

## اثر سیلیکون روی میزان فیتوکلات، کربوهیدرات غیر ساختمانی و K در دو رقم برنج ایرانی *Oriza sativa*

حیدرعلی مالمیر\* و سکینه رودی

همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی

تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۱

### چکیده

گزارشهایی در مورد اثر Si روی رشد، حفاظت گیاهان در تنشهای زنده و غیر زنده وجود دارد، اما رابطه بین اثر Si و تجمع فیتوکلاتین phytochelatins، هیدرات کربن غیر ساختمانی، K و Si کمتر مطالعه شده است. به این منظور اثر Si قبل از گلدهی روی مقدار هیدرات کربن غیر ساختمانی، فیتوکلاتین، Si و K در دو رقم برنج شیروودی و اوس که مقاومت متفاوتی نسبت به شوری دارند در غالب طرح فاکتوریل در محیط کشت شن با غلظت‌های (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵) Si, g/kg soil انجام شد. با افزایش غلظت Si در محیط رشد مقدار هیدرات کربن غیر ساختمانی در برگهای دو رقم افزایش و در ریشه کاهش یافت، در صورتی که مقدار فیتوکلاتین در ریشه و برگهای هر دو رقم افزایش یافته و این افزایش در سطح  $p \leq 0.05$  معنی‌دار بود. نتایج نشان می‌دهد، در رقم شیروودی به ترتیب ۹۷٪، ۸۲٪ و در رقم اوس ۷۹٪ و ۹۵٪ از تغییرات سطح و وزن برگ به دلیل تغییر غلظت Si است. به همین دلیل Si مصرف هیدرات کربن غیر ساختمانی را در برگ‌ها افزایش داده است. در این تحقیق Si مقدار K و Si را در ریشه و برگهای دو رقم افزایش داده، که نشان‌دهنده افزایش جذب و تعرق بیشتر است. با مقایسه پارامترهای همبستگی، کاهش نسبی هیدرات‌های کربن غیر ساختمانی در ریشه با افزایش خطی فیتوکلاتین همراه بود، بنابراین به نظر می‌رسد Si مصرف هیدرات‌های کربن غیر ساختمانی را در ریشه برای سنتز ترکیبات جدید از جمله فیتوکلات‌ها بالا می‌برد.

واژه‌های کلیدی: مصرف کربوهیدرات، فیتوکلاتین، برنج، همبستگی

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۸۱۱۸۲۵۷۴۰۲، پست الکترونیکی: malmir1@basu.ac.ir

### مقدمه

کلروفیل دانسته‌اند. از ویژگی‌های تأثیر سیلیسیم روی رشد، تجمع آن به مقدار زیاد در داخل گیاهان است، یعنی با اینکه غلظت Si در داخل گیاه زیاد است اما اثر منفی روی فعالیت سایر عناصر و در نتیجه روی رشد ندارد. تحقیقات نشان داده که افزایش مقدار Si در برگ‌ها با عوامل زیادی از قبیل تعرق، طول دوره رویشی و سرعت رشد مرتبط است، اما تمایل زیاد ریشه در جذب Si مهمترین عامل افزایش مقدار Si در داخل گیاهان است (۱۶).

سیلیسیم یکی از فراوانترین عناصر در کره زمین است. گزارشهایی مبنی بر افزایش ماده خشک در برنج مرتبط با افزایش Si در محیط کشت زیاد است (۲۱). Liang و همکاران (۱۵)، (۲۰۰۳) بیان کردند که استفاده از ترکیبات سیلیکات به طور جداگانه سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه *Hordeum vulgare* شده است. در ادامه تحقیقات، Ma (۱۶)، (۲۰۰۳) مشاهده کرد با کمبود Si در بیشتر گیاهان مقدار کلروفیل a کم شده و در ادامه رشد گیاه و میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد. بیشتر محققان این کاهش فتوسنتز را به دلیل نقش Si در زنجیر سنتز

بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، Si فلزی است که موجب تنش نمی‌شود. اما به دلیل داشتن بار مثبت می‌تواند تعادل بار داخل گیاه را به هم زده و مشکلات متابولیسمی ایجاد کند. بنابراین گیاهان نسبت به افزایش این بار مثبت پاسخ خواهند داد. اولین فرض این هست که گیاه با تولید متابولیت‌های ثانویه واکنش نشان می‌دهد. بنابراین وقتی گیاه در معرض Si قرار می‌گیرد، با توجه به غلظت‌های اعمال شده پاسخ‌های داده شده متفاوت خواهد بود و این پاسخ‌ها با تغییر ترکیبات شیمیایی داخل گیاه نسبت به شرایط جدید اعمال شده است. دومین فرض این هست که ترکیبات و زی‌توده اختصاص یافته به ریشه و ساقه با افزایش بار مثبت تغییر می‌کند که در بعضی موارد این قبیل ترکیبات برای مدتهای طولانی همچنان سنتز می‌شوند (۱۸ و ۵).

با توجه به تأثیر Si در موارد یاد شده، در این تحقیق اثر Si روی هیدرات‌های کربن غیر ساختمانی که پیش‌ماده قابل تبدیل برای مواد رشد‌اندامهای مختلف گیاه برنج است، فیتوکلات که در شرایط تنش فلزی تولید می‌شود، و همچنین مقدار Si و K که نقش مهمی در پتانسیل اسمزی و استحکام دیواره سلولزی دارد قبل از گلدهی مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روشها

**شرایط آزمایش:** آزمایش در شرایط طبیعی خارج از گلخانه از اول اردیبهشت تا اواخر تیرماه قبل از گلدهی در گلخانه دانشگاه بوعلی سینا در داخل گلدان‌های پلاستیکی انجام شد. برای این منظور بذره‌های دو رقم برنج *Oryza sativa* L. از مرکز تحقیقات برنج کشور در شهر آمل تهیه گردید. گلدان‌های انتخاب شده برای آزمایش شامل سطل‌های دایره‌ای بزرگ با سطحی حدود ۲- ۱۰۱۵cm و عمقی حدود ۶۰ سانتیمتر بودند که ۸ kg ماسه را در خود جا می‌دادند. در هر گلدان دو سوراخ ایجاد شده بود، یکی پایین گلدان و دیگری به فاصله ۸ سانتیمتر بالاتر

برنج یکی از مهمترین محصولات کشاورزی است که Si را به مقدار فراوان جذب می‌کند (۱۹). تحقیقات زیادی نشان داده است که Si میزان مقاومت به بیماریهای گیاهی را که توسط حشرات و قارچها ایجاد می‌شود و همچنین افزایش سن برگ و بازدهی جذب آب را در گیاه برنج افزایش می‌دهد (۱۷). تحقیقات نشان داده هیچگونه آستانه‌ای برای جذب Si توسط گیاه برنج وجود ندارد. اگرچه با افزایش Si در داخل گیاه مقدار متابولیت‌های اولیه و بعضی متابولیت‌های ثانویه در گیاهان افزایش پیدا می‌کند، اما این به معنای آثار سمیت Si نیست (۱۶).

تحقیقات نشان داده با افزایش غلظت بعضی فلزات سنتز فیتوکلات‌ها افزایش می‌یابد و گیاهان را با توجه به میزان فیتوکلات تولید شده به گروه‌های حساس و مقاوم می‌توان تقسیم کرد (۷). به خصوص با افزایش میزان Zn، Cd و Al در محیط کشت میزان فیتوکلات‌ها فوق‌العاده افزایش می‌یابد و این افزایش در گیاهان با کاهش منبع ترکیبات گلوکوتایون همراه است (۳). در رابطه با تأثیر Si روی تغییر مقدار فیتوکلات در گیاه برنج تحقیقات کمتری وجود دارد. اما بر اساس تئوری دفاع اپتیمم تولید ترکیبات دفاعی در گیاهان انعکاس‌دهنده ریسک مقاومت نسبت به سمیت فلزات یا یک تنش در اندام یا بافتهای ویژه است، به طوری که این رفتار برای سازش گیاه بسیار با ارزش است (۵).

مطالعاتی که در سطح وسیع روی هیدرات‌های کربن غیر ساختمانی و فیتوکلات‌ها انجام شده، نشان می‌دهد این ترکیبات در برگ‌ها و ریشه همه گیاهان که در خشکی زندگی می‌کنند وجود دارد و تغییرات این ترکیبات می‌تواند تعیین‌کننده ظرفیت دفاع بیوشیمیایی گیاهان باشد (۱۲). با توجه به گزارش بیشتر محققان Si میزان رشد را بخصوص در گیاه برنج افزایش می‌دهد و این افزایش رشد با تولید مقدار زیادی ترکیبات ثانویه که در شرایط تنش تولید می‌شود همراه است (۱۶ و ۱۷).

را به هر یک از لوله‌های آزمایش اضافه کرده و بعد از دو دقیقه دوباره میزان جذب را اندازه‌گیری نمودیم. با کم کردن مقدار جذب اول از دوم منحنی استاندارد را بر اساس غلظت‌های SSA رسم گردید. برای اندازه‌گیری فیتوکلات نمونه‌ها در مرحله اول مقدار یک میلی‌لیتر از نمونه‌ها را با دو میلی‌لیتر  $K_2HPO_4$  با هم مخلوط کرده، و میزان جذب آنها در طول موج ۴۱۲ nm اندازه‌گیری شد و در مرحله دوم مقدار ۶/۳ میلی‌لیتر DTNB اضافه کرده و دو مرتبه میزان جذب مجدداً اندازه‌گیری شد. با کم کردن جذب اول از دوم میزان جذب با منحنی استاندارد تطبیق داده شد. در پایان غلظت فیتوکلات را بر اساس منحنی استاندارد  $\mu\text{mol/g}^{-1}$  FW محاسبه کردیم.

**اندازه‌گیری هیدرات کربن غیر ساختمانی:** برای اندازه‌گیری کل هیدرات کربن غیر ساختمانی به روش (۲)، (Allen SE. 1989) ابتدا نمونه‌ها را کاملاً هموژن کرده و توسط مخلوط‌کن به صورت پودر درآمد. ۰/۵ گرم نمونه را با ۱۵ میلی‌لیتر اتانل ۷۰٪ مخلوط کرده و بعد از مدت نیم ساعت مقدار ۱۰ میلی‌لیتر بنزن برای جداسازی رنگیزه‌ها به نمونه اضافه شد، سپس صاف گردید. ۰/۵ میلی‌لیتر از نمونه را برداشته و به آن ۲ میلی‌لیتر از محلول آنترون ۲٪ اضافه کرده و همزمان به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب داغ  $100^\circ\text{C}$  قرار داده شد. در ادامه کار بعد از ۱۰ دقیقه لوله آزمایش را سریع سرد کرده و میزان جذب را با دستگاه اسپکترومتر در طول موج ۶۲۰ nm یادداشت گردید. مقدار هیدرات کربن غیر ساختمانی بر حسب  $\text{mg g}^{-1}$  محاسبه گردید. از محلول گلوکز ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و  $100\text{ g.m}^{-3}$  برای تهیه منحنی استاندارد استفاده شد. عناصر K و Si با دستگاه فلم فوتومتر اندازه‌گیری شدند.

**آنالیز آماری:** برای تعیین روابط آماری بین انواع متغیرها از برنامه SPSS ویرایش ۱۳ استفاده شد. ابتدا از تحلیل واریانس دو طرفه برای مقایسه داده‌ها جهت تعیین اختلافات استفاده شد، سپس برای ارزیابی چگونگی پیش

از آن قرار داشت. محلول غذایی مورد استفاده هوگلدن بود، که به فاصله هر دو هفته یکبار به گلدانها اضافه می‌شد. هنگام دادن محلول غذایی ابتدا سوراخ پایینی گلدان باز می‌شد تا باقی مانده محلول غذایی هفته گذشته خارج شود، سپس بسته می‌شد و محلول غذایی جدید به حجم دو لیتر همراه با غلظت‌های مختلف  $K_2SiO_3$  (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ g / kg soil) جداگانه اضافه می‌گردید. در بین هفته گیاهان هر روز یکبار با آب مقطر آبیاری می‌شدند تا آب تبخیر شده جبران شود. در کل، آزمایش دارای چهار بلوک  $\times$  دو کولتیوار  $\times$  چهار غلظت Si و جمعا ۳۲ عدد بود. گلدان‌ها در غالب طرح فاکتوریل چیده شده بود و در وسط و اطراف تیمارها تعداد زیادی گلدان با همان ویژگیهای تیمارهای اصلی کشت شد تا اثر حاشیه‌ای از بین برود.

**اندازه‌گیری ترکیبات فیتوکلات:** میزان فیتوکلاتین به روش (۸)، (De Vos et al 1992) انجام شد. در این روش مقدار دو گرم از ماده تر گیاهی را با ۲۰ میلی‌لیتر اسید ۵-سولفو سالیسیلیک (SSA) ۵٪ و ۲۰ میلی‌لیتر دی‌اتیلن‌تری‌آمینو پنتا اسید استیک (DTPA) داخل هاون کاملاً ساییده شد. محتویات ساییده شده را با مدت ده دقیقه به حال خود گذاشته، سپس با سانتریفوژ با دور  $12000\text{g}$  در  $4^\circ\text{C}$  برای مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ می‌کنیم. محلول رویی را برای اندازه‌گیری فیتوکلاتین به داخل لوله آزمایش دیگری منتقل می‌کنیم. برای اندازه‌گیری لازم است ابتدا منحنی استاندارد تهیه شود، سپس برای تهیه منحنی استاندارد مقادیر ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌لیتر SSA داخل لوله آزمایش ریخته شود. سپس جهت ایجاد گروه واکنشگر SH به هر یک از لوله‌ها ۶/۳ میلی‌لیتر DTPA اضافه گردید، برای ثابت نگه داشتن PH محیط به تدریج  $K_2HPO_4$  ۰/۵ مولار به طور جداگانه داخل لوله‌های آزمایش ریخته شد و میزان جذب را با دستگاه اسپکترومتر در طول موج ۴۱۲ نانومتر یادداشت کردیم (Perkin, Elmer Lambda, 45 UV/VIS, D6484, USA). بار دیگر مقدار ۶/۳ میلی‌لیتر از معرف

بینی درجه تأثیر Si روی پارامترهای اندازه‌گیری شده، یک رگرسیون خطی چند متغیره برای دو رقم اجرا شد.

## نتایج

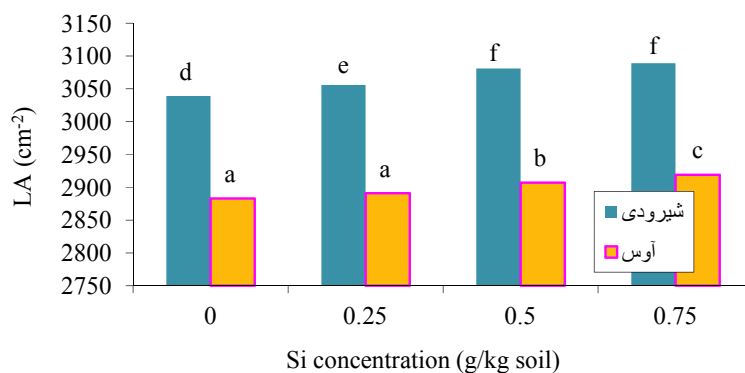
**تغییرات سطح برگ و وزن خشک:** نتایج نشان می‌دهند با افزایش غلظت Si در محیط کشت، سطح برگ در دو رقم افزایش یافته است (شکل ۱- جدول ۱،  $p \leq 0.01$ ). افزایش سطح برگ در دو رقم روند یکسانی ندارد و این افزایش در رقم شیروودی بیشتر از رقم آوس است. با

مقایسه میانگین‌ها، افزایش سطح برگ در دو رقم در غلظت ۰/۵ گرم Si بیشتر از سایر غلظت‌ها از نظر آماری در سطح  $p \leq 0.01$  معنی‌دار است (شکل ۱). سرعت توسعه برگ‌ها در رقم شیروودی  $6/4 \text{ mmd}^{-1}$  سریعتر از رقم آوس  $5/1 \text{ mmd}^{-1}$  می‌باشد. با مقایسه میانگین‌ها مشخص شد، با افزایش غلظت Si در محیط کشت، وزن ریشه و برگ در دو رقم افزایش می‌یابد که از نظر آماری در سطح  $p \leq 0.01$  معنی‌دار بود. البته افزایش در رقم آوس بیشتر از شیروودی است (جدول ۱، شکل ۲A، ۲B).

جدول ۱- نتایج آزمونهای تجزیه واریانس پارامترهای رشد (سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک ریشه، کل وزن خشک، میزان فیتوکلات، کربوهیدرات غیر ساختمانی، Si و میزان K در برگ و ریشه)

منابع تغییر	درجات آزادی	سطح برگ	وزن برگ	وزن ریشه	Si برگ	Si ریشه	کربوهیدرات برگ	کربوهیدرات ریشه	فیتوکلات برگ	فیتوکلات ریشه	K برگ	K ریشه
رقم	۱	۳/۷***	۲/۲۳	۱/۹۸	۲/۰۵	۴/۰۵*	۳/۶*	۷/۴***	۵/۲**	۷/۵***	۶/۸***	۵/۵۹**
Si	۳	۹/۵***	۵/۶**	۸/۸***	۹/۳***	۱۴/۷***	۷/۲***	۴/۸**	۸/۷***	۱۱/۵***	۷/۸***	۴/۸۲**
رقم Si x	۳	۵/۲**	۲/۱۷	۳/۵۲*	۴/۶۷*	۷/۲**	۲/۲۳	۲/۴۵	۰/۹۸	۰/۷۴	۲/۹	۳/۲*
خطا	۲۸	۲/۷۲	۹/۲۶	۷/۱۴	۳/۱۸	۵/۲	۱/۹۸	۲/۰۹	۱/۶۵	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۲

\*\*\*، \*\*، \* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪، و ۱۰٪ می‌باشد.

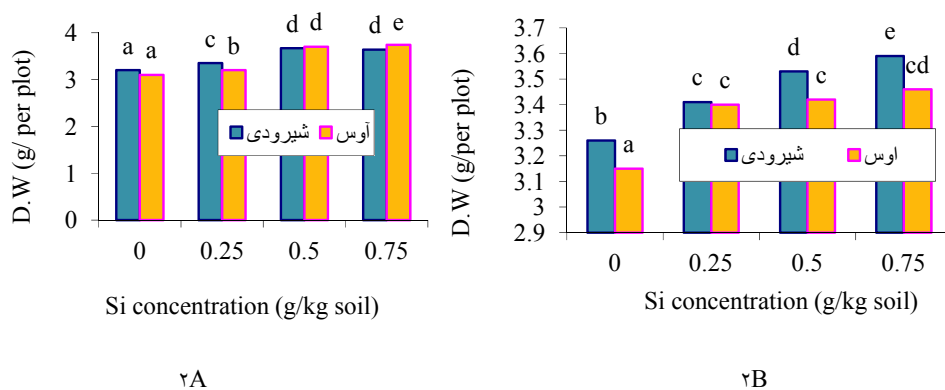


۱A

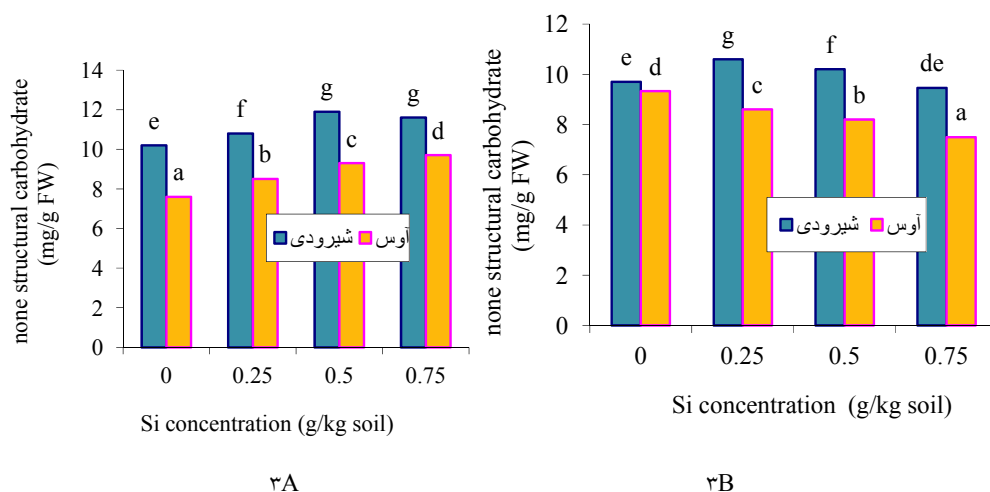
شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف Si روی تغییرات سطح برگ ۱A (sd=10)

فیتوکلات: با افزایش غلظت Si در محیط کشت مقدار فیتوکلات در ریشه دو رقم به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که افزایش در ریشه رقم آوس بیشتر از شیروودی است  $p \leq 0.01$  (جدول ۱، شکل ۲B). همچنین با افزایش غلظت Si در محیط کشت میزان فیتوکلات در برگ‌های رقم شیروودی بیشتر از رقم آوس افزایش می‌یابد که در سطح  $p \leq 0.01$  معنی‌دار است (شکل ۲A).

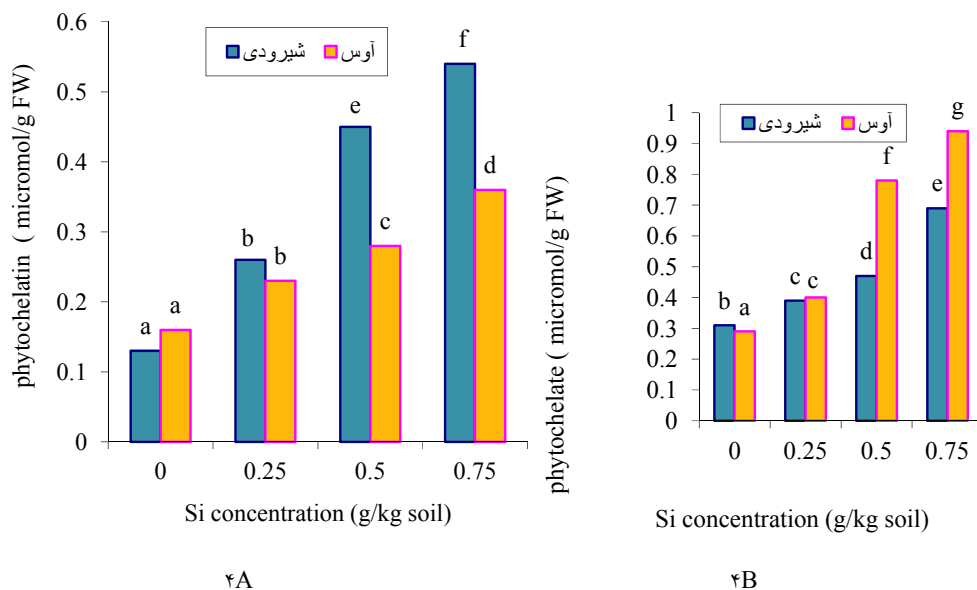
کربوهیدرات غیر ساختمانی: با افزایش غلظت Si در محیط کشت میزان کربوهیدرات غیر ساختمانی در برگ‌های رقم شیروودی بیشتر از رقم آوس افزایش می‌یابد که در سطح  $p \leq 0.01$  معنی‌دار است (جدول ۱، شکل ۳A). همچنین Si میزان کربوهیدرات غیر ساختمانی را در ریشه دو رقم به طور معنی‌داری کاهش داده که در رقم آوس بیشتر از شیروودی است (جدول ۱، شکل ۳B).



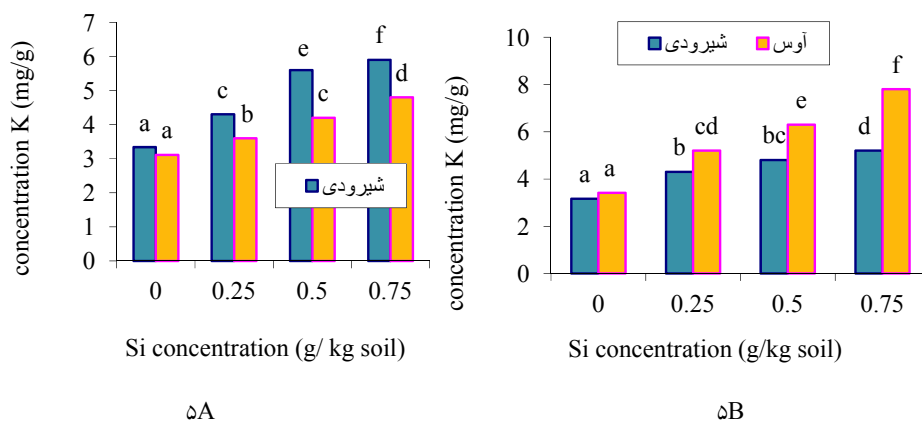
شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف Si روی تغییرات وزن خشک برگ ۲A و ریشه ۲B ( $Sd \ 2B=0.05$ ;  $Sd \ 2A=0.01$ )



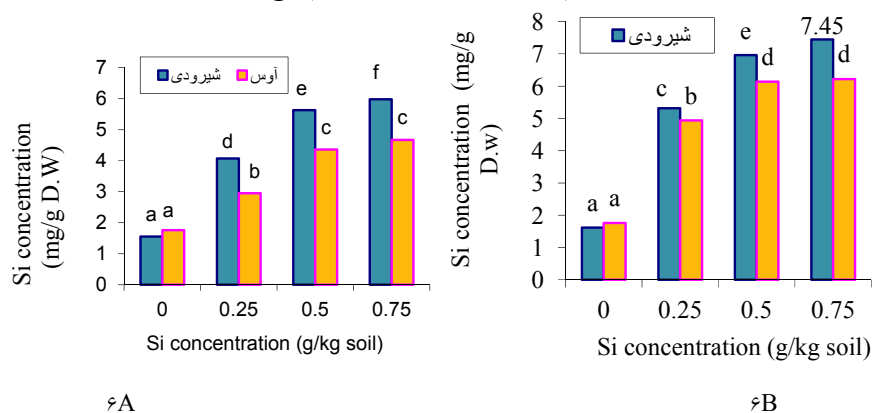
شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف Si روی تغییرات هیدرات کربن غیر ساختمانی در برگ‌ها ۳A و ریشه ۳B دو رقم ( $Sd \ 3B=0.01$ ;  $Sd \ 3A=0.02$ ) برنج شیروودی و آوس



شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف Si روی تغییرات کل فیتوکلات در برگ‌ها 4A و ریشه 4B دو رقم برنج شیروودی (Sd 4B=۰/۰۱; Sd 4A= ۰/۰۱۱) و آوس



شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف Si روی تغییرات پتاسیم در برگ 5A و ریشه 5B دو رقم برنج شیروودی و آوس (Sd 5B=۰/۲; Sd 5A= ۰/۳)



شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف Si روی تغییرات سیلیکون در برگ 6A و ریشه 6B دو رقم برنج شیروودی و آوس (Sd 6B=۰/۳; Sd 6A= ۰/۳)

جدول ۱: شکل ۶A، ۶B). البته اثر افزایشی غلظت K در محیط کشت روی تغییرات انواع پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار نیست.

**نتایج مجموعه پیش‌بینی کننده متغیرها:** نتایج ارزیابی پیش‌بینی سطح اثر Si روی پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول ۲ ارائه شده است. این جدول قدرت پیش‌بینی و مقدار اثر گذاری Si را با تقدم تأثیر روی هر پارامتر نشان می‌دهد. همانگونه که پیش‌بینی می‌شود اکثر همبستگی‌های دو متغیر بین اثر Si و ضریب افزایش مثبت است.

**پتاسیم و سیلیکون:** با افزایش غلظت Si در محیط کشت مقدار K در ریشه و برگ‌ها در دو رقم به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که افزایش در برگ‌ها در رقم شیرودی بیشتر از اوس است ( $p \leq 0/01$ )، جدول ۱: شکل ۵A، ۵B). در صورتی‌که این روند در ریشه متفاوت است، با افزایش Si در محیط کشت میزان K در ریشه رقم اوس بسیار بیشتر از رقم شیرودی است. با افزایش غلظت Si در محیط کشت مقدار Si در ریشه و برگ‌ها در دو رقم به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که افزایش در برگ‌ها و ریشه رقم شیرودی بیشتر از اوس است ( $p \leq 0/01$ ).

جدول ۲- همبستگی‌های کلی و جزئی دو به دو متغیرهای پیش‌بینی کننده با میزان تأثیرپذیری توسط Si

پیش‌بینی کننده‌ها	همبستگی کلی شیرودی <sup>۱</sup>	همبستگی جزئی شیرودی <sup>۲</sup>	همبستگی کلی اوس <sup>۱</sup>	همبستگی جزئی اوس <sup>۲</sup>
سطح برگ $m^{-2}$	۰/۴۱***	۰/۲۷**	۰/۲*	۰/۱۱
وزن برگ $g^{-1}$	۰/۳۵**	۰/۱۰	۰/۳۸**	۰/۱۷
وزن ریشه $g^{-1}$	۰/۴۲***	۰/۲۱*	۰/۴۶***	۰/۲۸*
کربوهیدرات غیر ساختمانی برگ $mgg^{-1}$	۰/۲۶*	۰/۱۹*	۰/۳۳*	۰/۰۷
کربوهیدرات غیر ساختمانی ریشه $mgg^{-1}$	-۰/۳۰**	۰/۲۱*	-۰/۳۴***	-۰/۲۵*
فیتوکلات غیر پروتئینی برگ $\mu gg^{-1}$	-۰/۱۸	-۰/۱۲	۰/۴۵***	۰/۳۴***
فیتوکلات غیر پروتئینی ریشه $gg^{-1}$	۰/۳۵***	۰/۲۱*	۰/۴۹***	۰/۳۸***
پتاسیم برگ $mgg^{-1}$	۰/۱۹*	۰/۰۹	۰/۲۱*	۰/۱۸*
پتاسیم ریشه $mgg^{-1}$	۰/۲۵*	۰/۱۴	۰/۳۴**	۰/۳۱**

\* $P < 0/05$ ، \*\* $P < 0/01$ ، \*\*\* $P < 0/001$ : ۱: همبستگی بین هر پیش‌بینی کننده و ضریب تأثیرپذیری از Si

۲: همبستگی بین هر پیش‌بینی کننده و ضریب تأثیرپذیری با کنترل سایر پیش‌بینی کننده

شده و نسبت به افزایش غلظت Si در سطح  $p \leq 0/01$  واکنش نشان می‌دهند.

### بحث

اثر Si روی گیاهان در آزمایش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. Si اگرچه یک عنصر ضروری برای بعضی گیاهان نیست، اما در غلظت‌های بالا اثرات متفاوتی

در این تحقیق به ترتیب (افزایش سطح برگ در رقم شیرودی < افزایش وزن برگ در رقم اوس < افزایش وزن ریشه در دو رقم < افزایش فیتوکلات در ریشه رقم اوس < افزایش فیتوکلات در برگ رقم شیرودی < کاهش کربوهیدرات غیر ساختمانی در ریشه < افزایش K در ریشه و برگ) از پارامترهای هستند که به ترتیب اثر Si مرتب

می‌دهد، با افزایش غلظت Si در محیط کشت مقدار کربوهیدرات غیرساختمانی در برگ‌های دو رقم افزایش یافته، بطوریکه این افزایش در رقم آوس بیشتر از رقم شیرودی است. در حالی که مقدار کربوهیدرات غیرساختمانی در ریشه دو رقم کاهش یافته است. شاید افزایش کمتر کربوهیدرات غیرساختمانی در رقم شیرودی به دلیل تبدیل آن به کربوهیدرات ساختمانی و نتیجه آن افزایش بیشتر سطح برگ باشد. اما در رقم آوس Si سطح برگ را کمتر از وزن برگ تغییر داده و کربوهیدرات غیرساختمانی با سرعت بیشتری نسبت به افزایش سطح برگ افزایش یافته است. بنابراین Si مدیریت تولید و مصرف کربوهیدرات را تغییر داده که در رقم شیرودی سبب افزایش سطح برگ شده و در رقم اوس منجر به تجمع بیشتر کربوهیدرات محلول می‌شود. بعضی محققان گزارش کرده‌اند که متناسب با افزایش غلظت بعضی فلزات انتقال مواد ساخته شده از جایی به جای دیگر برای سازگاری گیاهان ضروریست (۲۰). بر اساس یافته‌های Cao و همکاران (۶)، (۱۹۹۷) برای مقدار کربوهیدرات ریشه و برگ‌ها به دلیل تحرک بالای کربوهیدرات‌ها در آوندها در نتیجه توازن انتقال مواد بین مبدأ و مقصد است. بنابراین با افزایش Si در محیط کشت در دو رقم برنج میزان کربوهیدرات غیر ساختمانی در برگ‌ها افزایش و در ریشه کاهش یافته است. ممکن است Si رشد برگ‌ها را بیشتر از ریشه افزایش داده، به همین دلیل کاهش انتقال کربوهیدرات غیر ساختمانی به ریشه سبب کاهش مقدار آن در ریشه شده است.

افزایش Si در محیط کشت در مقایسه با شاهد میزان K را در ریشه و برگ‌های هر دو رقم افزایش داده است که با نتایج Lian روی جو مطابقت دارد (۱۴). در رقم شیرودی افزایش K ریشه کمتر از رقم آوس است، در حالی که میزان K در برگ رقم شیرودی بیشتر از آوس می‌باشد. از طرفی میزان کربوهیدرات غیر ساختمانی در ریشه رقم آوس بیشتر از شیرودی کاهش می‌یابد. تحقیقات نشان داده که K

روی گیاهان دارد، به طوری که رشد را در بعضی گیاهان مانند برنج تحریک می‌کند. در این تحقیق اثر Si روی بعضی از پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو رقم برنج شیرودی و آوس با نتایج Si در آزمایش‌های دیگری قابل انطباق می‌باشد (۱۷ و ۱۶).

با افزایش Si در محیط کشت، در رقم شیرودی سطح برگ بیشتر از وزن افزایش یافته، حال آنکه در رقم اوس وزن خشک برگ بیشتر از سطح برگ افزایش یافته است، در صورتیکه Si میزان وزن خشک ریشه را در دو رقم افزایش داده که افزایش در رقم شیرودی بیشتر از آوس است. با توجه به غیر یکسان بودن توزیع وزن خشک برگ و ریشه و سطح برگ با افزایش غلظت Si در محیط کشت، بین دو رقم برنج اختلاف وجود دارد. توسعه سطح برگ معمولا با افزایش کربوهیدرات ساختمانی همراه است. در حالی که افزایش وزن برگ با افزایش کربوهیدرات ساختمانی و غیر ساختمانی همراه است. از آنجائیکه افزایش کربوهیدرات غیر ساختمانی یک حالت پویا و دینامیک دارد و این مواد قابل تبدیل به انواع مواد رشد از جمله پروتئین‌ها و ترکیبات ثانویه در گیاهان است (۵). بنابراین با افزایش Si در محیط کشت کارایی تبدیل رشد در دو رقم افزایش یافته و سرعت این کارایی در رقم شیرودی بیشتر از رقم آوس است. افزایش سرعت کارایی رشد سبب شده سطح برگ در رقم شیرودی بیشتر توسعه یابد. افزایش سطح برگ میزان تثبیت کربن در واحد سطح را به دنبال دارد. با این توصیف بین دو رقم از نظر پارامتر کربوهیدرات ساختمانی و غیر ساختمانی یک اختلاف فازی وجود دارد. بنابراین در رقم شیرودی رشد همزمان با افزایش کربوهیدرات ساختمانی در نتیجه سطح بیشتر برگ همراه است. از نظر پاسخ‌های فیزیولوژیکی در مورد کربوهیدرات غیر ساختمانی مطابق تحقیقات Bryant و همکاران (۵) (۱۹۸۳) تحت شرایط تنش فلزات بین مدیریت تولید کربوهیدرات غیر ساختمانی در برگ‌ها و توزیع و انتقال آن به ریشه رابطه وجود دارد. نتایج نشان



متغیره انجام شد. جدول ۲ قدرت پیش بینی و میزان تأثیر هر متغیر و درجه تأثیر آن را روی متغیر وابسته نشان می‌دهد. همانگونه که پیش بینی می‌شود همبستگی‌های چند متغیر بین اثر  $K$ ،  $Si$ ،  $K$ ، کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی و فیتوکلات روی افزایش وزن برگ و ریشه ضریب افزایش مثبت است. از میان چهار پارامتر اندازه‌گیری شده در رقم شیروودی، ابتدا کربوهیدرات غیر ساختمانی و  $Si$  بعد  $K$  و در درجه سوم فیتوکلات به ترتیب عامل افزایش وزن برگ در سطح  $p \leq 0.05$  می‌باشند. اما در رقم آوس، افزایش فیتوکلات و  $Si$  در درجه اول و افزایش  $K$  در درجه دوم و کربوهیدرات غیر ساختمانی در درجه سوم از متغیرهایی هستند که در این آزمایش با افزایش غلظت  $Si$  سبب افزایش وزن برگ در سطح  $p \leq 0.05$  شده‌اند. با توجه به مقایسه متغیرها می‌توان نتیجه گرفت در ریشه رقم شیروودی کارایی کربوهیدرات غیر ساختمانی بیشتر از  $K$ ، فیتوکلات و  $Si$  در تغییر مقدار وزن ریشه با افزایش غلظت  $Si$  مؤثر است. در صورتی که در رقم آوس به ترتیب  $K$ ، فیتوکلات، کربوهیدرات غیر ساختمانی و در آخر  $Si$  روی تغییر مقدار وزن ریشه مؤثر هستند که با نتایج تعدادی از محققان مطابقت دارد (۱۷، ۱۶ و ۱۰). از آنجائیکه  $Si$  رشد برگ‌ها را به سمت حداکثر پیش می‌برد، اختصاص مواد به برگ‌ها از هزینه رشد ریشه کارایی ریشه را در جذب مواد غذایی در شرایط حداکثر محدود می‌کند. از طرفی اختصاص کمتر کربوهیدرات به ریشه‌ها می‌تواند بطور غیرمستقیم رشد برگ‌ها را با کاهش جذب مواد غذایی توسط ریشه به دنبال داشته باشد. اما در ریشه و برگ‌ها مقدار فیتوکلات افزایش یافته، در حالیکه مقدار کربوهیدرات غیر ساختمانی در ریشه کاهش یافته است. اگر روند تغییر این دو ماده در ریشه ناشی از تنش  $Si$  در واقع افزایش بار مثبت باشد، ملاحظه می‌شود که مقدار افزایش فیتوکلات در رقم آوس که یک رقم مقاوم به شور است، بیشتر است. بنابراین  $Si$  تنش را ایجاد نکرده است اما مقدار بار مثبت را از نظر فیزیولوژیکی افزایش داده

مصرف آب را در حضور  $Si$  در گیاه افزایش می‌دهد (۱۴). بنابراین در رقم شیروودی با افزایش  $Si$  سرعت انتقال  $K$  بیشتر از رقم آوس افزایش یافته است. بنابراین محدودیت ناشی از کاهش تورژسانس سلولهای برگ را بیشتر برطرف می‌کند و انتقال آب را در این رقم تسریع نموده، در نتیجه آب باعث گسترش بیشتر سطح برگ در رقم شیروودی می‌شود. شاید افزایش بیشتر  $K$  در ریشه رقم آوس با کاهش انتقال کربوهیدرات غیر ساختمانی از برگ‌ها به ریشه رابطه داشته باشد؛ به دلیل اینکه رقم آوس تقریباً شوره‌پسند است و افزایش بیشتر  $K$  در ریشه می‌تواند نقش کربوهیدرات را در تغییرات فعالیت اسمزی کم‌رنگ کند (۹ و ۱). در نتایج بسیاری از تحقیقات گزارش شده با افزایش فلزات سمی سنتز فیتوکلات‌ها افزایش می‌یابد و هر چقدر گیاه مقاوم‌تر باشد میزان سنتز فیتوکلات بیشتر است (۱۸). به خصوص با افزایش غلظت  $Cd$  در محیط کشت میزان فیتوکلات‌ها فوق‌العاده افزایش می‌یابد (۳). بر اساس تئوری دفاع اپتیمم تولید ترکیبات دفاعی در گیاهان انعکاس‌دهنده ریسک مقاومت نسبت به سمیت فلزات در ریشه و یا برگ‌ها به صورت ویژه است، که این افزایش برای سازش گیاه بسیار با ارزش است (۱۳). با افزایش  $Si$  در محیط کشت میزان  $Si$  و فیتوکلات در ریشه و برگ‌های دو رقم افزایش یافته است. در رقم شیروودی افزایش بیشتر میزان فیتوکلات با افزایش بیشتر  $Si$  در برگ‌ها و ریشه همراه است، در حالیکه در رقم آوس که یک رقم تقریباً شوره‌پسند است افزایش بیشتر فیتوکلات در ریشه با افزایش بیشتر  $Si$  همراه نیست. بنابراین به نظر نمی‌رسد افزایش  $Si$  در داخل گیاه برنج سبب ایجاد تنش باشد، بلکه به دلیل افزایش بار مثبت است. البته این نتایج با نتایج بعضی محققان هماهنگی ندارد (۱۱ و ۱۰).

برای ارزیابی چگونگی پیش‌بینی سطح اثر  $Si$  روی تغییرات مقدار وزن ریشه و برگ به عنوان یک متغیر وابسته و پارامترهای  $K$ ،  $Si$ ، کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی و فیتوکلات به عنوان متغیرهای مستقل، رگرسیون چند

همبستگی‌های چند متغیره جزئی بین مقادیر Si برای تغییرات سطح برگ در رقم شیروودی، ابتدا متغیر کربوهیدرات غیر ساختمانی و Si وارد مدل می‌شوند و در گام بعدی متغیر K و در آخر فیتوکلات. از طرفی سهم کربوهیدرات غیر ساختمانی و Si در تغییرات سطح برگ بیش از ۶۳٪ است و ۳۷٪ بقیه به متغیرهای دیگر نسبت داده می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش Si سبب تغییرات مواد داخل برگ رقم شیروودی شده و این تغییرات با تغییرات مورفولوژیکی سطح برگ همراه است (۴). در خصوص سایر متغیرها از نظر میزان تأثیر روی متغیرهای وزن، سطح برگ و وزن ریشه به جدول ۳ مراجعه شود.

#### نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج به نظر می‌رسد Si کارایی تبدیل کربوهیدرات غیر ساختمانی را در برگ با توسعه سطح برگ افزایش می‌دهد. در این تحقیق با افزایش Si میزان K و Si در ریشه و برگ های دو رقم بطور متفاوت افزایش یافته، که نشان‌دهنده افزایش بیشتر تعرق و تغییرات فعالیت اسمزی در دو رقم است. از آنجائیکه کاهش نسبی هیدراتهای کربن غیر ساختمانی در ریشه با افزایش خطی فیتوکلات همراه است، بنابراین به نظر می‌رسد Si مصرف هیدراتهای کربن غیر ساختمانی را در ریشه برای سنتز فیتوکلاتها افزایش می‌دهد.

است. از طرفی افزایش فیتوکلات ها در رقم آوس بیشتر از شیروودی است که با کاهش بیشتر کربوهیدراتهای غیر ساختمانی در این رقم همراه است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در رقم آوس کربوهیدرات غیر ساختمانی ریشه می‌تواند پیش ماده ای برای سنتز فیتوکلات ها باشد (۱۱، ۵ و ۴).

با توجه به گزارش مرکز تحقیقات برنج کشور در شهر آمل، رقم آوس یک رقم مقاوم به شوری است. نتایج همبستگی‌های چند متغیره جزئی بین مقادیر Si برای تغییرات سطح برگ به عنوان متغیر وابسته در رقم آوس، مراحل رگرسیون نشان می‌دهد ابتدا متغیر K و فیتوکلات وارد مدل می‌شود و در گام بعدی متغیر Si و در آخر کربوهیدرات غیر ساختمانی؛ از طرفی سهم K و فیتوکلات در تغییرات سطح برگ بیش از سایر متغیرهاست. بر اساس نتایج تحلیل همبستگی این نتیجه را می‌توان گرفت که افزایش Si اگرچه سبب تغییرات مواد داخل برگ رقم آوس شده اما این تغییرات با تغییرات مورفولوژی سطح برگ نسبت به شاهد همراه نیست. تنها در خصوص افزایش وزن خشک برگ رقم آوس در غلظت ۰/۷۵ Si به میزان ۵۰٪ است. از طرفی سهم متغیر K و فیتوکلات در افزایش وزن برگ رقم آوس برابر و نزدیک به ۷۰٪ هست. مراحل رگرسیون نشان می‌دهد ابتدا متغیر K و فیتوکلات وارد مدل می‌شود و در گام بعدی متغیر Si و در آخر کربوهیدرات غیر ساختمانی. با توجه به جدول ۳ نتایج

#### منابع

- 1- Agarie, S, N. Hanaoka, O. Ueno, A. Miyazaki, F. Kubota, W. Agata, P.B. Kaufman, 1998. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage, Plant Prod. Sci. 1 96–103
- 2- Allen SE. 1989. chemical analysis of ecological materials. Oxford: Blakwell Scientifick Publication.
- 3- Arisi AC, Mocquo B, and Lagriffioul A. 2000. Responses to cadmium in leaves of transformed poplars overexpressing  $\gamma$ -glutamylcysteine synthetase. Physiologia Plantarum 109, 143-149.
- 4- Bertin, N., Gary, C., 1998. Short and long term fluctuations of the leaf mass per area of tomato plants implications for growth models. Ann. Bot. London 82, 71–81.
- 5- Bryant JP, and Klein DR. 1983. Carbon nutrient balance of boreal plants in relation to metal toxicity. Oikos 40:357-368.
- 6- Cao, W.X., Tibbitts, T.W, 1997. Starch concentration and impact on specific leaf weight and element concentrations in potato leaves varied under carbondioxide and temperature. J. Plant Nutr. 20, 871–881.

- 7- Chen JJ, Zhou JM, and Goldsbrough PB. 1997. Characterization of phytochelatin synthase from tomato. *Physiologia Plantarum* 101, 165-172.
- 8- De Vos C. H, Vonk, R. Vooijs and Schat. 1992. Glutathione depletion due to copper induced phytochelatin synthesis causes oxidative stress in *Silene cucubalus*, *Plant Physiol.* 98 853-858.
- 9- Epstein, E. 1999. Silicon. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50, 641-664
- 10- Grill E, Winnacker E-L. 1987. Phytochelation, a class of heavy-metal binding peptides from plant, are functional analogous to metallothioneins. *Proceeding of the National Academy of Sciences, USA* 8, 439-443.
- 11- Grill E, and Winnacker EL. 1985. Phytochelatin: the principal heavy metal complexing peptides of higher plants. *Science* 230, 674-676.
- 12- Graham C.J. 2002. Nonstructural carbohydrate and pruin composition of peach seedlings fertilized with different nitrogen sources and aluminum. *Scientia Horticulturae*. Volume 94, issues 1-2 pages 21-32.
- 13- Juan Barcelo, and Charlotte PO, 2002. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. *Environmental and experimental Botany*. 48, Page 75-92.
- 14- Liang, Y.C. 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barely under salt stress, *Plant Soil* 29, 217-224.
- 15- Liang, Y.C., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W.H., Ding, R.X., 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare L.*). *J. Plant Physiol.* 160, 1157-1164.
- 16- Ma, J.F. 2003. Functions of silicon in higher plants. In: Muller, W. (Ed), *Silicon Biomineralization*. Springer Verlag, Berlin, pp 127-147.
- 17- Ma, J.F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nut.* 50, 11-18.
- 18- Neumann, D. U. zur Nieden 2001, Silicon and heavy metal tolerance of higher plants, *Phytochemistry* 56, 685-692.
- 19- Richmond, R.E. M. Sussman, 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient, *Curr. Opin. Plant Biol.* 6, 268-272.
- 20- Ruechmann, S. C. Leser, M. Bannert, D. Treutter 2002. Relationship between growth, secondary metabolism and resistance of apple, *plant Biol* 4(2), 137-143.
- 21- Zhu, Z.J., Wei, G.Q., Li, J., Qian, Q.Q., Yu, J.Q., 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus L.*). *Plant Sci.* 167, 527-533.

## The effects of silicon on phytochelatins, none structural carbohydrate and K in two cultivars of Iranian rice (*Oriza sativa*)

Malmir H.A. and Roudi S.

Biology Dept., Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, I.R. of Iran

### Abstract

Silicon was reported to have beneficial effects on the growth, protection against biotic and abiotic stresses of plants, but the effects of Si and the relation between accumulation of phytochelatins, none structural carbohydrate (NSC), K and Si are poorly studies. For this purpose, the effect of silicon (Si) on time-before flowering on the changes of NSC and phytochelatins, K and Si in two rice cultivars (Shiroudi and Ause) differing in salt stress was studied. The experiment design was a standard factorial plot with four replicates and the treatments were with four silicon levels 0, 0.25, 0.5 and 0.75 Si (g /kg soil), in sand culture. Significant decrease in NSC was observed in response to Si in the two cultivars roots, both the amount of phytochelatins from rice leaves and roots under Si increased with the Si level in the sand culture  $p \leq 0.05$ . the results indicated that at shiroudi and Aus cultivars, the Si variable were predicted 97% and 79% are related to leaf area and 82% and 95% to dry weight leaf, respectively. These results suggest that either the Si might also play an important role in consumption of NSC in leaves and roots or the transport of it was decreased in the roots. Among the parameter were examined in this experiment, phytochelatins were play an important role in changing concentration Si. The Si and K contents in roots and leaves were significantly increased with increased Si level in the sand culture  $p \leq 0.05$ .

**Key words:** consumption carbohydrate, Phytochelatins, Rice, correlation