نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۰، ص. ۱۳۲۰-۱۳۱۰

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 6, Jan-Feb 2012, p. 1310-1320

اثر تیمارهای حرارتی بر آزاد شدن پتاسیم کانی‌های میکایی در ریزوسفر یونجه

آسیه هادی‌نژاد[۱]- حسین خادمی[۲*]- شمس‌اله ایوبی[۳]- حسن لطفی‌پارسا[۴]

تاریخ دریافت:۸۹/۹/۹
تاریخ پذیرش:۹۰/۵/۱

چکیده

کانی‌های میکایی حرارت دیده تحت اسامی تجاری متفاوت از جمله ورمیکولیت، در تهیه بستر کشت گیاهان گلخانه‌ای استفاده می‌شوند. اعمال حرارت بر کانی‌ها می‌تواند با تغییر ساختار آن‌ها، آزادسازی عناصر و از جمله پتاسیم را تحت تأثیر قرار دهد. پژوهش حاضر با هدف بررسی توانایی گیاه یونجه، به عنوان یک علوفه مهم در سطح جهان، در جذب پتاسیم غیرتبادلی و ساختاری کانی‌های میکایی حرارت دیده انجام شد تا تأثیر همزمان تیمارهای حرارتی و ترشحات ریزوسفری بر رهاسازی پتاسیم از دو کانی میکایی حرارت دیده، یک کانی دی‌اکتاهدرال (موسکویت) و یک کانی تری-اکتاهدرال (فلوگوپیت)، بررسی شود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. دماهای ۱۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ ساعت بر کانی‌ها اعمال شده و سپس کانی‌ها به صورت مخلوط با شن کوارتزی (به عنوان ماده پرکننده) در بستر کشت استفاده شد. در طول دوره ۱۵۰ روزه کشت، گیاهان با دو نوع محلول غذایی (کامل و بدون پتاسیم) و آب مقطر آبیاری شدند. در پایان دوره کشت، بخش هوایی و ریشه گیاه جدا شده و عصاره‌گیری به روش خاکسترگیری خشک انجام و مقدار پتاسیم در عصاره گیاه با شعله‌سنج نوری قرائت شد. کانی‌های میکایی پاسخ‌های متفاوتی به تیمارهای حرارتی نشان دادند. در تیمارهای بدون پتاسیم مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه به طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع بستر کشت قرار داشت. در دماهای ۱۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد به ترتیب برای موسکویت و فلوگوپیت بیشترین پتاسیم قابل دسترس گیاه آزاد شد، همچنین تغییرات ساختاری که منجر به کاهش قابل ملاحظه در آزادسازی پتاسیم گردید، برای موسکویت در دمای بالاتر از ۷۰۰ و برای فلوگوپیت در دمای ۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد اتفاق افتاد.

واژه‌های کلیدی: تیمارهای حرارتی، رهاسازی پتاسیم، فلوگوپیت، موسکویت، یونجه

مقدمه

هوادیدگی کانی‌ها، منشا اولیه بیشتر عناصر ضروری برای موجودات است. طی فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی و تجزیه سنگ-های سطح زمین، عناصر مختلفی به شکل قابل دسترس برای موجودات زنده آزاد می‌شوند (۲۳). یکی از این عناصر پتاسیم است که میانگین مقدار آن در پوسته زمین ۲/۸۵ و در خاک ۱/۲ درصد است (۲۱). مهم‌ترین کانی‌های پتاسیم‌دار خاک فلدسپارهای پتاسیم و انواع میکاها می‌باشند که منابع طبیعی پتاسیم برای گیاهان هستند و پتاسیم آن‌ها به وسیله هوادیدگی آزاد می‌شود (۱۱).

میکاها مهم‌ترین منبع طبیعی پتاسیم در خاک‌ها هستند (۳). بسته به کاتیون موجود در لایه اکتاهدرال، میکاها به دی‌اکتاهدرال و تری-اکتاهدرال تقسیم بندی می‌شوند. شدت آزادسازی پتاسیم از میکاهای تری‌اکتاهدرال بیش از میکاهای دی‌اکتاهدرال است، به گونه‌ای که شدت آزادسازی پتاسیم از بیوتیت که یک میکای تری‌اکتاهدرال است به ترتیب ۱۳ تا ۱۶، ۷۵ تا ۱۰۵ و ۱۱۸ تا ۱۹۰ برابر فلوگوپیت، موسکویت و فلدسپار پتاسیم یا میکروکلین گزارش شده است (۲۸). هوانگ (۱۰) ترتیب آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های خاک در شرایطی که پتاسیم خاک کاهش می‌یابد را به صورت میکاهای تری اکتاهدرال، میکاهای دی اکتاهدرال و فلدسپارهای پتاسیم بیان کرد. فنینگ و همکاران (۸) نیز در نتیجه مشابهی گزارش کردند میکاهای تری‌اکتاهدرال از قبیل بیوتیت و فلوگوپیت بیش از میکاهای دی-اکتاهدرال از قبیل مسکویت پتاسیم آزاد می‌کنند.

چهار شکل مختلف پتاسیم در خاک به ترتیب سهل‌الوصول بودن برای گیاهان شامل پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی (تثبیت شده) و پتاسیم ساختمانی می‌باشد (۲۴). تعادل موجود بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک، باعث تداوم تأمین پتاسیم برای گیاهان می‌شود (۲۵). معمولاً پتاسیم ساختمانی برای گیاهان به کندی قابل استفاده بوده و قابلیت استفاده آن به عوامل چندی از قبیل مقدار

[۱،۲،۳و۴]- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: hkhademi@cc.iut.ac.ir)

پتاسیم در سایر شکل‌ها و نیز درجه هوادیدگی میکاها و فلدسپارها بستگی دارد (۳).

شواهد متعددی نشان می‌دهد که گیاهان قادرند از پتاسیم غیرتبادلی و ساختمانی، افزون بر پتاسیم محلول و تبادلی، جهت تأمین پتاسیم مورد نیاز خود استفاده کنند. این امر می‌تواند موجب تغییرات کانی در منطقه ریزوسفر گردد. اسیدهای آلی تراویده از ریشه با کاهش pH ریزوسفر موجب قابل جذب شدن عناصر غذایی می‌شوند (۷). حسینی‌فرد (۱) با کشت دو رقم پسته در دو زمان ۶ و ۱۲ ماه در محیطی که کانی‌های بیوتیت، فلوگوپیت و موسکویت تنها منبع تأمین پتاسیم بود، تغییر و تبدیل کانی‌شناسی موسکویت در دوره رشد ۱۲ ماهه و سایر کانی‌ها در هر دو دوره رشد را گزارش کرد. خادمی و آروسینا (۱۲) در تحقیقی تأثیر ریزوسفر گیاهان جو، یونجه و کلزا و ماده آلی (پیت) بر آزادسازی منیزیم از کانی‌های سپیولیت و پالیگورسکیت را بررسی کردند. مطالعات کانی‌شناسی پس از ۱۰۰ روز کشت، تشکیل کائولینیت را در بسترهای حاوی پالیگورسکیت در ریزوسفر گیاهان یونجه، کلزا و جو در تیمارهای با و بدون ماده آلی نشان داد. افزون بر این، سپیولیت نیز در ریزوسفر جو و کلزا به کائولینیت تبدیل شده بود، اما در شرایط بدون ماده آلی در ریزوسفر یونجه، تغییرات کانی مشاهده نشد. این پژوهشگران ایجاد اسیدیته بالای ناشی از فعالیت ریشه، تجزیه مواد آلی و جذب منیزیم توسط گیاه را از عوامل تشکیل کائولینیت بیان کردند. در زمینه تأثیر تراوه‌های ریزوسفری بر رهاسازی پتاسیم از کانی‌ها و تغییر و تحولات آن‌ها مطالعات متعدد دیگری نیز انجام شده است (۲، ۹، ۱۸ و ۲۶).

مطالعات محدودی تأثیر اعمال حرارت را بر ویژگی‌های کانی‌ها بررسی کرده‌اند. اطلاع از تأثیر تیمارهای حرارتی روی کانی‌های میکایی می‌تواند به فهم فرآیندهایی کمک کند که در تبادل کاتیون‌های بین لایه‌ای درگیرند (۲۰). چنین مطالعاتی نشان داده‌اند که حرارت توانسته است با بهبود قابلیت جذب کاتیون‌ها منجر به حذف سزیوم رادیواکتیو از زباله‌های اتمی شود (۲۷). برخی پژوهشگران تغییر رفتار آزادسازی پتاسیم را بر اثر حرارت گزارش کرده‌اند. همچنین کاربرد موفقیت‌آمیز تیمارهای حرارتی که منجر به آزادسازی بیشتر پتاسیم از ایلیت و میکاها گردیده، گزارش شده است (۱۳ و ۱۶). تأثیر حرارت بر قابلیت تبادل پتاسیم از یک کانی به کانی دیگر متفاوت است و بسته به طبیعت کانی، دما و طول زمان حرارت‌دهی این تأثیر متفاوت خواهد بود (۲۲).

ماروا و همکاران (۱۷) با اعمال حرارت بر نمونه‌های مختلف ورمیکولیت، مشاهده کردند که نمونه‌ها پاسخ متفاوتی به حرارت‌دهی داشته و برخی ویژگی‌های زراعی آنها تحت تأثیر قرار گرفت. هیدروکسیل‌زدایی[1] ورمیکولیت‌ها در اثر حرارت، موجب افزایش پتاسیم قابل دسترس نیز گردید. اسکات و همکاران (۲۰) تأثیر حرارت را بر قابلیت تبادل پتاسیم بین لایه‌ای چند نمونه کانی بررسی کرده و گزارش کردند که حداکثر تبادل پتاسیم با حرارت‌دهی تغییرات قابل ملاحظه‌ای نشان نداد، بلکه تغییرات عمده در سرعت تبادل صورت گرفت. کوزاک و اسکات (۱۴) لپیدوملان (نوعی کانی میکایی) را در زمان‌های متفاوت و دماهای ۳۰۰ تا ۹۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده و مشاهده کردند که تیمارهای حرارتی سرعت و میزان تبادل پتاسیم بین لایه‌ای در لپیدوملان را کاهش داد، همچنین اعمال حرارت بر کانی بیوتیت برای اکسایش Fe^{2+} باعث کاهش پتاسیم قابل عصاره‌گیری توسط سدیم کبالتی نیتریت گردید.

معمول است برخی کانی‌های میکایی به صورت تجاری حرارت‌دهی شده و به اشتباه تحت نام‌های تجاری متفاوت از جمله ورمیکولیت به عنوان بستر کشت در گلخانه‌ها استفاده شود. در مواردی اعمال تیمارهای حرارتی بر کانی‌ها منجر به بهبود برخی ویژگی‌های زراعی مانند ظرفیت نگهداشت آب و افزایش آزادسازی عناصر از جمله پتاسیم می‌گردد. در ارتباط با کانی‌های میکایی مطالعات محدودی انجام شده و هیچ گونه مطالعه‌ای، تأثیر حرارت را بر آزادسازی پتاسیم در محیط ریشه بررسی نکرده است، لذا این مطالعه با هدف تأثیر ریزوسفر یونجه بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌های میکایی حرارت دیده انجام شد. در این تحقیق از یونجه به عنوان یکی از گیاهان زراعی پرمحصول کشور به منظور ایجاد یک محیط ریزوسفری در گلدان و از کانی‌های میکایی به عنوان اصلی‌ترین منبع تامین پتاسیم در خاک‌ها به عنوان منبع پتاسیمی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش گلدانی با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل دو نوع میکا (موسکویت و فلوگوپیت)، دماهای مختلف (۶ تیمار حرارتی+ شاهد) و دو نوع محلول غذایی (کامل و بدون پتاسیم) بود، بنابراین تعداد ۸۴ گلدان مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش گلدانی در گلدان‌های ۷۰۰ گرمی انجام شد. بستر کشت شامل مخلوط شن کوارتزی (به عنوان ماده پرکننده و فاقد هر گونه رس و عناصر معدنی) و کانی میکایی (به عنوان منبع تأمین پتاسیم گیاه) بود. شن و کانی‌های مورد استفاده در این مطالعه که از معادنی در همدان تهیه شده بود، به منظور بررسی ترکیب عنصری، قبلاً در مطالعه دیگری مورد تجزیه عنصری فلورسانس پرتو ایکس (XRF) قرار گرفته بود (۱۸). برای استفاده در بستر کشت، شن ابتدا با آب مقطر و اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال و سپس با آب مقطر روی الک ۲۰۰ مش چندین بار شسته شد. ذرات باقیمانده روی الک، جمع‌آوری و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک شد. کانی‌های موسکویت و فلوگوپیت نیز پس از آسیاب شدن و عبور از الک ۲۳۰ مش، در کوره الکتریکی به مدت ۵

1- Dehydroxylation

ساعت، در دماهای ۱۰۰ (T_1)، ۲۰۰ (T_2)، ۳۵۰ (T_3)، ۵۰۰ (T_4)، ۷۰۰ (T_5) و ۹۰۰ (T_6) درجه سانتیگراد قرار گرفت. پس از حرارت-دهی کانی‌ها و با اعمال کاهش وزن نمونه‌ها در اثر حرارت، مقداری از هر نمونه، معادل وزن حرارت ندیده کانی و تأمین کننده میزان یکسانی از پتاسیم در کلیه نمونه‌ها، وزن شد که به صورت مخلوط با شن کوارتزی جهت گلدان‌گیری و آماده‌سازی بستر کشت استفاده گردید. میزان کانی اضافه شده به هر گلدان به گونه‌ای بود که ۰/۳۵ درصد وزنی بستر کشت K_2O (۰/۲۹ درصد K) را فراهم‌کند. تیمار شاهد (T_0) نیز حاوی شن وکانی‌های میکایی حرارت‌ندیده بود.

بذور یونجه، رقم رهنانی، ضدعفونی شده و در هر گلدان تعداد ۶ عدد بذر در عمق ۱ سانتی‌متری بستر کشت قرار گرفت که پس از چند برگی شدن به سه گیاه تنک شد. در طول دوره رشد به منظور آبیاری از آب مقطر و بسته به نیاز گیاه از محلول غذایی استفاده شد. پس از اتمام دوره کشت (۱۵۰ روز)، گیاهان برداشت شده و قسمت هوایی و ریشه گیاه جدا شده و جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شد. وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه اندازه‌گیری، عصاره‌گیری از گیاه به روش خاکسترگیری خشک انجام و غلظت پتاسیم موجود در عصاره به روش شعله‌سنج نوری تعیین شد. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد.

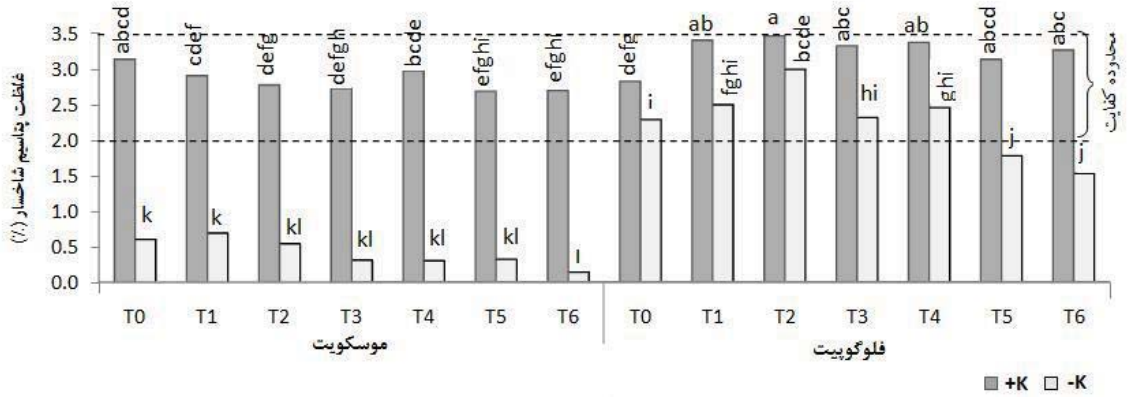
نتایج و بحث

در جدول‌های ۱ و ۲، نتایج تجزیه واریانس وزن خشک، غلظت و جذب پتاسیم اندام هوایی و ریشه گیاه آمده است. همان‌گونه که جدول ۱ نشان می‌دهد تأثیر فاکتورهای نوع کانی، نوع محلول غذایی، دما و همچنین برهمکنش این عوامل، به استثنای برهمکنش دما و نوع کانی بر مقدار وزن خشک و برهمکنش دما و نوع محلول غذایی بر جذب پتاسیم در شاخسار معنی‌دار است.

بر اساس جدول ۲ در ریشه نیز اثر نوع کانی و نوع محلول غذایی بر هر سه پارامتر معنی‌دار است، در حالی‌که اثر دما بر دو پارامتر وزن خشک و غلظت پتاسیم و برهمکنش سه عامل بر غلظت و جذب پتاسیم معنی‌دار است. همچنین برهمکنش دما و نوع کانی فقط بر وزن خشک و اثر متقابل نوع کانی و نوع محلول بر وزن خشک و غلظت پتاسیم معنی‌دار می‌باشد.

غلظت پتاسیم شاخسار و ریشه گیاه

شکل ۱ نشان می‌دهد که بیشترین غلظت پتاسیم در محیط‌های کشت حاوی فلوگوپیت دیده می‌شود و دراین محیط کشت اختلاف بین دو حالت تغذیه‌ای با و بدون پتاسیم معنی‌دار است. در بسترهای کشت فلوگوپیت و در هر دو حالت تغذیه‌ای، غلظت پتاسیم شاخسار کلیه تیمارها به استثنای دماهای ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد در محدوده کفایت برای گیاه یونجه قرار دارد و این در حالی است که بسترهای کشت موسکویت تنها در حالت تغذیه با محلول غذایی کامل قادر به تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه بوده و در شرایط تغذیه با محلول غذایی بدون پتاسیم، هیچ یک از تیمارها قادر به تأمین پتاسیم در محدوده کفایت گیاهان نبوده است. این مسئله نشان می‌دهد در بسترهایی که پتاسیم ساختاری کانی تنها منبع تأمین پتاسیم گیاهان بوده است، موسکویت قادر به تأمین نیاز پتاسیمی گیاهان زیر کشت نبوده است، در حالی‌که فلوگوپیت توانسته است نیاز گیاهان به پتاسیم را مرتفع نماید.



شکل ۱- مقایسه غلظت پتاسیم شاخسار در تیمارهای مختلف

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

T_0 تا T_6 به ترتیب تیمارهای حرارتی شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشند.

جدول ۱- تجزیه واریانس وزن خشک، غلظت پتاسیم و جذب پتاسیم شاخسار

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک	غلظت پتاسیم	جذب پتاسیم
دما	۶	۲۴/۰۹**	۰/۴۶**	۲۹۳۹۳/۲۶**
نوع کانی	۱	۵۸۶/۱۹**	۲۷/۰۲**	۱۲۰۷۱۶۷/۶۲**
نوع محلول غذایی	۱	۳۴۴/۳۷**	۶۱/۶۸**	۱۷۹۰۵۵۵/۶۸**
دما × نوع کانی	۶	۳/۹۳$^{n.s}$	۰/۲۵**	۱۵۴۸۸/۴۷**
دما × نوع محلول غذایی	۶	۷/۹۹**	۰/۲۰**	۵۱۶۸/۹۳$^{n.s}$
نوع کانی × نوع محلول غذایی	۶	۲۳۸/۲۹**	۱۰/۹۰**	۲۶۶۴۱۸/۳۸**
نوع کانی × دما × نوع محلول غذایی	۶	۵/۵۸**	۰/۱۴*	۷۰۹۰/۴۰*

**:معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹٪، *: معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵٪ ، n.s عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵٪

بیشترین غلظت پتاسیم شاخسار در بسترهای موسکویت تغذیه شده با محلول غذایی کامل پس از تیمار شاهد مربوط به دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. در حالت تغذیه با محلول بدون پتاسیم، بیشترین غلظت پتاسیم شاخسار در محیط‌های کشت موسکویت و فلوگوپیت به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. از نظر آماری اختلاف تیمار ۲۰۰ درجه با شاهد در فلوگوپیت معنی‌دار است، در حالی‌که در تیمار ۱۰۰ درجه موسکویت، گرچه غلظت پتاسیم بیش از تیمار شاهد است ولی این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نیست (شکل ۱). این امر نشان می‌دهد که در این تیمارها آزادسازی پتاسیم تحت تأثیر دما قرار گرفته و دما موجب بهبود آزادسازی پتاسیم در این کانی‌ها گردیده است. به نظر می‌رسد اعمال دماهای بیش از ۷۰۰ درجه سانتیگراد در هر دو کانی با تغییر جدی ساختار و بویژه اتصال محکم‌تر لایه‌ها موجب می‌شود که پتاسیم غیرتبادلی کانی‌ها سخت‌تر آزاد شده و نقش این شکل از پتاسیم در تغذیه گیاه کمرنگ‌تر شود. مطالعه‌ای توسط والکر (۲۹) نشان داد که ۳۰ درصد از آب آزاد شده از ورمیکولیت بر اثر حرارت دهی از هیدروکسیل‌زدایی بدست آمده و به شرایط خشک اولیه (دما و اندازه ذرات) بستگی دارد. بر اساس نتایج تحقیق والکر (۲۹) آزاد شدن آب هیدروکسیل به تدریج از دمای ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد اتفاق می‌افتد که معمولاً با تغییرات ساختاری همراه است.

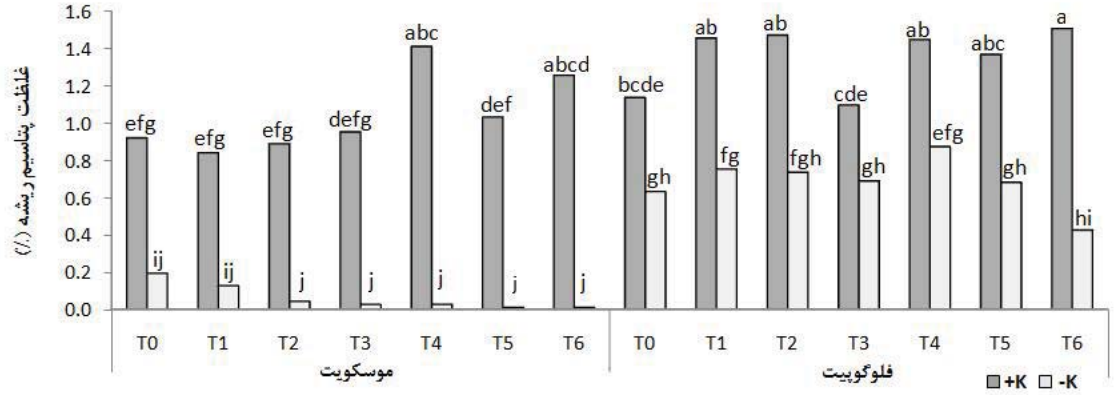
غلظت پتاسیم ریشه در مقایسه با شاخسار بسیار کمتر است و این امر به دلیل انتقال پتاسیم از ریشه به شاخسار است (شکل ۲). این مسئله نشان‌دهنده نیاز بیشتر شاخسار به پتاسیم است.

شکل ۳ نشان می‌دهد که همبستگی بالایی بین غلظت پتاسیم ریشه و شاخسار وجود دارد. در غلظت‌های پایین‌تر پتاسیم شاخسار، نمودار شکل نمایی دارد ولی با افزایش غلظت پتاسیم روند تقریباً خطی می‌گیرد. این تغییر روند بیانگر این است که در غلظت‌های پایین‌تر پتاسیم که زیر محدوده کفایت برای گیاه یونجه (۵) قرار دارد، تقاضای بخش هوایی برای پتاسیم زیادتر است و شاخسار با شدت بیشتری پتاسیم را از ریشه می‌گیرد. با توجه به اینکه غلظت پتاسیم شاخسار در بسترهای کشت موسکویت که با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند، در همه تیمارها از حد بحرانی کمبود برای گیاه یونجه پایین‌تر بود، بخش هوایی با مطالبه پتاسیم مورد نیاز خود از ریشه باعث شده است که کمترین غلظت پتاسیم ریشه در این تیمارها مشاهده شود (شکل ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس وزن خشک، غلظت پتاسیم و جذب پتاسیم ریشه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک	غلظت پتاسیم	جذب پتاسیم
دما	۶	۵۶/۹۹**	۰/۱۰*	۵۰۹/۴۴$^{n.s}$
نوع کانی	۱	۱۲۵/۲۹**	۵/۱۷**	۴۴۶۹۹/۹۷**
نوع محلول غذایی	۱	۳۰۴/۴۹**	۱۵/۳۴**	۱۵۹۶۲۲/۲۲**
دما × نوع کانی	۶	۳/۳۵*	۰/۰۴$^{n.s}$	۴۵۶/۹۶$^{n.s}$
دما × نوع محلول غذایی	۶	۰/۸۴$^{n.s}$	۰/۱۹**	۱۰۲۸/۶۹*
نوع کانی × نوع محلول غذایی	۶	۱۰۶/۳۳**	۰/۳۴**	۱۳۱۷/۴۹$^{n.s}$
نوع کانی × دما × نوع محلول غذایی	۶	۱/۶۶$^{n.s}$	۰/۰۹*	۱۵۱۹/۴۷**

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹٪، *: معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵٪ ، n.s عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵٪



شکل ۲- مقایسه غلظت پتاسیم ریشه در تیمارهای مختلف

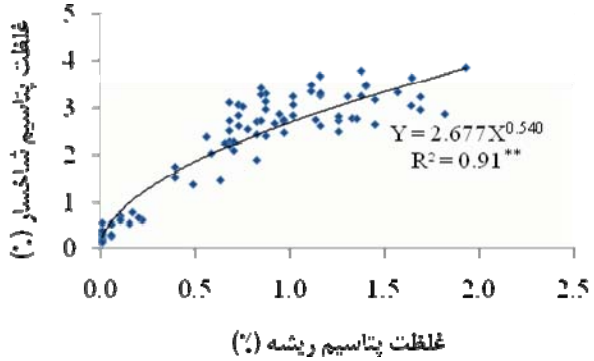
میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

T_0 تا T_6 به ترتیب تیمارهای حرارتی شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشند.

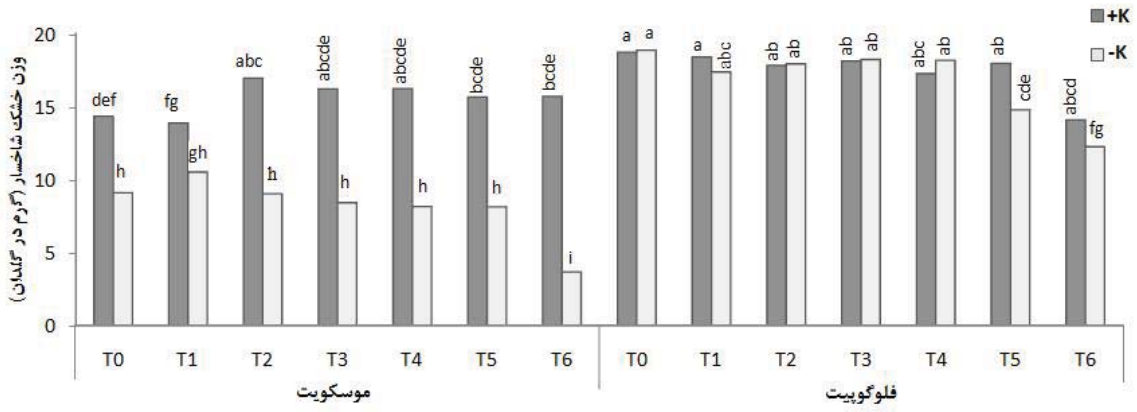
وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه گیاه

میانگین وزن خشک شاخسار در هر دو حالت تغذیه‌ای در بسترهای حاوی فلوگوپیت بیش از موسکویت است، همچنین اختلاف وزن خشک اندام‌هوایی در بسترهای فلوگوپیت در هر دو حالت تغذیه‌ای، جز در تیمارهای ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد، معنی‌دار نیست (شکل ۴). این امرنشان می‌دهد که فلوگوپیت توانسته است نیاز گیاه به پتاسیم را در طول دوره کشت تأمین کند. ظاهر شاداب گیاهان در بسترهایی که کانی فلوگوپیت تنها منبع پتاسیمی آنها بود، این مسئله را تأیید می‌کند. این گیاهان ظاهری مشابه گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی کامل داشته و به هیچ‌وجه علائم کمبود پتاسیم را در طول ۱۵۰ روزه کشت نشان ندادند. دمای بالا با تأثیر بر رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی فلوگوپیت موجب محدود شدن رشد به دلیل کمبود پتاسیم، در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم در تیمارهای دمای بالا گردیده است (شکل ۴).

همان‌گونه که شکل ۴ نشان می‌دهد کمترین رشد مربوط به بسترهای موسکویت تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم بود. کلیه گیاهان کشت شده در این بستر که پتاسیم مورد نیاز خود را از کانی دریافت کرده بودند، در طول دوره رشد علائم کمبود پتاسیم را نشان دادند. این علائم ابتدا در تیمار ۹۰۰ درجه ظاهر شده و آخرین تیماری که علائم کمبود پتاسیم را نشان داد تیمار ۱۰۰ درجه سانتیگراد بود. اعمال دماهای۱۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد در موسکویت‌های تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم احتمالاً با تأثیر بر آزادسازی پتاسیم، رشد را تحت تأثیر قرار داده و به ترتیب موجب افزایش و کاهش وزن خشک شاخسار گردیده است. کاهش عملکرد در بسترهای فلوگوپیتی از دمای بالاتر از ۵۰۰ درجه و دربسترهای موسکویتی از دمای بالاتر از ۷۰۰ درجه آشکارتر است. رفتار آزادسازی پتاسیم فقط تابع تیمارهای حرارتی نیست، بلکه بسته به نوع کانی نیز تغییر می کند (۲۲). اسکات و همکاران (۲۰) گزارش کردند حرارت دهی تا دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد تأثیر نسبتاً کمی روی تبادل پتاسیم در فلوگوپیت دارد، در حالیکه حرارت ۴۵۰ درجه سانتیگراد باعث آزادسازی پتاسیم هیدروبیوتیت از طریق پوسته پوسته شدن و همچنین کاهش سرعت و میزان تبادل پتاسیم در فلوگوپیت می‌شود.



شکل۳- همبستگی بین غلظت پتاسیم ریشه و شاخسار (**: معنی‌داری در سطح ۱٪)



شکل ٤- مقایسه وزن خشک شاخسار در تیمارهای مختلف

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

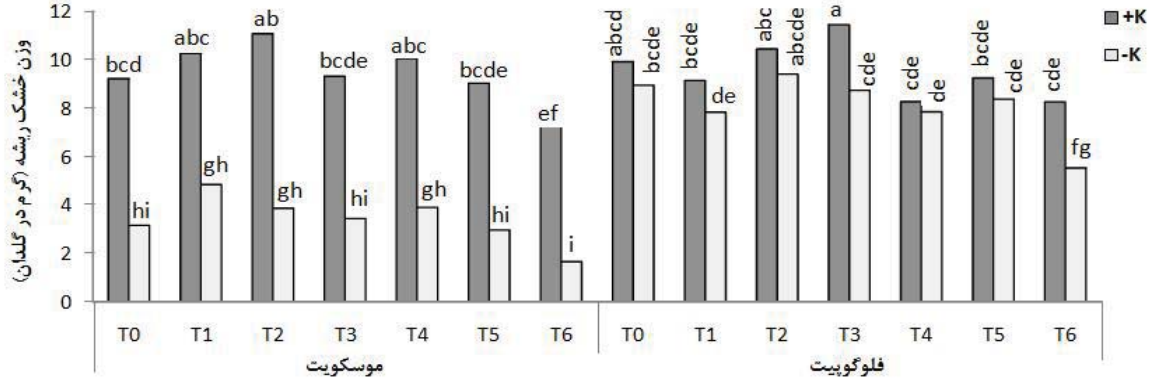
T_0 تا T_6 به ترتیب تیمارهای حرارتی شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشند.

در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم در بسترهای موسکویت و فلوگوپیت به ترتیب بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به دماهای ۱۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد که نشان-دهنده تأثیر مثبت اعمال حرارت بر افزایش عملکرد در این دو تیمار است. کمترین عملکرد در تیمارهایی که پتاسیم مورد نیاز خود را از کانی میکایی دریافت کرده‌اند، مربوط به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد (شکل ۵). ورقه ورقه شدن و افزایش تخلخل کانی به دلیل خروج آب بین لایه‌ای در دماهای پایین‌تر (۱۵) ممکن است دلیل افزایش آزادشدن پتاسیم بین لایه‌ای باشد. تغییرات ساختاری کانی و بویژه اتصال محکم‌تر لایه‌ها در دماهای بالا نیز می‌تواند دلیل کاهش آزادسازی پتاسیم در دو کانی باشد. موزاهیر و همکاران (۶) گزارش کردند که پوسته پوسته شدن ورمیکولیت، پس از حذف کامل آب بین لایه‌ای رخ می‌دهد.

میزان جذب پتاسیم توسط شاخسار و ریشه گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در مورد جذب پتاسیم شاخسار نشان می‌دهد که اثر نوع کانی، نوع محلول غذایی، دما و اثر متقابل این عوامل از نظر آماری معنی‌دار است (جدول ۱).

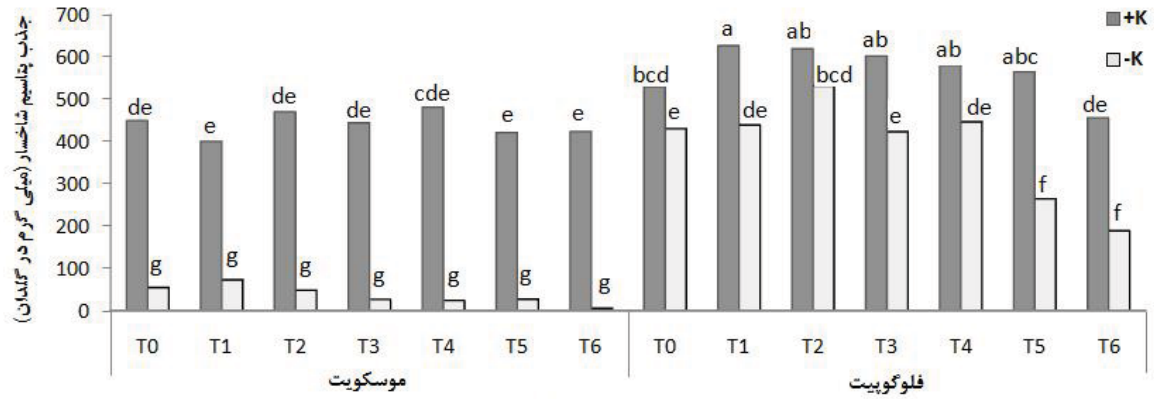
بیشترین جذب پتاسیم شاخسار در فلوگوپیت‌های تغذیه شده با محلول غذایی کامل مشاهده می‌شود و در بین این تیمارها بیشترین جذب مربوط به دماهای ۱۰۰ و۲۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. اختلاف جذب در دو حالت تغذیه‌ای در موسکویت بسیار بیشتر از فلوگوپیت است و این نشان می‌دهد که توانایی موسکویت در تأمین پتاسیم، بسیار کمتر از فلوگوپیت است. تحقیقات انجام شده در مورد آزاد شدن پتاسیم بین لایه‌ای در کانی‌های خالص نشان داده است که پتاسیم بین لایه‌ای در میکاهای تری‌اکتاهدرال آسان‌تر از میکاهای دی-اکتاهدرال آزاد می‌شود (۱۹).



شکل ۵- مقایسه وزن خشک ریشه در تیمارهای مختلف

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

T_0 تا T_6 به ترتیب تیمارهای حرارتی شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشند.



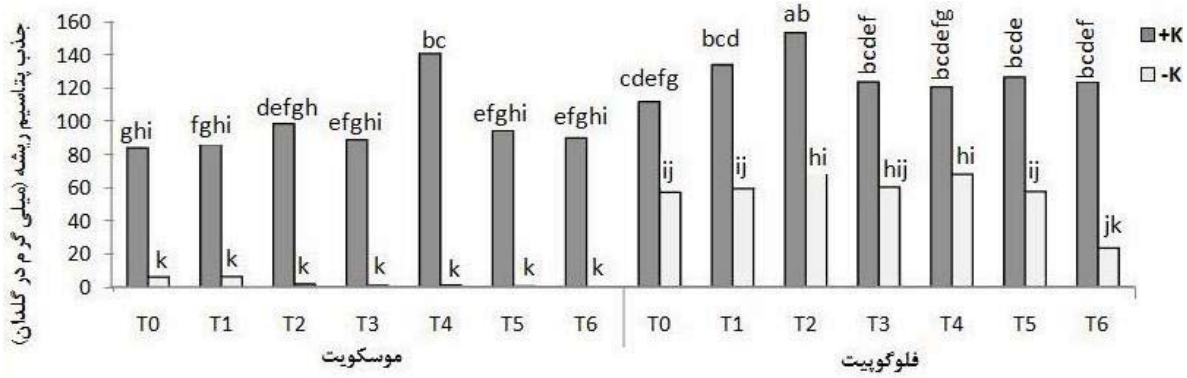
شکل ٦- مقایسه میزان جذب پتاسیم شاخسار در تیمارهای مختلف

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

T_0 تا T_6 به ترتیب تیمارهای حرارتی شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشند.

در تیمارهای تغذیه شده با محلول غذایی بدون پتاسیم، بیشترین جذب در بسترهای موسکویت و فلوگوپیت به ترتیب مربوط به دماهای ۱۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد است که مشابه غلظت پتاسیم اندام هوایی است (شکل ۶)، گرچه از نظر آماری اختلاف این تیمار با شاهد در موسکویت معنی‌دار نیست. این مسئله تأیید می‌کند که اعمال دمای ۱۰۰ درجه بر موسکویت و ۲۰۰ درجه بر فلوگوپیت موجب سهولت در آزادسازی بخشی از پتاسیمی شده است که به راحتی در دسترس گیاه قرار نمی‌گیرد. به نظر می‌رسد بیشترین تغییرات ساختاری که منجر می‌شود آزادسازی پتاسیم از کانی‌های میکایی تحت تأثیر قرار گرفته و کاهش یابد، برای فلوگوپیت در دمای بالاتر از ۵۰۰ و برای موسکویت دردمای بالاتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد اتفاق می‌افتد. اسمیت و اسکات (۲۲) با حرارت دادن نمونه‌های گراندیت در دماها و دوره‌های زمانی مختلف و سپس عصاره‌گیری با محلول نمکی سدیم تترافنیل بران، مشاهده کردند که بیشترین پتاسیم قابل عصاره‌گیری در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت حاصل می‌گردد. حرارت‌دهی تا دمای ۶۵۰ و سپس ۷۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت، به شدت موجب کاهش پتاسیم قابل عصاره‌گیری با سدیم‌تترافنیل‌بران گردید.

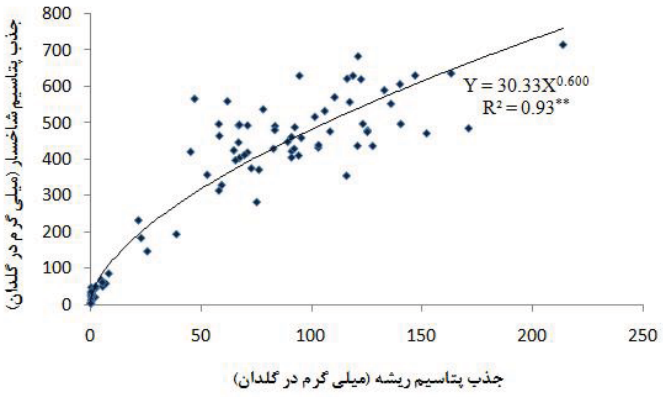
میزان جذب پتاسیم نیز مانند غلظت پتاسیم، در ریشه بسیار پایین‌تر از شاخسار است. با توجه به اینکه پارامتر جذب حاصل دو پارامتر عملکرد و غلظت است، این مسئله به دلیل عملکرد و غلظت پتاسیم کمتر ریشه نسبت به شاخسار است. در شرایط تغذیه گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم در بسترهای موسکویت، میزان جذب پتاسیم ریشه بسیار پایین است و همچنین اختلاف جذب ریشه در تیمارهای مختلف معنی‌دار نیست (شکل ۷). این امر نشان می‌دهد که میزان رهاسازی پتاسیم از این کانی در حدی نبوده است که نیاز شاخسار را تأمین کند و به دلیل نیاز بالاتر شاخسار به پتاسیم و ظرفیت بالای انتقال این عنصر به شاخسار، جذب پتاسیم ریشه در تمام تیمارها بسیار کمتر از جذب پتاسیم شاخسار است.



شکل ۷- مقایسه میزان جذب پتاسیم ریشه در تیمارهای مختلف

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

T_0 تا T_6 به ترتیب تیمارهای حرارتی شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشند.



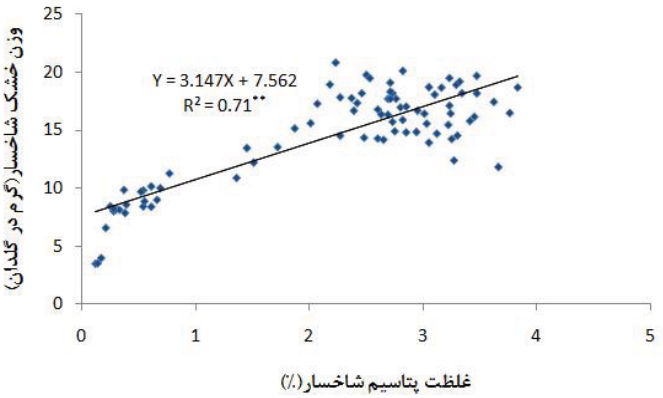
شکل ۸- همبستگی بین جذب پتاسیم ریشه و شاخسار (**: معنی‌داری در سطح ۱٪)

شکل ۸ همبستگی بسیار بالایی را بین جذب پتاسیم ریشه و شاخسار نشان می‌دهد. روند طی شده در این نمودار که در ابتدا نمایی و در ادامه تقریباً خطی می‌شود بیانگر آن است که در مقادیر پایین جذب، بخش هوایی با شدت بیشتری پتاسیم را از ریشه مطالبه و جذب می‌کند.

شکل ۹ همبستگی مقادیر وزن خشک و غلظت پتاسیم شاخسار را نشان می‌دهد. همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱٪ نشان می‌دهد که با افزایش یا کاهش غلظت پتاسیم شاخسار، وزن خشک اندام-هوایی به ترتیب افزایش یا کاهش می‌یابد. این مسئله نشان می‌دهد که کمبود پتاسیم مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که اعمال حرارت بر کانی‌های میکایی موسکویت و فلوگوپیت می‌تواند موجب تغییر در رفتار آزادسازی پتاسیم گردد. احتمالاً این تغییر از طریق پوسته پوسته شدن، از دست دادن آب هیدروکسیل و تغییر ساختار کانی‌ها اتفاق می‌افتد (۴، ۶، ۱۴ و ۱۷). البته در این پژوهش نمی‌توان نقش تراوه-های ریزوسفری را بر هوادیدگی کانی‌ها در محیط کشت نادیده گرفت. اسیدهای آلی تراویده از ریشه با کاهش pH ریزوسفر باعث قابل جذب شدن عناصرغذایی می‌شوند (۷). علاوه بر دما، نوع کانی نیز بر تأثیر دما بر آزادسازی پتاسیم تأثیرگذار است. تیمار حرارتی ۱۰۰ درجه باعث بهبود جزئی رفتار آزادسازی پتاسیم در موسکویت گردیده و در دمایی بالاتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد تغییرات شدید ساختاری در این کانی آزادسازی پتاسیم را به شدت محدود می‌کند. بیشترین آزادسازی پتاسیم فلوگوپیت نیز در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد اتفاق افتاده و دماهای بالاتر از ۵۰۰ درجه سانتیگراد باعث شده این کانی نتواند پتاسیم کافی جهت رشد مطلوب در اختیار گیاه قرار دهد. تغییراتی که موجب کاهش آزادسازی پتاسیم گردیده، برای فلوگوپیت در دمای پایین‌تری نسبت به موسکویت اتفاق افتاده است. اسکات و همکاران (۲۰) دریافتند که آزادسازی پتاسیم در میکاهای تری-اکتاهدرال حرارت دیده می‌تواند به واسطه اکسایش Fe^{2+} کاهش یابد، گرچه تأثیر اکسایش آهن می‌تواند تحت‌الشعاع سایر تغییرات در نمونه‌های حرارت‌دیده قرار بگیرد.



شکل ۹ - همبستگی بین مقدار وزن خشک و غلظت پتاسیم شاخسار (**: معنی‌داری در سطح ۱٪)

در دماهای بالا ممکن است کانی‌ها به ترکیبات پایدارتری تبدیل شده باشند که آزادسازی پتاسیم از آن‌ها دشوارتر باشد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش به نظر می‌رسد اعمال دماهای ۱۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد به ترتیب بر موسکویت و فلوگوپیت شرایط را برای آزادسازی بیشتر پتاسیم از این کانی‌ها فراهم می‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود پیش از استفاده از این کانی‌ها در بستر کشت جهت بهبود وضعیت تغذیه پتاسیمی گیاه، تیمارهای حرارتی مذکور را بر کانی‌ها اعمال کرد، همچنین پیشنهاد می‌شود تأثیر اعمال حرارت بر کانی‌های پتاسیم‌دار دیگر نیز بررسی شده و بهترین تیمار حرارتی که می‌تواند منجر به افزایش پتاسیم قابل جذب برای گیاهان شود، انتخاب و از کانی حرارت دیده به عنوان منبع آزادسازی پتاسیم در محیط کشت استفاده گردد.

منابع

۱- حسینی‌فر س. ج. ۱۳۸۸. تغییر و تحولات کانی‌شناسی و شیمیایی برخی کانی‌های پتاسیم‌دار در محیط ریشه پسته و گندم. پایان‌نامه دکترای خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۹۸ صفحه.

۲- خیامیم ف.، خادمی ح.، خوشگفتارمنش ا. ح.، و ایوبی ش. ۱۳۸۸. توانایی گیاه جو در جذب پتاسیم از موسکویت و فلوگوپیت. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان، ص ۲۲۲.

۳- ملکوتی م. ج.، شهابی ع. ا.، و بازرگان ک. ۱۳۸۴. پتاسیم در کشاورزی ایران. انتشارات سنا. ۲۹۲ صفحه.

4- Balek V. and Murat M. 1996. The emanation thermal analysis of kaolinite clay minerals. Thermochimica Acta 282/283: 385-397.

5- Benton Jones J., Wolf B. and Mills H.A. 1991. Plant Analysis Handbook: a Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing Inc., Georgia, USA. 213 Pages.

6- El Mouzdahir Y., Elmchaouri A., Mahboub R., Gil A. and Korili S.A. 2009. Synthesis of nano-layered vermiculite of low density by thermal treatment. Powder Technology, 189: 2–5.

7- Fageria N.K. and Stone L. 2006. Physical, chemical and biological changes in the rhizosphere and nutrient availability. Journal of Plant Nutrition, 29: 1327-1356.

8- Fanning D.S., Keramidas V.Z. and El-Desoky M.A. 1989. Micas. PP. 551–634. In: J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.), Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.

9- Hinsinger P. and Jaillard B. 1993. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. Soil Science, 44: 525-534.

10- Huang P.M. 2005. Chemistry of soil potassium. PP.227-292. In: M.A. Tabatabai and D.L. Sparks (Eds.), Chemical Processes in Soils. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.

11- Jardine P. M. and Sparks D.L. 1984. Potassium-calcium exchange in a multireactive soil system. I. Kinetics. Soil Science Society of America Journal, 48: 39-45.

12- Khademi H. and Arocena J.M. 2008. Kaolinite formation from palygorskite and sepiolite in rhizosphere soils. Clays and Clay Minerals, 56: 422-436.

13- Kolterman D.W. and Truog E. 1953. Determination of fixed soil potassium. Soil Science Society of America Proceedings, 17: 347-351.

14- Kozak L.M. and Scott A.D. 1985. Changes in potassium exchangeability in heated lepidomelane. Applied Clay Science, 1: 29-42.

15- Lagaly G. 1987. Surface Chemistry and Catalysis. The 6th Meeting of the European Clay Groups, Seville, Spain, pp. 97-115.

16- Legg J.O. and Alexy J.H. 1958. Investigation of a thermal method for the determination of fixed potassium in soils. Soil Science Society of America Proceedings, 22: 287-290.

17- Marwa E.M.M., Meharg A.A. and Rice C.M. 2009. The effect of heating temperature on the properties of vermiculites from Tanzania with respect to potential agronomic applications. Applied Clay Science, 43: 376-382.

18- 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.

19- Scott A.D. and Reed M.G. 1962. Chemical extraction of potassium from soils and micaceous minerals with solution containing sodium tetraphenylboron. II. Biotite. Soil Science Society of America Proceedings, 26: 41-45.

20- Scott A.D., Ismail F.T. and Locatis R.R. 1973. Changes in interlayer potassium exchangeability induced by heating micas. Clays and Clay Minerals, 22: 263-270.

21- Sheldrick W.F. 1985. World potassium reserves. PP. 3-29. In R.D. Munson (Ed.), Potassium in Agriculture. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.

22- Smith S.J. and Scott A.D. 1974. Exchangeability of potassium in heated fine-grained micaceous minerals. Clays and Clay Minerals, 22 : 263-270.

23- Sparks D.L. 1980. Chemistry of soil potassium in Atlantic coastal plain soil. A review. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 11: 435-449.
24- Sparks D.L. and Huang P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium. PP. 201-276. *In*: R.D. Munson (Ed.), Potassium in Agriculture. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
25- Sparks D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. Advances in Soil Science, 6: 1-63.
26- Spyridakis D.E., Chester S.G. and Wilde S.A. 1967. Kaolinization of biotite as a result of coniferous and deciduous seedling growth. Soil Science Society of America Proceedings, 31: 203-210.
27- Tamura T. and Jacobs D.G. 1961. Improving cesium selectivity of bentonites by heat treatment: Health Physics, 5: 149-154.
28- Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D. and Havlin J.L. 2003. Soil Fertility and Fertilizers, 5th eds. Prentice-Hall of India Limited. New Delhi, India. 634pp.
29- Walker G.F. 1951. Vermiculites and some related mixed-layer minerals. In G.W. Brindley (Ed.), X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals. Mineralogical Soc., London. 199–223.

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 6, Jan-Feb 2012, p. 1310-1320

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۰، ص. ۱۳۲۰-۱۳۱۰

Effect of Heat Treatments on Potassium Release from Di- and Trioctahedral Micas in Alfalfa Rhizosphere

A. Hadinezhad[1] - H. Khademi[2*]- Sh. Ayoubi[3] - H. Lotfi Parsa[4]

Received: 30-11-2010
Accepted: 23-7-2011

Abstract

Heated micaceous minerals under different commercial brand names (including vermiculite) are used as culture medium in greenhouses. Heating minerals affects the release of elements, such as potassium, by changing their structure. The present study, investigates the ability of alfalfa, as one of the most important fodder around the world, to take up the non-exchangeable and structural potassium from heated micaceous minerals. The simultaneous effects of heat treatments and rhizospheric conditions on potassium release from two heated micaceous minerals including muscovite, as a di-ochtahedral mica, and phlogipite, as a tri-ochtahedral one, were studied in a pot experiment. The experiment was carried out as a completely randomized design with factorial combinations and three replications. Minerals were heated at 100 to 900 ^{0}C for 5 hours and mixed with quartz sand to fill the pots as the culture medium. Pots were irrigated with two different nutrient solutions (+K or -K) and distilled water during a period of five months. At the end of experiment, dry matter of shoot and root samples was measured separately. The K uptake by plant was then measured by flame photometer following the dry ash extraction. Results revealed different responses of micaceous minerals to heat treatments. In K-free treatments, the plant K uptake was significantly influenced by culture media. The most plant K available was released at 100 and 200 ^{0}C for muscovite and phlogopite treated plants, respectively. The structural changes causing a considerable decrease in potassium release, also took place at 700 ^{0}C for phlogopite and 500 to 700 ^{0}C for muscovite.

Keywords: Heat treatments, Potassium release, Muscovite, Phlogopite, Alfalfa

1,2,3,4- MSc, Student, Professor, Associate Professor, and MSc Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Respectively
(*- Corresponding Author Email: hkhademi@cc.iut.ac.ir)