



دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

نقش نانو ذرات نقره و هیومیک اسید بر عملکرد کمی و کیفی ذرت در شرایط کم آبیاری

مصطفی صادقی کوچصفهانی^۱، مرتضی سام دلیری^{۲*}، علی افتخاری^۳، توفیق احمدی^۳ و سید امیرعباس موسوی میرکلائی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵

چکیده

استفاده از هیومیک اسید و نانو ذرات نقره در شرایط تنش خشکی می تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد کمی و کیفی گیاه ذرت داشته باشد. به همین منظور آزمایشی طی سال های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس بصورت کرت های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی در کرت اصلی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به عنوان شاهد، ۸۰، ۶۰ درصد نیاز آبی) و کرت فرعی شامل نانو ذره نقره در چهار سطح (شاهد بدون کاربرد، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میکرولیتر بر لیتر) و کرت فرعی شامل هیومیک اسید در سه سطح (شاهد، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ گرم در هکتار) قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه در آبیاری کامل با کاربرد ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۱۰۵۸۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و سپس تیمار آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی با کاربرد ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول با ۱۰۵۰۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشت. بیشترین شاخص برداشت نیتروژن در آبیاری کامل با کاربرد ۱۰۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۱/۴۵ درصد حاصل شد و کمترین شاخص برداشت نیتروژن در دور آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۱۰۰ میکرولیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۱/۰۹ درصد حاصل شد. با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از هیومیک اسید و نانو ذرات نقره در شرایط تنش خشکی می تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد کمی و کیفی ذرت داشته باشد.

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران. مسئول مکاتبات: dr.m.samdeliri@gmail.com

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.

کلمات کلیدی: تنش خشکی، پروتئین، شاخص برداشت، عملکرد دانه

صادقی کوچصفهانی، م.، سام دلیری، م.، افتخاری، ع. احمدی، ت. و موسوی میرکلائی، س. الف. ع. نقش نانو ذرات نقره و هیومیک اسید بر عملکرد کمی و کیفی ذرت در شرایط کم آبیاری. (۱۵): ۵۴-۱۹۷

مقدمه

ذرت سومین گیاه زراعی مهم جهان است که به دو منظور (دانه‌ای و علوفه‌ای) استفاده می‌شود و نقش مهمی در تغذیه انسان و دام دارد (فتحی و همکاران، ۲۰۲۰؛ زیدعلی و همکاران، ۲۰۲۲). سطح زیر کشت ذرت بر اساس آمار سازمان خواروبار جهانی، حدود ۱۹۷ میلیون و ۲۰۴ هزار هکتار و میزان تولید سالانه این گیاه حدود ۱ میلیارد و ۱۴۸ میلیون تن گزارش شده است (فائو، ۲۰۱۹). در ایران در سال ۲۰۱۹ تولید سالانه آن در حدود ۱ میلیون و ۴۰۰ هزار تن و سطح زیر کشت این گیاه نیز بیش از ۲۰۳ هزار هکتار گزارش شده است (فائو، ۲۰۱۹). تولید محصولات زراعی در سرتاسر جهان با چالش‌های متعددی مانند تغییرات آب و هوایی، شهرنشینی و تنش‌های محیطی به ویژه تنش خشکی مواجه است که از طرفی افزایش بی‌سابقه تقاضای غذا این مشکلات را بزرگ‌تر می‌کند (قدیرنژاد شیاذه و همکاران، ۲۰۲۳). یکی از مشکلات عمده در بهره‌وری کشاورزی در جهان، تنش خشکی است (نصیری محلاتی و همکاران، ۲۰۲۲). تنش خشکی مانع تولید محصول می‌شود، به این دلیل که کمبود آب بر صفات فیزیولوژیکی که بر رشد و عملکرد ذرت تأثیر به‌سزایی دارند، اثر منفی می‌گذارد (نصیری محلاتی و همکاران، ۲۰۲۲). محققان در یک بررسی اظهار داشتند تنش کم آبی باعث کاهش ۲۲/۸ درصدی عملکرد دانه، ۱۵ درصدی وزن صد دانه و ۱۰ درصدی تعداد دانه در ردیف بلال ذرت گردید (نصرالله زاده اصل و همکاران، ۲۰۱۷). تغییرات جهانی در بخش کشاورزی در سطح ساختاری به دلیل توسعه سریع نوآوری‌های فناوری رخ می‌دهد. در این رابطه، پیشرفت‌هایی در فناوری‌هایی صورت می‌گیرد که می‌تواند بر کیفیت و کمیت محصول تأثیر بگذارد و در نهایت از محیط‌زیست محافظت کند (مصطفی فراگ و همکاران، ۲۰۲۰). چنین تکنیک‌هایی شامل استفاده از نهاده‌های کشاورزی مقرون به‌صرفه و کاهش یافته با افزایش همزمان در تولید کشاورزی است (حبیب و همکاران، ۲۰۲۰). در این عصر، فناوری نانو، یکی از امیدبخش‌ترین زمینه‌های علم، امکانات نامحدودی برای توسعه برای بسیاری از حوزه‌ها از جمله کشاورزی به ارمغان می‌آورد. اخیراً، نانوذرات نقره به دلیل خواص فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی منحصربه‌فردشان مورد توجه محققان قرار گرفته است (عبدالعظیم و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض سطوح بهینه نانو ذرات نقره می‌تواند رشد گیاه را افزایش دهد (سلیمان و همکاران، ۲۰۲۰). بسیاری از گزارش‌ها نشان می‌دهند که سیستم آنتی‌اکسیدانی و اثر بهبودی حذف رادیکال‌های آزاد پس از قرار گرفتن گیاه در معرض غلظت بهینه نانوذرات به شدت تحریک می‌شوند (سیگامونی و همکاران، ۲۰۱۶؛ صدیقی و هوسن، ۲۰۱۶). استفاده از کودهای شیمیایی در دراز مدت منجر به تخریب ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. از طرف دیگر مصرف بی‌رویه و بدون توجه به آزمون خاک و نوع گیاه، جهت دستیابی به حداکثر عملکرد در بلند مدت باعث بروز مشکلاتی از قبیل افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، انرژی ورودی و کاهش محصول می‌شود (فتحی و همکاران، ۲۰۲۰). در بوم‌نظام‌های زراعی استفاده از اصول کشاورزی پایدار

به دنبال راهکارهایی برای کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشد و امروزه رویکرد جهانی در تولید گیاهان به سمت و سوی کشاورزی پایدار و به کارگیری روش‌های مدیریتی پایدار می‌باشد (عینی و همکاران، ۲۰۲۳). اسید هیومیک در اثر تجزیه مواد آلی به ویژه موادی با منشأ گیاهی به وجود می‌آید و در خاک، زغال سنگ و پیت یافت می‌شود (نصیری، ۲۰۲۲). اسید هیومیک مخلوطی از مولکول‌های بسیار بزرگ با قابلیت کلات‌کنندگی عناصر غذایی، افزایش جذب آنها و حاصلخیزی خاک از مهمترین اجزاء هوموس خاک هستند (گاتام و همکاران ۲۰۲۱). اسید هیومیک با بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی، منجر به افزایش رشد و عملکرد می‌شود و در نتیجه نیاز به مصرف کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهد (لی و همکاران ۲۰۱۹؛ رکابی و همکاران، ۲۰۲۳). نتایج بررسی کاربرد اسید هیومیک در گیاهان مختلف نشان داد که کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش ارتفاع بوته، عملکرد دانه و وزن هزار دانه، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عناصر دانه نسبت به شاهد گردید (گیو و همکاران ۲۰۲۲؛ عینی و همکاران، ۲۰۲۳؛ محمدی و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به اینکه نیاز به افزایش تولید ذرت به عنوان مهمترین غله از نظر کمی و کیفی وجود دارد، استفاده تلفیقی از هیومیک اسید و نانو ذرات نقره می‌تواند یک رویکرد مناسب برای افزایش رشد و عملکرد ذرت در شرایط تنش خشکی به صورت پایدار فراهم کند. در استان مازندران هرساله سطح زیادی از اراضی زیر کشت ذرت قرار می‌گیرد، اما به دلیل عوامل مختلف میزان تولید ذرت به حداکثر خود نمی‌رسد و عملکرد کاهش می‌یابد. لذا جهت افزایش تولید کمی و کیفی ذرت، انجام مطالعات در زمینه مواد طبیعی و سازگار با محیط به ویژه شرایط تنش خشکی ضروری می‌باشد که ضمن افزایش عملکرد گیاه، باعث کاهش مصرف کود شیمیایی و آلودگی زیست محیطی گردد.

مواد و روشها

این تحقیق در سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، دارای عرض جغرافیایی ۱۲ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۳۱ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. جهت تعیین خصوصیات خاک و در هر دو سال آزمایش قبل از اجرا نمونه‌گیری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری انجام و نتایج آن در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

عمق خاک (سانتیمتر ۰-۳۰)	pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	رس درصد	سیلت درصد	شن درصد	نیترژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)
سال اول	۷/۳	۰/۸	۳۹	۳۱	۳۰	۰/۱۳	۱۲/۵	۳۸۳
سال دوم	۷/۱	۱/۲	۳۸	۳۲	۳۰	۰/۱۲	۱۳/۵	۳۸۸

این آزمایش به صورت کرت های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کم آبیاری، هیومیک اسید و نانو ذره نقره بود. کرت اصلی شامل کم آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به عنوان شاهد، ۸۰، ۶۰ درصد نیاز آبی) و کرت فرعی شامل نانو ذره نقره در چهار سطح (شاهد بدون کاربرد، ۸۰، ۶۰ و ۱۰۰ میکرولیتر بر لیتر) و هیومیک اسید در سه سطح (شاهد، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ گرم در هکتار) در کرت فرعی قرار گرفت. نیاز آبی با استفاده از روش رطوبت وزنی محاسبه گردید. برای این منظور رطوبت وزنی خاک به صورت روزانه و مرتب اندازه گیری شده و زمانی که رطوبت خاک به حد رطوبت آبیاری رسید آبیاری انجام شد. مقدار آب آبیاری در هر آبیاری از معادله زیر محاسبه شد (مارتین و همکاران، ۱۹۹۰).

معادله (۱)

$$In = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \times \rho_b \times D_r$$

In: عمق خالص آب آبیاری (cm)

θ_{FC} و θ_{PWP} : درصد وزنی رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و ظرفیت زراعی

MAD: حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک (ضریب سهل الوصول)

ρ_b : وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)

D_r : عمق توسعه ریشه (cm)

ذرت مورد استفاده هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ بود که هیبریدی دیررس با طول دوره رشد (بسته به شرایط محیطی) تا مرحله شیری خمیری ۱۳۵-۱۲۰ روز و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ۱۵۰ روز است. قبل از کاشت زمین آبیاری شد و سپس بعد از گاورو شدن یک شخم عمیق زده شد، بعد از آن دو دیسک به صورت عمود بر هم و به وسیله ماله زمین تسطیح شد. هر کرت شامل ۵ خط کاشت به طول ۴ متر که فواصل بین ردیف ۷۵ سانتیمتر و روی ردیف ۲۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. تراکم نهایی بوته به مقدار ۸/۸ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. عمق بذر ۳-۵ سانتیمتر به وسیله ایجاد شیار بر روی پشته ایجاد گردید. در مرحله ۴ تا ۵ برگی پس از حصول اطمینان از سبز شدن و استقرار بوته های اضافی حذف و کپه ها به صورت تک بوته باقی ماندند. بر اساس آزمایش خاک نیازی به مصرف کود پتاسیم نبود. کود نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره طی دو مرحله پیش از کاشت، ساقه رفتن (شش تا هشت برگی) و فسفر به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل پیش از کاشت استفاده شد. محلول پاشی هیومیک اسید و نانو نقره در طی دو نوبت (در مرحله ۱۲ برگی و ظهور گل آذین) در عصر انجام شد. همچنین برای عدم تداخل در محلول پاشی سه روز پس از محلول پاشی هیومیک اسید از نانو نقره استفاده شد. در مرحله داشت هیچ گونه آفتی مشاهده نشد. مبارزه با علف های هرز با مصرف سم نیکوسولفورون به میزان دو لیتر در هکتار ۴۰ روز پس از کاشت انجام شد. در برداشت نهایی پس از حصول اطمینان از رسیدگی فیزیولوژیک، برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از هر کرت دو مترمربع مشخص و عملکرد آنها اندازه گیری شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک حاصل شد. نیتروژن به روش کجلدال (جکسون، ۱۹۶۴) محاسبه شد. پروتئین دانه از ضرب نیتروژن دانه در عدد ۶/۲۵

حاصل شد. همچنین عملکرد پروتئین از حاصل ضرب عملکرد دانه در میزان پروتئین دانه به دست آمد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹,۴ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد. برای اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها به منظور ادغام داده‌ها، آزمون بارتلت انجام شد که نتایج حاکی از عدم معنی داری داده‌ها و فراهمی لازم برای ادغام بودند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری، کود نانو نقره و هیومیک اسید بر عملکرد گیاه ذرت در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد اثر متقابل سال در آبیاری، سال در کود نانو نقره در سطح یک درصد و آبیاری در نانو نقره در سال در سطح پنج درصد و اثر چهارگانه سال در آبیاری در نانو نقره در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد دانه در آبیاری کامل با کاربرد ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۱۰۵۸۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و سپس تیمار آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی با کاربرد ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول با ۱۰۵۰۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشت (جدول ۳). کمترین عملکرد دانه در دور آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی و ۸۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول ۷۸۴۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). افزایش عملکرد دانه به دلیل توانایی هیومیک اسید بر روی فرآیند رشدی و زایشی ذرت می‌باشد. هیومیک اسید، نفوذ پذیری غشاهای سلولی را افزایش داده و بدین طریق ورود پتاسیم را تسهیل می‌کند که نتیجه آن افزایش فشار داخل سلولی و تقسیم سلول است. از طرف دیگر افزایش انرژی در داخل سلول منجر به افزایش تولید کلروفیل و میزان فتوسنتز خواهد شد. به دنبال آن یک عامل مهم در رشد یعنی جذب نیتروژن به درون سلول تشدید می‌گردد و تولید نیترات کاهش می‌یابد که در نهایت این اثرات منجر به افزایش تولید می‌شود (تدین و بهشتی، ۱۳۹۵). صالحی و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که تیمار نانو نقره (۵۰ میلی گرم بر لیتر) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و در نهایت بهبود استقرار گندم گردید.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر صفات عملکردی ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	درصد نیتروژن	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین
سال	۱	۱۵۵۹۹۶۴۰/۴۰	۱۹۳۲۳۰۹/۵۰	۱۲۳/۵۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۸۶۲۲۷۴۷۰۹
تکرار(سال)	۴	۱۰۴۲۳۵۳/۲۰	۱۶۹۱۷۱۶۴/۲۰	۶۱/۶۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۷۱۸۷۸۲۴۶۸
آبیاری	۲	۳۷۲۹۱۰۸/۴۷	۹۸۲۳۲۳/۲۰	۶۰/۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۴۵	۲۵۹۵۷۰۷۷۴
آبیاری در سال	۲	۸۷۷۵۲۰۸/۵۰*	۳۸۶۵۷۸۳۳/۳۰*	۸۷/۱۸	۰/۰۲۹*	۰/۰۰۶	۷۴۷۲۶۴۷۰
خطای آبیاری	۸	۱۸۹۹۷۲۰/۵۳	۱۲۳۲۱۳۳۷/۲۰	۱۰۹/۶۸	۰/۰۰۶	۰/۰۲۶	۲۱۰۱۰۹۰۷۱
نانو نقره	۳	۱۱۰۶۹۰۱۴/۰۸	۳۲۷۵۱۶۵۷/۳۰	۳۷/۳۰	۰/۰۲۲	۰/۰۸۴	۹۲۶۳۱۹۶۹۴
هیومیک اسید	۲	۶۱۱۹/۲۳	۳۸۱۲۴۷/۰۰	۰/۵۶	۰/۱۱۷	۴/۶۵	۳۹۷۹۵۶۴۹۸
نانو در سال	۳	۵۰۵۶۸۳۵/۶**	۲۳۵۸۸۱۳۰/۰۰*	۲۸/۸۵	۰/۰۱۵*	۰/۰۵۶*	۴۹۸۲۸۱۷۸۱*
هیومیک در سال	۲	۱۰۳۳۹۹/۵۱	۱۱۶۵۲۲۸/۰۰	۲/۹۳	۰/۰۳۵**	۱/۳۵**	۸۳۳۴۷۲۴۸
آبیاری در نانو	۶	۲۹۹۸۳۵۵/۵۶	۱۵۸۶۷۸۲/۷۰	۶۴/۷۲	۰/۰۰۷	۰/۰۲۵	۱۶۳۴۵۹۶۸۴
آبیاری در هیومیک	۴	۴۹۴۶۲۴/۸۸	۳۰۳۱۷۴/۳۰	۱۲/۴۶	۰/۰۱۱	۰/۰۴۴	۲۹۰۰۸۱۲۳
آبیاری در نانو در سال	۶	۲۱۷۴۳۷۶/۵۸*	۸۷۸۷۰۴۳/۶۰	۵۵/۶۹*	۰/۰۰۶	۰/۰۲۵	۹۱۵۴۶۳۹۱
آبیاری در هیومیک در سال	۴	۲۴۱۷۷۸/۰۵	۱۷۴۶۴۲۷/۶۰	۱۹/۷۰	۰/۰۰۹	۰/۰۳۶	۲۹۱۳۸۶۸۹
نانو در هیومیک	۶	۳۸۱۴۵۸/۸۳	۳۴۴۷۴۰/۵۰	۹/۰۲	۰/۰۱۰*	۰/۰۴۰*	۷۸۱۶۲۴۷۹
نانو در هیومیک در سال	۶	۵۰۱۱۳۳/۷۷	۳۵۷۱۲۵۷/۵۰	۳۴/۲۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۴۱۸۰۸۴۴۷
آبیاری در نانو در هیومیک	۱۱	۲۷۷۸۳۰/۹۴	۳۹۱۲۵۰۲/۹۰	۲۲/۳۹	۰/۰۰۳	۰/۰۱۲	۳۴۸۶۱۱۵۱
آبیاری در نانو در هیومیک در سال	۱۱	۱۳۷۳۰۷۶/۵۴*	۱۶۶۹۹۹۶۷**	۵۲/۹۷*	۰/۰۰۹*	۰/۰۳۳*	۱۱۸۷۰۶۵۰۰*
خطای کل	۱۳۴	۶۸۷۷۲۳/۵۰	۵۹۱۴۹۵۹/۰۰	۲۳/۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۷	۵۸۹۶۰۸۰۱
ضریب تغییرات (%)	-	۹/۹۹	۱۰/۹۶	۱۲/۱۳	۹/۸۷	۸/۵۶	۱۰/۹۷

***, * به ترتیب نشان دهنده اثر معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سال، دور آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر عملکرد دانه ذرت

سال	آبیاری (نیاز آبی)	نانو ذره نقره (میکرو لیتر بر لیتر)	هیومیک اسید (گرم در هکتار)	
			۵۰۰	۱۰۰۰
اول	٪ ۶۰	۰	۷۸۴۱ u	۸۹۵۳/۳۳ rstu
	۶۰	۶۰	۹۰۵۰/۳۳ p-u	۸۷۷۴/۳۳ rstu
	۸۰	۸۰	۸۰۲۴/۳۳ stu	۸۳۳۶ o-u
	۱۰۰	۱۰۰	۸۳۱۱ o-u	۸۸۵۴/۶۷ qrstu
	٪ ۸۰	۰	۹۴۷۷/۳۳ n-r	۹۴۱۷/۳۳ m-r
	۶۰	۶۰	۱۰۲۳۵/۶۷ efg	۱۰۵۰۶/۳۳ ab
	۸۰	۸۰	۸۸۳۱/۳۳ stu	۸۹۷۹/۶۷ p-u
	۱۰۰	۱۰۰	۸۲۸۴/۳۳ p-u	۸۳۷۹ rstu
	شاهد	۰	۹۶۴۰ no	۹۲۸۱/۳۳ n-t
	۶۰	۶۰	۱۰۴۱۶ abc	۱۰۲۴۴/۳۳ a-g
	۸۰	۸۰	۸۵۳۶/۳۳ rstu	۸۱۳۹/۶۷ rstu
	۱۰۰	۱۰۰	۸۲۳۵/۶۷ qrstu	۸۰۳۷ stu
	٪ ۶۰	۰	۸۹۳۳ qrstu	۸۷۷۷ qrstu
	۶۰	۶۰	۹۰۶۲/۳۳ p-u	۱۰۲۳۵/۶۷ a-g
	۸۰	۸۰	۹۵۲۷/۶۷ opq	۱۰۰۴۷/۶۷ hijk
	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۱۷۸/۳۳ ghi	۸۸۴۴/۶۷ rstu
	٪ ۸۰	۰	۸۸۷۵/۶۷ qrstu	۹۵۳۸ opq
	دوم	۶۰	۹۴۳۷/۳۳ opqr	۱۰۲۴۶ defg
	۸۰	۸۰	۱۰۲۴۹ defg	۱۰۲۸۲ a-f
	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۲۸۶ a-e	۸۵۷۷/۳۳ qrstu
	شاهد	۰	۱۰۱۷۵ d-i	۹۷۰۷/۶۷ klmn
	۶۰	۶۰	۹۹۵۸ hijk	۱۰۱۹۳/۳۳ efgh
	۸۰	۸۰	۹۳۴۰/۶۷ n-s	۹۱۹۰/۳۳ pqrst
	۱۰۰	۱۰۰	۸۳۴۸/۳۳ o-u	۸۸۹۴/۶۷ rstu

تفاوت معنی داری باهم ندارند. LSD در هر تیمار، میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون

شاخص برداشت

با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول ۲، اثر متقابل نانو نقره در آبیاری در سال و اثر چهارگانه سال در آبیاری در نانو نقره در هیومیک اسید در سطح پنج درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت در آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی با کاربرد ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۵۱/۸۷ درصد حاصل شد کمترین شاخص برداشت در دور آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۸۰ میکرولیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول به میزان ۳۵/۱۷ و سپس تیمار دور آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۸۰ میکرولیتر نانو نقره و عدم کاربرد هیومیک اسید در سال اول مشاهده شد (جدول ۴). عملکرد دانه و عملکرد زیستی نیازمند موازنه صحیح بین اندازه دستگاه فتوسنتزی و تداوم آن، سرعت فتوسنتز، سرعت انتقال و توزیع مواد فتوسنتزی به اندام‌ها، تعداد و اندازه دانه و ظرفیت آنها از نظر تجمع مواد فتوسنتزی می‌باشد. تدین و بهشتی (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای عنوان کردند هیومیک اسید باعث افزایش شاخص برداشت شده است. نتایج مطالعه محققان نیز نشان می‌دهد کاربرد هیومیک اسید باعث افزایش شاخص برداشت گیاه ذرت گردیده است که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد (والانداری و همکاران، ۲۰۱۹؛ پراکوسو و همکاران، ۲۰۲۰).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سال، دور آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر شاخص برداشت ذرت

سال	آبیاری (نیاز آبی)	نانو ذره نقره (میکرولیتر بر لیتر)	هیومیک اسید (گرم در هکتار)	
			۵۰۰	۱۰۰۰
	۶۰٪	۰	۳۶/۷۳ j-m	۳۹/۷۷ klm
		۶۰	۴۰/۸۳ j-m	۳۹/۸ klm
		۸۰	۳۵/۴۳ lm	۴۰/۰۷ klm
		۱۰۰	۴۱/۹۷ i-m	۳۸/۸۷ lm
اول	۸۰٪	۰	۴۱/۴۳ j-m	۳۹/۱ klm
		۶۰	۴۵/۴ efgh	۵۱/۸۷ a
		۸۰	۴۳/۲۳ g-k	۴۱/۷۳ klm
		۱۰۰	۳۹/۸ j-m	۳۷/۸۳ h-m
	شاهد	۰	۳۹/۰۵ j-m	۴۱/۷ klm
		۶۰	۴۶/۱۷ defg	۳۹/۶۷ k-m
		۸۰	۳۹/۰۳ j-m	۳۵/۱۷ m
		۱۰۰	۴۰/۷۱ j-m	۴۴/۴ f-j

۳۹/۷ j-m	۳۸/۵۴ m	۳۸/۸۳ i-m	۰	٪ ۶۰	
۴۲/۵ j-m	۴۴/۵ d-i	۴۱/۷ i-m	۶۰		
۴۱/۸ i-m	۴۵/۱۳ e-h	۴۱/۸ i-m	۸۰		
۴۳/۹ h-k	۴۶/۳۷ def	۴۶/۷۴ a-e	۱۰۰		
۴۲/۸۷ i-m	۴۰/۲۷ klm	۳۸/۸ i-m	۰	٪ ۸۰	دوم
۴۱/۲۷ klm	۴۰/۶۷ klm	۳۹/۹۷ i-m	۶۰		
۴۴/۴۷ f-j	۴۵/۴ fgh	۴۸/۱۷ abc	۸۰		
۴۳/۵۳ jk	۳۹/۱ lm	۴۵/۰۳ d-h	۱۰۰		
۴۳/۰۷ h-l	۴۸/۰۳ abc	۴۶/۰۷ d-g	۰	شاهد	
۴۹/۱۳ ab	۴۶/۹۷ a-d	۴۵/۱۳ e-h	۶۰		
۴۵/۵۳ e-h	۳۸/۷ lm	۴۳/۵۷ h-k	۸۰		
۳۶/۵۳ k-m	۴۳/۶۴ ijk	۳۷/۱۳ i-m	۱۰۰		

تفاوت معنی داری باهم ندارند. LSD در هر تیمار، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون

درصد نیتروژن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر متقابل سال در آبیاری، سال در کود نانو نقره و نانو نقره در هیومیک اسید در سطح پنج درصد و هیومیک اسید در سال در سطح احتمال یک درصد و اثر چهارگانه سال در آبیاری در نانو نقره در هیومیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای نیتروژن دانه معنی دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین شاخص برداشت نیتروژن در آبیاری کامل با کاربرد ۱۰۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۱/۴۵ درصد حاصل شد و کمترین شاخص برداشت نیتروژن در دور آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۱۰۰ میکرولیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول به میزان ۱/۰۹ درصد مشاهده شد (جدول ۵). لیو و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر هیومیک اسید و ورمی کمپوست بر رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه ذرت پرداختند که نتایج آنها نشان داد کود اسید هیومیک و ورمی کمپوست می‌توانند بر ساختار جامعه قارچ در مرحله شش برگ و ساختار جامعه باکتریایی در مرحله برداشت تأثیر بگذارند، که در نتیجه باعث بهبود در دسترس بودن مواد مغذی خاک و جذب عناصر غذایی ذرت می‌شود. کود اسید هیومیک و ورمی کمپوست می‌توانند باعث افزایش جذب نیتروژن گیاه ذرت در دوره رشد رویشی و جذب مواد مغذی فسفر و پتاسیم در دوره رشد تولید مثل و مرحله برداشت ذرت شوند، که نقش مهمی در افزایش عملکرد ذرت در خاک شور ساحلی ایفا کرده است. بنابراین، کاربرد کود اسید هیومیک می‌تواند به عنوان عملی برای بهبود خاک شور ساحلی استفاده شود. مواد هیومیک نقش بسیار مهمی در فرآیندهای مختلف محیطی دارند. آنها چرخه جهانی کربن

و نیتروژن را تنظیم می‌کنند همچنین فرآیندهای زندگی موجودات و گیاهان در خاک را تحریک می‌کنند (ویزکواسکی و همکاران، ۲۰۲۳). گزارشات نشان می‌دهد هیومیک اسید به دلیل تأثیری که بر متابولیسم اولیه و ثانویه در گیاهان دارند و دسترسی به مواد مغذی (به طور عمده نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن و روی) را بهبود می‌بخشند (ویزکواسکی و همکاران، ۲۰۲۳؛ همتی و همکاران، ۲۰۲۲؛ ساواریس و همکاران، ۲۰۲۲).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سال، دور آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر نیتروژن ذرت

سال	آبیاری (نیاز آبی)	نانو ذره نقره (میکرولیتر بر لیتر)	هیومیک اسید (گرم در هکتار)	
			۵۰۰	۱۰۰۰
اول	٪ ۶۰	۰	۱/۳۶ g-l	۱/۳۷ f-j
		۶۰	۱/۲۹ rstu	۱/۲۶ r-v
		۸۰	۱/۳ q-u	۱/۴۱ a-d
		۱۰۰	۱/۲۱ tuv	۱/۲۴ stuv
	٪ ۸۰	۰	۱/۴۳ abc	۱/۳۱ o-t
		۶۰	۱/۴ d-g	۱/۲۹ q-u
		۸۰	۱/۴۱ a-e	۱/۲۵ r-v
		۱۰۰	۱/۳۶ h-l	۱/۰۹ w
	شاهد	۰	۱/۴۵ a	۱/۲۹ q-u
		۶۰	۱/۳۷ g-k	۱/۳۵ i-m
		۸۰	۱/۴ a-f	۱/۳۴ l-p
		۱۰۰	۱/۲۹ q-u	۱/۲۸ q-v
	٪ ۶۰	۰	۱/۳۵ mn	۱/۲۶ r-v
		۶۰	۱/۲۶ q-v	۱/۲۶ s-v
دوم		۸۰	۱/۳۸ gh	۱/۲۷ s-v
		۱۰۰	۱/۴ efg	۱/۲۲ r-v
	٪ ۸۰	۰	۱/۳۵ h-m	۱/۲۶ r-v
		۶۰	۱/۳۳ nop	۱/۳۳ n-q
		۸۰	۱/۳۸ ghi	۱/۳۳ n-q
		۱۰۰	۱/۳۲ p-s	۱/۲۱ uv

۱/۳ q-u	۱/۲۸ r-v	۱/۲۱ s-v	۰	شاهد
۱/۲۸ r-v	۱/۳۵ j-m	۱/۲۸ r-v	۶۰	
۱/۲۷ q-v	۱/۳۴ l-o	۱/۳۱ o-u	۸۰	
۱/۲۶ s-v	۱/۳۱ q-u	۱/۳۲ pqr	۱۰۰	

تفاوت معنی داری با هم ندارند. LSD در هر تیمار، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون

پروتئین دانه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل نانو نقره در سال و اثر چهارگانه سال در آبیاری در نانو نقره در هیومیک اسید در سطح پنج درصد بر عملکرد پروتئین دانه معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین پروتئین دانه در آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی با کاربرد ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۹/۰۶ درصد حاصل شد و سپس تیمار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی با کاربرد ۸۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول با ۸/۹۹ درصد پروتئین دانه را داشت. کمترین پروتئین دانه در دور آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۱۰۰ میکرولیتر نانو نقره و ۱۰۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید در سال اول ۶/۸۱ درصد مشاهده شد (جدول ۶). راهوما و محمد (۲۰۲۱) در پژوهشی عنوان کردند کاربرد هیومیک اسید تاثیر معنی داری بر میزان پروتئین دانه دارد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. تدین و بهشتی (۱۳۹۵) نیز بیان داشتند درصد پروتئین گیاه دان سیاه تحت تاثیر کاربرد هیومیک اسید افزایش می‌یابد. در آزمایش‌های جداگانه مزرعه‌ای روی گندم و ذرت مشاهده شد که کاربرد اسید هیومیک به صورت محلول پاشی میزان پروتئین را افزایش داد (نصیرالسلامی و همکاران، ۲۰۲۱؛ کیانی و همکاران، ۲۰۲۰).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر سال، دور آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر پروتئین دانه ذرت

سال	آبیاری (نیاز آبی)	نانو ذره نقره (میکرو لیتر بر لیتر)	هیومیک اسید (گرم در هکتار)	
			۵۰۰	۱۰۰۰
اول	٪ ۶۰	۰	۷/۷۷ opqr	۸/۵۶ efghi
		۶۰	۸/۱۸ nopq	۷/۹۱ opqr
		۸۰	۸/۱۲ nopq	۸/۸ abcd
		۱۰۰	۷/۵۵ qr	۷/۷۸ opqr
		۰	۸/۱۲ nopq	۸/۲۱ nopq
		۶۰	8 opqr	۸/۰۳ pqr
		۸۰	۸/۲ nopq	۷/۸۱ opqr
		۱۰۰	۸/۱۷ nopq	۶/۸۱ s
		۰	۷/۳۷ rs	۸/۰۸ nopq
		۶۰	۷/۶۳ nopqr	۸/۴۵ ghijk
دوم	٪ ۶۰	۸۰	۷/۷ pqr	۸/۳۶ ijklm
		۱۰۰	۷/۶۳ nopqr	۸/۰۱ pqr
		۰	۸/۱۴ opq	۷/۸۸ opqr
		۶۰	۸/۳۵ ijklm	۷/۸۹ pqr
		۸۰	۸/۱۹ nopq	۷/۹۶ opqr
		۱۰۰	۸/۷۴ def	۷/۶۱ opqr
		۰	۸/۰۱ nopqr	۷/۸۸ pqr
		۶۰	۷/۹۱ opqr	۸/۲۹ jklmn
		۸۰	۸/۰۶ nopq	۸/۲۹ lmn
		۱۰۰	۸/۲۴ mnop	۷/۵۵ qr
شاهد	۰	۷/۵۸ pqr	۷/۹۷ pqr	۸/۱ opq
		۶۰	۸/۰۲ opqr	۸/۰۲ opqr

۷/۹۶ opqr	۸/۳۸ jkl	۸/۲ nopq	۸۰
۷/۹ pqr	۸/۱۹ nopq	۸/۲۶ mno	۱۰۰

تفاوت معنی داری باهم ندارند. LSD در هر تیمار، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون

عملکرد پروتئین دانه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول ۲، اثر متقابل نانو نقره در سال و نانو نقره در هیومیک اسید در سطح پنج درصد و اثر هیومیک اسید در سال در سطح یک درصد بر عملکرد پروتئین دانه ذرت معنی دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد پروتئین دانه در آبیاری کامل با کاربرد ۶۰ میکرولیتر نانو نقره و ۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول به میزان ۹۰۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. کمترین عملکرد پروتئین دانه در دور آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک در سال اول ۵۷۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۷). هیومیک اسید از طریق تاثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت عناصر غذایی و سهولت جذب عناصر ماکرو و باعث افزایش نیتروژن در هیومیک اسید نیز از طریق بهبود جذب دانه می‌شود (قدیرنژاد شیاده و همکاران، ۲۰۲۳؛ ویزکواسکی و همکاران، میکرو منجر به افزایش درصد پروتئین را تسهیل می‌کند سلولی را افزایش داده و بدین طریق ورود پتاسیم (۲۰۲۳). هیومیک اسید، نفوذ پذیری غشاهای افزایش انرژی در داخل سلول منجر داخل سلولی و تقسیم سلول است. از طرف دیگر که نتیجه آن افزایش فشار نیتروژن به دنبال آن یک عامل مهم در رشد یعنی جذب تولید کلروفیل و میزان فتوسنتز خواهد شد. به به افزایش تشدید می‌گردد (شن و همکاران، ۲۰۲۰؛ رسولی و همکاران، ۲۰۲۲) و در وسیله آنتی اکسیدانت‌ها به درون سلول افزایش تولید پروتئین می‌شود. نهایت این اثرات منجر به

جدول ۷ - مقایسه میانگین اثر سال، دور آبیاری، نانو نقره و هیومیک اسید بر عملکرد پروتئین ذرت

سال	آبیاری (نیاز آبی)	نانو ذره نقره (میکرولیتتر بر لیتر)	هیومیک اسید (گرم در هکتار)		
			۰	۵۰۰	۱۰۰۰
	۶۰٪	۰	۷۳۸۲۰/۲۵ q-v	۷۷۵۷۵/۶۴ n-r	۷۶۶۱۵/۵ n-t
	۶۰	۶۰	۷۴۰۴۶/۱۳ s-v	۸۰۲۴۹/۵۹ no	۶۹۴۰۸/۹۴ t-w
	۸۰	۸۰	۶۵۲۶۱/۹۶ u-w	۷۰۶۱۸/۳۴ r-v	۷۴۰۲۳/۰۱ r-v
	۱۰۰	۱۰۰	۶۲۴۳۱/۳۲ vw	۶۴۴۴۴/۵ t-w	۶۹۰۲۲/۶۵ uvw
	۸۰٪	۰	۷۶۶۹۷/۰۳ o-t	۸۵۰۳۳/۴۱ d-g	۷۷۲۸۶/۰۷ n-r
اول		۶۰	۸۲۳۴۶/۶۳ h-l	۸۷۳۸۳/۴۶ a-d	۸۴۹۷۵/۹۸ a-g
		۸۰	۷۲۱۰۳/۴۳ q-v	۷۹۲۳۲/۴۶ m-p	۷۰۵۸۷/۶ q-v

۵۷۵۴۳/۵۶ w	۶۹۹۷۶/۰۳ r-v	۶۷۸۸۷/۹۱ vw	۱۰۰	
۷۴۹۷۶/۱۲ p-u	۸۰۳۷۵/۷۱ k-n	۷۱۰۰۲/۳۵ r-v	۰	شاهد
۸۶۶۳۴/۷۳ a-e	۹۰۲۶۵/۹۵ a	۷۹۴۶۹/۷۸ l-p	۶۰	
۶۸۰۴۵/۸۶ vw	۷۸۴۰۷/۳۳ m-p	۶۵۷۴۸/۴۶ uvw	۸۰	
۶۴۴۴۴/۹۸ t-w	۶۷۸۷۳/۸۵ uvw	۶۲۸۰۷/۰۴ uvw	۱۰۰	
۶۹۰۰۹/۴۷ uvw	۷۴۲۵۱/۰۴ q-v	۷۲۳۸۲/۳۹ r-v	۰	٪ ۶۰
۸۰۷۱۴/۶ h-m	۷۵۲۲۴/۰۸ p-t	۷۵۴۶۷/۳ o-t	۶۰	
۸۰۳۱۴/۸۳ j-n	۸۵۹۹۰/۵۵ a-f	۷۷۹۳۵/۷۵ n-q	۸۰	
۶۷۳۱۷/۲۸ uvw	۸۱۸۲۶/۳۸ g-l	۸۸۸۶۶/۴۷ ab	۱۰۰	
۷۵۲۵۰/۸۱ p-t	78988 m-p	۷۱۲۹۱/۶۲ q-v	۰	٪ ۸۰ دوم
۸۴۹۰۷/۱۳ d-g	۸۴۸۸۱/۰۵ d-g	۷۴۷۳۷/۱۳ r-v	۶۰	
۸۵۲۵۹/۲۵ d-g	۸۳۸۸۲/۳۷ f-i	۸۲۳۲۲/۹۱ h-l	۸۰	
۶۴۸۲۳/۹ s-w	۷۵۳۵۹/۰۲ o-t	۸۴۶۱۵/۵۷ e-h	۱۰۰	
۷۸۴۹۴/۷ nop	۸۳۱۷۴/۵۳ g-j	۷۷۱۴۸/۹۷ o-s	۰	شاهد
۸۲۴۵۷/۵۸ f-k	۸۷۶۹۶/۱۸ abc	۸۰۲۶۶/۴۲ l-o	۶۰	
۷۳۰۸۵/۲۳ r-v	۷۳۸۲۰/۸۶ q-v	۷۶۳۶۱/۱۲ p-t	۸۰	
۷۰۱۴۵/۸۳ s-v	۷۲۰۶۲/۴۶ q-v	۶۹۰۱۸/۶۸ t-w	۱۰۰	

تفاوت معنی‌داری باهم ندارند. LSD در هر تیمار، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون

با توجه به نتایج این مطالعه، استفاده از هیومیک اسید و نانو ذرات نقره در شرایط تنش خشکی می‌تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد کمی و کیفی ذرت داشته باشد. هیومیک اسید باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود و همچنین باعث افزایش تولید کلروفیل و بهبود فتوسنتز می‌شود. نانو ذرات نقره نیز باعث افزایش تولید فتوسنتزی و جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود. بنابراین، استفاده از هیومیک اسید و نانو ذرات نقره در شرایط تنش خشکی می‌تواند بهبود قابل توجهی در رشد، عملکرد و بهبود کیفیت دانه ذرت از جمله افزایش محتوای پروتئین گیاه ذرت و باعث کاهش تأثیرات منفی تنش خشکی بر روی گیاه شود. به طور کلی، استفاده از این مواد در کشت و کار می‌تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد ذرت در شرایط تنش خشکی داشته باشد.

منابع

تدین، ع. و ص. بهشتی. ۱۳۹۵. اثر محلول پاشی اسید هیومیک، آهن و روی بر برخی ویژگی‌های گیاه روغنی دان سیاه (*Guizotia abyssinica* L.) اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۲، شماره ۳۸: ۲۹۶-۲۸۳.

Abdel-Azeem, A., A. A. Nada, A. O'Donovan, V. K. Thakur, and A. Elkelish. 2020. Mycogenic silver nanoparticles from endophytic *Trichoderma atroviride* with antimicrobial activity. *J. Renewable Mater.* 8(2), 171-185.

Eyni, H., M. Mirzaei Heydari, and A. Fathi. 2023. Investigation of the application of urea fertilizer, mycorrhiza, and foliar application of humic acid on quantitative and qualitative properties of canola. *Crop Sci. Res. Arid Regions.* 4(2), 405-420.

Faostat, F. A. O. 2019. Production crops <http://www.fao.org/faostat/en/#data.QC> [URL].

Fathi, A., D. Barari Tari, H. Fallah Amoli, and Y. Niknejad. 2020. Study of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions in corn production systems: influence of different tillage systems and use of fertilizer. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 51(6), 769-778.

Gautam, R. K., D. Navaratna, S. Muthukumaran, A. Singh, and N. More. 2021. Humic substances: its toxicology, chemistry and biology associated with soil, plants and environment. In *Humic Substances* (pp. 97-110). IntechOpen London.

Ghadirnezhad Shiade, S. R., A. Fathi, F. Taghavi Ghasemkheili, E. Amiri, and M. Pessarakli. 2023. Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—A review. *J. Plant Nutr.* 46(9), 2198-2230.

Guo, Y., Z. Ma, B. Ren, B. Zhao, P. Liu, and J. Zhang. 2022. Effects of humic acid added to controlled-release fertilizer on summer maize yield, nitrogen use efficiency and greenhouse gas emission. *Agriculture.* 12(4), 448.

Habib, N., Q. Ali, S. Ali, M. T. Javed, M. Zulqurnain Haider, R. Perveen, and M. Bin-Jumah. 2020. Use of nitric oxide and hydrogen peroxide for better yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit conditions: growth, osmoregulation, and antioxidative defense mechanism. *Plants.* 9(2), 285.

Hemati, A., H. A. Alikhani, L. Ajdanian, M. Babaei, B. Asgari Lajayer, and E. D. van Hullebusch. 2022. Effect of different enriched vermicomposts, humic acid extract and indole-3-acetic acid amendments on the growth of *Brassica napus*. *Plants.* 11(2), 227.

Jackson, M. C. 1964. *Soil chemical analysis*. Constable and Co. Ltd. London. pp: 183-192.

Kiani, S., M. Mojaddam, S. Lak, M. Alavi Fazel, and A. Shokuhfar. 2020. The effect of density and foliar application of humic acid on quantitative yield and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) under drought stress conditions. *Env. Stresses Crop Sci.* 13(4), 1135-1148.

Li, Y., F. Fang, J. Wei, X. Wu, R. Cui, G. Li, and D. Tan. 2019. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: A three-year experiment. *Sci Rep.* 9(1), 12014.

- Liu, M., C. Wang, F. Wang, and Y. Xie. 2019. Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. *Appl Soil Ecol.* 142, 147-154.
- Martin, D. L., Stegman, E. C., and Fereres, E. 1990. Irrigation scheduling principles. IN: Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. p 155-203.
- Mohammadi, F., A. Maleki, and A. Fathi. 2021. Effects of Drought Stress and Humic Acid on Plant Growth, Yield Quality and Its Components of Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). *J. Crop Nutr. Sci.* 7(3), 11-23.
- Moustafa-Farag, M., H. I. Mohamed, A. Mahmoud, A. Elkelish, A. N. Misra, K. M. Guy, and M. Zhang. 2020. Salicylic acid stimulates antioxidant defense and osmolyte metabolism to alleviate oxidative stress in watermelons under excess boron. *Plants.* 9(6), 724.
- Nasiri, Y. 2022. Evaluation of organic and biofertilizer inputs application on yield, yield components and essential oil content of marigold (*Calendula officinalis* L.). *J. Agri Sci. and Sustainable Prod.* 32(2), 97-113.
- Nasiroleslami, E., H. Mozafari, M. Sadeghi-Shoae, D. Habibi, and B. Sani. 2021. Changes in yield, protein, minerals, and fatty acid profile of wheat (*Triticum aestivum* L.) under fertilizer management involving application of nitrogen, humic acid, and seaweed extract. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 21(4), 2642-2651.
- Nasrollahzade Asl, V., S. Moharramnejad, M. Yusefi, A. Bandehhagh, and L. Ibrahimi. 2017. Evaluation of Grain Yield of Maize (*Zea mays* L.) Hybrides Under Water Limitation. *J. Agri Sci. and Sustainable Prod.* 27(2), 85-96.
- Nassiri Mahallati, M., S. Bahamin, A. Fathi, and S. A. Beheshti. 2022. The Effect of Drought Stress on Yield and Yield Components of Maize Using Meta-Analysis Method. *Appl. Field Crops Res.* 35(1), 53-35.
- Prakoso, T., E. Sulistyaningsih, and B. H. Purwanto. 2020. Effect of humic acid on the growth and yield of two maize (*Zea mays* L.) cultivars on andisol. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 5(1), 25-34.
- Rahouma, A., and A. Mahmud. 2021. Maize growth and yield response to different rates of humic acid and zinc. *Alexandria Sci. Exch. J.* 42(4), 823-829.
- Rasouli, F., Y. Nasiri, M. Asadi, M. B. Hassanpouraghdam, S. Golestaneh, and Y. Pirsarandib. 2022. Fertilizer type and humic acid improve the growth responses, nutrient uptake, and essential oil content on *Coriandrum sativum* L. *Sci Rep*, 12(1), 7437.
- Rekaby, S. A., A. A. AL-Huqail, M. Gebreel, S. S. Alotaibi, and A. M. Ghoneim. 2023. Compost and humic acid mitigate the salinity stress on quinoa (*Chenopodium quinoa Willd* L.) and improve some sandy soil properties. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 1-11.
- Salehi, M., F. Tamaskani, M. Ehsani, and M. Arefi. 2010. Priming effect on germination and seedling growth of canola in comparison to nanosilver treatment under salinity stress. *J. Plant Environ. Physiol.* 4(16), 52-57.

- Savarese, C., V. Cozzolino, M. Verrillo, G. Vinci, A. De Martino, A. Scopa, and A. Piccolo. 2022. Combination of humic biostimulants with a microbial inoculum improves lettuce productivity, nutrient uptake, and primary and secondary metabolism. *Plant Soil*. 481(1-2), 285-314.
- Shen, J., M. J. Guo, Y. G. Wang, X. Y. Yuan, Y. Y. Wen, X. E. Song, and P. Y. Guo. 2020. Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. *Plant Signaling Behav.* 15(8), 1774212.
- Siddiqi, K. S., and A. Husen. 2016. Engineered gold nanoparticles and plant adaptation potential. *Nanoscale Res. Lett.* 11, 1-10.
- Sigamoney, M., S. Shaik, P. Govender, and S. B. N. Krishna. 2016. African leafy vegetables as bio-factories for silver nanoparticles: a case study on *Amaranthus dubius* C Mart. Ex ThellS. *Afr. J. Bot.* 103, 230-240.
- Soliman, M., S. H. Qari, A. Abu-Elsaoud, M. El-Esawi, H. Alhaithloul, and A. Elkelish. 2020. Rapid green synthesis of silver nanoparticles from blue gum augment growth and performance of maize, fenugreek, and onion by modulating plants cellular antioxidant machinery and genes expression. *Acta Physiol. Plant.* 42, 1-16.
- Wulandari, P., E. Sulistyaningsih, S. Handayani, and B. H. Purwanto. 2019. Growth and yield response of maize (*Zea mays* L.) on acid soil to different rates of humic acid and NPK fertilizer. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*. 4(2), 76-84.
- Wyszkowski, M., N. Kordala, and M. S. Brodowska. 2023. Trace Element Content in Soils with Nitrogen Fertilisation and Humic Acids Addition. *Agriculture*, 13(5), 968.
- Zeidali, E., R. Moradi, and A. Fathi. 2022. Quantitative and qualitative response of maize yield to tillage systems and nitrogen chemical fertilizer. *Appl. Field Crops Res.* 35(2), 105-85.

The role of silver nanoparticles and humic acid on the quantitative and qualitative yield of corn under low irrigation conditions

Mostafa Sadeghi Kochsafhani², Morteza Samdeliri^{2*}, Ali Eftekhari³, Tofigh Ahmadi³, Seyed Amir Abbas Mousavi Mirkalaei³

Received: 25 Aug. 2023

Accepted: 5 Jan. 2024

Abstract

Using humic acid and silver nanoparticles in drought stress conditions can significantly improve corn's quantitative and qualitative yield. For this purpose, an experiment was conducted during the 2019-2020 and 2020-2021 crop years in the Islamic Azad University, Chalus Branch research farm. This experiment was done in two split plots and a randomized complete block design in three replications. Experimental treatments include low irrigation at three levels (full irrigation as a control, 80, 60% of recommended irrigation) and a sub-plot including silver nanoparticles at four levels (control without application, 60, 80 and 100 microliters/liter) and humic acid. It was placed at three levels (control, 500 and 1000 grams per hectare) in the sub-plot. The average comparison results showed that the highest grain yield in full irrigation or control with the application of 60 microliters of nano silver and 500 grams per hectare of humic acid in the first year was 10582 kg per hectare, and then the irrigation treatment of 80% of the water requirement with the application of 60 microliters of nano Silver and 1000 g/ha of humic acid had the highest seed yield in the first year with 10,506 kg/ha. The results showed that the highest nitrogen harvesting index was achieved in full irrigation with the application of 100 microliters of nano silver and 500 grams per hectare of humic acid in the first year at the rate of 1.45%, and the lowest nitrogen harvesting index was obtained in the irrigation cycle of 80% water requirement and the application of 100 microliters. Nano silver and 1000 grams per hectare of humic acid were observed in the first year at the rate of 1.09%. According to the results of this study, the use of humic acid and silver nanoparticles in drought stress conditions can significantly improve the quantitative and qualitative yield of corn.

Keywords: Drought stress, Protein, Harvest index, Grain yield

1. Department of Agriculture & Plant Breeding, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.

2. Department of Agriculture & Plant Breeding, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.

Corresponding Author: dr.m.samdeliri@gmail.com

3. Department of Agriculture & Plant Breeding, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.