

بررسی تأثیر توأم نماتد ریشه گرهی و گل جالیز بر پارامترهای فلورسانس، محتوای کلروفیل و آب نسبی برگ گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه

امیر قاسم‌زاده^۱، سالار جمالی^{۲*} و محمدعلی قاسمی^۳

۱، ۲ و ۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشجوی دکتری، گروه گیاه‌پزشکی،

دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۹/۲۶)

چکیده

نماتد ریشه گرهی *Meloidogyne incognita* و گل جالیز *Orobanche aegyptica* انگل ریشه گیاهان مختلف محسوب می‌شوند. به منظور بررسی اثر متقابل این دو انگل روی گوجه‌فرنگی، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار شامل شاهد، نماتد (۲۰۰۰ عدد لارو سن دوم)، بذر گل جالیز (۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و ترکیب نماتد (۲۰۰۰ عدد لارو سن دوم) و بذر گل جالیز (۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به صورت توأم با چهار تکرار در شرایط گلخانه به اجرا درآمد. گیاهچه‌ها در مرحله چهار برگی با سطوح تیماری فوق مایه‌زنی و به گلدان انتقال یافتند و پس از گذشت ۶۰ روز، صفات موردنظر اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که هر دو عامل باعث کاهش معنادار وزن خشک و تر شاخساره، کلروفیل، تعداد برگ، آب نسبی برگ، مساحت سطح برگ، ارتفاع بوته، طول ریشه، قطر ساقه و میزان کارایی کوانتومی فتوسینتیم II در هر دو حالت روشنایی و تاریکی نسبت به شاهد شدند؛ همچنین تعداد لارو سن دوم، کیسه‌های تخم، تعداد اتصالات گل جالیز روی ریشه میزبان، شاخص تولیدمثل نماتد، میزان QP، F، M، NPQ، QN، Fv و Fm، Fo، در هر دو حالت روشنایی و تاریکی در حالت تیمار توأم افزایش نشان داد. از سوی دیگر، میزان وزن (تر و خشک) و حجم ریشه میزبان در مواجهه با نماتد و گل جالیز به ترتیب با افزایش و کاهش همراه بود. همچنین حجم ریشه در تیمار نماتد بیشترین مقدار را داشت. نتایج حاکی از آن است که نماتد مولد گره ریشه و گل جالیز اثر هم‌افزایی بر یکدیگر داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: فلورسانس، کلروفیل، گل جالیز، گوجه‌فرنگی، نماتد ریشه گرهی.

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) گیاهی است متعلق به تیره سیب‌زمینی‌سانان (Solanaceae) و یکی از محصولات مهم تولیدی در سطح جهان است. نظر به ساختار فیزیولوژیک و ژنتیک گوجه‌فرنگی، این گیاه الگوی مناسبی برای

تحقیقات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و ژنتیکی به شمار می‌رود (Gabriels et al., 1993). با توجه به گزارش سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) در حال حاضر بیش از چهار میلیون و ششصد هزار هکتار از اراضی دنیا به کشت گوجه‌فرنگی اختصاص دارد. تخمین زده شده است که از نظر تولید این

فلورسانس فتوسیستم II می‌تواند به‌عنوان ابزاری مهم در تعیین شدت تنش در گیاهان به کار رود. نسبت F_v/F_m حداکثر عملکرد کوانتومی واکنش فتوشیمیایی فتوسیستم II را نشان می‌دهد و یک پارامتر مهم برای تعیین وضعیت دستگاه فتوسنتزی است (Krause & Weis, 1991). بررسی نحوه تغییرات فیزیولوژیک مختلف در اثر تنش در ارقام حساس و متحمل می‌تواند در شناسایی مکانیسم‌های تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی مفید واقع شود و یکی از این تغییرات فیزیولوژیک میزان کلروفیل برگ است که رابطه آن با اندازه‌گیری فلورسانس می‌تواند مفید واقع شود (Netto *et al.*, 2005). بنابراین، فتوسیستم II نقش مهمی در پاسخ فتوسنتزی به عوامل محیطی در گیاهان عالی بازی می‌کند (Baker & Rosenqvist, 2004).

در حقیقت، مقدار فلورسانس کلروفیل، سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نشان می‌دهد. وقتی مولکول کینون در وضعیت کاملاً اکسیدشده باشد، سیستم دارای کمترین فلورسانس (Fo) است که به تدریج با افزایش احیا شدن این مولکول‌ها، فلورسانس افزایش می‌یابد. این روند تا احیای کامل مولکول‌های آن ادامه پیدا می‌کند. در چنین حالتی، مرکز فتوسیستم در حالت احیای کامل بوده، دارای بیشترین فلورسانس (Fm) است. در واقع، تنش با تأثیر نامطلوبی که بر همانندسازی کربن می‌گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش می‌دهد؛ در نتیجه سیستم به سرعت به Fm می‌رسد و نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر (Fv) خواهد بود. از طرفی، با افزایش شدت نور، سیستم فتوسنتزی با یک روش تنظیمی برای کاهش انرژی القاشده تحریکی، انرژی مازاد را به طریق افزایش خاموشی غیرفتوشیمیایی و به صورت فرایند غیرتشعشی از دست می‌دهد. با این مکانیسم تنظیمی، ضمن حفاظت از مرکز واکنش، حداقل صدمه به این مرکز وارد می‌شود. از این رو، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II به صورت نسبت F_v/F_m بیان می‌شود؛ بنابراین، تنش‌های محیطی با تأثیر بر فتوسیستم II، باعث کاهش این نسبت می‌شوند (Ma *et al.*, 1995).

محصول در سال ۲۰۱۲، ایران با شش میلیون تن در سال، مقام ششم را در جهان دارا باشد (Faostat. (Fao.org/site/default.aspx).

نماتدهای ریشه گرهی از نظر میزان خسارت وارده به محصولات کشاورزی در زمره مهم‌ترین نماتدهای انگل گیاهی قرار می‌گیرند (Perry *et al.*, 2010). گیاه انگل گل جالیز مصری (*Orobanche aegyptiaca*) بدون ریشه و کلروفیل بوده و انگل اجباری گیاهان دولپه محسوب می‌شود و باعث گردیده که کشت بسیاری از محصولات زراعی گل‌دار و از جمله گوجه‌فرنگی با مشکل جدی مواجه شود (Izadpanah *et al.*, 2010).

بیمارگرهای گیاهی مشکلات عمده‌ای را برای میزبان خود ایجاد می‌کنند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به ایجاد اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک و متابولیسم میزبان اشاره کرد (Ellis *et al.*, 1981). فتوسنتز وظیفه اصلی گیاهان سبز است. چون بخش اعظمی از فعالیت‌های سلول‌های زنده با مصرف انرژی حاصل از فتوسنتز پیش می‌رود، بدیهی است که هر نوع اختلال ایجادشده از سوی بیمارگر در امر فتوسنتز منجر به بیماری در گیاه می‌شود (Ashraf & Harris, 1981; Ellis *et al.*, 2004). فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در مراکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد و وجود هر گونه آشفتگی، منجر به کاهش حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم در شرایط سازگار با تاریکی (F_v/F_m) می‌گردد (Francheboud & Leipner, 2003).

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل فناوری خاصی محسوب می‌شود که در سال‌های اخیر به‌منظور مطالعه تأثیر تنش‌های مختلف از جمله خشکی، شوری و دما بر راندمان فتوسنتز برگ در شرایط مزرعه‌ای و گلخانه‌ای استفاده می‌شود (Arraus *et al.*, 1998; Rapacz *et al.*, 2001; Rizza *et al.*, 2001; Ort, 2002; Baker & Rosenqvist, 2004; Netto *et al.*, 2005; Zobayed *et al.*, 2005). استفاده از فلورسانس کلروفیل یک روش قابل اعتماد و غیرمخرب برای نشان دادن وقایع فتوسنتزی گیاه و قضاوت درباره وضعیت فیزیولوژیک آن است (Rizza *et al.*, 2001). بنابراین

2001). بررسی گلخانه‌ای اثر متقابل نژاد دوم نماتد مولد گره *M. incognita* و قارچ *Verticillium dahliae* عامل پژمردگی نهال‌های زیتون (*Olea europaea*) در گرگان نشان داد که نماتد مولد گره به میزان زیادی شدت و سرعت پژمردگی در اثر قارچ *V. dahliae* را افزایش می‌دهد و تلقیح هم‌زمان و تناوبی دو بیمارگر روی کاهش فاکتورهای رشدی و شدت پژمردگی ورتیسیلیومی معنادار بود (Hagigi et al., 2008). در بررسی میزان جوانه‌زنی اسپور، رشد و جذب قارچ *lycopersici Fusarium oxysporum* f.sp. با ریشه‌های گوجه‌فرنگی آلوده به نماتد *M. javanica* در شرایط آزمایشگاه، نشان داده شد که افزایش سرعت جوانه‌زنی اسپور و رشد قارچ در اطراف ناحیه گال و محیط حاوی عصاره گال و تمایل قارچ در احاطه کردن ریشه گیاه آلوده به نماتد از جمله علل تشدید بیماری پژمردگی آوندی گوجه‌فرنگی در تعامل با نماتد مولد گره است (Sahebani et al., 2006). در تحقیقی که به منظور بررسی تغییرات فیزیولوژیک فلورسانس کلروفیل گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) در حضور محرک‌های سیستم دفاعی گیاه شامل Salicylic acid, Jasmonic acid و Oxylipins در حضور 12-oxophytodienoic acid (OPDA) سوبه‌های بیماری‌زا و غیر بیماری‌زای باکتری *Pseudomonas syringae* صورت گرفت، مشاهده گردید که هر دو سویه بیماری‌زا و OPDA غیربیماری‌زا موجب تغییر مشابه در پارامترهای فلورسانس برگ گیاه آرابیدوپسیس شده و پاسخ در حالت تیمار با OPDA در مقایسه با تیمار پاتوژن‌ها، سریع‌تر و ناپایا بود. همچنین نفوذ Salicylic acid و Jasmonic acid اثری بر پارامترهای فتوسنتزی نداشت. همچنین بین همه تیمارها با شاهد تفاوت مشاهده شد و پارامترهای تغییر فلورسانس در حالت آلودگی با نماتد ۶ ساعت پس از مایه‌زنی ظاهر شد و احتمالاً تغییرات فتوسنتزی در مراحل اول و آخر آلودگی ظاهر شد و این تغییر در هر دو حالت پاتوژن و OPDA مشاهده گردید (Berger et al., 2007). با عنایت به اینکه تاکنون تحقیقی در این باره انجام نگرفته است، هدف این تحقیق بررسی اثر نژاد دوم

در بررسی میزان فتوسنتز گیاه برنج تلقیح شده با *M. graminicola* کاهش میزان کلروفیل a و b (۲۵ تا ۳۹/۵ درصد) مشاهده شد (Swain & Prasad, 1989). همچنین در مطالعاتی که به منظور بررسی واکنش فتوسنتز نسبت به نماتد گرهی ریشه *M. incognita* روی خیار انجام گرفت، آلودگی به نماتد باعث کاهش قابل توجه محتوای کلروفیل برگ خیار در رقم حساس نسبت به رقم مقاوم گردید. مقدار کاهش محتوای کلروفیل در رقم حساس کمتر است و در نهایت سرعت فتوسنتز خالص در هر دو رقم پس از آلوده شدن به نماتد کاهش نشان داد (Ye et al., 2011). در بررسی کارایی فیزیولوژیک انگور آلوده به *M. incognita* مشخص گردید که افزایش سطح جمعیت نماتد تلقیح‌شده باعث کاهش اندازه سطح برگ، طول و تعداد ساقه و شاخه، وزن و حجم ریشه و وزن خشک و تر گیاه شد. در مجموع، میزان فتوسنتز و کارایی تولید ناخالص گیاه به‌طور معناداری کاهش نشان داد (Melakeberhan & Ferris, 1989). در تحقیق انجام‌گرفته درباره واکنش‌های فیزیولوژیک و رشدی گیاه بامیه در مقابل باران اسیدی و نماتد ریشه گرهی *M. incognita* مشخص گردید که تیمار نماتد ریشه گرهی به‌تنهایی یا همراه با باران اسیدی سبب متوقف شدن سنتز رنگ‌دانه‌ها و کاهش وزن خشک شاخه، ریشه و عملکرد کل گیاه می‌شود. نتایج حکایت از آن دارد که باران اسیدی و نماتد اثر متقابل افزایشی دارند (Shaukat & Khan, 2009). ارزیابی خسارت نماتد *M. incognita* روی بامیه نشان داد که همه سطوح تلقیح، شاخص‌های رشدی گیاه را کاهش داده و افزایش جمعیت سبب افزایش تعداد گال، توده تخم و جمعیت نهایی نماتد شده است (Hussain et al., 2011). در بررسی اثرات متقابل نماتد مولد غده ریشه *M. incognita* (Race 1) و قارچ عامل پژمردگی *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri* روی ارقام نخود، اثرات متقابل این دو پاتوژن در کاهش رشد گیاه (طول ساقه و ریشه، وزن تازه و خشک ساقه و ریشه و تعداد گره‌های رایزوبیومی) به‌صورت هم‌افزایی بود و نماتد باعث شکسته شدن مقاومت رقم Pusa-212 به قارچ عامل پژمردگی گردید (Hosseini Nejad & Khan,)

آوردن جمعیت انبوه و خالص، چندین دوره متوالی تکثیر روی گوجه‌فرنگی رقم روتگرز اجرا گردید. مایه تلقیح از گوجه‌فرنگی‌هایی که به روش تک کیسه تخم آلوده شده بودند، تهیه گردید. برای استخراج مایه تلقیح، بر اساس روش هوسی و بارکر (Hussay & Barker, 1973) عمل شد. در نهایت لاروهای سن دوم استحصالی توسط پتری مدرج شمارش شدند.

تهیه گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی

بذور ضدعفونی‌شده رقم فلات- وای (Falat-Y) به عنوان رقم حساس از شرکت فلات ایران، (Gharabadiyan *et al.* 2012) و بذور گیاه انگل گل جالیز مصری از مؤسسه گیاه‌پزشکی کشور تهیه شدند. بذور گوجه‌فرنگی در گلدان‌های حاوی خاک استریل شامل خاک، ماسه، کود برگ (۱:۱:۲) کشت گردیدند. گیاهچه‌های رشدیافته در مرحله چهار برگی با سطوح تیماری زیر، مایه‌زنی و به گلدان انتقال پیدا کردند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار شامل گیاه شاهد (مایه‌زنی‌شده با آب مقطر استریل)، گیاه مایه‌زنی‌شده با ۲۰۰۰ عدد لارو سن دوم نماتد، گیاه مایه‌زنی‌شده با ۳۰ میلی‌گرم بذر گل جالیز مصری و گیاه مایه‌زنی‌شده با ۳۰ میلی‌گرم بذر گل جالیز مصری و ۲۰۰۰ عدد لارو سن دوم نماتد و در چهار تکرار انجام گرفت.

گیاهچه‌ها در تمام طول مدت آزمون در شرایط گلخانه (نسبت دوره روشنایی به تاریکی ۲ به ۱ و دمای ۲۶-۲۸ درجه سانتی‌گراد و آبیاری دو روز یکبار) نگهداری شدند. ۶۰ روز پس از مایه‌زنی با تیمارها و تکرارهای مورد نظر و تزریق در اطراف ریشه نشاها، صفات موردنظر نمونه‌برداری و اندازه‌گیری شدند.

سنجش صفات رشدی و تولیدمثلی

فاکتور تولیدمثل طبق معادله استنبرینک (Oostenbrink, 1966)، میزان کلروفیل در برگ‌های گیاهچه‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD502, Minoltz, Japan) و قطر ساقه گیاه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد و محتوای آب نسبی برگ (Relative water content) با استفاده از

گونه *Meloidogyne incognita* و گیاه انگل گل جالیز مصری به دلیل انگل اجباری بودن این محصول روی پارامترهای فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل برگ گوجه‌فرنگی و اثرات مختلف دو بیمارگر بر یکدیگر و گیاه میزبان است.

مواد و روش‌ها

تهیه مایه تلقیح نماتد (*Meloidogyne incognita*)

نمونه‌های نماتد مولد گره ریشه از گلخانه‌های گوجه‌فرنگی استان گیلان جمع‌آوری و با استفاده از روش تک کیسه تخم (Hussay & Barker, 1973)، نسبت به تکثیر نماتد در سطح گلخانه اقدام گردید. هر یک از توده‌های تخم در سوراخ‌هایی به عمق سه تا پنج سانتی‌متر مجاور ریشه‌های نشای گوجه‌فرنگی وارسته روتگرز قرار داده شدند. نشاها در مرحله دو تا چهار برگی به گلدان‌ها (حاوی یک کیلوگرم خاک شامل خاک، ماسه، کود برگ (۱:۱:۲) استریل‌شده با اتوکلاو به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار یک‌ونیم اتمسفر) منتقل شدند و این گیاهچه‌ها به مدت ۴۶ تا ۶۰ روز در شرایط گلخانه (با دمای ۲۸-۳۲ درجه سانتی‌گراد، ۱۶ ساعت روشنایی و آبیاری دو روز یکبار) نگهداری شدند. پس از تکثیر نماتد و ایجاد گال روی ریشه، نماتد شناسایی گردید. تشخیص گونه از طریق برش انتهای بدن نماتد ماده یا الگوی اثر انگشتی (Perineal pattern) انجام گرفت (Taylor & Netscher, 1974). شناسایی گونه نماتد با استفاده از کلید جپسون (Jepson, 1987) صورت گرفت. تثبیت ماده‌ها در داخل بافت و رنگ‌آمیزی آنها طبق روش هارتمن و ساسر (Hartmen & Sasser, 1985) انجام گرفت. به‌منظور بررسی مشخصات ریخت‌شناسی و ریخت‌سنجی لاروهای سن دوم، از کیسه‌های تخم نماتد ماده‌ای که برش تهیه شده بود، برای تفریح لاروها و تهیه اسلاید استفاده گردید.

تعیین نژاد از طریق آزمون میزبان‌های افتراقی بر اساس روش پیشنهادی بارکر و همکاران (Barker *et al.*, 1985) انجام گرفت. پس از تشخیص گونه و نژاد (*Race 2 Meloidogyne incognita*) برای به‌دست

دارد. همچنین نتایج مقایسه میانگین بین داده‌ها نشان داد، تیمارها در سه گروه متفاوت آماری قرار می‌گیرند. بین تیمار گل جالیز و آلودگی توأم نماتد و گل جالیز تفاوت آماری معناداری مشاهده نشد. بیشترین میانگین وزن خشک شاخساره در شاهد و کمترین میزان آن در تیمار توأم مشاهده شد. به‌طور کلی، در حضور تنش نماتدی، یا گیاه انگل (هر کدام به‌صورت جداگانه)، میزان وزن خشک شاخساره در سطح آماری پنج درصد کاهش نشان داد و این کاهش در شرایط حضور هر دو عامل تنش‌زا از بیشترین مقدار برخوردار بود (جدول‌های ۳ و ۴). نتایج کسب‌شده با آزمایش‌های انجام‌شده روی انگور و بامیه از جهت خصوصیات تحت بررسی در آلودگی نماتد، مطابقت نشان داد (Melakeberhan & Ferris, 1989; Hussain *et al.*, 2011).

فاکتور تولیدمثل (RF)، تعداد لارو سن دوم، تعداد کیسه تخم و تعداد گال

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین نتایج مقایسه میانگین بین داده‌ها نشان داد که در تیمار توأم گل جالیز و نماتد فاکتورهای تولیدمثل، تعداد لارو سن دوم و تعداد کیسه تخم بیشترین میزان را نسبت به دیگر تیمارها داشته است (جدول‌های ۱ و ۲). این مطلب نشان‌دهنده این است که حضور توأم دو بیمارگر به‌صورت هم‌زمان روی یک میزبان باعث مساعد شدن شرایط برای یکدیگر و افزایش فشار بیشتر بر میزبان خواهد شد. درباره صفات تولیدمثلی، مساعد شدن شرایط توسط گیاه انگل گل جالیز باعث افزایش بیشتر خسارت نماتد شده است. این نتایج با کارهای انجام‌گرفته روی بامیه مشابهت داشت (Hussain *et al.*, 2011). همچنین نتایج مقایسه میانگین بین داده‌ها نشان داد که تعداد گال در حالت تیمار نماتد نسبت به تیمار توأم بیشترین مقدار را داشت و در گروه متفاوت آماری قرار گرفت (جدول‌های ۱ و ۲). این نتایج با نتایج کارهایی که روی بامیه صورت گرفته است، همخوانی داشت (Hussain *et al.*, 2011).

فرمول زیر محاسبه شد (Mohsenzadeh *et al.*, 2003):

$$100 \times \frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})}{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر در شرایط اشباع})}$$

برای اندازه‌گیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل، قسمتی از برگ موردنظر به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی (به منظور سازگاری با شرایط تاریکی و اندازه‌گیری بر طبق دستورالعمل) قرار گرفت. سپس با استفاده از دستگاه فلورسانس MINIPAM اندازه‌گیری شد.

برای تعیین کارایی فتوسنتز، شاخص‌های مرتبط با آن به شرح زیر اندازه‌گیری شد. پارامترهای فلورسانس کلروفیل در برگ‌های سازش‌یافته با تاریکی شامل F_0 (فلورسانس پایه) و F_m یا M (فلورسانس بیشینه) و پارامترهای فوق در برگ‌های سازش‌یافته با روشنایی شامل F_t (شدت فلورسانس پایه) و F_{ms} (شدت فلورسانس بیشینه) اندازه‌گیری شد. سپس محاسبات لازم برای به‌دست آوردن دیگر پارامترها، از جمله کارایی بیشینه فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m)، ظرفیت انگیختگی فتوسیستم II (F_v^1/F_m^1)، خاموش‌شدگی فتوشیمیایی (q_p) و غیرفتوشیمیایی (q_{NP}) انجام گرفت (Oxborough, 2004).

ضرایب فروکش فتوشیمیایی q_P و فروکش غیرفتوشیمیایی q_N ، با فرمول‌های زیر تعریف می‌شوند:

$$q_P = (M-F) / (M-F_0)$$

$$q_N = (F_m-M) / (F_m-F_0)$$

پارامتر تشریح‌کننده فروکش غیرشیمیایی فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$NPQ = (F_m-M) / M$$

مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون توکی به‌وسیله نرم‌افزار (SAS 9.1 SAS Institute, 2004) در سطح معناداری یک درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

وزن خشک شاخساره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود

وزن خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین نتایج مقایسه میانگین تفاوت معناداری بین تیمارها نشان داد. در عین حال بین تیمار شاهد و گل جالیز تفاوت آماری معناداری مشاهده نشد.

بیشترین و کمترین میانگین وزن خشک ریشه به ترتیب در تیمار نماتد و تیمار گل جالیز مشاهده شد. (جدول‌های ۳ و ۴). به هر حال افزایش رشد ریشه در اثر نماتدهای ریشه گرهی مشهود است و این نتایج با نتایج کار انجام گرفته روی برنج مطابقت نشان نداد (Shaukat & Khan, 2009).

جدول ۱. تجزیه واریانس تعداد لارو سن دوم، تعداد کیسه تخم، تعداد گره، تعداد اتصالات گل جالیز و فاکتور تولیدمثل در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

منابع تغییرات	Df	میانگین مربعات			
		لارو سن دو	کیسه تخم	تعداد گال	RF
تیمار	۳	۱۸۴۲۳۸۴۵۵۱**	۴۳۵۶۸۲**	۷۶۰۶۵۹**	۲۰۴/۴۵۱**
خطا	۱۲	۱۸۹۵۵۰۰	۷۸۹/۳۳۳	۸۳۶	۰/۲۱۳
کل	۱۵				
Cv		۸/۰۸۲	۱۰/۰۵۱	۸/۰۷۰	۸/۱۴۱
					۱۰/۰۲۹

جدول ۲. مقایسه میانگین تعداد لارو سن دوم، تعداد کیسه تخم، تعداد گره، تعداد اتصالات گل جالیز و فاکتور تولیدمثل در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

تیمارها	صفات			
	لارو سن دو	کیسه تخم	تعداد گال	RF
شاهد	۰c	۰c	۰c	۰c
نماتد	۲۳۵۵۵/۳b	۴۷۴/۵۰b	۸۸۵/۵۰a	۷/۸۳۲b
گل جالیز	۰c	۰c	۰c	۰c
گل جالیز و نماتد	۴۴۵۸۳a	۶۴۳/۵۰a	۵۴۷/۵۰b	۱۴/۸۵۵a

نکته: حروف متفاوت (دارای اختلاف معنادار) و حروف مشترک (فاقد اختلاف معنادار)

جدول ۳. تجزیه واریانس وزن تر و خشک ریشه و شاخساره (gr) و طول ریشه (cm) در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

منابع تغییرات	Df	میانگین مربعات			
		وزن تر ریشه	وزن تر شاخه	وزن خشک ریشه	وزن خشک شاخه
تیمار	۳	۱۹/۶۴۱۴۳**	۳۸۹/۲۹۷**	۰/۱۲۰۴۵**	۱۹/۴۸۱**
خطا	۱۲	۰/۳۶۵۸۹	۴/۸۵۸	۰/۰۰۲۳۶۰	۰/۳۴
کل	۱۵				
Cv		۵/۱۰۹	۴/۵۲۸	۵/۳۵۱	۹/۹۵۸
					۷/۵۶۱

جدول ۴. مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه و شاخساره (gr) و طول ریشه (cm) در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

تیمارها	صفات			
	وزن تر ریشه	وزن تر شاخساره	وزن خشک ریشه	وزن خشک شاخساره
شاهد	۱۰/۸۷۷c	۶۲/۵۶۰a	۰/۸۲۸c	۸/۸۷۷a
نماتد	۱۴/۷۲۲a	۴۷/۷۲۵b	۱/۱۳۳a	۶/۱۰۵b
گل جالیز	۹/۵۲۷d	۴۴/۸۹۰b	۰/۷۲۸۵c	۴/۵۲۲c
گل جالیز و نماتد	۱۲/۲۲۵b	۳۹/۵۱۳c	۰/۹۴۱۲b	۳/۹۴۷c

این نتایج با آزمایش‌های انجام‌گرفته روی انگور، بامیه و خیار همخوانی داشت (Melakeberhan & Ferris, 1989; Hussain et al., 2011; Ye et al., 2011). در صورتی که میزان کلروفیل با آزمایش‌های مشابهی که روی برنج انجام گرفته است، مطابقت نداشت (Audebert et al., 2000).

آب نسبی برگ (RWC)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین بین تیمارهای نماتد، تیمار گل جالیز و تیمار توأم تفاوت آماری معناداری مشاهده نشد. بیشترین میزان میانگین آب نسبی برگ در تیمار شاهد و کمترین میزان آن در تیمار توأم مشاهده شد. در حضور تنش نماددی و گل جالیز میزان آب نسبی برگ کاهش نشان داد (جدول‌های ۵ و ۶). این نتایج با نتایج به‌دست‌آمده درباره برنج هماهنگی داشت (Audebert et al., 2000).

تعداد اتصالات گل جالیز، میزان کلروفیل، وزن تر شاخساره و تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین بیشترین تعداد اتصالات گل جالیز به ریشه میزبان در تیمار توأم گل جالیز و نماتد مشاهده شد. وقوع این پدیده را می‌توان ناشی از تراوش‌های بیشتر ریشه در حالت حضور دو عامل در مجاورت یکدیگر و حالت سینرژیستی آنها در برقراری رابطه انگلی با گیاه دانست (جدول‌های ۱ و ۲). همچنین بیشترین میانگین کلروفیل، تعداد برگ و وزن تر شاخساره در تیمار شاهد و کمترین میزان آن در تیمار گل جالیز و نماتد مشاهده شد. در حضور تنش نماتد و گیاه انگل میزان کلروفیل، وزن تر شاخساره و تعداد برگ کاهش نشان داد که این کاهش در شرایط حضور دو تنش بیشترین میزان بود (جدول‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۱ و ۱۲). از آنجا که هر دو انگل ریشه بودند، این کاهش در حضور هر دو بیمارگر شدت بیشتری یافت و

جدول ۵. تجزیه واریانس محتوای آب نسبی برگ (%، سطح برگ (mm²)، ارتفاع بوته (cm)، قطر ساقه (mm) و تعداد برگ در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی‌شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

منابع تغییرات	Df	آب نسبی برگ	سطح برگ	ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد برگ
تیمار	۳	۳۴۴/۲۷۱**	۱۳۷۸۰۷۱۶۵۹**	۱۴۵۶/۹۵۸**	۰/۸۷۲۵۷۲**	۲۵/۳۳۳۳**
خطا	۱۲	۱۹/۹۵۸	۱۲۴۲۸۱۳۶	۱/۷۶۰۴۱	۰/۰۶۱۱۳۹	۰/۶۶۶۶
کل	۱۵					
Cv		۵/۵۵۱	۵/۱۳۰	۱/۸۶۸	۴/۳۱۱	۵/۸۳۲

جدول ۶. مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ (%، سطح برگ (mm²)، ارتفاع بوته (cm)، قطر ساقه (mm) و تعداد برگ در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی‌شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

تیمارها	آب نسبی برگ	سطح برگ	ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد برگ
شاهد	۹۳/۰۱a	۹۲۹۹۳a	۹۵/۶۲۵a	۶/۲۲۷a	۱۷/۵۰a
نماتد	۷۹/۰۷۰b	۷۱۹۴۱b	۷۳/۱۲۵b	۵/۷۲a	۱۳/۵۰b
گل جالیز	۷۹/۲۱۵b	۶۰۲۰۴c	۶۵/۵۰c	۵/۸۸۰a	۱۳/۵۰b
گل جالیز و نماتد	۷۰/۶۰۰b	۴۹۷۰۸d	۴۹/۷۵d	۵/۱۱b	۱۱/۵۰c

تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین نتایج مقایسه میانگین بین داده‌ها نشان داد که همه تیمارها با هم تفاوت معنادار دارند.

مساحت سطح برگ، ارتفاع بوته، حجم ریشه، قطر ساقه، طول ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها

بیمارگر باعث کاهش طول ریشه شده است. در واقع یکی از مکانیسم‌های بیماری‌زایی این دو انگل، تغییر مرفولوژی و فیزیولوژی ریشه به نفع خود است. همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌های وزن تر ریشه نشان داد که تیمارها در چهار گروه متفاوت آماری قرار می‌گیرند، تیمار نماتدی بیشترین و تیمار گل جالیز کمترین میانگین را به خود اختصاص داده است. می‌توان نتیجه گرفت که با تیمار نماتدی وزن تر ریشه افزایش و با تیمار گل جالیز وزن تر ریشه کاهش می‌یابد (جدول‌های ۳ و ۴). این نتایج با نتایج شوکت و همکاران که روی بامیه صورت گرفت، مطابقت نداشت (Shaukat & Khan, 2009).

حداکثر فلورسانس (M)، فلورسانس حداقل در شرایط روشنایی (F) و فروکش فتوشیمیایی (PQ)
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین نتایج مقایسه میانگین بین داده‌ها نشان داد که بین تیمار گل جالیز و نماتدی تفاوت آماری معناداری وجود ندارد. همچنین بیشترین میزان میانگین F، M و QP در تیمار توأم و کمترین میزان آن در تیمار شاهد مشاهده شد. به‌طور کلی، در حضور تنش نماتدی و گیاه انگل میزان F، M و QP افزایش یافت که این افزایش در شرایط حضور دو تنش بیشترین مقدار بود (جدول‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰).

بیشترین میانگین مساحت سطح برگ و ارتفاع بوته مربوط به تیمار شاهد و کمترین میزان آن تیمار توأم است. در حضور تنش نماتد و گل جالیز، مساحت سطح برگ و ارتفاع بوته‌ها کاهش نشان داد که این کاهش در شرایط حضور دو تنش بیشترین مقدار بود (جدول‌های ۵ و ۶). این نتایج با نتایج تحقیق انجام‌گرفته روی انگور همخوانی داشت (Melakeberhan & Ferris, 1989). همچنین در حضور تنش نماتدی میزان حجم ریشه افزایش یافته و در حضور تنش گل جالیز کاهش یافته است؛ به‌طوری که بیشترین میزان حجم ریشه به تیمار نماتدی و کمترین میزان آن به تیمار گل جالیز تعلق دارد (جدول‌های ۱۱ و ۱۲). افزایش حجم ریشه در اثر پررشدی و پرازدیادی ناشی از حضور بیمارگر نماتدی صورت می‌گیرد. این نتایج با نتایج تحقیقی که روی انگور و بامیه صورت گرفت، مطابقت نداشت (Melakeberhan & Ferris, 1989; Hussain et al., 2011). همچنین به‌طور کلی، میزان قطر ساقه در حضور هر دو تنش کاهش نشان داد که این میزان کاهش در حضور توأم دو تنش بیشترین مقدار بود (جدول‌های ۵ و ۶). همچنین طول ریشه در حضور دو تنش کاهش پیدا کرد که این کاهش در حضور توأم دو تنش بیشترین مقدار را داشت. تیمار توأم و نماتدی کمترین میزان طول ریشه و تیمار شاهد دارای بیشترین میزان طول ریشه است (جدول‌های ۳ و ۴). همان‌طور که دیده می‌شود، حضور این دو

جدول ۷. تجزیه واریانس NPQ (mV) F_v/F_m ، F، M، در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی‌شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

منابع تغییرات	Df	M	F	F_v	F_v/F_m	NPQ
تیمار	۳	۲۴۳۰۰۸/۳۹۵**	۶۵۷۰/۰۶۲**	۱۷۰۴۲۷/۱۶۶**	۰/۰۰۲۳۵۷**	۰/۰۰۰۱۱۸۵**
خطا	۱۲	۱۲۳۰۴/۰۲۰	۲۸۲/۷۲۹	۱۱۸۷۲/۲۹۱	۰/۰۰۰۳۵۱	۰/۰۰۰۰۰۸۴۴
کل	۱۵					
Cv		۷/۵۳۲	۵/۱۷۴	۹/۴۹۳	۲/۴۵۷	۶/۹۰۵

جدول ۸. مقایسه میانگین NPQ (mV) F_v/F_m ، F، M، در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی‌شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

تیمارها	M	F	F_v	F_v/F_m	NPQ
شاهد	۱۱۷۵/۷۵c	۲۷۸c	۸۷۹/۷۵b	۰/۷۹۴a	۰/۰۳۵۷c
نماتد	۱۴۸۵b	۳۲۳b	۱۱۶۲a	۰/۷۶۶۹۶ab	۰/۰۳۹۵bc
گل جالیز	۱۴۸۷/۷۵b	۳۲۱/۷۵b	۱۱۶۶a	۰/۷۵۵۹ab	۰/۰۴۵۲۵ab
گل جالیز و نماتد	۱۷۶۰/۲۵a	۳۷۷a	۱۳۸۳/۲۵a	۰/۷۳۶۶b	۰/۰۴۷۷۵a

جدول ۹. تجزیه واریانس $F_m, F_o, F_v, F_v/F_m, QP$ (mV) در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

میانگین مربعات					Df	منابع تغییرات
QP	F_v/F_m	F_v	F_o	F_m		
۱۱۲۷۵/۱۶۶**	۰/۰۱۱۶۹۵۹**	۲۲۳۸۶۴/۲۲۹**	۳۱۱۸/۰۸۳**	۲۷۲۲۴۵/۲۲۹**	۳	تیمار
۸۴۷/۵۴۱	۰/۰۰۱۲۵	۳۴۹۴۳/۴۷	۳۴۶/۹۵۸	۳۲۴۵۰/۸۵۴	۱۲	خطا
					۱۵	کل
۳/۱۷۹	۴/۶۴۳	۸/۴۷۳	۴/۲۶۸	۶/۸۱۶		Cv

جدول ۱۰. مقایسه میانگین $F_m, F_o, F_v, F_v/F_m, QP$ (mV) در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

صفات					تیمارها
QP	F_v/F_m	F_v	F_o	F_m	
۸۴۹/۲۵c	۰/۸۲۷۹۶a	۱۹۵۵/۵b	۳۹۵/۷۵b	۲۳۵۱/۳b	شاهد
۹۱۶/۵۰b	۰/۷۶۰۵۰ab	۲۱۴۵/۵ab	۴۴۴/۷۵a	۲۵۹۰/۳b	نماتد
۹۱۷b	۰/۷۶۵۵۴ab	۲۱۹۹/۳ab	۴۴۵/۵۰a	۲۶۴۴/۸ab	گل جالیز
۹۷۹/۲۵a	۰/۶۹۵۶۱b	۲۵۲۴/۵a	۴۵۹/۵۰a	۲۹۸۴a	گل جالیز و نماتد

تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین بیشترین میزان F_m در تیمار توأم و کمترین میزان آن در تیمار شاهد مشاهده شد. به‌طور کلی، در حضور تنش نماتدی و گل جالیز میزان F_m افزایش یافت که این افزایش در شرایط حضور دو تنش بیشترین مقدار بود (جدول‌های ۹ و ۱۰).

تفاضل بین حداقل و حداکثر فلورسانس در شرایط تاریکی F_v

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین بیشترین میزان F_v در تیمار توأم و کمترین در تیمار شاهد مشاهده شد. به‌طور کلی، در حضور تنش نماتدی و گل جالیز میزان F_v افزایش یافت که این افزایش در شرایط حضور دو تنش بیشترین مقدار بود (جدول‌های ۹ و ۱۰).

پارامتر تشریح‌کننده فروکش غیرشیمیایی (NPQ)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین بیشترین میزان میانگین NPQ مربوط به تیمار توأم و کمترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد بود. به‌طور کلی، در حضور تنش نماتدی و گل

فلورسانس حداقل در شرایط تاریکی (F_o) تفاضل

حداکثر و حداقل فلورسانس در شرایط روشنایی (F_v) نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین بیشترین میزان F_o و F_v در تیمار توأم و کمترین میزان آن در تیمار شاهد مشاهده شد. به‌طور کلی، در حضور تنش نماتدی و گیاه انگل میزان F_o و F_v افزایش نشان داد (جدول‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰).

کارایی کوانتومی فتوسیستم II در شرایط تاریکی

(F_v/F_m) و در شرایط روشنایی (F_v/F_m) نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین بیشترین میزان کارایی کوانتومی فتوسیستم II مربوط به تیمار شاهد و کمترین میزان آن به تیمار توأم است. به‌طور کلی، در حضور تنش نماتدی و گیاه انگل گل جالیز میزان کارایی کوانتومی فتوسیستم II در هر دو شرایط روشنایی و تاریکی کاهش یافت که این کاهش در شرایط حضور دو تنش بیشترین مقدار بود (جدول‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰).

فلورسانس حداکثر در شرایط تاریکی (F_m)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها

جالیز میزان NPQ افزایش پیدا کرد که این افزایش در شرایط حضور توأم دو تنش بیشترین مقدار را داشت (جدول‌های ۷ و ۸).

فروکش غیرفتوشیمیایی (QN)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معناداری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین بیشترین میزان میانگین QN مربوط به تیمار توأم و کمترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد بود. به‌طور کلی در حضور تنش نمادی و گل جالیز

میزان QN افزایش پیدا کرد که این افزایش در شرایط حضور توأم دو تنش بیشترین مقدار را داشت (جدول‌های ۱۱ و ۱۲).

این نتایج نشان داد که تغییرات اساسی صورت‌گرفته در پارامترهای فلورسانس کلروفیل در حضور هر دو تنش مشابه بود و در واقع هر دو تنش به خاطر بیمارگر بودن (انگل ریشه) تأثیرات اساسی در فلورسانس کلروفیل برگ گذاشتند و با نتایج کاری که بر روی گیاه آرابیدوپسیس صورت گرفت، مطابقت داشت (Berger *et al.*, 2007).

جدول ۱۱. تجزیه واریانس میزان کلروفیل، حجم ریشه (cm^3) و میزان QN در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی‌شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

منابع تغییرات	Df	کلروفیل	حجم ریشه	میانگین مربعات
تیمار	۳	۶۸/۴۶ ^{**}	۳۸/۸۲۷ ^{**}	QN
خطا	۱۲	۱/۳۱۵	۳/۲۹۶۲	۲۹۶/۷۵ ^{**}
کل	۱۵			۹/۹۵۸
CV		۴/۳۲۶	۱۳/۲۱۶	۹/۴۵۵

جدول ۱۲. مقایسه میانگین میزان کلروفیل، حجم ریشه (cm^3) و میزان QN در گیاه گوجه‌فرنگی مایه‌زنی‌شده با نماتد *Meloidogyne incognita* و گل جالیز

تیمارها	کلروفیل	حجم ریشه	صفات
شاهد	۳۲/۰۲a	۱۱/۲۵۰b	QN
نماتد	۲۶/۲۵۰b	۱۶/۸۷۵a	۲۵/۲۵۰c
گل جالیز	۲۵/۷۵b	۱۰/۸۷۵b	۳۰/۵۰۰bc
گل جالیز و نماتد	۲۲c	۱۵/۹۵۰a	۳۲/۲۵۰b
			۴۵/۵۰۰a

ریشه در حالت تنش نماتد افزایش و در حالت تنش گل جالیز مصری کاهش نشان داد. علاوه بر این، حجم ریشه در تیمار نماتد به‌تنهایی بیشترین مقدار را داشت. به‌طور کلی، در حضور نماتد و گیاه انگل، میزبان دچار تنش شده و این تنش اثر خود را در اکثر صفات رشدی و فیزیولوژیک برجای می‌گذارد. همچنین فلورسانس کلروفیل که یکی از پارامترهای اساسی فتوسنتز محسوب می‌شود، در حضور دو تنش تغییر یافته و کارایی کوانتومی فتوسیستم II به عنوان مهم‌ترین صفت فلورسانسی کاهش یافت، ولی دیگر صفات مربوط به آن افزایش نشان دادند. افزایش صفات

نتایج نشان داد که هر دو تنش زیستی باعث کاهش معنادار وزن خشک و تر شاخساره، تعداد گال، کلروفیل، تعداد برگ، آب نسبی برگ، مساحت سطح برگ، ارتفاع بوته، طول ریشه، قطر ساقه و میزان کارایی کوانتومی فتوسیستم II در هر دو حالت روشنایی و تاریکی نسبت به شاهد شدند. البته کاهش صفات رشدی در حضور تنش دور از انتظار نیست. همچنین تعداد لارو سن دوم، کیسه‌های تخم، اتصالات گل جالیز، شاخص تولیدمثلی نماتد، میزان F_m ، F_o ، NPQ، QN، QP، F، M و میزان Fv در هر دو حالت روشنایی و تاریکی در حالت تیمار توأم افزایش نشان داد. ولی میزان وزن تر و خشک

اثر توأم را می‌توان به افزایش میزان ترشحات ریشه در حضور دو تنش نسبت به حضور تنهایی یکی از تنش‌ها نسبت داد. همچنین در حضور تنش نماتد میزان ترشحات افزایش یافته و سبب تحریک و جوانه‌زنی بیشتر گیاه انگل خواهد شد. علاوه بر این، تضعیف گیاه در حضور یک تنش و عدم توانایی مقابله با تنش دیگر نیز از دلایل مستعدتر شدن میزبان در برابر آلودگی توأم است. این مطلب تأییدکننده اثر هم‌افزایی نماتد مولد گره ریشه و گل جالیز است.

رشدی و تکثیر نماتد و گل جالیز در حضور دو تنش نیز دلالت بر اثر مستقیم دو عامل بر یکدیگر و مساعدتر شدن شرایط رشدی آنها دارد. افزایش وزن تر و خشک ریشه و حجم ریشه در حضور نماتد می‌تواند ناشی از پر رشدی و پر ازدیادی در محل گره‌های ایجادشده توسط سلول‌های غول‌آسا باشد، ولی این صفات در حضور تنش گیاه انگل به دلیل محدود کردن رشد و تغذیه از محتویات ریشه و عدم تولید هورمون‌های پر رشدی و پر ازدیادی، کاهش یافت. این

REFERENCES

1. Arraus, S.L., Amaro, T.V., Has, J., Nakkoal, H. & Nachit, M.M. (1998). Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for gain yield in durum wheat under Medditerranean condition. *Field Crops Research*, 55, 202-223.
2. Ashraf, M. & Harris, P.J.C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sciences*, 166, 3-16.
3. Audebert, A., Coyne, D.L., Dingkuhn, M. & Plowright, R.A. (2000). The influence of Cyst Nematodes (*Heterodera sacchari*) and drought on water relation and growth of upland rice in Coted Ivoire plant and soil. *Journal of Nematology*, 235-242P.
4. Baker, N. & Rosenqvist, E. (2004). Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1607-1621.
5. Barker, K.R., Carter, C.C. & Sasser, J.N. (1985). An advanced treatise on *Meloidogyne*. *Plant Pathology*, pp: 212-233.
6. Berger, S., Benediktyova, Z., Matous, K., Bonfig, K., Muler, M.J., Nedbal, L. & Roitsch, T. (2007). Visualization of dynamics of plant-pathogen interaction by novel combination of chlorophyll fluorescence imaging and statistical analysis: differential effects of virulent and avirulent strains of *P. syringae* and of oxylipins on *A. thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 58(4), 797-806.
7. Ellis, M.A., Ferree, D.C. & Spring, D.E. (1981). Photosynthesis, transpiration, and carbohydrate content of apple leaves infected by *Podosphaera leucotricha*. *Phytopathology*, 71, 392-395.
8. Faostat. Fao.org/site/default.aspx.
9. Francheboud, Y. & Leipner, J. (2003). The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature and drought stress. In: Dw-Ell, J.R., P.M.A. Tiovonen (eds.). Practical application of chlorophyll fluorescence in plant biology. Boston: Kluwer Academic Publishers, Pp: 125-150.
10. Gabriels, R., Keirsbluk, W.V. & Engels, H. (1993). A rapid method for the determination of physical properties of growing media. *Acta Horticulturae*, 342, 243-247.
11. Gharabadiyan, F., Jamali, S., Ahmadiyan Yazdi, A. & Eskandari, A. (2012). Source of resistance to root knot nematode (*Meloidogyne javanica*) in tomato cultivars. *Journal of Agricultural Technology*, 2011-2021.
12. Hagigi, H., Taheri, A., Razavi, S.A., Tanha maafii, Z. & Mamagani, M. (2008). Investigation greenhouse of Interaction Race two Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita* and *Verticillium dahliae* agent verticillium wilt olive (*Olea europaea*) Seedlings in Gorgan. *Journal Agriculture Sciences and Natural Resource*, 15(4). (in Farsi)
13. Hartman, K.M. & Sasser, J.N. (1985). Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal pattern morphology. In: An advanced tretise on meloidogyne. Vol, 2, methodology, Barker, K.R., C.C. Carter., and J.N. Sasser. Eds. Relrigh, NC, USA: NCSU Graphics. P: 69-77.
14. Hosseini Nejad, S.A. & Khan, M.W. (2001). Interaction of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* (race 1) on chick-pea cultivars. *Applied Entomology and Phytopathology*, 68, 1-11.
15. Hussain, M.A., Mukhtar, T. & Kayani, M.Z. (2011). Assessment of the damage caused by *Meloidogyne incognita* on OKRA (*Abelmoschus esculentus*). *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(4), 857-861.
16. 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.

17. Izadpanah, K.A., Aahkan, S.M., Banihashemi, Z., Rahimian, H.A. & Minasian, V. (2010). Plant Pathology. Volume 1, 5th ed. Page 344. (in Farsi)
18. Jepson, S.B. (1987). Identification of Root-knot nematodes. Cambrian News Ltd.
19. Krause, G.H. & Weis, E. (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. Annual Review of Plant Physiology. *Plant Molecular Biology*, 42, 313-349.
20. Ma, B.L., Morison, M.J. & Videng, H.D. (1995). Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. *Crop Science*, 35, 1411-1414.
21. Maxwell, K. & Johnson, G.N. (2000). Chlorophyll fluorescence- A practical Guide. *Experimental Botany*, 51, 659-668.
22. Melakeberhan, H. & Ferris, H. (1989). Impact of *Meloidogyne incognita* on Physiological Efficiency of *Vitis vinifera*. *Journal of Nematology*, 21(1), 74-80P.
23. Mohsenzadeh, S., Farahi-Ashtiani, C., Milbobi, M.A. & Ganati, F. (2003). Effect of drought and chlorocholine chloride on seedling growth and photosynthesis of two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pajouhesh and Sazandegi*, 60, 56-64. (in Farsi)
24. Netto, A., Camprostrini, E., Oliveira, J. & Bressan-Smith, R. (2005). Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 reading in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104, 199-202.
25. Oostenbrink, M. (1966). Major characteristics of the relationships between nematodes and plants. Meded. Landbouwhoo. Gesch. Wageningen, 66, 1-46.
26. Ort, D. (2002). Chilling-induced limitations on photosynthesis in warm climate plants: Contrasting mechanisms. *Environmental Control in Biology*, 40, 7-18.
27. Oxborough, K. (2004). Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspect of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1195-1205.
28. Perry, R.N., Maurice, M. & Starr, J.L. (2010). Root-Knot Nematodes. CABI Head Office, UK. 531pp.
29. Rapacz, M., Tokarz, K. & Janowiak, F. (2001). The initiation of elongation growth during long-term low-temperature stay of spring-type oilseed rape may trigger loss of frost resistance and change in photosynthetic apparatus. *Plant Science*, 161, 231-236.
30. Rizza, F., Pagani, D., Stance, A.M. & Cattivelli, L. (2001). Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the cold acclimation and freezing tolerance of winter and Spring oats. *Plant Breeding*, 120, 389-396.
31. Sahebani, N., Zad, J., Sharifiee Tehrani, A. & Kheyri, A. (2006). Study of spore germination, growth rate and orientation of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* toward roots infected by *Meloidogyne javanica* in vitro. *Journal Agriculture Science and Natural Resource*, 13(5). Nov-Dec. (in Farsi)
32. Shaukat, S.S. & Khan, M.A. (2009). Growth and Physiological responses of OKRA (*Abelmoschus bsculentus* (L.) Moench) to simulated acid rain and Roor-knot Nematode (*Meloidogyne incognita*). *Nematol. Medit. Horticultural Research*, 37, 17-23.
33. Swain, B. & Prasad, S. (1989). Photosynthetic rate in rice as influenced by the Root-knot Nematode, *Meloidogyne graminicola*, infection. *Revue de Nematology*, 12(4), 431-432.
34. Taylor, A.L. & Sasser, J.N. (1978). Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). Coop Publisher. Plant. North. Carolina State. University and U.S Agency international Development. Raleigh, N.C. 111pp.
35. Taylor, D.P. & Netscher, C. (1974). An improved technique for preparing perennial pattern of *Meloidogyne* spp.. *Nematologica*, 20, 268.
36. Ye. De-You, Qianchum- Too & Chen Jin-Feng. (2011). Photosynthetic response to the Root-knot Nematode *Meloidogyne incognita* in resistant cultivar Sour Cucumber (*Cucumis hystria* Chaker.) *Journal China Agriculture Science*, 44(20), 4248-4257P.
37. Zobayed, S., Afreen, F. & Kozai, T. (2005). Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in St. Johns Wort. *Plant Physiology and Biochemistry*, 43, 977-984.

The combined effect of root-knot nematode and broomrape on tomatoes chlorophyll content, fluorescence parameters and relative water content under greenhouse conditions

Amir Ghasemzadeh¹, Salar Jamali^{2*} and Mohammadali Ghasemi³

1, 2, 3. M.Sc. Student, Assistant Professor and Ph.D. Student, Plant Protection Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

(Received: May 12, 2015 - Accepted: Dec. 17, 2015)

ABSTRACT

Different species of the root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and broomrape *Orobanche aegyptica* are parasitic of different plants roots. In order to study the interaction between the parasites of tomato, an experiment was conducted in a completely randomized design with four treatments 1- control, 2- nematode (2000, second stage juveniles), 3- seeds of orobanche (30 mg per kg of soil) and 4- nematode (2000, second stage juveniles), with seeds of orobanche (30 mg per kg of soil) with four replications under greenhouse conditions. Treated seeds were planted in sterilized soil. Four-leaf stage seedlings were inoculated with treatments and transferred to pots and fluorescence parameters were measured after 60 days. The results showed that both biological stresses caused a significant reduction in shoot dry weight, number of galls, chlorophyll, leaf number, leaf area, plant height, root length, stem diameter and photosystem II quantum efficiency in both light and darkness compared with control. Also the number of second stage larvae, egg sacs, accessories orobanche, nematode reproductive factor, the M, F, QP, QN, NPQ, Fo, Fm and Fv of both light and darkness in the combined treatment were increased. Whereas the dry weight of root in nematodes tension increased and were decreased in stress of aegyptian orobanche. The root volume was highest in alone nematode treatment. The results indicated that root- knot nematode and orobanche had a synergistic effect.

Keywords: chlorophyll, fluorescence, *Meloidogyne incognita*, *Orobanche aegyptica*, tomato.