اثر قارچ اندوفیت *سیرندیپیتا ایندیکا* بر خصوصیات رشدی و تغذیه گیاه کینوا تحت تنش شوری

سجاد علیار[1]، ناصر علی اصغرزاد، عادل دباغ محمدی نسب و شاهین اوستان

دانشجوی کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ **aliyarsajad73@gmail.com**

استاد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ **n-aliasghar@tabrizu.ac.ir**

استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ **adeldabb@yahoo.com**

استاد شیمی خاک گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ **oustan@tabrizu.ac.ir**

دریافت: **1400/3/4** و پذیرش: **1400/10/29**

چکیده

گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) یک گیاه شبه غله پر محصول از تیره چغندریان بوده و در برابر تنش شوری، تحمل خوبی از خود نشان می‌دهد. این گیاه به دلیل قرار گرفتن در تیره چغندریان، قادر به همزیستی میکوریزی نبوده ولی گزارش ها نشان می‌دهند که قارچ اندوفیت *Serendipita indica* می‌تواند وارد ریشه این گیاه شده و احتمالاً قادر است مقاومت آن را در برابر تنش شوری افزایش دهد. این پژوهش به‌صورت گلدانی آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در خاک لوم شنی استریل انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل دو سطح قارچ *Serendipita indica* (تلقیح و عدم تلقیح) و شوری حاصل از نمک کلرید سدیم شامل سطوح 1/47(هدایت الکتریکی اولیه خاک)، 5، 10، 20 و 30 دسی‌زیمنس بر متر) بودند. نتایج آزمایش نشان داد که اثر متقابل تنش شوری و تلقیح قارچ به‌غیراز غلظت عناصر نیتروژن و فسفر در بخش ریشه در سایر صفات مورد مطالعه هم در بخش هوایی و هم ریشه معنی‌دار ($P<0.05$) بود. همچنین با افزایش سطح تنش ، غلظت عناصر شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم، صفات رشدی و درصد کلنیزاسیون، در گیاه کینوا به‌طور معنی‌داری ($P<0.05$) کاهش یافت. قارچ *S. indica* توانست وزن خشک‌ریشه را در شوری‌های شاهد، 5 و 10 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب (23/45، 25/66 و 25/57 درصد) نسبت به تیمار عدم تلقیح افزایش دهد؛ اما وزن خشک بخش هوایی را تنها در شوری شاهد به میزان 9 درصد نسبت به تیمار بدون قارچ افزایش داد . مایه‌زنی قارچ *S. indica* توانست غلظت سدیم ریشه را در شوری‌های 10، 20 و 30 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب 30/49، 66/78 و 43/55 درصد نسبت به تیمار عدم تلقیح کاهش دهد. در بخش هوایی نیز غلظت سدیم را در همان سطوح شوری به ترتیب 20/96، 13/28 و 10/24 درصد نسبت به تیمار بدون قارچ کاهش داد. . با توجه به نتایج، قارچ *S. indica* توانست غلظت عناصر نیتروژن و پتاسیم بخش هوایی را در دو سطح شوری 20 و 30 دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار بدون قارچ به‌طور معنی‌داری افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات رشدی، عناصر غذایی، قارچ *S. indica*، کلنیزاسیون ریشه ، شاخص کلروفیل

---

[1]. نویسنده مسئول آدرس: گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

مقدمه

کینوا *Chenopodium quinoa* willd (Quinoa) گیاهی است بومی کوه‌های آند در بولیوی، شیلی و پرو که برای دانه کشت می‌شود ولی از برگ‌های جوان آن هم به‌صورت سبزی تازه و یا پخته استفاده می‌شود. دانه کینوا کم‌حجم و بسیار خوش‌هضم بوده و یک منبع غنی از پروتئین، آهن، منیزیم، فیبر، فسفر و ویتامین B2 می‌باشد، در مقایسه با غلات متداول از میزان پروتئین بالاتر و تعادل اسیدآمینه‌ای مطلوب‌تری برخوردار است. ارزش غذایی کینوا به‌وسیله سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) با شیر خشک مقایسه شد (جاکوبسن و همکاران، 2005). با توجه به اینکه ایران کشوری وسیع با جمعیتی رو به افزایش است تأمین نیاز غذایی مردم به اولویت اساسی در این زمینه مبدل شده است از طرفی شوری خاک ازجمله شایع‌ترین تنش‌های محیطی است که تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی را در اکثر کشورها بخصوص کشورهای دارای اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران را به مخاطره انداخته است. همانند کمبود آب، غلظت بالای املاح محلول در خاک نیز از دیگر تهدیدهای زندگی بشر است (اشرف و همکاران 2008). برای این منظور، بررسی روش‌های جدید برای رویارویی با این چالش‌ها ضروری است یکی از روش‌های مقابله با این مشکل کاشت گیاهان متحمل به شوری و به‌ویژه هالوفیت (نمک دوست) نظیر کینوا است (کویرو و همکاران، 2008).

این گیاه مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیر زیستی مانند سرما، شوری و خشکی از خود نشان می‌دهد و همچنین به‌خوبی قابلیت رشد در شرایط نامساعد محیطی را دارد (جاکوبسن و همکاران، 2009). جاکوبسن و همکاران (2009) در آزمایشی به منظور بررسی اثر شوری بر روی گیاه کینوا رقم Titicaca در شرایط آب و هوایی اروپا به این نتیجه رسیدند که این رقم به خوبی با شرایط تنش شوری سازگار شده است. همچنین طالب نژاد و همکاران (2015) در تحقیقی دیگر بر روی گیاه کینوا رقم (5206. Titicaca, NO) که در دانشگاه شیراز باهدف بررسی تأثیر عمق آب زیرزمینی شور (شامل 0/3، 0/5 و 0/80 متر) و شوری آب آبیاری (شامل 10، 20، 30 و 40 دسی‌زیمنس‌بر متر) بر رشد این گیاه انجام شد نتایج نشان‌دهنده حداکثر عملکرد دانه، 3/11 تن بر هکتار در شوری 10 دسی زیمنس بر متر بوده است که به مقادیر عملکرد دانه در مناطق بومی کینوا نزدیک است. آنان نشان دادند که کینوا در شوری آب 40 دسی‌زیمنس‌بر متر نیز می‌تواند مراحل رشد فنولوژیک خود را طی کرده ولی عملکرد دانه آن بطور قابل ملاحظه کاهش می‌یابد و به حدود 0/35 تن در هکتار می‌رسد که از ویژگی‌های منحصربه‌فرد این گیاه است. اما ملکی و همکاران (2018) بیان کردند کینوا گیاهی است که حد آستانه تحمل به شوری گیاه کینوا در هر یک از مراحل جوانه زنی، استقرار گیاهچه، گلدهی و پر شدن دانه ها به ترتیب 28، 8، 20 و 15 دسی زیمنس می باشد.

هاریادی و همکاران (2010) بیان کردند که کینوا دارای یک سیستم بسیار کارآمد برای تنظیم فشار اسمزی در مقابل افزایش غلظت NaCl است .در تحقیقی دیگر کویرو و همکاران (2008) گزارش کردند که گیاه کینوا قادر به تکمیل چرخه زندگی خود و تولید بذر حتی در شوری آب دریا می‌باشد. جاکوبسن (2003) بیان کرد که کینوا را می‌توان در بسیاری از محیط‌های حاشیه مبتلاً به خشک سالی و یا تنش شوری که در حال حاضر دارای بهره‌وری بسیار پایین هستند کشت کرد. ایجاد گیاهان مقاوم به شوری، از طریق مهندسی ژنتیک، یا از بین بردن شوری خاک از طریق شستن نمک اضافی، اگرچه موفقیت‌آمیز بوده است، اما برای مقاصد کشاورزی اقتصادی نمی‌باشد (کانتریل و لیندرمن، 2001) در کنار مهندسی ژنتیک، راه‌کارهای بیولوژیک مثل استفاده از انواع باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه، قارچ‌های میکوریزا و اندوفیت برای کاهش تنش شوری به‌عنوان روش‌های کمکی پیشنهاد شده است (دیکسون و

همکاران، 1993). کودهای بیولوژیک با افزایش قابلیت جذب و دسترسی عناصر غذایی گیاهان و افزایش تحمل آن‌ها به کمبود عناصر غذایی، از مؤلفه‌های مهم مدیریت حاصلخیزی خاک در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار می‌باشند (معزاردلان و ثواقبی‌فیروزآبادی، 1381). قارچ‌های اندوفیت یکی از ریز جانداران مفید خاک، با ایجاد تغییرات ژنتیکی، فیزیولوژیکی و اکولوژیکی در گیاهان میزبان خود، عملکرد آن‌ها را در واحد سطح افزایش می‌دهند و امکان توسعه و کشت آن‌ها در خاک‌هایی با شرایط نامساعد محیطی و تغذیه‌ای فراهم می‌آورند (لیندال و همکاران، 2007).

قارچ *Piriformospora indica*، اندوفیت گیاهی می‌باشد که در سال 1998 توسط وارما و همکاران از ریزوسفر دو گیاه خشکی‌پسند کهور (*Zizyphus nummularia*) و گز (*Prosopis juliflora*) از صحرای تار کشور هندوستان جداسازی شد. طبق گزارش ویس و همکاران (2016) اخیراً نام این قارچ به *Serendipita indica* تغییریافته است. تاثیر این قارچ در افزایش جذب نیتروژن، فسفات، مواد معدنی و بهبود مقاومت گیاهان زراعی در شرایط نامساعد محیطی توسط یانگ و همکاران (2012) گزارش‌شده است. پژوهش‌های گوناگون حاکی از پتانسیل مطلوب این قارچ در افزایش زیست‌توده‌ی بسیاری از گیاهان از قبیل گشنیز (*Coriandrum sativum*)، جو (*Hordeum vulgare*)، ذرت (*Zea mays*)، نخود معمولی (*Cicer arietinum*) (باجد و همکاران، 2010)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris*)، سویا (*Glycine max*) و اسفناج (*Spinacia oleracea*) (ری و وارما، 2005) است. در پژوهشی دیگر، مایه زنی گیاه کلم چینی (*Brassica compestrils* L.) با این قارچ، باعث گسترش رشد ریشه، شاخه و ازدیاد ریشه‌های جانبی گردید در حالیکه گیاهان تیره شب بو از جمله انواع کلم قادر به ایجاد همزیستی با قارچهای میکوریزی نیستند (سان و همکاران، 2010). همچنین *S. indica* در گیاه پنبه سبب افزایش مقاومت آن در برابر تنش غرقابی شد (یانگ و همکاران، 2012). اثرات مثبت ناشی از قارچ اندوفیت *S. 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. گرچه ریشه برخی گیاهان غیرمیکوریزی می‌توانند با این قارچ اندوفیت رابطه برقرار نمایند ولی اثر مثبت این قارچ در همه این گیاهان هنوز مشخص نیست و حتی در برخی گیاهان حالت بیش حساسیتی (Hypersensivity) نسبت به این قارچ ایجاد می‌شود که سلول‌های ریشه با خودکشی خود از ادامه نفوذ این قارچ بیوتروف جلوگیری می‌کنند (کیانگ و همکاران، 2012). با توجه به اثرات مثبت گزارش‌شده از قارچ *S. indica* در تعدیل تنشهای شوری و خشکی در گیاهان مختلف (حتی در گیاهان غیرمیکوریزی)، و همچنین اهمیت کینوا به عنوان گیاه شبه غله در تغذیه انسان، در این پژوهش اثر قارچ *S. indica* بر وضعیت رشد و غلظت عناصر غذایی گیاه کینوا در شرایط تنش شوری مورد بررسی گرفته است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت کشت گلدانی در گلخانه گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز (با فتوپریود[1] 12 ساعت روشنایی طبیعی نور خورشید و دمای 3±23 درجه‌ی سانتی‌گراد در روز و 3±18 درجه‌ی سانتی‌گراد در شب) با گیاه کینوا به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح قارچ (تلقیح و عدم تلقیح با قارچ) و پنج سطح شوری شامل شاهد (هدایت الکتریکی اولیه خاک1/47)،5، 10، 20، 30 دسی‌زیمنس‌بر متر). بود. بذر گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa Willd cv. Titicaca*) از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید و قارچ *سیرندیپیتا ایندیکا* از گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز تهیه شد. برای تکثیر قارچ از محیط کشت کفر[2] استفاده شد. قارچ‌ها در دمای 25 درجه سانتی‌گراد

1. photoperio
2. Kaefer Medium

به مدت 4 هفته انکوباسیون شدند سپس پنج میلی‌لیتر محلول توئین 20 (0/005 درصد) به سطح پتری اضافه گردید و با رابر به مدت 10 - 5 دقیقه سائیده شد و به مدت 4 دقیقه ورتکس گردید. تعداد اسپور در سوسپانسیون حاصله با کمک لام نئوبایر شمارش و تعداد $6/3\times10^6$ اسپور در هر میلی‌لیتر بدست آمد و سرانجام 80 گرم پرلیت ریز استریل با مجموع سوسپانسیون حاصل شده(155 میلی لیتر) مخلوط گردید.

کشت گیاه و اعمال تیمارها

خاک مورداستفاده از ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز از عمق 0-20 سانتی‌متری نمونه‌برداری شد بعد از هوا خشک، از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد و ویژگی‌های مهم خاک شامل بافت (کلوت، 1986)، درصد کربن آلی (نلسون و سامرز، 1982)، فسفر قابل‌جذب (اولسن و سامرز، 1982)، کربنات کلسیم معادل (آلیسون و مودی، 1965) و پتاسیم قابل‌جذب (توماس، 1982) و رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحات فشار تعیین گردید، که نتایج آن در جدول 1 ارائه شده است سپس در فشار یک اتمسفر و دمای 121 درجه سلسیوس به مدت یک ساعت در اتوکلاو استریل شده و به مقدار 2300 گرم در داخل گلدان‌های PVC دو و نیم کیلویی با قطر دهانه 15/1 و ارتفاع 18 سانتی‌متر توزیع شد. بذر گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa Willd cv. Titicaca*) از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید و به‌منظور استریل کردن بذرها ابتدا چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد و سپس به مدت 30 ثانیه در اتانول 70 درصد غوطه‌ور گردید در مرحله بعد به داخل محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد انتقال‌یافته و بعد از هفت دقیقه، حدود 10 بار با آب مقطر استریل کاملاً شستشو گردیدند. در داخل هر گلدان تعداد 7 عدد بذر کشت شد. به این صورت که ابتدا در گلدان‌ها 7 حفره ایجاد و زاد مایه قارچ به مقدار مشخص درون حفره‌ها ریخته شد و بذر روی آن قرار گرفت سپس دو سانتی‌متر خاک استریل روی بذرها قرار داده شد. در مورد تیمار شاهد بدون قارچ همان مقدار پرلیت استریل خیس شده با محلول 5 هزارم درصد توئین 20، در داخل حفره ریخته شد. در زمان کشت بر اساس آزمون خاک، پتاسیم در مقادیر کافی برای گیاه وجود داشت به همین دلیل استفاده نشد و کود فسفر به دلیل ترغیب کلونیزاسیون قارچ اندوفیت، استفاده نشد. ولی نیتروژن از منبع اوره به هر گلدان 68/0 گرم در سه تقسیط، یک‌سوم در ابتدای کشت و دوسوم در طول دوره‌ی رشد رویشی گیاه اضافه شد (صالحی و دهقانی، 1397).

پس از رشد و استقرار گیاه، بوته‌های ضعیف حذف‌شده و چهار بوته در هر گلدان نگه‌داشته شد. تیمارهای شوری با توجه به مطالعات انجام‌شده در رابطه با این گیاه انتخاب گردید. جهت اعمال تنش شوری، ابتدا توسط پیش‌آزمونی میزان کلرید سدیم لازم برای هر گلدان جهت رسیدن به EC موردنظر مشخص گردید و در سه تقسیط به گلدان‌ها اضافه شد. یک‌سوم نمک به‌صورت پودر در ابتدای کشت با خاک گلدان کاملاً مخلوط شد و دوسوم باقی‌مانده در دو تقسیط، در مقدار آب لازم حل‌شده و به گلدان‌ها اضافه گردید. با توجه به مراحل اولیه استقرار گیاه تا اعمال تیمارهای شوری، آبیاری هرروز و به‌طور مرتب با آب مقطر انجام می‌گرفت و رطوبت گلدان‌ها از طریق وزن کردن در FC 8/0 تنظیم شد. (علیار، 1399). گیاهان تا پایان مرحله‌ی رویشی (2 ماه) رشد یافته و به‌محض ظهور اولین گل دریکی از گلدان‌ها برداشت شدند.

اندازه‌گیری پارامترها (قبل و پس از برداشت گیاه)

قبل از برداشت گیاهان شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (Hansatech, CL-01) اندازه‌گیری شد برای این منظور 8 برگ سالم از هر گلدان انتخاب شد. پس از پاک کردن برگ، پهن‌ترین بخش برگ میان انبرک دستگاه قرار گرفت سپس شاخص کلروفیل قرائت شد. میانگین اندازه‌گیری‌ها بعنوان شاخص کلروفیل برگ برای هر گلدان در نظر گرفته شد. و بعد از پایان دوره رشد بخش هوایی و ریشه گیاهان به‌طور جداگانه در هر گلدان برداشت و وزن‌تر بخش هوایی و ریشه

اندازه‌گیری و بعد از خشک شدن در دمای 70 درجه سلسیوس در آون فن دار وزن خشک آن‌ها نیز تعیین شد.. برای اندازه‌گیری عناصر، هضم نمونه‌های گیاهی به روش خشک سوزانی انجام گرفت (وسترمن 1990). برای اندازه‌گیری غلظت فسفر (کاتنی 1980) و پتاسیم و سدیم در عصاره‌های گیاهی به ترتیب از دستگاه اسپکتروفتومتر (Hack DR/2000) و فلیم فتومتر (Corning 410) استفاده شد و برای اندازه‌گیری غلظت کلسیم و منیزیم به روش (والینگ و همکاران، 1989) از دستگاه جذب اتمی مدل Shimdzu, AA-6300 استفاده گردید. نیتروژن موجود در بخش هوایی و ریشه گیاهان مورد آزمایش به‌وسیله‌ی تقطیر در سیستم کجلدال اندازه‌گیری شد (والینگ و همکاران، 1989).

برای تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه با این قارچ، عموماً از روش‌های مرسوم برای قارچ‌های میکوریزی استفاده می‌شود ولی از آنجائیکه هیف‌های این قارچ اندوفیت بسیار باریک و اسپورهای داخل ریشه‌ای آن بسیار ریز هستند لذا در مشاهدات میکروسکپی اغلب با مشکل مواجه می‌شود. بنابراین، در این تحقیق ابتدا سعی شد از طریق اندازه گیری مقدار ارگوسترول (لیپید مارکر این قارچ) با روش اسپکتروفتومتری، میزان بیومس قارچ در ریشه برآورد شود ولی موفقیت آمیز نبود، در نتیجه با روش مرسوم رنگ‌آمیزی تعیین گردید. برای این منظور بخشی از ریشه‌های ظریف و ریز از هر نمونه گیاه جداشده و پس از شستشوی کامل با آب به روش کورمانیک و مک گراو (1982) رنگ‌آمیزی شدند. جهت تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه از روش تقاطع خطوط شبکه[1] استفاده شد (نوریف و همکاران، 1992؛ شنک و پرز، 1988).

تجزیه آماری داده‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با دو فاکتور، فاکتور اول قارچ شامل دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) و فاکتور دوم شوری در پنج سطح در سه تکرار انجام گرفت که درمجموع 30 واحد آزمایشی وجود داشت. آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها و سپس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و رسیم نمودارها با Excel انجام شد مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد

نتایج و بحث

خصوصیات خاک مورد آزمایش در این تحقیق در جدول 1 آمده است.

وزن خشک شاخساره و ریشه

آنالیز واریانس (جدول 2) نشان داد که اثر متقابل قارچ و سطوح شوری بر وزن خشک‌ریشه و شاخساره معنی‌دار می‌باشند ($P<0.05$). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد به‌جز سطوح شوری 20 و 30 دسی‌زیمنس‌بر متر تیمارهای حاوی مایه‌زنی قارچ دارای وزن خشک‌ریشه بالاتری نسبت به تیمار بدون قارچ داشتند.

مایه‌زنی قارچ منجر به افزایش وزن خشک‌ریشه کینوا در سطوح شوری (شاهد، 5 و 10 دسی‌زیمنس‌بر متر) به ترتیب (23/45، 25/66 و 25/57 درصد) نسبت به تیمار بدون قارچ شد اما در دو سطح 20 و 30 دسی‌زیمنس‌بر متر تأثیر معنی‌داری نداشت. در بخش هوایی مایه‌زنی با قارچ فقط در شوری شاهد توانست تأثیر معنی‌داری داشته باشد و به میزان 9 درصد وزن خشک شاخساره را افزایش دهد. در سایر سطوح شوری تأثیر معنی‌داری نداشت. به طور کلی افزایش شوری از 10 دسی زیمنس به بالا سبب کاهش شدید وزن خشک ریشه و شاخصاره گردید و این روند در گیاهان تلقیح شده و نشده با قارچ تقریبا مشابه می باشد گرچه اثر مثبت تلقیح قارچ بر وزن خشک ریشه در سطوح شوری متناظر بیشتر است (شکل 1).

[1] Grid line Intersection Method (GIM)

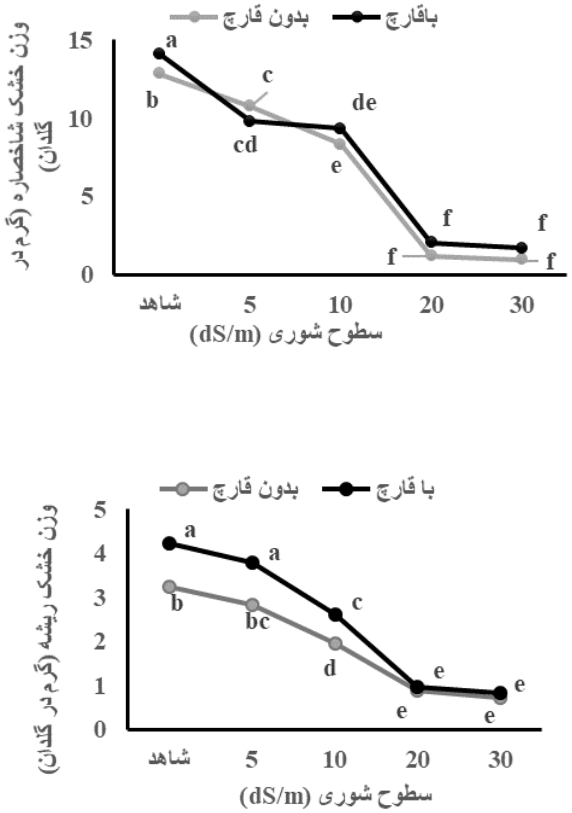
جدول 1- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

بافت	کربنات کلسیم (%)	FC درصد وزنی	PWP درصد وزنی	pH	%OC	EC_e ($dS.m^{-1}$)	$K(mg.kg^{-1})$	$P(mg.kg^{-1})$
لوم شنی	5.83	20.7	9.5	7.31	0.63	1.47	333.27	10.8

جدول 2- تجزیه واریانس اثرات مایه‌زنی قارچ و تنش شوری بر وزن خشک شاخساره و ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به خشک هوایی (R/S)، شاخص کلروفیل و درصد کلنیزاسیون

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن خشک شاخساره	وزن خشک‌ریشه	R/Sخشک	شاخص کلروفیل	درصد کلنیزاسیون
قارچ	1	2.46*	2.34**	0.25*	80.36*	1340.27*
تنش شوری	4	174.79**	10.8**	0.19**	18.14 ns	308378.95**
قارچ* تنش شوری	4	1.19*	0.30*	0.51**	33.28*	27.19**
خطا	20	0.39	0.10	0.4	8.75	4462.19
ضریب تغییرات (درصد)		8.83	14.34	15.27	5.65	20.62

**: معنی‌دار در سطح یک درصد، *: معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns: غیر معنی‌دار

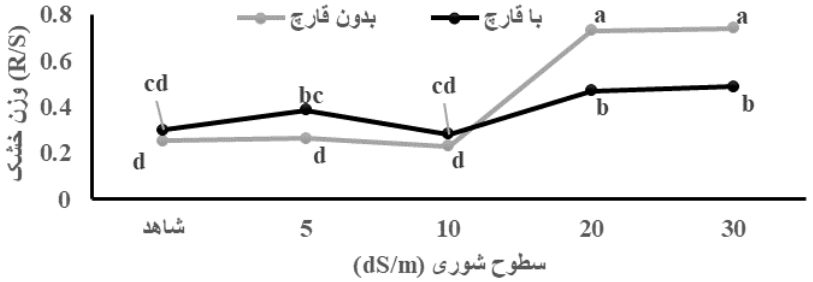


شکل 1- اثر متقابل تنش شوری و قارچ بر وزن خشک شاخساره و ریشه گیاه کینوا

یوسفی راد و همکاران (1389) بیان کردند که کاهش معنی‌دار وزن گیاه در شرایط شور ممکن است به دلیل صدمات اسمزی و ایجاد تنش خشکی، کاهش سطح برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای، تجمع کلر و سدیم در اندام‌ها، تخریب ساختمان کلروپلاست و کاهش فتوسنتز باشد. در شرایط تنش شوری گیاه برای جلوگیری از ورود بیش‌ازحد یون سدیم به داخل ریشه مقدار زیادی انرژی مصرف می‌کند که این امر باعث کاهش رشد ریشه می‌شود (ربحی و همکاران 2007). طی بررسی‌هایی مشاهده‌شده است گیاهانی که با قارچ *S. indica* تیمار شده‌اند، میزان اکسین بیشتری نسبت به شاهد دارند. با توجه به نقش اکسین در انگیزش ریشه‌ی نابجا در گیاه سالم و قلمه‌ها افزایش ریشه‌های جانبی می‌تواند ساده‌ترین دلیل از نحوه‌ی اثر قارچ بر رشد گیاهان باشد (دروج و همکاران، 2007). تأثیر تلقیح قارچ اندوفیت *S. indica* در افزایش بیومس گیاهان ذرت، تنباکو، جعفری، آرتمیزیا و درخت سپیدار توسط وارما و همکاران (2001) موردبررسی قرار گرفت و نتایج آن‌ها حاکی از افزایش بیومس شاخساره و ریشه قارچ به میزان دو برابر نسبت به گیاهان شاهد تلقیح نشده بوده است.

نسبت وزن خشک‌ریشه به شاخساره

(جدول 2) نشان می‌دهد که اثر متقابل تیمارهای قارچ × شوری بر نسبت وزن خشک‌ریشه به شاخساره معنی‌دار شده است ($P<0.01$). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح شوری و قارچ نشان داد که با افزایش تنش شوری نسبت مذکور افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود که گیاه مایه‌زنی شده با قارچ نسبت به بدون قارچ تا شوری 10 دسی‌زیمنس‌بر متر نسبت بالاتری دارد هرچند این اختلاف تنها در شوری 5 دسی‌زیمنس‌بر متر با اختلاف 31/57 درصد معنی‌دار می‌باشد. اما در دو سطح 20 و 30 دسی‌زیمنس‌بر متر تیمار بدون قارچ به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار با قارچ می‌باشد و در شوری‌های متناظر سبب افزایش نسبت مذکور به ترتیب (36/98 و 35/13 درصد) نسبت به تیمار مایه‌زنی با قارچ شده است (شکل 2).

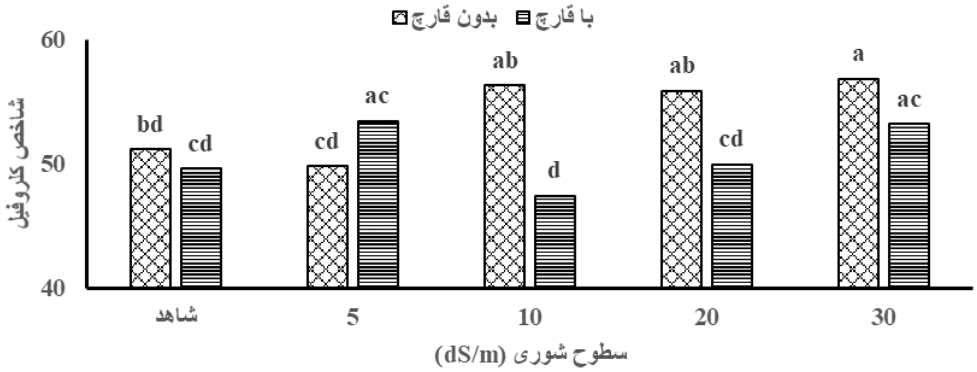


شکل 3- اثر متقابل تنش شوری و قارچ بر نسبت وزن خشک‌ریشه به شاخساره

اغلب متخصصین فیزیولوژی نسبت R/S را به‌عنوان یک معیار مناسب برای گزینش تحمل به تنش‌های شوری و خشکی معرفی می‌کنند. نسبت بالاتر ریشه به اندام هوایی توانایی گیاه را برای افزایش تحمل به خشکی و شوری بهبود می‌بخشد. کاهش نسبت R/S در اثر شوری، حاکی از اختصاص مواد فتوسنتزی کمتر به ریشه نسبت به اندام هوایی می‌باشد (برزوئی و همکاران 1390). بیشتر محققان اظهار کردند در حضور قارچ میکوریز نسبت R/S به دلیل افزایش رشد بخش هوایی و کاهش رشد ریشه، کاهش می‌یابد (برتا و همکاران، 1995؛گاویتو، 2000) که نتایج ما هم نشان می‌دهد در شوری‌های بالاتر این نسبت در تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ کمتر از بدون قارچ است.

شاخص کلروفیل

آنالیز واریانس (جدول 2) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای قارچ × شوری بر میزان کلروفیل برگ معنی‌دار شده است ($P<0.05$). مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری × قارچ نشان داد که با افزایش غلظت شوری، میزان کلروفیل برگ در همه سطوح تنش شوری افزایش‌یافته ولی این افزایش تا شوری 20 دسی زیمنس بر متر معنی‌دار نمی باشد اما اختلاف بین شوری شاهد و 30دسی زیمنس بر متر معنی دار می‌باشد همچنین مقایسه میانگین مایه زنی قارچ نشان می‌دهد که شاخص کلروفیل در تیمار بدون قارچ به طور معنی داری بیشتر از تیمار با قارچ می‌باشد بطوریکه بیشترین شاخص کلروفیل برای تیمار بدون قارچ درشوری 30 دسی‌زیمنس‌بر متر می‌باشد. با توجه به (شکل 3) مشخص می گردد که در کل شاخص کلروفیل در تیمار بدون قارچ بیشتر از تیمار حاوی مایه‌زنی شده است اما این افزایش تنها در دو سطح 10 و 20 دسی‌زیمنس‌بر متر معنی دار می‌باشد و در این دو سطح شاخص کلروفیل به ترتیب (15/75 و 10/61 درصد) بیشتر از تیمارهای حاوی قارچ می‌باشد.



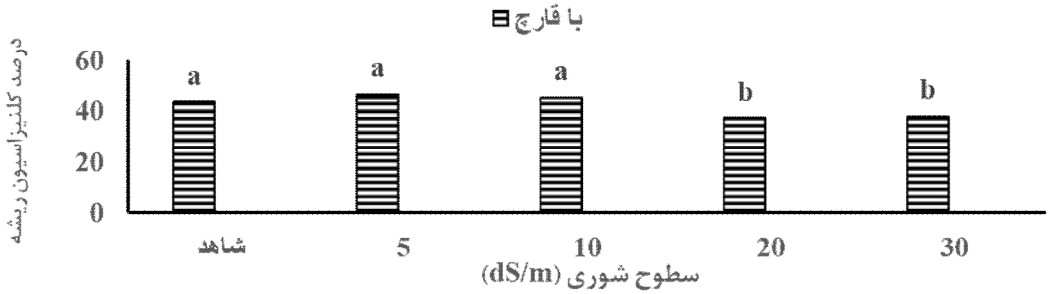
شکل 3- اثر متقابل تنش شوری و قارچ بر شاخص کلروفیل

گزارش‌شده که با افزایش سطح نمک کلرید سدیم، میزان کلروفیل برگ روند کاهشی نشان می‌دهد. این موضوع باعث ناکارآمدی برگ‌ها در انجام فتوسنتز و تشدید آسیب‌های ناشی از تنش می‌شود. این مورد در نتایج تحقیقات ناوارو و همکاران (2000) در گوجه‌فرنگی گزارش‌شده است. بعضی از محققین عقیده دارند که کاهش غلظت کلروفیل برگ‌ها در اثر تنش شوری می‌تواند در ارتباط با افزایش فعالیت آنزیم تجزیه‌کننده کلروفیل باشد (کارمر، 2002). برخلاف گزارش روند کاهش شاخص کلروفیل با افزایش تنش گزارش‌های معدودی مانند تحقیق حاضر از تأثیر افزایشی شوری بر شاخص کلروفیل در دست است (لی-دیلی و همکاران، 1993). این افزایش ممکن است نتیجه افزایش تعداد کلروپلاست در برگ‌های تحت تنش باشد (جمیل و همکاران، 2007؛ میسرا و همکاران، 1997). برخی محققان نیز تیره‌تر شدن رنگ برگ‌های گیاه در سطوح بالای شوری را نشانه‌ای از افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌ها می‌دانند (براون و هایوارد، 1956). در گزارش دیگر، نلسون و همکاران (1995) افزایش عدد کلروفیل متر را براثر افزایش ضخامت برگ گزارش کرده‌اند.جنچکه و همکاران (1984) گزارش دادند که یکی از دلایل افزایش میزان کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ، جذب بیش‌تر عناصر معدنی می‌باشد. بر خلاف نتایج جنکچه و همکاران مبنی بر افزایش میزان کلروفیل گیاهان تلقیح شده رحمانی ایرانشاهی و همکاران در سال (1394) در گیاه گندم رقم نیک‌نژاد کاهش غلظت کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ *S. indica* را گزارش کردند و بیان نمودند که احتمالاً این کاهش به دلیل اثر رقت در گیاه

باشد که با نتایج تحقیق حاضر همسو میباشد و به نظر می رسد از دیگر دلایل این کاهش، افزایش سطح برگ در گیاهان تلقیح شده و کاهش ضخامت برگ نسبت به گیاهان تلقیح نشده باشد.

درصد کلنیزاسیون ریشه

جدول (2) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای قارچ × شوری بر درصد کلنیزاسیون ریشه معنی‌دار شده است ($P<0.01$). نتایج نشان داد که افزایش شدت تنش شوری سبب کاهش کلنیزاسیون ریشه‌های گیاهان تلقیح شده با قارچ شده است و اثر تنش شوری بر روی کلنیزاسیون ریشه‌ها کاملاً مشهود است. به صورتی که درصد کلنیزاسیون ریشه‌ها در شوری‌های 20 و 30 به ترتیب (14/14 و 12/58 درصد) نسبت به شاهد کاهش نشان می‌دهد. در گیاهان شاهد (تلقیح نشده) هیچ‌گونه اندام قارچی مشاهده نشد (شکل 4).



شکل 4- اثرات متقابل تنش شوری و مایه‌زنی قارچ بر درصد کلنیزاسیون ریشه

نتایج مطالعات انجام‌شده بر روی ریشه گیاهان تلقیح شده با اسپورهای قارچ، حاکی از توان این قارچ در کلنیزه نمودن ریشه گیاهان میزبان دارد همچنین پژوهش‌ها نشان داده است که پس از تلقیح قارچ، اسپور قارچ قادر است که در سطح ریشه گیاهان کنگر فرنگی جوانه‌زده و در سطح ریشه گسترش یابد و تعداد ریشه را نسبت به گیاهان غیر آلوده افزایش دهد (قاسم نژاد و بابایی زاد، 1390) کاهش میزان توسعه قارچ *S. indica* را می‌توان به اثرات منفی تنش شوری بر میزان فتوسنتز و کاهش عرضه کربن به قارچ و همچنین اثر بازدارندگی سدیم و کلر بر رشد میسلیوم‌های قارچ نسبت داد (حاج بلند و همکاران، 2010). همچنین خالوندی و همکاران در سال (1395) نتایج مشابهی بر روی گیاه نعناع فلفلی گزارش کردند.

غلظت فسفر شاخساره و ریشه

آنالیز واریانس (جدول 3) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای قارچ × شوری بر غلظت فسفر شاخساره معنی‌دار شده است ($P<0.01$). مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری × قارچ نشان داد که با افزایش شدت تنش، غلظت فسفر شاخساره کاهش‌یافته است با توجه به شکل مشاهده می‌شود که شدت کاهش غلظت در تیمار بدون قارچ خصوصاً در سطوح تنشی بالاتر بسیار بیشتر از تیمار مایه‌زنی شده می‌باشد. به‌غیراز شوری 20 دسی‌زیمنس‌بر متر که تیمار با قارچ با اختلاف 68/10 درصد و به‌طور معنی‌داری بیشتر از بدون قارچ است در بقیه سطوح بین تیمار با قارچ و بدون قارچ اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد. در بخش ریشه تنها اثرات اصلی قارچ و سطوح شوری بر غلظت فسفر معنی‌دار شده است ($P<0.01$). مشاهده می‌شود که بین سطوح شوری تا 20 دسی‌زیمنس‌برمتراختلاف معنی‌دار وجود دارد اما بین شوری 20 و 30 دسی‌زیمنس‌بر متر این اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد (شکل 5).

جدول 3- تجزیه واریانس اثرات مایه‌زنی قارچ و تنش شوری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم شاخساره

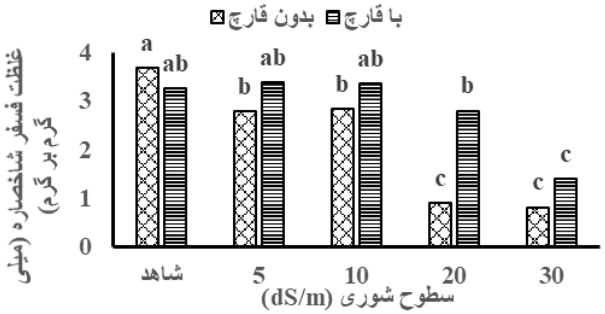
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		k	Na	P	Ca	Mg	N
قارچ	1	77.74**	3.69**	3.07**	11.58**	4.82**	170.82**
تنش شوری	4	178.34**	127.11**	6.02**	8.02**	3.09**	16.89*
قارچ* تنش شوری	4	30.93**	0.54**	1.02**	9.38**	0.68*	11.44**
خطا	20	1.78	0.11	0.12	0.69	0.17	4.39
ضریب تغییرات (درصد)		5.22	6.28	13.99	10.27	6.48	9.11

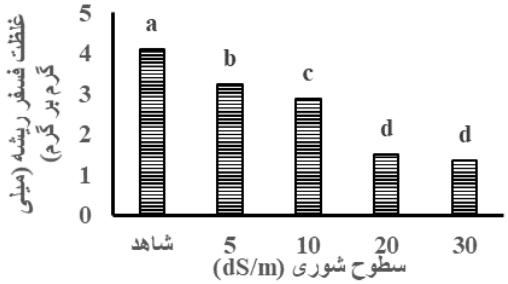
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ادامه جدول 3- تجزیه واریانس اثرات مایه‌زنی قارچ و تنش شوری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم ریشه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		k	Na	P	Ca	Mg	N
قارچ	1	13.64ns	146.63**	1.02**	42.66**	0.01ns	7.06*
تنش شوری	4	503.86**	101.47**	8.23**	11.07**	158.84**	8.9**
قارچ* تنش شوری	4	33.95**	48.9**	0.01ns	13.75**	4.83*	2.96ns
خطا	20	4.07	0.9	0.06	2.94	1.63	1.62
ضریب تغییرات (درصد)		14.52	10.61	9.79	12.35	11.17	9.63

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد





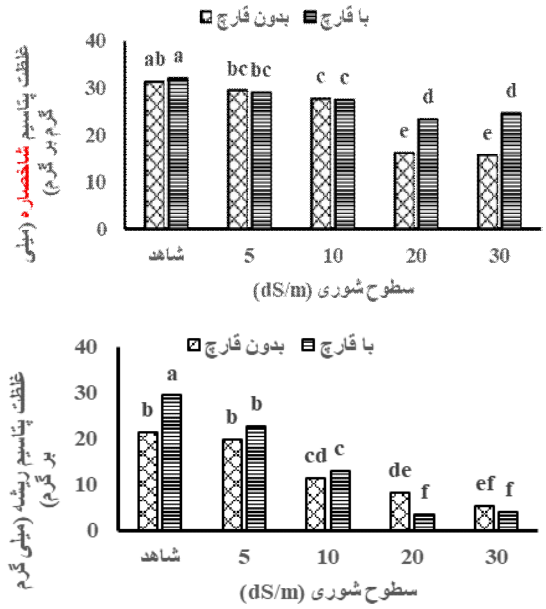
شکل 5 - اثر متقابل تنش شوری و قارچ بر غلظت فسفر شاخساره و اثر اصلی تنش شوری بر غلظت فسفر ریشه

فسفر یکی از عناصر ضروری موردنیاز گیاه است که کمبود آن باعث اختلال در رشد و متابولیسم گیاه می‌شود اما در خاک‌های شور قابلیت دسترسی فسفر به دلیل کاهش فعالیت یون فسفر و فرایندهای جذب

سطحی در خاک بسیار کم است. گراتان و گریو (1992) بیان کردند که کاهش فعالیت فسفر به دلیل افزایش قدرت یونی محلول و کاهش غلظت فسفر محلول خاک به دلیل ایجاد کانی های کلسیم فسفات از جمله دلایل کاهش جذب فسفر توسط گیاهان در شرایط شور می باشد. محققان در تحقیقات خود افزایش جذب فسفر گیاهان تلقیح شده با قارچ *S. indica* را به افزایش سطح جذب، توسعه ریشه و تولید هورمون‌های محرک رشد نسبت دادند (وارما و همکاران، 1999؛ سینگ و همکاران، 2000). قارچ *S. indica* با تولید مقادیر فراوانی اسید فسفاتاز موجب حلالیت فسفر نامحلول آلی خاک و فراهمی آن برای گیاه می‌گردد (زرین جوب و همکاران، 1390). همچنین، تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های قارچ میکوریز باعث می‌شود که فسفات آلی غیرمحلول و تثبیت‌شده در خاک به شکل محلول درآید و برای ریشه قابل‌جذب گردد (سونگ، 2005).

غلظت پتاسیم شاخساره و ریشه

آنالیز واریانس (جدول 3) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای قارچ × شوری بر غلظت پتاسیم شاخساره و ریشه معنی‌دار شده است ($P<0.01$). مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری × قارچ نشان داد که با افزایش تنش شوری، غلظت پتاسیم شاخساره و ریشه کاهش‌یافته است. در قسمت شاخساره تا شوری 10 دسی‌زیمنس‌بر متر اختلاف معنی‌داری بین تیمار تلقیح و عدم تلقیح مشاهده نشد اما مایه‌زنی قارچ توانست در شوری‌های 20 و 30 دسی‌زیمنس‌بر متر غلظت پتاسیم شاخساره را به ترتیب (30/62 و 37/06 درصد) افزایش دهد که از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون قارچ می‌باشد. در بخش ریشه مشاهده می شود که تا شوری 10 دسی زیمنس بر متر مایه زنی قارچ غلظت پتاسیم را افزایش داده است هر چند که این افزایش تنها در شوری شاهد معنی دار می‌باشد. اما با افزایش تنش شوری به 20 و 30 دسی زیمنس بر متر مشاهده می‌شود که غلظت پتاسیم در تیمارعدم تلقیح بیشتر از تیمار تلقیح یافته می‌باشد ولی تنها در شوری 20 دسی زیمنس بر متر این اختلاف معنی‌دار می‌باشد. (شکل 6).

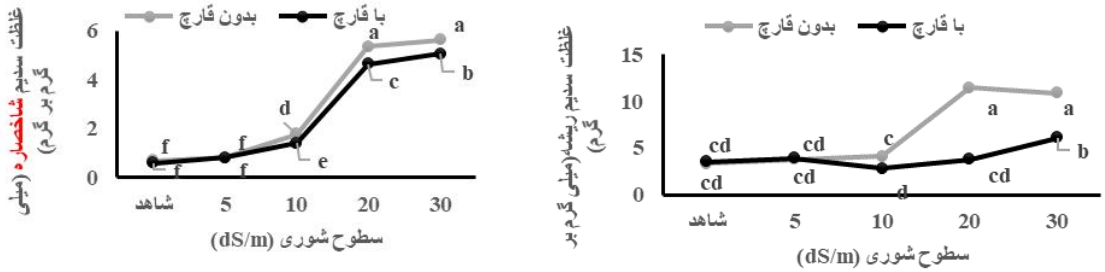


شکل 6 - اثر متقابل تنش شوری و قارچ بر غلظت پتاسیم شاخساره و ریشه گیاه کینوا

در میان عناصر غذایی، پتاسیم با بسته کردن روزنه‌ها و نیز تنظیم اسمزی درسلول‌های ریشه گیاهان نقش به سزایی دارد قابلیت گیاهان در جذب این عنصر از محیط ریشه در شرایط نامساعد محیطی همانند خشکی و شوری می‌تواند در میزان عملکرد گیاه مؤثر باشد (اگنیو و وارن 1996). رحیمی و همکاران (2014) اظهار کردند که قارچ *S. indica* در گیاهان تلقیح شده سهولت ورود پتاسیم به سیتوپلاسم گیاهان را افزایش می‌دهد و گیاه را در مقابل تنش مقاوم می‌سازد. همزیستی قارچی، با کاهش تجمع سدیم و آثار منفی ناشی از آن در سلول و تغییر نسبت سدیم به پتاسیم در سیتوپلاسم، بهبود جذب فسفر و پتاسیم و فرآیندهای بیوانرژتیک را در گیاه موجب شد. نکته حائز اهمیت این است که غلظت پتاسیم اندام هوایی در همه تیمارها بیشتر از ریشه می‌باشد. بالا بودن پتاسیم اندام هوایی نسبت به ریشه در شرایط تنش شوری نوعی پاسخ گیاه نسبت به تجمع سدیم زیاد در برگ می‌باشد (میری و همکاران، 1971). در مورد بخش ریشه و پایین بودن غلظت پتاسیم ربشه در گیاهان مایه زنی شده می توان به ارتباط پتاسیم و سدیم در این خصوص اشاره کرد به طوری که نتایج تحقیقات باکس و شاختمان (2011) نشان می دهد سدیم مازاد مانع ازجذب K^+ و Ca^{+2} دربسیاری ازگونه های گیاهی مانندگندم،پنبه وگوجه فرنگی می‌شود. کاهش مشاهده شده در غلظت K^+ هردو رقم تحت شرایط شوری را می‌توان به تضاد اثرات آنتاگونیستی بین K^+ و Na^+ درطول فرایند جذب نسبت داد(باکس و شاختمان، 2011) .اگرچه عناصر سدیم و پتاسیم ازنظرشیمیایی مشابه هستند،اما نقش آنها در متابولیسم گیاه متفاوت است. شواهدی وجود دارد که غلظت زیاد سدیم، غلظت پتاسیم را تحت اثر قرار میدهد (سونگ وهمکاران، 2013)

غلظت سدیم شاخساره و ریشه

آنالیز واریانس (جدول 3) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای قارچ × شوری بر غلظت سدیم شاخساره و ریشه معنی‌دار شده است ($P<0.01$). مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری × قارچ نشان داد که با افزایش تنش شوری، غلظت سدیم شاخساره و ریشه افزایش‌یافته مشاهده می‌شود که تا شوری 5 دسی‌زیمنس‌بر متر غلظت سدیم بخش هوایی و ریشه تفاوت معنی‌داری نشان نمی‌دهد و تا این سطح اختلاف بین تیمار با قارچ و بدون قارچ نیز معنی‌دار نمی‌باشد مایه‌زنی قارچ سبب کاهش غلظت سدیم شاخساره در سطوح شوری (10، 20 و 30 دسی‌زیمنس‌بر متر) به ترتیب (20/96، 13/28 و 10/24 درصد) و غلظت سدیم ریشه در سطوح شوری مذکور به ترتیب (30/49، 66/78 و 43/55 درصد) نسبت به شاهد بدون تلقیح کاهش داد (شکل 7).

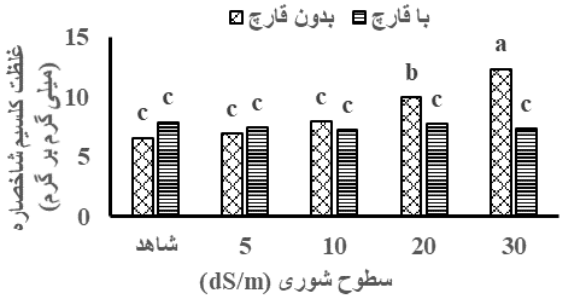


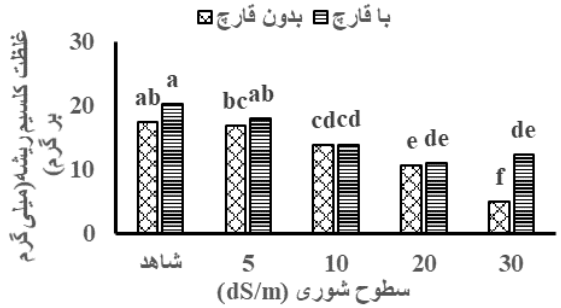
شکل 7 - اثر متقابل تنش شوری و قارچ بر غلظت سدیم شاخساره و ریشه گیاه کینوا

برین و همکاران (1385)، درتحقیقی روی اثر قارچ های میکوریز آربوسکولار بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در گوجه فرنگی تحت شوری حاصل از NaCl و مخلوط نمک ها انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با افزایش سطوح شوری در هر دو نوع ترکیب شوری، غلظت سدیم ریشه و شاخصاره افزایش معنی‌داری دارد. همچنین صفر نژاد و همکاران نیز در سال (1390) با تحقیق در مورد گیاه دارویی کندل افزایش غلظت سدیم ریشه و شاخساره را با افزایش شوری گزارش کردند که این گزارشات با نتایج حاصل از پژوهش حاضر در مورد گیاه کینوا مشابه است.گزارش شده است که قارچ *S. indica.* در شرایط تنش شوری باعث کاهش انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی گیاه می‌شود. نتیجه این فرآیند، افزایش تحمل گیاهان تلقیح شده با این قارچ در برابر تنش شوری خواهد بود (مونس و تستر، 2008). قارچ *S. indica* احتمالاً تجمع یون‌های سدیم را در ریشه باعث می‌شود و از ورود آن‌ها به بخش‌های هوایی گیاهان با فعال کردن سازوکارهای فیزیولوژیک یا مولکولی ناشناخته ممانعت می‌کند. این وقایع به کاهش آثار منفی تنش شوری بر گیاه منجر می‌شود (سپهری و همکاران، 2009). بر خلاف گزارشات سایر محققین در بخش ریشه مشاهده می‌شود که غلظت سدیم در گیاه بدون تلقیح بیشتر از گیاه مایه‌زنی شده می باشد که به نظر می رسد به دلیل اثر رقت در گیاهان تلقیح شده باشد

غلظت کلسیم شاخساره و ریشه

آنالیز واریانس (جدول 3) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای قارچ × شوری بر غلظت کلسیم شاخساره و ریشه معنی‌دار شده است ($P<0.01$). مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری × قارچ نشان داد که افزایش تنش شوری، تأثیر معنی‌داری در تیمار مایه‌زنی شده با قارچ ندارد ولی در تیمار بدون قارچ غلظت کلسیم شاخساره افزایش‌یافته و مشاهده می‌شود که تا شوری 10 دسی‌زیمنس‌بر متر بین تیمار تلقیح و عدم تلقیح تفاوت غیر معنی‌دار است ولی در شوری 20 و 30 دسی‌زیمنس‌بر متر تیمار بدون قارچ به ترتیب (22/64 و 40/71 درصد) غلظت کلسیم را افزایش داده است. در بخش ریشه بین سطوح شوری شاهد تا 20 دسی‌زیمنس‌بر متر غلظت کلسیم ریشه بین تیمار مایه‌زنی شده با قارچ و بدون قارچ اختلاف معنی‌داری ندارد اما در شوری 30 دسی‌زیمنس‌بر متر تیمار با قارچ غلظت کلسیم را 60/30 درصد افزایش داده است (شکل 8)



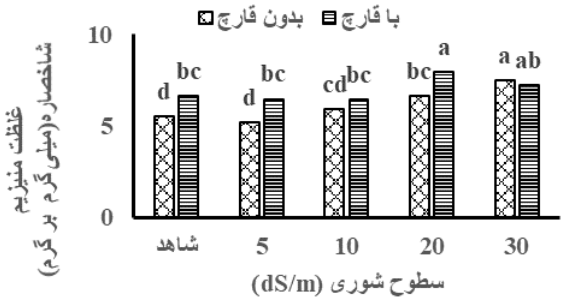


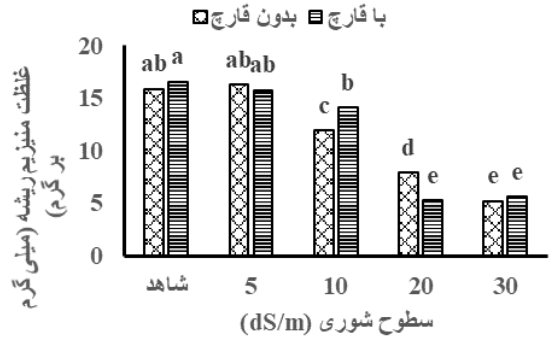
شکل 8- اثر متقابل تنش شوری و قارچ بر غلظت کلسیم شاخساره و ریشه گیاه کینوا

کمبود کلسیم می‌تواند به غشا آسیب برساند و انباشتگی غیرفعال سدیم را در بافت‌های گیاهی تسریع بخشد (مونس و ترمات، 1986). کنت و لاچلی (1985) معتقدند با افزایش غلظت سدیم و کاهش میزان کلسیم در محیط‌های شور که منجر به کاهش نسبت کلسیم به منیزیم می‌شود، رشد ریشه و عملکرد آن مختل می‌شود که پیامد آن کاهش انتقال کلسیم به اندام‌های هوایی خواهد بود. بدیهی است کاهش بیشتر غلظت پتاسیم و کلسیم در گیاهان تیمار شده با کلرید سدیم به دلیل غلظت بالاتر سدیم در این تیمارها میباشد. در پژوهش‌های دیگر نیز مشاهده‌شده که با افزایش شوری، غلظت پتاسیم و کلسیم در برنج کاهش می‌یابد (شانون و همکاران، 1998).

غلظت منیزیم شاخساره و ریشه

آنالیز واریانس (جدول 3) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای قارچ × شوری بر غلظت منیزیم شاخساره و ریشه معنی‌دار شده است ($P<0.05$). مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری × قارچ نشان داد که با افزایش شوری، غلظت منیزیم شاخساره افزایش‌یافته ولی غلظت منیزیم ریشه روند کاهشی با افزایش شوری دارد. در قسمت شاخساره مایه‌زنی با قارچ توانست بر غلظت منیزیم درشوری‌های شاهد، 5 و 20 دسی‌زیمنس‌بر متر تأثیر معنی‌داری داشته باشد و در همان سطوح به ترتیب (17/31، 19/78 و 16/75 درصد) افزایش دهد. در بخش ریشه مایه‌زنی با قارچ توانست غلظت منیزیم در شوری 10 دسی‌زیمنس‌بر متر به‌اندازه 15/79 درصد افزایش دهد ولی در شوری 20 به‌اندازه 33/62 درصد کاهش دهد که هردو اختلاف ازنظر آماری معنی‌دار می‌باشند (شکل 9).



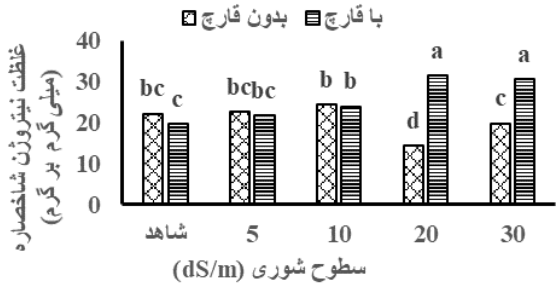


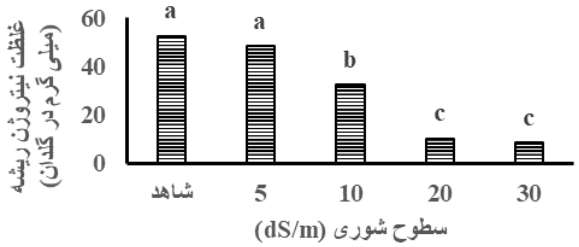
شکل 9- اثر متقابل تنش شوری و قارچ بر غلظت منیزیم شاخساره و ریشه

موسوی (1376) اثر شوری را برجذب عناصر در گیاه زیتون مورد بررسی قراردادند. آن‌ها دریافتند که افزایش شوری به‌طور بسیار معنی‌داری میزان کلسیم، منیزیم و پتاسیم را در بافت های برگ، ساقه و ریشه کاهش داده است. برخلاف نتایج پژوهش حاضر ابوطالبی و همکاران (2008) گزارش دادند که غلظت منیزیم ریشه گونه‌های مختلف مرکبات با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم افزایش یافت ولی گزارش گارسیا سانچز و همکاران (2002)، حاکی از کاهش غلظت منیزیم در ریشه گیاهان تحت تیمار شوری می‌باشد که با نتایج ما در این تحقیق مطابقت دارد. افزایش غلظت منیزیم در ریشه تحت شرایط شوری شاید به این دلیل است که انتقال آن دچار اختلال می‌شود. گیری و همکاران (2003) که قارچ میکوریز با افزایش جذب منیزیم باعث بهبود رشد گیاه، فتوسنتز و افزایش غلظت کلروفیل می‌شود با توجه به این‌که قارچ *S. indica* از مسیر مشابه با قارچ میکوریز به گیاه کمک می‌کند به نظر می‌رسید مثل نتایج فوق قارچ *S. indica* توانسته غلظت منیزیم را نسبت به نمومه شاهد افزایش دهد.

غلظت نیتروژن شاخساره و ریشه

آنالیز واریانس (جدول 3) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای قارچ × شوری بر غلظت نیتروژن شاخساره معنی‌دار شده است ($P<0.01$). در بررسی اثر متقابل سطوح شوری و قارچ بر غلظت نیتروژن شاخساره مشاهده می‌کنیم تا شوری 10 دسی‌زیمنس‌بر متر بین تیمار با قارچ و بدون قارچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ولی در سطوح شوری 20 و 30 دسی‌زیمنس‌بر متر مایه‌زنی با قارچ به ترتیب (54/21 و 35/20 درصد) نسبت به تیمار عدم تلقیح غلظت نیتروژن را افزایش دهد... در بخش ریشه مشاهده می‌شود که اثرات اصلی قارچ و سطوح شوری بر غلظت فسفر ریشه معنی‌دار شده است ($p<0.05$). مشاهده می‌کنیم غلظت نیتروژن ریشه با افزایش شوری کاهش پیدا می‌کند به‌طوری‌که کمترین غلظت در شوری 20 دسی‌زیمنس‌بر متر می‌باشد (شکل 10)





شکل 10 - اثر متقابل تنش شوری و قارچ بر غلظت نیتروژن شاخساره و ریشه گیاه کینوا

در خاک‌های شور بنا به‌دلایلی‌چند کمبود نیتروژن تشدید می‌شود. این عوامل شامل کمبود مواد آلی، عدم رشد ناکافی ریشه، رقابت یون‌های کلر و نیترات با یکدیگر برای جذب توسط ریشه، آبشویی یون نیترات از ناحیه رشد ریشه و نبود شرایط مناسب برای تشکیل غده-های تثبیت‌کننده نیتروژن در بقولات در خاک‌های شور می‌باشد (همایی، 1381). اسچافر و همکاران (2009) بیان کردند که قارچ *S. indica* به دلیل تحریک تشکیل ریشه‌های عرضی و به دنبال آن افزایش سطح ریشه از طریق تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین، موجب افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود. همچنین مطابق با تحقیق فوق زارعان و همکاران نیز در سال (1396) با بررسی اثرمایه‌زنی *S. indica* بر گیاه فسیکو افزایش میزان نیتروژن را در اثر این قارچ گزارش نمودند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش استفاده از قارچ اندوفیت *S. indica* نسبت به شاهد بدون قارچ، ازلحاظ تأثیر بر برخی شاخص‌های رشد گیاه مخصوصا در بخش ریشه و افزایش غلظت فسفر، پتاسیم و نیتروژن در شاخصاره در سطوح شوری زیاد، مثبت ارزیابی شد. قارچ مذکور در کاهش اثرات تنش شوری مخصوصا در سطوح شوری کمتر از 10 دسی‌زیمنس‌بر متر از کارایی نسبتا خوبی برخوردار بود. مشخص شد که تنش شوری یکی از عوامل تأثیرگذار منفی بر شاخص‌های رشد گیاه کینوا و نیز درصد کلنیزاسیون ریشه می‌باشد و با افزایش تنش، رشد گیاه و درصد کلنیزاسیون ریشه کاهش یافت. بطور کلی افزایش شوری از 10 دسی‌زیمنس‌بر متر به بالا سبب کاهش شدید وزن خشک ریشه و شاخصاره گردید و این روند در گیاهان تلقیح شده و نشده با قارچ نیز تقریباً مشابه می باشد گرچه اثر مثبت تلقیح قارچ بر وزن خشک ریشه در سطوح شوری متناظر بیشتر است. گرچه گزارش‌هایی مبنی بر تحمل زیاد این گیاه در برابر تنش شوری موجود است ولی نتایجی از برخی محققان نیز در دست است که نشان می‌دهند، رفتار رقم‌های مختلف کینوا در مقابل شوری یکسان نیست وحتی یک رقم خاص، در مراحل مختلف رشد خود، پاسخ متفاوت به سطوح شوری میدهد (ملکی و همکاران، 2018). یکی دیگر از دلایل که در این تحقیق، این قارچ اندوفیت نتوانست سبب افزایش رشد قابل ملاحظه گیاه نسبت به تیمار بدون قارچ مخصوصاً در سطوح شوری بالا شود، احتمالا به ماهیت کینوا مرتبط می‌باشد. این گیاه متعلق به تیره چغندریان بوده و همانگونه که ممانعت های ژنتیکی در مقابل قارچ‌های میکوریزی از خود نشان میدهد، احتمالاً واکنش دفاعی در مقابل قارچ اندوفیت هم خواهد داشت و علیرغم کلنیزاسیون ریشه، بخشی از انرژی گیاه صرف این مقابله می‌شود (کیانگ و همکاران، 2012). البته مطالعات بیشتری برای اثبات این فرضیه، مورد نیاز است. علیرغم تاثیر اندک این قارچ در تحریک رشد کینوا در شرایط تنش شوری، بهبود جذب برخی عناصر غذایی و کاهش جذب یون سدیم در مقایسه با تیمار بدون قارچ، نتایج امیدوار کننده هستند و نیاز به بررسی بیشتر دارد.

فهرست منابع:

1. Aboutalebi, A., Hassanzadeh, V., and Arabzadegan, M.S. 2008. Effect of salinity on macronutrients and sodium concentrations in five species of citrus root. Journal of Agricultural Science and Natural Resource 15 (1): 1-10. (In Persian).
2. Agnew, C and Warren, A. 1996. A framework for tackling drought land degradation. Journal of Arid Environments 33(3): 310-320.
3. Aliyar, S. 2021. The effect of endophytic fungus *Piriformospora indica* on germination and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity stress conditions, MSc, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian).
4. Allison, L.E., Moodie, C.D. 1965. Chemical and Microbiological Properties. Pp: 1379-1396. In: Black CA (ed). Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiogical Properties ASA and SSSA, Madison, WI.
5. Ashraf, M., Athar, H.R., Harris, P.J.C., and Kwon, T.R. 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. Advances in Agronomy, 97: 45–110
6. Bagde, U. S., Prasad, R., and Varma, A. 2010. Interaction of mycobiont: *Piriformospora indica* with medicinal plants and plants of economic importance, African Journal of Biotechnology, 9: 9214-9226.
7. Barin, M., Ali Asgharzadeh, N., Samadi, A. 2006. Influence of mycorrhization on the mineral nutrition and yield of tomato under sodium chloride and salts mixture induced salinity levels. Iranian journal of soil and waters sciences, 20(1): 94-105. (In Persian).
8. Berta, G., Trotta, A., Fusconi, A., Hooker, J.E., Munro, M., Atkinson, D., Giovannetti, M., Morini, S., Fortuna, P., Tisserant, B., Gianinazzi-pearson, V., and Gianinazzi, s. 1995. Arbuscular mycorrhizal induced changes to plant gowth and root system morphology in Prunus cerasifera. Tree Physiology, 15: 281-293.
9. Borzouei, A., Kafi, M., KHazeihr, R., Mousavi SHalmani, M.A. 2012, Effect of irrigation water salinity on root traits of two salt-sensitive and salt-tolerant wheat cultivars and its relationship wite yield in greenhouse, Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 2(8): 96-105.
10. Box, S., Schachtman, D.P. 2011. The effect of low concentrations of sodium on potassium uptake and growth of wheatJournal of Plant Physiology. 27: 175-182.
11. Brown, J.W., and Hayward, H.E. 1956. Salt tolerance of alfalfa varieties. Agronomy Journal, 48: 18-20.
12. Cantrell, I.C., and Linderman, R.G. 2001. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhiza fungi reduces deleterious effects of soil salinity. Plant Soil 233: 269-281.
13. Cottenie, A. 1980. Soil and plant testing, FAO soils Bulletin, 38: 94-100.
14. Cramer, G.R. 2002. Response of abscisic acid mutant of Arabidopsis to salinity. Functional Plant Biology, 29: 561-567.
15. Dixon, R.K., Garg, V.K., and Rao, M.V. 1993. Inoculation of Lecaena and prosopis seedlings with Glomus and *Rhizobium* species in saline soil: *Rhizosphere* relations and seedlings growth. Arid Soil Research and Rehabilitation, 7: 133-144.
16. Druege, U., Baltruschat, H., and Franken, P. 2007. *Piriformospora indica* promotes adventitious root formation in cuttings, Scientia Horticulturae, 112: 422-426.
17. Gavito, M.E. Curtis, P.S., Mikkelsen, T.N., and Jakobsen, I. 2000. Atmospheric CO_2 and mycorrhiza effects on biomass allocation and nutrient uptake of nodulated pea (*Pisum sativum* L.) plants, Journal Experimental Botany, 51: 1931-1938.
18. Ghasem Nejad, A., and Babayizad, V. 2011. Vegetative growth and Caffeic acid content of *Cynara scolymus* L. influenced by *Piriformospora indica*. Journal of Plant Production Research, 18(1): 133-140. (In Persian).
19. Giri, B., Kapoor, R., and Mukherji, K.G., 2003. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on gowth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. Biology and Fertiliety of Soils, 38: 170-175.

20. Grattan, S.R., Grieve, C.M. 1992. Mineral nutrient acquisition and response by plant growth in saline environment. Agriculture, Ecosystem Environment 38: 275-300.
21. Hajiboland, R., Aliasgharzadeh, N., Farsad Laiegh, S.H., and Poschenrieder, S.H. 2010. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Plant and Soil, 313: 313-327. (In Persian).
22. Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S.E., Shabala, S. 2011. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa*. Willd.) plants grown at various salinity levels. Journal of Experimental Botany, 62(1): 185-93
23. Homayi, M. 2002, Reaction of plants to salinity, 12(58): 53-60
24. Jacobsen, S.E., Liu, F., Jensen, C.R. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Scientia Horticulturae, 122(2): 281-287.
25. Jacobsen, S.E., Monteros, C., Christiansen, J.L., Bravo, L.A., Corcuera, L.J., Mujica, A., 2005. Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. European Journal of Agronomy, 22: 131–139.
26. Jacobsen, S.E., Mujica, A., Jensen, C.R. 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. Food Reviews International, 19(1-2): 99- 109.
27. Jamil, M., Rehman, S.H., Rha, E.S. 2007. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta Vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica Oleracea Capitata* L.). Pakistan Journal of Botany. 39: 753-760.
28. Jeschke, W.D. 1984. K-Na exchange at cellular membranes, inter cellular campartmentation of cations, and salt tolerance. pp: 37-66. In: Salinity tolerance in plants. R. C. Staples., and Toenniessen, G.H. (eds). NewYork.
29. Kent, L.M., and Lauchi, A. 1985. Germination and seedling growth of cotton salinity-calcium interactions. Plant, Cell and Environment, 8: 155-159.
30. Klute, A., 1986. Method of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods. 2nd Ed. Agron. Monogr. Soil Science Society of American Journal. Madison, WI.
31. Kormanic, P.P., and Graw, M.C. 1982. Methods and Principles of Mycorrhizal Research. In: Schenck NC (Ed). Quantification of VA mycorrhizae in plant roots. Saint Paul Minnesota pp. 37-45. American Phytopathological Society.
32. Koyro, H.W., and Eisa, S.S., 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of (Chenopodium quinoa Willd.), Plant and Soil, 302(1-2): 79-90.
33. Le-Dily, F., Billard, J.P., Le-Saos, J., Huault, C. 1993. Effects of NaCl and gabaculine on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons. Plant Physiology and Biochemistry, 31: 303-310.
34. Lindalh, B.D., Ihrmark, K., Boberg, J., Trumbore, S.E., Hogberg, P., Stenlid, J., and Finlay, R.D. 2007. Spatial separation of litter decomposition and mycorrhizal nitrogen uptake in a boreal forest. New Phytologist, 173: 611-620.
35. Maleki P, Bahrami H.A, Saadat S, Sharifi F, Dehghany F & Salehi M. 2018. Salinity threshold value of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) at various growth stages and the appropriate irrigation method by saline water, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 49(15): 1815-1825.
36. Meiri, A., Kamburoff, J. and Poljakoff-Mayber, A. 1971. Response of bean plant to sodium chloride and sodium sulphate salinization. Annals of Botany, 35: 837-847.
37. Misra, A.N., Sahu, S.M., Misra, M., Singh, P., Meera, I., Das, N., Kar, M., Sahu, P. 1997. Sodium chloride induced changes in leaf growth, and pigment and protein contents in two Rice cultivars. Biologia Plantarum, 39: 257-262.
38. Moazardalan, M., Sawaqbi Firoozabadi, Gh. 2002. Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture (Translation). Tehran University Institute Press.

39. Mousavi, A., 1997, Effect of chloride-induced salinity stress on growth, chlorophyll content, soluble sugars, uptake and transport of elements in two native olive cultivars (yellow and oil cultivars), MSc, Faculty of Agriculture, University of Tehran. (In Persian).
40. Munns, R., Termaat, A., 1986. Whole-plant response to salinity. Australian Journal of Plant Physiology. 13, 60-140.
41. Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59: 651-681.
42. Narula, N., Kumar, V., Behl, R.K., Gransee, A., Gransee, W., and Merbach, W. 2000. Effect of P-solubilizing *Azotobacter chroococcum* on N, P, K uptake in P-responsive wheat genotypes grown under grrenhouse conditions. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 163: 393-398.
43. Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P. 539-579. In: Page AL (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
44. Nielson, D.C., Hogue, E.J., Neilsen, G.H. and Parchomchuck, P. 1995. Using SPAD-502 values to assess the nitrogen status of apple trees. Horticultural Science, 30: 508-512.
45. Norrif, I.R., Read, D.J., Varma, A.K., 1992. Method in Microbiology Techniques for Study of Mycorrhiza. Academic press, London.
46. Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorus.pp 413-430. In: A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part1 chemical and biological properties. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
47. Papadopoulos, L. and Rendig, V.V. 1983. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. Plant and Soil. 73: 47-57.
48. Qiang, X., Zechmann, B., Reitz, M.U., Kogel, K.H., Schäfer, P., 2012. The mutualistic fungus *Piriformospora indica* colonizes *Arabidopsis* roots by inducing an endoplasmic reticulum stress–triggered caspase-dependent cell death. The Plant Cell, 24(2): 794-809.
49. Rabhi, M., Barhoumi, Z., Ksouri, R., Abdelly, C., and Gharsalli, M. 2007. Interactive effects of salinity and iron deficiency in Medicago ciliaris. Comptes Rendus Biologies 330(11): 779-788.
50. Rahimi Tanha, Sh., Ghasemnezhad, A., Babaeizad, V. 2014. A study on the effect of endophyte fungus, *Piriformospora indica*, on the yield and phytochemical changes of globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaves under water stress. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 6(2): 1907-1921
51. Rahmani iranshahi, D., Sepehri, M., KHoshgoftarmanesh, A.H., Eshgizadeh, H.R., Jahandideh Mohen Abadi, V.A. 2015. The effect of endophytic fungus (*Piriformospora indica*) inoculation on antioxidant enzyme activity and wheat tolerance in phosphorus deficiency in hydroponic system. Journal of Soil and plant relationships, 24(3):75-86 .(In Persian).
52. Rai, M., Achaya, D., Singh, A., and Varma, A. 2001. Positive growth responses of themedicinal plants Spilanthes calva and Withania somnifera to inoculation by *Piriformospora indica* in a field trial. Mycorrhiza, 11: 123-128.
53. Rai, M., and Varma, A. 2005. *Arbuscular mycorrhiza*-like biotechnological potentialof *Piriformospora indica*, which promotes the growth of Adhatoda vasica. Electron. Journal of Biotechnology, 8: 107-111.
54. Safarneghad, A., Mohammad Dost shiri, A., Hamidi, H. 2011. Evaluation of salt tolerance at seedling growth stage of medicinal plants candle (*Dorema ammoniacum*). Journal of Soil and plant relationships. 2(5):1-11. (In Persian).
55. Salehi, M., and Dehghani, F. 2018. Guide to Planting, Holding and Harvesting Quinoa in Sality Conditions. First Edition. Publication of Agricultural Education, 52-57.
56. Sanchez, F.J., Manzanares, M., Andres, E.F., Ternorio, J.L., Ayerbo, L., Deandles, E.F. 1998. Turgor maitenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crop Research, 59: 225- 235

57. Schenck, N.C., perez, Y., 1988. Mannual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi. INVAM, 1453 Fifield Hall, University of Florid, Gainesville, Flo, USA. 241p.
58. Sepehri, M., Saleh Rastin, N., Hosseini Salekdeh, G., and Khayam Nekoe, M. 2009. Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on growth and resistance of *Hordeum vulgare* L. to salinity stress. Journal of Rangeland 3(3): 508-518.
59. Shannon, M.C. 1997, Adaptation of plants to salinity. Advances in Agronomy 60: 75-120.
60. Singh, A., Sharma, J., Rexer, K.H., and Varma, A. 2000. Plant productivity determinants beyond minerals, water and light. *Piriformospora indica*:a revolutionary plant growth Promoting fungus. Current Science, 79: 101-106.
61. Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. Electronic Journal of Biology 1: 44-48.
62. Song, J.Q., Mei, X.R., Fujiyama, H. 2013. Adequate internal water status of NaCl salinized rice shoots enhanced selective calcium and potassium absorption. Soil Science and Plant Nutrition 52: 300-304.
63. Sun, C., J., Johnson, M., Cai, D., Sherameti, I., Oelmüller, R., and Lou, B. 2010. *Piriformosporaindica* confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought-relatedgenes and the plastid-localized CAS protein. Journal of Plant Physiology. 167: 1009-1017
64. Talebnejad, R., Sepaskhah, A.R. 2015. Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. Agricultural Water Management, 148,177-188. (In Persian).
65. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable Cations. p. 159-165. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
66. Varma, A., and Hock, B. 1999. Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotecnology. Springer-Verlag, Berlin.
67. Varma, A., Singh, A., Sudha Sahay, N., Sharma, J., Roy, A., Kumari, M., Rana, D., Thakran, S., Deka, D., Bharti, K., Franken, P., Hurek, T., Blechert, O., Rexer, K.H., Kost, G., Hahn, A., Hock, B., Maier, W., Walter, M., Strack, D., and Kranner, I. 2001. *Piriformospora indica*: a cultivable mycorrhiza-like endosymbiotic fungus. Mycota IX. Springer Series, Germany. PP. 123-150.
68. Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G., and Van der Lee, J.J.1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi, Part 7, Plant Analysis Procedures, Wageningen Agriculture University.
69. Weiss, M., Waller, F., Zuccaro, A., Selosse, M.A. 2016. Sebacinales one thousand and one interactions with land plants. New Phytologist, 211: 20-40.
70. Westerm, R.L. 1990. Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of American. Madison Wisconisn, United States of America.
71. Yang, Y. Z., Zha, F., Zhang, J. M., Dong, S. Q., and Zhu, J. Q. 2012. Effects of *Pirformaspore indica* on cotton resistance to waterlogged stress. Adv. J. Food. Sci. Technol. 4: 413-416.
72. YousefiRad, M., Noormohammadi, G., Ardakani, M., MajidiHervan, E., Mirhadi, S. 2009. Effect of mycorrhiza on morphological characteristics and nutrients content of barley under different salinity levels. Journal of Agroecology. 5(3): 105-114.
73. Zarean, L., Mosadeghi, M.R., Sabzalian, M.R. 2017. Effect of endophytic fungus-tall fescue on organic carbon, total nitrogen and dispersible clay of rhizosphere soil, 15th Iranian Soil Science Congress, Isfahan.
74. Zarinjoob, H., Zarea, M., Mohammadi goltapeh, E., Hatami, A and Porsiabidi, M. 2012. Effect of the various sources of phosphorus on yield andnutrient uptake of sunflower under two cropping system. Journal of Crop Production, 5(3): 99-114.

Effects of endophytic fungus *Serendipitaindica* on growth and nutritional characteristics of quinoa undersalinity stress conditions

S. Aliyar[1], N. Aliasgharzad, A. DabbaghMohammadiNasab, and Sh. Ostan
MSc of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran;
E-mail: aliyarsajad73@gmail.com
Professor.of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran;
E-mail: n-aliasghar@tabrizu.ac.ir
Professor. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran;
E-mail: adeldabb@yahoo.com
Professor. of Soil Chemistry, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran;
E-mail: oustan@tabrizu.ac.ir
Received: May, 2021 & Accepted: January, 2022

Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa*Willd.) is a high-yielding pseudo-cereal crop, belonging to the *Chenopodiaceae* plants, shows tolerance to salinity stress. As a chenopod plant, it could not establish a symbiosis relation with mycorrhizal fungi, but there are evidences that the *Serendipitaindica* (endophytic fungus) could enter the root and more likely improves the tolerance of quinoa against salt stress. This study was performed as a pot experiment in Completely Randomized Factorial Designs (CRFD) with three replications in a sterilized sandy loam soil. Experimental factors included two levels of *S. indica* (inoculated and non-inoculated) and salinity levels of 1.47 (initial electrical conductivity of soil), 5, 10, 20 and 30 dS/m. The interaction effect of salinity stress and fungal inoculation was significant for studied traits in both shoot and root ($P < 0.05$), except for the concentrations of nitrogen and phosphorus in the root. The concentrations of phosphorus, potassium, calcium and magnesium, growth traits and percentage of root colonization in quinoa were significantly reduced by increasing salinity levels ($P < 0.05$). *S. indica* increased root dry weight in control, 5 and 10 dS/m by 23.45, 25.66 and 25.57%, compared to no-fungal treatment, respectively. At initial electrical conductivity (1.47dS/m), shoot dry weight increased by 9% in inoculated plants compared to the non-inoculated treatment. Inoculation with *S. indica* reduced the concentration of root sodium at salinity levels of 10, 20 and 30 dS/m by 30.49, 66.78 and 43.55%, respectively, compared to the non-inoculated treatment. In the aerial part, the fungus could reduce the sodium concentration at 10, 20 and 30 dS/m by 20.96, 13.28 and 10.24%, respectively, compared to the treatment without the fungus. Based on the results, inoculation with the fungus significantly increased the concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in shoots at 20 and 30 dS/m.

Keywords: Growth characteristics, Nutrients, *S. indica*, Root colonization, Chlorophyll index.

[1]. Corresponding author: Soil science department, Faculty of agriculture, University of Tabriz.