تأثیر اندازه کانی فلوگوپیت در تأمین پتاسیم برای گیاه در شرایط گلخانه‌ای

مریم‌السادات موسوی دستنایی[۱] و حسین خادمی[۱*]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۱۰/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۲)

چکیده

از کانی‌های میکایی (از جمله فلوگوپیت) با نام‌های تجاری مختلف به عنوان بستر گیاهان گلخانه‌ای استفاده می‌شود. این مطالعه با هدف بررسی نقش اندازه ذرات کانی فلوگوپیت در رهاسازی و امکان تأمین پتاسیم در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی با کشت یونجه در بسترهای حاوی مخلوط شن کوارتزی و چهار اندازه مختلف فلوگوپیت، به همراه تیمار شاهد، تحت دو نوع محلول غذایی (پتاسیم‌دار و بدون پتاسیم) با سه تکرار در یک دوره شش‌ماهه انجام شد. در طول دوره کشت، چهار برداشت از اندام هوایی انجام شد و در پایان دوره کشت، بخش هوایی و ریشه گیاه جدا و غلظت پتاسیم آنها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم، بیشترین غلظت و جذب پتاسیم در اندام هوایی و ریشه گیاهان در بستر حاوی کوچکترین اندازه کانی به دست آمد. با کوچکتر شدن اندازه کانی، شرایط برای هوازدگی لایه‌های محبوس کننده پتاسیم فراهم‌تر می‌شود و کانی با سرعت بیشتری پتاسیم خود را آزاد نموده و در دسترس گیاه قرار می‌دهد. لذا، در صورتی که هدف تأمین طولانی‌مدت پتاسیم باشد، استفاده از کانی با اندازه درشت مطلوب خواهد بود. در مقابل، در شرایطی که تأمین سریع پتاسیم مد نظر باشد، اندازه ریز مناسب است.

واژه‌های کلیدی: میکا، رهاسازی پتاسیم، اندازه ذرات، یونجه

مقدمه

پتاسیم یک عنصر پرنیاز برای گیاهان و حیوانات است. این عنصر جزء اصلی برخی از کانی‌های خاک بوده (۲۳) و اهمیت آن در کشاورزی به اثبات رسیده است (۲۲). پتاسیم نقش‌های بسیار مهمی در فتوسنتز، تقسیم سلولی و رشد، ساختن پروتئین‌ها، کمیت وکیفیت محصولات و کارایی مصرف آب برای گیاه دارد (۲۰). پتاسیم در خاک به شکل‌های محلول در آب، تبادلی، غیرتبادلی و ساختاری وجود دارد. بیش از ۹۰٪ پتاسیم به شکل ساختمانی در خاک وجود دارد (۲۳).

کانی‌های مهم پتاسیم‌دار در خاک عبارتند از میکا، ایلیت، فلدسپارهای پتاسیم‌دار و ورمی‌کولیت‌ها. میکاها کانی‌های سیلیکاته ۲ به ۱ هستند که بسته به کاتیون موجود در لایه اکتاهدرال به دو جایی (موسکویت و گلیکونیت) و سه جایی (بیوتیت و فلوگوپیت) تقسیم‌بندی می‌شوند (۲۳). همه کانی‌های ۲ به ۱ در مجموعه کانی‌ها، نقش خاصی را در ذخیره و آزادسازی پتاسیم دارند (۷). پتاسیم حبس شده بین لایه‌های کانی‌های رسی در اکثر خاک‌ها منبع مهم پتاسیم برای رشد گیاهان می‌باشد. از بین کانی‌های میکایی پتاسیم‌دار، فلوگوپیت به عنوان محصول دگرگونی سنگ‌های آهکی- دولومیتی و همچنین سنگ‌های سرپنتینی می‌باشد (۱). خاک‌های مناطق

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hkhademi@cc.iut.ac.ir

خشک و نیمه خشک حاوی مقادیر به نسبت زیاد کانی‌های پتاسیم‌دار هستند. این کانی‌ها قادر به رهاسازی پتاسیم مورد نیاز گیاه در وضعیت کمبود این عنصر می‌باشند (۱۳).

رهاسازی عناصر غذایی از فاز جامد به محلول خاک با فرایندهای فیزیکی و شیمیایی جذب و انحلال و همچنین فرایند بیوشیمیایی معدنی شدن عناصر غذایی کنترل می‌شود (۴). فاکتورهای اصلی مؤثر بر رهاسازی پتاسیم از میکاهای دو جایی و سه جایی عبارتند از: اندازه ذرات، مرحله هوادیدگی یا تخریب، آسیب‌های ساختاری ناشی از ساییدگی و تراکم بار (۱۸). آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های میکایی با کاهش اندازه ذره افزایش می‌یابد، که دلیل آن کوتاه‌تر شدن مسیر پخشیدگی و سطح ویژه بیشتر کانی‌ها می‌باشد (۶). میکاها و فلدسپارها کانی‌های اصلی آزاد کننده پتاسیم در خاک هستند (۴). پتاسیم رها شده از میکاها تابعی از اندازه ذره کانی است. رس‌های بزرگتر پتاسیم را آهسته‌تر رها می‌سازند (۱۷).

راست و ریچ (۱۹) اثر ضخامت ذرات بر پتاسیم تبادلی فلوگوپیت را مطالعه کردند و دریافتند که جایی که پتاسیم به طور مداوم از خاک خارج نمی‌شود، ممکن است ورمیکولیتی شدن ذرات درشت میکا کامل نشود. اما ذرات ریز می‌توانند با سرعت بیشتری به ورمیکولیت تبدیل شوند. فیجن‌باوم و همکاران (۹) سرعت رهاسازی پتاسیم و سایر کاتیون‌های ساختمانی را در سه نوع کانی میکایی (بیوتیت، فلوگوپیت و موسکویت) در دو دامنه اندازه‌ای ذرات و در دو پ–هاش برابر ۳ و ۷ بررسی کردند و نشان دادند که سرعت رهاسازی پتاسیم از دو کانی بیوتیت و فلوگوپیت مشابه یکدیگر بوده و در پ–هاش خنثی رهاسازی به مقدار بیشتری صورت گرفته است. همچنین، میزان رهاسازی پتاسیم از موسکویت به ترتیب ۵ و ۱۵ درصد رهاسازی پتاسیم از بیوتیت و فلوگوپیت بوده است و از این جهت به عنوان پایدارترین کانی مطرح است. هاولین و همکاران (۱۰) سینتیک رهاسازی پتاسیم را روی اندازه‌های مختلف ذرات خاک، در شش دشت بزرگ که دارای خاک‌های آهکی بودند مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که ۶۵ تا ۸۰ درصد کل رهاسازی پتاسیم در جزء رس رخ داده است.

نتایج مطالعات کانی‌شناسی در ایران نشان داده که در اکثر خاک‌ها، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، کانی‌های پتاسیم‌دار جزء کانی‌های غالب خاک هستند. بعلاوه، مطالعات زیادی در رابطه با سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی و ساختمانی خاک‌های ایران انجام شده است (۱، ۳، ۴ و ۱۳). نتایج مطالعات نشان داده‌اند که گیاهان می‌توانند از کانی‌های پتاسیم‌دار جهت تأمین پتاسیم مورد نیاز خود در شرایط کمبود پتاسیم استفاده کنند (۴، ۷، ۹، ۱۱ و ۱۶). در ایران، تحقیقات زیادی در مورد کانی‌شناسی خاک‌ها انجام شده است (۱، ۳ و ۱۳). همچنین، در مورد اثر کودهای پتاسیمی روی گیاهان نیز تحقیقاتی صورت گرفته است (۱۱، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۵ و ۲۶). علاوه بر اینکه کانی‌های میکایی در تأمین پتاسیم در خاک‌ها نقش کلیدی بازی می‌کنند، از این کانی‌ها به‌عنوان بستر کشت گیاهان در شرایط گلخانه‌ای نیز استفاده می‌شود. علی‌رغم این مسئله، اثر اندازه کانی میکایی بر تغذیه پتاسیم در بستر نیز بررسی نشده است. لذا این مطالعه با هدف بررسی نقش اندازه ذرات کانی فلوگوپیت در رهاسازی و امکان جذب پتاسیم در بستر کشت در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش گلدانی با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار طی یک دوره شش‌ماهه انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار اندازه ذرات کانی فلوگوپیت شامل اندازه کوچکتر از ۵۳ میکرومتر (D_1)، ۵۳ تا ۶۲ میکرومتر (D_2)، ۶۲ تا ۲۵۰ میکرومتر (D_3) و ۲۵۰ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر (D_4)، و شن کوارتزی به عنوان شاهد، و دو نوع محلول غذایی (با پتاسیم و بدون پتاسیم) بود. شن کوارتزی و کانی میکایی فلوگوپیت از معادنی در همدان تهیه گردید و به منظور بررسی ترکیب عنصری هر کدام، تجزیه عنصری فلورسانس اشعه ایکس (XRF) انجام شد (جدول ۱). پس از اطمینان از این که شن حاوی مقادیر ناچیزی از پتاسیم است، از آن به عنوان ماده

جدول ۱. تجزیه عنصری شن کوارتزی و فلوگوپیت مورد استفاده (بر حسب درصد) با استفاده از فلورسانس پرتو ایکس (۱۶)

نوع کانی	N_2O	MgO	AL_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	Fe_2O_3	MnO	P_2O_5	TiO_2	LOI*	Total
فلوگوپیت	۰/۴۵	۲۲/۵۴	۱۴/۶	۴۲/۲۴	۹/۲۹	۴/۲۱	۴/۶۹	۰/۱۱	۰/۰۳۷	۰/۵۶	۰/۹	۹۹/۶۳
شن کوارتزی	<۰/۱	۰/۱۱	۰/۳۶	۹۷/۵۳	<۰/۱	۰/۶۱	۰/۵۷	–	–	–	۰/۴۸	۹۹/۸۶

*LOI: کاهش وزن در دمای زیاد

پرکننده محیط کشت استفاده شد. شن کوارتزی کوچکتر از ۲۰۰ مش زیر فشار آب شهر قرار گرفت. سپس سه بار با اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال و ۷ مرتبه با آب مقطر جهت حذف کلر اضافی شستشو و در نهایت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک و استفاده شد (۱۶).

کانی فلوگوپیت بعد از آسیاب شدن از الک‌های ۶۰، ۲۳۰ و ۲۷۰ مش عبور داده شد که این محدوده در اندازه سیلت و رس قرار می‌گیرد. برای حذف پتاسیم محلول و تبادلی، سطوح تبادلی کانی فلوگوپیت با کلسیم اشباع شد. به این منظور، از $CaCl_2$ ۰/۵ نرمال به نسبت ۵ به ۱ (محلول به کانی) استفاده شد. برای اشباع نمودن، به مدت ۲۴ ساعت محلول کلرید کلسیم روی نمونه‌ها قرار گرفت. برای خارج نمودن کلر اضافی، نمونه‌ها با آب مقطر شستشو شده و هر بار به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. در نهایت، کانی‌ها به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک و در گلدان‌ها استفاده شدند (۱۶).

در این آزمایش، از گلدان‌های ۷۰۰ گرمی استفاده شد. ابتدا در ته هر گلدان دو برگ کاغذ صافی قرار داده شد. سپس ۵۰ گرم شن کوارتزی روی آن ریخته شد. پس از آن مخلوط شن کوارتزی و کانی میکایی به میزان ۶۰۰ گرم اضافه گردید. مقدار کانی اضافه شده به هر گلدان به گونه‌ای بود که به میزان مساوی ۰/۲۵ درصد K_2O تأمین نماید. سپس ۱۰ عدد بذر یونجه رقم Pickseed 2065 MF قرار داده و مجدداً ۵۰ گرم شن کوارتزی روی بذرها ریخته شد. روی هر گلدان یک عدد کاغذ صافی قرار داده و آبیاری با آب مقطر انجام شد. مراقبت لازم جهت سبز شدن بذرها به عمل آمد. چهار روز بعد از کشت، بذرها جوانه زده و بعد از رسیدن به مرحله ۳ برگی، برای ادامه آزمایش سه بوته در هر گلدان نگهداری و بقیه بوته‌ها از گلدان خارج شدند. در طول دوره کشت، از آب مقطر به منظور آبیاری و از محلول غذایی (جداول ۲ و ۳) برای تغذیه گیاهان استفاده شد. علت انتخاب یونجه به عنوان گیاه مورد مطالعه این بود که این گیاه قدرت جذب پتاسیم بالایی داشته و از مهمترین گیاهان علوفه‌ای دنیا است (۲۱).

در طول دوره کشت، چهار مرتبه برداشت از اندام هوایی انجام گردید و پس از اتمام دوره کشت (۶ ماه)، اندام هوایی و ریشه گیاه جدا و در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه اندازه‌گیری و عصاره‌گیری از گیاه به روش خاکسترگیری خشک انجام (۲) و غلظت پتاسیم موجود در عصاره گیاه به روش شعله‌سنجی تعیین شد. میزان کل پتاسیم جذب شده در ریشه و اندام هوایی بر اساس غلظت پتاسیم و میزان وزن خشک آنها محاسبه شد. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Statistix 8 تجزیه و تحلیل آماری شده و میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه گردیدند.

نتایج و بحث

جداول ۴ و ۵ نتایج تجزیه واریانس غلظت (متوسط وزنی چهار برداشت) و جذب پتاسیم (جذب کل چهار برداشت) اندام هوایی و ریشه گیاه را نشان می‌دهند. اثر اندازه کانی، محلول غذایی و اثر متقابل اندازه کانی و محلول غذایی بر غلظت پتاسیم اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار است. این روند به صورت مشابه در ریشه هم قابل مشاهده می‌باشد.

اثر اندازه کانی بر میزان جذب پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار

جدول ۲. ترکیب محلول غذایی مادری برای تغذیه گیاهان (۲۴)

شماره محلول	نوع نمک	گرم در لیتر محلول
۱	1M $Ca(NO_3)_2.4H_2O$	۲۳۶/۲
۲	1M $MgSO_4.7H_2O$	۲۴۶/۵
۳	1M KNO_3	۱۰۱/۱
۴	1M KH_2PO_4	۱۳۶/۲
۵	0.05M $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$	۳/۱۵
۶	Fe EDDHA 6%	۱۶/۶۶
۷	Trace elements	
	H_3BO_3	۲/۸۶
	$MnCl_2.4H_2O$	۱/۸۱
	$ZnSO_4.7H_2O$	۰/۲۲
	$CuSO_4.5H_2O$	۰/۰۸
	$H_2MoO_4.H_2O$	۰/۰۲۸

جدول ۳. میزان محلول غذایی مادری در یک لیتر محلول نهایی (۲۴)

نوع محلول غذایی	میلی لیتر محلول مادری در یک لیتر آب مقطر						
شماره محلول مادری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
محلول غذایی کامل (+K)	۵	۲	۵	۱	–	۲/۵	۱
محلول غذایی بدون پتاسیم (-K)	۷/۵	۲	–	–	۴۰	۲/۵	۱

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس غلظت و جذب پتاسیم اندام هوایی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		غلظت پتاسیم	جذب پتاسیم
اندازه کانی	۴	۰/۷**	۱/۷^{ns}
محلول غذایی	۱	۲۰/۶**	۱۳/۸**
اندازه کانی × محلول غذایی	۴	۰/۳**	۴/۸*
خطا	۱۸	۰/۰۲	۲/۵

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

نشد. اما اثر محلول غذایی در سطح اطمینان ۹۹٪ و اثر متقابل اندازه کانی و محلول غذایی بر جذب پتاسیم اندام هوایی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار است. شرایط در ریشه هم به همین ترتیب می‌باشد. با این تفاوت که اثر اندازه کانی در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشد. قابل توجه است که مقایسه میانگین‌ها برای هر محلول غذایی به طور جداگانه انجام شده است.

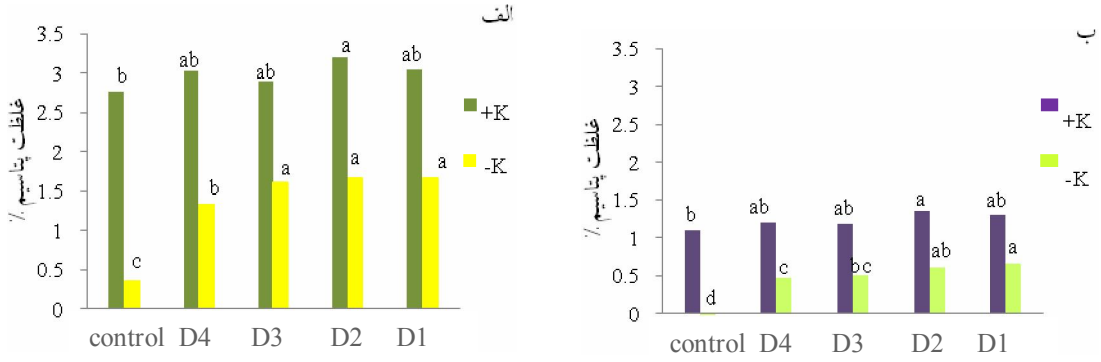
غلظت پتاسیم اندام هوایی و ریشه

شکل ۱- الف غلظت پتاسیم در اندام هوایی را نشان می‌دهد.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس غلظت و جذب پتاسیم در ریشه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		غلظت پتاسیم	جذب پتاسیم
اندازه کانی	۴	۰/۷**	۳/۲۴**
محلول غذایی	۱	۱۳/۱**	۷۳/۲۷**
اندازه کانی × محلول غذایی	۴	۰/۶**	۴/۷۵*
خطا	۱۸	۰/۰۲	۲/۴۶

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار



شکل ۱. الف) غلظت پتاسیم اندام هوایی و ب) غلظت پتاسیم ریشه. در هر یک از تیمارهای تغذیه‌ای، میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند. D_4: کانی با اندازه بزرگتر از ۶۰ مش، D_3: کانی با اندازه ۶۰ تا ۲۳۰ مش، D_2: کانی با اندازه ۲۳۰ تا ۲۷۰ مش، D_1: کانی با اندازه کوچکتر از ۲۷۰ مش، Control: شاهد. K+: محلول غذایی کامل وK–: محلول غذایی فاقد پتاسیم

بیشترین غلظت پتاسیم در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی فاقد پتاسیم در اندازه‌های D_1، D_2 و D_3 مشاهده شد، که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای D_4 و شاهد است ($p< ۰/۰۱$). در هر دو محلول غذایی، بیشترین غلظت پتاسیم در تیمار D_2 و کمترین مقدار در تیمار شاهد، که فاقد هرگونه کانی میکایی است، مشاهده شد. غلظت پتاسیم در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی فاقد پتاسیم و تیمار D_2، ۴/۶۷ برابر تیمار شاهد است. با توجه به حد کفایت غلظت پتاسیم برای گیاه یونجه (که ۱ تا ۳/۵ درصد می‌باشد) (۸)، در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی کامل در تمام تیمارها میزان غلظت پتاسیم در حد کفایت می‌باشد. اما در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی فاقد پتاسیم، تمام تیمارها زیر حد کفایت پتاسیم برای یونجه واقع شده است. با این وجود، در سه تیمار D_1، D_2 و D_3 علائم کمبود مشاهده نشد و فقط در تیمار شاهد علائم کمبود پتاسیم به وضوح مشاهده شد. البته ممکن است با افزایش طول دوران کشت علائم کمبود در همه تیمارهای تغذیه شده با محلول فاقد پتاسیم دیده شود که مربوط به تفاوت در توانایی رهاسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای از اندازه‌های مختلف کانی فلوگوپیت بستر کشت است. مشاهده می‌شود که در تیمارهای تغذیه شده با محلول فاقد پتاسیم، با کوچکتر شدن اندازه فلوگوپیت بستر کشت، به دلیل راحت‌تر آزاد شدن

پتاسیم بین‌لایه‌ای فلوگوپیت، میزان غلظت پتاسیم در اندام هوایی افزایش یافته است.

شکل ۱- ب درصد پتاسیم ریشه را نشان می‌دهد. در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی کامل، میزان پتاسیم در ریشه روندی مشابه با اندام هوایی دارد و تنها نکته قابل توجه درصد کمتر پتاسیم ریشه در مقایسه با اندام هوایی است. غلظت بیشتر پتاسیم در اندام هوایی در مقایسه با ریشه نشان دهنده ظرفیت بالای گیاه در انتقال پتاسیم از ریشه به اندام هوایی است. در تیمارهای تغذیه شده با محلول فاقد پتاسیم، بیشترین غلظت پتاسیم متعلق به تیمار D_1 است که بیشترین مقادیر غلظت پتاسیم در ریشه بعد از D_1 به صورت $D_4 < D_3 < D_2$ می‌باشد.

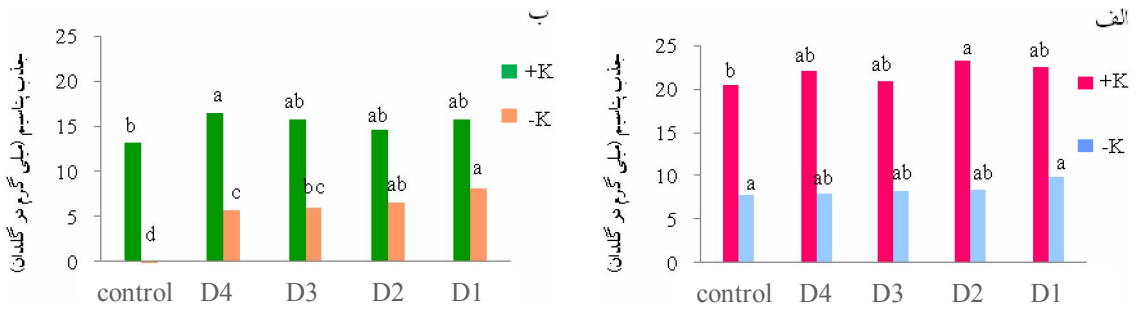
توانایی نوع گیاه در رهاسازی پتاسیم از کانی گنیس (Gneiss) کم هوازده با اندازه کوچکتر از ۱۰ میلی‌متر توسط وانگ و همکاران (۲۵) در یک آزمایش گلدانی با گیاهان ذرت، رای‌گراس، دو رقم یونجه Asta و Haifei و گیاه پک‌چوی (نوعی کلزا) بررسی شد. رابطه معنی‌دار و منفی بین رهاسازی پتاسیم کانی و اندازه ذرات گنیس مشاهده شد. برای ذرات درشت، غلظت پتاسیم ریشه به طور معنی‌داری در پاسخ به ذخیره پتاسیم افزایش یافت. در صورتی که برای ذرات ریزتر، بین غلظت پتاسیم ریشه در تیمارهای پتاسیم ظاهراً تفاوتی مشاهده نشد. غلظت پتاسیم در گیاهان رشد کرده در بستر حاوی گنیس درشت حاکی از جذب تجملی پتاسیم بوده و میزان رشد گیاه با افزایش غلظت پتاسیم ریشه همخوانی نداشت. با کاهش اندازه ذرات گنیس، به دلیل افزایش سطح واکنش متقابل جامد- مایع، میزان پتاسیم جذب شده مطابق نیاز گیاه بود. اندازه ذرات گنیس بر رشد گیاهان اثر معنی‌داری داشت. در کل، میزان پتاسیم رها شده در تمام گیاهان رشد کرده در جزء ریز به طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان رشد کرده در جزء درشت بیشتر بود. رهاسازی خالص پتاسیم از کانی به طور مرتب، حتی از ذرات درشت (بزرگتر از ۲ میلی‌متر) هم رخ داد. بین توانایی گیاهان مختلف در جذب پتاسیم از گنیس تفاوت وجود داشت که این توانایی وابسته به اندازه ذرات کانی بود. بیشترین رهاسازی در ذرات ریزتر و به صورت ذرت> رای‌گراس>پک‌چوی بود. در مقابل، در ذرات درشت، میان گیاهان تفاوت کمی ملاحظه شد و کمترین رهاسازی پتاسیم در ذرت دیده شد.

هینسینجر و جیلارد (۱۲) غلظت بحرانی پتاسیم که در کمتر از آن ساختمان فلوگوپیت ناپایدار است و منجر به تغییر ساختمان کانی می‌شود را ۸۰ میکرومول بر دسی‌متر مکعب بیان کردند. در واقع جذب پتاسیم توسط ریشه باعث تخلیه ناحیه ریزوسفری شده و واکنش تعادلی به طرف رهاسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای فلوگوپیت تغییر جهت می‌دهد. نوروزی و خادمی (۱۶) تأثیر ریزوسفر یونجه بر رهاسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای از ساختمان سه کانی موسکویت، فلوگوپیت و بیوتیت را در مدت ۹۰ روز بررسی کردند. ترتیب میزان رهاسازی پتاسیم از کانی پتاسیم‌دار به صورت فلوگوپیت> بیوتیت> موسکویت به دست آمد.

هینسینجر و جیلارد (۱۱) بیان کردند که کانی‌های اولیه مثل میکاهای سه جایی می‌توانند به طور چشمگیری نیاز پتاسیمی گیاه را حداقل در قسمت فعال ریشه (ریزوسفر) فراهم نمایند.

میزان جذب پتاسیم اندام هوایی و ریشه

شکل ۲- الف میزان جذب پتاسیم (حاصلضرب غلظت پتاسیم در وزن خشک گیاه) بر حسب میلی‌گرم در گلدان را در اندام هوایی نشان می‌دهد. بیشترین مقدار جذب پتاسیم (۲۳/۳ میلی‌گرم در گلدان) در گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی کامل در تیمار D_2 دیده می‌شود. بیشترین مقدار جذب پتاسیم در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی فاقد پتاسیم در تیمار D_1 مشاهده شد که به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها است ($p <$ ۰/۰۱). در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی فاقد پتاسیم، میزان جذب پتاسیم در تیمار D_1، ۱/۲۸ برابر شاهد است. این نتایج نشان می‌دهد که با کوچکتر شدن اندازه کانی فلوگوپیت توانایی کانی در رهاسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای افزایش



شکل ۲. الف) میزان جذب پتاسیم اندام هوایی و ب) میزان جذب پتاسیم ریشه. در هر یک از تیمارهای تغذیه‌ای، میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند. D_4: کانی با اندازه بزرگتر از ۶۰ مش، D_3: کانی با اندازه ۶۰ تا ۲۳۰ مش، D_2: کانی با اندازه ۲۳۰ تا ۲۷۰ مش، D_1: کانی با اندازه کوچکتر از ۲۷۰ مش، Control: شاهد. K+: محلول غذایی کامل وK-: محلول غذایی فاقد پتاسیم.

می‌یابد. در تیمارهای تغذیه شده با محلول فاقد پتاسیم، با کوچکتر شدن اندازه فلوگوپیت بستر کشت، به دلیل آزاد شدن سهل‌تر پتاسیم بین‌لایه‌ای فلوگوپیت، میزان وزن خشک و به تبع آن میزان جذب پتاسیم در اندام هوایی افزایش یافته است.

شکل ۲- ب میزان جذب پتاسیم در ریشه را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار آن (۱۶/۵ میلی‌گرم در گلدان) در گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی کامل و تیمار D_4 دیده می‌شود. باید به این نکته توجه نمود که پتاسیم جذب شده توسط ریشه گیاه به علت تولید زیست‌توده کمتر و غلظت کمتر پتاسیم ریشه، در مقایسه با اندام هوایی، به مراتب کمتر است.

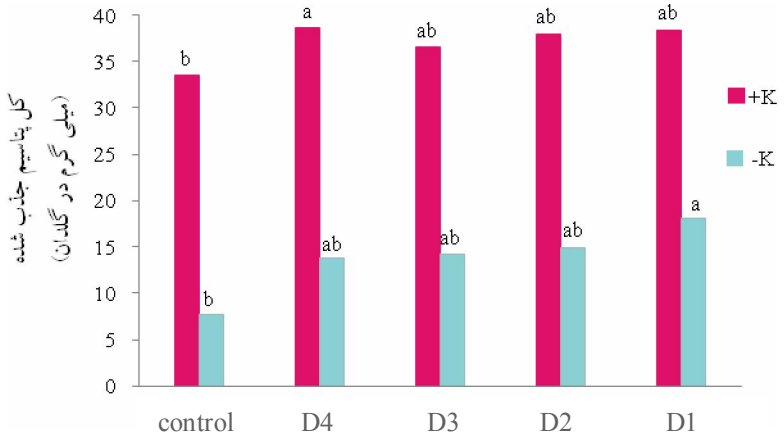
به طور کلی، به دو دلیل جذب پتاسیم ریشه در مقایسه با شاخسار بسیار کمتر است:۱- غلظت کمتر پتاسیم در ریشه که خود می‌تواند به دلیل انتقال پتاسیم به ساقه باشد و ۲- وزن خشک کمتر ریشه. این مسئله از ظرفیت بالای ارقام مختلف یونجه در انتقال پتاسیم به شاخسار حکایت دارد. به عبارت دیگر، انتقال مناسب عنصر به شاخسار که اندام هدف است به درستی انجام شده است.

حسینی‌فرد و همکاران (۳) برای بررسی اثر عصاره‌گیرهای مختلف بر استخراج پتاسیم غیر تبادلی از سه کانی میکایی فلوگوپیت، موسکویت و بیوتیت با دو اندازه کوچکتر از ۶۰ و بین ۶۰ تا ۱۰۰ میکرومتر استفاده نمودند. آنها دریافتند که به طور کلی برای اندازه ذرات ریزتر (کوچکتر از ۶۰ میکرومتر) عصاره‌گیر اسید کلریدریک و برای ذرات درشت‌تر (۶۰ تا ۱۰۰ میکرومتر) عصاره‌گیر استات آمونیوم، پتاسیم بیشتری را از کانی‌های میکایی استخراج می‌کند. همچنین اندازه ذرات کانی‌ها اثر بسیار مهمی بر آزادسازی پتاسیم غیر تبادلی از کانی‌های میکایی دارد.

جذب کل پتاسیم در گیاهان

میانگین کل پتاسیم جذب شده (پتاسیم جذب شده ریشه + پتاسیم جذب شده اندام هوایی) در گیاهان در شکل ۳ نشان داده شده است. در میان تمام تیمارها، بیشترین جذب پتاسیم در گلدان‌های تغذیه شده با محلول غذایی کامل بوده‌است. زیرا در شرایط تغذیه با محلول غذایی کامل تمام عناصر مورد نیاز گیاه از طریق محلول غذایی تأمین می‌شود. در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی کامل بیشترین جذب کل پتاسیم در تیمار D4 و در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی فاقد پتاسیم بیشترین جذب کل پتاسیم در D_1 مشاهده شد.

در شرایط تغذیه با محلول غذایی کامل نیز اختلاف معنی‌داری بین گیاهان کشت شده در بستر کشت فلوگوپیت مشاهده می‌شود. در این شرایط، گیاهان علاوه بر جذب پتاسیم از منبع



شکل ۳. میانگین کل جذب پتاسیم. در هر یک از تیمارهای تغذیه‌ای، میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند. D_4: کانی با اندازه بزرگتر از ۶۰ مش، D_3: کانی با اندازه ۶۰ تا ۲۳۰ مش، D_2: کانی با اندازه ۲۳۰ تا ۲۷۰ مش، D_1: کانی با اندازه کوچکتر از ۲۷۰ مش، Control: شاهد. K+: محلول غذایی کامل وK–: محلول غذایی فاقد پتاسیم.

خارجی (محلول غذایی) به علت فعالیت زیاد ریزوسفر و ترشحات آن توانسته‌اند کانی را هوادیده و مقادیر اضافه بر نیاز خود (مصرف تجملی) جذب نمایند (با توجه به حد کفایت پتاسیم برای گیاه یونجه که ۱ تا ۳ درصد در اندام هوایی می‌باشد (۸)). این مطلب با مقایسه مقادیر کل پتاسیم جذب شده در بستر کشت فلوگوپیت با بستر کشت شن کوارتزی به خوبی استنباط می‌شود. در این شرایط تغذیه‌ای نیز در بین گیاهان مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از لحاظ جذب کل پتاسیم مشاهده می‌شود.

فرایند دقیق رهاسازی پتاسیم توسط ریشه گیاهان به طور کامل به اثبات نرسیده است. اما اینگونه می‌توان فرض نمود که جذب پتاسیم به وسیله ریشه گیاه باعث کاهش مقدار پتاسیم موجود در ریزوسفر می‌شود. کاهش غلظت پتاسیم به زیر حد بحرانی توسط ریشه گیاهان منجر به ایجاد شیب غلظت می‌شود که این شیب به وجود آمده اجازه می‌دهد که پتاسیم از فاز جامد رها شود (۱۵). بعلاوه، ترشح پروتون توسط ریشه‌های گیاهان می‌تواند با جانشین شدن در ساختمان میکا باعث خروج یون پتاسیم از ساختمان کانی شده و کانی میکایی را هوادیده نماید (۱۴).

در تیمارهای تغذیه شده با محلول فاقد پتاسیم، آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های میکایی با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد که دلیل آن کوتاه‌تر شدن مسیر پخشیدگی و سطح ویژه بیشتر کانی‌ها می‌باشد (۶). در نتیجه، میزان جذب کل هم با کاهش اندازه کانی میکایی افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه می‌توان دریافت که D_1 که کوچکترین اندازه کانی مورد استفاده در این مطالعه است، در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم به خوبی می‌تواند پتاسیم موجود در بین لایه‌های خود را آزاد کند. به عبارت دیگر، وقتی گیاهان کشت شده با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه می‌شوند، تنها منبع پتاسیم مورد نیاز گیاهان کانی‌های میکایی هستند. هنگامی که کمبود پتاسیم رخ می‌دهد با مکانیزم‌هایی که در محیط ریزوسفر رخ می‌دهد کانی‌ها هوادیده شده و پتاسیم خود را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. میزان آزادسازی پتاسیم از بین لایه‌های میکا علاوه بر نوع کانی میکایی، به اندازه کانی هم بستگی دارد. بنابراین اندازه کانی در استفاده از پتاسیم ساختمانی بسیار حائز اهمیت است. به‌طور کلی، میزان جذب پتاسیم در

ریشه تمام گیاهان کمتر از پتاسیم جذب شده توسط اندام هوایی می‌باشد که آن را می‌توان به نیاز بیشتر شاخسار و ظرفیت بالای انتقال عنصر پتاسیم به اندام هوایی نسبت داد.

با کاهش اندازه کانی، میزان رهاسازی پتاسیم از کانی میکایی فلوگوپیت افزایش می‌یابد. با کوچکتر شدن اندازه کانی شرایط برای هوازدگی لایه‌های محبوس کننده پتاسیم در کانی برای رهاسازی پتاسیم فراهم‌تر می‌شود و کانی با سرعت بیشتری پتاسیم خود را آزاد نموده و در دسترس گیاه قرار می‌دهد. کانی فلوگوپیت با اندازه درشت‌تر می‌تواند پتاسیم را در مدت زمان طولانی‌تری از خود رها نموده و لذا می‌تواند نیاز پتاسیمی گیاه را در مدت زمان بیشتری تأمین نماید.

از کانی‌های میکایی (حرارت دیده و معمولی) در کشت گیاهان گلخانه‌ای به‌عنوان بستر اصلی و یا به صورت همراه با مواد دیگر (شن، پرلیت و پیت) استفاده می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، در صورتی که در نظر است برای مدت‌های کوتاه علاوه بر ایجاد شرایط فیزیکی مناسب در بستر، پتاسیم نیز تأمین گردد بایستی از فلوگوپیت با اندازه ریزتر استفاده شود. در مقابل، در شرایطی که هدف تأمین پتاسیم برای دوره‌های طولانی‌تر می‌باشد، استفاده از فلوگوپیت با اندازه‌های درشت‌تر نتیجه مطلوب‌تری خواهد داشت.

در شرایط مزرعه‌ای، ضروری است که برای تصمیم‌گیری مناسب در مورد میزان کود پتاسیم‌دار مصرفی علاوه بر سایر عوامل به اندازه کانی‌های پتاسیم‌دار توجه ویژه مبذول گردد. لذا در این شرایط، کانی‌شناسی بخش‌های رس، سیلت و شن بایستی به صورت مجزا انجام شود و بر اساس آن تصمیم‌های مدیریتی اتخاذ گردد. همچنین می‌توان از فلوگوپیت با اندازه مناسب جهت تأمین پتاسیم گیاه در شرایط خاص (محیط های کوچک) استفاده نمود.

منابع مورد استفاده

۱. حسین‌پور، ع. ۱۳۷۸. مطالعه تثبیت پتاسیم، کمیت به شدت پتاسیم و سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در تعدادی از خاک‌های ایران. رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. حسینی‌فرد، س. ج. ۱۳۷۶. شناسایی کلیه کانی‌ها و تحلیل کمی کانی‌های رسی با استفاده از XRD و روش نسبت شیب‌ها در برخی از خاک‌های مناطق پسته‌کاری شده رفسنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. خوش‌گفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۶. مبانی تغذیه گیاه. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. دواتگر، ن. ۱۳۸۲. گزارش نهایی بررسی وضعیت پتاسیم در شالیزارهای گیلان. نشریه فنی شماره ۸۲/۱۱۲۴ سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، تهران.

۵. رنجبر، ر. و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۲. بررسی تأثیر منابع و مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی و سولفات روی بر عملکرد سیب‌زمینی در بناب. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان، رشت.

۶. ملکوتی، م. ج.، م. محمودی، م. ر. رمضان‌پور، ن. سعادتی، م. محمدیان و م. کاوسی .۱۳۸۳. نقش پتاسیم در افزایش کارایی در تغذیه متعادل برنج. انتشارات سنا، چاپ اول، معاونت زراعت وزارت جهاد کشاورزی، تهران.

7. Barre, P., B. Velde, C. Fontaine, N. Catel and L. Abbadie. 2008. Which 2:1 clay minerals are involved in the soil potassium reservoir? Insights from potassium addition or removal experiments on three temperate grassland soil clay assemblages. Geoderma 146: 216-223.

8. Benton, J., J.B. Wolf and A. Mills 1991. Plant Analysis Handbook, a Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing, Inc., Georgia, USA.

9. Feigenbaum, S., R. Edelstein and I. Shainberg. 1981. Release rate of potassium and structural cations from micas to ion exchangers in dilute solutions. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 501-506.
10. Havlin, J.L., D.G. Westfall and S.R. Olsen. 1985. Mathematical models for potassium release kinetics in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 371-376.
11. Hinsinger, P. and B. Jaillard. 1992. Rapid weathering of the triochtahedral mica by the roots of ryegrass. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 977-982.
12. Hinsinger, P. and B. Jaillard. 1993. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 525-534.
13. Jalali, M. 2005. Release kinetics of non-exchangeable potassium in calcareous soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 36: 1903-1917.
14. Khademi, H. and J.M. Arocena. 2008. Kaolinite formation from palygorskite and sepiolite in rhizosphere soils. Clays Clay Miner. 56: 422- 436.
15. McLean, E.O. and M.E. Watson. 1985. Soil measurements of plant-available potassium. PP. 277-308. *In:* Munson, R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture, Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
16. Norouzi, S. and H. Khademi. 2010. Ability of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to take up potassium from different micaceous minerals and consequent vermiculitization. Plant Soil 328: 83-93.
17. Norrish, K. 1973. Factors in the weathering of mica to vermiculite. Proc. Intl. Clay Conf., Madrid, pp. 417-432.
18. Rich, C.I. 1968. Mineralogy of soil potassium. PP. 79-108. *In:* Kilmer, V.J., S.E. Younts and N.C. Brady (Eds.), The Role of Potassium in Agriculture, Am. Soc. Agron., Madison, WI.
19. Rosst, G.J. and C.I. Rich. 1973. Effect of particle thickness on potassium exchange from phlogopite. Clays Clay Miner. 21(2): 77-81.
20. Saber, M.S.M. and M.R. Zanaty. 1981. Effectiveness of inoculation with silicate bacteria in relation to the potassium content of plants using the intensive cropping technique. Agric. Res. 59(4): 280-289.
21. Sahota, T.S. 2007. Understanding Alfalfa Nutrition. North West Link, Thunder Bay Agricultural Research Station.
22. Sparks, D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. Adv. Soil Sci. 6: 1-63.
23. Sparks, D.H. and P.M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. PP. 201-276. *In:* Munson R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture, Am. Soc. Agron., Madison, WI.
24. Stegner, R. 2002. Plant Nutrition Studies. Lamotte Company, Maryland, USA.
25. Wang, J.G., F.S. Zhang, Y.P. Cao and X.L. Zhang. 2000. Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss. Nutr. Cycl. Agroecosys. 56: 37-44.
26. Wang, J.G., F.S. Zhang, X.L. Zhang and Y.P. Cao. 2000. Release of potassium from K-bearing minerals: Effect of plant roots under P deficiency. Nutr. Cycl. Agroecosys. 56: 45-52.