Archive of SID

زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال هشتم، شماره بیست و هفتم، بهار ۱۳۹۵، صفحه ۳۳-۴۸
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۳۰
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۴/۰۵/۳۱
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۴/۱۰/۱۹
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۲۲

بررسی تأثیر نانوذرات اکسید روی بر ویژگی‌های رویشی، مقدار عناصر و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گندم (*Triticum aestivum*)

محمدرضا امیرجانی *، مهری عسکری مهرآبادی و فهیمه عزیزمحمدی
گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، کد پستی ۸۳۴۹-۸-۳۸۱۵۶، اراک، ایران

چکیده

عنصر روی یکی از عناصر ضروری برای گیاهان است و با این که به مقدار اندک برای گیاه مورد نیاز است؛ اما نقش برجسته‌ای در رشد و نمو گیاه دارد. از سوی دیگر، نانوکودها از جمله نانواکسید روی به طور چشم گیری باعث افزایش محصولات کشاورزی می شوند. هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی تأثیر غلظت های مختلف نانواکسید روی بر برخی ویژگی های گیاه گندم است. آزمایش در یک طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با غلظت های مختلف نانواکسید روی (صفر، ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار در مرحله کشت گلدانی) انجام شد. در انتهای یک دوره ۱۴ روزه ویژگی های رویشی، مقدار رنگیزه های فتوسنتزی، کربوهیدرات کل و عناصر اندازه گیری شد. با توجه به نتایج به دست آمده، شاخص های رشد نظیر: وزن تر و خشک، سطح برگ، عمق ریشه، درصد جوانه‌زنی، مقدار عناصر آهن و فسفر، مقدار کربوهیدرات و همچنین رنگیزه‌های فتوسنتزی در غلظت‌های بالای نانواکسید روی (۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار) روند کاهشی نشان دادند. فلزات روی و پتاسیم با افزایش غلظت نانوذرات اکسید روی افزایش یافتند. مطالعه حاضر نشان داد که در غلظت ۱/۵ میکرومولار نانواکسید روی بیشترین بازدهی و تولید در گیاه گندم وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: رنگیزه فتوسنتزی، شاخص‌های رشد، گندم، نانواکسید روی

مقدمه

گندم از جمله مهم‌ترین غلات است که حدود ۲۱ درصد غذای مردم جهان و ۲۰۰ میلیون هکتار کشت‌زارها را تشکیل می‌دهد (Amirjani, 2012). دانه گندم متشکل از ۷ تا ۱۸ درصد پروتئین (بستگی به نوع گندم دارد)، ۶۰ تا ۷۰ درصد نشاسته، ۲ تا ۵/۲ درصد سلولز، ۱/۵تا ۲ درصد چربی، مقداری بتاکاروتن، آمینو اسیدهای ضروری، عناصر معدنی، ویتامین‌ها و فیبرها است. این مواد به ویژه در قسمت دانه گیاه گندم که در خاک‌های غنی شده رشد

* نگارنده مسؤول: نشانی پست الکترونیک: m-amirjani@araku.ac.ir، شماره تماس: ۰۸۶۳۴۱۷۳۴۰۱

Copyright©2016, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

www.SID.ir

Archive of SID

کرده‌اند، یافت می‌شود (Shewry, 2009). عنصر روی در گیاهان نقش‌های مهمی ایفا می‌کند به طوری که کمبود آن موجب کاهش رشد، اختلال در واکنش‌های حیاتی و بازدهی گیاه می‌شود. این عنصر در سنتز کروموزوم، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته، متابولیسم پروتئین‌ها، متابولیسم اکسین، تشکیل دانه گرده، حفظ غشاهای زیستی و در مقاومت به عفونت‌ها توسط عوامل بیماری‌زا دخیل است (Alloway, 2008). عنصر روی همچنین برای تولید کلروفیل، عملکرد دانه گرده، باروری و جوانه‌زنی دانه نیاز است؛ زیرا عنصر روی در ساختمان چندین آنزیم نظیر کربنیک انیدراز، دهیدروژناز، پروتئاز و پپتیداز وجود دارد (Pandey *et al*., 2002؛ Cakmak, 2008). همچنین عنصر غذایی روی به عنوان کوآنزیم در فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌های مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه نقش دارد (Zare dehabadi *et al*., 2010).

گندم از جمله گیاهان حساس به کمبود روی است. حدود ۳۰ درصد خاک‌های کشاورزی جهان مقدار اندکی عنصر روی در دسترس دارند (Hafeez *et al*., 2013). به دلیل تأثیرات منفی که کودهای شیمیایی در محیط زیست و کیفیت غذا ایجاد می‌کنند، مدتها است که استفاده از آنها توصیه نمی‌شود. در سال‌های اخیر، نحوه تأثیر عناصر مورد نیاز به شکل نانوذرات بر رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته و نتایج مثبتی در این رابطه گزارش شده است (Naderi and Abedi, 2012). تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و فعالیت‌های کاتالیزوری آنها را تغییر می‌دهد. علاوه بر انحلال‌پذیری بیشتر، فعالیت‌های شیمیایی و نفوذپذیری در غشای سلولی در این نانوذرات پدیدار می‌گردد (Mazaherinia *et al*., 2010). یکی از نانوذرات، نانوذره اکسید روی است که پودری سفید مایل به زرد و بسیار نرم همراه با سطح ویژه بسیار بالا است. نتایج مثبت استفاده از نانوذرات به جای عناصر مورد نیاز در پژوهش‌های برخی پژوهشگران مطالعه شده است. در آزمایشی بر روی نخود گزارش شد که کاربرد اکسید روی به شکل نانوذرات تأثیر بیشتری در افزایش رشد گیاه نسبت به شکل معمول آن داشت (Pandey *et al*., 2010). همچنین تأثیر نانوذرات اکسید تیتانیوم بر عملکرد ذرت قابل ملاحظه بود (Moaveni and Kheiri, 2011). در آزمایشی دیگر، ترکیبی از نانوذرات اکسید تیتانیوم و اکسید سیلیس فعالیت نیترات ردوکتاز را در سویا افزایش داد و توانایی جذب و استفاده از آب و کود را تشدید نمود (Lu *et al*., 2002). محققان در آزمایشی گلخانه‌ای روی گیاه گندم دریافتند که کاربرد پودر نانواکسید آهن نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی‌داری در غلظت آهن گیاه، طول سنبله، ارتفاع گیاه، وزن هزار دانه و وزن دانه در گلدان در گندم داشته است (Mazaherinia *et al*., 2010). ممکن است این افزایش به دلیل خاصیت نانوذرات و حلالیت بیشتر آنها، سبک و کوچک بودن آنها و همچنین شانس برخورد بیشتر ریشه‌ها به ذرات نانونسبت به ذرات اکسید آهن معمولی باشد. با توجه به موارد فوق این آزمایش به منظور بررسی اثر نانوذرات اکسید روی بر ویژگی‌های رویشی، مقدار عناصر، کربوهیدرات و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گندم انجام شد.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه اراک انجام شد. نانوذرات اکسید روی (۱۰ تا ۳۰ نانومتر) از شرکت پیشگامان نانومواد مشهد خریداری شد. غلظت‌های صفر، ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی تهیه شد. برای ساخت غلظت‌های مورد نیاز ابتدا ۱۶ میلی‌گرم ماده وزن شد و در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیر حل شد و محلول ۲ میلی‌مولار نانواکسید روی به دست آمد. سپس به مدت نیم ساعت به منظور پراکنده شدن ذرات در دستگاه اولتراسونیک (مدل Metason 200HT Ultrasonic، شرکت Struers، دانمارک) قرار گرفتند. پس از آن، یک مگنت مغناطیسی درون محلول قرار داده شد و به مدت یک ساعت روی دستگاه همزن قرار گرفت تا مانع آگلومره شدن نانو ذرات شود. از این محلول برای ساخت مقادیر مورد نیاز استفاده شد. برای ساخت غلظت ۱/۵ میکرومولار ۰/۷۵ میلی‌لیتر از سوسپانسیون تهیه شده را در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر محلول هوگلند بدون سولفات روی حل شد و به همین ترتیب برای ساخت غلظت‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار به ترتیب ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ میلی‌لیتر از سوسپانسیون آماده شده به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر محلول هوگلند بدون سولفات روی منتقل شد. در تیمار صفر، از هوگلند فاقد سولفات روی و فاقد نانواکسید روی استفاده شد و از هوگلند کامل (محتوی $ZnSO4.7H_2O$ و فاقد نانواکسید روی) هم به عنوان شاهد استفاده شد (Prasad *et al.*, 2012). بذور گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم شهریار از اداره جهاد کشاورزی اراک تهیه و ضدعفونی سطحی شد (Wang and Oyaizu, 2009) و به گلدان های حاوی پرلیت با شرایط آزمایشگاهی با دمای ۳±۲۵درجه سانتیگراد در روز و ۲±۲۰ درجه سانتیگراد در شب و دوره روشنایی ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی منتقل شدند. اعمال تیمارها به صورت یک روز در میان و به مدت دو هفته به میزان ۱۵۰ میلی‌لیتر از محلول‌های مربوط به هر تیمار انجام شد. برای کم کردن اثرات محیطی، جابجایی تصادفی گلدان ها در طول دوره رشد انجام گرفت. این آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و سطوح مختلف نانوذرات اکسید روی (صفر، ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار) و هوگلند کامل (به عنوان شاهد) انجام شد. در نهایت، گیاهان ۱۴ روزه برای بررسی تأثیر نانواکسید روی برداشت شدند.

درصد جوانه زنی، برخی شاخص‌های رشد نظیر: ارتفاع گیاه، سطح برگ ، عمق ریشه، وزن تر بخش هوایی و سپس وزن خشک پس از قرار گرفتن به مدت ۲۴ ساعت در آون ۷۵ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت اندازه‌گیری شد.

مقدار عنصر پتاسیم بر اساس روش Wang و Zhao (۱۹۹۵) با دستگاه فلیم فوتومتر (مدل JEANWAYPDP7، شرکت Camlab، انگلستان) اندازه گیری شد. مقدار عناصر روی و آهن بر اساس روش Celik و همکاران (۲۰۰۴) توسط دستگاه جذب اتمی (مدل AA680، شرکت Shimadzu، ژاپن) محاسبه شد. برای اندازه گیری عنصر فسفر از روش اسپکتروفتومتری (Creus *et al.*, 2004) استفاده شد. محاسبه مقدار کلروفیل‌ها از روش Brouers و Michel-Wolwertz (۱۹۸۳) و مقدار کاروتنوئید از روش Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۳) انجام شد. مقدار کربوهیدرات کل با روش فنل سولفوریک اسید (Dubois and Gilles, 1956) اندازه‌گیری شد. برای

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن و برای رسم نمودارها از برنامه Excel استفاده گردید.

نتایج

غلظت‌های مختلف نانواکسید روی بر شاخص‌های رشد گیاه گندم ۱۴ روزه از جمله درصد جوانه زنی، وزن تر و خشک بخش هوایی، سطح برگ (سطح ۰/۰۱ درصد) و عمق ریشه (سطح ۰/۰۵ درصد) اثر معنی‌داری داشت اما بر ارتفاع اندام هوایی اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). نتایج حاصل از بررسی گیاهان گندم ۱۴ روزه نشان داد که درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک بخش هوایی، سطح برگ و عمق ریشه در گیاهان تحت غلظت ۱/۵ میکرومولار نانواکسید روی افزایش یافته است اما با افزایش غلظت نانواکسید روی شاخص‌های رشدی فوق نسبت به گیاهان شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافته‌اند، به طوری که بیشترین کاهش در گیاهان تحت غلظت ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی مشاهده شد. بیشترین درصد جوانه زنی، وزن تر و خشک بخش هوایی، سطح برگ و طول ریشه در تیمار ۱/۵ میکرومولار نانواکسید روی و با افزایش به ترتیب ۲۳، ۲۸، ۴، ۱۰ و ۲ درصد نسبت به نمونه شاهد (هوگلند کامل) مشاهده شد. تیمارهای صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی به ترتیب باعث کاهش ۳۲، ۱۵، ۴۳، ۵۲ و ۶۵ درصدی جوانه‌زنی، کاهش ۵۶، ۴۳، ۵۳، ۵۳ و ۶۲ درصدی وزن تر بخش هوایی، کاهش ۵۳، ۴۶، ۴۳، ۴۳ و ۶۰ درصدی وزن خشک بخش هوایی، کاهش ۵۰، ۱۱، ۵۰، ۵۱ و ۵۵ درصدی میزان سطح برگ نسبت به نمونه شاهد شدند (شکل ۱). کمترین طول ریشه (۲/۹ سانتی‌متر) مربوط به گیاهان گندم در غلظت ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی با ۶۴ درصد کاهش نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد و بیشترین طول ریشه (۷/۷ سانتی‌متر) در گیاهان گندم که نانواکسید روی را با غلظت ۱/۵ میکرومولار دریافت کرده بودند مشاهده شد که نسبت به عمق ریشه شاهد ۲ درصد بیشتر شده بود. تیمارهای صفر، ۳، ۶ و ۹ میکرومولار نانواکسید روی نیز به ترتیب باعث کاهش ۵۸، ۱۷، ۳۲ و ۴۱ درصدی طول ریشه نسبت به نمونه شاهد شدند (شکل ۱).

تحلیل آماری داده‌های حاصل از اندازه‌گیری مقدار عناصر پتاسیم، فسفر، آهن و روی درون برگ تحت تیمار غلظت‌های مختلف نانواکسید روی اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ نشان داد (جدول ۲).

با افزایش غلظت نانواکسید روی، میزان عناصر پتاسیم و روی افزایش و میزان فسفر و آهن کاهش یافت. بیشترین مقدار پتاسیم (۱/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و روی (۱۰/۴۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در برگ گیاهان تحت تیمار غلظت ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی و کمترین مقدار عنصر پتاسیم (۰/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و عنصر روی (۰/۰۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در برگ گیاهانی بود که غلظت عنصر روی برابر با صفر بود. در برگ گیاهان تحت غلظت‌های ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی، مقدار عنصر پتاسیم به ترتیب: ۵/۹۷، ۱۷، ۶۱، ۷۱ و ۱۱۴ درصد و مقدار عنصر روی به ترتیب: ۶، ۳۷، ۱۷۵، ۲۴۴ و ۳۷۱ درصد نسبت به شاهد (هوگلند کامل) افزایش داشت (جدول ۳).

بیشترین مقدار فسفر (۰/۰۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در برگ گیاهان شاهد و کمترین مقدار فسفر (۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در برگ گیاهان

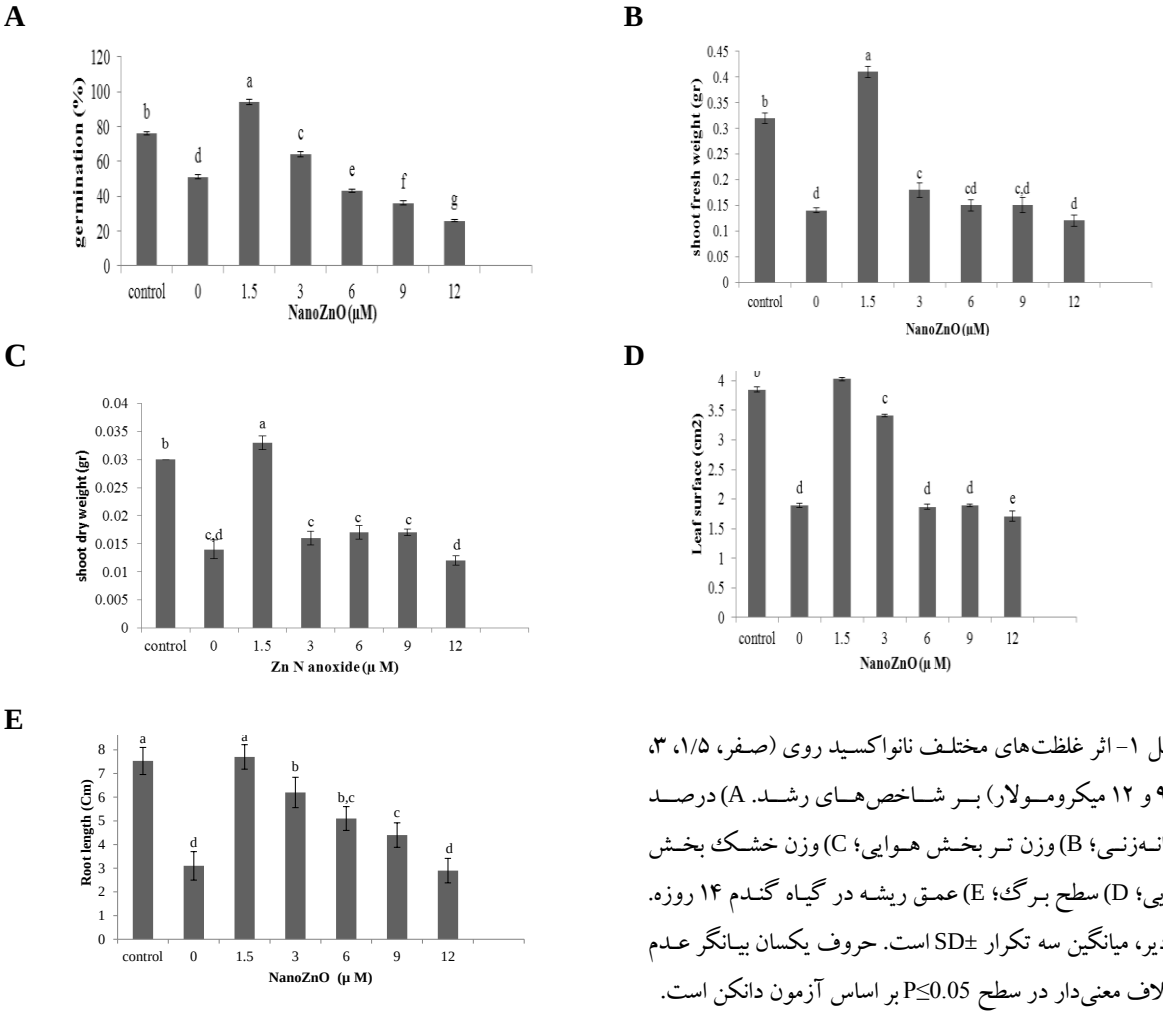
www.SID.ir

Archive of SID

تحت تیمار غلظت ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی مشاهده شد. مقدار فسفر در غلظت‌های صفر، ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی نسبت به شاهد به ترتیب: ۴۲، ۷، ۳۴، ۳۴، ۴۶ و ۵۱ درصد کاهش نشان داد. بیشترین مقدار آهن (۱/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در برگ گیاهان شاهد (هوگلند کامل) و کمترین مقدار آهن (۰/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در برگ گیاهان تحت تیمار غلظت ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی مشاهده شد. مقدار آهن در غلظت‌های صفر، ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی نسبت به شاهد به ترتیب: ۲/۴، ۵/۵، ۸/۶، ۳۰، ۳۸ و ۵۱ درصد کاهش داشت (جدول ۳).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت‌های مختلف نانواکسید روی (صفر، ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار) بر شاخص‌های رشد گیاه گندم. ^{ns} معنی‌دار نیست * معنی‌دار در سطح ۵ درصد ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

منبع تغییر	شاخص‌های رشد					
	درصد جوانه‌زنی	وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	سطح برگ	عمق ریشه	ارتفاع اندام هوایی
نانواکسید روی	۴۳۵/۹۶**	۸۶/۹۰۹**	۵۴/۰۳۶**	۵۲۱/۷۸۵**	۶/۶۹۵*	۱/۷۵۰^{ns}



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف نانواکسید روی (صفر، ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار) بر شاخص‌های رشد. A) درصد جوانه‌زنی؛ B) وزن تر بخش هوایی؛ C) وزن خشک بخش هوایی؛ D) سطح برگ؛ E) عمق ریشه در گیاه گندم ۱۴ روزه. مقادیر، میانگین سه تکرار ±SD است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ بر اساس آزمون دانکن است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف نانواکسید روی (صفر، ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار) بر میزان عناصر گیاه گندم. ns معنی‌دار نیست، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

منبع تغییر	عناصر			
	فسفر	پتاسیم	آهن	روی
نانواکسید روی	۸۸/۳۲۹**	۲۹۳/۸۷۱**	۲/۴۳۲**	۲۰۱/۹۸**

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های تأثیر غلظت‌های مختلف نانواکسید روی بر مقدار عناصر پتاسیم، فسفر، روی و آهن (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) گیاهان ۱۴ روزه. مقادیر، میانگین سه تکرار ±SD است. حروف یکسان بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ بر اساس آزمون دانکن است. مقایسه برای هر عنصر جداگانه انجام شده است.

نانواکسید روی (میکرومولار)	عناصر (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)			
	پتاسیم	فسفر	روی	آهن
شاهد	۰/۰۱۵^{e} ±۰/۶۷	۰/۰۰۲^{a} ±۰/۰۵۲	۰/۰۰۱^{e} ±۰/۰۸۷	۰/۲^{a} ±۱/۶۲
صفر	۰/۰۱۱^{f} ±۰/۳۱	۰/۰۰۰۸^{d} ±۰/۰۳	۰/۰۰۲^{e} ±۰/۰۶۹	۰/۲^{ab} ±۱/۵۸
۱/۵	۰/۰۱۱^{e} ±۰/۷۱	۰/۰۰۱^{b} ±۰/۰۴۸	۰/۰۰۱^{e} ±۰/۰۹۳	۰/۲^{ab} ±۱/۵۳
۳	۰/۰۰۸^{d} ±۰/۷۹	۰/۰۰۰۳^{c} ±۰/۰۳۴	۰/۰۰۸^{d} ±۰/۱۲	۰/۲^{b} ±۱/۴۸
۶	۰/۰۳۲^{c} ±۱/۰۸	۰/۰۰۰۸^{c} ±۰/۰۳۴	۰/۰۰۱^{c} ±۰/۲۴	۰/۲^{c} ±۱/۱۲
۹	۰/۳۵^{b} ±۱/۱۵	۰/۰۰۰۸^{de} ±۰/۰۲۸	۰/۰۰۱^{b} ± ۰/۳	۰/۶^{d} ±۰/۹۹
۱۲	۰/۰۱۵^{a} ±۱/۴۴	۰/۰۰۰۳^{e} ±۰/۰۲۵	۰/۰۰۱^{a} ± ۰/۴۱	۰/۱^{e} ±۰/۷۹

نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که غلظت‌های مختلف نانواکسید روی بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل a، کلروفیل کل (سطح ۰/۰۱)، کربوهیدرات (سطح ۰/۰۱) و کاروتنوئید (سطح ۰/۰۵) اثر معنی‌دار داشته و بر میزان کلروفیل b اثر معنی‌داری نداشته است (جدول ۴). با افزایش غلظت نانواکسید روی (۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار) محتوای کلروفیل a، کلروفیل کل و همچنین کاروتنوئیدها کاهش یافته است. بیشترین (۲/۲۹ و ۲/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین (۰/۵۴ و ۰/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) میزان کلروفیل a و کلروفیل کل به ترتیب در گیاهان تحت غلظت‌های ۱/۵ و ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی مشاهده شد. مقدار کلروفیل a در غلظت‌های صفر، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی به ترتیب ۳۶، ۱۸، ۶۷ و ۷۰ درصد و مقدار کلروفیل کل به ترتیب ۲۱، ۱/۵، ۴۶ و ۵۳ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت. کمترین میزان کاروتنوئید (۰/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان تحت غلظت ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی و به میزان ۳۷ درصد کاهش نسبت به شاهد مشاهده شد. غلظت‌های صفر، ۳، ۶ و ۹ میکرومولار نانواکسید روی نیز باعث کاهش محتوای کاروتنوئید شد اما این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۵). بیشترین مقدار کربوهیدرات کل در غلظت ۱/۵ میکرومولار نانواکسید روی با ۲/۲ درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد مشاهده

www.SID.ir

Archive of SID

شد. اما به تدریج با افزایش عنصر روی (سمّیت روی) از مقدار کربوهیدرات‌های کل در بخش هوایی کاسته شد. میزان کربوهیدرات‌ها در غلظت‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی به ترتیب ۴، ۶، ۱۱ و ۲۹ درصد کاهش را نسبت به نمونه شاهد نشان داد. در نبود عنصر روی (غلظت صفر) نیز مقدار کربوهیدرات‌ها کاهش ۵ درصدی را نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۵).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف نانواکسید روی (صفر، ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار) بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و کربوهیدرات کل گیاه گندم. ns معنی‌دار نیست * معنی‌دار در سطح ۵ درصد ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

منبع تغییر	رنگیزه‌های فتوسنتزی				کربوهیدرات کل
	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	
نانواکسید روی	۱۹۴/۹۸۸**	۱/۳۳۸^{ns}	۱۳۲/۴۹۳**	۴/۷۸۰*	۱/۲۰۳**

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های تأثیر غلظت‌های مختلف نانواکسید روی بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) گیاهان ۱۴ روزه. مقادیر، میانگین سه تکرار ±SD است. حروف یکسان بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح P≤۰/۰۵ بر اساس آزمون دانکن است. مقایسه برای هر رنگیزه جداگانه انجام شده است.

نانواکسید روی (میکرومولار)	رنگیزه‌های فتوسنتزی (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)			کربوهیدرات کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
	کلروفیل a	کلروفیل کل	کاروتنوئید	
شاهد	۱/۸۴± ^{b}۰/۰۶	۲± ^{b} ۰/۰۶	۰/۳۵± ^{a} ۰/۰۰۵	۲۴۸/۴۹^{b}±۰/۳۹
صفر	۱/۱۷± ^{d} ۰/۰۲	۱/۵۸± ^{d}۰/۰۵	۰/۳۳± ^{a} ۰/۰۲	۲۳۵/۱۵^{d}±۰/۶
۱/۵	۲/۲۹± ^{a} ۰/۰۲	۲/۷۹± ^{a}۰/۰۴	۰/۳۷ ± ^{a} ۰/۰۱	۲۵۴/۰۵^{a}±۱/۲۲
۳	۱/۸۴± ^{b} ۰/۰۳	۲/۳۲± ^{b} ۰/۰۱	۰/۳۴± ^{a} ۰/۰۰۵	۲۳۷/۷۷^{c}±۰/۷۷
۶	۱/۵± ^{c} ۰/۰۶	۱/۹۷± ^{c} ۰/۰۱	۰/۳۲± ^{a} ۰/۰۱	۲۳۳/۵۲^{d}±۰/۶۶
۹	۰/۶± ^{e} ۰/۰۵	۱/۰۷± ^{e} ۰/۰۶	۰/۳۱± ^{a} ۰/۰۰۶	۲۲۰/۹۸^{e}±۰/۷۳
۱۲	۰/۵۴± ^{e} ۰/۰۳	۰/۹۳± ^{e} ۰/۰۲	۰/۲۲± ^{b} ۰/۰۴	۱۷۵/۵۹^{f}±۰/۵۴

بر اساس جدول ۶ بین مقدار عنصر روی و عنصر پتاسیم همبستگی مثبت معنی‌داری (سطح ۰/۰۱) وجود دارد که نشان‌دهنده تغییرات موازی و همسوی مقدار این دو عنصر در برگ‌های گیاه است، اما بین عناصر روی و عنصر آهن همبستگی منفی معنی‌داری (سطح ۰/۰۱) وجود دارد. همچنین، بین مقدار عنصر روی و مقدار کلروفیل a (سطح ۰/۰۵) و کاروتنوئید (سطح ۰/۰۱) همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد که این نشان‌دهنده تغییرات غیرهمسوی عنصر روی با عنصر آهن، کلرفیل a و کاروتنوئید برگ است، بدین معنی که با افزایش مقدار عنصر روی، مقدار آهن، کلروفیل a و کاروتنوئید برگ‌های گیاه کاهش معنی‌داری نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات بررسی شده. * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

	وزن‌خشک بخش‌هوایی	وزن تر بخش‌هوایی	عنصر				کلروفیل a	کلروفیل کل	کاروتنوئید
			فسفر	پتاسیم	روی	آهن			
وزن خشک بخش هوایی	۱								
وزن تر بخش هوایی	۰/۸۲۶*	۱							
عنصر فسفر	۰/۵۶۳	۰/۹۱۸**	۱						
عنصر پتاسیم	-۰/۲۱۴	-۰/۳۷۷	-۰/۴۶۰	۱					
عنصر روی	-۰/۳۴۴	-۰/۵۷۲	-۰/۶۶۶	۰/۹۴۶**	۱				
عنصر آهن	۰/۳۳۰	۰/۶۰۱	۰/۷۰۴	-۰/۹۳۱**	-۰/۹۹۲**	۱			
کلروفیل a	۰/۶۱۸	۰/۷۹۶*	۰/۸۳۴*	-۰/۵۶۲	-۰/۷۸۵*	۰/۷۸۵*	۱		
کلروفیل کل	۰/۶۶۶	۰/۷۵۲	۰/۷۴۵	-۰/۵۲۶	-۰/۷۴۶	۰/۷۳۰	۰/۹۸۴**	۱	
کاروتنوئید	۰/۴۸۱	۰/۶۷۵	۰/۷۲۸	-۰/۷۵۰	-۰/۸۸۸**	۰/۸۵۲*	۰/۸۲۶*	۰/۸۱۹*	۱

بحث

بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر چه اندازه نانوذرات کوچکتر باشد ویژگی‌ها و فعالیت‌های جدید و متفاوت‌تری از خود نشان می‌دهند (Sosa *et al.*, 2003). در پژوهش حاضر مشاهده شد که جذب روی در گیاهانی که تحت تیمار نانوذرات اکسید روی قرار گرفته‌اند در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش معنی‌داری را به دنبال داشته است. در برگ گیاهان تحت غلظت‌های ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی مقدار عنصر روی به ترتیب ۶، ۳۷، ۱۷۵، ۲۴۴ و ۳۷۱ درصد نسبت به شاهد (هوگلند کامل) افزایش را نشان داد. همچنین، در این بررسی شاخص‌های رشد از جمله: درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک بخش هوایی، سطح برگ و طول ریشه در گیاهان تحت غلظت ۱/۵ میکرومولار نانواکسید روی به ترتیب ۲۳، ۲۸، ۴، ۱۰ و ۲ درصد افزایش نسبت به شاهد (هوگلند کامل) داشتند اما با افزایش غلظت نانواکسید روی شاخص‌های فوق نسبت به گیاهان شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافته‌اند. بیشترین کاهش درصد جوانه‌زنی (۶۵ درصد)، وزن تر بخش هوایی (۶۲ درصد)، وزن خشک بخش هوایی (۶۰ درصد)، سطح برگ (۵۵ درصد) و طول ریشه (۶۴ درصد) در گیاهان تحت غلظت ۱۲ میکرومولار نانواکسید روی مشاهده شده است. گزارش شده است که روی در بهبود جوانه زنی دانه و نمو گیاه جو نقش مهمی دارد. این نتایج دلالت می کند که عنصر روی در دانه‌ها نقش مهمی در فیزیولوژی طی جوانه‌زنی دانه و رشد اولیه گیاه جو دارد (Ajouri *et al.*, 2004). اما با افزایش غلظت نانواکسید روی به علت ایجاد شرایط تنشی فرآیند جوانه‌زنی نیز مختل می‌شود (Doncheva *et al.*, 2001). جوانه‌زنی دانه‌های برنج در غلظت‌های مختلف نانواکسید روی رخ داد اما تأثیرات سمّی بیشتر روی ریشه‌ها بود احتمالاً به این دلیل که دانه‌های برنج دارای پوششی هستند که به عنوان محافظی برای جنین است اما این پوشش نمی‌تواند به طور کامل از تمام قسمت‌های دانه محافظت کند (Boonyanitipong *et al.*, 2011). تیمار دانه‌های بادام‌زمینی با نانوذرات اکسید روی جوانه‌زنی، طول ساقه، طول ریشه و شاخص تنومند بودن گیاه را در مقایسه با غلظت‌های مشابه سولفات‌روی افزایش داد. از آن جا که روی در تولید اکسین نقش دارد افزایش رشد

www.SID.ir

Archive of SID

گیاه به دلیل گسترش طول گره های داخلی را به افزایش اکسین نسبت داده‌اند (Prasad *et al*., 2012). در گیاه گندم (Brennan, 2001) مشخص شد که با افزایش عنصر روی وزن گیاه نیز افزایش می‌یابد. بررسی‌های Vielemeyer و همکاران (۱۹۹۶) نشان داد که استفاده از عنصر روی در لوبیا با افزایش کربوهیدرات‌های محلول بر میزان ماده خشک گیاه افزوده شد. این افزایش نتیجه نقش کلیدی عنصر روی در تحریک فعالیت‌های فتوسنتزی و افزایش میزان فرآورده های گیاهی است (Fusconi *et al*., 2007). عنصر روی نقش های ساختاری و عملکردی فراوانی را در بسیاری از فرآیندهای متابولیک گیاهان بر عهده دارد، اما مقدار اضافی آن در خاک‌ها به عنوان فلز سنگین، یک شاخص محدودکننده رشد برای گیاهان محسوب می شود، بنابراین مقدار بالای نانواکسید روی یک تنش به حساب می‌آید (Zare dehabadi *et al*., 2010). بررسی های Kosouri و همکاران (۲۰۰۷) مشابه نتایج حاصل از مطالعه حاضر بود که نشان داد افزایش تنش باعث کاهش شاخص‌های رشد گیاه انگور (وزن ساقه، سطح برگ و میزان زیست توده) شد. در بررسی‌های Ghosh و همکاران (۲۰۰۴) روی گیاه لوبیا سبز و Azizi و همکاران (۲۰۱۱) روی گیاه کلزا افزایش سطح برگ در اثر تیمار روی مشاهده شد که با نتایج حاصل از بررسی حاضر مطابقت داشت. کاربرد عنصر روی باعث افزایش در شاخص سطح برگ می‌شود که با توجه به نقش این عنصر در تأمین مواد غذایی برای گیاه و نیز سنتز کلروفیل در برگ ها قابل توجیه است. کاهش سطح برگ بر اثر مقدار زیاد عنصر روی در بررسی های Ates و Tekeli (۲۰۰۷) بر گیاهان شبدر و Heidari و همکاران (۲۰۰۷) بر گیاه گندم دیده شد. عنصر روی باعث افزایش طول ریشه و جذب بهتر و بیشتر عناصر غذایی می‌شود (Koochaki and Sarmadnia, 2012). کاهش طول ریشه در بررسی‌ها بر روی گیاهان لوبیا گرگی (Appenroth *et al*., 2001) و آفتاب‌گردان (Connell and Al-Hamdani, 2001) مشاهده شده است. در تنش عناصر سنگین از جمله عنصر روی در گندم رشد ریشه کاهش می‌یابد زیرا ریشه نخستین اندام گیاه است که در معرض تنش قرار می‌گیرد و نقش مهمی در خارج کردن عنصر روی از گیاه دارد (Boyrahmadi *et al*., 2012). اگر غلظت عناصر سنگین از جمله عنصر روی در محیط کشت بیش از حد باشد مقدار آن‌ها برای گیاه سمّی است. در اثر سمّیت عنصر روی شاخص‌های رشدی گیاه بسیار کاهش می‌یابد. زیرا سمّیت عنصر روی از تقسیم سلول‌های منطقه مریستمی و رشد سلول منطقه رشد بافت جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر، تمایز زودرس و چوبی شدن دیواره سلول‌های واقع در منطقه رشد طولی سلول می‌تواند از دلایل دیگر کاهش شاخص های رشدی باشد (Fusconi *et al*., 2007). محلول‌پاشی سولفات روی به تنهایی یا همراه با اکسین نسبت به گیاهان محلول پاشی شده با اکسین به تنهایی سبب افزایش معنی‌دار غلظت اکسین ریشه شد. این امر نشان‌دهنده تأثیر محلول‌پاشی ترکیبات عنصر روی بر انتقال هورمون اکسین است. زیرا اکسین ریشه اغلب در اندام‌های هوایی ساخته و به ریشه منتقل می‌شود. سازوکار مشخصی در خصوص تأثیر عنصر روی بر انتقال اکسین در پیکره گیاه هنوز ارایه نشده است. به نظر می‌رسد غلظت اکسین تابعی از غلظت عنصر روی

www.SID.ir

Archive of SID

در گیاه باشد. با توجه به افزایش غلظت اکسین در ریشه، نسبت دو هورمون اکسین و آبسزیک اسید در ریشه بیش از بخش هوایی شد که این افزایش نسبت، به نفع اکسین در ریشه می تواند عامل اصلی افزایش وزن خشک و طول ریشه باشد. البته تحریک رشد ریشه توسط اکسین دارای یک حد بحرانی غلظت است (Zand *et al*., 2014).

در مطالعه حاضر، با افزایش غلظت های نانواکسید روی میزان جذب پتاسیم در گیاه گندم افزایش یافت. در گیاه کنجد نیز به کار بردن روی با دو روش تغذیه برگی و اضافه کردن به خاک، موجب افزایش جذب پتاسیم گردید (Saeedi, 2008). در گیاهان گندم تحت غلظت صفر میکرومولار عنصر روی، مقدار پتاسیم در گیاه کاهش یافت. مشابه این نتیجه در تحقیق انجام شده توسط Cakmak و Marschner (۱۹۹۲) روی گیاه گندم گزارش شده است. در آزمایش‌های انجام شده توسط محققان مشاهده شده است که در گیاهان مبتلا به کمبود روی ساختار غشا تخریب و نفوذپذیری غشای پلاسمایی زیاد شده است (Rion and Alloway, 2004) و در نتیجه نشت سلولی پتاسیم، آمونیم و ترکیبات‌آلی از ریشه افزایش می‌یابد (Nasr-Azadani and Kabirinajad, 2008).

با افزایش غلظت نانواکسید روی از میزان جذب فسفر کاسته شد. گزارش های متعددی وجود دارد که تأیید کننده این امر است که هنگامی که روی و فسفر در حد توازن در گیاه وجود دارند سبب افزایش عملکرد می‌شوند، اما وقتی بین فسفر و روی توازنی وجود نداشته باشد این دو عنصر دارای تأثیرات متقابل می‌شوند. گزارش شده است که در شرایط سمّیت روی کاربرد فسفر دسترسی عنصر روی را به دلیل تشکیل کمپلکس های فسفات فلزی آلی کاهش می دهد و از آسیب‌های بعدی جلوگیری می کند (Rion and Alloway, 2004). در گیاهان تحت تنش غلظت‌های بالای عنصر روی به علت تخریب ساختمان غشا، نشت فسفر به خارج از سلول افزایش می یابد و بنابراین گیاه با کمبود فسفر مواجه می شود. هر چند فسفر به عنوان یک عنصر پر مصرف استفاده می‌شود، اما موارد بسیاری گزارش شده است که کمبود روی نیز سبب محدود شدن پاسخ گیاه به فسفر و حتی کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Raliya and Tarafdar, 2013). نتایج مشابه در گیاهان گندم گزارش شده است (Hacisalihoglu *et al*., 2003).

مقدار آهن گیاه گندم متناسب با افزایش مقدار عنصر روی کاهش یافت. برهم کنش منفی بین عناصر روی و آهن در خاک های مختلف گزارش شده است. مصرف مداوم کود سولفات روی به منظور رفع کمبود این عنصر، موجب کاهش جذب عنصر آهن در گیاه می شود. اثر ضدیت بین عناصر روی و آهن مربوط به اثر رقابتی این دو عنصر در محل جذب است (Tandon, 1992). بر اساس تحقیقات انجام شده مشخص شده است که افزودن عنصر روی موجب کاهش تمرکز عنصر آهن در گیاه می‌شود (Cakmak, 2000). علت کاهش مقدار عنصر آهن در غلظت‌های بالای عنصر روی این است که این دو عنصر احتمالاً در فرآیند جذب و ممانعت از فرآیندهای کلاته شدن طی جذب و انتقال عنصر آهن از ریشه‌ها به اندام‌های هوایی با هم رقابت می کنند. علت برهم‌کنش بین عناصر روی و آهن رقت و همچنین افزایش انتقال عنصر آهن از

www.SID.ir

Archive of SID

ریشه‌ها به اندام هوایی است (Alloway, 2008).

در مطالعه حاضر، با افزایش غلظت نانواکسید روی مقدار عنصر روی در گیاه نیز افزایش یافت یعنی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت و جذب روی و مقدار روی مصرفی مشاهده شده است. بررسی های دیگر نشان داده است که استفاده از نانوذرات اکسید روی در گیاه گندم، غلظت کل روی را در بافت‌های این گیاه در مقایسه با گیاه شاهد افزایش داد (Wenchao *et al*., 2011). همچنین محققان در مطالعه ای مشاهده کردند که کاربرد کودهای آلی جامد همراه با کودهای کم‌مصرف در خاک‌هایی که مقدار عنصر روی آنها کم بوده است باعث افزایش غلظت عنصر روی در گیاه گندم گردید (Weggler-Beaton and Melaugin, 2003). همچنین در مطالعه‌ای نشان داده شد که با افزایش کاربرد عنصر روی، غلظت عنصر روی در ریشه، ساقه و برگ ذرت افزایش می یابد به طوری که مقدار آن در اندام های هوایی بیشتر از ریشه است (Hong and Ji Yum, 2007).

بیشترین مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در غلظت ۱/۵ میکرومولار نانواکسید روی بود. در گیاهان در صورت کمبود عنصر روی، کلروز بین رگبرگی و در پی آن لکه‌های سفید رنگ 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؛ به کارگیری نیتروژن باعث افزایش عنصر روی در گیاهان می‌شود. برای مثال، در گیاه کنجد به کار بردن عنصر روی به دو روش تغذیه برگی و اضافه کردن به خاک موجب افزایش جذب نیتروژن می‌شود (Saeedi, 2008). 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 این که نیتروژن یک بخش ضروری مولکول کلروفیل است بنابراین عنصر روی به طور غیرمستقیم در مقدار کلروفیل گیاه مؤثر است (Mousavi *et al*., 2013). بر اساس نتایج تحقیق حاضر، غلظت‌های بالای نانواکسید روی باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد زیرا عنصر روی یک عنصر سنگین است و مانند سایر عناصر سنگین اگر به مقدار بیش از حد در اختیار گیاه قرار گیرد بر بسیاری از گیاهان تأثیر سمّی دارد (Lin and Aarts, 2012) نانوذرات اکسید روی در غلظت ۱۰۰۰ ppm در بادام‌زمینی بیشترین مقدار کلروفیل ۱/۹۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک را در مقایسه با گیاهان شاهد و میکروذرات $ZnSO_4$ دارا بودند. البته تجمع کلروفیل بالا ممکن است به دلیل مکمل‌های غذایی دیگر مثل Mn، Fe و S باشد (Prasad *et al*., 2012). در بررسی مربوط به غلظت های مختلف عنصر روی در گیاه کدو حلوایی مشاهده شد که با افزایش مقدار عنصر روی یعنی ۹، ۱۲۰،۱۵۰ و ۱۸۰ میلی‌مولار مقدار کلروفیل کاهش یافت (Sorkhi lalelou *et al*., 2013). کاهش محتوای کلروفیل بر اثر تیمار مقدار زیاد فلزات سنگین در گیاهان مختلفی مانند گندم (Nichols *et al*., 2000) و ذرت (Shi-rong and Lei, 2002) گزارش شده است. از سوی دیگر، غلظت‌های بالای عنصر روی در محیط ریشه از جذب عنصر آهن جلوگیری کرده پاسخ کمبود عنصر آهن را القا می کند که به گسیختگی در بیوسنتز کلروفیل منجر خواهد شد (Connell and Al-Hamdani, 2001).

www.SID.ir

Archive of SID

کربوهیدرات ها نقش های عمده‌ای را در گیاهان ایفا می‌کنند و اعمال دوگانه‌ای را در سلول‌های گیاهی بر عهده دارند. آنها از یک طرف به عنوان عامل اسمزی عمل می‌کنند و از طریق پایین آوردن پتانسیل اسمزی باعث حفظ حالت تورژسانس و شادابی سلول‌ها می‌شوند و از سوی دیگر، با تأمین انرژی لازم و اسکلت کربنی مورد نیاز فرآیندهای بیوسنتزی، باعث رشد و نمو سلول‌ها می‌شوند (Sharma and Dubey, 2004). در مطالعه حاضر، بیشترین مقدار کربوهیدرات مربوط به غلظت ۱/۵ میکرومولار نانواکسید روی بود. اغلب آنزیم‌هایی که در متابولیسم کربوهیدرات نقش دارند توسط عنصر روی فعال می‌شوند. آنزیم‌های کربنیک‌آنیدراز، فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفات و آلدولاز در کلروپلاست و سیتوپلاسم توسط عنصر روی فعال می شوند. در نتیجه، میزان فتوسنتز افزایش می یابد که پیامد آن افزایش میزان کربوهیدرات در اندام‌های گیاهی است (Mousavi, 2011). از طرفی، عنصر روی باعث افزایش طول ریشه می شود که نتیجه آن، جذب بیشتر آب و مواد غذایی و محصولات فتوسنتزی است. بنابراین، امکان ذخیره قند ناشی از ماده‌سازی به نشاسته فراهم است. همچنین، روی باعث افزایش سطح برگ و کلروفیل، در نتیجه افزایش فتوسنتز و افزایش تولید کربوهیدرات می شود. به علاوه، وجود عنصر روی در برگ باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده قندهای غیرمحلول و اسید اینورتاز و سوکروز سنتتاز می‌شود (Sanita di Toppi and Gabbrielli, 1999).

در مطالعه حاضر، در غلظت‌های بالای نانواکسید روی (۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار) کاهش مقدار کربوهیدرات مشاهده شد. سمّیت عنصر روی فرآیندهای فتوسنتزی را کاهش می‌دهد که این کاهش از دو جهت کلی، اثر بر فعالیت فیزیولوژیکی-آنزیمی-فتوسنتزی و اثر بر سطح برگ قابل توجه است. تنش عنصر روی به دلایل مختلف موجب کاهش فتوسنتز می شود که از جمله می توان به تخریب فراساختار کلروپلاست، جلوگیری از بیوسنتز کلروفیل، مسدود کردن مسیر انتقال الکترون فتوسنتزی و بازدارندگی فعالیت آنزیم های اساسی فتوسنتز اشاره کرد. همچنین، آلودگی عنصر روی به طور رقابتی با یون کلسیم از ورود این یون به سلول جلوگیری می‌کند و کاهش یون کلسیم نیز در جلوگیری از تقسیمات سلولی مؤثر است. به این ترتیب، با کاهش تقسیمات سلولی، اندام ها از جمله برگ ها از رشد باز می‌مانند. با کاهش سطح پهنک برگ هم سطح فتوسنتزکننده کاهش می‌یابد و هم شدت تعرق کمتر می‌شود، بنابراین ترکیبات لازم برای انجام عمل فتوسنتز به میزان کمتری به برگ‌ها می‌رسد (Sharma and Dubey, 2004). بنابراین، در غلظت‌های پایین عناصر سنگین مثل روی، به مقدار قند های محلول اضافه می‌شود، اما در غلظت‌های بالای این عناصر مقدار این قندها کاهش می‌یابد. علت کاهش کربوهیدرات ها، کاهش فتوسنتز یا تحریک سرعت تنفس است (Ahmad *et al.*, 2006). نتایج مشابه در لوبیا (Vielemeyer *et al.*, 1996) گزارش شده است.

جمع‌بندی

در پژوهش حاضر مشاهده شد که بهترین غلظت نانواکسید روی غلظت ۱/۵ میکرومولار است و بر

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص های رشد تأثیر مثبت دارد. در حالی که این غلظت معادل غلظت روی در محلول هوگلند کامل (گیاهان شاهد) بود که این امر به این دلیل است که جذب روی در مقیاس نانوبیشتر صورت گرفته است. غلظت های بالای نانواکسید روی در گیاه گندم ایجاد سمّیت کرد. این سمّیت می تواند به دلیل ترکیب شیمیایی، اندازه کوچک نانوذرات، مساحت سطح یا ساختار شیمیایی آنها باشد. نانوذرات به دلیل این که اندازه کوچک تری دارند و در نتیجه انحلال آنها بیشتر است، بیشتر جذب گیاه می شوند و در نتیجه در غلظت های بالا بیشتر ایجاد تنش می کنند. این تنش باعث کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود (Ma *et al*., 2010).

سپاسگزاری

نگارندگان از حوزه معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه اراک به خاطر حمایت مالی و اجرایی این تحقیق صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

Ahmad, P., Sharma, S. and Srivastava, P. S. (2006) Differential physio-biochemical responses of high yieldingvarieties of Mulberry (*Morus alba*) under alkalinity (Na_2CO_3) stress *in vitro*. Physioloy and Molecular Biology of Plants 12(1): 59-66.

Ajouri, A., Asgedom, H. and Becker, M. (2004) Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 167: 630-636.

Alloway, B. J. (2008) Zinc in soils and crop nutrition. 2nd edition, IZA (International Zinc Association) and IFA (International Fertilizer industry Association), Brussels, Belgium and Paris, France.

Amirjani, M. R. (2012) Effect of cadmium on wheat growth and some physiological factors. International Journal of Forest, Soil and Erosion 2(1): 50-58.

Appenroth, K. J., Stockel, J., Srivastava, A. and Strasser, R. J. (2001) Multiple effects of chromate on the photosynthetic apparatus of *Spirodela polyrhiza* as probed by OJIP chlorophyll a flurescence measurements. Environmental Pollution 115: 49-64.

Ates, E. and Tekeli, A. S. (2007) Salinity tolerance of Persian clover (*Trifolium resupinatum* Var. Majus Boiss.) lines at germination and seedling stage. World Journal of Agricultural Sciences 3(1): 71-79.

Azizi, Kh., Norozian, A., Heidari, S. and Yaghoobi, M. (2011) Effect of foliar application of zinc and bore elements on the grain yield, yield components, some indicators of growth, protein and oil content of rapeseed seed in climate Khorramabad. Journal of Agricultural Science 4(5): 1-16 (in Persian).

Boonyanitipong, P., Kositsup, B., Kumar, P., Baruah, S. and Dutta, J. (2011) Toxicity of ZnO and TiO_2 Nanoparticles on germinating rice seed (*Oryza sativa* L.). International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics 1(4): 172-76.

Boyrahmadi, M., Raiesi, F. and Mohammadi, J. (2012) Effects of different levels of soil salinization on growth indices and nutrient uptake by Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L. var Chamran). Journal of Plant Production 18(4): 25-44 (in Persian).

Brennan, R. F. (2001) Residual value of zinc fertilizer for production of wheat. Australian Journal of

www.SID.ir

Archive of SID

Experimental Agriculture 41: 541-547.

Brouers, M. and Michel-Wolwertz, M. R. (1983) Estimation of protochlorophyll(ide) contents in plant extracts, re-evaluation of the molar absorption coefficient of protochlorophyll(ide). Photosynthesis Research. 4(1): 265-270

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

Cakmak, I. (2000) Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist 146: 185-205.

Cakmak, I. and Marschner, H. (1992) Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. Plant Physiology 98: 1222-1227.

Celik, A., Kartal, A., Akdogan, A. and Kaska, Y. (2004) Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinia pseudo-acacia*. Journal of Environment International 31: 105-112.

Connell, S. L. and Al-Hamdani, S. H. (2001) Selected physiological responses of kudzu to different chromium concentrations. Canadian Journal of Plant Science 81(1): 33-58.

Creus, C. M., Sueldo, R. J. and Barassi, C. A. (2004) Water relations in *Azospirillum* inoculated wheat seedlings under osmotic stress. Canadian Journal of Botany 76: 238-244.

Doncheva, S., Stoyanova, Z. and Velikova, V. (2001) The influence of succinate on zinc toxicity of pea. Plant Nutrition 24: 789-806.

Dubois, M. and Gilles, K. A. (1956) Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Analytical Chemistry 25(3): 350-354.

Fusconi, A., Gallo, C. and Camusso, W. (2007) Effect of cadmium on root apical meristems of *Pisum sativum* L.: Cell viability, cell proliferation and microtubule pattern as suitable markers for assessment of stress pollution. Mutation Research/ Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis 632: 9-19.

Ghosh, P. K., Ajay, K. K., Bandyopadhyay, M. C., Manna, K. G., Mandal, A. K. and Hati, K. M. (2004) Comprative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi- aridtropics II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyllcontent and enzyme activity. Bioresource Technology 95(3): 85-93.

Hacisalihoglu, G., Hart, J. J., Wang, Y-H, Cakmak, I. and Kochian, L. V. (2003) Zinc efficiency is correlated with enhanced expression and activity of zinc-requiring enzymes in wheat. Plant Physiology 131: 595-602.

Hafeez, B., Khanif, Y. M. and Saleem, M. (2013) Role of zinc in plant nutrition. American Journal of Experimental Agriculture 3(2): 374-391.

Heidari, M., Nadeyan, H., Bakhshandeh, A.M., Alemisaeid, Kh. and Fathi, G. (2007) Effects of salinity and nitrogen rates on osmotic adjustment and accumulation of mineral nutrients in wheat. The Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 11(40): 193-211 (in Persian).

Hong, W. and Ji Yum, J. (2007) Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). Agricultural Sciences in China 6: 988-995.

Koochaki, A. and Sarmadnia, Gh. (2012) Physiology of crop plant. Jahad-e Daneshgahi Mashhad,

www.SID.ir

Archive of SID

Mashhad, Iran (in Persian).

Kosouri, R., Megdiche, W., Debez, A., Falleh, H., Grignon, C. and Abdelly, C. (2007) Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. Plant Physiology and Biochemistry 45: 244-249.

Lichtenthaler, H. K. A. and Wellburn, A. R. (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.

Lin, Y. F. and Aarts, M. G. (2012) The molecular mechanism of zinc and cadmium stress response in plants. Cellular and Molecular Life Sciences 69(19): 3187-3206.

Lu, C. M., Zhang, C. Y., Wu, J. Q. and Tao, M. X. (2002) Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. Soybean Science 21: 168-172.

Ma, X., Geiser-Lee, J., Deng, Y. and Kolmakov, A. (2010) Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation. Science of the Total Environment 408: 3053-3061.

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 Applied Sciences Journal 7(1): 36-40.

Moaveni, P. and Kheiri, T. (2011) TiO_2 nano particles affected on maize (*Zea mays* L.). 2nd International Conference on Agricultural and Animal Science, Singapore.

Mousavi, S. R. (2011) Zinc in crop production and interaction with phosphorous. Australian Journal of Basic and Applied Siences 5(9): 1503-1509.

Mousavi, S. R., Galavi, M. and Rezaei, M. (2013) Zinc (Zn) importance for crop production, A review. International Journal of Agronomy and Plant Production 4(1): 64-68.

Naderi, M. and Abedi, A. (2012) Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutant. Journal of Nanotechnology 11(1): 18-26.

Nasr-Azadani, A. and Kabirinajad, Sh. (2008) Investigate of the deficiency of toxicity of zinc in cucumber plants in hydroponic culture system. 10th Congress of Soil Science, Karaj, Iran (in Persian).

Nichols, P. B., Couch, J. D. and Al-Hamdani, S. H. (2000) Selected physiological responses of *Salvinia minimato* different chromium concentrations. Aquatic Botany 63: 313-319.

Pandey, A., Sanjay, S. S. and Yadav, R. S. (2010) Application of ZnO nanoparticlesin influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. Journal of Experiencemental Nanoscience 5(6): 488-497.

Pandey, N., Singh, A. K., Pathak, G. C. and Sharma, C. P. (2002) Effect of zinc on antioxidant response in maize (*Zea mays* L.) leaves. Indian Journal of Experimental Biology 40: 954-956.

Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T. S., Sajanlal, P. R. and Pradeep, T. (2012) Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of Peanut. Journal of Plant Nutrition 35(6): 905-927.

Raliya, R. and Tarafdar, J. C. (2013) ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). Agriculture Research 2(1): 48-57.

Rion, B. A. and Alloway, J. (2004) Fundamental aspects of zinc in soils and plants. International Zinc

www.SID.ir

Archive of SID

Association 23: 120-128.

Saeedi, G. H. (2008) The effect of some macro and microelements on grain yield and other agronomic characters on (*Sesamum indicum* L.) in Isfahan. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 45: 379-402.

Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R. (1999) Response to cadmium in higher plants, A review. Environmental and Experimental Botany 41: 105-130.

Sharma, P. and Dubey, R. S. (2004) Ascorbat peroxidase from rice seeding: properties of enzyme isoforms, effects of stresses and protective roles of osmolytes. Plant Science 167(3): 541-550.

Shewry, P. R. (2009) Wheat. Journal of Experimental Botany 60(6): 1537-1553.

Tandon, H. L. S. (1992) Management of nutrient intractions agriculture. Fertilizer Development and Consulation Organization, New Delhi.

Shi-rong, T. A. and Lei, X. (2002) Accumulation of chromium by *Commelina communis* L. grown in solution with different concentrations of Cr and L-histidine. Journal of Zhejiang University Science 3(2): 232-236.

Sorkhi lalelou, F., Shafagh-Kolvanagh, J. and Fateh, M. (2013) Effect of various concentrations of zinc on cholorophyll, starch, soluble, sugars and prolin in naked pumpkin (*Cucurbita pepo*). International Journal of Farming and Allied Sciences 2(24): 1198-1202.

Sosa, I. O., Noguez, C. and Barrera, R. G. (2003) Optical properties of metal nanoparticles with arbitrary shapes. Journal of Physical Chemistry 107: 6269-6275.

Vielemeyer, H. P., Fischer, F. D. and Bergman, W. (1996) Untersuchungen uber den Einfluss der mikronahrstoffe eisen und magan auf den Stickstoff-Stoffwechsel Landwirtschafticher Kulturpflaznen.

Wang, B. S. and Zhao, K. F. (1995) Comparison of extractive methods of Na^+, K^+ in wheat leaves. Plant Physiology Communications 31(1): 50-52.

Wang, Y. X. A. and Oyaizu, H. (2009) Evaluation of the phytoremediation potential of four plant species for dibenzofu-ran-contaminated soil. Journal of Hazardous Materials 168: 760-764.

Weggler-Beaton, G. D. and Melaugin, M. (2003) The influence of low rates of arid- dried on yield and phosphorus and zinc nutrition of wheat (*Triticum durum*) and barley (*Hordeum vulgar*). Journal of Soil 41: 293-308.

Wenchao, D., Yuanyuan, S., Rong, J., Jianguo, Z., Jichun, W. and Hongyan, G. (2011) TiO_2 and ZnO nanoparticles negatively affect wheat growth and soil enzyme activities in agricultural soil. Journal of Environmental Monitoring 13(4): 822-828.

Zand, B., Sorooshzadeh, A., Ghanati, F. and Moradi, F. (2014) Effect of zinc (Zn) and auxin (IBA) foliar application on phytohormonal variation and growth of corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Plant Biology 22: 63-76 (in Persian).

Zare Dehabadi, S., Asrar, Z. and Mehrabani, M. (2010) Biochemical changes in terpenoid compounds of *Mentha spicata* essential oils in response to excess zinc supply. Iranian Journal of Plant Biology 2(3): 25-34 (in Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of ZnO nanoparticles on vegetative factors, elements content and photosynthetic pigments of wheat (*Triticum aestivum*)

Mohammad Reza Amirjani *, Mehri Askary Mehrabadi and Fahimeh Azizmohamadi
Department of Biology, Faculty of Sciences, Arak University, Arak 38156-8-8349, Iran

Abstract

Zinc is an essential nutrient for plants and has an important role in plant growth and development although small amounts of it are needed. On the other hand, nano fertilizers such as ZnO nanoparticles cause an increase in agricultural products dramatically. The object of this study was to evaluate the effect of different concentrations of ZnO nanoparticles on some properties of the wheat plant. The experiment was performed in a completely randomized design (CRD) with three replications with different concentrations of ZnO nanoparticles (0, 5.1, 3, 6, 9 and 12 µM in the pot cultivation stage). At the end of a 14-day period, vegetative features, elements content, total carbohydrate and photosynthetic pigments were measured. According to the results, growth parameters such as fresh and dry weights, leaf area, root depth, germination percentage, total carbohydrate, iron and phosphorus contents, as well as photosynthetic pigments in the high concentrations of ZnO nanoparticles (6, 9 and 12 µM) showed a decreasing trend. Zinc and potassium contents increased with the enhancement of external concentrations of ZnO nanoparticles. This study showed that the highest growth efficiency and productivity of wheat was observed in 1.5 µM of Zno nanoparticles.

Key words: Photosynthetic pigment, Growth parameters, Wheat, Zinc nanoxide

* Corresponding Author: m-amirjani@araku.ac.ir

www.SID.ir