اثر نانوسیلیکون، میکوریزا و ورمی‌کمپوست بر فتوسنتز جاری و انتقال ماده خشک تریتیکاله (*Triticosecale Wittma* L.) تحت تنش شوری

سارا محمدی کله‌سرلو[1*] و رئوف سیدشریفی[2]

۱) دانشجوی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲) استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

*نویسنده مسئول: **mohammadiisara1@gmail.com**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۲ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸**

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی می‌باشد.

چکیده

شوری یکی از مخرب‌ترین تنش‌های محیطی است که تقریبا بر همه جنبه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه اثر می‌گذارد و تهدیدی جدی برای عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک است. راه کارهای متعددی به منظور کاهش اثرات سمی ایجاد شده به‌وسیله شوری بر رشد گیاهان پیشنهاد شده است. در میان آن‌ها استفاده از سیلیکون و کودهای زیستی نقش مهمی را در بهبود عملکرد گیاهان ایفا می‌کنند. در این رابطه آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح شوری [عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، شوری ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار (به‌ترتیب برابر ۱/۸، ۲/۷۶ و ۵/۵۳ دسی‌زیمنس برمتر با کلرید سدیم)]، کودهای زیستی و آلی (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا) و محلول‌پاشی نانوسیلیکون (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) بودند. نتایج نشان داد کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست با میکوریزا و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم درلیتر نانوسیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری، انتقال ماده خشک از ساقه (۲۰۹/۰۱ درصد) و اندام‌های هوایی به دانه (۸۰/۳۷ درصد) را کاهش داد ولی هدایت روزنه‌ای (۵۰/۴۷ درصد)، پروتئین برگ پرچم (۲۷/۱۳ درصد)، فتوسنتز جاری (۱۵۳/۴۱ درصد)، سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه (۸۹/۵۶ درصد) و عملکرد دانه (۸۸/۸۸ درصد) را نسبت به شرایط عدم کاربرد کوهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط شوری۶۰ میلی‌مولار، افزایش داد. بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان پیشنهاد نمود که کاربرد نانوسیلیکون، کودهای زیستی و آلی می‌تواند عملکرد دانه تریتیکاله تحت شرایط شوری را، با بهبود هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز جاری افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین برگ، محلول‌پاشی، ورمی‌کمپوست و هدایت روزنه‌ای.

مقدمه

در میان گیاهان زراعی، غلات یکی از از اجزای اصلی رژیم غذایی انسان بوده و نقش مهمی در شکل‌گیری تمدن‌های بشری ایفا کرده‌اند (Yang, 2018). تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack) به‌عنوان نخستین غله دانه‌ریز، حاصل تلاقی گندم و چاودار است. این گیاه از درصد پروتئین و اندازه دانه‌های درشت‌تر از گندم و از رشد سریع و قابلیت تولید در اراضی فقیر و کم بازده همانند چاودار، برخوردار است (فومن و خزائی، ۱۳۹۳) و می‌تواند جایگزین مناسبی برای گندم و جو در سیستم‌های کم نهاده باشد (Mikic *et al*., 2015). از این‌رو پیش بینی می‌شود که در افق ایران ۱۴۰۴، سطح زیر کشت این گیاه به ۵۰۰ هزار هکتار برسد (سیدشریفی و خلیل زاده، ۱۳۹۶).

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی و از عوامل اصلی کاهش عملکرد گیاهان زراعی است که با اثر منفی بر متابولیسم گیاه و ایجاد تغییرات شیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک متعدد در گیاهان (Munns and Tester., 2008)، می‌تواند موجب تغییر در فتوسنتز، انتقال مجدد ماده خشک، رشد ریشه (کاهش وزن و حجم ریشه)، کاهش سطح برگ و عملکرد دانه شود (نظری و همکاران، ۱۴۰۰). با افزایش شوری پتانسیل آب موجود در خاک کاهش پیدا کرده و کاهش هدایت روزنه‌ای یک واکنش سریع و اولیه گیاه نسبت به تنش شوری است (Moradi and Abdelbagi, 2007). در این راستا برخی محققان (Jamil *et al*, 2007) اظهار داشتند که کاهش فتوسنتز تحت اثر افزایش تنش شوری می‌تواند به دلیل هدایت روزنه‌ای پایین‌تر، کاهش فرایندهای متابولیکی بویژه در جذب کربن، بازدارندگی ظرفیت فتوسنتزی و یا ترکیبی از این عوامل باشد. کاهش هدایت روزنه‌ای در پاسخ به تنش شوری در برنج توسط دیگر محققان گزارش شده است (Walia *et al*., 2005). یکی از راه‌کارهای موثر در افزایش حاصل‌خیزی خاک در سیستم‌های کشاورزی پایدار، استفاده هرچه بیش‌تر از نهاده‌های درون مزرعه‌ای از جمله جانداران مفید خاک‌زی است (Sharma *et al*., 2013) که قابلیت جذب عناصر غذایی را با استفاده از فرآیندهای زیستی برای گیاهان فراهم می‌کنند (Azzaz *et al*., 2009). در این راستا ورمی‌کمپوست، کود زیستی محرک رشد گیاهی است که محصول نهایی فرایند تجزیه مواد آلی در حضور کرم‌های خاکی کمپوست‌ساز بوده و در نتیجه عبور مداوم مواد آلی از سیستم گوارش کرم، مواد اولیه تجزیه و به شکل نسبتاً پایدار تبدیل می‌شود (Ravindaran *et al*., 2008). این ماده از قدرت جذب و نگهداری بالای عناصر معدنی، تهویه و زهکشی مناسب خاک، ظرفیت زیاد نگهداری آب برخوردار بوده و عاری از بو و عوامل بیماری‌زا است و امروزه استفاده از آن در کشاورزی پایدار، جهت بهبود رشد و کیفیت محصولات زراعی متداول است (Rahimi *et al*, 2012). کاربرد ورمی‌کمپوست با توسعه اندام‌های فتوسنتز کننده و افزایش تولید و ذخیره مواد، به افزایش فتوسنتز جاری و عملکرد دانه کمک می‌کند (محمدی کله‌سرلو و سیدشریفی، ۱۴۰۰).

قارچ‌های میکوریزا نیز یکی دیگر از کودهای زیستی است که در کاهش اثر منفی ناشی از تنش شوری موثر است (Taffouo *et al*., 2004 **;** Talaat and Shawky, 2014) و با افزایش سطح جذب و گسترش منطقه نفوذ ریشه، و ایجاد شبکه‌ای از هیف‌های خارجی به‌عنوان اتصال اضافی و سطح جاذب در خاک عمل می‌کنند (Nazeri *et al*, 2013). هم-زیستی با قارچ میکوریزا اثر سوء ناشی از کمبود عناصر غذایی و تنش‌های خشکی و شوری را کاهش و رشد گیاه، جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن، فسفر و برگشت‌پذیری پس از تنش را افزایش می‌دهد (Latef and Chouong, 2011) و می‌تواند با افزایش تولید تنظیم کننده‌های رشد، تنظیم حرکات روزنه‌ای و تعرق، افزایش جذب آب و فعالیت فتوسنتزی (Golsing *et al*., 2006)، بهبود محتوای پروتئین، هدایت روزنه‌ای برگ، ضمن افزایش فتوسنتزی جاری به افزایش عملکرد دانه کمک کند (Kheirizadeh Arough *et al*, 2016).

کاربرد سیلیکون یکی دیگر از راه‌کارهایی است که می‌تواند اثر مخرب تنش در گیاهان را تا حد زیادی تعدیل کرده و بهره‌وری گیاهان تحت شرایط تنش را بهبود بخشد (Tripathi *et al*., 2016). به همین دلیل است که موسسه بین‌المللی تغذیه گیاه[1] سیلیکون را به فهرست عناصر غذایی مفید افزوده است (Ouellette *et al*., 2017). در شرایط شوری به علت محدودیت جذب عناصر غذایی از ریشه، تغذیه برگی می‌تواند مفید باشد (Cakamak, 2008) و در این راستا کاربرد عناصر غذایی به شکل نانو علاوه بر انحلال‌پذیری بیشتر، از نفوذپذیری بالایی در غشای سلولی برخوردار است (Mazaherinia *et al*., 2010). در این راستا برخی محققان اظهار داشتند که کاربرد نانوسیلیکون می‌تواند اثر ناشی از شوری را تعدیل (Haghighi and Pessarakli, 2013) کرده و موجب افزایش هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز برگ و محتوای پروتئین محلول برگ گیاهی مانند ذرت گردیده است (زراوشان و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین کاربرد میکوریزا و نانوسیلیکون تحت شرایط تنش با بهبود محتوای پروتئین و فتوسنتز جاری، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شده است (ناصری و همکاران، ۱۳۹۶).

گسترش روز افزون اراضی شور و نقش موثر نانوسیلیکون، کودهای زیستی و آلی در بهبود عملکرد گیاهان تحت تنش شوری و بررسی های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش هم‌زمان این عوامل، از جمله مواردی بودند که اهمیت انجام این تحقیق را ضروری نمود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در

[1] International of Plant Nutrition Institute (IPNI)

سه سطح (سطح شاهد با قابلیت هدایت الکتریکی معادل ۱/۸ دسی‌زیمنس برمتر، شوری ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار به‌ترتیب معادل ۲/۷۶ و ۵/۵۳ دسی‌زیمنس برمتر)، کاربرد کودهای زیستی و آلی (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریزا، کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و میکوریزا) و محلول‌پاشی نانوسیلیکون (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. با استفاده از نمک کلرید سدیم و نرم افزار Salt calc مقدار نمک مورد نیاز برای هر یک از سطوح شوری به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع خاک محاسبه، و همراه آب آبیاری به هر گلدان اضافه شد. در مراحل بعدی در هر نوبت آبیاری مقدار برابری آب به هر گلدان اضافه شد. تعداد و دفعات آبیاری در تمامی گلدان‌ها یکسان و بسته به دمای گلخانه و مرحله رشدی گیاه اعمال شد. به‌منظور حفظ شوری در طول دوره رشد، از زیرگلدانی استفاده شد تا نمک‌های احتمالی وارد شده به آن، در آب حل و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. از رقم بهاره سناباد تهیه شده از تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع (که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است) استفاده شد. از این‌رو ۵۰ بذر در گلدان‌هایی با قطر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر کشت شدند. این رقم متوسطرس، مقاوم به خوابیدگی و بیماری‌های رایج گندم، و برای کاشت در مناطق معتدل و معتدل سرد خراسان و مناطق مشابه آن در سطح کشور همانند اقلیم اردبیل توصیه گردیده است. نانوسیلیکون (SiO_2-Nano) با قطر ذرات ۲۰ الی ۳۰ نانومتر محصول شرکت (Nanomateria US Research)، از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه و محلول‌پاشی با آن در مراحل پنجه‌زنی و ساقه‌دهی (به‌ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. از قارچ میکوریزا موسه‌آ[2] که از شرکت زیست فناوران توران تهیه شده بود به مقدار ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک بر اساس توصیه شرکت مذکور استفاده شد. تعداد تقریبی اسپور زنده در هر گرم قارچ حدود ۱۰۰ اسپور بود. خاک مورد استفاده در گلدان‌ها با pH برابر ۷/۸، بافت سیلتی و برخوردار از کربن آلی و نیتروژن به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۰۴ درصد، مقادیر فسفر و پتاسیم به‌ترتیب برابر با ۲۷/۳ و ۲۵۵ میلی‌گرم در هرکیلوگرم بود. مقدار ورمی

کمپوست مصرفی در این آزمایش ۱۰ تن در هکتار بود که از شرکت گیلدا خریداری و مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: نتایج تجزیه کود ورمی کمپوست

منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	کادمیم	سرب	روی	مس	منگنز	آهن	نسبت کربن به نیتروژن	هدایت الکتریکی	اسیدیته
(درصد)				(میلی‌گرم بر کیلوگرم)						(درصد)	(دسی‌زیمنس بر متر)	
۰/۹۵	۲/۷۳	۰/۴	۰/۴	۱	۱۹	۱۱۰	۲۰	۲۷۵	۵۰۰۰	۲۱/۲۵	۱/۱۲	۷/۶۴

2 *Glomus moseae*

در طول دوره رشد کنترل علف‌های هرز به طریق دستی انجام شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای با میانگین دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و طول دوره روشنایی ۱۶-۱۵ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ-های معمولی و مهتابی) نگه داری شدند. برای برآورد میزان انتقال مجدد مواد از اندام‌های رویشی (اعم از ساقه و کل اندام-های رویشی) به دانه، از زمان پر شدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نمونه‌برداری انجام شد. بدین ترتیب که در این مرحله (در تاریخ ۶ مرداد ماه) در هر گلدان تعدادی بوته‌هایی مشابه و یکنواخت علامت‌گذاری شده و از یک هفته قبل از پرشدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، هر چهار روز یک بار بوته‌ها برداشت شد و سپس به ساقه، برگ و دانه تفکیک شدند. پس از خشک کردن (قرار دادن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) به اندام‌های مختلف توزین، میزان انتقال ماده خشک، سهم فرایند انتقال مجدد از بخش رویشی به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه از طریق رابطه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ محاسبه شد (Barnett and Pearce, 1983):

رابطه ۱: $DMT = DMA - DMM$

که در آن DMT[3] میزان انتقال ماده خشک کل بر حسب گرم در بوته، DMA[4] حداکثر ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DMM[5] ماده خشک اندام هوایی (به جز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

رابطه ۲: $CDMAG = (DMT \div GY) \times 100$

در این رابطه CDMAG[6] سهم فرآیند انتقال مجدد ماده خشک کل در تشکیل دانه بر حسب درصد، DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب گرم در بوته و GY[7] عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته می‌باشد.

رابطه ۳: $SDMT = SDMM - SDMA$

در این رابطه SDMT[8] میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در بوته، SDMA[9] حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول، SDMM[10] وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد.

رابطه ۴: $CSAG = (SDMT \div GY) \times 100$

در این رابطه CSAG[9] سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه بر حسب درصد، SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر

3 Dry Matter Translocation
4 Dry Matter at Anthesis
5 Dry Matter at Maturity
6 Contribution of Dry Matter Assimilates to Grain
7 Grain Yield
8 Stem Dry Matter Translocation
9 Stem Dry Matter at Anthesis
10 Stem Dry Matter at Maturity

حسب گرم در بوته و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته می‌باشد.

رابطه ۵: $CP = GY - DMT$

در این رابطه CP[11] میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در بوته، GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته و DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب گرم در بوته می‌باشد.

رابطه ۶: $SSPG = (CP \div GY) \times 100$

در این رابطه CCPG[12] سهم نسبی فتوسنتز جاری در دانه بر حسب درصد، CP میزان فتوسنتز جاری بر حسب گرم در بوته و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته می‌باشد. در این روابط کاهش ناشی از تنفس در نظر گرفته نشده و فرض بر آن است که تنفس برای شرایط محیطی مورد استفاده در این بررسی یکسان است. محققان دیگر هم در بررسی های مربوط به تنوع ژنتیکی انتقال مجدد در گندم، چنین فرضی را به‌کار برده‌اند (Ehdaie and Waines,1993). محتوای پروتئین برگ پرچم با استفاده از روش Bradford (1976) در مرحله آبستنی (چکمه‌ای شدن) (معادل با کد BBCH ۳۷) اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای، از ۴۲ روز بعد از سبز شدن (مصادف با ظهور برگ پرچم)، هر چهار روز یک‌بار توسط دستگاه پرومتر (Porometr AP4, Delra-T Devices Itd., Cambridge, UK) از هر تیمار به‌صورت تصادفی چهار برگ پرچم توسعه یافته انتخاب و اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی تعداد هشت بوته به ظاهر مشابه که به-طور تصادفی در هر گلدان مشخص شده بود برداشت شد، سپس میانگین داده‌های حاصل از آن‌ها، به‌عنوان وزن تک بوته در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

هدایت روزنه‌ای

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش هم‌زمان هر سه عامل مورد بررسی (کودهای زیستی و آلی، نانوسیلیکون و تنش شوری) بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در طول رشد گیاه، هدایت روزنه‌ای برگ پرچم روند کاهشی داشت (جدول ۲). در ۷۰ روز پس از کاشت، کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون تحت شرایط عدم اعمال شوری، از بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در بالاترین سطح شوری برخوردار بود (جدول ۳).

11 Current photosynthesis
12 Contribution Current photosynthesis in grain

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس تاثیر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و شوری بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم تریتیکاله

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		روزهای بعد از سبز شدن							
		۴۲	۴۶	۵۰	۵۴	۵۸	۶۲	۶۶	۷۰
تکرار	۲	۲۳۹/۷۹**	۲۰۰/۵۵**	۲۵۶/۷۶**	۹۲/۳۳**	۳۶۸/۱۳**	۲۰۷/۸۰**	۱۸/۰۷**	۱۷۰/۱۵**
شوری (S)	۲	۸۹۵/۰۲**	۸۴۲/۵۵**	۱۱۹۳/۶۱**	۱۰۴/۴۳**	۹۷۹/۳۶**	۵۴۶/۳۲**	۳۵۶/۱۹**	۲۱۰/۹۹**
کودهای زیستی (B)	۳	۷۰/۲۵**	۶۶/۰۷**	۰/۸۹*	۰/۱۳ns	۱۴/۰۶**	۰/۶۸ns	۴/۳۷**	۱/۰۹*
محلول پاشی (N)	۲	۲۵/۴۵*	۱۹/۳۰**	۳۳/۶۰**	۲۷/۳۶**	۹/۷۲**	۷/۵۴**	۴/۶۶**	۲/۲۰**
S×B	۶	۱۱/۴۳ns	۱۴/۸۱**	۹/۳۷**	۶/۶۲**	۴/۷۰*	۰/۵۳ns	۲/۳۴**	۱/۳۵**
S×N	۴	۵/۸۸ns	۲/۱۶**	۶/۶۱**	۵/۲۸**	۲/۵۹ns	۱/۹۵ ns	۰/۸۱ns	۱/۲۳*
B×N	۶	۵۳/۸۴**	۷۰/۸۵**	۵/۰۷**	۲/۶۰*	۲/۴۸ns	۴/۵۸**	۳/۱۰**	۱/۸۵**
S×B×N	۱۲	۱۱/۱۳*	۱۱/۲۲**	۸/۲۱**	۷/۵۱**	۳/۵۳*	۳/۸۷**	۲/۶۷**	۲/۷۰**
خطا	۷۰	۵/۲۶	۰/۴۳	۰/۲۶	۰/۸۸	۱/۶۲	۰/۸۲	۰/۳۶	۰/۳۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۵/۴۹	۶/۱۸	۴/۳۱	۸/۲۱	۴/۱۲	۳/۴۰	۲/۹۱	۳/۸۸

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

کاهش هدایت روزنه‌ای تحت شرایط تنش، می‌تواند ناشی از بسته شدن روزنه‌ها و جلوگیری از تعرق باشد که در نهایت، به ممانعت از رشد گیاه منجر می‌شود. از طرفی شوری موجب تولید آبسزیک اسید در ریشه‌ها می‌شود که با انتقال به اندام هوایی، می‌تواند با اختلال در تبادلات گازی به بسته شدن روزنه‌ها وکاهش تعرق و هدایت روزنه‌ای منجر شود (Uzma and Asghari., 2006). به‌نظر می‌رسد کاربرد میکوریزا و ورمی‌کمپوست به‌دلیل گسترش ریشه‌ها و دسترسی بهتر به منابع آبی، موجب کاهش آبسزیک اسید و افزایش هدایت روزنه‌ای شده است. بخشی از بهبود هدایت روزنه‌ای می‌تواند به وجود مقادیر بالایی از عناصر روی و پتاسیم در ورمی‌کمپوست مورد استفاده مرتبط باشد (جدول ۱) که در باز شدن روزنه‌ها نقش اساسی دارد. اظهار شده است که کمبود روی از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای، موجب کاهش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود و روی با نقشی که در حفظ پتاسیم در سلول‌های نگهبان روزنه دارد باعث کنترل هدایت روزنه‌ای می‌شود (Wang and Jin, 2005).

ورمی‌کمپوست به‌دلیل تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و رشد بهتر ریشه‌ها، موجب افزایش جذب آب توسط ریشه و بهبود هدایت روزنه‌ای در گیاهان تحت تنش شوری و خشکی می‌شود (Kiran 2019). زراوشان و همکاران (۱۳۹۹) علت افزایش هدایت روزنه‌ای برگ ذرت با کاربرد نانوسیلیکون در شرایط تنش شوری را، به بهبود راندمان مصرف آب و سرعت باز و بسته شدن روزنه‌ها نسبت دادند.

انتقال ماده خشک از اندام هوایی و سهم آن در عملکرد دانه

برهم‌کنش هم‌زمان کودهای زیستی و آلی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و تنش شوری بر انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین انتقال مجدد از ساقه و اندام هوایی در ترکیب تیماری عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط شوری ۶۰

میلی‌مولار و کم‌ترین مقادیر این صفات در کاربرد کودهای زیستی و آلی تحت شرایط عدم اعمال شوری و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری کاربرد کودهای زیستی، نانوسیلیکون و شوری بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم تریتیکاله

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری (روز پس از سبز شدن)							
	۴۲	۴۶	۵۰	۵۴	۵۸	۶۲	۶۶	۷۰
$S_1\times B_1\times N_1$	۴۷/۳۳^{abc}	۴۷/۰۲^{abc}	۴۴/۴۵^{ab}	۴۰/۵۹^{ab}	۳۸/۸۳^{a}	۳۳/۰۱۶۷^{ab}	۲۴/۸۶^{b}	۲۲/۹۳^{b}
$S_1\times B_2\times N_1$	۴۵/۰۴^{bcdef}	۳۶/۳۹^{pq}	۴۲/۳۵^{d}	۳۹/۲^{bc}	۳۷/۸۳^{abc}	۳۲/۰۵۳۳^{ab}	۲۴/۱۸۳۳^{bcd}	۲۲/۴۶^{bc}
$S_1\times B_3\times N_1$	۴۸/۶۹^{ab}	۴۶/۱۶^{cd}	۴۴/۲۷^{b}	۴۰/۵۳^{ab}	۳۵/۷۶^{cdef}	۳۲/۱۸۳۳^{ab}	۲۴/۶۱۶۷^{bc}	۲۲/۳۶^{bcd}
$S_1\times B_4\times N_1$	۴۷/۵۸^{abc}	۴۶/۵۲^{bc}	۴۳/۱^{cd}	۳۹/۸۳^{bc}	۳۷/۱۸^{abcd}	۳۱/۵۱۶۷^{bc}	۲۳/۲۷۳۳^{def}	۲۱/۴^{de}
$S_1\times B_1\times N_2$	۴۹/۱۰^{ab}	۴۴/۴^{de}	۴۳/۷۷^{bc}	۴۰/۴۸^{ab}	۳۸/۱۴^{ab}	۳۰/۸۳۳۳^{cd}	۲۴/۷۳۳۳^{bc}	۲۲/۵۷^{bc}
$S_1\times B_2\times N_2$	۴۶/۳۳^{abcd}	۴۶/۱۷^{cd}	۳۹/۲۵^{g}	۳۶/۹۶^{de}	۳۵/۴۹^{def}	۳۱/۸۷۶۷^{bc}	۲۳/۸۵^{cde}	۲۰/۴۳^{efg}
$S_1\times B_3\times N_2$	۴۷/۸۶^{abc}	۴۳/۳۲۶۷^{fg}	۴۳/۱^{cd}	۳۹/۸۶^{bc}	۳۶/۴۲^{bcde}	۳۲/۰۳۳۳^{bc}	۲۲/۶۵^{fg}	۲۲/۱^{bcd}
$S_1\times B_4\times N_2$	۴۴/۸۶^{cdef}	۴۲/۷۶^{gh}	۴۱/۰۱^{e}	۳۸/۴۵^{cd}	۳۴/۵^{efg}	۲۹/۸۶۶۷^{de}	۲۳/۰۵^{ef}	۲۰/۸۳e
$S_1\times B_1\times N_3$	۴۸/۱۶^{abc}	۴۵/۴^{de}	۳۸/۷۵^{g}	۳۶/۶۱^{ef}	۳۷/۲۲^{abcd}	۳۱/۱۶۶۷^{cd}	۲۴/۲۲^{bc}	۲۱/۹۲^{cd}
$S_1\times B_2\times N_3$	۴۶/۲۱^{bcde}	۴۳/۴^{fg}	۳۸/۷۴^{g}	۳۶/۵۸^{ef}	۳۴/۰۲^{fg}	۲۹/۵^{ef}	۲۲/۰۱۶۷^{ghi}	۲۰/۷۴^{e}
$S_1\times B_3\times N_3$	۴۴/۵۳^{cdefg}	۴۲/۰۱^{hi}	۴۰/۰۱۶^{f}	۳۷/۲۶^{de}	۳۵/۳۷^{ef}	۲۹/۵^{ef}	۲۲/۳۹۶۷^{fgh}	۲۰/۶۲^{ef}
$S_1\times B_4\times N_3$	۴۹/۵۵^{a}	۴۷/۶۶^{a}	۴۵/۱۶^{a}	۴۱/۶۳^{a}	۳۶/۷۶^{abcd}	۳۴/۷۶۶۷^{a}	۲۶/۱^{a}	۲۴/۳۶^{a}
$S_2\times B_1\times N_1$	۳۷/۵۲^{klmno}	۴۰/۹۹^{ijk}	۳۷/۴۹^{h}	۳۵/۲۳^{gh}	۳۲/۸۳^{gh}	۲۸/۵۱۶۷^{fg}	۲۱/۷۵^{ghij}	۱۹/۷۳^{fgh}
$S_2\times B_2\times N_1$	۳۸/۱۶^{jklmno}	۳۲/۰۴^{w}	۳۵/۷۵^{jk}	۳۳/۶۳^{hi}	۳۱/۳۳^{hijk}	۲۷/۴۲۳۳^{hij}	۲۰/۸۳۳۳^{kjl}	۱۹/۳۸^{hijk}
$S_2\times B_3\times N_1$	۴۲/۵^{efghi}	۳۹/۹۱^{kl}	۳۷^{hi}	۳۴/۵g^{h}	۳۰/۲۸^{ijklm}	۲۸/۲۷۶۷^{ghi}	۲۱/۸۸۳۳^{ghi}	۱۹/۶^{ghij}
$S_2\times B_4\times N_1$	۴۳^{defgh}	۴۰/۵^{jk}	۳۴/۷۵^{lm}	۳۲/۷۵^{ijk}	۲۹/۷۶^{jklmn}	۲۶/۱۴۶۷^{jk}	۲۰/۲۵۳۳^{lmn}	۱۸/۵۳^{klmn}
$S_2\times B_1\times N_2$	۳۹/۳۳^{hjklmn}	۳۷/۸۴^{no}	۳۳/۲۴^{no}	۳۱/۵^{klmn}	۳۱/۹^{hi}	۲۷/۰۴^{ijk}	۲۱/۶۱۳۳^{hij}	۱۹/۶۶^{fghi}
$S_2\times B_2\times N_2$	۴۰/۴۸^{hijkl}	۴۰^{kl}	۳۶/۵۰^{ij}	۳۴/۳۳^{gh}	۳۰/۰۸^{ijklm}	۲۶/۷^{jk}	۲۰/۶۱۶۷^{klm}	۱۹/۲۵^{hijkl}
$S_2\times B_3\times N_2$	۴۰/۲۲^{hijkl}	۳۶/۹۱^{op}	۳۴/۰۲^{mn}	۳۲/۰۸^{jkl}	۳۰/۹۱^{ijkl}	۲۶/۸۷^{ijk}	۱۹/۴۵^{nop}	۱۸/۶۹^{jklm}
$S_2\times B_4\times N_2$	۴۱/۶۶^{fghij}	۳۹/۳۲^{lm}	۳۵/۴۹^{kl}	۳۳/۴۱^{hij}	۲۸/۱۷^{opq}	۲۷/۳۵^{hijk}	۱۹/۷۳^{mno}	۱۹/۳۸^{hijk}
$S_2\times B_1\times N_3$	۳۸/۲۷^{jklmno}	۳۶/۸۳^{pq}	۳۳/۶^{no}	۳۱/۶۲^{klm}	۲۹/۲۹^{klmn}	۲۶/۴۸^{jk}	۲۱/۳^{ijk}	۱۸/۴۴^{klmno}
$S_2\times B_2\times N_3$	۴۰/۹۸^{ghijk}	۳۸/۵۸۳۳^{mn}	۳۵/۷۴^{jk}	۳۳/۶۱^{hi}	۳۱/۵۶^{hij}	۲۵/۹۳^{jkl}	۱۹/۹۶^{lmno}	۱۸/۴۴^{klmno}
$S_2\times B_3\times N_3$	۳۹ ^{ijklmn}	۳۷/۱۲^{op}	۳۲/۹^{o}	۳۱ ^{lmno}	۲۹ ^{lmno}	۲۵/۸۸^{kl}	۱۹/۲۱^{opq}	۱۸/۷۳^{ijklm}
$S_2\times B_4\times N_3$	۴۸/۱۶^{abc}	۴۷/۳۸^{ab}	۳۳/۳۲^{no}	۳۱/۵^{klmn}	۲۸/۴۱^{onmp}	۲۷/۰۸^{hijk}	۱۹/۴۸^{nop}	۱۸/۳۳^{lmno}
$S_3\times B_1\times N_1$	۳۶/۳۳^{mno}	۳۲/۸۹^{uvw}	۲۹/۵۹^{u}	۲۶/۳۳^{u}	۲۴/۸۳^{s}	۲۲/۷۶^{n}	۱۶/۴۱^{w}	۱۶/۱۹^{t}
$S_3\times B_2\times N_1$	۳۶/۲۰^{mno}	۳۴/۲۴st	۳۱/۴۲^{pqr}	۳۰/۰۳^{nopq}	۲۶/۹۵^{pqrs}	۲۴/۵۸^{lm}	۱۸/۶۷^{pqr}	۱۷/۹۴^{mno}
$S_3\times B_3\times N_1$	۳۶/۸۸^{lmno}	۳۴/۸۸^{rs}	۳۰/۹۴^{qrs}	۲۸/۹۲^{pqrs}	۲۶/۵۵^{pqrs}	۲۳/۶^{mn}	۱۷/۴۵^{stuv}	۱۷/۲^{pqrs}
$S_3\times B_4\times N_1$	۳۵/۷۶^{mno}	۳۳/۴۶^{tuv}	۳۰/۱۶^{stuv}	۲۸/۲۷^{rst}	۲۵/۹۵^{rs}	۲۴/۰۵^{lm}	۱۸/۲۳^{rst}	۱۷/۵۴^{opq}
$S_3\times B_1\times N_2$	۳۴/۹۳^{o}	۳۲/۸۲^{vw}	۳۱/۹۲^{p}	۳۰/۳۶^{mnop}	۲۶/۷۴^{pqrs}	۲۴/۸۸^{mn}	۱۷/۷۷^{struv}	۱۷/۲۳^{pqr}
$S_3\times B_2\times N_2$	۳۵/۵۹^{no}	۳۵/۴۵^{qr}	۳۰/۶۸^{pqrs}	۲۸/۸۲^{qrst}	۲۶/۲۶^{qrs}	۲۳/۷۸^{mn}	۱۷/۱۲^{uvw}	۱۶/۸۶^{qrst}
$S_3\times B_3\times N_2$	۳۶/۱۹^{mno}	۳۳/۲۲^{tuv}	۳۱/۱۶^{pqr}	۲۹/۴۶^{pqr}	۲۵/۸۸^{rs}	۲۴/۲^{mn}	۱۷/۸۱۶^{rstu}	۱۷/۵۷^{nopq}
$S_3\times B_4\times N_2$	۳۵/۷۶^{mno}	۳۴/۶^{rs}	۳۱/۱۶^{pqr}	۲۹/۵۰^{opqr}	۲۵/۸^{rs}	۲۳/۶۵^{mn}	۱۶/۸۱^{vw}	۱۶/۵۳^{rst}
$S_3\times B_1\times N_3$	۳۶/۰۶^{mno}	۳۳/۹۶^{stu}	۳۰/۴۶^{rstu}	۲۸/۳۸^{rst}	۲۷/۱۵^{opqr}	۲۴/۶^{lm}	۱۸/۲۸^{qrs}	۱۷/۷^{nopq}
$S_3\times B_2\times N_3$	۳۴/۹۶^{o}	۳۴/۵۸^{rs}	۲۹/۸۱^{uv}	۲۷/۲۹^{tu}	۲۶/۲۷^{qrs}	۲۳/۴۴^{mn}	۱۷/۲۶^{tuvw}	۱۶/۸۳^{qrst}
$S_3\times B_3\times N_3$	۳۵/۳^{no}	۳۳/۲^{tuv}	۲۹/۹۹^{tuv}	۲۷/۶۷^{stu}	۲۵/۴۹^{rs}	۲۳/۲^{mn}	۱۷/۵۹^{stuv}	۱۷/۱۷^{qrst}
$S_3\times B_4\times N_3$	۴۲/۳۳۳۳^{fhij}	۴۱/۱۶^{ij}	۲۹/۶۶^{tu}	۲۶/۶۶^{u}	۲۵/۲۱۳۳^{rs}	۲۲/۹۹^{n}	۱۶/۹۵^{uvw}	۱۶/۲۴st
LSD 5%	۳/۷۳	۱/۱۰	۰/۸۳	۱/۵۳	۲/۰۷	۱/۵۲	۰/۹۷	۰/۹۷

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، کاربرد میکوریزا و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. N_1، N_2 و N_3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محلول‌پاشی ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و شوری بر انتقال ماده خشک، فتوسنتز جاری، پروتئین برگ و عملکرد دانه تریتیکاله

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		انتقال ماده خشک از اندام هوایی	سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه	انتقال ماده خشک از ساقه	سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه	فتوسنتز جاری	سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه	پروتئین برگ	عملکرد دانه
تکرار	۲	۰/۰۱۷**	۹۸/۱۸۳**	۰/۰۱۳۴**	۶۷/۰۶۷**	۰/۰۶۴۹**	۹۰/۵۰۷**	۲۵/۱۶۵**	۰/۰۶۳۱**
شوری (S)	۲	۰/۱۹۸۴**	۲۰۲۲/۲۳**	۰/۱۱۴۴**	۱۱۱۰/۹**	۵/۰۰۷**	۱۹۵۴/۲۷**	۲۴/۴۷۹**	۳/۳۲۲۵**
کودهای زیستی (B)	۳	۰/۰۰۳۳**	۶۱/۰۹۸**	۰/۰۰۶۳**	۵۵/۷۶۴**	۰/۱۹۱**	۵۲/۸۵**	۱/۵۱**	۰/۱۶۹۰**
محلول پاشی (N)	۲	۰/۰۰۸۸**	۲۰۶/۲۵۶**	۰/۰۱۶**	۱۷۴/۷۳۲**	۰/۸۱۰۱**	۱۸۴/۴۶۴**	۰/۴۲۴**	۰/۶۸۵۸**
S×B	۶	۰/۰۰۰۸ns	۰/۸۶۵ns	۰/۰۰۰۳**	۱/۶۳۹ns	۰/۰۰۵۸ns	۱/۱۰۶ns	۱/۱۱۴**	۰/۰۰۷۸*
S×N	۴	۰/۰۰۰۸۴**	۲/۹۴۷ns	۰/۰۰۰۳*	۳/۱۹۱ns	۰/۰۵۲**	۲/۲۳۱ns	۰/۶۲۳**	۰/۰۵۴۵**
B×N	۶	۰/۰۰۱۴**	۱۰/۰۹۹*	۰/۰۰۰۳**	۱/۸۴۷ns	۰/۰۰۹۸ns	۰/۶۵۴ ns	۱/۵۸۵**	۰/۰۰۷۶*
S×B×N	۱۲	۰/۰۰۰۳*	۲/۰۶۶ns	۰/۰۰۰۵**	۱/۵۰۶ns	۰/۰۰۹۴*	۱/۸۹۸ns	۰/۴۹۹**	۰/۰۰۷۷**
خطا	۷۰	۰/۰۰۰۱۶	۲/۹۷۲	۰/۰۰۰۱۱	۱/۵۷۶	۰/۰۰۴۶	۲/۴۰۷	۰/۰۳۲	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۳/۳۵	۳/۹	۳/۸۴	۸/۰۶	۴/۶۷	۱/۹۸	۱/۴۵	۳/۱۵

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

همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه در عملکرد دانه، در بالاترین سطح شوری، عدم کاربرد نانوسیلیکون و کودهای زیستی و کم‌ترین این مقادیر در کاربرد توأم میکوریز و ورمی-کمپوست، محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و عدم اعمال شوری به دست آمد (جدول۶). به‌نظر می‌رسد در شرایط شوری که دسترسی به منابع غذایی کاهش می‌یابد، گیاه به نوعی در شرایط تنش قرار گرفته و تعادل منبع و مخزن به‌هم می‌خورد در چنین شرایطی قدرت مخزن (قدرت مخزن= فعالیت مخزن× اندازه آن) بیش‌تر از منبع بوده و به‌دلیل روابط فیزیولوژیکی موجود بین منبع و مخزن (ظرفیت بالای مخزن موجب فعالیت بیش‌تر منبع شود)، منبع میزان انتقال ماده خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخش از نیاز مخازن (دانه‌ها) را برآورده نماید (عباس پور، ۱۳۹۱). همچنین احتمال داده می‌شود کودهای زیستی به دلیل گسترش ریشه، سطح جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش داده و این امر ضمن افزایش رشد برگ و میزان فتوسنتز جاری، موجب شد تا سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه ذرت کاهش یابد (Baranjani *et al*, 2021). برخی محققان اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی به‌دلیل کمک به افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط تنش‌های محیطی، موجب شد فتوسنتز جاری افزایش و میزان انتقال مجدد از ساقه و سهم آن در عملکرد دانه گندم کاهش یابد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۶).

میزان فتوسنتز جاری و سهم آن در عملکرد دانه

معنی‌دار شدن برهم‌کنش توأم هر سه فاکتور مورد بررسی (کاربرد کودهای زیستی و آلی، نانوسیلیکون، تنش شوری) بر فتوسنتز جاری در سطح احتمال پنج درصد (جدول ۴) و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین فتوسنتز جاری در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست با میکوریزا و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون تحت شرایط عدم اعمال شوری و

کم‌ترین این مقدار در عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی و نانوسیلیکون تحت شرایط شوری ۶۰ میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ۵: مقایسه میانگین تأثیر ترکیب تیماری کاربرد کودهای زیستی، نانوسیلیکون و تنش شوری بر انتقال ماده خشک، فتوسنتز جاری، پروتئین برگ و عملکرد دانه تریتیکاله

ترکیب تیماری	انتقال ماده خشک از اندام هوایی (گرم در بوته)	انتقال ماده خشک از ساقه (گرم در بوته)	فتوسنتز جاری (گرم در بوته)	پروتئین برگ (درصد)	عملکرد دانه (گرم در بوته)
$S_1 \times B_1 \times N_1$	۰/۳۴۵^{mn}	۰/۲۵۵^{opq}	۱/۵۶۸^{fg}	۱۱/۹۸۳^{lmn}	۱/۹۱^{hijk}
$S_1 \times B_2 \times N_1$	۰/۳۰۱^{pq}	۰/۲۳۷st	۱/۶۶۲^{ef}	۱۳/۵۱^{bcd}	۱/۹۶^{ghi}
$S_1 \times B_3 \times N_1$	۰/۳۰۳^{pq}	۰/۲۴^{rst}	۱/۶۴۹^{ef}	۱۳/۴۳^{cd}	۱/۹۵^{ghij}
$S_1 \times B_4 \times N_1$	۰/۳۳۵^{op}	۰/۲۲۴^{tuv}	۱/۶۹۸^{e}	۱۳/۲۷۳^{cde}	۲/۰۳^{efg}
$S_1 \times B_1 \times N_2$	۰/۳۲۷^{pq}	۰/۲۳^{stu}	۱/۶۶۶^{ef}	۱۳/۷۹^{ab}	۱/۹۹^{fgh}
$S_1 \times B_2 \times N_2$	۰/۳۴^{mn}	۰/۲۱۶^{uvw}	۱/۷۴۴۳^{e}	۱۳/۶۵۶^{bc}	۲/۰۸^{def}
$S_1 \times B_3 \times N_2$	۰/۲۷۹^{rs}	۰/۲۱۴^{uvw}	۱/۸۷۷^{d}	۱۳/۵^{bcd}	۲/۱۵^{d}
$S_1 \times B_4 \times N_2$	۰/۳۱^{op}	۰/۲۰۸^{vw}	۲/۰۰۳^{c}	۱۳/۰۸۳^{efgh}	۲/۳۱^{c}
$S_1 \times B_1 \times N_3$	۰/۲۹۵^{pqr}	۰/۲۱۸^{uvw}	۱/۸۸^{d}	۱۳/۳۲^{de}	۲/۱۷^{d}
$S_1 \times B_2 \times N_3$	۰/۲۸۱۳^{qrs}	۰/۲۰۴^{w}	۲/۱۵۳^{ab}	۱۳/۲۵۳^{def}	۲/۴۳^{b}
$S_1 \times B_3 \times N_3$	۰/۳۰۲^{pq}	۰/۲۰۸^{vw}	۲/۱^{bc}	۱۳/۱۲^{efg}	۲/۴۰^{bc}
$S_1 \times B_4 \times N_3$	۰/۲۶۵^{r}	۰/۱۲۲^{x}	۲/۲۲۵^{a}	۱۲/۹۸^{fgh}	۲/۵۵^{a}
$S_2 \times B_1 \times N_1$	۰/۴۳۳^{cde}	۰/۳۰۸^{efgh}	۱/۲۰۶^{mn}	۱۰/۹۹۶^{u}	۱/۶۴^{pqr}
$S_2 \times B_2 \times N_1$	۰/۴۰۹^{fghi}	۰/۲۹۶^{ghij}	۱/۳۱۴^{lm}	۱۲/۳۸^{jkl}	۱/۷۲^{opq}
$S_2 \times B_3 \times N_1$	۰/۳۸۸^{ijk}	۰/۲۹۱^{hijkl}	۱/۳۴۵^{jkl}	۱۲/۶۳۳^{ij}	۱/۷۳^{op}
$S_2 \times B_4 \times N_1$	۰/۴۲۱^{efgh}	۰/۲۸۴^{ijklm}	۱/۳۷۲^{jklm}	۱۲/۸۰۳^{hi}	۱/۷۹^{lmno}
$S_2 \times B_1 \times N_2$	۰/۴۲۱^{efgh}	۰/۲۹۳^{hijk}	۱/۲۰۳^{jklm}	۱۲/۱۹۶^{lm}	۱/۷۸^{mno}
$S_2 \times B_2 \times N_2$	۰/۴۲۳^{efg}	۰/۲۷۹^{jklmn}	۱/۴۰۲^{ijklm}	۱۲/۰۱^{mno}	۱/۸۴^{klmn}
$S_2 \times B_3 \times N_2$	۰/۴۰۱^{hij}	۰/۲۷۶^{klmno}	۱/۴۳۲^{hijkl}	۱۲/۵۳^{ijk}	۱/۸۳^{klmn}
$S_2 \times B_4 \times N_2$	۰/۴۰۸^{ghi}	۰/۲۶۴^{nop}	۱/۴۵۵^{ghi}	۱۲/۵۸۶^{ij}	۱/۸۶^{jklm}
$S_2 \times B_1 \times N_3$	۰/۳۹۹^{ij}	۰/۲۷۴^{jlmn}	۱/۴۵۷^{ghi}	۱۲/۰۷۶^{mn}	۱/۸۵^{klm}
$S_2 \times B_2 \times N_3$	۰/۳۸۱^{jk}	۰/۲۶۷^{mnop}	۱/۵۰۲^{gh}	۱۲/۳۹۶^{jkl}	۱/۸۸^{ijkl}
$S_2 \times B_3 \times N_3$	۰/۳۷۵^{kl}	۰/۲۶^{opq}	۱/۵۳۱^{gh}	۱۲/۲۶۶^{klm}	۱/۹۰^{hijk}
$S_2 \times B_4 \times N_3$	۰/۳۵۸^{mn}	۰/۲۴۶^{qrs}	۱/۷۴۸^{e}	۱۳/۹۸^{a}	۲/۱۰^{de}
$S_3 \times B_1 \times N_1$	۰/۴۷۸^{a}	۰/۳۷۷^{a}	۰/۸۷۸^{r}	۱۱/۸۰۳^{nop}	۱/۳۵^{w}
$S_3 \times B_2 \times N_1$	۰/۴۵۸^{abc}	۰/۳۵۶^{b}	۱/۰۱۵^{p}	۱۱/۶۵۳^{pqr}	۱/۴۷^{v}
$S_3 \times B_3 \times N_1$	۰/۴۴۷^{bcde}	۰/۳۴۵^{bc}	۱/۰۴۶^{op}	۱۱/۷۶۶^{opq}	۱/۴۹^{uv}
$S_3 \times B_4 \times N_1$	۰/۴۶۴^{ab}	۰/۳۲۴^{ed}	۱/۰۷۹^{op}	۱۱/۳۷۳^{stuv}	۱/۵۴^{stuv}
$S_3 \times B_1 \times N_2$	۰/۴۵۵^{bc}	۰/۳۳۸^{cd}	۱/۰۶۸^{op}	۱۱/۴۹۶^{qrst}	۱/۵۲^{tuv}
$S_3 \times B_2 \times N_2$	۰/۴۴۵^{bcd}	۰/۳۲۲^{edf}	۱/۱۱۸^{nop}	۱۱/۱۸۶^{uv}	۱/۵۶^{rstuv}
$S_3 \times B_3 \times N_2$	۰/۴۳۹^{cde}	۰/۳۲^{ef}	۱/۱۱۷^{nop}	۱۱/۷۳^{opq}	۱/۵۵^{rstuv}
$S_3 \times B_4 \times N_2$	۰/۴۴۹^{bcd}	۰/۳۱۲^{efg}	۱/۱۴۴^{no}	۱۱/۲۸۶^{stuv}	۱/۵۹^{rst}
$S_3 \times B_1 \times N_3$	۰/۴۶۱^{ab}	۰/۳۲۵^{de}	۱/۱۱۲^{nop}	۱۱/۵۵^{pqsr}	۱/۵۷^{rstu}
$S_3 \times B_2 \times N_3$	۰/۴۳۷^{cde}	۰/۳۰۶^{fgh}	۱/۱۹۶^{n}	۱۱/۰۸^{uv}	۱/۶۳^{pqr}
$S_3 \times B_3 \times N_3$	۰/۴۴۵^{bcd}	۰/۳۰۲^{gh}	۱/۱۹۸^{o}	۱۱/۲۴^{tuv}	۱/۶۴^{pqr}
$S_3 \times B_4 \times N_3$	۰/۴۳^{def}	۰/۲۹۸^{ghi}	۱/۳۲۶^{kl}	۱۲/۹۴۳^{gh}	۱/۷۵^{no}
LSD	۰/۰۲۱	۰/۰۱۷	۰/۱۱۱	۰/۲۹۴	۰/۰۹۵

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، کاربرد میکوریزا و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. N_1، N_2 و N_3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محلول‌پاشی ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر اصلی کودهای زیستی، نانوسیلیکون و شوری بر سهم انتقال ماده خشک و فتوسنتز جاری در عملکرد دانه

تیمار	سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه (%)	سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه (%)	سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه (%)
سطوح شوری (S)			
S_1	۱۴/۱۸^{a}	۱۰/۱۴^{a}	۸۵/۵۶^{a}
S_2	۲۲/۱^{b}	۱۵/۳۲^{b}	۷۷/۸۹^{b}
S_3	۲۹/۱۶^{a}	۲۱/۲۴^{c}	۷۰/۸۳^{c}
LSD	۰/۸۱	۰/۵۹	۰/۷۲
کودهای زیستی (B)			
B_1	۲۳/۸۶^{a}	۱۷/۳۳^{a}	۷۶/۱۳^{c}
B_2	۲۱/۸۷^{b}	۱۵/۶۹^{b}	۷۸/۱۲^{b}
B_3	۲۱/۱۹^{ab}	۱۵/۴۱^{b}	۷۸/۸۰^{b}
B_4	۲۰/۳۲^{c}	۱۳/۸۲^{c}	۷۹/۳۳^{a}
LSD	۰/۹۳	۰/۶۸	۰/۸۴
محلول‌پاشی نانوسیلیکون (N)			
N_1	۲۴/۰۷^{a}	۱۷/۸۴^{a}	۷۵/۹۲^{a}
N_2	۲۲/۰۵^{b}	۱۵/۴۲^{b}	۷۷/۹۴^{b}
N_3	۱۹/۳۱^{c}	۱۳/۴۴^{c}	۸۰/۴۳^{c}
LSD	۰/۸۱	۰/۵۹	۰/۷۲

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، کاربرد میکوریزا و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. N_2، N_1 و N_3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی نانوسیلیکون و محلول‌پاشی ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

همچنین بیش‌ترین سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه در کاربرد توأم کودهای زیستی و آلی، محلول‌پاشی ۶۰ میلی-گرم درلیتر نانوسیلیکون در عدم اعمال شوری و کم‌ترین آن‌ها در عدم کاربرد کودهای زیستی عدم محلول‌پاشی تحت شرایط شوری ۶۰ میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد بخشی از کاهش فتوسنتز جاری در شرایط تنش ناشی از کاهش هدایت روزنه‌ای باشد که ضمن کاهش غلظت CO_2 درون سلولی () به کاهش کارایی فتوسنتزی، کاهش تثبیت CO_2و آسیب به دستگاه فتوسنتزی منجر می‌شود (Hnilickova *et al*., 2017; Saravanavel *et al*., 2011) (جدول ۲). از طرفی در شرایط شوری، تحمیل محدودیت جذب و ساخت CO_2 از طریق بسته شدن روزنه‌ها به گیاه، می‌تواند با برهم خوردن تعادل بین فعالیت فتوشیمیایی در فتوسیستم II و نیاز الکترون برای فتوسنتز، موجب بازدارندگی نوری مراکز فتوسیستم II شود، ولی اضافه شدن سیلیکون می‌تواند با سمّیت‌زدایی گونه‌های رادیکال آزاد القا شده تحت تنش شوری، سیستم دفاعی گیاه را بهبود بخشیده و کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II و همچنین میزان فتوسنتز را افزایش دهد (Mateos-Narajo *et al*., 2013; Souza *et al*., 2004). سیلیکون با افزایش فعالیت فتوسنتزی، بهبود وضعیت آب، تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش جذب سدیم یا افزایش وابسته به H^+-ATPase پتاسیم در اندام هوایی، تحمل به تنش شوری را افزایش می‌دهد (کیانی چلمردی و همکاران، ۱۳۹۱). بخشی از افزایش سهم فتوسنتز جاری می‌تواند ناشی از وجود بالای عناصر غذایی موجود در ورمی‌کمپوست مورد استفاده باشد (جدول ۱). در این راستا برخی محققان گزارش

کردند که افزایش عناصر غذایی در خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست ضمن افزایش عناصر غذایی در خاک، موجب افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و بهبود فتوسنتز و کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شوند (Lattanzio *et al.*, 2013). نوربخش و همکاران (۱۳۹۵) اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست علاوه‌بر فراهم نمودن مقدار زیادی عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن، منجر به تعدیل pH خاک و افزایش جذب بسیاری از ریزمغذی‌ها مانند روی و آهن می‌شود که در ساختار کلروفیل، سیتوکروم‌ها و چرخه فتوسنتزی و در نهایت افزایش فرایند فتوسنتزی نقش دارند. به نظر می‌رسد بخشی از بهبود فرایند فتوسنتزی ناشی از هم‌زیستی میکوریزا با ریشه گیاه در جهت بهبود جذب فسفر باشد. زمانی‌که گیاهان در شرایط کافی فسفر رشد می‌کنند، فتوسنتز برگ، توسط ATP در دسترس یا فعالیت روبیسکو محدود نمی‌شوند، بنابراین با افزایش اندام‌های مخزن، سرعت خروج تریوز فسفات را تحریک می‌کند، این عمل چرخه مجدد ارتوفسفات را به سمت کلروپلاست تقویت کرده و آنزیم‌های تنظیم‌کننده فتوسنتز را تحریک می‌کند (Rychter and Rao, 2005; Grimoldi *et al*, 2005). همچنین میکوریزا می‌تواند با افزایش ظرفیت جذب از طریق برقراری تعادل اسمزی مناسب، سبب حفظ روند فتوسنتز در گیاهان شود که نتیجه آن افزایش رشد گیاه و رقیق شدن املاح و کاهش سمیت یون‌های نمک است (Kumar *et al*., 2015).

درصد پروتئین برگ پرچم

از آنجایی‌که یکی از تغییرات عمده بیوشیمیایی که در اثر کاهش رطوبت خاک در گیاهان زراعی تحت تنش اتفاق می‌افتد، تغییر در میزان تولید پروتئین‌های گیاهی از طریق تجزیه و یا جلوگیری از سنتز برخی از پروتئین‌ها است (Dasgupta and Bewley, 1984). در این راستا درصد پروتئین برگ تحت اثر تیمارهای آزمایشی مورد ارزیابی قرار گرفت. معنی‌دار شدن این صفت تحت تاثیر برهم‌کنش هم‌زمان کودهای زیستی و آلی، نانوسیلیکون، تنش شوری در سطح احتمال یک درصد و مقایسه میانگین‌ها نتایج نشان داد که بیش‌ترین درصد پروتئین برگ پرچم در کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون تحت شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد که از افزایش ۲۶/۱۷ درصدی نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط شوری ۶۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول‌های ۳ و ۴). به‌نظر می‌رسد کاهش پروتئین در گیاهان تحت تنش شوری در بیش‌تر موارد ناشی از کاهش سنتز پروتئین و افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده پروتئین باشد. برخی محققان کاهش محتوای پروتئین برگ پرچم را به تجمع نیتروژن در اثر کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز نسبت دادند که منجر به کاهش محتوای پروتئین برگ می‌شود (Sotiropoulos *et al*., 2006). بخشی از افزایش پروتئین در کاربرد ورمی کمپوست می‌تواند به‌دلیل تأمین مقدار قابل توجهی از عناصر مورد نیاز برای تولید پروتئین از ورمی‌کمپوست باشد (جدول ۱).

برخی محققان اظهار داشتند در شرایط شوری، کاربرد قارچ میکوریزا به‌دلیل بهبود دسترسی به آب و جذب انتخابی عناصر معدنی به‌ویژه نیتروژن و فسفر و نیز افزایش فعالیت آنزیم احیاکننده نیترات یعنی نیترات ردوکتاز، می‌تواند موجب افزایش سنتز پروتئین شود (Giri *et al*., 2003). افزایش درصد پروتئین برگ تریتیکاله با کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط تنش شوری گزارش شده است (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016). برخی محققان اظهار داشتند که کاربرد نانوسیلیکون در شرایط شوری از طریق افزایش وزن ریشه، سبب بهبود عناصر غذایی از خاک گردیده و در نهایت منجر به افزایش میزان پروتئین می‌گردد (دانایی و عبدوسی، ۱۴۰۰).

عملکرد تک بوته

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه در کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری به‌دست آمد که از افزایش ۸۸/۸۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون تحت شرایط شوری ۶۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۵). بخشی از این کاهش عملکرد در سطوح بالای شوری و عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون می‌تواند ناشی از کاهش ۵۰/۴۷ درصدی هدایت روزنه‌ای نسبت به کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری باشد، از طرفی بیش‌ترین سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه در کاربرد توأم کودهای زیستی و آلی (۷۹/۳۳ درصد)، محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون (۸۰/۴۳ درصد)، در شرایط عدم اعمال شوری (۸۵/۵۶ درصد) به‌دست آمد که از افزایش به‌ترتیب ۲۰/۷، ۴/۲ و ۶ درصدی سهم فتوسنتز جاری در مقایسه با عدم اعمال شوری، کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول‌های ۳ و ۶). به نظر می‌رسد کربن اضافی تثبیت شده توسط گیاهان میکوریزایی به قارچ‌های میکوریزا تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسیمیلات‌ها، موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می‌کنند (Wright *et al*, 1988).

استفاده از کود ورمی‌کمپوست نیز با توسعه اندام‌های فتوسنتزکننده و افزایش تولید و ذخیره مواد پرورده، منجر به افزایش فتوسنتز جاری (Shahbazi *et al*, 2016) و با تأمین رطوبت مناسب، افزایش جذب و قابل دسترس ساختن مواد غذایی مورد نیاز، موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Singer *et al*., 2007) (جدول ۱). کودهای زیستی از طریق ایجاد چرخه مواد غذایی، قابل دسترس ساختن آن‌ها و افزایش جذب عناصر غذایی موجب رشد بهتر گیاه شده و از این طریق به افزایش عملکرد کمک می‌کنند (Roesty *et al*, 2006). نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان مبنی بر اینکه استفاده از کودهای زیستی در شرایط وجود تنش‌های محیطی به‌واسطه بهبود فتوسنتز جاری منجر به افزایش عملکرد دانه می‌گردد

گزارش شده است (Kheirizadeh Arough *et al*, 2016).

نتیجه‌گیری

عملکرد نهایی دانه در گیاهان مختلف از جمله غلات را دو فرآیند فیزیولوژیک، یعنی فتوسنتز جاری و انتقال مجدد ماده انباشته شده قبل از گلدهی تشکیل می‌دهند. در شرایط مطلوب و دسترسی به منابع کافی، بالا بودن فتوسنتز جاری موجب می‌شود تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع بتواند در مخزن استفاده شود. ولی در شرایط تنش، عدم دسترسی به عناصر غذایی ممکن است تعادل منبع و مخزن را به هم بزند و در چنین شرایطی قدرت مخزن بیش‌تر از منبع بوده و به دلیل روابط فیزیولوژیکی بین منبع و مخزن، فتوسنتز جاری قادر به تامین نیاز مخازن یا دانه‌ها نبوده و معمولا گیاه میزان انتقال ماده‌ی خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مخازن (دانه‌ها) را برآورده نماید. در این آزمایش مشاهده شد که کاربرد کودهای زیستی و آلی و نانوسیلیکون به‌علت ایجاد شرایط بهینه و افزایش هدایت روزنه‌ای و سهم فتوسنتز جاری، موجب شد تا میزان انتقال ماده خشک از کل بوته و سهم مشارکت ذخایر ساقه در پر شدن دانه‌ها کاهش یابد. به بیانی دیگر بخش عمده‌ای از عملکرد دانه، توسط فتوسنتز جاری تأمین شده و بخش کمتری به انتقال ماده خشک تخصیص یابد در حالی‌که در سطوح بالای شوری و عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون، انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه افزایش یافت. کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط عدم اعمال شوری موجب افزایش ۸۸/۸۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در بالاترین سطح از شوری شد. بر اساس نتایج این آزمایش، می‌توان کاربرد نانوسیلیکون، کودهای زیستی و آلی را به منظور افزایش عملکرد دانه تریتیکاله تحت شرایط شوری توصیه نمود.

منابع

دانائی، ا. و عبدوسی، و. ۱۴۰۰. اثر سیلیکون و نانوسیلیکون بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فتوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperta* L.) تحت تنش شوری. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۷(۱): ۹۸-۱۱۲.

زراوشان، م.، عبدل‌زاده، ا.، صادقی‌پور، ح. و مهربان جوینی، پ. ۱۳۹۹. مقایسه اثر سیلیکون معدنی و نانوسیلیکون بر برخی صفات بیوشیمیایی و فتوسنتزی در گیاه ذرت *Zea mays* L. تحت تنش شوری. فیزیولوژی محیطی گیاهی. ۱۵(۵۷): ۲۳-۳۸.

سیدشریفی، ر. و خلیل‌زاده، ر. ۱۳۹۶. تولید غلات. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۴۱۰ صفحه.

عباس‌پور، س. ۱۳۹۱. تاثیر مقدار نیتروژن و پرایمینگ بذر با باکتری محرک رشد بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی تریتیکاله. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه محقق اردبیلی. ۱۳۸ صفحه.

فومن، ع. و خزائی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد علوفه لاین‌های سورگوم علوفه‌ای در شرایط آب و هوایی کرج. علوم زراعی ایران. ۱۶(۳): ۱۸۱-۱۹۰.

کیانی چلمردی، ز.، عبدل‌زاده، ا. و صادقی‌پور، ح. ۱۳۹۱. بررسی اثر تغذیه سیلیکون در تخفیف کمبود آهن در گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) با تاکید بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان. زیست‌شناسی گیاهی. ۴(۱۴): ۶۱-۷۴.

محمدی کله‌سرلو، س. و سیدشریفی، ر. ۱۴۰۰. بررسی کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر صفات فیزیولوژیکی زراعی و مولفه‌های پر شدن دانه تریتیکاله (*Triticosecale Wittma* L.) در شرایط شوری خاک. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۳(۵۳): ۵-۲۹.

ناصری، ر.، براری، م.، زارع، م.ج.، خاوازی، ک. و طهماسبی، ز. ۱۳۹۶. تاثیر کاربرد کود فسفر، باکتری سودوموناس پوتیدا و قارچ گلوموس موسه آ و اثرات تلفیقی آن‌ها بر فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی اکسیدان، خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه گندم در شرایط دیم. زراعت دیم ایران. ۶(۱): ۱-۳۳.

نظری، ژ.، سیدشریفی، ر. و نریمانی، ح. ۱۴۰۰. اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر فتوسنتز جاری و انتقال ماده خشک تریتیکاله. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۳(۵۱): ۵-۲۴.

نوربخش، ف.، چالوی، و. و اکبرپور، و. ۱۳۹۵. اثر ورمی‌کمپوست و نیتروکسین بر رشد رویشی و برخی صفات بیوشیمیایی در گیاه دارویی اکلیل کوهی (*Rosmarinus officinalis* L.). علوم باغبانی. ۳۰(۲): ۱۷۸-۱۸۴.

Azzaz, N.A., Hassan, E.A., and Hamad, E.H. 2009. The chemical constituent and vegetative and yielding characteristics of fennel plants treated with organic and bio-fertilizer instead of mineral fertilizer. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 3(2): 579 -87.

Baranjani, Sh., Mujaddam, M., Lak, Sh., Payende, Kh. and Shokoofehfar, A. 2021. Effect of superabsorbent and mycorrhiza strains on quantitative yield and remobilization rate of single cross hybrid maize 704 under water stress. Crop Physiology. 13(50): 67-83.

Barnett, K.H. and Pearce, P.B. 1983. Source-Sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. Crop Science. 23*:* 101-109.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72: 248-254.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic bio fortification. Plant Soil. 302(1): 1-17.

Dasgupta, J. and Bewley, J.D. 1984. Variation in protein synthesis in different regions of greening leaves of barley seedlings and effects of imposed water stress. Journal of Experimental Botany. 35:1450- 1459.

Ehdaie, B. and Waines, J.G. 1993. Variation in water use efficiency and its components in wheat. Crop Science. 31: 1282-1288.

Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, K.G. 2003. Influence of *Arbuscular mycorrhizal* fungi and salinity on growth, biomass and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. Biology and Fertility of Soils. 38: 170-175.

Grimoldi, A.A., Kavanova, M., Lattanzi, F.A. and Schnyder, H. 2005. Phosphorus nutrition-mediated effects of *Arbuscular mycorrhiza* on leaf morphology and carbon allocation in perennial ryegrass. New Phytologist.168: 435-444.

Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G. and Bending, B. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agriculture Ecosystems and Environment. 113: 17-35.

Haghighi, M. and Pessarakli, M. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulturae. 161: 111-117.

Hnilickova, H., Hnilicka, F., Martinkova, J. and Kraus, K. 2017. Effects of salt stress on water status, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of rocket. Plant Soil Enviroment. 63(8): 362-367.

Jamil, S., Rehman, S., and Rha, E.S. 2007a. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.**)** and cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.). Pakastan Journal of Botany. 39(3):753-760.

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. and Barmaki, M. 2016. Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in *Triticale* under salinity condition. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 44(1): 116-124.

Kiran, S. 2019. Effects of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical parameters of lettuce (*Lactuca sativa* var. crispa) under drought stress. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 47(2): 352-358.

Kumar, A., Sharma, S., Mishra, S. and Dames, J.F. 2015. *Arbuscular mycorrhizal* inoculation improves growth and antioxidative response of *Jatropha curcas* (L.) under Na_2SO_4 salt stress. Plant Biosystem. 149: 260-269.

Latef, A.A. and Chaoxing, H. 2011. Effect of *Arbuscular mycorrhizal* fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. Scientia Horticulture. 127: 228-233.

Lattanzio, V., Cardinali, A., Ruta, C., Fortunato, I.M., Lattanzio, V.M.T. and Linsalata, V. 2013. Relationship of secondary metabolism to growth in oregano (*Origanum vulgare* L.) shoot cultures under nutritional stress. Enviroment of Experimental Botany. 65: 54-62.

Mateos-Naranjo, E., Andrades-Moreno, L. and Davy, A.J. 2013. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass Spartina densiflora. Plant Physiology and Biochemistry. 63: 115-121.

Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A. and Monshi, A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Appled Science Journal. 7(1): 36-40.

Mikic, A., Cupina, B., Rubiales, D., Mihailovic, V., Sarunaite, L., Fustec, J., Antanasovic, S., Krstic, D., Bedoussac, L., Zoric, L., Dordevic, V., Peric, V. and Srebric, M. 2015. Models, developments, and perspectives of mutual legume intercropping. Advances in Agronomy. 130: 337-419.

Moradi, F., and Abdelbageri, M.I. 2007. Response of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS scavenging system to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. Annals of Botany. 2: 1-13.

Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59: 651-681.

Nazeri, N.K., Lambers, H., Tibbett, M. and Ryan, M.R. 2013. Do arbuscular mycorrhizas or heterotrophic soil microbes contribute toward plant acquisition of a pulse of mineral phosphate. Plant and Soil. 373: 699-710.

Ouellette, S., Goyette, C., Labbé, J., Laur, L., Gaudreau, A., Gosselin, M., Dorais, R.K., Deshmukh, R. and Bélanger, R. 2017. Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions. Frontiers in Plant Science. 8: 949-960.

Rahimi, R., Mohammakhani, A., Roohi, V. and Armand, N. 2012. Effects of salt stress and silicon nutrition on chlorophyll content, yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4(21): 1591-1595.

Ravindran, B., Dinesh, S.L., John Kennedy, L. and Sekaran, G. 2008. Vermicomposting of solid waste generated from leather industries using epigeic earthworm *Eisenia fetida*. Applied Biochemical Biotechnology. 151: 480-488.

Roesty, D., Gaur, R. and Johri, B.N. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of *Arbuscular mycorrhizal* fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. Soil Biology and Biochemistry. 38: 1111-1120.

Rychter, A.M. and Rao, I.M. 2005. Role of phosphorus in photosynthetic carbon metabolism. pp. 123-148. In: Pessarakli, M. (ed.) Handbook of Photosynthesis. Taylor and Francis Group, LLC, Tucson, USA.

Saravanavel, R., Ranganathan, R. and Anantharaman, P. 2011. Effect of sodium chloride on photosynthetic pigments and photosynthetic characteristics of *Avicennia officinalis* seedlings. Science and Technology. 3(4): 177-180.

Shahbazi, Sh., Fateh, A. and Aynehband, A. 2016. Study of the effect of application of humic acid and vermicompost on yield and yield components of three tropical wheat cultivars. Plant products Scientific Journal of Agriculture. 38(2): 99-110.

Sharma, R.C., Sarkar, S., Das, D. and Banik, P. 2013. Impact assessment of *Arbuscular mycorrhiza* Azospirillum and chemical fertilizer application on soil health and ecology. Communications in Soil Science and Plant Analysis Analysis. 44: 1116-1126.

Singer, W.J., Sally, S.D. and Meek, D.W. 2007. Tillage and compost effects on corn growth, nutrient accumulation, and grain yield. Agronomy Journal. 99(1): 80-87.

Sotiropoulos, T.E., Therios, I.N., Almaliotis, D., Papadakis, I. and Dimass, K.N. 2006. Response of cherry rootstocks to boron and salinity. Journal of Experimental Botany. 29(9): 1691-1698.

Souza, R.P., Machadoa, E.C., Silva, J.A.B., Lagoa, A.M.M.A. and Silveira, J.A.G. 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. Environmental and Experimental Botany. 51: 45-56.

Taffouo, V.D., Kenne, M., Fokam T.R., Fotsop, W.O., Fonkou, T., Vondo, Z. and Amougou, A. 2004. Salt stress variation response in five leguminous plants. African Journal of Agronomy. 16: 33-44.

Talaat, N.B. and Shawky, B.T. 2014. Protective effects of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat (*Triticum aestivum* L) plants exposed to salinity. Environmental and Experimental Botany. 98: 20-31.

Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, V.P., Prasad, S.M., Chauhan, D.K. and Dubey, N.K. 2016. Silicon nanoparticles more efficiently alleviate arsenate toxicity than silicon in maize cultivar and hybrid differing in arsenate tolerance. Frontiers in Environmental Science. 4: 46-58.

Uzma, F. and Asghari, B. 2006. Effect of abscisic acid and chlorocholine chloride on nodulation and biochemical content of *Vigna radiata* L. under water stress. Pakistan Journal of Botany. 38(5): 1511-1518.

Walia, H., Wilson, C., Condamine, P., Liu, X., Abdelbagi, M., Zing. L., Wanamaker, I. S, Mandal. J., Xu. J. and Cui. X. 2005. Comparative transcriptional profiling of two consting rice genotypes under salinity stress during the vegetative growth stage. Plant Physiology. 139: 822-835

Wang, H. and Jin, J.Y. 2005. Photosynthetic rate, chlorophyll fluorescence parameters and lipid peroxidation of maize leaves as affected by zinc deficiency. Photosynthetica. 43: 591-596.

Wright, D.P., Scholes, J.D. and Read, D.J. 1998. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repense* L. Plant, Cell and Environment. 21: 209-216.

Yang, S., Wang, Y., Liu, R., Li, Q., and Yang, Z. 2018. Effects of straw application on nitrate leaching in grain fields in the Yellow River irrigation zone of Ningxia, China. Scientific Reports. 8(1): 954-961.