مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۴ شماره ۱، پاییز ۹۰

رهاسازی پتاسیم از بیوتیت و هوادیدگی بیولوژیکی آن تحت تأثیر ماده آلی

زینب نادری زاده[۱] و حسین خادمی[۲*]

۱- دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲*- **نویسنده مسؤول**: استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (hkhademi@cc.iut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۷

چکیده

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در رابطه با هوادیدگی بیولوژیکی کانی‌های میکایی تحت تأثیر گیاهان و میکروارگانیسم‌ها انجام شده است. اما اطلاعاتی در مورد هوادیدگی بیولوژیکی کانی بیوتیت و میزان رهاسازی پتاسیم از آن تحت تأثیر ماده آلی وجود ندارد. بنابراین مطالعه‌ی حاضر با هدف بررسی تأثیر ماده آلی بر هوادیدگی بیولوژیکی بیوتیت و میزان رهاسازی پتاسیم از آن صورت گرفت. آزمایش گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. بستر کشت مخلوطی از شن کوارتزی، بیوتیت و ماده آلی (کوکوپیت) در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ گرم بر کیلوگرم بود. در دوره ۱۲۰ روزه کشت گیاهان با محلول غذایی کامل یا بدون پتاسیم تغذیه شدند. پس از اتمام دوره رشد وزن خشک گیاهان اندازه‌گیری و مقدار پتاسیم پس از عصاره‌گیری به روش خاکستر خشک با شعله‌سنج تعیین شد. همچنین کانی میکایی بستر کشت و محصولات هوادیدگی آن از شن کوارتزی جدا شدند و بخش رس کانی‌ها به روش پراش پرتو ایکس بررسی شد. حضور ماده آلی در محیط کشت دارای بیوتیت در شرایطی که گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند، باعث افزایش وزن خشک گیاه و غلظت پتاسیم شاخسار نسبت به تیمار فاقد ماده آلی گردید. در هر دو وضعیت تغذیه‌ای، حضور ماده آلی در بسترهای کشت دارای بیوتیت باعث افزایش معنی‌دار میزان جذب پتاسیم کل نسبت به شرایط فاقد ماده آلی شد. پراش پرتو ایکس، تغییر کانی‌شناسی بیوتیت را در هر دو وضعیت تغذیه‌ای نشان داد. در بسترهای دارای بیوتیت در شرایط تغذیه‌ای با پتاسیم، ماده آلی تأثیر ناچیزی در میزان تغییرات کانی‌شناسی داشت؛ اما در وضعیت تغذیه‌ای بدون پتاسیم افزودن ماده آلی به بسترهای حاوی این کانی منجر به افزایش معنی‌دار تغییرات کانی‌شناسی گردید.

کلید واژها: رهاسازی پتاسیم، ماده آلی، هوادیدگی بیولوژیکی بیوتیت

مقدمه

پتاسیم به عنوان یک عنصر ضروری نقش مهمی در چند فرآیند فیزیولوژیکی در گیاه ایفا می‌کند (۴ و ۱۷). میکاها به عنوان سیلیکات‌های لایه‌ای معمول در خاک‌ها و رسوبات، از ذخایر تغذیه‌ای مهم پتاسیم و منیزیم به حساب می‌آیند و از طریق هوادیدگی این عناصر را به محلول خاک آزاد می‌کنند (۹). منشأ میکا در بیشتر خاک‌ها اساساً از مواد مادری است که با گذشت زمان به کانی‌های دیگر هوادیده می‌شوند. بنابراین میکاها در خاک‌های جوان فراوان‌ترند. این کانی‌ها در رسوبات و سنگ‌های رسوبی نیز حضور دارند که انواع دانه‌ریز آن‌ها مثل رس و شیل، بیشتر از انواع دانه‌درشت مثل ماسه‌سنگ است. موسکویت (میکای دی‌اکتاهدرال) و بیوتیت (میکای تری‌اکتاهدرال) متداول‌ترین میکاها در سنگ-های دگرگونی و آذرین هستند که بیوتیت به رنگ سیاه

یا قهوه‌ای تیره دیده می‌شود (۲۱). این کانی در توالی هوادیدگی بیوشیمیایی سیلیکات‌های صفحه‌ای، حداقل پایداری را دارد و نقش مهمی در قابلیت دسترسی بیولوژیکی عناصر معدنی مثل پتاسیم، منیزیم و آهن ایفا می‌کند (۱۳).

هوادیدگی بیولوژیکی بیوتیت تحت تأثیر میکروارگانیسم ها و گیاهان و نقش آن در تغذیه گیاه در گذشته مطالعه شده است (۷، ۱۱ و ۱۹). این مطالعات نشان داده‌اند که بیوتیت منبع تغذیه‌ای مهمی برای پتاسیم می‌باشد. نخستین نشانه‌های تأثیر میکروارگانیسم‌ها بر افزایش هوادیدگی بیوتیت توسط فرانکل گزارش شد (۱۱). میکروارگانیسم‌ها می‌توانند از طریق متابولیسم میکروبی، تولید اسیدهای آلی و معدنی و جذب عناصر غذایی یا تشکیل کمپلکس با آن‌ها بر روی مکانیسم یا سرعت انحلال کانی‌ها تأثیرگذار باشند (۱۳). نتایج بالوق برونستاد و همکاران نشان داد که قارچ اکتومیکوریزا[1] می‌تواند با کاهش پ-هاش محیط از طریق تولید اسیدهای آلی، تنفس (تولید دی‌اکسیدکربن) و تشکیل کمپلکس با کاتیون‌ها انحلال بیوتیت را افزایش دهد. در شرایط کمبود عناصر غذایی قارچ‌های اکتومیکوریزا در ارتباط با گیاهان همزیست می‌توانند هوادیدگی کانی‌های سیلیکاته را از طریق رهاسازی فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن افزایش دهند (۶). باکتری‌ها نیز هوادیدگی کانی‌های خاک را با اسیدی‌کردن محیط (تولید پروتون و اسیدهای آلی) و تشکیل اسیدکربنیک به‌وسیله تنفس افزایش می‌دهند (۵). بساک و بیزواس[2] آزادسازی پتاسیم از میکا تحت تأثیر باکتری و استفاده از این ترکیب به عنوان کود پتاسه برای گیاه علف سودانی را بررسی کردند. کاربرد میکا، وزن خشک گیاه و جذب پتاسیم را نسبت به تیمارهای شاهد (بدون پتاسیم) افزایش داد. همچنین وزن خشک و جذب پتاسیم در حضور باکتری به طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای بدون باکتری افزایش یافت. علاوه‌براین، سینتیک آزادسازی در میکای تلقیح‌شده با باکتری نسبت به میکای عاری از باکتری به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (۷).

علاوه‌بر میکروارگانیسم‌ها، مطالعات متعددی نقش گیاهان را در رهاسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار اثبات کرده‌اند. مقدار یون‌های هیدرونیوم همراه ریشه‌ها، خصوصیات تبادل یونی ریشه و خواص ترکیبات آلی که توسط ریشه ترشح می‌شوند یا در نتیجه فعالیت میکروبی روی بافت‌های مرده ریشه تولید می‌گردند، از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده سرعت هوادیدگی کانی‌ها در ریزوسفر گیاه می‌باشد (۲۲). والندر و ویکمن[3] با کاشت نهال‌های کاج به مدت ۳۳ هفته و استفاده از بیوتیت به عنوان منبع تأمین‌کننده پتاسیم، با و بدون همزیستی با گونه‌هایی از اکتومیکوریزا دریافتند که همه نهال‌های کاج حتی نهال‌های بدون همزیستی با قارچ میکوریزا قادر به دستیابی به پتاسیم بیوتیت بوده، همچنین رشد و جذب پتاسیم آن‌ها نسبت به شاهد بیشتر بوده است. در واقع ریشه‌ها در حضور قارچ‌های میکوریزا نسبت به ریشه‌های بدون میکوریزا سطح ویژه بیشتری برای جذب عناصر غذایی دارند. میسیلیوم قارچ میکوریزا می‌تواند از طریق تغییر شیمی خاک روی جذب عناصر غذایی تأثیرگذار باشد. علاوه بر این، این پژوهشگران دریافتند که در بستر دارای بیوتیت غلظت اسید سیتریک و اسید اگزالیک بیشتر است (۲۶).

ماده آلی یکی از شاخص ترین عواملی است که می‌توان جهت اصلاح خصوصیات نامطلوب خاک‌ها استفاده کرد (۱۰). افزودن مواد آلی به خاک به میزان قابل‌توجهی بر خصوصیات فیزیکی نظیر قابلیت نفوذ، وزن مخصوص ظاهری، ظرفیت نگهداری آب و ویژگی‌های شیمیایی از جمله پ‌هاش، ظرفیت تبادل کاتیونی، ازت کل، مقدار فسفر قابل جذب، هدایت

1-.Ectomycorrhiza
2- Basak & Biswas
3- Wallander & Wikman

الکتریکی، غلظت عناصر سنگین و قابلیت جذب عناصر اثر می‌گذارد (۲۴). عناصر روی، آهن، مس و منگنز با ماده آلی خاک به صورت کلات در می‌آیند که قابلیت جذب زیادی توسط گیاه دارند (۲۰). ماده آلی از طریق تشکیل کمپلکس‌های محلول با آهن بیشترین سهم را در رفع کمبود آهن گیاه دارند (۲). حضور ماده آلی حل-شده در محلول خاک تأثیر شایانی بر هوادیدگی کانی‌ها و آزادسازی عناصر دارد (۱۸) و در نتیجه تشکیل کمپلکس بین این مواد و آهن و آلومینیوم سرعت هوادیدگی افزایش می‌یابد (۱۵). خادمی و آروسینا[1] در تحقیقی تأثیر ماده آلی (پیت) و ریزوسفر گیاهان (جو، یونجه و کلزا) را بر آزادسازی منیزیم از کانی‌های سپیولیت و پالیگورسکیت بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که حضور کانی سپیولیت در محیط، میزان غلظت و جذب منیزیم را در هر سه گیاه به طور معنی-داری نسبت به گیاهان کشت‌شده در بستر حاوی پالیگورسکیت افزایش داد. افزودن ماده آلی به محیط نیز باعث افزایش غلظت منیزیم نسبت به تیمارهای فاقد ماده آلی شد. مطالعات کانی‌شناسی پس از ۱۰۰ روز کشت، تشکیل کائولینیت را در بسترهای حاوی پالیگورسکیت در ریزوسفر گیاهان یونجه، کلزا و جو در هر دو وضعیت ماده آلی نشان داد. علاوه‌براین، سپیولیت نیز در ریزوسفر جو و کلزا به کائولینیت تبدیل شده بود؛ اما در شرایط بدون ماده آلی در ریزوسفر یونجه، کائولینیت تشکیل نشد. آنها کاهش پ-هاش در اثر فعالیت ریشه، تجزیه مواد آلی و جذب منیزیم توسط گیاه را از عوامل تشکیل کائولینیت بیان کردند (۱۴).

مطالعات نسبتاً فراوانی در مورد تأثیر عوامل بیولوژیکی مانند گیاهان و میکروارگانیسم‌ها بر هوادیدگی و رهاسازی پتاسیم از میکاها صورت گرفته است؛ اما تاکنون مطالعه‌ای در زمینه هوادیدگی بیولوژیکی کانی بیوتیت و رهاسازی پتاسیم از آن تحت تأثیر مقادیر متفاوت ماده آلی صورت نگرفته است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی این موضوع انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. در این آزمایش از کانی بیوتیت استفاده گردید. همچنین شن کوارتزی به عنوان ماده پرکننده گلدان‌ها (همراه بیوتیت) و تیمار شاهد مورد استفاده قرار گرفت. درجه خلوص کانی با استفاده از پراش پرتو ایکس[2] و فلورسانس پرتو ایکس[3] تعیین گردید (۳).

کانی میکایی بیوتیت و شاهد، دو نوع محلول غذایی با یا بدون پتاسیم و ماده آلی در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ گرم بر کیلوگرم) تیمارهای آزمایش بودند. بیوتیت املش که ابتدا به صورت پولک‌هایی به قطر ۵ تا ۱۰ میلی‌متر بود، آسیاب شده و در اندازه کوچکتر از ۲۳۰ مش (قطر کمتر از ۶۰ میکرون) برای آزمایش انتخاب شد و به گونه‌ای به محیط کشت اضافه گردید تا مقادیر یکسانی پتاسیم (معادل ۰/۳۵ درصد K_2O) داشته باشد که بر این اساس مقدار بیوتیت اضافه شده به هر یک از گلدان‌ها (با گنجایش ۶۰۰ گرم) ۳۵ گرم بود. شن کوارتزی نیز در اندازه بزرگتر از ۲۰۰ مش استفاده شد. جهت اطمینان از تمیز بودن شن کوارتزی دو بار با اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال و چندین بار با آب مقطر شستشو و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آون خشک گردید.

با توجه به این که ماده آلی استفاده شده در این آزمایش می‌باید کمترین پتاسیم ممکن را دارا باشد تا پتاسیم آن به عنوان منبع تغذیه‌ای برای گیاهان استفاده نشود، بنابراین پس از اندازه‌گیری پتاسیم چند باقی‌مانده گیاهی (کوکوپیت، شبدر، یونجه، گندم و جو)، کوکوپیت به علت داشتن کمترین مقدار پتاسیم به عنوان

1- Khademi & Arocena

2- X-Ray Diffraction
3- **X**-Ray Fluorescence

ماده آلی انتخاب شد. کوکوپیت پیش از استفاده ابتدا با کلرید آمونیوم ۱ نرمال اشباع و سپس با آب مقطر شستشو و در آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک گردید. مقدار کربن، نیتروژن و پتاسیم ماده آلی (کوکوپیت) به ترتیب با روش‌های سوزاندن تر، کلدال و خاکستر خشک (۱) اندازه‌گیری شد. مقادیر به دست آمده کربن، نیتروژن و پتاسیم کوکوپیت به ترتیب ۴۸۰، ۸ و ۰/۰۰۲۵ گرم بر کیلوگرم بود.

برای شروع تجزیه ماده آلی، تمامی بسترهای کشت قبل از کاشت به مدت یک ماه در رطوبت نزدیک ظرفیت مزرعه و دمای گلخانه نگهداری شدند. سپس ۱۰ عدد بذر یونجه رقم رهنانی در هر گلدان کاشته شد وگلدان‌ها با آب مقطر آبیاری شدند. ۴ روز پس از کشت، بذرها جوانه زدند و پس از اینکه گیاهان به مرحله دو برگی رسیدند در هر گلدان دو عدد گیاه نگه‌داری و تنک شدند. در دوره کشت گیاهان با محلول غذایی دارای پتاسیم یا بدون پتاسیم تغذیه و با آب مقطر آبیاری شدند (۲۳). پس از ۱۲۰ روز کشت، ریشه و شاخسار برداشت و در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری، عصاره‌گیری به روش خاکستر خشک (۱) انجام و مقدار پتاسیم عصاره‌ها تعیین شد.

برای مطالعات کانی‌شناسی نمونه‌هایی از وسط گلدان (به عنوان ناحیه ریزوسفری) تهیه و بعد از جداسازی کامل ریشه‌های گیاه، هواخشک شدند و برای جدا کردن کانی‌های بستر از شن کوارتزی، از الک ۲۳۰ مش استفاده شد. همچنین برای حذف ماده آلی نمونه‌ها، از آب اکسیژنه ۳۰ درصد استفاده گردید. با انجام این مراحل کانی بیوتیت و محصولات حاصل از تبدیل و تحول آن از بستر کشت جدا شد و بخش رس آن با استفاده از سانتریفیوژ جدا گردید. دو نمونه ۴۰ میلی-گرمی رس با منیزیم یا پتاسیم اشباع شد و هر کدام از آن‌ها روی اسلایدهای شیشه‌ای به مساحت ۲ × ۴ سانتی-متر مربع به ضخامت یکسان پخش شد. علاوه‌براین برای آزمایش های کانی‌شناسی با استفاده از پراش پرتو ایکس، نمونه‌های اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول، نمونه-های اشباع با منیزیم و گلیسرول و نمونه‌های تیمار حرارتی ۵۵۰ درجه سلسیوس اسلایدهای اشباع شده با پتاسیم نیز آماده گردید. اسلایدهای تهیه شده با دستگاه پراش‌سنج پرتو ایکس از نوع Bruker مدل AXS با لامپ کبالت با جریانی با شدت ۲۰ میلی‌آمپر و ولتاژ ۴۰ کیلوولت مورد بررسی کانی‌شناسی قرار گرفتند.

داده‌های به دست آمده از آزمایش با نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت. همچنین رسم پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌ها با نرم‌افزار Origin 7 انجام شد.

نتایج و بحث

ترکیب عنصری شن کوارتزی و بیوتیت قبل از آزمایش

ترکیب عنصری شن کوارتزی و بیوتیت مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان داد مقدار پتاسیم موجود در شن کوارتزی بسیار ناچیز می‌باشد و از این نظر برای آزمایش بسیار مناسب بود. طبق نتایج این جدول مقدار پتاسیم بیوتیت ۶۶/۶ گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

تأثیر ماده آلی بر مقادیر وزن خشک گیاه، غلظت پتاسیم شاخسار و جذب پتاسیم

در مورد وزن خشک کل گیاه اثر نوع کانی، سطح ماده آلی و نوع محلول غذایی از نظر آماری معنی‌دار است. همچنین اثرات متقابل نوع کانی × سطح ماده آلی، نوع کانی × نوع محلول غذایی، نوع محلول غذایی × ماده آلی نیز معنی‌دار شده است (جدول ۲). حضور ماده آلی در بستر حاوی کانی بیوتیت باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه در شرایط تغذیه با محلول غذایی بدون پتاسیم شده است (شکل ۱). از نظر وزن خشک گیاه تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵ و۱۰ گرم ماده آلی در بستر حاوی کانی بیوتیت مشاهده نشد. در شرایطی که

جدول ۱- ترکیب عنصری بیوتیت و شن کوارتزی استفاده شده در آزمایش به وسیله فلورسانس پرتو ایکس بر حسب گرم بر کیلوگرم (۳)

	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	Fe_2O_3	MnO	P_2O_5	TiO_2	LOI*	Total
بیوتیت	۳/۴	۱۲۱/۲	۱۳۶/۵	۳۷۲/۸	۶۶/۶	۲۸/۶	۱۴۰/۱	۰/۸	۰/۳	۷۵/۷	۵۴	۱۰۰۰
شن کوارتزی	<۱	۱/۱	۳/۶	۹۷۵/۳	<۱	۶/۱	۵/۷	–	–	–	۴/۸	۹۹۸/۶

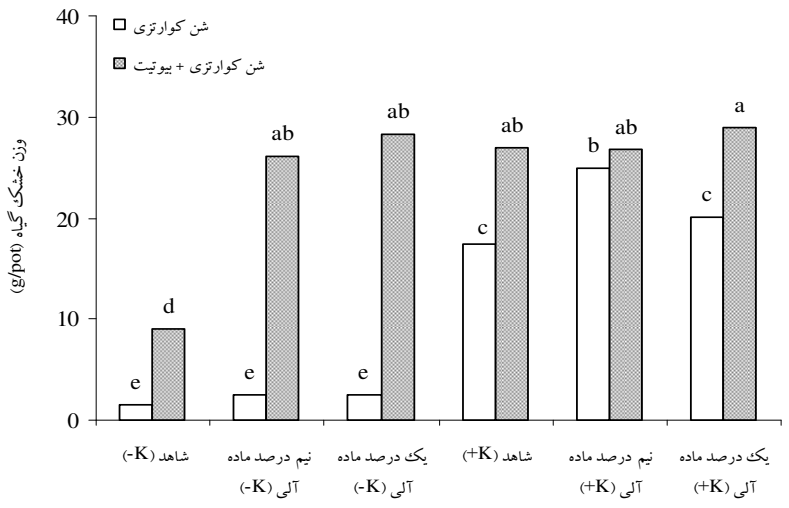
* کاهش وزن در دمای بالا (Loss on ignition)

گیاهان با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند، وزن خشک گیاه در بستر حاوی بیوتیت، در هر سه سطح ماده آلی نسبت به بستر بدون بیوتیت (شاهد) افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) نشان داد. این مسأله نشان می‌دهد کمبود پتاسیم مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد گیاهان در بسترهای بدون بیوتیت بوده است. بنابراین در شرایط تغذیه با محلول محلول غذایی بدون پتاسیم، کمبود این عنصر در تیمار بدون بیوتیت (شاهد) باعث کاهش معنی-دار وزن خشک گیاه نسبت به شرایط تغذیه با محلول غذایی کامل شد (شکل ۱). عنصر پتاسیم نقش زیادی در رشد گیاه دارد که در نتیجه کمبود آن رشد گیاه متوقف می‌شود.

جدو ل ۲- تجزیه واریانس وزن خشک گیاه، غلظت پتاسیم شاخسار و کل پتاسیم جذب‌شده توسط گیاه

منابع تنوع	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک	غلظت پتاسیم شاخسار	جذب کل
نوع کانی	۱	۱۴۸۱/۹۹**	۴/۴۰**	۳۷۹۵۶۴/۸۳**
سطح ماده آلی	۲	۱۵۹/۴۳**	۰/۰۴	۲۷۲۵۶/۲۵**
نوع محلول غذایی	۱	۱۴۱۶/۷۶**	۳۲/۳۹**	۹۸۸۰۴۵/۹۴**
نوع کانی × سطح ماده آلی	۲	۵۹/۰۱**	۰/۳۶**	۶۹۴۷/۰۷**
سطح ماده آلی × نوع محلول غذایی	۲	۴۹/۹۰**	۰/۱۵*	۱۴۶/۰۴
نوع کانی × نوع محلول غذایی	۱	۳۳۳/۴۳**	۰/۷۲**	۳۵/۵۴
نوع کانی × سطح ماده آلی × نوع محلول غذایی	۲	۱۲۰/۵۲**	۰/۰۲	۶۸۹۲/۰۱**
خطا	۲۴	۴/۲۴	۰/۰۴	۱۰۰۴/۰۹

* و ** معنی‌دار به ترتیب در سطوح ۱٪ و ۵ ٪ آماری



شکل ۱- وزن خشک گیاه در دو وضعیت تغذیه‌ای با پتاسیم (K+) و بدون پتاسیم (K-)

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند

ماده آلی وضعیت فیزیکی مناسبی در محیط رشد ایجاد کرده و باعث بهبود شرایط تهویه‌ای ریشه و فراهم نمودن امکان رشد و توسعه بیشتر ریشه در بسترهای کشت شده و سطح جذب ریشه را افزایش داده است. از طرف دیگر تولیدات حاصل از تجزیه ماده آلی مانند اسید فولویک[1] و اسید هومیک[2] می‌توانند مستقیماً با یون‌های فلزی مانند پتاسیم غیرتبادلی و ساختمانی کانی‌های پتاسیم‌دار تشکیل کلات دهند و رهاسازی پتاسیم از کانی را در شرایط کمبود این عنصر تسهیل کنند (۷). اگر چه مواد آلی با بهبود خصوصیات فیزیکی بستر ریشه به صورت غیر مستقیم بر افزایش رهاسازی پتاسیم موثر هستند، سهم و تأثیر شیمیایی آنها به مراتب بارزتر است (۱۰).

تجزیه واریانس داده‌ها در مورد غلظت پتاسیم شاخسار نشان داد که اثر نوع کانی و نوع محلول غذایی معنی‌دار است. همچنین اثر متقابل نوع کانی× سطح ماده آلی نیز معنی‌دار شده است (جدول ۲). بیوتیت در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم حتی در حضور ماده آلی هم نتوانسته است غلظت پتاسیم شاخسار را به حد بحرانی کمبود (۳/۵-۲ درصد) برای گیاه یونجه (۸) برساند (شکل ۲-الف). در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم، حضور ماده آلی در بسترهای حاوی بیوتیت باعث افزایش غلظت پتاسیم شاخسار شده است. ولی این افزایش فقط در سطح ۵ گرم ماده آلی معنی‌دار شده است.

تجزیه واریانس داده‌ها در مورد کل پتاسیم جذب-شده توسط گیاه نشان داد که اثر نوع کانی، سطح ماده آلی و نوع محلول غذایی معنی‌دار است. همچنین اثر متقابل نوع کانی× سطح ماده آلی و اثر سه گانه نوع کانی× سطح ماده آلی × نوع محلول غذایی نیز معنی‌دار شده است (جدول ۲).

حضور ماده آلی در محیط کشت گیاه، در هر دو وضعیت تغذیه‌ای باعث افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) میزان جذب کل پتاسیم گیاه نسبت به شرایط بدون ماده آلی در بسترهای حاوی بیوتیت شد (شکل ۲-ب).

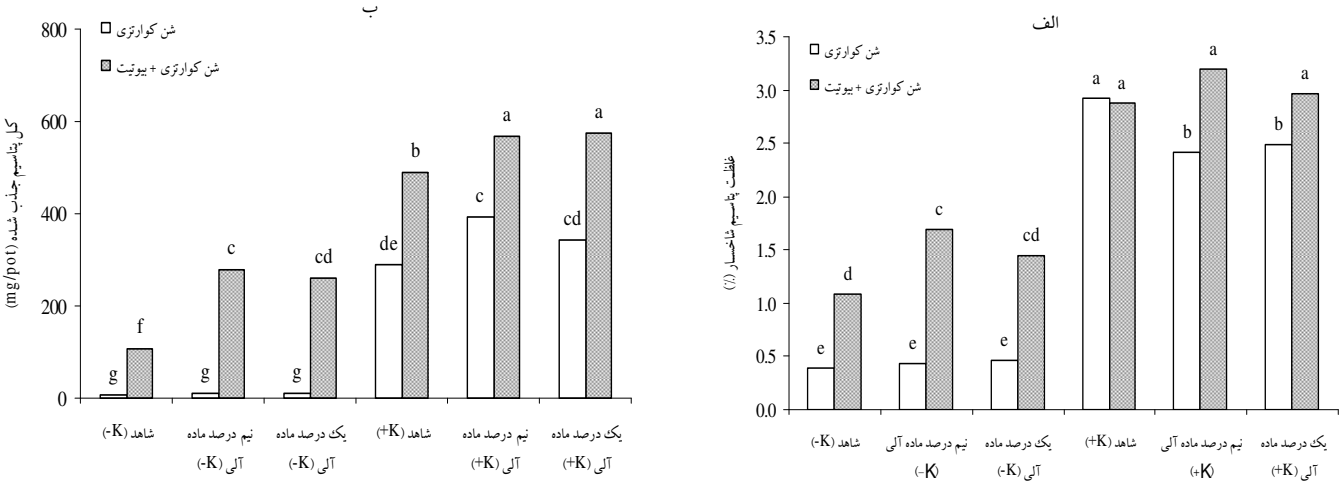
در هر دو وضعیت محلول غذایی، بستر دارای بیوتیت از نظر میزان جذب پتاسیم کل با بستر بدون بیوتیت (شاهد) در هر سه سطح ماده آلی تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) نشان داد.

1-Fulvic acid
2- Humic acid

در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم حضور ماده آلی تفاوت معنی‌داری در جذب پتاسیم گیاه در بسترهای بدون بیوتیت ایجاد نکرده است؛ علاوه‌براین در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم، بین سطوح ۵ و ۱۰ گرم ماده آلی مشابه وزن خشک گیاه تفاوت معنی‌داری در میزان جذب پتاسیم کل در بسترهای بیوتیت وجود نداشت.

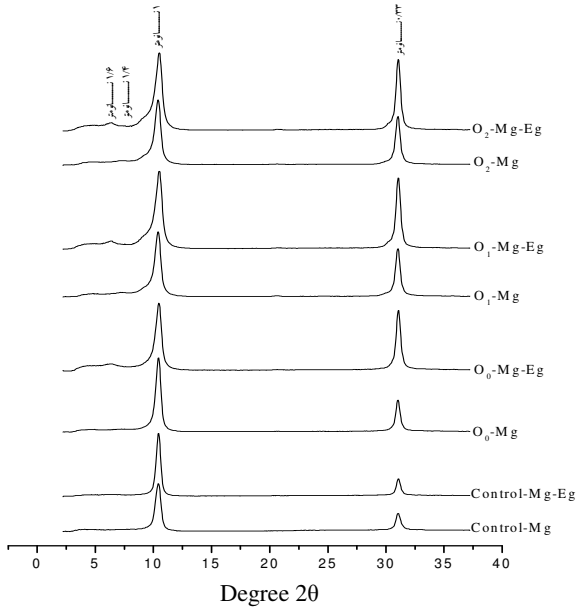
کانی‌شناسی بخش رس بسترهای کشت دارای بیوتیت در پایان آزمایش

در پراش‌نگاشت پرتو ایکس مربوط به شرایط تغذیه‌ای با پتاسیم و در هر سه سطح ماده آلی، علاوه‌بر قله‌های ۰/۳۳ نانومتر و ۱ نانومتر اولیه کانی بیوتیت قله خیلی ضعیف ۱/۴ نانومتر در تیمار اشباع با منیزیم (Mg) قابل تشخیص است (شکل ۳). با توجه به این که در نمونه بیوتیت قبل از کشت (Control) این قله وجود نداشته است، بنابراین کانی جدیدی در این بسترهای کشت تشکیل شده است؛ ولی حضور ماده آلی تفاوت معنی‌داری در نسبت شدت قله ۱/۴ نانومتر به ۱ نانومتر ایجاد نکرده است (جدول ۳). همچنین در وضعیتی که گیاهان در بسترهای دارای بیوتیت با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند و ماده آلی به محیط رشد اضافه نشده بود، در تیمار اشباع با منیزیم (Mg) نمونه رس مربوط به این محیط رشد، قله خیلی ضعیف ۱/۴ نانومتر علاوه بر قله‌های ۰/۳۳ و ۱ نانومتر دیده شد (شکل ۴). نسبت شدت قله ۱/۴ نانومتر به ۱ نانومتر ۰/۰۵ است. انتظار این است که تغییرات کانی بیوتیت در این بستر کشت نسبت به بستر مشابه از نظر ماده آلی (تیمار فاقد ماده آلی) در شرایط تغذیه‌ای با پتاسیم بیشتر باشد؛ ولی به نظر می‌رسد مقدار زیاد پتاسیم تبادلی بیوتیت باعث شده که میزان تغییرات در وضعیت تغذیه‌ای بدون پتاسیم در بسترهای بدون ماده آلی کم باشد. حضور ۵ گرم ماده آلی در بسترهای دارای بیوتیت و در وضعیتی که این بسترها با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند، منجر به ایجاد بیشترین تغییرات کانی‌شناسی در بیوتیت شده است (شکل ۴)که



شکل ۲- غلظت پتاسیم شاخسار (الف) و کل پتاسیم جذب‌شده (ب) گیاه در دو وضعیت تغذیه‌ای با پتاسیم (+K) و بدون پتاسیم (-K)

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ ٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند



شکل ۳- پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس تیمارهای اشباع با منیزیم (Mg)، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول (Mg-Eg) بخش رس نمونه بیوتیت قبل از آزمایش (Control) و پس از کشت مربوط به تیمار فاقد ماده آلی (O_0) و سطوح ۵ گرم بر کیلوگرم ماده آلی (O_1) و ۱۰ گرم بر کیلوگرم ماده آلی (O_2) در شرایط تغذیه با محلول غذایی با پتاسیم

این با نتایج جذب کل پتاسیم توسط گیاه هماهنگی دارد (شکل ۲- ب). بیشترین پتاسیم جذب‌شده در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم در بسترهای دارای بیوتیت، مربوط به این تیمار است. در تیمار اشباع با منیزیم (Mg) قله‌های ۱/۴ نانومتر و ۱/۲ نانومتر مشاهده می‌شود که نسبت شدت قله ۱/۴ نانومتر به قله ۱ نانومتر در مقایسه با بسترهای بدون ماده آلی افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد و از ۰/۰۵ به ۰/۲۲ رسیده است (جدول ۳). همچنین نسبت شدت قله جدید ۱/۲ نانومتر به قله ۱ نانومتر ۰/۳۴ است. در شرایطی که ۱۰ گرم ماده آلی به این بسترها اضافه شده بود، تفاوت معنی‌داری بین نسبت شدت قله ۱/۴ نانومتر به ۱ نانومتر با وضعیتی که این بسترها ۵ گرم ماده آلی دریافت کرده بودند، مشاهده نشد (جدول ۳).

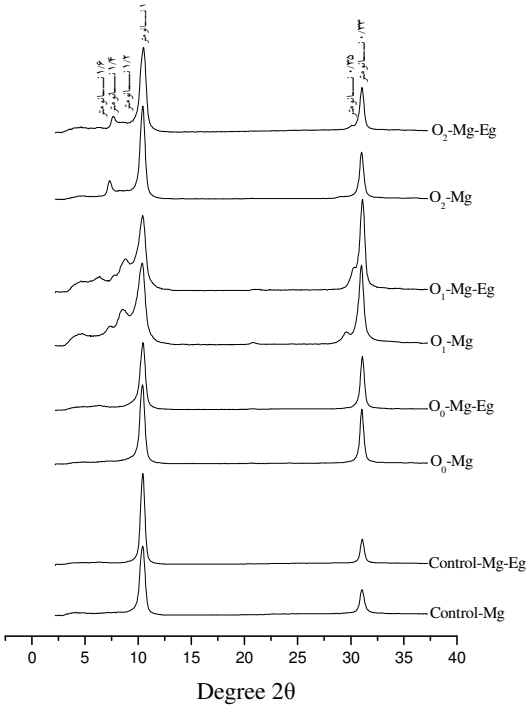
نسبت شدت قله ۱/۴ نانومتر به ۱ نانومتر در نمونه اشباع با منیزیم (Mg) مربوط به بسترهای کشت دارای ۱۰ گرم ماده آلی در مقایسه با تیمار بدون ماده آلی به طور معنی‌داری (P<۰/۰۵) افزایش نشان داد و نسبت شدت این دو قله از ۰/۰۵ به ۰/۱۸ افزایش یافته است (جدول ۳). در تیمار اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول (Mg-Eg) بسترهای کشت دارای بیوتیت در شرایط تغذیه‌ای با پتاسیم (شکل ۳)، قله ۱/۴ نانومتر مربوط به تیمار اشباع با منیزیم (Mg) به طرف قله ۱/۶ نانومتر انبساط یافته و در تیمار اشباع با منیزیم و گلیسرول مجدداً به قله ۱/۴ نانومتر بازگشته است و این قله در تیمارهای اشباع با پتاسیم (K) و پتاسیم با حرارت (K-۵۵۰°) به طور کامل حذف شده است. بنابراین در هر سه سطح ماده آلی در وضعیت تغذیه با محلول غذایی دارای پتاسیم کانی جدید ورمیکولیت با شدت کم تشکیل شده است. در سطح بدون ماده آلی بسترهای دارای بیوتیت در شرایط تغذیه بدون پتاسیم نیز همین وضعیت مشاهده و کانی ورمیکولیت تشکیل گردیده است (شکل ۴).

به طور کلی در شرایط تغذیه‌ای با پتاسیم که گیاهان نیاز پتاسیمی خود را از طریق محلول غذایی تأمین کرده‌اند، غلظت پتاسیم شاخسار گیاهان کشت‌شده در بسترهای کشت در این شرایط تغذیه‌ای بالاتر از حد بحرانی کمبود گیاه یونجه بوده است (شکل ۲-الف)؛ بنابراین گیاهان برای تأمین پتاسیم مورد نیاز خود احتیاجی به پتاسیم غیرتبادلی و ساختمانی کانی نداشته‌اند (۸). به نظر می‌رسد که تولیدات حاصل از ریشه‌های گیاهان و تجزیه ماده آلی شرایطی در بستر کشت ایجاد کرده‌اند که این امر منجر به ناپایداری ساختمان بیوتیت شده و باعث هوادیدگی آن گردیده است.

جدول ۳- نسبت شدت قله ۱/۴ نانومتر به قله ۱ نانومتر در تیمارهای اشباع با منیزیم بخش رس بسترهای دارای بیوتیت در وضعیت تغذیه‌ای با پتاسیم و بدون پتاسیم (میانگین سه تکرار)

بسترهای کشت	محلول غذایی بدون پتاسیم	محلول غذایی با پتاسیم
شن کوارتزی + بیوتیت (فاقد ماده آلی)	۰/۰۵ b	۰/۰۵ b
شن کوارتزی + بیوتیت + ۵ گرم بر کیلوگرم ماده آلی	۰/۲۲ a	۰/۰۸ b
شن کوارتزی + بیوتیت + ۱۰ گرم بر کیلوگرم ماده آلی	۰/۱۸ a	۰/۰۶ b

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



شکل ۴- پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس تیمارهای اشباع با منیزیم (Mg)، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول (Mg-Eg) بخش رس نمونه بیوتیت قبل از آزمایش (Control) و پس از کشت مربوط به تیمار فاقد ماده آلی (O_0) و سطوح ۵ گرم بر کیلوگرم ماده آلی (O_1) و ۱۰ گرم بر کیلوگرم ماده آلی (O_2) در شرایط تغذیه با محلول غذایی بدون پتاسیم

زمانی که بسترهای کشت دارای بیوتیت با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده و به این بسترها ۵ گرم ماده آلی اضافه شده بود، بخشی از قله ۱/۴ نانومتر در تیمار اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول (Mg-Eg) انبساط یافته و به ۱/۶ نانومتر رسیده است (شکل ۴). برگشت قله ۱/۶ نانومتر به قله ۱/۴ نانومتر در تیمار اشباع با منیزیم و گلیسرول نشان‌دهنده تشکیل کانی ورمیکولیت در این بستر کشت است. قله ۱/۲ نانومتر که در تیمار اشباع با منیزیم قابل مشاهده است (اشکال ۴ و ۵) در تیمار اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول (Mg-Eg) بدون تغییر باقی مانده است. این قله در تیمار اشباع با پتاسیم (K) و تیمار حرارتی نمونه اشباع با پتاسیم (K-۵۵۰°) حذف گردیده است (شکل ۵) بنابراین علاوه‌بر ورمیکولیت، کانی مختلط نامنظم میکا – ورمیکولیت نیز در سطح ۵ گرم ماده آلی تشکیل شده است.

در سطح ۱۰ گرم ماده آلی، در وضعیتی که این بسترها با محلول غذایی بدون پتاسیم تغذیه شده بودند، بخشی کوچکی از قله ۱/۴ نانومتر در تیمار اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول (Mg-Eg) به طرف قله ۱/۶ نانومتر انبساط پیدا کرده است (شکل ۴) اما در تیمار اشباع با منیزیم و گلیسرول فقط قله ۱/۴ نانومتر مشاهده شد. بنابراین در این بستر کشت در اثر هوادیدگی بیوتیت تنها کانی جدید ورمیکولیت تشکیل گردیده است.

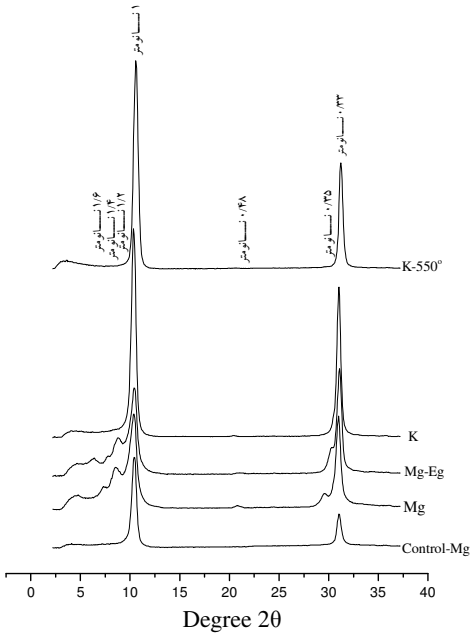
در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم میزان تغییرات بیوتیت در مقایسه با شرایطی که گیاهان محلول غذایی دارای پتاسیم دریافت کرده بودند، بیشتر بود. در شرایط بدون ماده آلی، ۵ و ۱۰ گرم ماده آلی میزان کل پتاسیم جذب‌شده توسط گیاهان به ترتیب حدود ۶/۵۵، ۱۵/۹۹ و ۱۴/۹۸ درصد از کل پتاسیم افزوده‌شده به صورت کانی بیوتیت به بسترهای کشت در وضعیت تغذیه با محلول غذایی بدون پتاسیم بود.

مطالعه گلووا و همکاران[1] در خاک مناطق ریزوسفری جنگل‌های درختان مخروطی‌شکل، تغییر شکل میکا و کلریت و تشکیل کانی‌های منبسط‌شونده ورمیکولیت و اسمکتیت را نشان داد (۱۲). تریبوت و همکاران[2] نیز در مطالعه‌ای تشکیل اسمکتیت و کانی‌های مختلط ایلیت-اسمکتیت را در محیط کشت شبدر و چاودار، در شرایطی که هیچ گونه کود پتاسیمی به محیط کشت اضافه نشده بود، گزارش کردند (۲۵).

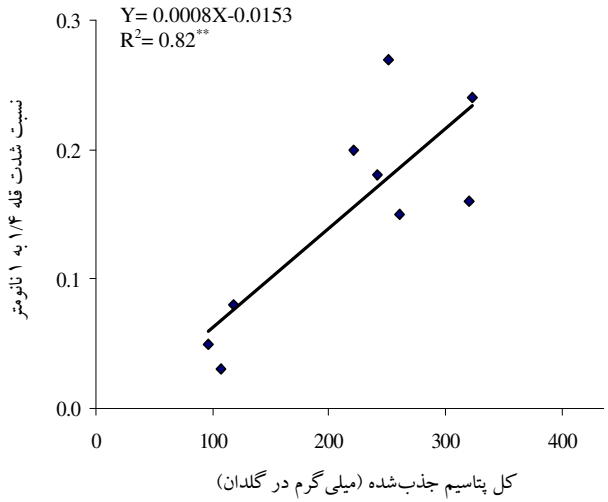
اسپریداکیس و همکاران[3] مکانیسم‌های متفاوتی مانند ترشح پروتون‌ها یا ترکیبات آلی از ریشه‌ها و همچنین خروج گاز دی‌اکسیدکربن در اثر تنفس ریشه‌ها را به عنوان عوامل تغییر و تحول بیوتیت در محیط کشت نهال‌های درختان جنگلی گزارش کردند (۲۲). ملکوری و همکاران[4] ورمیکولیتی‌شدن بیوتیت تحت کشت متراکم گندم گزارش کردند (۱۶). همچنین نوروزی و خادمی[5] پس از ۹۰ روز کشت یونجه، ورمیکولیتی شدن بیوتیت و عدم تغییر موسکویت را گزارش کردند (۱۹). در واقع فعالیت ریشه‌های گیاه، تغییرات فیزیکوشیمیایی به ویژه تغییر پ‌هاش در ریزوسفر ایجاد می‌کند که باعث تغییر ساده یا حتی برگشت‌ناپذیر ساختمان میکا می‌گردد (۱۷).

در شکل ۶ نمودار همبستگی بین نسبت شدت قله ۱/۴ نانومتر به ۱ نانومتر در تیمارهای اشباع با منیزیم و کل پتاسیم جذب‌شده توسط یونجه در وضعیت تغذیه‌ای بدون پتاسیم در بسترهای کشتی که دارای کانی بیوتیت بودند، نشان داده شده است. همبستگی بالا و معنی‌دار در سطح ۱ درصد بین پتاسیم جذب‌شده و نسبت شدت قله در وضعیت تغذیه‌ای بدون پتاسیم، نشان می‌دهد که با افزایش پتاسیم جذب‌شده توسط گیاه تغییرات کانی‌شناسی بیشتری در بیوتیت اتفاق افتاده است و در

1-Glowa *et al.*
2- Tributh *et al.*
3- Spyridadakis
4- Malquori *et al.*
5- Norouzi &Khademi



شکل ۵- پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس تیمارهای اشباع با منیزیم (Mg)، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول (Mg-Eg)، اشباع با پتاسیم (K) و تیمار حرارتی نمونه اشباع با پتاسیم ($K\text{-}550^0$) بخش رس مربوط به بسترهای کشت دارای بیوتیت در سطح ۵ گرم بر کیلوگرم ماده آلی و در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم در مقایسه با نمونه بیوتیت قبل از آزمایش (Control)



شکل ۶- همبستگی بین نسبت شدت قله ۱/۴ به ۱ نانومتر در تیمارهای اشباع با منیزیم و کل پتاسیم جذب‌شده توسط گیاه در وضعیت تغذیه‌ای بدون پتاسیم

** همبستگی در سطح ۱ درصد آماری معنی‌دار است

این وضعیت تغذیه‌ای تغییرات کانی بیوتیت بعد از جذب ۱۰۷/۱۶ میلی‌گرم در گلدان پتاسیم شروع شده است.

نتیجه‌گیری

ماده آلی از طریق تأثیر بر پارامترهای رشد باعث افزایش رشد گیاهان شده و متعاقب آن نیاز پتاسیمی گیاه افزایش یافته است. جذب پتاسیم بیشتر توسط ریشه‌های گیاه منجر به افزایش شیب غلظت پتاسیم در ناحیه ریزوسفر به سمت ریشه‌های گیاه شده و بیوتیت تحت تأثیر مواد ترشح کننده‌ی ریشه‌های گیاه و تولیدات حاصل از تجزیه ماده آلی توانسته است پتاسیم بیشتری آزاد کند و این باعث افزایش هوادیدگی بیولوژیکی آن شده است. علاوه‌براین، ماده آلی مستقیماً از طریق سه مکانیسم ممکن است منجر به رهاسازی بیشتر پتاسیم و افزایش تغییرات کانی‌شناسی گردد، ۱- تشکیل کلات با یون‌های ساختمان کانی و افزایش میزان رهاسازی آن‌ها، ۲- رهاسازی اسیدهای آلی که این اسیدها منبع یون H^+ هستند و می‌توانند باعث انحلال ساختمان کانی شوند یا ۳- تولید گاز دی‌اکسیدکربن در طول تجزیه کند که این گاز با تولید اسید کربنیک منجر به کاهش پ‌هاش و تسهیل رهاسازی پتاسیم از کانی می‌گردد. مجموع این اثرات ماده آلی در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم که گیاه غیر از کانی بیوتیت منبع دیگری برای تأمین نیاز پتاسیمی خود نداشته است، بیشتر بوده است.

با توجه به اهمیت پتاسیم ساختمانی و غیرتبادلی در تأمین نیاز گیاه، در خاک‌های با ذخایر بالای پتاسیم باید نوع کانی‌های پتاسیم‌دار و میزان رهاسازی پتاسیم آن‌ها هنگام توصیه کودی مورد توجه قرار گیرد. همچنین با افزودن کود آلی به این خاک‌ها می‌توان علاوه‌بر ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب در خاک، رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی کانی‌ها را نیز تا حدودی تسهیل کرد.

به نظر می‌رسد حداقل بخشی از کانی رسی ورمیکولیت و حتی کانی میکا-ورمیکولیت مختلط نامنظم در خاک‌ها به ویژه در خاک‌های با مواد آلی بالا حاصل تغییر و تحول بیولوژیکی کانی‌های میکایی مثل بیوتیت باشد.

منابع

۱. خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۶. ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مدیریت بهینه کودی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۵۸ ص.

۲. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک: مشکلات و راه‌حل‌ها. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۴۹۴ ص.

۳. نادری زاده، ز. ۱۳۸۸. تأثیر ماده آلی بر قابلیت جذب پتاسیم از کانی‌های میکایی توسط یونجه و امکان تبدیل کانی‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۱۵ ص.

4. Al-Zubaidi, A., Yanni, S., and Bashour, I. 2008. Potassium status in some Lebanese soils. Lebanese Science Journal, 9: 81-97.

5. Arvieu, J.C., Leprince, F., and Plassard, C. 2003. Release of oxalate and protons by ectomycorrhizal fungi in response to P deficiency and calcium carbonate in nutrient solution. Annals of Forest Science, 60: 209–215.

6. Balogh-Brunstad, Z., Keller, C.K., Dickinson, J.T., Stevens, F., Li, C.Y., and Bormann, B. T. 2008. Biotite weathering and nutrient uptake by ectomycorrhizal fungus, *Suillus tomentosus*, in liquid-culture experiments. Geochimica et Cosmochimica Acta, 72: 2601- 2618.

7. Basak, B.B., and Biswas, D.R. 2009. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by Sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. Plant and Soil, 317: 235-255.

8. 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.

9. Bhatti, T.M., Bigham, J.M., Vuorinen, A., and Tuovinen, O.H. 2011. Weathering of phlogopite in simulated bioleaching solutions. International Journal of Mineral Processing, 98: 30-34.

10. Cecil, F., and Tester, C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of Somali soil. Soil Science Society of America Journal, 54: 827-831.

11. Frankel, L. 1977. Microorganism induced weathering of biotite and hornblende grains in estuarine sands. Journal of Sedimentary Petrology, 47: 849-854.

12. Glowa, K.R., Arocena, J.M., and Massicotte, H.B. 2004. Properties of soils influenced by ectomycorrhizal fungi in hybrid spruce [Picea glauca x engelmannii (Moench.) Voss]. Canadian Journal of Soil Science, 84: 91-102.

13. Hopf, J., Langenhorst, F., Pollok, K., Merten, D., and Kothe, E. 2009. Influence of microorganisms on biotite dissolution: an experimental approach. Chemie der Erde/Geochemistry, 69: 45-56.

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

15. Lundström, U.S. 1993. The role of organic acids in the soil solution chemistry of a podzolized soil. Journal of Soil Science, 44: 121-133.

16. Malquori, A., Ristori, G., and Vidrich, V. 1975. Biological weathering of potassium silicates: I. Biotite. Potash Review, 3: 1-7.

17. Marschner, H. 2008. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, UK. 889 pages.

18. McLean, E.O., and Watson, M.E. 1985. Soil measurements of plant available potassium. PP. 278–309. In Munson, R. D. (ed.), Potassium in Agriculture. Soil Science Society of America, Madison. WI.

19. 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.

20. Sloan, J.J., and Basta, N.T. 1995. Remediation of acid soils by using alkaline biosolids. Journal of Environmental Quality, 24: 1097-1103.

21. Sparks, D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. In B.A. Stewart (ed.) Advances in Soil Science, pp. 1-63, Springer-Verlag New York.

22. 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 Proceeding, 31: 203-210.

23. Stegner, R. 2002. Plant Nutrition Studies. Lamotte Company, Maryland, USA. 76 pages.

24. Street, J.J., Sabey, B.R., and Lindsay, W.L. 1978. Influence of pH, phosphorous, cadmium, sewage sludge, and incubation time on the solubility and plant uptake of cadmium. Journal of Environmental Quality, 7: 286-290.

25. Tributh, H., von Boguslawski, E., van Lieres, A., Steffens, D., and Mengel, K. 1987. Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay minerals. Soil Science, 143: 404-409.

26. Wallander, H., and Wickman, T. 1999. Biotite and microcline as potassium sources in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal Pinus syivestris seedlings. Mycorrhiza, 9:25-32.