (جدول ۶). متوسط اختلاف ارتفاع درختان تیمار نسبت به شاهد حداقل دو برابر بود ولی اختلاف قطر تاج درختان تیمار با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. در سال ۱۳۹۰ (سال آفتابدهی) سرشاخه‌های جدید در درختان تیمار شده حدود یک ماه زودتر از درختان آفتابدهی نشده (شاهد) ظاهر شدند ولی با این وجود در خرداد ۱۳۹۱ طول سرشاخه‌های جدید در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۶).

فاکتور زایشی

در بهمن ۱۳۹۱ محصول درختان مورد آزمایش برداشت و فاکتورهای مختلف میوه اندازه‌گیری شد (جدول ۷). تیمارهای آزمایش یک‌سال بعد از آفتابدهی از نظر وزن و تعداد میوه تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی همگی دارای تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد بودند ($P \leq 0.05$). افزایش متوسط وزن میوه قبل و بعد از آفتابدهی تیمارهای مختلف برابر ۲۷/۵ – ۳۵ کیلوگرم (۷۱/۶– ۷۷/۹ درصد) و نسبت به شاهد بین ۷۰/۲–۷۷/۸ درصد بود. علی‌رغم تأثیرات معنی‌دار کاهش جمعیت نماتود در افزایش فاکتورهای رشدی و زایشی درختان، تفاوت معنی‌داری بین اختلاف متوسط قطر ۱۰ میوه قبل و بعد از آفتابدهی مشاهد نشد. در این تحقیق هیچ‌گونه تأثیر منفی ناشی از آفتابدهی روی درختان تیمار دیده نشد.

بحث

الف) تأثیر شرایط آفتابدهی بر جمعیت نماتود مرکبات و سایر نماتودهای خاکزی

فعالیت نماتود مرکبات به طور طبیعی با افزایش دما کاهش می‌یابد (O'Bannon *et al*. 1966). حتی افزایش سایه‌انداز

جدول ۵. مقایسه میانگین جمعیت سایر نماتودها* در ۳۰۰ گرم خاک ناحیه سایه‌انداز درختان مرکبات آلوده به نماتد، بلافاصله بعد از آفتابدهی خاک (داراب، ۱۳۹۰).

Table 5. Comparison of means of other nematodes* populations in 300 g of soil of nematode-infected citrus trees canopies, immediately after soil solarization (Darab, 2011).

تیمار (روز- آفتابدهی خاک) Treatments (day-ss)	عمق ۲۰-۰cm Depth 0-20cm	عمق-۴۰ ۲۰ cm Depth 20-40cm
۴۵ (اول خرداد - نیمه تیر) 45(21 May – 5 July)	411.3 b	319.1 b
۶۰ (اول خرداد - آخر تیر) 60 (21 May – 20 July)	321.1 b	205.8 b
۶۰ (اول تیر - آخر مرداد) 60 (21 June – 20 Aug.)	121.1 b	131.5 b
شاهد (بدون آفتابدهی) Control (without ss)	1419.9 a	1313 a
CV	45.8	51.11

بر اساس آزمون دانکن ستون‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند

Columns followed by the same letter are not significantly different (p<5%) according to Duncan's test.
*Rhabditida, Belonolaimidae, Tylenchidae, *Aphelenchus avenae*, *Helicotylenchus* spp.
nem.: nematode; ss: soil solarization.

درخت و کاهش دمای خاک این ناحیه در افزایش جمعیت نماتود مؤثر است (Reynold & O'Bannon 1963). متوسط حداکثر دمای ماهیانه زیر ورقه پلاستیکی طی انجام پژوهش بین ۳۹/۷°C–۴۱/۸ بود که یکی از عوامل مؤثر در کاهش جمعیت نماتود مرکبات بوده است (جداول ۱، ۲، ۳ و ۴). *استاپلتون و دی وی* (Stapleton & Devay 1983) با آفتابدهی ناحیه سایه‌انداز درختان بادام شش ساله، حداکثر دمای زیر ورقه پلاستیک در عمق ۱۵ سانتی‌متر خاک در فاصله زمانی نیمه جولای تا نیمه آگوست را ۳۸°C اعلام نمودند که طی این مدت، حداکثر دمای هوا ۴۱°C–۴۲ بوده است.

به طور کلی یکی از محدودیت‌های مهم برای استفاده از آفتابدهی خاک، کاهش دمای ایجاد شده همراه با افزایش عمق خاک است. در این تحقیق، عمده ریشه‌های درختان مورد بررسی تا عمق تقریبی ۲۵ سانتی‌متری بود و ریشه‌ها به ندرت در عمق ۴۰ سانتی‌متری یافت می‌شدند. بررسی‌های *دیویس* (Davis 1984) نشان داد که حداکثر تراکم جمعیت نماتود مرکبات در عمق صفر- ۱۵ سانتی‌متری خاک است و با افزایش عمق خاک جمعیت نماتود نیز به صورت طبیعی کاهش می‌یابد. بنابراین، در این آزمایش عملاً محدودیت روش آفتابدهی که به آن اشاره شد، مانعی برای کاهش شدید جمعیت نماتود به وجود نیاورده است. نظر به این‌که در اول خرداد (شروع آفتابدهی) اکثر تخم‌های نماتود مرکبات تفریخ شده بودند، شمارش تعداد اندک تخم‌های انفرادی روی سطح ریشه به روش‌های معمول با خطر اشتباه گرفتن

آنها با تخم سایر نماتودهای خاک همراه است. بنابراین در این تحقیق جمعیت تخم نماتود قابل اغماض در نظر گرفته شد و نمونه‌برداری‌های سه ماهه و یک ساله نیز بیشتر برای ردیابی و پایش تخم‌ها و لاروهای سالم احتمالی بوده است. از طرف دیگر طبق اصول آفتابدهی این عملیات روی خاک عاری از گیاه میزبان انجام شده و کاهش جمعیت بیمارگرهای داخل خاک مورد نظر است. در این پژوهش نماتود علاوه بر خاک، در اطراف و داخل ریشه نیز حضور دارد و احتمال داده می‌شد که شرایط ریشه با شرایط خاک تفاوت کند. بنابراین درصد بقا دو مرحله لارو سن دوم در خاک و ماده‌ها بر روی ریشه به تفکیک مورد توجه بوده و از محاسبه فاکتور تولیدمثل (RF) صرف نظر شد هر چند که این فاکتور نیز به نزدیکی صفر کاهش می‌یابد. با این وجود نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف آفتابدهی از نظر آماری تأثیر معنی‌داری در کاهش جمعیت این دو مرحله از زندگی نماتود را ندارند.

فعالیت نماتود مرکبات با میزان رطوبت خاک نسبت عکس دارد (Sorribas *et al*. 2000, Duncan *et al*. 1993). هر چند در این آزمایش امکان تعیین درصد رطوبت نسبی خاک در فواصل زمانی معین وجود نداشت، ولی اشباع بودن خاک در ابتدای آفتابدهی و کاهش تبخیر از سطح خاک در زمان آفتابدهی، موجب افزایش درصد رطوبت و دوام آن نسبت به شرایط عادی خواهد شد و لذا این موضوع نیز ممکن است در کاهش فعالیت نماتود تأثیر بگذارد. هم‌چنین افزایش فعالیت‌های میکروبی و تجزیه مواد آلی و تبدیل بخشی از آن به مواد سمی، ممکن است در کاهش جمعیت نماتود مؤثر باشد (Chllemi *et al*. 1993).

پیشتر *اسماعیل و همکاران* (Ismail *et al*. 1997) کنترل نماتود مرکبات با استفاده از روش آفتاب‌دهی سایه‌انداز مرکبات را گزارش کرده‌اند. در تحقیق ایشان به جمعیت اولیه نماتود هر درخت قبل از آفتابدهی، اختلاف دور آبیاری بین درختان تیمار شده و بدون پوشش پلاستیکی جهت تنظیم دما، کیفیت پلاستیک‌کشی و هم‌چنین فاصله بین تاج درخت تا سطح زمین جهت آفتاب‌گیری اشاره‌ای نشده است. در آزمایش ایشان، محل نصب دماسنج جهت ثبت دمای زیر پلاستیک در ناحیه سایه‌انداز درخت نبوده بلکه در وسط پلات‌های آزمایش می‌باشد و احتمالاً در معرض نور مستقیم خورشید بوده است. بنابر این دماهای گزارش شده بالای ۴۰°C در زیر ورقه پلاستیکی نمی‌تواند گویای دمای ناحیه سایه‌انداز باشد. در مطالعه حاضر پلاستیک‌کشی به صورت انفرادی انجام شد و در نتیجه تمامی منافذ به نحو مطلوبی مسدود گردید و از طرف دیگر، به دلیل حذف شاخه‌های نزدیک سطح زمین مانعی جهت تأبیدن نور خورشید به ناحیه سایه‌انداز وجود نداشت. در مقایسه با تأثیر چشمگیر آفتابدهی بر کاهش جمعیت نماتود مرکبات، نماتودهای آزادزی و انگل خارجی کمتر تحت تأثیر شرایط آفتابدهی بودند (جداول۲ و۵). *استاپلتون و دی‌وی* (Stopleton & Devay 1983) با آفتابدهی خاک ده محل مختلف (باغ و مزرعه) نشان دادند که جمعیت برخی گونه‌ها (انگل خارجی، انگل داخلی و آزادزی) هر محل نسبت به شاهد (بدون آفتابدهی) کاهش یافته ولی فقط بعضی از گونه‌های فوق نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بودند.

ب) سازگاری درختان مرکبات با آفتابدهی سایه‌انداز به منظور کنترل نماتود مرکبات

آفتابدهی خاک ناحیه سایه‌انداز روشی مناسب برای کنترل نماتود مرکبات است. شرایط آلودگی در بیشتر باغ‌های استان فارس و شاید بیشتر مناطق جنوبی کشور به گونه‌ای

است که با استفاده از این روش، محدودیت‌های استفاده از آفتابدهی خاک خود به خود به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. به دلایل زیر این روش جهت کنترل نماتود مرکبات موثر و عملی است.

۱. در بعضی از باغ‌ها آلودگی به صورت پراکنده وجود دارد. پراکنده بودن درختان آلوده با استفاده از روش آفتابدهی انفرادی درختان که در این تحقیق برآن تاکید شده، سازگاری دارد.

۲. این روش از نظر اقتصادی می‌تواند مقرون به صرفه باشد، به طوری که مقدار ورقه پلاستیکی برای پوشش سایه‌انداز یک درخت هفت ساله با احتساب عمق و پهنای جوی اطراف درخت حدود ۵×۵ متر است. بدیهی است مقادیر کمتری ورقه پلاستیکی برای درختان کوچک‌تر مورد نیاز است.

۳. در مقایسه با روش معمول آفتابدهی خاک(شخم نسبتاً عمیق قبل از غرقاب)، در این روش یا خاک‌ورزی انجام نشده و یا حداقل خاک‌ورزی در ناحیه سایه‌انداز انجام می‌شود. بنابرین جابجایی نماتود از سطح به عمق‌های پایین‌تر خاک اتفاق نیفتاده و در نتیجه راندمان آفتاب‌هی خاک افزایش خواهد یافت.

۴. نماتود مرکبات در جمعیت‌های زیاد باعث خسارت اقتصادی می‌شود. طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق، جمعیت نماتود تا یک سال بعد از آفتاب‌دهی در اندازه‌های ناچیز و قابل اغماض می‌باشد. بنابرین به نظر می‌رسد که افزایش تدریجی جمعیت نماتود روی ریشه‌های کاملاً توسعه یافته درخت حداقل در کوتاه مدت باعث ایجاد خسارت قابل توجهی نشود. این نتیجه‌گیری با یافته‌های *دونکن و نالینگ* (Duncan & Noling 1987) مطابقت دارد.

۵. با اجرای این روش کنترل دیگر نیازی به جایگزینی درختان آلوده مسن با درختان جوان (روشی که هرچند اشتباه ولی متاسفانه هم اکنون در بعضی نقاط انجام می‌شود) نیست. ضمن این که در روش جایگزینی، نهال‌های جوان تحمل درختان مسن در مقابل جمعیت‌های زیاد نماتود را ندارند (Duncan & Cohn 1990).

٦. کاهش مصرف آب در زمان آفتابدهی (به دلیل کاهش تبخیر از ناحیه سایه‌انداز) و سالم بودن این روش کنترل از سایر مزایای آن است.

در مناطق مرکبات‌کاری استان فارس و احتمالاً جنوب کشور، کنترل نماتود مرکبات با روش ارائه شده در مورد درختانی با فاصله استاندارد کاملاً امکان‌پذیر است. با این وجود، تحقیقات بیشتری در مورد راندمان این روش کنترل در شرایط مختلف باغ‌ها به ویژه از نظر آفتاب‌گیری مورد نیاز می‌باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نگارنده مراتب تشکر و قدردانی خود را از آقای دکتر علی پاک‌نیت عضو هیأت علمی ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب، خانم لادن جوکار عضو هیأت علمی و مسؤول آمار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس و آقای مهندس محسن همایونی به خاطر انجام بعضی از کارهای آزمایشگاهی ابراز می‌دارد.

منابع

جهت ملاحظه به صفحات (35-33) متن انگلیسی مراجعه شود.