اثر قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری سودوموناس بر ویژگی‌های رشد و جذب عناصر غذایی کم مصرف توسط گیاه ذرت در شرایط تنش خشکی

المیرا لطفی[۱]، مجید باقرنژاد[۲*]، نجفعلی کریمیان[۳] و مهدی زارعی[۴]

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
۲- استاد بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
۳- استاد بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
۴- دانشیار بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۴
پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۲

کلمات کلیدی:
باکتری،
قارچ،
تنش،
عناصر غذایی،
ذرت

*** عهده‌دار مکاتبات**
E-mail: majidbaghernejad@yahoo.co.uk

چکیده

ریزجانداران می‌توانند به رشد بهتر گیاه بویژه در شرایط تنش-های محیطی کمک کنند. به منظور بررسی اثر قارچ میکوریز آربوسکولار، باکتری و تنش خشکی بر کلنیزاسیون ریشه و جذب عناصر غذایی کم مصرف، در گلخانه به صورت آزمایشات فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل قارچ میکوریز آربوسکولار در دو سطح (در حضور و عدم حضور قارچ *گلوموس اینترادیسز*)، باکتری در دو سطح (در حضور و عدم حضور باکتری *سودوموناس فلورسنس*)، تنش خشکی در چهار سطح (بدون تنش، تنش FC ۷۵٪، تنش FC۵۰٪ و تنشFC ۲۵٪) بود. در تیمارهای تلقیح نشده میکروبی، تنش خشکی ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه وزن تر و خشک اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد در حالی‌که تغییرات سایر پارامترهای مورد اندازه‌گیری معنی دار نبود. در تیمارهای قارچی در هر سطح تنش خشکی، درصد کلنیزاسیون ریشه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمارهای تلقیح نشده قارچی بالاتر بود. بالاترین درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه در تیمارهای کاربرد همزمان قارچ و باکتری به‌دست آمد. کاربرد همزمان قارچ و باکتری کلیه پارامترهای مورد اندازه-گیری را به‌جز جذب آهن تا سطح ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه در مقایسه با تیمارهای تلقیح نشده با قارچ و باکتری افزایش معنی‌دار داد.

مقدمه

خشکی از جمله رایج‌ترین تنش‌ها و مهم‌ترین عامل محدودکننده در تولید گیاهان زراعی می‌باشد و در گیاه به حالتی گفته می‌شود که سلول‌ها و بافت‌ها در معرض شرایط غیر مساعد رطوبتی قرار گرفته و گیاه پژمرده شده و آماس طبیعی خود را از دست داده باشد. همیشه تنش رطوبتی در گیاه نتیجه‌ی سرعت بالای از دست رفتن آب از طریق تعرق در مقایسه با سرعت جذب آن است و باعث کاهش آماس، بسته‌شدن روزنه‌ها و در نهایت کاهش رشد گیاه می‌شود (۱۹). کاهش جذب عناصر غذایی به‌وسیله ریشه و هم‌چنین کاهش انتقال آن از ریشه به شاخسار نیز در نتیجه تنش رطوبتی گزارش شده است (۱) و در مراحل مختلف رشد منجر به کاهش وزن تر و خشک، کاهش ارتفاع و قطر ساقه می‌شود (۶). فنآوری زیستی خاک به مطالعه و به‌کارگیری موجودات زنده خاکزی و فرایندهای متابولیکی آنها برای افزایش عملکرد گیاه می‌پردازد و می‌توان در مورد خاک‌های فقیر از لحاظ مواد آلی و عناصر غذایی مانند غالب خاک‌های ایران، از این علم، بهره گرفت. از بیشترین اثرات سودآور قارچ‌های میکوریزی، بهبود وضع تغذیه گیاه میزبان، کمک به کاهش تنش‌های محیطی، مثل خشکی، بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و به طور کلی افزایش عملکرد گیاه میزبان می‌باشد. اکنون پذیرفته شده است که همزیستی میکوریز آربوسکولار در مقاومت گیاه به خشکی، نتیجه تجمع مجموع اثرات سلولی، فیزیولوژیک، تغذیه‌ای و فیزیکی می‌باشد. علاوه بر این، مطالعات دیگر نشان داده‌اند که همزیستی میکوریز آربوسکولار می‌تواند با تنظیم پتانسیل اسمزی در گیاه، اثر تنش خشکی را کاهش دهد (۲). ذرت یکی از گیاهانی است که وابستگی میکوریزی بسیار خوبی را دارا می‌باشد و این وابستگی حتی تحت تنش خشکی بسیار قابل توجه است. اثرات میکوریز از جنبه‌های مختلف مثل رشد گیاه، جذب عناصر غذایی، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، تولید سیدروفورها و افزایش فراهمی عناصر کم مصرف بویژه آهن، ارتباط هم‌افزایی با ریزسازواره‌های حل‌کننده فسفات‌های آلی و معدنی نامحلول، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری، آلودگی خاک به سموم و یا فلزات سنگین و کنترل زیستی برخی عوامل بیماریزای گیاهی مورد بررسی قرار گرفته است (۱۱، ۱۷). ریزوباکترهای محرک رشد گیاه[1] و از آن جمله برخی گونه های سودوموناس باکتری‌های ریزوسفری هستند که با استفاده از سازوکارهای مختلفی همچون تولید متابولیت‌های موثر در رشد گیاه، مانند هورمون‌های گیاهی(اکسین، سیتوکینین، جیبرلین)، افزایش سطح تماس ریشه و بهبود همزیستی‌های مفید با گیاه میزبان در مراحل مختلف رشد (۱۶، ۳۰) به رشد بهتر گیاه بویژه در شرایط تنش‌های محیطی کمک می‌کنند. محققان طی بررسی بهبود رشد گندم زمستانی تحت شرایط تنش خشکی توسط باکتری‌های تولید کننده ACC دآمیناز به این نتیجه رسیدند که این باکتری‌ها به طور موثری سبب بهبود بهره‌وری و دسترسی گیاه به آب می‌شوند (۱). اثرات هم افزایی این ریزجانداران در تحقیقات وو و همکاران[2] (۳۱) گزارش شده است. این پژوهشگران نشان دادند که کاربرد همزمان قارچ‌های میکوریز *گلوموس موسه* یا *گلوموس اینترارادیسز* و سه گونه باکتریایی تثبیت کننده نیتروژن: *ازتوباکتر کروکوکوم*، حل‌کننده فسفر معدنی نامحلول: *باسیلوس مگاتریوم*، حل کننده پتاسیم: *باسیلوس موسیلاژنز*، رشد ذرت را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد.

این مطالعه به منظور بررسی مدیریت حاصل‌خیزی در یک خاک آهکی با استفاده از قارچ میکوریز آربوسکولار، *گلوموس اینترارادیسز* و باکتری محرک رشد گیاه، *سودوموناس فلورسنس* در شرایط تنش خشکی بر روی گیاه ذرت صورت گرفت.

1- PGPR
2- Wu *et al*.

مواد و روش‌ها

مقدار لازم از خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی متری) سری خاک با نام علمی کلسیک کمبی‌سول (در سیستم طبقه بندی فائو) تهیه گردید. نمونه خاک بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری با استفاده از روش‌های استاندارد (۸)، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد که در جدول ۱ خلاصه گردیده است.

آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار بر روی یک خاک غیر استریل با گیاه ذرت[1] (رقم سینگل کراس ۷۰۴) انجام شد. تیمارها شامل: ۱- قارچ میکوریز آربوسکولار در دو سطح تلقیح نشده (G_0) و تلقیح شده با قارچ *گلوموس اینترادیسز* (G_1) ۲- باکتری در دو سطح تلقیح نشده (B_O) و تلقیح شده با باکتری *سودوموناس فلورسنس* (B_1) و ۳- تنش خشکی در چهار سطح: S_0 (شاهد، بدون تنش)، S_1 (تنش FC ٪۷۵)، S_2 (تنش FC ٪۵۰) و S_3 (تنش FC ٪۲۵). مایه تلقیح قارچ *گلوموس اینترادیسز* از بخش علوم خاک دانشگاه شیراز تهیه و به روش تله گلدانی تکثیر گردید. نام جدید قارچ *گلوموس اینترارادیسز*، *ریزوفاگوس اینترارادیسز* می‌باشد (۲۳). باکتری محرک رشد گیاه *سودوموناس فلورسنس* از گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران تهیه گردید.

برای اعمال تیمارهای تنش خشکی، گلدان‌های محتوی ۵ کیلوگرم خاک انتخاب و مقدار رطوبت آن‌ها به حد ظرفیت زراعی، که مقادیر ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم، قبلاً با صفحهٔ فشاری اندازه‌گیری شده بود، رسانده شد. سپس روزانه در ساعت مشخصی وزن کل خاک مرطوب اندازه‌گیری گردید و تا زمان رسیدن به نقطهٔ پژمردگی دائم (حدود ۱۵ روز) وزن کردن آن‌ها ادامه یافت. مقدار کاهش رطوبت در هر روز با استفاده از فرمول سپاسخواه و یرمی[2]، (۲۷) به‌دست آمد؛ سپس منحنی رطوبتی با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمدهٔ رطوبت طی ۱۵ روز رسم گردید و با استفاده از این نمودار دورهای آبیاری ۲ و ۴ و ۶ و ۸ روز تعیین گردید که به ترتیب معادل با بدون تنش، ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه، ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه بود. در هر دور آبیاری با وزن‌کردن، رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه می‌رسید.

عناصر پرمصرف و کم مصرف بر اساس نتایج آزمون خاک به منظور جلوگیری از کمبود احتمالی به خاک اضافه شدند. در ابتدا نمونه‌های سه کیلوگرمی از خاک هوا خشک که از الک ۲ میلیمتری عبور داده شده را درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته و بر اساس آزمون خاک نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (۵۰ درصد قبل از کشت و ۵۰ درصد در هفته چهارم)، روی از منبع $ZnSO_4.7H_2O$ به میزان ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، مس از منبع $CuSO_4.5H_2O$ به میزان ۲/۵ میلی-گرم در کیلوگرم خاک و آهن از منبع سکوسترن آهن ۱۳۸ به میزان ۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، افزوده شد. خاک به داخل گلدان‌ها منتقل گردید. برای تلقیح قارچ میکوریز آربوسکولار مقدار ۵۰ گرم از مایه تلقیح قارچ *گلوموس اینترادیسز* شامل اسپور (۱۲ اسپور در هر گرم مایه تلقیح)، هیف و قطعات کلنیزه شده (۸۵٪) و کلنیزه نشده ریشه‌ای و بستر کاشت در ۵ سانتیمتری خاک گلدان و در زیر بذرها قرار داده شد. به منظور حفظ جمعیت میکروبی غیر از قارچ میکوریز و یکسان شدن وزن گلدان‌ها، مقدار ۵۰ گرم از بستر گلدان‌های شاهد تلقیح نشده با قارچ که در مرحله کشت تله گلدانی نگهداری شده بودند، به تیمارهای بدون قارچ در کشت اصلی اضافه گردید. شش عدد بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در هر گلدان کشت شد. در تیمارهای باکتری، ۱ میلی‌لیتر (1×10^8 cfu ml^{-1}) از سوسپانسیون باکتری روی هر بذر ذرت ریخته و بذرها با خاک پوشانده شدند. پس از اعمال تیمارهای آزمایشی (قارچ و باکتری)، خاک گلدان‌ها به رطوبت ظرفیت مزرعه رسانده شد.

1-Zea mays L.
2-Sepaskhah and Yarami

جدول (۱) برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد آزمایش

Table (1) Some physical and chemical characteristics of soil used in the experiment

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک (Physical and chemical characteristics of soil)	مقدار (Quantity)
شن (Sand) (%)	20
سیلت (Silt) (%)	60
رس (Clay) (%)	20
بافت خاک (Soil texture)	Silty loam
پ هاش (pH)	7.36
قابلیت هدایت الکتریکی (EC) ($dS\ m^{-1}$)	0.36
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) ($cmol^{+}\ kg^{-1}$)	18.5
کربنات کلسیم معادل (Carbonate Calcium Equivalent) (%)	33.74
ماده آلی (OM) (%)	2.11
نیتروژن کل (N) (%)	0.11
فسفر قابل حل در بیکربنات سدیم (Olsen-P) ($mg\ kg^{-1}$)	18.08
پتاسیم قابل عصاره گیری با استات آمونیوم (NH_4OAc-K) ($mg\ kg^{-1}$)	580
DTPA-Fe ($mg\ kg^{-1}$)	3.80
DTPA-Zn ($mg\ kg^{-1}$)	0.50
DTPA-Mn ($mg\ kg^{-1}$)	8.70
DTPA-Cu ($mg\ kg^{-1}$)	1.41

پس از گذشت ۳ هفته (مرحله ۵ برگی) تنش خشکی اعمال گردید. ۴ ماه پس از کشت(مرحله رسیدن) برداشت گیاه انجام شد. پس از شمارش تعداد برگ، سطح برگ نمونه‌ها به وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ(ویینداس) تعیین گردید. گیاهان از محل طوقه قطع و پس از اندازه‌گیری وزن تر، شستشو و در پاکت قرار داده شدند. وزن خشک اندام هوایی و ریشه‌ها پس از خشک شدن در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون اندازه‌گیری شد. رنگ‌آمیزی ریشه به روش کورمانیک و مک گرو[1] (۱۸) انجام و به روش خطوط متقاطع درصد کلنیزاسیون ریشه تعیین گردید. اندام هوایی گیاه آسیاب و در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شد؛ پس از آن با حل کردن در اسیدکلریدریک دو مولار و گذراندن از کاغذ صافی و به حجم رساندن، غلظت عناصر غذایی کم مصرف آهن، روی، منگنز و مس به وسیله دستگاه جذب اتمی شیماتزو مدل AA-670G اندازه گیری گردید (۱۲).مقدار جذب عناصر غذایی کم مصرف با استفاده از حاصل‌ضرب غلظت عناصر غذایی در وزن خشک اندام هوایی گیاه به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده با نرم افزار SAS 9.1 تحلیل شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح ۵ درصد استفاده شد.

1- Kormanik and McGraw

نتایج و بحث

سطح برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه

با افزایش تنش خشکی، سطح برگ گیاه به‌طور غیرمعنی‌داری کاهش یافت. در مقایسه با تیمارهای غیر میکوریزی و تلقیح نشده با باکتری، قارچ میکوریز در سطوح پایین تنش خشکی سطح برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد؛ در صورتی‌که در سطوح بالای تنش خشکی افزایش سطح برگ معنی‌دار نبوده است و باکتری به تنهایی تاثیر معنی‌دار بر سطح برگ نداشت. بیشترین مقدار سطح برگ در تیمارهای کاربرد همزمان قارچ و باکتری در سطح بدون تنش و تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه به ترتیب ۸۰ و ۷۷ سانتیمتر مربع بود (جدول۲). رشد برگ‌ها نسبت به سایر قسمت‌های گیاه نسبت به تنش حساس‌تر است و با شروع تنش، اولین پاسخ گیاه کاهش سطح برگ است تا بدین وسیله از تبخیر و هدر روی آب جلوگیری کند و این عمل با ترشح هورمون‌هایی که عامل تقسیم سلولی و گسترش سطح برگ هستند، صورت می‌گیرد. با کاهش شاخص سطح برگ، تولید فراورده‌های گیاهی کاهش می یابد (۵).سوبرامانیان و همکاران[1] (۲۸) دریافتند که تنش خشکی اسیمیلاسیون قند در ساقه‌های گیاهان میکوریزی شده را افزایش می‌دهد. افزایش تولید قند در گیاهان میکوریزی می تواند باعث افزایش بالقوه سطح برگ شود. نتایج تحقیق نظارت و غلامی (۲۴) نشان داد کاربرد باکتری سودوموناس میزان سطح برگ ذرت را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده افزایش داده است، مغایرت دارد و این امر شاید به‌دلیل متفاوت بودن سویه-های مورد استفاده باشد. مطالعه پاندی و همکاران[2] (۲۵) در زمینه اثر سویه‌های مختلفی از باکتری‌های محرک رشد بر گیاه ذرت نشان داد که تاثیر انواع سویه‌های باکتری بر اندام‌های مختلف گیاه با یکدیگر متفاوت است. این پژوهشگران تغییر شرایط اقلیمی و در نتیجه تاثیر بر توانایی بقا و فعالیت باکتری‌ها را عامل تغییر در واکنش بوته‌های ذرت به تلقیح با سویه‌های مختلف گزارش کرده‌اند. در سطح بالای تنش خشکی (تنش ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه)،وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه به طور معنی-داری در مقایسه با سایر تیمارها کاهش یافت. در تنش ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه، کاربرد قارچ و باکتری به تنهایی و یا همزمان، در مقایسه با تیمارهای تلقیح نشده تاثیر معنی-داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نداشت و فقط در سطوح بدون تنش و تنش ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه کاربرد قارچ و باکتری به تنهایی و یا همزمان بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر تیمار، با افزایش سطوح تنش خشکی تا ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه، وزن تر و خشک ریشه کاهش معنی‌دار نداشت. در سطوح بدون تنش و تنش‌های ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه، کاربرد قارچ و باکتری به تنهایی و یا همزمان بر وزن تر و خشک ریشه گیاه معنی‌دار بود. بیشترین مقدار وزن تر(۷۸-۷۶ گرم در گلدان) و خشک(۱۲-۱۱ گرم در گلدان) اندام هوایی گیاه در تیمارهای کاربرد همزمان قارچ و باکتری به ترتیب در سطح بدون تنش و تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد (جدول ۲). واکنش‌های سطح سلولی در پاسخ به تنش خشکی شامل: تجمع آبسیزیک اسید، کاهش رشد و تقسیم سلولی، تنظیم اسمزی، تجمع پرولین، فتواکسیداسیون کلروفیل، کاهش فعالیت آنزیم‌ها و همچنین واکنش‌ها در سطح گیاه در پاسخ به تنش خشکی شامل: کاهش گسترش سطح برگ، ساقه و ریشه و سرانجام کاهش تولید دانه، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز،کاهش جذب مواد فتوسنتزی در اندام‌های در حال رشد، تسریع پیری برگ، تاخیر رشد ابریشم (کاکل بلال) و افزایش سقط دانه، افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی و انتقال مجدد و تخلیه پی‌درپی ذخایر ساقه (مواد فتوسنتزی) و در نهایت منجر به کاهش زیتوده و عملکرد دانه گیاه می‌شود (۶). کاربرد باکتری و قارچ به تنهابی و به صورت همزمان توانسته اثرات منفی سطوح پایین تنش خشکی بر

1- Subramanian *et al.*
2- Pandy *et al.*

جدول (۲) اثر کاربرد قارچ میکوریز، باکتری و تنش خشکی بر سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت.

Table (2) Effect of mycorrhizal fungi, bacterium and drought stress on leaf area, wet and dry weight of shoots and roots of maize

وزن خشک ریشه (Dry weight of root) (g pot^{-1})	وزن تر ریشه (Wet weight of root) (g pot^{-1})	وزن خشک اندام هوایی (Dry weight of shoot) (g pot^{-1})	وزن تر اندام هوایی (Wet weight of shoot) (g pot^{-1})	سطح برگ (Leaf area) (cm^2)	تیمار
6.2 c-f	45.3 e-f	30.9 e	78.2 de	61.1 b-e*	G_0 B_0 S_0
5.9 c-f	45.0 d-f	30.3 e	73.4 ef	59.8 c-e	G_0 B_0 S_1
5.7 d-f	34.7 ef	30.2 e	71.0 e-g	59.3 c-e	G_0 B_0 S_2
3.0 f	26.6 f	24.8 f	56.9 h	48.0 e	G_0 B_0 S_3
8.2 b-d	57.2 b-d	36.0 c	92.2 bc	65.9 a-e	G_0 B_1 S_0
6.7 c-e	55.7 cd	35.4 cd	90.4 b-d	63.1 b-e	G_0 B_1 S_1
6.3 c-e	48.7 c-e	30.9 e	80.3 c-e	62.0 b-e	G_0 B_1 S_2
4.0 ef	32.4 ef	25.2 f	59.8 gh	52.1 ed	G_0 B_1 S_3
9.0 a-c	66.6 a-c	43.0 b	117.0 a	72.7 a-c	G_1 B_0 S_0
8.5 b-d	57.5 b-d	38.1 c	94.9 b	67.3 a-d	G_1 B_0 S_1
6.4 c-e	55.2 cd	31.4 ed	84.1 b-d	62.1 b-e	G_1 B_0 S_2
4.1 ef	33.5 ef	27.4 ef	60.5 f-h	58.1 c-e	G_1 B_0 S_3
12.0 a	78.8 a	48.3 a	130.4 a	80.9 a	G_1 B_1 S_0
11.2 ab	76.8 ab	45.3 ab	127.3 a	77.0 ab	G_1 B_1 S_1
10.9 ab	67.6 a-c	44.4 ab	127.0 a	74.5 a-c	G_1 B_1 S_2
4.3 ef	33.6 ef	28.3 ef	62.1 f-h	58.9 c-e	G_1 B_1 S_3

*اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک کوچک هستند از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different using LSD test (P<0.05).

G_0 (تلقیح نشده با قارچ non inoculated with fungus) ، G_1 (*تلقیح شده با قارچ گلوموس اینترارادیسز* inoculated with *Glomus intraradices*)، B_0 (تلقیح نشده با باکتری non inoculated with bacterium)، B_1 (*تلقیح شده با باکتری سودوموناس فلورسنس* *Pseudomonas fluorescens* bacterium inoculated with)، S_0 (شاهد بدون تنش without water stress)، S_1 (تنش ۷۵٪FC stress)، S_2 (تنش ۵۰٪ FC stress) و S_3 (تنش ۲۵٪ FC stress)

پارامترهای مورفولوژیک گیاه را کاهش دهد. سوبرامانیان و همکاران (۲۸) دریافتند که تنش خشکی اسیمیلاسیون قند را به میزان ۳۵-۳۲ درصد در ساقه‌های گیاهان میکوریزی نشده و تا ۵۰-۶۶ درصد در ساقه‌های گیاهان میکوریزی شده در ارقام حساس و مقاوم به تنش خشکی افزایش می‌دهد. افزایش تولید قند در گیاهان میکوریزی می‌تواند باعث کاهش اکسایش نوری کلروفیل نیز شود. وامرالی و همکاران[1] (۲۹) گزارش کردند که افزایش ماده خشک اندام هوایی در تلقیح با قارچ میکوریز در مقایسه با عدم تلقیح احتمالا به دلیل افزایش مقدار آب و غلظت مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی می‌باشد. در شرایط تنش خشکی، کلنیزاسیون ریزوسفر گیاه با ریزموجودات مفید و

1- Vamerali *et al*.

محرک رشد گیاه، روابط آبی گیاه میزبان را بهبود می-بخشد (۱۳). سازوکارهای ممکن شامل افزایش هدایت هیدرولیکی (۱۰)، افزایش سرعت تنفس و کاهش مقاومت اسمزی(۵)، کاهش قابلیت ارتجاعی برگ (۳)، افزایش پتانسیل‌های آب و آماس برگ (۴) و افزایش طول و عمق ریشه (۱۵) می‌باشد.

کلنیزاسیون ریشه گیاه

در شرایط عدم حضور قارچ و باکتری، با افزایش تنش خشکی درصد کلنیزاسیون ریشه تغییر معنی‌دار نیافت. کاربرد باکتری به تنهایی تاثیر معنی‌داری بر درصد کلنیزاسیون ریشه نداشت. با کاربرد قارچ به تنهایی و تلقیح همزمان گیاه با قارچ و باکتری، افزایش معنی‌داری در درصد کلنیزاسیون ریشه به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج نشان دهنده این موضوع است که پتانسیل مایه تلقیح قارچ برای کلنیزه نمودن ریشه گیاه در مقایسه با قارچ‌های بومی خاک بالا بوده است. بالاترین درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه (۹۰ درصد) در تیمارهای کاربرد همزمان قارچ و باکتری به‌دست آمد (جدول ۳). اثرات هم افزایی قارچ-های میکوریزی و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر درصد کلنیزاسیون ریشه گیاهان از طریق سازوکارهای مختلف می‌باشد. این سازوکارها شامل تاثیر بر میزان تمایل و پذیرش ریشه نسبت به قارچ، رشد و جوانه زنی اسپورها، و هم‌چنین تغییر ترشحات ریشه‌ای در محیط ریزوسفر می‌باشد (۲۶). قورچیانی و همکاران (۱۴) گزارش دادند که تلقیح همزمان گیاه ذرت با قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* کلنیزاسیون ریشه را افزایش داده است. هم‌چنین بیان کردند که تیمار تنش خشکی و استفاده از ریز موجودات حل کننده فسفات توانست درصد کلنیزاسیون ریشه را نسبت به تیمار آبیاری طبیعی و عدم استفاده از ریز موجودات حل کننده فسفات به طور معنی‌داری افزایش دهد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

جذب عناصر غذایی کم مصرف

اثر تیمارها بر جذب عناصر غذایی در سطوح مختلف تنش خشکی معنی‌دار نبود (جدول۳). با این وجود، با افزایش سطوح تنش خشکی، میزان جذب آهن و منگنز کاهش، ولی میزان جذب روی و مس افزایش یافت (جدول ۳). دلیل تغییرات در جذب عناصر شاید داشتن اثرات متقابل با یکدیگر و داشتن سیستم جذب و انتقال یکسان باشد (۲۰). از دلایل افزایش جذب مس توسط گیاه در شرایط تنش خشکی، می‌توان تجزیه ماده آلی و رهاشدن مس در اثر شرایط تر و خشک شدن متوالی خاک را ذکر کرد. بین روی با آهن و منگنز اثر متقابل منفی وجود دارد، به‌طوری‌که با افزایش میزان روی، جذب عناصر منگنز و آهن کاهش می‌یابد (۲۰). داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که گیاهان تلقیح شده با قارچ و باکتری در سطح بدون تنش خشکی بیشترین جذب آهن (۴۳۰۲ میکروگرم در گلدان) و منگنز(۲۱۵۲ میکروگرم در گلدان) را دارا می‌باشند. بیشترین جذب روی (۱۳۹۷ میکروگرم در گلدان) و مس (۱۴۶ میکروگرم در گلدان) در تیمارهای دارای کاربرد همزمان قارچ و باکتری و در سطح ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه به‌دست آمد (جدول ۳).

کاریس و همکاران[1] (۷) اظهار می‌دارند که ریشه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار می‌توانند آهن خاک را متحرک و آن را از خاک جذب نماید و به گیاه انتقال دهد. سازوکاری را که برای این کار بیان می‌کنند، ترشح ترکیبات کلات‌کننده آهن توسط قارچ میکوریز و نفوذ ریسه‌های قارچ میکوریز به قسمت‌هایی از خاک که ریشه گیاهان قادر به نفوذ نیستند، می‌باشد. اثرات مستقیم قارچ-های میکوریز آربوسکولار بر جذب عناصر غذایی معدنی از خاک به وسیله هیف‌های قارچی و انتقال ثانویه به گیاه، برای عناصر کم مصرف مانند روی (۹)، مس(۲۲)، آهن (۷) و منگنز (۲۱) گزارش شده است. کاربرد قارچ

1- Caris *et al*.

جدول (۳) اثر کاربرد قارچ میکوریز، باکتری و تنش خشکی بر کلنیزاسیون ریشه، جذب کل آهن، منگنز، روی و مس در اندام هوایی گیاه ذرت.

Table (3) Effect of mycorrhizal fungi, bacterium and drought stress on root colonization, shoot Fe, Mn, Zn and Cu uptake of maize

جذب مس (Cu uptake) (µg pot^{-1})	جذب روی (Zn uptake) (µg pot^{-1})	جذب منگنز (Mn uptake) (µg pot^{-1})	جذب آهن (Fe uptake) (µg pot^{-1})	کلنیزاسیون ریشه (Root colonization) (%)	تیمار
75.5 g	724.4 f	1283.3 e-f	2190.9 bc	14.3 d*	G_0 B_0 S_0
81.5 g-f	835.0 e-f	1243.2 e-f	1961.7 bc	11.6 d	G_0 B_0 S_1
91.1 e-g	862.1 d-f	1190.2 f	1785.5 c	11.1 d	G_0 B_0 S_2
96.8 d-g	878.2 d-f	1153.7 f	1748.1 c	9.1 d	G_0 B_0 S_3
102.2 c-g	888.6 e-f	1554.7 b-f	2441.1 a-c	24.6 d	G_0 B_1 S_0
105.9 b-g	900.9 d-f	1425.1 c-f	2325.7 a-c	23.3 d	G_0 B_1 S_1
108.5 b-g	928.5 c-f	1405.8 c-f	2247.0 bc	19.7 d	G_0 B_1 S_2
112.2 a-f	955.2 b-f	1303.1 d-f	2206.8 bc	17.6 d	G_0 B_1 S_3
113.2 a-f	995.8 b-e	1848.8 a-c	۲٤٤۱/۱ a-c	83.1 a-c	G_1 B_0 S_0
113.8 a-f	1009.0 b-e	1820.6 a-c	2812.6 a-c	48.7 a-c	G_1 B_0 S_1
122.6 a-e	1087.4 b-d	1779.3 a-d	2791.4 a-c	68.4 bc	G_1 B_0 S_2
131.5 a-d	1097.6b-d	1558.0 b-f	2580.9 a-c	62.0 c	G_1 B_0 S_3
132.6 a-c	1169.0 a-c	2152.0 a	4302.2 a	92.0 a	G_1 B_1 S_0
134.8 a-c	1179.3 ab	1902.6 ab	3895.2 ab	88.3 ab	G_1 B_1 S_1
138.5 ab	1187.4 ab	1866.4 a-c	3696.8 a-c	86.4 ab	G_1 B_1 S_2
146.3 a	1397.9 a	1675.4 a-e	2622.5 a-c	67.6 bc	G_1 B_1 S_3

*اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک کوچک هستند از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different using LSD test (P<0.05).

G_0 (تلقیح نشده با قارچ non inoculated with fungus) ، G_1 (*تلقیح شده با قارچ گلوموس اینترارادیسز* inoculated with *Glomus intraradices*)، B_0 (تلقیح نشده با باکتری non inoculated with bacterium)، B_1 (*تلقیح شده با باکتری سودوموناس فلورسنس* bacterium *Pseudomonas fluorescens* inoculated with)، S_0 (شاهد بدون تنش without water stress)، S_1 (تنش ۷۵٪FC stress)، S_2 (تنش ۵۰٪ FC stress) و S_3 (تنش ۲۵٪ FC stress)

میکوریز و باکتری به طور معنی‌داری جذب روی و مس را افزایش داد. در مجموع تحت شرایط غلظت‌های پایین عناصر غذایی در خاک، بهبود در تغذیه معدنی گیاهان زراعی توسط ریزجانداران مفید و محرک رشد گیاه را می‌توان به عواملی نظیر: جذب عناصر غذایی قابل دسترس از طریق همزیستی میکوریزی، اختلاف جذب فسفر در هیف و ریشه از طریق میل بالا به این عنصر (ثابت میکائلیس کوچکتر)، تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در ریشه‌های کلنیزه شده توسط ریزجانداران، ایجاد تغییرات در شرایط ادافیک خاک (مانند اسیدیته و سایر متغیرهای خاک) جهت ایجاد شرایط مطلوب برای کلنیزاسیون ریزجانداران، حلالیت و

تحرک عناصر غذایی، تاثیر بر سایر جوامع میکروبی خاک و بهبود چرخه عناصر غذایی نسبت داد (۱۵).

نتیجه‌گیری

با افزایش تنش خشکی تا سطح ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه کلیه پارامترهای مورد اندازه گیری(سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، کلنیزاسیون ریشه، جذب عناصر غذایی کم مصرف) بجز وزن تر و خشک اندام هوایی کاهش معنی‌دار یافت. کاربرد باکتری و قارچ به تنهایی و به صورت همزمان اثرات منفی سطوح پایین تنش خشکی بر پارامترهای مورفولوژیک گیاه را کاهش داد. با کاربرد قارچ به تنهایی، و تلقیح همزمان گیاه با قارچ و باکتری، افزایش معنی‌داری در درصد کلنیزاسیون ریشه به‌دست آمد. کاربرد همزمان قارچ و باکتری جذب عناصر غذایی کم مصرف بجز جذب آهن را تا سطح ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه در مقایسه با تیمارهای تلقیح نشده با قارچ و باکتری افزایش معنی‌دار داد.

سپاس‌گزاری

از دانشگاه شیراز به خاطر فراهم نمودن امکانات وایجاد تسهیلات لازم برای انجام این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می شود.

منابع

1. Abduelafez, I., Moragues, M., Elamari, A.A., Buchleiter, G., and Stromberger, M. 2011. Growth promotion of winter wheat under drought stress by ACC deaminase positive bacteria. Annual meeting of the Soil Science Society of America, San Antonio, TX, October 16-19, 2011.
2. Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M.R., and Salimi, G. 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and Bradyrhizobium japonicum on drought stress of soybean. Biologia. 61: 324-328.
3. Auge R.M., Sheicel K.A., and Wample, R.L. 1987b. Leaf water and carbohydrate status of VA mycorrhizal rose exposed to drought stress. Plant and Soil, 99: 291-302.
4. Auge, R.M., Sheicel, K.A., and Wample, R.L. 1987a. Rose leaf elasticity changes in response to mycorrhizal colonization and drought acclimation. Physiologia Plantarum, 70: 175-182.
5. Bethlenfalvay, G.J., Brown, M.S., Ames, R.N., and Thomas, R.E. 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. Physiologia Plantarum, 11: 565-S71.
6. Boomsma, C.R., and Vyn T.J. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. Field Crops Research, 108: 14-31.
7. Caris, C., Hordt W., Hawkins H.J., Romheld V., and George E. 1998. Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. Mycorrhizae, 8: 35-39.
8. Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis (2nd ed). CRC Press.Boca Raton, FL. P.1204
9. Chen, B.D., Li, X.L., Tao, H.Q., Christie, P., and Wong, M.H. 2003. The role of arbuscular mycorrhiza in zinc uptake by red clover growing in calcareous soil spiked with various quantities of zinc. Chemosphere, 50(6): 839-846.

10. Cooper, K.M. 1984. Physiology of VA mycorrhizal associations. pp. 155-186. In: VA Mycorrhiza, Powell, C. L., and D. J. Bagyaraj (eds). CRC Press, Boca Raton, Fl.

11. Copetta, A., Lingua G., and Berta, G. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. Mycorrhiza, 16: 485-494.

12. Emamei, A., 1995. Methods of Plant Analysis, Volume 1, Issue No.982, Water and Soil Research Institute.(in Persian).

13. Fitter, A.H. 1985. Functioning of vesicular-arbuscular mycorrhizas under field conditions. New Phytology, 99: 257-265.

14. Ghorchiani, M., Akbari, G., Alikhani, H.A., Allahdadi, I., and Zarei, M., 2011. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi and Pseudomonas florescence bacterium on the ear traits, chlorophyll content and yield of *Zea mays* L. under moisture stress conditions, Water and Soil Science, 21:97-114.(in Persian with English abstract).

15. Giasson P., Karam A., and Jaouich A. 2008. Arbuscular mycorrhizae and alleviation of soil stresses on plant growth. Pp. 99-134. In: Siddiqui Z. A, Akhtar M. S. and Futai, K. (eds) Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

16. Henri, F., Laurette N.N., Annette D., John Q., Wolfgang M., François-Xavier E. and Dieudonné N. 2008. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains *of Pseudomonas fluorescens* isolated from acidic soils of Cameroon. African Journal of Microbiology Research, 2: 171-178.

17. Khaosaad, T., Vierheilig, H., and Nell, M. 2006. Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). Mycorrhizae, 16: 443-446.

18. Kormanik, P.P., and McGraw, A.C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant root. Pp. 37-45. In: Schenk N .C (ed), Methods and principles of mycorrhizal reseach, The American Phytopathological Society, St.Paul.

19. Kramer, P.J. 1969. Plant and soil water relationship. A modern synthesis, McGraw.Hill, New York. pp. 482.

20. Leon, V., and Kochain. L. 1991. Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plant. Pp. 229-285. In: Mortvelt, J. J., F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch (eds). Micronutrient in Agriculture. 2nd ed. American Society of Agronomy. Madison, Wl.

21. Liu, A., Hamel C., Hamilton R. I., Ma B. L., and Smith D. L. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. Mycorrhizae, 9: 331-336.

22. Mohammad, M.J., and Malkawi H.I. 2004. Root, shoot and nutrient acquisition responses of mycorrhizal and nonmycorrhizal wheat to phosphorus application to highly calcareous soils. Asian Journal of Plant Science, 3 (3): 363-369.

23. Neue siete 1. 2008. Phylogeny and taxonomy of Glomeromycota http://schuessler.userweb.mwn.de/amphyl, (accessed April 2015).

24. Nezarat, C., and Gholami, A. 2009. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on agronomic traits of maize under water stress, 11th Iranian Soil Science Congress, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.(in Persian).

25. Pandy, A., Sharma, E., and Plani, L. K. S. 1998. Influence of bacterial inculation on maize in upland farming systems of the Sikkim Himalaya. Soil Biology and Biochemistry, 30(3): 379-384.

26. Saadat A, Savaghebi, G.h. R., Rejali, F., Khavazei, K., and Shirmardi, M. 2009. The evaluation of some plant growth promoting *Pseudomonas fluorescence* strains and arbuscular mycorrhizal fungi on root colonization of wheat (Cistan and Chamran cultivars).11th Iranian Soil Science Congress, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.(in Persian).

27. Sepaskhah, A.R., and Yarami, N. 2009. Interaction effects of irrigation regime and salinity on flower yield and growth of saffron, Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 84 (2) :216-222.

28. Subramanian, K.S., Charest, C., Dwyer, L.M., and Hamilton, R.I. 1997. Effects of arbuscular mycorrhiza on leaf water potential, sugar content and P content during drought and recovery of maize. Canadian Journal of Botany, 75: 1582–1591.

29. Vamerali, T., Saccomani, M., Mosca, S., Guarise, N., and Ganis, A. 2003. A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. Plant and Soil, 255: 157- 167.

30. Vyas, P., and Gulati, A. 2009. Stress tolerance and genetic variability of phosphate solubilizing *Pseudomonas fluorescens* from the cold deserts of the trans-Himalayas. Microbiology Ecollogy, 58: 425-434.

31. Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., and Wong, M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma, 125: 155-166.