

بررسی تأثیر قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاه جو *Hordeum vulgare* L. به تنش شوری

مژگان سپهری^{۱*}، ناهید صالح راستین^۲، قاسم حسینی سالکده^۳ و مجتبی خیام نکویی^۲

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۷ - تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۱

چکیده

تنش‌های محیطی از جمله شوری، مهمترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی در سراسر جهان هستند. اندوفیت‌های میکروبی که از مهمترین میکروارگانیسم‌های خاک محسوب می‌شوند، با ایجاد تغییرات ژنتیکی، فیزیولوژیکی و اکولوژیکی در گیاهان میزبان خود، عملکرد آنها را در واحد سطح افزایش می‌دهند و امکان توسعه کشت آنها را در خاک‌های شور، خشک یا اقلیم‌هایی با تنش‌های غیرزیستی و زیستی فراهم می‌آورند. قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* دارای خاصیت شدید برانگیختگی رشد گیاه و افزایش مقاومت آن به تنش‌های محیطی، از جمله شوری، خشکی و بیماری‌های گیاهی می‌باشد. این پژوهش به بررسی توان قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* در بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) به تنش شوری می‌پردازد. بدین منظور، آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تیمار شامل ۲ سطح قارچ (تلقیح و عدم تلقیح) و ۴ سطح شوری (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ mM NaCl) انجام گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهد که قارچ *P. indica* سبب افزایش ماده زنده قسمت‌های هوایی و ریشه گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان شاهد می‌شود. علاوه بر فعالیت تحریک‌کنندگی رشد گیاه توسط قارچ *P. indica*، نتایج حاصل از این پژوهش بر نقش مؤثر این قارچ در بهبود رشد و عملکرد گیاه جو تحت شرایط تنش شوری دلالت دارد. بهره‌گیری از این قارچ به‌عنوان عامل محرک رشد گیاه در تولید کود بیولوژیک و امکان کاربرد گسترده آن برای انواع گیاهان زراعی، نقش مهمی در نیل به کشاورزی پایدار ایفا می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: *Piriformospora indica*، تنش شوری.

۱- دانشجوی دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، *نویسنده مسئول sepehri_mn@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

۳- دانشیار، موسسه تحقیقات بیوتکنولوژی کشاورزی ایران

مقدمه

شوری از شایع‌ترین تنش‌های محیطی است که با محدود نمودن رشد و نمو گیاه، تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی را به مخاطره می‌اندازد. خاک‌های شور به طور گسترده‌ای در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک کره زمین، که کشور ایران نیز جزئی از آن محسوب می‌گردد، پراکنده شده‌اند. طبق آمارهای موجود، از ۱۶۵ میلیون هکتار از کل اراضی ایران، ۲۵ میلیون هکتار آن شور بوده و یا به نوعی دچار برخی مسائل شوری می‌باشند (۱). بخش وسیعی از زمین‌های زیر کشت محصولات عمده کشاورزی، همانند گندم و جو در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران قرار گرفته است و این گیاهان در معرض شرایط نامطلوب محیطی مانند شوری و خشکی قرار دارند. از این‌رو، افزایش توان گیاهان برای تحمل تنش‌های محیطی ناشی از کمبود آب و حضور املاح اضافی در خاک، از نظر افت عملکرد مهم می‌باشد. روش‌های بیولوژیک مبتنی بر استفاده از پتانسیل ارگانسیم‌های مفید خاکزی در برقراری روابط همزیستی با گیاهان، نقش مؤثری در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی بر عهده دارند. اندوفیت‌های میکروبی که از مهمترین میکروارگانسیم‌های خاک محسوب می‌شوند، با ایجاد تغییرات ژنتیکی، فیزیولوژیکی و بوم‌شناختی در گیاهان میزبان خود، عملکرد آنها را در واحد سطح افزایش می‌دهند و امکان توسعه کشت آنها را در خاک‌های شور، خشک یا اقلیم‌هایی با تنش‌های غیر زیستی و زیستی فراهم می‌آورند (۴). قارچ *Piriformospora*

indica از قارچ‌های اندوفیت است که در سال ۱۹۹۸ توسط وارما و همکاران از خاک ریزوسفری گیاهان خشکی‌پسند کهور (*Prosopis juliflora*) و کنار (*Zizyphus nummularia*) از صحرای تار^۱ ایالت راجستان^۲ کشور هندوستان جداسازی شد (۱۱).

اثرات مثبت ناشی از برقراری همزیستی قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر بقا و افزایش رشد گیاهان میزبان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان که با دو معضل عمده خشکی و شوری روبرو هستند، توجه پژوهشگران را به خود جلب نموده است. جمع‌آوری جدایه‌های مختلف این قارچ از خاک مناطق بیابانی و مراتع و استفاده از آنها به عنوان یکی از ذخایر ژنتیکی مهم مناطق مذکور در برنامه‌های به‌زراعی، در رأس این پژوهش‌ها قرار دارد، و از این راه می‌توان از پتانسیل بالای مراتع و بیابان‌ها نیز در جهت نیل به کشاورزی پایدار استفاده کرد. اهمیت برقراری ارتباط همزیستی قارچ *Piriformospora indica* با گیاهان مختلف در تحریک رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد آن و نیز افزایش توان تحمل گیاه به تنش‌های شوری، خشکی و عوامل بیماری‌زای ریشه و برگ توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است (۵، ۷، ۸). بنابراین، این پژوهش با هدف استفاده از توان قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* در بهبود

1 -Thar

2 -Rajasthan

داده شدند تا امکان اتصال اسپوره‌های قارچ به سطح ریشه‌چه فراهم شود، سپس تعداد ۸ گیاهچه تلقیح شده با قارچ در داخل هر گلدان کاشته شد. لازم به ذکر است که در مورد تیمارهای شاهد، بذره‌های جوانه‌دار شده جو بدون تلقیح با اسپوره‌های قارچ در گلدان‌های حاوی بستر کشت کاشته شدند. گلدان‌ها پس از کشت، به اتاق رشد با طول دوره روشنایی ۱۶ ساعته و با بیشینه دمای روزانه ۲۲ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد، دمای شبانه کمینه ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد به مدت چهار هفته منتقل شدند و با محلول آبپاری Wuxal Top N (N/P/K:12/4/6) آبیاری شدند. پس از گذشت یک هفته از کاشت گیاهان، نمونه‌برداری از ریشه گیاهان تلقیح شده برای تعیین میزان آلودگی ریشه با قارچ صورت پذیرفت. اعمال تنش شوری پس از ۱۰ روز از کاشت گیاهان انجام شد، بدین صورت که برای جلوگیری از اثرات اسمزی مربوط به شوری، اعمال تنش به صورت تدریجی و در طی یک هفته صورت پذیرفت. اعمال تنش شوری به این صورت انجام شد که پس از محاسبه مقدار نمک کلرید سدیم مورد نیاز برای اعمال هر یک از تیمارهای شوری، مقدار نمک محاسبه شده در سه نوبت همراه با آب آبیاری به گلدان‌هایی که کف آنها مسدود شده بود و امکان خروج نمک همراه با آب آبیاری وجود نداشت، اضافه شد. پس از گذشت سه هفته از اعمال تنش و صفاتی همچون ارتفاع اندام هوایی و تعداد پنجه، نمونه‌برداری از اندام‌های گیاه (برگ و ریشه) اندازه‌گیری شد. پس از تعیین وزن تر نمونه‌های گیاهی

رشد و افزایش مقاومت گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) به تنش شوری انجام شده است.

مواد و روش‌ها

تکثیر و تولید مایه تلقیح قارچ *P. indica*

تولید مایه تلقیح قارچ برای آلوده‌ساختن ریشه گیاه، مستلزم وجود تعداد کافی اسپور قارچ است، لذا با تهیه تعداد کافی پتری دیش محتوی محیط کشت پیچیده^۱، جدایه قارچی مذکور کشت داده شد و در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد درون انکوباتور به مدت ۴ هفته نگهداری شد. پس از سپری شدن مدت زمان لازم جهت تولید اسپور، مقدار ۵۰ میلی‌لیتر محلول آب-توئین ۲۰ درصد به هر پتری دیش افزوده شد و پس از جمع‌آوری اسپوره‌های قارچی موجود در هر پتری دیش، تعداد آنها با استفاده از لام نئوبار شمارش شد.

کشت گیاه و اعمال تیمارها

برای بررسی توان تحریک‌کنندگی رشد قارچ *P. indica* و تأثیر آن در افزایش مقاومت گیاه جو به تنش‌های شوری و خشکی، آزمایش گلخانه‌ای در گلدان‌های چهار کیلوگرمی با استفاده از مخلوطی از ماسه و پرلیت استریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۴ سطح شوری (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ NaCl mM) و ۲ سطح قارچ (*P. indica*) (تلقیح و عدم تلقیح) بودند. ابتدا بذره‌های جوانه‌دار شده جو با مقداری مایه تلقیح قارچ حاوی ۱۰۵×۵ ml-1 اسپور تلقیح و به مدت ۴ ساعت بر روی شیکر با دور آرام قرار

اندامک‌های کروی^۱ تولید می‌کند که به نظر می‌رسد نقشی معادل وزیکول در قارچ‌های میکوریزی را به عهده دارند (شکل ۲).

مقایسه شاخص‌های فیزیولوژیک گیاهان شاهد و تلقیح شده با قارچ *P. indica* در شرایط تنش شوری

مقایسه صفات فیزیولوژیکی گیاهان شاهد و تلقیح شده با قارچ در سطوح مختلف شوری، مستلزم بررسی و مطالعه اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی (قارچ و شوری) بر صفات مذکور است. تجزیه واریانس یافته‌های این پژوهش (جدول ۱) نشان می‌دهد که از بین صفات فیزیولوژیکی مختلف، اثرات متقابل شوری و قارچ تنها بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه و نیز مقدار سدیم آنها معنی‌دار شده است که به بررسی و تفسیر آنها پرداخته می‌شود.

برداشت شده، نمونه‌های مذکور به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک آنها نیز محاسبه گردید. همچنین مقدار سدیم و پتاسیم قسمت هوایی گیاه و ریشه نیز اندازه‌گیری شد (۴).

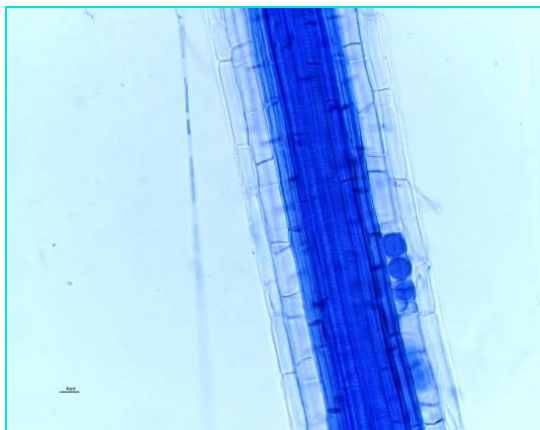
به منظور مقایسه گیاهان شاهد و تلقیح شده با قارچ *P. indica*، تجزیه آماری نتایج حاصل از اندازه‌گیری نمایه‌های فیزیولوژیکی نظیر وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، مقدار سدیم و پتاسیم اندام هوایی و ریشه (اندازه‌گیری شده توسط دستگاه فلم‌فوتومتر) با استفاده از نرم‌افزار SAS 6.12، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی انجام شد. همچنین، میانگین تیمارها با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج

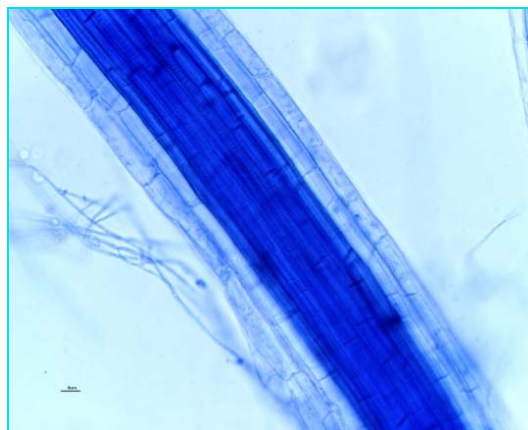
- بررسی توان آلوده‌سازی ریشه توسط قارچ

Piriformospora indica

مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته بر روی ریشه گیاهان تلقیح شده با اسپوره‌های قارچ *Piriformospora indica*، حاکی از توان بالای این قارچ در آلوده‌نمودن ریشه گیاه میزبان می‌باشد، به طوری که انبوهی از ریشه‌های برون ریشه‌ای حاصل از رشد اسپوره‌های قارچ در سطح خارجی و بخش کورتکس ریشه مشاهده می‌شود (شکل ۱). قارچ *P. indica* در داخل کورتکس ریشه، علاوه بر توسعه ریشه، اندامی اختصاصی به نام



شکل ۲: اجسام کروی موجود در بافت کورتکس ریشه

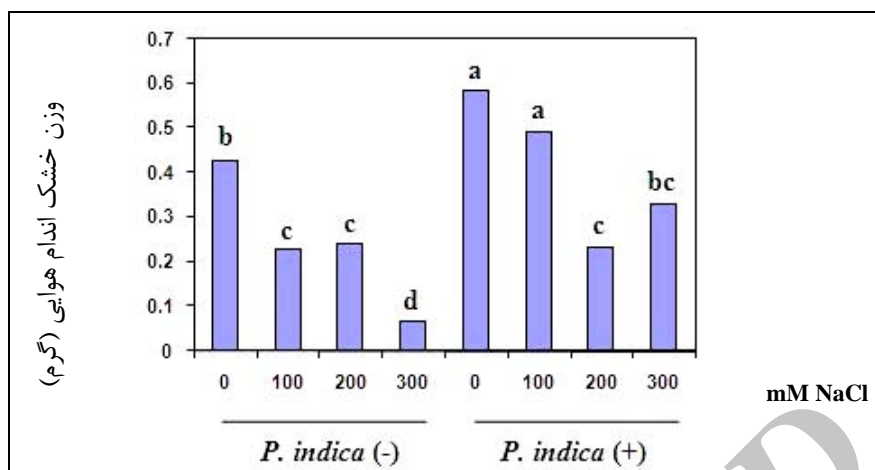


شکل ۱: هیفهای قارچی حاصل از تندش اسپور

گیاهان تلقیح نشده داشته است. بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک بخش هوایی گیاهان شاهد (تلقیح نشده)، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار مقدار این صفت در سطوح پایین و متوسط شوری است. به عبارت دیگر، دو برابر شدن مقدار شوری تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر مقدار وزن خشک برگ این گیاهان نداشته است، اما در مورد گیاهان تلقیح شده با قارچ، افزایش شوری به میزان ۲ برابر سبب کاهش صفت مذکور به مقدار ۵۳ درصد شده است. بر عکس حالت فوق‌الذکر، افزایش شوری از سطح 200 mM NaCl به سطح 300 mM NaCl تأثیر کاهشی قابل توجهی بر وزن خشک بخش هوایی گیاهان تلقیح نشده با قارچ داشته است، به طوری که میزان اختلاف صفت مذکور در این سطوح از شوری بسیار قابل توجه ($71/5$ درصد) است.

وزن خشک اندام هوایی

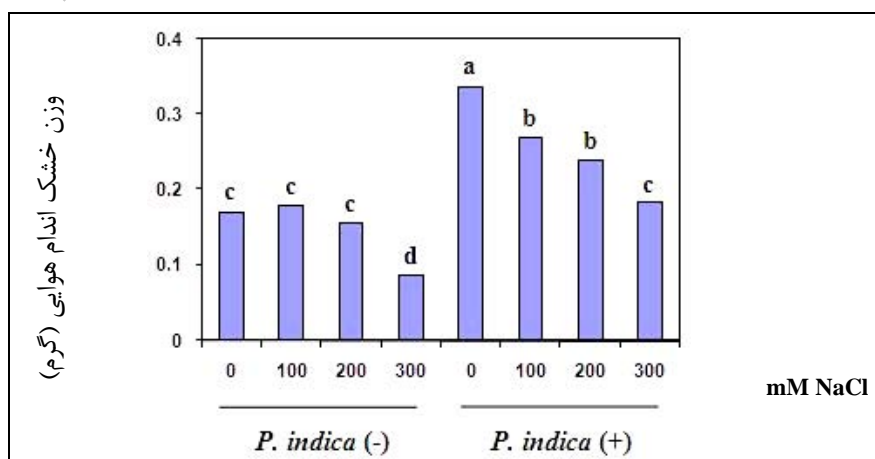
نتایج به دست آمده بیانگر آن است که افزایش شوری سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی گیاهان تلقیح شده با قارچ و گیاهان شاهد می‌شود، تنها استثناء مشاهده شده در این مورد مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاهان تلقیح شده در تیمار 300 میلی‌مولار کلرید سدیم است که نسبت به تیمار 200 میلی‌مولار این نمک افزایش یافته، هر چند این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. همانگونه که نمودار ۱ نشان می‌دهد، مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاهان شاهد و تلقیح شده در تیمارهای شاهد و 100 mM NaCl دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگر می‌باشند، اما تفاوت مقدار این صفت در گیاهان شاهد و تلقیح شده به ترتیب ۴۶ و ۱۶ درصد می‌باشد. به بیان دیگر اعمال تنش شوری به مقدار 100 میلی‌مولار کلرید سدیم تأثیر سوء بیشتری بر



نمودار ۱: مقایسه وزن خشک اندام هوایی گیاهان شاهد و تلقیح شده با قارچ در شرایط تنش شوری

وزن خشک ریشه که کاهش مقدار وزن خشک ریشه گیاهان شاهد در بالاترین سطح شوری نسبت به پایین‌ترین سطح آن حدود ۵۱ درصد است در حالیکه، در گیاهان تلقیح شده این مقدار به ۳۱٪ تنزل می‌یابد. بررسی مقدار وزن خشک ریشه در هر یک از سطوح شوری نشان می‌دهد که مقدار صفت مذکور در گیاهان تلقیح شده به‌طور قابل توجهی از گیاهان شاهد بیشتر است، به‌طوری که وزن خشک ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ در سطح پایین، متوسط و بالای شوری در مقایسه با گیاهان شاهد ۴۹/۶، ۵۴/۳ و ۱۱۰ درصد بیشتر است.

نتایج حاصل از مقایسه گیاهان تلقیح شده با قارچ و گیاهان شاهد، بیانگر روند کاهشی وزن خشک ریشه در اثر افزایش شوری است، به‌طوری که کمترین مقدار این صفت در بالاترین سطح شوری مشاهده می‌گردد. همانگونه که نمودار ۲ نشان می‌دهد، مقدار وزن خشک ریشه گیاهان شاهد و تلقیح شده در سطوح پایین (۱۰۰ mM NaCl) و متوسط (۲۰۰ mM NaCl) شوری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند، اما تفاوت میزان این صفت در سطح بالای شوری (۳۰۰ mM NaCl) نسبت به دیگر سطوح معنی‌دار است، به‌طوری

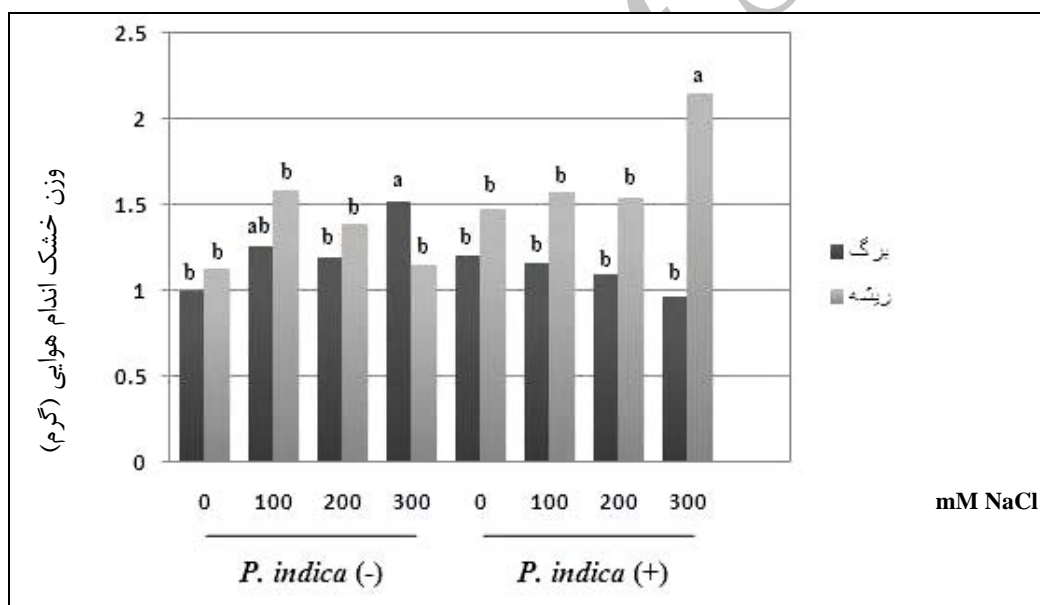


نمودار ۲: مقایسه وزن خشک ریشه گیاهان شاهد و تلقیح شده با قارچ در شرایط تنش شوری

مقدار سدیم و پتاسیم ریشه و برگ

نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهند که مقدار سدیم ریشه گیاهان شاهد در سطوح مختلف شوری دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نیستند، اما در مورد گیاهان تلقیح شده، اختلاف تیمار mM NaCl ۳۰۰ با سایر تیمارها معنی‌دار است. اعمال ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب بروز اختلاف معنی‌دار بین مقدار سدیم برگ گیاهان شاهد در شرایط شور نسبت به شرایط بهینه از نظر شوری می‌شود، به طوری که مقدار

این عنصر به میزان ۲۶٪ افزایش می‌یابد، در حالی که مقدار سدیم موجود در برگ گیاهان تلقیح شده در شرایط شوری پایین نسبت به شرایط بهینه تقریباً ۳/۵ درصد کاهش یافته است. همچنین با افزایش شوری از سطح mM NaCl ۲۰۰ به سطح mM NaCl ۳۰۰ مقدار سدیم بخش هوایی گیاهان شاهد افزایش معنی‌داری (۲۷ درصد) نشان می‌دهد، اما روند تغییر مقدار این عنصر در گیاهان تلقیح شده با قارچ عکس گیاهان شاهد است (نمودار ۳).



نمودار ۳: مقایسه مقدار سدیم ریشه و برگ گیاهان شاهد و تلقیح شده با قارچ در شرایط تنش شوری

جدول ۱: تجزیه واریانس صفات ارزیابی شده در سطوح مختلف شوری و تلقیح با قارچ *P. indica*

میانگین مربعات				ارتفاع اندام هوایی	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی	درجه آزادی	منابع تغییر
پتاسیم اندام هوایی	سدیم اندام هوایی	پتاسیم ریشه	سدیم ریشه						
۰/۳۰	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵۵	۰/۰۶	۶/۶۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۱۳	۳	تکرار
۰/۹۳	۰/۰۹۱	۰/۰۱۷۴	۰/۱۸	۲۱۲/۱۵***	۰/۰۱۹۹***	۰/۱۵۳***	۱/۸۹***	۲	شوری
۳/۳۸*	۰/۱۴۵*	۰/۰۰۰۳	۱/۱۰**	۲۰/۱۳	۰/۰۹۴۸***	۰/۲۲۶***	۱/۲۷*	۱	تلقیح
۰/۷۰	۰/۱۴۴*	۰/۰۱۰۷	۰/۳۹*	۱۱/۹۴	۰/۰۰۲۹*	۰/۰۳۲**	۰/۲۲	۲	شوری × تلقیح
۰/۴۳	۰/۰۴۱	۰/۰۱۰۶	۰/۱۱	۸/۱۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۱۹	۱۵	خطای آزمایش
۱۴/۹۲	۱۶/۸۳	۱۸/۶۵	۲۱/۳۴	۶/۸۴	۱۲/۹۷	۲۰/۲۰	۱۷/۳۲		C.V
۰/۶۶	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۳۳	۲/۸۶	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۴۴		Root MSe

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه در برنامه‌ریزی برای سامانه‌های کشاورزی پایدار، استفاده از همزیستی میکروارگانیسم- گیاه ضرورتی اساسی تلقی می‌شود. حصول به حداکثر بهره‌وری از توان مفید سیستم‌های همزیستی علاوه بر وجود تعداد کافی از سویه‌های میکروبی فعال در ناحیه ریزوسفر، مستلزم افزایش میزان آلودگی ریشه گیاه توسط همزیست میکروبی است تا بتوان از بیشترین توان و ظرفیت آنها استفاده نمود و بازدهی سیستم را افزایش داد (۱۰). نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که قارچ *P. indica* دارای توان بالایی در اشغال ناحیه کورتکس ریشه گیاه میزبان می‌باشد. نحوه کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ *P. indica* به این صورت است که ریشه‌های قارچ پس از برخورد با سلول‌های سطح ریشه، منشعب شده و از انتهای هر انشعاب پس از تشکیل ساختاری به نام آپرسیوم^۱ (اندامی متورم بر روی لوله تندش یا هیف جهت تماس با میزبان در مرحله اولیه آلودگی) بر روی سطح ریشه، ریشه نازکی به درون ریشه نفوذ پیدا می‌کند. پژوهش‌های دیگر، آنزیم‌های هیدرولیتیک مانند کربوکسی متیل سلولاز، گزیلاناز و پلی‌گالاکتوناز را عاملی مؤثر در نفوذ قارچ به درون ریشه می‌دانند، از این رو می‌توان اظهار داشت که نفوذ قارچ به ریشه نتیجه عمل توأم آنزیم‌های مذکور و فشار مکانیکی اعمال شده از طریق آپرسیوم یا یکی از این دو عمل می‌باشد (۳).

بررسی نتایج به دست آمده از این پژوهش بیانگر اهمیت برقراری ارتباط همزیستی قارچ *Piriformospora indica* با گیاه جو در تحریک رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد آن است. مقایسه وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ نسبت به گیاهان شاهد در شرایط بهینه از نظر مقدار شوری خاک (۰mM NaCl)، به خوبی تأیید کننده اثر تحریک‌کنندگی رشد گیاه توسط قارچ است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که تلقیح ریشه گیاه جو با قارچ *P. indica* سبب افزایش مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه به ترتیب به میزان ۳۷ و ۹۷ درصد نسبت به شرایط بدون تلقیح گردید. تأثیر تلقیح قارچ *Piriformospora indica* در افزایش توده زنده گیاهان ذرت (*Zea mays* L.)، تنباکو (*Nicotiana tabacum*)، جعفری (*Petroselinum crispum* L.)، آرتمسیا (*Artemisia annula* L.) و درخت سپیدار (*Bacopa monnieri* L.) توسط ورما و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش شده است. نتایج حاصل از مطالعات آنها حاکی از افزایش توده زنده قسمتهای هوایی و ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ به میزان دو برابر نسبت به گیاهان شاهد تلقیح نشده بود (۱۲). میکروارگانیسم‌های خاک از جمله قارچ‌های اندوفیت با برقراری روابط همیاری و همزیستی در تعامل با گیاهان بوده و با انجام فعالیت‌هایی نظیر تولید انواع بی‌شماری از متابولیت‌ها، تجزیه ترکیبات مختلف آلی، تثبیت نیتروژن جوئی، تولید مواد محرک رشد گیاه، افزایش قابلیت فراهمی

هوایی گیاه عکس این قضیه اتفاق افتاده است بدین صورت که برگ گیاهان تلقیح شده با قارچ دارای کمترین مقدار سدیم است در حالیکه گیاهان شاهد از بیشترین مقدار سدیم در برگ خود برخوردار می‌باشند. به طور کلی قدرت تحمل گیاهان به تنش شوری بستگی به توانایی انطباق ریشه آنها نسبت به نمکهای موجود در محیط دارد، اما ذکر این نکته ضروری است که مقاومت در برابر تنش شوری مستلزم وجود یک مکانیسم متابولیک خاص در گیاه نیست (۹). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که قارچ *P. indica* احتمالاً از راه فعال ساختن مکانیسم‌های ناشناخته فیزیولوژیک یا مولکولی، سبب تجمع یون‌های سدیم در ریشه شده و از ورود آنها به بخش هوایی گیاه ممانعت به عمل می‌آورد و از این طریق سبب کاهش اثرات سوء شوری می‌گردد.

امید است با جمع‌آوری جدایه‌های بومی قارچ *P. indica* به منظور غنی‌تر نمودن بانک میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی ایران و نیز بهره‌گیری از این قارچ در تولید کود بیولوژیک جهت مصرف در مناطق شور، خشک و نیمه‌خشک کشور، بتوان از پتانسیل‌های بالقوه قارچ مذکور در زمینه کشاورزی پایدار استفاده نمود. همچنین با تشخیص ژن‌ها، پروتئین‌ها و مکانیسم‌های فیزیولوژیک دخیل در تحمل تنش‌های محیطی توسط قارچ مذکور گامی مؤثر در جهت اصلاح ژنتیکی گیاهان برای مقاومت به تنش‌های خشکی و شوری برداشت.

عناصر غذایی معدنی برای گیاه، سبب بهبود رشد گیاه می‌گردند (۶).

علاوه بر توان تحریک‌کنندگی رشد گیاه جو توسط قارچ *P. indica*، نتایج حاصل از این تحقیق به خوبی بر نقش مؤثر این قارچ در بهبود رشد و عملکرد گیاه تحت شرایط تنش شوری دلالت دارد. شناخت مکانیسم ایجاد مقاومت در گیاه نسبت به تنش‌های محیطی (شوری، خشکی، عوامل بیماری‌زای گیاهی و ...) توسط قارچ *P. indica* موضوعی درخور توجه است که نظر محققین مختلف را به خود جلب نموده است. والر و همکاران (۲۰۰۵) به تأثیر قارچ مذکور در افزایش عملکرد و مقاومت به تنش شوری در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) اشاره نمودند و به این نتیجه رسیدند که هنگامی که نشاهای جو غیر آلوده به قارچ به مدت دو هفته در معرض غلظت‌های متوسط (۱۰۰mM NaCl) و بالای نمک (۳۰۰mM NaCl) در کشت هیدروپونیک قرار گرفتند، کلروز برگ افزایش و میزان رشد گیاه کاهش یافت. اما تأثیر سوء تنش شوری کاملاً توسط *Piriformospora indica* بازداشته شد، چنانکه گیاهان تلقیح شده با این قارچ، بیومس بیشتری نسبت به گیاهان شاهد تلقیح نشده موجود در همان شرایط تولید کردند (۱۳). بررسی و مقایسه مقدار سدیم موجود در ریشه گیاهان مورد مطالعه در این تحقیق در سطوح مختلف شوری (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ mM NaCl) نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین مقدار سدیم در بالاترین سطح شوری و به ترتیب متعلق به گیاهان شاهد و تلقیح شده می‌باشد، در صورتی که در مورد مقدار سدیم اندام

سیاسگزاری

می‌باشد که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران و مؤسسه تحقیقات بیوتکنولوژی کشاورزی ایران انجام شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

این پژوهش مستخرج از طرح "شناسایی مکانیسم‌های مولکولی مقاومت القاء شده توسط قارچ *Piriformospora indica* به گیاه جو در برابر تنش‌های شوری و خشکی"

منابع

1. Abtahi, A., 1992. the tolerance limitation of plant against to salinity, technical journal, 16, Pedology group, Agricultural faculty, Shiraz University.
2. Bleichert, O., G. Kost, A. Hassel, R. H. Rexer & A. Varma, 1999. A first remarks on the symbiotic interactions between *Piriformospora indica* and terrestrial orchid. In: Varma, A. and Hock, B. eds. Mycorrhizae. 2nd ed. Springer Verlag, Germany, 1999, p.683-688.
3. Bonfante, P. & S. Perotto, 1995. Strategies of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plants. *New phytol.* 130:3-21.
4. Emami, A., 1996. Approaches of plant analysis, Vol.1, technical journal, 982. Water and soil institute
5. Kumari, R., H. Kishan, Y. K. Bhoon & A. Varma, 2003. Colonization of cruciferous plants by *Piriformospora indica*. *Current Science*, 85: 1672-1674.
6. Paul, E. A. & F. E. Clark, 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*, Academic press, London, 275 p.
7. Rai, M., D. Achaya, A. Singh & A. Varma, 2001. Positive growth responses of the medicinal plants *Spilanthes calva* and *Withania somnifera* to inoculation by *Piriformospora indica* in a field trial. 2001. *Mycorrhiza*, 11: 123-128.
8. Rai, M. & A. Varma, 2005. Arbuscular mycorrhiza-like biotechnological potential of *Piriformospora indica*, which promotes the growth of *Adhatoda vasica*. *Electronic Journal of Biotechnology*, 8: 107-111.
9. Shannon, M.C. & C.L. Noble, 1990. Genetic approaches for developing economic salt-tolerant crops. In: Tanji KK, ed. *Agricultural salinity assessment and management*, vol. 71. New York: ASCE. 161-184.
10. Singh, A., J. Sharma, K. H. Rexer & A. Varma, 2000. Plant productivity determinants beyond Minerals, water and light. *Piriformospora indica*: A revolutionary plant growth promoting fungus. *Current Science*. 79: 101-106.
11. Varma, A., S. Savita, N. Sahay, B. Butehorn & Ph. Franken, 1998. *Piriformospora indica*, A cultivable plant-growth-promoting root endophyte. *Applied And Environmental Microbiology*, 65: 2741-2744.
12. Verma, S., A. Varma, K. H. Rexer, G. Kost, A. Sarbhoy, P. Bisen, B. Butehorn & p. Franken, 1998. *Piriformospora indica* gen. et sp. Nov., A new root-colonizing fungus. *Mycologia*, 95: 896-903.
13. Waller, F., B. Achatz & H. Baltruschat, 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt- stress tolerance, disease resistance and higher yield. *PNAS*, 102: 13386-13391.

Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on growth and resistance of *Hordeum vulgare* L. to salinity stress

M. Sepahri^{1*}, N. Saleh Rastin², G. Hossieni Salkedeh³ & M. Khayam Nekouie³

Received: 27 April 2009, Accepted: 23 August 2009

Abstract

Abiotic stresses including salinity are the major limiting factors of growth and crop production worldwide. Microbial endophytes as the most important soil microorganisms, by modifying plants at genetical, physiological and ecological levels increase their yield per area unit and provide the possibility of crop production in saline and arid soils or climates with biotic and abiotic stresses. The endophytic fungus, *Piriformospora indica* has a pronounced growth-promoting activity and also increases plant resistance to environmental stresses including salinity, drought and plant pathogens. This research deals with the potential of *P. indica* to improve growth of barley (*Hordeum vulgare* L.) and increase its resistance to salt stress. The obtained results show that *P. indica* increases the biomass of aerial parts and root of inoculated plant in compared to the controls. In addition to plant growth promoting activity of *P. indica*, the obtained results of this research approved the effective role of this fungus to improve growth and yield of barley under salt stress conditions. Application of this fungus as a plant growth promoting agent in production of biological fertilizers and its wide utilization for crop plants plays an important role to reach the sustainable agriculture.

Key words: *Piriformospora indica*, salt stress, barley.

1 - Assistant Professor, Isfahan University of Technology, *Corresponding author: sephri_mn@yahoo.com

2 - Associate Professor, Soil Science Department, College of Agriculture, University of Tehran

3 - Associate Professor, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran