"مجله علوم زراعی ایران"
جلد شانزدهم، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۳

اثر محلول‌پاشی ایندول استیک اسید و کاینتین بر صفات گیاهی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل گیاهچه‌های برنج در شرایط تنش خشکی

Effect of IAA and Kinetin application on plant characteristics and chlorophyll fluorescence indices in rice seedlings under drought stress condition

مصطفی صالحی‌فر[۱]، بابک ربیعی[۲]، منصور افشار محمدیان[۳] و جعفر اصغری[۲]

چکیده

صالحی فر، م.، ب. ربیعی.، م. افشار محمدیان و ج. اصغری. ۱۳۹۳. اثر محلول‌پاشی ایندول استیک اسید وکاینتین بر صفات گیاهی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل گیاهچه‌های برنج در شرایط تنش خشکی. **مجله علوم زراعی ایران. ۱٦(٤): ۳۰۷-۲۹۳.**

به منظور ارزیابی اثر هورمون‌های ایندول استیک اسید (IAA) و کاینتین (Kin) بر بهبود تحمل تنش خشکی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل در گیاهچه‌های برنج، یک آزمایش فاکتوریل با سه عامل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۲ در دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از ژنوتیپ‌های برنج غریب، خزر، سپیدرود و آپلند IR83750-131-1، تنش خشکی در دو سطح صفر (بدون تنش) و تنش خشکی از مرحله یک تا چهار کدبندی ورگارا و هورمون در سه سطح، صفر (بدون محلول‌پاشی هورمون)، IAA (۵×۱۰^{-۵} مول) و کاینتین (۵×۱۰^{-۵} مول) به صورت محلول‌پاشی برگ. صفات اندازه گیری شده شامل تعداد پنجه، تعداد روز تا لوله شدن برگ، دمای برگ، محتوای آب نسبی برگ، نشت الکترولیت‌ها، عدد کلروفیل‌متر و مولفه‌های فلورسانس کلروفیل بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل‌ها اثر معنی‌داری بر همه صفت‌های ارزیابی شده داشتند. رقم سپیدرود در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین محتوای آب نسبی برگ (٤٦/۳ درصد) بود. کمترین محتوای آب نسبی برگ نیز متعلق به تیمار غریب در شرایط تنش خشکی (۳٤/۵ درصد) بود. محلول‌پاشی هورمون IAA هم در شرایط بدون تنش و هم تنش منجر به افزایش محتوای آب نسبی (به ترتیب ۹۲/٤ و ٤۳/۷ درصد) شد. ژنوتیپ آپلند در شرایط آبیاری کامل دارای بیشترین مقدار عدد کلروفیل متر (٤۷/۰۳) بود. کمترین مقدار آن نیز متعلق به تیمار غریب در تنش خشکی و (۳۰/٦) بود. محلول‌پاشی IAA و کاینتین منجر به افزایش عدد کلروفیل‌متر در رقم غریب به ترتیب به میزان ۱۸ و ۱۳/۷ درصد شدند. تنش خشکی منجر به افزایش نشت الکترولیت‌ها به میزان ۳۲/۱ درصد در تیمار بدون محلول‌پاشی شد. کمترین میزان نشت الکترولیت مربوط به رقم سپیدرود در شرایط آبیاری کامل به میزان ۱٦/۳٦ درصد بود. تجزیه ناپارامتریک برای صفات رتبه‌ای نشان داد که ترکیب‌های تیماری مورد استفاده در این آزمایش بر صفات اندازه‌گیری شده اثر معنی‌داری داشتند. بیشترین مقدار کارآیی کوانتومی فتوسیستم دو به میزان ۰/۸۱ مربوط به رقم خزر در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی IAA بود. نتایج این آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی IAA و کاینتین منجر به بهبود صفات مورد بررسی در شرایط تنش خشکی در گیاهچه‌های برنج شد و IAA نقش موثرتری در بهبود تحمل به تنش نسبت به کاینتین داشت. همچنین مشخص شد که ژنوتیپ‌های آپلند و سپیدرود متحمل‌تر از ارقام غریب و خزر بودند و در مجموع ژنوتیپ آپلند با محلول‌پاشی IAA رشد بهتری در شرایط تنش خشکی داشت.

واژه‌های کلیدی: برنج، شاخص لوله شدن برگ، عدد کلروفیل‌متر، محتوای آب نسبی و نشت الکترولیت

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۱۹ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد

۱- دانشجوی دکتری دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده)
(پست الکترونیک: agri20000@yahoo.com)
۲- استاد دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
۳- دانشیار دانشکده علوم پایه دانشگاه گیلان

مقدمه

خشکی عامل اصلی محیطی محدود کننده رشد برنج در مناطق برنجکاری می‌باشد (Farooq *et al*., 2009). با توجه به گسترش روز افزون تنش‌های محیطی به ویژه خشکی و شوری، ممکن است تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۵۰ درصد از مناطق قابل کشت و کار تحت تاثیر این تنش‌های محیطی قرار گیرند (Wang *et al*., 2010). هرچند که نیاز به تولید ارقام پرمحصول وجود دارد، ولی باید ظرفیت تحمل به تنش در رقم‌های محلی نیز مورد توجه قرار داده شود (Wu *et al*., 2011). یکی از راه‌های شناسایی ارقام مقاوم به تنش خشکی ارزیابی فنوتیپی آنها است (Kamoshita *et al*., 2008). تحقیقات کمی در مورد تنوع ژنوتیپ‌های برنج و نحوه تاثیر تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای در آنها صورت گرفته‌است. رشد گیاه بعد از رفع تنش در مرحله رویشی ادامه یافته و گیاه ترمیم یا بازیابی می‌شود (Kamoshita *et al*., 2008). نتایج آزمایش‌های گلدانی نشان داده است که گیاه برنج یک یا چند هفته بعد از تنش در مرحله رویشی ترمیم یافت (Kamoshita *et al*., 2004). پیردشتی و همکاران (Pirdashti *et al*., 2004) گزارش کردند که تنش خشکی در مرحله رویشی باعث کاهش ارتفاع بوته و تعداد پنجه‌ها در برنج شد. تفاوت اصلی رقم‌های برنج در واکنش به تنش خشکی دوره رویشی، مربوط به تعداد پنجه‌ها بود (Kamoshita *et al*., 2004).

هورمون‌های گیاهی در توانمندسازی گیاه جهت سازگاری با تنش‌های غیر زنده موثر هستند (Santner and Estelle, 2009). اگرچه آبسیزیک اسید (ABA) به‌عنوان هورمون تنش بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته است، اما نقش سایتوکنین‌ها (CK)، و اکسین‌ها در طی تنش‌های محیطی نباید نادیده گرفته شوند. ایندول استیک اسید به عنوان ناقل طیف وسیعی از پیام‌های خارجی و داخلی محسوب می‌شود. تعادل اکسین در گیاه می‌تواند نقش سرنوشت سازی را در پاسخ به تنش‌های غیر زنده ایفا نماید. سایتوکنین‌ها به عنوان یک تنظیم کننده در واکنش به تنش کم آبی در گیاه تنباکوی ترانسژنیک معرفی شده‌اند (Xu *et al*., 2010). نتایج تحقیقات نشان داده است که هورمون کاینتین عامل مهمی در بیان ژن‌های مرتبط با دفاع در مقابل تنش بوده و بعلاوه به‌عنوان یک عامل واکنش دهنده در مقابل تنش در گیاه برنج محسوب می‌شود (Rakwal *et al*., 2003). سایتوکنین در بیان ژن، جلوگیری از فعالیت اکسین، تحریک جریان کلسیم، چرخه سلولی و همچنین به عنوان عامل ضد تنش نقش دارد. نتایج تحقیقات نشان داده است که کاربرد کاینتین منجر به افزایش تعداد پنجه در برنج شد (Zahir *et al*., 2001).

گزارش شده است که تنش خشکی منجر به کاهش مقدار سبزینگی گیاه و عدد کلروفیل‌متر شد (Mamnoei and Seyed Sharifi, 2010). کاهش عدد کلروفیل‌متر می‌تواند به علت تخریب کلروفیل در اثر محدودیت شدید آبی باشد که به کاهش فتوسنتز خالص منجر خواهد شد (Guo *et al*., 2009). تنش کمبود آب همواره با تنش دمای بالا همراه است که منجر به محدود شدن تولیدات گیاهان زراعی می‌شود. حفظ یکپارچگی غشا در طی تنش نشانه‌ای از وجود راهکارهای کنترلی در تحمل به پسابیدگی می‌باشد. در طی تنش اگر سیتوریز صورت گیرد، تمامیت غشاء از بین می‌رود. در تنش‌های شدید بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دولایه غشاء حالت کروی به خود می‌گیرند و پراکسیداسیون چربی‌های غشاء باعث کاهش پایداری غشاء در سلول‌های گیاهی می‌شود. پایداری غشاهای سلولی نقش عمده‌ای در طی پسابیدگی گیاه دارند (Xu *et al*., 2011) و نشت الکترولیت‌ها یک شاخص مهم در تخمین میزان پایداری غشاء می‌باشد. در طی تنش نشت الکترولیت‌ها افزایش می‌یابد که بسته به میزان خسارت در رقم‌های متحمل در مرحله ترمیم، بازگشت پذیر می‌باشد (Xu *et al*., 2013). اندازه‌گیری محتوای آب نسبی در بافت برگ معمولا برای نشان دادن وضعیت

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

آب در گیاه بکار می‌رود و از این شاخص به‌طور گسترده در کمّی سازی کمبود آب در بافت برگ استفاده می‌شود. تنش خشکی منجر به کاهش محتوای آب نسبی در گیاه می‌شود (Xu *et al*., 2013; Guo *et al*., 2009).

فلورسانس کلروفیل یکی از مهم‌ترین معیارهای سنجش تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی در گیاهان زراعی بوده و برای تعیین میزان تحمل به تنش خشکی پیشنهاد شده است. هنگام مواجه شدن گیاهان با تنش‌های محیطی مانند خشکی و یا دمای پایین، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز، منجر به کاهش کارآیی کربوکسیلاسیون، کاهش سرعت باز سازی آنزیم روبیسکو، کاهش فراهمی دی اکسید کربن از روزنه‌ها و یا کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به خارج از سلول مزوفیل شده و در نتیجه باعث کاهش سرعت مصرف NADPH و ATP در چرخه کالوین می‌شود. این موضوع باعث کاهش سرعت انتقال الکترون، کاهش فلورسانس حداکثر (Fm)، کاهش فلورسانس متغییر (Fv) و کاهش Fv/Fm می‌شود (Maxwell and Johnson, 2000; Baker and Rosenqvist, 2004). کاهش این نسبت به معنی کاهش کارایی کوانتومی فتوسیستم دو در گیاه می‌باشد.

با توجه به اهمیت بررسی اثر تنش خشکی در مرحله رشد رویشی رقم‌های بومی برنج و مقایسه آن‌ها با ژنوتیپ‌های خارجی و از طرفی مشکلات ناشی از کمبود آب برای کشت برنج استان گیلان، هدف از انجام این آزمایش، بررسی اثر تنش خشکی روی برخی صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک ژنوتیپ‌های برنج و بررسی اثر محلول‌پاشی هورمون‌های ایندول استیک اسید و کاینتین در بهبود تحمل به تنش خشکی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل در ژنوتیپ‌های متحمل و حساس برنج بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به روش فاکتوریل با سه عامل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در بهار سال ۱۳۹۲ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد. عامل اول این آزمایش چهار ژنوتیپ برنج که سه رقم ایرانی شامل سپیدرود و خزر به‌عنوان رقم‌های اصلاح شده و غریب به‌عنوان یک رقم بومی ایرانی به همراه یک ژنوتیپ آپلند (IR83750-131-1) که بر مبنای نتایج آزمایش‌های صفائی‌چایکار و همکاران (Safaei Chaeikar *et al*., 2008) و ابرشهر و همکاران (Abarshahr *et al*., 2011) طوری انتخاب شدند که شامل تنوع کافی از ژنوتیپ‌های حساس (غریب و خزر) و متحمل (سپیدرود) به خشکی باشند. عامل دوم تنش خشکی با دو سطح بدون تنش وتنش خشکی با قطع آبیاری از مرحله اول (رشد گیاهچه) تا پایان مرحله چهار کدبندی ورگارا (Vergara, 1988) (آغازش خوشه تا غلاف دهی برگ پرچم) و عامل سوم نیز محلول پاشی هورمون در سه سطح، صفر (بدون هورمون پاشی)، هورمون ایندول استیک اسید (IAA) (Fluka 279023-1187) با غلظت $۵×۱۰^{-۵}$ مول و هورمون کاینتین (Sigma EC No.208-382-2) با غلظت $۵×۱۰^{-۵}$ مول بودند. بذرهای تهیه شده از موسسه تحقیقات برنج کشور، پس از ضدعفونی کردن با هیپوکلریت سدیم از منبع وایتکس تجاری دو درصد، به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد جوانه‌دار شدند. بذور جوانه‌دار شده به جعبه‌های نشاء منتقل و پس از ۲۰ روز نگهداری، گیاهچه‌های جوان در گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۶۰ و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر که با خاک مزرعه آزمایشی پر شده بودند، منتقل و سه گیاهچه در هر گلدان کشت شد. خاک آزمایش شامل ۵۶ درصد رس، ۳۴ درصد سیلت و ۱۰ درصد ماسه بوده و هدایت الکتریکی خاک نیز ۱۳۸/۴ میکروزیمنس بر متر بود. کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۵۰، ۲۵ و ۲۵

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

میلی‌گرم در کیلوگرم، به خاک افزوده شدند. پتانسیل آب خاک نیز با استفاده از منحنی رطوبتی خاک در حدود ۰/۸- مگاپاسکال حفظ شد (Sharma *et al.*, 2005). هورمون‌ها ۱۵ روز بعد از نشاکاری (در یک نوبت) و به میزان ۵۰ میلی لیتر (Ghorbani Javid *et al.*, 2011) روی تمامی گیاه محلول پاشی شدند. هورمون‌های مورد استفاده ۳- ایندول استیک اسید (Fluka 279023-1187) و کاینتین (Sigma EC No.208-382-2) بودند. جهت جلوگیری از تجزیه هورمون‌ها در اثر نور خورشید، اعمال تیمارهای هورمونی در هنگام غروب آفتاب انجام شد (Ghorbani Javid *et al.*, 2011). صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش عبارت بودند از: محتوای آب نسبی برگ (RWC)، عدد کلروفیل‌متر با استفاده از کلروفیل‌متر دستی (SPAD 502, Minolta, Japan)، تعداد روز از اعمال تنش تا شروع لوله‌ای شدن برگ (Days to leaf rolling)، شاخص لوله شدن برگ (Leaf rolling Index)، نمره خشک شدن برگ (Leaf drying score)، نشت الکترولیت‌ها (Electrolyte Leakage)، بازیابی خشکی (Drought Recovery)، تعداد پنجه‌ها و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و دمای برگ که با استفاده از دستگاه فلورسانس‌متر مدل Mini-Pam (Walz, Germany) (مدت سازگاری به تاریکی گیاه ۳۰ دقیقه بود)، اندازه‌گیری شدند. تعداد پنجه در بوته در ابتدای مرحله چهار کدبندی ورگارا و برای هر تیمار تعداد پنجه‌های پنج بوته شمارش شد.

درجه خشک شدن برگ بر اساس دستورالعمل ارزیابی استاندارد برنج (SES) انجام شد که عبارت بود از: صفر: بدون علائم، ۱: فقط نوک برگ‌ها سوخته، ۳: بیش از یک چهارم اکثر برگ‌ها سوخته، ۵: یک پنجم تا یک دوم همه برگ‌ها سوخته، ۷: بیش از دو سوم همه برگ‌ها سوخته و ۹: گیاه بطور کامل مرده باشد، شاخص لوله شدن برگ بر اساس دستورالعمل SES عبارت بود از: صفر: برگ‌ها سالم، ۱: V شکل خفیف، ۳: V شکل عمیق، ۵: بطور کامل U شکل، ۷: لبه‌های برگ به هم رسیده یا برگ به شکل مدور (O) شده باشد و ۹: برگ‌ها بطور کامل لوله شده) و بازیابی خشکی بر اساس دستورالعمل SES ، پس از اعمال تنش خشکی ۱۰ روز گیاه آبیاری شد و سپس میزان برگشت گیاه به حالت اول مورد بررسی قرار گرفت: ۱: ۹۰ تا ۱۰۰ درصد، ۳: ۷۰ تا ۸۹ درصد، ۵: ۴۰ تا ۶۹ درصد، ۷: ۲۰ تا ۳۹ درصد و ۹: صفر تا ۱۹ درصد. برای محاسبه میزان نشت الکترولیت‌ها، برگ‌ها به دقت شسته شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشکانده شدند و سپس نمونه‌هایی با ابعاد یک سانتی‌مترمربع تهیه شده و درون لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر قرار داده شدند. هدایت الکتریکی محلول (EL1) نمونه‌ها پس از تکان دادن تدریجی به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها اتوکلاو شده و مجدداً هدایت الکتریکی (EL2) آن‌ها قرائت شد. میزان نشت الکترولیت‌ها با استفاده رابطه زیر محاسبه شد (Molla *et al.*, 2006):

$$EL\ (\%) = (EL1/EL2) \times 100 \qquad (1)$$

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی با استفاده از نرم افزارهای SAS نسخه ۹/۱ و Minitab نسخه ۱۴ انجام شد. برای تجزیه صفات رتبه‌ای از تجزیه ناپارامتری فریدمن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل‌های ژنوتیپ، تنش خشکی و هورمون دارای اثر معنی داری بر محتوای آب نسبی بودند. آثار متقابل ژنوتیپ در تنش و تنش در هورمون نیز اثر معنی‌داری بر محتوای آب نسبی داشتند. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تنش نشان داد که بیشترین مقدار محتوای آب نسبی در رقم سپیدرود و در شرایط بدون تنش به میزان ۹۱/۸ درصد مشاهده شد که با سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

در شرایط بدون تنش اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار محتوای آب نسبی نیز به میزان ۳۴/۵ درصد متعلق به رقم غریب در شرایط تنش بود که با خزر در شرایط تنش تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۱). رقم سپیدرود در شرایط تنش تا حدود زیادی محتوای آب نسبی برگ بیشتری داشت. اگرچه همانند سایر ارقام در شرایط تنش، محتوای آب نسبی رقم سپیدرود نیز به مقدار قابل توجهی کاهش یافت، اما این رقم با تحمل بیشتر به شرایط تنش ایجاد شده در مقابل پسابیدگی تحمل کرده و آب برگ‌های آن به مقدار بیشتری حفظ شد. به طور کلی ژنوتیپ‌های سپیدرود و آپلند دارای محتوای آب نسبی بیشتری در شرایط تنش نسبت به ارقام غریب و خزر بودند. احتمالاً عدم کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها می‌تواند منجر به اتلاف آب و در نتیجه کاهش محتوای آب نسبی برگ در برنج شود. ارقامی که دارای تحمل بیشتری در مقابل تنش می‌باشند، با کنترل ورود و خروج آب می‌توانند تنش را بهتر تحمل کنند، اما ارقامی که در شرایط تنش روزنه‌های آن‌ها بسته نشود، آب بیشتری را از دست داده و به همین دلیل محتوای آب نسبی برگ آن‌ها کاهش بیشتری می‌یابد. کاهش محتوای آب نسبی برگ در طی تنش باعث کاهش مقدار فتوسنتز و ناپایداری غشاء در برنج می‌شود (Deivanai *et al*., 2010). سایر محققان نیز گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش محتوای آب نسبی گیاه شد (Guo *et al*., 2009; Xu *et al*.,2013). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش در هورمون نیز نشان داد که محلول پاشی هر دو هورمون هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش باعث حفظ آب بیشتری در برگ‌ها حفظ شد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار محتوای آب نسبی در شرایط بدون تنش و با مصرف هر دو هورمون و کمترین مقدار آن در شرایط تنش و بدون استفاده از هورمون مشاهده شد و اگرچه تنش خشکی محتوای آب نسبی را کاهش داد، اما میزان کاهش محتوای آب نسبی در شرایطی که از هورمون‌های IAA و کاینتین استفاده شده، کمتر از زمانی بود که از هورمون استفاده نشد. مشخص شده که هورمون‌های IAA و کاینتین (Sakakibara, 2006) در تحمل تنش غیر زنده در گیاه موثر می‌باشند. همچنین مشخص شده که هورمون IAA با تاثیر بر جذب مقدار آب در گیاه سبب افزایش مقدار محتوای آب نسبی در گیاه شد (Normanly, 2010).

نتایج تجزیه واریانس برای عددکلروفیل‌متر نشان داد که به‌جز اثر متقابل سه جانبه ژنوتیپ در تنش در هورمون و دوجانبه تنش در هورمون، سایر آثار اصلی و متقابل دارای اثر معنی‌داری بر میزان سبزینگی برگ بودند. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تنش نشان داد که بیشترین میزان سبزینگی برگ متعلق به ژنوتیپ آپلند در شرایط بدون تنش به میزان ۴۷/۱ بود که با رقم خزر در شرایط بدون تنش تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۱). کمترین مقدار عدد کلروفیل‌متر نیز متعلق به رقم غریب در شرایط تنش خشکی بود. علی رغم وجود اختلاف عدد کلروفیل‌متر میان ژنوتیپ‌های برنج مورد آزمایش، تنش خشکی نیز منجر به کاهش عدد کلروفیل‌متر نسبت به شرایط بدون تنش شد، اما میان سه ژنوتیپ آپلند، خزر و سپیدرود از نظر عدد کلروفیل‌متر در شرایط تنش خشکی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی در رقم غریب در شرایط تنش خشکی، سبزینگی برگ به میزان زیادی کاهش یافت. برخی از محققان نیز گزارش نمودند که تحت تنش خشکی عدد کلروفیل‌متر کاهش می‌یابد (Mamnoei and Seyed Guo *et al*., 2009 ; Sharifi, 2010). تنش خشکی در رقم‌های حساس به تنش نسبت به رقم‌های متحمل کاهش بیشتری از لحاظ عدد کلروفیل‌متر در مقایسه با شرایط آبیاری کامل باعث می‌شود (O'Tool, 2004). بوکو و همکاران (Bocco *et al*., 2012) گزارش نمودند که اگر ژنوتیپی تحت تنش خشکی به‌طور نسبی فعالیت فتوسنتزی ثابتی داشته باشد، و به‌عبارت دیگر سبزینگی برگ خود را حفظ کند، می‌توان فرض نمود

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تنش برای صفات گیاهی ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی

Table 1. Mean comparison of interaction effect of genotype × stress for plant characteristics of rice genotypes in drought stress condition

Treatments	تیمارهای آزمایشی	روز تا لوله شدن برگ Days to leaf rolling	نشت الکترولیت EL (%)	تعداد پنجه No. of tillers	عدد کلروفیل‌متر SPAD	محتوای آب نسبی RWC (%)
Gharib× non stress	غریب × بدون تنش	0.0c	17.5c	13.1b	43.1b	90.4a
Gharib× Stress	غریب × تنش	9.3b	31.2a	6.3c	30.6d	34.5d
Upland×non stress	آپلند × بدون تنش	0.0c	16.4c	17.1a	47.1a	89.5a
Upland× Stress	آپلند × تنش	16.5a	27.6b	12.3b	37.1c	43.2c
Khazar× non stress	خزر × بدون تنش	0.0c	16.5c	15.7a	45.4ab	90.7a
Khazar × Stress	خزر × تنش	9.6b	28.3b	7.2c	35.9c	36.7d
Sepidrood× non stress	سپیدرود × بدون تنش	0.0c	16.3c	16.5a	42.9b	91.8a
Sepidrood × Stress	سپیدرود × تنش	16.1a	27.8b	12.7b	38.1c	46.3b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly difference at 1% probability level, using Tukey's test

که برخی از شکل‌های تحمل در فرایند فتوسنتز تحت تنش خشکی مثل حفظ پتانسیل فشاری در اثر تنظیم اسمزی و یا حفظ پتانسیل آب بالا را دارا می‌باشد. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در هورمون نشان داد که اگرچه استفاده از هر دو هورمون ایندول استیک اسید و کاینتین موجب شد، سبزینگی برگ‌ها در هر چهار ژنوتیپ مورد مطالعه افزایش یابد، اما این افزایش فقط در رقم غریب نسبت به شرایط عدم استفاده از هورمون معنی دار بود و در سه ژنوتیپ دیگر تفاوت معنی‌داری بین عدد کلروفیل‌متر در شرایط بدون استفاده از هورمون و کاربرد هر دو هورمون مشاهده نشد (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه آثار اصلی و متقابل بر دمای برگ دارای اثر معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌جانبه ژنوتیپ در تنش در هورمون نشان داد که بیشترین دمای برگ (۳۶/۲ درجه سانتیگراد) متعلق به رقم غریب و بدون محلول پاشی هورمون در شرایط تنش بود و با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری بود. چنانکه ملاحظه می‌شود، محلول پاشی هر دو نوع هورمون نیز منجر به کاهش دمای برگ در همه ژنوتیپ‌ها هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش خشکی شد. به‌عبارت دیگر اعمال تنش خشکی در تمامی ژنوتیپ‌های برنج دمای برگ را افزایش داد، اما محلول پاشی هورمون موجب شد که برگ‌ها در مقابل افزایش دما تحمل بیشتری نشان داده و این موضوع باعث تعدیل دمای برگ شد (جدول ۵). تنش خشکی منجر به بسته شدن روزنه‌ها شده، در نتیجه میزان تعرق گیاه که یکی از مهم‌ترین راه‌های کاهش دما می‌باشد به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. بنابراین به نظر می‌رسد که محلول پاشی هورمون‌های رشد باعث باز شدن روزنه‌ها شده و در نتیجه تعرق افزایش یافته و دمای برگ نیز کاهش یافته باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه آثار اصلی و متقابل به‌جز اثر متقابل سه جانبه ژنوتیپ در تنش در هورمون بر تعداد پنجه‌ها اثر معنی‌داری داشتند. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تنش نشان داد که بیشترین تعداد پنجه در ژنوتیپ آپلند، سپیدرود و خزر در شرایط بدون تنش تولید شد و کمترین مقدار آن نیز مربوط به رقم غریب در شرایط تنش بود (جدول ۲). در شرایط بدون تنش میان ژنوتیپ‌ها از نظر تعداد پنجه تفاوت وجود داشت، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های آپلند، سپیدرود و خزر به ترتیب با تعداد ۱۷/۱، ۱۶/۵ و ۱۵/۷ عدد پنجه در بوته دارای بیشترین تعداد پنجه بودند و برای رقم غریب این تعداد ۱۳/۱ عدد پنجه در بوته بود.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

اعمال تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار تعداد پنجه‌ها در تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد، اما این کاهش در ژنوتیپ‌های آپلند و سپیدرود به ترتیب با ۲۸/۱ و ۲۳/۱ درصد، نسبت به رقم‌های غریب و خزر به ترتیب با ۵۱/۹ و ۵۴/۱ درصد، کمتر بود. پیردشتی و همکاران (Pirdashti *et al*., 2004) و کاموشیتا و همکاران (Kamoshita *et al*., 2004) نیز گزارش نمودند که تنش خشکی منجر به کاهش تعداد پنجه در ارقام برنج می‌شود. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در هورمون نیز نشان داد که بیشترین تعداد پنجه از رقم سپیدرود و محلول پاشی IAA به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای سپیدرود در کاینتین، خزر در IAA و آپلند در هر سه سطح هورمونی نداشت (جدول ۳). هورمون‌های IAA و کاینتین در همه ژنوتیپ‌های برنج مورد آزمایش منجر به افزایش تعداد پنجه شدند و تفاوت معنی‌داری با تیمارهای بدون محلول پاشی هورمون داشتند. این دو هورمون به دلیل افزایش شاخساره از طریق افزایش تعداد پنجه‌ها منجر به افزایش رشد رویشی می‌شوند (Zahir *et al*., 2001; Normanly, 2010). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش در هورمون نیز نشان داد که تنش خشکی در زمانیکه هیچ هورمونی استفاده نشد، منجر به تولید کمترین تعداد پنجه به تعداد ۷/۳ عدد در بوته شد، در حالی‌که استفاده از هورمون‌های IAA و کاینتین منجر به تعدیل اثر تنش خشکی و افزایش تعداد پنجه در ارقام مورد مطالعه شد (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل‌های مورد ارزیابی دارای اثر معنی‌داری بر نشت الکترولیت‌ها بودند. همچنین آثار متقابل ژنوتیپ در تنش و تنش در هورمون نیز دارای اثر معنی‌دار بر نشت الکترولیت‌ها بودند. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تنش نشان داد که بیشترین نشت الکترولیت‌ها در رقم غریب در شرایط تنش به میزان ۳۱/۲ درصد اتفاق افتاد که با تمامی تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری داشت. کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها نیز در تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۱). تنش خشکی احتمالاً به دلیل تخریب غشاء فسفولیپیدی سلول‌ها و یا تغییر میزان سیالیت غشا از طریق افزایش دمای ناشی از بسته شدن روزنه‌ها منجر به افزایش نشت الکترولیت‌ها در همه ژنوتیپ‌ها شد. این در حالی بود که تنش خشکی در ژنوتیپ‌های سپیدرود و آپلند میزان نشت الکترولیت‌ها را در شرایط تنش نسبت به ارقام غریب و خزر کمتر افزایش داد. از طرف دیگر تنش خشکی در ارقام غریب و خزر احتمالاً به دلیل پلاسمولیز یا سیتوریز منجر به تخریب غشاء شده و در نتیجه محتویات سلولی (الکترولیت‌ها) به بیرون نشت نمودند. به نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌های سپیدرود و آپلند به دلیل تحمل بیشتر در برابر از هم گسیختگی غشاء آسیب کمتری دیده و در نتیجه میزان نشت الکترولیت‌ها کمتری در آنها مشاهده شد. نتایج بدست آمده با نتایج ژو و همکاران (Xu *et al*., 2013) مطابقت داشت.

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش در هورمون نیز نشان داد که در شرایط بدون تنش تفاوت معنی‌داری میان سطوح هورمون (عدم مصرف هورمون و محلول‌پاشی هر دو نوع هورمون از نظر نشت الکترولیت‌ها وجود نداشت، اما در شرایط تنش خشکی، استفاده از هورمون موجب کاهش معنی‌دار نشت الکترولیت شد، به‌طوریکه تنش خشکی به‌طور معنی‌داری نشت الکترولیت‌ها را در ژنوتیپ‌های برنج افزایش داد، اما محلول‌پاشی هر دو نوع هورمون تحمل غشاءهای سلولی این ژنوتیپ‌ها را در مقابل پلاسمولیز و سیالیت افزایش داده و منجر به کاهش معنی‌دار نشت الکترولیت‌ها به خارج سلولی شد. بیشترین میزان نشت الکترولیت‌ها در شرایط تنش و بدون محلول‌پاشی هورمون مشاهده شد که استفاده از هورمون‌های IAA و کاینتین موجب کاهش نشت الکترولیت‌ها و تعدیل اثر تنش خشکی شد. هرچند که میزان نشت الکترولیت‌ها در شرایط بدون تنش در هر

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات گیاهی ژنوتیپ‌های برنج در اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و محلول‌پاشی IAA و کاینتین

Table 2. Mean comparison of plant characteristics of rice genotypes in interaction effects of drought stress and IAA and Kin application treatment

Treatments	تیمارهای آزمایشی	محتوای آب نسبی RWC (%)	تعداد پنجه No. of tillers	نشت الکترولیت EL (%)	روز تا لوله شدن برگ Days to leaf rolling
Non stress × IAA	بدون تنش × IAA	92.4a	16.4a	16.1c	0.0c
Non stress × Kin	بدون تنش × Kin	90.7a	15.9ab	16.5c	0.0c
Non stress × Non Hormone	بدون تنش × بدون هورمون	88.5b	14.6b	17.6c	0.0c
Stress × IAA	تنش × IAA	43.7c	12.1c	26.6b	14.5a
Stress × Kin	تنش × Kin	42.5c	11.5c	27.6b	14.2a
Stress × Non Hormone	تنش × بدون هورمون	34.3d	7.3d	32.1a	10.5b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly difference at 1% probability level, using Tukey's test

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات گیاهی ژنوتیپ‌های برنج در اثر متقابل تیمارهای ژنوتیپ‌ها و محلول‌پاشی IAA و کاینتین

Table 3. Mean comparison of plant characteristics of rice genotypes in interaction effects of genotypes and IAA and Kin application treatment

Treatments	تیمارهای آزمایشی	عدد کلروفیل‌متر SPAD	تعداد پنجه No. of tillers
Gharib × IAA	غریب × IAA	39.7b-d	12.2d-f
Ghari × Kin	غریب × Kin	38.1d	11.6ef
Gharib × Non hormone	غریب × بدون هورمون	32.8e	7.3g
Upland × IAA	آپلند × IAA	43.2a	15.3ab
Upland × Kin	آپلند × Kin	42.4ab	15a-c
Upland × Non hormone	آپلند × بدون هورمون	40.5a-d	13.8a-d
Khazar × IAA	خزر × IAA	41.9a-c	13.7a-e
Khazar × Kin	خزر × Kin	41.3a-d	13.2b-e
Khazar × Non hormone	خزر × بدون هورمون	38.7cd	9.5f
Sepidrood × IAA	سپیدرود × IAA	41.9a-c	15.8a
Sepidrood × Kin	سپیدرود × Kin	40.9a-d	14.8a-c
Sepidrood × non hormone	سپیدرود × بدون هورمون	38.5cd	13.1c-e

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly difference at 1% probability level, using Tukey's test

سه سطح هورمونی، کمترین میزان را داشت (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس برای صفت روز تا لوله شدن برگ نشان داد که به غیر از اثر متقابل ژنوتیپ در هورمون و ژنوتیپ در تنش در هورمون، سایر آثار اصلی و متقابل میان عامل‌ها اثر معنی‌داری بر این صفت داشتند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تنش نشان داد که دو ژنوتیپ سپیدرود و آپلند به ترتیب با ۱۶/۱ و ۱۶/۵ روز، دیرتر از رقم‌های خزر و غریب تحت تنش خشکی، دچار لوله شدن برگ شدند و در مقابل رقم‌های غریب و خزر به ترتیب با ۹/۳ و ۹/۶ روز خیلی سریعتر لوله‌ای شدن برگ‌ها را نشان دادند. در شرایط بدون تنش در هر چهار ژنوتیپ مورد مطالعه لوله‌ای شدن برگ‌ها مشاهده نشد (جدول ۱). گیاهانی که به تنش خشکی حساسیت بیشتری دارند، به دلیل از دست دادن آب و به‌دنبال آن پلاسمولیز سلول‌ها، دچار لوله شدن برگ‌ها می‌شوند و اولین نشانه تنش خشکی

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

در گیاه لوله شدن برگ و خشک شدن نوک برگ‌ها می‌باشد که به دلیل کاهش فشار آماس در گیاه به وجود می‌آید (Zinolabedin *et al*., 2008) ، زیرا در گیاهان علفی یکی از عوامل اصلی پایداری فیزیکی گیاهان وجود فشار آماس در سلول‌های گیاه می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین برای اثر متقابل تنش در هورمون نیز نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار تعداد روز تا لوله شدن برگ‌ها شد. به‌عبارت دیگر، تنش خشکی باعث شد که برگ‌ها در هر چهار ژنوتیپ مورد ارزیابی زودتر لوله‌ای شوند، اما محلول‌پاشی هر دو نوع هورمون منجر به تعدیل اثر تنش خشکی و تاخیر زمان لوله‌ای شدن برگ‌ها شد (جدول ۲). این تاخیر انداختن احتمالاً به دلیل حفظ شرایط طبیعی گیاه با محلول‌پاشی این دو هورمون بود، زیرا این دو هورمون منجر به افزایش محتوای آب نسبی در گیاه از طریق افزایش مقدار جذب آب از ریشه شده و در نتیجه فشار آماس در گیاه به صورت تعادل در آمده و از لوله شدن برگ جلوگیری می‌کنند (Normanly, 2010).

نتایج آزمون ناپارامتریک برای صفات رتبه‌ای (نمره خشک شدن برگ، شاخص لوله شدن برگ و بازیابی خشکی) نشان داد که مقدار کای‌اسکوئر برای کلیه صفات معنی‌دار بود. به‌عبارت دیگر میان ترکیب‌های تیماری حاصل از ژنوتیپ در تنش در هورمون اختلاف معنی‌داری وجود داشت.

مقایسه میانگین‌ها برای صفت نمره خشک شدن برگ نشان داد که در تیمارهای بون تنش خشک شدن برگ رخ نداد، ولی در شرایط تنش بسته به حساسیت ژنوتیپ به تنش خشکی، نمره برگ خشک شده افزایش یافت (جدول ۴). رقم‌های خزر و غریب نمره خشک شدن برگ بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های سپیدرود و آپلند داشتند. بیشترین نمره مربوط به رقم غریب در شرایط تنش خشکی بدون محلول‌پاشی هورمون (رتبه ۷) بود (جدول ۴). میانگین حاصل از سه تکرار برای شاخص لوله شدن برگ نیز نشان داد که رقم‌های خزر و غریب رتبه بالاتری نسبت به ژنوتیپ‌های سپیدرود و آپلند داشتند و محلول‌پاشی هورمون‌های IAA و کاینتین منجر به کاهش این رتبه در همه ژنوتیپ‌ها شد، در حالیکه تنش خشکی این رتبه را افزایش داد در همین ارتباط نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (Yue *et al*., 2006). به‌طور کلی بیشترین رتبه مربوط به رقم غریب در شرایط تنش خشکی و بدون محلول‌پاشی هورمون (رتبه ۹) بود. نتایج زین‌العابدین و همکاران (Zinolabedin *et al*., 2008) نیز نشان داد که تنش خشکی منجر به افزایش رتبه خشک شدن برگ در گیاه برنج شد. بررسی میزان بازیابی بعد از رفع تنش خشکی نشان داد که هورمون‌های محلول‌پاشی شده در این آزمایش منجر به بهبود بازیابی ژنوتیپ‌ها شدند. دو رقم غریب و خزر بازگشت کمتری به حالت اول از خود نشان دادند، ولی در ژنوتیپ‌های سپیدرود و آپلند در زمان ۱۰روز پس از بازگشت به شرایط عادی، بخش اعظمی از خسارت‌های وارده ترمیم شد. نتایج این آزمایش نشان داد که ژنوتیپ‌های سپیدرود و آپلند بازیابی خشکی بیشتری نسبت به رقم‌های غریب و خزر داشتند و از این رو احتمالاً می‌توانند به‌عنوان متحمل به تنش خشکی درنظر گرفته شوند. محلول‌پاشی هورمون‌های IAA و کاینتین نقش مهمی در افزایش تحمل به تنش خشکی در گیاه برنج داشته و منجر به تاخیر اثر تنش خشکی به گیاه و یا تعدیل اثر این تنش شده و در بهبود گیاه و بازگشت آن به شرایط عادی نیز موثر بودند. با توجه به اینکه خشک شدن برگ به دلیل شدت کاهش محتوای آب نسبی برگ می‌شود، این دو هورمون با تاثیر مثبت بر محتوای آب نسبی از خشک شدن برگ جلوگیری کردند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه آثار اصلی و متقابل اثر معنی‌داری بر حداقل فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی (F0) داشتند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبه نشان داد که بیشترین مقدار F0 متعلق به ترکیب تیماری خزر در شرایط بدون تنش

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تنش در هورمون‌های IAA و کاینتین برصفات گیاهی و مولفه‌های فلورسانس ژنوتیپ‌های برنج

Table 4. Mean comparison of genotype × drought stress × hormone on plant characteristics fluorescence parameters of rice genotypes

Treatments تیمارهای آزمایشی	امتیاز خشک شدن برگ Leaf drying score	شاخص لوله شدن برگ Leaf rolling index	بازیابی خشکی Drought recovery	دمای برگ Leaf temp. (ºc)	F0	Fm	Fv	Fv/Fm
Upland × Non stress × Non hormone	0.0	0.0	1.0	30.2fg	456g	1977.3o	1521.3l	0.76c
Upland × Non stress × IAA	0.0	0.0	1.0	29.2g	475f	2091l	1616j	0.77c
Upland × Non stress × Kin	0.0	0.0	1.0	30.2fg	472f	2076m	1604. 3j	0.77c
Upland × Stress × Non hormone	3.0	5.0	3.0	32.2cd	421.6k	1460s	1039o	0.71d
Upland × Stress × IAA	1.0	1.6	1.0	31.2d-f	452gh	1841p	1389m	0.75c
Upland × Stress × Kin	1.0	3.0	1.6	31.2 ef	437ij	1733q	1296.3n	0.74c
Sepidrood × Non stress × Non hormone	0.0	0.0	1.0	30.2fg	509cd	2420i	1911f	0.78c
Sepidrood × Non stress × IAA	0.0	0.0	1.0	29.2g	520.6b	2529f	2008d	0.79c
Sepidrood × Non stress × Kin	0.0	0.0	1.0	29.2g	518bc	2492h	1974e	0.79c
Sepidrood × Stress × Non hormone	3.0	5.6	3.0	31.7de	470f	2010n	1540k	0.76c
Sepidrood × Stress × IAA	1.0	2.3	1.0	30.2fg	496.6e	2352j	1856g	0.78c
Sepidrood × Stress × Kin	1.6	2.3	2.3	31.2ef	490e	2321k	1831h	0.78c
Gharib × Non stress × Non hormone	0.0	0.0	1.0	30.2fg	507d	2507g	2000d	0.79c
Gharib × Non stress × IAA	0.0	0.0	1.0	29.2g	521.6a	2843.3a	2319.8a	0.81b
Gharib × Non stress × Kin	0.0	0.0	1.0	29.2g	514b-d	2803b	2289b	0.81a
Gharib × Stress × Non hormone	7.0	9.0	7.0	36.2a	422.6k	1223w	801s	0.65h
Gharib × Stress × IAA	4.3	5.6	5.0	33.2bc	451gh	1442t	991.3p	0.68e
Gharib × Stress × Kin	5.0	5.0	4.3	34.2b	445hi	1405v	960q	0.68ef
Khazar × Non stress × Non hormone	0.0	0.0	1.0	30.2fg	510cd	2555d	1745i	0.77c
Khazar × Non stress × IAA	0.0	0.0	1.0	29.2g	541.6a	2626c	2084c	0.73c
Khazar × Non stress × Kin	0.0	0.0	1.0	29.2g	542.6a	2550e	2007.5d	0.78c
Khazar × Stress × Non hormone	5.6	9.0	7.0	35.2a	433j	1222w	789s	0.64i
Khazar × Stress × IAA	3.0	6.3	4.3	33.2bc	454gh	1421.6t	967.5q	0.68f
Khazar × Stress × Kin	3.6	6.3	5.0	34.2b	448gh	1375.6v	927.5r	0.67g

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly difference at 1% probability level, using Tukey's test

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

در تیمار محلول‌پاشی IAA به میزان ۵۴۲/۶ بود که با تیمار خزر در آبیاری کامل در هورمون Kin تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). با اعمال تنش، مقدار F0 کاهش یافت، ولی با محلول‌پاشی هورمون‌های IAA و کاینتین میزان F0 افزایش یافت (جدول ۴). ممنوعی و سیدشریفی (Mamnoei and Seyed Sharifi, 2010) نیز گزارش نمودند که تنش خشکی منجر به کاهش میزان F0 در ژنوتیپ‌های جو شد. نتایج این آزمایش نشان دادند که اعمال تنش خشکی مقدار F0 را کاهش می‌دهد، اما هورمون‌های IAA و Kin توانستند تا حدودی زیادی کاهش F0 را تعدیل کنند.

نتایج تجزیه واریانس برای فلورسانس حداکثر در برگ سازگار شده با تاریکی (Fm) نشان داد که همه آثار اصلی و متقابل دارای اثر معنی‌داری بر این پارامتر بودند. مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبه نشان داد که تنش خشکی اثر منفی بر این پارامتر داشته و منجر به کاهش Fm شد. همچنین محلول‌پاشی هورمون‌های IAA و Kin در هر دو شرایط بدون تنش و تنش مقدار Fm را افزایش داد (جدول ۴). کمترین مقدار Fm مربوط به ترکیب تیماری خزر در شرایط تنش خشکی بدون محلول‌پاشی هورمون و به میزان ۱۲۲۲ بود که با تیمار غریب در تنش خشکی بدون محلول‌پاشی هورمون تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین مقدار Fm نیز به تیمار غریب در شرایط بدون تنش و محلول‌پاشی هورمون IAA تعلق داشت (جدول ۴). بالاتر بودن مقدار Fm نشان دهنده حداکثر حالت احیاء شده کوئینون A و بسته بودن مراکز واکنش می‌باشند. ممنوعی و سیدشریفی (Mamnoei and Seyed Sharifi, 2010) نیز گزارش نمودند که تنش خشکی منجر به کاهش Fm در ژنوتیپ‌های جو شد.

نتایج تجزیه واریانس برای حداکثر کارایی کوآنتومی فتوسیستم دو (Fv/Fm) نیز نشان داد که همه آثار اصلی و متقابل دارای اثر معنی‌دار بر این پارامتر بودند. بیشترین مقدار این نسبت از ترکیب تیماری غریب در شرایط بدون تنش و محلول‌پاشی هورمون IAA به میزان ۰/۸۱ بدست آمد (جدول ۴). Fv/Fm یا حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو یا کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو نشان دهنده حداکثر کارایی در جذب نور توسط کمپلکس‌های جمع کننده نوری فتوسیستم دو می‌باشد. تنش خشکی به دلیل کاهش Fm و همچنین کاهش خفیف‌تر Fv منجر به کاهش حداکثر عملکرد کوانتومی یا کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو شد. محلول‌پاشی هورمون منجر به بهبود شرایط حیاتی گیاه شده و در نتیجه میزان این نسبت را افزایش داد. گزارش شده است که در شرایط تنش نسبت Fv/Fm کاهش می‌یابد (Perez *et al*., 2007). Fv/Fm بطور گسترده در تعیین آشفتگی‌های ناشی از تنش در دستگاه فتوسنتزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاهش در این نسبت می‌تواند به دلیل توسعه آهسته فرایندهای خاموشی فتوشیمیایی و آسیب نوری به مراکز واکنش باشد که هردوی آنها حداکثر کارایی کوانتومی فتوشیمیایی فتوسیستم دو را کاهش می‌دهند (Baker and Rosenqvist, 2004).

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که گیاه برنج در مرحله گیاهچه‌ای به تنش خشکی حساس بوده و تنش خشکی بر صفات گیاهی اندازه‌گیری شده دارای اثرات منفی بود. تنش خشکی سبب کاهش رشد رویشی و کاهش تعداد پنجه در همه ژنوتیپ‌ها شد. در طی اعمال تنش، میزان آب قابل دسترس برای گیاه در خاک کاهش یافت و این موضوع باعث کاهش توانایی گیاه در جذب آب شده و در نتیجه تعادل آبی در گیاه از بین رفته و محتوای آب نسبی برگ در گیاه به شدت کاهش یافت. عدم جذب آب کافی در گیاه از یک طرف و از دست دادن آب توسط روزنه‌ها از طرف دیگر باعث کاهش مقدار آب در گیاه شد. کاهش محتوای آب نسبی سبب کاهش فشار آماس در گیاه

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

شد، که منجر به لوله شدن برگ شد که در ارقام حساس، خشک شدن برگ نیز رخ داد. کم شدن مقدار آب در داخل بافت‌های گیاهی سبب از بین رفتن و همچنین جلوگیری از سنتز کلروفیل شده و در نتیجه مقدار سبزینگی برگ نیز کاهش یافت. کاهش میزان سبزینگی برگ نیز منجر به کاهش میزان کارآیی کوانتومی فتوسیستم دو شد. کاهش محتوای آب نسبی سبب بسته شدن روزنه‌ها شد، درنتیجه خروج آب از گیاه برای کاهش دمای گیاه متوقف شد. کاهش آب در گیاه از یک طرف و افزایش دمای درون گیاه از طرف دیگر، سیالیت غشاء را نیز تحت تاثیر قرار داده و در نتیجه میزان نشت الکترولیت‌ها را به بیرون از سیتوپلاسم افزایش داد. هرچند که نشت الکترولیت‌ها در ژنوتیپ‌های متحمل، قابلیت ترمیم و بهبود را دارا بود، ولی هیچکدام از ژنوتیپ‌ها بازیابی کاملی نداشتند، ولی با محلول‌پاشی هورمون‌های IAA و کاینتین، میزان تاثیر منفی تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کاهش یافت. ارزیابی مولفه‌های فلورسانس کلروفیل نیز نشان داد که ارقام غریب و خزر حساسیت بیشتری به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای داشتند. نتایج نشان داد که هورمون IAA و ژنوتیپ آپلند در شرایط تنش خشکی نسبت به سایر تیمارهای مورد بررسی، بهترین نتیجه را دارا بود. به‌طور کلی ژنوتیپ‌های آپلند و سپیدرود بر خلاف غریب و خزر، متحمل به تنش خشکی شناخته شدند و استفاده از هورمون‌های رشد منجر به بهبود شرایط رشد آنها شد. هرچند که استفاده از هورمون‌های IAA و کاینتین باعث بهبود شرایط رشد در ارقام حساس شد. ولی این ارقام نسبت به آپلند و سپیدرود از قدرت بازیابی کمتری برخوردار بودند.

منابع مورد استفاده

References

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

Baker, N. R. and E. Rosenqvist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. J. Exp. Bot. 55: 1607-1621.

Bocco, R., M. Lorieux, P. A. Seck, K. Futakuchi, B. Manneh, H. Baimey and M. N. Ndjiondjop. 2012. Agro-morphological characterization of a population of introgression lines derived from crosses between IR 64 (*Oryza sativa* Indica) and TOG 5681 (*Oryza glaberrima*) for drought tolerance. Plant Sci. 183: 65–76.

Deivanai, S., S. Sheela Devi and R. P. Sharmmil. 2010. Physiochemical traits as potential indicators for determining drought tolerance during active tillering stage in rice (*Oryza sativa* L.). Pertanika J. Trop. Agric. Sci. 33(1): 61-70.

Farooq, M., A. Wahid, S. M. A. Basra and I. D. Din. 2009. Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. J. Agron. Crop Sci. 195: 262–269.

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

Guo, P., M. Baum, S. Grando, S. Ceccarelli, G. Bai, R. Li, M. von Korff, R. K. Varshney, A. Graner and J. Valkoun. 2009. Differentially expressed genes between drought-tolerant and drought-sensitive barley

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

genotypes in response to drought stress during the reproductive stage. J. Exp. Bot. 60: 3531–3544.

Kamoshita, A., R. Chandra Babu, N. Manikanda Boopathi and S. Fukai. 2008. Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments. Field Crops Res. 109: 1–23

Kamoshita, A., R. Rodriguez, A. Yamauchi and L. J. Wade. 2004. Genotypic variation in response of rainfed lowland rice to prolonged drought and rewatering. Plant Prod. Sci. 7: 406–420.

Mamnoei, E and R. Seyed Sharifi. 2010. Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and it's relation with canopy temperature and yield. J. Plant Biol. 5: 51-62.

Maxwell, k. and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence- a practical guide. J. Exp. Bot. 345: 659-668.

Mirjalili, A. 2005. Plants in Stressfull Environments. Noorbakhsh Press. (In Persian).

Molla, S., P. Villar-Salvador, P. Garcı´a-Fayos and J. L. Pen˜uelas Rubira. 2006. Physiological and transplanting performance of *Quercus ilex* L. (holm oak) seedlings grown in nurseries with different winter conditions. Forest Ecol. Manage. 237: 218–226.

Normanly, J. 2010. Approaching cellular and molecular resolution of auxin biosynthesis and metabolism. Cold Spring Harbor Perspectives in Biol. 2: 1-18.

O'Toole, J. C. 2004. Rice and water: the final frontier, paper presented at the First International Conference on Rice for the Future. 31 August–2 September, Bangkok, Thailand.

Perez, J. G., J. P. Syvertsen, P. Botia and F. G. Sanchez. 2007. Leaf water relations and net gas exchange responses of salinized *Carrizo citrange* seedlings during drought stress and recovery. Ann. Bot. 100: 335–345.

Pirdashti, H., Z. Tahmasbi Sarvestani, G. Nematzadeh and A. Abdolbaghi. 2004. Effects of drought stress at vegetative stages of rice genotypes. 8th Iranian Crop Science Congress. 24-26 August, University of Guilan, Rasht, Iran (In Persian).

Rakwal, R., G. Kumar Agrawal, S. Tamogami, M. Yonekura, V. Prasad Agrawal and H. Iwahashi. 2003. Novel insight into kinetin-inducible stress responses in rice seedlings. Plant Physiol. Biochem. 41: 453–457.

Safaei Chaeikar, S., B. Rabiei, H. Samizadeh and M. Esfahani. 2008. Evaluation of tolerance to terminal drought stress inrice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Iran. J. Crop Sci. 9: 315-331. (In Persian with English abstract).

Sakakibara, H. 2006. Cytokinins: activity, biosynthesis and translocation. Annual Rev. Plant Biol. 57: 431–449.

Santner, A. and M. Estelle. 2009. Recent advances and emerging trends in plant hormone signaling. Nature. 459: 1071-1078.

Sharma, P. and R. S. Dubey. 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Reg. 46:209–221.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

Vergara, B. 1988. Growth stages of the rice plant (self test booklet). 2nd Edition. International Rice Research Inistitute. Los Banos, Laguna, Philippines. 42 pp.

Wu, N., Y. Guan and Y. Shi. 2011. Effect of water stress on physiological traits and yield in rice backcross lines after anthesis. Energy Procedia. 5: 255–260.

Xu, L. J. Yu, L. Han and B. Huang. 2013. Photosynthetic enzyme activities and gene expression associated with drought tolerance and post-drought recovery in Kentucky bluegrass. Environ. Exp. Bot. 89: 28– 35.

Xu, L., L. Han and B. Huang. 2011. Antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves of Kentucky bluegrass in response to drought and post-drought recovery. J. Am. Soc. Hort. Sci. 136: 247–255.

Xu, Z., G. Zhou and H. Shimizu. 2010. Plant responses to drought and rewatering. Plant Signal. Behav. 5: 649-654.

Yue, B., W. Xue, L. Xiong, X. Yu, L. Luo, K. Cui, D. Jin, Y. Xing and Q. Zhang. 2006. Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: Separation of drought tolerance from drought avoidance. Genetics, 172: 1213–1228.

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

Zinolabedin, T. S., P. Hemmatollah, A. M. Seyed, S. Modarres and B. Hamidreza. 2008. Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Pakistan J. Biol. Sci. 11: 1303–1309.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]

Effect of IAA and Kinetin application on plant characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in rice seedlings under drought stress condition

Salehifar. M.[1], B. Rabiei[2], M. Afshar Mohammadian[3] and J. Asghari[4]

ABSTRACT

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

To study the effect of IAA and Kinetin phytohormones on the improvement of drought tolerance in rice seedlings (*Oryza sativa* L.), an experiment was carried out as factorial experiment with three factors based in completely randomized design with three replications in Agricultural Science Faculty, University of Guilan, Rasht, Iran, in 2013. The experimental factors included: 1: four rice genotypes; Gharib, Khazar, Sepidrood and Upland (IR 83750-131-1), 2: drought stress condition; control (non-stress) and drought stress from 1 to 4 of Vergara coding system and 3: hormone in three levels; control (without hormone application), IAA (5×10^{-5} M) and Kinetin (5×10^{-5} M) as foliar application. Tiller No., day to leaf rolling, leaf temperature, relative water content, electrolyte leakage, SPAD value and chlorophyll fluorescence parameters were measured. Analysis of variance indicated that all studied traits were significantly affected by all experimental factors and their interactions. Sepidrood cultivar had the highest relative water content RWC in drought condition (46.3%). The lowest relative water content (34.5%) belonged to *cv*. Gharib in drought stress condition. Application of IAA in both control and drought stress conditions increased RWC to 92.4% and 43.7%, respectively. In non-stress condition, Upland cultivar had the highest relative chlorophyll content (47.1%). The lowest SPAD value (30.6) belonged to Gharib in drought stress condition. IAA and Kinetin hormones increased the leaf relative chlorophyll content in Gharib cultivar to 18% and 13.7%, respectively. Drought stress without hormone application increased electrolyte leakage (32.1%). The lowest electrolyte leakage (16.3%) was observed in Sepidrood cultivar in non-stress condition. The highest photosystem II quantum efficiency (Fv/Fm) was 0.81 which belonged to Khazar cultivar in non-stress condition and IAA application. Results of this experiment indicated that the application of IAA and Kinetin hormones improved the drought tolerance related traits in rice seedlings under drought stress conditions. IAA had more effective role than Kinetin in improving drought stress tolerance in rice seedlings. Also results indicated that the Upland and Sepidrood rice cultivars were more tolerant than Gharib and Khazar. Generally, upland cultivar was more responsive to IAA application under drought stress condition.

Key words: Electrolyte leakage, Leaf rolling index, Relative water content, Rice and SPAD.

Received: April, 2014 **Accepted: December, 2014**

1- PhD. Student , University of Guilan, Rasht, Iran (Corresponding author) (Email: Agri20000@yahoo.com)
2 and 4. Professor, University of Guilan, Rasht, Iran
3- Associate prof., University of Guilan, Rasht, Iran

[DOR: 20.1001.1.15625540.1393.16.4.3.4]