

برهمکنش Ca^{+2}/Na^{+} بر تغییرات سطوح پرولین، K^{+} ، Na^{+} و Ca^{+2} در گیاه *Triticum aestivum* L. (cv. soissons)

*علی ابراهیمیان^۱، مهرداد لاهوتی^۲، احمد اصغرزاده^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم، مشهد، ایران

۲. گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد

۳. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۳/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۲۸

چکیده

در این تحقیق به منظور تعیین اثرات متقابل سدیم و کلسیم و برهمکنش آنها در رشد رویشی گیاه گندم رقم سایونز (*Triticum aestivum* L. (cv. soissons)) آزمایشی در قالب یک طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در چهار سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار) برای سدیم و چهار سطح (۰، ۳، ۶ و ۱۰ میلی مولار) برای کلسیم در سه تکرار انجام شد. سدیم استفاده شده به صورت کلرید سدیم و کلسیم نیز به صورت کلرید کلسیم بود. آزمایش در فیتوترون در فتوپریودهای ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و دمای بین ۱۸ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. نتایج آماری حاصل از آزمایشات در سطح ($P < 0.05$) نشان داد اعمال شوری باعث کاهش طول ریشه و ساقه و مقادیر عناصر پتاسیم و کلسیم شد، ولی مقادیر سدیم و پرولین در برگ‌ها افزایش یافت. تیمار کلسیم باعث کاهش اثرات تنش شوری بر رشد گیاهان شده و باعث افزایش طول ریشه و ساقه و مقادیر کلسیم و پتاسیم شده، ولی باعث کاهش مقدار سدیم و پرولین در برگ‌ها گردید. بیشترین اثرات بهبود دهنده کلسیم در غلظت Ca^{+2} ۶ mM مشاهده شد.

کلمات کلیدی: برهمکنش Ca^{+2}/Na^{+} ، پرولین، *Triticum aestivum* L. (cv. soissons)، Ca^{+2} ، Na^{+} ، K^{+}

مقدمه

نیازهای بشری راهی جز مدیریت پایدار خاک و حفظ کیفیت خاک برای تولید بیشتر محصولات زراعی در بر آوردن نیازهای بشری نداریم، زیرا رشد مناسب و تولید محصول در گیاه را تضمین می‌کند. یکی از جنبه‌های مدیریت خاک، عناصر ساختار خاک است که باعث رشد و تولید محصول بیشتر و با کیفیت می‌شود (حسینی، ۱۳۸۵). کلسیم عنصری ضروری در همه گیاهان است و قادر به ایجاد شکل‌های بین مولکولی بوده و در حفظ و نگهداری

امروزه غلات از مهمترین گیاهان زراعی محسوب می‌شوند و گندم در بین آنها به عنوان یک محصول استراتژیک در جهان مورد توجه می‌باشد. گندم گیاهی تک لپه و گلیکوفیت (Zaman et al., 2002) متعلق به تیره گرامینه و از جنس *Triticum* بوده و هزاران سال است قوت روزانه بخش عمده‌ای از جمعیت روز افزون جهان را تامین کرده است. از این رو برای رسیدن به توسعه پایدار و جبران

برگی در گندم نسبت به جو بیشتر است و این نشانگر پاسخ‌های متفاوت به تاثیر متقابل سدیم و کلسیم در گونه‌ها است (Cramer, 1985). مشخص شده است که انباشته شدن و محل انباشته شدن سدیم و کلسیم در گونه‌های مختلف غلات مثل برنج، گندم و جو تفاوت وجود دارد. در برنج انباشتگی سدیم و کلسیم هم در ریشه و هم در ساقه‌ها نسبت به جو و گندم بیشتر بوده، در گندم نسبت به جو سدیم بیشتر و کلسیم کمتر در ساقه‌ها وجود داشته و در ریشه‌ها سدیم کمتر و کلسیم بیشتری انباشته شده است (Colmer and Fan, 1994). همچنین بررسی روی دو رقم بلوچ و کویر در گیاه جو مشخص شده که پاسخ‌های این دو رقم به اثرات متقابل سدیم - کلسیم متفاوت بوده به طوری که افزایش کلسیم در رشد رقم بلوچ اثر مثبتی داشته، ولی در رقم کویر تاثیر مشخصی ندارد (Grieve, 1985). Ward و همکاران (۱۹۸۶) در بررسی‌های خود مشخص نمودند که در دانه رست‌های جو افزایش کلسیم باعث جذب بیشتر نیترات و افزایش رشد رقم جو CM72 می‌شود. در واقع کلسیم مکمل، به عملکرد حفظ غشاء در سلول‌های ریشه گیاهان غیرهالوفیت تحت تنش شوری مانند ذرت خوشه‌ای به کاهش فعالیت آنتی پورت Na^{+}/H^{+} تونوپلاست کمک می‌کند (Reio et al., 2000).

با توجه به اهمیت عناصر غذایی در رشد گیاهان و به ویژه گندم رقم سای سون (نام محلی سایونز) در تحقیق حاضر برهمکنش سدیم و کلسیم بر تغییرات سطوح پرولین، K^{+} ، Na^{+} و Ca^{+2} مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روشها

به منظور تعیین برهمکنش سدیم - کلسیم بر تغییرات بیومس، طول ساقه و ریشه گندم سایونز و تعیین مقادیر کلسیم، سدیم، پتاسیم و پرولین آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در چهار

ساختار غشاءها و دیواره سلولی و در تعدادی از مسیرهای انتقالی به عنوان پیک ثانویه (سیگنال) در سلول عمل می‌کند. همچنین رشد بیشتر گیاهان در یک غلظت پایین سدیم تحریک می‌شود. بعضی از گیاهان هالوفیت برای رشد نیازمند سدیم هستند مخصوصاً گیاهان C4 و CAM و بعضی از هالوفیت‌ها به غلظت بالای سدیم نیازمندند. در واقع گیاهان در یک نسبت خاص کلسیم و سدیم رشد مطلوب می‌کنند و حتی نسبت کلسیم/سدیم در گیاهان مختلف و حتی در ارقام مختلف با هم متفاوت است (Cramer, 2002) و زمانی که مقدار سدیم نسبت به کلسیم افزایش یابد باعث ایجاد شوری در محیط ریشه گیاه شده و در نتیجه باعث ایجاد تنش اسمزی و سمیت ناشی از تجمع یونها شده و منجر به کاهش جذب آب و عناصر غذایی گردیده و در نهایت باعث کاهش رشد می‌شود (Nate, 2006). سدیم از عناصر مهم در ایجاد شوری است که به صورت NaCl می‌تواند محیط ریشه را شور و ایجاد سمیت نموده و اثرات منفی بر گیاه داشته باشد. پژوهش‌های انجام شده حاکی از این است که یکی از روش‌های کاهش اثرات شوری ناشی از سدیم زیاد در گیاهان تاثیر متقابل سدیم و کلسیم است که در گیاهان این تاثیر متقابل می‌تواند بر رشد گیاه، شکل و ریخت گیاه، دیواره سلولی، غشاءها و انتقال یونها و حتی مقدار آنها نیز تاثیرگذار باشد (Cramer, 2002). طی دو پژوهش جداگانه در گندم مشخص شده است که کلسیم از طریق جایگزینی با ماده سمی، کاهش نگاتیویته در سطح سلول و یا از طریق برگشت کلسیم به سطح سلول در صورتی که ماده سمی باعث کاهش و محدودیت سطح آن شده باشد اثرات منفی رشد را بهبود دهد (Al-Khateeb, 2006; Cramer, 2002). در مقایسه اثرات شوری و کمبودهای کلسیم در گندم و جو نشان داده شده است که کاهش رشد و میزان بالای بروز نشانه‌های کمبود کلسیم

استخراج پرولین

برای تهیه عصاره گیاهی از هر تیمار ۰/۵ گرم برگ تر در ۱۰ میلی لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک سائیده شد و به مدت ۲۴ ساعت در آزمایشگاه نگهداری شد. سپس محلولها صاف شد. از محلول صاف شده هر نمونه ۲ میلی لیتر برداشته داخل لوله آزمایش جداگانه ای ریخته و به ترتیب ۲ ml اسید استیک و ۲ ml محلول ناین هیدرین اضافه شد و لوله ها به مدت ۱ ساعت داخل حمام آب جوش نگهداری شد و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب یخ قرار گرفتند (Bates, 1973). بعد از این مرحله ۴ ml تولوئن به آن اضافه شد و به مدت ۳۰ ثانیه به شدت تکان داده شد تا دو فاز ایجاد شد. بوسیله قیف دکانتور فاز بالایی تولوئن که حاوی پرولین است جدا شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (T80⁺ UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd) در طول موج ۵۲۰ نانومتر جذب نوری محلولها خوانده شد. با استفاده از محلولهای استاندارد پرولین و تعیین میزان جذب آنها در طول موج ۵۲۰ نانومتر منحنی استاندارد پرولین ترسیم شد و مقادیر پرولین بر حسب میکرومول در گرم محاسبه شد.

نتایج

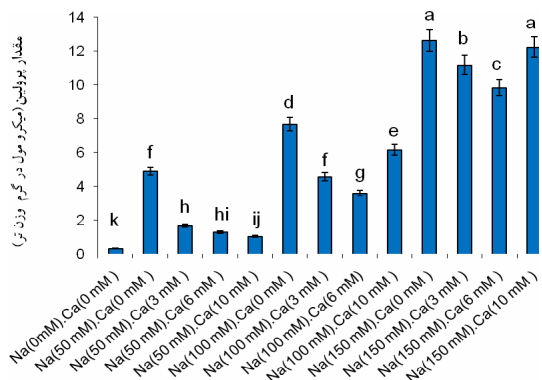
نتایج حاصل واریانس داده ها نشان داد که با افزایش غلظت شوری در محلول غذایی، طول ریشه و ساقه کاهش یافته، ولی تیمارهای کلسیم باعث بهبودی اثرات زیانبار حاصل از شوری شد (نمودارهای ۱ و ۲). بیشترین تاثیر متقابل در جهت بهبود اثرات زیانبار شوری و افزایش طول ریشه و ساقه در تیمار ۵۰ mM Na⁺ توام با ۶ mM Ca²⁺ بود و تیمار ۱۵۰ mM Na⁺ با ۱۰ mM Ca²⁺ کمترین تاثیر را در بهبود رشد و افزایش طول ریشه و ساقه داشت (P<۰/۰۵).

سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار) برای سدیم و چهار سطح (۰، ۳، ۶ و ۱۰ میلی مولار) برای کلسیم و در سه تکرار انجام شد. جهت انجام آزمایش از کلرید سدیم (NaCl) و کلرید کلسیم (CaCl₂. 2H₂O) استفاده شد (Fahimi and Hajiboland, 1996). بذر گواهی شده گندم سایونز (*Triticum aestivum* L. soissons) از جهاد کشاورزی شهرستان شیروان تهیه و به مدت ۱۰ روز در دمای بین ۳ تا ۵ درجه سانتیگراد نگهداری شد تا بهاره سازی صورت گیرد. خاک مورد استفاده توسط قارچ کش بنومیل ضد عفونی شد. درون هر گلدان ۲ کیلوگرم خاک ریخته شد و تعداد ۱۵ بذر در هر گلدان کاشته شد. پس از جوانه زنی و رشد اولیه در هر گلدان ۱۰ گیاه نگهداری شد. تیمارها هر ۸ روز یک بار به خاک گلدانها اعمال شد و گیاهان پس از ۷۰ روز برداشت شده و برای بررسیها و مطالعات به آزمایشگاه منتقل شدند. طول ساقه ها و ریشه ها با خط کش اندازه گیری شد. آنالیز واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار MSTAT-C انجام گرفت. برای مقایسه میانگین داده ها از آزمون چند دامنه ای دانکن استفاده شد و نمودارها بوسیله نرم افزار Excel ترسیم گردید.

سنجش عناصر سدیم و کلسیم

برای تعیین مقادیر عناصر Ca، Na و K در برگها از روش تهیه خاکستر گیاهی با استفاده از اسید نیتریک و پرکلریک (Rayan et al., 2001) و برای سنجش سدیم و پتاسیم و کلسیم محلول از دستگاه فلیم فتومتر (مدل JENWAY PFP 7) و به روش کلتوت (Klute, 1986) استفاده گردید.

بود و کمترین تاثیر در جهت کاهش سطح پرولین در تیمار 150 mM Na^{+} توام با 10 mM Ca^{+2} بود.



شکل ۳: اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف سدیم و کلسیم بر مقدار پرولین برگ

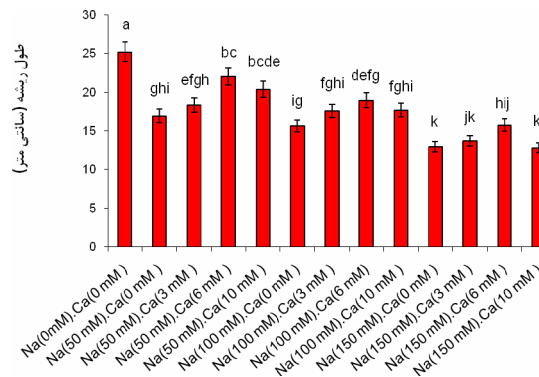
ستون‌هایی که دارای حرف یا حروف مشابه می باشند اختلاف معنی‌داری ندارند.

تغییرات مقدار سدیم برگ

تجزیه داده‌های حاصل از این تحقیق بیانگر آن بود که سطوح استفاده شده Na^{+} باعث افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) در مقدار سدیم برگ‌ها شد و همچنین برهمکنش سدیم و کلسیم باعث کاهش معنی‌داری در مقدار سدیم برگ‌ها شد ($P < 0.05$). مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۴) بیانگر تاثیر متفاوت سطوح بکار رفته برای اثرات برهمکنشی بین سدیم و کلسیم بود به طوری که بیشترین تاثیر متقابل سدیم و کلسیم در تیمار 150 mM Na^{+} توام با 6 mM Ca^{+2} بود و کمترین تاثیر هم در تیمار 10 mM Na^{+} توام با 6 mM Ca^{+2} مشاهده شد و در سطح 50 mM Na^{+} با تیمارهای مختلف کلسیم (۰، ۳، ۶ و ۱۰ میلی مولار) تغییر معنی‌داری مشاهده نشد.

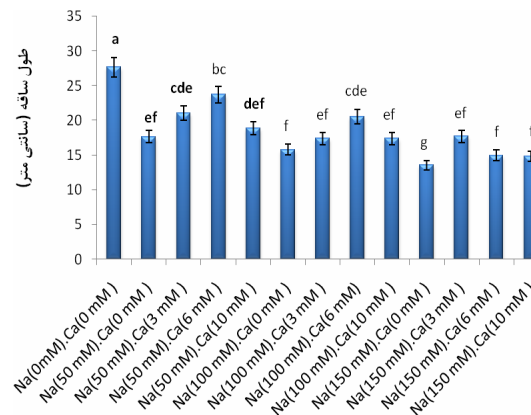
تغییرات مقدار کلسیم برگ‌ها

تجزیه و واریانس حاصل از این تحقیق بیانگر آن است که سطوح استفاده شده سدیم باعث کاهش معنی‌داری در مقدار کلسیم برگ‌ها شد و همچنین برهمکنش سدیم و



شکل ۱: اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف سدیم و کلسیم بر طول ریشه گندم سایونز

ستون‌هایی که دارای حرف یا حروف مشابه می باشند اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۲: اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف سدیم و کلسیم بر طول ساقه گندم سایونز

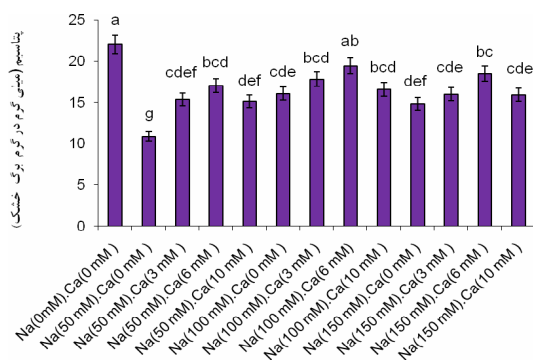
ستون‌هایی که دارای حرف یا حروف مشابه می باشند اختلاف معنی‌داری ندارند.

تغییرات سطوح پرولین برگ

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت سدیم در محلول غذایی گیاهان مقدار پرولین برگ‌ها به طور معنی‌داری در همه سطوح افزایش یافت و تاثیر متقابل سدیم با کلسیم به طور معنی‌داری سطوح پرولین را کاهش داد ($P < 0.05$). مقایسه میانگین داده‌ها با تیمار شاهد (نمودار ۳) نیز نشان داد که بیشترین اثر برهمکنشی در جهت کاهش میزان پرولین 10 mM Ca^{+2} و 50 mM Na^{+}

تغییرات مقدار پتاسیم برگ‌ها

آنالیز داده‌های حاصل از این تحقیق بیانگر آن است که سطوح استفاده شده سدیم باعث کاهش معنی‌داری در مقدار پتاسیم برگ‌ها شد و همچنین برهمکنش سدیم و کلسیم باعث افزایش معنی‌داری در مقدار کلسیم برگ‌ها شد ($P < 0.05$). مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۶) بیانگر تاثیر متفاوت سطوح بکار رفته برای اثرات برهمکنشی سدیم و کلسیم است و با افزایش غلظت شوری همبستگی مثبت کاملی نداشت، به طوری که بیشترین برهمکنش سدیم و کلسیم در تیمار $100 \text{ Na}^+ \text{ mM}$ با $6 \text{ Ca}^{+2} \text{ mM}$ در جهت افزایش مقدار پتاسیم بوده و کمترین تاثیر هم در تیمار 10 mM Ca^{+2} با 50 mM Na^+ مشاهده شد.



شکل ۶: اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف سدیم و کلسیم بر

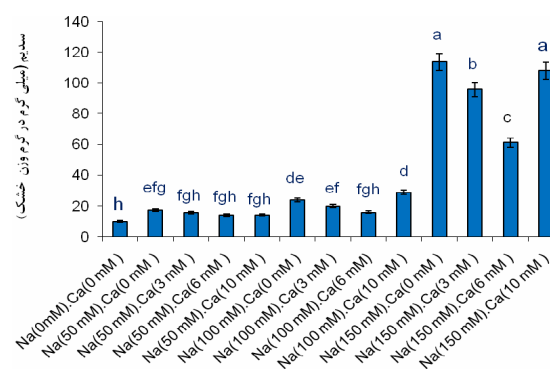
مقدار پتاسیم برگ گندم سایونز

ستون‌هایی که دارای حرف یا حروف مشابه می باشند اختلاف معنی‌داری ندارند.

بحث

نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که با افزایش سدیم خاک، طول ریشه و ساقه به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$) ولی تیمار برهمکنشی سدیم توام با کلسیم به طور معنی‌داری باعث افزایش طول ریشه و ساقه شد (نمودارهای ۱ و ۲).

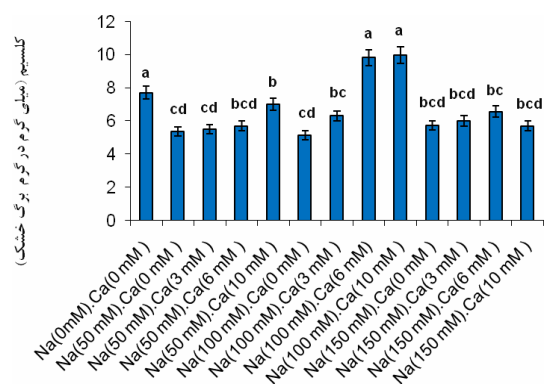
کلسیم باعث افزایش معنی‌داری در مقدار کلسیم برگ‌ها شد ($P < 0.05$). مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۵) بیانگر تاثیر متفاوت سطوح بکار رفته برای اثرات برهمکنشی سدیم و کلسیم است به طوری که بیشترین تاثیر معنی‌دار متقابل سدیم و کلسیم در تیمار $100 \text{ Na}^+ \text{ mM}$ با 10 mM Ca^{+2} در جهت افزایش مقدار کلسیم بدست آمد و کمترین تاثیر معنی‌دار در تیمار $50 \text{ Na}^+ \text{ mM}$ با 10 mM Ca^{+2} مشاهده شد و در سطح $150 \text{ Na}^+ \text{ mM}$ با تیمارهای مختلف کلسیم (۰، ۳، ۶ و ۱۰ میلی مولار) تغییر معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۵: اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف سدیم و کلسیم بر

مقدار کلسیم برگ گندم سایونز

ستون‌هایی که دارای حرف یا حروف مشابه می باشند اختلاف معنی‌داری ندارند.



نمودار ۵: اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف سدیم و کلسیم بر

مقدار کلسیم برگ گندم سایونز

ستون‌هایی که دارای حرف یا حروف مشابه می باشند اختلاف معنی‌داری ندارند.

احتمالاً سدیم به دلیل تنش اسمزی، کاهش تقسیم سلول، نامتعادل کردن یون‌های غذایی به علت آسیب به غشاء سلول، تاثیر منفی بر رشد گیاه دارد و تیمار کلسیم باعث حفظ ساختار و تمامیت غشاء سلول شده و تقسیم سلول‌ها را افزایش داده و در نتیجه از آسیب‌های شوری سدیمی جلوگیری می‌کند. این نتایج با یافته‌های برخی پژوهشگران از جمله در گیاهان تاج خروس (Omami, 2005)، *Cassia absus* (Khalid, 2009) و گندم (Salah El and El-Hendawy, 2004) مطابقت دارد. کاهش طول ساقه می‌تواند به دلیل فشار تورگر و کاهش تقسیم سلول باشد (Wang, 2004; Sarim et al., 1999) دو فرآیند، اهمیت قابل ملاحظه‌ای در تثبیت غشاء در محیط شوری دارد: رشد طولی سلول و حفظ جذب یون غذایی، که هر دو به Ca^{2+} نیاز دارند (Essam El et al., 2007). کلسیم یک عنصر ضروری در تقسیم سلول است و تنش شوری باعث کاهش کلسیم و کاهش انتقال آن به بخش‌های هوایی می‌شود. کلسیم همچنین باعث افزایش نفوذ NO_3^- و در نتیجه احیای آن می‌گردد. بنابراین می‌توان پذیرفت که در ریشه عاملی ساخته می‌شود که بازدارندگی رشد هوایی و نهایتاً نفوذ نیترات را کنترل می‌کند (Fahimi and Hajiboland, 1996).

نتایج حاصل نشان داد استفاده از سطوح مختلف سدیم در خاک، باعث افزایش معنی‌دار مقدار پرولین برگ شد ($P < 0.05$) که با افزایش غلظت کلرید سدیم همبستگی داشت، ولی تیمار برهمکنشی سدیم توام با کلسیم اضافه شده به خاک، کاهش معنی‌داری بر مقدار پرولین داشت (شکل ۳). افزایش پرولین احتمالاً برای حفظ فشار اسمزی و خنثی کردن گونه‌های اکسیژن فعال می‌باشد و تیمار کلسیم با حفظ تمامیت غشای سلول، باعث کاهش مقدار پرولین می‌گردد. نتایج مشابهی در گیاهان ذرت (Nessim et al., 2008)، سورگوم (Murat et al., 2009) و ذرت (Hussein

et al., 2007) بدست آمده است. تغییرات مقادیر پرولین و کربوهیدرات‌ها و نسبت Na^+/K^+ در دو رقم گوجه‌فرنگی (شیرازی و اصفهانی) تحت تنش شوری در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت و مقدار پرولین با افزایش غلظت شوری افزایش معنی‌داری نشان داد، اما در رقم شیرازی نسبت به اصفهانی افزایش بیشتر بود که احتمالاً به خاطر افزایش بیان ژن‌های کد کننده سنتز آنزیم Pyrroline-5-carboxylate و کاهش فعالیت آنزیم proline dehydrogenase در حضور شوری است (Amini and Ehsanpour, 2005). پرولین اسید آمینه محلول در آب است که تحت تنش‌های محیطی در گیاهان عالی انباشته می‌شود. در تنش‌های اکسیداتیو پرولین به عنوان نقش آنتی اکسیداتیو دارد، زیرا رادیکال‌های هیدروکسیل را جاروب و از این طریق پروتئین‌ها و غشاءها را در برابر اثرات سمی غلظت‌های بالای یون‌های معدنی و دماهای بالا و پایین حفظ می‌کند (زینالی یادگاری، ۱۳۸۹).

پرولین یک تنظیم کننده اسمزی است (Ashraf et al., 2004) و در واقع تجمع افزایشی پرولین در سلول به دلیل القاء فعالیت آنزیم‌های دلتا ۱-پرولین ۵-کربوکسیلات سنتتاز (P5CS) و پرولین ۵-کربوکسیلات ردوکتاز (P5CR) در چرخه تولید این ماده و نیز ممانعت از فعالیت آنزیم‌های اکسید کننده پرولین مانند پرولین دهیدروژناز (ProDH) و پرولین ۵-کربوکسیلات دهیدروژناز (P5CDH) در سلول می‌باشد (یامچی و همکاران، ۱۳۸۳).

سطوح مختلف شوری در گیاهان گندم رقم سایونز، مقدار سدیم را به طور معنی‌داری افزایش داد اما تیمار کلسیم باعث کاهش معنی‌دار سدیم در برگ‌های گیاهان گندم شد (شکل ۴) که ممکن است به خاطر اثر شوری بر ساختار غشای سلول و کاهش نفوذپذیری انتخابی آن باشد و تیمار کلسیم با افزایش اتصالات با غشای سلولی باعث حفظ تمامیت غشاء شده و از ورود بیش از حد سدیم

مکانیسم (I) بهبود سمیت با جایگزینی الکترواستاتیکی. این مکانیسم جذب یون سدیم را توسط ریشه مهار می‌کند، اما اهمیت کمتری در سمیت‌های Na^+ دارد در این مکانیسم امکان مسدود شدن کانال‌ها وجود دارد. مکانیسم (II) بهبود اثر از طریق جایگزینی ماده سمی توسط یون Ca^{+2} در سطح غشاء پلاسمایی در صورتی که ماده سمی جایگزین یون Ca^{+2} شده و رشد را محدود کرده باشد. مکانیسم (III) این در سمیت Al^{+3} رد شده اما یک فاکتور و عامل مهم در بهبود سمیت سدیم است که حاصل عمل مکانیسم (II) و (III) با هم است (Kinraide, 1998). کاهش تجمع سدیم در حضور کلسیم اضافه شده به محلول غذایی گیاهچه‌های گندم، ممکن است مربوط به کاهش نفوذپذیری غشاء و کاهش اتصال سدیم به دیواره سلولی و غشاء پلاسمایی باشد و احتمالاً یکی از وظایف کلسیم در حفظ و نگهداری نفوذپذیری انتخابی غشاء و عملکردهای آن تحت شوری است (Cramer, 1985).

آنالیز داده‌های حاصل، بیانگر آن بود که سطوح مختلف سدیم، باعث کاهش معنی‌داری در مقدار پتاسیم برگ‌ها شد، ولی برهمکنش سدیم توام با کلسیم باعث افزایش معنی‌داری در مقدار پتاسیم برگ‌ها شد (نمودار ۶). تاثیر متقابل سدیم با کلسیم در گیاهان گندم رقم سایونز باعث کاهش مقدار سدیم و افزایش مقدار کلسیم و پتاسیم شد که احتمالاً تیمار کلسیم از آسیب غشای سلول جلوگیری کرده و موجب حفظ نفوذپذیری غشاء و افزایش پتاسیم برگ‌ها می‌شود. نتایج مشابهی در گیاهان گندم (Cramer, 2002 & 1985)، یونجه (Al-Khateeb, 2006)، دو رقم گوجه فرنگی (Amini and Ehsanpour, 2005) و تاج خروس (Omami, 2005) مطابقت دارد. در گیاهان گندم، شوری باعث کاهش K^+ شد که دلیل آن رقابت بین K^+ و Na^+ است که نتیجه آن افزایش جذب سدیم است. استفاده از کلسیم در محیط ریشه

جلوگیری نموده و مقدار سدیم برگ‌ها را کاهش می‌دهد. این نتایج با یافته‌های برخی پژوهشگران در گیاهان تاج خروس (Omami, 2005)، یونجه (Al-Khateeb, 2006)، گندم (Zaman et al., 2005)، گندم (Ali et al., 1999)، جو (*Butea monosperma*) (Fahimi and Hjoboland, 1996) و (*Cassia absus*) (Ketan et al., 2005) (Hussain, 2009) و (*Zea mays* L.) (Nessim et al., 2008) مطابقت دارد. پاسخ گیاهان جو دو سر به شوری باعث افزایش Na^+ و کاهش K^+ شد که دلیل آن احتمالاً به خاطر تاثیر شوری بر ساختار غشاء بوده و خاصیت نفوذ پذیری انتخابی آن را از بین می‌برد (Zhao et al., 2007). در گیاهچه‌های یونجه تحت تنش شوری، احتمالاً کاهش تجمع سدیم به خاطر کاهش نفوذپذیری غشاء به سدیم در اثر افزایش اتصالات کلسیم با دیواره سلولی و غشای پلاسمایی گزارش شده است که این امر نشانگر اثر کلسیم در حفظ و نگهداری خاصیت نفوذپذیری انتخابی غشاء و عملکردهای آن تحت شرایط شوری است (Al-Khateeb, 2006).

آنالیز داده‌های حاصل از این تحقیق بیانگر آن است که سطوح مختلف سدیم باعث کاهش معنی‌داری در مقدار کلسیم برگ‌ها شد و همچنین تیمار سدیم به همراه کلسیم باعث افزایش معنی‌داری در مقدار کلسیم برگ‌ها شد (نمودار ۵). تغییرات فوق ممکن است به خاطر آسیب به غشای سلول و کاهش نفوذپذیری انتخابی آن و ورود بیش از حد سدیم به داخل سلول باشد و تیمار کلسیم باعث حفظ تمامیت غشاء و نفوذپذیری انتخابی آن شده و ورود بیش از حد آن را کاهش می‌دهد. نتایج مشابهی در گیاهان، یونجه (Al-Khateeb, 2006)، تاج خروس (Omami, 2005) و گندم (Cramer, 1985 & 2002; Ali et al., 1999) بدست آمده است. کلسیم از طریق سه مکانیسم اثرات منفی شوری را بهبود می‌دهد که عبارتند از:

- (*Medicago sativa* L.) seedling growth under saline condition, Journal of Agronomy. 5: 175-187.
- Amini, A., Ehsanpour, A.A. (2005).** Soluble Proteins, Proline, Carbohydrates and Na^{+}/K^{+} Changes in Two Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivars under *in vitro* Salt Stress. American Journal of Biochemistry and Biotechnology 1: 204-208.
- Ashraf, M., Harris, P.J.C. (2004).** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Science 166. pp. 3-16.
- Bates, A.S., (1973).** Rapid determination of free proline for water-stress studies against. Plant and Soil 39:205-207.
- Colmer, T.D., Fan, W.M. (1994).** Interactions of Ca^{+2} and Na^{+} stress on the ion relations and intracellular pH of Sorghum bicolor root tips: An *in vivo* ^{31}P -NMR study, Journal of Experimental Botany. 45: 1037-1044.
- Cramer, G.R., (2002).** Sodium-calcium interaction under salinity stress. chapter 10: 205-228.
- Cramer, G.R., Lauchli, A., and Polito, V.S. (1985).** Displacement of Ca^{+2} by Na^{+} from the plasmalemma of root cells. A primary response of salt stress? Plant Physiol. 81: 792-797.
- Essam, El., Deen, M., and Abo, K. (2007).** Effects of Salinity: Calcium Interaction on Growth and Nucleic Acid Metabolism in Five Species of Chenopodiaceae. Turk J Bot: 125-134.
- Fahimi, H., and Hajiboland, R. (1996).** Responses of two varieties of barley plant to Na - Ca interaction effect in salinemia. J.Sci.Univ. Tehran, Vol. 22, No.1:43-56.
- Grieve, C.M., Fujiama, H. (1987).** The response of Two rice cultivars to external Ca^{+2} / Na^{+} ratio, Plant soil 103: 245-250.
- Hussein, M.M., Balbaa, L.K., and Gaballah, M.S. (2007).** Salicylic Acid and Salinity Effects on Growth of Maize Plants. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 3: 321-328.
- نفوذپذیری انتخابی غشاء را در برخی گیاهان افزایش می‌دهد و به علاوه سدیم روی متابولیسم و سیستم آنزیمی، مخصوصاً روی برخی سیستم‌های آنزیمی ATPase اثر می‌گذارد (Ali et al., 1999). کلسیم در از بین بردن اثرات نامطلوب Na^{+} ، غشاءها را پشتیبانی و ساختار غشاء را حفظ کرده و تراوش K^{+} سیتوزولی را با کاهش ورود Na^{+} از کانال‌های یونی غیرانتخابی کاهش می‌دهد و از خروج K^{+} جلوگیری می‌کند (Shabala et al., 2006).
- نتیجه گیری نهایی**
- با انجام آزمایش‌های برهمکنش Ca^{+2}/Na^{+} مشخص شد کلسیم می‌تواند آثار زیانبار ناشی از شوری را در گندم سایونز بهبود بخشد و بر اساس نتایج بدست آمده بهترین سطح کلسیم برای اصلاح آثار زیانبار حاصل از شوری در سطح Ca^{+2} 6 mM با سطوح مختلف کلرید سدیم می‌باشد.
- منابع**
- حسینی، ص. (۱۳۸۵). مدیریت خاک در توسعه پایدار مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، صفحه ۱۱۹-۱۲۱.
- یامچی، ا.، رستگار جزئی، ف.، قبادی، س.، موسوی، ا.، و کارخانه‌ای، ع.ا. (۱۳۸۳). بیان فراوان ژن Δ -پیرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز (p5cs)، با هدف افزایش مقاومت به تنش‌های اسموتیک در گیاه تراریخت توتون (*Nicotiana tabacum* cv. Xanthi). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد هشتم، شماره چهارم. صفحه: ۳۹-۳۱.
- Ali, A., Gill, S.M., Rahmatullah and Salim, M. (1999).** Influence of Calcium on K^{+}/Na^{+} Selectivity of Wheat under Saline Condition. International Journal of Agriculture & Biology. 205-209.
- Al-Khateeb, S.A. (2006).** Effect of calcium/sodium ratio on growth and ion relation of alfalfa

- Rayan, J.R., Estefan, G., Rashid, A. (2001).** Soil and plant analysis laboratory manual. (2nd edition). ICARDA. Syria.
- Rayan, J.R., Estefan, G., Rashid, A. (2001).** Soil and plant analysis laboratory manual. (2^d edition).
- Reio, R.J., Andrew Smitt, F. (2000).** The limits of sodium/calcium interactions in Plant growth, Australian Journal of plant physiology. 27: 709-715.
- Sairam, R.K., Tygi, A. (2004).** Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plant. Current Science, VOL, 86, NO, 3, 10.
- Salah, E.L., El-Hendawy, S. (2004).** Salinity Tolerance in Egyptian Spring Wheat Genotypes. Lehrstuhl für Pflanzenernährung Department für Pflanzenwissenschaften Technische Universität München.
- Shabala, S., Demidchik, V., Shabala, L., Cuin, T.A., Smith, S.J., Miller, A.J. Davies, J.M Newman, I.A. (2006).** Extracellular Ca^{2+} Ameliorates NaCl-Induced K^{+} Loss from Arabidopsis Root and Leaf Cells by Controlling Plasma Membrane K^{+} -Permeable Channels. Plant Physiology, Vol. 141: 1653–1665.
- Wang, S.Y. (1999).** Methyl jasmonate reduces water stress in strawberry. Plant Growth Regulation. 18:127-134.
- Ward, M.R., Aslam, M., Huffaker, R.C. (1986).** Enhancement of nitrate uptake and growth of barley seedlings by calcium under saline conditions. Plant physiology. 80: 520-524.
- Zaman, B., Niazi, B.H., Athar, M., and Ahmad, M. (2005).** Response of wheat plants to sodium and calcium ion interaction under saline environment. Int. J. Environ. Sci. Tech. Vol. 2, No. 1: 7-12.
- Zhao, G.Q., Ma, B.L., Ren, C.Z. (2007).** Growth, Gas Exchange, Chlorophyll Fluorescence, and Ion Content of Naked Oat in Response to Salinity. Published in Crop Sci. 47:123–131.
- Ketan, D.H., Prakash, J.R., Ashish, D.P., and Amar, N.P. (2005).** Effect of salinisation of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Butea monosperma* (Fabaceae). Anales de Biologia 27: 3-14.
- Khalid, H., Abdul, M., Farrukh, N.M., Khalid, N., Khizar, H.B., Shahid, A. (2009).** Growth and Ionic Adjustments of Chaksu (*Cassia absus* L.) Under NaCl Stress. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 6: 557-560.
- Kinraide, T.B. (1988).** Three Mechanisms for the Calcium Alleviation of Mineral Toxicities. Plant Physiol. 118: 513–520.
- Klute, A. (1986).** Method of soil analysis part 1: Physical and mineralogical methods. 2nd edition. ASA. SSSA. Madison. Wisconsin. USA. Maize Roots. Plant Physiol. 96: 331-334.
- Murat, A., Abdelkarim, T., Awad, H., Nilgun, E., Taban, S. (2009).** Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant African Journal of Agricultural Research Vol. 4: 893 – 897.
- Murat, A.T., Vahap, K., Suleyman, T. (2007).** Salinity-Induced Stomatal Resistance, Proline, Chlorophyll and Ion Concentrations of Bean. International Journal of Agricultural Research 2: 483-488.
- Nate, R. (2006).** Mechanisms of Salt Tolerance: Sodium, Chloride and Potassium Homeostasis in two Rice Lines with Different Tolerance to Salinity Stress .pp.2-3.
- Nessim, M.G., Magda, A.H., and Moussa, A.A. (2008).** The Effects of Irrigation Water Salinity, Potassium Nitrate Fertilization, Proline Spraying and Leaching Fraction on the Growth and Chemical Composition of Corn Grown in Calcareous Soil. International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology. p: 787-803.
- Omami, E.N. (2005).** Ameliorative effects of calcium on mineral uptake and growth of salt-stressed Amaranth. University of Pretoria. chapter 6.

Effect of Na⁺/Ca⁺² interaction on Proline, K⁺, Na⁺ and Ca⁺² levels in *Triticum aestivum* L. (cv. soissons)

Ebrahimian, A¹., Lahouti, M²., asgharzadeh, A³

1. MS student, department of biology, faculty of science, Islamic Azad university of Mashhad

2. Department of biology, faculty of science, Ferdowsi university of Mashhad

3. Islamic Azad university of Shirvan Branch

Abstract

Wheat is a glycophyte plant and strategical crop .To determine effect of Na⁺/Ca⁺² interaction on vegetative growth of *Triticum aestivum* L. (cv. soissons) an experiment as factorial based on randomized complete block design (RCBD) was carried out with 3 levels of sodium (0, 50, 100 and 150 mM) and 3 levels of calcium (0, 3, 6 and 10mM) .Sodium was applied as NaCl and calcium as CaCl₂. 2H₂O. Exprimtent was conducted in phytotron. Results indicated that salt treatment decreased length of roots, shoots, potassium and calcium levels. While sodium and proline levels were increased in leaves. Calcium treatment reduced detrimental effects of salt stress on the treated plant seedlings and increased root and shoot length, calcium and potassium contents of shoots but caused reduction in sodium and proline. Maximum ameliorative effect of calcium was observed in plants treated with 6 mM Ca⁺².

Key words: Na⁺/Ca⁺² interaction, *Triticum aestivum* L. (cv. soissons), Proline, Potassium, Calcium, Sodium.