"مجله علوم زراعی ایران"
جلد دهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۷

اثر تنش شوری بر روابط آبی، تنظیم اسمزی، تسهیم و پراکنش یون‌های سدیم و پتاسیم در گیاهچه‌های دو ژنوتیپ برنج

Effect of salinity stress on water status, osmotic adjustment, and sodium and potassium compartmentations and distributions in seedlings of two rice genotypes

ایمان نعمتی[۱]، فواد مرادی[۲]، محمدعلی اسماعیلی[۳] و سمیه قلي زاده[۴]

چکیده

نعمتی، ا.، ف. مرادی، م.ع. اسماعیلی و س. قلی زاده. ۱۳۸۷. اثر تنش شوری بر روابط آبی، تنظیم اسمزی، تسهیم و پراکنش یون‌های سدیم و پتاسیم در گیاهچه‌های دو ژنوتیپ برنج. **مجله علوم زراعی ایران.** ۱۰(۲): ۱۶۴-۱۴۶.

به منظور بررسی اثر تنش شوری بر تسهیم، توزیع یون‌های سدیم و پتاسیم و میـزان تنظیـم اسـمزی در ارقـام حسـاس (IR29) و متحمل (IR651) به شوری برنج، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در پژوهشـکده بیوتکنولـوژی کـرج در سال ۱۳۸۵ اجرا شد. بذرهای ارقام متحمل و حساس به شوری در محیط کشت یوشیدا رشد داده شد و پس از توسعه کامـل ششـمین برگ، با دو غلظت ۰ و ۱۰۰ میلي‌مولار کلرور سدیم تیمار شدند. نمونه‌گیری از ریشه، غلاف برگ و برگ‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ به تفکیـک، در زمان‌های ۰، ۷۲، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۸۴ ساعت پس از اعمال تنش صورت گرفت و مولفه‌هایی نظیر ماده خشک هر جزء، میزان سـدیم و پتاسیم آنها اندازه‌گیری شد. مولفه‌های دیگری نظیر میزان آب نسبی، پتانسیل کل آب، پتانسیل اسمزی، تنظیم اسـمزی، قنـد کـل، کلسیم، کلر و منیزیم نیز تا زمان بروز علایم تنش در برگ ششم رقم حساس (۲۴۰ ساعت پس از اعمال تـنش) و فقـط در بـرگ ششـم اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش بیشتر وزن خشک کل در ژنوتیپ حسـاسIR29 نسـبت بـه ژنوتیـپ متحمل IR651 شد. تنش شوری تاثیری بر وزن خشک برگ‌های پیرتر نداشت، ولی سبب کاهش وزن خشک برگ ششم و ریشـه در هر دو ژنوتیپ گردید. ژنوتیپ متحمل توانست سدیم را در برگ‌های پیر خود تسـهیم نمـوده و از تجمـع زیـاد آن در بـرگ‌هـای جوان‌تر اجتناب نماید. تنش شوری باعث کاهش میزان غلظت پتاسیم در غلاف برگ و ریشه هـر دو ژنوتیـپ شـد، ولـی تـاثیری بـر غلظت آن در برگ‌ها، غیراز برگ ششم، نداشت. تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار پتانسیل اسمزی، پتانسیل کل آب و محتوای آب نسبي (RWC) در برگ ششم هر دو ژنوتیپ نیز شد. با این حال تنظیم اسمزی در ژنوتیپ متحمل بیش از ژنوتیپ حساس (به ترتیـب ۰/۲ MPa و ۰/۰۳) بود. علاوه بر آن تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار در غلظت، کلر و قنـدهای محلـول کـل و کـاهش غلظـت، کلسیم و منیزیم در برگ ششم ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد. این نتایج نشـان داد کـه ژنوتیـپ IR651 دارای سـازوکارهای کـاهش سرعت انتقال سدیم به برگ‌های جوان و تسهیم بیشتر سدیم در برگ‌های پیر گیاه می‌باشد، و بدین وسیله نه تنها از بروز خسـارت در برگ‌های جوان، فرصت کافی برای بروز سایر سازوکارهای تحمل به شوری در گیاه را فراهم می‌آورد. بنابراین به نظر مي رسد کـه مي‌توان از نحوه تسهیم سدیم در برگ‌ها و میزان تنظیم اسمزی، برای شناسایی لاین‌های متحمـل بـه تـنش شـوری در برنامـه‌هـای به‌نژادی برنج، استفاده نمود.

واژه های کلیدی: برنج، پتاسیم، تسهیم، **تنش شوری، تنظیم اسمزی، روابط آبی**، سدیم، **قندهای محلول**

تاریخ دریافت: ۱۳۸٦/۱۱/۲۱

۱- ایمان نعمتی، مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرمشهر
۲- استادیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی (مکاتبه کننده)
۳- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه مازندران
٤- مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرمشهر

مقدمه

نمک موجود در محلول خاک یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش دهنده عملکرد گیاهان زراعی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا است. در حدود ۲۰ درصد از کل زمین‌های زراعی و نیمی از زمین‌های تحت آبیاری دنیا، تحت تاثیر شوری قرار گرفته است (Husain *et al.*, 2004). جعفری (Jafari, 2000) معتقد است که سطح اراضی تحت تاثیر شوری در ایران ۲۳/۵ میلیون هکتار بوده که حدود ۱٤/۵ درصد از کل مساحت ایران را شامل می‌شود، اما مطالعات دقیق‌تر نشان می‌دهد که این مقدار بیشتر بوده و حدود ۲۷ میلیون هکتار از اراضی ایران به شدت های متفاوت تحت تاثیر خاک‌های شور و قلیایی هستند (Rezvani and Koocheki, 2001). شوری تاثیر چندجانبه‌ای بر گیاهان زراعی داشته و باعث بروز تنش اسمزی، سمیت یونی و اختلال در تعادل یونی می‌شود (Munns, *et al*., 2006). به طور کلی یک رابطه منفی بین غلظت سدیم در اندام هوایی گیاه و میزان رشد گیاهان وجود دارد، اما به دلیل وجود سازوکارهای مختلف موثر بر تجمع سدیم در اندام‌های هوایی گیاهان، این رابطه در تمام گونه‌های گیاهي مشابه نمي‌باشد (Tester and Dovenport, 2003). نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه نیز همواره به عنوان یک عامل مهم جهت تعیین میزان تحمل گیاه به شوری مورد استفاده قرار می گیرد (Song *et al.*, 2006). مرادی و همکاران (Moradi *et al.*, 2003) نشان دادند که تفاوت‌های ژنتیکی معنی‌داری بین ارقام و لاین‌های برنج از نظر تجمع سدیم و پتاسیم در اندام‌های مختلف گیاه وجود دارد. مرادی و اسماعیل (Moradi and Ismail, 2007) نشان دادند که برای ایجاد تحمل به تنش شوری در برنج، سازوکارهای فیزیولوژیکی متفاوتی از جمله تسهیم نمک در اندام‌های ساختاری، واکنش سریعتر روزنه به تنش شوری و تحمل به تنش اکسیداتیو بطور همزمان در یک لاین باید وجود داشته باشد.

انباشته شدن مواد محلول در پاسخ به تنش ناشی از نمک، در حقیقت واکنشی است که در قبال تنش آب ناشی از اختلاف موجود در پتانسیل‌های آب گیاه و محلول خاک بروز می کند (Hekmatshoar, 1993). تنظیم اسمزی از طریق تجمع یون‌ها بسیار سریعتر از ساختن محلول‌های سازگار صورت می گیرد (Lew, 1996)، بنابراین در طول تنظیم اسمزی، گیاهان مقادیر بالایی از انرژی متابولیکی خود را صرف جذب و تسهیم یون‌ها در درون سلول و ساختن محلول‌های سازگار می کنند. از این رو این فرایند برای بقای گیاه در شرایط شور و یا خشک ضروری می‌باشد (Lacerda *et al*., 2003).

هدف از این تحقیق یافتن رابطه بین تسهیم سدیم و پتاسیم در اندام‌های مختلف گیاهچه برنج و همچنین نحوه تجمع محلول‌های سازگار و تنظیم اسمزی در جوان‌ترین برگ گیاهچه‌های جوان برنج، در زمان بروز تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۸۵-۱۳۸٤ در گلخانه پژوهشکدهٔ بیوتکنولوژی کشاورزی (ABRII)[1] به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با دو ژنوتیپ حساس (IR29) و متحمل (IR651) در دو سطح شوری و چهار تکرار انجام گرفت. طرح آزمایشی برای مؤلفه‌هایی که فقط یک بار اندازه گیری شدند (مانند وزن خشک اندام‌ها) به صورت ساده (طرح فاکتوریل دو عاملی) و برای مؤلفه‌هایی که در چند زمان اندازه گیری شدند (میزان سدیم و پتاسیم)، عوامل زمان و اندام برداشت شده نیز به عنوان منبع تغییرات جدید به تجزیه واریانس وارد و به صورت

1- Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]

طرح فاکتوریل چهار عاملی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. کشت گیاهان در این آزمایش در ظروف پلاستیکی ۱۹ لیتری انجام شد. بطوری که بذور ابتدا در دمای ۳۳ درجه سانتی‌گراد جوانه‌دار شده، سپس به مدت سه روز در ظروف کاشت با آب مقطر قرار داده شدند تا بذور استقرار یابند. پس از این مدت، آب مقطر با محیط کشت یوشیدا جایگزین شد. محیط کشت یوشیدا هر ٤-٥ روز یکبار تعویض و pH محیط کشت هر روز صبح با استفاده از هیدروکسید پتاسیم و اسید کلریدریک ۱ نرمال در سطح ۵/۵ تنظیم شد. در طول اجرای آزمایش رطوبت نسبی محیط ۱۵±۷۰ درصد، دمای گلخانه ۲±۲۵/۳۲ (روز/شب) درجه سانتیگراد و میزان نور گلخانه نیز با شدت ۵۰±۷۵۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود که در زمان کمبود نور میزان مورد نیاز توسط لامپ تنگستن تامین شد. در مرحلهٔ رشد رویشی، زمانی که برگ ششم گیاه کامل گردید (حدودا ٤ هفته بعد از کاشت) شماره‌گذاری از پایین بوته انجام گردید، به‌طوری که پیرترین برگ شماره۳، و جوان‌ترین برگ شماره ٦ در نظر گرفته شد. در این زمان، گیاهچه‌های مورد مطالعه با دو سطح نمک کلرور سدیم، شامل صفر و ۱۰۰ میلی مولار تیمار گردیدند که نمک مذکور به همراه محلول غذایی به محیط ریشه اضافه شد. نمونه‌گیری‌ها برای ماده خشک اندام‌های مختلف و سدیم و پتاسیم در پنج مرحله شامل قبل از اعمال تیمار شوری (صفر) و ۷۲، ۱۲۰، ۲٤۰ و ۳۸٤ ساعت پس از اعمال تنش شوری و برای مولفه‌های تنظیم اسمزی در چهار مرحله (تا پیش از مرگ جوانترین برگ در رقم حساس IR29، تا ۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش) صورت گرفت.

در تمامی مراحل، نمونه‌های‌تر بلافاصله با ازت مایع منجمد شده و به فریزر ۸۰- درجه منتقل شدند و سایر نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ روز خشک شدند. کلیه اجزای مربوط به روابط آبی در برگ ششم اندازه‌گیری شد.

هضم نمونه‌ها به منظور اندازه‌گیری سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم با اسید سولفوریک ۹٦ درصد، آب اکسیژنه و پودر اسید سالسیلیک انجام شد (Emmami, 1996). جذب کاتیون پتاسیم وسدیم با استفاده از دستگاه نشر شعله‌ای[1] (مدل Corning-410, USA) خوانده شد. به منظور سنجش غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم از دستگاه جذب اتمی[2] مدل (Perkin Elmer 3110, USA) استفاده شد. برای اندازه‌گیری یون کلر، نمونه‌ها با استفاده از آب مقطر هضم شد و با دستگاه اندازه گیری یون (Methrom, Switzerland) غلظت یون کلر برآورد شد. به منظور سنجش قندهای محلول کل برگ از محلول ۵ درصد سولفات روی، محلول هیدروکسید باریوم ۰/۳ نرمال و محلول فنل ۵ درصد بر اساس روش استیوارت (Stewart, 1989) انجام شد.

در این بررسی میزان RWC از رابطهٔ زیر بدست آمد (Irigoyen *et al.*, 1992).

معادله شماره۱ $\%RWC = [(Wf - Wd)/(Wt - Wd)] \times 100$

در این رابطه Wf وزن تازهٔ برگ، Wt وزن تورژسانس برگ و Wd وزن خشک برگ می‌باشد.

پتانسیل آب برگ در ابتدای صبح قبل از طلوع کامل آفتاب با استفاده از دستگاه بمب فشار مدل Laboratory Plant Water Status Console, Santa Barbara, USA اندازه‌گیری شد (Shifraw and Baker,. 1996). از دستگاه اسمومتر مدل Wescor- 5520, USA برای اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی استفاده شد. با استفاده از فرمول وانت هوف مقدار پتانسیل اسمزی برگ محاسبه گردید (Martinez *et al.*, 2004).

معادله شماره ۲ $\Psi s\ (MPa) = -MIRT$

1- Flame Photometer

2- Atomic Absorption Spectrometer

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]

در این معادله M مولاریتهٔ محلول، I ضریب یونیزاسیون، R ثابت عمومی گازها برابر با ۰/۰۰۸۳۱۴۳ ($MPa\ mol^{-1}\ K^{-1}$)، T دما بر حسب درجهٔ کلوین ($273°C$+) میباشد که در این صورت پتانسیل اسمزی Ψs بر حسب مکاپاسکال محاسبه شد.

از اختلاف مقدار پتانسیل اسمزی برگ تحت تنش با برگ در شرایط کنترل، مقدار تنظیم اسمزی کل بر اساس رابطه زیر بدست امد (Blum, 1989; Zang, 1999).

معادله شماره ۳ $$OA_{tot} = \Psi_{sc100} - \Psi_{ss100}$$

در این معادله OA_{tot} مقدار تنظیم اسمزی کل، Ψ_{sc100} مقدار پتانسیل اسمزی گیاه در شرایط کنترل در صددرصد اماس، Ψ_{ss100} مقدار پتانسیل اسمزی گیاه تحت تنش در صددرصد اماس بوده است.

جهت انجام محاسبات اماری از نرم‌افزارهای اماری SAS (Ver. 6.1) و به منظور نمایش روند تغییرات و رسم منحنیها از صفحه گسترده Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن خشک

تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار ($P<0.01$) در وزن خشک ریشه هر دو ژنوتیپ شد (شکل 1A)، ولی ۳۸٤ ساعت پس از اعمال تنش کلرور سدیم، در شاهد تفاوت معنیداری بین دو ژنوتیپ از این نظر دیده نشد، در حالی که در تنش شوری، وزن خشک ریشه در ژنوتیپ IR651 حدود ۱۲ درصد بیش از ژنوتیپ IR29 بود. نتایج این ازمایش نشان داد که در تنش شوری، تفاوت بین دو ژنوتیپ و بین شاهد و تنش از نظر وزن خشک کل بوته تفاوت معنیدار ($P<0.01$) وجود داشت. کاهش وزن خشک بوته در اثر شوری، درIR29 بیش از IR651 بود (شکل 1B و جدول ۱). تغییرات وزن خشک غلاف برگ دو ژنوتیپ، در تنش شوری متفاوت بود به طوری که در ژنوتیپ متحمل کاهش، و در ژنوتیپ حساس افزایش وزن خشک غلاف برگ مشاهده شد، ولی در تیمارشاهد، از این نظر تفاوتی بین دو ژنوتیپ دیده نشد (جدول ۱ و شکل 1C).

در تیمار شاهد، ۳۸٤ ساعت پس از اغاز اعمال تیمار، وزن خشک برگ ششم در ژنوتیپ حساس به طور معنی‌داری ($P<0.01$، جدول ۱) بیش از ژنوتیپ متحمل بود (شکل 2A)، در حالی که از نظر وزن خشک کل در همین تیمار، تفاوت معنی‌داری بین دو ژنوتیپ دیده نشد (شکل 1B). تنش شوری باعث کاهش وزن خشک برگ ششم، بیش از سایر برگ‌ها شد، و کاهش در ژنوتیپ متحمل ۱۲ درصد و در ژنوتیپ حساس حدود ٤٠ درصد بود (شکل 2A). همچنین مشخص شد که تنش شوری تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک برگ‌های شماره ۳، ٤ و ۵ (شکل ۲؛ B، C، D) نداشت، ماده خشک این برگ‌ها در بین ژنوتیپ‌ها، تفاوت معنی-داری با هم داشت (جدول ۱). دلیل این عدم تفاوت، عمدتا زمان اعمال تنش در این مطالعه بود که پس از شکل‌گیری کامل این برگ‌ها انجام شد. براساس اظهار مونس و همکاران (Munns *et al.*, 2002) تولید زیست‌توده توسط گیاه، در تنش شوری در مقایسه با شرایط شاهد، با تحمل به شوری همبستگی دارد.

کاهش تولید ماده خشک گیاه در شرایط شوری به دلیل افزایش هزینه انرژی، کاهش کربن‌گیری و کاهش میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ میباشد (Moradi and Ismail, 2007). هاسگاوا و همکاران (Hassegawa *et al.*, 2000)، مونس (Munns, 2002) و نیومن (Neumann, 1997) نیز کاهش وزن خشک کل را در اثر تنش شوری گزارش کرده‌اند و اظهار داشته‌اند که دلیل این کاهش، به خاطر تلفیق اثرات تنش اسمزی، اثر سمیت یونی، و تغییر غلظت عناصر غذایی ناشی از نمک موجود در محلول خاک بوده است. شاختمن و مونس (Schatchmann and Munns, 1992) اعلام کردند که میزان رشد برگ با غلظت یون سدیم در برگ رابطه منفی داشت.

جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تمام

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]

جدول ۱. تجزیه واریانس وزن خشک کل، ریشه، غلاف برگ و برگهای مختلف دو ژنوتیپ برنج

Table 1. Analysis of variance for total, roots, leaf sheaths and different leaves dry weight in two rice genotypes.

		Mean Squares میانگین مربعات						
S.O.V. منبع تغییرات	درجه‌آزادی (df)	کل بوته Total dry matter	ریشه Root	غلاف برگ Leaf sheath	برگ سوم Leaf 3	برگ چهارم Leaf 4	برگ پنجم Leaf 5	برگ ششم Leaf 6
Genotype (G) ژنوتیپ	1	25202**	625**	784**	4.2**	63.6**	4.6*	1.0ns
Salinity (S) شوری	1	84827**	1521**	144**	0.005ns	0.002ns	1.8ns	361.0**
S × G ژنوتیپ × شوری	1	15563**	1.0ns	1024**	0.011ns	0.003ns	0.5ns	121.0**
(Error) خطا	12	62.7	13.1	8.3	0.1	1.8	0.6	3.2
C.V. (%) درصد تغییرات		2	3.4	3	5.1	7.5	3.2	5.8

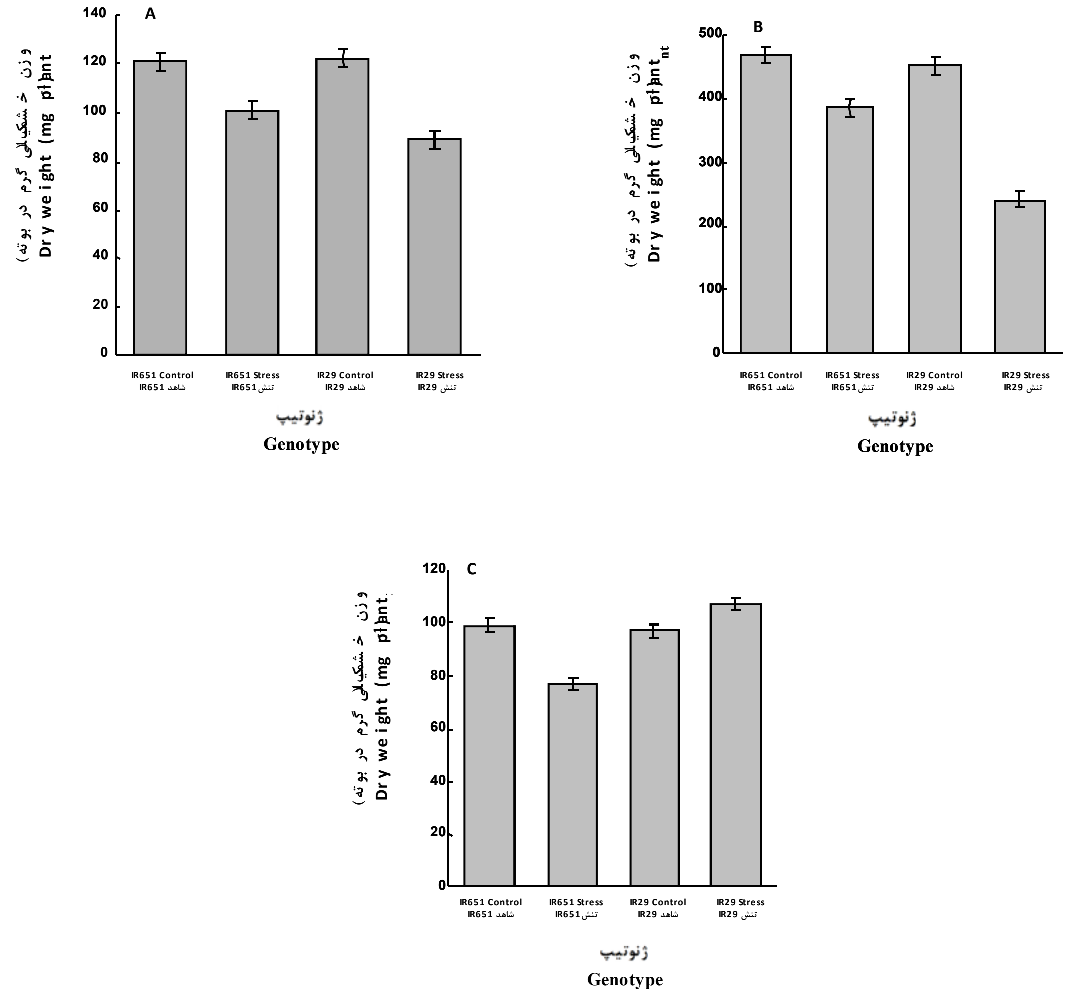
* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ می‌باشند.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ns: غیر معنی دار

ns: Non-Significant

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]

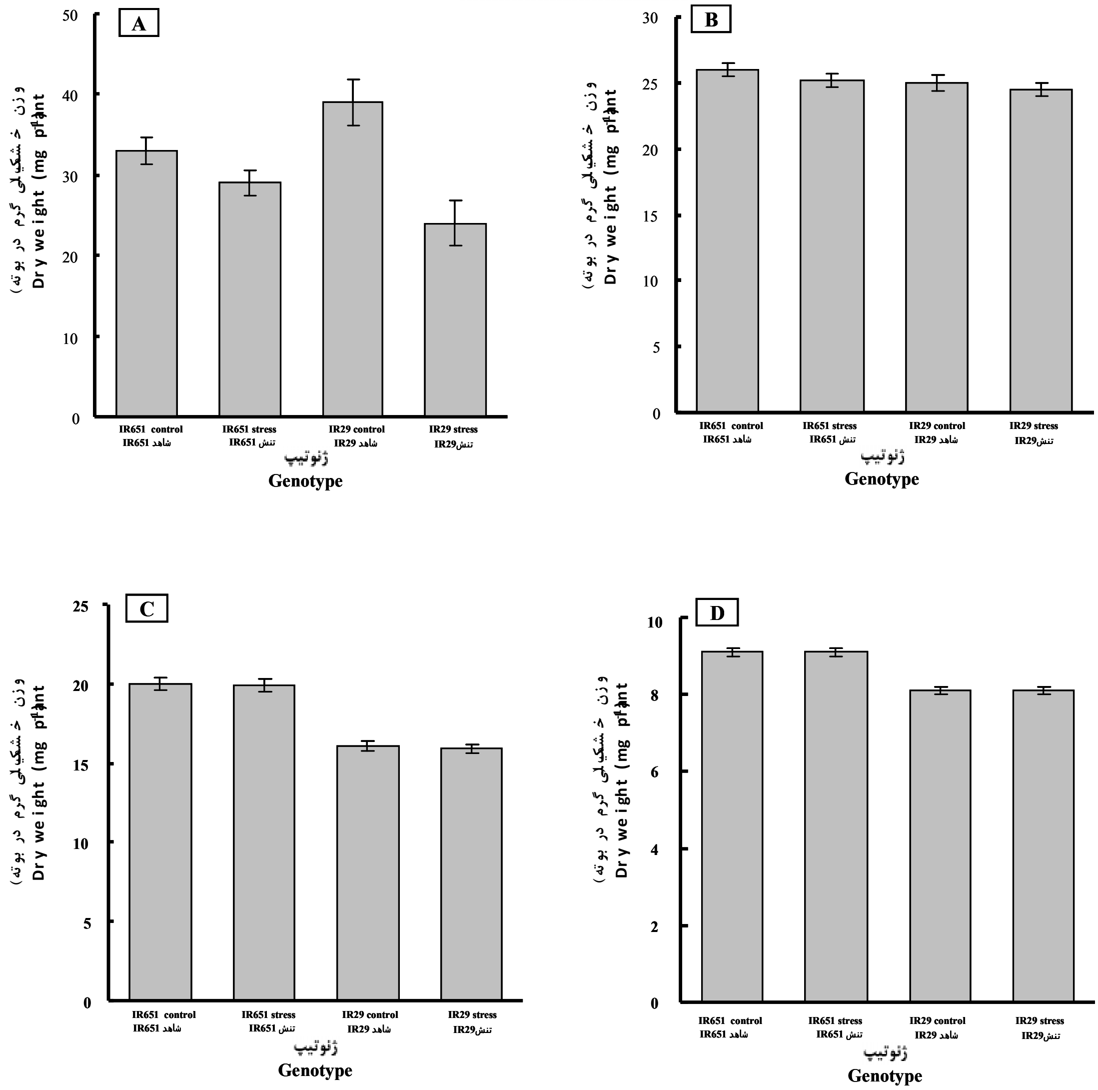


شکل ۱- اثر شوری (صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرور سدیم) بر وزن خشک کل بوته (A) و وزن خشک غلاف برگ (B) و ریشه (C) دو رقم برنج (IR651 و IR29) در ۳۸۴ ساعت پس از اعمال تنش شوری. میله‌های عمودی نشانه ± خطای استاندارد هستند.

Fig. 1. Effect of salinity (0 and 100 mM NaCl) on total (A), leaf sheath (B) and root (C) dry weight of two rice genotypes (IR651 and IR29) in 384 hours after salinization. Vertical bars indicate ± SE.

تیمارها واثر متقابل آنها در تجمع یون سدیم معنی‌دار بوده است (P<0.01، جدول ۲). این سطح معنی‌داری در کلیه برگ‌ها، ریشه و غلاف برگ دیده شد (شکل ۳، جدول تجزیه واریانس نشان داده نشده است). اندازه‌گیری غلظت یون سدیم نشان داد که در زمان‌های مختلف نمونه‌گیری (۰، ۷۲، ۱۲۰،۲۴۰ و ۳۸٤ ساعت) در برگ ششم (جوان‌ترین برگ، شکل ۳A) گیاهچه‌های مورد مطالعه، غلظت این یون در ژنوتیپ IR651 به ترتیب ۱۱٤/۸، ۱۲۹/٦، ۱۱۲/٦، ۱۹٦/۵ و ٦۵۰ میلی‌مول بر کیلوگرم وزن خشک بود، در حالی که در ژنوتیپ حساس IR29 میزان سدیم به ترتیب ۱۱۸/۵، ۱۵۹/٤، ۱۸۱/٦، ۵۲۵/۸ و ۲۲٤۱ میلی‌مول بر کیلوگرم وزن خشک رسید. بنابراین ژنوتیپ متحمل توانست در ۱۰ روز اول تنش، میزان یون سدیم را در فعال‌ترین برگ خود پایین نگه دارد و فرصت کافی برای تولید برگ بعدی و یا تظاهر سایر سازوکارهای تحمل به تنش شوری را فراهم نماید. در برگ‌های مختلف بیشترین تفاوت غلظت سدیم بین دو ژنوتیپ، در برگ

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]



شکل ۲- وزن خشک برگ‌های شماره ٦، ٥، ٤ و ۳ (به ترتیب A، B، C و D) دو ژنوتیپ برنج (IR651 و IR29) ۳۸٤ ساعت پس از اعمال تنش شوری. میله‌های عمودی نشان دهنده میانگین چهار تکرار± خطای استاندارد هستند.

Fig. 2. Dry weight of leaves No. 3, 4, 5 and 6 (A, B, C and D, respectively) of two IR651 and IR29 rice genotypes, 384 hours after salinization. Vertical bars indicate means of four replications ± SE.

ششم (جوان‌ترین برگ) دیده شد به طوری که غلظت سدیم این برگ در ژنوتیپ حساس ۳/٤ برابر ژنوتیپ متحمل بود (شکل ۳A). با این حال بیشترین افزایش غلظت یون سدیم، در برگ سوم (پیرترین برگ) مشاهده شد (شکل ۳D).

جالب توجه آن که در ژنوتیپ حساس ۳۸٤ ساعت پس از اعمال تنش شوری، غلظت یون سدیم تفاوت معنی‌داری بین برگ‌های سوم، چهارم و پنجم نداشت (شکل‌های۳، B، C و D) و در تمامی آنها میزان این یون بیش از ۳۳۰۰ میلی مول بر کیلوگرم وزن خشک بود، در حالی که در ژنوتیپ متحمل، برگ سوم بیشترین غلظت سدیم را داشت و بتدریج از غلظت آن در برگ چهارم تا ششم کاسته شد (شکل ۳). در این آزمایش افزایش یون سدیم در برگ‌های سوم و چهارم ژنوتیپ متحمل ۷۲ و ۱۲۰ ساعت پس از اعمال تنش شوری مشاهده شد، در حالی که در برگ‌های جوان‌تر (پنجم و ششم) افزایش سدیم پس از ۲٤۰ ساعت مشاهده گردید (شکل ۳)، درصورتی که روند افزایشی تجمع یون سدیم

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]

جدول ۲. تجزیه واریانس برای تجمع سدیم و پتاسیم در ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه بر اساس تیمارهای زمان نمونه‌گیری، ژنوتیپ، سطح شوری و اندام‌های گیاهی.

Table 2. Analysis of variance for Na^{+} and K^{+} accumulation as affected by time of sampling, genotype, salinity level, and plant part treatments in two rice genotypes.

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares: سدیم Sodium	پتاسیم Potassium
Sampling time (ST)	زمان نمونه‌گیری	4	20810883.7***	3904655.2***
Genotype (G)	ژنوتیپ	1	5788693.9***	486662.7***
Salinity level (SL)	سطح شور	1	85428326.8***	974434.9***
Plant part (PP)	اندام گیاه	5	4605684.9**	58384856.7**
ST × G	ژنوتیپ × زمان نمونه‌گیری	4	1857305.8**	253083.1**
ST × SL	سطح شوری × زمان نمونه‌گیری	4	20322548.4**	164444.5**
ST × PP	اندام گیاه × زمان نمونه‌گیری	20	806621.9**	1601193.4**
G × SL	سطح شوری × ژنوتیپ	1	5413684.3**	186797.3**
G × PP	اندام گیاه × ژنوتیپ	5	694897.2**	43203.2**
SL × PP	اندام گیاه × سطح شوری	5	3732002.2**	836887.3**
ST × G × SL	سطح شوری × ژنوتیپ × زمان نمونه‌گیری	4	2152506.2**	32585.8**
ST × SL × PP	اندام گیاه × سطح شوری × زمان نمونه‌گیری	20	767316.2**	105000.9**
ST × G × PP	اندام گیاه × ژنوتیپ × زمان نمونه‌گیری	20	298184.5**	88099.7**
G × SL × PP	اندام گیاه × سطح شوری × ژنوتیپ	5	800011.4**	176654.7**
ST × G × SL × PP	اندام گیاه × سطح شوری × ژنوتیپ × زمان نمونه‌گیری	20	282662.3**	52930.4**
Error	خطا	338	26796.3	8928.8
C.V.(%)	درصد ضریب تغییرات		28.3	8.2

** و ***: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۰/۱ ٪.

** and***: significant at the 1% and 0.1% levels of probability, respectively.

از همان ابتدا در کلیه برگ‌های ژنوتیپ حساس دیده شد.

شکل ۳ نشان می‌دهد که ژنوتیپ حساس نسبت به ژنوتیپ متحمل، مقدار بیشتری از سدیم را در اندام هوایی خود ذخیره کرده که سبب بروز خسارت اسمزی و سمیت یونی بیشتری در این ژنوتیپ گردیده است. این امر می‌تواند دلیل دیگری برای کاهش بیشتر وزن خشک IR29 نسبت به IR651 باشد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که تحمل به نمک در بسیاری از گونه‌های گیاهی به میزان تجمع نمک در اندام‌های گیاه، به خصوص در برگ‌های در حال توسعه بستگی دارد(Neumann, 1997; Hassegawa *et al.*, 2000).

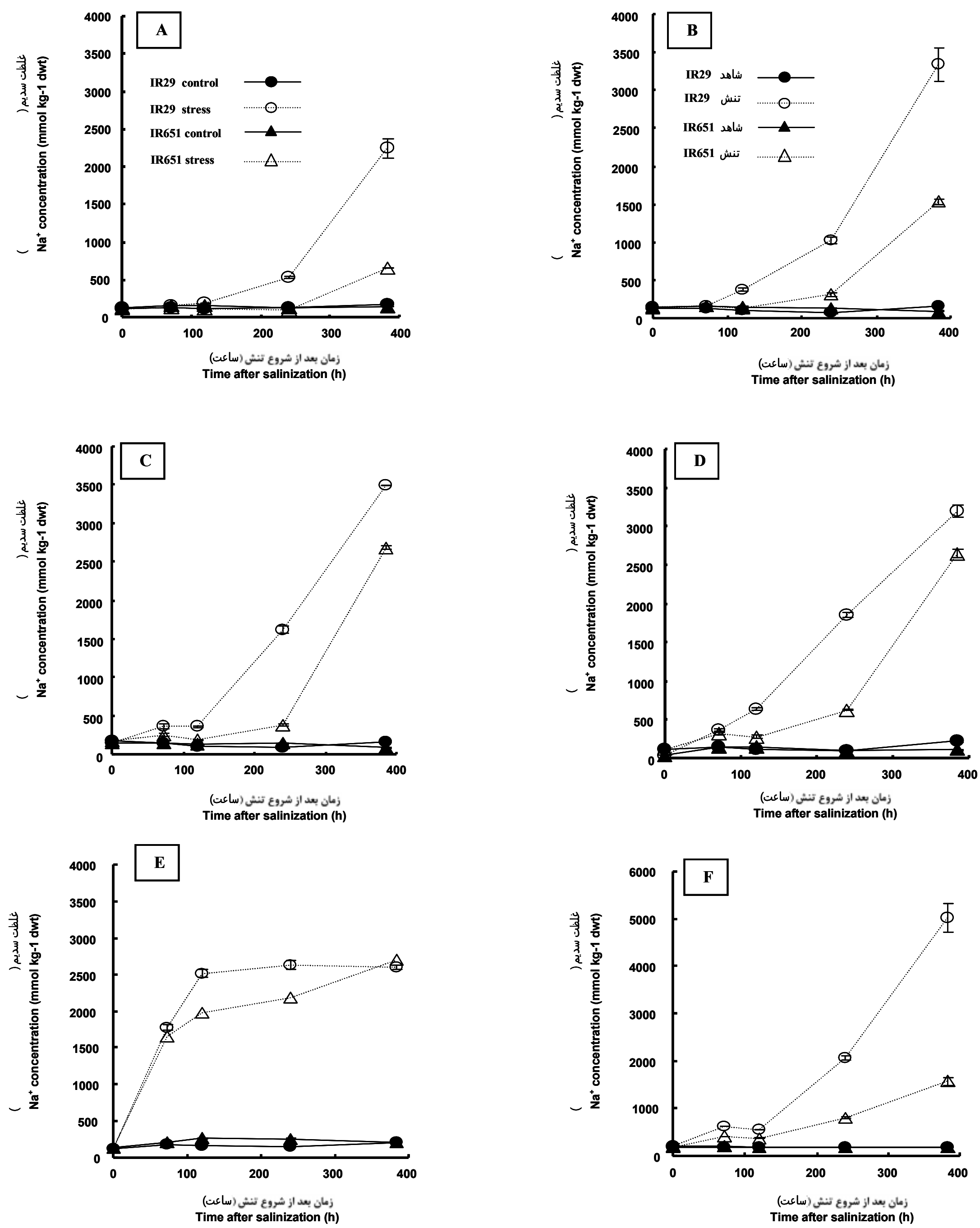
نتایج این تحقیق نشان داد که ژنوتیپ متحمل قادر به ذخیره مقادیر بالایی از سدیم در برگ‌های پیرتر و دور نگهداشتن این یون از برگ‌های جوان خود بود (شکل ۳). محافظت از برگ‌های جوان، یکی از خصوصیات مهم گیاهان متحمل به شوری است (Tester and Dovenport, 2003). به نظر می‌رسد نه تنها میزان جذب سدیم دو ژنوتیپ متفاوت بوده، بلکه سازوکار توزیع آن در دو ژنوتیپ نیز متفاوت بوده است. به طوری که در ژنوتیپ متحمل، سدیم در برگ‌های پیر ذخیره شد، در حالی که چنین سازوکاری در ژنوتیپ حساس دیده نشد. این نتایج با یافته‌های تستر و داونپورت (Tester and Dovenport, 2003) مطابقت داشت.

مونس (Munns, 2002) گزارش کرد که در گیاهان، حامل خاصی برای انتقال سدیم وجود نداشته و سدیم از طریق رقابت با پتاسیم و دیگر کاتیون‌ها وارد گیاه می‌شود. سدیم می‌تواند از طریق حامل‌های پرتمایل پتاسیم[1] و یا از طریق کانال‌های کم تمایل که به نام کانال های کاتیونی غیر انتخابی[2] نامیده می‌شوند، وارد سلول‌های گیاه شود. مونس و همکاران (Munns *et al.*, 2006) نیز

1- High affinity potassium carriers

2- Non-selective cation channels

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]



شکل ۳- غلظت سدیم دربرگ ششم (A، جوانترین برگ توسعه یافته) پنجم (B)، چهارم (C)، سوم (D، پیرترین برگ)، ریشه (E) و غلاف برگ‌ها (F) در دو ژنوتیپ برنج (IR651 و IR29) از زمان شرع تنش تا ۳۸٤ ساعت پس از آن.

Fig. 3. Sodium concentrations in leaf 6 (A, youngest fully expanded leaf), 5 (B), 4 (C), 3 (D, oldest leaf), roots (F) and leafsheaths (E) in two rice genotypes (IR651 and IR29) from commencement to 384 hours after salinization.

اعلام داشتند که کاهش میزان انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی در بسیاری از ارقام، به میزان زیادی باعث افزایش تحمل کلرور سدیم می‌گردد.

تنش شوری باعث افزایش سریع سدیم در ریشه هر

دو ژنوتیپ گردید، ولی پس از آن غلظت سدیم تقریبا ثابت ماند، با این تفاوت که شدت تجمع در ژنوتیپ متحمل کندتر بود. نهایتا پس از ۳۸٤ ساعت تفاوت معنی داری بین دو ژنوتیپ از نظر غلظت سدیم دیده نشد (شکل ۳E). با این حال مشاهدات نشان داد که در این زمان ریشه ژنوتیپ حساس کاملا به رنگ قهوه‌ای در آمده و تقریبا مرده بود، در حالی که ریشه ژنوتیپ متحمل رنگ قهوه‌ای روشن داشت و همچنان فعال به نظر می‌رسید. تنش شوری موجب افزایش غلظت یون سدیم غلاف برگ هر دو ژنوتیپ شد و این افزایش در ژنوتیپ حساس بیش از ژنوتیپ متحمل بود. در زمان-های مختلف نمونه‌گیری، غلظت سدیم غلاف برگ ژنوتیپ حساس به ترتیب ۱/۰۱، ۱/۵۱، ۱/٤٦، ۲/۵۸ و ۳/۱۸ برابر ژنوتیپ متحمل بود (شکل ۳F).

تنش شوری تاثیر معنی‌داری (P<0.05، جدول ۲) بر غلظت یون پتاسیم جوان‌ترین برگ هر دو ژنوتیپ داشت و سبب کاهش آن شد، هرچند شدت کاهش در ژنوتیپ حساس به مراتب بیش از ژنوتیپ متحمل بود (شکل ٤A). تغییرات غلظت پتاسیم سایر برگ‌ها در تنش شوری تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (شکل ٤، B ، C و D). افزودن کلرور سدیم به محلول غذایی، باعث کاهش بسیار معنی‌دار (P<0.01) غلظت یون پتاسیم برگ ششم، ریشه و غلاف برگ هر دو ژنوتیپ گردید (شکل ٤، A، E و F).

پتاسیم یکی از عناصر غیر الی مهم است که در تنظیم اسمزی گیاه نقش اساسی داشته و در سلول‌های گیاهان، در بیش از ۵۰ انزیم به عنوان یک کوفاکتور عمل می کند(Carden *et al*., 2003). تنش کلرور سدیم باعث کاهش در غلظت پتاسیم در ریشه و غلاف برگ هر دو ژنوتیپ شده است (شکل ٤). نتایج مشابهی نیز توسط اسپیر و کایسر (Speer and Kaiser, 1991)، فلاورز و حاجی‌باقری (Flowers and Hajibagheri, 2001) و کاردن و همکاران (Carden *et al*., 2003) ارائه شد. زو (Zhu, 2003) نیز گزارش داد که سدیم با پتاسیم برای جذب از طریق کانال‌های سدیم-پتاسیم رقابت کرده و ممکن است سبب از کار افتادن ناقلین اختصاصی پتاسیم[1] گردد. به هر حال کاهش غلظت پتاسیم برگ ششم در تیمار شاهد می‌تواند به دلیل افزایش سن برگ و امری طبیعی باشد. این نتیجه مغایر با نتایج ماهاجان و توتجا (Mahajan, and Tuteja, 2005) است. جلوگیری از جذب پتاسیم توسط گیاه در اثر وجود سدیم در محیط رشد، باعث اختلال در فعالیت‌های حیاتی گیاه نظیر فعالیت انزیم‌های وابسته به پتاسیم و حفظ فشار اماس سلول می گردد، این اختلال به عنوان عدم تعادل یونی در نتیجه تنش شوری شناخته شده است. عدم تغییر معنی‌دار میزان پتاسیم در ژنوتیپ متحمل در زمان تنش، سبب حفظ فعالیت‌های وابسته به پتاسیم در درون ژنوتیپ متحمل گردیده و گیاه احتمالا در زمان تنش فعال نگه داشت.

روابط آبی

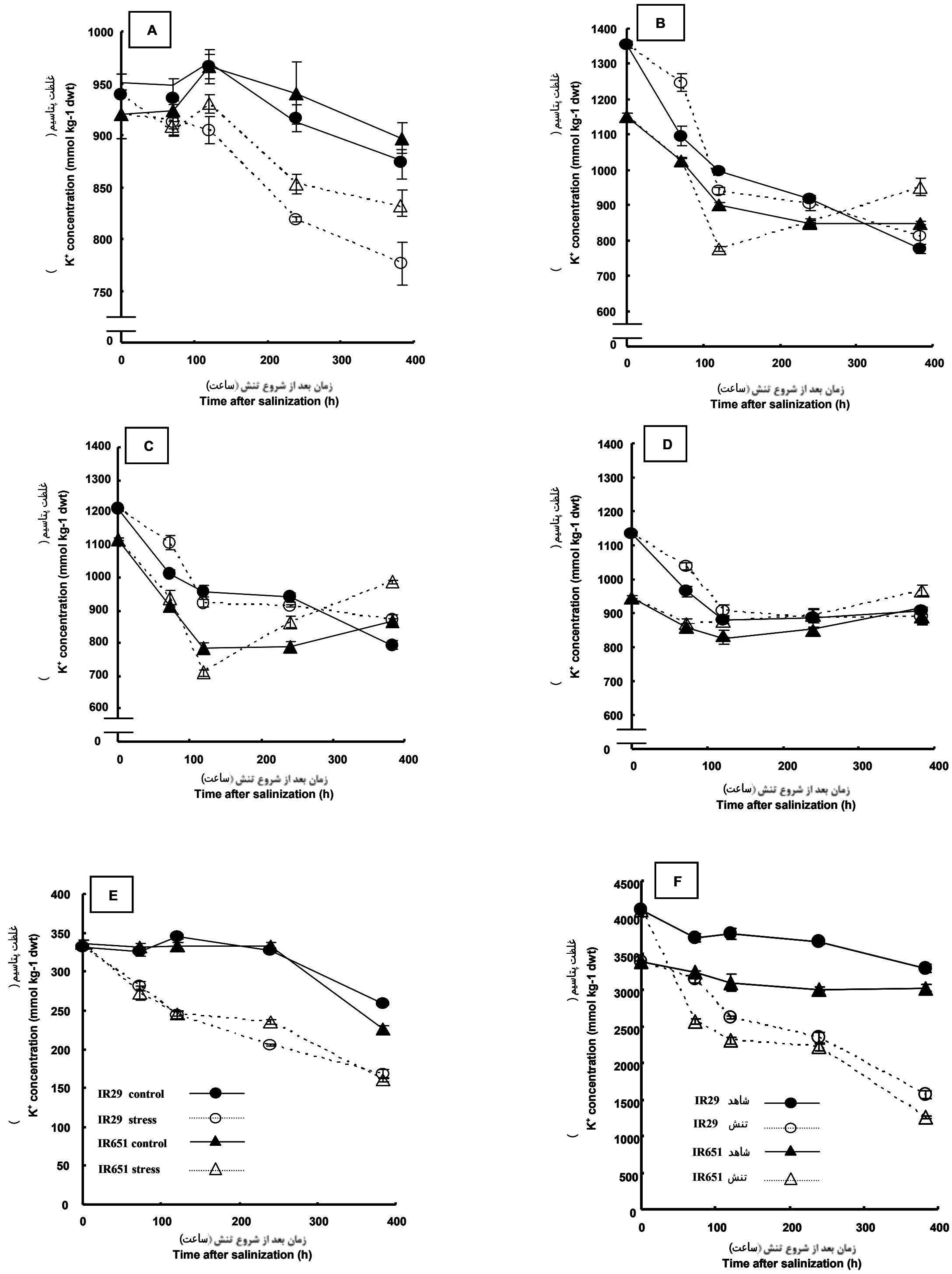
نتایج حاصل از این ازمایش نشان داد که افزودن نمک کلرور سدیم سبب کاهش معنی‌داری (P<0.01) در محتوای اب نسبی (RWC) برگ داشت. در طول دوره اجرای ازمایش، RWC روند کاهشی نشان داد که کاهش مشاهده شده در ژنوتیپ IR29 به طور معنی‌داری بیش از IR651 بود (شکل ۵). ده روز پس از اعمال تنش شوری، RWC در ژنوتیپ IR29 به ۷۹/۹ درصد و در ژنوتیپ IR651 به ۹۱/۵ درصد رسید.

اندازه‌گیری پتانسیل کل اب برگ ششم نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار این مؤلفه در هر دو ژنوتیپ شد (شکل ۶A). در زمان ۱۲۰ ساعت پس از اعمال تیمار نمک، پتانسیل کل آب برگ هر دو ژنوتیپ کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد یافت و بعد از ۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش میزان پتانسیل آب

1- K^+-specific transporters

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]

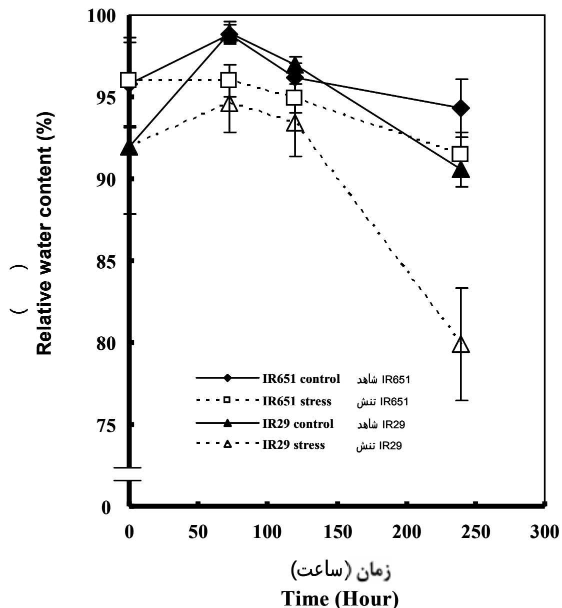
[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]



شکل ٤- غلظت پتاسیم دربرگ ششم (A, جوانترین برگ توسعه یافته) پنجم (B), چهارم (C)، سوم (D, پیرترین بـرگ)، ریشه (E) و غلاف برگ‌ها (F) در دو ژنوتیپ برنج (IR651 و IR29) از زمان شرع تنش تا ٣٨٤ ساعت پس از آن.

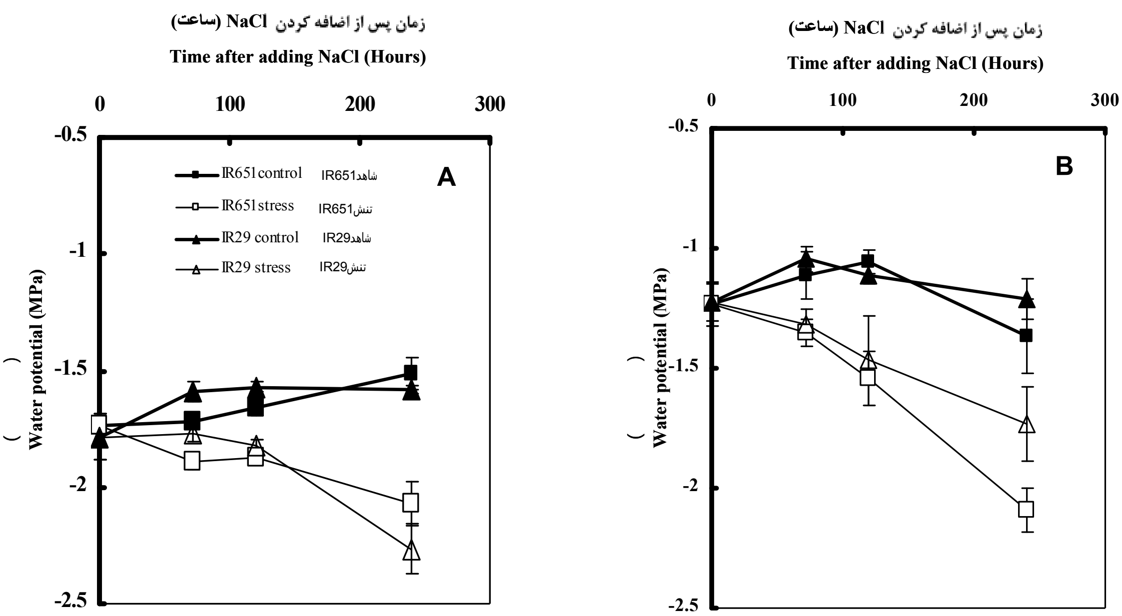
Fig. 4. Potassium concentrations in leaf 6 (A, youngest fully expanded leaf), 5 (B), 4 (C), 3 (D, oldest leaf), roots (F) and leafsheaths (E) in two rice genotypes (IR651 and IR29) from commencement to 384 hours after salinization.

بـرگ ششـم از ۱/۷۳- مگـا پاسـکال، بـه حـدود ۲/۰۹- در IR651 (ژنوتیـــپ متحمـــــل) و ۲/۳۵- مگا پاسکال در IR29 (ژنوتیپ حساس) رسید (شکل ۶A).



شکل ۵- میزان نسبی آب برگ ششم (جوانترین برگ توسعه یافته) ژنوتیپ ها حساس (IR29) و متحمل (IR651) در دوره اعمال تنش شوری. میانگین ها براساس نتایج چهار تکرار بوده و میله های عمودی نشان دهنده خطای استاندارد هستند.

Fig. 5. Relative water content of leaf No.6 (youngest fully expanded leaf) in sensitive genotype (IR29) and tolerant genotype (IR651) during salinity treatments. Means are based on means of four replications, and vertical bars indicate SE.



شکل ۶- پتانسیل کل(A) و پتانسیل اسمزی (B) آب برگ ششم در دو ژنوتیپ برنج, شامل ژنوتیپ حساس (IR29) و متحمل (IR651) طی طول دوره اعمال تنش شوری. میانگین ها براساس نتایج چهار تکرار بوده و میله های عمودی نشان دهنده خطای استاندارد هستند.

Fig. 6. Water potential (A) and osmotic potential (B) in leaf No.6 of two rice genotypes including sensitive genotype (IR29) and tolerant genotype (IR651) during salinity treatments. Means are based on means of four replications, and vertical bars indicate SE.

از زمان اعمال تنش تا ۱۲۰ ساعت پس از آن پتانسیل اسمزی در هر دو ژنوتیپ روند کاهشی داشت و پس از این زمان، در هر دو ژنوتیپ، و با شدت کمتر در IR651، کاهش یافت (شکل 6B).

این بررسی نشان داد که سازوکار تنظیم اسمزی در ژنوتیپ متحمل (IR651) بطور بسیار معنی‌داری کاراتر از ژنوتیپ حساس (IR29) بود، بطوری‌که در ژنوتیپ متحمل تنظیم اسمزی بلافاصله پس از اعمال تنش شوری آغاز شد و در طی دوره اعمال تنش، به طور مداوم افزایش یافت در حالی‌که در ژنوتیپ حساس تغییر چندانی نیافت (شکل ۷). این تحقیق نشان داد که ۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش، تنظیم اسمزی در جوان‌ترین برگ ژنوتیپ متحمل تقریبا ۷ برابر (۰/۲ مگاپاسکال) ژنوتیپ حساس (۰/۰۳ مگاپاسکال) بود.

اولین تاثیر افزودن ۱۰۰ میلی مولار کلرور سدیم به محلول غذایی، کاهش پتانسیل اسمزی محیط بوده که جذب آب توسط گیاه را مختل نمود. کاهش جذب آب توسط گیاه، باعث کاهش میزان آب نسبی برگ (RWC) گردید (شکل ۵). نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش بیشتر RWC در ژنوتیپ حساس می تواند به دلیل عدم توانایی این ژنوتیپ در حفظ تنظیم اسمزی آب برگ خود باشد (شکل ۴)، در حالی که ژنوتیپ متحمل سازوکار قدرتمندی برای تنظیم اسمزی خود داشته و به همین دلیل RWC در این ژنوتیپ تحت تنش تغییر چندانی نداشت. پتانسیل اسمزی کمتر برگ در ژنوتیپ متحمل سبب جذب آب بیشتر توسط برگ شده و همین عامل سبب گردید که RWC این برگ بیشتر از ژنوتیپ حساس باشد. داشتن RWC بالا در شرایط تنش، سبب حفظ ساختار و شکل سلول‌های برگ در ژنوتیپ متحمل شده و گیاه را قادر به ادامه فتوسنتز نمود. توان فتوسنتزی بالاتر در شرایط تنش شوری در ژنوتیپ IR651 در ۱۰۰ میلی مولار کلرور سدیم قبلا توسط مرادی و اسماعیل (Moradi and Ismail, 2007) گزارش شده است. هو و اشمیدهالتر (Hu and Schmidhalter,. 1998) با مطالعه گندم اعلام کردند که کاهش اولیه پتانسیل آب ناشی از تنش کلرور سدیم، بیشتر به اختلال در روابط آبی مربوط می‌شود تا سمیت یونی، زیرا در مراحل ابتدایی تنش، غلظت عناصر سمی سدیم و کلر هنوز به میزان سمیت برای گیاه نرسیده‌اند. در این بررسی، ژنوتیپ متحمل برای مقابله با تنش اسمزی ناشی از نمک موجود در محیط و جذب آب از محیط، تنظیم اسمزی انجام داد (شکل ۶). طی فرایند تنظیم اسمزی، گیاه املاح آلی را به منظور کاهش پتانسیل اسمزی در سیتوپلاسم ذخیره می کند و برای حفظ تعادل اسمزی، به طور همزمان یون‌های جذب شده را در واکوئل تسهیم می‌کنند (Munns *et al.*, 2006). همانطور که در شکل ۷ و جدول ۳ نیز دیده می‌شود، یون‌های معدنی و قندهای محلول کل در هر دو ژنوتیپ خصوصا ژنوتیپ متحمل افزایش یافته است. باید توجه داشت که تجمع املاح معدنی و تولید املاح آلی برای گیاه پر هزینه بوده و گیاه برای تولید و تجمع آنها باید انرژی زیادی صرف کند.

این موضوع می‌تواند سبب کاهش رشد گیاه شود. کاهش در پتانسیل اسمزی تحت تنش شوری، در مطالعات قبلی در سورگوم (Netondo *et al.*, 2004) و گندم (El-Henawy *et al.*, 2005) نیز نشان داده شده است. مونس (Munns, 2002) و نیومن (Neumann, 1997) کاهش پتانسیل کل آب برگ گیاه در شرایط تنش شوری را گزارش نموده‌اند.

تغییرات غلظت سایر املاح

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که تنش شوری، غلظت یون کلر را در برگ هر دو ژنوتیپ به طور بسیار معنی‌داری ($P<0.01$) افزایش داد. تجمع یون کلر در برگ ژنوتیپ حساس بسیار سریع بود و بطور پیوسته پس از اعمال تنش افزایش یافت. در حالی که در ژنوتیپ متحمل غلظت یون کلر در ۷۲ ساعت اول افزایش یافت، ولی پس از آن تا انتهای دوره آزمایش تغییر چندانی نداشت (جدول ۳). در ژنوتیپ حساس

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]

جدول ۳. تجزیه واریانس روابط آبی و املاح موجود در برگ ششم (جوان‌ترین برگ) ژنوتیپ ها حساس (IR29) و متحمل (IR651) دردو سطح ۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تنش NaCl و چهار مرحله نمونه‌گیری در طی دوره اعمال تنش.

Table 3. Analysis of variance for water relations and solutes in leaf No. 6 (youngest fully expended leaf) of sensitive (IR29) and tolerant (IR651) rice genotypes under two NaCl levels (0 and 100 mmol) at four times of sampling.

			میانگین مربعات MS								
		درجه آزادی	پتانسیل آب	پتانسیل اسمزی	میزان آب نسبی	قندهای محلول	کلر	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	سدیم
S.O.V.	منابع تغییرات	df	Water potential	Osmotic potential	RWC	Soluble sugars	Cl^-	Mg2+	Ca2+	K+	Na+
Salinity period (SP)	دوره اعمال شوری	3	0.03**	1.8**	178**	32770**	71911.4**	302 ^{ns}	16166**	13708*	19530**
Genotype (G)	ژنوتیپ	1	0.02**	0.1^{ns}	147**	26542*	2830.7 ^{ns}	2012*	55611**	463^{ns}	91861**
Salinity level (SL)	سطح شوری	1	0.05**	1.0**	148**	1405247**	551485**	7432**	71656**	21692*	51736**
G×SP	دوره اعمال شوری×ژنوتیپ	3	0.001*	0.1^{ns}	43*	5485^{ns}	47197.3**	832^{ns}	529^{ns}	679^{ns}	36199**
SP×SL	دوره اعمال شوری×سطح شوری	3	0.02**	0.2*	31^{ns}	215687**	65689.7**	839^{ns}	11268**	4551^{ns}	30673**
G×SL	ژنوتیپ×سطح شوری	1	0.001^{ns}	0.5**	33^{ns}	20768*	33728.9**	919^{ns}	1316^{ns}	2045^{ns}	34418**
SP×G×SL	دوره اعمال شوری×ژنوتیپ×سطح شوری	3	0.01**	0.1*	11^{ns}	3615^{ns}	39958.9**	270^{ns}	3917^{ns}	2351^{ns}	25508**
Error	خطا	44	0.0001	0.01	14.8	4792	2828.1	478	1493	4415	342
C.V. (%)	درصدضریب تغییرات		5.71	14.6	4.1	11.4	10.1	11.9	12.3	7.2	13.5

* and **: Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.
ns: Non-significant.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.
ns: غیر معنی دار

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]

افزایش غلظت کلر بیش از ژنوتیپ متحمل بود، به طوری که در شرایط تنش، در اخرین زمان نمونه‌گیری (۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش شوری)، غلظت یون کلر تقریبا ۱/۶ برابر ژنوتیپ متحمل بود (جدول ۳). هر چند تستر و داونپورت (Tester and Dovenport. 2003) اعلام کردند که در گیاهان عالی هنگام بروز تنش کلرور سدیم، عامل اصلی کاهش ماده خشک، سدیم است و نه کلر، با این حال تعیین اینکه در کاهش ماده خشک ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه، کلر چقدر نقش داشت، خود نیاز به تحقیقات دیگری دارد. به هر حال انچه که با اطمینان می‌توان اظهار داشت این است که این عنصر نقشی در تنظیم اسمزی نداشت، زیرا افزایش ان در ژنوتیپ حساس به مراتب بیش از ژنوتیپ متحمل بود، در حالی که در این ژنوتیپ تنظیم اسمزی دیده نشد (شکل ۷).

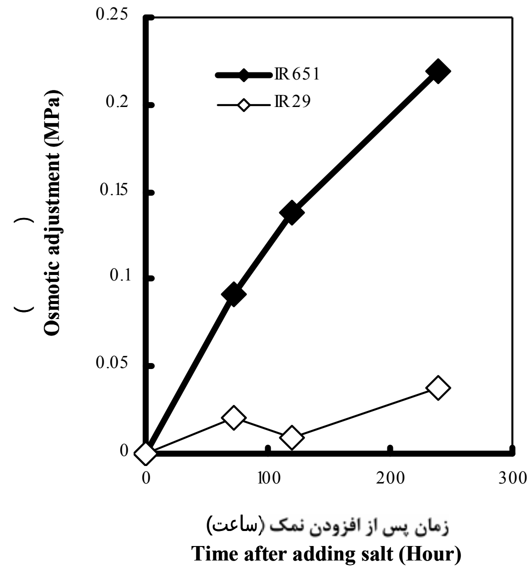
کلرید سدیم افزوده شده به محلول غذایی گیاهچه‌های مورد مطالعه باعث کاهش معنی‌دار غلظت کلسیم در برگ ششم هر دو ژنوتیپ شد (جدول ۳). کاهش میزان کلسیم برگ در هر دو ژنوتیپ در طول دوره اعمال تنش ادامه داشت، ولی این کاهش در ژنوتیپ IR29 به طور معنی‌داری بیش از ژنوتیپ IR651 بود (جدول ۳). در اخرین نمونه‌گیری غلظت یون کلسیم در ژنوتیپ متحمل از ۳۸۸ میلی مول بر کیلوگرم وزن خشک به ۲۵۶ میلی مول بر کیلوگرم وزن خشک کاهش یافت، در حالی که در ژنوتیپ حساس از ۳۱۸ به ۲۱۱ میلی مول بر کیلوگرم وزن خشک تقلیل یافت (جدول ۳). وجود کلسیم در محیط رشد گیاه باعث کاهش اثر منفی نمک بر گیاه می‌شود، زیرا این یون باعث حفظ نسبت مناسب سدیم به پتاسیم می‌گردد ولی در تحقیق حاضر کاهش غلظت کلسیم در تنش شوری مشاهده شد (جدول ۳) که می‌تواند براوردی از میزان تحمل به شوری در گیاه باشد. الهنداوی و همکاران (El-Hendawy *et al*., 2005) اعلام کردند که کاهش در جذب پتاسیم و کلسیم می‌تواند با تحمل نمک در گیاه مرتبط باشد. پلیت (Plieth, 2005) اعلام کرد که کلسیم از طریق بستن کانال‌های کاتیونی به طور غیر مستقیم بر جذب کلر نیز موثر است. اعمال تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار در غلظت یون منیزیم شد و این کاهش در ژنوتیپ حساس به طور معنی‌داری ($P<0.05$) بیش از ژنوتیپ متحمل بود (جدول ۳).

پس از اعمل تنش شوری غلظت قندهای محلول کل در برگ ششم هر دو ژنوتیپ افزایش معنی‌داری ($P<0.01$) یافت. این تحقیق نشان داد که شدت افزایش قند محلول در ژنوتیپ متحمل بیش از ژنوتیپ حساس بوده است (جداول ۳ و ۴). در اولین تاریخ نمونه‌گیری غلظت قندهای محلول کل در برگ ششم ژنوتیپ متحمل ۵۸۰ و در ژنوتیپ حساس ۵۹۱ میلی مول بر کیلوگرم وزن خشک بود، و روند افزایشی به گونه‌ای بود که در اخرین تاریخ نمونه‌گیری (۲۴۰ ساعت) غلظت قندهای محلول کل در ژنوتیپ متحمل ۹۱۹ و در ژنوتیپ حساس ۸۵۷ میلی مول بر کیلوگرم وزن خشک گردید (جدول ۳). در گزارش‌های مختلف در مورد گیاهان شیرین‌زی نقش قندهای محلول در پتانسیل اسمزی برگ گیاهان تا ۵۰ درصد گزارش شده است. گزارشات مختلف حاکی از افزایش (Munns and Weir, 1981)، کاهش (Hanson, and Hitz, 1982) و یا بدون تغییر ماندن (Morgan, 1992) غلظت قندهای محلول برگ گیاه در شرایط تنش شوری است. لاسردا و همکاران (Lacerda *et a*l., 2003) اعلام کردند که نقش قندهای محلول در پتانسل اسمزی برگ های سورگوم تحت تنش کلرور سدیم بیش از سایر املاح بوده است. قندها علاوه بر نقش تنظیم کنندگی تعادل اسمزی، به عنوان پیام‌های متابولیکی در شرایط تنش نیز عمل می‌کنند (Chaves *et al*., 2003).

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که، ژنوتیپ

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]



شکل ۷- میزان تنظیم اسمزی در دو ژنوتپ برنج IR29 (حساس) و IR651 (متحمل) برنج به تنش شوری در طول مدت تنش.

Fig. 7. Osmotic adjustment in IR29 (sensitive) and IR651(tolerant) to salinity during stress period.

IR651 (ژنوتیپ متحمل) توانایی تنظیم اسمزی در شرایط تنش کلرور سدیم را به میزان بیش از ۰/۲ مگاپاسکال داشت و تنظیم اسمزی در این ژنوتیپ به طور عمده با استفاده از قندهای محلول کل صورت گرفت، در حالی که ژنوتیپ IR29 (ژنوتیپ حساس) توانایی تنظیم اسمزی را به میزان کافی نداشت. علاوه بر آن بررسی الگوی توزیع سدیم در اندام‌های مختلف معلوم نمود که تسهیم یون سدیم در برگهای پیر IR651، در مقایسه با تنظیم اسمزی، نقش به مراتب اساسی‌تری در تحمل به تنش شوری در این ژنوتیپ داشته است. این تحقیق نشان داد که تسهیم و سرعت جذب سدیم یکی از مهم‌ترین سازوکارهای تحمل به تنش شوری در برنج بوده و به نظر می‌رسد که با توجه به سهولت اندازه‌گیری آن، می‌تواند به عنوان یک راهکار ساده برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل و یا نسل‌های پیشرفته در حال تفکیک در برنامه‌های به نژادی برنج، مورد استفاده قرار گیرد و در صورت فراهم بودن امکانات لازم، از خصوصیت تنظیم اسمزی نیز می‌توان به عنوان مکمل در برنامه‌های به نژادی گیاه برنج استفاده نمود.

منابع مورد استفاده

References

Blum, A. 1989. Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. Crop Sci. 20: 230-233.

Carden, D. E., D. J. Walker, T. J. Flowers and A. J. Miller. 2003. Signal cell measurements of the contributions of cytosolic Na^+ and K^+ to salt tolerance. Plant Physiol. 131: 676-683.

Chaves, M. M., J. P. Maroco, and J. S. Pereira. 2003. Understanding plant response to drought: from genes to the whole plant. Funct. Plant Biol. 30: 239-264.

El-Hendawy, S. E., Y. Hu and U. Schmidhalter. 2005. Growth, ion content, gas exchange, and water relation of wheat genotypes differing in salt tolerances. Aust. J. Agric. Res. 56: 123-134.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]

Emmami, A. 1996. Plant analysis methods. Technical publication. Soil and Water Research Institute of Iran. Vol. 182. 45p.

Flowers, T. J. and M. A. Hajibagheri. 2001. Salinity tolerance in *Hordeum vulgare*: ion concentrations in root cells cultivars differing in salt tolerance. Plant and Soil. 231: 1-9.

Hanson, A. D. and W. D. Hitz. 1982. Metabolic responses of plant water deficit. Annu. Rev. Plant Physiol. 33: 163–203.

Hasegawa, P. M., R. A., Bressan, J. K., Zhu and H. J. Bohnert. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol. 51:463–499.

Hekmatshoar, H. 1993. Plant physiology under stress. Niknam Publisher. Tabriz, Iran. 121-130.

Hu, Y. and U. Schmidhalter. 1998. Spatial distributions and net deposition rates of mineral elements in the elongating wheat (*Triticum aestivum* L.) leaf under saline soil conditions. Planta. 204: 212–219.

Husain, S., S. Von Caemmerer and R. Munns. 2004. Control of salt transport from roots to shoots of wheat in saline soil. Func. Plant Biol. 31: 1115-1126.

Koocheki, A. and M. Nasiri Mahalati. 1992. Feed value of some halophytic range plants of arid region of Iran. *In*: R. Squires Victor and T. Ayoub Ali (Eds.). Halophytes as a resources for livestock and for rehabilitation of degraded lands. Proceedings of the International Workchop on Halophytes for Reclamation of Saline Wastelands and as a Resources for Livestock, Problems and Prospects. Nairobi. Kenya, 22-27 Nov. 1992. Kluwer Academic Publisher. pp. 249-253.

Lacerda, C. F., J. Cambraia, M. A. Oliva and H. A. Ruiz. 2003. Osmotic adjustment in root and leaves of two sorghum genotypes under NaCl stress. Braz. J. Plant Physiol. 15 (2): 113-118.

Lew, R. R. 1996. Pressure regulation of electrical properties of growing *Arabidopsis thaliana* L. root hairs. Plant Physiol. 112: 1089-1100.

Mahajan, S. and N. Tuteja. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444: 139-158.

Martinez, J. P, S. Lutts, A. Schank, M. Bajji and J. M. Kinet. 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L. J. Plant Physiol. 161:1041-1051.

Moradi F., A. B. Ismail, G. B. Greegorio and J. Egdane. 2003. Salinity tolerance of rice during reproductive development and association with tolerance at seedling stage. Indian J. Plant Physiol. 8: 105-116.

Moradi, F. and A. B. Ismail. 2007. Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. Ann. Bot. 99: 1161–1173.

Morgan, J. M. 1992. Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. Aust. J. Plant Physiol. 19: 67–76.

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25: 239-250.

Munns, R. and R. Weir. 1981. Contribution of sugars to osmotic adjustment in elongating and expanded zones of wheat leaves during moderate water deficit at two light levels. Aust. J. Plant Physiol 8: 93–105.

Munns, R., R. A. James, and A. Lauchli 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J. Exp. Bot. 57: 1025-1043.

Munns, R., S. Husain, A. R. Rivelli, A. G., Condon, M. P. Lindsay, E. S. Lagudah, D. P. Schachtman and R. A. Hare. 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. Plant and Soil. 247: 93-105.

Netondo, G. W., J. C. Onyango and E. Beck. 2004. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. Crop Sci. 44: 806- 811.

Neumann, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. Plant Cell Environ. 20: 1193–1198.

Plieth, C. 2005. Calcium: Just another regulator in the machinery of life? Ann. Bot. 96: 1-8.

Rezvani Moghadam, P. and A. Koocheki., 2001. Research history on salt affected lands of Iran: Present and Future Prospects-Halophytic Ecosystem. International Symposium on Prospects of Saline Agriculture in the GCC countries. Dubai, UE.

Schachtman, D. P. and R. Munns. 1992. Sodium accumulation and leaf growth in Triticum species that differ in salt tolerance. Aust. J. Plant Physiol. 19: 331-340.

Shifraw, B. and B. D. Baker. 1996. An evaluation of drought screening techniques for *Eragrotis tef*. Trop. Sci. 36: 74-85.

Song, J. Q., X. R. Mei and H. Fujiyama. 2006. Adequate internal water status of NaCl salinized rice shoots enhanced selective calcium and potassium absorption. Soil Sci. Plant Nutr. 52: 300-304.

Speer, M. and W. M. Kaiser. 1991. Ion relations of symplastic and apoplastic space in leaves from Spinacia oleracea L. and Pisum sativa L. under salinity. Plant Physiol. 97: 990-997.

Stewart, E. A. 1989. Analysis of vegetation and other organic material. In: Acad. Press, New York. pp: 46-60.

Tester, M. and R. Dovenport. 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Ann. Bot. 91: 503-527.

Zang, J., H. T. Nguyen and A. Blum. 1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. Exp. Bot. 50: 291-302.

Zhu, J. K. 2001. Genetic analysis of plant salt tolerance using *Arabidopsis thaliana*. Plant Physiol. 124: 941-948.

Effect of salinity stress on water status, osmotic adjustment, and sodium and potassium compartmentations and distributions in seedlings of two rice genotypes

Nemati, I.[1], F. Moradi[2], M. A. Esmaili[3] and S. Gholizadeh[4]

ABSTRACT

Nemati, I., F. Moradi, M. A. Esmaili and S. Gholizadeh. Effect of salinity stress on water status, osmotic adjustment, and sodium and potassium compartmentations and distributions in seedlings of two rice genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences. 10(2): 146-164.**

In order to investigate the effect of NaCl stress on Na^+ and K^+ distribution and compartmentation in salt tolerant (IR651) and sensitive(IR29) rice genotypes, a factorial experiment based on completely randomized design (CRD) with four replications was conducted in Agricultural Biotechnology Institute of Iran (ABRII) during 2006. Seeds of rice genotypes were grown in Yushida nutrient solution and treated with 0 and 100 mM NaCl, after full expansion of sixth leaves. Leaves were scored basipetally and samples were collected from root, leafsheath and leaves No. 3, 4, 5 and 6 at 0, 72, 120, 240 and 384 h after starting treatments. In addition, some attributes including, RWC, water and osmotic potentials, osmotic adjustment, total soluble sugars, Ca^{2+}, Cl^-, and Mg^{2+} concentrations were measured only in leaf 6 until development of injury in this leaf (240 h after starting treatments). Results showed that salt stress declined dry weight (DW) of IR29 more than IR651 and had no significant effect on DW of older leaves while reduced DW of leaf 6 and root in both cultivars. Salt tolerant cultivar was able to compartmentize Na^+ in lower leaves. Concentration of K^+ reduced by salt stress in leafsheaths and roots, and had no changes in leaf 6 of both genotypes. However, osmotic adjustment was more in tolerant genotype (0.2 MPa) compare to sensitive genotype (0.03 MPa). Salinity stress increased the amount of Cl^- and total soluble sugars, while reduced Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations in leaves of both genotypes. Our findings show that the IR651 has the ability to control Na^+ transport to upper parts of plant, and compartmentize the Na^+ in older leaves; hence it was able to reduce damage to younger leaves. This helps plant for up-regulation of other salinity tolerance mechanisms. Therefore, it is possible to use these attributes for selection of tolerant lines in rice breeding programs.

Keywords: Rice, Compartmentation, Sodium, Potassium, Salt stress, NaCl, Water relations, Osmotic adjustment, Soluble sugars.

Recieved: February, 2007

1- Lecturer, Islamic Azad University, Khorramshahar Unit
2- Assistant Prof. Agric. Biotech. Inst. Iran, Karaj, Iran (Corresponding author).
3- Assistant Prof. Faculty of Agriculture, The University of Mazandaran, Sari, Iran
4- Lecturer, Islamic Azad University, Khorramshahar Unit

[DOR: 20.1001.1.15625540.1387.10.2.4.9]