نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد دهم، شماره سوم، ۱۳۹۹
۱۵۱-۱۶۶
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.17767.1933

ارزیابی تأثیر کاربرد کانی فلوگوپیت در بستر رشد شنی بر عملکرد و جذب پتاسیم گیاه جو تحت تنش خشکی

رضوان رضایی‌نژاد[۱]، *حسین خادمی[۲]، شمس‌الله ایوبی[۲]، محمدرضا مصدقی[۲] و فرهاد خرمالی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان،
[۳]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: خشکی مهم‌ترین تنش شناخته‌شده غیرزیستی است که اثر زیادی بر رشد و عملکرد محصولات مختلف در جهان دارد. از بین عناصر غذایی، پتاسیم (K) نقش مهمی در رشد و متابولیسم گیاه دارد و به زنده‌ماندن و تولید زیست‌توده مناسب گیاهان تحت شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی مختلف، به‌ویژه تنش خشکی کمک می‌کند. تحت شرایط تنش خشکی، پتاسیم بازشدن روزنه‌ها را تنظیم می‌کند و گیاهان را با کمبود آب سازگار می‌کند. در این پژوهش کانی فلوگوپیت به‌عنوان منبع غنی از پتاسیم و بهبوددهنده ویژگی‌های شیمیایی خاک (کود پتاسیمی) برای تعدیل آثار نامطلوب تنش خشکی بر رشد و عملکرد جو در شرایط گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه هیدروپونیک دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. بستر رشد مخلوطی از شن کوارتزی و فلوگوپیت تحت اعمال سطوح مختلف تنش خشکی بود و گیاهان به‌وسیله دو نوع محلول غذایی کامل و بدون پتاسیم در دوره پنج ماهه کشت تغذیه شدند. در پایان دوره کشت، شاخساره و ریشه گیاه جداگانه برداشت شده و وزن خشک آن‌ها یادداشت شد. مقدار پتاسیم در عصاره تهیه‌شده به روش خاکسترگیری خشک گیاه توسط فلیم‌فوتومتر تعیین شد. درصد رهاسازی پتاسیم از فلوگوپیت در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم محاسبه شده و تجزیه عنصری توسط روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) بر روی چند نمونه انتخابی از بستر کشت صورت گرفت.

یافته‌ها: وزن خشک و پتاسیم جذب‌شده در شاخساره و ریشه گیاهان رشدیافته در بستر حاوی فلوگوپیت، نسبت به بستر شاهد بیش‌تر بود. هم‌چنین افزایش این دو ویژگی در تیمار با محلول غذایی کامل، نسبت به گیاهان رشدکرده در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم مشاهده شد. تنش خشکی عملکرد و جذب پتاسیم گیاه را کاهش داد، بیش‌ترین کاهش وزن خشک و جذب پتاسیم در گیاهان تغذیه‌شده با محلول غذایی بدون پتاسیم، تحت تنش خشکی شدید مشاهده شد. همبستگی مثبت و زیادی بین وزن خشک شاخساره و پتاسیم جذب‌شده آن و وزن خشک ریشه و پتاسیم جذب‌شده آن وجود داشت. نتایج تجزیه عنصری ذرات فلوگوپیت پیش از استفاده و پس از کاربرد در بستر رشد با

* مسئول مکاتبه: hkhademi@cc.iut.ac.ir

میزان پتاسیم جذب‌شده توسط گیاه همخوانی داشت. بیش‌ترین درصد تخلیه پتاسیم از کانی در سطح بدون تنش خشکی مشاهده شد. علاوه بر این، نتایج تجزیه عنصری نشان داد که میزان پتاسیم کانی فلوگوپیت (K_2O) نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته و بیش‌ترین کاهش در تیمار بدون تنش خشکی، مشاهده شد. در کل به‌نظر می‌رسد کاربرد فلوگوپیت با رهاسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای خود، آثار منفی تنش خشکی را به‌دلیل نقش ویژه پتاسیم در تنظیم باز و بسته‌شدن روزنه‌های برگ، افزایش سرعت فتوسنتز و حفظ آب در بافت‌های گیاه کاهش می‌دهد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از کانی فلوگوپیت به عنوان یک منبع طبیعی و کم‌هزینه در کشور، به‌منظور تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، در بستر رشد گیاهان به‌ویژه در محیط‌های گلخانه‌ای برای کاهش آثار تنش خشکی مفید واقع شده است.

واژه‌های کلیدی: بستر رشد، تنش خشکی، رهاسازی پتاسیم، ریزوسفر، فلوگوپیت

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که بر تولید گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک اثر می‌گذارد (۵). کمبود آب در مراحل مختلف رشد آثار مضری بر محصولات زراعی و باغی دارد که میزان تخریب آن‌ها بسته به‌مدت تنش و مرحله رشد گیاه متفاوت است (۳). اجرای مدیریت کارآمد و تکنیک‌های پیشرفته برای حفظ رطوبت خاک، به‌عنوان یک روش مؤثر برای ارتقاء کارآیی آبیاری در نظر گرفته شده است. یک روش کارآمد برای استفاده بهینه از آب و بهبود عملکرد محصول استفاده از اصلاح‌کننده‌ها است (۳).

تأثیر نسبت‌های مختلف زئولیت و تنش خشکی بر پارامترهای رشد و عملکرد اسانس نعناع توسط قنبری و آریافر (۲۰۱۳) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار در تمام پارامترهای رشد به جز درصد روغن شد. کاربرد زئولیت آثار نامطلوب تنش خشکی را کاهش داده و میانگین همه صفات را افزایش داد (۵). هم‌چنین کاهش آثار منفی تنش خشکی و بهبود رشد و عملکرد با کاربرد زئولیت در گیاهان آلوئه‌ورا (۷) و برنج (۳۳) گزارش شده است. بررسی اثر بنتونیت بر رشد، ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک اسفناج در سطوح مختلف رطوبت نشان داد که بیش‌ترین وزن تازه و خشک در رطوبت زیاد به‌دست آمد. یافته‌های این پژوهش هم‌چنین نشان داد که با کاهش آب و افزایش بنتونیت، وزن خشک گیاه افزایش یافته و استفاده از بنتونیت کافی، تا حد زیادی آثار مضر تنش خشکی را کاهش می‌دهد (۳).

مواد اصلاح‌کننده ذکرشده، ویژگی‌های فیزیکی خاک را بهبود می‌بخشند و بیش‌ترین تأثیر را در افزایش گنجایش نگهداری آب در خاک، به‌منظور کاهش آثار تنش خشکی دارند. از طرفی رابطه قوی بین وضعیت تغذیه‌ای پتاسیم و مقاومت گیاه به خشکی گزارش شده است (٦). این عنصر نقش مهمی در حفظ فشار آماس سلولی، تنظیم اسمزی و عملکرد کانال‌های آبی غشاء سلولی تحت شرایط خشکی دارد و عرضه کافی پتاسیم می‌تواند ماده خشک گیاه را بهتر از غلظت‌های کم‌تر آن در خاک، تحت شرایط خشکی بهبود دهد (٦). پژوهش‌های متعددی کاربرد پتاسیم در کاهش آثار نامطلوب تنش کم‌آبی و خشکی را گزارش کرده‌اند. بر اساس پژوهش زین و همکاران

(۲۰۱٤) افزایش کاربرد پتاسیم تحت تنش آبی در برنج به‌دلیل افزایش سرعت تعرق، باعث افزایش جذب عناصر غذایی، عملکرد و زیست‌توده شد و آثار منفی تنش آبی را کاهش داد (۳۲). همچنین کاهش آثار منفی تنش خشکی بر پارامترهای رشد دو رقم ذرت تحت تنش خشکی، با کاربرد کود سولفات پتاسیم توسط ازلم و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است، این پژوهشگران افزایش فتوسنتز و افزایش کربوهیدرات‌ها را پس از کاربرد کود پتاسیم، دلیل افزایش وزن گیاه دانستند (۲).

حدود ۹۰ تا ۹۹ درصد پتاسیم خاک‌ها، درون کانی‌ها به‌ویژه میکاها، فلدسپارها و ترکیب‌های به‌دست آمده از هوادیدگی آن‌ها، واقع شده است (۸). این مواد معدنی می‌توانند در کشاورزی به‌عنوان منبع جایگزین پتاسیم استفاده شوند و به‌عنوان کودهای کند- رهش مورد استفاده قرار گیرند (۲۱ و ۲۲). فلوگوپیت نوعی میکای تری‌اکتاهدرال است که به‌عنوان محصول دگرگونی سنگ آهک منیزیمی یا سنگ آهک دولومیتی و هم‌چنین سنگ‌های سرپانتینی وارد خاک‌ها می‌شود و مانند دیگر میکاها، لایه‌های آن با کاتیون‌ها به‌ویژه پتاسیم به یکدیگر متصل شده‌اند (۲۵). گیاهان می‌توانند از پتاسیم رهاشده در نتیجه تغییر کانی میکایی استفاده کنند. رهاسازی پتاسیم پس از کشت گیاهان، در محیط ریزوسفر رخ می‌دهد. هینسینجر و همکاران (۱۹۹۲) بیان کردند که میکاهای تری‌اکتاهدرال می‌توانند به‌طور چشم‌گیری نیاز پتاسیمی گیاه را حداقل در قسمت فعال ریشه (ریزوسفر) فراهم نمایند (۱۰). نوروزی و خادمی (۲۰۱۰) دریافتند که پس از ۹۰ روز، یونجه توانائی زیادی در جذب پتاسیم بین‌لایه‌ای از کانی‌های فلوگوپیت و بیوتیت دارد، درحالی‌که موسکویت پتاسیم کمی در اختیار گیاه قرار می‌دهد (۱۷). افزایش معنی‌دار در جذب پتاسیم کل در گیاهان یونجه کشت‌شده در بستر حاوی فلوگوپیت و مواد آلی به هوادیدگی فلوگوپیت و رهاسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای نسبت داده شد (۱٦). علاوه بر این، نتایج پژوهش هینسینجر و همکاران (۱۹۹۳) نشان داد که کلزا می‌تواند در محیطی که کانی فلوگوپیت تنها منبع تأمین‌کننده پتاسیم و منیزیم برای گیاه است، پس از چهار روز آزادسازی این دو عنصر را افزایش دهد (۹).

با توجه به افزایش گرمایش جهانی و بروز خشکسالی‌های اخیر، بررسی مشکلات کمبود آب و تنش خشکی و پیامدهای آن برای گیاهان، از مهم‌ترین مسائل کشاورزی است. در همین راستا پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد فلوگوپیت به‌عنوان یک منبع غنی پتاسیم و یک اصلاح‌کننده (کود پتاسیمی) در شرایط تنش خشکی بر عملکرد گیاه جو انجام گرفت. اهداف این پژوهش عبارتند از: ۱- بررسی تأثیر تنش خشکی بر آزادسازی پتاسیم از کانی فلوگوپیت و جذب آن توسط گیاه جو و ۲- بررسی توانایی فلوگوپیت به‌عنوان اصلاح‌کننده بستر رشد در تعدیل آثار منفی تنش خشکی.

مواد و روش‌ها

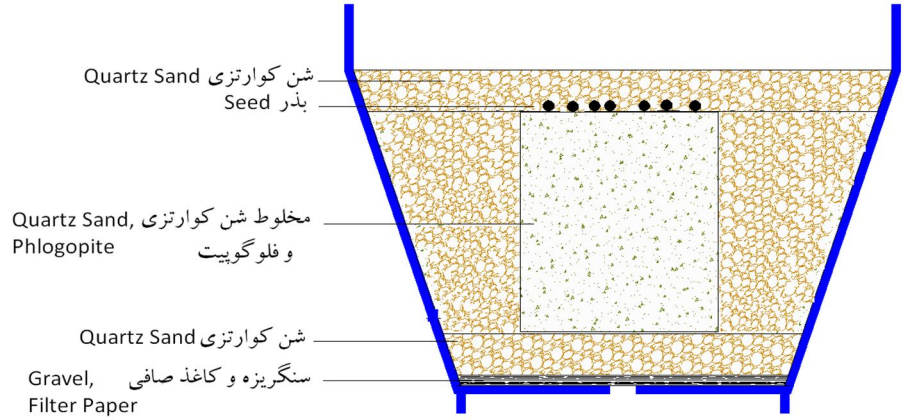
این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و به‌صورت فاکتوریل با سه فاکتور و سه تکرار و در مجموع ۳٦ گلدان در گلخانه هیدروپونیک دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. فاکتورها شامل بستر رشد در دو سطح شن کوارتزی و مخلوط شن کوارتزی با کانی فلوگوپیت، دو نوع محلول غذایی شامل محلول غذایی کامل (+K) و محلول غذایی بدون پتاسیم (-K) و تنش خشکی شامل بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید بودند. شن کوارتزی از معدن توما در اصفهان و فلوگوپیت از معدن میکا در ارومیه تهیه شد. بر اساس نتایج تجزیه عنصری فلورسانس پرتو ایکس (XRF) انجام‌شده توسط آزمایشگاه مرکزی دانشگاه

اصفهان و شرکت آذر طلق، به ترتیب مقدار K_2O موجود در شن کوارتزی ۰/۰۱ درصد و در کانی فلوگوپیت ۱۰/۱۳ درصد بود (جدول ۱). به‌دلیل ناچیزبودن میزان K_2O در شن کوارتزی از آن به‌عنوان ماده پرکننده، بدون ایجاد مشکل در نتایج حاصل از تیمارها در این آزمایش استفاده شد. ذرات شن کوارتزی با قطر بزرگ‌تر از ۷۵ میکرون و کانی رسی فلوگوپیت با اندازه ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون برای تهیه بستر رشد به‌کار برده شدند.

گلدان‌های شاهد، با شن کوارتزی به‌عنوان ماده پرکننده پر شدند. گلدان‌هایی که دارای فلوگوپیت بودند به‌گونه‌ای پر شدند که تنها میان گلدان‌ها (ناحیه ریزوسفری) دارای مخلوط شن کوارتزی و کانی رسی باشد و اطراف آن با شن کوارتزی پر شد (شکل ۱). مقدار فلوگوپیت افزوده‌شده به هر گلدان (۷۵ گرم) به‌گونه‌ای بود که به‌میزان برابر ۰/۳۵ درصد K_2O را تأمین کند. سپس بذور جو (رقم نصرت، نیمه‌متحمل به خشکی) به‌عنوان گیاه محک در قسمت مرکزی گلدان کاشته شدند که ریشه‌دوانی آن‌ها در ناحیه دارای مخلوط شن کوارتزی و کانی رسی باشد. روی بذور با شن کوارتزی و سپس کاغذ صافی پوشانده شد. در طول دوره کشت، آبیاری برحسب نیاز گیاه با آب مقطر یا محلول غذایی استگنر (K+ یا K-) طبق جدول ۲ انجام شد (۲۶). پس از گذشت دو ماه از رشد گیاه، تنش خشکی به‌مدت سه ماه روی گیاهان اعمال شد.

سطوح تنش خشکی به روش وزنی اعمال شد. در ابتدا منحنی مشخصه رطوبتی شن و کانی رسی و مخلوط آن‌ها با استفاده از دستگاه‌های جعبه شن و صفحه فشار در مکش‌های ماتریک ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. بر اساس یافته‌های راویو و لیث (۲۰۰۸)، آب قابل‌استفاده برای گیاه در محیط‌های کشت بدون خاک بین مکش‌های ماتریک ۱۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر قرار دارد (۲۰). از این رو در این پژوهش، سه سطح تنش خشکی شامل بدون تنش یا شاهد، حدود ۱۰۰٪ گنجایش زراعی (FC۱۰۰٪) یا مکش ماتریک ۱۰ سانتی‌متر، تنش متوسط، حدود ۵۰٪ گنجایش زراعی (FC۵۰٪) یا مکش ماتریک ۳۰ سانتی‌متر و تنش شدید، حدود ۲۵٪ گنجایش زراعی (FC۲۵٪) یا مکش ماتریک ۱۰۰ سانتی‌متر انتخاب شد. با توجه به مقدار رطوبت در هر سطح تنش و وزن بستر رشد، مقدار آب مورد نیاز در هر گلدان و وزن نهایی گلدان محاسبه شد. مقدار رطوبت گلدان‌ها با توزین روزانه آن‌ها و افزودن آب مقطر یا محلول غذایی (کامل یا بدون پتاسیم) به وزن موردنظر در سطح تنش موردنظر، تقریباً ثابت نگه‌داشته شد. پس از برداشت، نمونه‌های شاخساره و ریشه برداشت‌شده در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. وزن خشک ریشه و شاخساره هر نمونه اندازه‌گیری شد. غلظت پتاسیم ریشه و شاخساره با روش هضم خشک با اسیدکلریدریک ۲ نرمال توسط دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل corning 410) اندازه‌گیری شده و مقدار جذب پتاسیم در شاخساره و ریشه از حاصل‌ضرب وزن خشک آن‌ها (گرم در گلدان) در غلظت پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم) محاسبه شد. درصد رهاسازی پتاسیم از فلوگوپیت یا درصد تخلیه (مقدار پتاسیم جذب‌شده از کل پتاسیم داده‌شده به گیاه در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم) محاسبه شد. همه این محاسبات بر روی هر سه تکرار نمونه‌ها انجام شد.

تجزیه عنصری XRF با دستگاه S4PIONEER ساخت شرکت Bruker آلمان بر روی چند نمونه انتخابی صورت گرفت (۱). داده‌های به‌دست آمده از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد.



شکل ۱- شکل شماتیک از گلدان‌های آزمایش.

Figure 1. Schematic diagram of experimental pots.

جدول ۱- نتایج تجزیه عنصری XRF (بر حسب درصد) فلوگوپیت و شن کوارتزی مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Elemental analysis (XRF) of phlogopite and quartz sand used in the experiment.

Total	LOI	MnO	Na_2O	CaO	Fe_2O_3	K_2O	Al_2O_3	MgO	SiO_2	کانی Mineral
99.87	4.11	0.11	0.24	2.22	4.93	10.13	15.90	23.09	38.11	فلوگوپیت Phlogopite
100	0.4	-	0.005	0.48	0.07	0.01	0.04	0.15	99.03	شن کوارتزی Quartz sand

LOI: کاهش وزن در دمای زیاد

LOI: Loss on ignition

جدول ۲- ترکیب محلول غذایی.

Table 2. Composition of nutrient solutions.

محلول غذایی بدون پتاسیم (میلی‌لیتر محلول غذایی مادر در یک لیتر آب مقطر) K-free nutrient solution (ml stock solution per liter distilled water)	محلول غذایی کامل (میلی‌لیتر محلول غذایی مادر در یک لیتر آب مقطر) Complete nutrient solution (ml Stock solution per liter distilled water)	نوع نمک محلول مادری Salt source of stock solution	شماره محلول Solution number
7.5	5	1M $Ca(NO_3)_2.4H_2O$	1
2	2	1M $MgSO_4.7H_2O$	2
-	5	1M KNO_3	3
-	1	1 M KH_2PO_4	4
25	-	0.05M $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$	5
2.5	2.5	FeEDDHA 6%	6
1	1	Trace elements (H_3BO_3, $MnCl_2.4H_2O$, $ZnSO_4.7H_2O$, $CuSO_4.5H_2O$, $H_2MoO_4.H_2O$)	7

نتایج و بحث

تأثیر تنش خشکی بر وزن خشک شاخساره و ریشه:

جدول ۳ تجزیه واریانس وزن خشک و جذب پتاسیم در شاخساره و ریشه جو را نشان می‌دهد. تأثیر سه فاکتور آزمایش شامل نوع بستر کشت، نوع محلول غذایی و سطح تنش خشکی بر مقادیر وزن خشک شاخساره و ریشه گیاه جو، معنی‌دار شد. هم‌چنین اثر برهم‌کنش‌های فاکتورهای ذکرشده (به‌جز اثر برهم‌کنش سه فاکتور بر وزن خشک ریشه) نیز معنی‌دار شد.

مقادیر میانگین وزن خشک شاخساره و ریشه در شکل‌های ۲ (a) و (b) نشان داده شده است. با افزایش تنش خشکی در هر یک از بسترهای رشد، میزان وزن خشک شاخساره کاهش معنی‌داری نشان داد، که کاهش وزن در گیاهان تغذیه‌شده با محلول تغذیه‌ای بدون پتاسیم مشهودتر بود. کم‌ترین وزن خشک کل گیاه مربوط به بستر شاهد تغذیه‌شده با محلول غذایی بدون پتاسیم در تنش خشکی شدید بود (۵/۱۳ گرم در گلدان). در این بستر رشد علاوه بر وجود تنش خشکی، هیچ منبع تغذیه‌ای پتاسیمی نیز وجود نداشته و رشد گیاهان به شدت کاهش یافته است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده وزن خشک گیاه (ریشه و شاخساره) متأثر از میزان جذب پتاسیم توسط گیاه بود. علاوه بر آن، رهاسازی پتاسیم از کانی فلوگوپیت نیز تحت‌تأثیر شرایط تنش خشکی قرار گرفت. افزایش تنش خشکی و کمبود آب، کاهش رشد ریشه، کاهش میزان مواد مترشحه ریشه موثر در هوادیدگی، کاهش رهاسازی پتاسیم و کاهش پدیده انتشار در نتیجه کاهش جذب پتاسیم از فلوگوپیت را به‌همراه داشته است. کاهش جذب پتاسیم و به دنبال آن کاهش وزن خشک، تحت شرایط تنش خشکی توسط دانشمندان زیادی گزارش شده است (۱۱ و ۲۳). وزن خشک کم‌تر گیاه نیشکر تحت تنش شدید خشکی در مقایسه با گیاهان بدون تنش، به کاهش سرعت فرآیندهای فیزیولوژیک با آثار منفی بر رشد گیاه، ناشی از کمبود آب نسبت داده شد (۲۳).

با توجه به اثر برهم‌کنش دو فاکتور تنش خشکی و وضعیت محلول غذایی، در سطوح تنش خشکی، گیاهان با وضعیت تغذیه‌ای کامل، وزن خشک شاخساره بیش‌تری نسبت به گیاهان با وضعیت تغذیه‌ای بدون پتاسیم داشته‌اند. در هر بستر رشد بیش‌ترین وزن خشک شاخساره در تیمار بدون تنش خشکی و وضعیت تغذیه‌ای کامل و کم‌ترین وزن خشک شاخساره در تیمار تنش خشکی شدید با وضعیت تغذیه‌ای بدون پتاسیم مشاهده شد. به‌طور کلی وزن خشک گیاه در شرایط تغذیه‌ای کامل نسبت به گیاهان تغذیه‌شده با محلول غذایی بدون پتاسیم بیش‌تر بود. پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر غذایی اصلی رشد گیاه است و نقش اساسی در فعالیت آنزیم‌ها، ساخت پروتئین‌ها و فتوسنتز ایفا می‌کند (۱۵) تحت شرایط تنش خشکی، پتاسیم باز وبسته شدن روزنه‌ها را تنظیم می‌کند و گیاهان را به کمبود آب تطبیق می‌دهد (٦). ازلم و همکاران (۲۰۱۳) بهبود کارایی فتوسنتز در نتیجه کاربرد پتاسیم در کشت هیبریدهای ذرت را دلیل افزایش وزن خشک شاخه بیان کردند که این افزایش وزن خشک شاخه حتی در تنش خشکی مشاهده شد (۲). کاربرد پتاسیم فتوسنتز را افزایش می‌دهد که در نتیجه کربوهیدرات‌ها افزایش می‌یابد (۲۹). بدین‌ترتیب کاربرد پتاسیم باعث افزایش کارایی کربوکسیلاسیون در شرایط تنش خشکی می‌شود که باعث افزایش وزن خشک شاخه‌ها می‌شود (۱۵). زین و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که عملکرد برنج، شاخص برداشت و سایر پارامترهای فیزیولوژیک با افزایش طول مدت تنش آبیاری کاهش یافت در حالی‌که استفاده از کود پتاسیم اضافی تأثیر

افزایشی بر این پارامترها داشت. این پژوهشگران این گونه نتیجه‌گیری کردند که کود اضافی پتاسیم می‌تواند برای کاهش اثر تنش آبی در برنج مفید باشد. تحمل خشکی در گیاه برنج با افزودن کود پتاسیم ممکن است به‌دلیل افزایش تولید اسمولیت‌ها (از جمله گلیسین، بتائین، پرولین و سایر اسیدهای آمینه) و اسیدهای آلی باشد که برای حفظ کارکردهای سلولی تحت تنش آب بسیار مهم هستند (۳۲).

به‌طورکلی آثار منفی تنش خشکی بر وزن خشک شاخساره با کاربرد فلوگوپیت کاهش یافته است. افزودن کانی فلوگوپیت به بستر شاهد، باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخساره حتی در شرایط تغذیه‌ای کامل شده است. این یافته نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنی‌دار کاربرد کانی فلوگوپیت به دلیل بهبود شرایط فیزیکی بستر رشد از طریق افزایش گنجایش نگهداشت آب نسبت به بسترهای رشد بدون این کانی و به‌ویژه به‌دلیل رهاسازی پتاسیم و تعدیل آثار تنش خشکی به‌دلیل نقش ویژه و مهم پتاسیم در تنظیم اسمزی گیاه در شرایط کم‌آبی است. برخی از دانشمندان تأثیر کاربرد اصلاح‌کننده‌ها در کاهش آثار منفی تنش خشکی را گزارش کرده‌اند. بندیان (۲۰۱٦) افزایش رشد رویشی اسفناج در حضور بنتونیت، تحت تنش خشکی را به بهبود شرایط فیزیکی بستر کشت نسبت دادند که ناشی از افزایش گنجایش نگهداری آب، افزایش جذب مواد مغذی و کاهش تبخیر آب از سطح بود (۳). هم‌چنین کایاما و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردند که نهال‌های ساج در بستر خاک شنی، با کاربرد بنتونیت از تنش خشکی آسیب ندیده، اگرچه رشد آن‌ها به‌دلیل عدم وجود مواد مغذی در بنتونیت نیز افزایش نیافت (۱۲). کاربرد زئولیت به‌طور معنی‌داری آثار منفی تنش خشکی بر نعناع، آلوئه‌ورا و برنج را کاهش داده و رشد و عملکرد آنها را بهبود بخشید (۵، ۷ و ۳۳). عملکرد محصولات زراعی با مکانیسم‌های تنظیم اسمزی همبستگی دارد. به‌طوری‌که در اثر افزایش غلظت مواد اسمزی و ابقاء فشار آماس در سلول‌های نگهبان روزنه‌های برگ، گیاهان قادرند روزنه‌های خود را در شرایط تنش خشکی باز نگه داشته، ثبیت دی‌اکسید کربن را ادامه داده و باعث افزایش وزن خشک گیاه می‌شود (۵، ۷ و ۳۳).

مقادیر میانگین وزن خشک ریشه در شکل ۲b نشان داده شده است. تأثیر تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک ریشه مشابه شاخساره بود به‌طوری‌که تیمارهای تغذیه‌شده با محلول غذایی کامل دارای بیش‌ترین وزن خشک بوده و در بین تیمارهای بدون پتاسیم نیز گیاهان رشدکرده در بستر حاوی فلوگوپیت تحت‌تأثیر بود یا نبود پتاسیم در محلول غذایی قرار نگرفت. مقدار وزن خشک ریشه در مقایسه با اندام هوایی کم‌تر بود. وزن خشک کم‌تر ریشه در مقایسه با شاخساره در پژوهش‌های شی و همکاران (۲٤) و یوآن و همکاران (۳۱) نیز مشاهده شده است. در هنگام تنش خشکی شاخساره گیاه بیش‌تر از ریشه آسیب می‌بیند؛ بنابراین کاهش بیش‌تری را نشان می‌دهد به همین دلیل نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره افزایش یافته است (داده‌ها نشان داده نشده است). زو و همکاران (۲۰۱٤) بیان داشتند که تنش خفیف آب، رشد شاخساره را محدود می‌کند، در حالی‌که تأثیر آن بر رشد ریشه کم است (۳۰). این پژوهشگران افزایش نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره را نتیجه کاهش بیش‌تر زیست‌توده شاخساره و نسبت بیش‌تر کربوهیدرات‌های ذخیره‌شده ریشه در شرایط تنش خشکی دانستند (۳۰). افزایش نسبت ریشه به شاخساره (اندام جذب‌کننده آب نسبت به اندام مصرف‌کننده آب) یکی از مکانیسم‌های اجتناب است که گیاه را قادر می‌سازد جذب آب را در شرایط تنش خشکی به حداکثر برساند (٤ و ۲۸).

تأثیر تنش خشکی بر جذب پتاسیم شاخساره و ریشه: نتایج تأثیر تنش خشکی بر میزان پتاسیم جذب‌شده شاخساره و ریشه گیاه در شکل‌های ۳ (a و b) نشان داده شده است که روند نمودارها مشابه با نمودارهای وزن خشک شاخساره و ریشه گیاه است. با افزایش تنش خشکی در بسترهای رشد میزان پتاسیم جذب‌شده شاخساره کاهش یافت. کم‌ترین مقدار پتاسیم جذب‌شده در بستر شاهد و سطح تنش خشکی شدید مشاهده شد. با افزودن کانی فلوگوپیت به بستر رشد، در هر سطح تنش خشکی میزان جذب پتاسیم افزایش یافت، که با روند نتایج وزن خشک شاخساره هم‌خوانی داشت. این نتیجه نشان‌دهنده تأثیر مثبت کاربرد کانی فلوگوپیت در کاهش اثر تنش خشکی بر میزان پتاسیم جذب‌شده در شاخساره است. کاهش تأثیر تنش خشکی در تیمارهای تغذیه‌شده با محلول غذایی دارای پتاسیم، نسبت به محلول غذایی بدون پتاسیم در میزان پتاسیم جذب‌شده در شاخساره به وضوح دیده شد و در هر سطح تنش خشکی بیش‌ترین مقدار پتاسیم جذب‌شده در تیمارهای تغذیه‌شده با محلول غذایی کامل مشاهده شد. در شرایط تغذیه‌ای با محلول غذایی کامل، بین بستر شاهد و بستر دارای فلوگوپیت در سطوح تنش مشابه تفاوت چشم‌گیر در میزان پتاسیم جذب‌شده مشاهده شد که احتمالاً به‌دلیل افزودن کانی و بهبود شرایط فیزیکی بستر رشد است. علاوه بر این، تفاوت مشاهده‌شده در این شرایط تغذیه‌ای بین گیاهان از نظر میزان پتاسیم جذب‌شده شاخساره، به سطوح متفاوت تنش خشکی اعمال‌شده نیز ربط دارد. از آن‌جائی‌که کانی فلوگوپیت حاوی مقادیر قابل‌توجهی منیزیم قابل آزادسازی نیز می‌باشد، نقش منیزیم آزادشده از فلوگوپیت در افزایش رشد گیاه نیز محتمل است.

مقادیر پتاسیم جذب‌شده به‌وسیله ریشه (شکل ۳-b) نیز روند کلی مشابه شاخساره را نشان داد اما باید گفت که پتاسیم جذب‌شده توسط ریشه گیاه جو به‌علت تولید زیست‌توده کم‌تر و غلظت کم‌تر پتاسیم ریشه در مقایسه با شاخساره بسیار کم‌تر است. سیلوا و همکاران (۲۰۱٤) بیان کردند که مقدار مواد مغذی موجود در شاخه‌ها مرجعی برای ارزیابی تغذیه گیاه است، اگرچه ممکن است رابطه معکوس با عملکرد ناشی از اثر رقت مواد مغذی در گیاه داشته باشد؛ بنابراین برای درک این آثار، تجمع مواد مغذی همراه با وزن خشک و عملکرد دانه (فاکتور جذب مواد مغذی) باید محاسبه شود (۲۲). با توجه به‌دلیل ذکرشده داده‌های غلظت پتاسیم آورده‌نشده و مورد بررسی نیز قرار نگرفت.

جانجیتکاران و همکاران (۲۰۱۳) کاهش جذب مواد مغذی (از جمله پتاسیم) در شرایط خشکی در ژنوتیپ‌های بادام‌زمینی در نتیجه کاهش عملکرد و رشد این گیاه را این گونه بیان کردند که کاهش دسترسی به آب تحت تنش خشکی، میزان انتشار بسیاری از مواد مغذی گیاه مانند پتاسیم را تحت‌تأثیر قرار داده، ترکیبات و غلظت‌های مواد محلول خاک به‌عبارتی مواد مغذی نیز تحت‌تأثیر خشکی قرار گرفته و سبب کاهش جذب پتاسیم شده است (۱۱). سیلوا و همکاران (۲۰۱۷) تجمع کم پتاسیم در گیاهان تحت تنش شدید خشکی در مقایسه با گیاهان رشدیافته در شرایط بدون تنش را نتیجه مقدار وزن خشک کم‌تر در گیاهان تحت تنش دانستند (۲۳). کاهش تحرک پتاسیم در خاک، کاهش شدت تعرق و فعالیت ناقص ناقل‌های غشای ریشه و تغییرات مورفولوژیک ریشه به‌دلیل شرایط تنش خشکی از دیگر دلایل کاهش میزان پتاسیم جذب‌شده توسط گیاه ذکر شده است (۱۸).

پیامدهای منفی تنش خشکی با کاربرد کانی فلوگوپیت و تأمین پتاسیم گیاه کاهش یافت. در سطوح تنش خشکی، وزن خشک و میزان پتاسیم جذب‌شده توسط اندام هوایی و ریشه گیاه در

بسترهای رشد دارای فلوگوپیت نسبت به بستر رشد شاهد بیش‌تر بود. توانایی ریشه‌های گیاهان مختلف برای جذب پتاسیم بین‌لایه‌ای فلوگوپیت در پژوهش‌های گوناگون پس از کشت گیاه یونجه توسط نادری‌زاده و همکاران (۲۰۱۰) و نوروزی و خادمی (۲۰۱۰) و برای گیاه فسکیو توسط خیامیم و همکاران (۲۰۱۱)، گزارش شده است (۱۳، ۱٦ و ۱۷). هینسینجر و همکاران (۱۹۹۲ و ۱۹۹۳) اهمیت پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه گیاه را با مشاهده آزادسازی چشم‌گیر پتاسیم بین‌لایه‌ای فلوگوپیت به‌ترتیب توسط ریشه‌های رای‌گراس و کلزا تأیید کردند (۹ و ۱۰).

با توجه به شکل ٤ رابطه مثبت و قوی بین وزن خشک شاخساره و پتاسیم جذب‌شده آن و بین وزن خشک ریشه و پتاسیم جذب‌شده آن وجود داشت، با افزایش مقدار پتاسیم جذب‌شده، عملکرد گیاه افزایش یافت، که نقش حیاتی عنصر پتاسیم در رشد گیاه را نشان داد. به‌عبارت دیگر کمبود پتاسیم مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد بوده است. این همبستگی مثبت و معنی‌دار در پژوهش حاضر، توسط دیگر نویسندگان در گیاهان یونجه (۱۷)، نیشکر (۲۳) و بادام‌زمینی (۱۱) نیز گزارش شده است.

درصد تخلیه پتاسیم از کانی فلوگوپیت و تغذیه‌شده با محلول غذایی بدون پتاسیم در گیاه جو در جدول ٤ نشان داده شده است. بیش‌ترین مقدار تخلیه در سطح بدون تنش خشکی مشاهده شد. علاوه بر این، نتایج XRF نمونه‌های انتخابی تحت شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم، نشان داد که میزان پتاسیم کانی فلوگوپیت (K_2O) نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت و بیش‌ترین کاهش (۳۸/۸ درصد) در تیمار بدون تنش خشکی، به‌دلیل تأمین نیاز پتاسیمی گیاهان، مشاهده شد (جدول ۵). با توجه به این نتایج، اگرچه افزایش تنش خشکی میزان رهاسازی پتاسیم را کاهش داده است اما این عمل به‌منظور تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، در زمانی که هیچ منبع تأمین‌کننده دیگری وجود ندارد، رخ داده است. خیامیم و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که گیاه جو به‌رغم نیاز کم‌تر به پتاسیم در مقایسه با گیاهان یونجه و فسکیوی بلند، به‌علت سرعت رشد زیاد و عملکرد بیش‌تر به‌علت پاره‌ای از دلایل مورفولوژیک هم‌چون نوع سیستم ریشه‌ای و عوامل فیزیولوژیک مانند نوع و مقدار ترشحات ریشه‌ای، جذب پتاسیم بیش‌تری داشته است (۱۳). ونت ورت و روسی (۱۹۷۲) مقدار پتاسیم جذب‌شده توسط گیاه جو در طول دو هفته کشت در محیط فلوگوپیت را ۲۰۳ میلی‌گرم بر گلدان گزارش کرده و یادآور شدند که در این مدت ۸ درصد کل پتاسیم افزوده‌شده به گلدان توسط گیاه جذب شده است (۲۷). میزان تخلیه پتاسیم در ارقام پرمحصول کلزا نسبت به ارقام کم‌بازده به‌دلیل توانایی جذب بیش‌تر، زیادتر بوده است (۲٤). نتایج تجزیه عنصری ذرات فلوگوپیت پیش از استفاده و پس از کاربرد در محیط ریشه با استفاده از روش XRF با میزان پتاسیم جذب‌شده هم‌خوانی داشت. ریزوسفر جو سبب رهاسازی پتاسیم از فلوگوپیت شده و پتاسیم گیاه را تامین کرده و بیش‌ترین میزان کاهش نیز در تیمار بدون تنش مشاهده شد. کاهش میزان K_2O در نتایج تجزیه عنصری در پژوهش‌های خرمالی و همکاران (۲۰۱۵) و رحیم‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است (۱٤ و ۱۹). در شرایط محلول غذایی بدون پتاسیم، ریشه گیاه نقش مهمی در انحلال عناصر داشته و منجر به تغییرات در شرایط شیمیایی ریزوسفر شده است. به‌عبارتی در محیط‌های تغذیه‌شده با محلول غذایی بدون پتاسیم تنها منبع پتاسیم در ریزوسفر، کانی رسی است و گیاه برای تأمین پتاسیم مورد نیاز خود از پتاسیم موجود در ساختار کانی‌ها استفاده کرده است (۱٤). رحیم‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که سرعت رشد و مقدار جذب پتاسیم توسط گیاه، شرایط

ریزوسفری، ترشحات ریشه و ترشح اسیدهای آلی توسط باکتری که منجر به کاهش pH در ناحیه ریزوسفر شده، مقداری از پتاسیم موجود در کانی را آزاد کرده، باعث هوادیدگی در کانی شده و مقدار پتاسیم آن کاهش یافته است (۱۹).

با توجه به نتایج می‌توان استفاده از فلوگوپیت را به‌عنوان اصلاح‌کننده و کود پتاسیمی پیشنهاد داد که در مطالعات دیگران نیز گزارش شده است (۹ و ۱۰). هم‌چنین ارزیابی اثر شش سنگ خردشده پتاسیم‌دار از جمله فلوگوپیت (با مقادیر متفاوت پتاسیم) به‌عنوان جایگزین کود پتاسه بر روی مواد مغذی معدنی، عملکرد و کارایی کوددهی پتاس در برنج انجام شد. نتایج بیانگر آن بود که مقدار پتاسیم در شاخه‌ها متناسب با مقدار سنگ خردشده افزایش یافته است. تفاوت سنگ‌ها از نظر آزادسازی پتاسیم، دلیل تفاوت در مقادیر متفاوت جذب پتاسیم توسط گیاه ذکر شد. این پژوهشگران در نهایت این‌گونه نتیجه‌گیری کردند که سنگ‌های دارای پتاسیم تأمین‌کنندگان بالقوه ریزمغذی‌ها از جمله روی، مس و نیکل، علاوه بر کاهش pH در خاک‌ها هستند و مقادیر زیاد مورد نیاز آن‌ها برای تأمین پتاسیم از فلوگوپیت ممکن است استفاده از آن را در مقیاس کشاورزی محدود کند (۲۲). سیلوا و همکاران (۲۰۰۸) امکان کاربرد فلوگوپیت را به‌عنوان کود کند–رهش پتاسیم در برزیل بررسی و بیان کردند فلوگوپیت را می‌توان به‌عنوان یک ماده معدنی بالقوه در نظر گرفت که در محصولات زراعی چندساله استفاده شود و به‌صورت ورودی‌های کشاورزی معدنی کند–رهش، مناسب و قابل استفاده هستند (۲۱).

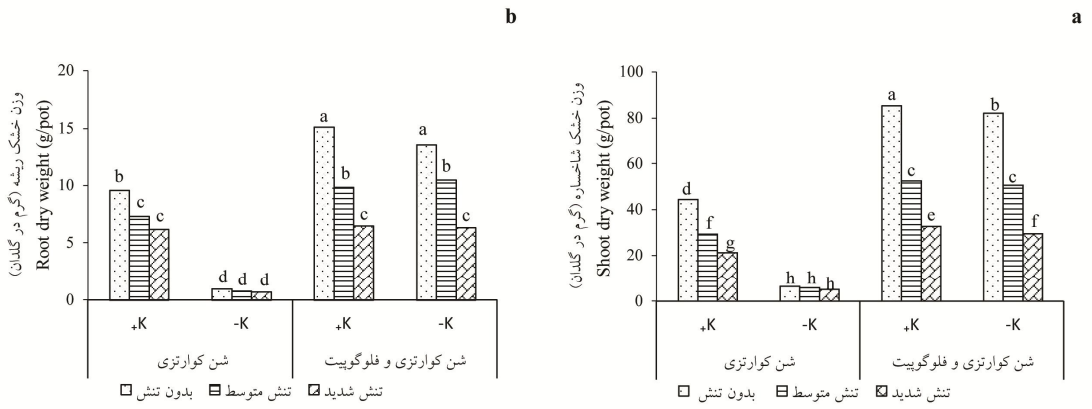
جدول ۳- تجزیه واریانس وزن خشک و پتاسیم جذب‌شده در شاخساره و ریشه جو.

Table 3. Analysis of variance for dry weight and K uptake by the barley shoot and root.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares			
		وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	پتاسیم جذب شده شاخساره K uptake by shoot	پتاسیم جذب شده ریشه K uptake by root
بستر رشد Growth medium (GM)	1	4298.13**	272.40**	3977.74**	198.52**
محلول غذایی Nutrient solution (NS)	1	646.72**	98.39**	300.39**	33.05**
تنش خشکی Drought stress (DS)	2	1131.98**	59.48**	349.32**	13.34**
بستر رشد × محلول غذایی GM×NS	1	425.19**	79.24**	17.18**	3.19
بستر رشد × تنش خشکی GM×DS	2	437.94**	23.03**	229.42**	6.38**
محلول غذایی × تنش خشکی NS×DS	2	33.11**	4.16*	22.00**	4.73*
بستر رشد × محلول غذایی × تنش خشکی GM×NS×DS	2	32.13**	0.60	1.66	0.99
خطا Error	24	68.04	28.90	130425.15	1664.67
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of Variation (%)	-	4.52	15.09	6.93	26.27

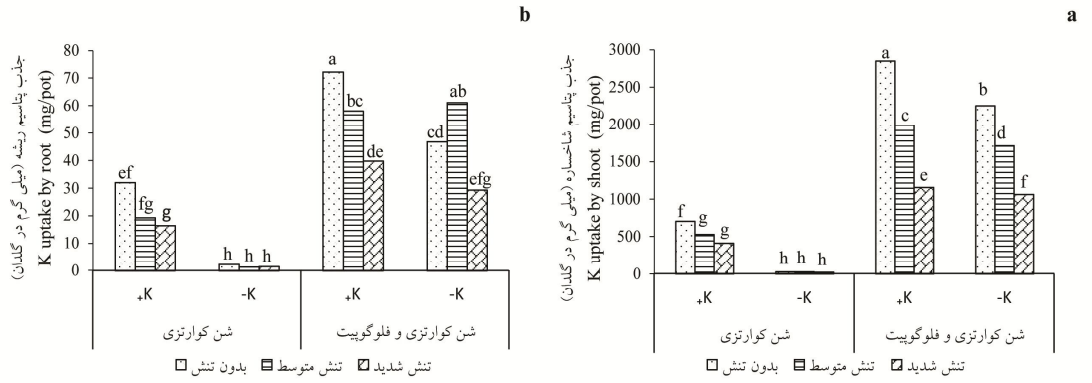
* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد آماری بر اساس آزمون LSD.

* and ** respectively, significance levels at 5% and 1% of probability based on the LSD test.



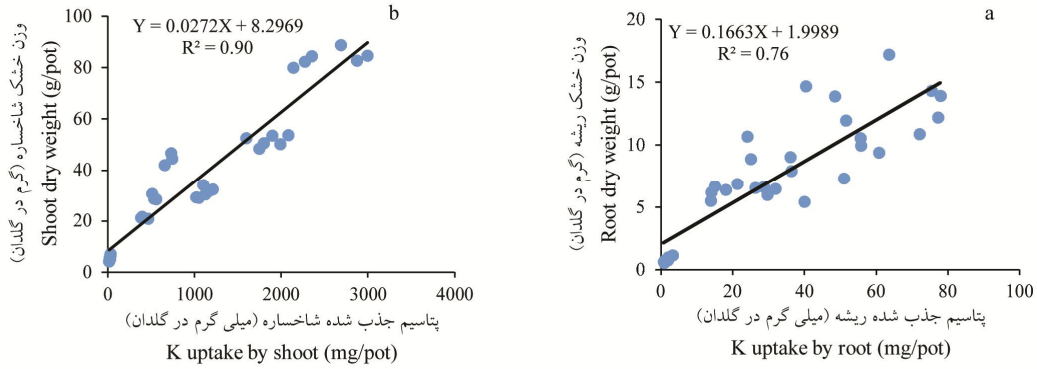
شکل ۲- مقایسه میانگین مقادیر وزن خشک شاخساره (a) و ریشه (b) گیاه جو در بسترهای مختلف رشد، سطوح مختلف تنش خشکی و شرایط محلول غذایی کامل (K+) و بدون پتاسیم (K-). (بر اساس آزمون LSD میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ آماری ندارند).

Figure 2. Means' comparisons of shoot dry weight (a) and root dry weight (b) of barley in different growth media, different levels of drought stress and complete (+K) and k-free (K) nutrient solutions. Means with similar letters are not statistically significant at P≤0.05 according to the LSD test.



شکل ۳- مقایسه میانگین مقادیر پتاسیم جذب شده شاخساره (a) و ریشه (b) گیاه جو در بسترهای مختلف رشد، سطوح مختلف تنش خشکی و شرایط محلول غذایی کامل (K+) و بدون پتاسیم (K-). (بر اساس آزمون LSD میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ آماری ندارند).

Figure 3. Means' comparisons of K uptake by shoot (a) K uptake by root (b) of barley in different growth media, different levels of drought stress and complete (+K) and k free (-K) nutrient solutions. Means with similar letters are not statistically significant at P≤0.05 according to the LSD test.



شکل ٤- روابط بین پتاسیم جذب‌شده ریشه و وزن خشک ریشه (a) و پتاسیم جذب‌شده شاخساره با وزن خشک شاخساره (b).

Figure 4. The relation between root dry weight and K uptake of root (a) and shoot dry weight and K uptake of shoot (b).

جدول ٤- مقایسه میانگین کل پتاسیم جذب‌شده توسط جو و درصد تخلیه پتاسیم در سطوح متفاوت تنش خشکی در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم.

Table 4. Means' comparison of total K uptake by barley and percentage of potassium removed from phlogopite mineral in different levels of drought stress under K-free nutrient solution.

میزان تخلیه (درصد) Total K removed (%)	کل پتاسیم جذب‌شده (میلی‌گرم در گلدان) Total K uptake (mg/pot)	بستر رشد Growth medium
36.5 [a]	2295.50 [a]	شن کوارتزی+ فلوگوپیت، بدون تنش خشکی Quartz sand+ phlogopite, no drought stress
28.2 [b]	1773.48 [b]	شن کوارتزی+ فلوگوپیت، تنش خشکی متوسط Quartz sand+ phlogopite, moderate drought stress
17.3 [c]	1093.03 [b]	شن کوارتزی+ فلوگوپیت، تنش خشکی شدید Quartz sand+ phlogopite, severe drought stress

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

Means followed by the same letter in each column are not statistically different at $p < 0.01$ based on LSD test.

جدول ٥- نتایج تجزیه عنصری XRF فلوگوپیت پیش (شاهد) و پس از کشت جو در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم و سطوح مختلف تنش خشکی.

Table 5. Elemental analysis (XRF) of the clay fraction before (control) and after barley growth in the K-free nutrition solution and different levels of drought stress.

شن کوارتزی و فلوگوپیت تنش شدید Quartz sand and phlogopite, severe drought stress	شن کوارتزی و فلوگوپیت تنش متوسط Quartz sand and phlogopite, moderate drought stress	شن کوارتزی و فلوگوپیت بدون تنش Quartz sand and phlogopite, no drought stress	شاهد Control	اجزا (٪) Elements (%)
36.30	36.30	35.10	38.11	SiO_2
21.18	22.81	18.51	23.09	MgO
14.80	15.40	14.10	15.09	Al_2O_3
7.94	6.37	6.20	10.13	K_2O
5.89	5.49	6.58	4.93	Fe_2O_3
2.57	2.49	3.37	2.22	CaO
1.31	1.33	2.48	0.24	Na_2O
0.22	0.22	0.27	0.11	MnO
8.18	8.19	11.24	4.11	LOI
99.88	99.96	99.98	99.87	کل

LOI: کاهش وزن در دمای زیاد.

LOI: Loss on ignition.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش تنش خشکی باعث کاهش رشد و هم‌چنین کاهش جذب پتاسیم شاخساره و ریشه گیاه جو می‌شود. کاربرد فلوگوپیت به‌عنوان منبع تأمین‌کننده پتاسیم (به دلیل هزینه کم در مقایسه با هزینه‌های هنگفت استفاده از کودهای شیمیایی و آثار زیان‌بار زیست‌محیطی آن‌ها) آثار منفی تنش خشکی را تعدیل می‌کند. گیاه جو در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم به خوبی از پتاسیم بین‌لایه‌ای فلوگوپیت استفاده کرده است. هنگامی که کمبود پتاسیم وجود داشته با مکانیزم‌هایی که در ریزوسفر رخ داده، کانی هوادیده شده و پتاسیم آن در اختیار گیاه قرار گرفته است. از آن‌جا که نقش پتاسیم به‌عنوان عنصر ضروری در تغذیه گیاه و کاهش‌دهنده پیامدهای منفی تنش خشکی بر پارامترهای رشد گیاه مشخص شده است، استفاده از این کانی به‌عنوان یک اصلاح‌کننده طبیعی و کم‌هزینه در کشور، به‌منظور تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، در بستر رشد گیاهان برای تعدیل آثار تنش خشکی را می‌توان پیشنهاد کرد که نیاز به پژوهش‌های بیش‌تری دارد.

منابع

1. Amonette, J.E., and Zelazeny, L.W. 2000. Handbook of Soil Science; CRC Press, Boca Raton, FL. 2313p.
2. Aslam, M., Zamir, M.Sh.I., Afzal, I., and Yaseen, M. 2013. Morphological and physiological response of maize hybrids to potassium application under drought stress. Journal of Agricultural Research 51: 4. 443-454.
3. Bandian, L., Saeb, H., and Abedy, B. 2016. Effect of bentonite on growth indices and physiological traits of spinach (*Spinacia oleracea* L.) under drought stress. 2: 4. 1-6.
4. Ghalandari, S., Kafi, M., Goldanii, M., and Bagheri, A. 2019. The effect of drought stress on some of morphological and physiological traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. Iranian Journal of Pulses Research. 10: 1. 114-125.
5. Ghanbari, M., and Ariafar, S. 2013. The effects of water deficit and zeolite application on growth traits and oil yield of medicinal peppermint (*Mentha piperita L*). International Journal of Medicinal and Aromatic Plants 3: 1. 32-39.
6. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.H.M.B., Nahar, K., Hossain, M.S., Al Mahmud, J., Hossen, M.S., and Fujita, M. 2018. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. Agronomy. 8: 31. 2-29.
7. Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mohammadi, H., and Nicola, S. 2017. Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of *Aloe vera* L. Agric. Water Management 181: 66-72.
8. Hinsinger, P. 2002. Potassium. P 1035-1039. In: R. Lal (ed.), Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker, Inc. New York.
9. Hinsinger, P., Elsass, F., Jaillard, B., and Robert, M. 1993. Root-induced irreversible transformation of a trioctahedral mica in the rhizosphere of rape. Journal of Soil Science 44: 2. 535-545.
10. Hinsinger, P., Jaillard, B., and Dufey, J. E. 1992. Rapid weathering of a trioctahedral mica by the roots of ryegrass. Soil Science Society of America Journal. 56: 977-982.
11. Junjittakarn, J., Pimratch, S., Jogloy, S., Htoon, W., Singkham, N., Vorasoot, N., Toomsan, B., Holbrook, C.C., and Patanothai, A. 2013. Nutrient uptake of peanut genotypes under different water regimes. International Journal of Plant Production. 7: 4. 677-692.
12. Kayama, M., Nimpila, S., Hongthong, S., Yoneda, R., Wichiennopparat,W., Himmapan, W., Vacharangkura, T., and Noda, I. 2016. Effects of bentonite, charcoal and corncob for soil improvement and growth characteristics of teak seedling planted on Acrisols in Northeast Thailand. Forests. 7: 36. 1-21.
13. Khayamim, F., Khademi, H., and Sabzalian, M.R. 2011. Effect of Neotyphodium endophyte-tall fescue symbiosis on mineralogical changes in clay-sized phlogopite and muscovite.

Plant and Soil. 341: 473-484.
14. Khormali, F., Rezaei, F., Rahimzadeh, N., Hosseinifard, S.J., and Dordipour, E. 2015. Rhizosphere-induced weathering of minerals in loess-derived soils of Golestan Province, Iran. Geoderma Regional. 5: 34-43.
15. Marschner, P., and Marschner, M. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants, Third Edition. Academic Press. Massachusetts, United States. 672p.
16. Naderizadeh, Z., Khademi, H., and Arocena, J.M. 2010. Organic matter induced mineralogical changes in clay-sized phlogopite and muscovite in alfalfa rhizosphere. Geoderma. 159: 296-303.
17. Norouzi, S., and Khademi, H. 2010. Ability of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to take up potassium from different micaceous minerals and consequent vermiculitization. Plant and Soil. 328: 83-93.
18. Qi, J., Sun, S., Yang, L., Li, M., Ma, F., and Zou, Y. 2019. Potassium uptake and transport in apple roots under drought stress. Horticultural Plant Journal. 5: 1. 10-16.
19. Rahimzadeh, N., Khormali, F., Olamaee, M., Amini, A., and Dordipour, E. 2015. Effect of canola rhizosphere and silicate dissolving bacteria on the weathering and K release from indigenous glauconite shale. Biology and Fertility of Soils. 51: 973-981.
20. Raviv, M., Lieth, J.H. (eds.), 2008. Soilless Culture: Theory and Practice. First Ed. Elsevier, London. 608p.
21. Silva, A.A.S., França, S.C.A., Ronconi, C.M., Sampaio, J.A., Luz, A.B., and Silva, D.S. 2008. A study on application of phlogopitite as a slow release potassium fertilizer. IX J. A. Trami. San Juan, Argentina. 143: 2-10.
22. Silva, D.R.G., Spehar, C.R., Marchi, G., Soares, D. de A., Cancellier, E.L., and Martins E. de S. 2014. Yield, nutrient uptake and potassium use efficiency in rice fertilized with crushed rocks. African Journal of Agricultural Research 9: 4. 455-464.
23. Silva, T.R.D., Cazetta, J.O., Carlin S.D., and Telles, B.R. 2017. Drought-induced alterations in the uptake of nitrogen, phosphorus and potassium, and the relation with drought tolerance in sugar cane. Ciência e Agrotecnologia. 41: 2: 117-27.
24. Shi, W., Wang, X., and Yan, W. 2004. Distribution patterns of available P and K in rape rhizosphere in relation to genotypic difference. Plant Soil. 261: 11-16.
25. Sparks, D.H., and Huang, P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium. P 201-276. In: R.D. Munson (ed.), Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Madison, WI.
26. Stegner, R. 2002. plant Nutrition Studies. Lamotte Company, Maryland, USA. 569p.
27. Wentworth, S.A., and Rossi, N. 1972. Release of potassium from layer silicates by plant growth and by NaTPB extraction. Soil Science. 113: 410-416.
28. Tatrai, Z.A., Sanoubar, R., Pluhar, Z., Mancarella, S., Orsini, F., and Gianquinto, G. 2016. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. International Journal of Agronomy. 10: 1-8.
29. Wiebold, B., and Scharf, P. 2006. Potassium deficiency symptoms in drought stressed crops, plant stress resistance and the impact of potassium application in south China. Agronomy Journal. 98: 1354-1359.
30. Xu, W., Cui, K., Xu, A., Nie, L., Huang, J., and Peng, S. 2015. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. Acta Physiologiae Plantarum. 37: 9. 1-11.
31. Yuan, L., Huang, J., Li, X., and Christie, P. 2004. Biological mobilization of potassium from clay minerals by ectomycorrhizal fungi and eucalypt seedling roots. Plant Soil. 262: 351-361.
32. Zain, N.A.M., Ismail, M.R., Puteh, A., Mahmood, M., and Islam, M.R. 2014. Drought tolerance and ion accumulation of rice following application of additional potassium fertilizer. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 45: 2502-2514.
33. Zheng, J., Chen, T., Wu, Q., Yu, J., Chen, W., Chen, Y., Siddique, K.H.M., Chi, W.M., and Xia, G. 2018. Effect of zeolite application on phenology, grain yield and grain quality in rice under water stress. Agricultural Water Management. 206: 241-251.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 10(3), 2020
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.17767.1933

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Evaluation of the effect of phlogopite mineral application in a sandy growth medium on the barley yield and potassium uptake under drought stress

R. Rezaeinejad[1], *H. Khademi[2], Sh. Ayoubi[2], M.R. Mosaddeghi[2] and F. Khormali[3]
[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,
[2]Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,
[3]Professor, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 03.02.2020; Accepted: 09.01.2020

Abstract

Background and Objectives: Drought is the most important known abiotic stress which strongly affects the growth and yield of different crops worldwide. Among all the mineral nutrients, potassium (K) plays a particularly critical role in plant growth and metabolism, and also contributes to the survival of plants and adequate biomass production under various biotic and abiotic stresses, especially under drought stress. Under drought stress conditions, K regulates the stomatal opening and helps plants adapt to water deficits. In this study, the effect of phlogopite, as a potassium-rich source and a soil chemical conditioner, to help moderate the adverse effects of drought stress on barley growth and yield under greenhouse conditions was evaluated.

Materials and Methods: This study was conducted as a completely randomized design with factorial arrangement and 3 replications in the hydroponic greenhouse of the Isfahan University of Technology. The growth medium was a mixture of quartz sand and phlogopite and different levels of drought stress were applied. Plants were supplied with either a complete or a potassium-free nutrient solution during the five-month growth period. At the end of the experiment, shoots and roots were harvested separately and their dry weight recorded. The amount of potassium in the extract prepared by the dry ash method was determined by a flame photometer. The percentage of potassium release from phlogopite in potassium-free nutrient solution was calculated and elemental analysis (XRF) was performed on several selected samples.

Results: The shoot and root dry weight and potassium uptake of plants grown in the phlogopite containing media were higher than those in the control media. These two parameters were also higher in plants received complete nutrient solution as compared to those supplied with the K- free nutrient solution. Drought stress reduced yield and potassium uptake. The highest levels of loss of dry weight and potassium uptake were observed in plants supplied with the K-free nutrient solution under severe drought stress. There was a significant positive correlation between the shoot dry weight and K uptake and also between the root dry weight and K uptake. The results of the elemental analysis of phlogopite particles before and after application in the growth medium were consistent with the amount of potassium uptake by the plant. The highest percentage of potassium removal was observed under no drought stress conditions. In general, it looks like that the application of phlogopite alleviates the negative effects of drought stress by releasing its interlayer potassium, due to the important role of potassium in regulating stomatal opening and closing, increase photosynthesis rate and water retention in plant tissues.

* Corresponding Author; Email: hkhademi@cc.iut.ac.ir

Conclusion: The results of this study showed that the application of phlogopite was useful as a natural and low-cost source to supply K requirement in plant growth medium to reduce the effects of the drought stress, especially in the greenhouse.

Keywords: Drought stress, Growth medium, Phlogopite, Potassium release, Rhizosphere