Archive of SID

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۴۷۶-۴۶۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 463-476

بررسی پاسخ فیزیولوژیک هیبریدهای ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) نسبت به سطوح مختلف نیتروژن در استان کرمان

محمد مددی‌زاده[۱]- جعفر کامبوزیا[۲*]- سعید صوفی‌زاده[۳]- بهمن پناهی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

چکیده

نیتروژن به‌عنوان مهمترین و محدودکننده‌ترین عنصر تغذیه‌ای در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود که به‌طور فشرده‌ای در سیستم‌های کشاورزی برای دستیابی به عملکرد بیشینه محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌منظور ارزیابی پاسخ فیزیولوژیک سه هیبرید ذرت دانه‌ای (سینگل-کراس ۷۰۴، ماکسیما و تری‌وی‌کراس ۶۰۴) نسبت به مقادیر مختلف نیتروژن (صفر، ۹۲، ۲۲۰ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار)، آزمایشی طی دو سال ۱۳۹۳و ۱۳۹۴در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت فاکتوریل در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان انجام شد. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار عوامل نیتروژن و رقم بر شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه ذرت بود. در سال ۱۳۹۴، عملکرد تولیدی تمامی هیبریدها به دلیل تخلیه نیتروژن اولیه در اثر کشت ذرت و همین‌طور آبشویی زیاد خاک به‌واسطه بافت سبک آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سال ۱۳۹۳ بود. در مجموع دو سال، بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به مصرف ۳۶۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال ۱۳۹۳ و عدم مصرف کود نیتروژنه در سال ۱۳۹۴ (به‌ترتیب ۱۲۳۵۹/۳ و ۶۴۰ کیلوگرم دانه در هکتار) بود. شاخص سطح برگ (LAI) ($r=۰/۸۲۵^{**}$) و دوام این شاخص (LAID) ($r=۰/۸۲۵^{**}$) به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌ها در تعیین عملکرد دانه ذرت شناخته شدند. تنش نیتروژن از طریق کاهش مقدار شاخص سطح برگ و همچنین دوام این شاخص باعث کاهش عملکرد دانه هیبریدها گردید. دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما دارای برتری نسبی و معنی‌دار از نظر عملکرد دانه در مقایسه با هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ تحت شرایط وجود یا عدم وجود تنش نیتروژن بودند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های رشدی، عملکرد دانه، نیتروژن

مقدمه

نیتروژن به‌عنوان مهمترین عنصر مورد نیاز برای رشد و نمو گیاهان و همچنین جزء کلیدی در بسیاری از ترکیبات زیستی محسوب شده و نقش مهمی را در فعالیت فتوسنتزی و تشکیل عملکرد نهایی گیاه ایفا می‌کند (Kaur *et al*., 2012; Antonietta *et al*., 2015) که امروزه به طور فشرده در سیستم‌های کشاورزی مدرن به منظور بیشینه‌سازی عملکرد گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Wu *et al*., 2011). مصرف متعادل کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنه برای دستیابی به میزان بهینه محصول و در عین حال کاهش خطرات زیست محیطی ضروری به نظر می‌رسد (Azeem *et al*., 2015).

در میان غلات، ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهمترین محصولات تغذیه‌ای می‌باشد که پس از گندم و برنج در جایگاه سوم اهمیت جهانی قرار دارد (FAO, 2015).به‌نظر می‌رسد تولید موفق ذرت و دستیابی به عملکرد بالای آن نیازمند خاک‌های با حاصلخیزی بالا باشد (Paponov *et al*., 2005; Uribelarrea *et al*., 2009). بنابراین حجم قابل توجهی از کودهای نیتروژنه در تولید این محصول به‌کار گرفته می‌شود (Ogola *et al*., 2002; Gehl *et al*., 2005). بررسی پاسخ ذرت به مصرف نیتروژن، به‌واسطه وجود یک‌سری مکانیزم‌های مورفوفیزیولوژیک و فنولوژیک مرتبط با آن، پیچیده می‌باشد (Boomsma *et al*., 2009). شاخص‌های فیزیولوژیک رشد نظیر سرعت رشد محصول (CGR[5])، سرعت رشد نسبی

۱- دانشجوی دکتری، گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران
۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار و استادیار، گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران
۴- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان
(*- نویسنده مسئول: (Email: j_kambouzia@sbu.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v15i2.60121

5- Crop Growth Rate

www.SID.ir

Archive of SID

(RGR[1])، سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR[2])، شاخص سطح برگ (LAI[3])، دوام شاخص سطح برگ (LAID[4]) و غیره به‌منظور ارزیابی پاسخ گیاه نسبت به شرایط مختلف محیطی در طول دوره رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. منابع متعددی در رابطه با تأثیر کود نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیک در ذرت موجود می‌باشد (Ogola *et al*., 2002; Habtegebrial *et al*., 2007; Khan *et al*., 2008; Tafteh and Sepaskhah, 2012). کمبود نیتروژن موجب کاهش سرعت آسیمیلاسیون خالص (Uhart and Andrade, 1995b; Hirel *et al*., 2007; Echarte *et al*., 2008) و همچنین تسریع پیری برگ می‌شود (Uhart and Andrade, 1995a; Ding *et al*., 2005). تنش نیتروژن از طریق کاهش سرعت رشد محصول (CGR) باعث ایجاد اختلال در تشکیل به موقع و کامل اندام‌های زایشی (ایجاد تأخیر در فنولوژی گیاه)، دوام کمتر شاخص سطح برگ (LAID)، شاخص برداشت (HI) پایین‌تر و نهایتاً تولید عملکرد دانه کمتر در ذرت می‌گردد (Below *et al*., 2000; O'Neill *et al*., 2004; Ding *et al*., 2005; Monneveux *et al*., 2005). به‌طور مشابهی جذب نیتروژن کافی توسط گیاه در مرحله ابریشم‌دهی ذرت، از اهمیت حیاتی در زمینه به حداقل رساندن میزان انتقال مجدد نیتروژن از فاز رویشی به فاز زایشی گیاه برخوردار است؛ زیرا از کاهش شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک جلوگیری می‌کند (Rajcan and Tollenaar, 1999). Pandey *et al*, (2000) نشان دادند که بیشترین عملکرد دانه ذرت در سال‌های اول و دوم به‌ترتیب با مصرف ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد و دریافتند که اختلاف بین هیبریدهای ذرت در توانایی حفظ شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول تحت سطوح مختلف نیتروژن بود.

با توجه به نگرانی‌های روزافزون در رابطه با اثرات مخرب محیطی ناشی از مصرف زیاد کودهای نیتروژنه و همچنین هزینه اقتصادی بالای تأمین این کودها، تحقیق حاضر با اهداف: مقایسه رشد و عملکرد سه هیبرید رایج ذرت تحت سطوح مختلف نیتروژن و معرفی هیبرید یا هیبریدهای متحمل‌تر نسبت به کمبود نیتروژن، شناسایی شاخص‌های کلیدی مؤثر بر رشد و عملکرد دانه ذرت تحت شرایط مختلف فراهمی نیتروژن و تعیین مقدار بهینه نیتروژن برای تولید ذرت دانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی دو فصل زراعی بهاره در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴در مزرعه‌ی تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان انجام شد. مزرعه‌ی آزمایشی در موقعیت جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی در ۸ کیلومتری شهر کرمان با ارتفاع ۱۷۵۷ متری از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارش سالیانه در منطقه مذکور برابر با ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. خاک مزرعه از نوع شن لومی بوده و سایر اطلاعات مربوط به آن در جدول ۱ آورده شده است. قابل ذکر است که مزرعه مورد نظر دو سال قبل از انجام آزمایش به‌صورت آیش بود.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. چهار سطح نیتروژن (صفر، ۹۲، ۲۲۰ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) در ترکیب با سه هیبرید ذرت (سینگل-کراس ۷۰۴، ماکسیما و تری‌وی‌کراس ۶۰۴) مورد استفاده قرار گرفتند. هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ (KSC 704) از گروه هیبریدهای دیررس (FAO class 700)، هیبرید ماکسیما (MV 524) جزء هیبریدهای میان‌رس (FAO class 580) و هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ (TWC 604) متعلق به گروه هیبریدهای میان‌رس (FAO class 600) می‌باشد. کود نیتروژن طی سه قسط مساوی در مراحل ظهور کامل گیاهچه[5]، گلدهی[6] (تاسل‌دهی) و ابریشم‌دهی[7] مصرف شد. قبل از کاشت، عملیات خاک‌ورزی با استفاده از دیسک بشقابی صورت گرفت و پشته‌هایی با فاصله ۷۵ سانتیمتر از یکدیگر ایجاد شد. عملیات کوددهی همزمان با کاشت به‌صورت دستی با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتارکود سوپر فسفات تریپل (TSP, 45% P_2O_5) به‌عنوان منبع فسفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتارکود سولوپتاس (SOP, 51% K_2O) به‌عنوان منبع پتاسیم انجام شد. هر کرت آزمایشی به مساحت ۳۱/۵ متر مربع شامل هفت ردیف کاشت به طول ۶ متر بود. بذر تمامی هیبریدها با تراکم یکسان ۷/۵ بوته در متر مربع و به صورت دستی در تاریخ ۱۳ اردیبهشت سال‌های ۱۳۹۳و ۱۳۹۴کاشته شدند. تعداد سه بذر در هر کپه کاشته شد و حدود دو هفته پس از ظهور کامل گیاهچه‌ها برای رسیدن به تراکم مطلوب، تنک‌کاری با دست انجام شد. برای جلوگیری از وقوع هرگونه تنش خشکی، کرت‌ها با فاصله هفت روز یکبار از زمان ظهور گیاهچه تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌صورت غرقابی آبیاری شده و کنترل علف‌های هرز و آفات به‌ترتیب به‌صورت دستی و شیمیایی صورت گرفت.

نمونه‌گیری‌های تخریبی دو هفته پس از ظهور کامل گیاهچه‌ها آغاز شده و تا زمان برداشت محصول با فاصله ۱۴ روز یک‌بار ادامه یافت. سطح برگ و ماده خشک قسمت‌های مختلف گیاه به تفکیک اندام (برگ، ساقه، تاسل و بلال) در هر مرحله نمونه‌گیری اندازه‌گیری شد. در برداشت نهایی، برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، مساحتی معادل پنج متر مربع از دو ردیف میانی در هر کرت از سطح زمین برداشت

1- Relative Growth Rate
2- Net Assimilation Rate
3- Leaf Area Index
4- Leaf Area Index Duration

5- Emergence
6- Tasseling
7- Silking

www.SID.ir

Archive of SID

شد. تمامی مواد گیاهی حاصل از نمونه‌گیری‌های تخریبی در طول فصل رشد و برداشت نهایی در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد کوره الکتریکی خشک و سپس توزین شدند.

جدول ۱- خصوصیات خاک محل انجام آزمایش
Table 1- Soil characteristics of the experimental farm (0-60 cm)

خصوصیات Characteristics	عمق خاک Soil depth (cm)		
	0-15	15-30	30-60
شن Sand (%)	86	84	78
سیلت Silt (%)	8	10	16
رس Clay (%)	6	6	6
وزن مخصوص ظاهری Bulk density	1.52	1.62	1.4
اسیدیته pH	8	7.9	7.9
هدایت الکتریکی Ec ($ds\ m^{-1}$)	1.2	1.9	2
ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq/100 g soil)*	3.8	3.7	3.7
کربن آلی Organic Carbon (%)	0.23	0.2	0.2
نیترات Nitrate ($mg\ l^{-1}$)	73.1	79.74	8.2
آمونیوم Ammonium ($mg\ l^{-1}$)	2.76	2.26	2.13
فسفر قابل جذب Phosphorus ($mg\ kg^{-1}$)	10	4	4
پتاسیم قابل جذب Potassium ($mg\ kg^{-1}$)	200	180	120

* میلی‌اکی‌والانت در صد گرم خاک
* MilliEquivalent per 100 g soil

قبل از انجام تجزیه واریانس، داده‌ها از نظر مفروضات تجزیه واریانس بررسی شده و نیازی به تبدیل داده‌ها وجود نداشت. به‌دلیل معنی‌دار شدن آزمون عدم یکنواختی بین واریانس داده‌های دو سال، داده‌های هر سال به‌عنوان آزمایشات مستقل فرض شده و به‌صورت جداگانه مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند (Gomez and Gomez, 1984; Milliken and Johnson, 2009). مقایسات میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و آنالیز همبستگی میان شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های فیزیولوژیک رشد

حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) و حداکثر دوام شاخص سطح برگ ($LAID_{max}$) به‌طور بسیار معنی‌داری ($P<0.001$) تحت تأثیر هر دو عامل ژنوتیپ و نیتروژن قرار گرفتند (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقادیر این شاخص‌ها در مجموع دو سال به‌ترتیب متعلق به هیبریدهای سینگل‌کراس ۷۰۴ (۳/۸۲ و ۵۹/۲۵ روز در شاخص سطح برگ) و تری‌وی‌کراس ۶۰۴ (۱/۲۹ و ۲۰/۹۲ روز در شاخص سطح برگ) بود (جدول ۳). عدم مصرف نیتروژن در مقایسه با مصرف ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار آن، شاخص سطح برگ بیشینه را معادل ۲۴/۲ درصد در سال اول (۲/۷۵ در مقایسه با ۳/۶۳) و ۵۶/۸ درصد در سال دوم (۱/۱۳ در مقایسه با ۲/۶۲) محدود کرد (جدول ۳). افزایش مقدار نیتروژن تا ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار باعث تقویت معنی‌دار دوام شاخص سطح برگ گردید و افزایش نیتروژن بیشتر از این مقدار تأثیر معنی‌داری بر بهبود دوام شاخص سطح برگ نداشت (جدول ۳). مقایسه نتایج مربوط به دو سال آزمایش نشان می‌دهد که وقوع تنش

www.SID.ir

Archive of SID

شدید نیتروژن در نتیجه عدم مصرف کود از یک سو و تخلیه نیتروژن اولیه خاک از سوی دیگر می‌تواند دوام شاخص سطح برگ را ۲ الی ۳ برابر کاهش دهد (۱۷/۱۸ روز در شاخص سطح برگ در تیمار شاهد در سال دوم در مقایسه با ۵۳/۴۴ روز در شاخص سطح برگ در تیمار ۳۶۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال اول). Valero *et al*, (2005) اختلاف معنی‌داری بین مصرف مقادیر ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از نظر رشد و عملکرد دانه ذرت مشاهده کرده و بیان نمودند که اختلافات موجود به‌طور عمده ناشی از تغییرات معنی‌دار در شاخص سطح برگ بیشینه و دوام شاخص سطح برگ بود.

نسبت سطح برگ (LAR[1]) دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما به‌طور معنی‌داری برتر از هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ بود (جدول ۵). تنش نیتروژن با محدود کردن میزان تولید ماده خشک توسط گیاه موجب افزایش نسبت LAR در هر دو سال گردید که به‌ویژه در سال دوم با وقوع تنش شدید، این نسبت در تیمار شاهد با جهش ۳۷ درصدی در مقایسه با سایر تیمارها (به‌ترتیب حدود ۸۵ و ۵۴ سانتی‌متر مربع بر گرم) مواجه شد (جدول ۳). هیبریدهای سینگل-کراس ۷۰۴ و ماکسیما دارای برگ‌های نازک‌تر و پهن‌تری نسبت به هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ بودند. با افزایش مصرف نیتروژن، مقدار سطح ویژه برگ (SLA[2]) کاهش یافت؛ به‌طوری که کمترین مقدار آن در رابطه با تیمار ۳۶۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱۵۵/۳۲ سانتی‌متر مربع بر گرم) (جدول ۳) مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد فراهمی نیتروژن کافی برای گیاه، زمینه تشکیل برگ‌هایی با ضخامت مناسب را فراهم می‌سازد. در سال دوم با تشدید تنش نیتروژن از ضخامت برگ‌ها با شدت بیشتری کاسته شده و مقادیر مربوط به سطح ویژه برگ افزایش چشمگیری نسبت به سال اول نشان دادند. نازک‌تر شدن برگ‌ها احتمالاً موجب کاهش غلظت کلروفیل در برگ و کاهش سرعت و مقدار فتوسنتز آن شده است (Coque and Gallais, 2007; Echarte *et al*., 2008).

در سال دوم، هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ برتری معنی‌دار ($P<0.05$) خود را در اختصاص ماده خشک به برگ‌ها نسبت به دو هیبرید ماکسیما و تری‌وی‌کراس ۶۰۴ نشان داد. علاوه بر این، مقدار شاخص LWR[3] در تیمار بدون کود افزایش معنی‌داری ($P<0.001$) نسبت به مقادیر مختلف مصرف کود نشان داد (جدول ۳). دلیل این افزایش در مقدار شاخص LWR ناشی از کاهش شدید مجموع بیوماس تولیدی در تیمار بدون کود در سال دوم بوده که سهم عمده آن را برگ‌ها تشکیل داده و رشد سایر اندام‌ها بسیار محدود شده است. عدم مصرف کود در مقایسه با مصرف آن در تمامی مقادیر مورد بررسی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش مقدار شاخص نسبت وزن ساقه (SWR[4]) گردید (جدود ۸-۵ درصد) (جدول ۳). براساس داده‌های جدول ۳ در شرایط تنش نیتروژن، گیاه از اختصاص ماده خشک تولیدی به ساقه کاسته و یا میزان انتقال مجدد این مواد از ساقه به سایر اندام‌ها را افزایش می‌دهد. در رابطه با برگ عکس حالت فوق رخ داده و در این شرایط، برگ‌ها سهم بیشتری از مجموع بیوماس گیاهی را به خود اختصاص می‌دهند.

دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما با وجود نمایش نسبتاً یکسانی از نظر شاخص سرعت رشد محصول (CGR) در طول فصل رشد، دارای برتری نسبی در مقایسه با هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ بودند. بیشترین مقادیر این شاخص در سال اول در دو هیبرید سینگل-کراس ۷۰۴ و ماکسیما (حدود ۴۰ گرم در متر مربع در روز) و کمترین آن در سال دوم در رابطه با هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ (حدود ۱۷ گرم در متر مربع در روز) مشاهده شد. وقوع تنش نیتروژن در هر دو سال به‌ویژه در سال دوم باعث کاهش مقدار شاخص CGR در طول فصل رشد به‌خصوص دوران پس از ابریشم‌دهی گردید. عدم مصرف کود نیتروژن در مقایسه با مصرف ۳۶۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار منجر به کاهش مقدار بیشینه شاخص سرعت رشد محصول به میزان ۵۶ درصد در سال اول (به‌ترتیب ۲۲ و ۵۰ گرم در متر مربع در روز) و ۸۱ درصد (به‌ترتیب ۶ و ۳۲ گرم در متر مربع در روز) در دومین سال آزمایش گردید (شکل ۱). شاخص سرعت رشد نسبی (RGR) به‌طور کلی در طول فصل رشد گیاه دارای یک روند نزولی بود و بین هیبریدهای مورد بررسی و همچنین مقادیر مختلف نیتروژن اختلاف محسوسی از این نظر مشاهده نشد. به‌عبارت دیگر در تمامی تیمارها آهنگ تجمع ماده خشک در گیاه نسبت به وزن موجود آن تقریباً یکسان بود (شکل ۲).

سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR) مانند سایر شاخص‌ها روند مشخص و ثابتی را در دوسال آزمایش نشان نداد، به‌گونه‌ای که در سال اول در انتهای فصل رشد دارای روند نزولی بود اما در سال دوم عکس این حالت رخ داد. چنین روندی در نتایج Valero *et al*, (2005) نیز مشاهده شد. بیشترین مقدار شاخص NAR متعلق به هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ (۱۷ گرم بر متر مربع در روز) بود که با اختلاف نسبتاً محسوسی بالاتر از هیبریدهای ماکسیما و سینگل‌کراس ۷۰۴ (به‌ترتیب ۱۳ و ۱۲ گرم بر متر مربع در روز) قرار داشت. در هر دو سال آزمایش تقریباً در تمامی مراحل رشدی، اختلاف زیادی بین مقادیر مختلف مصرف کود نیتروژن از نظر شاخص NAR مشاهده نشد، در حالی‌که عدم مصرف آن به‌طور شدیدی موجب کاهش مقدار شاخص مذکور گردید (شکل ۳).

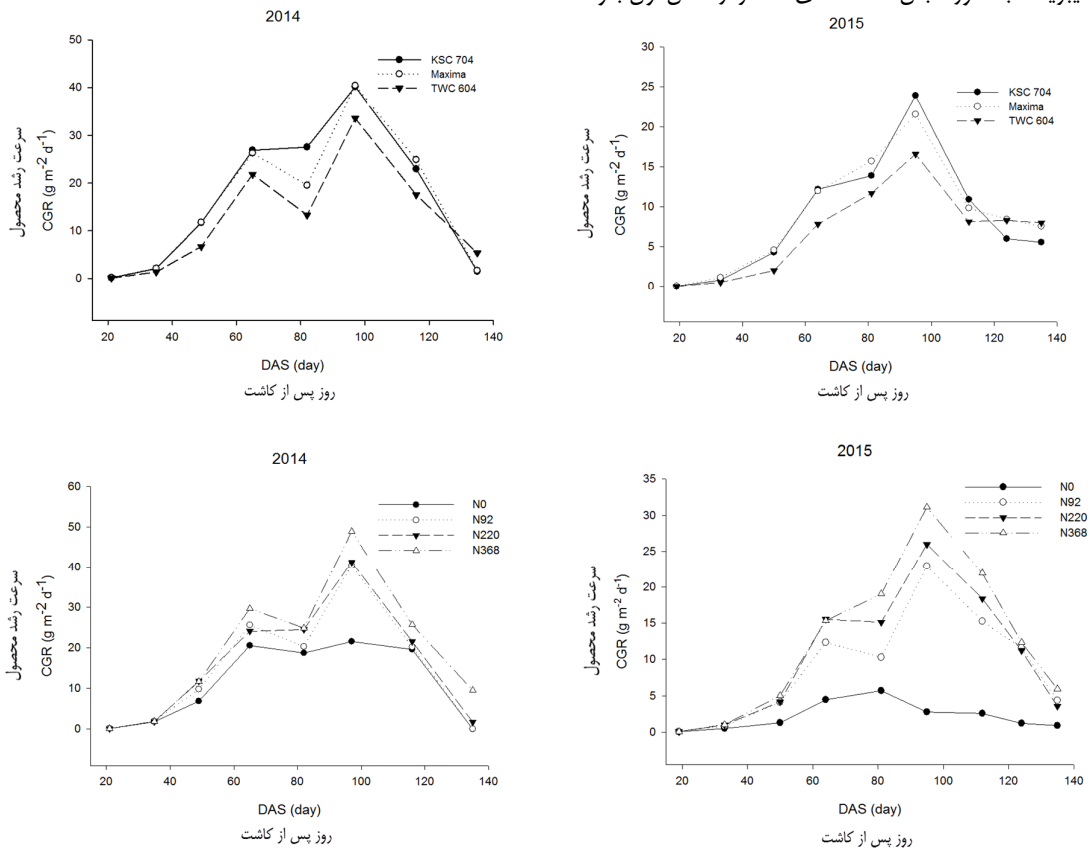
عملکرد دانه

1- Leaf Area Ratio
2- Specific Leaf Area
3- Leaf Weight Ratio
4- Stem Weight Ratio

www.SID.ir

Archive of SID

اثر متقابل ژنوتیپ× نیتروژن در رابطه با عملکرد دانه در سال دوم معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۲). بنابراین به‌منظور مقایسه میانگین‌های مربوطه از آنالیز برش‌دهی اثر متقابل استفاده شد. نتایج نشان داد که پاسخ دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما نسبت به مقادیر مختلف نیتروژن کاملاً مشابه بوده و به ازای افزایش در هر واحد نیتروژن، عملکرد آنها نیز روند افزایشی را نشان می‌داد. با این وجود، این پاسخ در مورد هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ متفاوت بود، به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار عملکرد دانه در رابطه با مصرف ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد. در هر دو سال آزمایش، عملکرد دانه به‌طور بسیار معنی‌داری ($P<0.001$) تحت تأثیر هیبریدهای موجود و همچنین مقادیر نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). در سال ۱۳۹۳، هیبریدهای سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما با عملکرد دانه کاملاً مشابه (۱۰۸۷۰/۴ و ۱۰۸۶۵/۵ کیلوگرم در هکتار) دارای برتری معنی‌داری نسبت به هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ (۷۹۰۸/۱ کیلوگرم در هکتار) بودند. در سال ۱۳۹۴، عملکرد تولیدی توسط تمامی هیبریدها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سال اول بود. هیبریدهای سینگل‌کراس ۷۰۴، ماکسیما و تری‌وی‌کراس ۶۰۴ به‌ترتیب معادل ۶۸۲۲/۴، ۷۵۴۳/۵ و ۴۴۵۶ کیلوگرم دانه در هکتار تولید کردند (جدول ۳). بروز اختلاف در عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف تحت شرایط تنش نیتروژن می‌تواند ناشی از عوامل متعددی باشد. به‌عنوان مثال برخی ژنوتیپ‌ها در مواجهه با شرایط کمبود نیتروژن دارای سرعت تبادل کربن بالاتر در واحد برگ، ظرفیت جذب نیتروژن بالاتر، محتوای بیشتر کلروفیل برگ در طول دوران پر شدن دانه و تعداد دانه بیشتری در بوته در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها می‌باشند (McCullough *et al*., 1994a; McCullough *et al*., 1994b; Ding *et al*., 2005; Echarte *et al*., 2008). از نظر مقادیر نیتروژن، در هر دو سال بیشترین عملکرد دانه (۱۲۳۵۹/۳ و ۹۴۶۴/۶ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۳۶۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد. همان‌طور که در مورد هیبریدها گفته شد، در رابطه با مقادیر نیتروژن نیز عملکرد تولید شده در سال دوم کاهش قابل توجهی (حدود ۳۰ درصد) در مقایسه با سال اول نشان داد (جدول ۳).



شکل ۱- روند تغییرات سرعت رشد محصول (CGR) در سه هیبرید ذرت (KSC 704، Maxima و TWC 604) تحت مقادیر مختلف نیتروژن (N0، N92، N220 و N368 کیلوگرم در هکتار) طی سال‌های زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Figure 1- Crop growth rate (CGR) of three maize hybrids (KSC 704, Maxima and TWC 604) under four nitrogen rate (0, 92, 220 and 368 kg N ha^{-1}) during growing seasons 2014 and 2015

www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max})، حداکثر شاخص دوام سطح برگ ($LAID_{max}$)، نسبت سطح برگ (LAR)، سطح ویژه برگ (SLA)،نسبت وزن برگ (LWR)، نسبت وزن ساقه (SWR) و عملکرد دانه در مرحله‌ی گلدهی در پاسخ به اثرات اصلی ژنوتیپ و مقادیر نیتروژن و اثرات متقابل بین آنها در هر یک از سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Table 2. Analysis of variance of growth indices and grain yield that was affected by genotypes (G), nitrogen (N) and their interaction (G×N) in 2014 and 2015

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of square						
		LAI_{max}	$LAID_{max}$	LAR	SLA	LWR	SWR	عملکرد دانه Grain yield
سال اول (۱۳۹۳)								
بلوک Block	2	0.116ns	7.254ns	92.334ns	121.291ns	0.001ns	0.0009ns	4056256ns
ژنوتیپ Genotype	2	6.898***	1753.37***	269.792**	1322.6***	0.002ns	0.0017ns	35042615.9***
نیتروژن Nitrogen	3	1.202***	183.225**	83.37ns	256.593*	0.001ns	0.0019*	45359115.1***
ژنوتیپ × نیتروژن Genotype×Nitrogen	6	0.089ns	20.173ns	54.264ns	83.824ns	0.001ns	0.0012ns	4573731.2ns
خطا Error	22	0.116	31.502	31.927	71.812	0.0007	0.0006	2804153.4
ضریب تغییرات Coefficient of variation		10.5	11.3	9.8	5.2	7.8	4.1	16.9
سال دوم (۱۳۹۴)								
بلوک Block	2	0.47ns	101.35ns	219.311ns	1312.77*	0.00031ns	0.00014ns	183065.9ns
ژنوتیپ Genotype	2	3.69***	1179.1***	468.86*	224.645ns	0.0099*	0.00014ns	31305599.9***
نیتروژن Nitrogen	3	3.9***	1189.66***	2213.89***	486.848ns	0.04***	0.01**	135377075.1***
ژنوتیپ × نیتروژن Genotype×Nitrogen	6	0.272ns	117.673*	114.732ns	415.067ns	0.00088ns	0.00076ns	6520330.5**
خطا Error	22	0.1965	41.4	135.975	229.589	0.00253	0.0016	1507824.4
ضریب تغییرات Coefficient of variation		23	19.9	18.9	7.1	17.4	7	19.5

*، **، *** و nsبه ترتیب معنی‌دار در سطح ۰،۰۵، ۰،۰۱، ۰،۰۰۱ و غیر معنی‌دار

*, **, *** and ns, significant at the 0.05, 0.01, 0.001 and no significant respectively

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقادیر میانگین برای حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max})،حداکثر شاخص دوام سطح برگ ($LAID_{max}$)(روز در شاخص سطح برگ)، نسبت سطح برگ (LAR) (سانتیمتر مربع بر گرم)، سطح ویژه برگ (SLA) (سانتیمتر مربع بر گرم)،نسبت وزن برگ (LWR)، نسبت وزن ساقه (SWR) و عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در مرحله‌ی گلدهی سه هیبرید ذرت دانه‌ای تحت مقادیر مختلف نیتروژن در هر یک از سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

Table 3. Mean values of the growth indices and grain yield of three maize hybrids under four nitrogen levels during the 2014 and 2015 growing seasons

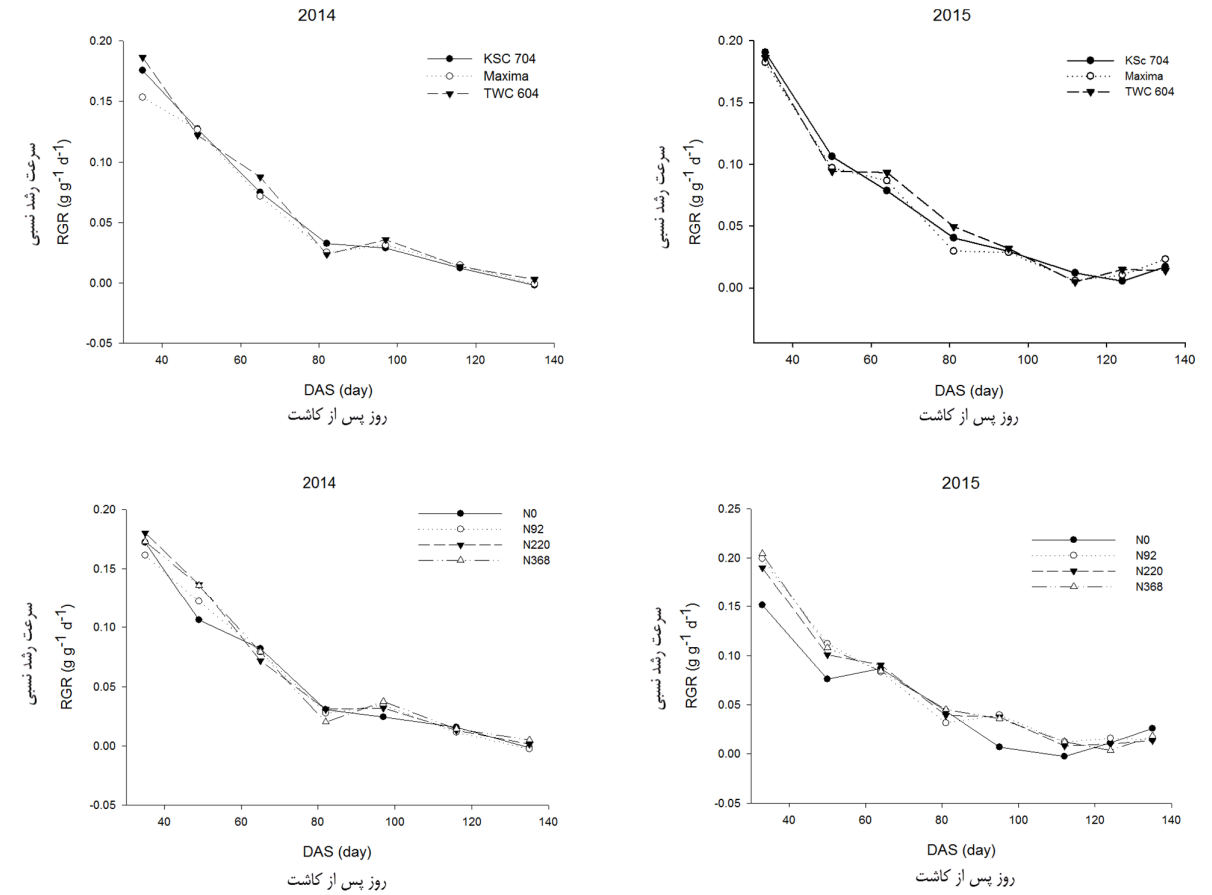
تیمار Treatment	LAI_{max}	$LAID_{max}$ (LAI day)	LAR ($cm^2 g^{-1}$)	SLA ($cm^2 g^{-1}$)	LWR	SWR	عملکرد دانه Grain yield ($kg ha^{-1}$)
۱۳۹۳							
ژنوتیپ Genotype							
KSC 704	3.82 a	59.25 a	62.08 a	167.88 a	0.369 a	0.588 a	10870.4 a
Maxima	3.51 b	53.16 b	57.79 a	168.75 a	0.342 b	0.609 a	10865.5 a
TWC 604	2.38 c	35.95 c	52.61 b	150.15 b	0.349 ab	0.608 a	7908.1b
نیتروژن Nitrogen ($kg ha^{-1}$)							
0	2.75 c	43 b	61.43 a	164.01 ab	0.374 a	0.58 b	7276.8 b
92	3.33 ab	51.18 a	58.26 ab	168.08 a	0.347ab	0.607 a	8898.7 b
220	3.23 b	50.2 a	55.66 ab	161.63 ab	0.343 b	0.614 a	10990.6 a
368	3.63 a	53.44 a	54.61 b	155.32 b	0.35 ab	0.604 a	12359.3 a
۱۳۹۴							
ژنوتیپ Genotype							
KSC 704	2.34 a	37.76a	68.73 a	215 a	0.321 a	0.584 a	6822.4 a
Maxima	2.13 a	38.4 a	59.49 ab	216.53 a	0.273 b	0.578 a	7543.5 a
TWC 604	1.29 b	20.92 b	56.81 b	208.39 a	0.269 b	0.578 a	4456 a
نیتروژن Nitrogen ($kg ha^{-1}$)							
0	1.13 c	17.18 c	85.2 a	220.08 a	0.388 a	0.546 c	640 c
92	1.65 b	30.27 b	53.4 b	219.18 a	0.243 b	0.621a	7164.9 b
220	2.27 a	38.49 a	54 b	206 a	0.261 b	0.594ab	7826.4 b
368	2.62 a	43.5 a	54.11 b	207.96 a	0.259 b	0.558bc	9464.6 a

میانگین‌های دارای علامت مشابه در هر ستونو برای هر عاملبراساس آزمون دانکن (پنج درصد = α) فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند

Means in the same column and each factor followed by the same letter do not differ significantly according to the Duncan test (α = 5%)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- روند تغییرات سرعت رشد نسبی (RGR) در سه هیبرید ذرت (KSC 704، Maxima و TWC 604) تحت مقادیر مختلف نیتروژن (N0، N92، N220 و N368 کیلوگرم در هکتار) طی سال‌های زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Figure 2- Relative growth rate (RGR) of three maize hybrids (KSC 704, Maxima and TWC 604) under four nitrogen rate (0, 92, 220 and 368 kg N ha^{-1}) during growing seasons 2014 and 2015

با کاهش مقدار نیتروژن مصرفی از ۳۶۸ به صفر کیلوگرم در هکتار، متوسط عملکرد هیبریدها معادل ۴۱ درصد (۵۰۸۲/۵ کیلوگرم در هکتار) در سال ۱۳۹۳ و ۹۳ درصد (۸۸۲۴/۶ کیلوگرم در هکتار) در سال دوم کاهش یافت (جدول ۳). آزمایشات متعددی به وضوح تأثیر عمده تنش نیتروژن بر کاهش عملکرد دانه ذرت را نشان داده‌اند (Khan and Khan, 2001; Raja, 2003; Khaliq *et al*., 2009; Mohammadi Aghdam *et al*., 2014). از آن‌جایی که اختلاف محسوسی بین داده‌های اقلیمی در طول فصل رشد سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴وجود نداشت، لذا می‌توان دلیل اُفت ناگهانی عملکرد به‌ویژه در تیمار بدون کود در سال دوم را به تخلیه شدید نیتروژن از خاک نسبت داد. مزرعه مورد نظر دو سال قبل از انجام آزمایش تحت آیش بوده و هر دو سال آزمایش در یک قطعه کشت گردید. از این رو در اولین سال آزمایش مقدار نیتروژن اولیه در خاک قابل توجه (حدود ۴۱۵ کیلوگرم در هکتار در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متری خاک) (جدول ۱) بوده، در حالی که در سال دوم، تخلیه‌ی شدید نیتروژن از خاک به‌واسطه دو عامل کاشت ذرت به‌عنوان یک گیاه پرمصرف و همچنین وجود درصد بالایی از ذرات شن در خاک (حدود ۸۵ درصد) (جدول ۱) که منجر به آبشویی زیاد نیتروژن از خاک می‌گردد، صورت گرفت.

نتایج نشان داد که محدودیت بیش از حد نیتروژن (عدم مصرف کود نیتروژنه) موجب توقف شدید توسعه شاخص سطح برگ گردید. به‌طور مشابهی Valentinuz and Tollenaar (2006) و Valero *et al*, (2005) نیز دریافتند که شاخص سطح برگ ذرت با مصرف مقادیر بیشتر نیتروژن افزایش یافته و میزان کاهش در مقادیر این شاخص در غلظت‌های پایین نیتروژن بسیار مشهودتر بود. در این آزمایش، عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با دو شاخص LAI_{max} و $LAID_{max}$ در هر دو سال تحت تمامی مقادیر نیتروژن نشان داد (جدول ۴). از این رو می‌توان صفات شاخص سطح برگ و دوام آن را به‌عنوان صفات کلیدی در تعیین عملکرد ذرت به‌شمار آورد.

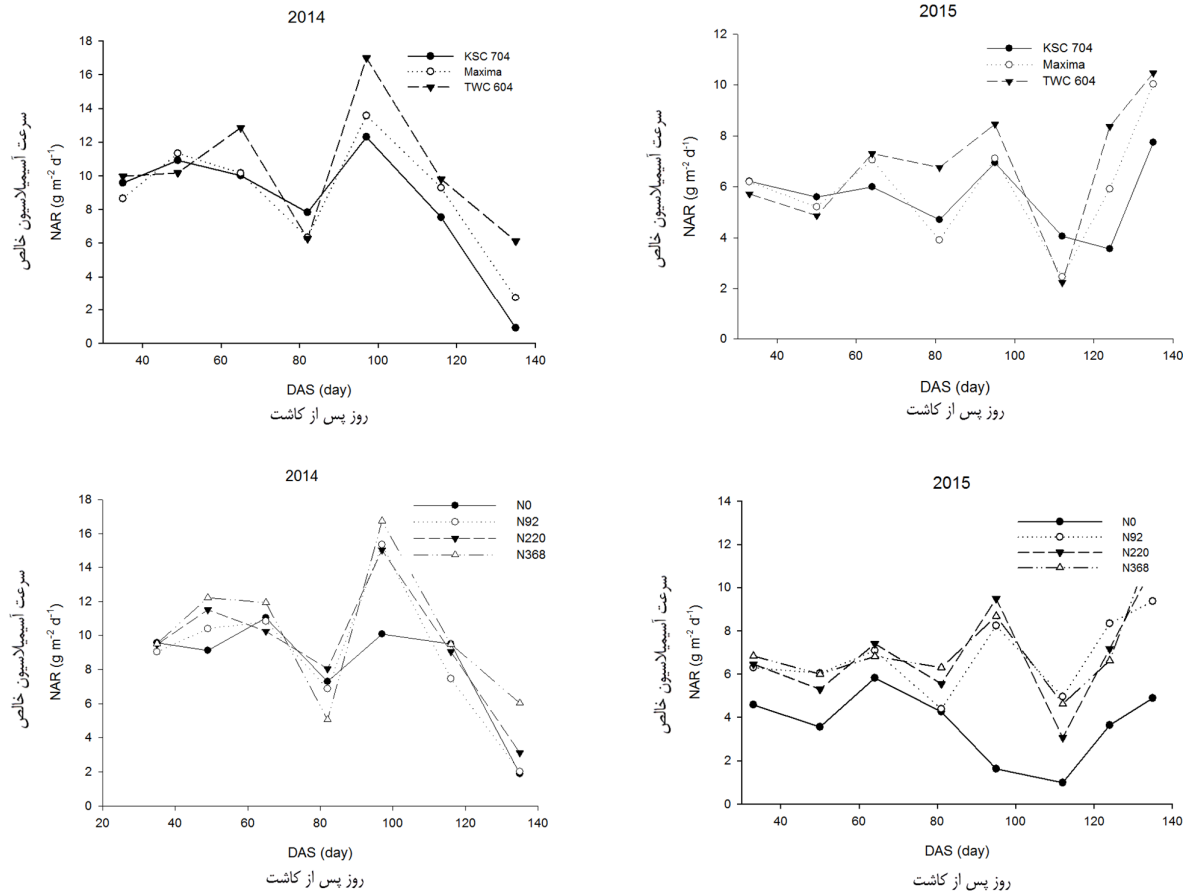
www.SID.ir

Archive of SID

اهمیت شاخص سطح برگ و دوام آن را می‌توان به شیوه بهتری با مقایسه شکل‌های ۱، ۳ و ۴ مشاهده کرد. هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ در طول فصل رشد همواره دارای سرعت فتوسنتز خالص بالاتری در واحد سطح برگ در مقایسه با دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما بود (شکل ۳). در حالی‌که از نظر عملکرد دانه تولیدی، دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما کاملاً برتر از هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ بودند. دلیل این امر به شاخص سطح برگ بالاتر و دوام بیشتر شاخص سطح برگ در دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما (شکل ۴) بر می‌گردد که منجر به افزایش قابل توجه سرعت رشد محصول (شکل ۱) و در نهایت عملکرد دانه تولیدی در این دو هیبرید نسبت به هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ گردید.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه عملکرد دانه ذرت با افزایش در میزان کود نیتروژن تا ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. با این وجود به منظور توصیه مقدار کودی مناسب، به بررسی‌های اقتصادی و زیست محیطی تکمیلی نیاز است. تعیین مقدار بهینه کود نیتروژن به فاکتورهای مختلفی نظیر منابع موجود تأمین‌کننده نیتروژن برای گیاه، تناوب زراعی، خصوصیات خاک، مدیریت کوددهی، ژنوتیپ‌های مورد استفاده و شرایط اکولوژیکی موجود در منطقه بستگی دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص سطح برگ و همین‌طور دوام این شاخص به‌عنوان مؤثرترین صفات در تعیین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت عمل می‌کنند. تنش نیتروژن رشد برگ‌ها را تحت تأثیر قرارداده و مقدار شاخص سطح برگ بیشینه تولید شده توسط هر سه هیبرید مورد بررسی و همچنین دوام شاخص سطح برگ آنها را کاهش داد.

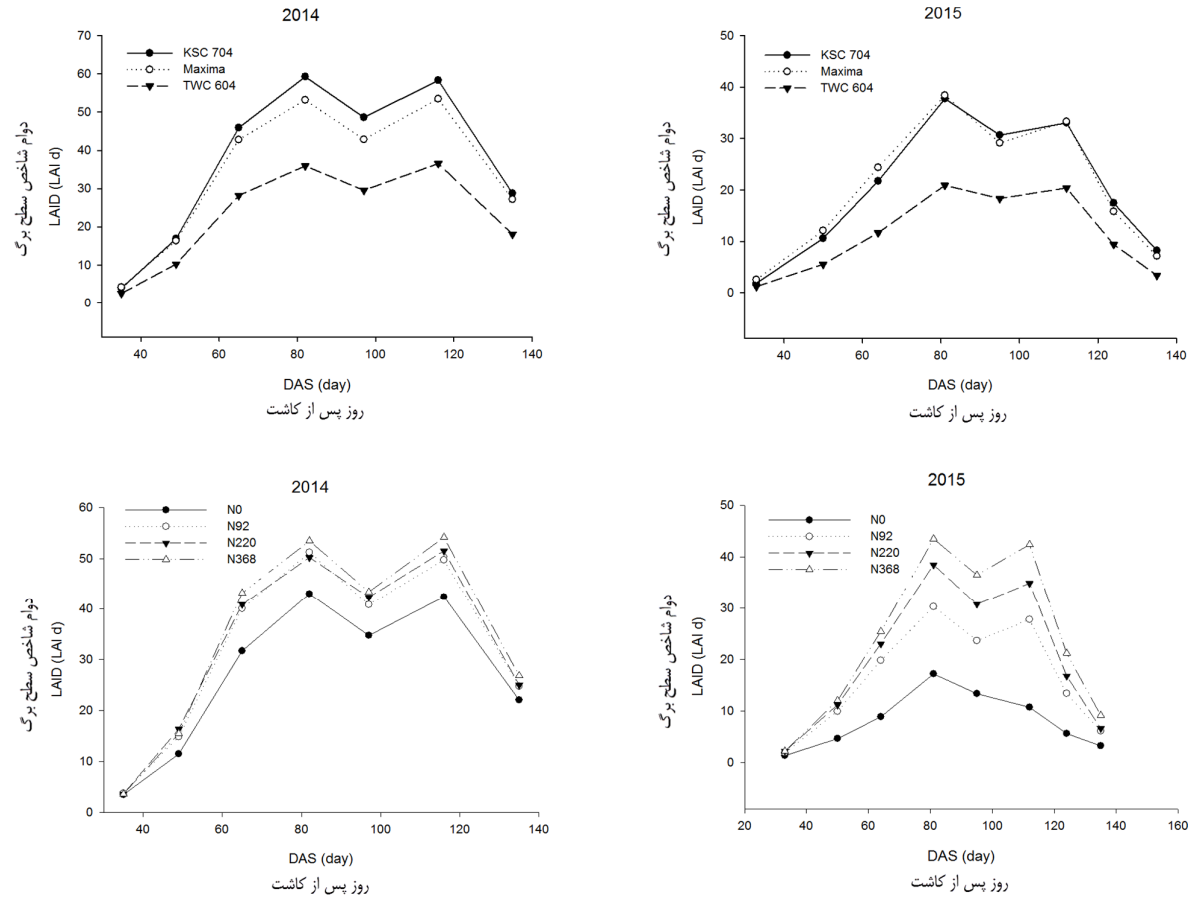


شکل ۳- روند تغییرات سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR) در سه هیبرید ذرت (KSC 704، Maxima و TWC 604) تحت مقادیر مختلف نیتروژن (N0، N92، N220 و N368 کیلوگرم در هکتار) طی سال‌های زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Figure 3- Net Assimilation rate (NAR) of three maize hybrids (KSC 704, Maxima and TWC 604) under four nitrogen rate (0, 92, 220 and 368 kg N ha^{-1}) during growing seasons 2014 and 2015

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- روند تغییرات دوام شاخص سطح برگ (LAID) در سه هیبرید ذرت (KSC 704، Maxima و TWC 604) تحت مقادیر مختلف نیتروژن (N0، N92، N220 و N368 کیلوگرم در هکتار) طی سال‌های زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Figure 4- Leaf area index duration (LAID) of three maize hybrids (KSC 704, Maxima and TWC 604) under four nitrogen rate (0, 92, 220 and 368 kg N ha-1) during growing seasons 2014 and 2015

مجموعه عوامل یاد شده منجر به کاهش عملکرد دانه تولیدی توسط هیبریدهای ذرت تحت شرایط تنش نیتروژن گردید. از میان هیبریدهای مورد بررسی، دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما دارای برتری نسبی و معنی‌دار از نظر عملکرد دانه تولیدی در مقایسه با هیبرید تری‌وی‌کراس ۶۰۴ تحت شرایط وجود یا عدم وجود تنش نیتروژن بودند.

سپاسگزاری

بدین وسیله بر خود لازم می‌دانیم از همکاری ریاست مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان و پرسنل محترم که در تأمین مزرعه‌ی تحقیقاتی برای این آزمایش همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی نماییم.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- ضرایب همبستگی پیرسون برای صفات مورد مطالعه در هر یک از سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Table 4- Pearson correlation coefficients among growth indices and grain yield in 2014 and 2015

	شاخص سطح برگ بیشینه LAI_{max}	نسبت سطح برگ LAR	سطح ویژه برگ SLA	نسبت وزن برگ LWR	نسبت وزن ساقه SWR	دوام شاخص سطح برگ بیشینه $LAID_{max}$	عملکرد دانه Grain yield
۱۳۹۳							
LAI_{max}	1						
LAR	0.37ns	1					
SLA	0.6*	0.77**	1				
LWR	-0.02ns	0.78**	0.22ns	1			
SWR	-0.003ns	-0.81**	-0.27ns	-0.98***	1		
$LAID_{max}$	0.98***	0.45ns	0.66*	0.04ns	-0.06ns	1	
Grain yield	0.79**	-0.005ns	0.24ns	-0.27ns	0.26ns	0.73**	1
۱۳۹۴							
LAI_{max}	1						
LAR	-0.36ns	1					
SLA	-0.1ns	0.53ns	1				
LWR	-0.35ns	0.97***	0.35ns	1			
SWR	0.11ns	-0.52ns	0.04ns	-0.58*	1		
$LAID_{max}$	0.98***	-0.43ns	-0.04ns	-0.46ns	0.21ns	1	
Grain yield	0.86***	-0.71**	-0.13ns	-0.74**	0.39ns	0.92***	1

*، **، *** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۰،۰۵، ۰،۰۱، ۰،۰۰۱ و غیر معنی‌دار

*, **, *** and ns, significant at the 0.05, 0.01, 0.001 and no significant respectively

References

1. Antonietta, M., Acciaresi, H., and Guiamet, J. 2015. Responses to N deficiency in stay green and non-stay green argentinean hybrids of maize. Journal of Agronomy and Crop Science 202 (3): 231-242.
2. Azeem, K., Shah, S., Ahmad, N., Shah, ST., Khan, F., Arafat, Y., Naz, F., Azeem, I., and Ilyas, M. 2015. Physiological indices, biomass and economic yield of maize influenced by humic acid and nitrogen levels. Russian Agricultural Sciences 41:115-119.
3. Below, F., Cazetta, J., and Seebauer, J. 2000. Carbon/nitrogen interactions during ear and kernel development of maize. Physiology and modeling kernel set in maize. Crop Science Society of America and American Society of Agronomy15-24.
4. Boomsma, C. R., Santini, J. B., Tollenaar, M., and Vyn, T. J. 2009. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. Agronomy Journal 101:1426-1452.
5. Coque, M., and Gallais, A. 2007. Genetic variation among European maize varieties for nitrogen use efficiency under low and high nitrogen fertilization. Maydica 52: 383.
6. Ding, L., Wang, K., Jiang, G., Biswas, D., Xu, H., Li, L., and Li, Y. 2005. Effects of nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. Annals of Botany 96: 925-930.
7. Echarte, L., Rothstein, S., and Tollenaar, M. 2008. The response of leaf photosynthesis and dry matter accumulation to nitrogen supply in an older and a newer maize hybrid. Crop Science 48: 656-665.
8. FAO. 2015. Agricultural production statistics. Available at: http://faostat.fao.org.
9. Gehl, R. J., Schmidt, J. P., Maddux, L. D., and Gordon, W. B. 2005. Corn yield response to nitrogen rate and timing in sandy irrigated soils. Agronomy Journal 97: 1230-1238.
10. Gomez, K. A., and Gomez, A. A. 1984. Statistical procedures for agricultural research: John Wiley & Sons 704.
11. Habtegebrial, K., Singh, B., and Haile, M. 2007. Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen use efficiency of tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) and soil properties. Soil and Tillage Research94:55-63.
12. Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., and Gallais, A. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. Journal of Experimental Botany 58: 2369-2387.
13. Kaur, A., Bedi, S., Gill, G., and Kumar, M. 2012. Effect of nitrogen fertilizers on radiation use efficiency, Crop growth and yield in some maize (*Zea mays* L.) genotypes. Maydica 57: 75-82.

www.SID.ir

Archive of SID

14. Khaliq, T., Ahmad, A., Hussain, A., and Ali, M. 2009. Maize hybrids response to nitrogen rates at multiple locations in semiarid environment. Pakistan Journal of Botany 41: 207-224.
15. Khan, A., Shah, Z., and Shah, P. 2008. Plant density and nitrogen effects on growth dynamics, light interception and yield of maize. Archives of Agronomy and Soil Science 54: 401-411.
16. Khan, M., and Khan, N. 2001. Response of mustard and wheat to pre-sowing seed treatment with pyridoxine and basal level of calcium. Indian Journal of Plant Physiology 6: 300-305.
17. Mccullough, D., Aguilera, A., and Tollenaar, M. 1994a. N uptake, N partitioning, and photosynthetic N-use efficiency of an old and a new maize hybrid. Canadian Journal of Plant Science 74: 479-484.
18. Mccullough, D., Mihajlovic, M., Aguilera, A., Tollenaar, M., and Girardin, P. 1994b. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. Canadian Journal of Plant Science 74: 471-477.
19. Milliken, G. A., and Johnson, D. E. 2009. Analysis of messy data volume 1: designed experiments: CRC Press.
20. Mohammadi Aghdam, S., Yeganehpoor, F., Kahrariyan, B., and Shabani, E. 2014. Effect of different urea levels on yield and yield components of corn 704. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2: 300-305.
21. Monneveux, P., Zaidi, P., and Sanchez, C. 2005. Population density and low nitrogen affects yield-associated traits in tropical maize. Crop Science 45: 535-545.
22. O'neill, P. M., Shanahan, J. F., Schepers, J. S., and Caldwell, B. 2004. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. Agronomy Journal 96: 1660-1667.
23. Ogola, J., Wheeler, T., and Harris, P. 2002. Effects of nitrogen and irrigation on water use of maize crops. Field Crops Research78: 105-117.
24. Pandey, R., Maranville, J., and Chetima, M. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment: II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. Agricultural Water Management46:15-27.
25. Paponov, I., Sambo, P., Presterl, T., Geiger, H., and Engels, C. 2005. Grain yield and kernel weight of two maize genotypes differing in nitrogen use efficiency at various levels of nitrogen and carbohydrate availability during flowering and grain filling. Plant and Soil 272: 111-123.
26. Raja, V. 2003. Effect of N rates and plant population on yield and quality of super sweet corn. Indian Journalof Agronomy 46: 246-249.
27. Rajcan, I., and Tollenaar, M. 1999. Source: sink ratio and leaf senescence in maize:: I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. Field Crops Research 60: 245-253.
28. Tafteh, A., and Sepaskhah, A. 2012. Yield and nitrogen leaching in maize field under different nitrogen rates and partial root drying irrigation. International Journal of Plant Production 6: 93-114.
29. Uhart, S.A., and Andrade, F.H. 1995a. Nitrogen defeciency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. Crop Science 35: 1376-1383.
30. Uhart, S. A., and Andrade, F. H. 1995b. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. Crop Science 35: 1384-1389.
31. Uribelarrea, M., Crafts-Brandner, S. J., and Below, F. E. 2009. Physiological N response of field-grown maize hybrids (*Zea mays* L.) with divergent yield potential and grain protein concentration. Plant and Soil316:151-160.
32. Valentinuz, O. R., and Tollenaar, M. 2006. Effect of genotype, nitrogen, plant density, and row spacing on the area-per-leaf profile in maize. Agronomy Journal 98: 94-99.
33. Valero, J.D.J., Maturano, M., Ramírez, A.A., Martín-Benito, J.T., and Álvarez, J.O. 2005. Growth and nitrogen use efficiency of irrigated maize in a semiarid region as affected by nitrogen fertilization. Spanish Journal of Agricultural Research 3: 134-144.
34. Wu, Y., Liu, W., Li, X., Li, M., Zhang, D., Hao, Z., Weng, J., Xu, Y., Bai, L., and Zhang, S. 2011. Low-nitrogen stress tolerance and nitrogen agronomic efficiency among maize inbreds: comparison of multiple indices and evaluation of genetic variation. Euphytica 180: 281-290.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 463-476

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۴۷۶-۴۶۳

Evaluation of Physiological Responses of Maize Hybrids to different Nitrogen levels in Kerman Province, Iran

M. Madadizadeh[1]- J. Kambouzia[2*]- S. Soufizadeh[3]- B. Panahi[4]

Received: 05-11-2016
Accepted: 04-01-2017

Introduction: Nitrogen is one of the most abundant elements on earth and major essential for crop growth and development that is heavily used in modern agriculture to maximize yields. Among cereals, maize (*Zea mays* L.) is an important food and feed crop which ranks third after wheat and rice in the world. As N fertilizer costs remain relatively high and environmental concerns over excessive N application increase, the objectives of the present study were: (i) to compare maize hybrids growth and yield responses to N rates, (ii) to determine optimum N rate for maize grain yield production, (iii) to explore the physiological functions controlling maize growth and yield and (iv) to identify more effective physiological indices in maize grain production under N stress as well as potential condition.

Materials and Methods: Two field experiments were conducted in 2014 and 2015 at the Experimental Field of Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center, Kerman, Iran. The experiment was laid out as a randomized complete block design with factorial arrangement of treatments and three replications. Four nitrogen rates (0, 92, 220 and 368 kg N ha^{-1}) were applied to three maize hybrids (KSC 704, Maxima and TWC 604). Statistical analysis was done using SAS software (version 9.4).

Results and Discussion: Due to a significant lack of homogeneity of variance across the two years, data from the two years were treated as independent experiments and analyzed separately. Results showed that both N rates and hybrids had significant effect on growth indices and maize grain yield. The interaction between genotype and N rate was significant for grain yield in 2015 ($P<0.01$). Thus, physical slicing was used to do mean comparison. Results showed that KSC 704 and Maxima had quite similar responses to N rates and with an increase in N fertilization, their grain yield also increased. This response, however, was different in case of TWC 604 so that 92 kg N ha^{-1} showed maximum grain yield. The hybrids grain yield was lower notably in 2015 than 2014. As N rate reduced from 368 to 0 kg N ha^{-1}, the mean grain yield of hybrids reduced by 41 % (5082.5 kg ha^{-1}) in 2014 and 93 % (8824.6 kg ha^{-1}) in 2015. The highest and lowest values of grain yield were belonged to 368 kg N ha^{-1} in 2014 (12359.3 kg ha^{-1}) and Zero kg N ha^{-1} in 2015 (640 kg ha^{-1}), respectively. Since there were not found sensible differences between weather data during growing seasons in 2014 and 2015, it can be concluded that sharp reduction of grain yield especially in 0kg ha^{-1} plots in second year was due to nitrogen depletion from the soil. Two previous cropping seasons were fallow, so in first year of experiment, the amount of initial nitrogen in the soil was notable (about 415 kgha^{-1} in 0–60 cm soil depth); while in second year soil depletion of initial nitrogen occurred by both maize crop and existence of high sand percentage in soil texture (about 85 %) that led to high nitrogen leaching from the soil. Among the indices, Leaf area index (LAI) and leaf area index duration (LAID) were known as key indices in maize grain yield. Net assimilation rate (NAR) of hybrid TWC 604 was higher than hybrids KSC 704 and Maxima throughout growing seasons in two years; while the hybrids KSC 704 and Maxima showed higher grain yield with compared to TWC 604. The reason for this is the higher LAI and LAID in hybrids KSC 704 and Maxima that resulted in higher CGR and consequently higher grain yield in these hybrids than TWC 604. Our results showed that lack of nitrogen fertilizer significantly limited LAI and LAID.

Conclusions: In this study, maize grain yield increased with N application up to 368 kg ha^{-1}. However an

1- Ph.D Student of Department of Agroecology, Environmental Science Research Institute, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran
2 and 3- Associate Professor and Assistant Professor of Department of Agroecology, Environmental Science Research Institute, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran
4- Associate Professor of Horticultural Science, Horticulture Crop Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kerman, Iran
(*- Corresponding Author Email: j_kambouzia@sbu.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

economic evaluation is essential in order to optimum N fertilizer recommendation. LAI and LAID were known as key indices in maize grain yield formation. Nitrogen stress decreased maize grain yield mainly by reduction in LAI and LAID. Significant yield benefits were observed in KSC 704 and maxima compared to TWC 604 in both N stress and potential conditions.

Keywords: Grain yield, Growth indices, Nitrogen stress

www.SID.ir