

"مجله علوم زراعی ایران"
جلد چهارم، شماره ۳، ۱۳۸۱

تأثیر تنش آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت

Effect of water deficit and different nitrogen rates on growth and development stages, yield and yield component of maize (*Zea mays* L.)

علی سپهری^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^۲، بهزاد قره یاضی^۳ و یدالله یمینی^۴

چکیده

گیاهان در معرض عوامل تنش زای محیطی قرار دارند. در این رابطه مقدار آب و نیتروژن قابل دسترس از مهم ترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی محسوب می شوند. به منظور بررسی اثر تنش کمبود آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر مراحل نمو و رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه ای دو آزمایش مزرعه ای مستقل از هم به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۳۸۰ انجام شد. ارقام ذرت سینگل کراس ۱۰۸ و سینگل کراس ۳۰۱ تحت تنش کمبود آب و نیتروژن طی مراحل رشد رویشی و زایشی در دو منطقه همدان و کرج مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمایش ها نشان داد که مراحل فنولوژیکی رشد و نمو، تحت تأثیر تنش کمبود آب و مقادیر مختلف نیتروژن مصرفی به تأخیر افتاد و طول دوره تأخیر در تیمار های مختلف متفاوت بود. شاخص سطح برگ با کاهش رطوبت خاک و نیتروژن قابل دسترس به شدت کاهش یافت. اختلاف معنی داری در عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و اجزاء عملکرد در شرایط مختلف تنش رطوبتی ملاحظه شد. کمترین مقدار بیوماس کل و عملکرد دانه متعلق به گیاهانی بود که در هر دو مرحله رویشی و زایشی در معرض تنش آب قرار گرفتند. تنش رطوبت در مراحل رویشی و زایشی به ترتیب عملکرد دانه را به مقدار ۱۵ و ۲۰ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن نیز تفاوت معنی داری در عملکرد دانه ایجاد نمود. هم چنین حدود ۱۵ تا ۱۸ درصد کاهش در محتوی رطوبت نسبی برگ در شرایط مختلف تنش کمبود آب و مقادیر مختلف نیتروژن در تیمار های مورد بررسی مشاهده شد. شاخص برداشت تحت تأثیر عوامل تنش زا قرار نگرفت ولی شاخص حساسیت تنش (SI) در تیمار های مختلف متغیر بود. بیشترین شاخص حساسیت تنش (SI) مربوط به رقم سینگل کراس ۳۰۱ در شرایط تنش رطوبتی در دوره رویشی و زایشی بود.

واژه های کلیدی: ذرت، تنش آب، نیتروژن، نمو و رشد، عملکرد، اجزاء عملکرد.

مقدمه

رخ می دهد که مقدار آب دریافتی بر اثر عواملی مانند خشکی، درجه حرارت بالا و شوری، کمتر از تلفات آن باشد. اثرات سوء ناشی از تنش آب بر نمو و رشد و عملکرد ذرت بستگی به زمان وقوع تنش، شدت تنش،

یکی از مهم ترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک، تنش کمبود آب در مراحل رشد است. تنش آب عملاً موقعی

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۱/۹/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۰/۳/۵

* بخشی از رساله دکتری زراعت نگارنده اول در گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس - تهران

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه بوعلی سینا، ۲ و ۴- استادیاران دانشگاه تربیت مدرس، ۳- استادیار پژوهش وزارت جهاد کشاورزی

مرحله نمو و ژنوتیپ گیاه دارد. به اظهار اسبورن و همکاران (Osborne et al., 2002)، تنش آب در مراحل قبل از گل دهی، زمان گل دهی و بعد از گل دهی عملکرد ذرت را به ترتیب ۲۵، ۵۰ و ۲۱ درصد کاهش می دهد. گزارش های متعددی مبنی بر حساس بودن مرحله گل دهی و گرده افشانی در ذرت نسبت به کمبود آب داده شده است (علیزاده، ۱۳۷۸؛ تیروپیت، ۱۳۷۲؛ Zinselmeier et al., 1995a; Westgate & Boyer, 1986; Westgate, 1994). کمبود آب در این مرحله باعث کاهش شدید عملکرد از طریق نمو غیر طبیعی کیسه جنینی، عقیمی دانه گرده و در نهایت کاهش تعداد دانه های بارور می شود (Denmead & Shaw, 1960). هم چنین برخی محققین بر اهمیت تأمین آب کافی در مرحله رشد رویشی ذرت تأکید کرده اند. به اعتقاد آن ها تنش آب در مرحله رشد رویشی و قبل از گرده افشانی گرچه اثر کمتری بر عملکرد نهائی نسبت به کمبود آب در مرحله گلدهی و پر شدن دانه ها دارد، ولی از این نظر که برگ گسترش برگ و توسعه ساقه تأثیر گذاشته و میزان تجمع مواد در این اندام را به شدت تغییر می دهد دارای اهمیت خاصی است (Classen & Shaw, 1970; NeSmith, & Ritchie, 1992). از سوی دیگر در شرایط تنش رطوبتی، رشد زایشی گیاه به ذخائر موجود در ساقه و برگ بیشتر وابسته است (هی و واکر، ۱۳۷۳). گزارش شده که عدم تشکیل مناسب دانه می تواند به دلیل ناکافی بودن مواد فتوسنتزی فراهم، در زمان گرده افشانی، پر شدن دانه و قبل از آن باشد. تنش کمبود آب در این مراحل می تواند رشد سلول های جنینی را تحت تأثیر قرار دهد (Zinselmeier, et al., 1995b). شواهد زیادی وجود دارد که کمبود آب در طی پر شدن دانه بر وزن دانه تأثیر می گذارد (Classen & Shaw, 1970). کاهش تعداد دانه در بلال نیز از ۴۰ تا ۷۰ درصد در مقایسه با شاهد در نتیجه کمبود آب ملاحظه شده است

(Zinselmeier, et al., 1995b). علاوه بر تنش کمبود آب، کمبود نیتروژن مورد نیاز می تواند فشار مضاعفی را بر رشد و عملکرد گیاه وارد آورد. نیتروژن عنصر ضروری برای رشد بوده و تغییر در مقادیر قابل دسترس آن به ویژه در شرایط تنش آب عملکرد گیاه را به شدت تحت تأثیر قرار می دهد. مقدار نیتروژن قابل دسترس بر توزیع مقدار مواد فتوسنتزی بین اندام های رویشی و زایشی مؤثر بوده و مراحل فنولوژیکی رشد و نمو در اثر کمبود نیتروژن به تأخیر می افتد (Girardin, et al., 1987). از آن جا که کشت ارقام زودرس ذرت در تابستان به عنوان کشت دوم در مناطق معتدله امکان پذیر بوده و می تواند نقش مهمی در افزایش درآمد زارع از طریق حداکثر بهره برداری در بعد زمان ایفا نماید و از سوی دیگر تأمین کننده بخشی از علوفه و دانه ذرت مورد نیاز کشور است تأمین آب مورد نیاز در این نوع کشت از مهم ترین عوامل باز دارنده به حساب می آید (سپهری، ۱۳۷۸). بدین منظور در این مطالعه اثر کمبود موقت آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر رشد و نمو عملکرد ارقام زودرس ذرت مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این که در برخی منابع امکان کاهش مصرف آب در مرحله رویشی به منظور حداکثر استفاده از منابع آب مطرح گردیده اظهار شده است که کاهش مصرف آب در مرحله قبل از گلدهی ممکن است قابل توجیه باشد (NeSmith, & Ritchie, 1992)، در این تحقیق سعی شده است اثر تنش کمبود موقت آب در هر دو مرحله رویشی و زایشی به طور جداگانه و توأم بر رشد و نمو و عملکرد گیاه مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش ها

دو آزمایش مستقل به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در دو منطقه همدان و کرج به ترتیب در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی بوعلی سینا با موقعیت طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۴ درجه و

تأثیر تنش آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر...

خاک در هر مرحله از تنش کمبود آب با توجه به منحنی خصوصیات رطوبتی خاک هر منطقه به دست آمد. قبل از کشت از خاک مزرعه تا عمق ۳۰ سانتیمتری به منظور تعیین بافت خاک و نیاز کودی نمونه برداری انجام شد. بافت خاک مزرعه در منطقه همدان Loam و در منطقه کرج Silty loam و به ترتیب دارای واکنش خاک ۷/۷۵ و ۷/۲۵ بود. یک سوم کود نیتروژن مورد نیاز به صورت پایه و دو سوم باقی مانده به صورت سرک در مرحله شش برگی به گیاه داده شد. مبارزه با علف های هرز به صورت دستی انجام گرفت. نمونه برداری از گیاهان در مراحل هشت برگی (V8)، ده برگی (V10)، دوازده برگی (V12)، شروع رشد زایشی (R1)، رسیدگی خمیری (R4) و رسیدگی فیزیولوژیک (R6) جمعاً طی شش مرحله طبق تقسیم بندی هانوی Hanway انجام شد. محاسبه محتوی رطوبت نسبی برگ (Relative Water Content (RWC)، از طریق ۱۵ دیسک برگ که به قطر هفت میلیمتر که توسط پانچ از برگ های گیاه در ساعت ۱۰ صبح انتخاب شده بود انجام گرفت. به طوری که بعد از توزین وزن تر، دیسک های برگ در پتری آب مقطر به مدت ۱۲ ساعت، اشباع و سپس توزین شدند. نمونه های توزین شده بعداً در آون ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و وزن خشک آن ها تعیین گردید. محتوی رطوبت نسبی برگ طبق فرمول:

$$\text{محتوی رطوبت نسبی برگ} = (\text{وزن تر} - \text{وزن خشک}) / (\text{وزن تراشباع} - \text{وزن خشک}) \times 100$$

به دست آمد (Barres & Weatherley, 1962). برای تعیین شاخص تنش (SI) Stress Index از شاخص گرین وود Greenwood که توسط یوهارت و آندریس

۴۸ دقیقه شمالی (منطقه ۱) و مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس با موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی (منطقه ۲)، در سال زراعی ۱۳۸۰ به طور هم زمان انجام شد. از دو رقم ذرت هیبرید زودرس سینگل کراس ۱۰۸ و سینگل کراس ۳۰۱، تولید شده توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر با تراکم توصیه شده به ترتیب ۸۵ هزار و ۷۵ هزار بوته در هکتار، در دو سطح نیتروژن ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در سه تکرار استفاده شد. در هر منطقه ۴۸ واحد آزمایشی با کرت های پنج ردیفه و خطوطی به فواصل ۷۵ سانتیمتر و طول چهار متر در نظر گرفته شد. تیمار های تنش کمبود آب به صورت قطع کامل آبیاری (دو دور آبیاری) شامل تنش موقت رطوبت در مرحله هشت برگی (V8)، تنش موقت رطوبت بعد از گرده افشانی در مرحله شیری (R3) و تنش موقت رطوبت در مراحل رویشی و زایشی مورد اشاره (V8 & R3) و بدون تنش آب (بدون قطع آبیاری) بود. آبیاری در تیمار بدون تنش آب معادل نیاز آبی گیاه انجام شد. نیاز آبی گیاه با استفاده از تشتک تبخیر محاسبه و تبخیر روزانه از تشتک اندازه گیری و سپس با توجه به ضریب تشتک و ضریب گیاهی میزان آب مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری تعیین گردید. آبیاری کرت ها توسط لوله پلی اتیلن و حجم آب ورودی به کرت ها با کنتور آب کنترل شد. پتانسیل آب

$$\text{شاخص تنش} = \text{CGR} - \text{تیمار بدون تنش} - \text{CGR} \text{ تیمار تنش دیده} / \text{CGR} \text{ تیمار بدون تنش} \times 100$$

در شرایط کمبود نیتروژن مطابقت دارد، آن‌ها مدت زمان تأخیر در گلدهی را در چنین شرایطی پنج تا هشت روز و جیراردین و همکاران (Girardin, et al., 1987) این تفاوت را تا ظهور ابریشم بلال حداکثر ۱۱ روز گزارش کرده‌اند. در هر دو رقم تنش موقت آب در مرحله رویشی باعث تأخیر در شروع رشد زایشی و هم چنین ظهور ابریشم بلال به مدت شش تا هفت روز نسبت به گیاهان بدون تنش شد. بین دو رقم از لحاظ مدت زمان تأخیر در گلدهی در نتیجه کمبود آب در مرحله رویشی تفاوت معنی داری ملاحظه نشد. عقب افتادن ظهور ابریشم بلال در اثر کمبود آب قبل از مرحله گرده افشانی، از یک تا هشت روز برای ارقام مختلف قبلاً گزارش شده است (Grant et al., 1989; Hall, et al., 1981; Herreo and Johnson, 1981; NeSmith & Ritchie, 1992; Vincent & Wooley, 1972) نی اسمیت و ریتچی (NeSmith, & Ritchie, 1992)، این تأخیر را برای تنش آب اعمال شده در مرحله هشت برگی سه روز اعلام کرده‌اند. از لحاظ زمان وقوع رسیدگی فیزیولوژیک بین گیاهان دچار تنش آب در مرحله رویشی و شاهد تفاوت معنی داری ملاحظه نشد، به عبارت دیگر در کمبود رطوبت، مرحله پر شدن دانه به علت تأخیر در شروع رشد زایشی کمتر از گیاهان شاهد بود. نی اسمیت و ریتچی (NeSmith, & Ritchie, 1992)، نیز تفاوتی بین زمان رسیدگی دانه در گیاهان دچار تنش آب در مرحله قبل از گرده افشانی و گیاهان بدون تنش ملاحظه نکردند. تنش آب در مرحله بعد از گرده افشانی (آغاز شیری شدن دانه) بر دوره پر شدن دانه اثر گذاشت و پر شدن دانه را به مدت چهار تا هفت روز بسته به رقم و سطح نیتروژن مصرفی کوتاه تر نمود. قابل ذکر است گیاهانی که در هر دو مرحله رویشی و زایشی دچار تنش آب شدند دوره پر شدن دانه در آن‌ها به شدت کاهش یافت این کاهش در ارقام و سطح کودی مختلف بین ۱۲ تا ۱۵ روز نسبت به شاهد بود. طولانی ترین دوره

تجزیه مرکب داده‌ها طبق روش کارمر و همکاران (Carmer et al., 1989) با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد.

نتایج و بحث

نمو و رشد گیاه:

مراحل فنولوژیکی نمو و رشد گیاه تحت تأثیر تنش کمبود آب و مقادیر مختلف نیتروژن مورد مطالعه قرار گرفت و طول دوره رشد رویشی و زایشی در تیمارهای مختلف تغییر پیدا کرد. تغییرات ایجاد شده در فنولوژی گیاه طی مراحل هشت برگی، ده برگی، ۱۲ برگی، و مراحل مختلف رسیدگی دانه در جدول ۱ بر حسب روزهای بعد از کاشت آمده است. بعد از اعمال کمبود رطوبت در مرحله هشت برگی زمان ظهور برگ به تأخیر افتاد. حداکثر اختلاف در زمان ظهور برگ در ۱۲ برگی ملاحظه شد. گیاهان دچار تنش آب بسته به رقم و مقدار نیتروژن مصرفی چهار تا هفت روز دیرتر از گیاهان بدون تنش به مرحله ۱۲ برگی رسیدند. کمبود نیتروژن قابل دسترس اثر کمتری در زمان ظهور برگ نسبت به کمبود آب داشت، به طوری که ظهور برگ دوازدهم در دو رقم در سطح پایین نیتروژن مصرفی به طور متوسط سه روز به تأخیر افتاد. با وجود هم زمانی تاریخ کاشت گیاهان دو منطقه، ظهور برگ‌ها در کرج سه تا چهار روز زودتر از همدان اتفاق افتاد. این امر می‌تواند به دلیل دریافت درجه حرارت‌های بیشتر در دوره نمو و رشد گیاهان در این منطقه باشد. تعداد نهائی برگ تحت تأثیر کمبود نیتروژن و آب قرار نگرفت به طوری که در کلیه گیاهان ۱۲ برگ ظاهر شد. یوهارت و آندرید (Uhart & Andrade, 1995a) نیز در تیمارهای مختلف نیتروژن، اختلافی بین تعداد برگ ملاحظه نکردند. گیاهانی که نیتروژن کمتری دریافت کردند ظهور گل‌نر و ابریشم بلال چهار تا پنج روز دیرتر اتفاق افتاد که با نظر جاکوبس و پیرسون (Jacobs & Pearson, 1991) مبنی بر تأخیر در گلدهی

ملاحظه نشد، به طوری که هر دو رقم کاهش مشابهی داشتند. تنش موقت آب طی دوران رشد رویشی و زایشی حدود ۱۵ تا ۱۸ درصد از رطوبت نسبی برگ را در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد کاهش داد. گیاهانی که کود نیتروژن بیشتری دریافت کردند رطوبت نسبی برگ بالاتری داشتند.

رشد زایشی مربوط به رقم ۳۰۱ با مقدار نیتروژن مصرفی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در وضعیت بدون تنش آب و کمترین دوره رشد زایشی مربوط به رقم ۱۰۸ با مقدار نیتروژن مصرفی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و اعمال تنش آب در مراحل رویشی و زایشی بود (جدول ۱). بین دو رقم از لحاظ کاهش درصد رطوبت نسبی برگ بعد از اعمال تنش آب از نظر آماری تفاوت معنی داری

جدول ۱- مراحل مهم نمو و رشد در تیمارهای مختلف بر اساس روزهای بعد از کاشت در دو منطقه همدان (۱) و کرج (۲)

Table 1. Development and Growth stages in different treatments based on days after planting in two locations,

		Hamadan (L1) and Karaj (L2)											
Development & Growth stages		هشت برگی (V8)		ده برگی (V10)		دوازده برگی (V12)		ظهور ابریشم بلال (R1)		رسیدگی خمیری (R4)		رسیدگی فیزیولوژیک (R6)	
Treatment	تیمار	منطقه ۱ L1	منطقه ۲ L2	منطقه ۱ L1	منطقه ۲ L2	منطقه ۱ L1	منطقه ۲ L2	منطقه ۱ L1	منطقه ۲ L2	منطقه ۱ L1	منطقه ۲ L2	منطقه ۱ L1	منطقه ۲ L2
تنش کمبود آب (رویشی): Water deficit stress (Vegetative)													
N 100	Se 108	24	23	37	35	45	41	54	49	78	72	95	90
N 200		24	23	35	33	43	38	51	46	84	78	100	94
N 100	Se 301	26	24	40	36	52	46	60	54	87	81	104	98
N 200		26	24	38	34	49	43	54	49	90	83	110	104
تنش کمبود آب (زایشی): Water deficit stress (Reproductive)													
N 100	Se 108	24	23	35	33	41	37	48	43	76	70	91	87
N 200		24	23	33	31	38	34	45	41	80	74	95	90
N 100	Se 301	26	24	38	34	46	42	53	47	85	79	97	92
N 200		26	24	35	31	42	38	49	43	87	80	103	98
تنش آب (مراحل رویشی و زایشی): Water stress (Veg. & Rep.)													
N 100	Se 108	24	23	37	35	45	41	54	49	74	68	85	80
N 200		24	23	35	33	43	38	51	46	78	72	93	87
N 100	Se 301	26	24	40	36	52	46	60	54	83	78	95	90
N 200		26	24	38	34	49	43	54	49	85	77	101	95
بدون تنش آب (شاهد): Non-water stress													
N 100	Se 108	24	23	35	33	41	37	48	43	80	74	95	90
N 200		24	23	33	31	38	34	45	41	88	82	100	94
N 100	Se 301	26	24	38	34	46	42	53	47	89	83	104	98
N 200		26	24	35	31	42	38	49	43	94	87	110	104

دانه و کل ماده خشک در رقم سینگل کراس ۱۰۸ در شکل های ۱ و ۲ و در رقم سینگل کراس ۳۰۱ در

روند تجمع ماده خشک: روند تجمع ماده خشک در اندام هوایی برگ، ساقه،

گرفتند انتقال مجدد مواد ذخیره ای از برگ و ساقه به دانه بعد از رفع تنش کمبود آب به خوبی انجام شده ولی دوره رشد زایشی بر اثر کمبود آب به شدت کاهش یافت (جدول ۱)، لذا در این گیاهان انتقال مواد از اندام ذخیره ای، نتوانست اُفت تولید ماده خشک ناشی از کوتاه شدن دوره پر شدن دانه را جبران نماید در نتیجه ماده خشک دانه به شدت کاهش یافت. مقدار کاهش ماده خشک دانه در رقم سینگل کراس ۳۰۱ بیشتر بوده که نشان دهنده حساسیت بیشتر این رقم به تنش کمبود آب در دوران زایشی است. هم چنین حدود ۱۵ تا ۱۸ درصد کاهش در محتوای رطوبت نسبی برگ در شرایط مختلف تنش کمبود آب و مقادیر مختلف نیتروژن در تیمار های مورد بررسی مشاهده شد.

تولید و توسعه سطح برگ:

مقدار نیتروژن مصرفی تأثیر زیادی بر تولید و گسترش سطح برگ داشته است. گیاهان با دریافت نیتروژن بیشتر سطح برگ بزرگ تری خصوصاً در برگ های بالائی نسبت به گیاهان با نیتروژن مصرفی کم داشتند. رشد گند گیاهان در مراحل اولیه و در نتیجه اختصاص کم مواد فتوسنتزی به برگ ها، باعث یکنواختی تولید برگ در مقادیر مختلف نیتروژن مصرفی شده است (شکل های ۱، ۲، ۳ و ۴). ولی با افزایش سرعت رشد، مقادیر بیشتر نیتروژن قابل دسترس، اثر زیادی بر توسعه و گسترش برگ ها به ویژه برگ هایی که دیرتر ظاهر و متکامل می شوند گذاشته است. اختلاف معنی دار شاخص سطح برگ در رابطه با مقادیر مختلف نیتروژن مصرفی در مراحل ده برگی و خمیری دانه به خوبی آشکار بود (جدول ۲). به گزارش نووا و لومیس (Novoa & Loomis, 1981)، اختلاف معنی دار در سطح برگ ناشی از کمبود نیتروژن، معمولاً در محدوده ۱۲ تا ۱۸ برگی در ارقام متوسط رس و دیر رس نمایان می شود. ولی یوهارت و آندرید (Uhart & Andrade, 1995a) اختلاف معنی دار

شکل های ۳ و ۴ برای سطوح مختلف نیتروژن مصرفی آمده است. همان طور که ملاحظه می شود در ابتدا تفاوت چندانی در تجمع ماده خشک برگ و ساقه دو رقم دیده نمی شود (در مرحله هشت برگی)، ولی با افزایش تعداد برگ های گیاه تفاوت بین ارقام و سطوح مختلف نیتروژن مصرفی از این نظر آشکار می گردد. در کلیه گیاهان حداکثر تجمع ماده خشک برگ در مرحله ۱۲ برگی رخ داد، در این مرحله تجمع مواد در ساقه هم چنان ادامه یافته و در مرحله رسیدگی شیری (R3) به حداکثر خود رسید که با نظر جیراردین و همکاران (Girardin, et al., 1987)، مطابقت دارد. در تیمار های بدون تنش آب، تجمع کل ماده خشک در تمام دوران رشد برای رقم سینگل کراس ۳۰۱ بیش از رقم ۱۰۸ بود، این امر نشان دهنده پتانسیل بالاتر رقم یاد شده در تولید و ذخیره مواد فتوسنتزی در شرایط مورد آزمایش است. در دو رقم مورد بررسی مقدار تجمع ماده خشک در واحد بوته در نیتروژن مصرفی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش از نیتروژن مصرفی ۱۰۰ کیلوگرم بود که با یافته های قبلی مطابقت دارد (سپهری، ۱۳۷۸؛ مظاهری و همکاران، ۱۳۷۷).

روند تجمع ماده خشک برگ و ساقه در گیاهانی که در معرض تنش موقت کمبود آب در مرحله رویشی واقع شدند به شدت کاهش یافت، این گیاهان بعد از رفع تنش آب نتوانستند کاهش ماده خشک ناشی از کمبود آب در مرحله یاد شده را جبران نمایند. این کاهش در دو سطح مختلف نیتروژن مصرفی با شدت نسبتاً ثابتی ملاحظه شد. به نظر می رسد تا مرحله هشت برگی مصرف نیتروژن بیشتر، تأثیر چندانی بر افزایش تجمع ماده خشک در شرایط تنش کمبود آب ندارد. با شروع رشد زایشی (R1) مواد تجمع یافته در برگ و ساقه در اثر انتقال مواد به اندام زایشی رو به کاهش گذارد، این کاهش در کلیه گیاهان، اعم از تنش دیده و بدون تنش آب (شاهد) مشاهده شد. قابل ذکر است گیاهانی که طی مرحله زایشی (R3) در معرض تنش کمبود آب قرار

در سطح برگ را در مرحله شش تا هفت برگگی ملاحظه کرده اند. به نظر می رسد تفاوت اثر نیتروژن مصرفی در زمان ظهور اختلاف معنی دار در سطح برگ، می تواند به دلیل مقادیر مختلف نیتروژن مصرفی، زمان مصرف و تفاوت ارقام از لحاظ خصوصیات رشدی و کود پذیری باشد. مظاهری و همکاران (۱۳۷۷)، بیشترین شاخص سطح برگ در ارقام ایرانی را با مصرف ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کمترین آن را با مصرف ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار گزارش کرده اند.

هم چنین کمبود آب اثر کاهشی بر شاخص سطح برگ داشت. تنش موقت آب در مرحله رویشی سبب ۲۰ درصد کاهش شاخص سطح برگ در مرحله ده برگگی شد (جدول ۳). حساسیت رقم سینگل کراس ۱۰۸ در این رابطه بیش از رقم دیگر بود. تنش کمبود آب بعد از گرده افشانی نیز بر مقدار شاخص سطح برگ تأثیر زیادی گذاشت. در دو منطقه مورد بررسی شاخص سطح برگ در مرحله ده برگگی با یکدیگر تفاوت معنی دار داشت ولی در مرحله خمیری دانه تفاوت معنی داری بین شاخص سطح برگ گیاهان ملاحظه نشد (جدول ۲). شاخص سطح برگ بزرگ تر برای ارقام کشت شده در همدان، حاکی از فراهم بودن شرایط محیطی بهتر به ویژه درجه دمای مناسب در اوایل دوره رشد برای تشکیل و توسعه برگ در این منطقه می باشد. بین دو رقم در مرحله خمیری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی دار در شاخص سطح برگ آشکار بود، که نشان دهنده تداوم بهتر سطح برگ در رقم ۳۰۱ می باشد (جدول ۲).

عملکرد بیولوژیک (بیوماس کل):

عملکرد بیولوژیک که نشان دهنده ماده خشک تجمع یافته در اندام هوایی در زمان برداشت است، تحت تأثیر کمبود آب و نیتروژن قرار گرفت. در منطقه همدان کل ماده خشک تولیدی ده درصد بیش از منطقه کرج برای تیمارهای مشابه بود

(جدول ۲). همان گونه که اشاره شد گسترش بیشتر و زودتر سطح برگ می تواند دلیل افزایش تولید کل ماده خشک در گیاهان کشت شده در همدان باشد. تولید کل ماده خشک در رقم سینگل کراس ۳۰۱، ۱۱/۳ درصد بیش از رقم سینگل کراس ۱۰۸ بود (جدول ۲). معمولاً ارقامی که دوره رشد طولانی تری دارند ماده خشک بیشتری نیز تولید می نمایند (Jacobs & Pearson, 1991).

کاهش سطح نیتروژن مصرفی از ۲۰۰ به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بیوماس کل را به طور متوسط ۱۸۵۸/۱ کیلوگرم در هکتار کاهش داد. کاهش بیوماس کل در مقادیر کم مصرف نیتروژن توسط دیگران نیز گزارش شده است (Girardin et al., 1987; Novoa & Loomis., 1981; Uhart & Andrade, 1995). این امر می تواند به دلیل تأثیر زیاد نیتروژن بر گسترش سطح برگ و تداوم بهتر آن باشد. در مقادیر بیشتر نیتروژن سرمایه گذاری مواد فتوسنتزی در بخش های برگ و ساقه افزایش یافته و در نهایت مواد تجمع یافته در دانه فزونی می یابد (شکل های ۱، ۲، ۳ و ۴). با اعمال تنش موقت رطوبتی طی دوران رشد رویشی و زایشی، کاهش خیلی معنی داری در عملکرد بیولوژیک مشاهده شد (جدول ۳)، که نظر اسپورن و همکاران (Osborne et al., 2002)، را تأیید می نماید. کمبود آب در مرحله زایشی ۷/۱ درصد بیش از تنش آب در مرحله رویشی کل ماده خشک را کاهش داد. گیاهانی که طی مراحل رویشی و زایشی دچار تنش آب شدند نسبت به گیاهان بدون تنش ۲۹/۷ درصد کاهش در بیوماس کل داشتند. این کاهش می تواند به دلیل کوتاه شدن دوره رشد رویشی و زایشی در اثر تنش کمبود رطوبت باشد (جدول ۱). رقم سینگل کراس ۳۰۱ در تنش کمبود رطوبت طی مراحل رویشی و زایشی، کاهش بیشتری در عملکرد ماده خشک نسبت به رقم سینگل کراس ۱۰۸ از خود نشان داد (جدول ۳). البته بیشترین ماده خشک تولیدی با رقم ۳۰۱ در سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و

عملکرد دانه حدود ۱۸ درصد در مقایسه با شاهد کاهش می یابد، که با نتایج این آزمایش حدود ۲ درصد اختلاف دارد. تعداد دانه در بلال و وزن دانه تحت تنش آب کاهش یافت ولی شدت کاهش در وزن دانه بیشتر بود. این کاهش برای وزن دانه در تنش آب در مرحله رویشی، زایشی و رویشی - زایشی به ترتیب ۱۰/۶، ۱۶/۹، ۲۳/۷ درصد و برای تعداد دانه در بلال به ترتیب ۴/۸، ۲/۶، ۶/۷ درصد در مقایسه با شاهد بود (جدول ۳). به اظهار وستگیت (Westgate, 1994)، تفاوت معنی داری در تعداد دانه در بلال طی دوران تنش آب بعد از گرده افشانی مشاهده نمی شود ولی وزن دانه تغییر می یابد. کاهش وزن دانه در تنش کمبود آب بعد از گرده افشانی، عمدتاً به دلیل کاهش دوره پر شدن دانه است (جدول ۱)، ولی تعداد نهایی دانه در بلال در موقع گرده افشانی تعیین می شود و ناکافی بودن مواد فتوسنتزی فراهم برای رشد همه سلول های جنینی، اثر منفی بر تعداد دانه در بلال دارد (Zinselmeier et al., 1995b). عملکرد دانه، وزن دانه و تعداد دانه تحت تأثیر نیتروژن مصرفی قرار گرفته و در سطح ۵ درصد معنی دار بود. عملکرد دانه در سطح نیتروژن مصرفی ۲۰۰ کیلوگرم به طور متوسط ۱۹ درصد و تعداد دانه در بلال و وزن دانه ده درصد بیش از نیتروژن در سطح ۱۰۰ بود (جدول ۲). مطالعات متعدد تأثیر مثبت نیتروژن بر افزایش عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال و وزن دانه را در هیبریدهای مختلف تأیید کرده است (Osborne et al., 2002; Uhart & Andrade, 1995a; Uhart & Andrade, 1995b). همکاران (Girardin et al., 1987)، کمبود نیتروژن در مراحل اولیه (سبز شدن تا شش برگی) را در کاهش تعداد دانه مؤثر می دانند، آن ها این موضوع را به خاطر تأثیر احتمالی کمبود نیتروژن در مراحل اولیه رشد بر پتانسیل تعداد تخمک ها در مرحله گل دهی گزارش کرده اند. برهمکنش رقم و تنش کمبود آب بر عملکرد دانه در سطح ۵ درصد و برای تعداد دانه در بلال

شرایط بدون تنش کمبود آب (معادل ۱۵۸۲۴ کیلوگرم در هکتار) به دست آمده و کمترین ماده خشک تولیدی در سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متعلق به گیاهانی بود که طی دوران رویشی و زایشی در معرض تنش کمبود آب قرار گرفته بودند. عملکرد دانه و اجزاء آن:

بین دو رقم از لحاظ عملکرد دانه و وزن دانه اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول ۲). وزن دانه در رقم سینگل کراس ۳۰۱، ۱۸/۷ درصد بیش از رقم ۱۰۸ بود. عملکرد دانه، وزن دانه و تعداد دانه در بلال تحت تأثیر مقدار رطوبت و نیتروژن قابل دسترس خاک واقع شد. با مراجعه به اثر تیمارها در جدول های ۳ و ۴ ملاحظه می گردد تنش موقت آب اثر بیشتری نسبت به کمبود نیتروژن بر عملکرد دانه و اجزاء آن گذاشته است. در رابطه با صفات یاد شده اثر تنش رطوبتی در سطح ۱ درصد معنی دار بود. تنش موقت آب در مرحله رویشی ۱۵/۱ درصد و در مرحله زایشی ۲۰ درصد عملکرد دانه را نسبت به شاهد کاهش داد. گیاهانی که در هر دو مرحله رشد در معرض تنش آب قرار گرفتند، ۲۷/۸ درصد کاهش در عملکرد دانه نسبت به گیاهان بدون تنش آب نشان دادند. تنش موقت آب در مرحله رویشی از یک سو با تأثیر بر مقدار سطح برگ، سطوح فعال فتوسنتزی را کاهش داده و از سوی دیگر با افت محتوای رطوبت نسبی و پتانسیل آب برگ زمینه کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ را فراهم آورده است. اسبورن و همکاران (Osborne et al., 2002)، تأثیر تنش آب قبل از ابریشم دهی بلال را در کاهش عملکرد دانه بین ۱۵/۸ تا ۲۲/۱ درصد گزارش کرده اند، که با نتایج به دست آمده در این آزمایش مشابه است. البته برخی پژوهشگران کاهش ۲۵ درصدی را در عملکرد دانه طی تنش آب در دوره رویشی گزارش نموده اند. (Denmead & Shaw, 1960)

در رابطه با تنش کمبود آب بعد از گرده افشانی وستگیت (Westgate, 1994)، اظهار می دارد که

نیتروژن و آب برای عملکرد دانه و اجزاء آن معنی دار بود. بالاترین عملکرد دانه با رقم ۳۰۱ در سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم و بدون تنش کمبود آب به دست آمد. در رقم ۳۰۱ و سطح کودی بالا اثر تنش کمبود آب در کاهش عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال و وزن دانه بیشتر از رقم ۱۰۸ بود. هر چند که در سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیز برای صفات یاد شده اختلاف در بین دو رقم کاملاً مشهود بود. این مسأله نشانگر آنست که نه تنها دو رقم در شرایط کودی یکسان واکنش متفاوتی نسبت به تنش کمبود آب در مراحل مختلف رشد و عملکرد دانه از خود نشان می دهند، بلکه تنش آب قبل از آن که باعث کاهش عملکرد دانه گردد کمبود نیتروژن اثر خود را از طریق کاهش رشد و توسعه اندام گیاه بر عملکرد کل گیاه اعمال می نماید.

شاخص برداشت (HI) Harvest Index که نشان دهنده مقدار مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به اندام اقتصادی گیاه نسبت به کل مواد تولیدی ذخیره شده در طول دوره نمو و رشد است تحت تأثیر برهمکنش نیتروژن و تنش کمبود آب واقع شد. تنش خشکی در سطح نیتروژن مصرفی بالا باعث افزایش شاخص برداشت شد ولی در سطح پایین نیتروژن مصرفی تفاوت قابل ملاحظه ای در این شاخص ایجاد نکرد. این مسأله می تواند به این دلیل باشد که در شرایط کمبود نیتروژن و تنش آب نه تنها مواد تولید شده در کل اندام گیاه کمتر بوده بلکه اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام اقتصادی نیز به همان نسبت کاهش می یابد. البته انتقال مواد به دانه ها ممکن است تحت تأثیر مستقیم تنش موقت کمبود آب قرار نگرفته و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه علت اصلی اختصاص کمتر مواد به دانه در این شرایط باشد. تغییرات وزن دانه در شرایط تنش و بدون تنش این مسأله را تأیید می نماید. به اظهار وستگیت (Westgate, 1994)، تفاوتی در شاخص برداشت گیاهان در تیمارهای مختلف آب دیده نمی شود و سرعت انتقال مواد به دانه ها در شرایط تنش و بدون تنش آب تفاوتی

و وزن دانه در سطح ۱ درصد معنی دار شد. در رقم ۳۰۱ تنش آب در مراحل رویشی و زایشی به ترتیب سبب کاهش عملکرد دانه معادل ۱۱۳۹/۶ و ۱۵۵۴/۵ کیلوگرم در هکتار گردید. اعمال تنش کمبود آب در دو مرحله یاد شده عملکرد دانه را در این رقم ۱۹۹۷/۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به شاهد کاهش داد. در رقم ۱۰۸ کمبود آب در مرحله رویشی ۳۸۳/۱ کیلوگرم و در مرحله زایشی ۴۵۵/۵ کیلوگرم و در مرحله رویشی و زایشی ۷۹۹/۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه را کاهش داد، که نشان دهنده تأثیر کمتر تنش کمبود آب در عملکرد دانه رقم ۱۰۸ است (جدول ۳). نی اسمیت و ریتچی (NeSmith & Ritchie, 1992)، نیز بر تفاوت واکنش ارقام مختلف ذرت به تنش کمبود آب تأکید کرده اند.

مقادیر مختلف نیتروژن و آب به صورت توأم اثر مضاعفی بر کاهش عملکرد دانه داشت. جدول های ۴ و ۵ مقایسه میانگین ها در این رابطه به خوبی نشان می دهد که در سطح نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم، کمبود آب چه در مرحله رویشی و چه در مرحله زایشی کاهش مشابهی را در عملکرد دانه سبب شده ولی در سطح نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم، کمبود آب در مرحله زایشی عملکرد دانه را به مقدار بیشتری کاهش داده است. این مسأله می تواند به دلیل کمبود ذخائر فتوسنتزی در اندام هوایی در اثر مصرف کمتر نیتروژن و در نتیجه وابستگی بیشتر به فتوسنتز جاری برای پر کردن دانه ها در این نوع گیاهان باشد. در گیاهانی که تنش آب در هر دو مرحله رویشی و زایشی اتفاق افتاد کاهش مشابه در عملکرد دانه برای دو سطح کودی مشاهده شد. تعداد دانه در بلال و وزن دانه در سطح یک درصد برای اثر متقابل نیتروژن و تنش کمبود آب معنی دار بود. بیشترین تعداد دانه در بلال و وزن دانه با سطح نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم و بدون تنش آب حاصل شد و کمترین مقدار در سطح نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم و تنش توأم آب در مراحل رویشی و زایشی به دست آمد. هم چنین اثر متقابل سه عامل رقم و

جدول ۶- شاخص تنش SI (حساسیت) در تیمارهای مختلف در دو مرحله رشد رویشی و زایشی

Table 6. Stress index in different treatments at vegetative and reproductive growth

شاخص تنش (SI) - درصد (%) Stress index				
Treatment	تیمار		سبز شدن تا ۱۲ برگی Emergence-V12	۱۲ برگی تا رسیدگی فیزیولوژیک V12-R6
	نیتروژن Nitrogen	رقم Hybrid		
تنش کمبود آب (خشکی) Water deficit stress				
تنش کمبود آب (رویشی) Water deficit stress (Veg.)			27.10	-
تنش کمبود آب (زایشی) Water deficit stress (Rep.)	100	Se 108	-	10.18
تنش کمبود آب (رویشی و زایشی) Water deficit stress (Veg.&Rep.)			26.89	13.31
بدون تنش آب Non-water stress			0	0
تنش کمبود آب (رویشی) Water deficit stress (Veg.)			31.5	-
تنش کمبود آب (زایشی) Water deficit stress (Rep.)	200	Se 108	-	19.85
تنش کمبود آب (رویشی و زایشی) Water deficit stress (Veg.&Rep.)			29.80	22.87
بدون تنش آب Non-water stress			0	0
تنش کمبود آب (رویشی) Water deficit stress (Veg.)	100	Se 301	28.61	-
تنش کمبود آب (زایشی) Water deficit stress (Rep.)			-	30.48
تنش کمبود آب (رویشی و زایشی) Water deficit stress (Veg.&Rep.)			29.40	31.24
بدون تنش آب Non-water stress			0	0
تنش کمبود آب (رویشی) Water deficit stress (Veg.)			26.43	-
تنش کمبود آب (زایشی) Water deficit stress (Rep.)			-	29.04
تنش کمبود آب (رویشی و زایشی) Water deficit stress (Veg.&Rep.)	200	Se 301	25.10	35.50
بدون تنش آب Non-water stress			0	0

سبز شدن تا ۱۲ برگی تفاوت زیادی با مرحله ۱۲ برگی تا رسیدن فیزیولوژیک دارد. متوسط شاخص تنش در مرحله سبز شدن تا ۱۲ برگی در این رقم حدود ۲۸ درصد و برای مرحله ۱۲ برگی تا رسیدن فیزیولوژیک حدود ۱۶ درصد می باشد. این امر می تواند نشان دهنده حساسیت بیشتر مرحله رویشی نسبت به مرحله زایشی (بعد از گرده افشانی و باروری گل ها) در رقم ۱۰۸ به تنش کمبود آب باشد. ولی در رقم سینگل کراس ۳۰۱ شاخص تنش در دو مرحله یاد شده تفاوت چندانی با یگدیگر نداشته و به طور متوسط بین ۲۵ تا ۳۵ درصد است که بیش از رقم ۱۰۸ می باشد. نتایج حاصل از عملکرد دو رقم در مقایسه

نمی کند. ولی بولانوس (Bolanos, 1995)، افزایش شاخص برداشت تحت شرایط تنش خشکی را گزارش کرده است.

شاخص تنش (SI): Stress Index

شاخص تنش (حساسیت) که بر اساس سرعت رشد محصول گیاهان تنش دیده در مقایسه با گیاهان بدون تنش برای مقاطع خاصی از دوره رشد و نمو محاسبه شده، بر حسب درصد برای مرحله سبز شدن تا ۱۲ برگی و مرحله ۱۲ برگی تا رسیدگی فیزیولوژیک در جدول ۶ آمده است. همان گونه که ملاحظه می شود مقدار شاخص تنش در رقم سینگل کراس ۱۰۸ در سطح کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله

با شاهد نیز این مسأله را تأیید می کند، به طوری که کاهش عملکرد معنی دار ناشی از تنش های ایجاد شده در رقم ۳۰۱ بیش از رقم ۱۰۸ است. با توجه به نتایج به دست آمده، به نظر می رسد رقم سینگل کراس ۳۰۱ در مقایسه با رقم سینگل کراس ۱۰۸ به لحاظ داشتن شاخص سطح برگ مطلوب تر و اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر به برگ و ساقه، به نحو مطلوب تری از نیتروژن مصرفی استفاده نموده و در نتیجه ماده خشک تولید شده و انتقال مواد و عملکرد دانه در این رقم بیشتر است. ولی این برتری در شرایط تنش کمبود آب برقرار نبوده به طوری که رقم ۳۰۱ حساسیت بیشتری به تنش کمبود آب به ویژه در مرحله زایشی از خود نشان می دهد.

References

منابع مورد استفاده

- هی، ک. ام. و ان. ج. واکر. ۱۳۷۳. مقدمه ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی. ترجمه: امام، ی. و نیک نژاد، م چاپ اول. انتشارات دانشگاه شیراز، ۵۷۱ ص.
- سپهری، ع. ۱۳۷۸. بررسی اثر تاریخ کاشت و کود نیتروژن بر روند رشد، مراحل نمو و عملکرد ذرت دانه ای در کشت دوگانه. پژوهش کشاورزی، جلد اول، شماره ۱: ۱۱-۱.
- علیزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ اول. انتشارات آستان قدس، ۳۵۳ ص.
- تیر، آی. دی، اچ. اچ. پیت. ۱۳۷۲. رابطه آب و خاک در گیاهان زراعی. ترجمه: کوچکی، ع. حسینی، م و نصیری، م. چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۵۶۰ ص.
- مظاهری، م. و ا. هاشمی دزفولی. و ا. علیزاده. ۱۳۷۷. مقایسه اثر کود اوره و اوره پوشش شده با گوگرد بر روی روند رشد دورقم ذرت در منطقه زرقان فارس. مجله علوم زراعی ایران، جلد اول، شماره ۱: ۴۷-۳۷.
- Barres, H. D., and P. E. Weatherley. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust J of Biol Sci.* **15**:413-428.
- Bolanos, J. 1995. Physiological basis for yield differences in selected maize cultivars from central America. *Field Crop Research.* **42**:69-80
- Carmer, S. G., W. E. Nyquist, and W. M. Walker. 1989. Least significant differences for combined analyses of experiments with two or three factor treatment designs. *Agron. J.* **81**:665-672.
- Classen, M. M., and R. H. Shaw. 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain component. *Agron. J.* **62**:652-655.
- Denmead, O. T., and R. H. Shaw. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* **52**:272-274.
- Girardin, P., M. Tollenaar, A. Deltour, and J. Muldoon. 1987. Temporary N starvation in maize (*Zea mays* L.): effects on development, dry matter accumulation and grain yield. *Agronomie (Paris).* **7**:289-296.
- Grant, R. F., B. S. Jackson, J. R. Kiniry, and G. F. Arkin. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agron. J.* **81**:61-65.
- Hall, A.J., J. H. Lemcoff, and N. Trapani. 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinants. *Maydica* **26**:19-38.
- Herreo, M. P., and R. P. Johnson. 1981. Drought stress and its effects on maize reproduction systems. *Crop Sci.* **21**:105-110.

- Jacobs, B. C., and C. J. Pearson. 1991. Potential yield of maize determined by rates of growth and development of ears. *Field Crops Res.* **27**:281-298.
- NeSmith, D. S., and J. T. Ritchie. 1992. Short- and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. *Agron. J.* **84**:107-113.
- Novoa, R., and R. S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant & Soil.* **58**:177-204.
- Osborne, S. L., J.S. Schepers, D. D. Francis, and M. R. Schlemmer. 2002. Use of spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. *Crop Sci.* **42**:165-171.
- Uhart, S. A., and F. H. Andrade. 1995a. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.* **35**:1376-1383.
- Uhart, S. A., and F. H. Andrade. 1995b. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. *Crop Sci.* **35**:1384-1389.
- Vincent, G. B., and D. G. Woolley. 1972. Effect of moisture stress at different stages on growth: II. Cytoplasmic male-sterile corn. *Agron. J.* **64**:599-602.
- Westgate, M. E., 1994. Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. *Crop Sci.* **34**:76-83.
- Westgate, M. E., and J. S. Boyer. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Sci.* **26**:951-956.
- Zinselmeier, C., M. J. Lauer, and J. S. boyer 1995a. Reversing drought-induced losses in grain yield: Sucrose Maintains embryo growth in maize. *Crop Sci.* **35**:1390-1400.
- Zinselmeier, C., M. E. Westgate and R. J. Jones. 1995b. Kernel set at low water potential does not vary with source/sink ratio in maize. *Crop Sci.* **35**:158-163.