مقاله پژوهشی

نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال شانزدهم، شماره ۶۱، بهار ۱۴۰۰ / صفحات: ۴۴-۲۷
Doi: 10.30495/iper.2021.679522 Dor: 20.1001.1.76712423.1400.16.61.3.1

بررسی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد گیاه گندم (*Triticm aestivum* L.) با استفاده از منابع تامین نیتروژن و روی و برهمکنش این عناصر

حسن مدرس‌زاده[۱]، محمدعلی رضایی[۱*]، حسین عجم نوروزی[۲]، مهرعلی محمود جانلو[۱]

[۱]گروه زیست شناسی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

[۲]گروه زراعت و اصلاحات نباتات، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۱۰

چکیده

بررسی کاربرد مغذی‌ها و توازن مطلوب میان عناصر و غلظت ترکیبات قابل جذب مورد توجه پژوهشگران علوم زیستی و کشاورزی قرار دارد. در این پژوهش اثر منابع تامین نیتروژن در چهار سطح شامل: ۱۰۰ درصد اوره، نانوکود کلات ازت، کود بیولوژیک پاناروميکس و ۵۰ درصد اوره + ۵۰ درصد کود بیولوژیک پاناروميکس و منابع تامین روی در ۳ سطح: عدم مصرف روی، سولفات روی و نانوکود کلات روی و اثرات متقابل منابع تامین این دو عنصر بر فیزیولوژی و عملکرد گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) بررسی شد. این تحقیق با روش اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار و ۱۲ تیمار در مزرعه شخصی واقع در شمال شهر جلین واقع در ۳ کیلومتری شرق گرگان، در سال زراعی ۹۷-۹۶ انجام شد. نتایج نشان داد صفات مورد بررسی تحت تاثیر منابع تامین نیتروژن و اثر متقابل منابع تامین این دو عنصر قرار گرفت، اما از نظر منابع تامین روی اختلاف معنی‌داری نداشتند. در تیمارهای منابع تامین نیتروژن، بیشترین میزان سطح و تعداد برگ، ارتفاع گیاه، کلروفیل b و مجموع کلروفیل (a+b)، نیترات ردوکتاز و عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه مربوط به تیمارهای ۱۰۰ درصد اوره و ۵۰ درصد اوره +۵۰ درصد کود بیولوژیک بود. در تیمارهای اثر متقابل، بیشترین میزان پرولین در تیمار ۱۰۰ درصد کود بیولوژیک + نانوکلات روی مشاهده شد و در تیمارهایی که با افزایش میزان پرولین همراه بود، افزایشی در میزان قندهای محلول و گلایسین بتائین صورت نگرفت. بالاترین میزان فعالیت نیترات ردوکتاز و مقدار کلروفیل a و کلروفیل (a+b) و نیز بالاترین میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در تیمار ۱۰۰ درصد اوره + سولفات روی مشاهده گردید. نتایج نشان داد عملکرد بالای گندم در این تیمار تابعی از رفتار فیزیولوژیکی گیاه بوده و نشان دهنده برهم‌کنش مثبت بین عنصر نیتروژن و روی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: منابع نیتروژن، منابع روی، شاخص‌های فیزیولوژیکی، صفات مورفولوژیکی، عملکرد، گندم

مقدمه

گندم از عمده‌ترین محصولات کشاورزی و تأمین کننده بیشترین نیاز غذایی انسان‌ها در کشورهای در حال توسعه است (Chegeni, 2014) و از غلات مهم به عنوان منبع غذای اصلی و مهمترین محصول در امنیت غذایی است (Gibbson, 2006) و حدود ۲۱ درصد از غذای مردم جهان و ۲۰۰ میلیون هکتار از کشتزارها را تشکیل می‌دهد (Amirjani, 2012). بنابراین افزایش عملکرد دانه و بهبود کیفیت آن اهمیت زیادی در مساله افزایش جمعیت انسانی دارد (Curtis and Halford, 2014). گیاهان به مقادیر ویژه‌ای از مغذی‌های مشخص در فرم ویژه و در زمان مناسب نیاز دارند. به‌خوبی مشخص شده است که

*مسئول مکاتبه: mohalirez@yahoo.com

کمبود میکرومغذی‌ها از جمله روی یکی از فاکتورهای محدود کننده عملکرد بوده و می‌تواند بازدهی و کیفیت گیاه را مختل کند (Yassen et al., 2010). نیتروژن نقش مهمی در رشد محصولات زراعی و بازدهی دانه بازی کرده (Asif et al., 2013) و مهمترین ماده غذایی معدنی مورد نیاز جهت رشد گیاهان است (Khayat et al., 2014). در میان مغذی‌های مهم گیاه، نیتروژن به‌عنوان عنصر مهم به منظور سنتز اجزای ضروری سلولی جهت فرایندهای گرده افشانی و لقاح شناخته شده است و جزء اصلی ترکیبات حیاتی مانند پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها و ATP و سایر متابولیت‌های گیاهی بوده (Varisi et al., 2008) و در ساختار مولکول‌هایی مانند نیکوتین، آمید آدنین نوکلئوتید و ساختمان کلروفیل نقش دارند (Bockman, 2001). در میان سایر پارامترهای ضروری جهت رشد و بازدهی مناسب محصولات زراعی، تامین مناسب میکرومغذی‌ها نیز مهم و ضروری است (Singh, 2009). روی از ریزمغذی‌های مهم در تغذیه گیاه بوده و کمبود آن مانع رشد و توسعه گیاهان می‌شود (Gurmani et al., 2012). روی یکی از عناصر ضروری در سیستم‌های آنزیمی گیاه بوده و به عنوان گروه پروستتیک تعداد زیادی از پروتئین‌هاست (Prasad et al., 2016) و تنها فلزی است که در ساختمان شش گروه آنزیمی شامل اکسیدازها، ترانسفرازها، هیدرولازها، لیازها، ایزومرازها و لیگازها شرکت داشته (Auld, 2001; Seddigh et al., 2013) و جزء اصلی تعدادی از آنزیم‌ها مانند دهیدروژنازها، پروتئینازها و پپتیدازهاست (Ebrahimian and Bybordi, 2011). روی در متابولیسم کربوهیدرات از طریق تاثیر بر فتوسنتز و تغییر و تبدیل قندها دخالت دارد. کاهش فتوسنتز تحت کمبود روی می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت کربنیک آنهیدراز، فعالیت فیتوشیمیایی کلروپلاست‌ها و محتوای کلروفیلی (Sadeghzadeh, 2013) و نیز تغییرات در رنگیزه‌های کلروپلاست باشد (Kosesakal and Unal, 2009) و در حفظ تمامیت غشای پلاسمایی، سنتز کربوهیدرات، پروتئین و چربی، شرکت در عملکرد گرده، تقسیم سلولی و لقاح جنسی (Askari et al., 2015) نقش مهمی دارد.

محلول‌های سازشی عمده در گیاهان شامل گلایسین بتائین، پرولین، کربوهیدرات‌های کوچک شامل قندها، پلی‌ال‌ها (مانند گلیسرول، اینوزیتول‌ها و سوربیتیول‌ها)، آمینواسیدها (مانند گلایسین بتائین، پرولین) بوده که به صورت گسترده‌ای وجود دارند (Yancey, 2005) و باعث حفظ پروتئین‌ها و غشاءها در برابر اثرات دناتوراسیون استرس‌ها می‌شوند و در گیاهان انباشته شده تا از غیرفعال شدن آنزیم‌ها یا از دست رفتن سیالیت غشاها در اثر کمبود آب جلوگیری شود. غلظت‌های طبیعی آنها در سیتوپلاسم از نظر اسمزی مهم بوده، زیرا نقش اساسی در حفظ فشار تورگر سلول و جذب آب در شرایط استرس دارند (Rizhsky et al., 2004; Rahman et al., 2002). استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی موجب اختلال در فعالیت‌های بیولوژیک و فیزیک خاک و تجمع نمک حاصل از کوددهی بیش از حد شده است (Omidi et al., 2009). امروزه با مشکلاتی که مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی بوجود آورده است استفاده از کودهای بیولوژیک در کشاورزی مطرح شده است. کودهای زیستی می‌توانند ضمن جایگزینی تمام و یا بخشی از کودهای شیمیایی تأثیر مثبتی در رشد گیاه و افزایش عملکرد محصول داشته باشند (Mirzashahi et al., 2013). این کودها قابلیت تکثیر خود به خودی داشته و باعث اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند (Moallem and Eshghi Zadeh, 2007). مشاهده شده است با مصرف

همزمان کودهای زیستی و اوره، رشد رویشی و میزان کلروفیل برگ‌ها به‌طور معنی‌داری نسبت به بقیه تیمارها افزایش می‌یابد (Zeid, 2008). استفاده از فناوری نانونیز در کلیه عرصه‌ها از جمله کشاورزی در حال گسترش است. با به کارگیری نانوکودها زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ شده، لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه عملکرد محصول افزایش می‌یابد (Tavan et al., 2015).

Cakmak و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که وضعیت نیتروژن گیاه و میزان نیتروژن خاک تأثیر مثبت عمده‌ای در جذب روی و تخصیص آن در دانه‌ها دارد. نتایج مطالعات Asif و همکاران (۲۰۱۳) مشخص کرد برهمکنش نیتروژن و روی بیشترین میزان طول گیاه را نشان داد. مطالعات Saeedi (۲۰۰۸) روی گیاه کنجد نشان داد که استفاده از عنصر روی به دو روش تغذیه برگی و خاک مصرف باعث افزایش جذب نیتروژن شده و از آنجائی که نیتروژن بخش ضروری مولکول کلروفیل است، بنابراین این عنصر بطور غیرمستقیم در مقدار کلروفیل گیاه موثر است (Mousavi et al., 2013). نیترات ردوکتاز برای جذب و استفاده نیتروژن بسیار مهم است و عملکرد و کیفیت محصولات را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مطالعات نشان داده است که فعالیت نیترات ردوکتاز و گلوتاتیون سنتتاز بین ارقام و غلظت در دسترس روی خاک که فعالیت‌های این دو آنزیم را تحت تاثیر قرار می‌دهد متفاوت است (Liu et al., 2015).

نتایج مطالعات مختلف حاکی از اثرات مختلف منابع تامین نیتروژن و روی بر گیاهان بوده، به‌نحوی‌که نتایج مطالعه Amirjani و همکاران (۲۰۱۶) بر روی گیاه گندم نشان داد افزایش غلظت نانواکسید روی باعث کاهش مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل a، کلروفیل کل و میزان کربوهیدرات‌ها اما اثر معنی‌داری برروی کلروفیل b از خود نشان نداد. مطالعات Salmani Biary و همکاران (۲۰۱۱) بر روی ارقام مختلف گندم نشان داد که کودهای بیولوژیک سبب افزایش غلظت کلروفیل a و b می‌شود. نتایج بعضی از مطالعات آثار متقابل نیتروژن و روی را پیچیده و تا حدودی مبهم گزارش نموده و تاثیر نیتروژن بر کاهش جذب روی را به دلیل اثر رقت و یا تجمع روی به صورت کمپلکس‌های پروتئینی در ریشه و اثر نیتروژن بر افزایش جذب روی توسط گیاهان را مربوط به کاهش pH خاک دانسته‌اند (Shafea et al., 2011). اثرات سینرژیستی برهم‌کنش N*Zn در گندم نیز گزارش شده است (Kutman et al., 2011). هدف از این پژوهش بررسی اثر منابع تامین دو عنصر روی و نیتروژن و اثرات متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های موفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه گندم و رابطه آن با میزان عملکرد گیاه است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه شخصی در شمال شهر جلین با محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ٥٤ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و با ۱۰۵ متر ارتفاع از سطح دریا واقع در ۳ کیلومتری شرق شهرستان گرگان در سال زراعی ۹۷-۹۶ بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و ۳ تکرار انجام شد. در این تحقیق منبع تامین نیتروژن به عنوان فاکتور اول در ٤ سطح شامل: N1 = کود شیمیائی اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)؛ N2 = کود بیولوژیک پانارومیکس (۰/٦ لیتر بر روی ۱٦۰ کیلوگرم بذر)؛ N3 = کود شیمیائی اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) + کود بیولوژیک پانارومیکس (۰/۳ لیتر بر روی ۱٦۰ کیلوگرم بذر) و N4 = نانوکلات ازت (۲ در هزار لیتر آب در هکتار) و منبع تامین روی به عنوان فاکتور دوم در ۳ سطح شامل: Z1 = شاهد (عدم

مصرف روی)؛ Z2 = کود شیمیائی سولفات روی (۷۵ کیلو گرم در هکتار) و Z3 = نانوکلات روی (۲ Kg در هزار لیتر آب در هکتار) در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری خاک قبل از کاشت انجام شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مطابق با جدول ۱ توسط شرکت خاک آزمای گرگان مشخص گردید. جهت تامین فسفر و پتاس موردنیاز خاک، کود پایه سوپرفسفات تریپل (۲۲۵kg/ha) و سولفات پتاسیم (۲۰۰ kg/ha) قبل از کاشت استفاده شدند. مراحل تهیه زمین شامل شخم و دیسک انجام شد و گندم مورد مطالعه از نوع N8720 بر اساس تیمارهای مورد مطالعه (جدول ۲) در کرت‌هایی به ابعاد ۱×۵ متر مربع کشت گردید. هر کرت شامل ۵ خط کاشت به طول ۵ متر و فاصله بین خطوط کشت ۲۰ cm و فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۳۰ cm و فاصله تکرارها از هم یک متر در نظر گرفته شد.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مورد بررسی و دستورالعمل کودی پیشنهادی

ویژگی‌های نمونه خاک	عمق	هدایت‌الکتریکی ($EC*10^3$)	pH خاک	درصد موادخنثی شونده	کربن آلی (٪O.C)	ازت کل (٪)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	درصد رس	درصد لای	درصد ماسه	بافت خاک
مقدار	۳۰-۰	۰,۹	۷,۸	۲۶,۵	۱,۲۲	۰,۱۲	٤,۱	۱۰۰	۳٤	٤۸	۱۸	Si-C-L

نوع کود پیشنهادی	مقدار مصرف
فسفر (سوپر فسفات تریپل)	۲۲۵ (kg/ha)
پتاس (سولفات پتاسیم)	۲۰۰ (kg/ha)

جدول ۲: ترکیب تیمارهای اعمال شده و جزئیات آن‌ها

مشخصات تیمارها	تیمارهای ترکیبی	فاکتور اول	فاکتور دوم
۱۰۰ درصد کود اوره + عدم استفاده از روی	Z1N1	N1	Z1
نانو کلات ازت ۲۵ درصد + عدم استفاده از روی	Z1N2	N2	
۱۰۰ درصد کود بیولوژیک پاناروميکس+ عدم استفاده از روی	Z1N3	N3	
۵۰ درصد کود اوره و ۵۰ درصد کود بیولوژیک پاناروميکس + عدم استفاده از روی	Z1N4	N4	
۱۰۰ درصد کود اوره + سولفات روی	Z2N1	N1	Z2
نانو کلات ازت ۲۵ درصد + سولفات روی	Z2N2	N2	
۱۰۰ درصد کود بیولوژیک پاناروميکس + سولفات روی	Z2N3	N3	
۵۰ درصد کود اوره و ۵۰ درصد کود بیولوژیک پاناروميکس + سولفات روی	Z2N4	N4	
۱۰۰ درصد کود اوره + نانوکلات روی	Z3N1	N1	Z3
نانو کلات ازت ۲۵ درصد + نانوکلات روی	Z3N2	N2	
۱۰۰ درصد کود بیولوژیک پاناروميکس + نانوکلات روی	Z3N3	N3	
۵۰ درصد کود اوره و ۵۰ درصد کود بیولوژیک پاناروميکس + نانوکلات روی	Z3N4	N4	

اعمال تیمارها: کود بیولوژیک پاناروميکس قبل از کاشت به صورت بذرمال به اندازه موردنظر در سایه کاملاً با دانه‌ها آغشته شده و بلافاصله کشت انجام شد. تیمارهای کود شیمیایی اوره طی دو مرحله (٤۰ درصد قبل از کاشت به صورت خاک مصرف و ٦۰ درصد به صورت سرک در مرحله پنجه‌زنی) و کود شیمیایی سولفات روی نیز قبل از کاشت به صورت خاک مصرف مورد استفاده قرار گرفت. کودهای نانوکلات روی و نانوکلات ازت تهیه شده از شرکت فن‌آور سپهر پارمیس نیز در دو مرحله یکی

اواخر پنجه‌زنی و دیگری اوایل خوشه‌دهی توسط سمپاش‌های تلمبه‌ای محلول‌پاشی شد. در طول دوره رشد جهت از بین بردن علف‌های هرز به روش دستی عمل شد و دفع آفات و امراض نیز توسط روش‌های شیمیائی انجام گردید. سنجش پارامترهای موروفولوژیکی شامل طول اندام هوائی، تعداد و سطح برگ در ۲ مرحله یکی ۱۵ روز بعد از اعمال سایر تیمارها (اوایل خوشه‌دهی) و دیگری در مرحله دوم (اواخر خوشه‌دهی) و سنجش شاخص‌های فیزیولوژیکی شامل رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b و a+b) و فعالیت نیترات ردوکتاز و سنجش محلول‌های سازشی شامل پرولین، گلایسین بتائین و قندهای محلول در مرحله دوم و همچنین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بعد از مرحله برداشت گندم صورت پذیرفت. برای سنجش پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی از هر کرت ۳ نمونه گیاه انتخاب و محاسبه گردید.

سنجش عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی: برای محاسبه عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی، بوته‌های گندم در زمان برداشت در هر کرت از خط وسط (سطحی معادل ۱ مترمربع)، از سطح خاک و محل طوقه کف بر شده و بوته‌ها بسته‌بندی و سپس به‌طور جداگانه توزین شده و میانگین وزن خشک بوته‌ها (عملکرد بیولوژیکی) بر حسب گرم در متر مربع اندازه‌گیری و بر اساس تن در هکتار محاسبه گردید و برای اندازه‌گیری عملکرد دانه (عملکرد اقتصادی)، پس از کوبیدن سنبله‌های هر کرت به طور جداگانه، دانه‌های برداشت شده با ترازوی دقیق توزین و عملکرد دانه بر حسب گرم در مترمربع اندازه‌گیری و به تن در هکتار تعمیم داده شد.

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی: ۰/۵ گرم از بافت برگ با استن ۸۰ درصد به تدریج ساییده شده تا کلروفیل وارد محلول استنی شده و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰ درصد توسط بالن ژوژه به ۲۰ میلی‌لیتر رسید. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ٤۰۰۰ دور سانتریفیوژ و سپس جذب نوری آن در طول موج‌های ٦٤٦ و ٦٦٣ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. سپس میزان کلروفیل a ,b و a+b طبق رابطه‌های زیر به دست آمد (Arnon, 1956).

$$\text{Chl a (mg/gFW)} = (12.25A(663)-2.55A(646))\times V/W\times 1000$$

$$\text{Chl b (mg/gFW)} = (22.31A(646)-4.91A(663))\times V/W\times 1000$$

$$\text{Chl a+b (mg/gFW)} = (17.76A(646)+7.34(663))\times V/W\times 1000$$

سنجش غلظت پرولین: جهت استخراج و سنجش اسیدآمینه پرولین آزاد موجود در عصاره برگ، از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده گردید و میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. غلظت پرولین نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد پرولین و بر اساس وزن تر محاسبه گردید.

سنجش قندهای محلول: در ابتدا برگ تیمارهای مختلف را به مدت ٤۸ ساعت در داخل آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و پس از توزین نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال به هر یک از نمونه‌ها ۱۰ میلی‌لیتر الکل ۷۰٪ افزوده و در ظروف پلی اتیلنی به مدت یک هفته در درون یخچال قرار داده شدند. سپس ۱ میلی‌لیتر از بخش بالائی محلول برداشته و ۱ میلی‌لیتر آب مقطر، ۱ میلی‌لیتر فنل ۵٪ و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد و میزان جذب نوری محلول در طول موج ٤۸۵ نانومتر با استفاده از شاهد توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. میزان قندهای محلول با استفاده از محلول استاندارد گلوکز و بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک نمونه‌ها محاسبه گردید (Kochert, 1978).

اندازه‌گیری بتائین گلایسین: ۰/۵ گرم از پودر خشک شده برگ گیاه در ۲۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر حل شده و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد شیکر شدند.

نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شد و تا زمان آنالیز بعدی در فریزر قرار داده شد. در مرحله بعد نمونه‌ها از فریزر خارج شده و پس از ذوب شدن یخ آن، به نسبت ۱:۱ با اسید سولفوریکN ۲ رقیق گردید. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از آن جدا شده در داخل لوله آزمایش و در آب یخ به مدت یک ساعت نگهداری شدند. سپس به آنها ۰/۲ میلی‌لیتر از معرف یدید- یدین پتاسیم سرد اضافه شده به آهستگی توسط ورتکس مخلوط شدند. محلول‌ها به مدت ۱۶ ساعت در دمای یخچال (صفر تا ٤ درجه سانتیگراد) قرار داده شدند. بعد از سانتریفیوژ نمونه‌ها در دمای صفر درجه سانتی‌گراد مقدار ۱ میلی‌لیتر از فاز بالایی با میکروپیپت جدا شده و با ۹ میلی‌لیتر ۱ و ۲ دی کلرو اتان (به‌عنوان معرف) حل شد. سپس شدیداً ورتکس شده و بعد از ۲/۵ ساعت جذب آن در طول موج ۳٦۵ نانومتر با دستگاه اسپکترومتر قرائیت گردید. برای تهیه منحنی استاندارد، محلول‌های استاندارد گلیسین بتائین با غلظت‌های مختلف تهیه و سپس با استفاده از اعداد جذب خوانده شده مقادیر قندها بر حسب میکروگرم در گرم وزن خشک نمونه‌ها ارزیابی گردید (Sairam et al., 2002).

سنجش فعالیت نیترات ردوکتاز: بعد از توزین وزن تر برگ گیاه و قرار دادن آن در لوله آزمایش محتوی ۵ میلی‌لیتر محلول انکوباسیون، لوله‌ها را در آون در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت قرار داده و بعد از صاف کردن محلول لوله آزمایش، ۲ میلی‌لیتر از محلول فوقانی برداشته شد و به آن ۱ میلی‌لیتر گریس I و گریس II افزوده شد و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید. بعد از ترسیم منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف نیتریت سدیم، معادله خط تعیین و فعالیت آنزیم به ازای هر گرم وزن تر نمونه محاسبه شد (Sym, 1984).

محاسبات آماری

در این پژوهش، تجزیه و تحلیل آماری بر اساس نرم‌افزار SPSS ورژن ۳۲ صورت گرفت و آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از برنامه ANOVA انجام شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها از روش دانکن در سطح ۰,۰۵ و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

سطح و تعداد برگ: نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که هر دو صفت سطح و تعداد برگ، تحت تاثیر سطوح مختلف منابع تامین نیتروژن و اثر متقابل (برهمکنش) منابع تامین نیتروژن × روی قرار گرفت ($P\leq0.05$)، ولی از نظر منابع تامین روی اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نگردید. بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در بین منابع تامین نیتروژن نشان داد در هر دو مرحله اول و مرحله دوم سنجش، بیشترین میزان سطح برگ به ترتیب مربوط به N1 (۱۰۰ درصد اوره) و N4 (۵۰ درصد اوره + ۵۰ درصد کود بیولوژیک) بوده است. به‌عبارتی در تیمارهایی که اوره به‌عنوان منبع تامین نیتروژن بکار رفته است. بیشترین میزان سطح برگ مشاهده گردید. در تیمارهای اثر متقابل منابع تامین نیتروژن × روی، در مرحله اول در تمامی تیمارهای ترکیبی که در آن کود اوره (۱۰۰ درصد اوره و ۵۰ درصد اوره + ۵۰ درصد کود بیولوژیک) به‌عنوان منبع تامین نیتروژن به کار رفته است. بیشترین میزان سطح برگ مشاهده شد، اما تاثیر تیمارهای نانوکلات ازت و کود بیولوژیک پانارومیکس بر سطح برگ معنی‌دار نبود. تیمار Z1N1 بیشترین میزان سطح برگ را در هر دو مرحله و بیشترین میزان تعداد برگ را در مرحله دوم از خود نشان داد (جدول ۵).

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به پارامترهای رشد و رنگیزه‌های فتوسنتزی

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد برگ		سطح برگ		طول اندام هوایی		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b
		مرحله اول	مرحله دوم	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله اول	مرحله دوم			
تکرار	۲	۰,۰^{ns}	۰,۰۲۸^{ns}	۱۲۵,۶۱۶^{ns}	۸,۱۰^{ns}	۰,۵۹۸^{ns}	۱۶,۰۲۱^{ns}	۰,۰۰۱^{ns}	۰,۱۲۴^{ns}	۰,۰۹۸^{ns}
منابع تامین روی (Zn)	۲	۰,۰^{ns}	۰,۰۲۸^{ns}	۶۱,۵۰۲^{ns}	۴,۰۲۸^{ns}	۴۲,۹۸۱*	۷,۵۲۱^{ns}	۰,۰۰۲^{ns}	۰,۰۳۶^{ns}	۰,۰۲۹^{ns}
منابع تامین نیتروژن (N)	۳	۰,۰^{ns}	۱,۲۵۹**	۲۳۳۵,۰۷۷**	۵۶۲۹,۰۴۳**	۶۰,۲۷۷**	۳۱۸,۷۴۱**	۰,۰۰۱^{ns}	۰,۱۷۹*	۰,۱۴۸*
(N*Z)	۶	۰,۰^{ns}	۰,۰۶۵**	۹۲,۷۳۵**	۴۶۸,۶۳۴**	۲۸,۵۲۸**	۴۵,۷۸۹**	۰,۰۰۲*	۰,۰۷۳*	۰,۰۶۳*
خطا	۲۴	۰,۰۰	۰,۰۸۳	۹۱,۵۵۸	۱۲,۸۴۶	۰,۹۱۲	۱۳,۶۴۶	۰,۰۰۱	۰,۰۴۳	۰,۰۴۲

**،*: معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد، *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns : غیرمعنی‌دار

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین برگ	قندهای محلول برگ	نیترات ردوکتاز برگ	گلایسین بتائین برگ	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
تکرار	۲	۵۵,۹۶۹^{ns}	۳,۹۴۳^{ns}	۰,۳۶۴^{ns}	۲۵۵,۲۵۵^{ns}	۰,۰۳۵^{ns}	۰,۳۷۸^{ns}
منابع تامین روی (Zn)	۲	۱۱۰,۰۱۶^{ns}	۳۲,۱۰۷^{ns}	۰,۴۸۶^{ns}	۲۰۶۷۵۶,۰۹۳^{ns}	۰,۲۱۶^{ns}	۰,۴۴۷^{ns}
منابع تامین نیتروژن (N)	۳	۱۷۰۶,۰۷۶**	۷۴,۹۹۶*	۴,۵۱۱**	۸۲۲۴۲,۸۹۷^{ns}	۳,۲۶۵**	۲۸,۶۱۲**
(N*Z)	۶	۵۸۴,۷۴۹**	۹۲,۲۰۰**	۰,۶۲۶**	۵۲۶۲۹۴,۵۱۴**	۰,۲۲۲**	۱,۴۳۱**
خطا	۲۴	۶۰,۴۴۰	۲,۶۳۵	۰,۹۴۴	۱۳۱,۶۰	۰,۰۲۳	۰,۴۹۶

**،*: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns : غیرمعنی‌دار

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر منبع تامین نیتروژن (N) و منبع تامین روی (Zn) و اثر متقابل این دو عنصر بر پارامترهای رشد و رنگیزه‌های فتوسنتزی

صفات مورد مطالعه / تیمار		تعداد برگ		سطح برگ (cm^2)		طول اندام هوایی (cm)		کلروفیل a (mg/gFW)	کلروفیل b (mg/gFW)	کلروفیل a+b (mg/gFW)
		مرحله اول	مرحله دوم	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله اول	مرحله دوم			
شاهد (عدم مصرف روی)	(Z1)	٤ ^{a}	٤,٢٥ ^{a}	٩٦,٤٤ ^{a}	١٢٠,٨٥ ^{a}	٦١,٦٨ ^{b}	١٠٠,٠٠ ^{a}	٠,٤٩ ^{a}	٠,٨٣ ^{a}	١,٢٢ ^{a}
کود شیمیایی سولفات روی	(Z2)	٤ ^{a}	٤,٢٥ ^{a}	٩٣,٥٧ ^{a}	١٢١,٨٩ ^{a}	٦٢,٢٣ ^{b}	١٠١,٥٤ ^{a}	٠,٤٨ ^{a}	٠,٨٦ ^{a}	١,٢٣ ^{a}
تلفیق کلات روی	(Z3)	٤ ^{a}	٤,١٦ ^{a}	٩١,٩٧ ^{a}	١٢٠,٩٢ ^{a}	٦٥,٢٠ ^{a}	١٠٠,٤٥ ^{a}	٠,٥١ ^{a}	٠,٧٥ ^{a}	١,١٤ ^{a}
کود شیمیایی اوره (۱۰۰ /)	(N1)	٤ ^{a}	٤,٧٧ ^{a}	١٠٨,٩٢ ^{a}	١٤٨,٨٢ ^{a}	٦٤,٠١ ^{ab}	١٠٦,٨٨ ^{a}	٠,٤٨ ^{a}	٠,٩٩ ^{a}	١,٣٦ ^{a}
تلفیق کلات ازت	(N2)	٤ ^{a}	٤ ^{b}	٧٩,٤٥ ^{b}	١٠٦,١٨ ^{c}	٦٢,٠٨ ^{bc}	٩٤,١١ ^{b}	٠,٥٠ ^{a}	٠,٧٠ ^{b}	١,٠٨ ^{b}
کود بیولوژیک پانارومیکس (۱۰۰ /)	(N3)	٤ ^{a}	٤ ^{b}	٨٠,٦٩ ^{b}	٩٤,٨٧ ^{d}	٦٠,٠١ ^{c}	٩٧,٣٣ ^{b}	٠,٤٩ ^{a}	٠,٧٠ ^{b}	١,١١ ^{b}
کود شیمیایی اوره (۵۰ /) + کود بیولوژیک پانارومیکس (۵۰ /) (N4)		٤ ^{a}	٤,١١ ^{b}	١٠٦,٩٢ ^{a}	١٣٥,٠٧ ^{b}	٦٦,٠٥ ^{a}	١٠٤,٣٣ ^{a}	٠,٥٠ ^{a}	٠,٨٨ ^{ab}	١,٣٣ ^{ab}
Z1N1		٤ ^{a}	٥ ^{a}	١١٥,٢٩ ^{a}	١٥٩,٥١ ^{a}	٦١,٧٠ ^{d}	٩٥,٢٠ ^{bc}	٠,٥٠ ^{ab}	١,٠٤ ^{ab}	١,٤٣ ^{ab}
Z1N2		٤ ^{a}	٤ ^{c}	٧٧,٩٧ ^{c}	١١١,٠٦ ^{de}	٦٠,٧٥ ^{de}	٩٣,٥٠ ^{ef}	٠,٤٧ ^{ab}	٠,٥٥ ^{c}	٠,٩٥ ^{c}
Z1N3		٤ ^{a}	٤ ^{c}	٨٥,١٩ ^{c}	٩٨,٨٤ ^{gh}	٥٨,٦٠ ^{f}	٩٦,٥٠ ^{de}	٠,٤٧ ^{ab}	٠,٨٥ ^{abc}	١,٢٣ ^{abc}
Z1N4		٤ ^{a}	٤ ^{c}	١٠٧,٣٣ ^{a}	١١٤ ^{d}	٩٥,٧٠ ^{c}	١٠٦,٥٠ ^{ab}	٠,٥١ ^{a}	١,٠٣ ^{ab}	١,٤٢ ^{ab}
Z2N1		٤ ^{a}	٤,٦٦ ^{ab}	١٠٢,٦٧ ^{ab}	١٤١,٧٤ ^{c}	٦٢,٠٠ ^{d}	١٠٦,١٦ ^{abc}	٠,٥٠ ^{ab}	١,١٧ ^{a}	١,٤٨ ^{a}
Z2N2		٤ ^{a}	٤ ^{c}	٨٦,٧٩ ^{bc}	١٠٥,٩١ ^{ef}	٦٥,٥٠ ^{c}	٩٩,٥٠ ^{cde}	٠,٥١ ^{a}	٠,٨٢ ^{abc}	١,٢٣ ^{abc}
Z2N3		٤ ^{a}	٤ ^{c}	٨٠,٨٣ ^{c}	٩١,٠٥ ^{f}	٥٩,٢٠ ^{ef}	٩٦,١٦ ^{de}	٠,٤٩ ^{ab}	٠,٥٩ ^{c}	١,٠١ ^{c}
Z2N4		٤ ^{a}	٤ ^{c}	١٠٤,٠١ ^{a}	١٤٨,٨٦ ^{b}	٦٢,٢ ^{d}	١٠٤,٣٣ ^{abc}	٠,٥٠ ^{ab}	٠,٨٧ ^{abc}	١,١٨ ^{abc}
Z3N1		٤ ^{a}	٤,٦٦ ^{ab}	١٠٨,٨٠ ^{a}	١٤٥,٢١ ^{bc}	٦٨,٣٣ ^{b}	١١١,٠٠ ^{a}	٠,٥٠ ^{ab}	٠,٨٩ ^{abc}	١,٣٠ ^{abc}
Z3N2		٤ ^{a}	٤ ^{c}	٧٣,٦٠ ^{c}	١٠١,٥٧ ^{fg}	٦٠,٠٠ ^{ef}	٨٩,٣٣ ^{f}	٠,٥٢ ^{a}	٠,٧٣ ^{bc}	١,٠٧ ^{bc}
Z3N3		٤ ^{a}	٤ ^{c}	٧٦,٠٦ ^{c}	٩٤,٥٨ ^{hi}	٦٢,٢٥ ^{d}	٩٩,٣٣ ^{cde}	٠,٥١ ^{a}	٠,٦٧ ^{bc}	١,١٠ ^{abc}
Z3N4		٤ ^{a}	٤,٣٣ ^{bc}	١٠٩,٤٣ ^{a}	١٤٢,٣٤ ^{c}	٧٠,٢٣ ^{a}	١٠٨,٦١ ^{a}	٠,٤٩ ^{ab}	٠,٧٣ ^{bc}	١,٠٩ ^{abc}

منابع تامین نیتروژن (N) به ترتیب عبارتند از: (N1) کود شیمیایی اوره (۱۰۰ درصد)، (N2) تلفیق کلات ازت، (N3) کود بیولوژیک پانارومیکس (۱۰۰ درصد) و (N4) کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد) + کود بیولوژیک پانارومیکس (۵۰ درصد)
میانگین تیمار های هر ستون که دارای حرف مشترکند، از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند.
منابع تامین روی (Zn) به ترتیب عبارتند از: (Z1) بدون استفاده از روی، (Z2) سولفات روی و (Z3) تلفیق کلات روی

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر منبع تامین نیتروژن (N) و منبع تامین روی (Zn) و اثر متقابل این دو عنصر برشاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه گندم

تیمار	صفات مورد مطالعه	پرولین برگ (µg/g F.W)	قندهای محلول برگ (mg g-1 DW)	گلایسین بتائین برگ (µg g-1 DW)	نیترات ردوکتاز برگ µMNO2.g-1.h-1	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	عملکرد دانه (تن در هکتار)
شاهد (عدم مصرف روی) (Z1)		۷٤.۷۹ a	٤۹.۱۸ a	٥۹۷.۰۸ a	٥.٤٦ a	۱۱.۰٥ a	٤.٦۱۸ a
کود شیمیایی سولفات روی (Z2)		۷۰.۰٤ a	٥۰.۹٤ a	٥٤٤.۳۲ a	٥.۸٥ a	۱۱.۱٥ a	٤.٥۹٤ a
نانو کلات روی (Z3)		۷٥.٦۷ a	٤۷.٦۸ a	۳٤۷.۹۹ d	٥.٥۸ a	۱۰.۷۸ a	٤.۳۷٥ a
کود شیمیایی اوره (۱۰۰٪)	(N1)	۷۱.۹٤ b	٤٤.۹۹ b	٥۳٤.٥۹ a	٦.۰٥ a	۱۳.۳٥ a	٥.۳٦۲ a
نانو کلات اوره	(N2)	۷۲.۹٥ b	٥۱.۳٤ a	٤۹.۳۰ a	٥.۳۳ b	۹.٥۸ c	٤.۰۸۲ c
کود بیولوژیک پانارومیکس (۱۰۰٪)	(N3)	۹۱.۳٤ a	٥۰.۳۰ a	٥۹۳.۲۰ a	٤.۷۸ c	۹.٦٤ c	٤.۰۹۱ c
کود شیمیایی اوره (۵۰٪) + کود بیولوژیک پانارومیکس (۵۰٪) (N4)		٥۷.۷٦ c	٥۰.٤٤ a	۳٦۷.۷٦ d	٦.۳٥ a	۱۱.٤۰ b	٤.٥۸۱ b
	Z1N1	٦۰.۰٤ efg	٤٤.۳۹ c	٦۳۰.۸۳ bcd	٦.۰۲ b	۱۲.٥۳ bc	٥.۱٥ b
	Z1N2	٦۷.۸۹ dfe	٥٤.۱۲ a	٦۸۷.۰٤ ab	٥.۰٦ cd	۱۰.۳۰ de	٤.٤۰ d
	Z1N3	٦۹.۹۰ cdef	٥٥.۰۰ a	٦۷۸.۲۰ ab	٤.۷۱ d	۹.۹۰ e	٤.۳۸ d
	Z1N4	٥۹.۲۹ fg	٥٦.۳۱ a	٦۲٤.۲٤ cd	٦.۱۳ ab	۱۱.٤٦ cd	٤.٥٤ cd
	Z2N1	۷۲.۱۹ cdef	٤۸.۳۹ b	٦٤۸.۳۷ abc	٦.٤۷ a	۱٤.٥٦ a	٥.۷۷ a
	Z2N2	۷٤.۷٥ cde	٤۹.۷٥ b	٦۲۰.٤۹ cd	٥.۲۲ bcd	۹.۲۳ c	۳.۸۷ c
	Z2N3	٦۹.۹۱ cdef	٥٥.۰۷ a	٦٥۰.۹٤ abc	٤.۹۳ cd	۹.٥۰ c	۳.۹۷ c
	Z2N4	٦۱.۳۱ efg	٥۰.٥۷ b	٦۳۳.٤۸ bcd	٦.۷۸ a	۱۱.۳۳ cd	٤.۷٥ c
	Z3N1	۸۳.٥۸ ab	٤۲.۰۲۹ c	٦۷٤.٥۸ ab	٥.۷٦ b	۱۲.۹٦ b	٥.۱٦ b
	Z3N2	۸۹.۲۱ ab	٥۰.۱٦ b	٦۷۳.۳۷ ab	٥.۷۱ b	۹.۲۳ c	۳.۹۷ c
	Z3N3	۹۲.۱۹ a	٥۳.۸۳ a	٦۰٦.٤٥ cde	٤.۷۰ d	۹.۳٥ c	۳.۹۱ c
	Z3N4	۷٦.۷۰ bc	٤٤.٤۲ c	٦۲۱.٥٥ cd	٦.٥۳ a	۱۱.٤۰ cd	٤.٤٥ d

منابع تامین نیتروژن (N) به ترتیب عبارتند از: (N1) کود شیمیایی اوره (۱۰۰درصد)، (N2) نانو کلات اوره، (N3) کود بیولوژیک پانارومیکس (۱۰۰ درصد)، و (N4) کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد) + کود بیولوژیک پانارومیکس (۵۰ درصد)

میانگین تیمار های هر ستون که دارای حرف مشترک‌اند، از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی دار نیستند.

منابع تامین روی (Zn) به ترتیب عبارتند از: (Z1) بدون استفاده از روی، (Z2) سولفات روی و (Z3) نانو کلات روی

ارتفاع گیاه (طول اندام هوایی): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که طول اندام هوایی در هر دو مرحله اول تحت تاثیر سطوح مختلف منابع تامین روی، منابع تامین نیتروژن و اثر متقابل (برهمکنش) منابع تامین نیتروژن × روی قرار گرفت، اما در مرحله دوم از نظر منابع تامین روی اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نگردید ($P\leq0.05$). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در بین منابع تامین نیتروژن، طول اندام هوایی در تیمارهایی که از کود شیمیایی اوره به‌عنوان منبع تامین نیتروژن استفاده شده است، بیشترین میزان را نشان داد و اختلاف ارتفاع گیاه در استفاده از نانوکود ازت و کود بیولوژیک معنادار نبود (جدول ۵).

فعالیت نیترات ردوکتاز: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تاثیر سطوح مختلف منابع تامین نیتروژن و اثر متقابل (برهمکنش) منابع تامین نیتروژن × روی بر فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود، ولی از نظر منابع تامین روی اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نگردید (جدول ٤). بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در بین منابع تامین نیتروژن فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در تمامی تیمارها معنی‌دار بوده و بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز به ترتیب مربوط به تیمارN4 (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵۰ درصد کود بیولوژیک پانارومیکس) و N3 (کود بیولوژیک پانارومیکس) بوده است و در بین تیمارهای منابع تامین نیتروژن × روی، بیشترین میزان فعالیت این آنزیم به ترتیب مربوط به تیمار Z2N4 و کمترین میزان آن مربوط به تیمارهای Z1N3 و Z3N3 بوده و تیمارهایی که در آن کود اوره به‌عنوان منبع تامین نیتروژن به کار رفته است (۱۰۰ درصد و ۵۰ درصد)، بیشترین میزان فعالیت این آنزیم مشاهده شد و کمترین میزان فعالیت این آنزیم مربوط به تیمارهایی بوده است که از کود بیولوژیک پانارومیکس به‌عنوان منبع تامین نیتروژن استفاده شده است. نتایج حاصل نشان داد استفاده از کود شیمیایی اوره (۱۰۰ درصد) و کود اوره ۵۰ درصد + کود بیولوژیک ۵۰ درصد) در تیمارهای تلفیقی با منابع تامین روی بیشترین تاثیر را روی فعالیت این آنزیم نشان داد و پائین‌ترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمارهای ترکیبی با N3 (کود بیولوژیک) به دست آمد(جدول ٦).

غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تاثیر منابع تامین روی قرار نگرفت و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نگردید. همچنین میزان کلروفیل a تحت تاثیر اثر متقابل (برهمکنش) منابع تامین نیتروژن × روی قرار گرفت، ولی از نظر سطوح مختلف منابع تامین نیتروژن نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نگردید. مقادیر کلروفیل b و مجموع کلروفیل a+b نیز تحت تاثیر سطوح مختلف منابع تامین نیتروژن و اثر متقابل (برهمکنش) منابع تامین نیتروژن × روی قرار گرفتند. (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد از نظر منابع تامین نیتروژن، میزان کلروفیل b و a+b در تیمارهایی که اوره به‌عنوان منبع تامین نیتروژن بکار رفته است (N1 و N2)، بیشترین میزان را از خود نشان داد و بین تیمارهای نانوکلات ازت (N2) و ۱۰۰ درصد کود بیولوژیک (N2) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و در تیمارهای اثر متقابل منابع تامین نیتروژن × روی بیشترین میزان کلروفیل b

و a+b مربوط به تیمار Z2N1 بوده که تاثیر استفاده از کود اوره و سولفات روی را در جهت سنتز بیشتر کلروفیل‌های مذکور را نشان داد (جدول ۵).

مقدار محلول‌های سازشی

پرولین: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر سطوح مختلف منابع تامین نیتروژن و اثر متقابل (برهمکنش) منابع تامین نیتروژن × روی بر میزان غلظت پرولین معنی‌دار بود ($P\leq0.05$)، ولی میزان پرولین تحت تاثیر منابع تامین روی قرار نگرفت و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نگردید (جدول ٤). بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد از نظر اثر منابع تامین نیتروژن، بیشترین میزان غلظت پرولین مربوط به تیمار N3 (کود بیولوژیک پانارومیکس ۱۰۰ درصد) بود و در بین تیمارهای منابع تامین نیتروژن × روی، بیشترین و کمترین میزان پرولین به ترتیب مربوط به تیمار Z3N3 و Z1N4 بوده است. همچنین نتایج نشان داد در تمامی تیمارهای ترکیبی مورد مطالعه، تیماری که از N4 به‌عنوان منبع تامین نیتروژن استفاده کرده است کمترین میزان پرولین را از خود نشان داده است (جدول ٦).

غلظت گلایسین بتائین (BG): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که غلظت گلایسین بتائین تحت تاثیر اثر متقابل (برهمکنش) منابع تامین نیتروژن × روی قرار گرفت، ولی غلظت آن تحت تاثیر منابع تامین روی و منابع تامین نیتروژن قرار نگرفت و اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نگردید ($P\leq0.05$) (جدول ٤). بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در بین تیمارهای منابع تامین نیتروژن × روی، بیشترین و کمترین میزان گلایسین بتائین به ترتیب مربوط به تیمار Z1N4 و Z3N3 بوده است (جدول ٦).

غلظت قندهای محلول: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس مشخص شد میزان قندهای محلول تحت تاثیر منابع تامین روی قرار نگرفت و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نگردید، اما تحت تاثیر سطوح مختلف منابع تامین نیتروژن و اثر متقابل (برهمکنش) منابع تامین نیتروژن × روی قرار گرفت ($P\leq0.05$) (جدول ٤). در بین منابع تامین نیتروژن، بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کمترین میزان غلظت قندهای محلول مربوط به تیمار N1 (کود اوره ۱۰۰ درصد) بوده و کاهش چشمگیری را نسبت به سایر تیمارها از خود نشان داد، اما بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین در بین تیمارهای منابع تامین نیتروژن × روی، بیشترین و کمترین میزان قندهای محلول به‌ترتیب مربوط به تیمار Z1N4 و Z3N1 بوده است (جدول ٦).

وزن خشک کل بوته‌ها در هکتار (عملکرد بیولوژیک) و وزن دانه در هکتار (عملکرد اقتصادی): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد هر دو صفت مذکور، تحت تاثیر سطوح مختلف منابع تامین نیتروژن و اثر متقابل (برهمکنش) منابع تامین نیتروژن × روی قرار گرفت، اما در بین منابع تامین روی اختلاف معناداری مشاهده نگردید ($P\leq0.05$) (جدول ٤). بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد نتایج هر دو صفت مورد مطالعه در تمامی تیمارهای اثر ساده منابع تامین نیتروژن و اثر متقابل (برهمکنش) منابع تامین نیتروژن و روی یکسان بود (جدول ٤) و از نظر منابع تامین نیتروژن بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک به ترتیب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد اوره (۱۳,۳۵ تن در هکتار) و تیمار ۵۰ درصد اوره + ۵۰ درصد کود بیولوژیک (۱۱,٤۰ تن در هکتار) بوده و بین دو تیمار نانوکلات ازت (۹,۵۸ تن در هکتار) و ۱۰۰ درصد کود بیولوزیک (۹,٦٤ تن

در هکتار) اختلاف معناداری وجود نداشت و بیشترین میزان عملکرد اقتصادی نیز به‌ترتیب مربوط به تیمار۱۰۰ درصد اوره (۵,۳۶ تن در هکتار) و تیمار ۵۰ درصد اوره + ۵۰ درصد کود بیولوژیک (٤,۵۸ تن در هکتار) بوده و بین دو تیمار نانوکلات ازت (٤,۰۸) و ۱۰۰ درصد کود بیولوژیک (٤,۰۹) اختلاف معناداری وجود نداشت (جدول ٦). در بین تیمارهای اثر متقابل منابع تامین نیتروژن × روی، عملکرد بیولوژیک و عملکرد اقتصادی در تیمار سولفات روی در ترکیب با تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره (Z2N1) بالاترین میزان را از خود نشان داد که به‌ترتیب (١٤,٥٦ تن در هکتار) و (۵,۷۷ تن در هکتار) بوده است. نتایج حاصل نشان داد که در تمامی تیمارهای ترکیبی مورد مطالعه، تیمارهایی که از اوره (۱۰۰ درصد و ۵۰ درصد) به عنوان منبع تامین نیتروژن استفاده شده است در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین میزان عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک را از خود نشان داده‌اند. همچنین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک در تیمار ۱۰۰ درصد اوره در مقایسه با تیمار ۵۰ درصد اوره + ۵۰ درصد کود بیولوژیک، افزایش بیشتری از خود نشان داد، اما تیمارهای ترکیبی که در آن کود نانوکلات ازت و ۱۰۰ درصد کود بیولوژیک منبع تامین نیتروژن بودند تفاوت معناداری از نظر بررسی این صفت از خود نشان ندادند (جدول ٦).

بحث

در تحقیق حاضر بیشترین میزان رشد برگ و سطح آن مربوط به تیمار اوره و تیمار ترکیبی اوره و کود بیولوژیک بوده که با مطالعه Sharma و همکاران (۲۰۱۷) روی گیاه ذرت مطابقت دارد و کمترین میزان رشد در تمامی تیمارهای ترکیبی، مربوط به تیمار کود بیولوژیک بوده است که با نتایج Abdizade و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. نتایج نشان داده است کود بیولوژیک به تنهایی قادر به تامین کل نیتروژن گیاه نیست. تولید هورمون‌های محرک رشد بویژه اکسین با تحریک ریشه‌زایی باعث افزایش جذب در واحد سطح شده و در حضور کودهای شیمیایی باعث تشدید این اثرات شده و در موجب افزایش رشد محصول می‌شود (Abdizade et al., 2010). همچنین با توجه به تیمار نانوکود ازت در دو مرحله پنجه‌زنی و اوایل خوشه‌دهی دسترسی گیاه به نیتروژن با سرعت فراهم شده و در مرحله اول سنجش، سطح برگ گیاه در تیمار کود بیولوژیک و نانوکود ازت اختلافی نداشته، اما در مرحله دوم این شاخص در تمامی تیمارهای نانوکود ازت سرعت بیشتری به خود گرفته و نسبت به تیمار بیولوژیک افزایش یافته است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد تغذیه برگی نانوکودها جهت تامین مغذی‌ها از تاثیر فاکتورهای خاک اجتناب کرده و منجر به جذب سریع آنها می‌شود (Yassen et al., 2010) و انحلال نانوذرات به‌دلیل آنکه اندازه کوچکتری دارند بیشتر بوده و بیشتر جذب گیاه می‌شود (Ma et al., 2010). در تیمارهای اثر متقابل، بیشترین میزان طول اندام هوایی در تیمارهای Z3N4 و Z3N1 مشاهده گردید که با نتایج مطالعات Asif و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت. آنها نشان دادند برهمکنش نیتروژن و روی بیشترین میزان طول گیاه را از خود نشان داد. استفاده از روی باعث افزایش جذب نیتروژن شده و با توجه به اینکه نیتروژن بخش ضروری مولکول کلروفیل است، این عنصر به‌طور غیرمستقیم در مقدار کلروفیل گیاه موثر بوده (Mousavi et al., 2013) و فعالیت فتوسنتزی و در نتیجه رشد گیاه و عملکرد آن را افزایش می‌دهد و برهمکنش مثبت این دو عنصر را نشان می دهد (Pirzad et al., 2013). به‌نظر می‌رسد تاثیر مثبت تیمار نانوکلات روی نسبت به تیمار سولفات روی به دلیل اندازه کوچکتر نانوذرات و افزایش سطح هر ذره

کـود در مقایسـه بـا ذرات معمـولی بـوده و بـه‌دلیـل حلالیت و قابلیت فراهمی بیشـتر و رهـایش تـدریجی ذرات نانو، به آسانی در دسترس گیاه قرار گرفته و نیاز گیاه به عناصر ریز مغذی را فراهم کنـد (Omidbaigi, 2005). مطالعـه Abdizade و همکـاران (۲۰۱۰) روی ذرت نشان داد در ابتدا رشد کـم گیـاه در تیمـار کـود بیولوژیک به علت عدم اسـتقرار کـافی ریشـه و سـاقه گیاه و فرصت کافی باکتری‌ها در تحریک رشـد بـوده ولی بـا گذشـت زمـان و در طـول دوره رشـد باعـث افزایش طول گیاه و شاخص سطح بـرگ شـده کـه بـا نتـایج ایـن تحقیـق مطابقـت دارد. تـاثیر مثبـت ایـن باکتری‌ها در فراهم کردن نیتروژن سبب افزایش تقسیم سلولی و افزایش فاصـله میـان گـره در سـاقه شـده و ارتفاع گیاه را افزایش می‌دهد (Salmani Biary et al., 2011). در این پژوهش استفاده ترکیبی کود بیولوژیک و اوره در مقایسه با تیمار کود اوره بـه تنهـایی باعـث افزایش طول اندام هوایی گردید که با نتایج مطالعـات Yosefi و همکـــــاران (۲۰۱۱) در آفتـــــابگردان و Hojattipor و همکـاران (۲۰۱٤) در گنـدم مطابقـت داشت. نتایج پژوهش نشـان داد در مرحلـه اول طـول اندام هوایی تحت تاثیر منابع تامین روی قـرار گرفـت که بـا نتـایج مطالعـات Prasad و همکـاران (۲۰۱۲) ، Samreen و همکـــــاران (۲۰۱۳) و Alam و Shereen (۲۰۰۲) مطابقت داشت. تغذیه برگی نانوذرات اکسـید روی از طریـــق افـــزایش اینـــدول اســـتیک از تـــاثیر فاکتورهای خاک اجتناب کرده و منجر به جذب سریع آنها مـی‌شـود (Yassen et al., 2010). فعالیـت آنـزیم نیترات ردوکتاز تحـت تـاثیر منـابع تـامین روی قـرار نگرفت که با نتایج مطالعات Drlik و Rogl (۱۹۹۲) و Blom-Zandstra و Lampe (۱۹۸۳) مطابقـت داشـت اما نتـایج پـژوهش Gheshlaghi و همکـاران (۲۰۱٤) نشان داد متابولیسـم نیتـرات در گیاهـان تحـت تـأثیر فعالیت نیترات ردوکتاز بوده و فعالیت این آنـزیم نیـز تحت تأثیر شرایط تغذیه‌ای گیاه از جمله غلظـت روی است. آنها نشان دادند افزایش غلظت روی در محلول غذایی بـا افـزایش فعالیـت نیتـرات ردوکتـاز موجـب کاهش غلظت نیترات در ریشه و اندام هـوایی گردیـد (Gheshlaghi et al., 2014). همچنـین فعالیـت آنـزیم تحت تاثیر اثر متقابل نیتروژن و روی قرار گرفت که با نتایج پژوهش Graham و همکاران (۲۰۰۱) همخوانی داشت. استفاده همزمـان کـود اوره و کـود بیولوژیـک توانسته است نیترات بیشتری در اختیار گیاه قـرار داده در نتیجـه بیشـترین میـزان فعالیـت نیتـرات ردوکتـاز مربوط به تیمار ترکیبـی اوره و کـود بیولوژیـک بـوده است. نتایج متفاوتی از نظر تـاثیر نیتـروژن و روی بـر میـزان رنگیـزه‌هـای فتوسـنتزی گـزارش شـده اسـت. Sharma و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادنـد بـا افـزایش میزان کودهی نیتـروژن و روی، میـزان کلروفیـل گیـاه افزایش یافت (Sharma et al., 2017). استفاده از کـود بیولوژیـــک ازوتوبـــاکتر در مطالعـــات Arzanesh و همکـــــاران (۲۰۱۰) و آزمـــــایش Hajeeboland و همکاران (۲۰۰٤) در گنـدم باعـث افـزایش محتـوای کلروفیل شد. نیتروژن جزء لازم مولکول کلروفیل بوده و عرضه کافی نیتروژن با رشد رویشـی زیـاد و رنـگ سبز تیـره ارتبـاط دارد (Malakouti et al., 1974). در این پژوهش، تمامی تیمارها برخـوردار از رنـگ سـبز تیره بوده و تیمارهای کود اوره و تیمار ترکیبـی اوره و کود بیولوژیک از وضعیت رشد مطلـوبتری نسـبت بـه سایر تیمارها برخوردار بودند که نشان می‌دهد جـذب نیتروژن بهتری صورت گرفته است. مطالعـات Saeedi (۲۰۰۸) روی گیاه کنجد نشان داد استفاده از روی بـه دو روش تغذیه برگی و خاک مصرف باعـث افـزایش جـذب نیتـروژن شـده بنـابراین ایـن عنصـر بطـور غیرمسـتقیم در مقـدار کلروفیـل گیـاه مـوثر اسـت (Mousavi et al., 2013). در حضـور روی سـنتز کلروفیل تسهیل شده، زیرا برای تشکیل پورفوبیلینوژن

به‌عنوان پیش ماده کلروفیل وجود Mg و Zn مورد نیاز است. روی به گروه‌های SH بخش پروتئینی غشا متصل شده و فسفولیپیدها و پروتئین‌ها را از اکسیداسیون تیول و تشکیل دی سولفید محافظت کرده و باعث سنتز کلروفیل می‌شود (Askari et al., 2015). مشاهده شده است که با مصرف همزمان کودهای زیستی و اوره رشد رویشی و میزان کلروفیل به‌طور معنی‌داری نسبت به بقیه تیمارها افزایش می‌یابد (Zeid, 2008). در پژوهش حاضر بالاترین میزان کلروفیل b و مجموع (a+b) در تیمار ترکیبی سولفات روی + اوره به‌دست آمد که با نتایج مطالعات Weisany و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. آنان اعلام داشتند که برتری تیمار کود روی در خاک می‌تواند به دلیل تأمین عنصر ریزمغذی روی مورد نیاز گیاه و تاثیر آن بر بیوسنتز کلروفیل گیاه باشد (Weisany et al., 2012).

در این پژوهش غلظت هر سه اسمولیت پرولین، گلایسین بتائین و قندهای محلول، تحت تاثیر منابع تامین روی قرار نگرفت که در تضاد با نتایج مطالعات امیرجانی و همکاران (۱۳۹۳) وSiripornadulsil و همکاران (۲۰۰۲) بود. آن‌ها نشان دادند با افزایش روی، مقدار پرولین اندام هوایی افزایش می‌یابد. اما غلظت این اسمولیت‌ها تحت تاثیر اثر متقابل منابع تامین نیتروژن و روی قرار گرفت که با نتایج مطالعات Sabiran و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. نتایج مطالعات Astaraki و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد افزایش سطوح کود نیتروژن درگیاه گلرنگ (*Carthemus tinctorius* L.) باعث افزایش معنی‌دار پرولین برگ گردید اما میزان قندهای محلول برگ کاهش یافت. در این پژوهش تیمارهایی که در تلفیق با نانوکلات روی بودند، بیشترین میزان پرولین را در مقایسه با سایر تیمارها از خود نشان دادند. به‌نظر می رسد استفاده از نانوکلات روی، باعث جذب سریع‌تر روی شده و نوعی تنش اکسیداتیو به طور موقت ایجاد شده که باعث افزایش بیشتر پرولین در تمامی تیمارهای نانوکلات روی شده است اما در تیمارهایی که با افزایش میزان پرولین همراه بود افزایشی در میزان قندهای محلول و گلایسین بتائین صورت نگرفت که با مطالعات Larher و همکاران (۱۹۹۶) مطابقت داشت. آنها نشان دادند که یک نوع رابطه آنتاگونیستی بین این دو اسمولیت وجود دارد و تجمع یکی منجر به افزایش اسمولیت دیگر نمی‌شود. نتایج مطالعات نشان داده است تجمع قندهای محلول در زمان تنش شدید بوده (Rizksky et al., 2004) که با توجه به عدم تنش شدید در تیمارهای مورد نظر افزایش چشمگیری در میزان قندهای محلول صورت نگرفت. اگر جذب روی از طریق نانوکلات روی منجر به القاء تنش ضعیفی شده باشد گیاه با تولید بیشتر پرولین با آن مقابله کرده و به نظر می رسد علت عدم تولید گلایسین بتائین در این تیمارها این باشد که گیاه در حد آستانه بالاتری از تنش‌ها مبادرت به تولید گلایسین بتائین نماید. در این پژوهش عملکرد گیاه تحت تاثیر منابع تامین نیتروژن قرار گرفت که در تضاد با نتایج مطالعه Noor Gholipoor و همکاران (۲۰۰۸) بر روی گندم بوده است. آنها نشان دادند بین سه منبع تامین نیتروژن شامل اوره با پوشش گوگردی، نیترات آمونیوم و اوره تفاوت معنی‌داری از نظر میزان عمکرد دانه و بیولوژیک وجود نداشته است. در این پژوهش مشاهده شد که ارتفاع گیاه در تیمار کود اوره و تیمار ترکیبی اوره و کود بیولوژیک بالاتر از سایر تیمارها بوده که نقش مهمی در عملکرد دانه دارد، زیرا ساقه طی رشد و بلافاصله بعد از طویل شدن، قسمت زیادی از مواد فتوسنتزی برگها را که ممکن است از راه‌های مختلف برای رشد پنجه‌ها یا سنبله به مصرف برسد در خود ذخیره کرده و به عنوان منبعی از کربوهیدرات‌ها و مواد نیتروژنه عمل می‌کند که طی

مرحله پر شدن دانه، متحرک شده و به دانه منتقل شده و باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Rasmusson, 1987). به‌دلیل تأثیر عنصر روی بر میزان کلروفیل برگ و سنتز تریپتوفان که یک پیش نیاز تشکیل هورمون ایندول استیک اسید (IAA) است (Boorboori and Tehrani, 2011) موجب افزایش میزان فتوسنتز و در نهایت عملکرد بیشتر می‌گردد. از طرف دیگر IAA از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کند و در نتیجه اجزای عملکرد را افزایش می‌دهد (Vankhadeh, 2002).

نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش بیشترین میزان کلروفیل b، کلروفیل مجموع a+b، طول اندام هوایی، سطح برگ، فعالیت نیترات ردوکتاز، عملکرد دانه (بازدهی محصول) و عملکرد بیولوژیک در تیمارهایی مشاهده گردید که از تیمار ۱۰۰ درصد اوره و ۵۰ درصد اوره + ۵۰ درصد کود بیولوژیک به‌عنوان منبع تامین نیتروژن استفاده گردید که در ترکیب با سولفات روی بیشترین میزان عملکرد گیاه (اقتصادی و بیولوژیک) مشاهده گردید. همچنین نوعی رابطه آنتاگونیستی بین اسمولیت‌های مورد مطالعه مشاهده شد و تجمع یکی منجر به افزایش اسمولیت دیگر نگردید و پاسخ گیاه در برابر سطوح مختلف تنشی از نظر نوع اسمولیت سنتز شده متفاوت بود. همچنین در این پژوهش سنجش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل b و کلروفیل کل) نشان داد که بیشترین میزان این شاخص‌ها در تیمار Z2N1 (۱۰۰ درصد اوره + سولفات روی) بوده و از نظر میزان عملکرد گیاه نیز بالاترین عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه) و عملکرد بیولوژیک در این تیمار مشخص گردید و نتایج نشان داد که بین عنصر نیتروژن و روی برهمکنش مثبت وجود داشته و عملکرد گیاه تابعی از رفتار فیزیولوژیکی گیاه است.

References

Abdizade, Kh., Mahdavi Dameghani, A., Sabahi, H. and Soofizade, S. (2010). Effects of Integrated application of biofertiliser and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. Journal of Agroecology, 2(2): 292-301. (In Persian)

Alam, S.M. and Shereen, A. (2002). Effect of different levels of Zinc and phosphorus on growth and chlorophyll content of wheat. Asian Journal Plant Science 1 (4), 364–366.

Amirjani, M., Askari mehrabadi, M. and Azizmohamadi, F. (2016). Effects of zinc oxide nanoparticles on vegetative factors, elements content and photosynthetic pigments of wheat (*Triticum aestivum*). Iranian Journal of plant biology, Volume 8, Number 27; Page(s) 33 - 48. (In Persian)

Arnon, D.J. (1956). Chlorophyll absorption spectrum and quantitative determination. Biochemical and Biophysical Acta 20: 449-461.

Asif, M., Farrukh Saleem, M., Anjum, S.A., Ashfaq Wahid, M. and Faisal Bilal, M. (2013). Effect of nitrogen and zinc sulphate on growth and yield of maize (*Zea mayes* L.). Journal Agricalture Research, 51(4):455-464.

Askari. M., Amini, F. and Jamali, F. (2015). Effects of zinc on growth, photosynthetic pigments, proline, carbohydrate and protein content of *Lycopersicum esculentum* under salinity. Journal of Plant Process and Function, 3 (9): 45-58.

Astaraki, F., Lari Yazdi, H., Rafiei, M. and Astaraki, S. (2013).The effect of different amounts of nitrogen fertilizer on chlorophyll, proline and soluble sugars of safflower leaf (*Carthemus tinctorius* L.). 2nd National Conference on New Concepts in Agriculture. Saveh branch, Islamic Azad Univercity, in saveh city.

Auld, D.S. (2001). Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. *Biometals*, 14: 271-313.

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies, plant and soil, 39(1): 205–207.

Blom-Zandstra, M. and Lampe, J.E.M. (1983). The effect of chloride and sulphate salts on the nitrate content in lettuce plants, Journal of Plant Nutrition, 6: 611-628.

Bockman, O.C. (2001). Fertilizers and Biological nitrogen fixation as source of plant nutrients: perspectives for future agriculture. Plant and soil, 194:11-14.

Boorboori, M.R. and Tehrani, M.M. (2011). Effect on interactive of values and application method of copper and zinc on plant characteristics and protein of wheat. Crop Physiology Journal. 2(8): 29-44. (In Persian)

Chegeni, H. (2014). Effect of plant density on yield and yield components of wheat cultivars. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi). Article 2, 27(104): 9-21. (In Persian)

Curtis, T. and Halford, N.G. (2014). Food security: the challenge of increasingwheat yield and the importance of not compromising food safety. Annals of Applied Biology, 164, 354–372.

Drlik, J. and Rogl, J. (1992). The effect of graduated rates of nitrogen fertilization on yield and nitrate accumulation in carrots, Zahradnictvi, 19: 39-46.

Ebrahimian, E. and Bybordi, A. (2011). Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. Journal of Food, Agriculture and Environment, 9: 422-427.

Gheshlaghi, Z., Khorassani, R., Haghnia, G.H. and Kafi, M. (2014). Effect of zinc and harvest times on decrease nitrate accumulation and nitrate reductase enzyme activity in lettuce and spinach grown hydroponically. Journal of Greenhouse Culture Science and Technology, 5(19): 113-123. (In Persian)

Gibbson, R.S. (2006). Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. Proceedings of the Nutrition Society. University of East Anglia, Norwich.

Graham, R.D., Welch, R.M. and Bouis, H.E. (2001). Addressing micronutrients malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods principles, perspectives and knowledge gaps. Advanced Agronomy. 70: 77-142.

Gurmani, A.R., Din, J.U., Khan, S.U., Andaleep, R., Waseem, K., Khan, A. and Hadyat-Ullah. (2012). Soil Application of zinc improves growth and yield of tomato. International Journal of Agriculture and Biology. 14: 91-96.

Hajeeboland, R., Asgharzadeh, N. and Mehrfar, Z. (2004). Ecological Study of Azotobacter in Two pasture lands of the North-west Iran and its Inoculation Effect on Growth and Mineral Nutrition of Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Omid) Plants. Journal of Water and Soil science; 8 (2): 75-90. (In Persian)

Hojattipor, E., Jafari, B. and Dorostkar, M. (2014). The effect of integration of biological and chemical fertilizers on yield, yield components and growth indexes of wheat. Journal of plant Ecophysiology, Article 4, 5(15): 36-48. (In Persian)

Khayat, S, Mojadam, M. and Alavi Fazel, M. (2014). Effect of nitrogen rates on grain yield and nitrogen use efficiency of durum wheat genotypes in Khouzestan. Crop Physiology Journal. 6 (21): 103-113. (In Persian)

Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method, In: Helebust, J.A. Craig, J.S (ed): Handbook of physiological method, pp. 56- 97. Cambridge univ. press.Cambridge.

Kosesakal, T. and Unal, M. (2009). Role of zinc deficiency in photosynthetic pigments and peroxidase activity of tomato seedlings. IUFS Journal of Biology, 68 (2): 113–120.

Kutman, U.B., Yidiz, B. and Cakmak, I. (2011). Improved nitrogen status enhances zinc andiron concentrations both in wholegrain and the endosperm fractionof wheat. Journal of Cereal Science 53: 118-125.

Liu, H.E., Wang, Q.Y., Rengel, Z. and Zhao, P. (2015). Zinc fertilization alters flour protein composition of winter wheat genotypes varying in gluten content, Plant Soil Environment 61(5): 195–200.

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.

Malakouti, M.J. and Riazi Hamedani, S.A. (1974). Soil fertility and fertilizers. Tehran University Press. 3rd edition. 800 pp. (In Persian).

Mirzashahi, K., Asadi Rahmani, H., Khavazi, K. and Afshari, M. (2013). Effect of Two Kinds of Biofertilizers on Irrigated Wheat Yield in the North of Khuzestan. Iranian Journal of Soil Research, 27(2): 159-168. (In Persian)

Moallem, A.H. and Eshghi Zadeh, H.R. (2007). Application of biological fertilizers: advantages and limitations, Second National Iranian Conference on Ecological Agriculture, Gorgan, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, p. 47. (In Persian)

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.

NoorGholipoor, F., Bagheri, Y. and Lootfollahi, M. (2008). The Effect of Different Sources of Nitrogen Fertilizer on Wheat Yield and Quality. Journal of Research in Agricultural Science, 4(2): 120-129. (In Persian)

Omidbaigi, R. (2005). Production and Processing of Medicinal Plant. Vol.2 ed. 4. Astan Quds Razavi Publication Mashad. (In Persian)

Omidi, H., Naghdibadi, H., Lakzad, A., Torabi, H. and Fotokia, M.H. (2009). The effect of nitroxin biological and chemical fertilizer on quality and Quantity performance of saffron, Journal of Medical Herbs, 1: 92-98.

Pirzad, A.R., Tousi, P. and Darvishzadeh, R. (2013). Effect of Fe and Zn foliar application on plant characteristics and essential oil content of anise (*Pimpinella anisum* L.), Iranian Journal of Crop Sciences, 15(1): 12-23. (In Persian)

Prasad, T. and Sudhakar, P. (2012). Effect of Nano scale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of Peanut (*Arachis hypogaea*), Journal of Plant Nutrition, 35: 905–927.

Rahman, M.S., Miyake, H. and Takeoka, Y. (2002). Effects of exogenoces glycinebetaine on growth and ultra structure of salt-stressed rice seedlings (*Oryza sativa* L.). Plant Prod. Sci. 5: 33-44.

Rasmusson, D.C. (1987). An evaluation of ideotype breeding. Crop Science. 27: 1140-1146.

Rizhsky, L., Liang, H., Shuman, J., Shulaev, V., Davletova, S., and mittler, R. (2004). When defence pathways collide. The response of Arabidopsis to combinations of drought and heat stress. Plant physiology, 134: 1683-1696.

Sadeghzadeh, B. (2013). A review of zinc nutrition and plant breeding. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 13(4): 905-927.

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.

Sairam, R.K., Rao, K.V., and Srivastava, G.C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Sci, 163: 1037-1046.

Salmani Biary, E., Ajamnoruzi, H. and Taheri, Gh. (2011). Physiological response of wheat cultivars to nitrogen source. Journal on Plant Science Researches, Serial 22, 6th, Number 2, pages 67-72.

Samreen, T., Humaira Shah, H.U., Saleem Ullah and Javid, M. (2013). Zinc effect on growth rate, chlorophyll, protein and mineral contents of hydroponically grown Mungbeans plant

(*Vigna radiata*). Arabian Journal of Chemistry, Volume 10, Supplement 2, Pages 1802-1807.

Seddigh, M., Khoshgoftarmanesh, A. H. and Ghasemi, S. (2013). The Effectiveness of Synthesized Zinc-Amino Chelates in Supplying Zinc for Wheat. Journal of Crop Production and Processing Isfahan University of Technology. 3 (9): 177-187.

Shafea, L., Saffari, M. and Mohammadi Nezhad, G. (2011). Effect of Nitrogen and Zinc fertilizers on leaf Zinc and Chlorophyll contents, grain yield and chemical composition of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. Seed and Plant Production Journal, 27(2): 235-246

Sharma, A.K. (2003). Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India. pp 261-265.

Sharma, R., Choudhary, R. and Laljat, B. (2017). Effect of nitrogen and zinc fertilization on growth and productivity of maize. International Journal of Agricultural Sciences. 13(2): 161-176.

Singh, M.V. (2009). Micronutrient nutritional problems in soils of India and improvement for human and animal health. Indian Journal of fertilisers 5(4): 11–16 (19–28 & 56).

Siripornadulsil S., Traina S., Verma D. P. S. and Sayre R.T. (2002). Molecular mechanisms of proline-mediated tolerance to toxic heavy metal in transgenic microalgae. Plant Cell, 14: 2837–2847.

Sym, G.J. (1984). Optimization of the in vivo assay condition for Nitrate Reductase in barely (*Hordeum vulgar* L.*cv. Igri*), Journal of the Science of Food and Agriculture, 35: 725-730.

Tavan, T., Niakan, M. and Noorinia, A. (2015). The effect of nano-potassium fertilizer on growth factors, photosynthetic system and protein content of wheat plan (*Triticum aestivum* L.) var. N8019. Journal of Iraninan plant Ecophysiological Research (Plant Sciences Research). 9(53): 61-71.

Vankhadeh, S. (2002). Response of sunflower to applied Zn, Fe, P, N. nes s. zz: 1 – 143 144.

Varisi, V.A., Camargos, L.S., Aguiar, L.F., Christofoleti, R.M., Medici, L.O. and Azevedo, R.A. (2008). Lysine biosynthesis and nitrogen metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa*): study of enzymes and nitrogen-containing compounds. Plant Physiology Biochemestary, 46: 11–18.

Weisany, W., Rahimzadeh, S. and Sohrabi, Y. (2012). Effect of biofertilizers on morphological, physiological characteristic and essential oil content in basil (*Ocimum basilicum* L.), Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 28 (1): 73-87. (In Persian)

Yancey, P.H. (2005). Organic osmolytes as compatible metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses. Journal of experimental biology, 208:2819-2830.

Yassen, A., Abou El-Nour, E.A.A. and Shedeed, S. (2010). Response of wheat to foliar spray with urea and micronutrients. Journal of American Science, 9(6): 14-22.

Yosefi, K., Galavi, M., Ramrodi, M. and Mousavi, S.R. (2011). Effect of bio-phosphate and chemical phosphorus fertilizer accompanied with micronutrient foliar application on growth, yield and yield components of maize (Single Cross 704), Australian Journal of Crop Science, 5(2): 175-180.

Zeid, I.M. (2008). Effect of arginine and urea on polyamines content and growth of bean under salinity stress, Acta Physiology Plant. 8: 201-203.

Journal of Plant Environmental Physiology, Serial 61, 16th year, Number 1, Spring 2021

The study of morphophysiological characteristics and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) using Nitrogen and Zinc sources and their interaction

Moddareszadeh, H.[1], Rezaee, M.A.[1*], Ajam Norouzi, H.[2], Mahmoudjanlo, M.A.[1]
[1]Department of Biology, Islami Azad University, Gorgan Branch, Gorgan, Iran
[2]Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Gorgan Branch, Gorgan, Iran

Received date: 2020/10/14 Accepted date: 2020/11/30

Abstract

The study of use of nutrients and the optimal balance between nutrients and concentrations of absorbable compounds has always attracted the attention of researchers in biological and agricultural sciences. In this research, effects of four levels of Nitrogen sources (100 % urea, nano-chelate nitrogen, 100% Panaromix biologic fertilizer, and 50% urea + 50 % Panaromix biologic fertilizer) along with three levels of Zinc sources (control or without application of Zn, zinc sulfate, and nano-chelate zinc) and interaction effects of hese sources were investigated on physiology and yield of wheat. The study was carried out by split-plot method based on completely randomized blocks design with 3 replications and 12 treatments in a private farm located in the north of Jelin, a city located 3 Km east of Gorgan, during the 2017-2018 crop year. Results showed that the traits under study were affected by the sources of nitrogen supply and the interaction effects of sources of the two elements but there was no significant difference under treatment with sources of zinc supply. In Nitrogen supply sources, the maximum leaf area and number, shoot length, chlorophyll b and chlorophyll (a+b) content, and nitrate reductase activity as well as biological and grain yield was related to 100% urea and 50% urea + 50% biologic fertilizer. In combined treatments with the interaction effects, the highest amount of proline was related to 100% biological fertilizer + nano-chelate zinc and in the treatments that were associated with increased proline, there was no increase in the soluble sugars and glycine betaine contents. The highest level of NR activity, chlorophyll a, and total chlorophyll (a+b) content, and also the highest level of grain performance and biological yield were observed in 100% urea + Zinc sulfate fertilizer treatment. The results showed that high yield of wheat in this treatment was a function of plant physiological behavior, showing a positive interaction between nitrogen and zinc.

Keywords: Morphological traits, Nitrogen sources, Physiological indicators, Wheat, Yield, Zinc sources.

[*]Corresponding author; mohalirez@yahoo.com