

تأثیر سطوح مختلف کلسیم بر آسیب‌های ناشی از تنش کلرید سدیم در گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

Effect of Different Calcium Levels on Damages Caused by NaCl Stress in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plant

الهام امجدی^۱، مهرداد لاهوتی^۲ و علی گنجعلی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۲
(مقاله پژوهشی کوتاه)

چکیده

کلسیم مؤثرترین راه‌انداز و انتقال‌دهنده‌ی پیام‌های درون‌سلولی در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌باشد. به‌منظور بررسی تأثیر کلسیم بر رشد رویشی و برخی صفات رشد، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) تحت تأثیر تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش از محلول‌های کلریدسدیم با غلظت‌های (صفر "شاهد"، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) به‌عنوان سطوح مختلف شوری و از سولفات کلسیم با غلظت‌های (صفر "شاهد"، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار) به‌عنوان منبع کلسیم استفاده شد. تیمارهای کلریدسدیم و سولفات کلسیم ۲۰ روز بعد از کاشت غده‌ها اعمال شدند و ۳۰ روز بعد از تیمار، گیاهان برداشت و ارزیابی صفات رشد، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌داد که با افزایش شوری صفات طول ریشه و بخش هوایی، وزن خشک ریشه و بخش هوایی و میزان پتاسیم و کلسیم کاهش یافتند ولی میزان سدیم و پرولین در برگ و ریشه افزایش نشان دادند ($P \leq 0.05$). تیمار کلسیم به‌طور معنی‌داری باعث افزایش صفات رشد، بیوشیمیایی و میزان پتاسیم و کلسیم در گیاه شد ولی میزان سدیم و پرولین را در برگ و ریشه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش داد ($P \leq 0.05$). در این آزمایش کلسیم اثرات زیان‌آور تنش شوری را کاهش داد و تأثیر بهبوددهنده‌ی سولفات کلسیم در غلظت ۱۵ میلی‌مولار برای اغلب صفات موردبررسی مشهود بود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، پتاسیم، شوری، وزن خشک

۱ و ۲. به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و استاد، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

۳. دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول Email: ganjeali@um.ac.ir

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول تحت راهنمایی مهرداد لاهوتی می‌باشد.

زمین‌های شور نیمی از اراضی قابل کشت را در ایران تشکیل می‌دهند که تأثیر عمده‌ای در کاهش سطح زیرکشت و عملکرد محصولات کشاورزی دارد (خاقانی^۱ و همکاران، 2013). به دلیل القای تنش اسمزی و سمیت یونی در مراحل اولیه تنش شوری، ظرفیت جذب آب سیستم ریشه کاهش یافته و تلفات آب از برگ‌ها به علت تنش اسمزی ناشی از انباشت نمک زیاد در خاک تسریع می‌شود (جوشی و همکاران، 2012).

مهم‌ترین واکنش بیوشیمیایی سلول‌های گیاهی به تنش شوری تجمع مواد متابولیکی آلی از قبیل پرولین، بتائین و ساکارز می‌باشد (حسین‌شاه^۲ و همکاران، 2003). پرولین درون سلولی طی تنش شوری انباشت شده و در زمان تحمل به شوری به عنوان یک منبع نیتروژن آلی در طی بهبود تنش مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد (هان^۳ و همکاران، 2014؛ والدز و آگوستو گویماراس^۴ و همکاران، 2012). غلظت بالای یون سدیم جذب یون‌های پتاسیم را که عنصر ضروری برای رشد و نمو می‌باشد را مهار می‌کند که منجر به کاهش تولید و حتی مرگ می‌گردد (هان و همکاران، 2014).

سیب‌زمینی به شوری بسیار حساس بوده و متناسب با میزان شوری و مدت قرارگیری در معرض شوری، عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (براهیمی پاک^۵، 2013). کلسیم به عنوان یک عنصر ضروری برای کلیه گیاهان به صورت یک پیک‌تانویه در مسیر انتقال سیگنال در سلول‌ها سبب بهبود آثار مخرب تنش شوری می‌شود. در آزمایشی که توسط الخطیب^۶ و همکاران (2006) بر روی گیاه یونجه تحت تنش شوری انجام شد دریافتند شوری منجر به افزایش میزان سدیم و کاهش میزان پتاسیم و کلسیم گردید. گزارش شده که افزودن کلسیم به محیط شور، کاهش میزان سدیم و افزایش میزان پتاسیم و کلسیم را به دنبال دارد (امینی و احسان‌پور^۷، 2005). با توجه به روند روبه افزایش زمین‌های شور و آب آبیاری مطالعه حاضر با هدف بررسی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه سیب‌زمینی در واکنش به حضور غلظت‌های مختلف سدیم و کلسیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری پارامترهای رشد

به منظور بررسی تأثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری، آزمایشی با سه سطح کلرورسدیم شامل (۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و سه سطح سولفات کلسیم شامل (۰، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار طی سال ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. غده‌های سیب‌زمینی رقم اگریا از مرکز تحقیقات جلگه رخ (تربت حیدریه) تهیه شد. از گلدان‌های دو لیتری حاوی خاک سبک با نسبت‌های ۰/۲۵: ۰/۲۵: ۰/۵: پرلیت: شن: خاک استفاده شد. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک مورد استفاده در آزمایش ۰/۳ میلی‌مول بر سانتی‌متر و pH=۷/۷ بود. پس از ضدعفونی غده‌ها توسط قارچ‌کش بنومیل، در هر گلدان ۵ غده در عمق ۴ سانتی‌متر کاشته شدند و تا ظرفیت زراعی آبیاری شدند. در طول آزمایش سطوح شوری مورد نظر از طریق آبیاری با آب حاوی غلظت‌های مختلف نمک (کلرید سدیم) و هم‌چنین سولفات کلسیم برای هر تیمار و گلدان تنظیم شد. برای جلوگیری از تجمع نمک و حفظ غلظت نمک در تیمارها، در فواصل زمانی معین از آب مقطر برای آبیاری استفاده شد. گیاهان به مدت هفت هفته در فتوپریود شامل ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و درجه حرارت بین ۲۵-۲۱ درجه سانتی‌گراد رشد کردند. گیاهچه‌ها یک ماه پس از رشد از گلدان‌ها خارج و ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شدند.

سنجش کلروفیل

سنجش میزان کلروفیل خام به روش آرنون^۸ (1949) و در طول موج ۶۵۲ نانومتر استفاده گردیده است، جذب محلول توسط اسپکتروفتومتر مدل شیمادوز (UV-1100) خوانده شد.

$$Chl = (A_{652}/34.5) * (v/w) \quad (1)$$

v: حجم محلول کلروفیلی (ml) و w: وزن بافت برگ

سنجش پرولین

سنجش پرولین گیاه با استفاده از روش بیتس^۹ و همکاران (1973) انجام گرفت و مقدار جذب محلول در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل شیمادوز (UV-1100) خوانده شد.

1. Khaghani
2. Hossain shah
3. Han
4. Valdere Augusto Guimarões
5. Ebrahimi Pak
6. Al-Khateeb
7. Amini and Ehsanpour

$$(۲) \frac{sample(g)}{5} \left[\frac{ugprolin}{ml} \times \frac{Toloen(ml)}{115.5(ug/mol)} \right] = \text{میکروگرم پرولین در گرم وزن تر بافت گیاه}$$

Prolin: عصاره پرولین نمونه برگ

Toloen: میلی لیتر تولوئن مصرف شده در آزمایش

Sample: وزن تر نمونه گیاهی

سنجش سدیم، پتاسیم و کلسیم

با استفاده از روش چپ من و پرات^۱ (1961) سنجش عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم انجام شد. جذب محلول های حاصله توسط فلیم فتومتر (JENWAY PFP 7) خوانده شد. غلظت نهایی هر کاتیون با استفاده از منحنی استاندارد به طور جداگانه تعیین شد و مقدار آن در برگ و ریشه خشک شده محاسبه گردید.

آنالیز آماری

تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار Mstat-C نسخه ۱/۴۲ انجام شد و نمودارها با نرم افزار Excel ترسیم شدند و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ $P \leq$ صورت گرفت.

نتایج و بحث

صفات رشد

نتایج حاصله نشان داد که دو سطح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار کلرورسدیم طول بخش هوایی و ریشه، وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه را به صورت معنی دار نسبت به شاهد کاهش دادند ($P \leq 0/05$) (جدول ۱ و ۲) که در سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار نسبت به ۱۰۰ میلی مولار کاهش بیشتری داشت (جدول ۲) و علت آن کاهش پتانسیل آب خاک، کاهش تقسیم سلول، ورود بیش از حد سدیم، سمیت ناشی از حضور غلظت بالای سدیم و کاهش فتوسنتز می باشد که در نهایت سبب کاهش متابولیسم و تولیدات گیاهی می شود (ترکان و دمیران^۲، 2009). نتایج حاصل با نتایج گزارش شده در مورد گیاه سیب زمینی (دانشمند^۳ و همکاران، 2010) و فلفل گلخانه ای (زارع بوانی و همکاران، ۱۳۹۴) مطابقت دارد. مقایسه میانگین نتایج حاصله از تیمار دو سطح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار کلرورسدیم توأم با سولفات کلسیم در سطوح ۱۰ و ۱۵ میلی مولار افزایش قابل توجه و معنی دار طول بخش هوایی و ریشه و وزن خشک بخش هوایی و ریشه در مقایسه با شاهد را نشان داد (جدول ۲). طول بخش هوایی و وزن خشک

بخش هوایی و ریشه در تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرورسدیم همراه با ۱۰ میلی مولار کلسیم بیش تر از تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرورسدیم همراه با ۱۵ میلی مولار کلسیم بود اما در مقایسه با شاهد کاهش یافته بود. می توان نتیجه گرفت کلسیم سبب حفظ غشا و ساختمان سلول و افزایش تقسیم سلول می گردد در نتیجه کلیه اثرات ناشی از ازدیاد کلرورسدیم را تقلیل می دهد (والدرز آگوستو گویماراس و همکاران، 2012). نتایج حاصل با نتایج گزارش شده در مورد گیاهان فلفل گلخانه ای (زارع بوانی و همکاران، ۱۳۹۴) و گوجه فرنگی (ال-انانی^۴ و همکاران، 2001) مطابقت داشت.

صفات فیزیولوژیکی

بررسی حاضر نشان داد که با افزایش شوری، سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار میزان کلروفیل خام مرتباً نسبت به شاهد کاهش یافت به طوری که حداقل مقدار کلروفیل خام به سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار تعلق داشت ($P \leq 0/05$) (جدول ۴). احتمالاً عدم فعالیت آنزیم منیزیم کلاتاز در این سطح شوری و متعاقب آن جلوگیری از تبدیل پروتوپورفیرین به Mg-پروتوپورفیرین منجر به کاهش میزان کلروفیل شده است (نیاکان و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج حاصله با نتایج سایر تحقیقات در مورد گیاهان *Sesbinia grandiflora* (داناپاکام و محمدیاس^۵، 2010) سیب زمینی وحشی (موحامد^۶ و همکاران، 2010) و گوجه فرنگی (مظفری، ۱۳۸۳) مطابقت داشت. در شرایط کاربرد کلسیم در کنار تنش شوری میزان کلروفیل خام در گیاه افزایش یافت که در مقایسه با شاهد نیز کم تر بود ($P \leq 0/05$). در تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار همراه با ۱۵ میلی مولار کلسیم، کم ترین میزان کلروفیل خام نسبت به تیمار ۱۵۰ میلی مولار کلرورسدیم مشاهده شد که احتمالاً به دلیل تجمع بیش از حد نیاز کلرورسدیم و سولفات کلسیم بود (جدول ۴). کلسیم از آسیب غشایی سلول و پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی ممانعت می کند و پیش ماده مشترک سازنده کلروفیل و پرولین صرف تولید کلروفیل می شود (مظفری، ۱۳۸۳).

صفات بیوشیمیایی

در این تحقیق شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار موجب افزایش معنی دار محتوای پرولین برگ و ریشه شد ($P \leq 0/05$) به طوری که در تیمار ۱۵۰ میلی مولار محتوای پرولین به حداکثر مقدار خود رسید (جدول ۳ و ۴). تحمل به شوری در گیاهان

4. EL-enany
5. Dhanapackiam and Muhammad Ilyas
6. Mohamed

1. Chapman and Pratt
2. Türkan and Demiral
3. Daneshmand

حاضر با افزایش شوری، تجمع سدیم در ریشه و برگ نسبت به شاهد به شدت افزایش یافت. اثرات سمیت ناشی از انباشتگی کلرید سدیم در گیاه ممکن است تنها به دلیل اثرات مستقیم یون سدیم نباشد، بلکه به علت کاهش مقدار عناصر مغذی ضروری پتاسیم و کلسیم در گیاه باشد (والدرز آگوستو گویماراس و همکاران، 2012). تأثیر بهبوددهنده و معنی دار کلسیم در سطوح ۱۰ و ۱۵ میلی مولار بر میزان پتاسیم و کلسیم برگ و ریشه در شوری های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار مشاهده شد که در مقایسه با شاهد معنی دار است ($P \leq 0.05$). بیشترین میزان پتاسیم و کلسیم برگ و ریشه در برهمکنش سدیم و کلسیم متعلق به سطح تیمار ۱۵ میلی مولار کلسیم همراه با ۱۰۰ میلی مولار سدیم می باشد (جدول ۴). کلسیم سبب کاهش صدمات غشایی و افزایش نفوذپذیری انتخابی غشا می شود. نتایج حاصل با نتایج گزارش شده درباره گیاهان گوجه فرنگی (مختاری و همکاران، ۱۳۸۸) و دو رقم گوجه فرنگی (مینو و احسان پور، 2005) همخوانی دارد. در تنش شوری یون کلسیم به عنوان مکمل رشد اثر می کند. کلسیم اثرات سمی یون سدیم را با کاهش ورود سدیم از کانال های یونی غیرانتخابی کاهش می دهد و از خروج پتاسیم جلوگیری می نماید (والدرز آگوستو گویماراس و همکاران، 2012).

امجدی و همکاران: تأثیر سطوح مختلف کلسیم بر آسیب های ناشی از ... با تجمع مواد آلی در سیتوپلاسم همراه می باشد که برای فعالیت آنزیم های سیتوسولی بی ضرر هستند (جوشی و همکاران، 2012). نتایج حاصل با نتایج گزارش شده در مورد گیاهان سیب زمینی (نیاکان و همکاران، ۱۳۸۷) و گوجه فرنگی (مینو و احسان پور، 2005)، مطابقت دارد.

نتایج پژوهش نشان داد که تیمار ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار کلرورسدیم همراه با ۱۰ و ۱۵ میلی مولار کلسیم، سبب کاهش محتوای پرولین ریشه در مقایسه با شرایط بدون کاربرد کلسیم شد (جدول ۴). مطابق آزمایشات جوشی و همکاران (۲۰۱۲) در تنش شوری توام با کلسیم، کاهش سنتز ترکیبات محافظت کننده اسمزی نظیر پرولین به سازگاری بیوشیمیایی گیاه کمک می کند

سطوح شوری، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار سبب افزایش قابل ملاحظه در میزان سدیم برگ و ریشه گیاه شد. استفاده از کلسیم موجب کاهش پی در پی و معنی دار میزان سدیم برگ و ریشه در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳ و ۴). سدیم به عنوان یک عنصر غیر ضروری به کاهش کلسیم و پتاسیم در گیاه منجر می گردد. جذب یون هایی مانند سدیم و کلر پتانسیل آب را کاهش و توازن جذب یون های معدنی مغذی را از بین برد و سبب کاهش هدایت روزنه ای و جذب CO_2 می شود (جوشی و همکاران، 2012). سمیت کلرید سدیم با افزایش میزان کلسیم کاهش یافت که به علت کاهش جذب سدیم و انتقال آن به سایر قسمت ها می باشد. سلول های ریشه قادر به توقف و کده بندی یون های سمی یا اضافی در بخش های خاصی از سلول (دیواره ها و واکوئل ها و ...) سبب انتقال آن ها به نقاط خاص از گیاه می شود که در نهایت سبب کاهش اثر سمیت آن ها در سلول می گردد (عتمادی^۱ و همکاران، 2010). به علاوه این احتمال وجود دارد که در حضور کلسیم و با فعال سازی مسیرهای منتهی به بیان ژن، بیان پروتئین های (نظیر پادبرها و پمپ های خاص) ویژه ای که نهایتاً منجر به کاهش میزان سدیم در سلول می شود، صورت گیرد (کایا و همکاران، 2002).

در این آزمایش کاربرد مقادیر ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار کلرورسدیم هر دو میزان پتاسیم و کلسیم برگ و ریشه را به صورت معنی داری نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۲) کمترین میزان پتاسیم و کلسیم در سطح ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم به علت آسیب غشایی سلول توسط کلرورسدیم و کاهش نفوذپذیری انتخابی غشا مشاهده شد. یکی از راهکارهای گیاه برای مقابله با تنش شوری، جذب آب به واسطه تنظیم اسمزی است، اما این امر می تواند با جذب بیش تر عناصر ناخواسته مانند سدیم همراه باشد، همچنان که در آزمایش

جدول ۱: آنالیز واریانس تأثیر سطوح مختلف NaCl و CaSO₄ بر پارامترهای رشد سیب زمینیTable 1: Analysis variance different the effect of NaCl and CaSO₄ levels on growth parameters of potato

میانگین مربعات MS				درجه آزادی df	تیمار Treatment
وزن خشک ریشه Dry weight of root	طول ریشه Root height	وزن خشک ساقه Dry weight of stem	طول ساقه Stem height		
3669305.333*	177.093*	3.669*	588.3*	2	کلرید سدیم NaCl (A)
797886.333*	7.111*	0.798*	54.662*	2	سولفات کلسیم CaSO ₄ (B)
207889.833*	8.843*	0.208*	1.597*	4	کلرید سدیم × سولفات کلسیم A×B
1575.111	0.001	0.002	0.001	18	خطا Error
2.27	0.15	11.04	0.07		ضریب تغییرات CV

*: معنی دار در سطح ۵ درصد

*: Significant at $P \leq 0.05$ جدول ۲: تغییرات صفات رشد سیب زمینی تحت تأثیر سطوح مختلف NaCl و CaSO₄Table 2: Changes of growth traits of potato under the effects of different NaCl and CaSO₄ levels

وزن خشک ریشه (میلی گرم) در بوته	طول ریشه (سانتی متر)	طول ساقه (سانتی متر)	وزن خشک ساقه (میلی گرم در بوته)	غلظت سولفات کلسیم (میلی مولار) CaSO ₄ (mM)	غلظت کلرور سدیم (میلی مولار) NaCl (mM)
Root dry weight (mg)	Root height (cm)	Stem height (cm)	Stem dry weight (mg)	CaSO ₄ (mM)	NaCl (mM)
2473b	28.48b	20.77b	2313b	0	0
2871a	30.20a	66.31a	3077a	10	0
1740c	26.30c	60.33c	1960c	15	0
1210d	22.33f	55.55e	1690d	0	100
1530c	24.03e	56.86d	1733d	10	100
1517c	25.9d	52.47f	1373e	15	100
949.7de	18.17i	46.3h	1030g	0	150
1090d	20h	49.5g	1420e	10	150
690e	20.20g	45.1i	1150f	15	150

ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری تفاوت معنی دار ندارند ($P \leq 0.05$)The columns with common alphabets are not statistically significant ($P \leq 0.05$)جدول ۳: آنالیز واریانس تأثیر سطوح مختلف NaCl و CaSO₄ بر پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سیب زمینیTable 3: Analysis variance of the effect of different levels of NaCl and CaSO₄ on Physiological and Biochemical parameters of potato

میانگین مربعات MS							درجه آزادی df	تیمار Treatment
سدیم برگ Leaf sodium	سدیم ریشه Root sodium	پتاسیم برگ Leaf potassium	پتاسیم ریشه Root potassium	پرولین برگ Leaf prolin	پرولین ریشه Root prolin	کلروفیل خام Total chlorophyll		
1091.53*	574.76*	353.94*	544.582*	611.497*	829.805*	34.462*	2	کلرید سدیم NaCl (A)
66.717*	62.162*	30.841*	51.507*	24.227*	7.217*	2.994*	2	سولفات کلسیم CaSO ₄ (B)
5.426*	6.936*	3.332*	6.752*	16.13*	7.358*	0.363*	2	کلرید سدیم × سولفات کلسیم A×B
0.168	0.039	0.039	0.068	0.003	0.012	0.001	18	خطا Error
1	0.32	0.46	0.60	0.37	0.64	1.03		ضریب تغییرات CV

*: معنی دار در سطح ۵ درصد

*: Significant at $P \leq 0.05$

جدول ۴: تغییرات صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سیب‌زمینی تحت تأثیر سطوح مختلف NaCl و CaSO₄Table 4: Changes of Physiological and biochemical traits of potato under of the effects of different NaCl and CaSO₄ levels

کلروفیل خام (میلی گرم بر گرم وزن تازه) Total Chlorophyll (mg g ⁻¹ FW)	پروترین ریشه (میلی گرم بر گرم وزن خشک) Root prolin (mg g ⁻¹ DW)	پروترین برگ (میلی گرم بر گرم وزن خشک) Leaf prolin (mg g ⁻¹ DW)	کلسیم ریشه (میلی گرم بر گرم وزن خشک) Root calcium (mg g ⁻¹ DW)	پتاسیم ریشه (میلی گرم بر گرم وزن خشک) Root potassium (mg g ⁻¹ DW)	سدیم ریشه (میلی گرم بر گرم وزن خشک) Leaf sodium (mg g ⁻¹ DW)	کلسیم برگ (میلی گرم بر گرم وزن خشک) Leaf calcium (mg g ⁻¹ DW)	پتاسیم برگ (میلی گرم بر گرم وزن خشک) Leaf potassium (mg g ⁻¹ DW)	سدیم برگ (میلی گرم بر گرم وزن خشک) Leaf sodium (mg g ⁻¹ DW)	غلظت سولفات کلسیم (میلی مولار) CaSO ₄ (mM)	غلظت کلرید سدیم (میلی مولار) NaCl (mM)
5.03c	6.5i	3.18i	22.02c	45.51c	54.3g	20.57c	47.09c	30.98g	0	0
6.58a	7.3h	5.14h	26.91b	52.25b	53.14h	23.36b	49.72b	29.78h	10	0
5.43b	9.89j	9.47g	29.84a	55.18a	52.53i	26.14a	52.83a	28.09i	15	0
3.18f	18.1d	17.2d	15.57f	40.61e	63.64d	14.25f	41.81f	46.42d	0	100
3.9d	15.03f	13.06f	18.38e	43.83d	59.75e	16.93e	44.03e	42.25e	10	100
3.5e	15.42e	14.5e	19.65d	44.25d	57.03f	17.35d	44.38d	38.19f	15	100
1.65f	27.87a	22.18b	9.04i	35.04g	72.97a	7.83i	36.29i	54.03a	0	150
2.38g	25.7c	20.5c	12h	35.3g	69.16b	9.11h	36.65h	51.8b	10	150
1.58i	27.56b	24.5a	12.53g	38.04f	65.62c	9.67g	39.08 g	48.83c	15	150

ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری تفاوت معنی دار ندارند ($P \leq 0.05$)The columns with common alphabets are not statistically significant ($P \leq 0.05$)

نتیجه‌گیری کلی

شوری با کلرور سدیم منجر به کاهش صفات مذکور شد. در واقع کاربرد کلسیم با کاهش تجمع یون سدیم سبب کاهش سمیت یونی سدیم می‌شود. بنابراین به‌منظور افزایش مقاومت گیاهان حساس و نیمه‌حساس به تنش شوری همچون سیب‌زمینی استفاده از ترکیبات حاوی کلسیم یا کودهای کلسیمی می‌تواند در بهبود اثرات منفی ناشی از تنش شوری مفید شود.

کلرور سدیم سبب کاهش میزان کلروفیل خام و محتوای کلسیم و پتاسیم شد. کاربرد کلسیم در سطوح ۱۵ و ۱۰ میلی‌مولار، مقاومت گیاه را در غلظت‌های محدود کننده کلرور سدیم افزایش داد. سطوح ۱۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرور سدیم سبب افزایش میزان پروترین و محتوای سدیم برگ و ریشه شد درحالی‌که تیمار کلسیم (۱۵ و ۱۰ میلی‌مولار) در شرایط تنش

منابع

- زارع بوانی، م.، پیوست، غ. ع.، قاسم نژاد، م. و فرقانی، ا. ۱۳۹۴. ارزیابی تحمل به شوری ارقام تجاری فلفل گلخانه‌ای در مرحله گیاهچه‌ای. مجله به زراعی کشاورزی دانشگاه تهران، ۴: ۹۰۹-۸۹۳.
- مختاری، ا.، گنجعلی، ع. و ابریشم‌چی، پ. ۱۳۸۸. تأثیر بهبود دهنده کلرید کلسیم و سولفات کلسیم بر رشد، میزان پروتئین‌های محلول، قند‌های محلول، پروترین و برخی عناصر معدنی (سدیم و پتاسیم) در برگ گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* var. Mobil) تحت تنش شوری. مجله زیست‌شناسی ایران، ۲۳(۱): ۷۲-۶۲.
- مظفری، ح. ۱۳۸۳. نقش کلسیم در کاهش اثرات شوری در گیاه خاکشیر (*Descurainia sophia* L.) مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۶۵: ۱۰۳-۹۲.
- نیاکان، م.، تجری، م. و قربانلی، م. ۱۳۸۷. بررسی اثر شوری بر توان دگرآسیبی کلزا از طریق مطالعه برخی شاخص‌های رشد، میزان کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و نیترات ردوکتاز دانه رست سویا در شرایط هیدرولیک. مجله زیست‌شناسی ایران، ۲۱(۲): ۳۲۳-۳۱۵.
- Al-Khateeb, S. A. 2006. Effect of calcium/ sodium ratio on growth and ion relation of alfalfa (*Medicago sativa* L.) seedling growth under salin condition. Journal of Agronomy, 5: 175-187.
- Amini, F. and Ehsanpour 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.

- Arnon, D. I. 1949. Coppr enzymes in isolated chloroplast: polyphenoloxydases in *Beta vulgaris*. Journal of Plant Physiology, 2: 1-15.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Tear, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. An International Journal on Plant-Soil Relationships, 39: 205-207.
- Chapman, H. D. and Pratt, P. F. 1961. Method of Analysis for Soil, Plants and Water. University of California, Division of Agricultural Sciences. 309 pp
- Daneshmand, F., Arvin, MJ. and Manouchehri Kalantari, Kh. 2010. Physiologocal responses to NaCl stress in three wild species of potato *in vitro*. Journal of Acta Physiologiae Plantarum, 32: 91-101.
- Dhanapackiam, S. and Muhammad Ilyas, M. H. 2010. Effect of salinity on chlorophyll and carbohydrate content of *Sesbania grandiflora* seedlings. Indian Jurnal of Science and Technology, 3: 64-66.
- Ebrahimi pak, N. A. 2013. Optimization of irrigation water in the wheat and potato crops in standard and dehydration Shraytabyary. Iranian Journal of Soil and Water Research, 43: 315-323.
- EL-enany, A., ISSA, AA. and Abdel-basset, R. 2001. Calcium enhancement of shoot organogenesis in salinity-stressed tomato explants. An International Multidisciplinary Journal in Agricultural Sciences, 49: 35-42.
- Etehadnia, M., Schoenau, J., Waterer, D. and Karen, T. 2010. The effect of CaCl₂ and NaCl salt acclimation in stress tolerance and its potential role in ABA and scion/rootstock-mediated salt stress responses. Plant Stress. Global Science Book, 4: 72-78.
- Hossain shah, S., Tobita, S. and Swat, I. Z. 2003. Supplemental calcium enhances growth and elicits praline accumulation in NaCl- stressed rice roots. Journal of Biological Sciences, 3: 903-914.
- Joshi, S. V., Patel, N. T., Pandey, I. B. and Pandey, A. N. 2012. Effect of supplemental Ca²⁺ on NaCl-stressed castor plants (*Ricinus communis* L.). The Journal of University of Zagreb. Acta Botanica Croatica, 71: 13-29.
- Kaya, C., Higgs, D. and Murillo-Amador, B. 2002. Influence of foliar-applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt-stressed conditions. Australian Journal of Experimental Agriculture, 42: 631-636.
- Khaghani, R., Mahmoodi, Sh., Pazira, A. and Masih abadi, M. H. 2013. Evaluation of soil salinity and its impact on the yield of major crops in the plain of Qazvin. Journal of Crop Production in Environmental, 3: 27-37.
- Mohamed, A. M., Matter, MA. and Saker, MM. 2010. Effect of salt stress on some defense mechanisms of transgenic and wild potato clones (*Solanum tuberosum* L.) grown *in vitro*. Journal of Nature and science. 8: 181-197.
- Schaper, H. and Chacko E. K. 1991. Relation between extractable chlorophyll and portable chlorophyll meter readings in leaves of eight tropical and subtropical fruit-tree species. Journal of Plant Physiology, 138: 674-677.
- Türkan, I. and Demiral, T. 2009. Recent developments in understanding salinity tolerance. Environmental and Experimental Botany, 67: 2-9.
- Valderez Augusto Guimarães, F., Feitosa de Lacerda, C., Camelo Marques, E., Eduardo Braga de Abreu, C., Freire de Aquino, B., Tarquinio Prisco, J. and Gomes-Filho, E. 2012. Supplemental Ca²⁺ does not improve growth but it affects nutrient uptake in NaCl-stressed cowpea plants. Brazilian Journal of Plant Physiology, 24: 9-18.

Effect of Different Calcium Levels on Damages Caused by NaCl Stress in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plant

Amjadi¹, E., Lahooti², M. and Ganjeali^{3*}, A.

Abstract

Calcium is the most effective starter and transmitter of intracellular messages in response to biotic and abiotic stresses. In order to investigate the effects of calcium on vegetative and some growth, physiological and biochemical characteristics of Potato (*Solanum tuberosum* L.) a factorial experiment was conducted based on a completely random design with three replications under salinity stress. In this experiment, sodium chloride with the concentrations of 0 (control), 100 and 150 mM and calcium sulfate with the concentrations of 0 (control), 10 and 15 mM were used as different salinity levels and source of calcium, respectively 20 days after planting. Plants were harvested 30 days after the application of Sodium chloride and calcium sulfate and some growth and biochemical traits were estimated. Results showed that with increasing salinity, root and shoot length, root and shoot dry weight and K^+ and Ca^{+2} levels were decreased, while sodium and proline levels in leaves and roots increased ($P \leq 0.05$). Application of calcium significantly increased growth, biochemical parameters and accumulation of Ca^{+2} and K^+ in plants but the levels of Na^+ and proline in the leaves and roots significantly decreased ($P \leq 0.05$). In this experiment, calcium reduced the harmful effects of salinity stress and the beneficial effect of using 15 mM calcium sulfate on the most traits was quite obvious.

Keywords: Proline, Potassium, Salinity, Dry weight

1 and 2. Master Graduate and Professor, Respectively, Department of Biology, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran

3. Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*: Corresponding author Email: ganjeali@um.ac.ir

This paper has been extracted from the first author's MSc thesis under the guidance of Mehrdad Lahooti.