



نقش فتوسنتز سنبله و افشانه کردن ایندول استیک اسید (IAA) بر عملکرد دانه و اجزای آن در دو رقم گندم نان طی تنش خشکی انتهای فصل

مجید عبدلی^{۱*} و محسن سعیدی^۲

چکیده

تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش تولید محصولات زراعی است. با توجه به نقش بخش‌های مختلف گیاه، به‌ویژه فتوسنتز سنبله، در پرکردن دانه و نقش تنظیم‌کنندگی اکسین در شکل‌گیری عملکرد دانه، آزمایشی به منظور بررسی سهم این عوامل در شکل‌گیری عملکرد دانه به صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه روی دو رقم گندم مرودشت و پیشتاز اجرا شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، اعمال تنش خشکی پس از گرده‌افشانی سبب کاهش عملکرد دانه و وزن هزار دانه شد ولی روی تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه بارور و نابارور و طول سنبله تاثیر نداشت. تنش خشکی به‌طور متوسط موجب کاهش ۲۵/۷ و ۲۲/۶ درصد عملکرد دانه و وزن هزار دانه ارقام مورد بررسی شد. در بین ارقام از نظر تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، تعداد سنبلچه بارور و نابارور و طول سنبله اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین، تنش رطوبتی موجب کاهش بیشتر عملکرد دانه رقم مرودشت (۳۱/۸ درصد) نسبت به رقم پیشتاز (۱۸/۷ درصد) گردید. رقم پیشتاز با سنبله بزرگ‌تر دارای عملکرد دانه بیشتری در شرایط تنش خشکی بود. فتوسنتز جاری سنبله نقش مهمی در پرکردن دانه دارد به‌طوری‌که در شرایط بدون تنش، سهم آن ۴۲/۵ درصد و در شرایط تنش کم آبی پس از گرده‌افشانی ۲۳/۸ درصد بود. افشانه کردن ایندول استیک اسید نتوانست از میزان کاهش عملکرد دانه طی حذف فتوسنتز سنبله بکاهد، که این امر نشان‌دهنده اهمیت فتوسنتز سنبله در افزایش عملکرد دانه است.

واژگان کلیدی: ایندول استیک اسید، پرشدن دانه‌ها، تنش خشکی، گندم، سنبله.

majid.abdoli64@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۹

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران (* نگارنده‌ی مسئول)

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی دنیا است که در بین غلات از نظر تولید و سطح زیر کشت در رتبه اول قرار دارد (Harlan, 1981; Bushuk and Rasper, 1994). در مناطق با آب و هوای مدیترانه‌ای (نظیر قسمت اعظم مناطق ایران)، مرحله پرشدن دانه گندم اغلب با وقوع تنش خشکی همراه است (Austin et al., 2001; Richards et al., 1980; et al.), که از طریق کاهش سرعت فتوسنتز، کاهش اندازه منبع (پیری برگ‌ها) و ظرفیت مخزن فیزیولوژیک (تعداد سلول‌های آندوسپرم و فعالیت آنزیمی دانه) و کوتاه شدن دوره پرشدن دانه، سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Royo et al., 2000; Yang and Zhang, 2006).

یکی از عوامل تنظیم‌کننده رشد، هورمون‌های گیاهی می‌باشند. تنظیم هورمونی رشد و متابولیسم گیاه بسیار پیچیده بوده و حاصل برهمکنش بین تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است (Lenoble et al., 2004). رشد دانه به عنوان یک مخزن مهم اقتصادی، شامل مجموعه‌ای از مراحل رشدی از جمله تقسیم و توسعه سلولی و ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی می‌باشد (Weber et al., 1998; Koch, 2004).

ایندول ۳-استیک اسید یک اکسین طبیعی دارای اثرات فیزیولوژیکی گسترده‌ای می‌باشد و کاربرد آن در زمان‌های مختلف رشد گیاه به‌ویژه در مراحل گلدهی یا قبل از آن اثر مفیدی بر عملکرد دارد (Yang et al., 2001; Azhand et al., 2011) و همکاران نیز (Yang et al., 2002; 2003) این نتیجه را اثبات کرده‌اند که به احتمال فراوان اکسین قادر است تقسیم سلولی را همانند سیتوکینین و یا در مشارکت با آن تحریک کند و غلظت بالای اکسین در دانه‌ها، می‌تواند منجر به تولید بیشتر سیتوکینین در دانه‌های در حال رشد گردد و بدین وسیله ممکن

است نقش کلیدی همانند سیتوکینین در تسریع تقسیم سلولی و شکل‌گیری اندازه مخزن داشته باشد (Davies, 1995). یانگ و همکاران (Yang et al., 2003) مشاهده کردند که در برنج شکل‌گیری دانه‌های کوچک و در نتیجه کاهش عملکرد دانه، ارتباط مستقیمی با پایین بودن غلظت هورمون‌های اکسین و اسید آبسازیک در این دانه‌ها دارد.

ظرفیت ذخیره‌سازی دانه‌ها در غلات در مراحل اولیه رشد دانه (یک تا ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی) مشخص می‌گردد (Zhang and John, 2005). در این دوره زمانی، تقسیم سلولی و رشد سلول‌های آندوسپرمی انجام می‌شود و در نهایت پتانسیل اندازه دانه شکل می‌گیرد (Brevedan and Egli, 2003). بروز تنش خشکی در این دوره از طریق کاهش تقسیم سلولی و در نتیجه کاهش ظرفیت ذخیره‌ای دانه‌ها، موجب کاهش عملکرد می‌شود (Wang et al., 1999)، اما تنش خشکی در مرحله دوم رشد دانه (۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی) عملکرد دانه را از طریق کاهش ذخیره‌سازی مواد پرورده در دانه‌ها کاهش می‌دهد (Blum and Ebercon, 1976).

زی و همکاران (Xie et al., 2003) نشان دادند که افزایش میزان داخلی اسید آبسازیک در مرحله تقسیم سلولی، همبستگی منفی با تقسیم سلولی و در نتیجه اندازه مخزن دارد، به‌طوری‌که یانگ و همکاران (Yang et al., 2003) و سعیدی و همکاران (Saeidi et al., 2006) بیان کردند که در طی تنش خشکی، غلظت اسید آبسازیک در درون بذر افزایش می‌یابد که در چنین شرایطی غلظت ایندول استیک اسید که یک تنظیم‌کننده رشد کلیدی در شکل‌گیری قدرت مخزن است، به شدت کاهش می‌یابد اما باید مدنظر داشت که اسید آبسازیک با تسریع پیری برگ‌ها

مراحل رشدی بر اساس شرایط آب و هوایی و نیاز گیاه) و تنش خشکی (قطع آبیاری پس از گرده‌افشانی ۵۰ درصد ارقام) به‌عنوان عامل اصلی و ارقام گندم نان و تیمارهای حذف فتوسنتز سنبله و افشانه کردن ایندول استیک اسید به‌عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شد.

بافت خاک محل اجرای آزمایش رسی بوده و زمین مورد نظر در سال زراعی قبل از کاشت به‌صورت آیش رها شده بود. به منظور آماده‌سازی زمین جهت کاشت، در اوایل پاییز شخم و دیسک زده شد. کشت در نیمه دوم آبان ماه با تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع صورت گرفت. از هر رقم در هر کرت، پنج خط به طول چهار متر و فاصله بین ردیف ۲۳ سانتی‌متر کشت شد. پس از کشت بارندگی مناسبی رخ داد و اولین آبیاری یک هفته پس از کاشت صورت گرفت. کود مورد نیاز بر اساس آزمون خاک به کار رفت، کود نیتروژنه به‌صورت اوره به میزان ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار طی سه مرحله (یک سوم در هنگام کاشت، یک سوم در مرحله پنجه‌زنی و یک سوم باقیمانده در مرحله گلدهی) به مصرف رسید و نیازی به کود فسفره و پتاسه نبود. عملیات داشت و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی (وجین) برای کلیه کرت‌ها به طور یکسان انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

در این تحقیق از دو رقم گندم نان مرودشت و پیشتاز استفاده شد. تیمارهای حذف فتوسنتز سنبله و افشانه کردن ایندول استیک اسید در چهار سطح و به صورت زیر اعمال شدند: ۱- شاهد (عدم حذف فتوسنتز سنبله و عدم پاشش ایندول استیک اسید)، ۲- افشانه کردن ایندول استیک اسید در مرحله تقسیم سلولی آندوسپرم (۳ تا ۷ روز پس از گرده‌افشانی)، ۳- حذف فتوسنتز سنبله (به منظور

منجر به بازگسیل بیشتر و سریع‌تر کربوهیدرات‌های محلول ساقه به دانه‌ها می‌شود (Yang et al., 2001). اهمیت مشارکت ساختار سبز سنبله‌های گندم در پرکردن دانه‌ها به‌دلیل دوره فتوسنتزی طولانی‌تر پس از گرده‌افشانی نسبت به برگ‌ها و نزدیکی آنها به دانه‌های در حال رشد مورد تایید بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (Evans et al., 1972; Biscoe et al., 1975). فتوسنتز سنبله ممکن است به‌صورت یک جایگزین جهت جلوگیری از افت شدید عملکرد در شرایط تنش رطوبتی عمل کند (Maydupa et al., 2010) و ممکن است مهم‌ترین منبع مواد فتوسنتزی برای دانه‌های در حال رشد جو (Sanchez-Diaz et al., 2002) و گندم دوروم (Tambussi et al., 2007) باشد.

عباد و همکاران (Abbad et al., 2004) گزارش کرده‌اند که سهم مشارکت سنبله‌ها در پرشدن دانه و عملکرد نهایی بسته به ارقام و شرایط محیطی، متفاوت است. مایدوپا و همکاران (Maydupa et al., 2010) نقش فتوسنتز سنبله را در پر شدن دانه در گندم نان بین ۱۲ تا ۴۲ درصد گزارش نمودند، در حالی که راوسون و ایوانز (Rawson and Evans, 1972) سهم ساختارهای غیردانه‌ای سنبله را در عملکرد ۳۲ درصد گزارش کردند.

پژوهش کنونی برای بررسی اثر اکسین و نقش فتوسنتز سنبله طی تنش خشکی انتهای فصل بر عملکرد و اجزای آن در دو رقم گندم به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه صورت گرفت. پژوهش در قالب آزمایش اسپلیت پلات-فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. دو سطح آبیاری شامل بدون تنش (آبیاری در تمام

میانگین ماهانه بارندگی و متوسط درجه حرارت طی سال زراعی در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج و بحث

اعمال تنش خشکی پس از گرده‌افشانی سبب کاهش عملکرد دانه و وزن هزار دانه شد ولی روی تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه نابارور و طول سنبله بی‌تاثیر بود و اختلاف معنی‌داری با شرایط بدون تنش نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه و اجزای آن در ارقام گندم مورد بررسی (جدول ۴) نشان دادند که در ارتباط با عملکرد و اجزای آن، تنش کم‌آبی به طور میانگین موجب ۲۵/۷ و ۲۲/۶ درصد کاهش در عملکرد دانه و وزن هزار دانه ارقام مورد بررسی شد (جدول ۴). میانگین میزان عملکرد دانه و وزن هزار دانه ارقام مورد بررسی در شرایط شاهد به ترتیب ۵۲۰ گرم در مترمربع و ۳۳/۷ گرم بود در حالی‌که این مقادیر در شرایط تنش خشکی به ترتیب به ۳۸۷ گرم در مترمربع و ۲۶/۱ گرم، کاهش پیدا کرد (جدول ۴). کاهش شدید عملکرد دانه در این شرایط بر اساس یافته‌های سعیدی و همکاران (Saeidi et al., 2010) که تنش کم‌آبی را در سطوح مختلف و در مراحل مختلف رشد دانه اعمال نمودند، بیشتر به علت تحت تاثیر قرار گرفتن تامین مواد پرورده برای پرشدن دانه‌ها، کاهش قدرت مخزن برای جذب مواد فتوسنتزی و همچنین کاهش دوره رشد دانه می‌باشد و به احتمال فراوان واکنش‌های اولیه رشد دانه (تقسیم سلولی و شکل‌گیری اندازه مخزن) کمتر تحت تاثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند. این نتایج همچنین موافق با یافته‌های یانگ و ژانگ (Yang and Zhang, 2006) می‌باشد. کاهش وزن هزار دانه ارقام گندم در چنین شرایطی نشان‌دهنده عدم تامین مواد فتوسنتزی مورد تقاضای دانه‌ها می‌باشد، چنین واکنشی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Ehdaie et al., 2006b;)

حذف فتوسنتز سنبله از فویل آلومینیومی برای پوشاندن آن استفاده شد و برای هوادهی و جلوگیری از تولید اتیلن روی آن تعدادی سوراخ ایجاد شد، ۴- افشانه کردن ایندول استیک اسید به همراه حذف فتوسنتز سنبله در مرحله تقسیم سلولی آندوسپرم (۳ تا ۷ روز پس از گرده‌افشانی) مورد مقایسه قرار گرفتند.

غلظت ۵۰ میکرو مولار ایندول ۳-استیک اسید بر اساس گزارش‌های حسین و همکاران (Hussain et al., 2011) و آژند و همکاران (Azhand et al., 2011) استفاده شد. همچنین، این میزان از بین چندین دز مختلف که اثر بهتری بر عملکرد دانه داشته است، انتخاب شد (نتایج منتشر نشده است). جهت سهولت در حل شدن، ابتدا ایندول استیک اسید در ۰/۵ میلی‌لیتر محلول سود یک نرمال حل شده و با آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شد. جهت جذب سطحی بهتر، ۲ الی ۳ قطره از تیپول به عنوان موپان استفاده شد. در مرحله گرده‌افشانی جهت اطمینان از جذب شدن اکسین عمل افشانه کردن سه روز متوالی به طول انجامید و به منظور جلوگیری از تجزیه سریع آن توسط نور خورشید، پاشش اکسین بعد از غروب آفتاب انجام شد (Saeidi et al., 2006).

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، پس از حذف حاشیه‌ها از هر یک از کرت‌ها یک متر مربع برداشت شد و به منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد (از قبیل وزن هزار دانه، عملکرد سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه بارور و نابارور) و همچنین طول سنبله، از هر تیمار ۲۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و به کار رفت. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسات میانگین به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شدند. میزان رطوبت،

سنبله و سنبلچه بارور بیشتری بود (به ترتیب ۵۵/۱ و ۱۸/۳) و عملکرد دانه آن از رقم مرودشت در شرایط تنش خشکی بیشتر است (جدول ۴). در این مورد دموتس ماینارد و جفوری (Demotes-Mainard and Jeuffroy, 2001) بر این باور هستند که ارقام گندم با سنبله‌های بزرگ‌تر و طولی‌تر در مقایسه با انواع با سنبله‌های کوچک‌تر و کوتاه‌تر قدرت تسهیم مواد فتوسنتزی بیشتری را به سنبله و دانه‌ها دارند. همچنین، یانگ و همکاران (Yang et al., 2001) مشاهده کردند که در شرایط فاریاب ارقام دارای سنبله‌های بزرگ‌تر عملکرد بیشتری داشتند، آنها علت این قضیه را ظرفیت فتوسنتزی بیشتر سنبله عنوان کردند. رقم پیش‌تاز که دارای سنبله بزرگ‌تری است در شرایط تنش خشکی نسبت به رقم مرودشت از نظر عملکرد دانه و وزن هزار دانه افت کمتری دارد (جدول ۵). در این مورد اسلافر و آندرید (Slafer and Andrade, 1993) هم به همبستگی سنبله‌های بزرگ با مقاومت به تنش خشکی اشاره کرده و توان ذخیره‌سازی کربن و نیتروژن در سنبله و انتقال مجدد آن به دانه‌ها را در این مورد دخیل دانسته‌اند.

استفاده از اکسین باعث افزایش دانه در سنبله نشد (جدول ۴) که در این مورد صدقی و همکاران (Sedghi et al., 2008) طی محلول‌پاشی اکسین و جیبرلین بر روی کدوی دارویی بیان کردند که اکسین موجب افزایش تعداد دانه در بوته می‌شود، این امر می‌تواند موجب افزایش عملکرد بوته به دلیل افزایش تعداد دانه باشد اما در این تحقیق افزایش عملکرد دانه بیشتر در اثر افزایش وزن هزار دانه و کاهش تعداد سنبلچه نابارور در سنبله بوده است. مطابق با نتایج این تحقیق، آژند و همکاران (Azhand et al., 2011) گزارش کردند که اعمال خارجی ایندول استیک اسید در ابتدای مرحله تقسیم سلولی دانه‌های در حال رشد (صفر تا ۱۴ روز پس از گرده‌افشانی)

(Abdoli and Saeidi, 2012). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که رقم مرودشت در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی به ترتیب بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه را داشت. به طوری که اعمال تنش کم‌آبی به ترتیب کمترین و بیشترین کاهش معنی‌دار را در عملکرد دانه رقم پیش‌تاز (۱۸/۷ درصد) و مرودشت (۳۱/۸ درصد) ایجاد نمود (جدول ۵). کاهش شدیدتر عملکرد دانه این رقم در شرایط تنش خشکی نشان داد که حساسیت این رقم نسبت به تنش کم‌آبی بیشتر از رقم پیش‌تاز است. همچنین، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه بارور و نابارور و طول سنبله بین شرایط بدون تنش و تنش خشکی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی در بین ارقام از نظر کلیه صفات به غیر از عملکرد دانه و عملکرد سنبله در بوته، تفاوت معنی‌داری دیده شد (جدول ۳). رقم پیش‌تاز و مرودشت به ترتیب با ۵۵ و ۳۹ دانه در سنبله بیشترین و کمترین میزان را دارا بودند (جدول ۴).

مقایسات میانگین صفات نشان داد که حذف فتوسنتز سنبله، سبب کاهش شدید عملکرد دانه و وزن هزار دانه نسبت به شاهد شد و در مورد سایر پارامترهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری با شاهد دیده نشد (جدول ۴) که می‌توان به اهمیت فتوسنتز سنبله در پرشدن دانه به خاطر دوره فتوسنتزی طولانی‌تر پس از گرده‌افشانی و نزدیکی آنها به دانه‌های در حال رشد پی‌برد (Maydupa et al., 2010).

علت برتری عملکرد دانه رقم مرودشت در شرایط کنترل رطوبتی نسبت به رقم پیش‌تاز احتمالاً به خاطر بیشتر بودن سرعت فتوسنتز جاری و یا بالاتر بودن سطح سبز فتوسنتزی آن باشد (Saeidi et al., 2012). از طرف دیگر، رقم پیش‌تاز که دارای سنبله طولی‌تری است (۸/۸ سانتی‌متر) دارای تعداد دانه در

(دانه‌ها) می‌باشند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که حذف فتوسنتز سنبله در شرایط بدون تنش و تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه در سنبله به ترتیب به میزان ۴۲/۵ و ۲۳/۸ درصد، نسبت به شاهد شد (شکل ۱ ب). عباد و همکاران (Abbad *et al.*, 2004) گزارش کردند که در شرایط رطوبت کافی فتوسنتز کل سنبله بسیار بیشتر از برگ پرچم است و با افزایش کمبود آب، فتوسنتز سنبله بسیار کمتر از برگ پرچم کاهش یافت. با بررسی ویژگی‌های فتوسنتزی و روابط آبی در سنبله گندم دوروم مشخص شد که نمود بهتر سنبله نسبت به برگ پرچم در شرایط تنش آبی به دلیل محتوای آب نسبی بالاتر، تنظیم اسمزی بهتر و به‌طور کلی خصوصیات خشکی‌پسند، بخش‌های سنبله است (Tambussi *et al.*, 2005). سعیدی و همکاران (Saeidi *et al.*, 2012) با حذف فتوسنتز سنبله و کل بوته نشان دادند که نقش فتوسنتز جاری سنبله طی پرشدن دانه در شکل‌گیری عملکرد در ارقام مرودشت و زاگرس به‌طور میانگین ۴۳ درصد و نقش فتوسنتز جاری کل بوته و برگ‌ها در همین شرایط به ترتیب ۶۸ و ۲۵ درصد است. عمیدزاده و همکاران (Amidzadeh *et al.*, 2009) طی بررسی‌های انجام داده روی برخی از ارقام گندم، دریافتند که فتوسنتز سنبله بیشترین سهم نسبی (۱۵/۹۳ درصد) را در پر کردن دانه داشت.

اعمال تیمار حذف فتوسنتز سنبله بیشتر از طریق کاهش وزن هزار دانه، بر عملکرد دانه در سنبله اثر گذاشته‌اند (جدول ۴). احتمالاً در تیمار اعمال شده به دلیل حذف منابع تولید مواد فتوسنتزی، پرشدن دانه‌ها دچار اختلال شده و دانه‌های ضعیف‌تری تولید شده است که باعث کاهش عملکرد دانه از طریق افت وزن هزار دانه شده است. در مطالعه‌ای که پپلر و همکاران (Pepler *et al.*, 2006) روی تاثیر نیتروژن و تشعشعات خورشیدی بر میزان

موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم به‌ویژه در شرایط تنش کم آبی شد ولی اعمال این تیمار در مرحله پرشدن دانه (از ۱۴ روز پس از گرده‌افشانی تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک) چنین اثری نداشت. همچنین، نتایج نشان داد که در تیمار کاربرد توام اکسین و حذف فتوسنتز سنبله، پرشدن دانه‌ها به خوبی صورت نگرفت و افزایش عملکردی رخ نداد (جدول ۴).

اثر متقابل سطوح آبیاری بر تیمارهای اعمال شده نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط کنترل رطوبتی و در تیمار افشانه کردن ایندول استیک اسید بود و کمترین آن در شرایط تنش خشکی و در تیمار کاربرد توام اکسین و حذف فتوسنتز سنبله حاصل شد (شکل ۱-الف). در مورد اثر متقابل سطوح آبیاری در تیمارهای اعمال شده بر عملکرد سنبله در بوته نیز چنین روندی مشاهده شد. با توجه به نتایج فوق، محلول‌پاشی ایندول اسید استیک نتوانسته از میزان کاهش وزن هزار دانه (و به طبع آن عملکرد دانه) طی حذف فتوسنتز سنبله بکاهد، که می‌توان به اهمیت فوق‌العاده بخش‌های فتوسنتزی پی برد که حتی، تنظیم‌کننده‌های رشد نیز نمی‌توانند جایگزین آن شوند.

حذف فتوسنتز سنبله در شرایط بدون تنش و تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه و عملکرد سنبله در بوته در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱ الف و ب) که مطابق با نتایج عمیدزاده و همکاران (Amidzadeh *et al.*, 2009) و سعیدی و همکاران (Saeidi *et al.*, 2012) می‌باشد. کاهش وزن دانه ناشی از حذف فتوسنتز سنبله بیانگر این مطلب است که فتوسنتز سنبله نقش مهمی در پر کردن دانه‌ها دارد، به‌طوری‌که بیسکو و همکاران (Biscoe *et al.*, 1975) بیان کردند که ساختارهای غیردانه‌ای سنبله یکی از عوامل اصلی تاثیرگذار روی رشد مخزن

است. علت برتری عملکرد دانه رقم پیشناز در شرایط تنش خشکی نسبت به رقم مرودشت احتمالاً به خاطر سنبله‌های بزرگ‌تر است، که به دلیل دوره فتوسنتزی طولانی‌تر پس از گرده‌افشانی نسبت به برگ‌ها و نزدیکی آنها به دانه‌های در حال رشد نقش به‌سزایی را در پرشدن دانه‌ها دارد. سهم فتوسنتز سنبله بر عملکرد دانه بین ۲۳/۸ تا ۴۲/۵ درصد به‌دست آمد. افشانه کردن ایندول اسید استیک نتوانست از میزان کاهش عملکرد دانه و وزن هزار دانه طی حذف فتوسنتز سنبله بکاهد، که این امر نشان‌دهنده نقش برجسته فتوسنتز سنبله در پشتیبانی عملکرد دانه است.

سیاس‌گذاری

نگارندگان از دانشگاه رازی کرمانشاه که امکان اجرای این تحقیق را فراهم نمود و همچنین از کلیه‌ی عزیزانی که ما در اجرای این پژوهش یاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

ماده خشک سنبله در گندم نان انجام دادند چنین نتیجه‌گیری کردند که سایه‌اندازی بر سنبله‌ها باعث کاهش ماده خشک آنها می‌شود. البته این اثر در زمان پرشدن دانه‌ها مشهودتر است. گزارش‌های متعددی در مورد اثر تنش رطوبتی (Praba *et al.*, 2009) و محدودیت منبع (Alam *et al.*, 2008) در مراحل مختلف نمو دانه گندم (به‌ویژه پس از گرده‌افشانی) بر کاهش عملکرد و وزن دانه وجود دارد که مؤید نتایج حاصل از این آزمایش هستند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی کاهش عملکرد دانه در دوره تنش خشکی انتهای فصل بیشتر به خاطر افت شدید وزن دانه بود، بنابراین کاهش وزن هزار دانه ارقام گندم در چنین شرایطی نشان‌دهنده عدم تامین مواد فتوسنتزی مورد تقاضای دانه‌ها است. کاهش شدیدتر عملکرد دانه رقم مرودشت در شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده حساسیت این رقم نسبت به تنش کم‌آبی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Chemical and physical characteristics of experimental field

عمق خاک Soil depth (cm)	اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	کربن آلی O.C (%)	تخلخل Porosity (%)	بافت خاک			نوع بافت Soil texture
							رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	
0-30	7.4	0.098	329	8	1.14	46.5	44	39	17	clay

جدول ۲- کمینه، بیشینه، میانگین دما، میزان رطوبت و میانگین ماهانه مقدار بارندگی در منطقه کرمانشاه طی سال زراعی ۱۳۸۹-۹۰

Table 2- Minimum, maximum and mean of temperature and relative humidity (RH) also precipitation in the Kermanshah region during 2010-2011

Month	ماه	کمینه دما	بیشینه دما	میانگین دما	میزان بارش	کمینه رطوبت	بیشینه رطوبت	میانگین رطوبت
		Min temp (°C)	Max temp (°C)	Mean temp (°C)	Precipitation (mm)	Min RH (%)	Max RH (%)	Mean RH (%)
Oct.	مهر	10.6	30.3	20.4	1	13.2	46.4	29.8
Nov.	آبان	4.5	21.9	13.2	31	22.8	66.8	44.8
Dec.	آذر	-1.5	16.8	7.7	24	26.5	62.4	44.5
Jan.	دی	-2.2	9.6	3.7	50	47.1	91.0	69.1
Feb.	بهمن	-2.7	8.0	2.7	65	52.1	94.2	73.2
Mar.	اسفند	0.6	15.4	8	21	28.1	82.0	55
Apr.	فروردین	4.5	20.1	12.3	47	24.6	78.8	51.7
May.	اردیبهشت	9.5	23.6	16.5	128	33.6	87.4	60.5
Jun.	خرداد	12.8	33.8	23.3	0	11.3	51.1	31.2
Jul.	تیر	17.1	38.5	27.8	0	6.6	32.1	19.4
Aug.	مرداد	18.1	39.5	28.8	0	6	27.7	16.9
Sep.	شهریور	13.8	24.6	24.2	0	7.8	32	19.9

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رژیم رطوبتی، ارقام و تنظیم کننده رشد بر عملکرد دانه و اجزای آن

Table 3- Analysis of variance (mean square) of the effect of irrigation regimes, cultivars and plant growth regulators on grain yield and its components

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (Mean squares)						
		عملکرد دانه	تعداد دانه در سنبله	عملکرد سنبله در بوته	وزن هزار دانه	تعداد سنبله بارور	تعداد سنبله نابارور	طول سنبله
S.O.V	df	Grain yield	Number of grain per spike	Spike yield per plant	1000 grain weight	Number of fertile spikelet per spike	Number of infertile spikelet per spike	Spike length
تکرار Replication (R)	2	27502	18.3	0.18	74.2	0.07	0.07	0.14
سطوح آبیاری Irrigation (I)	1	213733 *	11.8 ns	0.35 **	695 *	4.62 ns	0.54 ns	0.01 ns
خطای اصلی (a) Error a	2	16230	3.77	0.01	12.6	0.36	0.48	0.01
رقم Cultivar (C)	1	4294 ns	3088 **	0.13 ns	835 **	142 **	28.4 **	1.15 **
تنظیم کننده رشد Plant Growth Regulators (PGR)	3	152572 **	0.92 ns	1.39 **	630 **	4.50 **	1.69 **	0.05 ns
سطوح آبیاری × رقم I × C	1	20866 *	8.50 ns	0.03 ns	9.81 ns	3.25 *	0.06 ns	0.17 ns
سطوح آبیاری × تنظیم کننده رشد I × PGR	3	21963 *	60.2 ns	0.17 *	28.5 ns	0.54 ns	0.20 ns	0.14 ns
رقم × تنظیم کننده رشد C × PGR	3	402 ns	13.5 ns	0.009 ns	14.9 ns	0.11 ns	0.34 ns	0.009 ns
سطوح آبیاری × رقم × تنظیم کننده رشد I × C × PGR	3	3953 ns	18.9 ns	0.05 ns	7.85 ns	0.22 ns	0.12 ns	0.02 ns
خطای فرعی (b) Error b	28	4526	21.1	0.04	14.5	0.49	0.22	0.08
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		14.8	9.77	15.4	12.7	4.17	13.9	3.33

ns و * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, **, *: non-significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده رژیم رطوبتی، رقم و تنظیم کننده رشد بر عملکرد و اجزای آن

Table 4- Mean comparison of the effect of irrigation regimes, cultivar and plant growth regulators on grain yield and its components

Treatments	تیمارهای آزمایشی	عملکرد	تعداد دانه در	عملکرد	وزن هزار	تعداد	تعداد	طول سنبله
		دانه	سنبله	سنبله در بوته	دانه	سنبلچه بارور	سنبلچه نابارور	سنبله
		Grain yield (g.m ⁻²)	Number of grain per spike	Spike yield per plant (g)	1000 grain weight (g)	Number of fertile spikelet per spike	Number of infertile spikelet per spike	Spike length (cm)
Irrigation آبیاری								
Well water	بدون تنش	519.9 a	45.6 a	1.54 a	33.7 a	16.5 a	1.59 a	8.61 a
Water stress	تنش خشکی	386.5 b	47.5 a	1.21 b	26.1 b	17.1 a	1.38 a	8.64 a
Decrease (%)	کاهش (%)	-25.7	4.2	-21.4	-22.6	3.6	-13.2	0.3
Cultivars ارقام								
Marvdasht	مرودشت	462.7 a	39.0 b	1.32 a	34.1 a	15.1 b	2.25 a	8.47 b
Pishtaz	پیشتاژ	443.8 a	55.0 a	1.43 a	25.7 b	18.5 a	0.71 b	8.78 a
Plant Growth Regulators تنظیم کننده رشد								
Control	شاهد	539.2 a	47.0 a	1.63 a	35.7 a	16.5 b	1.84 a	8.72 a
Foliar application of IAA	افشانه کردن	561.9 a	47.3 a	1.70 a	36.7 a	17.7 a	0.97 b	8.60 a
Ear shading	سایه اندازی بر سنبله	351.4 b	47.1 a	1.07 b	23.4 b	16.5 b	1.46 b	8.56 a
Foliar application of IAA + ear shading	افشانه کردن و سایه اندازی بر سنبله	360.6 b	46.6 a	1.09 b	23.9 b	16.5 b	1.65 a	8.64 a

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند. Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.

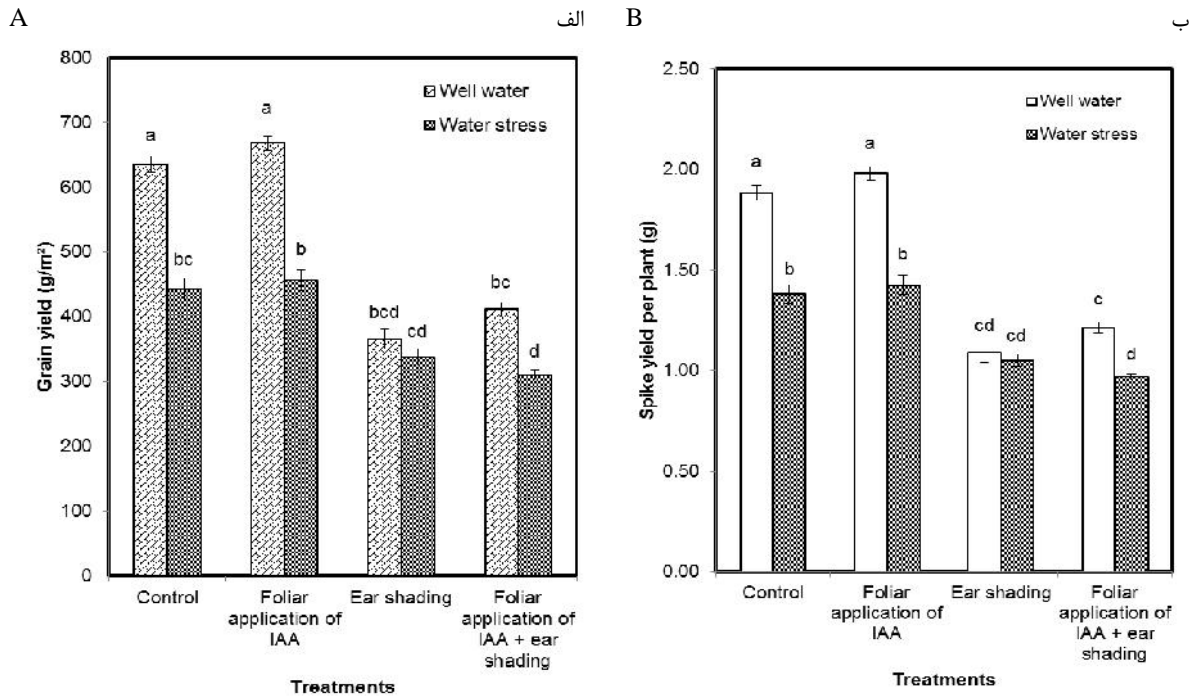
جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم رطوبتی و رقم بر عملکرد دانه و تعداد سنبلچه بارور در سنبله

Table 5- Mean comparison of interactions between irrigation regimes and cultivar on grain yield and number of fertile spikelet per spike

ارقام	Cultivars	عملکرد دانه (گرم بر متر مربع)		تعداد سنبلچه بارور	
		Grain yield (g.m ⁻²)		Number of fertile spikelet per spike	
		بدون تنش	تنش خشکی	بدون تنش	تنش خشکی
		Well water	Water stress	Well water	Water stress
Marvdasht	مرودشت	550.3±11.7 a	375.1±8.0 d	15.0±0.1 c	15.1±0.1 c
Pishtaz	پیشتاژ	489.7±13.8 b	397.9±9.2 c	18.0±0.1 b	19.1±0.1 a

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند. میانگین ± اشتباه معیار

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test. Mean ± SE.



شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیب تیمارهای افشانه کردن ایندول استیک اسید و محدودیت فتوسنتز سنبله بر عملکرد دانه (A) و عملکرد سنبله در بوته (B) تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی. I: میزان اشتباه معیار.

Figure 1- Mean comparison of interactions between foliar application of IAA and ear shading treatments on grain yield (A) and spike yield per plant (B) under well water and water stress. I: Standard error (SE).

References

منابع مورد استفاده

- Abbad, H., E.L.J. Samir, B. Jordi, and A. Jose Luis. 2004. Comparison of flag leaf and ear photosynthesis with biomass and grain yield of durum wheat under various water conditions and genotypes. *Agron. J.* 24: 19-28.
- Abdoli, M., and M. Saeidi. 2012. Using different indices for selection of resistant wheat cultivars to post anthesis water deficit in the west of Iran. *Ann. Biol. Res.* 3: 1322-1333.
- Alam, M.S., A.H.M.M. Rahman, M.N. Nesa, S.K. Khan, and N.A. Siddique. 2008. Effect of source and/or sink restriction on the grain yield in wheat. *Europ. J. App. Sci. Res.* 4(3): 258-261.
- Amidzadeh, J., A. Naderi, and S.A. Syadat. 2009. Assessment of sink limitation and relative shares of different photosynthetic organs of wheat in grain filling. *Iranian J. Field Crops Res.* 7(2): 555-562. (In Persian).
- Austin, R.B., C.L. Morgan, M.A. Ford, and R.D. Blackwell. 1980. Contribution to grain yield from pre anthesis assimilation in tall and dwarf barley genotypes in two contrasting seasons. *Ann. Bot.* 45: 309-314.
- Azhand, M., R. Azimi, F. Rashtiani, S. Jalali-Honarmand, and M. Saeidi. 2011. Regulatory role of Indole Acetic Acid (IAA) in grain yield production of different bread wheat cultivars under water deficiency at grain filling stage. 2nd National Conference of Iranian Plant Physiology. 28-29 April. Yazd, Iran. 529 pp.
- Biscoe, P.V., R.K. Scott, and J.L. Monteith. 1975. Barley and its environment. Part III: carbon budget of the stand. *J. Appl. Ecol.* 12: 269-291.
- Blum, A., and A. Ebercon. 1976. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Sci.* 16: 428-431.
- Brevedan, R.E., and D.B. Egli. 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Sci.* 43: 2083-2088.
- Bushuk, W., and V.F. Rasper. 1994. Wheat production, properties and quality. Blakie Academic and professional. Chapman and Hall Pub. 273-310 pp.
- Davies, P.J. 1995. Plant hormone. Physiology, biochemistry and molecular biology. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Demotes-Mainard, S., and M.H. Jeuffroy. 2001. Partitioning of dry matter and nitrogen to the spike growth period in wheat crops subjected to nitrogen deficiency. *Field Crops Res.* 70: 153-165.
- Ehdaie, B., G.A. Alloush, M.A. Madore, and J.G. Waines. 2006b. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Post anthesis changes in internode water-soluble carbohydrate. *Crop Sci.* 46: 2093-2103.
- Evans, L.T., J. Bingham, P. Jackson, and J. Sutherland. 1972. Effect of awns and drought on the supply of photosynthate and its distribution within wheat ears. *Ann. Appl. Biol.* 70: 67-76.

- Harlan, J.R. 1981. The early history of wheat. pp. 1-19. In: Evans, L.T. and W.J. Peacock (eds.) wheat Science Today and Tomorrow. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Hussain, K.H., M. Hussain, K.H. Nawaz, A. Majeed, and K.H. Hayat Bhatti. 2011. Morphochemical response of chaksu (*Cassia absus* L.) to different concentrations of indole acetic acid (IAA). *Pak. J. Bot.* 43: 1491-1493.
- Koch, K. 2004. Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. *Current Opinion. Plant Biol.* 7: 235-246.
- Lenoble, M.E., W.G. Spollen, and R.E. Sharp. 2004. Maintenance of shoot growth by endogenous ABA: genetic assessment of the involvement of ethylene suppression. *J. Exp. Bot.* 55: 237-254.
- Maydupa, M.L., M. Antonietta, J.J. Guiameta, C. Graciano, J.R. López, and E.A. Tambussia. 2010. The contribution of ear photosynthesis to grain filling in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Field Crops Res.* 119: 48-58.
- Pepler, S., M.J. Gooding, and R.H. Ellis. 2006. Modelling simultaneously water content and dry matter dynamics of wheat grains. *Field Crops Res.* 95(1): 49-63.
- 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.
- Rawson, H.M., and L.T. Evans. 1972. The contribution of stem reserves to grain development in a range of cultivars of different height. *Aus. J. Agric. Res.* 22: 851-863.
- 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. CIMMYT, DF. Mexico.
- Royo, C., M. Abaza, R. Blanco, and L.F. Moral. 2000. Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. *Aust. J. Plant Physiol.* 27: 1051-1059.
- Saeidi, M., F. Moradi, A. Ahmadi, K. Poostini, and G. Najafian. 2006. Effect of exogenous application of ABA and CK at different stages of grain development on some physiological aspects of source and sink relationship in two bread wheat cultivars. *Iranian J. Crop Sci.* 8(3): 268-282. (In Persian).
- Saeidi, M., F. Moradi, A. Ahmadi, R. Spehri, G. Najafian, and A. Shabani. 2010. The effects of terminal water stress on physiological characteristics and sink-source relations in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Iranian J. Crop Sci.* 12(4): 392-408. (In Persian).
- Saeidi, M., F. Moradi, and S. Jalali-Honarmand. 2012. The effect of post anthesis source limitation treatments on wheat cultivars under water deficit. *Aust. J. Crop Sci.* 6(7): 1179-1187.
- Sanchez-Diaz, M., J.L. Garcia, M.C. Antolin, and J.L. Araus. 2002. Effects of soil drought and atmospheric humidity on yield, gas exchange and stable carbon composition of barley. *Photosynthesis.* 40: 415-421.

- Sedghi, M., A. Gholipouri, and R. Seyed Sharifi. 2008. -Tocopherol accumulation and floral differentiation of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) in response to plant growth regulators. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*. 36(1): 80-84.
- Slafer, G.A., and F.H. Andrade. 1993. Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. *Field Crops Res.* 31: 351-367.
- Tambussi, E.A., J. Bort, J.J. Guiamet, S. Nogue, and J.L. Araus. 2007. The photosynthetic role of ears in C₃ cereals: metabolism, water use efficiency and contribution to grain yield. *Critical Review. Plant Sci.* 26: 1-16.
- Tambussi, E.A., S. Nogue, and J.A. Araus. 2005. Ear of durum wheat under water stress: water relations and photosynthetic metabolism. *Planta.* 221: 446-458.
- Wang, R.Y., Z.W. Yu, and Q.M. Pan. 1999. Changes of endogenous plant hormone contents during grain development in wheat. *Acta Agron. Sinica.* 25: 227-231.
- Weber, H., U. Heim, S. Golombek, L. Borisjuk, and U. Wobus. 1998. Assimilate uptake and the regulation of seed development. *Seed Sci. Res.* 8: 331-345.
- Xie, Z., D. Jiang, W. Cao, T. Dai, and Q. Jing. 2003. Relationships of endogenous plant hormones to accumulation of grain protein and starch in winter wheat under different post anthesis soil water stress. *Plant Growth Regul.* 41: 117-127.
- Yang, J., and J. Zhang. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytol.* 169: 223-236.
- Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, and Q. Zhu. 2003. Hormones in the grains in relation to sink strength and post anthesis development of spikelets in rice. *Plant Growth Regul.* 41: 185-195.
- Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu, and L. Liu. 2002. Abscisic acid and cytokinins in the root exudates and leaves and their relationship to senescence and remobilization of carbon reserves in rice subjected to water stress during grain filling. *Planta.* 215: 645-652.
- Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu, and W. Wang. 2001. Hormonal changes in the grains of rice subjected to water stress during grain filling. *Plant Physiol.* 127: 315-323.
- Zhang, K., and P.C.L. John. 2005. Raised level of cyclin dependent kinase a after prolonged suspension culture of *Nicotiana plumbaginifolia* is associated with more rapid growth and division, diminished cytoskeleton and lost capacity for regeneration: implications for instability of cultured plant cells. *Plant Cell Tissue, Organ Culture.* 82: 295-308.

The Role of Spike Photosynthesis and Foliar Application of IAA on Grain Yield and its Components of Two Wheat Cultivars in Late Season Drought Stress

Abdoli, M.^{1*}, and M. Saeidi²

Received: February 2014, Accepted: 28 February 2015

Abstract

Drought stress is a major cause of reduction in crop production. According to the role of various plant parts, especially the spike photosynthesis in grain filling and the regulatory roles of IAA in formation of grain yield, a split plot-factorial experiment based on randomized complete block design (RCBD) with three replications was conducted at the experimental field of the Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Razi, Kermanshah, in 2010-2011 growing season using two wheat cultivars (Marvdasht and Pishtaz). Results indicated that water stress after pollination significantly decreased grain yield and 1000 grain weight but it did not affect grain no. spike⁻¹, number of fertile and infertile spikelet per spike and spike length as compared well-watered conditions. Drought stress caused 25.7 and 22.6 percent reduction in grain yield and 1000 grain weight of varieties under study respectively. Cultivars differed in grain no. spike⁻¹, 1000 grain weight, number of fertile and infertile spikelet per spike and spike length significantly. Water stress also reduced grain yield of Marvdasht cultivar (31.8%) as compared to Pishtaz cultivar (18.7%). Pishtaz cultivar possessed larger spikes which resulted in grain yield increase under drought stress. Photosynthesis of spike during grain filling stage increased yield under well watered condition by 42.5% and under post-anthesis drought stress by 23.8%, respectively. Foliar application of IAA did not have any effect on yield reduction when photosynthesis was stopped. This shows the importance of spike photosynthesis in increasing grain yield.

Key words: Wheat, Drought stress, Grain filling, Indole Acetic Acid, Spike.

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran.

2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Recourse, Razi University, Kermanshah, Iran.

* *Corresponding Author:* majid.abdoli64@yahoo.com

