واکنش عملکردی گندم نان و دوروم به غلظت‌های مختلف اکسین و سیتوکینین در شرایط تنش خشکی آخر فصل

یحیی امام*، هدایت‌الله کریم‌زاده سورشجانی، سعید موری و کبری مقصودی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۲۵)

چکیده

تنش خشکی مهم‌ترین عاملی است که در بیشتر مراحل رشد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک باعث محدودیت در رشد و دستیابی به عملکرد زیاد می‌گردد. در یک پژوهش مزرعه‌ای، تأثیر مصرف تنظیم‌کننده‌های رشد اکسین در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) و سیتوکینین نیز در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۷۰ میکرومولار) به‌صورت محلول‌پاشی در مرحله گرده‌افشانی، بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان (رقم شیراز) و ماکارونی (رقم یاواروس) در شرایط تنش کم‌آبی (آبیاری معمول و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی) بررسی گردید. این آزمایش در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز و در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ به‌صورت اسپلیت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله (۲۵٪ در ارقام شیراز و یاواروس)، وزن هزار دانه (به‌ترتیب ۱۴ و ۳۰٪ در ارقام شیراز و یاواروس)، تعداد دانه در واحد سطح (۳۰٪ در ارقام شیراز و یاواروس)، عملکرد دانه (به‌ترتیب ۱۵ و ۳۵٪ در ارقام شیراز و یاواروس)، عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب ۱۳ و ۳۵٪ در ارقام شیراز و یاواروس) و شاخص برداشت (به‌ترتیب ۱۵ و ۲۷٪ در ارقام شیراز و یاواروس) گندم گردید. محلول‌پاشی با اکسین و سیتوکینین در شرایط آبیاری معمولی موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد دانه گردید. بنابراین، از این پژوهش چنین نتیجه‌گیری شد که کاربرد ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین برای گندم نان و سیتوکینین ۷۰ میکرومولار برای گندم ماکارونی، تنها در شرایط عدم تنش خشکی موجب بهبود عملکرد دانه شد.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، تنظیم‌کننده رشد، هورمون

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yaemam@gmail.com

مقدمه

گندم مهم‌ترین غله در بسیاری از مناطق جهان است و غذای اصلی اکثر مردم جهان را تشکیل می‌دهد (۲۱ و ۲۵). در بین غلات، گندم از نظر سطح زیر کشت و تولید سالانه در درجه اول اهمیت قرار دارد و به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد، مهم‌ترین گیاه زراعی روی زمین است که در مساحت وسیعی از اراضی دنیا کشت می‌شود (۲۲). در ایران نیز گندم نسبت به سایر محصولات بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. اگر چه بیشترین سطح زیر کشت و میزان تولید گندم مربوط به گندم نان (*Triticum aestivum* L.) می‌باشد، اما گندم ماکارونی (*Triticum durum* L.) نیز دارای ارزش تجاری می‌باشد و از لحاظ اقتصادی دارای قیمت بیشتری نسبت به گندم نان است (۴). در ضمن، میزان پروتئین این گندم بیشتر از گندم نان می‌باشد. گندم دوروم به‌عنوان یک محصول غذایی با اهمیت، سطح کشت جهانی معادل ۳۰ میلیون هکتار دارد. ویژگی‌های گلوتن سنگین و خمیر غیر چسبنده و سنگین، این نوع گندم را ایده‌آل برای تهیه محصولات خمیری، از جمله ماکارونی، کرده است (۵).

در مناطق خشک و نیمه خشک، به‌دلیل کم بودن و توزیع غیر یکنواخت بارندگی از سالی به سال دیگر، عملکرد سال‌های متوالی نوسانات فراوانی نشان می‌دهد. از طرف دیگر، زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق، سبب بروز تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان می‌شود (۲۲). تنش خشکی از پدیده‌های اقلیمی رایج در طبیعت می‌باشد که مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان است و کمتر گیاهی به‌طور کامل از آن اجتناب می‌کند (۳۲). در کشاورزی، خشکی به وضعیتی اطلاق می‌شود که میزان و توزیع بارندگی طی فصل رشد به اندازه‌ای ناچیز باشد که موجب کاهش عملکرد گیاهان زراعی شود (۲۶). از طرف دیگر، کرامر (۱۴) خشکی را به‌عنوان فقدان یا کمبود نزولات و به عبارتی کمبود رطوبت در محیط ریشه تعریف نموده که موجب آسیب رسیدن به محصول می‌شود. با تشدید تنش خشکی، آب موجود در بافت‌ها و سلول‌های گیاهی به‌تدریج از دست رفته و در متابولیسم طبیعی بافت‌ها و سلول‌ها اختلال به‌وجود می‌آید و در نتیجه عملکرد به شدت کاهش می‌یابد (۱۹). کشور ایران با میانگین نزولات جوی ۲۴۰ میلی‌متر در سال در زمره مناطق خشک و نیمه خشک طبقه‌بندی می‌گردد.

تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب گندم می‌شود (۳۰ و ۳۲). کاهش پتانسیل آب در اثر تنش خشکی باعث کاهش تقسیم سلولی، رشد اندام‌های گیاه، کاهش فتوسنتز خالص (۱۹)، سنتز پروتئین و تغییر توازن هورمونی گیاه می‌گردد (۱۶). جانسون و فولر (۱۱) معتقدند که حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش خشکی مرحله گل‌دهی است. کمبود آب پس از گل‌دهی احتمالاً از طریق آسیب رساندن به فرآیند باروری دانه، می‌تواند تعداد دانه در هر سنبله را کاهش دهد. تنش خشکی در مرحله سنبله‌دهی تا پر شدن دانه به‌دلیل کاهش تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه موجب کاهش محصول می‌گردد (۲۹).

اکسین‌ها گروه کوچکی از هورمون‌های گیاهی هستند که نقش محوری در تنظیم رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کنند (۱۷) و با توجه به این‌که رشد و نمو ریشه تحت تأثیر هورمونی است، رشد طولی محور اصلی و آغاز رویش ریشه‌های فرعی در درجه نخست به‌وسیله اکسین سرچشمه گرفته از بخش هوایی گیاهی تحریک می‌گردد (۱۵). از این رو، با توسعه سیستم ریشه، گیاه قادر خواهد بود نسبت به جذب بهینه عنصر روی که در شرایط کمبود رطوبت با کاهش تحرک رو به رو بوده، اقدام نماید و از سوی دیگر، به ذخایر بیشتر رطوبتی خاک دسترسی داشته باشد. اکسین‌ها باعث طویل شدن ساقه و میانگره، فعال‌سازی تقسیم سلولی، طویل شدن سلول‌ها، تروپیسم، چیرگی رأسی و ریشه‌زایی می‌شوند (۲۷).

نتایج تحقیقات نشان داده است که تیمار نشاهای پیاز قبل از انتقال به زمین اصلی (۱۷ و ۲۷) و یا محلول‌پاشی آنها بعد از انتقال به زمین اصلی با محلول IBA به‌طور معنی‌داری باعث

افزایش عوامل رشدی و عملکرد و هم‌چنین بهبود خواص کمی و کیفی پیاز گردید (۲ و ۱۸). هم‌چنین آمال و همکاران (۱) گزارش کردند که محلول‌پاشی گیاهان نخود فرنگی با محلول IBA باعث افزایش معنی‌دار پارامترهای رشدی، وزن تر و وزن خشک گیاه و پیگمان‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه گردید.

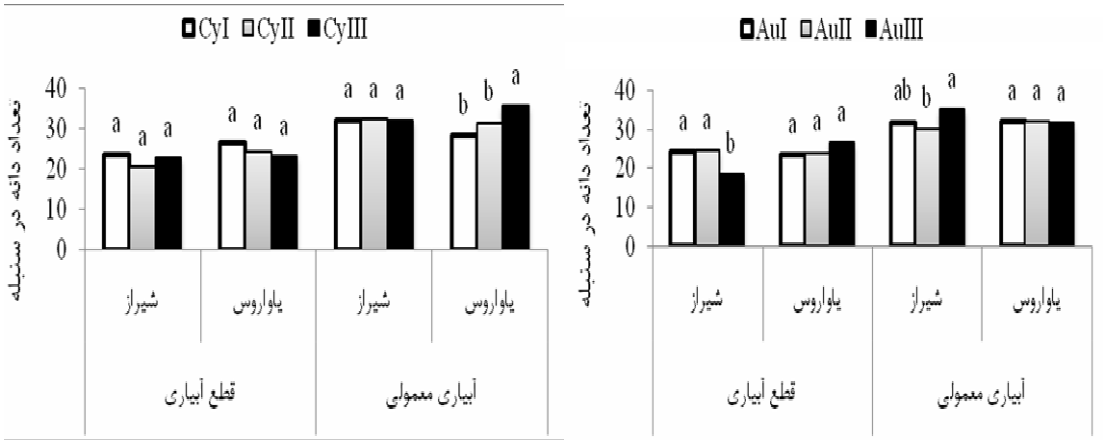
سیتوکینین‌ها نیز گروهی دیگر از هورمون‌ها با اثر محرک رشد به شمار می‌روند و به‌ویژه فرآیند تقسیم را در سلول‌ها تحریک می‌کنند. این هورمون‌ها فعالیت‌های زیادی را در ریخت‌زایی گیاه تنظیم می‌نمایند و معمولاً باعث تقسیم سلولی، حذف چیرگی رأسی، تمایز ساقه و به تأخیر انداختن پیری می‌شوند (۱۲). سیتوکینین عامل مهم در تنظیم تقسیم سلولی و ذخیره سازی مواد فتوسنتزی می‌باشد. یانگ و همکاران (۳۳) نشان دادند که در برنج، مصرف خارجی سیتوکینین در مرحله تقسیم سلولی بیشترین تأثیر مثبت را در شکل‌گیری عملکرد دانه داشت. در همین راستا سعیدی و همکاران (۲۴) گزارش کردند که مصرف سیتوکینین در زمان گرده‌افشانی باعث افزایش عملکرد دانه در گندم گردید. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف اکسین و سیتوکینین بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط آبیاری معمولی و قطع آبیاری پس از گل‌دهی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان، رقم شیراز و گندم دوروم، رقم یاواروس به تنش خشکی آخر فصل و سطوح مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد اکسین و سیتوکینین، آزمایشی مزرعه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۱ کیلومتری شمال شرقی شهر شیراز با طول جغرافیایی '۲۵ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی '۴۰ °۲۹ شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. در این آزمایش عامل اصلی رژیم رطوبتی (آبیاری تا انتهای فصل رشد و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی)، عامل فرعی ارقام گندم (شیراز و یاواروس) و عامل فرعی فرعی ترکیب سطوح مختلف اکسین (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) و سیتوکینین (صفر، ۵۰ و ۷۰ میکرومولار) بود. هر کرت آزمایشی شامل ٦ خط به طول دو متر و با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود.

عملیات تهیه بستر شامل شخم و دیسک و تسطیح و ایجاد خطوط به کمک فارور بود. با توجه به نتایج آزمون خاک، نیتروژن از منبع اوره در دو نوبت پنجه‌زنی و گل‌دهی به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به خاک اضافه شد. آبیاری به‌صورت سطحی با استفاده از سیفون انجام شد. به این ترتیب که در تیمار آبیاری معمولی، تا انتهای فصل رشد، هر ۱۰ روز یکبار آبیاری انجام شد و در تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی، هر ۱۰ روز یکبار تا زمان گل‌دهی آبیاری و پس از آن آبیاری تا انتهای فصل رشد قطع گردید. هم‌چنین، در مرحله پنجه‌زنی، از علف‌کش 2,4-D برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ استفاده شد.

محلول‌پاشی بوته‌های گندم با اکسین و سیتوکینین در مرحله گرده‌افشانی اجرا شد (از تیپولبا نسبت ۰/۵ درصد حجمی، به‌عنوان مویان استفاده گردید) و همزمان، گیاهان شاهد نیز با آب مقطر محلول‌پاشی شدند. جهت اطمینان از جذب شدن تنظیم‌کننده‌های رشد اکسین و سیتوکینین توسط گیاه، عمل محلول‌پاشی در چهار روز متوالی تکرار و برای جلوگیری از تجزیه سریع این تنظیم‌کننده‌ها، محلول‌پاشی بعد از غروب آفتاب صورت گرفت. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک محصول، پس از حذف اثر حاشیه، یک متر از چهار خط میانی برداشت شده و در تعیین عملکرد بیولوژیک و دانه مورد استفاده قرار گرفت. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. از محصول هر یک از کرت‌ها یک نمونه تصادفی شامل ۲۰ ساقه بارور تهیه و نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه اندازه‌گیری گردید. در



شکل ۱. تأثیر غلظت‌های مختلف اکسین (چپ) و سیتوکینین (راست) بر تعداد دانه در سنبله در ارقام گندم در شرایط مختلف آبیاری. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون LSD است. AuI، AuII و AuIII به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین و CyI، CyII و CyIII به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۷۰ میکرومولار سیتوکینین می‌باشند.

نهایت، تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر رقم بر تعداد سنبله در واحد سطح معنی‌دار بود (جدول ۱). به‌طوری‌که تعداد سنبله در واحد سطح در رقم شیراز بیشتر از رقم یاواروس بود که این امر نشان‌دهنده توانایی بیشتر پنجه‌زنی در رقم شیراز نسبت به رقم یاواروس می‌باشد. در این آزمایش، به‌علت زمان وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی، تعداد سنبله در واحد سطح تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت و تفاوت موجود مربوط به اختلاف پتانسیل ارقام در پنجه‌زنی نسبت داده می‌شود. در همین زمینه، ماری و همکاران (۱۶) نیز نتایج مشابهی را مبنی بر عدم تأثیر تنش خشکی آخر فصل بر تعداد سنبله بارور در مترمربع گزارش کردند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد دانه در سنبله به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار آبیاری، برهمکنش آبیاری×رقم×اکسین و آبیاری×رقم×سیتوکینین قرار گرفت. به‌نحوی که قطع آبیاری پس از گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله گردید (جدول ۱). در رابطه با رقم شیراز، در شرایط قطع آبیاری، کمترین تعداد دانه در سنبله در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین مشاهده شد. در حالی‌که در همین رقم، تحت شرایط آبیاری معمول، بیشترین تعداد دانه در سنبله در همین غلظت اکسین به‌دست آمد. این موضوع نشان‌دهنده آن است که در شرایط تنش خشکی، افزایش غلظت هورمون اکسین باعث افزایش حساسیت رقم شیراز به تنش خشکی گردیده است. در مقابل، در رقم یاواروس، در هر دو شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی، بین غلظت‌های مختلف اکسین تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱).

در رقم شیراز، تحت هر دو شرایط آبیاری ودر رقم یاواروس در شرایط قطع آبیاری، بین سطوح مختلف سیتوکینین از نظر تعداد دانه در سنبله اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت. ولی در تیمار آبیاری معمولی، در رقم یاواروس، بیشترین تعداد دانه در سنبله در تیمار ۷۰ میکرومولار سیتوکینین به‌دست آمد (شکل ۱).

هرچند پتانسیل تعداد دانه در سنبله قبل از گل‌دهی مشخص می‌گردد، ولی شرایط محیطی پس از گل‌دهی بر دستیابی به حداکثر تعداد دانه در سنبله تأثیر می‌گذارد. مرحله گل شکفتگی از حساس‌ترین مراحل زندگی گندم به تنش خشکی است. در این زمان، کمبود آب باعث عدم تلقیح و ناباروری گلچه‌ها در

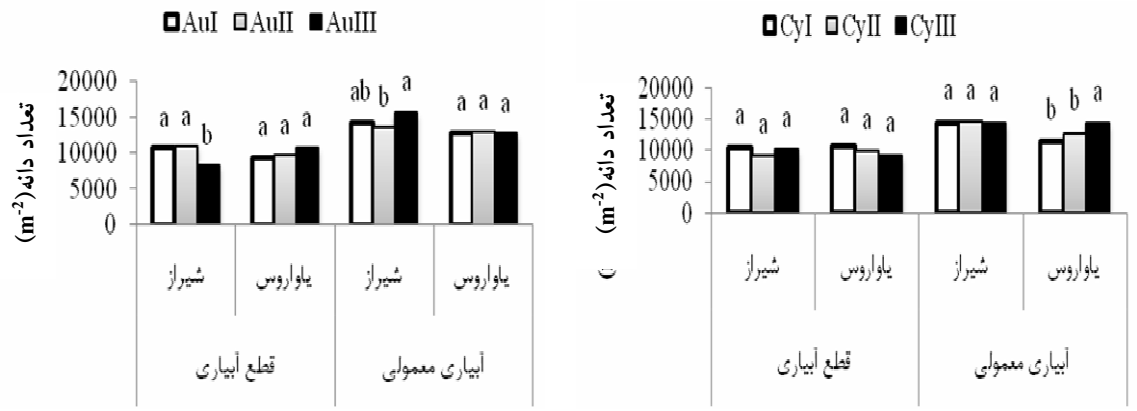
جدول ۱. میانگین مربعات عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم تحت شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی اکسین و سیتوکینین

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		دانه در سنبله	تعداد سنبله	وزن هزار دانه	تعداد دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تکرار(R)	۲	۱۷/۱۰^{ns}	۲/۴۰^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۳۳۱۰۱۳۶/۵۰^{ns}	۶۴۲/۴۰^{ns}	۲۴۹۷/۲۰^{ns}	۳۴/۲۰^{ns}
آبیاری(I)	۱	۱۸۱۶/۶۰*	۴/۱۰^{ns}	۱۸/۲۰*	۳۴۱۹۱۸۸۴۸/۱۰*	۱۲۰۸۱۷۰/۴۰*	۱۳۵۴۸۵۰/۱۰*	۳۹۷/۲۰**
خطای a	۲	۵۷/۲۰	۳/۵۰	۰/۴۰	۹۸۴۱۱۶۵/۸۰	۲۰۳۴۷/۰۰	۶۴۰۵۸/۷۰	۲۶/۷۰
رقم(C)	۱	۸/۴۰^{ns}	۵۲/۵۰**	۳/۳۰**	۲۷۰۹۹۱۸/۲۰^{ns}	۴۹۹۰۷/۵۰**	۱۷۳۳۴۰۹/۷۰**	۴۰۴۱/۸۰**
I*C	۱	۸۸/۴۰^{ns}	۷/۷۰^{ns}	۱۱/۹۰**	۲۷۱۲۷۵/۵۰^{ns}	۱۳۷۵۹۲/۷۰**	۷۳۰۶۸۵/۹۰**	۳۰۱/۷۰*
خطای b	۴	۲۱/۷۰	۱۲/۸۰	۰/۱۰	۳۴۹۷۲۳۸/۵۰	۴۵۲/۳۰	۲۰۲۸۵/۳۰	۱۶/۶۰
اکسین(Au)	۲	۴/۴۰^{ns}	۱۶/۹۰^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۶۲۸۲۲۶/۱۰^{ns}	۵۳۱/۶۰^{ns}	۷۸۰۳۸/۵۰*	۴۴/۹۰^{ns}
سیتوکینین(Cy)	۲	۳۰/۶۰^{ns}	۴/۳۰^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۵۰۶۵۹۸۲/۳۰^{ns}	۵۴۶۰/۵۰**	۲۷۱۰۵/۷۰^{ns}	۱۱/۷۰^{ns}
Cy×Au	۴	۸/۰۰^{ns}	۸/۴۰^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۱۵۴۴۷۹۶/۰۰^{ns}	۷۲۹/۷۰^{ns}	۱۴۳۹۸/۱۰^{ns}	۱۹/۵۰^{ns}
Au×I	۲	۴۷/۵۰^{ns}	۲/۷۰^{ns}	۱/۱۰**	۹۳۴۷۸۶۱/۲۰^{ns}	۳۱۲۸۰/۹۰**	۶۸۴۳۴/۶۰*	۱۲۸/۷۰**
Cy×I	۲	۷۳/۳۰^{ns}	۷۳/۲۰*	۰/۲۰^{ns}	۴۳۸۶۸۰۰/۱۰*	۳۴۲۴۷/۹۰**	۳۲۴۲۳/۳۰^{ns}	۱۵۶/۶۰**
C×Au	۲	۳۳/۳۰^{ns}	۱۰/۷۰^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۵۹۳۵۶۸/۴۰^{ns}	۱۲۱۹/۳۰*	۴۰۸۲۸/۲۰^{ns}	۲۳/۱۰^{ns}
C×Cy	۲	۱۶/۵۰^{ns}	۱۵/۹۰^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۲۴۰۵۱۸۶/۰۰^{ns}	۶۵۸۹/۹۰**	۲۳۲۹۹/۳۰^{ns}	۲۲/۰۰^{ns}
C×Cy×Au	۴	۳/۳۰^{ns}	۳۶/۹۰^{ns}	۰/۴۰^{ns}	۶۱۳۸۹۸/۲۰^{ns}	۱۰۰۵/۴۰^{ns}	۹۷۶۵/۳۰^{ns}	۱۰/۰۰^{ns}
Cy×Au×I	۴	۱۵/۶۰^{ns}	۴/۸۰^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۲۸۶۴۵۴۰/۰۰^{ns}	۴۰۷/۴۰^{ns}	۲۲۹۳۹/۷۰^{ns}	۲۵/۶۰^{ns}
C×Au×I	۲	۱۲۲/۱۰*	۴۳/۱۰*	۲/۳۰*	۲۳۵۱۸۱۱۸/۹۰**	۳۱۶۱/۹۰**	۳۹۵۲۴/۱۰*	۱۳۹/۲۰**
C×Cy×I	۲	۷۷/۵۰*	۵۲/۱۰*	۳/۷۰*	۱۳۳۸۲۸۲۵/۳۰*	۴۰۸۹۳/۲۰**	۷۵۷۱۲/۹۰*	۱۲۷/۷۰**
C×Cy×Au×I	۱۶	۱۴/۹۰^{ns}	۱۶/۳۰^{ns}	۰/۸۰^{ns}	۲۷۵۸۸۱۵/۳۰^{ns}	۵۹۱/۲۰^{ns}	۱۴۶۸۸/۵۰^{ns}	۲۶/۱۰^{ns}
خطای c	۶۴	۲۱/۵۰	۱۹/۵۰	۰/۲۰	۳۹۵۰۳۰۸/۷۰	۳۷۸/۴۰	۲۱۵۶۴/۶۰	۲۱/۵۰

* و **و: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد. ns: غیرمعنی‌دار.

سنبله می‌گردد. هم‌چنین تعدادی از تخمک‌های تلقیح شده، در اثر تنش خشکی سقط می‌شوند و در نهایت تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد (۲۶). اعمال تنش در مرحله گرده‌افشانی باعث عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها می‌گردد، که می‌تواند دلیلی برای کاهش دانه در سنبله‌ها باشد (۶، ۱۰ و ۳۱).

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق حاکی از آن بود که اثر تیمار آبیاری، برهمکنش آبیاری×سیتوکینین، آبیاری×رقم×اکسین و آبیاری×رقم×سیتوکینین بر تعداد دانه در واحد سطح معنی‌دار بود (جدول ۱). در رابطه با رقم شیراز، کمترین تعداد دانه در واحد سطح در شرایط قطع آبیاری و بیشترین تعداد دانه در واحد سطح نیز در شرایط آبیاری نرمال در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین به‌دست آمد. این موضوع نشان‌دهنده آن است که هرچند در شرایط آبیاری معمولی هورمون اکسین باعث افزایش تعداد دانه در واحد سطح و در نهایت عملکرد دانه می‌گردد، ولی در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی (تنش خشکی)



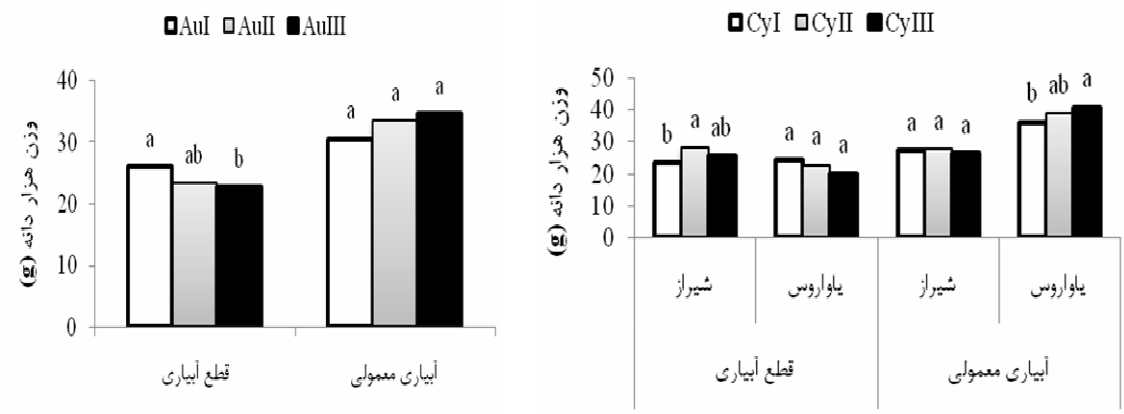
شکل ۲. تأثیر غلظت‌های مختلف اکسین (چپ) و سیتوکینین (راست) بر تعداد دانه در واحد سطح در ارقام گندم در شرایط مختلف آبیاری. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون LSD است. AuI، AuII و AuIII به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین و CyI، CyII و CyIII به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۷۰ میکرومولار سیتوکینین می‌باشند.

کاربرد خارجی اکسین باعث به هم خوردن تعادل هورمونی گیاه شده که این امر باعث حساس شدن گیاه به تنش خشکی می‌گردد. در هر دو شرایط آبیاری معمولی و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی، بین سطوح مختلف اکسین در رقم یاواروس از نظر تعداد دانه در واحد سطح اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲).

در رقم شیراز، تحت هر دو تیمار آبیاری و در رقم یاواروس در شرایط قطع آبیاری، بین سطوح مختلف سیتوکینین از نظر تعداد دانه در واحد سطح، اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت. در حالی‌که در شرایط آبیاری معمولی بیشترین تعداد دانه در واحد سطح رقم یاواروس در تیمار ۷۰ میکرومولار سیتوکینین به‌دست آمد که با سایر غلظت‌های سیتوکینین اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲). به عبارت دیگر، محلول‌پاشی با سیتوکینین موجب افزایش تعداد دانه در واحد سطح رقم یاواروس تحت شرایط آبیاری معمولی گردید.

وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری از تیمار آبیاری، رقم،آبیاری×رقم، آبیاری×اکسین، آبیاری×رقم×سیتوکینین و آبیاری×رقم×اکسین اثر پذیرفت (جدول ۱). در تیمار قطع آبیاری، بیشترین میزان وزن هزار دانه در شرایط عدم مصرف اکسین مشاهده شد و با افزایش غلظت اکسین، وزن هزار دانه روند کاهشی نشان داد. در حالی‌که در تیمار آبیاری معمولی با افزایش غلظت اکسین وزن هزار دانه افزایش یافت، اگرچه این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۳).

در شرایط قطع آبیاری، در رقم شیراز، بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۵۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده شد. درحالی‌که در شرایط آبیاری معمولی، اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف سیتوکینین در رقم شیراز مشاهده نشد. در تیمار شاهد (عدم تنش خشکی) بیشترین وزن هزار دانه رقم یاواروس در تیمار ۷۰ میکرومولار سیتوکینین به‌دست آمد. در مقابل، در شرایط قطع آبیاری، از نظر وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف سیتوکینین در رقم یاواروس مشاهده نشد (شکل ۳). با توجه به این‌که اکسین و سیتوکینین هورمون‌های مؤثر در تقسیم سلولی می‌باشند (۱۵) به نظر می‌رسد، افزایش غلظت این دو تنظیم‌کننده رشد به‌دلیل افزایش تقسیم سلول‌های آندوسپرم، باعث افزایش وزن هزار دانه شده باشد. ولی در شرایط قطع آبیاری، کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد اکسین و سیتوکینین باعث به هم خوردن تعادل هورمونی گیاه شده که در نهایت وزن هزار دانه و عملکرد دانه کاهش یافت. هم‌چنین، تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی از طریق تشدید پیری برگ‌ها، کاهش دوره رشد و کاهش سرعت پر شدن دانه سبب کاهش میانگین وزن هزار دانه و کاهش عملکرد دانه می‌شود (۲۳). پژوهشگران زیادی کاهش وزن دانه را در اثر



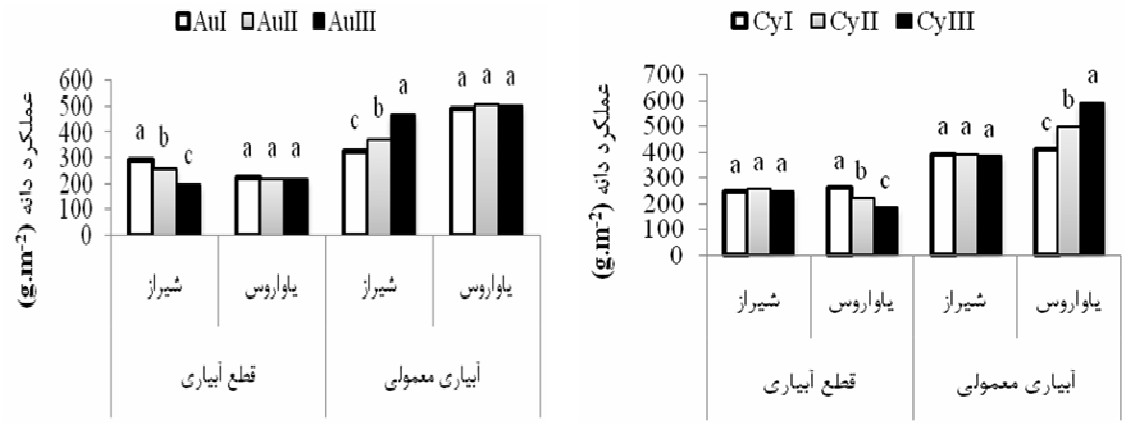
شکل ۳. تأثیر غلظت‌های مختلف اکسین بر وزن هزار دانه در شرایط مختلف آبیاری (چپ) و تأثیر غلظت‌های سیتوکینین بر وزن هزار دانه در ارقام گندم در شرایط مختلف آبیاری (راست). حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون LSD است. AuI، AuII و AuIII به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین و CyI، CyII و CyIII به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۷۰ میکرومولار سیتوکینین می‌باشند.

تنش خشکی گزارش کرده‌اند (۷، ۱۳ و ۲۸). گوتیری و همکاران (۹) دلیل اصلی کاهش عملکرد ارقام گندم تحت شرایط تنش خشکی را کاهش وزن هزار دانه و تعداد دانه در واحد سطح بیان کردند.

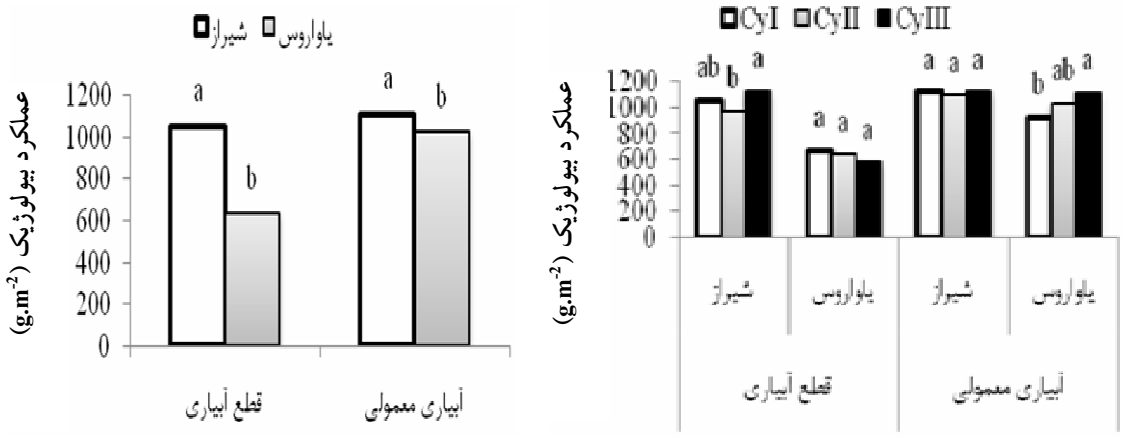
نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تیمار آبیاری، رقم، سیتوکینین و برهمکنش‌های آبیاری×رقم، آبیاری×اکسین، آبیاری×سیتوکینین، رقم×اکسین، رقم×سیتوکینین، آبیاری×رقم×اکسین و آبیاری×رقم×سیتوکینین بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). در رقم شیراز، در هر دو شرایط آبیاری، بین سطوح سیتوکینین اعمال شده از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در حالی‌که رقم یاواروس بیشترین عملکرد دانه را در شرایط آبیاری معمولی و محلول‌پاشی سیتوکینین ۷۰ میکرومولار و کمترین عملکرد دانه را در شرایط قطع آبیاری در تیمار ۷۰ میکرومولار سیتوکینین داشت. از طرفی، در رقم یاواروس، افزایش غلظت سیتوکینین در شرایط قطع آبیاری و آبیاری معمولی به‌ترتیب موجب کاهش و افزایش خطی عملکرد دانه گردید (شکل ۴).

بین سطوح اکسین از نظر عملکرد دانه رقم یاواروس، در هر دو شرایط آبیاری معمولی و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در حالی‌که در رقم شیراز، بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمولی و محلول‌پاشی ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین و کمترین آن نیز در شرایط قطع آبیاری در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین حاصل شد. در رقم یاواروس، افزایش غلظت اکسین در تیمار قطع آبیاری و آبیاری معمولی به‌ترتیب باعث کاهش و افزایش عملکرد دانه گردید (شکل ۴). کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی آخر فصل در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (۱۳ و ۲۰). گنزالس و همکاران (۸) در مطالعه‌ای روی ۱۱ رقم جو گزارش دادند که تنش خشکی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز خالص شده و در نهایت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد.

در مطالعه سعیدی و همکاران (۲۴) مشخص شد که کاربرد هورمون سیتوکینین در مرحله گرده‌افشانی باعث افزایش عملکرد دانه گردید. در مورد نقش اکسین‌ها در شرایط تنش منابع چندانی وجود ندارد. با این حال، نتایج تحقیقات انجام شده نشان داده که در گیاه نخود، IBA در شرایط تنش خشکی بر تعداد و طول ریشه اثر معنی‌داری نداشت (۳۴). در همین راستا، بیدشکی و همکاران (۳) گزارش دادند که محلول‌پاشی بوته‌های سیر با اکسین مصنوعی (ایندول بوتریک اسید)، در شرایط عدم تنش کم‌آبی، باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل a، b و کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین، سطح برگ، عملکرد



شکل ۴. تأثیر غلظت‌های مختلف اکسین (چپ) و سیتوکینین (راست) بر عملکرد دانه در ارقام گندم در شرایط مختلف آبیاری معمولی. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون LSD است. AuI، AuII و AuIII به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین و CyI، CyII و CyIII به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۷۰ میکرومولار سیتوکینین می‌باشند.

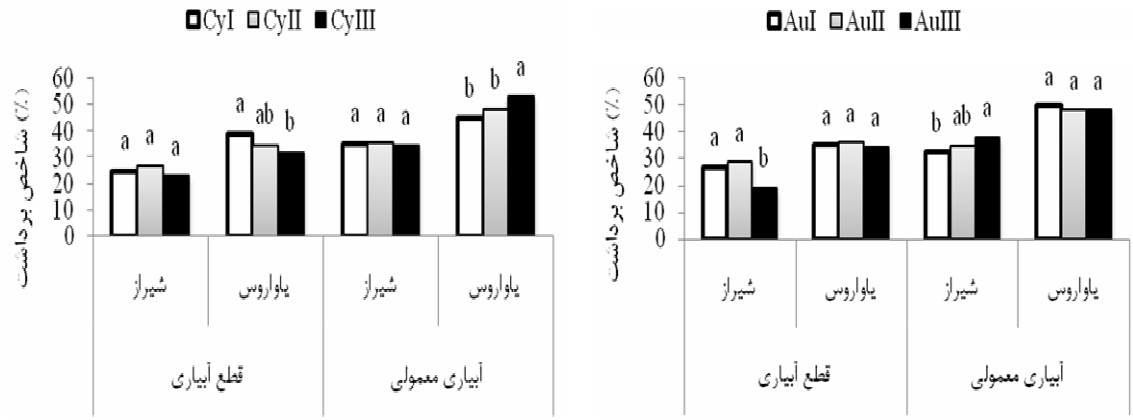


شکل۵. تأثیر رژیم آبیاری بر عملکرد بیولوژیک ارقام گندم (چپ) و تاثیر غلظت های مختلف سیتوکنین برعملکرد بیولوژیک در ارقام در شرایط مختلف آبیاری (راست)(حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون LSD).
CyIII Cy II CyI به‌ترتیب غلظت‌های ۰، ۵۰ و ۷۰ میکرو مولار سیتوکنین می‌باشند.

آلیسین، عملکرد پیاز، وزن تر بوته و وزن تر ریشه و کاهش نشت یونی و میزان آنتوسیانین گردید. ولی ایندول بوتریک اسید تحت شرایط تنش کم‌آبی تأثیری بر عملکرد کمی و کیفی محصول نداشت. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از ایندول بوتریک اسید، میزان عملکرد گیاه پیاز را حدود ۵۰٪ افزایش داد (۲). هم‌چنین IBA باعث افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نخود فرنگی گردید (۱).

نتایج این آزمایش بیان‌کننده این بود که اثر تیمار آبیاری، رقم و اکسین و برهمکنش‌های آبیاری×رقم، آبیاری×اکسین و آبیاری×رقم×سیتوکینین بر عملکرد بیولوژیک گندم معنی‌دار بود (جدول ۱). افت عملکرد بیولوژیک رقم یاواروس، تحت شرایط تنش خشکی، در مقایسه با رقم شیراز شدیدتر بود (شکل ۵). در شرایط تنش خشکی، پیری زودرس اندام‌های فتوسنتزکننده و هم‌چنین کاهش فتوسنتز جاری گیاه باعث کاهش کل زیست‌توده تولیدی می‌گردد (۴).

در شرایط قطع آبیاری، بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک



شکل ۶. تأثیر غلظت‌های مختلف سیتوکینین (چپ) و اکسین (راست) بر شاخص برداشت در ارقام گندم در شرایط مختلف آبیاری. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون LSD است. AuI، AuII و AuIII به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین و CyI، CyII و CyIII به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۷۰ میکرومولار سیتوکینین می‌باشند.

رقم شیراز در تیمار ۷۰ میکرومولار سیتوکینین، به میزان ۱۱۲۷ گرم در مترمربع به‌دست آمد، اما در شرایط آبیاری معمولی، اختلاف معنی‌داری بین سطوح سیتوکینین از نظر عملکرد بیولوژیک در رقم شیراز مشاهده نشد. در رقم یاواروس نیز بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری معمولی در تیمار ۷۰ میکرومولار سیتوکینین، به میزان ۱۱۱۶ گرم در مترمربع به‌دست آمد. در مقابل، در تیمار قطع آبیاری، اختلاف معنی‌داری بین سطوح سیتوکینین از نظر عملکرد بیولوژیک در رقم یاواروس مشاهده نشد (شکل ۵).

سطوح مختلف تنظیم‌کننده رشد سیتوکینین بر شاخص برداشت رقم شیراز در هر دو شرایط آبیاری معمول و قطع آن در مرحله گل‌دهی اثر معنی‌داری نداشت. اما در رقم یاواروس، بیشترین میزان شاخص برداشت در شرایط آبیاری معمولی (۵۳/۳٪) و کمترین میزان شاخص برداشت در شرایط قطع آبیاری (۳۲٪)، هر دو در تیمار ۷۰ میکرومولار سیتوکینین به‌دست آمد (شکل ۶). سطوح مختلف اکسین نیز اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت رقم یاواروس در هر دو شرایط آبیاری نداشتند. ولی در رقم شیراز هم بیشترین میزان شاخص برداشت در شرایط آبیاری معمولی (۳۸٪) و هم کمترین میزان شاخص برداشت در شرایط قطع آبیاری (۱۹/۲٪) در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین حاصل شد (شکل ۶).

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد اکسین و سیتوکینین در هر دو رقم گندم نان و دوروم سبب بهبود و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد، تنها در شرایط عدم وجود تنش خشکی، گردید.

منابع مورد استفاده

1. Amal, M., E. Shraiy and A. M. Hegazi. 2009. Effect of acetylsalicylic acid, indole-3-butyric acid and gibberellic acid on plant growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Basic and Applied Science* 3: 3514-3523.
2. Amin, A., A. El-Sh, M. Rashad and H. M. H. El-Abagy. 2007. Physiological effect of indole-3-butric acid and salicylic acid on growth, yield and chemical constituents of onion plants. *Journal of Applied Sciences Research* 3: 1554-1563.
3. Bideshki, A., M. J. Arvin and K. Maghsoudi. 2012. Effect of indole-3 butyric acid (IBA) foliar application on growth, bulb yield and allicin of garlic (*Allium sativum* L.) under water deficit stress in field. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 28. (In press. In Farsi).
4. Emam, Y. 2007.Cereal Production. Third edition, Shiraz University Press, 190 p. (In Farsi).

5. Fabriani, G. and C. Lintas. 1988. Durum Wheat: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, Inc., 216 p.
6. Farshadfar, E., M. Ghannadha, M. Zahravi and J. Sutka. 2001. Genetic analysis of drought tolerance in wheat. Plant Breeding 114: 542-544.
7. Foulkes, M. J., R. K. Scott and R. Syvester-Bradley. 2001. The ability of wheat cultivars to withstand drought in UK conditions: Resource capture. *Journal of Agriculture Science* 137: 1-16.
8. Gonzalez, A., V. Bermejo and B. S. Gimeno. 2010. Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions. *Journal of Agriculture Science* 148: 319-328.
9. Guttieri, M. J., J. C. Stark, K. O'Brien and E. Souza. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science* 41: 327-335.
10. Hochman, Z. 1982. Effect of water stress with phasic development on yield of wheat growing in a semi-arid environment. *Field Crops Research* 5: 55-67.
11. Johnston, A. M. and D. E. Fowler. 1992. Response of no-till winter wheat to nitrogen fertilization and drought stress. *Canadian Journal of Plant Science* 72: 1075-1089.
12. Khataei, A. and F. Karimi. 2010. Effect of auxin and cytokinin on calus production, organogenesis and alkaloid content changes in datura. *Iranian Plant Biology* 2: 55-66. (In Farsi).
13. Kirigwi, F. M., M. Ginkel, R. 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.
14. Kramer, P. J. 1983. Water Relations of Plants. Academic Press, New York.
15. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed., Academic Press, 889 p.
16. Mary, J. G., C. S. Jeffrey, O. B. Katherine and S. Edward. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science* 41: 327-335.
17. Maurya, A. N. and S. Lai. 1975. Effect of plant regulators on the growth and development of onion (*Allium cepa* L.) seeds with low temperature and IAA on the growth, chemical composition and yield of bulb. Arab Weed Control Conf., pp. 209-228.
18. Midan, A., A. El-Bakry and N. M. Malush. 1982. Growth, chemical constituents and yield of onion in relation growth regulators alication. Res. Bull. No. 508, Fac. Agric., Zegazig Univ., Egypt.
19. Moayedi, A. K., A. N. Boyce, S. S. Barakbah and M. Ghodsi. 2009. Tillering behaviors of promising durum wheat genotypes and bread wheat cultivar under different water deficit conditions. *In:* Mohammadi, R. and R. Haghparast (Eds.), Plant Science in Iran, *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology* 3: 15-19.
20. Rajala, A., K. Hakala, P. Makela, S. Muurinen and P. Peltonen-Sainio. 2009. Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. *Field Crops Research* 114: 263-271.
21. Rauf, M., M. Munir, M. Hassan, M. Ahmad and M. Afzal. 2007. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *African Journal of Agricultural Research* 6: 971-975.
22. Reynolds, M. P., M. I. Delgado, B. M. Gutiarrez-Rodroaguez and A. Larquea-Saavedra. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I: Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research* 66: 37-50.
23. Royo, C., D. Villegas, L. F. Garcia del Moral, S. Elhani, N. Aparicio, Y. Rharrabti and J. L. Araus. 2002. Comparative performance of carbon isotope discrimination and canopy temperature depression as predictors of genotypes differences in durum wheat yield in Spain. *Australian Journal of Agricultural Research* 53: 561-569.
24. Saeedi, M., F. Moradi, A. Ahmadi, K. Postini and G. Najafiyan. 2006. Effect of acid absizic *and* cytokinin foliar application in growth different stages under physiologic aspects of relationship source and sink in two wheat cultivars. *Journal of Iranian Agronomy Science* 8: 286-282. (In Farsi).
25. Shewry, P. R. 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany* 60: 1537-1553.
26. Siani, H. S. and D. Aspinall. 1981. Effects of water deficit on sporogenesis in wheat. *Annals of Botany* 43: 623-633.
27. Singh, P., N. Tewari and P. K. Katiar. 2002. Pretransplant seedling treatment with growth regulators and their effect on the growth and bulb production of onion (*Allium cepa* L.*).Progressive Agriculture* 2: 181-182.
28. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98: 222-229.
29. Sterling, J. D. E. and H. G. Nass. 1981. Comparison of tests characterizing varieties of barley and wheat for moisture resistance. *Canadian Journal of Plant Science* 61: 283-292.
30. Ukeda, T., Y. Masuda, A. Yamanaka and S. Sagiska. 1991. Abrupt increase in the level of hydrogen peroxide in leaves of winter wheat is caused by cold treatment. *Plant Physiology* 97: 1265-1267.
31. Wang, Z. M., A. L. Wei and D. M. Zheng. 2001. Photosynthetic characteristic of non leaf organs of winter wheat cultivar differing in ear type and their relationship with grain mass per ear. *Photosynthetica* 39: 239-244.

32. Xue, Q., Z. Zhu, J. T. Musick, B. A. Stewart and A.D. Donald. 2006. Physiological mechanisms contributing to the increased water-use efficiency in winter wheat under deficit irrigation. *Journal of Plant Physiology* 163: 154-164.
33. Yang, J., J. Zhang, Z. Wang and Q. Zhu. 2003. Hormones in the grains in relation to sink strength and postanthesis development of spikelets in rice. *Plant Growth Regulation* 41: 185-195.
34. Zsuzsanna, K., B. Bernadett and E. Laszlo. 2008. Osmotic stress- and indole-3-butyric acid-induced no generation is partially distinct processes in root growth and development on *Pisum sativum. Physiological Plantarum* 133: 406-416.