نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، ص ۲۳۹-۲۲۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 10, No. 1, Spring. 2012, p. 225-239

ارزیابی کارایی مصرف آب و نور ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط رطوبتی و فتوسنتزی متفاوت

مسعود عزت احمدی[1*]- قربان نورمحمدی[2]- مسعود قدسی[3] - محمد کافی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۹/۹

چکیده

به منظور ارزیابی عملکرد، کارایی مصرف آب و نور ژنوتیپ‌های گندم، آزمایشی مزرعه ای به صورت کرت های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت دو سال زراعی (۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶) در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق مشهد به اجرا در آمد. عامل اصلی آبیاری شامل آبیاری مطلوب و قطع آب از مرحله ظهور بساک تا رسیدگی، عامل فرعی هفت ژنوتیپ جدید گندم شامل لاین‌های شماره ۹۱۰۳، ۹۱۱۶، ۹۲۰۳، ۹۲۰۵، ۹۲۰۷، ۹۲۱۲، C-81-10 و رقم کراس شاهی و عامل فرعی فرعی شامل استفاده از فتوسنتز جاری و جلوگیری از فتوسنتز جاری بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد، اثر تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز بر عملکرد دانه معنی دار بود. با اعمال تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری عملکرد دانه به ترتیب ۳۵ (۲۹۷۶ کیلوگرم در هکتار) و ۶۸ درصد (۱۸۳۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی (۴۵۷۷ کیلوگرم در هکتار) و استفاده از فتوسنتز جاری (۵۷۲۲ کیلوگرم در هکتار) کاهش یافت. تنش رطوبتی باعث کاهش کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه (WUE_G) و کارایی مصرف نور (RUE) شد. WUE_G تحت شرایط تنش رطوبتی (۰/۶۸۷ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی) و جلوگیری از فتوسنتز جاری (۰/۴۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی) در مقایسه با شرایط بهینه رطوبتی (۰/۸۴۱ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی) و استفاده از فتوسنتز جاری (۱/۱۲۷ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی) به طور معنی داری به ترتیب به میزان ۱۸/۳ و ۶۴/۴ درصد کاهش یافت. دلیل اصلی کاهش کارایی مصرف آب تحت تیمار تنش رطوبتی، کاهش عملکرد دانه بود. اختلافات ژنوتیپی نیز در مورد صفات مورد نظر وجود داشت، به طوری که در شرایط بهینه رطوبتی و قطع آبیاری بالاترین WUE_G به ترتیب مربوط به ژنوتیپ شماره ۹۱۰۳ و C-81-10 بود و کمترین WUE_G در هر دو شرایط آبیاری، مربوط به رقم کراس شاهی بود. با توجه به مطالب فوق، ژنوتیپ‌های C-81-10، ۹۱۰۳ و ۹۱۱۶ را می توان به عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش و مناسب برای شرایط تنش رطوبتی معرفی و از آنها در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود.

واژه های کلیدی: عملکرد، آبیاری، محدودیت منبع، شاخص سطح برگ، تابش

مقدمه

ایجاد پایداری در نظام‌های زراعی یکی از مهم ترین اهدافی است که توسط محققان دنبال می شود و برای رسیدن به این مهم، راهکارهای متفاوتی ارایه شده است. استفاده از ارقام گندم کارامد در بهره برداری از منابع، به ویژه آب و تابش خورشیدی یکی از مهم‌ترین راهکارها به نظر می رسد. تنش خشکی یکی از عوامل اصلی محدود کننده تولید موفق محصولات زراعی از جمله گندم می‌باشد. برآورد شده است که حدود ۳۳ درصد از کل سطح زیر کشت گندم دنیا و حدود ۵۵ درصد از زمین‌های زیر کشت گندم کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، به نحوی تحت تاثیر تنش خشکی قرار دارد (۲۱). نتایج تحقیقات بسیاری از محققان نشان می دهد که تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو گندم، باعث کاهش معنی‌دار عملکرد کل ماده خشک (بیوماس) و عملکرد دانه شده است (۳ و ۱۹). پاسیورا (۲۸) در شرایط محدودیت رطوبت، معادله زیر را برای برآورد عملکرد دانه ارایه نمود:

$$GY = W \times WUE \times HI \qquad (۱)$$

در معادله (۱)، GY، عملکرد دانه؛ W، مقدار آب مصرفی؛ WUE، کارایی مصرف آب و HI، شاخص برداشت می‌باشد. کارایی مصرف

۱- فارغ التحصیل دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران و استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
(*-نویسنده مسئول: Email: meahmady@yahoo.com)
۲- استاد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
۴- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

Archive of SID
www.SID.ir

آب، توانایی گیاه برای تولید ماده خشک (بیوماس) بـه ازای واحـد آب تبخیر و تعرق یافته می‌باشد که ریچاردز (۳۳) آن را به وسـیله معادلـه (۲) بیان کرده است:

$$WUE = TE / [1+ (Es / T)] \quad (۲)$$

در معادله (۲)، TE، کارایی تعرق (وزن خشک اندام هـای هـوایی به میزان آب از دست رفته به وسیله تعرق) ؛ Es ، مقـدار آب از دسـت رفته از طریق تبخیر از سطح خـاک و T، مقـدار آب از دسـت رفتـه از طریق تعرق به وسیله گیاه زراعی می‌باشد. بر اساس معادله‌های فـوق و تجزیه و تحلیل پاسیورا (۲۸) و ریچاردز (۳۳)، در مناطق تحت تنش به منظور افزایش عملکرد دانه، صفات مورد نظـر بایسـتی در راسـتای توانایی بیشتر برای جذب آب، کارایی بیشتر برای تولید ماده خشک به ازای مقدار آب جذب شده و توانایی گیاه برای اختصاص بیشـتر مـاده خشک به دانـه‌هـا باشـند. کیـو و همکـاران (۳۱) در ارزیـابی کـارایی مصرف آب ارقـام گنـدم، مقـدار آن را بـر اسـاس فتوسـنتز، عملکـرد بیولوژیک و عملکرد دانه به ترتیب ۲/۱ تا ۳/۳ میکرو مول دی اکسید کربن بر میلی مول آب، ۱ تا ۲/۶ کیلوگرم بر متر مکعب و ۱/۱ تا ۲/۱ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. همچنین عملکرد دانه یک گیاه زراعی (از جمله گندم) در طی یـک دوره معـین بـا معادلـه زیـر بیـان می‌شود (۱۸):

$$GY = RAD \times \%RI \times RUE \times HI \quad (۳)$$

در معادلـه (۳) GY، عملکـرد دانـه؛ RAD، مقـدار کـل تـابش خورشیدی[1] دریافت شده به وسـیله گیـاه زراعـی در طـی دوره رشـد؛ %RI[2]، بخشی از RAD جذب شده به وسیله سایه انداز گیـاه زراعـی به طور متوسط در طی چرخه زندگی گیاه؛ RUE، کارایی مصرف نور[3] یعنی کارایی کلی فتوسنتزی گیاه زراعی و حاصل نسبت ماده خشـک تولیدی به واحد تـابش فعـال فتوسـنتزی جـذب شـده (PAR) و HI، شاخص برداشت می‌باشد. به طور کلی عملکرد، متناسـب بـا مجمـوع فتوسنتز سایه انداز گیاهی در طی دوره رشد مـی‌باشـد (۱۸). عملیـات مدیریتی از قبیل تغییر تاریخ کاشت به دلیل تاثیر بر طول دوره زندگی گیاه بر میـزان RAD مـؤثر خواهـد بـود. %RI مـی توانـد از طریـق رسیدن سریع تر به پوشش کامل اولیـه (یعنـی رشـد اولیـه) و توسـعه بیشتر سطح برگ (مثلاً به وسیله اصلاح تحمل به تنش) افزایش یابد. RUE می تواند از طریق بهبود نفوذ تشعشع فعال فتوسـنتزی (PAR) بین برگهای مختلف (یعنی شناخت اصول نمو سایه انـداز گیـاهی) بـه موازات پیشرفت در روند کلی فتوسنتزی گیاه در شرایط تنش افـزایش یابد (۱۱).

علاوه بر افـزایش میـزان جـذب تشعشـع در طـول فصـل رشـد، افزایش بازده تبدیل تشعشع به ماده خشک (کارایی مصرف نور) یـک عامل مهم در ارزیابی مقدار ماده خشـک تولیـدی در گیاهـان زراعـی است. بنابراین تولید ماده خشک در شرایط معمولی (بدون تنش) تابعی از زمان و تلفیقی از تـابش فعـال فتوسـنتزی دریافـت شـده (PAR)، کسری از PAR جذب شده و کارایی مصرف نور است (۷، ۸ و ۱۵). بر این اساس همان طور که گفته شد، RUE نسبت مـاده خشـک تولیـد شده به ازای واحد انرژی استفاده شده در تولید است و واحد آن گرم بر ژول ($g.j^{-1}$) به عنوان فیتوماس به ازای واحد انرژی دریافتی و یا ژول بر ژول ($J.J^{-1}$) به عنوان انرژی موجود در فیتومـاس تولیـدی بـه ازای واحد انرژی دریافتی تعریف می‌شود (۴۴). آکرچ و همکاران (۸) مقـدار کارایی مصرف نـور ارقـام گنـدم را در مراحـل مختلـف نمـو متفـاوت گزارش کردند، به طوری که در ارقام مختلف این مقدار در فاصله بـین مرحله سبز محصول تا ساقه رفتن ۰/۴۶ تـا ۱/۰۸ گـرم بـر مگـاژول، سبز شدن تا گرده افشانی ۱/۳۳ تا ۱/۷۴ گرم بر مگاژول، ساقه رفـتن تا گرده افشانی ۱/۱۵ تا ۱/۹۷ گـرم بـر مگـاژول و گـرده افشـانی تـا رسیدگی ۰/۳۹ تا ۱/۵۶ گرم بر مگاژول بود.

فعالیت های مختلفی در مورد اثرات تـنش رطـوبتی بـر وضـعیت فتوسنتزی گیاه انجام شده و به طور کلی پذیرفته شده است که تـنش رطوبتی، توسعه برگ را زودتر از فتوسنتز تحت تـاثیر قـرار مـی دهـد (۳۴). به هر حال، بهینـه سـازی فتوسـنتز گیـاه تحـت شـرایط تـنش رطوبتی نیازمند ایجاد توازن بین میـزان حـداکثر فتوسـنتز در مراحـل بحرانی رشد (هنگامی که شرایط مطلـوب باشـد) و اجتنـاب از اثـرات مخرب تابش اضافی در شرایط تنش شدید می‌باشـد. در ایـن صـورت انتخاب صفات مورد نظر، متناسب با وضعیت تـنش (از نظـر شـدت و زمان وقوع) خواهد بود. با توجه به مطالب فوق هدف از ایـن تحقیـق، بررسی اثرات تنش رطوبتی بر عملکرد دانه، کارایی مصرف آب و نـور ژنوتیپ‌های گندم می باشد.

مواد و روش ها

این تحقیق با استفاده از آزمایشی مزرعه ای به صورت کرت های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت دو سال زراعی (۸۶-۱۳۸۵و ۸۷-۱۳۸۶) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و۱۳دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و۴۰ دقیقـه شـرقی و ارتفـاع ۹۸۵ متـر از سطح دریا بـر روی خـاک لـومی بـه اجـرا در آمـد. تیمـار آبیـاری در کرت‌های اصلی شامل آبیاری مطلـوب در طـول فصـل رشـد (D_1) و تنش رطوبتی (قطع آبیاری و جلوگیری از نفوذ باران) از مرحلـه ظهـور بساک تا رسیدگی (D_2)؛ تیمار ژنوتیپ در کرت‌های فرعی شامل هفت ژنوتیپ جدیـد گنـدم (لایـن هـای شـماره ۹۱۰۳ (G_1)، ۹۱۱۶ (G_2)، ۹۲۰۳ (G_3)، ۹۲۰۵ (G_4)، ۹۲۰۷ (G_5)، ۹۲۱۲ (G_6)، انتخـــــابی از

1- Radiation
2- Radiation Interception Percentage
3- Radiation Use Efficiency

Archive of SID

www.SID.ir

آزمایش یکنواخت سراسری خشکی گندم در سال ۱۳۸۴، C-81-10 (G_7)) و رقم کراس شاهی (G_8، حساس به خشکی) و تیمار شرایط فتوسنتزی در کرت‌های فرعی فرعی شامل استفاده از فتوسنتز جاری (P_1، شرایط معمولی) و جلوگیری از فتوسنتز جاری (P_2) بود. برای اجرای تیمار اخیر حدود ۱۲ تا ۱۴ روز پس از ظهور سنبله یعنی آغاز مرحله رشد خطی پر شدن دانه ها، پدید پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد ماده مؤثر بر روی کلیه اندام های گیاه از جمله ساقه ها، برگ ها و سنبله‌ها پاشیده شد تا از فتوسنتز جاری جلوگیری به عمل آید (۱۴).

هر کرت شامل ۶ ردیف با فاصله ۲۰ سانتی متر از یکدیگر (روی دو پشته) و به طول ۷ متر بود. به منظور اطمینان از عدم تداخل آبیاری، بین هر کرت اصلی دو پشته نکاشت (به عرض ۱/۲ متر) قرار گرفت. تاریخ کاشت در هر دو سال ۲۷ مهر و میزان بذر بر اساس تراکم ۵۰۰ بذر در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های گندم تعیین شد. میزان کود مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک و با استفاده از فرمول (۵۰–۹۰–۱۶۰) کیلوگرم N-P-K خالص در هکتار محاسبه و تمامی کود فسفردار و پتاسیم به علاوه یک سوم کود نیتروژن دار همزمان با کاشت (به عنوان کود پایه) و باقیمانده کود نیتروژن به نسبت مساوی در دو مرحله، ابتدای طویل شدن ساقه و ابتدای ظهور سنبله، به صورت سرک مصرف شد. کاشت با استفاده از ماشین بذر کار آزمایشات غلات انجام و سپس آبیاری صورت گرفت تا رطوبت پروفیل خاک در منطقه توسعه ریشه اشباع و جوانه زنی و سبز کردن بذور با سهولت انجام شود. برای کنترل علف‌های هرز دو بار وجین انجام شد.

تیمار تنش رطوبتی در مرحله ظهور بساک به وسیله قطع آبیاری و جلوگیری از نفوذ باران (با استفاده از یک باران گیر متحرک[1]) اعمال شد (۵). به منظور اندازه گیری مقدار آب مصرفی در هر نوبت آبیاری، قبل از آبیاری نسبت به نمونه گیری مرکب از خاک تا عمق ۶۰ سانتی متر اقدام شد. سپس نمونه های خاک در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و درصد رطوبت وزنی تعیین گردید. سپس آبیاری انجام و بعد از خروج آب ثقلی، یعنی ۴۸ ساعت پس از آبیاری، نمونه برداری مجدداً انجام و میزان آب ذخیره شده در عمق ۶۰ سانتی متری خاک (عمق توسعه ریشه) از طریق معادله زیر محاسبه شد (۴):

$$R = (\theta w_1 - \theta w_2) \times Bd \times r/100 \qquad (۴)$$

که در معادله (۴)، θw_1، درصد وزنی رطوبت خاک پس از آبیاری؛ θw_2، درصد وزنی رطوبت خاک قبل از آبیاری؛ Bd، وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب؛ r، عمق توسعه ریشه گندم و R، عمق رطوبت ذخیره شده (سانتی متر) می باشد. سپس حجم آب آبیاری (V) از طریق معادله (۵) و بر اساس متر مکعب در هکتار محاسبه شد (۴ و ۵).

$$V = (R/100) \times 10000 m^2 \qquad (۵)$$

جهت تعیین شاخص سطح برگ در مراحل مختلف نمو، نمونه تصادفی از سطح ۰/۲ متر مربع انتخاب و از سطح زمین درو شد. پس از جدا کردن ساقه و برگ، سطح برگ در آزمایشگاه توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ تعیین شد (۵). میزان تابش دریافتی با استفاده از دستگاه تابش سنج مجهز به سنسور یک متری در بالا و پایین سایه انداز گیاهی به این صورت اندازه گیری شد که عملیات نورسنجی در ظهر خورشیدی (با اختلاف یک ساعت) و زمانی که آسمان کاملاً صاف و بدون ابر بود، انجام شد. سنسور دستگاه تابش سنج در هر کرت به صورت کاملاً افقی و تراز بر فراز بوته ها قرار گرفت و نور ورودی به عنوان نور مبنا[1] ($I_\circ$) قرائت شد. نور پایین سایه انداز گیاهی (I) نیز در سه جهت مختلف اندازه گیری شد و متوسط آن به عنوان نور عبور یافته[2] از سایه انداز گیاهی در نظر گرفته شد (۴۰). سپس درصد جذب تابش[3] (%RI) (۱۸) و ضریب خاموشی نور[4] (۵) از معادله‌های زیر به دست آمد که LAI، شاخص سطح برگ می‌باشد.

$$\%RI = [1 - (I / I_\circ)] \times 100 \qquad (۶)$$

$$K = [Ln (I_\circ / I)] / LAI \qquad (۷)$$

با استفاده از آمار تابش روزانه (دریافتی از اداره هواشناسی مجاور ایستگاه محل اجرای آزمایش) و با استفاده از معادله‌های زیر مقادیر تابش روزانه و تجمعی محاسبه گردید:

$$PAR_\circ = 0.48\ RG_\circ \qquad (۸)$$

$$PARa = 0.95 \times PAR_\circ\ [1-\exp(-k \times LAI)] \qquad (۹)$$

در معادله‌های فوق (۴۵)، °PAR، تابش فعال فتوسنتزی در بالای سایه انداز گیاهی؛ °RG ، تابش ورودی کل و PARa، تابش فعال فتوسنتزی جذب شده می‌باشد. مقادیر روزانه LAI از طریق برازش معادله بین مقادیر شاخص سطح برگ هر مرحلهٔ اندازه گیری و زمان به دست آمد و تابش جذب شده تجمعی در هر مرحلهٔ نمو با داشتن مقادیر روزانه آن محاسبه گردید. در نهایت کارایی مصرف نور (RUE) با استفاده از معادله زیر به دست آمد (۳۹):

$$RUE = (W_n - W_{n-1}) / (cPARa_n - cPARa_{n-1}) \qquad (۱۰)$$

در معادله (۱۰)، W_n و W_{n-1} ، به ترتیب وزن خشک (بیوماس) اندام های هوایی در روزهای n و n-1؛ و $cPARa_n$ و $cPARa_{n-1}$ به ترتیب تابش فعال فتوسنتزی جذب شده در زمان‌های n و n-1 می‌باشد (۳۹).

شرایط آب و هوایی سال های اجرای آزمایش متفاوت بود.

1- Mobile Rain Shelter

1 - Incident Radiation
2 - Transmitted Radiation
3 - Intercepted Radiation
4 - Extinction Coefficient

Archive of SID

www.SID.ir

مجموع بارندگی سال اول و دوم به ترتیب ۲۷۹/۸ و ۱۳۹/۵ میلی متر بود که به ترتیب ۶۵/۶ میلی متر بیشتر و ۷۴/۷ میلی متر کمتر از میانگین طولانی مدت بارندگی مشهد (۲۱۴/۲ میلی متر) بود. سال اول دارای پاییز ملایم، زمستان سرد و بهار گرم بود و به ترتیب ۱۲/۸، ۵۱ و ۳۶/۲ درصد بارندگی در پاییز، زمستان و بهار نازل شد. سال دوم دارای پاییز سرد، زمستان خیلی سرد و بهاری گرم بود و به ترتیب ۳۰/۳، ۳۸ و ۳۱/۷ درصد بارندگی در پاییز، زمستان و بهار نازل شد. متوسط دمای روزانه سال اول و دوم در فصل بهار به ترتیب ۳/۴۰ و ۳/۳۷ درجه سانتی گراد بیش از میانگین طولانی مدت دمای روزانه مشهد در طی این فصل (۱۸/۳ درجه سانتی گراد) بود. مرحله گرده افشانی بر حسب خروج ۵۰ درصد پرچم‌ها از سنبلچه ها مشخص شد. پس از رسیدگی کامل و حذف اثرات حاشیه ای، برداشت از ۴ ردیف وسطی به مساحت ۴/۸ متر مربع با داس از سطح خاک انجام و عملکرد بیولوژیک ابتدا اندازه گیری و پس از خرمنکوبی، عملکرد دانه هر کرت توزین و ثبت شد. برای انجام محاسبات و تجزیه واریانس از نرم افزارهای Excel و Mstatc استفاده شد و پس از انجام آزمون یکنواختی داده ها، تجزیه واریانس مرکب دو ساله بر روی عملکرد دانه و سایر صفات انجام شد. میانگین مربعات خطا برای هر منبع تغییر، به کمک روش کارمر و همکاران (۱۶) و با استفاده از امید ریاضی آنها تعیین و F جدول محاسبه و برای مقایسه میانگین ها از روش دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک

تجزیه مرکب داده ها نشان داد اثر سال، تنش رطوبتی، شرایط فتوسنتزی و اثر متقابل سال × تنش رطوبتی، سال × تنش رطوبتی × فتوسنتز در سطح ۱٪ و اثر ژنوتیپ در سطح ۵٪ بر عملکرد بیولوژیک معنی دار بود (جدول ۱). عملکرد بیولوژیک تحت شرایط تنش رطوبتی حدود ۱۵/۷٪ نسبت به شرایط مطلوب کاهش یافت. بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۳۶۵۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری کامل و کمترین آن (۱۱۵۰۹ کیلوگرم در هکتار) از تیمار تنش رطوبتی به دست آمد (جدول ۲). عملکرد بیولوژیک بالاتر تیمار D_1 عمدتاً ناشی از عملکرد دانه بالاتر و تا حدودی ارتفاع بلندتر بوته بود. عملکرد بیولوژیک تحت شرایط استفاده از فتوسنتز جاری و جلوگیری از فتوسنتز جاری، به ترتیب ۱۴۲۳۴ و ۱۰۹۲۶ کیلوگرم در هکتار بود. به عبارتی تحت شرایط جلوگیری از فتوسنتز جاری، عملکرد بیولوژیک حدود ۲۳/۲ درصد نسبت به شرایط معمولی (استفاده از فتوسنتز جاری) کاهش یافت (جدول ۲). عملکرد بیولوژیک کمتر تیمار P_2 ناشی از عملکرد دانه پایین تر بود.

بین عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ های گندم تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد ژنوتیپ‌های ۹۲۰۳ (G3) و C-81-10 (G7) به ترتیب کمترین (۱۲۳۴۳ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین (۱۳۰۰۵ کیلوگرم در هکتار) عملکرد بیولوژیک را داشتند (جدول ۲). عملکرد بیولوژیک بالاتر ژنوتیپ C-81-10 می تواند ناشی از بالا بودن شاخص سطح برگ، جذب تابش و سرعت رشد محصول باشد. افزایش تولید ماده خشک ممکن است از طریق افزایش جذب تابش (طیف فعال فتوسنتزی) و یا بهبود کارایی بافت‌های فتوسنتزی در استفاده از تابش خورشیدی، حاصل شده باشد (۳۸). افزایش عملکرد بالقوه در آینده عمدتاً از طریق اصلاح ارقامی که وزن خشک بیشتری تولید نموده و همزمان مقادیر شاخص برداشت بالا را حفظ کنند، امکان پذیر خواهد شد (۴۲).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر اصلی تنش رطوبتی، ژنوتیپ و شرایط فتوسنتزی و همچنین اثر متقابل سال × تنش رطوبتی و سال × تنش رطوبتی × فتوسنتز بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۱). میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ ها تحت شرایط معمولی و قطع آب به ترتیب ۴۵۷۷ و ۲۹۷۶ کیلوگرم در هکتار و تحت شرایط استفاده و جلوگیری از فتوسنتز جاری به ترتیب ۵۷۲۲ و ۱۸۳۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲). عملکرد دانه تحت شرایط تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری، به ترتیب حدود ۳۵٪ و ۶۸٪ نسبت به شرایط معمولی کاهش یافت. گزارش های متعددی در مورد اثر تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو بر کاهش عملکرد دانه گندم وجود دارد که مؤید نتایج این آزمایش است (۲، ۱۹ و ۳۶).

مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم در میانگین تیمارهای تنش رطوبتی و شرایط فتوسنتزی نشان داد ژنوتیپ C-81-10 (G_7) و رقم کراس شاهی (G_8) به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۲). این در حالی است که همین ژنوتیپ (G_7) بیشترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص داد. بلوم (۱۴) گزارش کرد برای افزایش عملکرد بالقوه باید میزان ماده خشک تولیدی را افزایش داد. پژوهشگران معتقدند از نظر تحمل به خشکی بین ارقام گندم واریانس ژنوتیپی وجود دارد و معمولاً ارقامی که در شرایط معمولی از عملکرد زیادی برخوردارند، شرایط تنش را نیز بهتر تحمل نموده و عملکرد قابل قبولی تولید می کنند (۱) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. خزاعی (۲) گزارش داد در شرایط آب و هوایی مشهد و در اثر تنش رطوبتی سراسر فصل رشد، عملکرد دانه ارقام مورد مطالعه به طور معنی داری کاهش یافت. همچنین قدسی (۵) گزارش داد بحرانی ترین مرحله گندم نسبت به تنش رطوبتی، مرحله پر شدن دانه ها است که تحت شرایط تنش رطوبتی انتهایی، عملکرد دانه ارقام گندم نسبت به شاهد (آبیاری کامل) کاهش یافت که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی

منابع تغییر / صفات	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه	کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد بیولوژیک
سال	۳۷۱۷۲۰۸۰**	۱۴۶۷۸۴۸۲۸/۸**	۵/۵۶۱**	۱/۲۵۷**
تکرار (سال)	۱۱۴۵۷۵/۸	۳۷۱۲۴۷/۲	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵
تنش رطوبتی	۱۲۲۹۹۶۸۲۷/۷**	۲۲۰۱۰۹۷۹۴/۹**	۰/۱۶۵ ^{ns}	۱/۱۴۵**
سال × تنش رطوبتی	۱۶۵۰۵۸۶۹/۹**	۳۱۰۲۵۵۵۶/۱**	۰/۵۴۵ ^{ns}	۰/۳۸۹**
تکرار × تنش رطوبتی(سال)	۵۴۰۰۵/۷	۱۱۰۷۵۴۹/۸	۰/۰۴۶	۰/۰۰۲
ژنوتیپ	۴۶۷۴۶۶۵/۴*	۱۵۱۷۱۴۷/۱*	۰/۰۶۳*	۰/۲۰۰*
سال × ژنوتیپ	۷۴۸۸۰۶/۵ ^{ns}	۲۹۸۴۷۰/۴ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}	۰/۰۳۲ ^{ns}
تنش رطوبتی× ژنوتیپ	۴۳۱۳۴۳/۵ ^{ns}	۱۹۶۵۲۵/۶ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}
سال × تنش رطوبتی × ژنوتیپ	۲۸۶۵۶۵/۹*	۷۹۳۶۱۱/۹ ^{ns}	۰/۰۳۵ ^{ns}	۰/۰۱۳*
خطا	۱۰۷۵۳۵/۳	۵۴۸۹۳۷/۱	۰/۰۲۴	۰/۰۰۵
فتوسنتز	۷۲۷۰۴۵۰۶۰/۶**	۵۲۵۲۹۳۸۶۰/۶**	۹/۸۸۳**	۲۵/۳۴۴**
سال × فتوسنتز	۳۷۱۵۹۷۶۰/۹ ^{ns}	۲۹۸۱۲۴۰۴/۴ ^{ns}	۰/۷۳۹ ^{ns}	۱/۲۵۷ ^{ns}
تنش رطوبتی× فتوسنتز	۶۹۶۸۱۵۳۵/۹ ^{ns}	۷۲۲۸۸۷۰۶/۹ ^{ns}	۰/۰۳۴ ^{ns}	۰/۵۴۲ ^{ns}
سال × تنش رطوبتی× فتوسنتز	۱۲۴۴۲۵۰۵/۹**	۲۸۳۰۰۰۳۳/۲**	۰/۶۶۸**	۰/۲۶۶**
ژنوتیپ × فتوسنتز	۱۰۵۸۷۴۶/۳ ^{ns}	۱۱۸۱۱۶۵/۹ ^{ns}	۰/۰۵۰ ^{ns}	۰/۰۴۲ ^{ns}
سال × ژنوتیپ × فتوسنتز	۵۲۱۰۹۲/۷ ^{ns}	۴۳۷۳۲۵/۹ ^{ns}	۰/۰۲۰ ^{ns}	۰/۰۲۶ ^{ns}
تنش × ژنوتیپ × فتوسنتز	۳۶۳۰۷۸/۵ ^{ns}	۱۶۹۶۰۴/۳ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۱۷ ^{ns}
سال × تنش رطوبتی × ژنوتیپ × فتوسنتز	۲۲۰۴۷۱/۷ ^{ns}	۳۱۱۱۵۲/۵ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}	۰/۰۱۱*
خطا	۱۰۸۶۶۰/۰	۲۵۵۴۸۴/۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات (C.V%)	۸/۳۲	۴/۰۲	۳/۹۸	۸/۶۲

*، ** و ns به ترتیب به معنی معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار.

اثر متقابل تنش رطوبتی × شرایط فتوسنتزی بر عملکرد دانه معنی دار نبود، ولی بالاترین عملکرد دانه (۷۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل و استفاده از فتوسنتز جاری به دست آمد، در حالی که در شرایط تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری کمترین عملکرد دانه (۱۶۳۲ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. نتایج نشان داد تحت شرایط تنش رطوبتی انتهایی، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ ها و ارقام گندم در صورت استفاده از فتوسنتز جاری (شرایط معمولی) حدود ۳۹/۴ درصد و در شرایط جلوگیری از فتوسنتز جاری حدود ۱۹/۵درصد نسبت به شرایط معمولی (آبیاری کامل) کاهش یافت. با توجه به نتایج حاصل از اثر متقابل ژنوتیپ × شرایط فتوسنتزی بر عملکرد دانه مشخص شد که علاوه بر اثر متفاوت شرایط فتوسنتزی بر عملکرد دانه، واکنش ارقام نیز در شرایط فتوسنتزی متفاوت بود. به طور کلی در بین ارقام و ژنوتیپ های مورد بررسی، در شرایط استفاده از فتوسنتز جاری ژنوتیپ ۹۱۰۳ (G_1) از پتانسیل عملکرد دانه بالایی (۶۳۸۵ کیلوگرم در هکتار) برخوردار بود، در صورتی که رقم کراس شاهی (G_8) عملکرد دانه پایینی (۴۴۳۳ کیلوگرم در هکتار) داشت. در شرایط جلوگیری از فتوسنتز جاری ژنوتیپ C-81-10 (G_7) بیشترین (۲۳۴۵ کیلوگرم در هکتار) و رقم کراس شاهی (G_8) کمترین (۱۲۱۳ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند.

اثر متقابل تنش رطوبتی × ژنوتیپ × فتوسنتز بر عملکرد دانه نشان داد، در شرایط معمولی و استفاده از فتوسنتز جاری و نیز در شرایط تنش رطوبتی و استفاده از فتوسنتز جاری ژنوتیپ ۹۱۰۳ (G_1) بالاترین عملکرد دانه (به ترتیب ۷۸۷۰ و ۴۹۰۰ کیلوگرم در هکتار) را داشت. همچنین در شرایط مطلوب رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری ژنوتیپ C-81-10 (۲۸۳۶ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری ژنوتیپ‌های ۹۱۱۶ (۱۸۸۷ کیلوگرم در هکتار) و C-81-10 (۱۸۵۳ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد دانه را داشتند. در حالی که در کلیه شرایط رطوبتی و فتوسنتزی، رقم کراس شاهی کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. پالتا و همکاران (۲۷) نشان دادند تحت تنش محدودیت رطوبتی عملکرد دانه و فتوسنتز جاری به ترتیب به میزان ۲۴٪ و ۵۷٪ کاهش یافت. در این تحقیق، در سال اول و دوم، عملکرد دانه تحت تنش رطوبتی نسبت به شرایط مطلوب به ترتیب حدود ۲۶ و ۴۱ درصد کاهش یافت.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب (بر حسب عملکرد بیولوژیک و دانه)

صفات / *تنش رطوبتی	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($kg.ha^{-1}$)	کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد بیولوژیک ($kg.ha^{-1}.mm^{-1}$)	کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}.mm^{-1}$)
D_1	۴۵۷۷ a	۱۳۶۵۰ a	۲/۵۹۸ a	۰/۸۴۱ a
D_2	۲۹۷۶ b	۱۱۵۰۹ b	۲/۶۵۶ a	۰/۶۸۷ b
*رقم				
G_1	۴۱۰۵ a	۱۲۷۹۱ a	۲/۶۷۰ a	۰/۸۳۰ a
G_2	۴۰۹۸ a	۱۲۸۰۷ a	۲/۶۷۱ a	۰/۸۲۹ a
G_3	۳۸۱۱ ab	۱۲۳۴۳ b	۲/۵۷۸ a	۰/۷۶۹ b
G_4	۳۵۰۹ b	۱۲۳۸۱ ab	۲/۵۸۹ a	۰/۷۱۵ b
G_5	۳۸۱۸ ab	۱۲۴۸۷ a	۲/۶۰۶ a	۰/۷۷۲ b
G_6	۳۸۶۹ ab	۱۲۴۶۳ a	۲/۶۰۳ a	۰/۷۸۶ b
G_7	۴۱۷۷ a	۱۳۰۰۵ a	۲/۷۱۶ a	۰/۸۴۸ a
G_8	۲۸۲۳ c	۱۲۳۶۲ ab	۲/۵۸۴ a	۰/۵۶۵ c
*فتوسنتز				
P_1	۵۷۲۲ a	۱۴۲۳۴ a	۲/۸۵۴ a	۱/۱۲۷ a
P_2	۱۸۳۰ b	۱۰۹۲۶ b	۲/۴۰۰ b	۰/۴۰۱ b

*D_1 ، آبیاری مطلوب در طول فصل رشد و D_2، قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا رسیدگی. G_1، G_2، G_3، G_4، G_5، G_6 ، G_7 و G_8 به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۹۱۰۳، ۹۱۱۶، ۹۲۰۳، ۹۲۰۵، ۹۲۰۷، C-81-10،۹۲۱۲ و رقم کراس شاهی. P_1، استفاده از فتوسنتز جاری و P_2، جلوگیری از فتوسنتز جاری.
میانگین های دارای یک حرف مشترک در سطح ۵٪ با یکدیگر اختلاف آماری معنی دار ی ندارند.

اثر متقابل سال × تنش رطوبتی × شرایط فتوسنتزی بر عملکرد دانه معنی دار بود، به طوری که میزان کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود. گزارشات متعددی (۲، ۵ و ۳۰) در مورد اثر تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو گندم (به ویژه پس از مرحله ظهور بساک) بر کاهش عملکرد دانه وجود دارد که مؤید نتایج حاصل از این آزمایش است.

شاخص سطح برگ

اثر تنش رطوبتی در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک و اثر ژنوتیپ در مراحل ظهور برگ پرچم، ظهور بساک، خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). شرایط بهینه رطوبتی (D_1) برتری محسوسی نسبت به تیمار تنش رطوبتی (D_2) از نظر شاخص سطح برگ در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک داشت (جدول ۳). با توجه به زمان اعمال تنش رطوبتی به نظر می رسد که این تفاوت عمدتاً به دلیل تفاوت در پیری برگ باشد. رابرتسون و گیونتا (۳۵) کاهش سطح برگ را در تنش محدودیت رطوبتی قبل از ظهور بساک (مرحله سنبلچه انتهایی، ظهور بساک) و بهوتا و همکاران (۱۳) کاهش سطح برگ پرچم را در شرایط تنش رطوبتی در گندم گزارش کردند. کاهش سطح سبز برگ به مفهوم کاهش جذب نور، کاهش جذب و ساخت و نهایتاً کاهش اختصاص مواد فتوسنتزی به سنبله در حال رشد است که اثر منفی آن ممکن است با کاهش تعداد دانه در واحد سطح متجلی می‌شود (۱۳ و ۳۷).

شاخص سطح برگ در مرحله خمیری نرم در تیمار D_2 برابر ۲/۶۸۶ و در تیمار D_1 برابر ۳/۸۶۸ و این شاخص در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در تیمار D_2 برابر ۱/۷۴۸ و در تیمار D_1 برابر ۳/۲۱۷ بود (جدول ۳). شرایط نسبتاً سخت ناشی از تنش رطوبتی پس از مرحله ظهور بساک در تیمار D_2 که باعث پیری زودرس، زرد شدن و ریزش برگها شد، دلیل کاهش سطح سبز برگ تحت تنش رطوبتی پس از ظهور بساک (D_2) بود. کاهش سطح سبز برگ و دوام سطح برگ با کوتاه شدن دوره پر شدن دانه تحت تأثیر محدودیت رطوبتی پس از ظهور بساک (D_2) باعث کاهش جذب تشعشع در طول دوره پر شدن دانه در مقایسه با شرایط بهینه رطوبتی (D_1) شد و بنابراین کاهش جذب و ساخت در این مقطع زمانی، تأثیر منفی مستقیم بر وزن دانه داشت. به طور خلاصه کاهش سطح سبز برگ در طول دوره پر شدن دانه و کاهش طول این دوره می تواند تفسیر کاهش عملکرد در شرایط تنش محدودیت رطوبتی پس از ظهور بساک باشد. رینولدز و همکاران (۳۲) افزایش سطح سبز برگ و به تبع آن افزایش جذب تشعشع را در طول دوره پر شدن دانه از دلایل عملکرد بالاتر ارقام

Archive of SID

www.SID.ir

جدید گندم گزارش کردند. بنابراین اهمیت شاخص سطح سبز برگ در مرحله پر شدن دانه در ارتباط با عملکرد دانه واضح است. کاهش سطح سبز برگ ناشی از تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه به دلیل پیری زودرس برگها و کاهش دوام سطح سبز برگ توسط بسیاری از پژوهشگران در گندم گزارش شده است (۵ و ۱۱).

ژنوتیپ های گندم از نظر شاخص سطح سبز برگ تفاوتهای معنی‌داری را در مراحل ظهور برگ پرچم، ظهور بساک، خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک نشان دادند (جدول ۳). ژنوتیپ های G_1، G_2، G_6 و G_7 در مراحل نمو فوق، بیشترین شاخص سطح سبز برگ را داشتند. کمترین شاخص سطح سبز برگ در مراحل نمو فوق، مربوط به ژنوتیپ‌های G_8 (کراس شاهی) و G_4 (۹۲۰۵) بود (شکل ۱). با توجه به اینکه ژنوتیپ های شماره ۱، ۲ و ۷ بالاترین عملکرد دانه را نیز دارا بودند و پس از این سه ژنوتیپ، ژنوتیپ شماره ۶ از نظر عملکرد دانه قرار داشت و کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به ژنوتیپ شماره ۸ بود، با مقایسه روند شاخص سطح برگ، کاهش عملکرد ژنوتیپ شماره ۸ و افزایش عملکرد دانه ژنوتیپ های شماره ۱، ۲، ۷ و ۶ تفسیر می‌شود.

کارایی مصرف آب

حجم آب مصرفی در تیمار شاهد (آبیاری کامل) و تیمار تنش رطوبتی (قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا پایان دوره رشد و جلوگیری از نفوذ باران) در سال اول به ترتیب ۵۱۹/۵ و ۴۳۴/۶ و در سال دوم به ترتیب ۵۲۳/۷ و ۴۳۲ میلی متر بود (جدول ۴). نتایج به دست آمده از کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه (WUE_G) نشان داد، در سال دوم به طور متوسط برای تیمارهای تنش رطوبتی، کارایی مصرف آب بالاتر از مقادیر آن در سال اول بود (جدول ۴). با اعمال تیمار تنش رطوبتی، کارایی مصرف آب برحسب عملکرد دانه در هر دو سال کاهش یافت. میانگین کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه (WUE_G) نیز نشان داد با اعمال تیمار تنش رطوبتی، کارایی مصرف آب (WUE_G) به طور نسبی کاهش یافت (جدول ۴). دلیل اصلی کاهش کارایی مصرف آب تحت تیمار تنش رطوبتی، کاهش بیشتر صورت کسر (یعنی عملکرد دانه) در قیاس با مخرج کسر (آب مصرفی) بود. آندرسون (۱۰) نیز گزارش نمود تحت تیمارهای تنش رطوبتی شدید در مراحل بحرانی نمو (طویل شدن ساقه، گلدهی و ظهور بساک) به علت تاثیر شدید تنش بر تجمع ماده خشک، کارایی مصرف آب گندم کاهش یافت که نتایج این آزمایش را تایید می نماید، هر چند ناصری و فلاحی (۲۵) کاهش کارایی مصرف آب را با افزایش تعداد دفعات آبیاری در گندم گزارش کردند.

جدول ۳- اثر محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ بر شاخص سطح برگ در مراحل مختلف نمو گندم

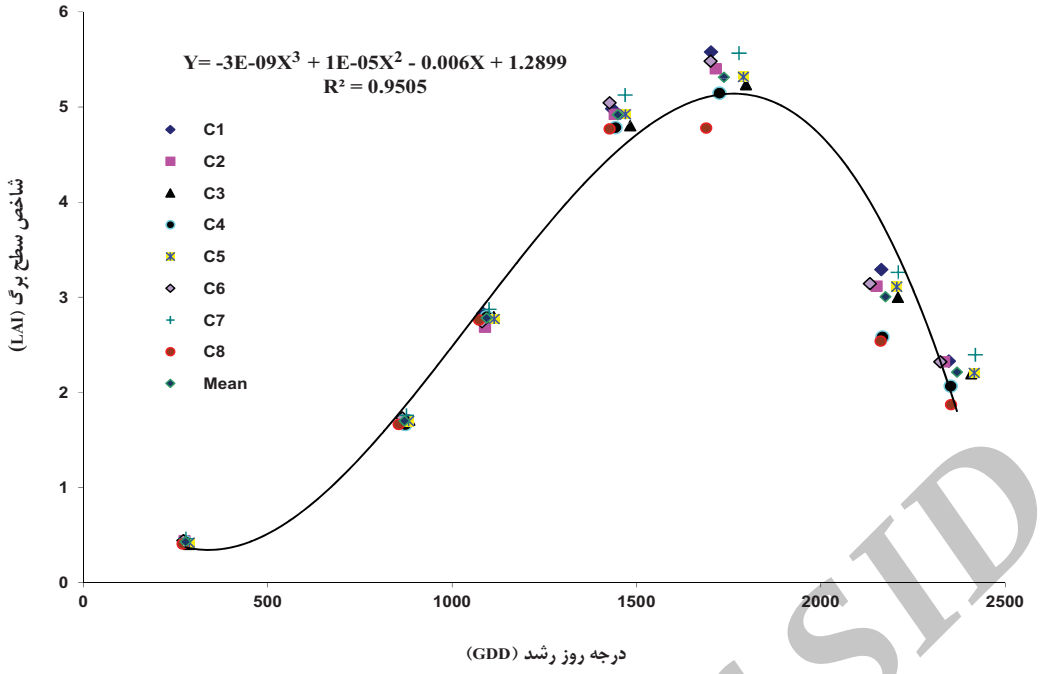
تیمار	شاخص سطح برگ در مراحل مختلف نمو						
	دو برگی	گل انگیزی (F.I)	ابتدای طویل شدن ساقه (T.S)	ظهور برگ پرچم (Booting)	ظهور بساک (Anthesis)	خمیری نرم (Soft dough)	رسیدگی فیزیولوژیک
*تنش رطوبتی							
D_1	۰/۴۳۳a	۱/۷۰۵a	۲/۸۱۰a	۴/۸۹۷a	۵/۳۳۷a	۳/۸۶۸a	۳/۲۱۷a
D_2	۰/۴۳۵a	۱/۷۳۰a	۲/۸۱۱a	۴/۹۳۶a	۵/۳۰۱a	۲/۶۸۶b	۱/۷۴۸b
*ژنوتیپ							
G_1	۰/۴۴۸a	۱/۷۳۱a	۲/۸۸۶a	۴/۹۷۴ab	۵/۵۶۸a	۳/۵۶۹a	۲/۶۵۶a
G_2	۰/۴۴۲a	۱/۷۱۱a	۲/۶۵۸b	۴/۹۷۵ab	۵/۴۱۹a	۳/۳۷۱a	۲/۶۰۵a
G_3	۰/۴۲۰a	۱/۷۲۳a	۲/۸۳۸a	۴/۷۸۵bc	۵/۲۴۹ab	۳/۲۴۶ab	۲/۴۴۸ab
G_4	۰/۴۲۸a	۱/۷۵۵a	۲/۷۹۴ab	۴/۷۲۲c	۵/۱۳۳b	۳/۰۸۲b	۲/۳۲۳b
G_5	۰/۴۲۳a	۱/۶۸۶a	۲/۷۷۱ab	۴/۹۴۳ab	۵/۳۲۵ab	۳/۳۳۰a	۲/۵۰۵ab
G_6	۰/۴۲۷a	۱/۷۰۷a	۲/۸۵۵a	۵/۰۴۹a	۵/۵۰۶a	۳/۳۲۵a	۲/۵۵۴ab
G_7	۰/۴۶۰a	۱/۷۲۲a	۲/۸۸۰a	۵/۱۱۷a	۵/۵۹۵a	۳/۵۳۱a	۲/۶۸۸a
G_8	۰/۴۲۴a	۱/۷۰۵a	۲/۸۰۳a	۴/۷۶۹bc	۴/۸۵۸c	۲/۷۶۴c	۲/۰۸۴c

*D_1 ، آبیاری مطلوب در طول فصل رشد و D_2، قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا رسیدگی. G_1، G_2، G_3، G_4، G_5، G_6 ، G_7 و G_8 به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۹۱۰۳، ۹۱۱۶، ۹۲۰۳، ۹۲۰۵، ۹۲۰۷، C-81-10،۹۲۱۲ و رقم کراس شاهی.

میانگین های دارای یک حرف مشترک در سطح ۵٪ با یکدیگر اختلاف آماری معنی دار ی ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ ژنوتیپ‌های گندم با پیشرفت مراحل نمو

جدول ٤- میزان بارندگی، حجم آب مصرفی، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب آبیاری در تیمارهای مختلف تنش رطوبتی

تیمار تنش	سالهای اجرای آزمایش	بارندگی (mm)	حجم‌آب مصرفی با احتساب بارندگی مؤثر(mm)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	WUE_G ($kg.ha^{-1}mm^{-1}$)	میانگین دوساله WUE_G ($kg.ha^{-1}mm^{-1}$)
D_1	اول	۵۸/۱	۵۱۹/۵	۳۸۴۳	۷/۳۹۷	۸/۷۶۸
	دوم	۷۶/۶	۵۲۳/۷	۵۳۱۰	۱۰/۱۳۹	
D_2	اول	۷/۶	۴۳۴/۶	۲۸۲۹	۶/۵۰۹	۶/۸۶۹
	دوم	۴۷/۳	۴۳۲/۰	۳۱۲۳	۷/۲۲۹	

در سال اول اجرای آزمایش، بالاترین WUE_G در تیمار D_1 به ژنوتیپ ۹۱۱۶ (G_2) اختصاص یافت، در حالی که در تیمار D_2 بیشترین WUE_G متعلق به ژنوتیپ ۹۲۱۲ (G_6) بود. در هر دو شرایط رطوبتی و در هر دو سال آزمایش، رقم کراس شاهی (G_8) کمترین WUE_G را داشت (جدول ۵). دلیل اصلی کم یا زیاد بودن WUE_G در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی و در تیمار تنش رطوبتی، به عملکرد دانه آنها مربوط بود. بر طبق یافته‌های محققان (۹ و ۲۸) در شرایطی که مقدار آب مصرفی برای ژنوتیپ‌های گندم مشابه باشد، ارقامی که در شرایط بدون تنش (پتانسیل) و یا شرایط تنش رطوبتی از عملکرد دانه بالاتری برخوردار باشند، کارایی مصرف آب آنها نیز بیشتر خواهد بود که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در میانگین دو سال اجرای آزمایش در شرایط آبیاری مطلوب، ژنوتیپ C-81-10 (G_7) و در شرایط تنش رطوبتی، ژنوتیپ ۹۱۰۳ (G_1) بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

اگر چه اثر متقابل تنش رطوبتی × ژنوتیپ × فتوسنتز بر کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه معنی دار نبود، ولی مشخص شد که بیشترین WUE_G (۱/۳۸۹ کیلوگرم بر متر مکعب) در میانگین دو سال به تیمار $D_1G_1P_1$ (ژنوتیپ ۹۱۰۳ در شرایط مطلوب رطوبتی و استفاده از فتوسنتز جاری) و کمترین WUE_G (۰/۲۵۸ کیلوگرم بر متر مکعب) به تیمار $D_2G_8P_2$ (رقم کراس شاهی در شرایط تنش رطوبتی

Archive of SID

www.SID.ir

و جلوگیری از فتوسنتز جاری) اختصاص یافت. نتایج نشان داد که اثر محدودیت رطوبتی و اثر متقابل سال × تنش رطوبتی بر راندمان مصرف آب محاسبه شده بر اساس عملکرد دانه (WUE_G) و اثر ژنوتیپ، شرایط فتوسنتزی و اثر متقابل سال × تنش رطوبتی × شرایط فتوسنتزی بر راندمان مصرف آب محاسبه شده بر اساس عملکرد دانه (WUE_G) و عملکرد بیولوژیک (WUE_B) معنی‌دار بود (جدول ۱). آراس و همکاران (۱۱)، علی و تالوکدر (۹) و کاترجی و همکاران (۲۰) دسترسی گیاه به رطوبت را در مراحل حساس رشد، از عوامل مؤثر بر افزایش راندمان مصرف آب عنوان کردند. آنها گزارش کردند که با راهکارهای مدیریتی برای افزایش راندمان مصرف آب بایستی مانع از مواجهه مراحل حساس فنولوژیک با تنش رطوبتی شد. محدودیت رطوبتی پس از مرحله ظهور بساک (D_2) کاهش معنی‌دار عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی را به دنبال داشت. کاهش عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی در تیمار D_2 نسبت به شرایط بهینه رطوبتی (D_1) حدود ۰/۱۵۴ کیلوگرم بود (جدول ۲).

عملکرد بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی در تیمار D_2 تفاوت معنی‌داری با شرایط بهینه رطوبتی تا مرحله ظهور بساک نشان نداد (جدول ۲)، زیرا تا این مرحله در تیمار D_2 نیز شرایط بهینه رطوبتی حاکم بود. کاهش عملکرد بیولوژیک در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در تیمار D_2، بیشتر به دلیل کاهش وزن دانه در مقایسه با شرایط بهینه رطوبتی (D_1) بود. با توجه به شکل‌گیری وزن خشک اندام های رویشی تا مرحله ظهور بساک در شرایط بهینه رطوبتی در تیمار D_2 ، وزن خشک به ازای هر واحد آب مصرفی تفاوت معنی‌داری با شرایط بهینه رطوبتی (D_1) نشان نداد و تأثیر منفی تنش رطوبتی (D_2) فقط بر عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی مشاهده شد.

گزارش های متعددی، راندمان مصرف آب را تابعی از آب قابل دسترس گیاه در طول دوره پر شدن دانه (حد فاصل ظهور بساک تا رسیدگی فیزیولوژیک) معرفی کرده‌اند (۳۳ و ۴۱). با توجه به اینکه تیمار D_2 در دوره پر شدن دانه تحت تنش رطوبتی بود، بنابراین، کاهش عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی قابل انتظار بود. مقایسه شرایط بهینه و محدودیت رطوبتی از نظر کارایی مصرف آب (عملکرد دانه و بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی) نشان داد که در شرایط بهینه رطوبتی عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی (۰/۸۴۱ کیلوگرم بر متر مکعب) افزایش معنی‌داری نسبت به شرایط محدودیت رطوبتی (۰/۶۸۷ کیلوگرم بر متر مکعب) نشان داد (جدول ۲).

جدول ۵- برهمکنش تنش رطوبتی در ژنوتیپ بر مقدار آب مصرفی و کارایی مصرف آب آبیاری ژنوتیپ‌های گندم

سال زراعی		۸۶-۱۳۸۵			۸۷-۱۳۸۶			میانگین دو سال	
تنش رطوبتی	رقم	حجم آب مصرفی (m^3)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	WUE_G ($kg.m^{-3}$)	حجم آب مصرفی (mm)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	WUE_G ($kg.m^{-3}$)	میانگین عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	WUE_G ($kg.m^{-3}$)
D_1	G_1	۵۱۹۵	۴۱۶۶	۰/۷۷۵	۵۲۳/۷	۵۶۳۵	۱/۰۱۹	۴۹۰۰	۰/۸۹۷
	G_2	۵۱۹۵	۴۳۴۲	۰/۸۰۶	۵۲۳/۷	۵۶۳۹	۱/۰۲۹	۴۹۹۱	۰/۹۱۸
	G_3	۵۱۹۵	۳۷۸۵	۰/۷۰۱	۵۲۳/۷	۵۶۱۳	۱/۰۲۴	۴۶۹۹	۰/۸۶۳
	G_4	۵۱۹۵	۳۵۰۱	۰/۶۵۲	۵۲۳/۷	۴۶۰۶	۰/۸۳۸	۴۰۵۴	۰/۷۴۵
	G_5	۵۱۹۵	۳۷۰۵	۰/۶۹۱	۵۲۳/۷	۵۶۶۹	۱/۰۳۶	۴۶۸۷	۰/۸۶۳
	G_6	۵۱۹۵	۴۱۰۳	۰/۷۶۵	۵۲۳/۷	۴۹۹۹	۰/۹۰۷	۴۵۵۱	۰/۸۳۶
	G_7	۵۱۹۵	۴۰۹۱	۰/۷۶۷	۵۲۳/۷	۶۱۸۰	۱/۱۳۹	۵۱۳۶	۰/۹۵۳
	G_8	۵۱۹۵	۳۰۵۵	۰/۵۶۶	۵۲۳/۷	۴۱۳۷	۰/۷۴۶	۳۵۹۶	۰/۶۵۶
D_2	G_1	۴۳۴۶	۲۹۱۸	۰/۶۷۲	۴۳۲/۰	۳۷۰۱	۰/۸۵۷	۳۳۰۹	۰/۷۶۴
	G_2	۴۳۴۶	۳۰۸۷	۰/۷۱۰	۴۳۲/۰	۳۳۲۲	۰/۷۶۹	۳۲۰۵	۰/۷۳۹
	G_3	۴۳۴۶	۲۶۶۷	۰/۶۱۴	۴۳۲/۰	۳۱۷۸	۰/۷۳۵	۲۹۲۳	۰/۶۷۵
	G_4	۴۳۴۶	۲۷۳۴	۰/۶۲۹	۴۳۲/۰	۳۱۹۳	۰/۷۳۹	۲۹۶۴	۰/۶۸۴
	G_5	۴۳۴۶	۲۸۵۸	۰/۶۵۸	۴۳۲/۰	۳۰۴۲	۰/۷۰۴	۲۹۵۰	۰/۶۸۱
	G_6	۴۳۴۶	۳۱۳۶	۰/۷۲۲	۴۳۲/۰	۳۲۳۷	۰/۷۴۹	۳۱۸۶	۰/۷۳۵
	G_7	۴۳۴۶	۲۹۴۵	۰/۶۷۷	۴۳۲/۰	۳۴۹۴	۰/۸۰۹	۳۲۱۹	۰/۷۴۳
	G_8	۴۳۴/۶	۲۲۸۷	۰/۵۲۶	۴۳۲/۰	۱۸۱۵	۰/۴۲۰	۲۰۵۱	۰/۴۷۳

*D_1 ، آبیاری مطلوب در طول فصل رشد و D_2، تنش رطوبتی از مرحله ظهور بساک تا رسیدگی. G_1، G_2، G_3، G_4، G_5، G_6 ، G_7 و G_8 به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۹۱۰۳، ۹۱۱۶، ۹۲۰۳، ۹۲۰۵، ۹۲۰۷، C-81-10،۹۲۱۲ و رقم کراس شاهی.

Archive of SID

www.SID.ir

عملکرد بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی در شرایط محدودیت رطوبتی (۲/۶۵۶ کیلوگرم بر متر مکعب) نیز افزایش غیر معنی‌داری نسبت به شرایط بهینه رطوبتی (۲/۵۹۸ کیلوگرم بر متر مکعب) نشان داد (جدول ۲). افزایش راندمان مصرف آب (عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی) در شرایط بهینه رطوبتی در مقایسه با شرایط محدودیت رطوبتی حدود ۲۲٪ بود، ولی در ارتباط با عملکرد بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی، حدود ۲٪ کاهش نشان داد (جدول ۲). زانگ و همکاران (۴۶)، ناصری و فلاحی (۲۵) و کیو و همکاران (۳۱) افزایش کارایی مصرف آب را در گندم در شرایط تنش محدودیت رطوبتی گزارش کردند.

مقایسه ژنوتیپ های گندم از نظر عملکرد دانه تولیدی به ازای هر واحد آب مصرفی نشان داد که ژنوتیپ C-81-10 (G_7) با ۰/۸۴۸ کیلوگرم در متر مکعب آب مصرفی، بیشترین کارایی مصرف آب را دارا بود (جدول ۲). کمترین کارایی مصرف آب (۰/۵۶۵ کیلوگرم به ازای متر مکعب آب مصرفی) مربوط به ژنوتیپ کراس شاهی (G_8) بود (جدول ۲). اختلاف ژنوتیپ ها از نظر کارایی مصرف آب به توانایی آنها از نظر جذب رطوبت خاک و گسترش سیستم ریشه و توانایی آنها در اختصاص بیشتر ماده خشک به دانه مربوط می‌شود (۲۹). گزارش های متعددی تنوع ژنتیکی را در بین ارقام گندم از نظر کارایی مصرف آب مورد تأکید قرار داده است (۶، ۹، ۲۱ و ۲۵) که نتایج حاصل از این بررسی را تایید می نماید.

مقایسه شرایط بهینه و محدودیت فتوسنتزی از نظر کارایی مصرف آب (عملکرد دانه و بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی) نشان داد که در شرایط بهینه فتوسنتزی عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی (۱/۱۲۷ کیلوگرم بر متر مکعب) افزایش معنی‌داری نسبت به شرایط جلوگیری از فتوسنتز (۰/۴۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب) نشان داد (جدول ۲). عملکرد بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی در شرایط بهینه فتوسنتزی (۲/۵۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب) نیز افزایش غیر معنی‌داری نسبت به شرایط جلوگیری از فتوسنتز (۲/۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) نشان داد (جدول ۲). افزایش راندمان مصرف آب (عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی) در شرایط مطلوب فتوسنتزی در مقایسه با شرایط جلوگیری از فتوسنتز حدود ۶۴٪ بود، ولی در ارتباط با عملکرد بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی حدود ۷٪ کاهش نشان داد.

درصد جذب نور فعال فتوسنتزی (PARI)

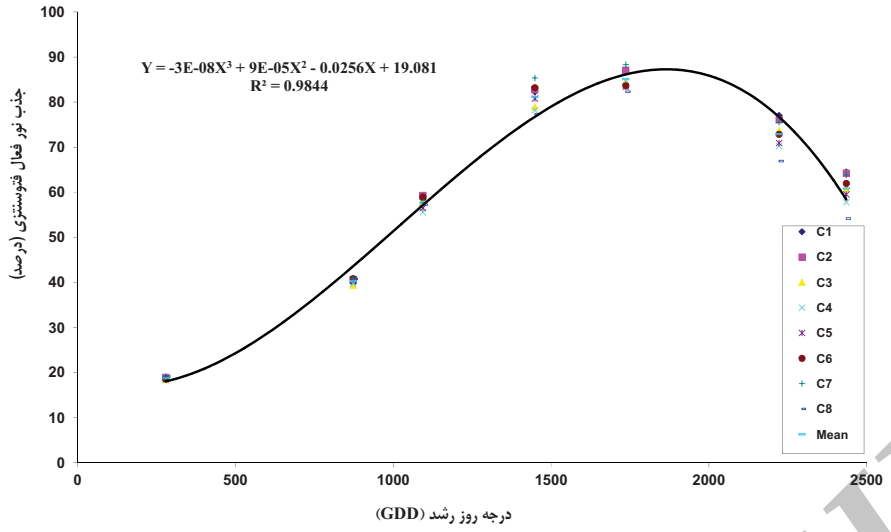
اثر محدودیت رطوبتی در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک و اثر ژنوتیپ در مراحل ظهور برگ پرچم، ظهور بساک، خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک بر درصد جذب نور فعال فتوسنتزی معنی‌دار بود (داده ها نشان داده نشده). تیمار تنش رطوبتی (D_2) باعث کاهش معنی دار شاخص سطح برگ در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک شد (جدول ۳)، اما اثر این عامل بر ضریب خاموشی نور (K) غیر معنی دار بود (داده ها نشان داده نشده). بنابراین با توجه به اینکه جذب نور تابعی از شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور می باشد (۱۸)، به دلیل تأثیر کم تیمار محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ بر ضریب خاموشی نور، تفاوت درصد جذب نور فعال فتوسنتزی در تیمارهای مختلف محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ ها بیشتر ناشی از تفاوت در سطح سبز برگ آنها بود. عدم تأثیر تنش محدودیت رطوبتی در مراحل مختلف نمو بر ضریب خاموشی نور توسط رابرتسون و گیونتا (۳۵) گزارش شده است؛ آنها تفاوت غیرمعنی‌دار ضریب K بین واریته های گندم را نیز گزارش کردند. در بررسی دیگری عدم تفاوت ژنوتیپی بین واریته های تریتیکاله از نظر ضریب خاموشی نور گزارش شده است (۱۷).

الزویسکی (۲۶) کاهش معنی دار میزان فتوسنتز و تعرق را در ارقام گندم در اثر تنش رطوبتی گزارش کردند. با توجه به شرایط بهینه رطوبتی تیمار D_2 تا مرحله ظهور بساک، عدم تفاوت معنی دار آن از نظر جذب نور تا مرحله ظهور بساک با تیمار D_1 قابل انتظار بود. با افزایش شاخص سطح برگ از مرحله گل انگیزی تا ظهور بساک، جذب نور فعال فتوسنتزی نیز افزایش نشان داد (داده ها نشان داده نشده)، هر چند بین تیمار D_1 و D_2 اختلاف معنی داری وجود نداشت. درصد جذب نور فعال فتوسنتزی در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک با توجه به کاهش LAI ، روند کاهشی نشان داد. همچنین با اعمال تنش رطوبتی، میزان جذب نور فعال فتوسنتزی در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک کاهش معنی داری را نشان داد (از ۷۸/۳ درصد به ۶۷/۵ درصد در مرحله خمیری نرم و از ۶۶/۹ درصد به ۵۴/۹ درصد در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک). این افزایش ناشی از تولید برگهای بیشتر و رشد گیاه و در نتیجه افزایش سطح برگ بود. آراس و همکاران (۱۱ و ۱۲) اثر تنش رطوبتی را بر تسریع پیری برگ و کاهش سطح سبز برگ و در نتیجه کاهش جذب نور فعال فتوسنتزی گزارش کردند.

نتایج نشان داد که ژنوتیپ های گندم از نظر جذب نور فعال فتوسنتزی تفاوتهای معنی داری داشتند. کمترین درصد جذب نور فعال فتوسنتزی در مرحله گل انگیزی به ژنوتیپ‌های G_3 و G_4 تعلق داشت (به ترتیب ۳۹/۴ و ۳۹/۷ درصد)، هر چند بین ژنوتیپ ها در مرحله گل انگیزی از نظر جذب نور فعال فتوسنتزی اختلاف آماری معنی داری وجود نداشت. افزایش درصد جذب نور فعال فتوسنتزی (PARI) در تمام ژنوتیپ ها تا ظهور بساک ادامه داشت (شکل ۲). ژنوتیپ های شماره ۱، ۲ و ۷ در مرحله ظهور بساک برتری خود را بر سایر ژنوتیپ ها از نظر جذب نور فعال فتوسنتزی نشان دادند (شکل ۲). تفاوت ژنوتیپ ها از نظر درصد جذب نور فعال فتوسنتزی در طی مراحل رشد، به دلیل تفاوت آنها از نظر شاخص سطح سبز برگ بود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- تغییرات جذب نور فعال فتوسنتزی (PARI) ژنوتیپ‌های گندم با پیشرفت مراحل نمو

تفاوت ژنتیکی از نظر شاخص سطح سبز برگ و درصد جذب نور فعال فتوسنتزی در گندم (۳۵ و ۳۷)، جو (۲۲) و تریتیکاله (۱۷) نیز گزارش شده است.

کارایی مصرف نور (RUE)

روند تجمع ماده خشک با توجه به نور فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی (CPARI) در شرایط بهینه و محدودیت رطوبتی در شکل ۳ نشان داده شده است. مقایسه شیب خطوط برازش (راندمان مصرف نور) در شرایط بهینه (D_1) با شرایط محدودیت رطوبتی (D_2) نشان داد که راندمان مصرف نور در شرایط بهینه با محدودیت رطوبتی تفاوت معنی داری نداشت. عدم تأثیر محدودیت رطوبتی بر راندمان مصرف نور به دلیل کاهش نسبی و یکسان نور تجمعی جذب شده (CPARI) و ماده خشک بود، زیرا بین تجمع ماده خشک و نور جذب شده یک رابطه خطی وجود دارد (۱۲، ۲۳ و ۳۹).

بنابراین کاهش تجمع ماده خشک به نسبت کاهش جذب نور فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی در شرایط تنش رطوبتی، باعث ثابت بودن راندمان مصرف نور شد. به نظر می رسد که کاهش جذب نور در شرایط تنش رطوبتی (و به تبع آن کاهش تجمع ماده خشک) یک سازوکار خود تنظیمی گیاه تحت تنش از طریق کاهش سطح سبز برگ باشد، زیرا در شرایط تنش رطوبتی جلوگیری از جذب تشعشع اضافی که باعث فعال شدن بازدارنده‌های فتوسنتزی می‌شود (۳۳)، بسیار حایز اهمیت است.

برخی واکنش‌های واریته‌های متحمل به تنش رطوبتی (مانند لوله شدن برگ و کرک‌دار بودن سطح سبز برگ) که باعث اجتناب از خسارات ناشی از جذب نور اضافی می‌شود (۴۳)، مکانیزم‌های خود تنظیمی به منظور کاهش خسارات تنش رطوبتی از طریق کاهش جذب تشعشع اضافی می‌باشد. کاهش سطح سبز برگ و در نتیجه کاهش جذب نور فعال فتوسنتزی و به تبع آن کاهش جذب و ساخت و تجمع ماده خشک در شرایط تنش رطوبتی باعث شد که نهایتاً راندمان مصرف نور با شرایط بهینه تفاوت معنی‌داری نداشته باشد. عدم تأثیر تنش رطوبتی بر کارآیی مصرف نور در گندم (۳۵) و غلات مناطق معتدله (۲۴) نیز گزارش شده است. روند خطی نیز بین تجمع ماده خشک نسبت به نور فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی در ژنوتیپ های مختلف گندم مشاهده شد (شکل ۴). مقایسه شیب خط رگرسیون بین تجمع ماده خشک و نور فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی (راندمان مصرف نور) در ژنوتیپ های مختلف نیز تفاوت غیر معنی‌دار بین ژنوتیپ های گندم را نشان داد. کاهش تجمع ماده خشک به نسبت کاهش نور فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی بود و

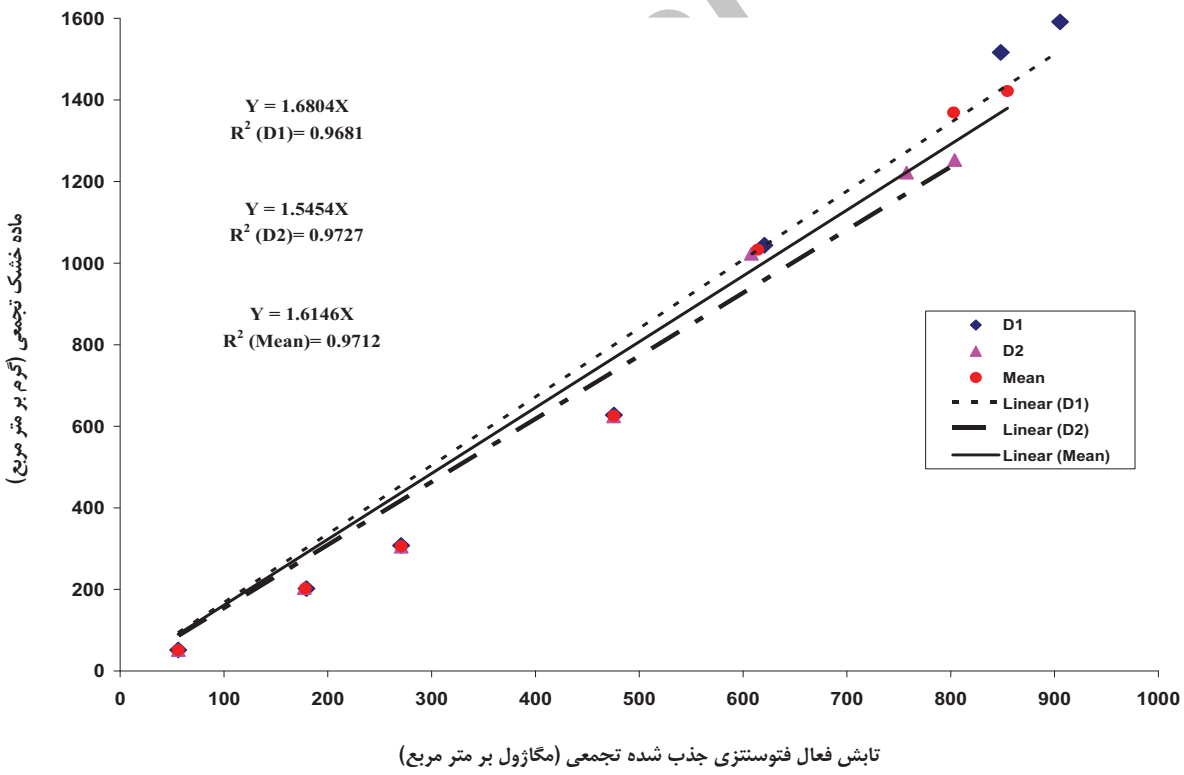
Archive of SID

www.SID.ir

ژنوتیپ هایی که وزن خشک کمتری داشتند به همان نسبت نور کمتری جذب کرده بودند و نهایتاً راندمان مصرف نور، نسبتاً ثابت بود. رابرتسون و گیونتا (۳۵) عدم تنوع ژنتیکی را در بین واریته‌های گندم از نظر راندمان مصرف نور گزارش کردند. لگ و همکاران (۲۲) نتایج مشابهی در جو و سزردنیک و نالبورزیک (۱۷) در تریتیکاله گزارش کردند، که نتایج این تحقیق را تایید می نماید.

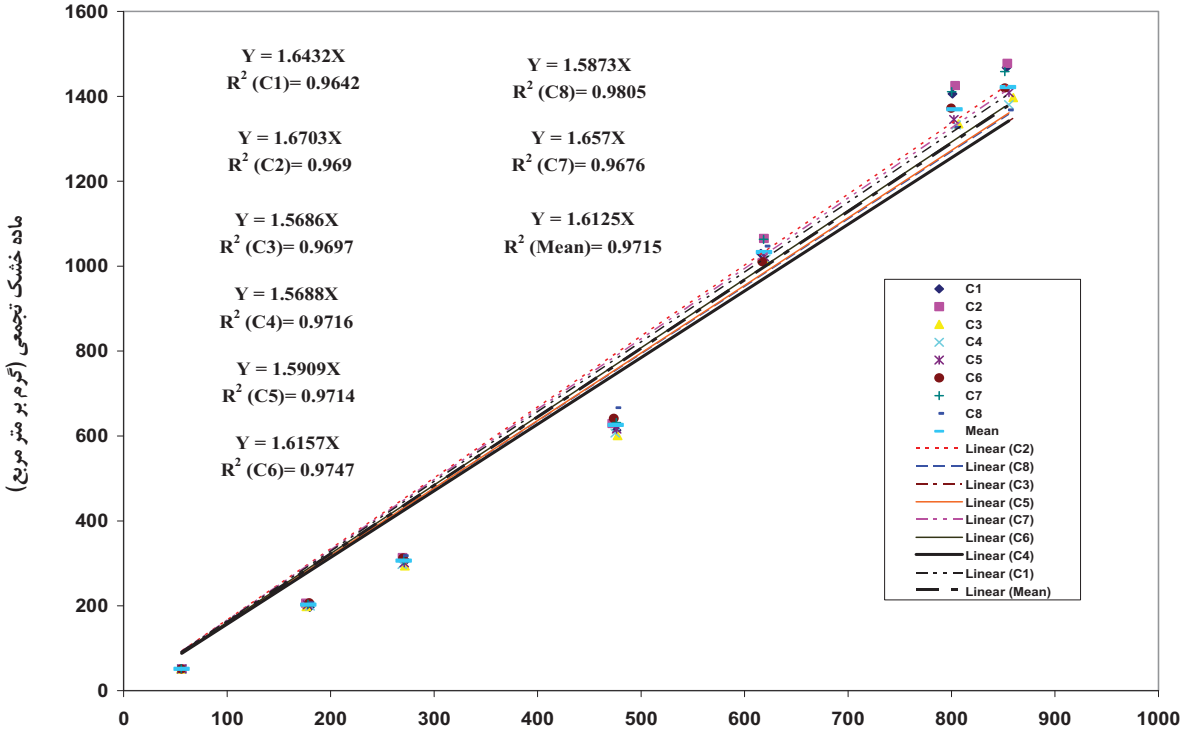
کالدرینی و همکاران (۱۵) در مورد کارایی مصرف نور در گندم بیان داشتند که اگرچه RUE در ارقام قدیمی و جدید در دوره قبل از گرده افشانی یکسان بود، اما در ارقام جدید در طی دوره پس از گرده افشانی به طور بارزی کارایی مصرف نور و سرعت رشد محصول نسبت به ارقام قدیمی بیشتر بود. همچنین آنها اظهار داشتند در مرحله گرده افشانی زیست توده ارقام جدید کمتر از ارقام قدیمی بود و بنابراین کارایی مصرف نور به عنوان یک شاخص فیزیولوژیک مهم بایستی در برنامه های به نژادی گندم منظور شود. به طور خلاصه می‌توان گفت بهینه‌سازی فتوسنتز گیاه تحت شرایط تنش، نیازمند ایجاد توازن بین میزان حداکثر فتوسنتز در مراحل بحرانی رشد (هنگامی که شرایط مطلوب باشد) و اجتناب از اثرات مخرب تابش اضافی در شرایط تنش شدید می باشد. در این صورت انتخاب صفات مورد نظر، متناسب با وضعیت تنش (از نظر شدت و زمان وقوع) خواهد بود.

بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش در شرایط معمولی رطوبتی و استفاده از فتوسنتز جاری ژنوتیپ های ۹۱۰۳، ۹۱۱۶ و C-81-10 جزء برترین ژنوتیپ ها از نظر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بودند. ژنوتیپ‌های C-81-10 ، ۹۱۱۶ و ۹۲۰۷ تحت شرایط معمولی و جلوگیری از فتوسنتز جاری بالاترین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب را داشتند. در شرایط تنش رطوبتی و تحت شرایط استفاده از فتوسنتز جاری ژنوتیپ های ۹۱۰۳ ، ۹۲۱۲ و C-81-10 و در شرایط تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری ژنوتیپ های ۹۱۱۶، C-81-10 و ۹۱۰۳ دارای بالاترین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بودند. با توجه به مطالب فوق، ژنوتیپ های C-81-10 و ۹۱۱۶ را می توان به عنوان ژنوتیپ های امید بخش و مناسب برای شرایط تنش رطوبتی معرفی نمود، در حالی که تحت شرایط معمولی هم عملکرد دانه آنها بالا بود.



شکل ۳- ارتباط بین ماده خشک تجمعی و تابش فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی (CPARI) در شرایط بهینه (D_1) و محدودیت رطوبتی (D_2)

www.SID.ir



شکل ٤- ارتباط بین ماده خشک تجمعی و تابش فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی (CPARI) در ژنوتیپ‌های گندم

منابع

۱- اهدایی، ب. ۱۳۷۲. انتخاب برای مقاومت به خشکی در گندم. مجموعه مقالات کلیدی اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. کرج. ص. ۶۲-۴۳.

۲- خزاعی، ح.ر. ۱۳۸۱. اثر تنش خشکی برخصوصیات فیزیولوژیکی ارقام مقاوم و حساس گندم و معرفی مناسبترین شاخص‌های مقاومت به خشکی. رساله دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۲۵صفحه.

۳- عزت احمدی، م.، ق. نورمحمدی، م. قدسی و م. کافی. ۱۳۸۹. اثر تنش رطوبتی و محلول پاشی یدید پتاسیم بر خصوصیات زراعی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۸ (۲): ۱۸۶-۱۷۷.

۴- علیزاده، ا. ۱۳۷۲. اصول طراحی سیستم های آبیاری. دانشگاه امام رضا، ص ۲۰۵-۲۰۲.

۵- قدسی، م. ۱۳۸۳. جنبه های اکوفیزیولوژیک کمبود آب بر رشد و نمو ارقام گندم . رساله دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران. ۲۱۸ صفحه.

6- Abd El-Rahman, G. 2009. Water use efficiency of wheat under drip irrigation systems at Al-Maghara area, North Sinai, Egypt. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 5 (5): 664-670.

7- Acreche, M.M., and G.A. Slafer. 2009. Grain weight, radiation interception and use efficiency as affected by sink-strength in Mediterranean wheats released from 1940 to 2005. Field Crops Res. 110: 98-105.

8- Acreche, M.M., G. Briceño-Félix, J.A.M. Sánchez and G.A. Slafer. 2009. Radiation interception and use efficiency as affected by breeding in Mediterranean wheat. Field Crops Res. 110: 91-97.

9- Ali, M.H., and M.S.U. Talukder. 2008. Increasing water productivity in crop production - A synthesis. Agric. Water Manag. 95: 1201-1213.

10- Anderson, W.K. 1992. Increasing grain yield and water use of wheat in a rainfed Mediterranean type environment. Aust. J. Agric. Res. 43: 1-17.

11- Araus, J.L., G.A. Salfer, M.P. Reynolds and C. Royo. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for? Ann. Bot. 89: 925-940.

Archive of SID

www.SID.ir

12- Araus, J.L., J. Bort, P. Steduto, D. Villegas and C. Royo. 2003. Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology application. Ann. Appl. Biol. 142: 129-141.
13- Bhutta, W.M., M. Ibrahim and A. Tahira. 2006. Association analysis of some morphological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under field stress conditions. Plant Soil Environ. 52 (4): 171-177.
14- Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. Euphytica. 100: 77-83.
15- Calderini, D.F., M.F. Dreccer and G.A. Slafer. 1997. Consequences of breeding on biomass, radiation interception and radiation use efficiency in wheat. Field Crops Res. 52: 271-281.
16- Carmer, S.G., W.E. Nyquist and W.M. Walker. 1989. Least significant differences for combined analysis of experiments with two or three factor treatment design. Agron. J. 81: 665-672.
17- Czerednik, A., and E. Nalborczyk. 2001. Physiological factors affecting yield formation in the canopy of traditional and new morphotypes of triticale plant (*X Triticosecale* wittmack). Acta Physiol. Plantarum. 23: 55-68.
18- Fischer, R.A. 2001. Selection traits for improving yield potential. *In:* Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio and A. McNab, (eds). Application physiology in wheat breeding. Mexico, D. F., CIMMYT., pp: 148-159.
19- Hamam, K.A. 2008. Increasing yield potential of promising bread wheat lines under drought stress. Res. J. Agric. Biol. Sci. 4(6): 842-860.
20- Katerji, N., M. Mastrorilli and G. Rana. 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. Europ. J. Agron. 28: 493-507.
21- Kirigwi, F.M., M. Van Ginkel, R.G. Trethowan, R.G. Sears, S. Rajaram, and G.M. Paulsen. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. Euphytica. 135: 361-371.
22- Legg, B.J., W. Day, D.W. Lawlor and K.J. Parkinson. 1979. The effect of drought on barley growth: models and measurements showing the relative importance of leaf and photosynthetic rate. J. Agric. Sci. Camb. 92: 703-716.
23- Miralles, D.J., and G.A. Slafer. 1997. Radiation interception and radiation use efficiency of near-isogenic wheat lines with different height. Euphytica. 97: 201-208.
24- Muchow, R.C. 1989. Comparative productivity of maize, sorghum and pear millet in a semi-arid tropical environment. II. Effects of water deficits. Field Crops Res. 20: 207-219.
25- Nasseri, A., and H.A. Fallahi. 2007. Water use efficiency of winter wheat under deficit irrigation. J. Biol. Sci. 7(1): 19-26.
26- Olszewski, J., A. Pszczalkowska, T. Kulik, G. Fordoński, K. Płodzień, A. Okorski and J. Wasielewska. 2008. Rate of photosynthesis and transpiration of winter wheat leaves and ears under water deficit conditions. Pol. J. Natur. Sci. 23(2): 326-335.
27- Palta, J.A., T. Kobata, N.C. Turner and I.R. Fillery. 1994. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits. Crop Sci. 34: 118-124.
28- Passioura, J.B. 1996. Drought and drought tolerance. Plant Growth Reg. 20: 79-83.
29- Passioura, J.B. 1997. Grain yield, harvest index and water use efficiency of wheat. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 43: 117-120.
30- Praba, M.L., J.E. Cairns, R.C. Babu and H.R. Lafitte. 2009. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. J. Agron. Crop Sci. 195: 30-46.
31- Qiu, G.Y., L. Wang, X. He, X. Zhang, S. Chen, J. Chen and Y. Yang. 2008. Water use efficiency and evapotranspiration of winter wheat and its response to irrigation regime in the north China plain. Agric. Water Manag. 148: 1848-1859.
32- Reynolds, M.P., B. Skovmand, R.M. Terthowan, R.P. Singh and M. Van Ginkel. 2000. Applying physiology strategies to wheat breeding. Anonymous: Research highlights of the CIMMYT wheat program .Mexico, D.F., CIMMYT. pp: 49-56.
33- Richards, R.A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. Plant Growth Regul. 20: 157-166.
34- Richards, R.A., A.G. Condon and G.J. Rebetzke. 2001. Traits to improve yield in dry environments. *In:* Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio and A. McNab. (eds). Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, D.F. CIMMYT. 240 pages.
35- Robertson, M.J., and F. Giunta. 1994. Response of spring wheat exposed to pre-anthesis water stress. Aust. J. Agric. Res. 45: 19-35.
36- Shahryari, R., E. Gurbanov, A. Gadimov and D. Hassanpanah. 2008. Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. Pak. J. Biol. Sci. 11(10): 1330-1335.
37- Shearman, V.J., R. Sylvester-Bradley, R.K. Scott and M.J. Foulkes. 2005. Physiological processes associated with yield progress in the UK. Crop Sci. 45: 175-185.
38- Siddique, K.H.M., R.K. Belford, M.W. Perry and D. Tennant. 1989. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean type environment. Aust. J. Agric. Res. 40: 473-487.
39- Sinclair, T.R., and R.C. Muchow. 1999. Radiation-use efficiency. *In:* Advances in Agronomy. Sparks, D.L., (ed.). pp. 215-265.
40- Slafer, G.A., and R. Savin. 1994. Sink-source relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. Field Crops Res. 37:39-49.

Archive of SID

www.SID.ir

41- Slafer, G.A., F.H. Andrade and E.H. Satorre. 1990. Genetic-improvement effects on pre-anthesis physiological attributes related to wheat grain-yield. Field Crops Res. 23: 255-263.
42- Slafer, G.A., and J.L. Araus. 1998. Keynote address: Improving wheat responses to abiotic stresses. *In:* Slinkard A.E. (ed.). Proceeding of the 9th Intrenational Wheat Genetics Symposium. Sasktchewan, pp: 201-213.
43- Tardy, F., A. Creach and M. Havaux. 1998. Photosynthetic pigment concentration, organization and interconversions in pale green Syrian landraces of barley (*Hordeum vulgar* L. Tadmor). Adapted to harsh climate conditions. Plant Cell and Environ. 21: 479-489.
44- Tollenaar, M., and A. Aguilera. 1992. Radiation use efficiency of an old and a new maize hybrid. Agron. J. 84: 536-541.
45- Varlet Grancher, C., G. Gosse, M. Chartier, H. Sinoquet, R. Bonhomme and J.M. Allirand. 1989. Mise au point: Rayonnement solaire absorbe ou intercepte par un couvert vegetal. Agronomie. 9: 419-439.
46- Zhang, X., S, Chen, H. Sun, Y. Wang, and L. Shao. 2010. Water use efficiency and associated traits in winter wheat cultivars in the North China Plain. Agric. Water Manag. 97: 1117-1125

Archive of SID

www.SID.ir