نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳، ص. ۵۰۷-۵۰۰

Journal of Plant Protection
Vol. 28, No. 4, Winter 2015, P. 500-507

کارائی دو روش بذرمال و خاک- مصرف تریکودرما روی شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی

ابراهیم سالاری[1*]- حمید روحانی[2]- عصمت مهدیخانی مقدم[3]- روح اله صابری ریسه[4]- مهدی مهرابی کوشکی[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۴

چکیده

گونه‌های *Trichoderma* قارچ‌های آزادزی هستند که غالباً به عنوان عوامل بیوکنترل قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی مد نظر می‌باشند. هم‌چنین جدایه‌هایی از این قارچ دارای اثر تحریک کننده و تنظیم کننده رشد گیاهان می‌باشند. در این تحقیق، تاثیر ده جدایه تریکودرما شامل *Trichoderma harzianum* (T.BI, T.7, T.16, T.16A, T.20)، *T.virens* (T.6, T.21, T.65)، *T.koningi* T.77 و *Trichoderma* sp. T.14N در تحریک رشد گیاه گوجه فرنگی با دو روش بذرمال و خاک-مصرف بررسی شد. آزمایش‌ها به روش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو فاکتور "نوع جدایه" در یازده سطح و "روش تلقیح" در دو سطح بود. مایه تلقیح جدایه‌های تریکودرما به طور میانگین با نسبت ۱۰۷ زادمایه در هر گرم خاک و ۵×۱۰۶ اسپور در سطح هر بذر به ترتیب برای روش‌های خاک – مصرف و بذرمال استفاده شد. دو ماه بعد از کشت بذور، شاخص‌های وزن خشک اندام هوائی و ریشه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که جدایه‌های مورد استفاده تریکودرما، روش تلقیح آن‌ها، و هم‌چنین اثرات متقابل آن‌ها دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($P\leq ۰/۰۵$). بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر، جدایه T20 در روش خاک- مصرف، بهترین عملکرد را در افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی به ترتیب به میزان ۵۸/۶۸ و ۶۱/۹۳ درصد نسبت به تیمار شاهد نشان داد. روش خاک- مصرف در مقایسه با روش بذرمال کارائی بهتری از جدایه‌های تریکودرما را در افزایش رشد گیاهی، نشان داد. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که نوع جدایه و روش مایه‌زنی تأثیر قابل توجهی بر روی شاخص‌های رشدی گوجه فرنگی دارند.

واژه‌های کلیدی: تریکودرما، گوجه فرنگی، بذرمال، خاک-مصرف، شاخص‌های رشدی

مقدمه

گونه‌های *Trichoderma* قارچ‌های آزادزی هستند که عموماً به صورت ساپروفیت روی بقایای موجود در خاک به سر می‌برند. جدایه‌های *Trichoderma* به وسیله مکانیسم‌های مختلف مانند مایکوپارازیتیسم، آنتی بیوز، رقابت بر سر غذا و فضا، تحریک مکانیسم‌های مقاومت گیاه، تحریک رشد و توسعه گیاه، تغییر شرایط محیطی خصوصاً ریزوسفر و افزایش حلالیت عناصر معدنی جهت جذب آن‌ها توسط گیاه، فعالیت بیوکنترلی خود را اعمال می‌کنند (۱۰ و ۱۲). بسته به نوع جدایه تریکودرما، استفاده از آن‌ها در کشاورزی می‌تواند باعث کنترل بیماری‌های قارچی، بهبود سلامت گیاه، و تحریک رشد ریشه و قسمت هوائی گیاه شود (۳۰).

گونه‌های مختلف *Trichoderma* در افزایش رشد گیاه و بازدهی محصولات مختلف موثر هستند (۷). عملکرد خیار، فلفل و توت فرنگی به طور معنی‌داری پس از کاربرد *T.harianum* در منطقه ریشه افزایش یافته است (۲، ۸ و ۲۴). یدیدا و همکاران (۳۲) نشان دادند هنگامی که خاک با زادمایه‌های *Trichoderma harzianum* T-203 تیمار شد، جوانه‌زنی بذرهای خیار هشت روز بعد از کاشت ۳۰ درصد افزایش و ۲۸ روز بعد از کاشت، منطقه ریشه و طول ریشه انباشته به ترتیب ۹۵ و ۷۵ درصد افزایش یافته و به طور معنی‌داری وزن خشک ۸۰ درصد، طول ساقه ۴۵ درصد، سطح برگ ۸۰ درصد و غلظت فسفر و آهن در گیاهان به ترتیب ۹۰ و ۳۰ درصد افزایش یافته است. هم‌چنین نتایج آن‌ها در کشت هیدروپونیک نشان داد که وزن خشک ریشه و ساقه خیار به ترتیب ۲۵ و ۴۰ درصد افزایش یافته و به طور مشابهی افزایش معنی‌داری در غلظت مس، فسفر، آهن،

۱، ۲ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*-نویسنده مسئول: Email: salari.ebram@gmail.com)
۴- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
۵- استاد گروه گیاهپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز

روی، منگنز و سدیم در ریشه و غلظت روی، فسفر و منگنز در ساقه مشاهده شد (۳۲). آلتومار و همکاران (۴) نشان دادند که T-22 قادر به افزایش حلالیت MnO_2، روی، و فسفات سنگی (خصوصاً فسفات کلسیم) بوده، که در نتیجه منجر به افزایش جذب فسفر و چندین ریزمغذی به وسیله گیاه می‌شود. هم‌چنین T-22 قادر به کلاته کردن Fe^{3+} و احیاء Fe^{3+} به Fe^{2+} می‌باشد، که هر دوی این مکانیسم‌ها نقش اساسی در کنترل بیماری‌های گیاهی و افزایش رشد گیاه دارند (۴).

کلونیزاسیون ریشه بوسیله جدایه‌های تریکودرما به طور قابل توجهی رشد و توسعه ریشه، عملکرد محصول، مقاومت به استرس‌های غیر زنده و جذب و استفاده از مواد غذایی را افزایش می‌دهد (۵). تلقیح تریکودرما در گیاه ذرت (*Zea mays*)، ساختمان سیستم ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهدکه با افزایش عملکرد گیاهان وابسته است. اثرات گزارش شده شامل افزایش تولید بیوماس ریشه و افزایش گسترش ریشه‌های موئی می‌باشد (۱۱ و ۱۳). تیمار بذر ذرت و لوبیا با تریکودرما به طور معنی‌داری سرعت جوانه زنی بذر ذرت و رشد گیاهچه‌های ذرت و لوبیا را افزایش داده است و هم‌چنین *Trichoderma* رشد طولی ریشه اولیه و انشعاب ریشه ذرت و لوبیا را بوسیله تحریک رشد جانبی ریشه، القاء کرده است (۲۶). علاوه بر این، نتایج محققان نشان می‌دهد که جدایه‌های *Trichoderma* باعث افزایش رشد ریشه و ساقه ذرت شیرین می‌شوند (۱۱).

جدایه‌های تریکودرما، فاکتورهای رشدی مانند اکسین، سیتوکینین، اتیلن و مولکول های شبه سیتوکینین مانند زئاتین و جیبرلین (GA3) یا وابسته به GA3 را تولید می‌کنند که باعث افزایش رشد ریشه و توسعه گیاه می‌شوند (۲۳). هگزون و همکاران (۱۸) نشان دادند که *Trichoderma* spp. ایندول-۳- استیک اسید (IAA)، ایندول-۳-استالدهید و ایندول-۳-اتانول را تولید می‌کنند که تشکیل ریشه جانبی را در *Arabidopsis thaliana* تحریک می‌نماید. علاوه بر این، گیاهچه‌های آرابیدوپسیس تلقیح شده با *T.virens* یا *T.atroviride* فنوتیپ‌های وابسته به اکسین از جمله افزایش تولید بیوماس و تحریک توسعه ریشه جانبی را نشان دادند. این قارچها بیان ژن های تنظیم کننده اکسین را افزایش داده و در گیاهان تلقیح شده تعداد ریشه‌های جانبی بیش از چهار برابر گیاهان تلقیح نشده می‌باشد. جهش در ژن‌های دخیل در انتقال یا پیام رساننده اکسین باعث کاهش اثرات تریکودرما در تحریک رشد و توسعه ریشه می‌شود (۱۸). متابولیت های ثانویه *Trichoderma* spp. هم در تنظیم رشد گیاه و هم در فعال کردن پاسخ‌های دفاعی گیاه نقش دارند. چنان‌چه هارزیانولاید[1] و ۶- فنتیل آلفا پیرون[2] (6PP) فعالیت شبیه اکسین داشته و علاوه بر فعال کردن پاسخ‌های دفاعی گیاه، باعث تحریک رشد گیاه نیز می‌شوند (۳۱).

جدایه‌های *Trichoderma* باید ریشه‌های گیاه را قبل از تحریک رشد گیاه و حفاظت در برابر آلودگی‌ها کلونیزه کنند. کلونیزاسیون دلالت بر توانایی در چسبیدن و تشخیص ریشه‌های گیاه، نفوذ به گیاه و تحمل به متابولیت‌های سمی تولید شده به وسیله گیاه در پاسخ به حمله توسط ارگانیسم خارجی، خواه پاتوژن یا غیر پاتوژن دارد (۱۰). بعضی از جدایه‌های *Trichoderma* به صورت طولانی مدت ریشه‌های گیاه را کلونیزه کرده و به داخل اپیدرم‌ها نفوذ می‌کنند. بهترین جدایه‌ها قادر به رشد همراه با ریشه‌های گیاه بوده و اثرات مفید طولانی مدتی را مهیا می‌کنند. برای مثال، تیمار بذر ذرت با *Trichoderma harzianum* T22 منجر به (a) رشد و عملکرد بیشتر گیاه نهایی، (b) برگ سبزی بیش‌تر، (c) افزایش ریشه‌زایی در گیاهان بالغ و (d) کارائی بیش‌تر استفاده از کودهای نیتروژنه می‌شود. تیمارهای بذر تریکودرما روی عملکرد گیاه در طولانی مدت اثر می‌گذارند، زیرا T22 به شدت با فضای فراریشه سازگاری داشته و به عنوان یک همزیست ریشه مدت زمان طولانی دوام می‌آورد (۱۵).

ضرورت افزایش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی منجر به استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی شده که آلودگی‌های زیست محیطی جدی را ایجاد کرده است. استفاده از عوامل بیولوژیک که در بهبود استفاده از عناصر غذائی موجود در خاک و تحریک رشد گیاهی نقش دارند جانشین مناسبی برای افزایش تولید با کم‌ترین اثرات اکولوژیکی می‌باشد (۱۷). از این‌رو در این تحقیق تأثیر چند جدایه تریکودرما در تحریک رشد گیاه گوجه فرنگی به دو روش بذرمال و خاک- مصرف مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

جدایه‌های تریکودرما و تهیه سوسپانسیون اسپور: ده جدایه برتر تریکودرما؛ *T.harzianum* (T.BI, T16, T.16A, T.7, T.20)؛ *T.virens* (T.65, T.21, T.6)؛ *T.koningi* T.77 و *Trichoderma* sp. T.14N از کلکسیون بخش بیماری شناسی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به طور خالص تهیه و روی محیط کشت سیب زمینی دکستروز آگار کشت شدند. برای تهیه سوسپانسیون اسپور، پتری‌های جدایه‌های تریکودرما به مدت یک هفته در انکوباتور و یک هفته در شرایط نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی قرار داده شدند. سپس با اضافه کردن ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل به پتری، اسپورها از سطح پتری جمع‌آوری و دو بار با آب مقطر استریل به وسیله سانتریفوژ به مدت ۱۰ دقیقه در سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه شستشو شدند. سپس غلظت سوسپانسیون‌ها به میزان 10^7 اسپور در هر میلی‌لیتر به وسیله لام

1 - harzianolide
2- 6-n-pentyl-6H-pyran-2-one (6PP)

هماسیتومتر تعیین شد.

مایه تلقیح: برای تهیه مایع تلقیح از کشت جوان جدایه‌ها در پتری دیش و اضافه کردن ده پرگنه پنج میلی‌متری از هر جدایه به پاکت‌های سلوفان حاوی ۳۰۰ گرم گندم دو بار اتوکلاو شده استفاده شد. کیسه‌ها به مدت ۱۴ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند به طوری که جدایه‌ها به خوبی گندم‌های داخل کیسه‌های سلوفان را کلونیزه نمودند. مقدار زادمایه موجود روی گندم‌های هر کیسه با شستشوی ۱۰ گرم از آن‌ها در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل و تهیه سری رقت و کشت سوسپانسیون به دست آمده روی محیط کشت سیب زمینی دکستروز آگار حاوی ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات استرپتومایسین تعیین گردید. به این ترتیب مقدار گندم لازم از هر جدایه برای تلقیح گلدان‌ها به میزان 10^7 زادمایه در هر گرم خاک تعیین گردید. برای تیمار شاهد، گندم‌های دو بار اتوکلاو شده بدون تلقیح با تریکودرما با نسبت مشابه به گلدان‌ها افزوده شد.

پوشش بذرهای گوجه فرنگی با سوسپانسیون اسپور: از هر یک از جدایه‌ها، سوسپانسیون اسپوری به غلظت 10^7 اسپور در میلی لیتر حاوی ۰/۵ درصد کربوکسی متیل سلولز تهیه شد. به منظور سم زدایی بذرهای گوجه فرنگی رقم تجاری موبیل ابتدا بذرها با اتانول ۷۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه شستشو شدند، سپس برای حذف اتانول از سطح بذرها، با آب مقطر آبکشی شدند و به منظور ضدعفونی سطحی بذرها دو دقیقه در هیپوکلرید سدیم ۱ درصد فرو برده و بلافاصله سه مرتبه با آب مقطر استریل شسته شدند. به ازای هر جدایه تعداد ۴۰ بذر در پتری دیش‌های در باز قرار داده شد و دو میلی‌لیتر سوسپانسیون اسپور 10^7 حاوی ۰/۵ درصد کربوکسی متیل سلولز به بذرها اضافه شد و بذرها به تناوب چندین بار در سوسپانسیون غلت داده شدند و زیر هود لامینار خشک شدند (۲۲). این بذرها به طور میانگین با 5×10^6 اسپور پوشش داده شدند. برای تیمار شاهد، بذرها فقط با محلول کربوکسی متیل سلولز ۰/۵ درصد تیمار شدند.

آزمایش‌های گلخانه‌ای: در آزمایش‌های گلخانه ای تأثیر ۱۰ جدایه تریکودرما به دو صورت پوشش بذر و افزودن به خاک در تحریک رشد گیاه گوجه فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمایش به روش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار شامل دو فاکتور نوع جدایه و نوع روش تلقیح در شرایط گلخانه اجرا شد. فاکتور اول در ۱۱ سطح که شامل ۱۰ جدایه تریکودرما و شاهد بدون تریکودرما و فاکتور دوم نحوه تلقیح تریکودرما در دو سطح به دو صورت بذرمال و خاک-مصرف بود. خاک گلدان‌ها که شامل ماسه، خاک با بافت رسی و خاک برگ الک شده (به نسبت ۲: ۱:۱) بود در دو روز متوالی در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه اتوکلاو و سپس به گلدان‌ها اضافه شد. در تیمارهای خاک-مصرف، میزان 10^7 زادمایه به هر گرم خاک اضافه شد و سپس یک لایه یک سانتی متری خاک استریل به گلدان‌ها اضافه شد و بذرهای ضدعفونی شده کشت شدند. در تیمارهای بذرمال، به گلدان‌ها خاک استریل اضافه و سپس بذرهای آغشته به اسپورهای تریکودرما کشت شدند. در هر گلدان دو عدد گیاه کشت شد و گلدان‌ها در شرایط گلخانه به مدت ۶۰ روز نگهداری شدند و یک روز درمیان به طور مرتب آبیاری شدند و هیچ نوع کودی هم در طی مراحل آزمایش استفاده نشد. بعد از گذشت ۶۰ روز از کشت گیاهان گوجه فرنگی، میانگین وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه دو گیاه در هر گلدان محاسبه شد.

محاسبات آماری: تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل و مقایسه میانگین تیمارها به روش LSD ($P\leq0/05$) با استفاده از نرم افزار Minitab 16.2 صورت گرفت.

نتایج و بحث

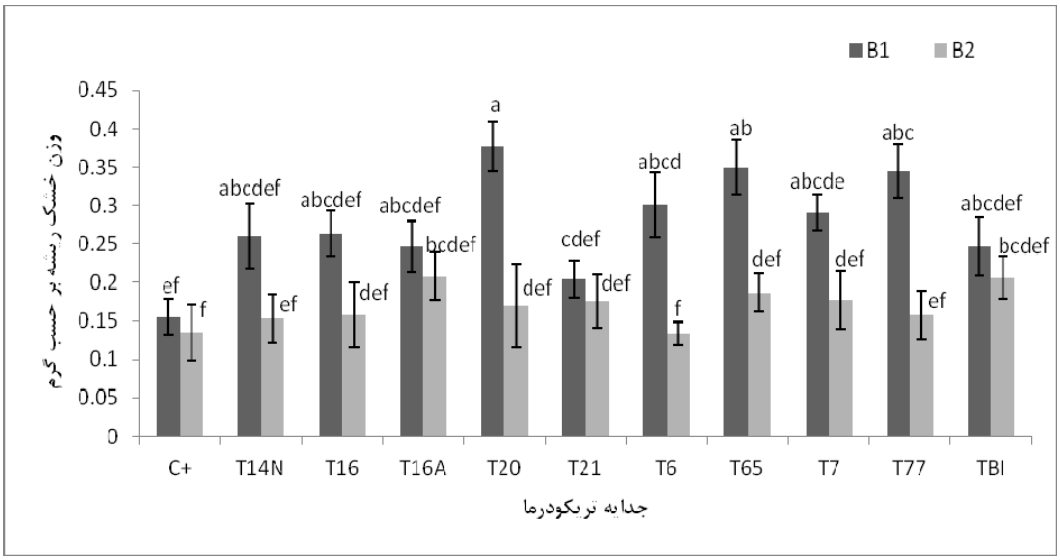
تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده مربوط به اثرات رشدی جدایه‌های تریکودرما روی گوجه فرنگی نشان داد که هر دو فاکتور جدایه و روش تلقیح جدایه‌های تریکودرما و هم‌چنین اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار می‌باشند. بیشتر جدایه‌های تریکودرما در روش خاک-مصرف به طور معنی‌داری باعث افزایش رشد اندام هوایی و ریشه گیاه گوجه فرنگی شدند به طوری‌که هم وزن خشک اندام هوایی و هم وزن خشک ریشه در بیش‌تر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. میانگین تیمارهای آزمایشی و گروه‌بندی مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی به روش LSD با احتمال خطای ۵ درصد در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

فاکتور نوع جدایه‌های بکاربرده شده در این آزمایش معنی‌دار بود. به طوری‌که جدایه‌های بکاربرده شده تاثیر متفاوتی بر وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه داشتند. در این میان، تیمار جدایه T20 در روش خاک-مصرف بیش‌ترین افزایش را در وزن خشک ریشه و اندام هوایی به ترتیب به میزان ۵۸/۶۸، ۶۱/۹۳ درصد، نسبت به گیاهان شاهد داشت. بعد از جدایه T20 تیمار جدایه‌های TBI، T16A، T16 و T65 در روش خاک-مصرف باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی به ترتیب به میزان ۵۰/۳، ۴۹/۹۶، ۴۹/۳۴ و ۴۴/۵۷ درصد گردید. جدایه‌های T65، T77، T6 و T7 در روش خاک-مصرف باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه به ترتیب به میزان ۵۵/۴۷، ۵۴/۸۶، ۴۸/۲۷ و ۴۶/۵ درصد بعد از تیمار جدایه T20 شدند (شکل ۴، A,B,C).

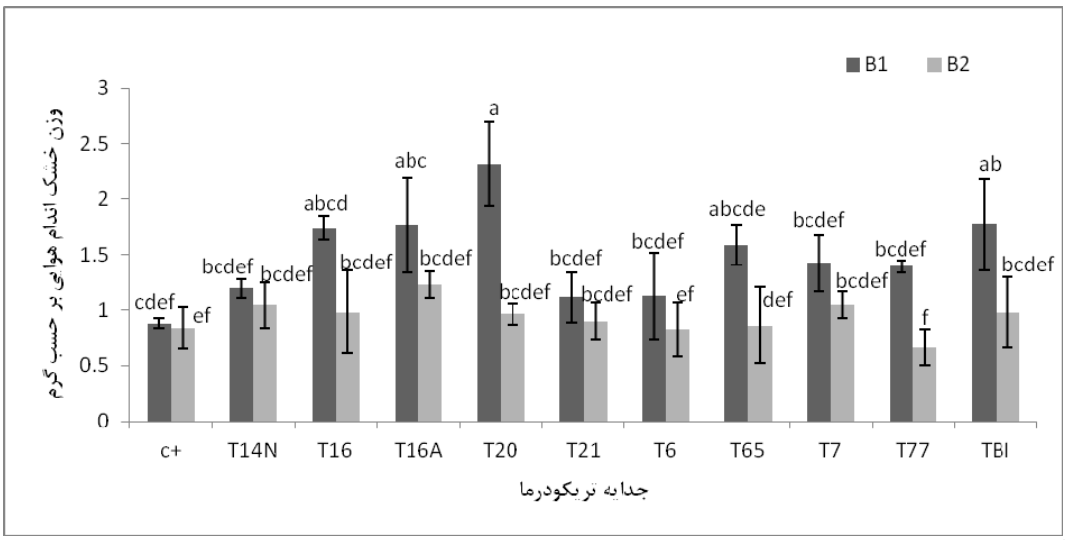
روش تلقیح عامل بیوکنترل اختلاف معنی‌داری روی افزایش رشد گیاه داشت. چنانچه روش خاک-مصرف نسبت به روش بذرمال به طور معنی‌داری باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی ($p<0/0001$) و وزن خشک ریشه ($p<0/0001$) شده است. به طوری‌که تمامی تیمارهای روش خاک-مصرف، میزان وزن خشک اندام هوایی و وزن

خشک ریشه بیش‌تری نسبت به تیمارهای روش بذرمال داشتند (شکل ۳). اگرچه برخی از جدایه‌ها در روش پوشش بذر باعث افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی شدند ولی این افزایش معنی‌دار نبود.

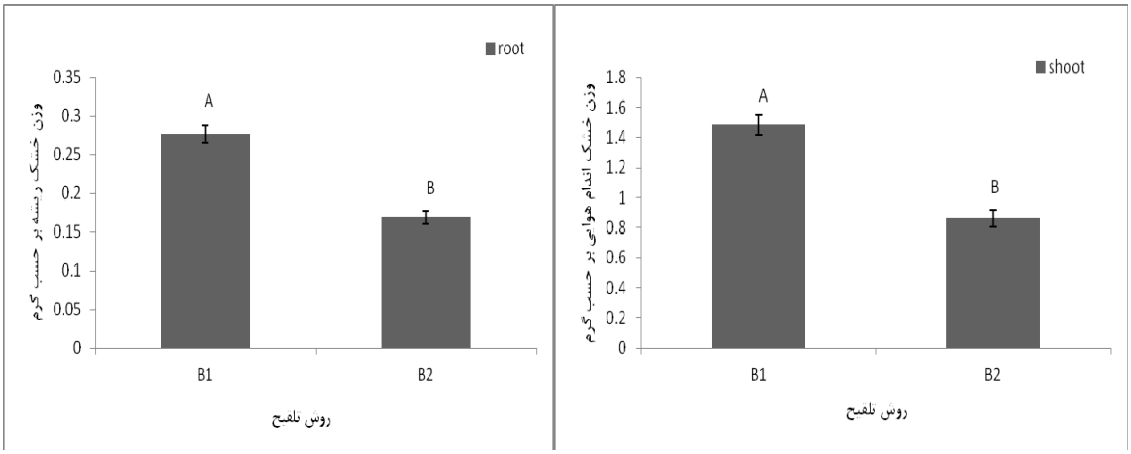
اثرات متقابل نوع جدایه و نوع روش تلقیح عامل بیوکنترل نیز معنی‌دار بود، به طوری‌که بسته به جدایه و نوع روش تلقیح عامل بیوکنترل، میزان افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه متفاوت بود. در روش خاک-مصرف، تیمارهای جدایه T20 و T65 و T77 بیشترین اثر را بر وزن خشک ریشه و تیمارهای جدایه T20، TBI، T16A بیش‌ترین اثر را بر وزن خشک اندام هوایی داشتند ولی در روش بذرمال، تیمارهای جدایه T16A و TBI بیش‌ترین اثر را بر وزن اندام هوایی و ریشه داشتند. بنابراین چنین می‌توان نتیجه گرفت که هر جدایه‌ای بسته به نوع روش کاربرد اثرات متفاوتی بر روی رشد گیاه می‌گذارد و بسته به نوع جدایه، روش کاربرد عامل بیوکنترل نیز می‌تواند متفاوت باشد. چنان‌چه در روش افزودن عامل بیوکنترل به خاک جدایه T20 بیش‌ترین اثر را بر روی رشد گیاه دارد ولی در روش پوشش بذر جدایه T16A بیش‌ترین اثر را بر روی رشد گیاه گوجه فرنگی دارا می‌باشد (شکل۴، D).



شکل ۱- تأثیر جدایه‌های تریکودرما بر وزن خشک ریشه گیاه گوجه فرنگی ۶۰ روز بعد از کاشت؛ B1 تلقیح اینوکلوم تریکودرما به صورت خاک-مصرف؛ B2 تلقیح اینوکلوم تریکودرما به صورت بذرمال. تیمارهایی که با حروف مشابه نشان داده شده است بر اساس آزمون LSD با احتمال ۵ درصد خطا، فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.



شکل ۲- تأثیر جدایه‌های تریکودرما بر وزن خشک اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی ۶۰ روز بعد از کشت؛ B1 تلقیح اینوکلوم تریکودرما به صورت خاک-مصرف؛ B2 تلقیح اینوکلوم تریکودرما به صورت بذرمال. تیمارهایی که با حروف مشابه نشان داده شده است بر اساس آزمون LSD با احتمال ۵ درصد خطا، فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.



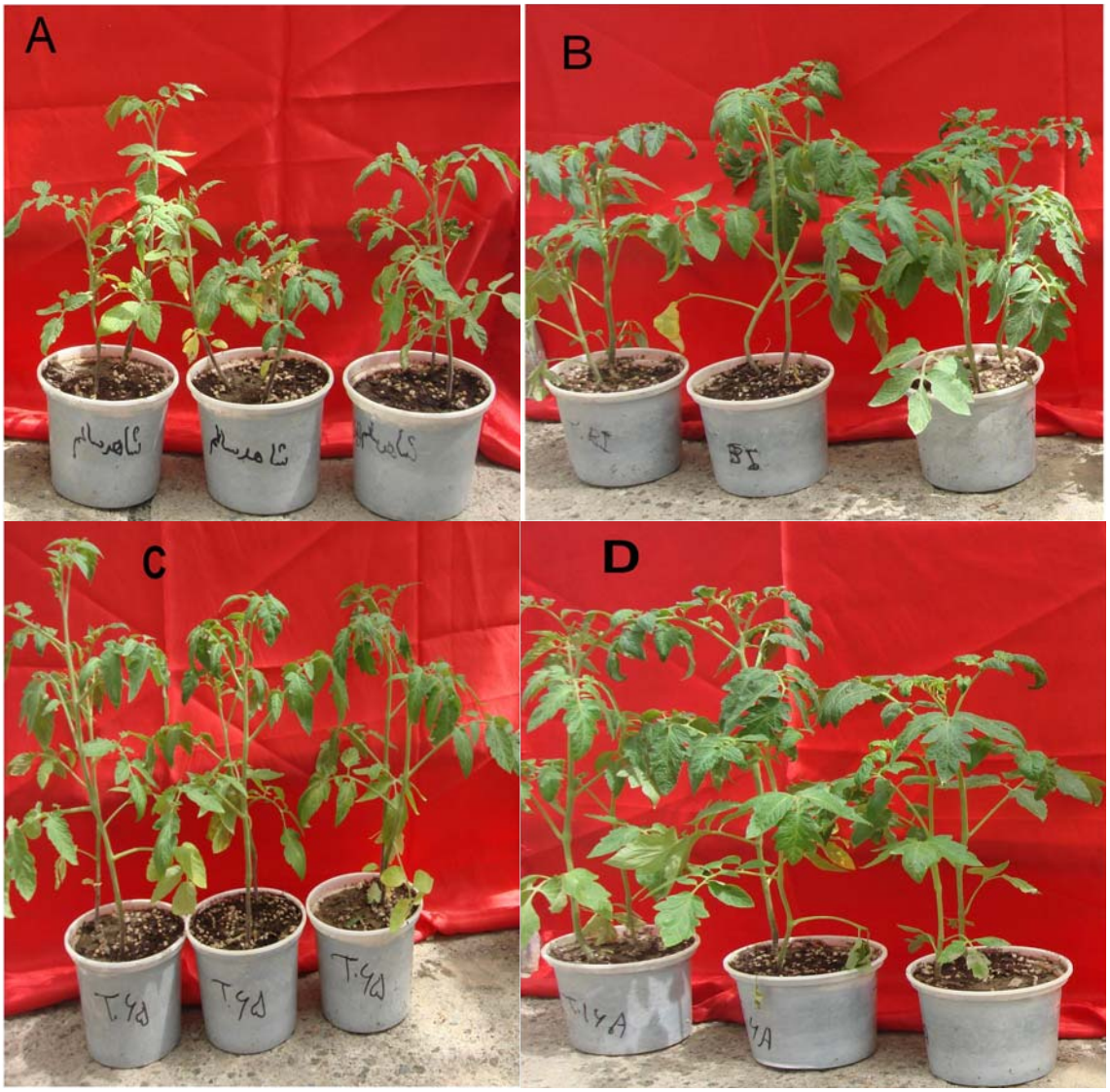
شکل ۳- تأثیر روش تلقیح جدایه‌های تریکودرما بر وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه گیاه گوجه فرنگی؛ B1 تلقیح اینوکلوم تریکودرما به صورت خاک-مصرف؛ B2 تلقیح اینوکلوم تریکودرما به صورت بذرمال. تیمارهایی که با حروف مشابه نشان داده شده است بر اساس آزمون LSD با احتمال ۵ درصد خطا، فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

نتایج این آزمایش با تحقیقات گذشته که تأثیر تحریک کنندگی رشد گیاهی به وسیله استرین‌های تریکودرما را نشان می‌دهد انطباق دارد (۶، ۱۹، ۲۲، ۲۵ و ۲۹). در یک مطالعه نشان داده شده است که ارتفاع اندام هوایی، قطر اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه در گیاهچه‌های گوجه فرنگی که در خاک تلقیح شده با تریکودرما کشت شدند، به طور قابل توجهی نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافته و هم‌چنین غلظت کلسیم، منیزیم، فسفر و پتاسیم در ساقه و ریشه گوجه فرنگی افزایش چشم‌گیری در گیاهان تیمار شده با تریکودرما نسبت به گیاهان شاهد دارد (۶). مهرابی و همکاران (۲۲) نشان دادند که بیش‌تر جدایه‌های مورد مطالعه بر اساس وزن خشک اندام هوایی و ریشه باعث افزایش معنی‌دار رشد گیاه می شوند. به خصوص جدایه‌های T65 و T7 که به ترتیب ۴۳ و ۴۱ درصد وزن خشک ریشه و ۴۰ و ۳۷ درصد وزن خشک اندام هوایی را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. از این‌رو با توجه به کاربرد این دو جدایه در این آزمایش، نتایج این آزمایش با نتایج مهرابی و همکاران (۲۲) نیز مطابقت دارد. هم‌چنین مهرابی و همکاران (۱) نشان دادند که جدایه‌های تریکودرما به طور معنی‌داری باعث تحریک رشد گیاه گندم شده و وزن خشک ریشه و اندام هوایی را تا ۱۳/۲ و ۹/۵ درصد نسبت به تیمار گیاهان شاهد افزایش می‌دهند (۱). اثرات افزایش دهنده *T.harzianum* روی رشد و عملکرد گیاه به طور بارزی در خاک‌های نسبتاً فقیر از مواد مغذی نیز پیشنهاد شده است (۲۵).

در مطالعه‌ای دیگر کلونیزاسیون ریشه‌های ذرت با *T.virens* سرعت فتوسنتز را در برگ‌های ذرت افزایش داده است (۲۹). لو و لین (۱۹) جدایه‌های متعددی از *Trichoderma* را برای افزایش رشد گیاه غربالگری کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که فقط بعضی از جدایه‌های تریکودرما قادر به افزایش رشد گیاه هستند. به‌طوری‌که فقط ۲/۸ درصد جدایه‌های مورد آزمون در این مطالعه، رشد ریشه‌های اولیه و ریشه‌های جانبی خیار را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده به طور هم‌زمان تحریک نمودند. هم‌چنین نتایج آن‌ها نشان داد که حدود ۳/۶ درصد جدایه‌های مورد آزمون می‌توانند تعداد ریشه‌های جانبی را افزایش دهند، اما روی طول ریشه اولیه اثری ندارند. متقابلاً، فقط ۰/۶درصد جدایه‌های مورد آزمون طول ریشه اولیه را تحریک می‌کنند، اما اثری روی رشد ریشه جانبی در مقایسه با گیاهان تیمار شاهد ندارند. علاوه بر این، نتایج آن‌ها نشان داد که بیش‌تر جدایه‌های تریکودرما سازگاری خوبی با ناحیه ریزوسفر ندارند و فقط ۲-۱ سانتی‌متر بالایی ریشه را کلونیزه می‌نمایند و بین سازگاری در ناحیه ریزوسفر و افزایش رشد گیاه از جمله ارتفاع گیاه و وزن ریشه همبستگی وجود ندارد. از این‌رو، سازگاری با ریزوسفر ممکن است فقط یکی از فاکتورها برای افزایش رشد گیاه به وسیله جدایه‌های قارچی باشد (۱۹).

یکی دیگر از مزایای استفاده از جدایه‌های تریکودرما، القاء افزایش کارائی استفاده از نیتروژن[1] در گیاهان است. داده‌های حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای روی چندین محصول زراعی مختلف نشان می‌دهد که کاهش نسبت کاربرد نیتروژن تا ۵۰-۳۰ درصد بدون کاهش در عملکرد، بوسیله جدایه‌های تریکودرما امکان پذیر است. مکانیسمی که بوسیله آن کارائی استفاده از نیتروژن در گیاهان القاء می‌شود به طور کامل شناخته نشده، اما احتمالاً توانایی قارچها در افزایش عمق ریشه‌زایی و در نتیجه افزایش حجم خاک کلونیزه شده به وسیله ریشه‌های گیاه یکی از موارد مهم است (۱۲، ۱۶ و ۲۷). مانجرول و همکاران (۲۰) نشان دادند که کاربرد تنهای جدایه‌های تریکودرما سهم قابل توجهی در کوددهی زیستی[2] ندارد اما هنگامی که جدایه‌های تریکودرما با کودهای نیتروژنه مکمل شوند.

1 -Nitrogen Use Efficacy (NUE)
2 - Bio fertilization



شکل ٤- تیمار شاهد، A؛ تیمار جدایه BI در روش تلقیح به خاک، B؛ تیمار جدایه T65 در روش تلقیح به خاک، C؛ تیمار جدایه T16A در روش پوشش بذر، D

به طور معنی‌داری رشد و عملکرد گوجه فرنگی و خردل را افزایش می‌دهد، چنان‌چه هنگامی که ۵۰ درصد کود نیتروژنه همراه با ۵۰ درصد کودهای زیستی غنی شده با تریکودرما بکار برده شد، عملکرد در خردل و گوجه فرنگی به ترتیب ۱۰۸ و ۲۰۳ درجه نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافت؛ درصورتی‌که عملکرد خردل و گوجه‌فرنگی در مقادیر استاندارد کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۸۱/۹۰ و ۶۱/۸۲ درصد می‌باشد (۲۰).

جدایه‌های تریکودرما نه تنها مقاومت به تنش‌های زیستی (بیماری‌ها) را افزایش می‌دهند بلکه مقاومت به تنش‌های غیر زیستی مانند کمبود آب، شوری و دما را نیز افزایش می‌دهند (۲۱ و ۲۷). نتایج مستوری و همکاران (۲۱) ثابت کرد که تیمار بذرها با *T.harzianum* قادر به کم کردن تنش‌های غیر زنده فیزیولوژیکی در بذرها و گیاهچه‌ها می‌باشند. به طوری‌که تیمار بذر گوجه فرنگی با T22 سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی بذرها و هم‌چنین قدرت رشد گیاهچه‌ها را در شرایط تنش‌های شوری، کم آبی، گرمایی و سرمایی افزایش می‌دهد و آسیب‌های حاصل از تجمع واحدهای رادیکال اکسیژن (ROS[1]) را در گیاهان تحت شرایط تنش کاهش داده است (۲۱). شوکلا و همکاران (۲۸) تأثیر چند جدایه تریکودرما را روی واکنش برنج به خشکی مورد بررسی قرار دادند. جدایه‌های

1 - Reactive oxygen species (ROS)

T.harzianum رشد گیاهچه‌ها را افزایش داده و پاسخ‌های خشکی را به تاخیر انداخته و گیاهان در واکنش به خشکی آهسته‌تر پژمرده می‌شوند. در شرایط وجود یا عدم وجود تنش خشکی، کلونیزاسیون گیاهچه‌های برنج به وسیله تریکودرما باعث تحریک رشد گیاهچه‌ها می‌شود که این امر باعث به تاخیر افتادن واکنش‌های تنش خشکی در برنج می‌شود (۲۸).

گزارشات محدودی نیز وجود دارد که عدم تحریک‌کنندگی رشد توسط بعضی از جدایه‌های تریکودرما را نشان می‌دهد، هم‌چنان‌که بال و آلتینتاس (۹) نشان دادند که کاربرد *T.harzianum* عملکرد گوجه‌فرنگی را افزایش نمی‌دهد؛ یا محصول تجاری TrichoFlow WP^{TM} در افزایش رشد غده‌های پیاز بی‌تاثیر می‌باشد (۳). هم‌چنین جدایه *T.harzianum* T22 در بیش‌تر موارد کارائی استفاده از نیتروژن را فراهم کرده است و عمدتاً در ذرت عملکرد را بهبود بخشیده است؛ ولی کاربرد آن با تعداد کمی از ژنوتیپ‌هایی ذرت منجر به بهبود عملکرد نشده و یا حتی عملکرد را کاهش داده است (۱۴).

بهرحال رفتار جدایه‌های تریکودرما روی گیاهان متفاوت بوده و اثرات مفید مشاهده شده برای بعضی جدایه‌ها قابل تعمیم برای تمام جدایه‌ها نیست (۱۶) لیکن با انجام آزمون غربال‌گری و در اختیار گرفتن جدایه‌های با قابلیت بهتر تحریک‌کنندگی رشد و مصرف آن در طول مراحل تولید می‌توان به افزایش عملکرد محصولات کشاورزی توام با بهبود راندمان و کاهش مصرف کودهای شیمیائی کمک نمود.

منابع

۱- مهرابی م.، و ظفری د. ۱۳۸۷. تأثیر جدایه‌های *Trichoderma* در تحریک رشد گیاه گندم. مجله دانش گیاهپزشکی ایران ۳۹(۱):۹۶-۹۱.

2- Altintas S., and Bal U. 2005. Application of *Trichoderma harzianum* increases yield in cucumber (*Cucumis sativus*) grown in an unheated glasshouse. Journal of Applied Horticulture, 7: 25–28.

3- Altintas S., and Bal U. 2008. Effects of the commercial product based on *Trichoderma harzianum* on plant, bulb and yield characteristics of onion. Scientia Horticulture, 116: 219-222.

4- Altomare C., Norvell W.A., Bjorkman T., and Harman G.E. 1999. Solubilization of phosphates and micronutrients by the Plant-Growth-Promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. Applied and Environmental Microbiology, 65(7): 2926-2933.

5- Arora D.K., Elander R.P., and Mukerjee K.G. 1992. Handbook of applied mycology. Fungal Biotechnology. vol 4. Marcel Dekker, New York. Pp: 25-30.

6- Azarmi R., Hajieghrari B., and Giglou A. 2011. Effect of *Trichoderma* isolates on tomato seedling growth response and nutrient uptake. African Journal of Biotechnology, 10(31): 5850-5855.

7- Bal U.,and Altintas S. 2006a. A positive side effect from *Trichoderma harzianum*, the biological control agent: increased yield in vegetable crops. Journal of Environment Protection and Ecology, 7 (2): 383–387.

8- Bal U., and Altintas S. 2006b. Application of the antagonistic fungus *Trichoderma harzianum* (TrichoFlow WP^{TM}) to root zone increases yield of bell peppers grown in soil. Biological Agriculture and Horticulture, 24:149–163.

9- Bal U. and Altintas S. 2006c. Effects of *Trichoderma harzianum* on the yield and fruit quality of tomato plants (*Lycopersicon esculentum*) grown in an unheated greenhouse. Australian Journal of Experimental Agriculture, 46(1):131–136.

10- Benitez T., Rincon A.M., Limon M.C., and Codon A.C. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. International microbiology, 7: 249-260.

11- Bjorkman T., Blanchard L.M., and Harman G.E. 1998. Growth enhancement of shrunken-2 sweet corn when colonized with *Trichoderma harzianum* 1295-22: effect of environmental stress. Journal of the American Society for Horticultural Science, 123:35–40.

12- Harman G.E., Howell C.R., Viterbo A., Chet I. and Lorito M. 2004a. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Reviews, 2: 43-56.

13- Harman G.E., Petzoldt R., Comis A., and Chen J. 2004b. Interaction between *Trichoderma harzianum* strain T-22 and maize inbred Mo17 and effects of these interactions on disease caused by *Phytium ultimum* and *Colletotrichum graminicola*. Phytopathology, 94:147-153.

14- Harman G.E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. Phytopathology, 96:190–194.

15- Harman G.H., Bjorkman T., Ondlik K., and Shoresh M. 2008. Changing paradigms on the mode of action and uses of *Trichoderma* spp. for biocontrol. Outlook on pest management, 19: 24-29.

16- Harman G.E. 2011. *Trichoderma*-not just for biocontrol anymore. Phytoparasitica, 39:103-108.

17- Hermosa R., Viterbo A., Chet I., and Monte E. 2012. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. Microbiology, 158: 17-25.

18- Hexon A.C., Lourdes M.R., Carlos C.P., and Jose L.B. 2009. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in Arabidopsis. Plant Physiology, 149: 1579-1592.

19- Lo C.T., and Lin C.Y. 2002. Screening strain of *Trichoderma* spp. for plant growth enhancement in Taiwan.

Plant Pathology Bulletin, 11: 215-220.
20- Manjurul Haque M.D., Ilians G.N.M., and Molla A.H. 2012. Impact of *Trichoderma*-enriched Biofertilizer on the Growth and Yield of Mustard (*Brassica rapa* L.) and Tomato (*Solanum lycopersicon* Mill.). The Agriculturists, 10(2):109-119.
21- Mastouri F., Björkman T., and Harman G.E. 2010. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. Phytopathology, 100:1213-1221.
22- Mehrabi-Koushki M., Rouhani H., and Mahdikhani-Moghaddam E. 2012. Differential Display of Abundantly Expressed Genes of *Trichoderma harzianum* During Colonization of Tomato-Germinating Seeds and Roots. Current Microbiology, 65: 524-533.
23- Osiewacz H.D. 2002. Molecular biology of fungal development. Marcel Dekker. New York.
24- Poldma P., Albrecht A., and Merivee A. 2002. Influence of fungus *Trichoderma viride* on the yield of cucumber in greenhouse conditions. Pp: 176–180 In: Proceedings of the Conference on Scientific Aspects of Organic Farming, Jelgava, 21–22 March Latvia.
25- Rabeendran N., Moot D.J., Jones E.E., Stewart A. 2000. Inconsistent growth promotion of cabbage and lettuce from *Trichoderma* isolates. Plant Protection, 53:143–146.
26- Sheila A.O., Jane A.O., and James O.O. 2011. Improved seedling emergence and growth of maize and beans by *Trichoderma harzianum*. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 13: 65-71.
27- Shoresh M., Mastouri F., and Harman G.E. 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. Annual Review of Phytopathology, 48:21–43.
28- Shukla N., Awasthi P.R., Rawat L., and Kumar J. 2012. Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* under drought stress. Plant Physiology and Biochemistry, 54:78-88.
29- Vargas W.A., Mandawe J.C., and Kenerley C.M. 2009. Plant-derived sucrose is a key element in the symbiotic association between *Trichoderma virens* and maize plants. Plant Physiology, 151: 792–808.
30- Vinale F., Sivasithamparam K., Ghisalberti E.L., Marra R., Woo S.L., and Lorito M. 2008. *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. Soil Biology and Biochemistry, 40:1-10.
31- Vinale F., Sivasithamparam K., Ghisalberti E.L., and Marra R. 2008. A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. Physiological and molecular plant pathology, 72: 80-86.
32- Yadidia I., Srivastva A.K., Kapulnik Y., and Chet I. 2001. Effect of *Trichoderma harizanum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. Plant and Soil, 235: 235-242.