

اثر غلظت‌های مختلف روی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه اسفرزه (*Plantago ovata* L.) تحت تنش شوری

پروانه حسین زاده^۱، احمد مهتدی^{۱*}، محسن موحدی دهنوی^۲ و طهماسب آسمانه^۱

^۱ گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه یاسوج، ^۲ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۱۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۲/۲۱)

چکیده:

استفاده از کودهای ریزمغذی مانند روی در شرایط بروز عوامل محدودکننده طبیعی از جمله شوری می‌تواند کمک بسیار مهمی در توسعه کشت گیاهان دارویی در اکثر نقاط کشور نماید. به منظور بررسی عکس العمل گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* L.) نسبت به مصرف روی در شرایط تنش شوری، در پاییز ۱۳۹۲ آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. شوری با کلرید سدیم در پنج سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) و روی از منبع سولفات روی با سه سطح (۳/۸۵ (شاهد)، ۷/۷ و ۱۱/۵۵ میکرومولار) انتخاب شدند. نتایج نشان داد اثر شوری و روی و برهم‌کنش آن‌ها بر بیشتر شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه اسفرزه معنی‌دار بودند. با افزایش غلظت روی در سطوح شوری صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار، قند محلول برگ ۵۰ درصد افزایش یافت. در سطح صفر و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش غلظت روی میزان پرولین بیش از دو برابر افزایش یافت. شوری موجب افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها شد به طوری که با افزایش هر سطح شوری میزان نشت از ۳۰ تا ۵۰ درصد افزایش نشان داد. پروتئین محلول برگ با افزایش مصرف روی ۳۶ درصد افزایش یافت. به طور کلی مصرف ۷/۷ میکرومولار روی در همه صفات نتیجه بهتری را به همراه داشته است و از طرفی در سطوح شوری بالا در صورت مصرف مقادیر زیاد روی، مقدار مواد محلول سازگار (قندهای محلول و پرولین برگ) افزایش یافت. بنابراین می‌توان برای کاهش اثر شوری غلظت روی را در محلول هوگلند تا ۷/۷ میکرومولار افزایش داد.

کلمات کلیدی: اسفرزه، خصوصیات فیزیولوژیک، روی، شوری

مقدمه:

دارند. روی یکی از ضروری‌ترین عناصر ریزمغذی است که در بسیاری از اعمال زیستی نقش دارد، به عنوان مثال روی باعث ثبات غشای پلاسمایی سلول‌ها شده و همچنین کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو است (Zhao et al., 2005). گیاهان عمدتاً روی را به صورت کاتیون دو ظرفیتی جذب می‌کنند (Nan et al., 2002). شوری خاک به دلیل جلوگیری از جذب آب و عناصر غذایی به درون گیاه یکی از محدودیت‌های رشد گیاهان زراعی محسوب می‌شود. واکنش

اسفرزه یکی از گیاهان دارویی است که به سبب سازگاری آن با مناطق بیابانی می‌تواند در شرایط بروز عوامل محدودکننده محیطی همانند شوری تا حدی رشد نماید. ارزش دارویی این گیاه به موسیلاژ موجود در لایه‌های سطحی پوست دانه‌های آن می‌باشد (Patel and Mehta, 1986). عناصر ریز مغذی برای رشد طبیعی گیاهان مورد نیاز هستند و ضمن شرکت در ساختار بعضی از اندامک‌ها، در واکنش‌های بیوشیمیایی دخالت

* نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیکی: a.mohtadi@yu.ac.ir

دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج انجام گرفت. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. شوری با پنج سطح ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار و روی با سه سطح ۳/۸۵، ۷/۷ و ۱۱/۵۵ میکرومولار بود (غلظت های مختلف روی از نمک سولفات روی (ZnSO₄ * 7H₂O Merck) و شوری از کلرید سدیم (NaCl Merck) تهیه گردید). با توجه به اینکه غلظت روی در محلول هوگلند مورد استفاده ۳/۸۵ میکرومولار بود لذا این غلظت روی به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و ۲ و ۳ برابر این غلظت به عنوان سطوح تیمار استفاده شد.

واحدهای آزمایشی شامل گلدان‌هایی با ابعاد ۲۰×۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر و حاوی ماسه نرم و کاملاً شسته شده بودند که به این منظور ۵ بار با آب به خوبی شستشو شدند. در هر گلدان ۱۰ تا ۱۵ عدد بذر به عمق حدود ۳ سانتی‌متر قرار گرفت. از مرحله کاشت تا مرحله جوانه‌زنی آبیاری با آب صورت گرفت. سپس ماده غذایی یک چهارم هوگلند استفاده شد. در مرحله دو برگی به بعد با محلول غذایی یک دوم هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) آبیاری شدند. ترکیب محلول مورد استفاده عبارت است از:

1.755 mM Ca(NO₃)₂, 1.925 mM KNO₃, 0.815 mM MgSO₄, 0.318 mM NH₄H₂PO₄, 0.069 mM FeSO₄, 0.082 mM H₃BO₃, 0.061 mM MnCl₂, 0.004 mM ZnSO₄, 0.002 mM CuSO₄ and 0.0006 mM MoO₃.

دو هفته بعد از استقرار، بوته‌ها در گلدان تنک شدند و ۶ بوته در هر گلدان باقی ماند. در مرحله چهار برگی، ابتدا تیمار سولفات روی بر اساس تیمارهای آزمایشی ذکر شده اعمال و بعد از سه روز تیمار شوری اعمال گردید. میزان روی محاسبه شده در محلول نیم هوگلند ۳/۸۵ میکرومولار بود که به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و بقیه تیمارها با اضافه کردن سولفات روی به محلول نیم هوگلند تهیه می‌شدند. جهت اعمال شوری، تیمارهای شوری به طور کامل از ابتدا اعمال نشد بلکه اضافه کردن شوری در ابتدا به میزان ۵۰ میلی‌مولار شوری در هر سطح (جهت سازگار شدن گیاهان) انجام شد. در نوبت‌های بعد این مقادیر افزایش یافت و بعد از حدود دو هفته کل تیمار شوری مربوط به هر سطح اعمال گردید و در نهایت به سطوح

معمول گیاهان به بالا رفتن غلظت نمک در محیط ریشه؛ تنش اسمزی، سمیت یونی و کمبود عناصر غذایی است. هنگامی که گیاه در شرایط شوری قرار می‌گیرد، جریان متعادل انتقال یون های سدیم، کلر و دیگر یون‌ها مانند پتاسیم و کلسیم به هم می‌خورد (Good and Zaplachinski, 1994). شوری موجب تغییرات ساختمانی در ساقه و بافت آوندی گیاهان تحت تنش شده به طوری که بر اثر شوری تعداد دستجات آوندی کمتر و از اندازه آنها نیز کاسته می‌شود. ولی مصرف روی تشکیل دستجات آوندی را در گیاهان تحت تنش شوری بهبود می‌بخشد (کشاورز و ملکوتی، ۱۳۸۴). Hassan و همکاران (۱۹۷۰) همبستگی مثبت بین شوری، روی و منگنز و همبستگی منفی با آهن و مس را در جو (*Hordeu mvulgare*) گزارش نمودند. گزارش شده که اضافه نمودن روی اثر سوء کلرید سدیم را در برنج (*Oryza sativa*) و باقلا (*Vicia faba*) تعدیل می‌نماید. همچنین گزارش شده که روی نقش مهمی در بهبود عملکرد و درصد پروتئین گندم در شرایط شور دارد (Khoshgoftarmanesh et al., 2002).

با توجه به اهمیت و نقش گیاهان دارویی در صنایع مختلف و همچنین وجود منابع آب و خاک شور فراوان در کشور، نکته حائز اهمیت در تولید و پرورش این گونه‌های ارزشمند، افزایش تولید آنها با مدیریت صحیح می‌باشد. از نظر اقتصادی در بسیاری از موارد برای کاهش اثر خاک های خشک و شور از کود ریز مغذی روی استفاده می‌شود. لذا بررسی استفاده از کودهای ریزمغذی مانند روی در شرایط بروز عوامل محدودکننده طبیعی (شوری) می‌تواند کمک بسیار مهمی در توسعه کشت گیاه دارویی اسفرزه در اکثر نقاط کشور نماید. لذا تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر روی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه اسفرزه در تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها:

گیاه اسفرزه (*Plantago ovata*) از خانواده بارهنگ (Plantaginaceae) می‌باشد. بذر این گیاه از موسسه پاکان بذر اصفهان تهیه شد. این آزمایش گلدانی در پاییز ۱۳۹۲ در گلخانه

می‌باشد که مطابق فرمول زیر محاسبه گردید. EC_1 و EC_2 هدایت الکتریکی محلول‌ها به ترتیب قبل و بعد از جوشیدن بوده است.

$$\%EC = (EC_1/EC_2) \times 100$$

میزان پرولین از روش Paquine and Lechasseur (۱۹۷۹) و میزان کل قندهای محلول نیز از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول ابتدا از ۰/۵ گرم از بافت برگ عصاره اتانولی تهیه شد. سپس میزان پرولین با کمک معرف نین هیدرین و بنزن و با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد. برای محاسبه قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی انتخاب شد و سپس ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده به آن اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. پس از خنک شدن نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل SHIMADZO 54A) قرائت گردید و با استفاده از منحنی استاندارد میزان قندهای محلول محاسبه گردید. شاخص کلروفیل برگ با دستگاه اسپاد (مدل SPAD-502PLUS) قرائت شد. جهت اندازه‌گیری میزان کمی پروتئین از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد که مقدار ۰/۲ گرم از بافت برگ نگهداری شده در فریزر (دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد) در هاون چینی سرد و در ظرف یخ با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با اسیدیته ۶/۸ هموزن و سانتریفیوژ گردید. مایع بالایی بدست آمده برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین محلول مورد استفاده قرار گرفت و جذب نمونه در طول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل SHIMADZO 54A) قرائت گردید.

برای محاسبه متوسط مساحت برگ یک بوته، از هر گلدان ۳ بوته انتخاب شد. سپس طول و عرض برگ‌های هرکدام از بوته‌ها بر حسب سانتی‌متر در همدیگر و در ضریب ۰/۷ ضرب شدند و در نهایت میانگین مساحت برگ این سه بوته بر حسب سانتی‌متر محاسبه گردید (براساس معادله رگرسیون خطی بین مساحت حقیقی و مساحت تخمینی (بزرگترین عرض × طول)، ضریب ۰/۷ یا شیب خط محاسبه گردید).

شوری مورد نظر (پنج سطح تنش شوری صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار محلول کلرید سدیم) رسید که معادل ۱/۳، ۶/۱۵، ۱۱/۸۹، ۱۶/۳۲ و ۲۱/۳ دسی‌زیمنس بر متر بود. در زمان مشاهده شوره در سطح گلدان‌ها، به منظور جلوگیری از تجمع بیش از حد نمک، علاوه بر زهکشی گلدانی، آبخوبی با آب مقطر به‌طور یکنواخت برای تمامی تیمارها صورت گرفت تا شوره از بین رفته و آبخوبی کامل صورت گیرد (پس از مشاهده شوره به میزان حدود ۱ لیتر در هر گلدان با آب مقطر آبخوبی کامل صورت گرفت تا شوره مشاهده شده از بین رود).

دو ماه بعد از شروع اعمال شوری، از هر گلدان سه بوته انتخاب گردید. نمونه‌گیری از گلدان‌ها در ساعت ۸ صبح انجام شد. به منظور جلوگیری از تغییر میزان پرولین، رنگدانه‌های کلروفیل، پروتئین و قندهای محلول، نمونه‌ها پس از قرارگرفتن در ظرف حاوی یخ، به آزمایشگاه منتقل شده و تا زمان استفاده در دمای ۴۰- درجه‌سنتی‌گراد نگهداری شدند. در پایان آزمایش محتوای آب نسبی، درصد نشت الکترولیت، پرولین، قند محلول برگ، شاخص کلروفیل، پروتئین محلول برگ و مساحت برگ‌های یک بوته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان آب نسبی (RWC) از روش Mishra and Choudhuri (۱۹۹۹) و از برگ تازه گیاهی و بر اساس رابطه زیر استفاده شد.

$$RWC = \frac{\text{وزن خشک شده در آون} - \text{وزن}}{\text{وزن خشک شده در آون}} \times 100$$

برای اندازه‌گیری درصد نشت الکترولیت مطابق روش Beltrano and Ranco (۲۰۰۸) ۰/۲ گرم وزن تر برگ از هر تکرار انتخاب شد و به صورت برش‌های ۱۰ الی ۱۵ میلی‌متری قیچی گردید. سپس نمونه‌ها در ظرف آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد و EC آن اندازه‌گیری گردید. در مرحله بعد برگ‌ها در حمام آب جوش در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه گذاشته شد و برای بار دوم EC آن‌ها (EC_2) پس از سرد شدن اندازه‌گیری گردید. درصد هدایت الکتریکی بیانگر مقدار نشت الکتریکی مواد از غشاء

تجزیه آماری با استفاده از نرم افزارهای SAS و رسم نمودارها با Excel و مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی با آزمون حداقل میانگین مربعات (LSD) در سطح ۵٪ و برای صفاتی که اثر متقابل معنی‌دار داشتند از روش برش‌دهی و مقایسه میانگین به روش L.S.Means استفاده گردید.

نتایج و بحث:

سطح برگ: جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) بیانگر معنی‌دار بودن برهم‌کنش شوری و روی برای سطح برگ در سطح احتمال ۵٪ بود. مقایسه میانگین شوری و روی (جدول ۲) نشان داد که در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، مصرف کمترین میزان روی موجب شد بیشترین سطح برگ (۱۲/۲ سانتی‌متر مربع) بدست آید. کمترین سطح برگ (۲/۶ سانتی‌متر مربع) نیز در بالاترین سطح شوری و بیشترین میزان روی مصرفی بدست آمد طوری‌که با بیشترین سطح برگ ۷۸/۶۸ درصد اختلاف داشت. عناصری همانند روی، که به مقدار کم مورد نیاز هستند عناصر کم مصرف نام دارند. نیاز کم گیاهان به عناصر کم-مصرف را می‌توان به علت مشارکت این عناصر در واکنش‌های آنزیمی و شرکت در اجزاء هورمون‌های گیاهی دانست. روی، مانند بسیاری از عناصر غذایی کم‌مصرف دیگر اگر به مقدار زیاد استفاده شود برای گیاه سمی است. در این مطالعه اثر سمیت شوری و افزایش روی در محلول غذایی اثر هم افزایی داشته و باعث کاهش سطح برگ شدند.

جدول برش‌دهی (جدول ۳) نیز نشان داد که اثر روی بر سطح برگ در همه‌ی سطوح شوری (به جز سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار) معنی‌دار بود. در سطح اول شوری مصرف ۷/۷ میکرومولار روی با بیشترین سطح برگ همراه بود. در سطح سوم شوری با مصرف کمترین میزان روی بیشترین سطح برگ بدست آمد. در سطح چهارم نتایجی مشابه با سطح اول بدست آمد. و بالاخره در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری مصرف کمترین میزان روی باعث شد بیشترین سطح برگ بدست آید (جدول ۲). در این مطالعه در همه سطوح شوری، مصرف مقادیر زیاد روی با کاهش سطح برگ همراه بود. کاهش سطح

برگ مهم‌ترین دلیل کاهش رشد گیاه بر اثر شوری عنوان می‌شود (Wang et al., 2001). در اثر شوری سرعت گسترش برگ‌ها کاهش یافته و در واقع سریع‌ترین واکنش در مقابله با تنش شوری کاهش توسعه سطح برگ است و به دنبال آن با افزایش شدت تنش، رشد و توسعه سطح برگ متوقف می‌شود (Zhu, 2001). طبق نتایج بدست آمده مصرف مقادیر زیاد روی با کاهش سطح برگ همراه بود. بهتاش و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که کاربرد روی در گیاه چغندر لبوبی باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ گردید. در این مطالعه مقادیر کم و متوسط کاربرد روی سطح برگ را افزایش داد اما کاربرد مقادیر زیاد روی به دلیل اثر سمیت، کاهش سطح برگ را موجب شد.

شاخص کلروفیل: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش شوری در سطح ۱٪ و روی در سطح احتمال ۵٪ بر میزان شاخص کلروفیل معنی‌دار بودند اما برهم‌کنش شوری و روی بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۱). با توجه به شکل ۱، افزایش سطح شوری موجب کاهش میزان شاخص کلروفیل شد. در تیمار بدون تنش بیشترین میزان شاخص کلروفیل (۴۰/۹) بدست آمد و کمترین میزان شاخص کلروفیل (۳۵/۳) مربوط به سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود، که البته با سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت شوری میزان شاخص کلروفیل ۱۳/۶۹ درصد کاهش یافت. در تأیید نتایج بدست آمده، حیدری و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به ۲۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl در محیط ریشه، از میزان کلروفیل کاسته می‌شود. با افزایش غلظت نمک در محیط رشد، محتوای کلروفیل برگ به دلیل کمبود یون‌های منیزیم و پتاسیم (به عنوان عناصر اصلی در سنتز کلروفیل) و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم و همچنین تخریب ساختمان کلروفیل کاهش می‌یابد (Oraei et al., 2009) که نتایج این تحقیق نیز کاهش نسبت پتاسیم به سدیم را نشان داد. از دیگر دلایل کاهش محتوای کلروفیل، به علت مشترک بودن مسیر بیوسنتزی کلروفیل و آلفا توکوفرول می‌باشد که گیاه در این شرایط (تنش شوری) می‌تواند با توقف بیوسنتز کلروفیل، مسیر بیوسنتزی

جدول ۱- تجزیه واریانس سطح برگ، شاخص کلروفیل، محتوای قند، پرولین، پروتئین، درصد نشت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی اسفرزه

منابع تغییر	درجه آزادی	سطح برگ	شاخص کلروفیل	قندهای محلول برگ	پرولین برگ	پروتئین	درصد نشت الکترولیت‌ها	محتوای آب نسبی
شوری	۴	۲۷/۰۸**	۷۱/۹۹**	۱۹/۳۱**	۱/۵۶ ^{n.s}	۱۰/۷۹*	۷۷۱۸/۹۷**	۲۳۱/۷۳**
روی	۲	۱۳۹/۸۰**	۲۱/۸۴*	۶/۲۵ ^{n.s}	۳/۳۱**	۴۰/۲۶**	۱۴۹/۹۷ ^{n.s}	۸۲/۸۳ ^{n.s}
شوری × روی	۸	۱۰/۲۲*	۹/۷۴ ^{n.s}	۲۴/۹۸**	۳/۵۵**	۴/۵۴ ^{n.s}	۳۵۳/۹۹*	۶۷/۷۴ ^{n.s}
خطا	۴۵	۴/۶۵	۶/۳۹	۴/۴۱	۰/۶۱	۳/۳۷	۱۴۲/۵۸	۳۷/۶۰
ضریب تغییرات		۲۶/۹۶	۶/۷۹	۲۲/۴۷	۳۳/۷۴	۲۹/۵۵	۳۴/۵۸	۷/۶۵

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ^{n.s} معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ۲- اثر برهم‌کنش شوری و روی، بر قندهای محلول، پرولین و درصد نشت الکترولیت‌ها در اسفرزه

شوری (میلی مولار)	روی (میکرومولار)	سطح برگ (سانتی متر مربع)	قندهای محلول برگ (میلی - گرم بر گرم وزن تر برگ)	پرولین برگ (میکرومول بر گرم وزن تر برگ)	درصد نشت الکترولیت‌ها
۳/۸۵	۹/۳ ^a	۵/۳ ^b	۰/۸۶ ^b	۴/۴ ^a	صفر
۷/۷	۱۲/۰۶ ^a	۹/۹ ^a	۱/۷۶ ^a	۵/۸ ^a	
۱۱/۵۵	۵/۴ ^b	۱۰/۵ ^a	۲/۴۵ ^a	۵/۹ ^a	
۳/۸۵	۹/۳ ^a	۱۰/۹ ^a	۲/۰۴ ^a	۱۰/۹ ^a	
۷/۷	۱۱/۰۱ ^a	۷/۲ ^b	۳/۰۴ ^a	۱۱/۹ ^a	۵۰
۱۱/۵۵	۷/۵ ^a	۶/۷ ^b	۲/۳۴ ^a	۱۸/۰ ^a	
۳/۸۵	۱۲/۲ ^a	۷/۹ ^b	۳/۵۵ ^a	۲۷/۱ ^a	
۷/۷	۷/۶ ^b	۱۰/۸ ^a	۱/۸۰ ^b	۴۰/۷ ^a	۱۰۰
۱۱/۵۵	۵/۳ ^c	۶/۲ ^b	۲/۰۴ ^b	۳۷/۲ ^a	
۳/۸۵	۹/۶ ^a	۸/۰۹ ^b	۲/۱۸ ^a	۵۴/۴ ^a	
۷/۷	۱۰/۰۶ ^a	۱۰/۷ ^{ab}	۳/۰۰ ^a	۵۳/۷ ^a	۱۵۰
۱۱/۵۵	۳/۸ ^b	۱۲/۴ ^a	۱/۹۰ ^a	۵۲/۵ ^a	
۳/۸۵	۷/۲ ^a	۱۱/۱ ^a	۱/۷۱ ^b	۸۰/۲ ^a	
۷/۷	۶/۵ ^a	۹/۱ ^a	۴/۳۴ ^a	۴۵/۰۴ ^b	۲۰۰
۱۱/۵۵	۲/۶ ^b	۱۲/۶ ^a	۱/۷۶ ^b	۶۹/۶ ^a	

اعداد با حروف مشابه در هر ستون و در هر سطح شوری تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون L.S.Means ندارند.

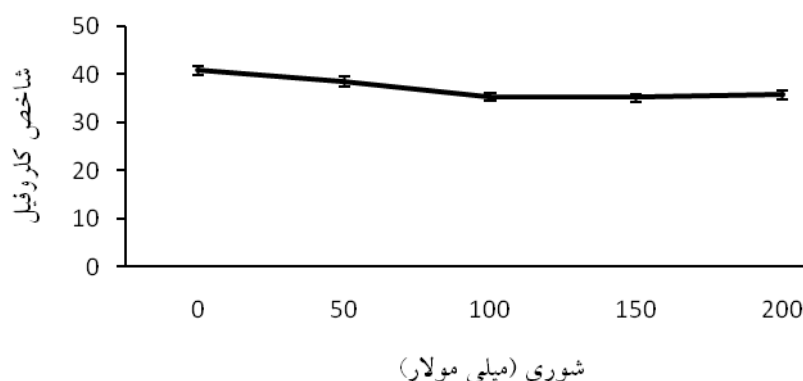
نتایج شکل ۲، نشان داد که بیشترین میزان شاخص کلروفیل (۳۸/۲) با مصرف کمترین میزان روی (۳/۸۵ میکرومولار) بدست آمد که البته با مصرف ۷/۷ میکرومولار روی تفاوت معنی‌داری نداشت و با مصرف بیشترین میزان روی (۱۱/۵۵)

آلفا توکوفرول را فعال نماید و همچنین ممکن است به دلیل تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی نظیر پرولین باشد که برای تنظیم اسمزی به کار می‌رود (Kaya et al., 2001).

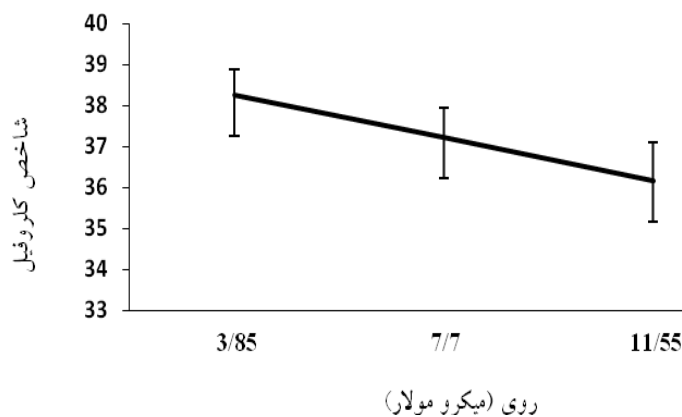
جدول ۳- تجزیه واریانس برش دهی اثر شوری بر سطح برگ، محتوای قند، پرولین برگ و درصد نشت الکتrolیت‌ها در اسفرزه

سطوح شوری	درجه آزادی	سطح برگ	قندهای محلول برگ	پرولین برگ	درصد نشت الکتrolیت‌ها
صفر	۲	۴۴/۳۱**	۳۲/۶۰**	۲/۵۴*	۲/۸۴ ^{ns}
۵۰	۲	۱۱/۹۷ ^{ns}	۲۰/۷۴*	۱/۰۵ ^{ns}	۵۸/۰۱ ^{ns}
۱۰۰	۲	۵۰/۱۳**	۲۱/۳۰*	۳/۵۷**	۱۹۷/۶۸ ^{ns}
۱۵۰	۲	۴۸/۵۹**	۱۹/۴۵*	۱/۲۹ ^{ns}	۳/۷۰ ^{ns}
۲۰۰	۲	۲۵/۶۷**	۱۲/۰۶ ^{ns}	۹/۰۶**	۱۳۰۳/۷۰**

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ^{ns} معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل ۱- اثر شوری بر شاخص کلروفیل گیاه اسفرزه (مقادیر میانگین \pm خطای استاندارد می‌باشند)



شکل ۲- اثر روی بر شاخص کلروفیل گیاه اسفرزه (مقادیر میانگین \pm خطای استاندارد می‌باشند)

در این آزمایش نتایج عکسی بدست آمد و با افزایش مصرف روی، شاخص کلروفیل به میزان ناچیزی کاهش یافت که ممکن است به دلیل اثر روی بر سطح برگ باشد که با افزایش سطح برگ، کلروفیل رقیق می‌شود. روی، مانند بسیاری از عناصر غذایی کم‌مصرف دیگر اگر به مقدار زیاد استفاده شود برای گیاه سمی است.

قندهای محلول: جدول ۱، نشان داد که برهم‌کنش شوری و

میکرومولار)، کمترین میزان شاخص کلروفیل معادل ۳۶/۱ بدست آمد که با بیشترین میزان ۵/۴۹ درصد اختلاف داشت. روی از طریق محافظت از گروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می‌گردد (Cakmak, 2000). پورفووبیلینوزن پیش ماده کلروفیل می‌باشد که برای تشکیل این ماده منیزیم و روی مورد نیاز است (Beale, 1999). در حضور روی تشکیل و تکمیل کلروفیل تسهیل می‌گردد (Lebedev and Timco, 1998). اما

ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی و متوقف شدن رشد گیاه باشد (قربانلی و همکاران، ۱۳۸۴). افزون بر این، کاهش مصرف قند به دلیل کاهش فتوسنتز در طی تنش شوری نیز عامل دیگری برای افزایش غلظت قندهای محلول در سلول می‌تواند باشد (Parvaiz and Satyawati, 2008).

این افزایش در غلظت قندهای محلول می‌تواند یک پاسخ نسبت به تغییرات میزان محتوای آب نسبی و پتانسیل آب برگ‌ها در اسفرزه باشد، زیرا افزایش در غلظت قندهای محلول تحت شرایط تنش شوری در بهبود وضعیت آب برگ و القای تحمل به تنش شوری نقش مهمی ایفا می‌کند.

پرویلین: طبق نتایج جدول ۱، برهم‌کنش شوری و روی در سطح احتمال ۱٪ بر صفت پرویلین معنی‌دار بود. جدول ۳، نشان می‌دهد که بیشترین میزان پرویلین معادل ۴/۳۴ میکرومول بر گرم وزن تر برگ از مصرف ۷/۷ میکرومولار روی در بیشترین سطح شوری بدست آمد. کمترین میزان پرویلین (۰/۸۶ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) نیز از کمترین میزان روی مصرفی در تیمار شاهد (سطح شوری صفر) بدست آمد، که نسبت به بیشترین میزان پرویلین ۸۰/۱۸ درصد کاهش نشان داد. طبق نتایج جدول ۳، در سه سطح شوری صفر (شاهد)، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، روی اثر معنی‌داری بر میزان پرویلین داشت. جدول ۳، نشان می‌دهد که در تیمار شاهد، مصرف بالاترین میزان روی باعث شد بیشترین میزان پرویلین به وجود آید که البته با مصرف ۷/۷ میکرومولار روی تفاوت معنی‌داری نداشت. در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، مصرف کمترین میزان روی و در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، مصرف ۷/۷ میکرومولار روی، بیشترین میزان پرویلین را ایجاد کردند. نتایج نشان دادند که افزایش غلظت شوری موجب افزایش میزان پرویلین شده است؛ از طرفی در تیمار شاهد با افزایش مصرف روی میزان پرویلین نیز افزایش پیدا می‌کند اما در سطح شوری ۵۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار با افزایش مصرف روی تا حد ۷/۷ میکرومولار میزان پرویلین افزایش می‌یابد و مقادیر بیشتر از آن با کاهش میزان پرویلین همراه است (جدول ۲). Delaney و همکاران (۱۹۹۳) اعلام کردند عناصر روی و منگنز به‌خصوص

روی در سطح احتمال ۱٪ بر محتوای قند گیاه اسفرزه معنی‌دار شد. طبق نتایج جدول ۳، بیشترین مقدار قند معادل ۱۲/۶ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ از مصرف ۱۱/۵۵ میکرومولار روی در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بدست آمد و کمترین آن معادل ۵/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مربوط به کمترین سطح شوری و کمترین میزان روی مصرفی بود که نسبت به بیشترین مقدار ۵۷/۹۳ درصد کاهش نشان داد. طبق نتایج گزارش شده در جدول ۳، در تمام سطوح شوری (به جز سطح ۲۰۰ میلی‌مولار) اثر روی بر محتوای قند معنی‌دار می‌باشد. جدول ۳ نشان داد که در اولین سطح شوری (شاهد) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، بالاترین روی مصرفی بیشترین محتوای قند را ایجاد کرد. در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار، مصرف ۳/۸۵ میکرومولار روی و در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، مصرف ۷/۷ میکرومولار روی با بیشترین محتوای قند همراه بودند. به طور کلی در همه سطوح شوری (به جز سطح ۵۰ میلی‌مولار) با افزایش مصرف روی، محتوای قند محلول افزایش می‌یابد (جدول ۲).

روی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در گیاهان دخالت دارد. خلد برین و اسلام زاده (۱۳۸۴) اعلام کرد که عنصر روی به عنوان یک کوفاکتور در فعال کردن چندین آنزیم دخالت می‌کند که این آنزیم‌ها در متابولیسم کربوهیدرات و پروتئین نقش دارند. مطالعات بیوشیمیایی نشان داده که در گیاهان تحت تنش شوری تعدادی از ترکیبات آلی (محلول‌های سازگارکننده) تجمع می‌یابد، این ترکیبات تداخلی در فرایندهای شیمیایی آن‌ها وارد نمی‌کنند. از این ترکیبات می‌توان به انواعی از کربوهیدرات‌های محلول (مانیتول، ساکارز، رافینوز و الیگوساکارید) و ترکیبات نیتروژنه (اسیدهای آمینه، پرویلین و گلیسین بتائین) اشاره کرد. با افزایش شوری جذب یون‌های Na^+ و Cl^- وجود دارد و این یون‌ها در واکنش کده‌بندی می‌شوند، در این شرایط واکنش پتانسیل آبی پایینی دارد و آب را از سیتوپلاسم جذب می‌کند (Basra and Basra, 1997)؛ برای رفع این مشکل گیاه محلول‌های آلی تولید می‌کند. افزایش قندهای محلول در طی تنش می‌تواند به دلیل تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول، سنتز این

در ارقام متحمل به خشکی در شرایط تنش نقش افزایش دهنده در فرایند تنظیم اسمزی (به واسطه افزایش میزان پرولین و یا قندهای محلول) دارند. پرولین به طور کلی از دو مسیر عمده ساخته می‌شود، مسیر گلوتامات که آنزیم‌های آن در سیتوپلاسم قرار دارند و مسیر اورنتین که آنزیم‌های آن در میتوکندری واقع هستند. مسیر گلوتامات در گیاهان آلی اهمیت بیشتری دارد و به نظر می‌رسد آنزیم‌های کلیدی این مسیر به محلول‌پاشی روی و آهن واکنش مثبت نشان می‌دهند (Delaney *et al.*, 1993). Cavelierl (۱۹۸۳) اعلام کرد افزایش پرولین در گیاهان تحت تنش شوری در واقع نوعی واکنش از طرف گیاه به کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه است. پرولین به تنظیم اسمزی در طول تنش (McNeil *et al.*, 1999) و حفظ ساختمان اولیه ماکرومولکول‌ها و غشاها در طول افزایش دهیدراسیون کمک می‌نماید (Hoekstra *et al.*, 2001). پرولین در کنار تنظیم اسمزی وظایف دیگری همچون حفاظت از غشای پلاسمایی، زدودن رادیکال‌های هیدروکسیل و اکسیژن فعال نیز دارد و می‌تواند منبعی برای کربن و نیتروژن قرار گیرد (Bartels and Sunkar, 2005).

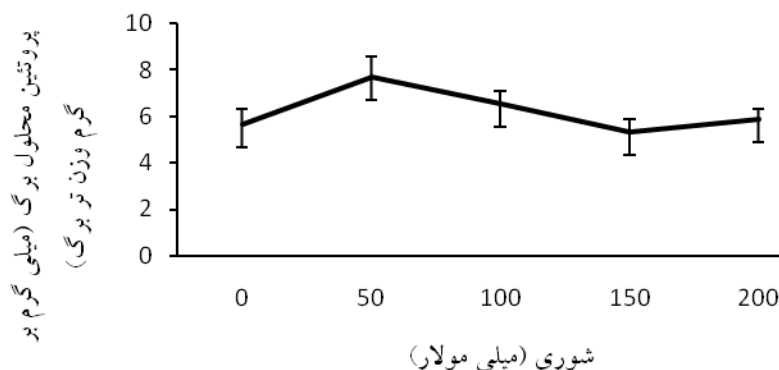
در نهایت، می‌توان اظهار داشت که برای جبران حداقل برخی اثرهای مضر تنش، عناصر ریز مغذی مانند روی که در تنظیم اسمزی اسفرزه (بواسطه افزایش میزان پرولین و یا قندهای محلول) نقش مهمی بازی می‌کنند، می‌تواند در مقاومت به تنش شوری این گیاه مؤثر بوده و ایفای نقش کند.

درصد نشت الکترولیت‌ها: نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن برهم‌کنش شوری و روی بر درصد نشت الکترولیت‌ها بود (جدول ۱). مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و روی بر درصد نشت الکترولیت‌ها (جدول ۲) نشان داد که با مصرف ۳/۵۸ میکرومولار روی، بیشترین درصد نشت الکترولیت‌ها (۸۰/۲ درصد) مربوط به سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری و کمترین آن (۴/۴ درصد) مربوط به سطح صفر میلی‌مولار شوری بود. کمترین و بیشترین درصد نشت الکترولیت‌ها ۹۴/۵۱ درصد با هم اختلاف داشتند. افزایش میزان یون سدیم در اندامک‌های سلول نظیر کلروپلاست و واکوئل، باعث ایجاد

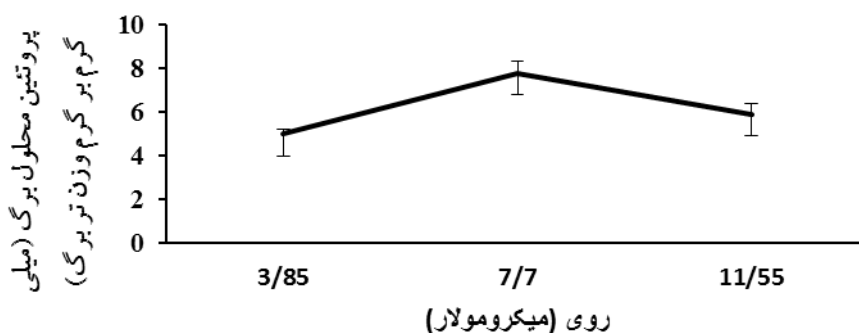
تغییرات ساختمانی و افزایش نشت غشا می‌گردد.

مقایسه میانگین به روش برش‌دهی (جدول ۳) نیز نشان داد که اثر روی بر درصد نشت الکترولیت‌ها، فقط در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری معنی‌دار گردید. در این سطح شوری با مصرف ۳/۵۸ میکرومولار روی بیشترین درصد نشت به دست آمد که البته با مصرف ۱۱/۵۵ میکرومولار روی تفاوت معنی‌داری نداشت؛ و کمترین درصد نشت مربوط به مصرف ۷/۷ میکرومولار سولفات روی بود. به طور کلی افزایش سطوح شوری با افزایش درصد نشت همراه بود؛ به طوری که با افزایش هر سطح شوری میزان نشت از ۳۰ تا ۵۰ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). از طرفی در سطوح شوری بالا، افزایش میزان روی باعث کاهش درصد نشت الکترولیت‌ها شد. روی باعث ثبات غشای پلاسمایی سلول‌ها می‌شود (Zhao 2005) و همچنین از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو از آثار مخرب رادیکال‌های آزاد و مواد اکسیدکننده جلوگیری می‌کند (Aravind and Prasad, 2003) بنابراین نشت الکترولیت‌ها کاهش می‌یابد. شوری می‌تواند از طریق تولید گونه‌های مختلف احیاگرهای اکسیژن (Reactive Oxygen Species, ROS) سبب تنش اکسیداتیو نیز شود (Ashraf and Harris, 2004). این ترکیبات به بسیاری از ترکیبات سلولی نظیر چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می‌زنند و با تغییر ساختمان غشا، در اثر پراکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها (Liang *et al.*, 2003)، تراوایی غشای سلولی را افزایش می‌دهند که منجر به نشت الکترولیت‌های موجود در داخل سلول به سمت بیرون می‌شود و در نتیجه رشد گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

پروتئین محلول برگ: اثر تنش شوری در سطح احتمال ۵٪ و روی در سطح احتمال ۱٪ بر میزان پروتئین محلول برگ معنی‌داری بود، اما برهم‌کنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیشترین میزان پروتئین محلول در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار به میزان ۷/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بدست آمد که با سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت. سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار باعث بدست آمدن



شکل ۳- اثر شوری بر پروتئین محلول برگ گیاه اسفرزه (مقادیر میانگین \pm خطای استاندارد می باشند)

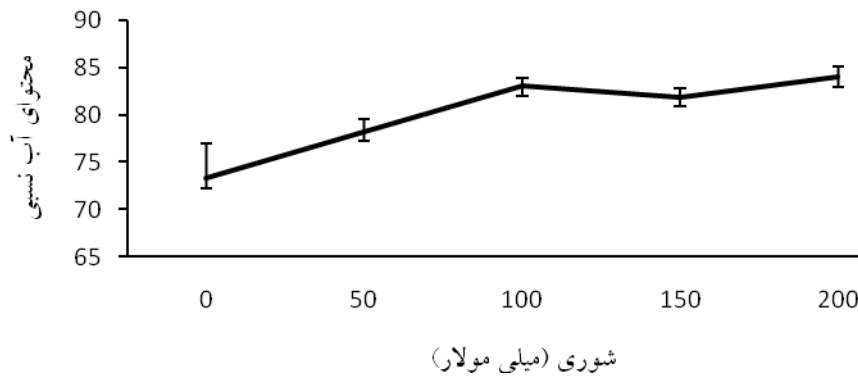


شکل ۴- اثر سولفات روی بر پروتئین محلول برگ گیاه اسفرزه (مقادیر میانگین \pm خطای استاندارد می باشند)

ساختار فضایی این آنزیم به دلیل آب کشیدگی سلول می باشد (Parida and Das, 2005).

بیشترین میزان پروتئین محلول برگ (۷/۷ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) با مصرف ۷/۷ میکرومولار روی بدست آمد. مصرف ۳/۸۵ میکرومولار روی باعث شد میزان پروتئین محلول ۳۶/۳۶ درصد کاهش یابد و به ۴/۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ برسد (شکل ۴). طبق نتایج، مصرف مقادیر بالا و پایین روی با کاهش میزان پروتئین محلول برگ همراه بودند اما با مصرف ۷/۷ میکرومولار روی میزان پروتئین محلول افزایش یافت. تحقیقات نشان می دهد مصرف برخی از عناصر ریزمغذی و از همه مهم تر عنصر روی باعث افزایش پروتئین محلول در اندام های هوایی و دانه ذرت می شود (شرفی و همکاران، ۱۳۸۱). روی از طریق اتصال به گروه سولفیدریل (-SH) باعث استحکام آنزیم ها، پروتئین ها و ساختمان چربی غشای سلول می شود (Powell, 2000). خلد برین و اسلام زاده (۱۳۸۴) بیان

کمترین میزان پروتئین محلول (۵/۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) گردید که نسبت به سطح شوری ۵۰ میلی مولار، ۳۱/۱۶ درصد کاهش نشان داد (شکل ۳). در تأیید نتایج بدست آمده، حیدری و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که با بالا رفتن میزان شوری از شاهد به ۲۰۰ میلی مولار نمک NaCl به طور معنی داری از مقدار پروتئین های محلول گیاه اسفرزه کاسته می شود؛ میزان این کاهش معادل ۴۲/۱ درصد بود. شوری موجب ممانعت از سنتز پروتئین ها در گیاه می شود و در نتیجه مقدار پروتئین های موجود در گیاه در پاسخ به شوری کاهش می یابد (Parida and Das, 2005). همچنین شوری با تغییر در ساختمان پروتئین ها موجب کاهش فعالیت بسیاری از آنزیم های موجود در گیاه می گردد؛ برای مثال، سبب کاهش فعالیت آنزیم اصلی فتوسنتز، یعنی روبیسکو، می شود و به نظر می رسد که این کاهش فعالیت، ناشی از اختلال اسیدیته استرومای کلروپلاست به دنبال خروج یون پتاسیم و همچنین تغییر



شکل ۵- اثر شوری بر محتوای آب نسبی برگ گیاه اسفزه (مقادیر میانگین \pm خطای استاندارد می‌باشند)

شدید نبود که نشان‌دهنده بقای گیاه در شرایط تنش و انجام فتوسنتز می‌باشد از طرفی بعد از بارهنگ کبیر، اسفزه توانست محتوای نسبی آب خود را تحت شرایط تنش بهتر حفظ نماید.

نتیجه‌گیری:

نتایج نشان دادند که افزایش غلظت شوری موجب افزایش محتوای قند محلول و پرولین شده است؛ از طرفی در سطح شوری ۵۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار با افزایش مصرف روی تا حد ۷/۷ میکرومولار میزان پرولین افزایش می‌یابد. در نهایت، می‌توان اظهار داشت که برای جبران برخی اثرهای مضر تنش، استفاده از عناصر ریز مغذی مانند روی که در تنظیم اسمزی اسفزه نقش مهمی بازی می‌کنند، می‌تواند در مقاومت به تنش شوری این گیاه مؤثر بوده و ایفای نقش کند. به طور کلی افزایش سطوح شوری با افزایش درصد نشت همراه بود؛ به طوری که با افزایش هر سطح شوری میزان نشت از ۳۰ تا ۵۰ درصد افزایش نشان داد. از طرفی در سطوح شوری بالا، افزایش میزان روی باعث کاهش درصد نشت الکترولیت‌ها شد. با بالا رفتن میزان شوری از مقدار پروتئین‌های محلول گیاه اسفزه کاسته شد؛ همچنین مصرف مقادیر بالا و پایین روی با کاهش میزان پروتئین محلول برگ همراه بودند اما با مصرف ۷/۷ میکرومولار روی میزان پروتئین محلول افزایش یافت.

می‌کنند که در شرایط کمبود روی، فعالیت آنزیم RNA پلی‌مراز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می‌یابد؛ در نتیجه سنتز پروتئین به شدت کاهش می‌یابد. **محتوای آب نسبی:** اثر متقابل تنش شوری و روی بر محتوای آب نسبی معنی‌دار نشد. اما اثر تنش شوری در سطح ۱٪ بر این صفت معنی‌دار گردید (جدول ۱). بیشترین محتوای نسبی آب (۸۴/۰۳ درصد) در بالاترین سطح شوری (۲۰۰ میلی‌مولار) بدست آمد که با سطوح شوری ۱۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین محتوای آب نسبی به میزان ۷۳/۲ درصد مربوط به تیمار شاهد (سطح صفر) بود که با بیشترین مقدار ۱۲/۸۸ درصد اختلاف داشت (شکل ۵). طبق نتایج بدست آمده شوری محتوای آب نسبی را افزایش داده است که این افزایش در سطوح بالاتر شوری بیشتر می‌باشد (شکل ۵).

کاهش پتانسیل آب در محیط اطراف ریشه گیاه به کاهش پتانسیل آب گیاه منجر می‌شود و در نتیجه گیاه با کاهش پتانسیل آبی، کارایی مصرف آب و محتوای آب نسبی بافت‌ها را در پاسخ به تنش‌های شوری افزایش می‌دهد و آب کمتری را از طریق تبخیر و تعرق از برگ‌های خود خارج می‌کند (کریمی و همکاران، ۱۳۸۵). کامکار و رحیمی (۱۳۹۱) نیز گزارش کردند که روند کاهش محتوای آب نسبی برگ سه گونه بارهنگ کبیر، پسیلیوم و اواتا با افزایش سطوح شوری

منابع:

ح. و اوستان، ش. (۱۳۸۹) اثر روی و کادمیوم بر رشد، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و غلظت کادمیوم در چغندر لبویی،

بهتاش، ف.، طباطبایی، س.ج.، ملکوتی، م.ج.، سروردین، م.

- Academic Publisher.
- Beale, S. I. (1999) Enzymes of chlorophyll biosynthesis. *Photosynthesis Research* 60: 43-73.
- Beltrano, J. and Ranco, G. M. (2008) Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Society of Plant Physiology* 20 (1): 29-37.
- Bradford, M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Review Biochemical* 72: 248-254.
- Cakmak, I. (2000) Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist* 146: 185-205.
- Cavelier, A. J. (1983) Proline and glycine-betaine accumulation by *Spartina alterniflora* L. in response to NaCl and nitrogen in a controlled environment. *Oecologia* 57: 20-24.
- Delaney, A. J., Hu, C. A. A., Kishor, K. P. B. and Verma, D. P. S. (1993) Cloning ornithine-aminotransferase cDNA from *Vigna anconitifolia* by trans-complementation in *Escherichia coli* and regulation of proline biosynthesis. *Journal of Biological Chemistry* 268: 18673-18678.
- Good, A. and Zaplachinski, S. (1994) The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum* 90: 9-14.
- Hassan, N. A. K., Drew, J. V., Knudson, D. and Olsen, R. (1970) Influence of soil salinity on production of dry matter and uptake and distribution in barley and corn. *Agronomy Journal* 62: 43-45.
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. (1950) The water-culture for growing plants without soil. *California Agriculture Experimental Statistics Circular* 347: 32.
- Hoekstra, F. A., Golovina, E. V. and Buitink, J. (2001) Mechanism of plant desiccation tolerance. *Trends in Plant Science* 9: 431-439.
- Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. *Physiologia Plantarum* 84: 55-60.
- Kaya, C., Higgs, D. and Kirnak, H. (2001) The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Journal of Plant Physiology* 7 (3): 47-59.
- Khoshgoftarmanesh, A. H., Jaafari, B. and Shariatmadari, H. (2002) Effect of salinity on Cd and Zn availability. 17th world congress of soil science, Thailand.
- Lebedev, N. and Timco, P. M. (1998) Protochlorophyllide photoreduction. *Photosynthesis Research* 58: 5-23.
- Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W. and Ding, R. (2003) Exogenous silicone (Si) increases antioxidant
- مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲۴ (۱): ۴۱-۳۱.
- حیدری، م.، عبدل زاده، ا. و فرزانه، ف. (۱۳۹۰) اثر سطوح مختلف شوری و سه نوع تغذیه نیتروژنی بر رشد و واکنش‌های بیوشیمیایی اسفزه، مجله علوم گیاهان زراعی ایران ۴۲ (۱): ۱۹۹-۲۰۷.
- شرفی، س.، تاج‌بخش، م.، مجیدی، م. و پورمیرزا، ع. (۱۳۸۱) تأثیر کود آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم ذرت علوفه‌ای در ارومیه، مجله خاک و آب ۱۲: ۸۵-۹۴.
- قربانلی، م.، نیاکان، م. (۱۳۸۴) بررسی اثر تنش خشکی بر روی میزان قندهای محلول، پروتئین، ترکیبات فنلی و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز گیاه سویا رقم گرگان ۳، نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم ۵ (۱ و ۲): ۵۵۰-۵۳۷.
- کامکار، م. و رحیمی، ا. (۱۳۹۱) اثر شوری بر روابط آبی، تنظیم کننده‌های اسمزی و عملکرد سه گونه دارویی از جنس بارهنگ، مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۵ (۲): ۱۵۸-۱۴۵.
- کشاورز، پ. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۴) اثر روی و شوری بر رشد، ترکیبات شیمیایی و بافت آوندی گندم، مجله علوم خاک و آب ۱۹ (۱): ۱۲۹-۱۲۱.
- کریمی، ق.، قربانلی، م. ل.، حیدری شریف آباد، ح. و عصاره، م. ح. (۱۳۸۵) بررسی مکانیسم‌های مقاومت به شوری در گونه مرتعی *Atriplex verrucifera* (M.B) پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی ۷۳: ۴۸-۴۲.
- مارشتر، ه. (۱۳۸۴) تغذیه معدنی گیاهان عالی. ترجمه خلدبرین، ب. و اسلام‌زاده، ط. انتشارات دانشگاه شیراز. شیراز.
- Aravind, P. and Prasad, M. N. V. (2003) Zinc alleviates cadmium-induced stress in *Ceratophyllum demersum* L.: a free floating freshwater macrophyte. *Plant Physiology and Biochemistry* 41: 391-397.
- Ashraf, M. and Harris, P. J. C. (2004) Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166: 3-16.
- Bartels, D. and Sunkar, R. (2005) Drought and tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Science* 24: 23-58.
- Basra, A. S. and Basra, K. R. (1997) Mechanism of environmental stress responses in plants. Harwood

- Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
- Parvaiz, A. and Satyawati, S. (2008) Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. *Plant, Soil and Environment* 54: 89-99.
- Patel, J. J. and Mehta, H. M. (1986). Effect of herbicides, levels and time of their application on weed control, growth and yield of isabgol *Plantagoovata* Forsk. Under middle Gujarat condition. *Indian Journal of Weed Science* 18: 149-152.
- Powell, S. R. (2000) The antioxidant properties of zinc. *Journal of Nutrition* 130: 1447-1454.
- Wang, L. J., Liu, Y. L., Ma, K., Wang, J. Z. and Liu, X. N. (2001) Effect of NaCl treatment on free radical metabolism of fig (*Ficus carica* L.). *California Advanced Horticulture* 2: 235-241.
- Zhao, Z. Q., Zhu, Y. G., Kneer, R. and Smith, S. E. (2005) Effect of zinc on cadmium toxicity-induced oxidative stressing winter wheat seedlings. *Journal of Plant Nutrition* 28: 1947-1959.
- Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science* 6:66-71.
- enzyme activity and reduces lipid per oxidation in roots or salt-stressed barley (*Hordeum Vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology* 99: 872-878.
- McNeil, S. D., Nuccio, M. L. and Hanson, A. D. (1999) Betaines and related osmoprotectants. *Plant Physiology* 120: 945-949.
- Mishra, A. and Choudhuri, M. A. (1999) Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. *Biology Plant* 42: 409-415.
- Nan, Z. R., Li, J. H., Zhang, J. M. and Cheng, G. D. (2002) Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil- crop system under field conditions. *Science of the Total Environment* 285: 187-195.
- Oraei, M., Tabatabaei, S. J., Fallahi, E. and Imani, A. (2009) The effects of salinity stress and rootstock on the growth, photosynthetic rate, nutrient and sodium concentrations of almond (*Prunus dulcis* Mill.). *Journal of Horticultural Science* 23: 131-140.
- Paquine. R. and Lechasseur, P. (1979) Observation sur une methode dosage la libre dans les de plantes. *Canadian Journal of Botany* 57: 1851-1854.