"مجله علوم زراعي ايران"
جلد دهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۷

اثر تنش شوري بر روابط آبي, تنظيم اسمزي، تسهيم و پراكنش يون‌هاي سديم و پتاسيم در گياهچه‌هاي دو ژنوتيپ برنج

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

ايمان نعمتي[۱]، فواد مرادي[۲]، محمدعلي اسماعيلي[۳] و سميه قلي زاده[۴]

چكيده

نعمتي، ا.، ف. مرادي، م. ع. اسماعيلي و س. قلي زاده. ۱۳۸۷. اثر تنش شوري بر روابط آبي, تنظيم اسمزي، تسهيم و پراكنش يون‌هاي سديم و پتاسيم در گياهچه‌هاي دو ژنوتيپ برنج. مجله علوم زراعي ايران. ۱۰(۲): ۱۶۴-۱۴۶.

به منظور بررسي اثر تنش شوري بر تسهيم، توزيع يون‌هاي سديم و پتاسيم و ميزان تنظيم اسمزي در ارقام حساس (IR29) و متحمل (IR651) به شوري برنج، آزمايشي به صورت فاكتوريل در قالب طرح كاملاً تصادفي در پژوهشكده بيوتكنولوژي كرج در سال ۱۳۸۵ اجرا شد. بذرهاي ارقام متحمل و حساس به شوري در محيط كشت يوشيدا رشد داده شد و پس از توسعه كامل ششمين برگ، با دو غلظت ۰ و ۱۰۰ ميلي‌مولار كلرور سديم تيمار شدند. نمونه‌گيري از ريشه، غلاف برگ و برگ هاي ۳، ۴، ۵ و ۶ به تفكيك، در زمان‌هاي ۰، ۷۲، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۸۴ ساعت پس از اعمال تنش صورت گرفت و مولفه‌هايي نظير ماده خشك هر جزء، ميزان سديم و پتاسيم آنها اندازه‌گيري شد. مولفه‌هاي ديگري نظير ميزان آب نسبي، پتانسيل كل آب، پتانسيل اسمزي، تنظيم اسمزي، قند كل، كلسيم، كلر و منيزيم نيز تا زمان بروز علايم تنش در برگ ششم رقم حساس (۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش) و فقط در برگ ششم اندازه‌گيري شدند. نتايج نشان داد كه تنش شوري باعث كاهش بيشتر وزن خشك كل در ژنوتيپ حساسIR29 نسبت به ژنوتيپ متحمل IR651 شد. تنش شوري تاثيري بر وزن خشك برگ هاي پيرتر نداشت، ولي سبب كاهش وزن خشك برگ ششم و ريشه در هر دو ژنوتيپ گرديد. ژنوتيپ متحمل توانست سديم را در برگ هاي پير خود تسهيم نموده و از تجمع زياد آن در برگ هاي جوان‌تر اجتناب نمايد. تنش شوري باعث كاهش ميزان غلظت پتاسيم در غلاف برگ و ريشه هر دو ژنوتيپ شد, ولي تاثيري بر غلظت آن در برگ ها، غيراز برگ ششم، نداشت. تنش شوري باعث كاهش معني‌دار پتانسيل اسمزي، پتانسيل كل آب و محتواي آب نسبي (RWC) در برگ ششم هر دو ژنوتيپ نيز شد. با اين حال تنظيم اسمزي در ژنوتيپ متحمل بيش از ژنوتيپ حساس (به ترتيب ۰/۲ MPa و ۰/۰۳) بود. علاوه بر آن تنش شوري سبب افزايش معني‌دار در غلظت، كلر و قندهاي محلول كل و كاهش غلظت، كلسيم و منيزيم در برگ ششم ژنوتيپ‌هاي مورد مطالعه شد. اين نتايج نشان داد كه ژنوتيپ IR651 داراي سازوكارهاي كاهش سرعت انتقال سديم به برگ هاي جوان و تسهيم بيشتر سديم در برگ هاي پير گياه مي‌باشد، و بدين وسيله نه تنها از بروز خسارت در برگ هاي جوان، فرصت كافي براي بروز ساير سازوكارهاي تحمل به شوري در گياه را فراهم مي‌آورد. بنابراين به نظر مي رسد كه مي‌توان از نحوه تسهيم سديم در برگ ها و ميزان تنظيم اسمزي، براي شناسايي لاين‌هاي متحمل به تنش شوري در برنامه‌هاي به‌نژادي برنج، استفاده نمود.

واژه هاي كليدي: برنج، پتاسيم، تسهيم، تنش شوري، تنظيم اسمزي، روابط آبي، سديم، قندهاي محلول

تاريخ دريافت: ۱۳۸٦/۱۱/۲۱

۱- ايمان نعمتي، مربي دانشگاه آزاد اسلامي واحد خرمشهر
۲- استاديار پژوهشكده بيوتكنولوژي كشاورزي (مكاتبه كننده)
۳- استاديار دانشكده كشاورزي دانشگاه مازندران
٤- مربي دانشگاه آزاد اسلامي واحد خرمشهر

مقدمه

نمک موجود در محلول خاک یکي از مهم‌ترین عوامل کاهش دهنده عملکرد گیاهان زراعي، به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا است. در حدود ۲۰ درصد از کل زمین‌هاي زراعي و نیمي از زمین‌هاي تحت آبیاري دنیا، تحت تاثیر شوري قرار گرفته است (Husain *et al.*, 2004). جعفري (Jafari, 2000) معتقد است که سطح اراضي تحت تاثیر شوري در ایران ۲۳/۵ میلیون هکتار بوده که حدود ۱٤/۵ درصد از کل مساحت ایران را شامل مي‌شود، اما مطالعات دقیق‌تر نشان مي‌دهد که این مقدار بیشتر بوده و حدود ۲۷ میلیون هکتار از اراضي ایران به شدت هاي متفاوت تحت تاثیر خاك هاي شور و قلیایي هستند (Rezvani and Koocheki, 2001). شوري تأثیر چندجانبه‌اي بر گیاهان زراعي داشته و باعث بروز تنش اسمزي، سمیت یوني و اختلال در تعادل یوني مي‌شود (Munns, *et al*., 2006). به طور کلي یک رابطه منفي بین غلظت سدیم در اندام هوایي گیاه و میزان رشد گیاهان وجود دارد، اما به دلیل وجود سازوکارهاي مختلف موثر بر تجمع سدیم در اندام‌هاي هوایي گیاهان، این رابطه در تمام گونه‌هاي 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 شوري مورد استفاده قرار مي‌گیرد (Song *et al*., 2006). مرادي و همکاران (Moradi *et al.,* 2003) نشان دادند که تفاوت‌هاي ژنتیکي معني‌داري بین ارقام و لاین‌هاي برنج از نظر تجمع سدیم و پتاسیم در اندام‌هاي مختلف گیاه وجود دارد. مرادي و اسماعیل (Moradi and Ismail, 2007) نشان دادند که براي ایجاد تحمل به تنش شوري در برنج، سازوکارهاي فیزیولوژیکي متفاوتي از جمله تسهیم نمک در اندام‌هاي ساختاري، واکنش سریعتر روزنه به تنش شوري و تحمل به تنش اکسیداتیو بطور همزمان در یک لاین باید وجود داشته باشد.

انباشته شدن مواد محلول در پاسخ به تنش ناشي از نمك، در حقیقت واکنشي است که در قبال تنش آب ناشي از اختلاف موجود در پتانسیل‌هاي آب گیاه و محلول خاك بروز مي‌کند (Hekmatshoar, 1993). تنظیم اسمزي از طریق تجمع یون‌ها بسیار سریعتر از ساختن محلول‌هاي سازگار صورت مي‌گیرد (Lew, 1996)، بنابراین در طول تنظیم اسمزي، گیاهان مقادیر بالایي از انرژي متابولیکي خود را صرف جذب و تسهیم یون‌ها در درون سلول و ساختن محلول‌هاي سازگار مي‌کنند. از این رو این فرآیند براي بقاي گیاه در شرایط شور و یا خشك ضروري مي‌باشد (Lacerda *et al*., 2003).

هدف از این تحقیق یافتن رابطه بین تسهیم سدیم و پتاسیم در اندام‌هاي مختلف گیاهچه برنج و همچنین نحوه تجمع محلول‌هاي سازگار و تنظیم اسمزي در جوان‌ترین برگ گیاهچه‌هاي جوان برنج، در زمان بروز تنش شوري بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۸۵-۱۳۸٤ در گلخانه پژوهشکدة بیوتکنولوژي کشاورزي (ABRII)[1] به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفي با دو ژنوتیپ حساس (IR29) و متحمل (IR651) در دو سطح شوري و چهار تکرار انجام گرفت. طرح آزمایشي براي مؤلفه‌هایي که فقط یك بار اندازه گیري شدند (مانند وزن خشك اندام‌ها) به صورت ساده (طرح فاکتوریل دو عاملي) و براي مؤلفه‌هایي که در چند زمان اندازه گیري 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.

طرح فاکتوریل چهار عاملي مورد تجزيه و تحليل قرار گرفتند. کشت گیاهان در این آزمایش در ظروف پلاستيکي ۱۹ ليتري انجام شد. بطوري که بذور ابتدا در دماي ۳۳ درجه سانتي‌گراد جوانه‌دار شده، سپس به مدت سه روز در ظروف کاشت با آب مقطر قرار داده شدند تا بذور استقرار يابند. پس از اين مدت، آب مقطر با محيط کشت يوشيدا جايگزين شد. محيط کشت يوشيدا هر ٤-٥ روز يکبار تعويض و pH محيط کشت هر روز صبح با استفاده از هيدروکسيد پتاسيم و اسيد کلريدريک ۱ نرمال در سطح ۵/۵ تنظيم شد. در طول اجراي آزمايش رطوبت نسبي محيط ۱۵±۷۰ درصد، دماي گلخانه ۲±۲۵/۳۲ (روز/شب) درجه سانتيگراد و ميزان نور گلخانه نيز با شدت ۵۰±۷۵۰ ميکرومول بر مترمربع بر ثانيه بود که در زمان کمبود نور ميزان مورد نياز توسط لامپ تنگستن تأمين شد. در مرحلة رشد رويشي، زماني که برگ ششم گياه کامل گرديد (حدوداً ٤ هفته بعد از کاشت) شماره‌گذاري از پايين بوته انجام گرديد، به‌طوري‌که پيرترين برگ شماره۳، و جوان‌ترين برگ شماره ٦ در نظر گرفته شد. در اين زمان، گياهچه-هاي مورد مطالعه با دو سطح نمك کلرور سديم، شامل صفر و ۱۰۰ ميلي مولار تيمار گرديدند که نمک مذکور به همراه محلول غذايي به محيط ريشه اضافه شد. نمونه-گيري‌ها براي ماده خشک اندام‌هاي مختلف و سديم و پتاسيم در پنج مرحله شامل قبل از اعمال تيمار شوري (صفر) و ۷۲، ۱۲۰، ۲٤۰ و ۳۸٤ ساعت پس از اعمال تنش شوري و براي مولفه‌هاي تنظيم اسمزي در چهار مرحله (تا پيش از مرگ جوانترين برگ در رقم حساس IR29، تا ۲٤۰ ساعت پس از اعمال تنش) صورت گرفت.

در تمامي مراحل، نمونه‌هاي‌تر بلافاصله با ازت مايع منجمد شده و به فريزر ۸۰- درجه منتقل شدند و ساير نمونه‌ها در دماي ۷۰ درجه سانتي‌گراد به مدت ۳ روز خشك شدند. کليه اجزاي مربوط به روابط آبي در برگ ششم اندازه‌گيري شد.

هضم نمونه‌ها به منظور اندازه‌گيري سديم، پتاسيم، کلسيم و منيزيم با اسيد سولفوريک ۹٦ درصد، آب اکسيژنه و پودر اسيد ساليسيلیک انجام شد (Emmami, 1996). جذب کاتيون پتاسيم وسديم با استفاده از دستگاه نشر شعله‌اي[1] (مدل Corning-410, USA) خوانده شد. به منظور سنجش غلظت کاتيون‌هاي کلسيم و منيزيم از دستگاه جذب اتمي[2] مدل (Perkin Elmer 3110, USA) استفاده شد. براي اندازه‌گيري يون کلر، نمونه‌ها با استفاده از آب مقطر هضم شد و با دستگاه اندازه گيري يون (Methrom, Switzerland) غلظت يون کلر برآورد شد. به منظور سنجش قندهاي محلول کل برگ از محلول ۵ درصد سولفات روي، محلول هيدروکسيد باريوم ۰/۳ نرمال و محلول فنل ۵ درصد بر اساس روش استيوارت (Stewart, 1989) انجام شد.

در اين بررسي ميزان RWC از رابطة زير بدست آمد (Irigoyen *et al*., 1992).

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

در اين رابطه Wf وزن تازة برگ، Wt وزن تورژسانس برگ و Wd وزن خشک برگ مي‌باشد.

پتانسيل آب برگ در ابتداي صبح قبل از طلوع کامل آفتاب با استفاده از دستگاه بمب فشار مدل Laboratory Plant Water Status Console, Santa Barbara, USA اندازه‌گيري شد (Shifraw and Baker,. 1996). از دستگاه اسمومتر مدل Wescor- 5520, USA براي اندازه‌گيري پتانسيل اسمزي استفاده شد. با استفاده از فرمول وانت هوف مقدار پتانسيل اسمزي برگ محاسبه گرديد (Martinez *et al*., 2004).

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

1- Flame Photometer

2- Atomic Absorption Spectrometer

در اين معادله M مولاريتة محلول، I ضريب يونيزاسيون، R ثابت عمومي گازها برابر با ۰/۰۰۸۳۱۴۳ ($MPa\ mol^{-1}\ K^{-1}$)، T دما بر حسب درجة كلوين (+۲۷۳°C) مي‌باشد كه در اين صورت پتانسيل اسمزي Ψs بر حسب مگاپاسكال محاسبه شد.

از اختلاف مقدار پتانسيل اسمزي برگ تحت تنش با برگ در شرايط كنترل، مقدار تنظيم اسمزي كل بر اساس رابطه زير بدست آمد (Blum, 1989; Zang, 1999).

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

در اين معادله OA_{tot} مقدار تنظيم اسمزي كل، Ψ_{sc100} مقدار پتانسيل اسمزي گياه در شرايط كنترل در صددرصد آماس، Ψ_{ss100} مقدار پتانسيل اسمزي گياه تحت تنش در صددرصد آماس بوده است.

جهت انجام محاسبات آماري از نرم‌افزارهاي آماري SAS (Ver. 6.1) و به منظور نمايش روند تغييرات و رسم منحني‌ها از صفحه گسترده Excel استفاده شد.

نتايج و بحث

وزن خشك

تنش شوري سبب كاهش معني‌دار (P<0.01) در وزن خشك ريشه هر دو ژنوتيپ شد (شكل 1A)، ولي ۳۸٤ ساعت پس از اعمال تنش كلرور سديم، در شاهد تفاوت معني‌داري بين دو ژنوتيپ از اين نظر ديده نشد، در حالي كه در تنش شوري، وزن خشك ريشه در ژنوتيپ IR651 حدود ۱۲ درصد بيش از ژنوتيپ IR29 بود. نتايج اين آزمايش نشان داد كه در تنش شوري، تفاوت بين دو ژنوتيپ و بين شاهد و تنش از نظر وزن خشك كل بوته تفاوت معني‌دار (P<0.01) وجود داشت. كاهش وزن خشك بوته در اثر شوري، درIR29 بيش از IR651 بود (شكل 1B و جدول ۱). تغييرات وزن خشك غلاف برگ دو ژنوتيپ، در تنش شوري متفاوت بود به طوري كه در ژنوتيپ متحمل كاهش، و در ژنوتيپ حساس افزايش وزن خشك غلاف برگ مشاهده شد، ولي در تيمارشاهد، از اين نظر تفاوتي بين دو ژنوتيپ ديده نشد (جدول۱ و شكل 1C).

در تيمار شاهد، ۳۸٤ ساعت پس از آغاز اعمال تيمار، وزن خشك برگ ششم در ژنوتيپ حساس به طور معني‌داري (P<0.01، جدول۱) بيش از ژنوتيپ متحمل بود (شكل 2A)، در حالي كه از نظر وزن خشك كل در همين تيمار، تفاوت معني‌داري بين دو ژنوتيپ ديده نشد (شكل 1B). تنش شوري باعث كاهش وزن خشك برگ ششم، بيش از ساير برگ‌ها شد، و كاهش در ژنوتيپ متحمل ۱۲ درصد و در ژنوتيپ حساس حدود ٤۰ درصد بود (شكل 2A). همچنين مشخص شد كه تنش شوري تاثير معني‌داري بر وزن خشك برگ‌هاي شماره ۳، ٤ و ۵ (شكل ۲؛ B، C، D) نداشت، ماده خشك اين برگ‌ها در بين ژنوتيپ‌ها، تفاوت معني‌داري با هم داشت (جدول ۱). دليل اين عدم تفاوت، عمدتاً زمان اعمال تنش در اين مطالعه بود كه پس از شكل‌گيري كامل اين برگ‌ها انجام شد. براساس اظهار مونس و همكاران (Munns *et al.*, 2002) توليد زيست‌توده توسط گياه، در تنش شوري در مقايسه با شرايط شاهد، با تحمل به شوري همبستگي دارد.

كاهش توليد ماده خشك گياه در شرايط شوري به دليل افزايش هزينه انرژي، كاهش كربن‌گيري و كاهش ميزان فتوسنتز در واحد سطح برگ مي‌باشد (Moradi and Ismail, 2007). هاسگاوا و همكاران (Hassegawa *et al.*, 2000)، مونس (Munns, 2002) و نيومن (Neumann, 1997) نيز كاهش وزن خشك كل را در اثر تنش شوري گزارش كرده‌اند و اظهار داشته‌اند كه دليل اين كاهش، به خاطر تلفيق اثرات تنش اسمزي، اثر سميت يوني، و تغيير غلظت عناصر غذايي ناشي از نمك موجود در محلول خاك بوده است. شاختمن و مونس (Schatchmann and Munns, 1992) اعلام كردند كه ميزان رشد برگ با غلظت يون سديم در برگ رابطه منفي داشت.

جدول تجزيه واريانس نشان مي‌دهد كه اثر تمام

جدول ۱. تجزیه واریانس وزن خشك کل, ریشه, غلاف برگ و برگهاي مختلف دو ژنوتیپ برنج

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

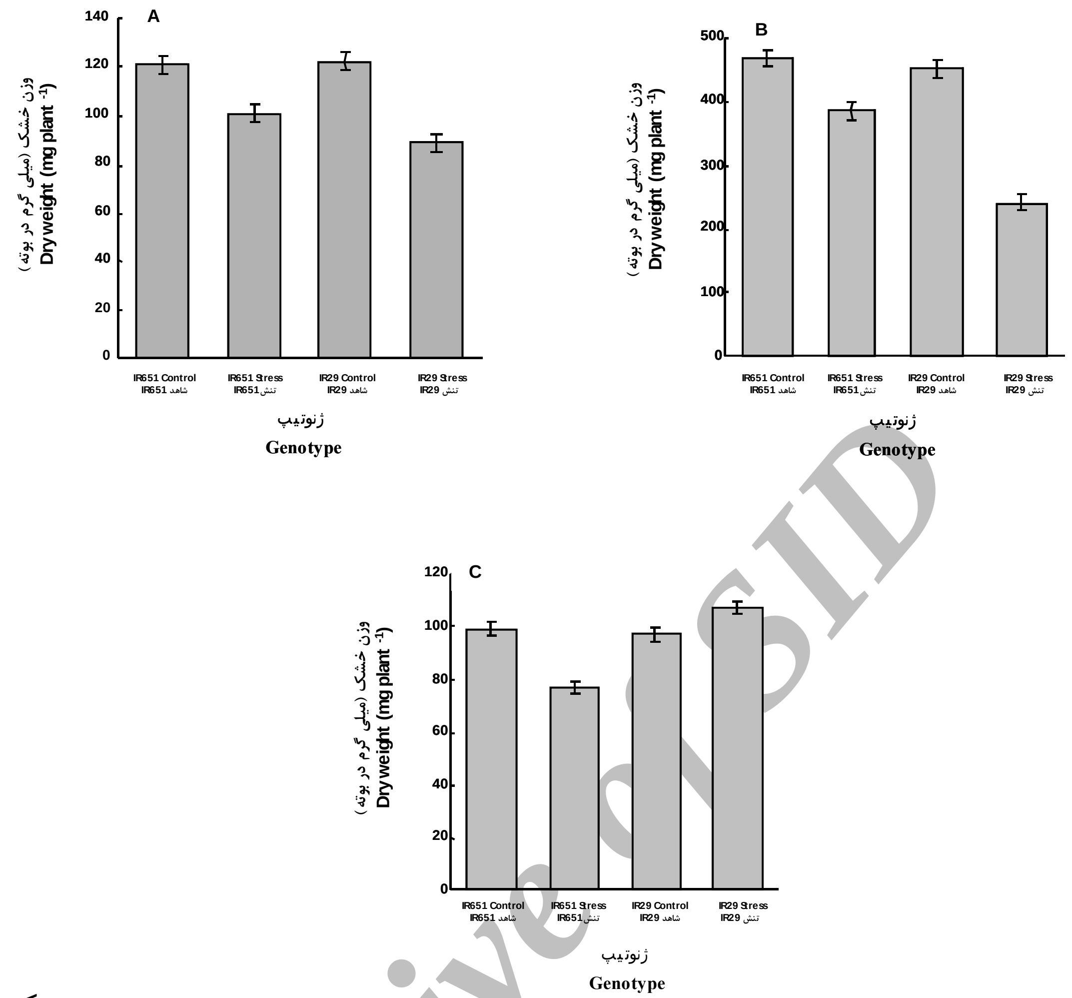
		Mean Squares میانگین مربعات						
S.O.V. منبع تغییرات	درجه‌آزادي (df)	کل بوته Total dry matter	ریشه Root	غلاف برگ Leaf sheath	برگ سوم Leaf 3	برگ چهارم Leaf 4	برگ پنجم Leaf 5	برگ ششم Leaf 6
Genotype (G) ژنوتیپ	1	25202**	625**	784**	4.2**	63.6**	4.6*	1.0ns
Salinity (S) شوري	1	84827**	1521**	144**	0.005ns	0.002ns	1.8ns	361.0**
S × G ژنوتیپ × شوري	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 معني دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ مي‌باشند.

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

ns: غیر معني دار

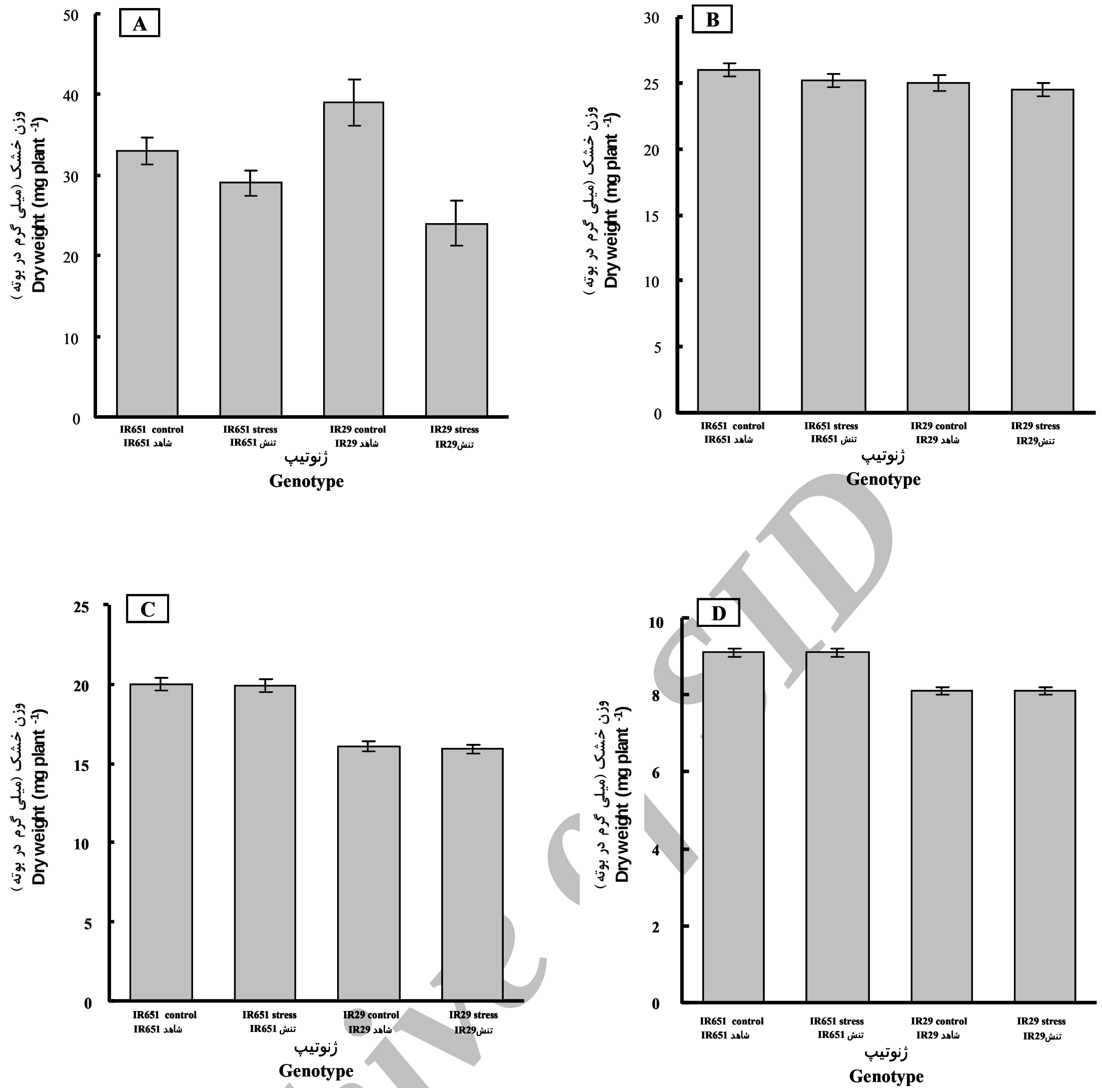
ns: Non-Significant



شكل ۱- اثر شوري (صفر و ۱۰۰ ميلي‌مولار كلرور سديم) بر وزن خشک کل بوته (A) و وزن خـشک غـلاف بـرگ (B) و ريشه (C) دو رقم برنج (IR651 و IR29) در ۳۸۴ ساعت پس از اعمال تنش شوري. ميله‌هاي عمودي نشانه ± خطاي 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.

تيمارها واثر متقابل آنها در تجمـع يـون سـديم معنـي‌دار بوده است (P<0.01، جدول ۲). اين سطح معني‌داري در كليـه بـرگ‌هـا، ريـشه و غـلاف بـرگ ديـده شـد (شكل ۳، جدول تجزيه واريانس نشان داده نشده است). انـدازه‌گيـري غلظـت يـون سـديم نـشان داد كـه در زمان‌هاي مختلف نمونه‌گيـري (۰، ۷۲، ۱۲۰،۲٤۰ و ۳۸٤ ساعت) در برگ ششم (جـوان‌تـرين بـرگ، شـكل ۳A) گياهچه‌هاي مورد مطالعه، غلظت ايـن يـون در ژنوتيـپ IR651 به ترتيب ۱۱٤/۸، ۱۲۹/٦، ۱۱۲/٦، ۱۹٦/۵ و ٦۵۰ ميلي‌مول بر كيلوگرم وزن خشك بود، در حـالي‌كـه در ژنوتيپ حساس IR29 ميـزان سـديم بـه ترتيـب ۱۱۸/۵، ۱۵۹/٤، ۱۸۱/٦، ۵۲۵/۸ و ۲۲٤۱ ميلي‌مـول بـر كيلـوگرم وزن خشك رسيد. بنابراين ژنوتيپ متحمل توانـست در ۱۰ روز اول تـنش، ميـزان يـون سـديم را در فعـال‌تـرين برگ خود پايين نگه دارد و فرصت كـافي بـراي توليـد برگ بعدي و يا تظـاهر سـاير سـازوكارهـاي تحمـل بـه تـنش شـوري را فـراهم نمايـد. در بـرگ‌هـاي مختلـف بيشترين تفاوت غلظت سديم بين دو ژنوتيپ، در بـرگ



شكل ۲- وزن خشک برگ‌هاي شماره ٦، ٥، ٤ و ۳ (به ترتيب A، B، C و D) دو ژنوتيپ برنج (IR651 و IR29) ۳۸٤ ساعت پس از اعمال تنش شوري. ميله‌هاي عمودي نشان دهنده ميانگين چهار تكرار± خطاي 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 (جوان‌ترين برگ) ديده شد به طوري كه غلظت سديم اين برگ در ژنوتيپ حساس ۳/٤ برابر ژنوتيپ متحمل بود (شكل ۳A). با اين حال بيشترين افزايش غلظت يون سديم، در برگ سوم (پيرترين برگ) مشاهده شد (شكل ۳D).

جالب توجه آن كه در ژنوتيپ حساس ۳۸٤ ساعت پس از اعمال تنش شوري، غلظت يون سديم تفاوت معني‌داري بين برگ‌هاي سوم، چهارم و پنجم نداشت (شكل‌هاي۳، B، C و D) و در تمامي آنها ميزان اين يون بيش از ۳۳۰۰ ميلي مول بر كيلوگرم وزن خشك بود، در حالي كه در ژنوتيپ متحمل، برگ سوم بيشترين غلظت سديم را داشت و بتدريج از غلظت آن در برگ چهارم تا ششم كاسته شد (شكل ۳). در اين آزمايش افزايش يون سديم در برگ‌هاي سوم و چهارم ژنوتيپ متحمل ۷۲ و ۱۲۰ ساعت پس از اعمال تنش شوري مشاهده شد، در حالي كه در برگ‌هاي جوان‌تر (پنجم و ششم) افزايش سديم پس از ۲٤۰ ساعت مشاهده گرديد (شكل ۳)، درصورتي كه روند افزايشي تجمع يون سديم

جدول ۲. تجزيه واريانس براي تجمع سديم و پتاسيم در ژنوتيپ‌هاي برنج مورد مطالعه بر اساس تيمارهاي زمان نمونه‌گيري، ژنوتيپ، سطح شوري و اندام‌هاي گياهي.

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 تغييرات	درجه آزادي df	ميانگين مربعات Mean squares سديم Sodium	پتاسيم Potassium
Sampling time (ST)	زمان نمونه‌گيري	4	20810883.7***	3904655.2***
Genotype (G)	ژنوتيپ	1	5788693.9***	486662.7***
Salinity level (SL)	سطح شور	1	85428326.8***	974434.9***
Plant part (PP)	اندام گياه	5	4605684.9**	58384856.7**
ST × G	ژنوتيپ × زمان نمونه‌گيري	4	1857305.8**	253083.1**
ST × SL	سطح شوري × زمان نمونه‌گيري	4	20322548.4**	164444.5**
ST × PP	اندام گياه × زمان نمونه‌گيري	20	806621.9**	1601193.4**
G × SL	سطح شوري × ژنوتيپ	1	5413684.3**	186797.3**
G × PP	اندام گياه × ژنوتيپ	5	694897.2**	43203.2**
SL × PP	اندام گياه × سطح شوري	5	3732002.2**	836887.3**
ST × G × SL	سطح شوري × ژنوتيپ × زمان نمونه‌گيري	4	2152506.2**	32585.8**
ST × SL × PP	اندام گياه × سطح شوري × زمان نمونه‌گيري	20	767316.2**	105000.9**
ST × G × PP	اندام گياه × ژنوتيپ × زمان نمونه‌گيري	20	298184.5**	88099.7**
G × SL × PP	اندام گياه × سطح شوري × ژنوتيپ	5	800011.4**	176654.7**
ST × G × SL × PP	اندام گياه × سطح شوري × ژنوتيپ × زمان نمونه‌گيري	20	282662.3**	52930.4**
Error	خطا	338	26796.3	8928.8
C.V.(%)	درصد ضريب تغييرات		28.3	8.2

** و ***: به ترتيب معني دار در سطح احتمال ۱٪ و ۰/۱٪.

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

از همان ابتدا در کليه برگ‌هاي ژنوتيپ حساس ديده شد.

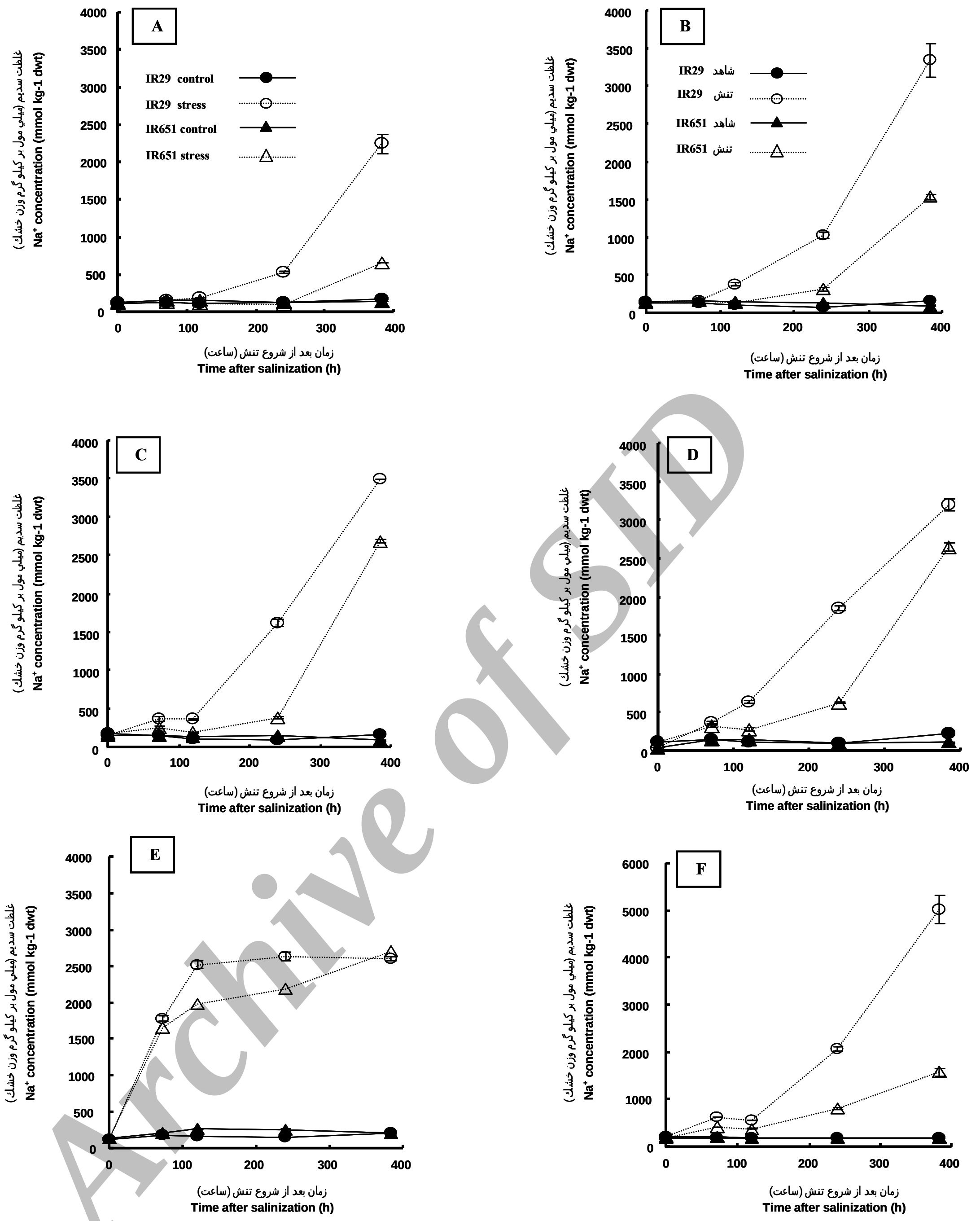
شکل ۳ نشان مي‌دهد که ژنوتيپ حساس نسبت به ژنوتيپ متحمل، مقدار بيشتري از سديم را در اندام هوايي خود ذخيره کرده که سبب بروز خسارت اسمزي و سميت يوني بيشتري در اين ژنوتيپ گرديده است. اين امر مي‌تواند دليل ديگري براي کاهش بيشتر وزن خشک IR29 نسبت به IR651 باشد. مطالعات متعددي نشان داده‌اند که تحمل به نمک در بسياري از گونه‌هاي گياهي به ميزان تجمع نمک در اندام‌هاي گياه، به خصوص در برگ‌هاي در حال توسعه بستگي دارد(Neumann, 1997; Hassegawa *et al.*, 2000).

نتايج اين تحقيق نشان داد که ژنوتيپ متحمل قادر به ذخيره مقادير بالايي از سديم در برگ‌هاي پيرتر و دور نگهداشتن اين يون از برگ‌هاي جوان خود بود (شکل ۳). محافظت از برگ‌هاي جوان، يکي از خصوصيات مهم گياهان متحمل به شوري است (Tester and Dovenport, 2003). به نظر مي‌رسد نه تنها ميزان جذب سديم دو ژنوتيپ متفاوت بوده، بلکه سازوکار توزيع آن در دو ژنوتيپ نيز متفاوت بوده است. به طوري که در ژنوتيپ متحمل، سديم در برگ‌هاي پير ذخيره شد، در حالي‌که چنين سازوکاري در ژنوتيپ حساس ديده نشد. اين نتايج با يافته‌هاي تستر و داوِنپورت (Tester and Dovenport, 2003) مطابقت داشت.

مونس (Munns, 2002) گزارش کرد که در گياهان، حامل خاصي براي انتقال سديم وجود نداشته و سديم از طريق رقابت با پتاسيم و ديگر کاتيون‌ها وارد گياه مي‌شود. سديم مي‌تواند از طريق حامل‌هاي پرتمايل پتاسيم[1] و يا از طريق کانال‌هاي کم تمايل که به نام کانال هاي کاتيوني غير انتخابي[2] ناميده مي‌شوند، وارد سلول‌هاي گياه شود. مونس و همکاران (Munns *et al.*, 2006) نيز

1- High affinity potassium carriers

2- Non-selective cation channels



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 هوایي در بسیاري از ارقام، به میزان زیادي باعث افزایش تحمل کلرور سدیم مي‌گردد.

تنش شوري باعث افزایش سریع سدیم در ریشه هر

دو ژنوتيپ گرديد، ولي پس از آن غلظت سديم تقريباً ثابت ماند، با اين تفاوت كه شدت تجمع در ژنوتيپ متحمل كندتر بود . نهايتاً پس از ۳۸٤ ساعت تفاوت معني داري بين دو ژنوتيپ از نظر غلظت سديم ديده نشد (شكل ۳E). با اين حال مشاهدات نشان داد كه در اين زمان ريشه ژنوتيپ حساس كاملاً به رنگ قهوه‌اي در آمده و تقريباً مرده بود، در حالي‌كه ريشه ژنوتيپ متحمل رنگ قهوه‌اي روشن داشت و همچنان فعال به نظر مي‌رسيد. تنش شوري موجب افزايش غلظت يون سديم غلاف برگ هر دو ژنوتيپ شد و اين افزايش در ژنوتيپ حساس بيش از ژنوتيپ متحمل بود. در زمان-هاي مختلف نمونه‌گيري، غلظت سديم غلاف برگ ژنوتيپ حساس به ترتيب ۱/۰۱، ۱/۵۱، ۱/٤٦، ۲/۵۸ و ۳/۱۸ برابر ژنوتيپ متحمل بود (شكل ۳F).

تنش شوري تاثير معني‌داري ($P<0.05$، جدول ۲) بر غلظت يون پتاسيم جوان‌ترين برگ هر دو ژنوتيپ داشت و سبب كاهش آن شد، هرچند شدت كاهش در ژنوتيپ حساس به مراتب بيش از ژنوتيپ متحمل بود (شكل ٤A). تغييرات غلظت پتاسيم ساير برگ‌ها در تنش شوري تفاوت معني‌داري با شاهد نداشت (شكل ٤، B ، C و D). افزودن كلرور سديم به محلول غذايي، باعث كاهش بسيار معني‌دار ($P<0.01$) غلظت يون پتاسيم برگ ششم، ريشه و غلاف برگ هر دو ژنوتيپ گرديد (شكل ٤، A، E و F).

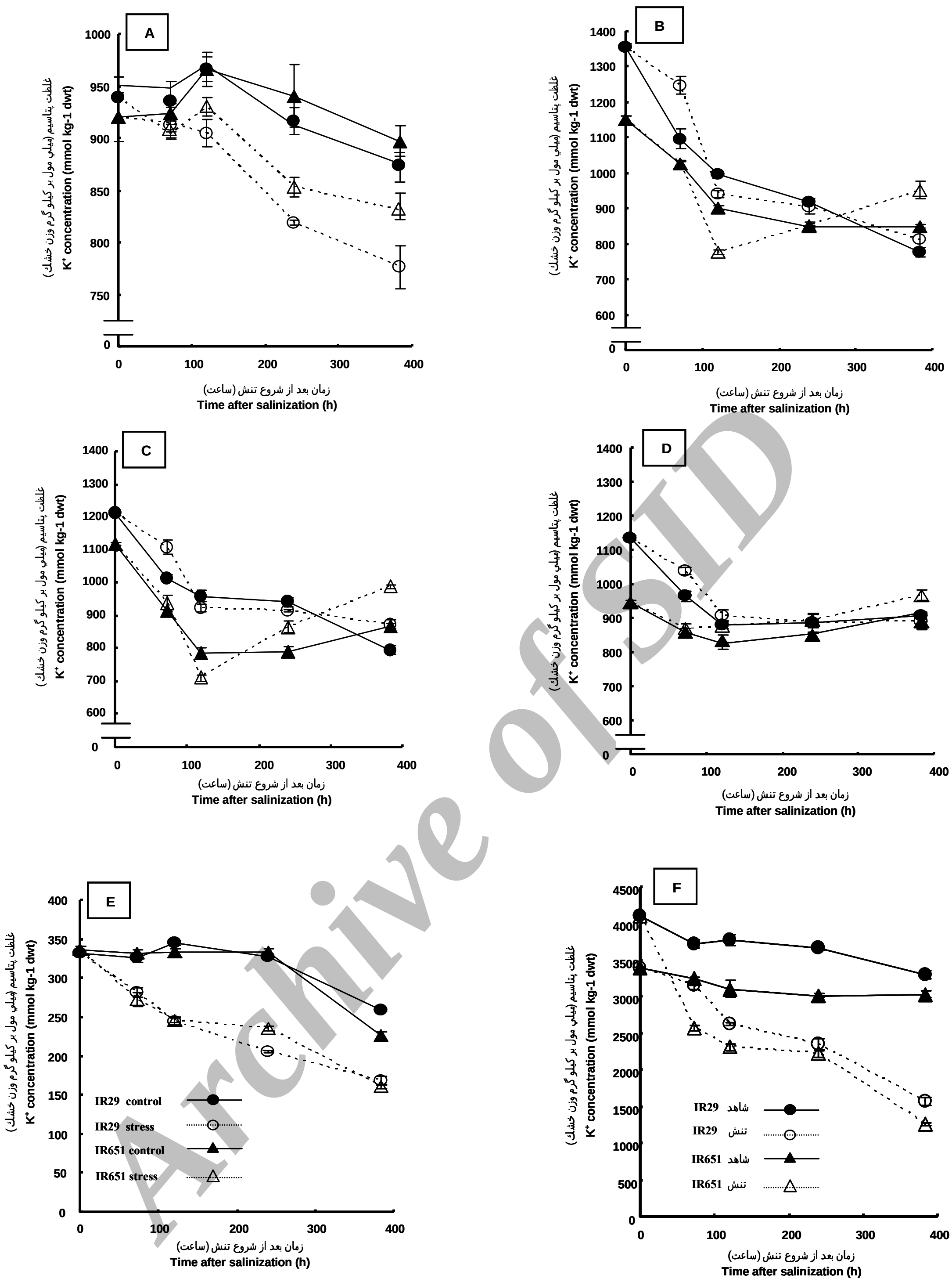
پتاسيم يكي از عناصر غيرآلي مهم است كه در تنظيم اسمزي گياه نقش اساسي داشته و در سلول‌هاي گياهان، در بيش از ۵۰ آنزيم به عنوان يک كوفاكتور عمل مي كند(Carden *et al*., 2003). تنش كلرور سديم باعث كاهش در غلظت پتاسيم در ريشه و غلاف برگ هر دو ژنوتيپ شده است (شكل ٤). نتايج مشابهي نيز توسط اسپير و كايسر (Speer and Kaiser, 1991)، فلاورز و حاجي‌باقري (Flowers and Hajibagheri, 2001) و كاردن و همكاران (Carden *et al*., 2003) ارائه شد. زو (Zhu, 2003) نيز گزارش داد كه سديم با پتاسيم براي جذب از طريق كانال‌هاي سديم-پتاسيم رقابت كرده و ممكن است سبب از كار افتادن ناقلين اختصاصي پتاسيم[1] گردد. به هر حال كاهش غلظت پتاسيم برگ ششم در تيمار شاهد مي‌تواند به دليل افزايش سن برگ و امري طبيعي باشد. اين نتيجه مغاير با نتايج ماهاجان و توتجا (Mahajan, and Tuteja, 2005) است. جلوگيري از جذب پتاسيم توسط گياه در اثر وجود سديم در محيط رشد، باعث اختلال در فعاليت‌هاي حياتي گياه نظير فعاليت آنزيم‌هاي وابسته به پتاسيم و حفظ فشار آماس سلول مي‌گردد، اين اختلال به عنوان عدم تعادل يوني در نتيجه تنش شوري شناخته شده است. عدم تغيير معني‌دار ميزان پتاسيم در ژنوتيپ متحمل در زمان تنش، سبب حفظ فعاليت‌هاي وابسته به پتاسيم در درون ژنوتيپ متحمل گرديده و گياه احتمالاً در زمان تنش فعال نگه داشت.

روابط آبي

نتايج حاصل از اين آزمايش نشان داد كه افزودن نمک كلرور سديم سبب كاهش معني‌داري ($P<0.01$) در محتواي آب نسبي (RWC) برگ داشت. در طول دوره اجراي آزمايش، RWC روند كاهشي نشان داد كه كاهش مشاهده شده در ژنوتيپ IR29 به طور معني‌داري بيش از IR651 بود (شكل ۵). ده روز پس از اعمال تنش شوري، RWC در ژنوتيپ IR29 به ۷۹/۹ درصد و در ژنوتيپ IR651 به ۹۱/۵ درصد رسيد.

اندازه‌گيري پتانسيل كل آب برگ ششم نشان داد كه تنش شوري باعث كاهش معني‌دار اين مؤلفه در هر دو ژنوتيپ شد (شكل ۶A). در زمان ۱۲۰ ساعت پس از اعمال تيمار نمک، پتانسيل كل آب برگ هر دو ژنوتيپ كاهش معني‌داري نسبت به شاهد يافت و بعد از ۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش ميزان پتانسيل آب

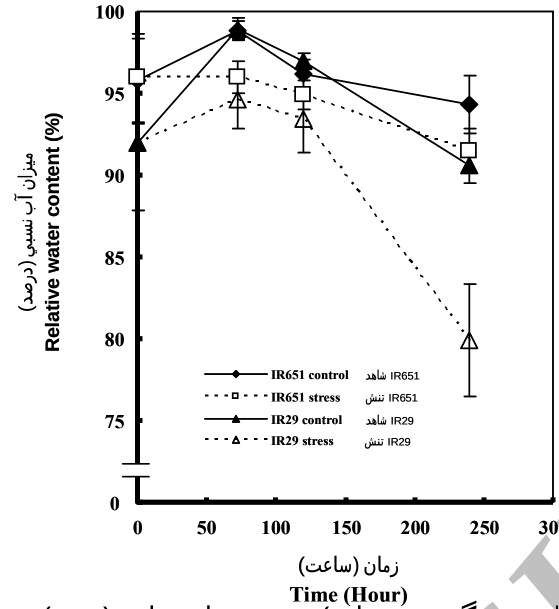
1- K^+-specific transporters



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.

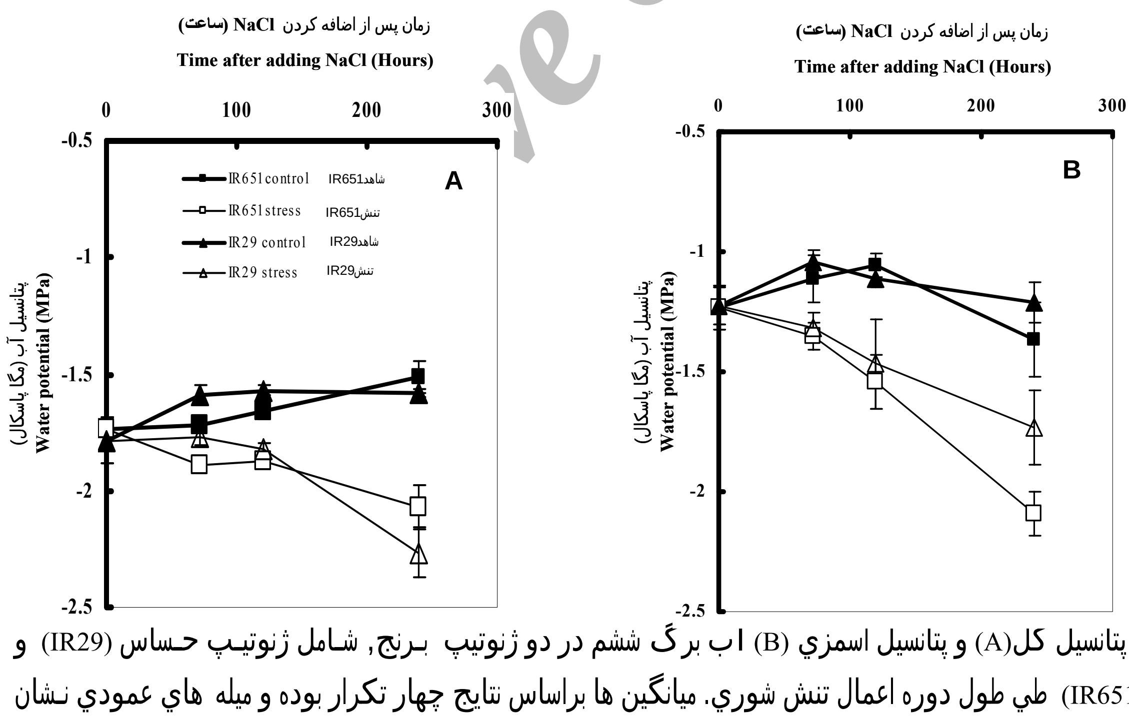
Fig. 4. Potassium concentrations in leaf 6 (A, youngest fully expanded leaf), 5 (B), 4 (C), 3 (D, oldest leaf), roots (F) and leafsheaths (E) in two rice genotypes (IR651 and IR29) from commencement to 384 hours after salinization.

بـرگ شـشم از ۱/۷۳- مگـا پاسـکال، بـه حـدود ۲/۰۹- در IR651 (ژنوتیـــــپ متحمـــــل) و ۲/۳۵- مگا پاسکال در IR29 (ژنوتیپ حـساس) رسـید (شکل ۶A).



شکل ۵- ميزان نسبي آب برگ ششم (جوانترين برگ توسعه يافته) ژنوتيپ ها حساس (IR29) و متحمل (IR651) در دوره اعمال تنش شوري. ميانگين ها براساس نتايج چهار تکرار بوده و ميله هاي عمودي نشان دهنده خطاي 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- پتانسيل کل(A) و پتانسيل اسمزي (B) اب برگ ششم در دو ژنوتيپ برنج, شامل ژنوتيپ حساس (IR29) و متحمل (IR651) طي طول دوره اعمال تنش شوري. ميانگين ها براساس نتايج چهار تکرار بوده و ميله هاي عمودي نشان دهنده خطاي 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 پتانسيل اسمزي در هر دو ژنوتيپ روند كاهشي داشت و پس از اين زمان، در هر دو ژنوتيپ، و با شدت كمتر در IR651، كاهش يافت (شكل ۶B).

اين بررسي نشان داد كه سازوكار تنظيم اسمزي در ژنوتيپ متحمل (IR651) بطور بسيار معني‌داري كاراتر از ژنوتيپ حساس (IR29) بود، بطوري‌كه در ژنوتيپ متحمل تنظيم اسمزي بلافاصله پس از اعمال تنش شوري آغاز شد و در طي دوره اعمال تنش، به طور مداوم افزايش يافت در حالي‌كه در ژنوتيپ حساس تغيير چنداني نيافت (شكل ۷). اين تحقيق نشان داد كه ۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش، تنظيم اسمزي در جوان‌ترين برگ ژنوتيپ متحمل تقريباً ۷ برابر (۰/۲ مگاپاسكال) ژنوتيپ حساس (۰/۰۳ مگاپاسكال) بود.

اولين تاثير افزودن ۱۰۰ ميلي مولار كلرور سديم به محلول غذايي، كاهش پتانسيل اسمزي محيط بوده كه جذب آب توسط گياه را مختل نمود. كاهش جذب آب توسط گياه، باعث كاهش ميزان آب نسبي برگ (RWC) گرديد (شكل ۵). نتايج اين تحقيق نشان داد كه كاهش بيشتر RWC در ژنوتيپ حساس مي تواند به دليل عدم توانايي اين ژنوتيپ در حفظ تنظيم اسمزي آب برگ خود باشد (شكل ۴)، در حالي كه ژنوتيپ متحمل سازوكار قدرتمندي براي تنظيم اسمزي خود داشته و به همين دليل RWC در اين ژنوتيپ تحت تنش تغيير چنداني نداشت. پتانسيل اسمزي كمتر برگ در ژنوتيپ متحمل سبب جذب آب بيشتر توسط برگ شده و همين عامل سبب گرديد كه RWC اين برگ بيشتر از ژنوتيپ حساس باشد. داشتن RWC بالا در شرايط تنش، سبب حفظ ساختار و شكل سلول‌هاي برگ در ژنوتيپ متحمل شده و گياه را قادر به ادامه فتوسنتز نمود. توان فتوسنتزي بالاتر در شرايط تنش شوري در ژنوتيپ IR651 در ۱۰۰ ميلي مولار كلرور سديم قبلاً توسط مرادي و اسماعيل (Moradi and Ismail, 2007) گزارش شده است. هو و اشميدهالتر (Hu and Schmidhalter,. 1998) با مطالعه گندم اعلام كردند كه كاهش اوليه پتانسيل آب ناشي از تنش كلرور سديم، بيشتر به اختلال در روابط آبي مربوط مي‌شود تا سميت يوني، زيرا در مراحل ابتدايي تنش، غلظت عناصر سمي سديم و كلر هنوز به ميزان سميت براي گياه نرسيده‌اند. در اين بررسي، ژنوتيپ متحمل براي مقابله با تنش اسمزي ناشي از نمك موجود در محيط و جذب آب از محيط، تنظيم اسمزي انجام داد (شكل ۶). طي فرآيند تنظيم اسمزي، گياه املاح آلي را به منظور كاهش پتانسيل اسمزي در سيتوپلاسم ذخيره مي‌كند و براي حفظ تعادل اسمزي، به طور همزمان يون‌هاي جذب شده را در واكوئل تسهيم مي‌كند (Munns *et al.*, 2006). همانطور كه در شكل ۷ و جدول ۳ نيز ديده مي‌شود، يون‌هاي معدني و قندهاي محلول كل در هر دو ژنوتيپ خصوصاً ژنوتيپ متحمل افزايش يافته است. بايد توجه داشت كه تجمع املاح معدني و توليد املاح آلي براي گياه پر هزينه بوده و گياه براي توليد و تجمع آنها بايد انرژي زيادي صرف كند.

اين موضوع مي‌تواند سبب كاهش رشد گياه شود. كاهش در پتانسيل اسمزي تحت تنش شوري، در مطالعات قبلي در سورگوم (Netondo *et al.*, 2004) و گندم (El-Henawy *et al.*, 2005) نيز نشان داده شده است. مونس (Munns, 2002) و نيومن (Neumann, 1997) كاهش پتانسيل كل آب برگ گياه در شرايط تنش شوري را گزارش نموده‌اند.

تغييرات غلظت ساير املاح

نتايج به دست آمده از اين تحقيق نشان داد كه تنش شوري، غلظت يون كلر را در برگ هر دو ژنوتيپ به طور بسيار معني‌داري (P<0.01) افزايش داد. تجمع يون كلر در برگ ژنوتيپ حساس بسيار سريع بود و بطور پيوسته پس از اعمال تنش افزايش يافت. در حالي كه در ژنوتيپ متحمل غلظت يون كلر در ۷۲ ساعت اول افزايش يافت، ولي پس از آن تا انتهاي دوره آزمايش تغيير چنداني نداشت (جدول ۳). در ژنوتيپ حساس

جدول ۳. تجزيه واريانس روابط آبي و املاح موجود در برگ ششم (جوان‌ترين برگ) ژنوتيپ ها حساس (IR29) و متحمل (IR651) دردو سطح ۰ و ۱۰۰ ميلي‌مولار تنش NaCl و چهار مرحله نمونه‌گيري در طي 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.

			ميانگين مربعات MS								
		درجه آزادي	پتانسيل آب	پتانسيل اسمزي	ميزان آب نسبي	قندهاي محلول	كلر	منيزيم	كلسيم	پتاسيم	سديم
S.O.V.	منابع تغييرات	df	Water potential	Osmotic potential	RWC	Soluble sugars	Cl^-	Mg2+	Ca2+	K+	Na+
Salinity period (SP)	دوره اعمال شوري	3	0.03^{**}	1.8^{**}	178^{**}	32770^{**}	71911.4^{**}	302^{ns}	16166^{**}	13708^{*}	19530^{**}
Genotype (G)	ژنوتيپ	1	0.02^{**}	0.1^{ns}	147^{**}	26542^{*}	2830.7^{ns}	2012^{*}	55611^{**}	463^{ns}	91861^{**}
Salinity level (SL)	سطح شوري	1	0.05^{**}	1.0^{**}	148^{**}	1405247^{**}	551485^{**}	7432^{**}	71656^{**}	21692^{*}	51736^{**}
G×SP	دوره اعمال شوري×ژنوتيپ	3	0.001^{*}	0.1^{ns}	43^{*}	5485^{ns}	47197.3^{**}	832^{ns}	529^{ns}	679^{ns}	36199^{**}
SP×SL	دوره اعمال شوري×سطح شوري	3	0.02^{**}	0.2^{*}	31^{ns}	215687^{**}	65689.7^{**}	839^{ns}	11268^{**}	4551^{ns}	30673^{**}
G×SL	ژنوتيپ×سطح شوري	1	0.001^{ns}	0.5^{**}	33^{ns}	20768^{*}	33728.9^{**}	919^{ns}	1316^{ns}	2045^{ns}	34418^{**}
SP×G×SL	دوره اعمال شوري×ژنوتيپ×سطح شوري	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. (%)	درصدضريب تغييرات		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 ترتيب معني‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns: غير معني دار

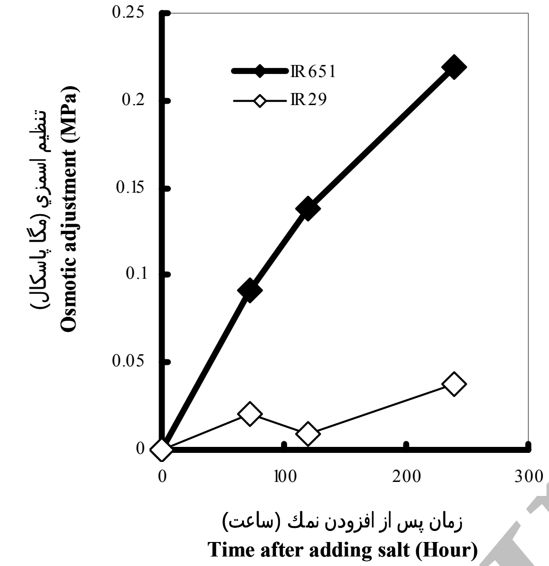
افـزايش غلظـت كلـر بـيش از ژنوتيـپ متحمـل بـود، بـه طوري كه در شرايط تنش، در آخرين زمان نمونه‌گيـري (۲۴۰ ساعت پس از اعمـال تـنش شـوري)، غلظـت يـون كلر تقريباً ۱/۶ برابر ژنوتيپ متحمل بود (جـدول ۳). هـر چند تـستر و داونپـورت (Tester and Dovenport. 2003) اعلام كردند كه در گياهان عالي هنگام بروز تنش كلرور سديم، عامل اصلي كاهش ماده خشك، سديم است و نه كلر، با ايـن حـال تعيين اينكـه در كـاهش مـاده خـشك ژنوتيپ‌هاي برنج مورد مطالعه، كلر چقدر نقـش داشـت، خود نياز به تحقيقات ديگري دارد. به هر حال آنچه كه با اطمينان مي‌توان اظهار داشت ايـن اسـت كـه ايـن عنـصر نقـشي در تنظـيم اسـمزي نداشـت، زيـرا افـزايش آن در ژنوتيپ حساس به مراتب بيش از ژنوتيـپ متحمـل بـود، در حالي كه در ايـن ژنوتيـپ تنظـيم اسـمزي ديـده نـشد (شكل ۷).

كلريـد سـديم افـزوده شـده بـه محلـول غـذايي گياهچه‌هاي مورد مطالعه باعث كاهش معنـي‌دار غلظـت كلسيم در برگ شـشم هـر دو ژنوتيـپ شـد (جـدول ۳). كاهش ميزان كلسيم بـرگ در هـر دو ژنوتيـپ در طـول دوره اعمـال تـنش ادامـه داشـت، ولـي ايـن كـاهش در ژنوتيپ IR29 به طور معني‌داري بيش از ژنوتيـپ IR651 بـود (جـدول ۳). در آخـرين نمونـه‌گيـري غلظـت يـون كلسيم در ژنوتيپ متحمل از ۳۸۸ ميلي مول بر كيلـوگرم وزن خشك به ۲۵۶ ميلي مول بر كيلـوگرم وزن خـشك كاهش يافت، در حالي كه در ژنوتيپ حساس از ۳۱۸ بـه ۲۱۱ ميلـي مـول بـر كيلـوگرم وزن خـشك تقليـل يافـت (جدول ۳). وجـود كلـسيم در محـيط رشـد گيـاه باعـث كاهش اثر منفي نمک بر گيـاه مـي‌شـود، زيـرا ايـن يـون باعث حفظ نسبت مناسب سديم به پتاسيم مي‌گردد ولـي در تحقيق حاضر كاهش غلظت كلسيم در تـنش شـوري مشاهده شد (جدول ۳) كه مي‌توانـد بـرآوردي از ميـزان تحمل بـه شـوري در گيـاه باشـد. الهنـداوي و همكـاران (El-Hendawy *et al.*, 2005) اعلام كردند كه كـاهش در جذب پتاسيم و كلسيم مي‌تواند با تحمـل نمـک در گيـاه مرتبط باشد. پليت (Plieth, 2005) اعلام كرد كـه كلـسيم از طريق بستن كانال‌هاي كاتيوني به طور غير مـستقيم بـر جذب كلر نيـز مـوثر اسـت. اعمـال تـنش شـوري باعـث كاهش معني‌دار در غلظت يون منيزيم شد و اين كـاهش در ژنوتيپ حساس به طور معني‌داري (P<0.05) بـيش از ژنوتيپ متحمل بود (جدول ۳).

پس از اعمل تنش شوري غلظت قندهاي محلول كل در بـرگ شـشم هـر دو ژنوتيـپ افـزايش معنـي‌داري (P<0.01) يافت. اين تحقيق نشان داد كه شـدت افـزايش قند محلول در ژنوتيپ متحمل بـيش از ژنوتيـپ حـساس بوده است (جداول ۳ و ۴). در اولين تـاريخ نمونـه‌گيـري غلظـت قنـدهاي محلـول كـل در بـرگ شـشم ژنوتيـپ متحمل ۵۸۰ و در ژنوتيپ حـساس ۵۹۱ ميلـي مـول بـر كيلوگرم وزن خشك بود، و رونـد افزايـشي بـه گونـه‌اي بـود كـه در آخـرين تـاريخ نمونـه‌گيـري (۲۴۰ سـاعت) غلظت قندهاي محلول كل در ژنوتيپ متحمل ۹۱۹ و در ژنوتيپ حساس ۸۵۷ ميلي مول بر كيلوگرم وزن خشك گرديد (جـدول ۳). در گـزارش‌هـاي مختلـف در مـورد گياهـان شـيرين‌زي نقـش قنـدهاي محلـول در پتانـسيل اسـمزي بـرگ گياهـان تـا ۵۰ درصـد گـزارش شـده اسـت. گزارشـات مختلـف حـاكي از افـزايش (Munns and Weir, 1981)، كـاهش (Hanson, and Hitz, 1982) و يـا بـدون تغييـر مانـدن (Morgan, 1992) غلظت قندهاي محلـول بـرگ گيـاه در شرايط تنش شوري است. لاسردا و همكـاران (Lacerda *et a*l., 2003) اعلام كردند كه نقـش قنـدهاي محلـول در پتانسل اسمزي برگ هاي سـورگوم تحـت تـنش كلـرور سديم بيش از ساير امـلاح بـوده اسـت. قنـدها عـلاوه بـر نقش تنظيم كنندگي تعادل اسمزي، بـه عنـوان پيـام‌هـاي متـابوليكي در شـرايط تـنش نيـز عمـل مـي‌كننـد (Chaves *et al.*, 2003).

نتيجه گيري

به طور كلي نتايج اين تحقيق نـشان داد كـه، ژنوتيـپ



شكل ۷- ميزان تنظيم اسمزي در دو ژنوتپ برنج IR29 (حساس) وIR651 (متحمل) برنج به تنش شوري در طول مدت تنش.

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

IR651 (ژنوتيپ متحمل) توانايي تنظيم اسمزي در شرايط تنش كلرور سديم را به ميزان بيش از ۰/۲ مگاپاسكال داشت و تنظيم اسمزي در اين ژنوتيپ به طور عمده با استفاده از قندهاي محلول كل صورت گرفت، در حالي كه ژنوتيپ IR29 (ژنوتيپ حساس) توانايي تنظيم اسمزي را به ميزان كافي نداشت. علاوه بر آن بررسي الگوي توزيع سديم در اندام‌هاي مختلف معلوم نمود كه تسهيم يون سديم در برگهاي پير IR651، در مقايسه با تنظيم اسمزي، نقش به مراتب اساسي‌تري در تحمل به تنش شوري در اين ژنوتيپ داشته است. اين تحقيق نشان داد كه تسهيم و سرعت جذب سديم يكي از مهم‌ترين سازوكارهاي تحمل به تنش شوري در برنج بوده و به نظر مي‌رسد كه با توجه به سهولت اندازه‌گيري آن، مي‌تواند به عنوان يک راهكار ساده براي غربال ژنوتيپ‌هاي متحمل و يا نسل‌هاي پيشرفته در حال تفكيک در برنامه‌هاي به نژادي برنج، مورد استفاده قرار گيرد و در صورت فراهم بودن امكانات لازم، از خصوصيت تنظيم اسمزي نيز مي‌توان به عنوان مكمل در برنامه‌هاي به نژادي گياه 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.

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