Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد دهم، شماره دوم، ۱۳۹۹
۸۹-۱۰۵
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2020.16140.1861

تأثیر مصرف خاکی و محلول‌پاشی روی بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، فلورسانس کلروفیل و عملکرد گندم در شرایط شوری خاک

حامد نریمانی[۱] و *رئوف سیدشریفی[۲]

[۱]دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی،
[۲]استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: شوری خاک یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. روی یک ریزمغذی ضروری برای انسان، دام و گیاه است که به‌عنوان بخش فلزی آنزیم‌ها و کوفاکتور تنظیم‌کننده تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌کند. روی برای سنتز کلروفیل ضروری است و نقش مهمی در تولید زیست‌توده گیاهی بازی می‌کند. روی در گرده‌افشانی، باروری و جوانه‌زنی گیاهان نیز نقش مهمی به عهده دارد. کمبود روی به‌عنوان یک مشکل اساسی به‌خصوص در گیاهان رشد کرده در خاک‌های شور با مقادیر بالای pH شناخته می‌شود. ولی بررسی‌های اخیر نشان داده‌اند که کاربرد مقدار کمی از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی به‌صورت محلول‌پاشی، می‌تواند توانایی گیاهان را نسبت به تنش شوری متأثر نماید. از این‌رو هدف این آزمایش بررسی اثر مصرف خاکی و محلول‌پاشی روی بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، فلورسانس کلروفیل و عملکرد گندم در شرایط شوری خاک بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش در سال ۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شوری خاک در چهار سطح (عدم اعمال شوری، شوری ۳۰، ٦۰ و ۹۰ میلی‌مولار با نمک NaCl)، مصرف خاکی و محلول‌پاشی روی در چهار سطح (شاهد یا عدم مصرف روی، مصرف خاکی سولفات روی، محلول‌پاشی نانواکسید روی، کاربرد توام سولفات روی و نانواکسید روی) شامل می‌شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کاربرد توام سولفات روی و نانواکسید روی در شرایط غیرشور، موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و عملکرد دانه (به‌ترتیب ٦۵/۲، ۵۲/۷۲، ٦۲، ۵۰/٤۳، ۹۹/۲۸ و ۳٤/۵٦ درصد) نسبت به شرایط عدم کاربرد روی تحت شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک شد. هم‌چنین کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی در شرایط عدم اعمال شوری موجب افزایش فلورسانس حداکثر (F_m)، فلورسانس متغیر (F_v) گردید. عملکرد دانه ۳٤/۵٦ درصدی در شرایط عدم کاربرد روی و شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک در مقایسه با کاربرد توأم

* مسئول مکاتبه: raouf_ssharifi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

سولفات روی و نانواکسید روی در شرایط عدم شوری به‌دلیل افزایش فلورسانس حداقل (F_0) و کاهش محتوای کلروفیل کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد که کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی می‌تواند عملکرد دانه گندم در شرایط شوری به‌دلیل بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی و مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، تنش، روی، کاروتنوئید

مقدمه

شوری یکی از علل عمده کاهش بهره‌وری محصولات کشاورزی در جهان است (۱۰). سالانه ۱۰ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی جهان در اثر شوری حاصل از آبیاری و شوری ثانویه ناشی از فعالیت‌های بشر از چرخه تولید خارج و به زمین‌های غیرقابل کاشت تبدیل می‌شوند (٤٠). تنش شوری با تأثیر سوء بر فرآیند استقرار بوته، توزیع یون‌ها، فتوسنتز، قابلیت دسترسی گیاه به آب، اختلال در فرآیندهای آنزیمی و بیوشیمیایی، در نهایت موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی از جمله گندم می‌شود (۳۲). در این راستا کاربرد عنصر روی از طریق مصرف خاکی یا محلول‌پاشی ضمن بهبود وضعیت رشد گیاه (۳۸) می‌تواند در جلوگیری از کاهش شدید این عنصر در خاک‌های آهکی، شور و سدیمی با pH بالا نیز مؤثر واقع شود (۱). در شرایط شوری به‌علت محدودیت جذب عناصر غذایی از ریشه، تغذیه برگی می‌تواند مفید باشد (۹) و در این راستا کاربرد عناصر غذایی به شکل نانو علاوه بر انحلال‌پذیری بیش‌تر از نفوذپذیری بالایی در غشای سلولی برخوردار است (٢٦). در شرایط تنش شوری غلظت بالای نمک به‌دلیل کاهش قابلیت دسترسی گیاه به آب موجب می‌شود جذب و غلظت روی در بافت‌ها کاهش می‌یابد. جنک و همکاران (۲۰۰۵) بیان نمودند که کمبود روی تحت شرایط شوری به‌عنوان یک فاکتور محدودکننده، اثر به مراتب بیش‌تری در کاهش رشد گیاه در مقایسه با سمیت NaCl دارد (۱۷).

عنصر روی به‌عنوان یک ترکیب حیاتی در سنتز کلروفیل، ایندول ۳-استیک اسید و پروتئین‌ها نقش دارد (٢٤). کیو و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که افزودن روی می‌تواند از طریق کنترل کانال‌های عبور یون کلر و جلوگیری از جذب آن، موجب افزایش جذب یون نیترات و با کم‌ترین آسیب به غشای پلاسمایی موجب کاهش خسارت‌های ناشی از تنش شوری شود (۳۳). گزارش شده است که کاربرد روی در شرایط تنش شوری موجب افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ و سرعت فتوسنتز خالص در گیاهچه‌های سویا شد (۳۳). سیدشریفی و نامور (۲۰۱۵) پیشنهاد کرد که روی می‌تواند با گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده توسط NADPH اکسیداز متصل به غشاء ترکیب شود و یک نقش محافظتی آنتی‌اکسیدانی برعلیه اکسیداسیون چندین نوع ترکیب حیاتی در سلول مانند کلروفیل، لیپیدهای غشاء و پروتئین‌ها ایفا کند و با افزایش یکپارچگی غشاء مانع خروج یون پتاسیم از سلول‌های محافظ روزنه شده و به افزایش هدایت روزنه‌ای در شرایط شوری کمک کند (٤٢). در گیاهان در صورت کمبود عنصر روی، کلروز بین رگبرگی و در پی آن لکه‌های سفید رنگ

www.SID.ir

Archive of SID

نکروزه در برگ‌های مسن‌تر به وجود می‌آید که این کلروز دلیلی بر نیاز گیاه به عنصر روی جهت بیوسنتز کلروفیل است. این تأثیر عنصر روی در بیوسنتز کلروفیل از دو روش مستقیم و غیرمستقیم است، به‌کارگیری نیتروژن باعث افزایش عنصر روی در گیاهان می‌شود. برای مثال، در گیاه کنجد به‌کار بردن عنصر روی به دو روش تغذیه برگی و اضافه کردن به خاک موجب افزایش جذب نیتروژن می‌شود (۳٦). افزون بر این، عنصر روی در متابولیسم نیتروژن در گیاه نیز مشارکت دارد. بنابراین، افزودن عنصر روی باعث جذب بیش‌تر نیتروژن می‌شود. با توجه به این‌که نیتروژن یک بخش ضروری مولکول کلروفیل است بنابراین عنصر روی به‌طور غیرمستقیم در مقدار کلروفیل گیاه مؤثر است (۳۰). بابایی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که در شرایط تنش شوری محلول‌پاشی روی موجب افزایش محتوای کلروفیل و عملکرد دانه شد (٤).

گسترش روزافزون شوری و نقش عنصر ریزمغذی روی در تعدیل یا کاهش بخشی از اثر تنش شوری از یک طرف و کمی بررسی‌های انجام شده در خصوص کاربرد ریزمغذی روی به‌صورت مصرف خاکی و محلول‌پاشی از سوی دیگر موجب شد تا تأثیر محلول‌پاشی و مصرف خاکی روی بر محتوای کلروفیل، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد دانه در شرایط تنش شوری مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر مصرف خاکی و محلول‌پاشی روی بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، فلورسانس کلروفیل و عملکرد دانه گندم رقم زاگرس در شرایط خاک شور، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری خاک در چهار سطح (سطح شاهد با قابلیت هدایت الکتریکی معادل ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر و اعمال شوری‌های ۳۰، ٦۰ و ۹۰ میلی‌مولار در خاک به‌ترتیب معادل ۲/۷٦، ۵/۵۳ و ۸/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر)، با نمک کلرید سدیم و فاکتور دوم شامل کاربرد روی در چهار سطح (شاهد یا عدم کاربرد روی، مصرف خاکی سولفات روی، محلول‌پاشی نانواکسید روی و مصرف خاکی و محلول‌پاشی روی) بود. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

نانو اکسید روی تولید کشور چین بود که از شرکت جهان کیمیای ارومیه تهیه شد و مشخصات آن در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک.

Table 1. Characteristics of soil physicochemical.

K (mg/kg)	P (mg/kg)	Zn (mg/kg)	N %	Organic carbon %	Sand %	Silt %	Clay %	Texture	Soil salinity ($dS.m^{-1}$)	Saturation %	pH	مشخصه Characteristic
255	27.3	1.02	0.04	0.72	38.5	42	19	Silt	1.8	47	7.8	میزان Amount

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مشخصات نانواکسید روی.

Table 2. Characteristics of nano zinc oxide.

Weight وزن	100 gr
Purity خلوص	99 %
Average Particle Size میانگین اندازه ذرات	< 30 nm
Specific Surface Area سطح ویژه ذرات	> 30 m^2/gr
Appearance رنگ	Red powder

کاربرد خاکی سولفات روی به‌میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار (۳۹) در زمان کاشت و محلول‌پاشی نانواکسید روی به‌میزان یک گرم در لیتر (٤١) طی دو نوبت در مرحله سه الی چهار برگی و قبل از ظهور برگ پرچم اعمال شد. مقدار نمک مورد نیاز برای هر یک از سطوح شوری در خاک، با استفاده از نرم‌افزار Salt calc محاسبه شد. در این نرم‌افزار به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع، مقدار نمک مورد نیاز برای هر کیلوگرم خاک گلدان محاسبه شده (۱۹) و در دو مرحله یعنی یک هفته بعد از کاشت و مرحله سه الی چهار برگی همراه با آب آبیاری اعمال شد. برای حفظ شوری در طول دوره رشد در زیر هر گلدان زیرگلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری دوباره نمک‌های احتمالی وارد شده به زیرگلدانی، در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. در این بررسی از گندم رقم زاگرس استفاده شد. گندم زاگرس دارای تیپ رشد بهاره، زودرس، قدرت رویش مناسب و متوسط ارتفاع بوته ۸۸ سانتی‌متر و وزن هزاردانه آن به‌طور متوسط ۳۸ گرم با رنگ دانه قهوه‌ای می‌باشد که نسبت به تنش‌های زنده و غیرزنده مقاوم بوده و از کیفیت خوب نانوائی نیز برخوردار بوده و از میانگین عملکرد ۳٦۳۰ کیلوگرم در هکتار برخوردار است. ۳۱ عدد بذر در گلدان‌های به قطر ۳٤ سانتی‌متر برای رسیدن به تراکم ۳۵۰ بذر در مترمربع که تراکم مطلوب و توصیه شده این رقم است، کشت شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱٦ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. در طول اجرای آزمایش کود خاصی به گلدان‌ها اضافه نشد. طول دوره کاشت تا برداشت حدود ۹۰ روز بود.

برای اندازه‌گیری پروتئین کل برگ از روش برادفورد (۱۹۷٦) و محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ از روش آرنون (۱۹۷٦) استفاده شد (۸ و ۳). ۰/۲ گرم از بافت برگ پرچم را با استن ۸۰ درصد به‌تدریج له کرده تا کلروفیل وارد محلول استونی شود و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰ درصد به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در ٤۰۰۰ دور سانتریفوژ شد و سپس جذب نوری محلول رویی در طول موج‌های ٤۷۰، ٦٤۵ و ٦٦۳ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. محتوای کلروفیل a، b کلروفیل کل و کاروتنوئیدها بر اساس رابطه‌های ۱ تا ٤ برآورد شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

$$\text{کلروفیل a} = (۱۹/۳\times A_{۶۶۳}-۰/۸۶\times A_{۶۴۵})V/۱۰۰W \quad (۱)$$

$$\text{کلروفیل b} = (۱۹/۳\times A_{۶۴۵}-۳/۶\times A_{۶۶۳})V/۱۰۰W \quad (۲)$$

$$\text{کلروفیل کل} = \text{کلروفیل a} + \text{کلروفیل b} \quad (۳)$$

$$\text{کاروتنوئید} = (۱۰۰A_{۴۷۰}-۳/۲۷C_a-۱۰۴C_b)/۲۲۷ \quad (۴)$$

که در آن‌ها، V حجم استون استفاده شده و W وزن نمونه گیاهی استفاده شده است.

اندازه‌گیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل برگ شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v (فلورساس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) بود. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ پرچم در مزرعه از ۶۲ روز پس از کاشت، هر چهار روز یک‌بار توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (مدل OS-30p، شرکت OPTI SCIENCES، آمریکا) از هر تیمار به‌طور تصادفی ۶ برگ پرچم توسعه‌یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص‌های F_0، F_m و F_v اندازه‌گیری شدند (۲۳). از هر گلدان ۵ بوته به‌صورت تصادفی به‌منظور تعیین عملکرد دانه از سطح خاک برداشت شد. سپس به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۰۱، دانه‌های جدا شده از سنبله توزین و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کار گرفته شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

فلورسانس کلروفیل (F_0، F_m، F_v): بررسی روند تغییرات فلورسانس حداقل (F_0) در پاسخ به تنش شوری و کاربرد روی در طول فصل رشد نشان داد که فلورسانس حداقل (F_0) همواره در شرایط عدم اعمال شوری کم‌تر از شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک بود که به‌نظر می‌رسد علت آن می‌تواند ناشی از افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۱۰) به‌دلیل کاربرد روی باشد که موجب کاهش میزان فلورسانس حداقل شده است (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین فلورسانس حداکثر (F_m) و فلورسانس متغیر (F_v) مربوط به کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی در عدم اعمال شوری (به‌ترتیب ۷۵۲/۳۳ و ۵۲۷/۱۸) و کم‌ترین آن‌ها (به‌ترتیب ۴۴۸ و ۱۷۴/۱) به عدم کاربرد روی در بالاترین سطح شوری در ۸۲ روز پس از کاشت مربوط می‌شد (جدول‌های ۴ و ۸)، هم‌چنین کم‌ترین فلورسانس حداقل (F_0) مربوط به کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی در عدم شوری خاک (۲۲۵/۱۴) و بیش‌ترین آن (۲۷۴/۲۲) به عدم کاربرد روی در شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک در ۸۲ روز پس از کاشت بود (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی با بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه به‌واسطه افزایش درصد پروتئین برگ (جدول ۱۰) که منجر به حفظ کلروفیل برگ (جدول ۱۰) در شرایط تنش شوری می‌شود (۴۴)، موجب بهبود وضعیت فلورسانس کلروفیل شده

www.SID.ir

Archive of SID

است. فلورسانس حداقل (F_0) تحت‌تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد که تغییر ساختاری در مرکز واکنش اولیه فتوسیستم II به‌وجود می‌آورند (٦). میزان فلورسانس حداقل با افزایش سطح شوری افزایش یافت (جدول ٦)، که این امر بیانگر تخریب زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت کوئینون آ (QA) و عدم اکسیداسیون کامل آن به‌دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و در مجموع غیرفعال شدن فتوسیستم II می‌باشد (٤٥). کارایی افت غیرفتوشیمیایی فلورسانس نیز به عوامل بیرونی و درونی زیادی وابسته بوده و در تغییر F_m با فلورسانس حداکثر منعکس می‌گردد (۲۵). در بررسی بهاری ساروی و همکاران (۲۰۱۷) تنش شوری موجب کاهش فلورسانس حداکثر (F_m) و فلورسانس متغیر (F_v) و افزایش فلورسانس حداقل (F_0) شد (٦). از آن‌جایی‌که فلورسانس متغیر نشانگر احیای کامل پذیرنده الکترون (Q) می‌باشد، بنابراین می‌توان استنباط نمود که تنش شوری در انتقال الکترون به فتوسیستم I اختلال ایجاد کرده و موجب کاهش فلورسانس متغیر شده است (۳۷). با توجه به نقش پروتئین‌های محلول در حفظ ساختار کلروفیل (٤٤)، به‌نظر می‌رسد کاربرد توام سولفات روی و نانواکسید روی با افزایش سنتز پروتئین (جدول ۸) منجر به افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۱۰) و بهبود شرایط فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل (جدول‌های ٤، ٦ و ۸) شده است. هم‌چنین مرادی تلاوت و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند که روی با بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین به تعویق انداختن تخریب و زوال کلروفیل موجب افزایش محتوای کلروفیل شد (۲۹)، که به‌نظر می‌رسد با بهبود محتوای کلروفیل (جدول ۱۰) شرایط برای عملکرد مطلوب فلورسانس کلروفیل فراهم شده است. دادخواه و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که محلول‌پاشی سولفات روی با افزایش محتوای کلروفیل برگ موجب افزایش فلورسانس حداکثر (F_m) و فلورسانس متغیر (F_v) برگ نخود شد (۱۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کاربرد روی و سطوح شوری بر فلورسانس حداکثر (F_m) گندم.

Table 3. Analysis of variance the effect of zins application and salinity levels on maximum fluorescence (F_m) of wheat.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square					
		مراحل نمونه‌برداری (روز بعد از کاشت) Sampling stages (day after sowing)					
		62	66	70	74	78	82
بلوک Block	2	1423.1^{ns}	857568.6**	5^{ns}	137**	26.2^{ns}	24.1^{ns}
شوری Salinity	3	405124.7**	365443.6**	397437.6**	230267.8**	194013.9**	145190.3**
روی Zinc	3	74907.7**	63159.1**	69987.7**	42529.8**	38493.2**	24253.1**
شوری×روی Salinity×Zinc	9	6338.7**	2365.6*	2412.5**	1106.7**	865.4**	1066.9**
خطا Error	30	1746.4	1161.8	31.9	18.2	17.6	33

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر روی و شوری بر فلورسانس حداکثر (F_m) گندم.

Table 4. Means comparison of the effects of zinc and salinity on maximum fluorescence (F_m) of wheat.

مراحل نمونه‌برداری (روز بعد از کاشت) Sampling stages (day after sowing)						ترکیب تیماری Treatments
62	66	70	74	78	82	
1422.33^{cd}	1276^{cd}	1121^{e}	913.33^{e}	818.33^{e}	684^{e}	S_1×Zn_1
1482.67^{bc}	1355^{ab}	1191^{c}	956.66^{c}	850^{c}	721.33^{c}	S_1×Zn_2
1606^{a}	1388^{a}	1222.66^{b}	988^{b}	907^{b}	740.33^{b}	S_1×Zn_3
1532.67^{b}	1401^{a}	1266.66^{a}	1011.33^{a}	925^{a}	752.33^{a}	S_1×Zn_4
1282^{fgh}	1175^{fg}	974^{i}	786^{i}	730^{h}	580.33^{i}	S_2×Zn_1
1338.33^{ef}	1204^{ef}	1031.33^{g}	863^{g}	782.33^{f}	632^{g}	S_2×Zn_2
1374.33^{de}	1329de	1085^{f}	888.33^{f}	789^{f}	662.66^{f}	S_2×Zn_3
1463.67^{bc}	1321^{bc}	1159.66^{d}	932^{d}	842.66^{d}	711.66^{d}	S_2×Zn_4
1157.67^{ij}	994^{jk}	866.33^{l}	684^{l}	620.66^{l}	482.33^{m}	S_3×Zn_1
1213^{hi}	1033^{ij}	822.33^{m}	707.33^{k}	652.33^{k}	512^{l}	S_3×Zn_2
1252.67^{gh}	1130^{gh}	936.66^{j}	760.33^{j}	694.33^{i}	561^{j}	S_3×Zn_3
1295.67^{fg}	1188^{ef}	1004.33^{h}	826^{h}	762^{g}	613.33^{h}	S_3×Zn_4
946.33^{k}	872^{m}	694^{p}	575^{o}	497^{o}	448^{o}	S_4×Zn_1
1006^{k}	908^{lm}	734^{o}	623^{n}	563.66^{n}	452^{o}	S_4×Zn_2
1132.67^{j}	955^{kl}	786^{n}	625.33^{m}	591^{m}	469.33^{n}	S_4×Zn_3
1235.67^{ghi}	1082^{hi}	916^{k}	75366^{j}	674.33^{j}	531.66^{k}	S_4×Zn_4
69.68	56.83	9.42	7.12	7.01	9.58	LSD

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۳۰، ٦۰، ۹۰ میلی‌مولار.

Zn_1، Zn_2، Zn_3 و Zn_4 به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف سولفات روی، نانو اکسید روی، مصرف سولفات روی و نانو اکسید روی.

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

S_1, S_2, S_3 and S_4 no salinity, salinity 30, 60 and 90 mM respectively.
Zn_1, Zn_2, Zn_3 and Zn_4 no application, application $ZnSO_4$, nano zinc oxide, application $ZnSO_4$ and nano zinc oxide respectively.
Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test.

جدول ٥- تجزیه واریانس اثر کاربرد روی و سطوح شوری بر فلورسانس حداقل (F_0) گندم.

Table 5. Analysis of variance the effect of zins application and salinity levels on minimum fluorescence (F_0) of wheat.

میانگین مربعات Mean Square						درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V
مراحل نمونه‌برداری (روز بعد از کاشت) Sampling stages (day after sowing)							
62	66	70	74	78	82		
7267.3^{ns}	84872.9**	89.7**	14.4^{ns}	21.1^{ns}	19.9^{ns}	2	بلوک Block
59132.2**	32153.1**	12458.7**	5055.6**	1633.5**	349.3**	3	شوری Salinity
34349.4**	5239.3**	2092.56**	521.7**	51.2*	150.1**	3	روی Zinc
26072.5**	1345.3**	675.2**	382.1**	299**	533.7**	9	شوری×روی Salinity×Zinc
6264.2	119.9	18.5	16.2	14.3	8.5	30	خطا Error

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر روی و شوری بر فلورسانس حداقل (F_0) گندم.

Table 6. Means comparison of the effects of zinc and salinity on minimum fluorescence (F_0) of wheat.

مراحل نمونه‌برداری (روز بعد از کاشت) Sampling stages (day after sowing)						ترکیب تیماری Treatments
62	66	70	74	78	82	
350.82^{bcdef}	341.96^{ef}	312.35^{e}	269.42^{gh}	258.06^{f}	245.33^{e}	$S_1 \times Zn_1$
289.62^{ef}	322.67^{g}	291.39^{fg}	274.24^{fg}	277.37^{d}	251.74^{cd}	$S_1 \times Zn_2$
301.15^{def}	279.82^{h}	281.21^{g}	264.45^{h}	270.28^{e}	248.25^{de}	$S_1 \times Zn_3$
258.5^{f}	251.9^{i}	271.51^{h}	246.77^{i}	269.17^{e}	225.14^{h}	$S_1 \times Zn_4$
409.82^{bcde}	406.55^{bc}	365.57^{b}	302.06^{cd}	285.17^{c}	245.11^{e}	$S_2 \times Zn_1$
377.41^{bcdef}	377.25^{d}	334.47^{d}	292.84^{e}	283.21^{cd}	244.15^{e}	$S_2 \times Zn_2$
733.66^{a}	352.04^{e}	334.91^{d}	280.71^{f}	266.94^{e}	244.5^{e}	$S_2 \times Zn_3$
314.66^{cdef}	327.43^{fg}	311.18^{e}	263.14^{h}	267.39^{e}	261.17^{b}	$S_2 \times Zn_4$
445.98^{bc}	412.97^{ab}	380.01^{a}	304.16^{bcd}	295.22^{b}	235.53^{fg}	$S_3 \times Zn_1$
445.99^{bc}	408.03^{b}	351.14^{c}	308.63^{bc}	292.46^{b}	238.58^{f}	$S_3 \times Zn_2$
422.59^{bcd}	427.66^{a}	363.43^{b}	308.7^{bc}	296.47^{b}	243.85^{e}	$S_3 \times Zn_3$
396.03^{bcde}	389.18^{cd}	349.18^{c}	294.42^{e}	282.69^{cd}	235.31^{fg}	$S_3 \times Zn_4$
406.31^{bcde}	414.37^{ab}	360.4^{b}	309.92^{b}	293.38^{b}	274.22^{a}	$S_4 \times Zn_1$
410.46^{bcde}	404.12^{bc}	332^{d}	298.61^{de}	283.72^{c}	237.89^{f}	$S_4 \times Zn_2$
447.01^{b}	404.02^{bc}	344.54^{c}	305.72^{bc}	283.87^{c}	232.3^{g}	$S_4 \times Zn_3$
432.9^{bcd}	409.06^{b}	376.18^{a}	320.57^{a}	306.57^{a}	254.83^{c}	$S_4 \times Zn_4$
131.98	18.26	7.18	6.72	6.32	4.87	LSD

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۳۰، ٦۰، ۹۰ میلی‌مولار.

Zn_1، Zn_2، Zn_3 و Zn_4 به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف سولفات روی، نانو اکسید روی، مصرف سولفات روی و نانو اکسید روی.

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

S_1, S_2, S_3 and S_4 no salinity, salinity 30, 60 and 90 mM respectively.
Zn_1, Zn_2, Zn_3 and Zn_4 no application, application $ZnSO_4$, nano zinc oxide, application $ZnSO_4$ and nano zinc oxide respectively.
Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر کاربرد روی و سطوح شوری بر فلورسانس متغیر (F_v) گندم.

Table 7. Analysis of variance the effect of zinc application and salinity levels on variable fluorescence (F_v) of wheat.

میانگین مربعات Mean Square						درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V
مراحل نمونه‌برداری (روز بعد از کاشت) Sampling stages (day after sowing)							
62	66	70	74	78	82		
3208^{ns}	402890.5^{**}	129.6^{**}	108.01^{**}	89.3^{**}	86.2^{**}	2	بلوک Block
659357.4^{**}	596337.6^{**}	533697.9^{**}	301918.1^{**}	229342.4^{**}	148354.6^{**}	3	شوری Salinity
112545^{**}	104698.4^{**}	87939.2^{**}	52271.6^{**}	39974.2^{**}	26737.9^{**}	3	روی Zinc
36620.5^{**}	993.9ns	166.53^{ns}	795.8^{*}	813.7^{**}	461.2^{**}	9	شوری×روی Salinity×Zinc
7821.5	1839.1	25.96	13.8	18.9	28.8	30	خطا Error

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and ** are non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر روی و شوری بر فلورسانس متغیر (F_v) گندم.

Table 8. Means comparison of the effects of zinc and salinity on variable fluorescence (F_v) of wheat.

مراحل نمونه‌برداری (روز بعد از کاشت) Sampling stages (day after sowing)						ترکیب تیماری Treatments
62	66	70	74	78	82	
1071.51^{cd}	934.03^{cd}	808.64^{e}	643.9^{e}	560.27^{d}	438.66^{e}	$S_1 \times Zn_1$
1193.05^{abc}	1032.33^{b}	899.61^{c}	682.42^{c}	572.62^{c}	469.59^{c}	$S_1 \times Zn_2$
1304.85^{a}	1108.18^{a}	941.45^{b}	723.54^{b}	636.71^{b}	492.08^{b}	$S_1 \times Zn_3$
1274.16^{ab}	1149.1^{a}	955.15^{a}	764.56^{a}	655.82^{a}	527.18^{a}	$S_1 \times Zn_4$
872.18^{efg}	768.45^{fg}	608.42^{i}	483.93^{i}	444.82^{h}	335.21^{h}	$S_2 \times Zn_1$
960.92^{de}	826.75^{ef}	696.85^{g}	570.16^{g}	499.12^{f}	387.84^{g}	$S_2 \times Zn_2$
640.67^{ijk}	88696^{de}	750.64^{f}	607.61^{f}	522.05^{e}	418.15^{f}	$S_2 \times Zn_3$
1149.01^{bc}	993.87^{bc}	848.47^{d}	668.85^{d}	575.26^{c}	450.49^{d}	$S_2 \times Zn_4$
729.68^{hijk}	581.03^{jk}	486.32^{l}	379.83^{m}	325.44^{l}	246.8^{k}	$S_3 \times Zn_1$
767.01^{ghij}	624.97^{ij}	471.19^{m}	398.7^{l}	359.96^{k}	273.41^{j}	$S_3 \times Zn_2$
730.07^{efgh}	702.33^{gh}	573.23^{j}	451.62^{j}	397.96^{i}	317.14^{i}	$S_3 \times Zn_3$
899.64^{ef}	798.81^{f}	655.14^{h}	532.58^{h}	479.3^{g}	386.68^{g}	$S_3 \times Zn_4$
540.03^{k}	457.63^{m}	333.59^{p}	265.07^{p}	203.61^{o}	174.1^{n}	$S_4 \times Zn_1$
595.54^{jk}	503.88^{lm}	401.99^{o}	324.38^{o}	279.94^{n}	214.1^{m}	$S_4 \times Zn_2$
685.66^{hijk}	550.97^{kl}	441.45^{n}	346.61^{n}	307.12^{m}	237.02^{l}	$S_4 \times Zn_3$
802.76^{fgh}	672.93^{hi}	539.81^{k}	433.09^{k}	367.76^{j}	276.83^{j}	$S_4 \times Zn_4$
147.47	71.51	8.49	6.2	7.24	8.96	LSD

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۳۰، ۶۰، ۹۰ میلی‌مولار.

Zn_1، Zn_2، Zn_3 و Zn_4 به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف سولفات روی، نانو اکسید روی، مصرف سولفات روی و نانو اکسید روی.

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

S_1, S_2, S_3 and S_4 no salinity, salinity 30, 60 and 90 mM respectively.
Zn_1, Zn_2, Zn_3 and Zn_4 no application, application $ZnSO_4$, nano zinc oxide, application $ZnSO_4$ and nano zinc oxide respectively.
Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test.

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ پرچم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد روی، تنش شوری و اثر متقابل این دو عامل بر محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی در عدم اعمال شوری (به‌ترتیب ۵/۲۷، ۱/۶۸، ۶/۹۵ و ۰/۶۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کم‌ترین این مقادیر (به‌ترتیب ۳/۱۹، ۱/۱، ۴/۲۹ و ۰/۴۶۴ میلی‌گرم بر وزن تر برگ) به عدم کاربرد روی در شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک مربوط می‌شد (جدول ۱۰). شوری اغلب منجر به کاهش محتوای کلروفیل و سرعت فتوسنتز می‌شود (۲۰). دلارزا و مایتی (۱۹۹۵) کاهش محتوای کلروفیل در شرایط شوری را به تغییر متابولیسم نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیباتی مانند پرولین نسبت دادند که در تنظیم اسمزی به‌کار می‌رود (۱۴). بهاری ساروی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند تنش شوری با تخریب فتوسیستم II و کاهش فلورسانس حداکثر (F_m) و فلورسانس متغیر (F_v) و افزایش فلورسانس حداقل (F_0) موجب کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید شد (۶). روی به‌طور مستقیم بر تشکیل کلروفیل موثر نیست، ولی می‌تواند بر غلظت عناصر غذایی دیگری مانند آهن و منیزیم که قسمتی از مولکول کلروفیل هستند مؤثر باشند (۲۱). در پژوهشی بر روی گلرنگ، محلول‌پاشی روی

www.SID.ir

Archive of SID

و منگنز موجب افزایش کلروفیل شد، که این امر می‌تواند به‌علت نقش این عناصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل باشد (۳۱). خیری‌زاده آروق (۲۰۱٦) گزارش کردند که در شرایط تنش، محلول‌پاشی عنصر روی با افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت فتوسیستم II موجب بهبود فتوسنتز و افزایش رشد گیاه شد (۲۲). به‌نظر می‌رسد کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی ضمن افزایش محتوای پروتئین (جدول ۱۰) و حفظ کلروفیل برگ (جدول ۱۰) موجب دوام فتوسنتز و افزایش مقاومت به تنش می‌شود (٤٤). در بررسی رضی و همکاران (۲۰۱٤) کاربرد کلات روی در شرایط تنش شوری با افزایش محتوای پروتئین برگ موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ شد (۳۵).

درصد پروتئین برگ پرچم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد روی، تنش شوری و اثر این دو متقابل عامل بر پروتئین برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین درصد پروتئین مربوط به کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی در حالت عدم شوری خاک (۱۳/۹۷ درصد) و کم‌ترین آن (۷/۰۱ درصد) به عدم کاربرد روی در بالاترین سطح از شوری (۹۰ میلی‌مولار خاک) مربوط می‌شد (جدول ۱۰). به‌نظر می‌رسد کاهش محتوای پروتئین کل در شرایط تنش به‌دلیل واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و کاهش سنتز پروتئین باشد (۳٤). شوری موجب کاهش سنتز پروتئین‌ها و افزایش هیدرولیز آن‌ها و در نتیجه موجب تولید آمینواسیدها می‌شود (۲۷). روی در ساختار اسیدهای آمینه هیستیدین، گلوتامین، آسپاراژین و تریپتوفات شرکت داشته و در بیان ژن‌های سنتزکننده پروتئین تأثیر مستقیم دارد (۵ و ۱۸). رضی و همکاران (۲۰۱٤) بیان نمودند که کاربرد کلات روی در شرایط تنش شوری به‌دلیل افزایش محتوای کلروفیل و بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش درصد پروتئین شد (۳۵). امیری‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند که در شرایط تنش، محلول‌پاشی روی به‌دلیل افزایش فتوسنتز و تحریک رشد، موجب افزایش محتوای پروتئین‌های محلول می‌شود (۲).

وزن صددانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد روی، تنش شوری بر وزن صددانه سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین وزن صددانه مربوط به کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی (۲/۹۹۵ گرم) و کم‌ترین آن (۲/۸۰۷ گرم) به عدم کاربرد روی بود (جدول ۱۱). هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین وزن صد دانه (به‌ترتیب ۳/۱۱٦ و ۲/٦۹۹ گرم) به‌ترتیب به عدم اعمال شوری و شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک بود (جدول ۱۱). اسماعیل‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) بیان نمودند که تنش شوری رنگدانه‌های فتوسنتزی و سیستم محافظتی وابسته به برخی رنگدانه‌ها مانند فلاونوئیدها را متأثر ساخته و در نهایت با کاهش آسمیلات‌های درون‌سلولی، به کاهش وزن هزاردانه منجر می‌شود (۱٦). در بررسی شجاعی و مکاریان (۲۰۱۵) کاربرد نانواکسید روی تحت شرایط تنش موجب افزایش وزن هزاردانه شد که این افزایش را به افزایش فرایندهای فتوسنتزی، تجمع کربوهیدرات و کاهش اثرات تنش نسبت دادند (٤۳). در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد کاربرد توام نانواکسید روی و سولفات روی با افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۱۰) و بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش وزن صددانه شده است.

وزن خشک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد روی، تنش شوری بر وزن خشک سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

نشان داد بیش‌ترین وزن خشک مربوط به کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی (٤/٣٣ گرم در بوته) و کم‌ترین آن (٣/٧ گرم در بوته) به عدم کاربرد روی بود (جدول ١١). هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک (به‌ترتیب ٤/٥٦٢ و ٣/٨٠٨ گرم در بوته) به‌ترتیب به عدم اعمال شوری و شوری ٩٠ میلی‌مولار مربوط می‌شد (جدول ١١). از نظر مورفولوژیکی، بارزترین نشانه آسیب شوری به گیاه، رشد کم به‌علت ممانعت از طویل شدن سلول است (٧). پژوهشگران گزارش کرده‌اند که تجمع نمک و یون‌ها به‌دلیل تنش اسمتیک و خشکی منجر به کاهش جذب آب توسط بافت‌های گیاه و کاهش محتوای آب شده و در مجموع منجر به کاهش رشد ریشه و ساقه می‌شود (١١). کارین (٢٠٠٥) علت کاهش بیش‌تر زی‌توده با افزایش شوری را به تخریب فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی تحت شرایط شوری نسبت داد (١٢).

روی یکی از عامل‌های مهم تأثیرگذار در فعالیت آنزیم تریپتوفان سنتتاز و به‌عنوان پیش‌ماده تولید اکسین عمل می‌کند، از این‌رو با افزایش تولید اکسین، به‌دلیل گسترش رشد طولی، زیست‌توده کل افزایش می‌یابد (٢٨). در این بررسی نیز کاربرد روی موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی شد. ال توهامی و ال گریدلی (٢٠٠٧) علت افزایش رشد با کاربرد عنصر روی را، به نقش این عنصر در ساخت اکسین طبیعی و در نتیجه فعال کردن تقسیم سلولی و جذب بهتر مواد معدنی نسبت دادند (١٥).

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد روی، تنش شوری و اثر متقابل این دو عامل بر عملکرد دانه سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٩). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی در عدم اعمال شوری (١/٠١٦ گرم در بوته) و کم‌ترین آن (٠/٧٥٥ گرم در بوته) به عدم کاربرد روی در شرایط شوری ٩٠ میلی‌مولار خاک بود (جدول ١٠). بابایی و همکاران (٢٠١٧) گزارش کردند که در شرایط تنش شوری محلول‌پاشی روی با افزایش محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل و بهبود وضعیت فتوسنتزی گندم موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد (٤). خیری‌زاده آروق و همکاران (٢٠١٦) علت افزایش عملکرد دانه تریتیکاله در شرایط تنش و محلول‌پاشی با نانواکسید روی را، به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش محتوای کلروفیل نسبت دادند (٢٣). به‌نظر می‌رسد افزایش سطوح شوری با تخریب فتوسیستم II موجب کاهش محتوای کلروفیل (جدول ١٠) و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II شده و به تبع آن عملکرد دانه (جدول ١٠) کاهش می‌یابد. کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی با افزایش فلورسانس حداکثر (F_m) و فلورسانس متغیر (F_v) موجب افزایش و بهبود سرعت فتوسنتز شده و عملکرد دانه را افزایش داده است. طوری‌که کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی با افزایش ٦٥/٢، ٥٢/٧٢، ٦٢ و ٥٠/٤٣ درصدی به‌ترتیب محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید و بهبود فلورسانس کلروفیل، موجب افزایش ٣٤/٥٦ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد روی در شرایط شوری ٩٠ میلی‌مولار خاک شد. هم‌چنین کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی به‌واسطه افزایش درصد پروتئین برگ (جدول ١٠) و بهبود محتوای کلروفیل کل برگ (جدول ١٠) در شرایط تنش شوری منجر به بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه و در نهایت افزایش عملکرد دانه شد. دادخواه و همکاران (٢٠١٥) بیان نمودند که در شرایط تنش محلول‌پاشی سولفات روی با افزایش محتوای کلروفیل و فلروسانس حداکثر (F_m) و فلورسانس متغیر (F_v) موجب افزایش عملکرد دانه نخود شد (١٣).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹- تجزیه واریانس اثر کاربرد روی و سطوح شوری بر محتوای کلروفیل، میزان پروتئین و عملکرد گندم.

Table 9. Analysis of variance the effect of zinc application and salinity levels on chlorophyll content, protein content and yield of wheat.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square							
		عملکرد دانه Grain yield	وزن صددانه 100 grain Weight	وزن خشک Dry Weight	پروتئین Protein	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a
بلوک Block	2	0.3**	6.096**	11.18**	1.11^{ns}	0.21**	0.0011^{ns}	0.001^{ns}	0.000034^{ns}
شوری Salinity	3	0.093**	0.41**	1.27**	43.34**	0.063**	10.15**	0.65**	5.77**
روی Zinc	3	0.02**	0.079**	0.25**	21.85**	0.015**	1.88**	0.14**	1.08**
شوری×روی Salinity×Zinc	9	0.0008*	0.001^{ns}	0.006^{ns}	6.31**	0.00057**	0.12**	0.056**	0.15**
خطا Error	30	0.00031	0.0015	0.0041	0.77	0.00021	0.00074	0.00053	0.00043

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر روی و شوری بر محتوای کلروفیل، میزان پروتئین و عملکرد دانه گندم.

Table 10. Means comparison of the effects of zinc and salinity on chlorophyll content, protein amount and yield of wheat.

ترکیب تیماری Treatments	عملکرد دانه (گرم در بوته) Grain yield (g per plant)	پروتئین (٪) Protein (%)	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a
			mg/g FW			
S_1×Zn_1	0.938^{de}	11.15^{b}	0.63^{c}	6.2^{f}	1.23^{e}	4.97^{e}
S_1×Zn_2	0.979^{bc}	7.03^{h}	0.678^{ab}	6.51^{d}	1.34^{d}	5.16^{c}
S_1×Zn_3	0.998^{ab}	13.65^{a}	0.683^{ab}	6.85^{b}	1.64^{b}	5.21^{b}
S_1×Zn_4	1.016^{a}	13.97^{a}	0.698^{a}	6.95^{a}	1.68^{a}	5.27^{a}
S_2×Zn_1	1.062^{a}	9.56^{cde}	0.56^{ef}	5.41^{i}	1.03^{g}	4.38^{h}
S_2×Zn_2	0.912^{ef}	10.87^{bc}	0.58^{e}	5.91^{g}	1.01^{g}	4.89^{f}
S_2×Zn_3	0.954^{cd}	11.43^{b}	0.607^{cd}	6.39^{e}	1.31^{d}	5.08^{d}
S_2×Zn_4	0.981^{bc}	13.12^{a}	0.667^{b}	6.62^{c}	1.5^{c}	5.11^{d}
S_3×Zn_1	0.794^{jk}	7.92^{fgh}	0.522^{g}	4.43^{o}	0.92^{f}	3.51^{n}
S_3×Zn_2	0.817^{ij}	8.64^{defg}	0.524^{g}	5.08^{k}	1.01^{g}	4.07^{j}
S_3×Zn_3	0.884^{fg}	9.1^{def}	0.565^{e}	5.28^{j}	1.02^{g}	4.25^{i}
S_3×Zn_4	0.888^{fg}	10.02^{bcd}	0.604^{d}	5.64^{h}	1.02^{g}	4.61^{g}
S_4×Zn_1	0.755^{l}	7.01^{h}	0.464^{h}	4.29^{p}	1.1^{h}	3.19^{o}
S_4×Zn_2	0.76^{l}	7.18^{gh}	0.488^{h}	4.57^{n}	0.93^{h}	3.64^{m}
S_4×Zn_3	0.777^{kl}	7.55^{gh}	0.518^{g}	4.67^{m}	0.95^{h}	3.71^{l}
S_4×Zn_4	0.893^{hi}	8.27^{efgh}	0.538^{fg}	4.79^{l}	0.95^{h}	3.83^{k}
LSD	0.029	1.46	0.024	0.045	0.038	0.034

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۳۰، ۶۰، ۹۰ میلی‌مولار.

Zn_1، Zn_2، Zn_3 و Zn_4 به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف سولفات روی، نانو اکسید روی، مصرف سولفات روی و نانو اکسید روی.

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

S_1, S_2, S_3 and S_4 no salinity, salinity 30, 60 and 90 mM respectively.
Zn_1, Zn_2, Zn_3 and Zn_4 no application, application $ZnSO_4$, nano zinc oxide, application $ZnSO_4$ and nano zinc oxide respectively.
Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر روی و شوری بر وزن صددانه و وزن خشک گندم.

Table 11. Means comparison of the effects of zinc and salinity on weight of 100 seed and dry weight of wheat.

وزن خشک (گرم در بوته) Dry Weight (g per plant)	وزن صددانه (گرم) 100 grain Weight (g)	سطوح شوری Salinity Levels
4.562[a]	3.116[a]	S_1
4.308[b]	3.002[b]	S_2
4.042[c]	2.817[c]	S_3
3.808[d]	2.699[d]	S_4
0.0537	0.0327	LSD
وزن خشک (گرم در بوته) Dry Weight (g per plant)	وزن صددانه (گرم) Weight of 100 seed (g)	سطوح روی Zinc Levels
3.7[d]	2.807[d]	Zn_1
4.149[c]	2.885[c]	Zn_2
4.242[b]	2.948[b]	Zn_3
4.336[a]	2.995[a]	Zn_4
0.0537	0.0327	LSD

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۳۰، ٦۰، ۹۰ میلی‌مولار.

Zn_1، Zn_2، Zn_3 و Zn_4 به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف سولفات روی، نانو اکسید روی، مصرف سولفات روی و نانو اکسید روی.

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

S_1, S_2, S_3 and S_4 no salinity, salinity 30, 60 and 90 mM respectively.
Zn_1, Zn_2, Zn_3 and Zn_4 no application, application $ZnSO_4$, nano zinc oxide, application $ZnSO_4$ and nano zinc oxide respectively.
Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد توأم سولفات روی و نانواکسید روی در شرایط عدم شوری خاک با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید و درصد پروتئین برگ در طول فصل رشد، موجب افزایش ۳٤/٥٦ درصدی عملکرد دانه گندم نسبت به شرایط عدم کاربرد روی در شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک گردید. از این‌رو به‌نظر می‌رسد به‌منظور بهبود عملکرد گندم در شرایط تنش شوری، استفاده از سولفات روی و محلول‌پاشی نانواکسید روی روشی مناسب باشد.

منابع

1.Alloway, B.J. 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Int. Zinc Assoc. (IZA). Belgium, 128p.

2.Amirinejad, M., Gholamali, A., Baghizadeh, A., Allahdadi, I., Shahbazi, M., and Naimi, M. 2015. Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. J. Agric. Crop Manage. 17: 4. 855-866. (In Persian)

3.Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agron. J. 23: 112-121.

4.Babaei, Kh., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A.R., and Khalilzadeh, R, 2107. Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. J. Plant Interact. 12: 1. 381-389.

www.SID.ir

Archive of SID

5.Bagci, S.A., Ekiz, H., Yilmaz, A., and Cakmak, I. 2007. Effects of zinc deficiency and water stress on grain yield of field-grown Wheat cultivars in central Anatolia. Agronomy and Crop Science. 193: 3. 198-206.

6.Bahari Saravi, S.H., Pirdashti, H., and Yaghobian, Y. 2017. Response of chlorophyll fluorescence and physiological parameters of basil (*Ocimum basilicum* L.) to plant growth promoting *rhizobacteria* (PGPR) under salinity stress. J. Plant Proc. Func. 6: 19. 89-104. (In Persian)

7.Bandeoglu, E., Eyidogan, F., Yucel, M., and Oktem, H. 2004. Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity stress. Plant Growth Regulation. 42: 69-77.

8.Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72: 1. 248-254.

9.Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant Soil. 302: 1. 1-17.

10.Canama, T., Li, X., Holowachukb, J., Yu, M., Xia, J., Mandal, R., Krishnamurthy, R., Bouatra, S., Sinelnikov, I., Yu, B., Grenkow, L., Wishart, D.S., Steppuhn, H., Falk, K.C., Dumonceaux, T.J., and Gruber, M.Y. 2013. Differential metabolite profiles and salinity tolerance between two genetically related brown seeded and yellow-seeded Brassica carinatalines. Plant Science. 198: 17-26.

11.Cavalcanti, F., Lima, J.P., Silva, S., Viegas, R., and Silveria, J. 2007. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. J. Plant Physiol. 164: 591-600.

12.Craine, J.M. 2005. Reconciling plant strategy theories of Grime and Tilman. J. Ecol. 93: 1041-1052.

13.Dadkhah, N., Ebadi, A., Parmoon, G., Ghlipoori, E., and Jahanbakhsh, S. 2015. Effect of spraying zinc on photosynthetic pigments and grain yield of chickpea under level different irrigation. Iran. J. Dryland Agric. 3: 2. 141-160. (In Persian)

14.De La Rosa-Ibarra, M., and Maiti, R.K. 1995. Biochemical mechanism in glossy Sorghum lines for resistance to salinity stress. J. Plant Physiol. 146: 515-519.

15.El-Tohamy, W., and El-Greadly, N. 2007. Physiological responses, growth, yield and quality of snap beans in response to foliar application of yeast, vitamin E and zinc under sandy soil conditions. Austr. J. Basic Appl. Sci. 1: 294-299.

16.Esmaeilzadeh, V., Zahedi, H., Sharghi, Y., Modarres Sanavy, S.A.M., and Alaviasl, S.A. 2018. Interaction effect of zeolite and salt stress in reproductive stage of four canola varieties. Environmental Stresses in Crop Sciences. 11: 2. 393-400.

17.Genc, Y., McDonald, G.K., and Graham, R.D. 2005. The interactive effects of zinc and salt on growth of wheat. P 548-549. In: C.J. Li, (ed.), plant nutrition for food security human health and environmental protection. Tsinghua University Press, Beijing, China.

18.Grewal, H.S., and Wiliams, R. 2000. Zinc nutrition affects alfalfa response to water stress and excessive moisture. Plant Nutrition. 23: 7. 949-962.

19.Hagh Bahari, M., and Seyed Sharifi, R. 2014. Effects of seed inoculation with growth promoting bacteria (PGPR) on yield, rate and grain filing at various levels of soil salinity. Environmental Stresses in Crop Science. 6: 1. 65-75. (In Persian)

20.Kao, W.Y., Tsai, T.T., Tsai, H.C., and Shih, C.N. 2006. Response of three Glycine species to salt stress. Environmental and Experimental Botany. 56: 1. 120-125.

21.Kaya, C., and Higgs, D. 2002. Response of tomato (*Lycopersicom esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. Scientia Horticulturae. 93: 1. 53-64.

22.Kheirizadeh Arough, Y. 2016. Effects of nano zinc oxide foliar application, arbuscular mycorrhizal fungus and free leaving nitrogen fixing bacteria on yield and some physiological traits of

www.SID.ir

Archive of SID

Triticale under salinity and water limitation condition. Ph.D thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (In Persian)

23. 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.
24. Li, W.Y.F., Wong, F.L., Tsai, S.N., Tsai, S.N., Phang, T.H., Shao, G.H., and Lam, H.M. 2006. Tonoplast-located GmCLC1 and GmNHX1 from soybean enhance NaCl tolerance in transgenic bright yellow (by)-2 Cells. Plant Cell Environment. 29: 6. 1122-1137.
25. Maxwell, K., and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence--a practical guide. J. Exper. Bot. 51: 345.659-668.
26. 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 Appl. Sci. J. 7: 1. 36-40.
27. Melander, W., and Horvath, C. 1977. Salt effects on hydrophobic interactions in pre- cipitation and chromatography of proteins: an interpretation of the lyotropic series. Archives of Biochemistry and Biophysics. 183: 200-215.
28. Misra, A., Srivastava, A., Srivastava, N., and Khan, A. 2005. Zn-acquisition and its role in growth, photosynthesis, photosynthetic pigments, and biochemical changes in essential monoterpene oil (s) of Pelargonium graveolens. Photosynthetica. 43: 153-155.
29. Moradi Telavat, M.R., Roshan, F., and Siadat, S.A. 2015. Effect of foliar application of zinc sulfate on minerals contenet, seed and oil yields of two safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Iran. J. Crop Sci. 17: 2. 153-164. (In Persian)
30. Mousavi, S.R., Galavi, M., and Rezaei, M. 2013. Zinc (Zn) importance for crop production, A review. Inter. J. Agron. Plant Prod. 4: 1. 64-68.
31. Movahhedi Dehnavi, M., Modarres Sanavi, A.M., Soroush-Zade, A., and Jalali, M. 2004. Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and manganese. Biaban. 9: 1. 93-110. (In Persian)
32. Okcu, G., Kaya, M.D., and Atak, M. 2005. Effect of salt and drought stress on germination and seedling growth ofpea (*Pisum sativum*). Turk. J. Agric. 29: 137-243.
33. Qu, Y.N., Zhou, Q., and Yu, B.J. 2009. Effects of Zn_2+ and niflumic acid on photosynthesis in Glycine soja and Glycine max seedlings under NaCl stress. Environmental and Experimental Botany. 65: 2. 304-309.
34. Ramezani, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, G., and Sayyari-Zahan, M.H. 2013. Effect of salinity and foliar application of iron and zinc on yield and water use efficiency of ajowan (*Carum copticum*). Inter. J. Agric. Crop Sci. 7: 421-426.
35. Razi, S., Gholami, M., and Azizi, A. 2014. Physiological Consequences of Foliar Application of Zinc Chelate in Strawberry Cultivation under Salt Stress Condition. Plant Production Technology. 6: 1. 59-68. (In Persian)
36. Saeedi, G.H. 2008. The effect of some macro and microelements on grain yield and other agronomic characters on (*Sesamum indicum* L.) in Isfahan. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 45: 379-402. (In Persian)
37. Saffari, R., Maghsoudi Mood, A.A., and Saffari, V.R. 2013. Effect of Salt Stress on Chlorophyll Fluorescence and Grain Yield of Some Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars. Seed and Plant Production. 29: 1. 109-130. (In Persian)
38. Sarkar, D., Mandal, B., and Kundu, M.C. 2007. Increasing use efficiency of boron fertilisers by rescheduling the time and methods of application for crops in India. Plant and Soil. 301: 1. 77-85.

www.SID.ir

Archive of SID

39. Seilsepour, M. 2006. Study of Zinc effects on quantitative and qualitative traits of winter wheat in saline soil condition. Des. J. 11: 2.17-23.
40. Seyed Sharifi, R., and Hokmalipour, S. 2016. Agronomy under Environmental Stresses. University of Mohaghegh Ardabili. Press, 422p. (In Persian)
41. Seyed Sharifi, R., and Kamari, H. 2015. Effects of nano-zinc oxide and seed inoculation of Triticale. J. Plant Proc. Func. 4: 13. 97-112.
42. Seyed Sharifi, R., and Namvar, A. 2015. Bio Fertilizers in agronomy. University of Mohaghegh Ardabili. Press, 282p. (In Persian)
43. Shojaei, H., and Makarian, H. 2015. The effect of nano and non-nano Zinc oxide particles foliar application on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiate*) under drought stress. Iran. J. Field Crop Res. 12: 4. 727-737. (In Persian)
44. Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Ebrahimzadeh, H. 2003. Stomatal and Nonstomatal Limitations to Photosynthesis and Their Relationship with Drought Resistance in Wheat Cultivars. Iran. J. Agric. Sci. 34: 4. 93-106. (In Persian)
45. Zlatev, Z., and Yordanov, T. 2004. Effect of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. J. Plant Physiol. 30: 3-4. 3-18.

www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 10(2), 2020
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2020.16140.1861

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effects of foliar and soil application of zinc on photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil salinity

H. Narimani[1] and *R. Seyed Sharifi[2]
[1]Ph.D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili,
[2]Professor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili
Received: 01.08.2019; Accepted: 01.01.2020

Abstract

Background and Objectives: Soil salinity is one of the most serious limiting factors for crop growth and production in the arid and semi-arid regions. Zinc is an essential micronutrient for humans, animals and plants, which act either as the metal component of enzymes or as a regulatory co-factor of a large number of enzymes. Zinc is required for chlorophyll synthesis and plays an important role in biomass production. Zinc is required for pollen function, fertilization and germination plays an important role. Zinc deficiency is recognized as a critical problem in plants, especially grown on saline conditions with high pH values. But, recent researches have shown that a small amount of nutrients, particularly Zn applied by foliar spraying can affect ability of plants to salinity stress. So, the aim of this study was to investigate the effects of foliar and soil application of zinc on photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence and grain yield of wheat under soil salinity.

Materials and Methods: A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in research greenhouse of faculty of agricultural and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2018. Factors experiment were included soil salinity in four levels (non-salinity, salinity 30, 60 and 90 mM by NaCl), foliar and soil application of zinc in four levels (without zinc as control, soil application of $ZnSo_4$, foliar application of nano Zn oxide, both application of $ZnSo_4$ and nano Zn oxide).

Results: The results showed that both application $ZnSo_4$ and nano Zn oxide under non-salinity condition, increased chlorophyll a, b, total chlorophyll, carotenoeid and grain yield (65.2, 52.72, 62, 50.43 and 34.56% respectively) in comparison with no application of zinc under salinity of 90 mM. Also, both application of $ZnSo_4$ and nano Zn oxide under without salinity, increased maximum fluorescence (F_m) and variable fluorescence (F_v). Grain yield decreased 34.56% under salinity of 90 mM and without application of zinc in comparison with both application $ZnSo_4$ and nano Zn oxide under non-salinity condition due to increasing minimum fluorescence (F_0) and decreasing chlorophyll content.

Conclusion: It seems that both application of $ZnSo_4$ and nano zn oxide can increase grain yield of wheat under salinity stress due to improving Potosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence components.

Keywords: Carotenoeid, Protein, Stress, Zinc

* Corresponding Author; Email: raouf_ssharifi@yahoo.com

www.SID.ir

www.SID.ir