دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات
دوره پنجم/ شماره سوم/ پاییز ۱۳۹۴ (۲۱۸-۲۰۳)

تأثیر ایندول استیک اسید و کاینتین بر صفات مرفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ارقام برنج تحت تنش خشکی

مصطفی صالحی فر[۱]، بابک ربیعی[۲*]، منصور افشار محمدیان[۳] و جعفر اصغری[۲]

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان (آدرس جدید: دانشگاه علمی کاربردی مرکز آستارا)، ۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، ۳- دانشیار دانشکده علوم پایه دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲۷- تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲۴)

چکیده

به منظور بررسی اثر تنظیم کننده‌های رشد ایندول استیک اسید (IAA) و کاینتین بر صفات مرفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام برنج تحت شرایط تنش خشکی ابتدا و انتهای فصل، یک آزمایش گلدانی در قالب فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه‌ای در دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل رقم در چهار سطح (غریب، خزر، سپیدرود و آپلند IR83750-131-1)، تنش خشکی در سه سطح (بدون تنش، تنش خشکی ابتدای فصل از مرحله ۱ تا مرحله ۴ کدبندی ورگارا و تنش خشکی انتهای فصل از مرحله ۴ تا پایان مرحله ۹ کدبندی ورگارا) و تنظیم کننده رشد در سه سطح (شاهد بدون کاربرد تنظیم کننده رشد، IAA و کاینتین هر دو با غلظت 5×10^{-5} مول به صورت محلول پاشی روی کل گیاه) بود. نتایج حاصل نشان داد که اثر اصلی هر سه عامل بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود، اما اثر متقابل سه جانبه رقم×تنش×تنظیم کننده رشد فقط بر چهار صفت تعداد کل دانه، تعداد دانه پر در خوشه، طول خوشه و وزن هزار دانه معنی‌دار شد. در همه ارقام مورد مطالعه، تنش ابتدای فصل با کاهش معنی‌دار تعداد پنجه، منجر به کاهش عملکرد دانه شد. به طور کلی، استفاده از هر دو تنظیم کننده رشد IAA و کاینتین میزان عملکرد دانه را در هر دو تنش ابتدا و انتهای فصل بیش از ۵۰ درصد افزایش داد، اما در تنش انتهای فصل، نقش کاینتین بیشتر از اکسین بود. بیشترین شاخص تحمل به خشکی نیز به میزان ۱/۰۱ مربوط به رقم سپیدرود بود. بررسی شاخص حساسیت به تنش نیز نشان داد که تحت تنش انتهای فصل، همه صفات مورد مطالعه نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافتند و بیشترین کاهش به میزان ۷۱/۴۵ درصد در عملکرد دانه مشاهده شد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد خارجی این دو تنظیم کننده رشد، نقش موثری در بهبود صفات مرفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ارقام برنج در هر دو مرحله تنش ابتدا و انتهای فصل داشت.

واژه‌های کلیدی: تنظیم کننده‌های رشد، شاخص حساسیت به خشکی، شاخص تحمل به تنش

* نویسنده مسئول: rabiei@guilan.ac.ir

مقدمه

بسیاری از مناطق برنج‌کاری جهان با تنش کمبود آب مواجه هستند و از این‌رو عملکرد برنج در این مناطق کاهش می‌یابد. میزان آب قابل دسترس از سه هفته قبل از گرده افشانی تا انتهای رسیدگی به طور کامل بر عملکرد برنج موثر است (Ouk *et al.*, 2006; Tsubo *et al.*, 2006). به طور کلی، خشکی انتهای فصل عامل اصلی کاهش عملکرد برنج است (Farooq *et al.*, 2009; Seraj *et al.*, 2009). اگرچه اثر تنش‌های غیر زنده روی نمو زایشی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، ولی مطالعه اثر این تنش‌ها روی عملکرد دانه زیاد است (Dolferus *et al.*, 2011). تنش‌های متوسط نیز عملکرد دانه را بدون تحت تاثیر قرار دادن بخش‌های رویشی و حتی حیات گیاه، کاهش می‌دهند (Dolferus *et al.*, 2011). با توجه به رشد جمعیت جهان تا سال ۲۰۳۰، تولید برنج حداقل باید ۳۵ درصد افزایش یابد (Bouman *et al.*, 2007). از این‌رو، توسعه ارقام پرمحصول، بهبود تحمل به تنش و افزایش کارایی مصرف آب، به عنوان یک چالش بزرگ پیش‌روی محققان است (Peleg *et al.*, 2011).

گیاهان در مواجه با تنش خشکی، مکانیزم‌های مختلف مولکولی، سلولی و مرفولوژیک را به‌کار می‌گیرند (Witcombe *et al.*, 2008). تنظیم کننده‌های رشد گیاهی در برنج، چه به واسطه القاء داخلی و چه به واسطه القاء محیطی، نقش مهمی در بهبود وضعیت گیاه تحت شرایط تنش دارند (Roitsch and Eehneb, 2000). اکسین و سایتوکنین در تنظیم قدرت مقصد و نیز در تنظیم تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌های آندوسپرم و یا تنظیم ورود مواد پرورده به مقصد (دانه‌ها در برنج) نقش دارند (Hansen and Grossmann, 2000). کاربرد کاینتین که یکی از اعضای خانواده سایتوکنین است، منجر به افزایش ارتفاع گیاه، تعداد خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد برنج شده است (Zahir *et al.*, 2001). کاربرد اکسین و سایتوکنین در دانه‌ها منجر به تقسیم سلولی در آندوسپرم برنج در مراحل اولیه پر شدن دانه می‌شود (Yang *et al.*, 2003). کاربرد خارجی اکسین و سایتوکنین منجر به ایجاد شرایط رشد عادی و باز شدن روزنه‌ها در گیاه شده است (Tanaka *et al.*, 2006). برخی از محققان با استفاده از این دو تنظیم کننده رشد، آثار منفی تنش خشکی را در برنج کاهش دادند (Tabur and Demir, 2010). بنابراین، تغییرات تنظیم کننده‌های رشد می‌تواند نقش مهمی در تحمل برنج به تنش خشکی داشته باشد (Peleg *et al.*, 2011). گزارش دیگری حاکی از افزایش عملکرد، وزن هزار دانه و درصد دانه‌های پر در اثر کاربرد اکسین و کاینتین است (Ghorbani Javid *et al.*, 2011). تنظیم هموستازی اسید آبسزیک (ABA) نیز بی‌شک وابسته به اثر متقابل این هورمون با سایر تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مانند اکسین، سایتوکنین و جیبرلین است (Dolferus *et al.*, 2011).

برنج در مرحله گلدهی به تنش خشکی بسیار حساس است و به همین دلیل، ارقامی که سریع‌تر به گل می‌روند، کمتر در معرض آثار منفی تنش قرار می‌گیرند (Lafitte, 2004). گزارش شده است که تنش کمبود آب منجر به کاهش باروری و تولید دانه می‌شود و از این طریق عملکرد برنج را کاهش می‌دهد (Selote *et al.*, 2004). پیردشتی و همکاران (Pirdashti *et al.*, 2005) در بررسی اثر تنش کمبود آب در مراحل مختلف رشد برنج گزارش کردند که تنش خشکی در مرحله رشد رویشی باعث کاهش ارتفاع گیاه و تعداد پنجه و در مرحله زایشی باعث کاهش تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد شلتوک شد. ماکارا و همکاران (Makara *et al.*, 2006) کاهش ۱۲ تا ۴۶ درصدی عملکرد برنج را در اثر تنش خشکی گزارش کردند. سالانه حدود ۵۰ درصد از ۴۰ میلیون هکتار اراضی تحت کشت برنج غرقاب در جنوب و جنوب غربی آسیا تحت تاثیر خشکی هستند که سبب کاهش چشمگیر میزان عملکرد برنج می‌شود. گزارش دیگری نشان می‌دهد که تنش خشکی در ابتدای مرحله زایشی منجر به کاهش تعداد خوشه و سنبلچه شد، ولی وقوع خشکی بعد از این مرحله، سرعت پر شدن و وزن نهایی دانه را کاهش داد (Eun *et al.*, 2009). تنش خشکی با از کار انداختن دستگاه فتوسنتزی و تخریب کلروفیل منجر به کاهش میزان تولید زیست توده گیاه شد (Wang *et al.*, 2010). تحقیقات هی‌ژانگ و همکاران (He-Zheng *et al.*, 2010) نشان داد که تنش خشکی طی پر شدن دانه منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود که دلیل آن احتمالاً به خاطر اختلال در فرایندهای فتوسنتزی و محدود شدن قابلیت دسترسی به مواد پرورده است.

با توجه به مطالب بالا، هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مرفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و نیز مطالعه اثر کاربرد خارجی تنظیم

کننده‌های رشد IAA و کاینتین بر بهبود صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش خشکی در چهار رقم برنج بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت گلدانی در شرایط طبیعی مزرعه‌ای (و نه کنترل شده آزمایشگاهی) در شالیزارهای تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در سال ۱۳۹۲ انجام شد. آزمایش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول چهار رقم برنج شامل سه رقم ایرانی (سپیدرود و خزر به عنوان ارقام اصلاح شده و غریب به عنوان یک رقم بومی ایرانی) و رقم آپلند IR83750-131-1 بود که بر مبنای آزمایش‌های صفائی‌چائی‌کار و همکاران (Safaei Chaeikar *et al.*, 2008) و ابرشهر و همکاران (Abarshahr *et al.*, 2011) طوری انتخاب شدند که شامل تنوعی از ارقام حساس و متحمل به خشکی باشند. عامل دوم، تنش خشکی در سه سطح شامل بدون تنش، تنش ابتدای فصل رشد با قطع کامل آبیاری از مرحله ۱ (استقرار گیاهچه) تا مرحله ۴ (آغازش خوشه تا غلاف‌دهی) سیستم ورگارا (Vergara, 1988) و تنش انتهای فصل با قطع کامل آبیاری از مرحله ۴ تا پایان مرحله ۹ (رسیدن دانه) سیستم ورگارا (Vergara, 1988) بود. عامل سوم نیز تنظیم کننده‌های رشد در سه سطح شامل شاهد (بدون اعمال تنظیم کننده رشد)، IAA (۵×۱۰^{-۵} مول) و کاینتین (۵×۱۰^{-۵} مول) به صورت اسپری روی کل گیاه بود. غلظت تنظیم کننده‌های رشد بر اساس نتایج قربانی جاوید و همکاران (Ghorbani Javid *et al.*, 2011) انتخاب شد.

بذرهای هر چهار رقم از موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) تهیه شد که پس از گندزدایی به مدت ۵ دقیقه با وایتکس تجاری ۲ درصد، به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰ درصد قرار گرفت تا جوانه‌دار شوند. بذرهای جوانه‌دار شده به جعبه نشا منتقل و ۲۰ روز نگهداری شدند. سپس نشاهای جوان به گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۶۰ و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر که با خاک مزرعه آزمایشی پر شده بودند، منتقل و سه گیاه در هر گلدان کشت شد. برای هر تکرار تعداد ۶۰ گلدان در نظر گرفته شد و در نتیجه تعداد کل گیاهان کشت شده در این آزمایش۵۴۰ گیاه بود که در ۱۸۰ گلدان کشت شدند. پتانسیل آب خاک نیز با استفاده از منحنی رطوبتی خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. تنظیم کننده‌های رشد در سه مرحله (۱۵ روز بعد از انتقال نشا و ۲ روز و ۱۵ روز بعد از گرده افشانی) و در هر مرحله به میزان ۵۰ میلی لیتر (Ghorbani Javid *et al.*, 2011) روی تمامی گیاه محلول پاشی شدند. تنظیم کننده‌های رشد مورد استفاده در این تحقیق، ۳-ایندول استیک اسید (Fluka 279023-1187) و کاینتین (Sigma EC No. 208-382-2) بودند. اعمال تنظیم کننده‌ها در هنگام غروب آفتاب صورت گرفت. صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل عملکرد دانه، تعداد پنجه و تعداد خوشه در بوته، تعداد کل دانه و تعداد دانه پر در خوشه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، طول و عرض برگ پرچم، طول خوشه، تعداد روز از کاشت بذر تا ۵۰ درصد گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی کامل بودند. دو شاخص حساسیت به خشکی (DSI) (Bocco *et al.*, 2012) و تحمل به تنش (STI) (Fernandez, 1999) نیز بر اساس عملکرد دانه ارقام مورد مطالعه به ترتیب بر اساس روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند:

$$DSI = \frac{Y_p - Y_s}{Y_n} \times 100 \qquad (۱)$$

$$STI = \frac{Y_p \times Y_S}{\overline{Y}_p^2} \qquad (۲)$$

در این روابط ، T_n و T_S به ترتیب مقدار صفت در هر رقم تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی، Yp و Ys نیز به ترتیب میزان عملکرد در شرایط ابیاری نرمال و تنش و $\overline{Y}p$ میانگین عملکرد در تمامی ارقام موجود در آزمایش تحت شرایط بدون تنش خشکی است.

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS نسخه ۹/۱ و Minitab نسخه ۱۴ انجام شد. برای انجام مقایسه میانگین‌ها نیز از روش توکی استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه فاکتورها به غیر از اثر متقابل دو جانبه رقم × تنظیم کننده رشد و اثر متقابل سه جانبه رقم × تنش × تنظیم کننده رشد، اثر معنی‌داری بر میزان عملکرد داشتند (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل دو جانبه رقم × تنش نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه متعلق به سپیدرود × بدون تنش و کمترین میزان آن متعلق به غریب × تنش انتهای فصل بود. همچنین مشخص شد که تنش ابتدای فصل بر

عملکرد دانه تاثیر کمتری نسبت به تنش در مرحله انتهای فصل داشت، به طوری که میزان عملکرد دانه در رقم غریب تحت تنش ابتدا و انتهای فصل به ترتیب حدود ۴۸ و ۹۲ درصد کاهش یافت. این کاهش عملکرد در همه ارقام مورد مطالعه مشاهده شد، ولی مقدار کاهش در رقم سپیدرود کمتر از سایر ارقام بود (جدول ۲). ماکارا و همکاران (Makara *et al.*, 2006) نیز کاهش عملکرد دانه برنج تحت شرایط تنش انتهای فصل را گزارش کردند. تنش خشکی انتهای فصل سبب ایجاد اختلال در پر شدن دانه و نیز کاهش تعداد سنبلچه در خوشه شد (Wang *et al.*, 2010). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × تنظیم کننده رشد نیز نشان داد که بیشترین عملکرد دانه متعلق به شرایط بدون تنش × کاینتین به میزان ۴۰/۱۳ گرم در بوته بود. همچنین، استفاده از تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین منجر به افزایش عملکرد دانه شد، به طوری که کمترین عملکرد دانه نیز متعلق به تنش انتهای فصل × بدون تنظیم کننده رشد بود (جدول ۳). استفاده از اکسین و کاینتین منجر به افزایش تقسیم سلولی در آندوسپرم برنج در مراحل اولیه پر شدن دانه شده که این امر سبب افزایش میزان عملکرد دانه شد (Yang *et al.*, 2003). همچنین، تنظیم کننده رشد کاینتین نسبت به تنظیم کننده IAA در غلظت مورد استفاده در این آزمایش نقش موثرتری در عملکرد دانه داشت. قربانی جاوید و همکاران (Ghorbani Javid *et al.*, 2011) نیز گزارش کردند که استفاده از تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین منجر به افزایش میزان عملکرد دانه شد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فقط آثار اصلی و اثر متقابل رقم × تنش بر تعداد پنجه در بوته معنی‌دار بودند (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر تنظیم کننده رشد بر تعداد پنجه نشان داد که بیشترین تعداد پنجه با استفاده از تنظیم کننده IAA به میزان ۱۷/۱۳ عدد بود. به طور کلی استفاده از هر دو تنظیم کننده IAA و کاینتین سبب افزایش تعداد پنجه شد (جدول ۴). زهیر و همکاران (Zahir *et al.*, 2001) نیز گزارش کردند که استفاده از تنظیم کننده رشد کاینتین سبب افزایش تعداد پنجه شد. تابور و همکاران (Tabur *et al.*, 2010) نیز گزارش کردند که استفاده از این دو تنظیم کننده رشد سبب کاهش آثار منفی تنش خشکی می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی همه فاکتورها و اثر متقابل رقم × تنش بر تعداد خوشه معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که استفاده از تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین سبب افزایش معنی‌دار تعداد خوشه در برنج شد (جدول ۴). زهیر و همکاران (Zahir *et al.*, 2001) نیز گزارش کردند که کاربرد کاینتین سبب افزایش تعداد خوشه شد. قربانی جاوید و همکاران (Ghorbani Javid *et al.*, 2011) نیز گزارش نمودند که تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین با تاثیر بر تعداد خوشه سبب افزایش میزان عملکرد دانه در برنج شدند. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تنش نشان داد که سپیدرود × بدون تنش بیشترین تعداد خوشه (۲۰ عدد) را داشت. تنش ابتدا و انتهای فصل رشد سبب کاهش تعداد خوشه شد، به طوری که در همه ارقام مورد مطالعه، تنش ابتدای فصل توانست تعداد خوشه بیشتری را نسبت به تنش انتهای فصل کاهش دهد. به طور کلی، میزان کاهش تعداد خوشه در شرایط تنش ابتدا و انتهای فصل در ارقام سپیدرود و آپلند کمتر از ارقام خزر و غریب بود (جدول ۲). تنش ابتدای فصل به دلیل کاهش تعداد پنجه سبب کاهش تعداد خوشه شد، ولی در تنش انتهای فصل، گیاه در مرحله ۴ کدبندی ورگارا وارد مرحله تنش شد و از این‌رو تاثیر بیشتری بر تعداد خوشه ایجاد شد، زیرا گیاه بعد از حداکثر پنجه‌دهی برای ورود به مرحله زایشی آماده شده و در همین مرحله با تنش خشکی مواجه شد که این عامل می‌تواند تعداد پنجه بارور را کاهش دهد. برای مثال، رقم غریب که یکی از ارقام حساس مورد آزمایش بود، تحت تنش ابتدای فصل حدود ۷۸ درصد و در تنش انتهای فصل ۵۰ درصد از پنجه‌های خود را بارور کرد. به عبارت دیگر این رقم تحت شرایط تنش ابتدای فصل نتوانست ۲۳ درصد از پنجه‌های خود را بارور کند، ولی تحت شرایط تنش انتهای فصل، قدرت گیاه برای باروری پنجه‌ها به ۵۰ درصد کاهش یافت. به طور کلی در همه ارقام، نسبت تعداد خوشه به تعداد پنجه‌ها تحت شرایط تنش ابتدای فصل بیشتر از تنش انتهای فصل بود، به طوری که تنش انتهای فصل تاثیر بیشتری بر باروری پنجه‌ها داشت که با نتایج پیردشتی و همکاران (Pirdashti *et al.*, 2005) مطابقت داشت.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین بر خصوصیات ارقام برنج تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance of the effect of IAA and Kinetin regulators on the measured traits of rice varieties under non-stress and drought stress conditions

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	تعداد پنجه Tiller number	تعداد خوشه Panicle number	تعداد کل دانه Total grain number	تعداد دانه پر Filled grain number	ارتفاع بوته Plant height
رقم Variety (V)	3	1103.4**	223.5**	413.3**	4168.6**	687.3**	4569.05**
تنش Stress (S)	2	6072.2**	331**	462.7**	23164.5**	15849.5**	4418.42**
تنظیم کننده Regulator (R)	2	561.3**	62.1**	90**	2210.02**	515.9**	259.76**
رقم × تنش (V×S)	6	112.5**	4.1**	7.6*	1830.2**	1635.7**	158.1**
رقم×تنظیم کننده (V×R)	6	2.8^{ns}	0.35^{ns}	1.30^{ns}	28.38**	55.7**	5.03^{ns}
تنش×تنظیم کننده (S×R)	4	13.8*	2.56^{ns}	1.21^{ns}	6.8**	100**	1^{ns}
رقم×تنش×تنظیم کننده (V×S×R)	12	5.5^{ns}	0.09^{ns}	1.27^{ns}	20.5**	23.4*	3.48^{ns}
خطای آزمایش Error	72	4.7	1.09	2.5	8.29	10.001	5.19
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	9.50	6.56	11.99	3.10	4.09	2.05

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 1. Continued

جدول ۱- ادامه

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	طول برگ پرچم Flag leaf length	طول خوشه Panicle length	۵۰٪ گلدهی 50% flowering	زمان رسیدگی Maturity time	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عرض برگ پرچم Flag leaf width
رقم Variety (V)	3	118.2**	198.3**	508.6**	1339.8**	39.7**	0.23**
تنش Stress (S)	2	399.3**	176.5**	1821.9**	1178.7**	0.3**	0.5**
تنظیم کننده Regulator (R)	2	26.9**	30.7**	240.5**	977.4**	0.77**	0.52**
رقم × تنش (V×S)	6	54.3**	11.5**	140.4**	348**	0.17^{ns}	0.05*
رقم×تنظیم کننده (V×R)	6	1.7**	1.16**	9.45*	167.36^{ns}	0.43**	0.0019^{ns}
تنش×تنظیم کننده (S×R)	4	0.13^{ns}	0.82**	9.77*	54.42^{ns}	0.51**	0.0014^{ns}
رقم×تنش×تنظیم کننده (V×S×R)	12	0.12^{ns}	0.31*	5.68^{ns}	82.94^{ns}	0.37**	0.008^{ns}
خطای آزمایش Error	72	0.18	0.13	3.72	93.08	0.11	0.02
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	1.29	1.35	2.13	8.39	1.27	8.62

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه فاکتورها، اثر معنی‌داری بر تعداد کل دانه در خوشه داشتند (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبه رقم × تنش × تنظیم کننده رشد نشان داد که بیشترین تعداد دانه در خوشه متعلق به خزر × بدون تنش × کاینتین بود (جدول ۵). کمترین مقادیر تعداد کل دانه در خوشه در همه ارقام مورد مطالعه مربوط به شرایط تنش انتهای فصل و بدون استفاده از تنظیم کننده رشد بود. تنش خشکی سبب کاهش تعداد دانه و یا افزایش سقط دانه در گیاه شد. هی ژنگ و همکاران (Wang *et al.*, 2010) نیز گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش تعداد دانه در برنج شده و در نتیجه کاهش عملکرد دانه شد. از طرف دیگر، استفاده از تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین سبب افزایش تعداد دانه در همه ارقام و در هر سه سطح تنش شد (جدول ۵). قربانی جاوید و همکاران (Ghorbani Javid *et al.*, 2011) نیز گزارش کردند که استفاده از این دو تنظیم کننده رشد سبب افزایش تعداد دانه کل در خوشه شد. کاهش تعداد کل دانه در خوشه در همه ارقام مورد مطالعه تحت شرایط تنش انتهای فصل بیشتر از تنش ابتدای فصل بود، به طوری که تشکیل سنبلچه و پر شدن دانه به طور مستقیم تحت تاثیر شرایط تنش انتهای فصل قرار گرفت. ارقامی مانند سپیدرود و آپلند قدرت

بازیابی بیشتری نسبت به ارقام خزر و غریب داشتند. از این‌رو، با بازیابی بیشتر در مرحله زایشی توانستند درصد دانه بیشتری را در شرایط تنش ابتدای فصل در مقایسه با تنش زایشی تولید کنند. به عبارت دیگر، تنش زایشی شانس کمتری به گیاه برای تولید دانه داد، در حالی که در تنش ابتدای فصل، قدرت گیاه برای تولید دانه بیشتر بود. هر چند استفاده از تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین منجر به بهبود شرایط گیاه شدند، ولی در هیچ یک از شرایط تنش ابتدا یا انتهای فصل نتوانستند به طور کامل گیاه را از آثار منفی تنش حفظ کنند. به هر حال، تنظیم کننده کاینتین در همه شرایط دارای اثر مثبت بیشتری بر تعداد کل دانه بود، در حالی که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تنظیم کننده IAA نداشت (جدول ۵).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تنش بر صفات مطالعه شده در ارقام برنج

Table 2. Mean comparisons of the effect of variety×stress interaction on the studied traits in rice varieties

رقم Variety	تنش خشکی* Drought stress*	عملکرد دانه (گرم در بوته) Grain yield (g/plant)	تعداد پنجه در بوته Tiller number per plant	تعداد خوشه در بوته Panicle number per plant	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf length (cm)	عرض برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf width (cm)	۵۰٪ گلدهی (روز) 50% flowering (day)	زمان رسیدگی (روز) Maturity time (day)
غریب Gharib	NS	32.26	15.8	14.93	130.7	40.18	1.74	89.3	117.5
	ESS	16.8	9.7	7.61	109.11	38.08	1.68	92.6	118.6
	TSS	2.71	14.8	6.79	131.7	28.38	1.35	89.1	114.8
آپلند Upland	NS	32.74	19.6	19	122.76	33.95	1.82	86	106.5
	ESS	20.78	14.4	14.15	110.31	31.96	1.86	93	114.2
	TSS	15.9	19.8	16.04	116.65	27.81	1.66	78	100.4
خزر Khazar	NS	37.1	15	14.2	120.7	35.08	1.69	93.7	123.7
	ESS	15.73	9.1	7.17	95.45	33.28	1.59	107.1	133.3
	TSS	5.28	15	8.13	114.06	28.15	1.44	88	115.4
سپیدرود Sepidrood	NS	44.78	20	20	105.13	35.11	1.74	90.2	116.8
	ESS	30.44	15	13.95	79.35	35.16	1.61	98	123.7
	TSS	20.06	19	15.24	95.68	34.5	1.62	78.6	104.2
HSD		4.008	1.93	2.49	4.22	0.78	0.22	3.57	17.90

* NS بدون تنش، ESS تنش ابتدای فصل و TSS تنش انتهای فصل.

* NS, non-stress; ESS, early season stress and TSS, terminal season stress.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × تنظیم کننده رشد بر صفات مطالعه شده در ارقام برنج

Table 3. Mean comparisons of the effect of stress×regulator interaction on the studied traits in rice varieties

تنش خشکی Drought stress	تنظیم کننده رشد Growth regulator	عملکرد دانه (گرم در بوته) Grain yield (g/plant)	۵۰ درصد گلدهی (روز) 50% flowering (day)
بدون تنش Non-stress	IAA	38.3	92.8
	کاینتین Kinetin	40.13	88.9
	شاهد بدون تنظیم کننده Check	31.77	87.7
تنش ابتدای فصل Early season stress	IAA	23.72	100
	کاینتین Kinetin	23.44	98.6
	بدون تنظیم کننده Check	15.65	96.6
تنش انتهای فصل Terminal season stress	IAA	11.89	87
	کاینتین Kinetin	13.40	83.3
	بدون تنظیم کننده Check	7.67	80.41
HSD		2.81	2.52

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنظیم کننده‌های رشد بر صفات اندازه‌گیری شده در ارقام برنج

Table 4. Mean comparisons of the effects of growth regulators on the measured traits in rice varieties

تنظیم کننده رشد Growth regulator	تعداد پنجه در بوته Tiller number per plant	تعداد خوشه در بوته Panicle number per plant	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	عرض برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf width (cm)	زمان رسیدگی (روز) Maturity time
IAA	17.13	14.38	113.39	1.75	119.83
کاینتین Kinetin	16.08	13.8	111.45	1.68	115.63
بدون تنظیم کننده Non-regulator	14.52	11.4	108.08	1.51	109.47
HSD	1.27	1.91	2.76	0.17	11.85

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه فاکتورها، اثر معنی‌داری بر تعداد دانه پر داشتند (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تنش × تنظیم کننده رشد نشان داد که خزر × بدون تنش × کاینتین دارای بیشترین تعداد دانه پر (۹۸/۰۲ عدد) بود، در حالی که تحت شرایط تنش ابتدا و انتهای فصل این مقدار به ترتیب به ۹۶/۸۳ و ۴۰/۵۹ دانه پر کاهش یافت، اما بین تعداد دانه پر در شرایط بدون تنش و تنش ابتدای فصل اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). کاربرد هر دو تنظیم کننده IAA و کاینتین سبب شد تا درصد بیشتری از دانه‌های موجود در خوشه، پر شوند و این رویه در هر سه شرایط بدون تنش و تنش ابتدا و انتهای فصل مشاهده شد. نتایج این آزمایش با نتایج قربانی جاوید و همکاران (Ghorbani Javid *et al.*, 2011) نیز مطابقت داشت. گزارش‌ها حاکی از نقش مثبت اکسین و کاینتین در انتقال مواد پرورده به مقصد (دانه‌ها) و نیز قدرت مقصد است (Hansen and Grossmann, 2000). نتایج این تحقیق نشان داد که ارقام غریب و خزر نسبت به سپیدرود و آپلند دارای حساسیت بیشتری به تنش خشکی بودند.

بررسی وزن هزار دانه ارقام مورد مطالعه نشان داد که به غیر از اثر متقابل رقم × تنش، نقش سایر آثار بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تنش × تنظیم کننده نشان داد که همه ارقام در شرایط بدون تنش دارای وزن هزار دانه بیشتری بودند و کمترین وزن هزار دانه متعلق به تنش انتهای فصل بود. ظاهراً تحت تنش انتهای فصل، فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد کاهش و به دنبال آنها وزن هزار دانه کاهش یافت. رقم سپیدرود تحت تنش ابتدای فصل توانست وزن هزار دانه بیشتری تولید کند که احتمالاً به دلیل انتقال مجدد بیشتر این رقم بود. تحت تنش ابتدای فصل، تعداد پنجه‌ها کاهش یافتند و این کاهش منجر به کاهش تعداد خوشه و تعداد کل دانه در بوته (مقصد) شد و چون این رقم در مرحله زایشی توانست قسمت زیادی از آثار تنش را بازیابی کند، از این‌رو نسبت منبع به مقصد و در نتیجه وزن هزار دانه آن افزایش یافت (جدول ۵). نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین موجب افزایش وزن هزار دانه در همه ارقام تحت هر سه سطح تنش شد، اما نقش کاینتین بیشتر از IAA بود. به نظر می‌رسد که این دو تنظیم کننده رشد، میزان فتوسنتز و کربوهیدرات‌های محلول و نامحلول دانه را افزایش دادند (Salehifar *et al.*, 2014) و موجب افزایش وزن هزار دانه شدند. تحقیقات قبلی نیز نشان دادند که استفاده از این دو تنظیم کننده سبب افزایش وزن هزار دانه برنج می‌شوند (Zahir *et al.*, 2001; Ghorbani Javid *et al.*, 2011).

نتایج نشان داد که آثار اصلی همه فاکتورها و اثر متقابل رقم × تنش بر ارتفاع بوته ارقام معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین تنظیم کننده‌ها نشان داد که کاربرد هر دو تنظیم کننده رشد IAA و کاینتین منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شد، اما تاثیر IAA بیشتر از کاینتین بود (جدول ۴). احتمالاً تنظیم کننده IAA با افزایش تکثیر سلولی و نیز اندازه سلول‌ها، منجر به افزایش ارتفاع بوته شد. تحقیقات دیگران نیز نشان داده است که تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین در افزایش ارتفاع بوته برنج موثر هستند (Zahir *et al.*, 2001; Ghorbani Javid *et al.*, 2011). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تنش نیز نشان داد که بیشترین ارتفاع در همه ارقام مورد مطالعه در شرایط بدون تنش و تنش انتهای فصل به دست آمد و دارای اختلاف معنی‌داری با تنش ابتدای فصل بودند (جدول ۲). محققین دیگری نیز گزارش کردند که تنش

خشکی ابتدای فصل تاثیر بیشتری در کاهش ارتفاع بوته برنج دارد (Pirdashti *et al.*, 2005). در حقیقت تحت تنش انتهای فصل، گیاه قبل از مواجه شدن با تنش، رشد رویشی خود را تقریباً تکمیل می‌کند و در نتیجه ارتفاع بوته تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. اگرچه برخی از ارقام در مرحله زایشی نیز به رشد رویشی خود ادامه دادند، اما به طور کلی گیاهان بعد از تنش ابتدای فصل به بازیابی خود پرداختند، هر چند که هیچ یک از ارقام شرایط بدون تنش را کاملاً بازیابی نکردند و میزان بازیابی در ارقام سپیدرود و آپلند بیشتر از ارقام غریب و خزر بود (جدول ۲).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تنش × تنظیم کننده رشد بر صفات مورد مطالعه در برنج

Table 5. Mean comparisons of variety×stress×regulator interaction for the studied traits in rice

رقم Variety	تنش خشکی Drought stress	تنظیم کننده رشد Growth regulator	تعداد کل دانه Total grain number	تعداد دانه پر Filled grain number	وزن هزار دانه 1000 grain weight (g)	طول خوشه Panicle length (cm)
غریب Gharib	بدون تنش Non-stress	IAA	110.83	84	27.35	33.25
		کاینتین Kinetin	113.8	90.13	27.36	32.7
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	101.8	81.05	27.25	32.15
	تنش ابتدای فصل Early season stress	IAA	100.3	94.71	27.35	33.3
		کاینتین Kinetin	104.8	94.44	27.7	33.15
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	95.6	88.18	27.05	31.30
	تنش انتهای فصل Terminal season stress	IAA	40.3	40.54	26.3	27.4
		کاینتین Kinetin	46.4	43.67	26.85	26.95
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	27.8	21.52	26.6	25.15
آپلند Upland	بدون تنش Non-stress	IAA	91.4	84.87	25.05	26.25
		کاینتین Kinetin	96.5	88.34	25.2	25.45
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	82.3	83.37	24.65	24.3
	تنش ابتدای فصل Early season stress	IAA	87.4	82.54	24.85	25.3
		کاینتین Kinetin	92.3	84.56	25	24.75
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	76.2	81.33	24.55	23.35
	تنش انتهای فصل Terminal season stress	IAA	71.5	61.29	24.8	22.7
		کاینتین Kinetin	79.4	78.78	24.65	22.8
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	62.8	64.51	24.75	21.25
خزر Khazar	بدون تنش Non-stress	IAA	134.3	95.35	24.2	30.7
		کاینتین Kinetin	138.7	98.02	24.8	29.7
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	126.2	93.5	25	28.1
	تنش ابتدای فصل Early season stress	IAA	124.7	95.06	25.05	29
		کاینتین Kinetin	129.3	96.83	25.35	28.3
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	115.2	94.71	24.7	26.85
	تنش انتهای فصل Terminal season stress	IAA	71.31	38.57	25.1	25.45
		کاینتین Kinetin	78.8	40.59	25.35	25.15
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	47.9	30.95	24.75	22.4
سپیدرود Sepidrood	بدون تنش Non-stress	IAA	111.7	88.54	27.1	29.1
		کاینتین Kinetin	114.3	90.97	27.15	28.95
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	105.30	86.39	26.65	28.45
	تنش ابتدای فصل Early season stress	IAA	107.12	88.97	27.65	28.65
		کاینتین Kinetin	11.34	88.47	27.2	28.45
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	87.23	88.05	26.30	28.45
	تنش انتهای فصل Terminal season stress	IAA	79.4	74.57	26.85	27.45
		کاینتین Kinetin	86.8	74.85	27.15	27.20
		بدون تنظیم کننده Non-regulator	71.4	65.41	26.40	25.6
HSD			10.72	10.8	1.27	1.9

نتایج این تحقیق نشان داد که به غیر از آثار متقابل تنش × تنظیم کننده و رقم × تنش × تنظیم کننده رشد، سایر آثار اصلی و متقابل نقش معنی‌داری بر طول برگ پرچم داشتند (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل دو جانبه رقم × تنش نشان داد که بیشترین طول برگ پرچم متعلق به غریب × بدون تنش بود. تنش خشکی انتهای فصل تاثیر بیشتری بر برگ پرچم گذاشت و در همه ارقام مورد مطالعه، کوتاه‌ترین برگ پرچم متعلق به تنش انتهای فصل بود، اما آپلند × تنش انتهای فصل و سپیدرود × تنش انتهای فصل دارای نوسان کمتری نسبت به تنش رویشی و شرایط بدون تنش بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم× تنظیم کننده نیز نشان داد که غریب × IAA دارای بیشترین طول برگ پرچم (۳۶/۲۵ سانتی‌متر) بود (جدول ۶). به طور کلی، کاربرد هر دو تنظیم کننده IAA و کاینتین سبب افزایش طول برگ پرچم در همه ارقام شدند. در این بین، نقش تنظیم کننده رشد IAA بیشتر از کاینتین بود، ولی تفاوت آماری معنی‌داری با کاینتین نداشت. زهیر و همکاران (Zahir *et al.*, 2001) و قربانی جاوید و همکاران (Ghorbani Javid *et al.*, 2011) نیز گزارش کردند که کاربرد تنظیم کننده اکسین و کاینتین منجر به افزایش طول برگ پرچم در ارقام برنج شد.

نتایج نشان داد که آثار اصلی هر سه عامل رقم، تنش و تنظیم کننده به همراه اثر متقابل دوجانبه رقم × تنش بر عرض برگ پرچم معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین تنظیم کننده‌ها نشان داد که کاربرد تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین موثر بود و تفاوت آماری معنی‌داری با شرایط بدون تنظیم کننده رشد داشتند. به طور کلی، این دو تنظیم کننده رشد در ایجاد شرایط نرمال برای گیاه و در نتیجه رشد بهتر گیاه موثر هستند (Tabure and Demir, 2010). به نظر می‌رسد عرض برگ پرچم تحت تاثیر تنش خشکی ابتدای فصل قرار گرفت، اما فرصت بازیابی خود در دوره رشد زایشی را داشت و از این‌رو خود را به شرایط رشد نرمال نزدیک کرد. در حالی که تحت شرایط تنش انتهای فصل، گیاه قادر به بازیابی خود نبود و در نتیجه عرض برگ پرچم کمتری را تولید کرد. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تنش نیز نشان داد که بیشترین عرض برگ پرچم مربوط به آپلند× تنش ابتدای فصل بود، به طوری که نه تنها تنش ابتدای فصل برای عرض برگ پرچم در این رقم نقص نبود، بلکه ظاهراً شوک وارد شده به گیاه سبب افزایش عرض برگ پرچم شد (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه آثار اصلی و متقابل بر طول خوشه معنی‌دار بودند (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبه رقم × تنش × تنظیم کننده رشد نشان داد که تنش ابتدا و تنش انتهای فصل به ترتیب دارای کمترین و بیشترین نوسان نسبت به بدون تنش بودند. کاربرد تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین نیز منجر به افزایش طول خوشه شدند (جدول ۵). نتایج این آزمایش با نتایج قربانی جاوید و همکاران (Ghorbani Javid *et al.*, 2011) مطابقت داشت.

در مورد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، نتایج حاکی از اثر معنی‌دار همه آثار اصلی و متقابل، به غیر از اثر متقابل سه جانبه بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل دو جانبه رقم × تنش نشان داد که بیشترین روز تا ۵۰ درصد گلدهی مربوط به تیمار خزر × تنش ابتدای فصل بود (جدول ۲). به طور کلی، همه ارقام مورد مطالعه دارای روز تا ۵۰ درصد گلدهی بیشتری تحت شرایط تنش ابتدای فصل نسبت به شرایط بدون تنش و تنش انتهای فصل بودند. ارقام سپیدرود و آپلند تحت شرایط تنش انتهای فصل با کوتاه کردن دوره رشد زایشی، زودتر به ۵۰ درصد گلدهی رسیدند و به عبارت دیگر از تنش انتهای فصل فرار کردند، اما ارقام خزر و غریب نتوانستند این فرار از خشکی را انجام دهند. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تنظیم کننده نیز نشان داد که تیمار خزر × IAA دارای بیشترین روز تا ۵۰ درصد گلدهی بود. به طور کلی کاربرد تنظیم کننده‌های رشد سبب به تاخیر افتادن روز تا ۵۰ درصد گلدهی در همه ارقام شد (جدول ۶). به نظر می‌رسد این تاخیر به دلیل نقش تنظیم کننده‌ها در ایجاد شرایط نرمال برای گیاه بود، به طوری که گیاه توانست مراحل رشدی خود را در شرایط نرمال طی کند. تنش خشکی سبب کوتاه شدن دوره رشد ارقام شد، ولی استفاده از تنظیم کننده‌های رشد سبب ایجاد شرایط مساعد رشدی برای گیاهان شد و در نتیجه گیاهان به رشد طبیعی خود ادامه داده و فرایند فرار از تنش را نشان ندادند. تابور و دمیر (Tabure and Demir 2010) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × تنظیم کننده نیز نشان داد که گیاهان در شرایط تنش ابتدای فصل دیرتر به ۵۰ درصد گلدهی رسیدند، زیرا برای بازیابی

فرصت بیشتری نیاز داشتند. استفاده از تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین نیز این تاخیر را بیشتر کرد که احتمالاً به دلیل ایجاد شرایط مساعد برای گیاه بود (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی هر سه فاکتور و اثر متقابل دوجانبه رقم × تنش بر روز تا رسیدگی کامل ارقام مورد مطالعه معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین تنظیم کننده‌ها نشان داد که تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین احتمالاً به دلیل ایجاد شرایط نرمال در گیاه سبب طولانی‌تر شدن دوره رشد رویشی در گیاه شده و در نتیجه زمان رسیدگی ارقام برنج را افزایش دادند (جدول ۴). به نظر می‌رسد این دو تنظیم کننده به دلیل بهبود محتوای آب نسبی برگ، میزان نشت الکترولیت و نیز شاخص‌های تبادلات گازی از جمله فتوسنتز و تعرق سبب ایجاد شرایط نرمال رشدی برای گیاه می‌شوند (Salehifar *et al.*, 2014). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تنش نیز نشان داد که تنش ابتدای فصل سبب تاخیر در رسیدگی کامل ارقام شد که این تاخیر احتمالاً به دلیل بازیابی گیاه بعد از اعمال تنش در دوره ابتدای فصل بود، اما این زمان بازیابی در ارقام سپیدرود و آپلند کوتاه‌تر بود (جدول ۲).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تنظیم کننده رشد بر صفات مورد مطالعه در برنج

Table 6. Mean comparisons of the effect of variety×regulator interaction on the studied traits in rice

رقم Variety	تنظیم کننده رشد Growth regulator	طول برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf length (cm)	روز تا درصد گلدهی Days to 50% flowering
غریب Gharib	IAA	36.25	94.33
	کاینتین Kinetin	35.83	90
	بدون تنظیم کننده Check	34.56	86.7
آپلند Upland	IAA	32.3	89.3
	کاینتین Kinetin	31.3	84.6
	بدون تنظیم کننده Check	30.06	83.8
خزر Khazar	IAA	33.01	98.4
	کاینتین Kinetin	32.6	95.5
	بدون تنظیم کننده Check	30.83	94.8
سپیدرود Sepidrood	IAA	35.13	91
	کاینتین Kinetin	35.1	88.3
	بدون تنظیم کننده Check	34.6	87.5
	HSD	0.77	3.07

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رقم و تنظیم کننده رشد اثر معنی‌داری بر شاخص تحمل به تنش (STI) ابتدای فصل داشتند (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر رقم بر شاخص تحمل به تنش ابتدای فصل نیز نشان داد که رقم سپیدرود بیشترین تحمل و ارقام غریب و خزر به ترتیب کمترین تحمل را به تنش ابتدای فصل نشان دادند، به طوری که رقم سپیدرود بیشترین و ارقام غریب و خزر به ترتیب کمترین مقدار این شاخص را در بین همه ارقام مورد مطالعه به خود اختصاص دادند (جدول ۸).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رقم و تنظیم کننده رشد اثر معنی‌داری بر شاخص تحمل به تنش انتهای فصل داشتند (جدول ۷). مقایسه میانگین رقم نشان داد که سپیدرود و آپلند به ترتیب دارای شاخص تحمل ۰/۶۶ و ۰/۳۸ بودند و اختلاف معنی‌داری با ارقام خزر و غریب داشتند. مقایسه میانگین تنظیم کننده‌های رشد نیز نشان داد که کاربرد IAA و کاینتین سبب بهبود شرایط رشد و افزایش عملکرد ارقام شد و در نتیجه شاخص تحمل به تنش ابتدای فصل در همه ارقام افزایش یافت (جدول ۹). صفایی‌چائی‌کار و همکاران (Safaei Chaeikar *et al.*, 2008) نیز گزارش کردند که رقم سپیدرود دارای شاخص تحمل به تنش بیشتری نسبت به ارقام غریب و خزر بود. به طور کلی، نتایج حاکی از تحمل بیشتر ارقام آپلند و سپیدرود در مقابل تنش خشکی نسبت به دو رقم دیگر بود. کاربرد هر دو تنظیم کننده IAA و کاینتین نیز سبب ایجاد شرایط مناسب رشد و افزایش تحمل به تنش و در نتیجه تولید عملکرد بیشتر در ارقام برنج شد (جدول ۹).

جدول ۷- خلاصه تجزیه واریانس اثر تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین بر شاخص STI ارقام برنج مورد مطالعه

Table 7. Analysis of variance for the effect of IAA and Kinetin on STI of the studied varieties

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	شاخص تحمل به تنش ابتدای فصل Stress tolerance index at early season stress	شاخص تحمل به تنش انتهای فصل Stress tolerance index at terminal season stress
رقم Variety	3	0.74**	0.65**
تنظیم کننده Regulator	2	0.046*	0.024*
رقم×تنظیم کننده Variety×Regulator	6	0.0047 ns	0.001 ns
خطای آزمایش Error	24	0.01	0.004
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	17.27	21.65

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر رقم بر شاخص تحمل به تنش (STI)

Table 8. Mean comparison of the variety effects on stress tolerance index (STI)

Variety	رقم	شاخص تحمل به تنش ابتدای فصل Stress tolerance index at early season stress	شاخص تحمل به تنش انتهای فصل Stress tolerance index at terminal season stress
Sepidrood	سپیدرود	1.01	0.66
Upland	آپلند	0.50	0.38
Khazar	خزر	0.42	0.14
Gharib	غریب	0.39	0.06
HSD		0.128	0.081

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر تنظیم کننده‌های رشد بر شاخص تحمل به تنش (STI)

Table 9. Mean comparison of the regulator effects on stress tolerance index (STI)

Growth regulators	تنظیم کننده رشد	شاخص تحمل به تنش ابتدای فصل Stress tolerance index at early season stress	شاخص تحمل به تنش انتهای فصل Stress tolerance index at terminal season stress
Non-regulators	بدون تنظیم کننده	0.51	0.26
IAA	ایندول استیک اسید	0.63	0.32
Kinetin	کاینتین	0.59	0.35
HSD		0.098	0.063

بررسی شاخص حساسیت به تنش خشکی (DSI) در تنش ابتدای فصل (جدول ۱۰) نشان داد که میانگین شاخص حساسیت به خشکی ابتدای فصل، به جز صفات تعداد دانه پر، روز تا ۵۰ درصد گلدهی و روز تا رسیدگی کامل، در سایر صفات مثبت بود. میانگین مثبت به معنی کاهش صفت تحت شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش است. بیشترین کاهش به میزان ۴۴/۰۲ درصد در عملکرد دانه مشاهده شد، در حالی که روز تا ۵۰ درصد گلدهی با میانگین ۸/۸۲ درصد، بیشترین میزان افزایش را نسبت به شرایط بدون تنش داشت. این نتایج با نتایج بوکو و همکاران (Bocco *et al.*, 2012) مطابقت داشت. استفاده از هر دو تنظیم کننده رشد سبب کاهش شاخص حساسیت به تنش شد. برای مثال در مورد عملکرد دانه در ارقام مورد مطالعه، کاربرد IAA در رقم آپلند سبب کاهش شاخص حساسیت به تنش از ۴۱/۳۲ به ۳۳/۳۲ درصد، در رقم سپیدرود از ۴۰/۴۷ به ۲۴/۱۰ درصد، در رقم غریب از

۶۰/۱۲ به ۴۴/۸۷ درصد و در رقم خزر از ۶۳/۸۸ به ۵۲/۷۵ درصد شد. این کاهش در شاخص حساسیت در مورد کاینتین به ترتیب ۳۶/۰۴ درصد، ۳۲/۷۰ درصد، ۴۱/۸۴ درصد و ۵۶/۷۹ درصد بود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- اثر متقابل تنظیم کننده رشد × رقم بر شاخص حساسیت به خشکی صفات مورد مطالعه تحت تنش ابتدای فصل

Table 10. Regulator × variety interaction effect on DSI of the studied traits under early season stress

رقم Variety	تنظیم کننده رشد Growth regulator	عملکرد دانه Grain yield (g/plant)	تعداد پنجه Tiller number	تعداد خوشه Panicle number	تعداد دانه کل Total grain number	تعداد دانه پر Filled grain number	وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)
آپلند Upland	بدون تنظیم کننده Non-regulator	41.32	26.41	38.40	7.25	2.30	0.41
	IAA	33.32	17.62	23.39	3.82	2.72	0.80
	کاینتین Kinetin	36.04	20.18	27.69	4.08	4.22	0.79
سپیدرود Sepidrood	بدون تنظیم کننده Non-regulator	40.47	30.96	38.67	6.17	-1.95	1.32
	IAA	24.10	21.57	28.36	4.02	-0.55	1.66
	کاینتین Kinetin	32.70	22.94	23.34	2.62	2.68	-0.19
غریب Gharib	بدون تنظیم کننده Non-regulator	60.12	50.16	54.88	5.87	-9.06	0.73
	IAA	44.87	33.29	47.18	9.39	-13.12	0.00
	کاینتین Kinetin	41.84	33.29	44.69	7.84	-5.01	-1.29
خزر Khazar	بدون تنظیم کننده Non-regulator	63.88	47.61	51.91	8.75	-1.25	1.20
	IAA	52.75	33.47	47.81	7.45	0.34	0.60
	کاینتین Kinetin	56.79	37.90	48.08	6.88	1.27	-2.25
Mean	میانگین	44.02	31.28	39.53	6.18	-1.45	0.31

Table 10. Continued

جدول ۱۰- ادامه

رقم Variety	تنظیم کننده رشد Growth regulator	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول برگ پرچم Flag leaf length (cm)	طول خوشه (سانتی‌متر) Panicle length (cm)	۵۰ درصد گلدهی 50% flowering	زمان رسیدگی Maturity time
آپلند Upland	بدون تنظیم کننده Non-regulator	12.32	5.67	3.91	-10.78	-9.53
	IAA	10.53	5.13	3.62	-7.49	-6.63
	کاینتین Kinetin	7.58	6.75	2.75	-7.43	-5.63
سپیدرود Sepidrood	بدون تنظیم کننده Non-regulator	24.13	0.57	0.00	-9.02	-6.72
	IAA	24.41	-1.17	1.55	-7.96	-5.87
	کاینتین Kinetin	24.85	0.14	1.72	-8.98	-5.13
غریب Gharib	بدون تنظیم کننده Non-regulator	17.42	5.48	2.64	-5.42	26.11
	IAA	15.25	5.61	-0.16	-2.15	0.19
	کاینتین Kinetin	17.07	4.59	-1.40	-3.94	-3.77
خزر Khazar	بدون تنظیم کننده Non-regulator	20.62	6.91	4.45	-15.21	-7.73
	IAA	21.27	4.71	5.52	-13.15	-7.37
	کاینتین Kinetin	20.84	3.82	4.71	-14.35	-8.17
Mean	میانگین	18.02	4.02	2.44	-8.82	-3.35

بررسی شاخص حساسیت به خشکی در تنش انتهای فصل (جدول ۱۱) نیز نشان داد که همه صفات مورد مطالعه دارای مقدار DSI مثبت بودند، به عبارت دیگر همه صفات نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافتند. بیشترین درصد کاهش متعلق به عملکرد به میزان ۷۱/۴۵ درصد بود. نتایج این تحقیق با نتایج بوکو و همکاران (Bocco *et al.*, 2012) مطابقت داشت. استفاده از تنظیم کننده‌های IAA و کاینتین سبب کاهش شاخص حساسیت به تنش خشکی شد و ارقام سپیدرود و آپلند درصد کاهش کمتری را نسبت به ارقام خزر و غریب نشان دادند (جدول ۱۱).

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که تنش ابتدا و انتهای فصل سبب آسیب رساندن به گیاه برنج خصوصاً به ارقام حساس شد. تنش در مرحله ابتدای فصل رشد و وجود شرایط مطلوب پس از آن تا زمان رسیدگی، این فرصت را در اختیار گیاه قرار می‌دهد تا مقداری از خسارت وارده را ترمیم و بازیابی کند، ولی اعمال تنش انتهای فصل حداکثر آسیب را به گیاه وارد کرد. در مقابل، کاربرد تنظیم کننده‌های رشد اکسین و کاینتین به دلیل فراهم نمودن شرایط مطلوب برای گیاه، علاوه بر کمک به گیاه برای رشد نرمال، این فرصت را برای گیاه ایجاد کرد تا گیاه بتواند بعد از تنش مجدداً به سمت شرایط مطلوب حرکت کند. مقادیر منفی در شاخص DSI در تنش ابتدای فصل نشان دهنده همین مطلب می‌باشد. بررسی شاخص تحمل به خشکی نیز نشان داد که کاربرد تنظیم کننده‌های رشد اکسین و کاینتین منجر به تولید مقادیر بالاتری از این شاخص در مقایسه با عدم استفاده از تنظیم کننده رشد شد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که ارقام سپیدرود و آپلند در مقابل تنش دارای تحمل بیشتری نسبت به ارقام غریب و خزر بودند و در برخی از مواقع نیز با فرار از تنش خشکی سبب شدند که کمترین آسیب طی دوره خشکی بر گیاه وارد شود.

جدول ۱۱- اثر متقابل تنظیم کننده رشد × رقم بر شاخص حساسیت به خشکی صفات مورد مطالعه تحت تنش انتهای فصل

Table 11. Regulator × variety interaction effects on DSI of the studied traits under terminal season stress

رقم Variety	تنظیم کننده رشد Growth regulator	عملکرد دانه Grain yield (g/plant)	تعداد پنجه Tiller number	تعداد خوشه Panicle number	تعداد دانه کل Total grain number	تعداد دانه پر Filled grain number	وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)
آپلند Upland	بدون تنظیم کننده Non-regulator	60.46	-2.46	24.03	24.04	22.47	-0.42
	IAA	49.46	-0.16	20.87	21.33	27.73	1.00
	کاینتین Kinetin	46.53	-1.84	15.64	18.02	10.79	2.19
سپیدرود Sepidrood	بدون تنظیم کننده Non-regulator	62.08	5.18	33.64	31.80	24.29	0.92
	IAA	54.66	3.10	19.93	28.57	15.73	0.92
	کاینتین Kinetin	50.12	3.25	18.17	24.03	17.71	0.00
غریب Gharib	بدون تنظیم کننده Non-regulator	95.37	6.83	67.45	72.69	73.40	-1.28
	IAA	90.42	5.77	47.51	63.57	51.43	0.18
	کاینتین Kinetin	90.01	6.27	50.62	59.22	51.34	5.52
خزر Khazar	بدون تنظیم کننده Non-regulator	90.20	-7.51	42.18	62.44	66.86	1.00
	IAA	84.42	-3.92	43.22	46.75	59.56	0.40
	کاینتین Kinetin	83.66	-6.39	41.66	43.20	58.55	-2.25
Mean	میانگین	71.45	0.68	35.41	41.30	39.99	0.68

Table 11. Continued

جدول ۱۱- ادامه

رقم Variety	تنظیم کننده رشد Growth regulator	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول برگ پرچم Flag leaf length (cm)	طول خوشه (سانتی‌متر) Panicle length (cm)	۵۰ درصد گلدهی 50% flowering	زمان رسیدگی Maturity time
آپلند Upland	بدون تنظیم کننده Non-regulator	5.74	18.08	12.55	9.93	5.83
	IAA	4.90	18.24	13.52	6.38	5.11
	کاینتین Kinetin	4.30	17.89	10.41	9.73	6.23
سپیدرود Sepidrood	بدون تنظیم کننده Non-regulator	8.14	1.98	10.01	12.77	11.12
	IAA	8.56	0.82	5.67	12.27	10.58
	کاینتین Kinetin	10.16	1.97	6.04	13.34	10.76
غریب Gharib	بدون تنظیم کننده Non-regulator	-0.45	30.32	21.79	4.95	6.71
	IAA	-0.75	29.15	17.60	-0.02	1.56
	کاینتین Kinetin	-1.01	28.65	17.57	-4.29	-1.46
خزر Khazar	بدون تنظیم کننده Non-regulator	4.58	21.03	20.29	5.76	8.19
	IAA	5.89	19.75	17.09	6.56	6.27
	کاینتین Kinetin	5.86	18.56	15.32	6.04	5.67
Mean	میانگین	4.66	17.20	13.99	6.95	6.38

References

Abarshahr, M., Rabiei, B. and Samizadeh Lahiji, H. 2011. Assessing genetic diversity of rice varieties under drought stress conditions. **Notulae Scientia Biologicae** 3: 114-123.

Bocco, R., Lorieux, M., Seck, P. A., Futakuchi, K., Manneh, B., Baimey, H. and Ndjiondjop, M. N. 2012. Agro-morphological characterization of a population of introgression lines derived from crosses between IR64 (*Oryza sativa*, indica) and TOG5681 (*Oryza glaberrima*) for drought tolerance. **Plant Science** 183: 65-76.

Bouman, B. A. M., Humphreys, E., Tuong, T. P. and Barker, R. 2007. Rice and water. **Advance Agronomy** 92: 187-237.

Dolferus, R., Ji, X. and Richards, R. A. 2011. Abiotic stress and control of grain number in cereals. **Plant Science** 181: 331-341.

Eun, H. K., Su-Hyun, P. and Ju-Kon, K. 2009. Methyl jasmonate triggers loss of grain yield under drought stress. **Plant Signaling and Behavior** 4: 348-349.

Farooq, M., Wahid, A., Basra, S. M. A. and Din, I. D. 2009. Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. **Journal of Agronmy and Crop Science** 195: 262-269.

Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (ed.). Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crop to Temperature and Water Stress, Taiwan, 13-18 August, pp. 257-270.

Ghorbani Javid M., Sorooshzadeh, A., Modarres Sanavy, S. A. M., Allahdadi, I. and Moradi, F. 2011. Effects of the exogenous application of auxin and cytokinin on carbohydrate accumulation in grains of rice under salt stress. **Plant Growth Regulation** 65: 305-313.

Hansen, H. and Grossmann, K. 2000. Auxin-induced ethylene triggers abscisic acid biosynthesis and growth inhibition. **Plant Physiology** 124: 1437-1448.

He-Zheng, W., Lian-He, Z., Jun, M., Yan, L., Rong-Ping, Z. and Ren-Quan, W. 2010. Effects of water stress on reactive oxygen species generation and protection system in rice during grain-filling stage. **Agricultural Science in China** 95: 633-641.

Lafitte, H. R., Price, A. H. and Courtois, B. 2004. Yield response to water deficit in an upland rice aping population: Associations among traits and genetic markers. **Field Crops Research** 6: 1237-1246.

Makara, O., Basnayake, J., Tsubo, M., Fukai, S., Fischer, K. S., Cooper, M. and Nesbitt, H. 2006. Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice. **Field Crops Research** 99: 48-58.

Ouk, M., Basnayake, J., Tsubo, M., Fukai, S., Fischer, K. S., Kang, S., Men, S., Thun, V. and Cooper, M. 2007. Genotype by environment interactions for grain yield associated with water availability at flowering in rainfed lowland rice. **Field Crops Research** 101 (2): 145-154.

Peleg, Z., Reguera, M., Tumimbang, E., Walia, H. and Blumwald, E. 2011. Cytokinin-mediated source-sink modifications improve drought tolerance and increase grain yield in rice under water stress. **Plant Biotechnology Journal** 1-12.

Pirdashti, H., Tahmasbi Sarvestani, Z., Nematzadeh, Gh. and Abdolbaghi, A. 2005. Consideration of drought effects in vegetative growth stages of different rice varieties. Proceeding of 8th Iranian Crop Production and Plant Breeding Congress. Aug. 25-27, University of Guilan, Rasht, Iran. (In Persian).

Roitsch, T. and Ehneb, R. 2000. Regulation of source-sink relations by cytokinins. **Plant Growth Regulation** 32: 359-367.

Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., Samizadeh, H. and Esfahani, M. 2008. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences** 9: 315-331. (In Persian).

Salehifar, M., Rabiei, B., Afshar Mohammadian, M. and Asghari, J. 2014. Effect of IAA and Kinetin application on plant characteristics and chlorophyll fluorescence indices in rice seedlings under drought stress condition. **Iranian Journal of Crop Sciences** 16 (4): 293-307. (In Persian).

Selote, D. S. and Khanna-Chopra, R. 2004. Drought-induced spikelet sterility is associated with an inefficient antioxidant defense in rice panicles. **Physiologia Plantarum** 121: 462-471.

Serraj, R., Kumar, A., McNally, K. L., Slamet-Loedin, I., Bruskiewich, R., Mauleon, R., Cairns, J. and Hijmans, R. J. 2009. Improvement of drought resistance in rice. **Advance Agronomy** 103: 41-99.

Tabur, S. and Demir, K. 2010. Role of some growth regulators on cytogenetic activity of barley under salt stress. **Plant Growth Regulation** 60: 99-104.

Tanaka, Y., Sano, T., Tamaoki, M., Nakajima, N., Kondo, N. and Hasezawa, S. 2006. Cytokinin and auxin inhibit abscisic acid-induced stomatal closure by enhancing ethylene production in *Arabidopsis*. **Journal of Experimental Botany** 57: 2259-2266.

Tsubo, M., Basnayake, J., Fukai, S., Sihathep, V., Siyavong, P., Sipaseuth, S. and Chanphengsay, M. 2006. Toposequential effects on water balance and productivity in rainfed lowland rice ecosystem in Southern Laos. **Field Crops Research** 97: 209-220.

Vergara, B. 1988. Growth stages of the rice plant (self test booklet). (2nd ed.). International Rice Research Inistitute, Los Banos, Laguna, Philippines.

Wang, H. Z., Zhang, L. H., Ma, J., Li, X. Y., Li, Y., Zhang, R. P. and Wang, R. Q. 2010. Effects of water stress on reactive oxygen species generation and protection system in rice during grain-filling stage. **Agricultural Sciences in China** 9 (5): 633-641.

Wang, S., Bai, Y., Shen, C., Wu, Y., Zhang, S., Jiang, D., Guilfoyle, T. J., Chen, M. and Qi, Y. 2010. Auxin-related gene families in abiotic stress response in *Sorghum bicolor*. **Functional and Integrative Genomics** 10: 533-546.

Witcombe, J. R., Hollington, P. A., Howarth, C. J., Reader, S. and Steele, K. A. 2008. Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. **Philosophical Transaction of the Royal Society of London, Series B Biological Science** 363: 703-716.

Yang, J., Zhang, J., Wang, Z. and Zhu, Q. 2003. Hormones in the grains in relation to sink strength and postanthesis development of spikelets in rice. **Plant Growth Regulation** 41: 185-195.

Zahir, Z. A., Asghar, H. N. and Arshad, M. 2001. Cytokinin and its precursors for improving growth and yield of rice. **Soil Biology and Biochemistry** 33: 405-408.

Effect of indol acetic acid and kinetin on morphological traits, yield and yield components of rice varieties under drought stress conditions

Mostafa Salehifar[1], Babak Rabiei[2*], Mansour Afshar Mohammadian[3] and Jafar Asghari[2]

1. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran (current address: University of Applied Science and Technology, Astara, Iran), 2. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran, 3. Assoc. Prof., Dept. of Biology, Faculty of Science, University of Guilan, Iran

(Received: May 17, 2014- Accepted: December 15, 2014)

Abstract

To assess the effects of indol acetic acid (IAA) and kinetin regulators on morphological, yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under early and terminal drought stress conditions a pot experiment under farm condition was carried out as factorial experiment based on completely randomized design with three replications in Faculty of Agricultural Science, University of Guilan in 2013. The experimental factors were four rice varieties (Gharib, Khazar, Sepidrood and Upland rice, IR 83750-131-1), drought stress in three levels (non-stress, early season stress from stage 1 to stage 4 of Vergara coding system and terminal season stress from stage 4 to end of the stage 9) and growth regulators in three levels (non-regulator and 5×10^{-5} M of IAA and kinetin as spraying on whole plant). Results indicated that main effects of the all factors on all measured traits were significant, but the interaction effect of variety×stress×growth regulator was significant only on total grain number, grain number per panicle, panicle length and 1000-grain weight. Under early season stress, reduction of tiller number leads to a reduction in grain yield in all studied varieties. Generally, application of both growth regulators, IAA and kinetin, increased grain yield more than 50 percent under both early and terminal season drought stress, but under terminal drought stress, the role of kinetin was more than IAA. The highest value of stress tolerance index (STI) with average of 1.01 was observed in Sepidrood. Drought stress index (DSI) also indicated that all measured traits decreased under terminal season stress compared to non-stress condition and the highest decrease with average of 71.45 percent was observed in grain yield. In total, results of this research indicated that exogenous application of these two regulators had the effective role in the improvement of morphological traits, grain yield and yield component in both early and terminal season drought stress.

Keywords: Drought susceptible index, Growth regulators, Stress tolerance index

* Corresponding author: rabiei@guilan.ac.ir