

Effects of potassium silicate on some morphological and physiological traits of dichondra (*Dichondra repens*) cover plant grown under water deficit

Mahdieh Niazbal¹, Sepideh Kalatejari², Foad Fatehi³, Marjan Diyanat^{4*}

- 1- M. Sc. Student, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
- 2- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
- 3- Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran
- 4- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Citation: Niazbal, M., Kalatejari, S., Fatehi, F., & Diyanat, M. (2023). Effects of potassium silicate on some morphological and physiological traits of dichondra (*Dichondra repens*) cover plant grown under water deficit. *Plant Productions*, 45(4), 505-517.

Abstract

Introduction

Dichondra repens is a low growing, creeping perennial that spreads by underground runners. This plant is usually planted instead of lawn in warm areas and is also suitable as a cover to fill the gap between the pavements and for planting in rock gardens. Soil drought is one of the major abiotic factors that limit crop growth and productivity worldwide. Drought stress triggers production of reactive oxygen species (ROS) that cause oxidative damage to proteins, membrane lipids and other cellular components. Silicon (Si) is the second most prevalent element after oxygen in the soil. The beneficial effect of the silicon is well documented for several agricultural crops.

Materials and Methods

The present study was conducted to assess the effect of potassium silicate on growth characteristics of *Dichondra repens* under water deficit as factorial in a completely randomized design in 2018. Water deficit was applied in three levels (100%, 66% and 33% Field capacity) and potassium silicate in four levels (0, 50, 100 and 200 mg/l). Data analysis was performed with SAS software. Mean data were compared with Duncan test at 5% level. Plant height was measured from the collar to the tip of the plant with a caliper. To measure the fresh

* Corresponding Author: Marjan Diyanat
E-mail: Ma_dyanat@yahoo.com

weight of the shoot, the plant was weighed after harvesting with a digital scale. To measure the roots, the roots were gently removed from the soil and weighed with a digital scale. Leaf chlorophyll was measured by Arnon (1949) method at 480, 663 and 645 nm with a spectrophotometer. Catalase activity was measured by Eising and Gerhardt (1989) method. Measurement of superoxide dismutase activity by Dhindsa et al. (1982) was performed. Potassium concentration was measured by flame photometry. Elliott and Snyder (1991) method was used to measure leaf silicon concentration.

Results and Discussion

Plant height decreased by 38% in 33% field capacity and non-use of potassium silicate interaction in comparison of 100% field capacity and 200 mg/l potassium silicate interaction. Potassium silicate 200 and 100 mg/l increased chlorophyll content in 100 and 66% of field capacity. Catalase and superoxide dismutase enzymes showed the highest activity in 33% field capacity and 200 mg/l potassium silicate interaction and 33% field capacity and no potassium silicate interaction, respectively. The lowest relative leaf water content was observed in 33% field capacity and no potassium silicate interaction and there is no significant difference between it and potassium silicate at 50 mg/l. The highest amount of potassium was observed in the treatment of 66% of field capacity and 50 mg/l of potassium silicate, which was not significantly different from the interaction of 100% of field capacity and 100 mg/l of potassium silicate. The highest amount of silicon was observed in treatment of 100% of field capacity and 200 mg/l of potassium silicate, which was significantly different from other treatments.

Conclusion

Treatment of 100% field capacity and potassium silicate at 200 mg/l was identified as the most efficient treatment in improving the growth characteristics of dichondra. So with proper management 66% field capacity and 100 mg potassium silicate treatment can be replaced with 100% field capacity potassium silicate at 200 mg/l.

Keywords: Antioxidant enzyme, Chlorophyll content, Field capacity, Potassium content

اثر سیلیکات پتاسیم بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه پوششی چمن شبدری (*Dichondra repens*) در شرایط تنش کم آبی

مهديه نیازبال^۱، سپیده کلاته جاری^۲، فواد فاتحی^۳، مرجان دیانت^{۴*}

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲- استادیار دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۳- دانشیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۴- دانشیار دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

چمن شبدری یک گیاه چند ساله با رشد کم و خزنده است که معمولاً به جای چمن در مناطق گرم کاشته می شود و همچنین به عنوان پوششی برای پر کردن فاصله بین روسازی ها و کاشت در باغ های صخره ای مناسب است. خشک سالی یکی از مهم ترین عوامل غیر زنده است که رشد و بهره وری محصولات را در سراسر جهان محدود می کند. تنش خشکی باعث تولید گونه های اکسیژن فعال (ROS) می شود که باعث آسیب اکسیداتیو به پروتئین ها، لیپیدهای غشایی و سایر اجزای سلولی می شود. سیلیسیم بعد از اکسیژن در خاک دومین عنصر شایع است که اثر مفید آن بر تعدادی از محصول کشاورزی به اثبات رسیده است. مطالعه حاضر برای ارزیابی تأثیر سیلیکات پتاسیم بر ویژگی های رشد چمن شبدری تحت تنش آبی تحقیقی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه گروه باغبانی دانشگاه تهران سال ۱۳۹۷ انجام شد. کمبود آب در سه سطح (۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد ظرفیت مزرعه) و سیلیکات پتاسیم در چهار سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) اعمال شد. نتایج نشان داد که ارتفاع گیاه در تیمار ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم ۳۸ درصد کاهش یافت. سیلیکات پتاسیم ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سبب افزایش محتوای کلروفیل در تیمارهای ۱۰۰ و ۶۶ درصد ظرفیت زراعی شد. آنزیم های کاتالاز و سوپراکسید دسموتاز به ترتیب بیشترین فعالیت را در تیمار ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم و تیمار ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم نشان دادند. کمترین محتوای نسبی آب برگ (۶۳/۳۳ درصد) در تیمار ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که با ۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم تفاوت معنی داری نداشت. بیشترین مقدار پتاسیم (۵۰/۳۳ میلی گرم بر گرم) در تیمار ۶۶ درصد ظرفیت مزرعه و ۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که تفاوت معنی داری با تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم نداشت. بیشترین میزان سیلیسیم (۱/۰۸ میلی گرم بر گرم) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که تفاوت معنی داری با سایر تیمارها داشت. تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و سیلیکات پتاسیم در ۲۰۰ میلی گرم در لیتر به عنوان کارآمدترین تیمار در بهبود خصوصیات رشدی چمن شبدری مشخص شد. بنابراین با مدیریت مناسب می توان تیمار ۶۶ درصد ظرفیت مزرعه و ۱۰۰ میلی گرم سیلیکات پتاسیم را با ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم جایگزین کرد.

کلیدواژه ها: آنزیم های آنتی کسیدانی، ظرفیت زراعی، غلظت پتاسیم، محتوای کلروفیل

* نویسنده مسئول: مرجان دیانت

رایانامه: Ma_dyanat@yahoo.com



مقدمه

فضاهای سبز از نظر زیست محیطی به عنوان شریان‌های حیاتی شهرها محسوب می‌شوند و با توجه به رشد روز افزون شهرنشینی، ایجاد فضاهای سبز در کلان شهرها به عنوان مهم‌ترین تعدیل‌کننده زیست‌محیطی ضروری است (Wolch et al., 2014). از گیاهانی که به‌طور گسترده در فضای سبز استفاده می‌شوند، چمن‌ها می‌باشند. در کنار تمامی خصوصیات مطلوب و مناسب چمن‌ها برای فضای عمومی شهری، ویژگی‌های نامناسب و حتی نواقصی در این نوع گیاهان وجود دارد. در کنار چمن‌ها، گیاهان دیگری با عنوان گیاهان پوششی (زمین‌پوش‌ها) و یا جایگزین چمن معرفی شده‌اند. گیاهان پوششی علاوه بر جنبه‌های زیبایی به‌علت توانایی در پوشش سریع سطح خاک جهت جلوگیری از فرسایش خاک نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Yilmaz et al., 2018). گیاهان پوششی دارای ویژگی‌های مطلوبی چون رنگ‌های متنوع، شکل و طرح متفاوت برگ و ساقه، گل‌های رنگی و زیبا و مقاوم نسبت به دامنه وسیعی از تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری می‌باشند (Figuerola et al., 2016)، اما با این وجود توجه کمی به این گیاهان در کشور ما شده است و اغلب چمن‌ها در طراحی‌های فضای سبز و مناظر عمومی استفاده می‌شوند (Etamadi & Kolah Raz, 2000). چمن شبدری نوعی گیاه پوششی از خانواده پیچک (Convolvulaceae) و جنس *Dichondra* است. چمن شبدری تقریباً در هر مکانی قابل کشت است و ارتفاع آن اغلب ۲/۵ تا ۵ سانتی‌متر بوده و گسترش جانبی زیادی دارد. این گیاه به‌طور معمول به جای چمن در مناطق گرم کاشته می‌شود و به‌عنوان یک پوشش جهت پرکردن فاصله میان سنگ فرش‌ها و برای کاشت در باغ‌های صخره‌ای نیز مناسب است (Kafi and Ghasemi-ghahsareh, 2011).

گرم شدن کره زمین نه تنها بر روی دمای هوا تأثیر گذار است، بلکه میزان بارش را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند در آینده باعث ایجاد خشک‌سالی شود (Wang et al., 2014). ایران دارای مساحتی بالغ بر ۱۶۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع است و در منطقه نیمه خشک خاورمیانه قرار دارد که از نظر توپوگرافی دارای آب و هوای متنوعی اما بخش بزرگی از آن خشک یا نیمه خشک است (Bazrafshan and Khalili, 2013). خشکی به‌صورت کاهش در آب مورد نیاز گیاه تعریف می‌شود که به‌صورت کاهش در پتانسیل آب خاک مشخص می‌شود (Aroca, 2012). رشد سلول حساس‌ترین فرآیندی است که به‌وسیله تنش‌آبی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با کاهش رشد سلول اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی بر روی گیاهان

را می‌توان از روی اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (Aroca, 2012).

سیلیسیم با مقدار ۴۷-۵۲ درصد وزنی و مقدار متوسط ۲۸/۸ درصد وزنی دومین عنصر فراوان پوسسته زمین بعد از اکسیژن است (Tubana and Heckman, 2015). سیلیسیم گیاه را در برابر تنش‌های مختلف مثل فلزات سنگین، بیماری‌ها، تابش خورشید و خشکسالی حفظ می‌کند (Imtiaz et al., 2016). (Mosapour Yahyaabadi and Asgharipour, 2015) آزمایشی تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی سطوح مختلف سیلیکون بر عملکرد دانه، مقدار اسانس و خصوصیات فیزیوشیمیایی گیاه رازیانه با سه رژیم آبیاری شامل آبیاری در ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه و محلول‌پاشی سیلیکون در پنج سطح (صفر، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ میلی‌مولار) را بررسی کردند. بیشترین درصد و عملکرد اسانس رازیانه از محلول‌پاشی ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون در شرایط آبیاری ۶۶ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. کم آبیاری سبب کاهش معنادار مقدار کلروفیل، کاروتنوئیدها و محتوای نسبی آب برگ شد، ولی مقدار نشأت الکترولیتی در شرایط خشکی نسبت به تیمار شاهد افزایش دو برابری نشان داد. تیمار ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون در شرایط تنش، محتوای نسبی آب برگ، مقدار کلروفیل، آنتوسیانین، پرولین و قندهای محلول را به ترتیب ۳۸، ۳۰، ۳۸، ۱۲ و ۲۲ درصد افزایش و نشأت الکترولیتی را ۲۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. (Yaghubi et al., 2016) سیلیکات پتاسیم (۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام) سبب خنثی کردن اثرات سوء ناشی از تنش روی سطح برگ، وزن خشک و تر و طول ریشه توت‌فرنگی شد. تنش خشکی به‌طور مستقیم می‌تواند بر فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به‌طور غیرمستقیم ورود دی‌اکسید کربن به داخل روزنه‌ها را که به‌علت شرایط کم‌آبی بسته‌اند کاهش دهد. انتقال مواد فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش آب قرار گرفته و موجب اشباع برگ‌ها از این مواد می‌گردد که ممکن است فتوسنتز را محدود نماید. بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و نهایتاً عملکرد آن دچار نقصان می‌شود (Aroca, 2012).

(Kamenidou et al., 2010b) در تحقیقی نشان دادند که مکمل‌های سیلیکون سبب افزایش غلظت عناصر برگی در ژربرا (*Gerbera hybrid* L.) گردیدند. کاربرد سیلیکات پتاسیم در توت‌فرنگی باعث افزایش عملکرد، وزن تر ریشه و قطر طوقه شد (Ghasemi et al., 2020). مصرف ۳۰ کیلوگرم سیلیسیوم در گندم سبب افزایش محتوای پتاسیم در برگ و دانه، عملکرد و اجزای آن شد. میزان افزایش عملکرد دانه با مصرف ۳۰ کیلوگرم

پژمردگی خاک با استفاده از محفظه تحت فشار انجام شد و طبق فرمول شماره (۱) مقدار آب مورد نیاز برای هر جعبه مشخص شد (Alizadeh, 2004).

$$Vn = (FC - PWP) / 100 * \rho_b * Vp * F$$

که در رابطه بالا Vn مقدار آب داده شده (بر حسب میلی‌متر) به هر بستر در هر نوبت آبیاری است. FC رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی است، PWP نقطه پژمردگی دائم (درصد)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، Vp حجم بستر کشت (سانتی‌متر مکعب)، F ضریب مدیریت آبیاری که در آبیاری مطلوب یک است. تنش در سه سطح ۴۰ روز بعد از کاشت بذرها به‌طوریکه کامل سطح بستر کشت پوشیده از گیاه شد، اعمال شد. اعمال تیمار سیلیکون نیز به مدت ۴۰ روز همراه با تنش خشکی صورت گرفت. مکمل غذایی سیلیکون به صورت سیلیکات پتاسیم همراه آب آبیاری در چهار سطح هر ۵ روز یکبار اعمال شد. در مجموع سیلیکات پتاسیم ۸ بار با فواصل ۵ روز به‌کار رفت.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی

ارتفاع گیاه از قسمت یقه تا نوک گیاه با کولیس اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر اندام‌هوایی، گیاه پس از برداشت با ترازوی دیجیتال AND مدل FX300I با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. برای اندازه‌گیری ریشه، ریشه‌ها به آرامی از خاک جدا شده و با ترازوی دیجیتال وزن شد (Inbar et al., 1994). پس از خشک کردن اندام‌های مختلف گیاه در دستگاه آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد (Inbar et al., 1994). ریشه‌ها داخل استوانه مدرج با میزان مشخص آب قرار داده شدند و با توجه به مقدار تغییر حجم آب در استوانه، حجم ریشه به‌دست آمد (Duan et al., 2014). اندازه‌گیری سطح برگ با دستگاه سطح برگ‌سنج GateHouse مدل 4chtAok با دقت ۰/۰۱ انجام شد. برای این منظور، سه لکه (سطح) ۳۰ سانتی‌متر مربعی از هر بستر کشت انتخاب و میانگین آن‌ها حساب شد. سپس به سطح بستر کشت تعمیم داده شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی

کلروفیل برگ طبق روش Arnon (1949) در طول موج‌های ۴۸۰، ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. ابتدا دستگاه با استون ۸۰ درصد صفر شده و سپس میزان جذب عصاره استخراج شده در طول موج‌های ۶۴۵ نانومتر، ۶۶۳ نانومتر و ۴۸۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. سپس با استفاده از فرمول‌های ۲-۴ کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل محاسبه شد.

سیلیم، ۶ درصد بوده و در تنش شدید این میزان به ۱۴ درصد افزایش یافت (Karmollachab et al., 2015).

با توجه به نقش سیلیکون در افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی، استفاده از کودهای بر پایه سیلیکون دارای اهمیت ویژه-ای می‌باشند و استفاده از این محرک رشد به‌خصوص در شرایط آب‌وهوایی خشک که بخش اعظمی از کشاورزی ما در این شرایط آب و هوایی صورت می‌گیرد ضرورت دارد. بنابراین در این تحقیق اثر سیلیکون بر گیاه پوششی چمن شبدری تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محل و زمان اجرای آزمایش

تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر سیلیکات پتاسیم بر گیاه پوششی چمن شبدری در شرایط تنش خشکی در سال ۱۳۹۷ در گلخانه گروه باغبانی دانشگاه تهران در کرج انجام شد. میانگین دمای روزانه و شبانه گلخانه انجام آزمایش ۲۹°C و ۱۴°C (روز/شب) بود که در آن کنترل دما توسط کولر انجام می‌شد. گلخانه مجهز به سیستم سرمایش تبخیری با پدهای سلولزی و فن‌های خودکار جهت تهویه هوا بود. شدت نور گلخانه حدود ۱۸۰۰۰ لوکس و رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰ درصد بود. جهت انجام تحقیق از خاک مزرعه با بافت لومی استفاده شد (جدول ۱).

مواد گیاهی و تیمارهای آزمایشی

بذر چمن شبدری از شرکت پاکان بذر تهیه شد. از جعبه‌های میوه با طول، عرض و عمق به ترتیب ۳۰، ۲۰ و ۱۵ سانتی‌متر به‌عنوان بستر کشت استفاده شد. در هر بستر کشت ۸ گرم بذر چمن شبدری کاشته شد. روی بذرها با لایه نازکی از کود دامی الک شده پوشیده شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. فاکتورها تنش خشکی با ۳ سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، ۶۶ درصد (دو سوم) ظرفیت زراعی و ۳۳ درصد (یک سوم) ظرفیت زراعی) و فاکتور کوددهی شامل سیلیکات پتاسیم در ۴ سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم) بودند. تعیین ظرفیت زراعی خاک و نقطه

Table 1. Parameters of used soil for planting.

Parameters	Quantity
Total N (%)	0.15
P (mg/kg)	16.7
K (mg/kg)	235
Silt (%)	48
Clay (%)	25
Sand (%)	27
EC (ds/m)	2.5
pH	7.2

فرمول شماره ۲:

$$[(12.7 \times A663) - (2.69 \times A645)] \times V / 1000 \times W$$

= میلی گرم کلروفیل a در هر گرم برگ تر

فرمول شماره ۳:

$$[(22.9 \times A645) - (4.69 \times A663)] \times V / 1000 \times W$$

= میلی گرم کلروفیل b در هر گرم برگ تر

فرمول شماره ۴:

$$[(20.2 \times A645) + (8.02 \times A663)] \times V / 1000 \times W$$

= میلی گرم کلروفیل کل در هر گرم برگ تر

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) نمونه‌برداری با استفاده از قیچی از برگ رفرنس (آخرین برگ توسعه یافته) انجام و نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار داده شدند و در آزمایشگاه وزن تر آن‌ها با ترازو اندازه‌گیری شد. سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شده و به مدت ۲۴ ساعت در سردخانه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری شد. با قرار دادن اعداد حاصل از توزین با ترازوی دارای دقت یک‌ده‌هزارم در فرمول شماره ۵ محتوای نسبی آب برگ بدست آمد (Ritchi et al., 1990).

$$RWC = (FW - DW) / (SW - DW) \times 100$$

در این رابطه FW وزن تازه برگ، SW وزن اشباع برگ و DW وزن خشک برگ است.

فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از Eising and Gerhardt (1989) و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز طبق روش Dhindsa et al. (1982) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت سیلیسیم برگ از روش Elliott and Snyder (1991) استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم و همچنین اثر متقابل تنش کم‌آبی و سیلیکات پتاسیم بر کلیه صفات مورفولوژیکی مورد بررسی چمن شبدری معنی‌دار بود (جدول ۲).

ارتفاع گیاه

بیشترین ارتفاع گیاه (۶/۸۰ سانتی‌متر) در تیمارهای اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر سطح سیلیکات پتاسیم در ۱۰۰ و ۶۶ درصد ظرفیت زراعی نداشت. کمترین مقدار آن در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که با سایر سطوح سیلیکات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت. ارتفاع گیاه در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم نسبت به تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم ۳۸ درصد کاهش یافت (جدول ۳).

Tatari et al. (2015) کاهش ارتفاع چمن‌های *Agropyron*

Bromus inermis و *Poa pratensis L. desertorum* Fischer را تحت تاثیر تنش خشکی گزارش کردند که همسو با تحقیق حاضر است. به طور کلی آب از طریق افزایش میانگره‌ها و تعداد گره‌ها ارتفاع گیاه را افزایش می‌دهد. از آنجا که تقسیم و افزایش اندازه سلول به تنش خشکی بسیار حساس است، به نظر می‌رسد که در تیمارهای تحت تنش کم‌آبی، افزایش اندازه سلول تحت تاثیر قرار گرفته و با ممانعت از رشد طولی ساقه سبب کاهش ارتفاع گیاه گردیده است (Siddiqui et al., 2015).

Table 2. The analysis of variance (mean of squares) for water deficit, potassium silicate and their interaction on morphological traits of *Dichondra*

S.O.V	Degree of freedom	Mean of squares						
		Plant height	Fresh weight of shoot	Dry weight of shoot	Fresh weight of root	Dry weight of root	Root volume	Leaf area
Drought stress	2	14.0**	1670.0**	212.0**	291.0**	43.6**	885.0**	51002**
Potassium silicate	3	0.49*	54.9*	7.1*	35.08 ^{ns}	5.4 ^{ns}	59.1**	319 ^{ns}
Drought stress × potassium silicate	6	2.71**	345.0**	40.0**	64.7**	9.7**	177.0**	9366**
Error	24	0.13	12.9	1.64	14.7	2.1	14.3	124
% CV	-	6.3	8.4	8.5	8.9	9.0	6.6	2.2

*, ** significant difference at 5% and 1%, respectively. ^{ns}: not significant difference

Table 3. Interaction effects of different levels of water deficit and silicate potassium interaction on morphological traits of *Dichondra*

Drought stress	Potassium silicate (mg/l)	Means						
		Plant height (cm)	Fresh weight of shoot (g)	Dry weight of shoot (g)	Fresh weight of root (g)	Dry weight of root (g)	Root volume (cm ³)	Leaf area (cm ²)
100% FC	Control	6.30 ^a	47.67 ^a	17.00 ^a	42.00 ^{abc}	16.13 ^{abcd}	58.00 ^a	540.00 ^{ab}
	50	6.33 ^a	48.00 ^a	17.10 ^a	43.33 ^{abc}	16.62 ^{abc}	61.33 ^a	526.67 ^{ab}
	100	6.80 ^a	51.67 ^a	18.43 ^a	44.00 ^{abc}	16.92 ^{abc}	64.00 ^a	420.00 ^{ab}
	200	6.80 ^a	52.00 ^a	18.57 ^a	43.67 ^{abc}	16.77 ^{abc}	64.33 ^a	556.67 ^a
66% FC	Control	6.22 ^a	46.67 ^a	16.63 ^a	44.00 ^{abc}	16.85 ^{abc}	60.00 ^a	528.00 ^b
	50	6.23 ^a	48.33 ^a	17.26 ^a	46.67 ^{ab}	17.87 ^{abc}	60.67 ^a	425.00 ^b
	100	6.40 ^a	50.00 ^a	17.86 ^a	49.67 ^a	19.10 ^{ab}	64.00 ^a	550.00 ^{ab}
	200	6.63 ^a	50.33 ^a	17.93 ^a	50.00 ^a	19.23 ^{ab}	64.00 ^a	534.00 ^{ab}
33% FC	Control	4.23 ^b	25.00 ^b	8.93 ^b	35.00 ^d	13.40 ^d	44.33 ^b	430.00 ^c
	50	4.57 ^b	27.00 ^b	9.64 ^b	36.67 ^{cd}	14.06 ^{cd}	45.33 ^b	556.67 ^c
	100	4.77 ^b	31.67 ^b	11.28 ^b	39.00 ^{bcd}	14.95 ^{bcd}	49.33 ^b	535.33 ^c
	200	4.83 ^b	32.00 ^b	11.41 ^b	40.33 ^{bcd}	15.43 ^{bcd}	49.67 ^b	436.00 ^c

Means with the same letters in each column have not significant differences based on Duncans Multiple Range Test.

وزن تر و خشک اندام هوایی

در پژوهش حاضر کاهش ۴۸ درصدی وزن تر اندام هوایی در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و شاهد نسبت به تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کوددهی مشاهده شد. بنابراین تنش ۳۳ درصد ظرفیت زراعی تاثیر معنی‌داری در کاهش وزن اندام هوایی گیاه پوششی چمن شبدری دارد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر سطوح سیلیکات پتاسیم در ۱۰۰ و ۶۶ درصد ظرفیت زراعی نداشت. کمترین مقدار آن در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که با سایر سطوح سیلیکات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کاهش زیست‌توده تحت تاثیر تنش خشکی در اکثر ژنوتیپ‌های گیاه آفتاب‌گردان گزارش شده است. خروج آب از سلول‌ها مانع از رشد آن‌ها می‌گردد. از طرف دیگر با کوچک شدن و ریزش برگ‌ها منبع تولید آسمیلات‌ها در گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین مقدار موادی که به سلول‌ها می‌رسد به مراتب کاهش چشم‌گیری پیدا می‌کند، که در نهایت هم تعداد و هم اندازه سلول‌ها کاهش می‌یابد و متعاقباً کاهش در وزن تر و خشک اندام‌ها پدید می‌آید (Shooshtarian and Tahir and Mehid, 2001). (TehraniFar (2010) در تحقیقی کاهش زیست‌توده چمن‌های چایر معمولی (*Cynodon dactylon* L.)، پوا (*Poa portensis* L.) و فستوکا قرمز (*Festuca rubra* L.) را تحت تنش رطوبتی گزارش کردند.

وزن تر و خشک ریشه

در تحقیق حاضر افزایش ۱۵ درصدی وزن ریشه در تیمار اثر متقابل ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم نسبت به تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم مشاهده شد. همچنین در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم وزن ریشه ۸ درصد کاهش یافت (جدول ۳). گیاه پوششی چمن شبدری زمانیکه با تنش ملایم (۶۶ درصد) مواجه می‌شود، جهت دریافت آب و مواد معدنی بیشتر، ریشه‌ها خود را گسترش داده تا بتواند از محیط ریزوسفر بیشترین استفاده را داشته باشد. اما در تنش شدید (۳۳ درصد ظرفیت زراعی)، گیاه دیگر قادر به گسترش ریشه نبوده است و جهت حفظ نسبت وزن ریشه به اندام هوایی مجبور به کاهش ریشه می‌شود. (Sodaii zadeh et al. (2016) بیان کردند که یکی از مکانیسم‌های گیاه مرزه (*Satureja hortensis*) جهت تحمل تنش خشکی کاهش وزن اندام هوایی و افزایش ریشه است. در تحقیق حاضر هم وزن تر و هم خشک تحت تاثیر تنش شدید رطوبتی کاهش یافت. همچنین وجود سیلیکات پتاسیم سبب افزایش مقدار وزن ریشه در تیمارهای تحت تنش شده است که این امر به دلیل نقش سیلیسیم در افزایش اسیمیلاسیون گیاهی و پتاسیم در شدت بخشیدن به سنتز و تحرک کربوهیدرات است که در نتیجه باعث افزایش زیست‌توده گیاه می‌شود (Kamenidou et al., 2010 a,b).

حجم ریشه

میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در ۶۶ درصد ظرفیت زراعی نداشت. تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم کمترین مقدار کلروفیل a را ایجاد کردند که با سایر سطوح سیلیکات پتاسیم تفاوت معنی داری نداشت که با نتایج (Shafiei et al., 2019) همسو بود.

کلروفیل b

بیشترین مقدار کلروفیل b نیز متعلق به تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم و کمترین مقدار آن در تیمارهای اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم یا ۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم مشاهده شد (جدول ۵).

کلروفیل کل

بیشترین مقدار کلروفیل کل (۱/۱۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) نیز متعلق به تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم بود که تفاوت معنی داری با ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در همین سطح رطوبتی و تیمار اثر متقابل ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم نداشت. در پژوهش حاضر کاهش ۳۲ درصدی کلروفیل کل در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و شاهد نسبت به تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد مشاهده شد (جدول ۵). اثرات دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است (Mafakheri et al., 2010). محتوای کلروفیل برگ به عنوان یک عامل مهم در تعیین ظرفیت فتوسنتزی برگ محسوب می‌شود. در زمان بروز تنش خشکی انتقال الکترون از فتوسیستم دو به فتوسیستم یک گیرنده اصلی الکترون (NADP⁺) مختل شده و الکترون به مولکول اکسیژن منتقل می‌شود و در این زمان بالا بودن میزان کلروفیل باعث افزایش تولید میزان ROS می‌شود که اثرات تخریبی فراوانی بر کلروپلاست و سلول دارد و یکی از راهکارهای گیاهان برای کاهش تولید ROS، افزایش فعالیت آنزیمی به نام کلروفیلز می‌باشد که باعث تجزیه کلروفیل می‌شود اما از طرفی توانایی حفظ کلروفیل توسط گیاه تحت تنش می‌تواند سبب بهبود وضعیت رویش گیاهچه شود (Ahmadi and Siosemardeh, 2005).

تیمارهای اثر متقابل ۱۰۰ و ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم سیلیکات پتاسیم بیشترین حجم ریشه را ایجاد کردند و کمترین مقدار حجم ریشه در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم مشاهده شد (جدول ۳). (Volaire and Lelievre (2001) در پژوهشی نشان دادند که حجم ریشه در گیاهان پوششی *Festuca* و *Dactylis glomerata* و *arundinacea* تحت تاثیر تنش کاهش یافت. در تحقیق حاضر در تنش متوسط (۶۶ درصد ظرفیت زراعی) اختلاف معنی داری بین ۶۶ درصد و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی از نظر حجم ریشه مشاهده نشد که چنین روندی نشان از این دارد که این گونه پوششی می‌تواند تا دو سوم ظرفیت زراعی خاک را تحمل کند.

سطح برگ

تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم بیشترین سطح برگ (۵۵۶/۶۷ سانتی متر مربع) را ایجاد کرد (جدول ۳). در تحقیق حاضر کاهش سطح برگ تحت تاثیر تنش خشکی ناشی از تاثیر تنش بر کوچک شدن برگ‌ها دارد. در شرایط تنش اکثر گیاهان مکانسیم کاهش سطح برگ را به کار می‌برند، بنابراین در گیاه پوششی چمن شبدری نیز کاهش ۱۲ درصدی سطح برگ‌ها در تیمار ۳۳ درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. (Tatari et al., 2015) کاهش سطح برگ در چمن‌های اگروپایرون دزرتوروم، پوا پراتنسیس و بروموس اینرمیس تحت تاثیر تنش خشکی گزارش کردند که همسو با تحقیق حاضر است. کاهش سطح برگ سبب کاهش فعالیت فتوسنتزی در گیاه می‌شود که در نهایت سبب کاهش رشد در گیاه خواهد شد (Vardharajula et al., 2015).

صفات فیزیولوژیکی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی نیز تحت تاثیر اثرات اصلی تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم و همچنین اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم قرار گرفتند (جدول ۴).

کلروفیل a

بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم حاصل شد که تفاوت معنی داری با سطوح ۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰

Table 4. The analysis of variance (mean of squares) for water deficit, potassium silicate and their interaction on physiological traits of *Dichondra*

S.O.V	Degree of freedom	Mean of squares							
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Catalase	Superoxid dismutase	Relative Water Content	K	Si
Drought stress	2	0.29**	0.04**	0.55**	13.0**	162**	1247.0**	1166**	0.06**
Potassium silicate	3	0.004**	0.003**	0.01**	1.16 ^{ns}	0.08 ^{ns}	27.4 ^{ns}	93.5**	0.16**
Drought stress× potassium silicate	6	0.05**	0.008**	0.10**	4.5**	29.5**	235.0**	239.0**	0.05**
Error	24	0.004	0.0001	0.0004	0.19	0.06	1.38	3.41	0.001
% CV	-	2.8	5.8	2.12	5.2	2.1	1.5	4.5	3.75

*, ** significant difference at 5% and 1%, respectively. ^{ns}: not significant difference

Table 5. Interaction effects of different levels of water deficit and silicate potassium interaction on physiological traits of *Dichondra*

Drought stress	Potassium silicate (mg/l)	Means							
		Chlorophyll a (mg g ⁻¹ fresh weight)	Chlorophyll b (mg g ⁻¹ fresh weight)	Total chlorophyll (mg g ⁻¹ fresh weight)	Catalase (unit mg ⁻¹ protein)	Superoxid dismutase (unit mg ⁻¹ protein)	Relative Water Content (%)	K (mg g ⁻¹)	Si (mg g ⁻¹)
100% FC	Control	0.81 ^{bc}	0.24 ^{bc}	1.05 ^{cd}	0.14 ^c	8.30 ^c	83.33 ^{abc}	43.33 ^c	0.73 ^e
	50	0.84 ^{abc}	0.24 ^{bc}	1.08 ^{bc}	0.13 ^c	8.37 ^c	83.00 ^{bc}	50.33 ^a	0.88 ^d
	100	0.88 ^a	0.26 ^{ab}	1.14 ^a	0.14 ^c	8.50 ^c	85.33 ^a	48.00 ^{ab}	1.02 ^b
	200	0.87 ^a	0.27 ^a	1.13 ^a	0.13 ^c	8.20 ^c	85.00 ^{ab}	46.00 ^{bc}	1.08 ^a
66% FC	Control	0.80 ^c	0.21 ^{bc}	1.01 ^d	0.24 ^b	10.27 ^b	81.67 ^c	43.00 ^c	0.72 ^e
	50	0.82 ^{bc}	0.21 ^d	1.03 ^d	0.23 ^b	10.67 ^b	81.67 ^c	49.67 ^a	0.86 ^d
	100	0.84 ^{abc}	0.24 ^{bc}	1.08 ^{bc}	0.24 ^b	10.57 ^b	83.67 ^{abc}	45.00 ^{bc}	0.96 ^c
	200	0.85 ^{ab}	0.25 ^{abc}	1.10 ^{ab}	0.25 ^b	10.53 ^b	84.67 ^{ab}	42.67 ^{bc}	1.02 ^b
33% FC	Control	0.55 ^d	0.12 ^f	0.67 ^f	0.42 ^a	15.50 ^a	63.33 ^e	25.00 ^e	0.64 ^f
	50	0.56 ^d	0.12 ^f	0.68 ^f	0.42 ^a	15.67 ^a	64.00 ^e	33.00 ^d	0.77 ^d
	100	0.59 ^d	0.14 ^f	0.73 ^e	0.42 ^a	15.43 ^a	67.67 ^d	31.33 ^d	0.87 ^e
	200	0.57 ^d	0.17 ^e	0.74 ^e	0.43 ^a	15.47 ^a	68.67 ^d	26.67 ^e	0.88 ^e

Means with the same letters in each column have not significant differences based on Duncans Multiple Range Test

همچون بتااکسیداسیون اسیدهای چرب، اکسیداسیون در حین تنفس نوری و انتقال الکترون در زنجیره تنفسی میتوکندری را ایفا می‌کند (Scandalios et al. 1997). تنش خشکی سبب افزایش ROS در گیاه شده و سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان اولین خط دفاعی سیستم آنتی‌اکسیدانی در مقابل ROS فعال می‌شود و باعث تبدیل رادیکال O₂ به H₂O₂ می‌شود، در ادامه H₂O₂ ایجاد شده به مولکول آب و اکسیژن تجزیه می‌شود که این عمل توسط آنزیم کاتالاز انجام می‌شود (Gratão et al., 2005). آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اولین آنزیمی است که در چرخه آنتی‌اکسیدانی فعال می‌شود که در شرایط تنش افزایش می‌یابد (Chakraborty and Pradhan, 2012). افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تحت تنش خشکی در گیاهان گزارش شده است (Pan et al., 2006).

محتوای نسبی آب برگ

سیلیکات پتاسیم ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش مقدار محتوای کلروفیلی در تیمارهای ۱۰۰ درصد و ۶۶ درصد ظرفیت زراعی شد (جدول ۵). سیلیسیم موجب کاهش نفوذپذیری غشاء سلولی برگ‌ها به یون‌های سدیم و کلر شده است و موجب بهبود ساختمان کلروفیل در گیاهانی که به‌وسیله یون‌های کلر و سدیم آسیب دیده‌اند، می‌شود (Aucique Perez et al., 2014). سیلیسیم به‌وسیله افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کلروفیل، سطح برگ، فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش از بافت‌های گیاه محافظت می‌کند (Kaya et al., 2006).

آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز

آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب بیشترین فعالیت را در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم و تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم نشان دادند. کاتالاز نقش مهمی در حذف H₂O₂ تولیدشده به‌وسیله فرآیندهایی

سیتوپلاسم سلول است. برای ایجاد تعادل در یون پتاسیم نیاز به سنتز اسیدهای آلی در سلول می‌باشد، از این رو چنانچه میزان جذب پتاسیم زیاد شود، برای حفظ تعادل، سنتز اسیدها در گیاه ضرورت دارد (Wang et al., 2013).

سیلیسیم

بیشترین مقدار سیلیسیم (۱/۰۸ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. تاثیر مثبت سیلیکات پتاسیم و سیلیکات سدیم به‌عنوان منبع سیلیسیم بر بهبود شرایط عناصر معدنی گیاهان اثبات گردیده است (Ghasemi et al., 2020). نتایج این پژوهش با نتایج (Mirabbasi et al. 2013) که تاثیر سیلیکات پتاسیم، نانوسیلیس و کلریدکلسیم را بر شاخص کلروفیل و غلظت عناصر معدنی برگ لیلیوم آسیایی بررسی کردند، هم‌راستا بود. کاربرد سیلیسیم موجب افزایش توان فیزیولوژیک گیاه و از طرف دیگر سبب افزایش پتانسیل اسمزی درون بافت برگ شده و این مساله به نوبه خود سبب افزایش مکش آب و عناصر غذایی به داخل گیاه خواهد شد (Taiz et al., 2015).

نتیجه‌گیری کلی

تنش کم‌آبی اثر نامطلوبی روی گیاه چمن شبدری داشت به طوری که تنش ۳۳ درصد سبب تغییر معنی‌دار تمامی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مورد بررسی این گیاه شد. سیلیکات پتاسیم سبب افزایش برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شد به طوری که بهبود در مقدار برخی صفات در تیمارهای اثر متقابل ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم بیشتر از تیمارهای اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم بود. در همه سطوح آبیاری با کاربرد سیلیکات پتاسیم میزان سیلیسیم در برگ گیاه افزایش معنی‌داری یافت. بنابراین می‌توان در صورت مدیریت صحیح تیمار ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر را جایگزین تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و سیلیکات پتاسیم به میزان ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نمود.

سپاس‌گذاری

از کارکنان گلخانه پردیش کشاورزی منابع طبیعی تهران که در اجرای این تحقیق یاری نمودند، قدردانی می‌شود.

کمترین محتوای نسبی آب برگ (۶۳/۳۳ درصد) در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که با ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت. در این پژوهش کاهش ۲۴ درصدی محتوای نسبی آب برگ در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم نسبت به تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از سیلیکات پتاسیم مشاهده شد (جدول ۵). (Heidari et al. 2014) کاهش محتوای نسبی آب برگ را در گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum*) گزارش کردند که همسو با تحقیق حاضر است. اعمال تنش خشکی ابتدا سبب کاهش هدایت روزنه‌ای شده و سپس محتوای نسبی آب و کلروفیل کاهش می‌یابد. از طرفی دیگر سیلیکات پتاسیم سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ در تیمار اثر متقابل ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به تیمارهای اثر متقابل ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و ۵۰ و صفر میلی‌گرم در لیتر شد (جدول ۵). سیلیکات پتاسیم شرایط جذب آب را برای گیاه در شرایط تنش ملایم فراهم کرده است و با جذب آب بیشتر سبب افزایش فعالیت‌ها فیزیولوژیکی در گیاه شده است که از این فعالیت‌ها می‌توان به افزایش فعالیت فتوسنتزی در گیاه اشاره کرد (Taiz et al., 2015). در این راستا (Azizi et al., 2015) افزایش محتوای نسبی آب برگ در انگور را تحت تاثیر سیلیکات پتاسیم گزارش کردند.

پتاسیم

بیشترین مقدار عنصر پتاسیم (۵۰/۳۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار اثر متقابل ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم نداشت (جدول ۵). این نشان از آن است که غلظت‌های بالا سیلیکات پتاسیم مانع از جذب زیاد پتاسیم شده است. (Ratnayake et al. 2016) افزایش مقدار پتاسیم را تحت کاربرد خاکی در برگ‌های *Momordica charantia* گزارش کردند. پتاسیم در تثبیت موازنه یون‌های غیرمتحرک در سیتوپلاسم و یون‌های متحرک در واکوئل و تغییر در آوند چوب و آبکش نقش عمده‌ای دارد (Wang et al., 2013). تجمع اسیدهای آلی در سلول غالباً نتیجه انتقال یون پتاسیم بدون همراهی آنیون‌ها به درون

References

- Ahmadi, A., & Siosemardeh, A. (2005). Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and non-stomatal limitations. *Journal of Agricultural Biology*, 7(5), 807-811.
- Alizadeh, A. (2004). Soil and plant water relations. Imam Reza University Press. Mashhad. [In Persian]
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24(1), 1.

- Aroca, R. (2012). Plant responses to drought stress. From morphological to molecular features. Berlin. Springer-Verlag.
- Aucique Perez, C. E., Rodrigues, F. Á., Moreira, W. R., & DaMatta, F. M. (2014). Leaf Gas Exchange and Chlorophyll a Fluorescence in Wheat Plants Supplied with Silicon and Infected with *Pyricularia oryzae*. *Biochemistry and Cell Biology*, 104, 143-149.
- Azizi, H., Hassani, A., Rasouli Sadaghiani, M. H., Abbaspour, N., & Doulati Baneh, H. (2015). Effect of foliar application of potassium silicate and zinc sulphate on some physiological parameters of two grapevine cultivars under salt stress conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(4), 797-810.
- Bazrafshan, J., & Khalili, A. (2013). Spatial Analysis of Meteorological Drought in Iran from 1965 to 2003. *Desert*, 18(1): 63-71.
- Chakraborty, U., & Pradhan, B. (2012). Drought stress-induced oxidative stress and antioxidative responses in four wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58, 617-630.
- Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P. L., & Reid, D. M. (1982). Leaf senescence and lipid peroxidation: Effects of some phytohormones, and scavengers of free radicals and singlet oxygen. *Physiologia Plantarum*, 56(4), 453-457.
- Duan, R. Y., Wei, X. L., Jian, C. Y., Zhang, Y., Wang, Y. L., & Feng, Y. (2014). Effect of rhizobia on growth and physiological-biochemical character of biennial *Ormosia henryi* seedlings. *Journal of West China Forestry Science*, 43, 102-114.
- Elliott, C. L., & Snyder, G. H. (1991). Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(6), 1118-1119.
- Eising, R., & Gerhardt, B. (1989). Catalase synthesis and turnover during peroxisome transition in the cotyledons of *Helianthus annuus* L. *Plant Physiology*, 89, 1000-1005.
- Etamadi, N., & Kolah Raz, H. (2000). The use of grass in green spaces. The second national conference on the research of green spaces in Iran. 1379. Page 97. [In Persian]
- Figueroa, J. A., Teillier S., Guerrero, N., Ray, C., Rivano, S., Saavedra, D., & Castro, S. A. (2016). Vascular flora in public spaces of Santiago, Chile. *Gayana Botánica*, 73(1), 85-103.
- Ghasemi, K., Ghajar Sepanlou, M., & Hadadinejad, M. (2020). Effect of Silicon Nutrition on Strawberry cv. Camerosa Yield and Growth in Outdoor Hydroponic System. *Plant Production*, 43(1), 93-106.
- Gratão, P. L., Polle, A., Lea, P. J., & Azevedo, R. A. (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*, 32, 481-494.
- Heidari, N., Pouryousef, M., & Tavakoli, A. (2014). Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Research*, 5, 829-839.
- Imtiaz, M., Rizwan, M. S., Mushtaq, M. A., Ashraf, M., Shahzad, S. M., & Yousaf, B. (2016). Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: a review. *Journal of Environmental Management*, 183, 521-529.
- Inbar, J., Abramsky, M., Cohen, D., & Chet, I. (1994). Plant growth enhancement and disease control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings grown under commercial conditions. *European Journal of Plant Pathology*, 100(5), 337-346.
- Kafi, M., & Ghasemi-ghahsareh, M. (2011). Floriculture. Razavi Publication. [In Persian]
- Kamenidou, S., Cavins, T. J., & Marek, S. (2010a). Correlation between tissue and substrate silicon concentration of greenhouse produced ornamental sunflowers. *Journal of Plant Nutrition*, 34(2), 217-223.
- Kamenidou, S., Cavins, T. J., & Marek, S. (2010b). Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. *Scientia Horticulturae*, 123(3), 390-394.
- Karmollachaab, A., Bakhshandeh, A., Gharineh, M. H., Moradi Telavat, M. R., & Fathi, G. (2015). Effect of silicon application on morpho-physiological characteristics, grain yield and nutrient content of bread wheat under water stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 4 (14), 133-145.
- Kaya, C., Tuna, L., & Higgs, D. (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1469-1480.

- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P. C., & Sohrabi, E. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 4(8), 580-585.
- Mirabbasi, N., Nikbakht, A., Etemadi, N., & Sabzalian, M. (2013). Effect of different concentrations of potassium silicate, nano-silicon and calcium chloride on concentration of potassium, calcium and magnesium, chlorophyll content and number of florets of Asiatic lily cv. 'Brunello'. *Ejgcs. Soil and Plant Interactions*, 4(2), 41-50.
- Mosapour Yahyaabadi, H., & Asgharipour, M. R. (2015). Effect of silicon foliar application on yield and some physio-chemical properties of fennel under limited irrigation. *Journal of Crop Improvement*, 17(4), 1035-1048.
- Pan, Y., Wu, L. J., & Yu, Z. L. (2006). Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Plant Growth Regulation*, 49, 157-165.
- Ratnayake, R. M. R. N. K., Daundasekera, W. A. M., Ariyaratne, H. M., & Ganehenegge, M. Y. U. (2016). Soil application of potassium silicate reduces the intensity of downy mildew in bitter melon (*Momordica charantia* L.) leaves. *Ceylon Journal of Science*, 45(1), 23-31.
- Ritchi, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, 30(1), 105-111.
- Scandalios, J. G., Guan, L. M., & Polidoros, A. N. (1997). Oxidative stress and the molecular biology of antioxidant defenses. In: Scandalio, J.G. Ed. Cold Spring Harbor Lab. Press, Plainview, N.Y. pp.343-406.
- Shafiei, N., Khaleghi, E., & Moallemi, N. (2019). Effect of Salicylic Acid on Some Morphological and Biochemical Characteristics of Olive (*Olea europaea* cv. 'Konservalia') Under Water Stress. *Plant Production*, 42(1), 5-30.
- Shooshtarian, S., & Tehranifar, A. (2010). Study of application of xerophytic ground cover plants in urban landscape of Mashhad. *Journal of Mashhad Pazhoohi*, 2, 92-105. [In Persian]
- Siddiqui, M. H., Al-Khaishany, M. Y., Al-Qutami, M. A., Al-Whaibi, M. H., Grover, A., Ali, H. M., & Bukhari, N. A. (2015). Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(5), 10214-10227.
- Sodaii zadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady maibody, A. M., & Hakimzadeh, M. A. (2016). The Effects of Water Stress on some Morphological and physiological Characteristics of *Satureja hortensis*. *Journal of plant process Function*, 5(15), 1-12.
- Tahir, M. H. N., & Mehid, S. S. (2001). Evaluation of open pollinated sunflower (*Helianthus annuus* L.) populations under water stress and normal conditions. *International Journal of Agricultural Biology*, 3, 236-238
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy A. (2015). *Plant physiology and development*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Tatari, M., Fotouhi Ghazvini, R., Mousavi, A., & Etemadi, N. (2015). Study of some morphological characteristics in three turf grass species under drought stress conditions. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 5(2), 11-27.
- Tubana, B. T., & Heckman, J. R. (2015). Silicon in soils and plants. In: Rodrigues F. A., & Datnoff, L. E. Eds. *Silicon and Plant Disease*. Springer International Publishing Switzerland. pp. 7-51.
- Vardharajula, S., Zulfikar, A. S., Grover, M., Reddy, G., & Bandi, V. (2015). Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. *Journal of Plant Interactions*, 6(1), 1-14.
- Volaire, F., & Lelievre, F. (2001). Drought survival in *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea* under similar rooting conditions in tubes. *Plant and soil*, 229(2), 225-234.
- Yaghubi, K., Ghaderi, N., Vafae, Y., & Javadi, T. (2016). Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on two strawberry cultivars grown under soilless pot culture. *Scientia Horticulturae*, 213, 87-95.
- Yılmaz, H., Kuşak, B., & Akkemik, Ü. (2018). The role of Aşıyan Cemetery (Istanbul) as a green urban space from an ecological perspective and its importance in urban plant diversity. *Urban Forestry and Urban Greening*, 33, 92-98.
- Wang, Z., Schwartz, A. J., Ray, S. J., & Hieftje, G. M. (2013). Determination of trace sodium, lithium, magnesium, and potassium impurities in colloidal silica by slurry introduction into an atmospheric-pressure solution-cathode glow discharge and atomic emission spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 28(2), 234-240.

Wolch, J. R., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*, 125, 234-244.