

انتخاب عصاره گیر مناسب برای استخراج پتاسیم قابل جذب ذرت در خاک‌های منطقه مرکزی استان اصفهان

مهدی شریفی و محمود کلباسی^۱

چکیده

پتاسیم در گیاه نه تنها از نظر مقدار، بلکه از نظر نقش فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نیز یکی از مهم‌ترین کاتیون‌ها محسوب می‌شود. به منظور بررسی وضعیت پتاسیم و ارزیابی عصاره‌گیرهای رایج برای استخراج پتاسیم قابل استفاده ذرت در خاک‌های منطقه مرکزی استان اصفهان، ۲۶ سری خاک مهم زراعی منطقه انتخاب و بر اساس بافت و پتاسیم استخراجی با استات آمونیوم، ۱۶ سری خاک برای مطالعات بعدی انتخاب شد. پتاسیم قابل عصاره‌گیری این خاک‌ها با استفاده از عصاره‌گیرهای استات آمونیوم (چهار روش)، کلرید کلسیم (دو روش)، کلرید سدیم (دو روش)، استات سدیم، بی‌کربنات آمونیوم - DTPA، مهلیخ ۱، مهلیخ ۳، مورگان - ولف و اسید نیتریک استخراج شد. در مطالعات گلخانه‌ای از ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۷۰۴ به عنوان گیاه محک، و دو تیمار صفر و ۱۵۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم، در قالب یک آزمایش فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار استفاده شد.

بر اساس مطالعات شناسایی کانی‌ها، ایلیت به عنوان کانی رسی غالب در خاک‌های منطقه شناسایی شد. مقدار پتاسیم استخراج شده به وسیله عصاره‌گیرهای کلرید سدیم ۲ مولار، استات سدیم مولار و خنثی، استات آمونیوم مولار و خنثی و بی‌کربنات آمونیوم - DTPA، رابطه‌ای معنی دار (در سطح یک درصد) با جذب و غلظت پتاسیم در گیاه نشان داد. عصاره‌گیرهای کلرید سدیم ۲ مولار و استات سدیم مولار و خنثی، بر اساس بالا بودن ضرایب هم‌بستگی با جذب (۲ به ترتیب 0.79^{**} و 0.72^{**}) و غلظت پتاسیم در گیاه (۲ به ترتیب 0.86^{**} و 0.85^{**})، و نیز سادگی و اقتصادی بودن، به عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیرها در بین عصاره‌گیرهای مورد استفاده تشخیص داده شدند. عصاره‌گیرهای استات آمونیوم (روش ۱) و بی‌کربنات آمونیوم - DTPA، به علت ضرایب هم‌بستگی کمتر، قیمت زیاد و کم‌یابی مواد مورد نیاز، در اولویت نمی‌باشند. عملکرد، عملکرد نسبی، افزایش عملکرد و جذب اضافی، با پتاسیم استخراج شده به وسیله عصاره‌گیرها رابطه معنی‌داری نشان ندادند. مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک‌های مورد مطالعه عامل محدود کننده‌ای برای رشد ذرت نبود. بنابراین، تعیین حدود بحرانی پتاسیم برای عصاره‌گیرهای پیشنهادی با استفاده از عملکرد یا عملکرد نسبی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم قابل استفاده، عصاره‌گیرهای پتاسیم، ذرت

مقدمه

یک عنصر غذایی برای گیاه است (۵). اصولاً در ارائه محلول

هدف اولیه هر عصاره‌گیر شیمیایی ارزیابی مقدار قابل استفاده عصاره‌گیر برای خاک باید به دو معیار توجه داشت: اولاً

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

این عصاره گیر و جذب پتاسیم به وسیله ذرت، این عصاره گیر را بر استات آمونیوم ترجیح داده‌اند.

گزرزیز و ارتلی (۸) عصاره گیرهای کلریدکلسیم، بی‌کربنات آمونیوم-DTPA، مهلیخ ۱، ۲ و ۳، مورگان-ولف و استات آمونیوم-EDTA را برای استخراج پتاسیم قابل استفاده چاودار در خاک‌های غرب سوئیس بررسی نموده و عصاره گیرهای عمومی بی‌کربنات آمونیوم، مهلیخ ۳ و استات آمونیوم-EDTA را به عنوان عصاره گیرهای مناسب معرفی کردند. هانلون و جانسون (۱۰) عصاره گیرهای عمومی مهلیخ ۳ و بی‌کربنات آمونیوم-DTPA را با عصاره گیر استات آمونیوم، برای تعیین پتاسیم قابل استفاده گندم در خاک‌های اوکلاهاما مقایسه نمودند. در این تحقیق پتاسیم استخراجی به وسیله این سه عصاره گیر هم‌بستگی بسیار خوبی با هم نشان داده، و با در نظر گرفتن سرعت عصاره گیری، عصاره گیرهای مهلیخ ۳ و استات آمونیوم بر روش بی‌کربنات آمونیوم-DTPA ترجیح داده شدند.

ونتورت و رسی (۲۷) پتاسیم عصاره گیری شده با روش تترافنیل بران سدیم (یک ساعت انکوباسیون) را تخمین خوبی از پتاسیم قابل جذب گیاه در کانی‌های سیلیکاتی لایه‌ای دانسته‌اند.

به طور کلی، دلیل این که یک عصاره گیر در یک خاک موفق و در خاک دیگر ممکن است ناموفق باشد، احتمالاً نقش متفاوت شکل‌های پتاسیم خاک (با توجه به نوع و مقدار کانی‌های موجود در خاک) در تأمین نیازهای گیاهی می‌باشد.

نظر به این که اخیراً سؤالات زیادی در مورد مقدار پتاسیم قابل استفاده و مصرف کودهای پتاسه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران مطرح شده و توصیه‌هایی نیز ارائه گردیده است، تحقیق حاضر با هدف بررسی وضعیت پتاسیم در خاک‌های منطقه مرکزی استان اصفهان، و ارزیابی عصاره گیرهای رایج برای استخراج پتاسیم قابل استفاده ذرت از این خاک‌ها انجام گرفت.

عصاره گیری باید از منابع لیبایل^۱ عنصر غذایی باشد، ثانیاً روش عصاره گیری باید سریع، تکرار پذیر و اقتصادی باشد (۳ و ۵).

طیف وسیعی از عصاره گیرها برای تعیین پتاسیم قابل استفاده خاک‌های مختلف به کار گرفته شده است، که رایج‌ترین آنها محلول استات آمونیوم مولار و خنثی می‌باشد (۹، ۱۳ و ۱۵). این عصاره گیر در ایران نیز (بدون این که تحقیقات جامعی روی آن انجام شده باشد) به عنوان تنها عصاره گیر برای استخراج پتاسیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. سایر عصاره گیرهای متداول پتاسیم در دنیا عبارتند از: مهلیخ ۱، ۲ و ۳، بی‌کربنات آمونیوم-DTPA، کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار، کلریدسدیم، مورگان-ولف، تترافنیل بران سدیم و اسیدنیتریک مولار جوشان.

پژوهشگران مختلف بسته به محل تحقیق، عصاره گیرهای متفاوتی را برای استخراج پتاسیم قابل استفاده گیاه پیشنهاد کرده‌اند. ساتو (۶) دو عصاره گیر استات آمونیوم و لاکتات آمونیوم را برای ارزیابی پتاسیم قابل استفاده خاک‌های مجارستان مورد مقایسه قرار داد، و هر دو عصاره گیر را برای تعیین پتاسیم قابل استفاده خاک‌های مربوطه مناسب تشخیص داد.

سالومون (۲۳) روش کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار را با روش لاکتات آمونیوم-اسید استیک (روش متداول در سوئد) برای استخراج پتاسیم قابل جذب گیاه ذرت مورد مقایسه قرار داده و بیان می‌کند که گرچه کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار پتاسیم کمتری از خاک استخراج می‌کند، ولی می‌تواند جای‌گزین خوبی برای روش متداول باشد. ونديست و هوراكووا (۲۶) نیز این عصاره گیر را به عنوان عصاره گیر مناسب برای تخمین پتاسیم قابل استفاده ذرت معرفی کرده‌اند.

بیگل و اوراوک (۲) در بررسی عصاره گیر مهلیخ ۳ در خاک‌های پنسیلوانیا، به هم‌بستگی قوی این عصاره گیر و استات آمونیوم اشاره کرده و به دلیل استخراج هم‌زمان چند عنصر، و وجود رابطه خوب بین پتاسیم استخراجی به وسیله

مواد و روش‌ها

تحقیق انجام شده شامل مراحل نمونه برداری، مطالعات آزمایشگاهی و مطالعات گلخانه‌ای بود. نمونه برداری طی دو مرحله انجام شد. در مرحله اول، ۲۶ سری خاک مهم زراعی منطقه مرکزی استان اصفهان، از افق سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی متر) به صورت مرکب نمونه برداری گردید. سپس برای هر سری خاک، پتاسیم قابل عصاره‌گیری با روش استات آمونیوم - ۲ (۱۵)، و بافت خاک با روش پی‌پت تعیین شد. سری‌های خاک بر اساس مقدار پتاسیم قابل عصاره‌گیری، در مقادیر کم (۵۰-۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، متوسط (۱۵۰-۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، زیاد (۲۵۰-۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و خیلی زیاد (بیش از ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) گروه‌بندی گردید. از هر گروه، با توجه به حداکثر اختلاف در بافت (با تأکید بر مقادیر پتاسیم قابل استخراج کم و بافت‌های سبک‌تر) چند سری خاک انتخاب شد. با توجه به موارد فوق، ۱۶ سری خاک برای انجام مطالعات بعدی در نظر گرفته شد.

در مرحله دوم نمونه برداری، از این ۱۶ سری به مقدار مورد نیاز، برای مطالعات گلخانه‌ای نمونه برداری مجدد صورت گرفت. مقادیر کمی از نمونه‌های آماده شده برای انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. بقیه از الک شش میلی‌متری عبور داده شد، و برای انجام کشت در گلخانه آماده گردید.

در نمونه‌های خاک، بافت خاک (روش پی‌پت)، پ-هاش گل‌اشباع، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، پتاسیم محلول، درصد مواد آلی به روش بی‌کرمات پتاسیم (۱۹) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش چاپمن (۴) تعیین گردید. عصاره گیرهای مورد استفاده برای استخراج پتاسیم، و مشخصات هر کدام در جدول ۱ ارائه شده است.

بر اساس مناطق پراکنش خاک‌ها و احتمال اختلاف در نوع کانی‌ها با توجه به مطالعات قبلی، سه سری خاک شامل:

آشجرد (از منطقه فریدن)، زاینده‌رود و اصفهان (از منطقه برآن) برای مطالعه شناسایی کانی‌های رسی انتخاب شد. به طور کلی مطالعات شناسایی کانی‌های خاک در چهار مرحله صورت گرفت که عبارت بود از: الف) تیمار نمونه‌های خاک قبل از تفکیک اجزا (شامل حذف کربنات‌ها و نمک‌های محلول، اکسید کردن مواد آلی و حذف پوشش‌های آهن)، ب) تفکیک اجزای خاک با استفاده از الک و سانتریفوژ، ج) تیمار اجزای تفکیک شده، و د) شناسایی کانی‌ها با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس^۱ (۷).

مطالعات گلخانه‌ای در قالب یک آزمایش فاکتوریل ۱۶×۲ با طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار انجام شد. در این آزمایش تعداد خاک‌ها ۱۶، و تیمارهای پتاسیم شامل دو مقدار صفر و ۱۵۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم بود. گیاه مورد استفاده، ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۷۰۴ بوده و از سطوحی پلاستیکی با گنجایش چهار کیلوگرم به عنوان گلدان استفاده گردید. پتاسیم به صورت پودر سولفات پتاسیم با خاک هر گلدان مخلوط شد. فسفر و روی به صورت کودهای سوپر فسفات تریپل و سولفات روی به ترتیب به مقادیر ۱۰۰ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گلدان‌ها مخلوط گردید. ازت به صورت اوره، به مقدار ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، و در سه مرحله (زمان کاشت، سه و پنج هفته پس از کاشت) به صورت سرک به همه گلدان‌ها اضافه شد. آهن به صورت سبک‌ترین ۱۳۸، به مقدار پنج میلی‌گرم در کیلوگرم، ۱۲ روز پس از کاشت، به صورت محلول به خاک اضافه گردید.

در هر گلدان سه عدد بذر در عمق دو سانتی متری خاک کاشته شد، که پس از یک هفته، به یک گیاه در هر گلدان کاهش یافت. در مجموع ۹۶ گلدان مورد استفاده قرار گرفت. آبیاری با آب مقطر صورت گرفت و سعی شد تا رطوبت خاک‌ها در حدود ظرفیت مزرعه نگهداری شود. هشت هفته پس از کاشت، گیاهان از یک سانتی متری بالای سطح خاک قطع و با آب مقطر شسته شدند. سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون تهویه دار با دمای ۶۵

1. X-Ray Diffraction

جدول ۱. مشخصات روش‌های عصاره‌گیری مورد استفاده

شماره	نام عصاره‌گیر	غلظت	پ - هاش	نسبت خاک/آب	مدت زمان تکان دادن ^۱	منبع مورد استفاده
۱	استات آمونیوم - ۱	۱ مولار	۷	۱۰/۱	۳۰ دقیقه	۲۵ و ۱۵،۱
۲	استات آمونیوم - ۲	۱ مولار	۷	۲۰/۱	۱۰ دقیقه	" " "
۳	استات آمونیوم - ۳	۱ مولار	۷	۱۰/۱	۵ دقیقه	" " "
۴	استات آمونیوم - ۴	۱ مولار	۷	۲۰/۱	۲۴ ساعت	" " "
۵	کلرید کلسیم - ۱	۰/۰۱ مولار	-	۱۰/۱	۱ ساعت	۲۴ و ۱۲،۱۱،۸
۶	کلرید کلسیم - ۲	۰/۰۱ مولار	-	۲۰/۱	۲ ساعت	" " " "
۷	کلرید سدیم - ۱	۱ مولار	۷	۱۰/۱	۱۵ دقیقه	۱۸ و ۱۶
۸	کلرید سدیم - ۲	۲ مولار	۷	۲۰/۱	۱ ساعت	" "
۹	استات سدیم	۱ مولار	۷	۲۰/۱	۱۰ دقیقه	۶، ۱۵
۱۰	مهلیخ ^{۲۱}	-	-	۴/۱	۵ دقیقه	۱۴
۱۱	مهلیخ ^{۳۳}	-	۲	۲۵/۳	۵ دقیقه	۱۷ و ۱۴
۱۲	بی‌کربنات آمونیوم - DTPA ^۴	-	۷/۶	۲/۱	۱۵ دقیقه	۱۴
۱۳	مورگان - ولف ^۵	-	۴/۸	۴۰/۲۵	۵ دقیقه	۱۴
۱۴	اسید نیتریک	۱ مولار	-	۱۰/۱	-	۱۵

- عمل تکان دادن با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه انجام شد. در عصاره‌گیر ۱ عمل تکان دادن دو بار و هر بار با ۲۵ میلی لیتر عصاره‌گیر، و در عصاره‌گیرهای ۲ و ۹ عمل تکان دادن سه بار و هر بار با ۲۵ میلی لیتر عصاره‌گیر صورت گرفت. عصاره‌گیر ۴ مدت ۲۴ ساعت باقی ماند.
- شامل اسید کلریدریک ۰/۰۰۵ مولار و اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار
- شامل اسید استیک ۰/۲ مولار، نترات آمونیوم ۰/۲۵ مولار، فلورید آمونیوم ۰/۱۵ مولار، اسید نیتریک ۰/۰۱۳ مولار و EDTA ۰/۰۰۱ مولار
- شامل بی‌کربنات آمونیوم یک مولار و DTPA ۰/۰۰۵ مولار
- شامل استات سدیم ۰/۷۳ مولار، اسید استیک ۰/۵۲ مولار و DTPA ۰/۰۰۰۱ مولار
- مطابق روش استات آمونیوم - است، و پ-هاش آن به وسیله اسیداستیک برابر ۷ تنظیم شد.

درجه سانتی‌گراد خشک، و عملکرد اندام هوایی گیاهان تعیین

گردید. مواد گیاهی خشک با آسیاب برقی به مدت دو دقیقه

آسیاب و از مش ۲۰ عبور داده شد. مقدار یک گرم از نمونه

گیاهی پودر شده به مدت دو ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی سوزانده، و به وسیله ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک دو مولار عصاره‌گیری گردید. غلظت پتاسیم در عصاره گیاه به وسیله دستگاه اسپکترومتری نشر اتمی اندازه‌گیری شد. سپس شاخص‌های گیاهی جذب پتاسیم، جذب اضافی، پاسخ گیاه، عملکرد نسبی و افزایش غلظت، مطابق فرمول‌های ذیل محاسبه گردید:

$$\text{عملکرد نسبی} = \frac{\text{عملکرد گیاه شاهد}}{\text{عملکرد گیاه تیمار}} \times ۱۰۰$$

= افزایش غلظت

غلظت پتاسیم در گیاه شاهد - غلظت پتاسیم در گیاه تیمار شده

هم‌بستگی بین مقادیر پتاسیم استخراجی به وسیله عصاره گیرها

ارتباط پتاسیم استخراج شده به وسیله عصاره گیرهای مختلف، با استفاده از هم‌بستگی ساده مورد مطالعه قرار گرفت. مقدار پتاسیم استخراجی به وسیله عصاره گیرها در جدول ۵ و ضریب‌های هم‌بستگی آنها در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، پتاسیم استخراجی به وسیله اسید نیتریک مولار جوشان هم‌بستگی معنی داری با پتاسیم عصاره گیری شده به وسیله کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، کلرید سدیم مولار، استات سدیم مولار، مهلیخ ۱ و مورگان-ولف نشان نمی‌دهد. غلظت زیاد یون هیدروژن در این عصاره گیر، باعث استخراج پتاسیم غیر تبادلی، احتمالاً تخریب ساختمان کانی‌های ورمی‌کولیت و ایلیت، و آزاد شدن پتاسیم ساختاری می‌شود. پتاسیم استخراجی به وسیله این عصاره گیر هم‌بستگی خوبی با پتاسیم عصاره گیری شده به وسیله روش‌های استات آمونیوم ($r=0/8$) و بی‌کربنات آمونیوم-DTPA ($r=0/79$) نشان داده است. بنابراین، این دو عصاره گیر نیز به احتمال زیاد قادرند بخشی از پتاسیم سخت قابل تبادل را استخراج کنند.

بر اساس مقادیر پتاسیم استخراجی از خاک به وسیله عصاره گیرها، می‌توان عصاره گیرهای مورد استفاده در این تحقیق را به سه گروه کلی تقسیم کرد. اول) عصاره گیرهای نسبتاً ضعیف شامل: کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، مهلیخ ۱ و مورگان-ولف. دوم) عصاره گیرهای نسبتاً قوی، شامل: استات آمونیوم مولار و خنثی، کلرید سدیم دو مولار، مهلیخ ۳، بی‌کربنات آمونیوم-DTPA، استات سدیم مولار و خنثی و کلرید سدیم مولار. قوی‌ترین و ضعیف‌ترین آنها در این گروه به ترتیب استات آمونیوم و کلرید سدیم مولار می‌باشد. سوم) عصاره گیرهای بسیار قوی که تنها شامل اسید نیتریک مولار جوشان است. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، عصاره گیرهای هر گروه هم‌بستگی بسیار خوبی با یکدیگر نشان می‌دهند.

در بخش محاسبات آماری، به منظور بررسی ارتباط عصاره گیرهای پتاسیم با یکدیگر و شناسایی عصاره گیرهای مشابه، ضرایب هم‌بستگی بین مقادیر پتاسیم استخراجی به وسیله روش‌های مختلف عصاره گیری بررسی و معنی دار بودن آنها تعیین شد. تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل انجام و معنی دار بودن اختلاف بین تیمارها از نظر عملکرد، جذب پتاسیم و غلظت پتاسیم، با استفاده از آزمون دانکن مشخص گردید. هم‌چنین، برای انتخاب عصاره گیر مناسب، رابطه بین شاخص‌های گیاهی و پتاسیم استخراجی به وسیله عصاره گیرها، با استفاده از هم‌بستگی ساده معین گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود خاک‌ها عموماً دارای پ-هاش بین ۷ تا ۸، مواد آلی بین ۰/۷ تا ۲/۳ درصد، CEC متوسط و بافت متوسط تا سنگین هستند.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل (جدول ۳)، بین خاک‌ها اختلاف عملکرد معنی دار در سطح ۱٪ وجود دارد، و اثر متقابل خاک و پتاسیم در سطح ۵٪ معنی دار نشده است. به منظور تعیین معنی داری تأثیر مصرف پتاسیم بر عملکرد، جذب پتاسیم و غلظت پتاسیم، از آزمون دانکن استفاده شد، که نتایج آن همراه با نتایج شاخص‌های گیاهی تعیین شده، در جدول ۴ مشاهده می‌شود. تیمار پتاسیم باعث افزایش معنی دار عملکرد (در سطح ۱٪) تنها در دو سری خاک لنجان و فریدن شده، ولی جذب و غلظت پتاسیم را در تعدادی از خاک‌ها به طور معنی داری افزایش داده است. دلیل پایین بودن نسبی عملکرد گیاهان، احتمالاً محدودیت‌های موجود در کشت گلخانه‌ای (مانند عمق خاک، نور خورشید و...) می‌باشد. عدم افزایش عملکرد گیاهان در اثر تیمار پتاسیم در اکثر خاک‌ها، خود بیانگر محدود کننده نبودن پتاسیم برای رشد گیاه، و یا وجود عواملی محدود کننده تر از غلظت پتاسیم در خاک برای رشد گیاه می‌باشد.

جدول ۲. بعضی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	نام سری	pH کل اشباع	EC (ds/m)	مواد آلی (درصد)	پتاسیم محلول ^۱ (mg/L)	CEC (cmol(+)/kg)	توزیع اندازه ذرات (درصد)			بافت ^۲
							سیلت	شن	رس	
۱	مدیسه	۷/۳	۳/۹	۲/۳	۰/۱۵	۱۷/۷	۲۶/۴	۴۶/۳	۲۷/۳	۱
۲	لبنجان	۷/۵	۲/۱	۲/۳	۰/۲۱	۱۴/۷	۲۴/۶	۳۳/۶	۴۰/۸	۱
۳	تالجرد	۷/۸	۳/۲	۱/۴	۰/۳	۱۳/۴	۱۷/۵	۷۰/۴	۱۲/۱	sll
۴	منوچهرآباد	۷/۶	۸/۸	۱/۵	۰/۴۷	۱۳/۵	۲۸/۲	۴۶/۹	۲۴/۹	cl
۵	خیمینی شهر	۷/۷	۱/۷	۰/۷	۰/۱۱	۱۷/۷	۴۰/۴	۴۳/۳	۱۶/۳	sic
۶	رنگیده	۷/۸	۲/۷	۱/۳	۰/۲۹	۱۲/۱	۲۸/۰	۳۹/۷	۳۲/۲	cl
۷	خاتون آباد	۷/۸	۲/۴	۲/۳	۰/۳	۱۲/۳	۲۱/۳	۴۵/۳	۲۳/۳	۱
۸	طالبخواجه	۷/۶	۳/۶	۰/۷	۰/۳۶	۱۱/۹	۲۴/۴	۴۹/۷	۲۵/۹	۱
۹	اصفهان	۷/۸	۱/۱	۲/۱	۰/۲۷	۱۸/۰	۳۹/۶	۲۵/۷	۲۴/۷	cl
۱۰	زاینده رود	۷/۶	۷/۱	۱/۰	۱/۴۹	۹/۳	۱۳/۷	۳۰/۱	۵۶/۷	sl
۱۱	مهباز	۷/۴	۷/۱	۰/۸	۰/۳۴	۱۷/۷	۵۰/۸	۴۲/۹	۶/۳	sic
۱۲	نکون آباد	۷/۸	۲/۹	۲/۲	۰/۴۳	۱۷/۶	۳۹/۴	۵۱/۴	۹/۳	sicl
۱۳	قمشه	۷/۶	۴/۷	۱/۵	۱/۱۲	۱۱/۸	۲۶/۶	۴۲/۷	۳۰/۷	۱
۱۴	آشجرد	۷/۸	۰/۹۱	۱/۷	۰/۰۹	۲۳/۸	۳۹/۷	۳۹/۲	۲۱/۱	cl
۱۵	دارگان	۷/۶	۳/۱۷	۱/۶	۰/۲۸	۱۵/۸	۳۹/۴	۴۷/۹	۱۲/۷	sicl
۱۶	فریدن	۷/۹	۰/۶۲	۰/۹	۰/۰۸	۲۲/۵	۴۲/۸	۴۴/۲	۱۳/۰	sic
	دامنه تغییرات	۷/۳-۷/۹	۰/۶۲-۸/۸	۰/۷-۲/۳	۰/۰۸-۱/۴۹	۹/۳-۲۳/۸	۱۳/۷-۵۰/۸	۳۰/۱-۷۰/۴	۶/۳-۵۶/۷	-

۱. اندازه‌گیری شده در عصاره اشباع

۲. =Loam or Loamy, s=Sandy, si=Silt or Silty, c= Clay

جدول ۳. تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل (صفت مورد مطالعه عملکرد گیاه)

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F
فاکتور الف (خاک)	۱۵	۹۸۲/۶۶	۶۵/۵۱	۴۵/۲۴**
فاکتور ب (تیمار پتاسیم)	۱	۱۴/۲۶	۱۴/۲۶	۹/۸۵**
اثر متقابل	۱۵	۳۷/۹۱	۲/۵۳	۱/۷۴ ^{NS}
خطا	۶۴	۹۲/۶۷	۱/۴۵	
کل	۹۶	۱۱۲۷/۴۹		CV = %۸/۳۴

NS: در سطح پنج درصد معنی دار نیست.

**#: در سطح یک درصد معنی دار است.

گیاه، عملکرد، عملکرد نسبی، پاسخ گیاه و جذب اضافی^۱ نیز بعضاً با مقدار عنصر موجود در عصاره خاک ارتباط داشته و ضرایب هم‌بستگی آنها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

در این تحقیق نیز ارتباط پتاسیم استخراجی به وسیله عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاهی ذکر شده، بررسی گردید. نتایج در جدول ۷ ارائه شده است. هم‌چنین، از آن‌جا که نوع رس موجود در خاک تأثیر زیادی در ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک‌ها دارد، مطالعات شناسایی کانی‌های سه سری خاک آشچرد، اصفهان و زاینده رود، که بر اساس موقعیت جغرافیایی و احتمال اختلاف در نوع کانی‌ها (با توجه به نظر متخصصان) انتخاب شده بودند، با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس انجام شد. کانی‌های شناسایی شده در بخش رس ریز و درشت خاک‌های مذکور در جدول ۸ ارائه شده است.

در دیفرکتوگرام‌های به‌دست آمده، پیک‌های ۷/۲ و ۱۰ آنگستروم در بخش رس ریز مشاهده می‌شود، و سطح زیر پیک ۱۰ آنگستروم بیشتر از سایر پیک‌ها است، که نشان‌دهنده غالب بودن کانی ایلیت است. مطالعات متعدد کانی‌شناسی در منطقه نیز صحت این امر را تأیید می‌کند. کانی‌های دیگری، از جمله کلریت، اسمکتیت، کائولینیت، کوآرتز و پالی گورسکایت نیز در نمونه‌ها مشاهده می‌شود. خاک‌های غنی از کانی ایلیت معمولاً غنی از پتاسیم غیر تبادلی هستند. قابلیت جذب این پتاسیم برای گیاه بستگی به سینتیک آزاد شدن پتاسیم از آن دارد.

گربیز و ارتلی (۸) در تحقیق خود نشان دادند که هم‌بستگی زیادی (۰/۸ تا ۰/۹۸) بین عصاره‌گیرهای استات آمونیوم EDTA، AB - DTPA، مهلیخ ۳، کلرید کلسیم و مورگان-ولف وجود داشته، و تنها ضرایب هم‌بستگی این عصاره‌گیرها با اسید نیتریک مولار جوشان (۰/۶ تا ۰/۸) نسبتاً کم بوده است. هم‌چنین، هانلون و جانسون (۱۰) گزارش دادند که عصاره‌گیرهای مهلیخ ۳، بی‌کربنات آمونیوم-DTPA و استات آمونیوم دارای هم‌بستگی قوی (r بین ۰/۸۰ تا ۰/۹۹) با یکدیگر هستند. ریچاردز و بتز (۲۲) رابطه خوبی بین پتاسیم استخراجی به وسیله کلرید سدیم دو مولار و استات آمونیوم مولار (r=۰/۷۵) گزارش نمودند. بیگل و اوراوک (۲) نیز به هم‌بستگی زیادی (r=۰/۹۶) بین استات آمونیوم مولار و خنثی و مهلیخ ۳ اشاره کرده‌اند.

هم‌بستگی پتاسیم استخراج شده به وسیله عصاره‌گیرها با شاخص‌های گیاهی و انتخاب عصاره‌گیر مناسب ایجاد ارتباط یک عنصر غذایی که به وسیله یک محلول عصاره‌گیر از خاک استخراج می‌شود، با مقدار جذب آن عنصر به وسیله گیاه، یکی از مراحل اصلی آزمون خاک بوده و هم‌بستگی نامیده می‌شود. مربوط کردن غلظت عنصر غذایی اندازه‌گیری شده در عصاره خاک با مقدار جذب آن عنصر، از اهمیت زیادی برخوردار است. شاخص‌های دیگری مانند غلظت عنصر در

1. Additional uptake

جدول ۷. همبستگی پتاسیم استخراج شده به وسیله عصاره گیرها و شاخص های گیاهی

شاخص های گیاهی	عصاره گیرها	عملکرد خشک	عملکرد نسبی	پاسخ گیاه	جذب پتاسیم	جذب اضافی	غلظت پتاسیم
* و #: به ترتیب معنی دار در سطح پنج و یک درصد NS: غیر معنی دار در سطح پنج درصد	عصاره گیرها						
	۱ - استات آمونیم	۰/۱۰ NS	۰/۰/۳۳ NS	۰/۲۹ NS	۰/۷۹ ***	۰/۲۸ NS	۰/۷۵ ***
	۲ - استات آمونیم	۰/۰۵ NS	۰/۰/۲۷ NS	۰/۲۱ NS	۰/۷۵ ***	۰/۳۰ NS	۰/۷۶ ***
	۳ - استات آمونیم	۰/۰۵ NS	۰/۰/۲۴ NS	۰/۱۶ NS	۰/۷۶ ***	۰/۳۲ NS	۰/۷۷ ***
	۴ - استات آمونیم	۰/۱۳ NS	۰/۰/۲۳ NS	۰/۲۰ NS	۰/۸۰ ***	۰/۳۰ NS	۰/۷۳ ***
	کلرید کلسیم	۰/۰/۲۱ NS	۰/۰/۰۸ NS	۰/۱۰ NS	۰/۲۷ NS	۰/۴۲ NS	۰/۷۴ ***
	کلرید کلسیم	۰/۰/۲۳ NS	۰/۰/۰۱ NS	۰/۱۸ NS	۰/۴۲ NS	۰/۴۷ NS	۰/۷۳ ***
	کلرید سدیم مولار	۰/۰/۱۶ NS	۰/۰/۱۶ NS	۰/۰/۳۳ NS	۰/۴۹ *	۰/۳۵ NS	۰/۷۰ ***
	کلرید سدیم ۲ مولار	۰/۰/۲۳ NS	۰/۰/۱۹ NS	۰/۰/۰۹ NS	۰/۷۹ ***	۰/۳۸ NS	۰/۸۲ ***
	استات سدیم مولار	۰/۰/۰۶ NS	۰/۰/۰۷ NS	۰/۰/۰۸ NS	۰/۷۲ ***	۰/۴۲ NS	۰/۸۵ ***
	AB - DTPA	۰/۰/۰۴ NS	۰/۰/۲۳ NS	۰/۱۷ NS	۰/۷۵ ***	۰/۳۵ NS	۰/۷۸ ***
	مهلخ ۱	۰/۰/۱۹ NS	۰/۰/۰۴ NS	۰/۰/۱۴ NS	۰/۳۹ NS	۰/۳۸ NS	۰/۶۴ ***
	مهلخ ۲	۰/۱۳ NS	۰/۰/۲۳ NS	۰/۱۷ NS	۰/۷۲ ***	۰/۲۲ NS	۰/۶۲ ***
	مورگان - ولف	۰/۰/۰۹ NS	۰/۰/۱۰ NS	۰/۰/۰۹ NS	۰/۵۳ *	۰/۴۲ NS	۰/۶۹ ***
	اسید نیتریک	۰/۰/۰۲ NS	۰/۰/۳۳ NS	۰/۲۸ NS	۰/۶۰ ***	۰/۱۶ NS	۰/۴۹ *

جدول ۸. کانی‌های شناسایی شده در بخش رس ریز و رس درشت

شماره خاک	نام سری	رس درشت	رسی ریز
۱۵	آشجرد	I, Ch, Q, K	I, Sm, Vm, Ch, Q, K
۱۰	اصفهان	Q, K, I, Ch	I, Pa, Ch, Sm, Vm, Q, K
۱۱	زاینده رود	I, Ch, Q, K	I, Pa, Ch, Sm, Q, K

۱. I = ایلیت، Ch = کلریت، Sm = اسمکتیت، Vm = ورمی کولیت، K = کائولینیت، Q = کوآرتز، Pa = پالی گورسکایت

مناسب معرفی کرده‌اند.

بین عملکرد خشک اندام هوایی، عملکرد نسبی، پاسخ گیاه (افزایش عملکرد) و جذب اضافی پتاسیم، با غلظت پتاسیم استخراج شده به وسیله عصاره گیرهای مورد مطالعه، رابطه معنی داری مشاهده نشد. چون پتاسیم استخراجی به وسیله عصاره گیرها ارتباط معنی داری با عملکرد یا عملکرد نسبی ذرت نشان نداد، و افزایش عملکرد ذرت در اثر کاربرد پتاسیم در ۱۴ سری از ۱۶ سری خاک معنی دار نشد، می‌توان گفت که مقدار پتاسیم قابل استفاده در این خاک‌ها، عامل محدود کننده‌ای برای رشد ذرت نبوده، و تغییرات عملکرد در این خاک‌ها تحت تأثیر دیگر عوامل خاکی یا محیطی بوده است. دلیل اصلی این امر احتمالاً کافی بودن پتاسیم تبادلی و محلول برای رفع نیاز پتاسیمی گیاه در این مدت (دو ماه)، و ظرفیت بافری زیاد پتاسیم، به علت وجود مقادیر فراوان کانی ایلیت در این خاک‌ها، یا تأثیرگذاری سایر عوامل محدود کننده رشد می‌باشد. رهم و همکاران (۲۱) در تحقیق خود علت عدم افزایش عملکرد ذرت در اثر کود پتاسه را منابع پتاسیم خاک زیر سطحی و تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه از طریق پتاسیم رها شده از کانی‌های خاک دانسته‌اند. پارکر و همکاران (۲۰) نیز علت این که محصول ذرت در خاک‌های شنی دشت‌های ساحلی اقیانوس اطلس (با وجود CEC و غلظت پتاسیم تبادلی کم) با کاربرد کود پتاسه افزایش نمی‌یابد را به عواملی همچون برداشت نسبتاً کم پتاسیم از خاک به وسیله ذرت دانه‌ای (غلظت پتاسیم در دانه ذرت کم است)، ظرفیت بافری زیاد پتاسیم به علت وجود فرم‌های تبادلی و

عصاره گیرهای کلرید سدیم دو مولار و استات سدیم مولار و خنثی، بر اساس زیاد بودن ضرایب هم‌بستگی با دو شاخص گیاهی جذب پتاسیم (I به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۷۲) و غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه (I به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۸۵)، و هم‌چنین سادگی و اقتصادی بودن، در بین عصاره گیرهای مورد استفاده به عنوان مناسب‌ترین عصاره گیرها تشخیص داده شدند. عصاره گیرهای استات آمونیوم-۱ و بی‌کربنات آمونیوم-DTPA نیز عصاره گیرهای مناسبی برای ارزیابی پتاسیم قابل استفاده گیاه بودند، ولی به دلیل هم‌بستگی ضعیف‌تر، گرانی و کمیابی مواد، در اولویت نمی‌باشند. در بین چهار روش استات آمونیوم، روش استات آمونیوم-۱ با در نظر گرفتن سه عامل سرعت، اقتصادی بودن و بالا بودن ضرایب هم‌بستگی، مناسب‌ترین روش است. چون دوره رشد گیاه در این پژوهش کوتاه بوده (حدود ۲ ماه)، گیاه ترجیحاً از شکل‌های پتاسیمی که با انرژی کمتری به مکان‌های جذب متصل بوده‌اند، استفاده کرده، و شاید به همین دلیل کلرید سدیم دو مولار و استات سدیم مولار رابطه بهتری با جذب پتاسیم و غلظت پتاسیم در اندام هوایی نشان داده‌اند. از طرف دیگر، احتمال می‌رود که سرعت رهاسازی پتاسیم از کانی ایلیت، که به مقادیر فراوان در این خاک‌ها وجود دارد، زیاد بوده و به مرور زمان پتاسیم تبادلی مصرف شده را جای‌گزین نماید. ریچاردز و بتز (۲۲) در خاک‌های اونتاریوی جنوبی در کانادا (که از نظر کانی‌های رسی موجود در خاک مشابه خاک‌های مورد مطالعه ما بوده است) کلرید سدیم دو مولار را به عنوان عصاره‌گیر

پتاسیمی ذرت کافی بوده است.

ب) سایر عوامل محدود کننده رشد مانند خصوصیات فیزیکی خاک، مواد آلی خاک، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، شرایط کشت گلخانه‌ای و... مانع از پاسخ گیاه به کاربرد پتاسیم شده باشند.

۳. کانی ایلیت یکی از کانی‌های غالب در خاک‌های مورد مطالعه است. این کانی به عنوان ذخیره بزرگی از پتاسیم در خاک محسوب شده و دارای مقادیر فراوانی از پتاسیم غیر تبادلی است، که ممکن است لااقل بخشی از آن قابل دسترسی برای گیاه باشد.

۴. توصیه می‌شود روی دو عصاره گیر پیشنهادی مطالعات بیشتری صورت گرفته، و حدود بحرانی پتاسیم این عصاره گیرها برای محصولات مختلف تعیین شود.

۵. به علت وجود مقادیر فراوان کانی ایلیت در این خاک‌ها، ارزیابی وضعیت پتاسیم از پیچیدگی خاصی برخوردار است. پیشنهاد می‌شود این ارزیابی با مقایسه سرعت جذب پتاسیم به وسیله گیاه، و سرعت رهاسازی پتاسیم از خاک صورت گیرد.

۶. توصیه می‌شود برای تعیین دقیق نیازهای کودی محصولات زراعی عمده کشور، از برنامه‌های دقیق آزمون خاک، با هدف دستیابی به عملکرد بهینه، حفظ تعادل عناصر غذایی، جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی و دستیابی به کشاورزی پایدار استفاده شود.

ساختاری پتاسیم در خاک، و مقادیر قابل توجه پتاسیم زیر سطحی، که به نظر می‌رسد برای گیاه قابل استفاده است، ربط داده‌اند.

در خاک‌های مورد مطالعه، تعیین حد بحرانی پتاسیم برای عصاره گیرهای پیشنهادی با استفاده از عملکرد یا عملکرد نسبی گیاه (به دلیل عدم رابطه بین این شاخص‌ها و پتاسیم عصاره گیری شده) امکان پذیر نشد.

نتیجه گیری

۱. با توجه به ضرایب هم‌بستگی بین جذب پتاسیم و غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه با پتاسیم استخراجی به وسیله عصاره گیرها، و نیز در نظر گرفتن عوامل سادگی، سرعت و اقتصادی بودن، دو عصاره گیر کلرید سدیم دو مولار و استات سدیم دو مولار و خنثی به عنوان عصاره گیرهای مناسب برای استخراج پتاسیم قابل استفاده ذرت در خاک‌های منطقه مرکزی استان اصفهان معرفی می‌شوند.

۲. به دلیل عدم افزایش عملکرد در اثر تیمار پتاسیم، و عدم رابطه بین پتاسیم عصاره گیری شده و عملکرد یا عملکرد نسبی گیاهان، پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های مورد مطالعه عامل محدود کننده‌ای برای رشد ذرت نبوده، که ممکن است دلیل آن یکی از موارد ذیل باشد:

الف) مقدار پتاسیم قابل استفاده این خاک‌ها اعم از محلول، تبادلی و غیر تبادلی در این دوره زمانی، برای رفع نیازهای

منابع مورد استفاده

۱. علی‌احیایی، م. و ع. بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۸۹۳.
2. Beegle, D. B. and T. C. Oravec. 1990. Comparison of filed calibration for Mehlich 3 P and K with Bray-Kurtz P1 and ammonium acetate K for Corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21(13-16): 1025-1036.
3. Brown, J. R., T. E. Bates and M. L. Vitosh. 1987. *Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration and Interpretation*. SSSA. Special pub. No. 21, Madison, WI.
4. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. *In: C. A. Black et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis*. Agron. Monogr. 9, ASA. Madison, WI.
5. Corey, R. B. 1987. Soil testing procedures: Correlation. PP. 15-22. *In: J. R. Brown et al. (Eds.), Soil*

- Testing: Sampling, Correlation, Calibration, and Interpretation. SSSA. Madison, WI.
6. Csatho, P. 1998. Correlations between two soil extractants and corn leaf potassium contents from Hungarian field trials. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29(11-14): 2149-2160.
 7. Cullity, B. D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. 2nd ed. Addison Wesley Publishing Co. Inc.,
 8. Grzebisz, W. and J. J. Oertli. 1993. Evaluation of universal extractants for determining plant available potassium in intensively cultivated soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24(11-12): 1295-1308.
 9. Haby, V. A., M. P. Russelle and E. O. Skogley. 1990. Testing soil for potassium, calcium and magnesium. PP. 181-227. *In: R. L. Westerman (Ed.), Soil Testing and Plant Analysis*. 3rd ed., SSSA, Madison, WI.
 10. Hanlon, E. A. and G. V. Johnson. 1984. Bray/Kurtz, Mehlich III, AB/D ammonium acetate extractions of P, K and Mg in four Oklahoma soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15(3): 277-294.
 11. Houba, V. J. G., I. Novozamsky, A. W. M. Huybregts and J. J. Vander Lee. 1986. Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl_2 , by EUF, and by some conventional extraction procedures. *Plant Soil* 96: 466-437.
 12. Houba, V. J. G., I. Novozamsky, T. M. Lexmond and J. J. Vander Lee. 1990. Applicability of 0.01 M CaCl_2 as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21(19-20): 2281-2290.
 13. Johnson, A. E. and K. W. Goudling. 1990. The use of plant and soil analysis to predict the potassium supplying capacity of soil. PP. 153-180. *In: Development of K-Fertilizer Recommendation*. 22nd Colloquium of IPI. IPI.
 14. Jones, J. B. 1990. Universal soil extractants: Their composition and use. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21(13-16): 1091-1101.
 15. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. E. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. PP. 225-246. *In: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis*. Part 2., Agron. Monogr. 9, ASA, Madison, WI.
 16. Liu, L. and T. E. Bates. 1990. Evaluation of soil extractants for the prediction of plant available potassium in Ontario soils. *Can. J. Soil Sci.* 70: 607-615.
 17. McKeague, J. 1978. *Manual on Soil Sampling and Methods of Analysis*. Can. Soc. Soil Sci. Ottawa, Ont.
 18. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15(12): 1409-1416.
 19. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP. 574-577. *In: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis*. Part 2., Agron. Monogr. 9, ASA, Madison, WI.
 20. Parker, D. R., G. J. Hendricks and D. L. Sparks. 1989. Potassium in Atlantic coastal plain soils. II. Crop response and changes in soil potassium under intensive management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 397-401.
 21. Rehm, G. W., R. C. Sorensen and R. A. Wiese. 1984. Soil test values for phosphorus, potassium, and zinc as affected by rate applied to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 814-818.
 22. Richards, J. E. and T. E. Bates. 1989. Studies on the potassium-supplying capacities of southern Ontario soils. III. Measurement of available K. *Can. J. Soil Sci.* 69: 597-610.
 23. Salomon, E. 1998. Extraction of soil potassium with 0.01 M calcium chloride compared to official Swedish methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29(19-20): 2841-2854.
 24. Simonis, A. D. and H. B. Setatou. 1996. Assessment of available phosphorus and potassium in soils by the calcium chloride extractions method. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27(3-4): 685-694

25. Thomas, G. W. 1982. Exchangeable cations. PP. 159-165. *In*: A. L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2.*, Agron. Monogr. 9, ASA, Madison, WI.
26. Van Diest, A., H. Horakova and V. J. G. Houba. 1993. Towards unity and clarity in European soil testing. *Potash Rev. Subj.* 4. No. 1.
27. Wentworth, S. A. and N. Rossi. 1972. Release of potassium from layer silicates by plant growth and by NaTpB extraction. *Soil Sci.* 113: 410-416.