

اثرات تنش کمبود آب بر عملکرد دانه و کارایی نیتروژن ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در مقادیر متفاوت نیتروژن و تراکم بوته

*شهرام لک^۱، احمد نادری^۱، سید عطااله سیادت^۲، امیر آینه بند^۳ و قربان نورمحمدی^۴

به ترتیب^۱ دانشجوی دوره دکتری و استادیار گروه زراعت واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه اهواز، استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز،
^۲استاد گروه زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
تاریخ دریافت: ۸۴/۷/۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۷/۲۴

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثرات تنش کمبود آب، مقادیر متفاوت نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد دانه و ماده خشک، کارایی زراعی نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن و بازیافت ظاهری نیتروژن ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در تابستان ۱۳۸۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در شهرملاثانی اجرا گردید. این پژوهش متشکل از سه آزمایش هر یک به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی بود. در هر یک از آزمایش‌ها یک سطح تیمار آبیاری شامل آبیاری مطلوب، تنش ملایم خشکی و تنش شدید خشکی (به ترتیب آبیاری پس از تخلیه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) اعمال گردید. تیمارهای آبیاری از مرحله چهار تا پنج برگ (مرحله استقرار گیاهچه) انجام شد و تا ۱۰ روز پیش از رسیدگی فیزیولوژیک ادامه یافت. در هر آزمایش نیتروژن به‌عنوان تیمار اصلی دارای سه سطح کاربرد معادل ۱۴۰، ۱۸۰ و ۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و تراکم بوته نیز به‌عنوان تیمار فرعی دارای سه سطح ۶، ۷/۵ و ۹ بوته در مترمربع بودند. هر آزمایش دارای سه تکرار بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تأثیر تنش خشکی، نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد دانه و ماده خشک، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ بلال معنی‌دار بود. با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه و ماده خشک، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ بلال کاهش یافت. تنش خشکی شدید در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب باعث کاهش عملکرد دانه به میزان تقریبی ۴۰ درصد گردید. این کاهش بیشتر بدلیل کاهش تعداد دانه در بلال و وزن دانه بود. با افزایش کاربرد نیتروژن عملکرد دانه و ماده خشک افزایش یافت. عکس‌العمل عملکرد دانه و ماده خشک نسبت به افزایش تراکم مثبت بود. افزایش شدت تنش خشکی و افزایش مصرف نیتروژن موجب کاهش معنی‌دار کارایی زراعی، کارایی مصرف و بازیافت ظاهری نیتروژن گردید. عکس‌العمل این کارایی‌ها نسبت به افزایش تراکم بوته مثبت بود. نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط مختلف رطوبتی، جهت افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها و کاهش هزینه‌ها، تناسب میان میزان مصرف نیتروژن و تراکم بوته‌ها با فراهمی آب در خاک الزامی است.

واژه‌های کلیدی: تنش کمبود آب، نیتروژن، تراکم بوته، کارایی زراعی، کارایی مصرف و بازیافت ظاهری نیتروژن

مقدمه

اندامها به شدت کاهش می‌دهد، دارای اهمیت خاصی است. در شرایط مطلوب استفاده از ارقام پرمحصول توأم با تراکم کاشت مناسب و تأمین مقادیر کافی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن از مهمترین عوامل دستیابی به عملکردهای بالا در ذرت به‌شمار می‌آیند. محققان به این امر پی برده‌اند که عملکرد بالا در اثر مصرف کود، تأمین آب و استفاده از ارقام جدید تنها زمانی به‌دست می‌آید که تعداد گیاه در واحد سطح تنظیم شده باشد (امام و رنجبر، ۱۳۷۹). تراکم مطلوب جهت دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی به ژنوتیپ، هدف تولید و فراهمی آب و مواد غذایی قابل استفاده در خاک بخصوص نیتروژن بستگی دارد. در شرایط مطلوب افزایش تعداد گیاهان تا رسیدن به یک حد مناسب موجب افزایش عملکرد ذرت می‌شود. کمبود آب ناشی از عدم دسترسی به آب کافی و یا همزمانی رشد ذرت با سایر گیاهان تابستانه یکی از معمول‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاه ذرت در مناطق گرم نظیر خوزستان است. در شرایطی که آب کافی در اختیار نباشد مدیریت شرایط مطلوب کارساز نبوده و منجر به هدر رفتن منابع تولید بویژه آب و نیتروژن می‌شود. در چنین شرایطی بازده مصرف آب و نیتروژن کاهش می‌یابد. در صورت مواجهه گیاه با کمبود آب در خاک لازم است مدیریت زراعی به گونه‌ای تغییر کند تا ضمن تولید محصول قابل قبول، بازده مصرف منابع تولید هم بالا نگه‌داشته شود. این امر از یک سو از هزینه تولید ذرت می‌کاهد و از سوی دیگر از مصرف بی‌مورد نیتروژن که با افزایش عملکرد همراه نیست جلوگیری به عمل خواهد آورد. هدف از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر کمبود آب و مقادیر متفاوت نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد دانه و ماده خشک ذرت و دستیابی به راهکارهایی جهت افزایش کارایی مصرف نیتروژن در شرایط مختلف رطوبتی بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات تنش کمبود آب و مقادیر متفاوت نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد دانه و ماده

نیتروژن یکی از ترکیبات اساسی در تغذیه گیاهان زراعی نظیر ذرت می‌باشد. یوهارت و آندرید (۱۹۹۵) اظهار داشتند کمبود نیتروژن عملکرد دانه ذرت را از طریق کاهش تعداد و وزن دانه‌ها کاهش می‌دهد. به عقیده نوروود (۲۰۰۰) و وینهولد و همکاران (۱۹۹۵) مدیریت نامناسب آبیاری و نیتروژن اصلی‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد ذرت محسوب می‌شوند و تعیین مقدار مناسب مصرف نیتروژن از مهمترین عوامل مؤثر بر کارایی مصرف این عنصر محسوب می‌گردد. مقدار مصرف نیتروژن به عوامل مختلفی چون فراهمی آب در خاک، تراکم و رقم مورد استفاده بستگی دارد. به‌طور معمول، افزایش فراهمی آب در خاک باعث افزایش عملکرد ذرت در واکنش به نیتروژن مصرفی می‌شود، بخصوص اگر میزان مصرف کود بالا باشد (بورمن و همکاران، ۱۹۶۲). به‌علاوه جذب نیتروژن نیز به‌شدت تحت تأثیر تأمین آب قرار می‌گیرد (نوروود، ۲۰۰۰). دنمید و شاو (۱۹۷۰) گزارش نمودند که کمبود آب از طریق ایجاد تغییرات آناتومیکی، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد ذرت تأثیر می‌گذارد. شدت خسارت خشکی بر عملکرد بسته به طول مدت و شدت تنش و مرحله رشد گیاه متفاوت است، به‌طوری‌که تنش خشکی پیش از گلدهی، هنگام گلدهی و پس از آن عملکرد ذرت را به‌ترتیب ۲۵، ۵۰ و ۲۱ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش داد (اسبورن و همکاران، ۲۰۰۲). کمبود آب در مراحل گلدهی و گرده‌افشانی باعث کاهش شدید عملکرد از طریق نمو غیرطبیعی کیسه جنینی، عقیمی دانه‌گرد و در نهایت کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌شود (دنمید و شاو، ۱۹۷۰). همچنین، برخی محققین بر اهمیت تأمین آب کافی در مرحله رویشی ذرت تأکید کرده‌اند. به اعتقاد کلاسن و شاو (۱۹۷۰) و نسیمیت و ریچی (۱۹۹۲) تنش آب در مرحله رشد رویشی اگرچه اثر کمتری بر عملکرد نهایی ذرت دارد ولی از این نظر که بر گسترش برگ و توسعه ساقه تأثیر گذاشته و میزان تجمع مواد را در این

درصد رطوبت وزنی خاک مشخص شود. پس از رسیدن درصد رطوبت وزنی خاک به میزان مورد نظر جهت اعمال تیمار آبیاری از رابطه زیر (ساکی نژاد، ۱۳۸۲) حجم آب مصرفی مورد نیاز هر تیمار محاسبه شد:

$$V = \frac{(FC - \beta m) \times P_b \times D_{Root} \times A}{E_i} \quad (1)$$

V = حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب، FC = درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، βm = درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، P_b = وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی مترمکعب)، A = مساحت آبیاری شده بر حسب مترمربع، D_{Root} = عمق توسعه ریشه بر حسب متر، E_i = راندمان آبیاری

بدین ترتیب حجم آب مصرفی در هر مرتبه آبیاری در هر تیمار برای هر خط کاشت محاسبه و براساس کارایی پخش آب ۹۰ درصد با استفاده از پمپ و کتور به صورت یکنواخت توزیع گردید. در مرحله ابریشم دهی جهت تعیین شاخص سطح برگ، پس از حذف حواشی پنج گیاه از خطوط نمونه برداری هر کرت فرعی برداشت شد. جهت محاسبه شاخص سطح برگ، از کلیه برگهای پنج گیاه برداشت شده، استفاده گردید. سطح هر برگ با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (سبحانی، ۱۳۷۹):

$$S = 0.458667(L.W) + 0.000459(L.W)^2$$

$$R^2 \geq 0.98^{**} \quad (2)$$

که در آن S سطح هر برگ، L و W نیز به ترتیب حداکثر طول و عرض هر برگ سبز ذرت می باشند. پس از تعیین مساحت کلیه برگها، شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف آزمایشی محاسبه شد. رسیدن دانهها با تشکیل لایه سیاه در قاعده دانهها در ۱۵ آذر ماه ۱۳۸۳ مشخص گردید و در این مرحله تمامی بوتههای موجود در دو مترمربع وسط هر کرت به صورت دستی برداشت شدند. محصول کل هر کرت فرعی ابتدا بسته بندی و اتیکت گذاری شد و جهت انجام اندازه گیری های مورد نظر به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه بلالها جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد دانه جدا شدند. جهت

خشک، کارایی زراعی، کارایی مصرف و بازیافت ظاهری نیتروژن در ذرت دانه ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴، پژوهشی در تابستان ۱۳۸۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا گردید. خاک قطعه آزمایشی از جنس رسی سیلتی و کشت قبلی نیز گندم بود. این پژوهش شامل سه آزمایش هر یک به صورت کرت های خرد شده در قالب بلوک های کامل تصادفی و سه تکرار بود. در هر یک از آزمایش ها یک سطح تیمار آبیاری اعمال گردید. تیمار آبیاری دارای سه سطح شامل آبیاری مطلوب، تنش ملایم خشکی و تنش شدید خشکی (به ترتیب آبیاری پس از تخلیه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در قالب آزمایش اول E_1 ، آزمایش دوم یا E_2 و آزمایش سوم یا E_3) بود. در هر یک از آزمایش ها، نیتروژن به عنوان تیمار اصلی دارای سه سطح (کاربرد معادل $N_1 = 140$ ، $N_2 = 180$ و $N_3 = 220$ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) و تراکم بوته نیز به عنوان تیمار فرعی دارای سه سطح ($D_1 = 6$ ، $D_2 = 7/5$ و $D_3 = 9$ بوته در مترمربع) بودند. هر کرت فرعی دارای هفت خط کاشت هر کدام به طول هفت متر و به فاصله ۷۵ سانتی متر از یکدیگر بود. کشت بذر به صورت دستی در اوایل مرداد ماه انجام و بوته های اضافی در مرحله ۴-۲ برگی تنک شدند. مقدار کود فسفره بر مبنای مصرف ۹۰ کیلوگرم فسفر (P_2O_5) در هر هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل محاسبه و مصرف شد و نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره تأمین گردید. پنجاه درصد از نیتروژن مورد نیاز هر تیمار به عنوان پایه و ۵۰ درصد باقی مانده به صورت سرک در مرحله ۶-۴ برگی مصرف شد. آبیاری ها براساس تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی خاک تا مرحله استقرار گیاه (۵-۴ برگی) در کلیه تیمارها انجام و از این مرحله به بعد تا ۱۰ روز پیش از رسیدگی فیزیولوژیک گیاه تیمارهای آبیاری به طور دقیق اعمال شد. جهت تعیین دقیق زمان آبیاری در هر تیمار، ۴۸ ساعت پس از هر آبیاری به صورت متوالی توسط اگر از خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه برداری انجام شد تا

تعیین درصد رطوبت کاه و دانه و محاسبه عملکرد ماده خشک کل و دانه، یک نمونه تصادفی از محصول کاه و دانه هر کرت برداشت و در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک گردید و با توجه به وزن اولیه کاه و دانه، عملکرد ماده خشک کل و عملکرد دانه براساس وزن خشک آنها تصحیح شد. جهت محاسبه کارایی زراعی، کارایی مصرف و بازیافت ظاهری نیتروژن، مقدار کل نیتروژن جذب شده توسط گیاهان کود خورده و شاهد (کود نخورده) توسط روش کجلدال تعیین و با استفاده از روابط زیر (علیزاده، ۱۳۷۴؛ هاشمی دزفولی و همکاران، ۱۳۷۴) کارایی‌های مزبور و محتوای نسبی آب برگ بلال محاسبه شدند:

$$\text{عملکرد دانه} = \frac{\text{میزان نیتروژن مصرفی}}{\text{کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)}}$$

$$\text{عملکرد دانه گیاه کود نخورده} - \text{عملکرد دانه گیاه کود خورده} = \frac{\text{میزان نیتروژن مصرفی}}{\text{کارایی زراعی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)}}$$

$$\text{جذب نیتروژن توسط گیاه کود نخورده} - \text{جذب نیتروژن توسط گیاه کود خورده} = \frac{\text{میزان نیتروژن مصرفی}}{\text{کارایی بازیافت ظاهری نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)}}$$

$$\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن تازه برگ} = \frac{\text{محتوای نسبی آب (وزن برگ) (درصد)}}{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن اشباع برگ}}$$

در پایان پس از انجام آزمون بارتلت، جهت تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم افزار رایانه‌ای MSTATC استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس مرکب مربوط به عملکرد دانه نشان داد که تأثیر تنش خشکی، نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). همبستگی میان تنش خشکی و عملکرد دانه منفی و

معنی‌دار بود و با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه کاهش یافت. این کاهش بیشتر به دلیل کاهش تعداد دانه در بلال و وزن دانه بود (جدول‌های ۲ و ۶). گزارش‌های متعددی در خصوص کاهش تعداد دانه در بلال و وزن دانه در اثر تنش خشکی ارائه گردیده است (هارولد، ۱۹۸۶؛ وینهولد و همکاران، ۱۹۹۵). بین عملکرد دانه و مقدار نیتروژن مصرفی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت و افزایش کاربرد نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه شد هر چند میان کاربرد ۱۸۰ و ۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از لحاظ عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول‌های ۲ و ۶). این افزایش بیشتر ناشی از افزایش تعداد دانه در بلال بود. هانوی (۱۹۹۲) نیز معتقد است تعداد دانه یکی از اجزای اصلی عملکرد دانه است و تأثیر مثبت افزایش نیتروژن در بهبود عملکرد دانه بیشتر از طریق افزایش تعداد دانه در بلال است. تفاوت بین تراکم‌های مختلف از لحاظ عملکرد دانه بسیار معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش تعداد بوته در واحد سطح با افزایش قابل ملاحظه عملکرد دانه همراه بود. این افزایش به واسطه افزایش تعداد بلال در واحد سطح بود زیرا با افزایش تعداد بوته در واحد سطح دو جزء دیگر عملکرد دانه یعنی تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه کاهش نشان دادند (جدول ۲). پژوهشگران زیادی به کاهش تعداد دانه در بلال و وزن هزاردانه در اثر افزایش تراکم گیاهی اشاره نموده‌اند (امام و تدین، ۱۳۷۸؛ هاشمی دزفولی و هربرت، ۱۹۹۲). تأثیر متقابل آبیاری و تراکم و نیتروژن و تراکم بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه به میزان ۱۰۵۸/۲۶ گرم در متر مربع از بالاترین تراکم (D3) در تیمار آبیاری مطلوب (E1) به دست آمد که از نظر آماری با میانگین E1D2 تفاوتی نداشت (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از تراکم‌های بالا تنها در شرایط مطلوب می‌تواند مفید باشد. لیانگ و همکاران (۱۹۹۲) گزارش نمودند که حداکثر عملکرد دانه ذرت نیازمند تراکم زیاد، آبیاری زیاد، مصرف زیاد کود و تأمین

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس مرکب اجزاء عملکرد دانه، عملکرد دانه و ماده خشک، محتوای نسبی آب برگ بلال، شاخص سطح برگ مرحله ابریشم دهی و کارایی زراعی، کارایی مصرف و بازیافت ظاهری نیتروژن که در آن میانگین مربعات نشان داده شده است.

میانگین مربعات										
منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد دانه در بلال	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد ماده خشک	محتوای نسبی آب برگ بلال	شاخص سطح برگ	کارایی زراعی مصرف نیتروژن	کارایی مصرف نیتروژن	بازیافت ظاهری نیتروژن
آزمایش	۲	۱۵۱۶۴۱**	۱۸۵۵/۲۳*	۷۴۰۹۵/۶**	۲۲۳۵۲۷۸/۱۷**	۷۳۹/۰۶**	۱۹/۶۱**	۵۵۵/۷۹**	۲۲۷۷/۶۹**	۵۴۰۹/۷۳**
تکرار داخل آزمایش	۶	۹۷۱/۸۳۶	۲۲۵/۴۹	۲۹۲۸/۸۴	۱۲۳۵۸/۵۴۶	۶۷/۵۳	۰/۴۱	۱۳/۶۵	۳۳/۵۴	۶۸/۶۹
نیتروژن	۲	۲۵۲۷۶/۰۶**	۴۱۹/۴۴ NS	۱۳۶۰۵۴/۸**	۴۰۵۱۳/۵۹**	۵۰/۱۵ NS	۱/۶۸**	۷۹/۴۲**	۱۳۳۶/۹**	۲۳۳/۱۴**
آزمایش×نیتروژن	۴	۲۴۱۷/۶۸ NS	۲۹/۷۹ NS	۱۳۷۲۵/۵۸ NS	۳۹۹۰۲/۳۹ NS	۱/۹۹ NS	۰/۳۰*	۲۰/۲۲**	۴/۹۵ NS	۷۳/۷۰*
اشتباه	۱۲	۱۹۴۴/۸۰	۲۹۹/۲۰	۷۵۰۷/۷۴۱	۲۳۷۱۲/۷۴	۳۰/۲۹	۰/۰۹	۲/۷۱	۲۳/۱۸۰	۱۴/۳۹
تراکم	۲	۱۰۲۵۵۴/۹**	۳۳۸۴/۷**	۳۲۵۶۱/۲۸**	۳۴۸۵۳۲/۹۹**	۵۸/۴۹**	۳/۴۱**	۱۱/۰۷*	۱۱۰/۳۵**	۳۴۸/۹۰**
آزمایش×تراکم	۴	۴۳/۰۹۶ NS	۴۵/۵۸ NS	۹۰۵۸/۱۹**	۳۲۵۰۶/۸۹*	۶/۱۲ NS	۰/۵۸**	۷/۸۷*	۲۷/۹۰*	۹۱/۷۰**
نیتروژن×تراکم	۴	۱۳۲۳/۱ NS	۹۲/۳۹ NS	۱۴۵۷۵/۶۰**	۳۳۶۷۱/۲۲*	۷/۵۷ NS	۰/۱۶*	۵۲/۵۶**	۶۱/۶۹**	۱۲۴/۱۱**
آزمایش×نیتروژن×تراکم	۸	۷۴۱/۵۶ NS	۲۵/۶۳ NS	۳۳۳۷/۲۱ NS	۴۲۴۰/۸۲ NS	۱۱/۸۳ NS	۰/۰۵ NS	۱۰/۸۵**	۱۰/۹۷ NS	۲۰/۵۷**
اشتباه	۳۶	۱۱۲۲/۰۵	۱۹۹/۳۷	۲۱۴۷/۹۵۸	۹۹۴۹/۹۹	۸/۶۹	۰/۰۵	۲/۴۹	۷/۵۵	۶/۲۷

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطوح ۵ و یک درصد، NS غیر معنی‌دار

جدول ۲ - مقایسه میانگین های اجزای عملکرد دانه ، عملکرد دانه و ماده خشک، محتوای نسبی آب برگ بلال، شاخص سطح برگ مرحله ابریشم دهی و کارایی زراعی، کارایی مصرف و بازیافت ظاهری نیتروژن تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری، نیتروژن و تراکم با استفاده از آزمون دانکن

تیمار	تعداد دانه در بلال (گرم)	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	عملکرد ماده خشک (گرم در مترمربع)	محتوای نسبی آب برگ بلال (درصد)	شاخص سطح برگ مرحله ابریشم دهی	کارایی زراعی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی مصرف بازیافت ظاهری نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	آبیاری
	۵۴۶/۸۸*	۲۵۱/۹۲a	۱۰۱۷/۰۴a	۱۹۶۷/۵۶a	۹۰/۱۹a	۴/۷۷a	۲۸/۸۰a	۵۷/۵۶a	آبیاری مطلوب
	۴۸۷/۰۷b	۲۴۳/۹ab	۸۷۴/۱۷b	۱۷۲۴/۴۰b	۸۶/۸۱b	۳/۵۷b	۲۳/۳۸b	۴۹/۵۴b	تنش ملایم خشکی
	۳۹۷/۸۹c	۲۳۵/۳۴b	۶۸۶/۹۱c	۱۳۹۴/۲۹c	۷۹/۹۲c	۲/۴۷c	۱۹/۷۹c	۳۹/۲۴c	تنش شدید خشکی
	۴۴۲/۴۶b	۲۳۹/۵۵a	۷۷۹/۶۳b	۱۵۵۷/۴۸b	۸۴/۲۶a	۳/۳۴c	۲۴/۸۸a	۵۵/۶۸a	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
۱۴۰	۴۸۹/۳۴a	۲۴۴/۳۰a	۸۸۲/۸۰a	۱۷۳۵/۷۴a	۸۵/۶۸a	۳/۶۴b	۲۵/۰۸a	۴۹/۰۴b	۱۴۰
۱۸۰	۴۹۹/۹۷a	۲۴۷/۳۷a	۹۱۵/۶۸a	۱۷۹۲/۶۶a	۸۶/۹۸a	۳/۸۴a	۲۲/۰۲b	۴۱/۶۲c	۱۸۰
۲۲۰									۲۲۰
	۵۳۶/۶۶a	۲۵۴/۲۰a	۸۲۰/۸۰b	۱۵۶۶/۰۱b	۸۷/۱۱a	۳/۲۰b	۲۳/۳۴b	۴۶/۶۷c	تراکم (بوته در مترمربع)
۶	۴۸۱/۴۹b	۲۴۵/۰۹b	۸۸۸/۱۴a	۱۷۴۱/۴۴a	۸۵/۶۴ab	۳/۷۶a	۲۴/۰۲ab	۵۰/۷۰a	۶
۷/۵	۴۱۳/۶۲c	۲۳۱/۹۳c	۸۶۹/۱۸a	۱۷۷۸/۸۰a	۸۴/۱۷b	۳/۸۶a	۲۴/۶۲a	۴۸/۹۷b	۷/۵
۹									۹

*در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند در سطح احتمال خطای ۵ درصد معنی دار نیست.

جدول ۳- مقایسه میانگین های اثرات متقابل آبیاری و نیتروژن، آبیاری و تراکم بر عملکرد دانه و ماده خشک و کارایی زراعی، کارایی مصرف و بازیافت ظاهری نیتروژن با استفاده از آزمون دانکن.

تیمار	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	عملکرد ماده خشک (گرم در مترمربع)	کارایی زراعی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی بازیافت ظاهری نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)
آبیاری × نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)					
۱۴۰	۹۰۱/۹۲a*	۱۷۶۶/۹۴a	۲۸/۶۸b	۶۴/۴۲a	۵۹/۵۹b
آبیاری مطلوب × ۱۸۰	۱۰۴۸/۳۱a	۲۰۲۱/۱۳a	۳۰/۴۴a	۵۸/۲۴a	۶۵/۳۵a
۲۲۰	۱۱۰۰/۸۹a	۲۱۱۴/۵۹a	۲۷/۲۹b	۵۰/۰۴a	۵۸/۵۱b
۱۴۰	۷۸۱/۰۶a	۱۵۶۷/۸۶a	۲۳/۲۹cd	۵۵/۷۹a	۴۹/۰۸cd
تنش ملایم خشکی × ۱۸۰	۹۰۴/۲۳a	۱۷۷۷/۳۳a	۲۴/۹۵c	۵۰/۲۳a	۵۲/۴۶c
۲۲۰	۹۳۷/۲۱a	۱۸۲۸/۰۱a	۲۱/۹۱d	۴۲/۶۰۱a	۴۶/۱۰d
۱۴۰	۶۵۵/۹۲a	۱۳۳۸/۷۲a	۲۲/۶۸d	۴۶/۸۵a	۳۷/۴۱e
تنش شدید خشکی × ۱۸۰	۶۹۵/۸۶a	۱۴۰۸/۷۶a	۱۹/۸۵e	۳۸/۶۵a	۳۲/۶۲f
۲۲۰	۷۰۸/۹۵a	۱۴۳۵/۳۹a	۱۶/۸۴f	۳۲/۲۲a	۲۸/۹۸f
آبیاری × تراکم (بوته در مترمربع)					
۶	۹۴۵/۰۸b	۱۷۷۳/۷۱b	۲۷/۷۱b	۵۳/۵۶b	۵۳/۴۴b
آبیاری مطلوب × ۷/۵	۱۰۴۷/۷۸a	۲۰۲۴/۴۳a	۲۸/۰۷b	۵۹/۷۰a	۶۴/۲۲a
۹	۱۰۵۸/۲۶a	۲۱۰۴/۵۲a	۳۰/۶۴a	۵۹/۴۳a	۶۵/۹۷a
۶	۸۳۵/۷۹d	۱۵۹۲/۳۰c	۲۲/۸۳c	۴۷/۴۳d	۴۵/۲۸d
تنش ملایم خشکی × ۷/۵	۹۰۶/۶۴bc	۱۷۷۷/۹۶b	۲۳/۷۰c	۵۱/۶۹bc	۵۱/۶۲bc
۹	۸۸۰/۰۷cd	۱۸۰۲/۹۴b	۲۳/۶۳c	۴۹/۴۹cd	۵۰/۷۳c
۶	۶۸۱/۵۳e	۱۳۳۲/۰۱d	۱۹/۴۸d	۳۹/۰۲e	۳۲/۲۷e
تنش شدید خشکی × ۷/۵	۷۱۰/۰۱e	۱۴۲۱/۹۳d	۲۰/۲۹d	۴۰/۷۱e	۳۴/۳۱e
۹	۶۶۹/۲۰e	۱۴۲۸/۹۴d	۱۹/۰۹e	۳۷/۰۹e	۳۲/۴۴e

* در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند در سطح احتمال خطای ۵ درصد معنی دار نیست.

عملکرد ماده خشک: عملکرد ماده خشک تحت تأثیر کمبود آب، مصرف نیتروژن و تراکم بوته قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش شدت کمبود آب، کاهش معنی داری در عملکرد ماده خشک مشاهده شد (جدول ۲) که با گزارش های اسبورن و همکاران (۲۰۰۲) و سپهری و همکاران (۱۳۸۱) مطابقت داشت. دلیل افزایش تولید کل ماده خشک در گیاهان تحت تیمار آبیاری مطلوب گسترش بیشتر و تداوم بهتر سطح برگ بود که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی قوی و کافی جهت استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک گردید. پژوهش های متعددی نشان داده است که تنش خشکی از طریق افت محتوای نسبی آب برگ از یک سو موجب کاهش سطح برگ و از سوی دیگر کاهش فتوسنتز در

نیاز حرارتی بالاست. اثرات توأم تراکم بوته و نیتروژن نیز مثبت بود و موجب افزایش عملکرد دانه گردید. در تراکم های پائین عملکرد دانه به دلیل کاهش تعداد بلال در واحد سطح در حد پائینی قرار داشت و افزایش نیتروژن بدلیل محدودیت ظرفیت هر گیاه در استفاده از نیتروژن تا حد معینی مؤثر بود، نیتروژن مازاد بدون استفاده باقی ماند و از دسترس گیاه خارج گردید. با افزایش تراکم، عملکرد دانه به دلیل افزایش تعداد بلال در واحد سطح افزایش می یابد و این به شرطی است که از لحاظ سایر عوامل به ویژه عنصر غذایی نیتروژن محدودیتی وجود نداشته باشد به همین دلیل است که به موازات افزایش تراکم بوته مصرف نیتروژن بایستی افزایش یابد.

واحد سطح برگ می‌شود (شوسلر و وستگیت، ۱۹۹۱؛ نیسانکا و همکاران، ۱۹۹۱). در این پژوهش میانگین محتوای نسبی آب برگ بلال در مرحله ابریشم‌دهی از ۷۹/۹۲ و ۸۶/۸۱ درصد در شرایط مطلوب به ۹۰/۱۹ درصد به ترتیب در تنش ملایم و شدید کمبود آب رسید (جدول ۲). کوسکتولولا و فکت (۱۹۹۲) نیز مشاهده کردند که با افزایش شدت تنش کمبود آب، پتانسیل آب برگ ذرت به‌طور فزاینده‌ای منفی شد و عملکرد ماده خشک کاهش یافت. کاهش حداکثر شاخص سطح برگ در مرحله ابریشم‌دهی از ۴/۷۷ در شرایط مطلوب به ۳/۵۷ و ۲/۴۷ در تنش ملایم و شدید مویب بروز تنش در گیاه است (جدول ۲). کاهش سطح نیتروژن مصرفی از ۲۲۰ به ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد ماده خشک را به‌طور متوسط ۲۳۵/۱۸ گرم در مترمربع کاهش داد (جدول ۲). کاهش عملکرد ماده خشک در مقادیر کم مصرف نیتروژن توسط جیراردین و همکاران (۱۹۸۷) و یوهارت و آندرید (۱۹۹۵) نیز گزارش شده است. در مقادیر بیشتر نیتروژن سرمایه‌گذاری مواد فتوسنتزی در بخش‌های برگ و ساقه افزایش یافته و در نهایت مواد تجمع یافته در بخش هوایی گیاه فزونی یافت (جدول ۲). میان تراکم‌های مختلف نیز از نظر عملکرد ماده خشک اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۱). بیشترین تراکم (D3) بیشترین عملکرد ماده خشک را دارا بود (جدول ۲).

بیشتر بودن عملکرد ماده خشک در تراکم‌های بالا را می‌توان به بیشتر بودن تعداد بوته در واحد سطح مربوط نمود. تأثیر مثبت افزایش تراکم بر عملکرد ماده خشک توسط پژوهشگران دیگر نیز مشاهده و گزارش شده است (آکتینوی و همکاران، ۱۹۹۷؛ تتیو-کاگو و گاردنر، ۱۹۸۸). اثرات متقابل آبیاری و تراکم و نیتروژن و تراکم بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنها در شرایط آبیاری مطلوب و سطوح بالای مصرف نیتروژن با افزایش تعداد بوته در واحد سطح کاهش وزن تک بوته‌ها جبران و عملکرد ماده خشک افزایش یافته است (جدول‌های ۳ و ۴).

کارایی زراعی و کارایی مصرف نیتروژن: کارایی زراعی مصرف نیتروژن به‌عنوان شاخصی ساده جهت بررسی و ارزیابی کارایی مصرف این عنصر برای تولید محصول به ازاء هر واحد از نیتروژن مصرفی تعریف شده و در شرایط مزرعه معیار مناسبی برای تعیین کارایی مصرف نیتروژن به‌شمار می‌رود. کارایی مصرف نیتروژن نیز به‌صورت نسبت عملکرد دانه به مقدار نیتروژن مصرفی در نظر گرفته شده و عاملی کلیدی در مدیریت نیتروژن برای تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود (مول و همکاران، ۱۹۸۲).

جدول ۴ - مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نیتروژن و تراکم بوته بر روی عملکرد دانه و ماده خشک و کارایی زراعی، کارایی مصرف و بازافت ظاهری نیتروژن با استفاده از آزمون دانکن.

کارایی زراعی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی بازافت ظاهری نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	عملکرد ماده خشک (گرم در مترمربع)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	تیمار (نیتروژن×تراکم)
۲۴/۸۵b	۵۳/۸۴b	۴۴/۵۱c	۱۴۵۴/۳۰d	۷۵۳/۸۹e*	۶
۲۷/۳۳a	۶۰/۴۸a	۵۵/۲۴a	۱۶۵۵/۸۱c	۸۴۶/۷۸cd	۷/۵ × ۱۴۰
۲۲/۴۶cd	۵۲/۷۳bc	۴۶/۳۴c	۱۵۶۳/۴۲c	۷۳۸/۲۳e	۹
۲۴/۲۷b	۴۶/۸۲e	۴۶/۲۱c	۱۶۰۵/۱۳c	۸۴۲/۸۴d	۶
۲۳/۷۴bc	۴۹/۵۳d	۵۰/۳۶b	۱۷۶۰/۱۸b	۸۹۱/۵۷bc	۷/۵ × ۱۸۰
۲۷/۲۳a	۵۰/۷۷cd	۵۴/۰۵a	۱۸۴۱/۹۲ab	۹۱۳/۹۹ab	۹
۲۰/۸۹d	۳۹/۳۴g	۴۰/۲۷d	۱۶۳۸/۶۰c	۸۶۵/۶۶cd	۶
۲۰/۹۹d	۴۲/۰۹f	۴۴/۵۶c	۱۸۰۸/۳۳b	۹۲۶/۰۷ab	۷/۵ × ۲۲۰
۲۴/۱۶b	۴۳/۴۲f	۴۸/۷۶b	۱۹۳۱/۰۶a	۹۵۵/۳۲a	۹

* در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند در سطح احتمال خطای ۵ درصد معنی‌دار نیست.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های کارایی زراعی و بازیافت ظاهری نیتروژن تحت اثرات سه جانبه آبیاری، نیتروژن و تراکم بوته با استفاده از آزمون دانکن میانگین‌های هر صفت که دارای یک حرف مشترک باشند در سطح احتمال خطای ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بازیافت ظاهری مصرف نیتروژن			کارایی زراعی مصرف نیتروژن			تیمار (نیتروژن*تراکم)
تنش شدید	تنش ملایم	آبیاری مطلوب	تنش شدید	تنش ملایم	آبیاری مطلوب	
۳۶/۲e	۴۴/۲ijk	۵۲/۹def	۲۲/۳ijklmn	۲۳/۱ijklm	۲۹/۰bcd*	۶
۴۰/۸k	۵۶/۷cd	۶۸/۰b	۲۴/۲ghijk	۲۶/۹defg	۳۰/۷b	۷/۵×۱۴۰
۳۵/۰lm	۴۶/۱hij	۵۷/۷c	۲۱/۴klmnop	۱۹/۷nop	۲۶/۲defgh	۹
۳۳/۵lmn	۴۹/۵fgh	۵۵/۶cde	۲۰/۶lmnop	۲۴/۶fghij	۲۷/۵def	۶
۳۳/۱lmn	۵۰/۸fg	۶۷/۱b	۲۰/۲mnop	۲۲/۴ijklmn	۲۸/۵bcd	۷/۵×۱۸۰
۳۱/۲mno	۵۷/۰cd	۷۳/۸a	۱۸/۷opq	۲۷/۷cde	۳۵/۱a	۹
۲۷/۰o	۴۲/۰Jk	۵۱/۷efg	۱۵/۴r	۲۰/۷lmnop	۲۶/۴defg	۶
۲۸/۹no	۴۷/۲ghi	۵۷/۴cd	۱۶/۳qr	۲۱/۶jklmno	۲۴/۹efghi	۷/۵×۲۲۰
۳۰/۹mno	۴۹/۰fgh	۶۶/۲b	۱۸/۵pq	۲۳/۳hijkl	۳۰/۵bc	۹

علت عدم استفاده مؤثر از آن می‌دانند. گریف (۱۹۹۴) اظهار داشت در هنگام مصرف مقادیر بالاتر از حد بهینه نیتروژن، گیاه ذرت قادر به بهره‌گیری از مزایای بالقوه مکانیسم C4 و استفاده از نیتروژن نمی‌باشد. اثرات متقابل آبیاری و نیتروژن تنها بر کارایی زراعی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۱). تیمار کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب از این لحاظ نسبت به سایر تیمارها برتری داشت (جدول ۳). تأثیر سطوح مختلف تراکم، آبیاری در تراکم و نیتروژن در تراکم برصفت مذکور از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین کارایی زراعی و کارایی مصرف نیتروژن به بیشترین تراکم تعلق داشت (جدول ۲). این وضعیت بیانگر استعداد خوب هیبرید ۷۰۴ برای مصرف مطلوب‌تر نیتروژن و تولید دانه تحت تراکم‌های بوته بالاتر می‌باشد. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل آبیاری و تراکم نشان داد که بیشترین میزان کارایی زراعی و کارایی مصرف نیتروژن مربوط به بیشترین تراکم (D3) تحت شرایط آبیاری مطلوب (E1) بود (جدول ۳) که نشان‌دهنده استفاده کارآمد گیاهان تحت تیمار تراکم بالا در شرایط مطلوب رطوبتی از نیتروژن در دسترس می‌باشد. بررسی اثرات متقابل نیتروژن و تراکم بوته نشان داد که در سطوح پائین‌تر مصرف نیتروژن تراکم‌های کمتر و در سطوح بالای مصرف نیتروژن تراکم‌های بیشتر از

افزایش شدت تنش خشکی به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش کارایی زراعی و کارایی مصرف نیتروژن گردید (جدول‌های ۱ و ۲). عدم تأثیر مثبت افزایش مصرف نیتروژن بر افزایش عملکرد دانه در تیمارهای تنش خشکی موجب کاهش کارایی‌های مزبور گردید. این وضعیت ناشی از کاهش جذب و افزایش هدر روی عنصر نیتروژن در شرایط تنش بود. بورمن و همکاران (۱۹۶۲) و مارتین و همکاران (۱۹۸۲) گزارش نمودند که جذب نیتروژن به‌طور مؤثری تحت تأثیر آب قابل استفاده در خاک قرار می‌گیرد و افزایش رطوبت خاک عملکرد ذرت را در پاسخ به نیتروژن مصرفی افزایش داده و باعث افزایش کارایی کود می‌شود. تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر کارایی زراعی و کارایی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود و با افزایش مصرف نیتروژن هر دو مولفه کاهش یافتند (جدول‌های ۱ و ۲). معمولاً بالاترین کارایی با جذب اولین عنصر غذایی (کود) به‌دست می‌آید و واحدهای بعدی مصرف عنصر غذایی کارایی کمتری دارند. مول و همکاران (۱۹۸۲) بیان داشتند که با افزایش مصرف کود مقدار عملکرد دانه به تبعیت از قانون بازده نزولی می‌چرخد افزایش کمتری داشته که این وضعیت موجب کاهش کارایی مصرف کود می‌شود. گودرود و جلووم (۱۹۸۸) علت این کاهش را فزونی سرعت از دست رفتن عنصر مذکور از طریق تصعید، دنیتروفيکاسیون، آبشویی و یا به

جدول ۶- ماتریس ضرایب همبستگی ساده میان صفات مختلف.

شدت تنش خشکی	نیترोजن	تراکم	تعداد دانه در بلال	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد ماده خشک	محتوای نسبی آب برگ	شاخص سطح برگ	کارآیی زراعی مصرف نیترोजن	کارآیی مصرف نیترोजن
تعداد دانه در بلال	۰/۷۳**	۰/۴۹ *	-۰/۵۷ **							
وزن هزار دانه	۰/۵۶**	۰/۱۶ NS	-۰/۴۱ *	۰/۶۲**						
عملکرد دانه	۰/۸۸**	۰/۵۳**	۰/۵۵**	۰/۷۲**	۰/۵۶**					
عملکرد ماده خشک	۰/۷۸ **	۰/۶۶**	۰/۶۷**	۰/۵۲**	۰/۶۹**					
محتوای نسبی آب برگ	۰/۷۲**	۰/۱۷NS	-۰/۵۴**	۰/۶۵**	۰/۵۵**	۰/۶۷**				
شاخص سطح برگ	۰/۸۵**	۰/۴۵ *	۰/۴۵ *	۰/۵۲**	۰/۷۹**	۰/۸۷**	۰/۶۴**			
کارآیی زراعی نیترोजن	۰/۷۷**	-۰/۵۱**	۰/۴۷*	۰/۵۵**	۰/۶۷**	۰/۶۵**	۰/۵۲**	۰/۶۷**		
کارآیی مصرف نیترोजن	۰/۶۷**	-۰/۶۲**	۰/۵۱**	۰/۴۱ *	۰/۵۸**	۰/۵۶**	۰/۶۴**	۰/۵۲**	۰/۸۹ *	
نسبت بازیافت نیترोजن	۰/۶۹**	-۰/۴۵*	۰/۵۹**	۰/۵۲**	۰/۶۳**	۰/۶۸**	۰/۷۵**	۰/۵۸**	۰/۸۵**	۰/۷۸**

* و ** به ترتیب معنی داری در سطوح ۵ و یک درصد ، ns غیر معنی دار

کارایی زراعی و کارایی مصرف بالاتری برخوردار بوده‌اند و بازتاب بهتری نسبت به افزایش مصرف نیتروژن نشان داده‌اند (جدول ۴). با پایین بودن تعداد بوته‌ها در واحد سطح افزایش مصرف نیتروژن به دلیل ثابت بودن ظرفیت جذب و استفاده از نیتروژن در گیاهان، موجب افزایش کارایی استفاده از کود نمی‌شود و برعکس در تراکم‌های بالاتر گیاهان برای دستیابی به حد بالقوه تولید خویش‌نیازمند تأمین نیتروژن کافی می‌باشند. مقایسه میانگین‌های اثرات سه جانبه آبیاری، نیتروژن و تراکم نشان داد که تیمار کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (N₂) و بیشترین تراکم (D₃) تحت تیمار آبیاری مطلوب (E₁) به‌طور معنی‌داری از لحاظ کارایی زراعی مصرف نیتروژن نسبت به سایر تیمارها برتر بود (جدول ۵).

کارایی بازیافت ظاهری نیتروژن: کارایی بازیافت برحسب مقدار عنصر غذایی جذب شده به ازای هر واحد عنصر غذایی مصرف شده تعریف می‌شود. افزایش کمبود آب در خاک و افزایش مصرف نیتروژن موجب کاهش معنی‌دار کارایی بازیافت ظاهری نیتروژن شد (جدول‌های ۱ و ۲). افزایش کمبود آب در خاک به لحاظ کاهش جذب نیتروژن باعث کاهش کارایی بازیافت ظاهری گردید. بوک (۱۹۸۴) اظهار داشت برای جذب نیتروژن این عنصر بایستی حرکت کند تا به ریشه‌ها برسد از این‌رو تأمین میزان آب مناسب یکی از کارآترین شیوه‌های حرکت نیترات به سمت ریشه‌ها از طریق جریان توده‌ای می‌باشد. کاهش کارایی بازیافت ظاهری در اثر افزایش مصرف نیتروژن نیز ناشی از ثابت بودن ظرفیت جذب و استفاده از نیتروژن توسط گیاه و افزایش هدر روی عنصر مذکور بود. با افزایش تراکم میزان نیتروژن جذب شده به ازای نیتروژن مصرفی افزایش معنی‌داری یافت (جدول‌های ۱ و ۲). این وضعیت نیز مربوط به جذب و استفاده کارآمد گیاهان از نیتروژن مصرفی تحت تراکم‌های بوته بالاتر بوده است. تمامی اثرات متقابل میان تیمارهای

مختلف بر کارایی بازیافت ظاهری معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل آبیاری و نیتروژن نشان داد که تأثیر منفی افزایش کاربرد نیتروژن بر کارایی بازیافت ظاهری در شرایط تنش شدید بیش از شرایط مطلوب و تنش ملایم خشکی بود (جدول ۳). افزایش تراکم تحت شرایط مطلوب رطوبتی و یا در مقادیر پائین مصرف نیتروژن با افزایش معنی‌دار کارایی باز یافت ظاهری همراه بود (جدول‌های ۳ و ۴). نتایج به‌دست آمده با گزارش‌های رضایی و ملکوتی (۱۳۸۰)، ملکوتی و همایی (۱۳۸۲) و بوک (۱۹۸۴) مبنی بر کاهش جذب نیتروژن در شرایط محدود رطوبتی مطابقت داشت. مقایسات میانگین اثرات سه جانبه آبیاری، نیتروژن و تراکم بوته نشان داد تیمار تراکم ۹ بوته در مترمربع (D₃) و کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (N₂) در شرایط آبیاری مطلوب (E₁) بیشترین و تراکم‌های مختلف با کاربرد بیشترین میزان مصرف نیتروژن (N₃) در شرایط تنش شدید خشکی (E₃) کمترین میزان بازیافت نیتروژن را دارا بودند (جدول ۵). نتایج به‌دست آمده نشان داد که تیمارهای مختلف آبیاری، نیتروژن، تراکم و اثرات متقابل میان آنها بر عملکرد دانه و کارایی مصرف کود مؤثر بوده‌اند. از نتایج حاصل چنین می‌توان استنباط نمود که در شرایط مختلف رطوبتی جهت بهره‌وری بهتر در استفاده از نیتروژن باید هماهنگی را میان میزان نیتروژن مصرفی و تراکم بوته در نظر داشت. در شرایط مطلوب و تنش ملایم خشکی، کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و افزایش تراکم ضمن تولید عملکرد مناسب کارایی مصرف کود را نیز بهبود بخشید، اما در شرایط تنش شدید خشکی افزایش مصرف نیتروژن و تراکم علاوه‌بر اینکه تأثیر بسیار ناچیزی بر افزایش عملکرد دانه داشت موجب کاهش معنی‌دار کارایی مصرف کود نیز گردید.

منابع

۱. امام، ی.، و تدین، م.، ۱۳۷۸. تأثیر تراکم بوته و سربرداری بر عملکرد ذرت دانه ای در منطقه زیر سد درون زن استان فارس. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۰ (۴): ۱۳۷۵-۱۳۷۳.
۲. امام، ی.، و رنجبر، غ.، ۱۳۷۹. تأثیر تراکم بوته و تنش خشکی در مرحله رشد رویشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی استفاده از آب در ذرت دانه ای. مجله علوم زراعی ایران. جلد دوم (۳): ۵۶۲-۵۱۰.
۳. رضایی، ح.، و ملکوتی، م.ج.، ۱۳۸۰. راه‌های افزایش کارایی ازت و جلوگیری از هدر رفت آن (یادداشت فنی). ویژه‌نامه مصرف بهینه کود. جلد ۱۲، شماره ۱۴. صفحات ۵۳-۴۷.
۴. ساکی نژاد، ط.، ۱۳۸۲. مطالعه اثر تنش آب بر روند جذب عناصر ازت، فسفر، پتاسیم و سدیم در دوره های مختلف رشد با توجه به خصوصیات مرفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه ذرت در شرایط آب و هوایی اهواز. پایان‌نامه دوره دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی. واحد علوم و تحقیقات اهواز. ۲۸۸ ص.
۵. سبحانی، الف.، ۱۳۷۹. راهنمای تعیین شاخص سطح برگ گیاهان زراعی. نشریه ترویجی. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی. وزارت کشاورزی.
۶. سپهری، ع.، مدرس ثانوی، م.، قره یاضی، ب.، و یمینی، ی.، ۱۳۸۱. تأثیر تنش آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مجله علوم زراعی ایران. جلد چهارم (۳): ۲۰۱-۱۸۴.
۷. علیزاده، الف.، ۱۳۷۴. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ اول. انتشارات آستان قدس. ۳۵۳ ص.
۸. هاشمی دزفولی، الف.، کوچکی، ع.، و بنایان اول، م.، ۱۳۷۴. افزایش عملکرد گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۸۷ ص.
۹. ملکوتی، م.ج.، و همایی، م.، ۱۳۸۲. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، مشکلات و راه حل‌ها. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۴۹۴ ص.
10. Aktinoye, H.A., Lucas, E.O., and Kling, J.G., 1997. Effects of density of planting and time of nitrogen application on maize varieties in different ecological zones of West Africa. *Commun Soil Sci. Plant Ann.* 28: 1163-1175.
11. Bock, B.R., 1984. Efficient use of nitrogen in cropping system. pp. 273-294. In: *Nitrogen in crop production*. ASA, CSSA, and SSA INC, MEDISON. USA.
12. Burman, R.D., Painter, L.I., and Patridge, J.R., 1962. Irrigation and nitrogen fertilization of field corn in Northwest Wyoming. *Agric. Exp. Stn. Bulten.* 389. University of Wyoming, Laramie.
13. Classen, M.M., and Shaw, R.H., 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain component. *Agron. J.* 62: 652 – 655.
14. Cosculleola, F., and Fact, J.M., 1992. Determination of the maize (*Zea mays* L.) yield functions in respect to water using a line source sprinkler. *Field Crops Abst.* 93: 5611.
15. Denmead, O.T., and Shaw, R.H., 1970. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52: 272-274.
16. Girardin, P., Tollenaar, M., Deltour, A., and Muldoon, J., 1987. Temporary N starvation in maize (*Zea mays* L.): effects on development, dry matter accumulation and grain yield. *Agronomie (Paris).* 7: 289-296.
17. Goodroad, L.L., and Jellum, M.D., 1988. Effect of N fertilizer rate and soil pH on N efficiency in corn. *Plant and Soil*, 106: 85-89.
18. Greef, J.M., 1994. Productivity of maize (*Zae mays* L.) in relation to morphological physiological characteristics under varying amounts of nitrogen supply. *J. of Agron. and Crop Sci.* 172: 317 - 326.
19. Hanway, J.J., 1992. How a corn plant develops. Iowa Coop. Ext. Ser. Spec. Rep. 48.
20. Harold, V.E., 1986. Effect of water deficit on yield, yield components and water use efficiency of irrigated corn. *Agron. J.* 78: 1035-1040.
21. Hashemi-Dezfouli, A., and Herbert, S.J., 1992. Effect of leaf orientation and density on yield of corn. *Iran Agric. Res.* 11: 89-104.

22. Liang, B.C., Millard, M.R., and Machenzie, A.F., 1992. Effects of hybrid, population densities, fertilization and irrigation on grain corn (*Zea mays* L.) in Quebec. *Can. J. of plant Sci.* 72: 1163 - 1170.
23. Martin, D.L., Watts, D.G., Mielke, L.N., Frank, K.D., and Eisen-Hauer, D.E., 1982. Evolution of nitrogen and irrigation management for corn production using water high in nitrate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1056 - 1062.
24. Moll, R.H., Kamprath, E.J., and Jackson, W.A., 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron. J.* 74: 262 - 264.
25. Nesmith, D.S., and Ritchie, J.T., 1992. Short and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. *Agron. J.* 84: 107 - 113.
26. Nissanka, S.P., Dixon, M.A., and Tollenaar, M., 1997. Canopy gas exchange response to moisture stress in old and new maize hybrid. *Crop Sci.* 37: 172 - 181.
27. Norwood, C.A., 2000. Water use and yield of limited irrigated and dryland corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 365 - 370.
28. Osborne, S.L., Scheppers, J.S., Francis, D.D., and Schlemmer, M.R., 2002. Use of spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. *Crop Sci.* 42: 165 - 171.
29. Schussler, J.R., and Westgate, M.E., 1991. Maize kernel set at low water potential: I. Sensitivity to reduced assimilates during early kernel growth. *Crop Sci.* 31: 1189 - 1195.
30. Tetio-Kagho, F., and Gardner, F.P., 1988. Responses of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield and yield adjustment. *Agron. J.* 80: 935 - 940.
31. Uhart, S.A., and Andrade, F.H., 1995. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. *Crop Sci.* 35: 1384-1389.
32. Wienhold, B.J., Trooien, T.P., and Reichman, G.A., 1995. Yield and nitrogen use efficiency of irrigated corn in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 87: 842 - 846.

Effects of water deficiency stress on yield and nitrogen efficiency of grain corn hybrid SC.704 at different nitrogen rates and plant population

Sh. Lack¹, A. Naderi¹, S.A. Siadat², A. Ayenehband³ and G. Nour – Mohammadi⁴

¹Ph.D. student and Assistant Prof. of Dept. of Physiology, Science and Research campus, Ahvaz Islamic Azad University, ²Full Prof., Dept. of Agronomy of Natural Resources and Agricultural Sciences University of Khuzestan, ³Assistant Prof., Dept. of Agronomy of University of Shahid Chamran, Ahvaz, ⁴Professor Dept. of Agronomy, Tehran Science and Research Campus, Islamic Azad University

Abstract

This research was conducted to study the effects of water deficiency stress, nitrogen application rates, and plant population on kernel and dry matter yields, nitrogen agronomic efficiency, nitrogen use efficiency and nitrogen recovery fraction of grain corn (hybrid SC.704) in 2003 in experimental field in Natural Resources and Agricultural Sciences University of Khuzestan, Ahvaz. This study was consisted of three separate split-plot experiments, using Randomized Complete Block Design (RCBD). In each experiment, one of the following irrigation treatments was implemented; optimum irrigation, moderate stress and severe drought stress where irrigation was done after depletion of 30%, 40% and 50% of field capacity, respectively. Irrigation treatments implement at 4-5 leaf stage (seedling establishment) and continued until 10 days before physiological maturity. In each experiment three nitrogen leaes consisting of 140, 180, and 220 Kg N ha⁻¹ were considered as main plots and subplots consisted of three plant population of 6, 7.5, and 9 plant m⁻². There were three replications in each experiment. The results of combined analysis indicated that the effect of drought stress, nitrogen and plant population on kernel and dry matter yields, leaf area index and relative water content was significant. The increase of drought stress severity caused significant decrease in kernel and dry matter yields, leaf area index and relative water content. Severe drought stress reduced the kernel yield by 40% compared to the optimum irrigation condition. This reduction was mainly due to reduction in kernel number per ear and kernel weight. Kernel and dry matter yields increased with nitrogen application rate. The response of kernel and dry matter yields to increase in plant population was positive. Increase in drought stress severity and nitrogen application rate, caused significant decrease in nitrogen agronomic efficiency, nitrogen use efficiency and nitrogen recovery fraction. The response of these efficiencies to plant population was positive. Results of this study indicated that nitrogen application rate and plant population should be adjusted accordingly with the availability of water in the soil to obtain highest input use efficiency and therefore, minimizing production costs.

Keywords: Water deficiency stress; Nitrogen; Plant population; Nitrogen agronomic efficiency; Nitrogen use efficiency and Nitrogen recovery fraction