

بررسی تخلیه پتاسیم از خاکهای زیر کشت نیشکر خوزستان

مجتبی بارانی مطلق^۱ و غلامرضا ثوابی فیروزآبادی^۲
۱، ۲، دانشجوی دکتری و استادیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
تاریخ پذیرش مقاله ۸۳/۱۱/۲۱

خلاصه

هدف از انجام این پژوهش، بررسی میزان تخلیه پتاسیم بر اثر کشت متراکم نیشکر (*Saccharum officinarum*) در استان خوزستان بوده است. بدین منظور از ۳۰ نقطه مزارع نیشکر شرکت‌های هفت تپه، کارون و توسعه نیشکر و صنایع جانبی (واحدهای امام خمینی و امیر کبیر) نمونه برداری مرکب جفتی از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متر صورت گرفت. این نقاط به طور تصادفی و به گونه‌ای انتخاب شدند که یک خاک کشت شده در مجاورت یک خاک کشت نشده قرار گرفته باشد با این فرض که خاک زیر کشت در واقع بخشی از خاک کشت نشده بوده که هم‌اکنون زیر کشت نیشکر می‌باشد. به منظور حصول اطمینان از تشابه جفت خاکهای مورد نمونه برداری، برخی از ویژگی‌های خاک از جمله فراوانی نسبی ذرات خاک، پهاش، کربنات کلسیم معادل، مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی اندازه‌گیری و مقایسه شدند. افزون بر این، کانی‌شناسی خاکها با استفاده از دستگاه XRD برای تعدادی از جفت نمونه‌ها انجام و مقایسه گردیدند. فرض مشابه بودن جفت نمونه‌ها از لحاظ ویژگی‌های یاد شده با استفاده از نرم‌افزار آماری ۱۱ Minitab و آزمون ناپارامتری مان ویتنی محقق گردید. به منظور بررسی تخلیه پتاسیم، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم، قابل استخراج با اسید نیتریک، پتاسیم تبدالی و غیرتبدالی جفت نمونه‌ها اندازه‌گیری و مقایسه گردیدند. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شکل‌های پتاسیم یاد شده در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متر خاکهای زیر کشت در سطح یک درصد کاهش معنی‌داری در مقایسه با خاکهای کشت نشده داشته‌اند، به گونه‌ای که سطح پتاسیم تبدالی در عمق ۰-۳۰ سانتی متر خاکهای زیر کشت در مقایسه با خاکهای کشت نشده مجاور، در شرکت‌های توسعه نیشکر، کارون و هفت تپه به ترتیب ۲۱/۶، ۴۳/۹ و ۷۳/۸ درصد کاهش یافته است. متوسط کاهش پتاسیم غیرتبدالی برای عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر شرکت‌های یاد شده نیز به ترتیب ۳۷/۹، ۴۷/۲ و ۶۶/۸ درصد می‌باشد. در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر، سطح پتاسیم تبدالی و غیرتبدالی در کلیه خاکهای زیرکشت مورد بررسی به ترتیب ۵۶ و ۵۴/۴ درصد نسبت به خاکهای کشت نشده کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: تخلیه پتاسیم، کشت متراکم، نیشکر

مقدمه

پتاسیم به چهار شکل کلی محلول، تبدالی، غیرتبدالی و ساختاری در خاکها وجود دارد (۱۴، ۳۳، ۳۴، ۳۵). جذب پتاسیم به شدت با غلظت یونهای پتاسیم محلول همبستگی نشان می‌دهد که این غلظت به روابط تعادلی بین پتاسیم

محلول و تبدالی، و بین پتاسیم تبدالی و غیرتبدالی بستگی دارد (۶). تعادل سریعی بین پتاسیم محلول و تبدالی موجود است که می‌توان آن را به وسیله معادله گاپون شرح داد.

$$\frac{K^+_{ex}}{Ca^{2+}_{ex} + Mg^{2+}_{ex}} = K_G \frac{K^+_{sol}}{\left(\frac{Ca^{2+}_{sol} + Mg^{2+}_{sol}}{2}\right)^{1/2}}$$

تخلیه پتاسیم غیرتبادلی زودتر اتفاق افتاده و کاهش آن نسبت به شکل تبادلی، بیشتر خواهد بود (۳).

نقش فعال گیاهان در این فرآیند حقیقتی انکارناپذیر است. در مطالعات متعددی نشان داده شده است که گیاهان زراعی قادرند سطح پتاسیم محلول را در نزدیکی ریشه‌های فعال به کمتر از سه میکروگرم در لیتر (۰/۰۷۷ میکرومول در لیتر) کاهش دهند که این امر موجب رهاسازی قابل توجه پتاسیم بین لایه‌ای می‌گردد (۲۰). غلظت بحرانی که در کمتر از آن پتاسیم رها می‌شود ۵۰ تا ۴۰۰ میکرومول در لیتر برای سیلیکاتهای تری اکتاهدرال و کمتر از ۲/۵ میکرومول در لیتر برای سیلیکاتهای دی اکتاهدرال گزارش شده است (۲۳). هینسینگر و جیلارد (۱۹۹۳) گزارش نمودند هنگامی که غلظت پتاسیم در محلول خاک به کمتر از ۸۰ میکرومول در لیتر کاهش یابد، رهاسازی پتاسیم بین لایه‌ای در فلوگوپایت اتفاق می‌افتد.

جانستون و میشل (۱۹۷۴) همبستگی خطی را بین میزان پتاسیم تبادلی اولیه خاک و رهاسازی پتاسیم از شکل غیرتبادلی نشان دادند. آنان همچنین رابطه کاملاً خطی بین کاهش در میزان پتاسیم تبادلی و رهاسازی پتاسیم از شکل غیرتبادلی را گزارش نمودند. قدرت تأمین پتاسیم خاک و مشارکت پتاسیم غیرتبادلی در تولید محصول در دو خاک توسط بیسواس و همکاران (۱۹۸۵) بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد با وجود اینکه مقدار پتاسیم تبادلی هر دو خاک حتی پس از مدت طولانی به طور چشمگیری تغییر نکرده بود؛ اما تغییرات قابل ملاحظه‌ای در شکل غیرتبادلی مشاهده شد. صاحب راثو (۲۰۰۰) رفتار پتاسیم در ورته‌سولهای تخلیه شده و تخلیه نشده از پتاسیم در هند را مورد بررسی قرار داد. نتایج به دست آمده نشان داد که میانگین پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی، ساختاری و پتاسیم کل قبل از تخلیه به ترتیب ۱۲/۲، ۲۴۶، ۷۱۸، ۶۳۱۶ و ۷۱۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده که پس از ۱۰ دوره کشت متراکم ذرت و بدون کوددهی پتاسیم، مقادیر یاد شده به طور متوسط به ترتیب به ۲/۱۳، ۴۷/۱، ۳۶۸، ۵۷۱۲ و ۶۱۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم رسیده است. وی متذکر شد که این ارقام بیانگر کاهش میانگین سطوح شکل‌های مختلف پتاسیم به ترتیب به میزان ۸۲/۵، ۸۰/۸، ۴۸/۷، ۹/۶ و ۱۴/۷ درصد

در این معادله، K_G ضریب تبادلی گاپون، ex و sol به ترتیب بیانگر کاتیونهای تبادلی و محلول بر حسب $cmol^+kg^{-1}$ و $molm^{-3}$ هستند.

تخلیه پتاسیم محلول خاک در حد فاصل ریشه - خاک موجب تغییر پتاسیم تبادلی در جهت برقراری معادله تعادلی فوق می‌گردد. در این صورت با رهاسازی پتاسیم به داخل محلول خاک، پتاسیم محلول در برابر تخلیه بافر می‌گردد. بدین شکل، پتاسیم تبادلی تخلیه شده و ناحیه‌ای را در بر می‌گیرد که از سطح ریشه شروع شده و تا شعاعی چند میلیمتری در ریزوسفر ادامه می‌یابد (۱۰). همچنانکه با گذشت زمان، پتاسیم محلول تخلیه می‌شود، جایگزینی پتاسیم محلول کند می‌گردد، زیرا یونهای پتاسیمی که در مکانهای تبادلی هستند دارای انرژی جذب بیشتری می‌باشند، پتاسیم کمتری از مکانهای سطحی آزاد شده و این عنصر به طور فزاینده از مکانهای ویژه جذب در لبه‌های میکا یا قسمت‌های منبسط شده گوه‌ای شکل میکا آزاد می‌شود (۶). با گذشت زمان غلظت پتاسیم در محلول و مقدار پتاسیم تبادلی کاهش می‌یابد. کاهش یافتن پتاسیم تبادلی موجب تشدید حرکت پتاسیم غیرتبادلی به مکانهای تبادلی می‌گردد. این وقایع باعث ایجاد روندی شده که در آن پتاسیم تبادلی در ابتدای فصل و پتاسیم غیرتبادلی در انتهای فصل کاهش می‌یابند (۶). تعادل مزبور بسیار پیچیده بوده و به میزان پتاسیم در هر یک از شکل‌ها بستگی دارد. به عنوان مثال تخلیه سریع پتاسیم از شکل‌های محلول و تبادلی منجر به آزاد شدن این عنصر از شکل‌های غیرتبادلی خواهد شد. برعکس، غلظت بالای پتاسیم تعادلی، چه در محلول و چه به شکل تبادلی، از آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی جلوگیری خواهد کرد (۲).

وقتی تخلیه پتاسیم به سطحی رسید که در آن آزاد شدن پتاسیم از شکل غیرتبادلی اتفاق افتاد، میزان پتاسیم تبادلی، علیرغم جذب بیشتر، تقریباً ثابت باقی می‌ماند. گیاه غلظت پتاسیم محلول را به زیر سطح بحرانی که در آن آزاد شدن پتاسیم شروع می‌شود، کاهش می‌دهد. با برداشت محصول، این کاهش غلظت به سرعت افزایش یافته و به سطح بحرانی می‌رسد و سپس آزاد شدن بیشتر را از شکل غیرتبادلی مانع می‌شود. هر چه کشت متراکم‌تر بوده و میزان پتاسیم تبادلی کمتر باشد،

کاهش کمی و کیفی این محصول ایجاد نموده است، به گونه‌ای که برخی از متخصصان، یکی از عوامل کاهش عملکرد محصول را مربوط به این مطلب می‌دانند. در این راستا، این پژوهش با هدف بررسی میزان تخلیه پتاسیم از خاکهای زیرکشت نیشکر در مقایسه با خاکهای مشابهی که زیرکشت این گیاه نبوده‌اند، انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کشت متراکم نیشکر بر میزان تخلیه پتاسیم، از ۳۰ نقطه مزارع نیشکر شرکتهای هفت تپه (Fluentic* Haplustepts)، کارون (Fluentic Haplustepts) و توسعه نیشکر و صنایع جانبی {واحد‌های امام خمینی (Fluentic Haplustepts) و امیرکبیر (Typic Haplosalids)} نمونه برداری جفتی از دو عمق ۳۰-۶۰ و ۰-۳۰ سانتی‌متر صورت گرفت. این نقاط به طور تصادفی و به گونه‌ای انتخاب شدند که یک خاک کشت شده در مجاورت یک خاک کشت نشده قرار گرفته باشد، با این فرض که خاک زیرکشت در واقع بخشی از خاک کشت‌نشده بوده که هم‌اکنون زیرکشت نیشکر می‌باشد. از سوی دیگر خاک کشت‌نشده بایر بوده (با این فرض که قبلاً هم زیر کشت هیچ گونه گیاهی نبوده است)، حداقل فاصله را نسبت به خاک زیرکشت داشته و در آن کود پتاسیم نیز مصرف نشده باشد. به منظور حصول اطمینان از تشابه جفت‌خاکهای مورد نمونه‌برداری، پس از آماده‌سازیهای اولیه، برخی از ویژگیهای عمومی جفت‌نمونه‌ها اندازه‌گیری و مقایسه شدند.

فراوانی نسبی ذرات خاک بر اساس قانون استوکس و به روش هیدرومتر (۳۰)، پهاش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع (۲۵)، میزان کربنات کلسیم معادل (۲۲)، مواد آلی به روش اصلاح شده والکلی و بلاک (۲۱) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (۱۹۶۶) اندازه‌گیری شدند. افزون بر این کانی‌شناسی خاکها با استفاده از دستگاه XRD مدل D5000 بر روی نمونه‌های رس جهت‌دار (Oriented) تعدادی از نمونه‌ها انجام و مقایسه گردیدند. فرض مشابه بودن جفت‌نمونه‌ها از لحاظ ویژگیهای یادشده با استفاده از نرم‌افزار

می‌باشد. راثو و همکاران (۱۹۹۴) ضمن بررسی تخلیه و بازپس‌سازی پتاسیم^۱ زیر کشت متراکم سودان گراس و تحت شرایط گلخانه‌ای، کاهش پتاسیم تبدالی و غیرتبدالی را به ترتیب به میزان ۵۴/۳ و ۱۷/۸ درصد گزارش کردند. میتال و همکاران (۱۹۹۰) تخلیه پتاسیم را در خاکهای نیمه خشک هند و تحت شرایط کوددهی طولانی مدت مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که میزان پتاسیم تبدالی در طول ۱۲ سال کشت متراکم ارزن-گندم، از ۶۲۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش پیدا کرد. هبسر و ساتیا (۲۰۰۲) توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم در مناطق زیر کشت نیشکر ایالت کارانتاکای شمالی هند را مورد مطالعه قرار دادند. آنان پس از اندازه‌گیری شکل‌های مختلف پتاسیم (محلول، تبدالی، غیرتبدالی، قابل استفاده، ساختاری و کل) در این خاکها، بیان کردند که به طور کلی این خاکها پتاسیم قابل استفاده متوسط تا زیاد و ذخیره پتاسیم کل بالایی داشته و کشت مداوم نیشکر موجب کاهش قابل ملاحظه وضعیت پتاسیم قابل استفاده این خاکها نشده است. نتایج بررسی انجام شده توسط هانسیگی و سری و استاوا (۱۹۸۰) در ارتباط با تخلیه پتاسیم خاک در نتیجه کشت مداوم نیشکر در داخل گلدان نشان داد که تحت این شرایط برگها علائم واقعی کمبود پتاسیم نظیر پیدایش لکه‌های نکروتیک در نوک برگها و پیشروی آنها به طرف پایین و همچنین علائم سوختگیهای حاشیه‌ای به شکل ۸ را از خود نشان دادند.

هرچند که مقدار پتاسیم به طور طبیعی در پوسته زمین بیش از ۲/۶ درصد است (۲۹،۳۱)، تنها بخشی اندک از آن برای گیاهان قابل دسترس است. لذا پس از بهره‌برداریهای کشاورزی در سالیان دراز و برداشت پتاسیم از مزرعه، حتی خاکهایی که به‌طور طبیعی قدرت تأمین‌کنندگی خوبی دارند، تخلیه خواهند شد. کشت مداوم نیشکر در اراضی جنوب ایران و در نتیجه برداشت پتاسیم توسط این گیاه از یک سو و عدم مصرف کودهای پتاسیمی از سوی دیگر، رفته رفته نگرانیهایی را در سال‌های اخیر نسبت به کمبود این عنصر در خاک و در نتیجه

1. Potassium Replishment

* اقتباس از نقشه یک میلیونیم مؤسسه تحقیقات خاک و آب (۱۳۸۲)

آماری ۱۱ Minitab و آزمون ناپارامتری مان-ویتنی مورد آزمون واقع شد (۲۷).

به منظور بررسی تخلیه پتاسیم، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم نرمال و خنثی (۱۳)، پتاسیم قابل استخراج با اسیدنیتریک یک مولار و جوشان، پتاسیم تبادلی (اختلاف پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم نرمال و خنثی و پتاسیم محلول) و پتاسیم غیرتبادلی (اختلاف پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک یک مولار جوشان و پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم نرمال و خنثی) جفت نمونه‌ها اندازه‌گیری و سپس مقایسه گردیدند.

پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک به روش اصلاح شده نودزن و همکاران (۱۹۸۲) و به شرح زیر اندازه‌گیری شد. ده گرم خاک در یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتر ریخته، ۲۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ نرمال و حجم لازم از اسید نیتریک جهت خنثی کردن آهک موجود در ۱۰ گرم خاک به آن اضافه شد. بلافاصله بشر به یک حمام روغن با دمای ۱۱۳ درجه سانتی‌گراد منتقل و اجازه داده شد به مدت ۲۵ دقیقه بجوشد. سپس محتویات درون بشر به درون یک فلاسک حجم‌سنجی ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف (با کاغذ صافی واتمن ۴۰) و پس از شستشوی خاک با ۱۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۰/۱ نرمال و اطمینان از سرد شدن عصاره، به حجم رسانیده شد. نهایتاً غلظت پتاسیم در محلول با فلیم فتومتر اندازه‌گیری گردید.

به منظور تخمین میزان برداشت پتاسیم بوسیله گیاه نیشکر، نمونه‌هایی مرکب از بخش هوایی نیشکر تهیه، در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک گردیدند و سپس آسیاب و پتاسیم موجود در بافتهای گیاهی با استفاده از روش راول (۱۹۹۵) و به شرح زیر اندازه‌گیری شد: ۰/۵ گرم نمونه خشک شده گیاه نیشکر به دقت توزین و داخل بشر ۵۰ میلی‌لیتر ریخته و به آن ۲۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۱ نرمال اضافه شد. نمونه‌ها یک شبانه‌روز به حال خویش رها گردید و سپس هر نمونه با کاغذ واتمن شماره ۴۰ صاف و پس از شستشوی کامل محتویات بشر با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال،

پتاسیم ره‌اشده در داخل فلاسک حجم‌سنجی ۱۰۰ میلی‌لیتری جمع‌آوری گردید. سپس غلظت پتاسیم با فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد. با توجه به تراکم نی‌های قابل برداشت، میزان برداشت پتاسیم بوسیله گیاه نیشکر در هر هکتار محاسبه گردید. به منظور تعیین میزان پتاسیم اضافه‌شده از طریق آب آبیاری، نمونه‌های آب از کانالهای هر مزرعه برداشته و میزان پتاسیم آنها با استفاده از فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد.

محاسبات و تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها به‌وسیله نرم افزارهای Excel و Minitab II انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تعدادی از تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد بررسی در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده‌اند. بافت خاکها عموماً سنگین و غالباً به کلاسه‌های بافتی رس‌سیلتی، لوم‌رسی سیلتی و لوم سیلتی تعلق دارند. خاکها آهکی با pH قلیایی هستند، مواد آلی خاکها کم و خاکهای زیرکشت قابلیت هدایت الکتریکی بسیار کمتری نسبت به خاکهای کشت نشده دارند.

آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که درصد رس، سیلت، شن، پهاش، کربنات کلسیم معادل، مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاکهای زیرکشت و کشت نشده در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند. در حالی‌که قابلیت هدایت الکتریکی جفت‌نمونه‌ها در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر، در سطح یک درصد ($p < 0.01$) تفاوت معنی‌داری دارند که می‌تواند ناشی از شوری طبیعی اراضی منطقه و شستشوی شدید املاح موجود در خاک در مرحله آبشویی خاکهای زیرکشت باشد.

منحنی‌های پرتو ایکس ذرات کمتر از ۲ میکرومتر جفت‌خاکهای مورد مطالعه نشان داد که کانیهای رسی خاک مشابه بوده و فقط از لحاظ نسبی مقدار آنها اندکی متفاوت است. بطور کلی کانیهای عمده‌ای که در این خاکها مشاهده گردید عبارتند از: مونت‌موریلونیت، کلریت، ایلیت، کانیهای رشته‌ای و مقادیری کوارتز، فلداسپار و رسهای مختلط.

جدول ۱- میانگین ویژگیهای عمومی خاکهای مورد مطالعه در عمق ۳۰-۰ سانتی متر

ویژگی خاک	واحد	شرکت توسعه نیشکر		شرکت کارون		شرکت هفت تپه		کل
		زیرکشت	کشت نشده	زیرکشت	کشت نشده	زیرکشت	کشت نشده	
رس	%	۳۰/۹	۳۱/۹	۳۱/۸	۳۱/۲	۳۰/۴	۲۷/۷	۳۰/۱
	%	۴۰/۵	۴۰/۹	۵۰/۹	۴۹/۰	۴۶/۶	۴۹/۳	۴۶/۷
	%	۲۸/۶	۲۷/۲	۱۷/۳	۱۹/۸	۲۲/۹	۲۲/۹	۲۳/۲
pH	-	۷/۴	۷/۷	۷/۶	۸/۰	۷/۶	۷/۹	۷/۹
EC	dSm ⁻¹	۳/۴	۲۴/۸	۱/۱	۱۵/۳	۰/۸۵	۲۸/۰	۱/۷
*CaCO ₃ eq.	%	۳۹/۹	۴۰/۱	۳۹/۴	۳۹/۴	۳۴/۴	۳۲/۷	۳۷/۲
	%	۰/۷۶	۰/۵۹	۱/۴	۰/۴۹	۱/۱	۰/۸۴	۰/۸
CEC	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	۱۲/۱	۱۰/۹	۱۳/۱	۱۱/۶	۱۳/۴	۱۰/۵	۱۱/۰

* کربنات کلسیم معادل

جدول ۲- میانگین ویژگیهای عمومی خاکهای مورد مطالعه در عمق ۶۰-۳۰

ویژگی خاک	واحد	شرکت توسعه نیشکر		شرکت کارون		شرکت هفت تپه		کل
		زیرکشت	کشت نشده	زیرکشت	کشت نشده	زیرکشت	کشت نشده	
رس	%	۳۲/۱	۳۳/۷	۳۰/۶	۲۴/۹	۳۱/۳۸	۳۱/۳	۳۱/۱
	%	۳۹/۶	۴۰/۶	۵۰/۶	۵۲/۳	۴۴/۸	۴۵/۷	۴۴/۹
	%	۲۸/۳	۲۵/۷	۱۸/۷	۲۲/۹	۲۳/۸	۲۳/۰	۲۴/۰
pH	-	۷/۴	۷/۶	۷/۵	۷/۹	۷/۶	۷/۸	۷/۸
EC	dSm ⁻¹	۲/۸	۱۸/۱	۱/۵	۱۰/۶	۰/۹۹	۱۴/۰	۱/۷
*CaCO ₃ eq.	%	۳۹/۸	۳۹/۵	۳۸/۴	۴۰/۱	۳۴/۳	۳۴/۸	۳۷/۴
	%	۰/۵۴	۰/۴۴	۰/۴۹	۰/۲۳	۰/۶۸	۰/۴۶	۰/۴۲
CEC	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	۱۲/۱	۱۱/۵	۱۱/۵	۸/۶	۱۳/۰	۱۰/۶	۱۰/۶

* کربنات کلسیم معادل

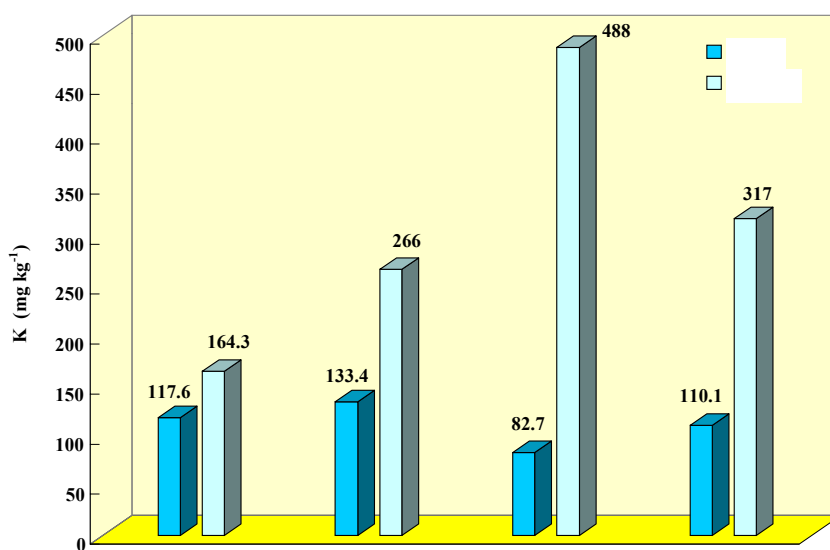
نتایج نشان داد که سطح پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در عمق ۳۰-۰ خاکهای زیرکشت، در مقایسه با خاکهای کشت نشده، در شرکت‌های توسعه نیشکر، کارون و هفت تپه به طور متوسط به ترتیب ۲۸/۴۲، ۴۹/۸۵، ۸۳/۰۵ درصد کاهش یافته است. دلیل عمده این تفاوت را می‌توان به سابقه کشت ۴۰ ساله شرکت هفت تپه مرتبط دانست علاوه بر این مدیریت متفاوت شرکت‌های مذکور را نیز نباید نادیده گرفت. همچنین سطح پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در کلیه خاکهای زیرکشت مورد بررسی در عمق ۳۰-۰ سانتی متر به طور متوسط ۶۵/۲۷ درصد در مقایسه با خاکهای کشت نشده کاهش نشان می‌دهد. کاهش مقدار پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر خاکهای زیرکشت شرکت‌های مذکور در مقایسه با خاکهای کشت نشده به طور متوسط به ترتیب،

با توجه به نتایج فوق می‌توان فرض مشابه بودن خاکهای زیرکشت و کشت نشده مجاور از لحاظ ویژگیهای یادشده را قابل قبول دانست.

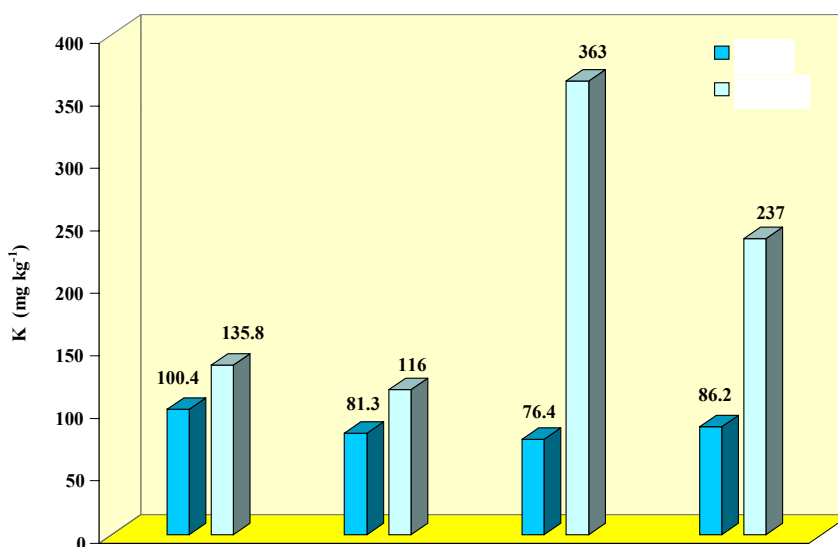
مقایسه میانگین پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم خاکهای زیرکشت و کشت نشده در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در هر دو عمق خاکهای زیرکشت و کشت نشده در شرکت توسعه نیشکر در سطح پنج درصد، در شرکت کارون در سطح ۱۰ درصد و در شرکت هفت تپه در سطح یک درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. در کل نیز، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم خاکهای زیرکشت، در سطح یک درصد، کاهش معنی‌داری را نسبت به خاکهای کشت نشده نشان می‌دهد.

شالیزاری مازندران و گیلان به ترتیب ۴۲/۸ و ۲۱/۷ درصد گزارش کرد. در حالی که هبسر و ساتیا (۲۰۰۲) با مطالعه پتاسیم در مناطق زیر کشت نیشکر هند دریافتند که کشت مداوم نیشکر موجب کاهش قابل توجه وضعیت پتاسیم قابل استفاده این خاکها نشده است. دلیل این امر را می توان با کانی شناسی متفاوت خاکهای این مناطق مرتبط دانست.

۲۶/۰۷ ، ۲۹/۹۱ ، ۷۸/۹ درصد بوده است. در کل خاکها نیز کاهش ۶۳/۶۳ درصد مقدار پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر خاکهای زیرکشت نسبت به خاکهای کشت نشده مشاهده گردید. اوستان (۱۳۷۳) نیز با بررسی تخلیه پتاسیم از خاکهای شالیزاری شمال کشور، کاهش سطح پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم را در خاکهای



شکل ۱- نمودار مقایسه میانگین پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم خاکهای زیرکشت و کشت نشده در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر

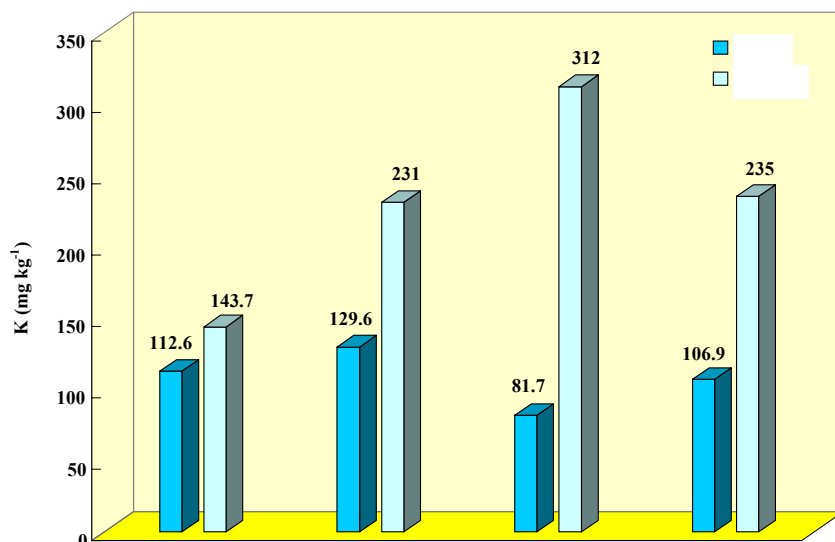


شکل ۲- نمودار مقایسه میانگین پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم خاکهای زیرکشت و کشت نشده در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر

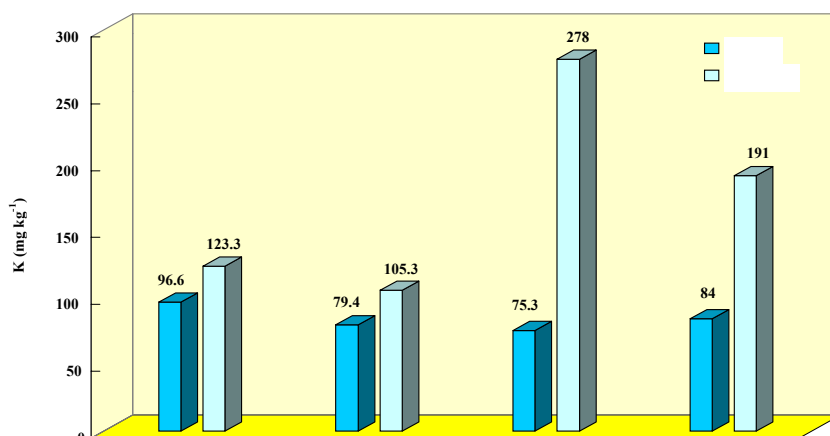
است. متوسط پتاسیم تبدالی تخلیه شده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر خاکهای زیرکشت هفت تپه به ترتیب mg kg^{-1} ۱۲۸/۹ و ۱۹۹/۲ بیشتر از خاکها زیرکشت دو شرکت ذکر شده کاهش نشان می‌دهد. در کل خاکها نیز، پتاسیم تبدالی در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر خاکهای زیرکشت به طور متوسط mg kg^{-1} ۱۰۷ کاهش یافته است. صاحب راثو (۲۰۰۰) با مطالعه خاکهای زیرکشت متراکم ذرت در هند کاهش ۸۰/۸ درصدی پتاسیم تبدالی را مشاهده نمود. همچنین راثو (۱۹۹۴) با مطالعه تخلیه پتاسیم در خاکهای زیرکشت متراکم سورگوم زراعی، کاهش پتاسیم تبدالی به میزان ۵۴/۳ درصد را گزارش کرد. در حالی که بیسواس و همکاران (۱۹۸۵) عدم تغییر سطح پتاسیم تبدالی پس از مدتهای طولانی کشت را مشاهده کردند. این امر می‌تواند ناشی از کانی‌شناسی متفاوت خاکهای ذکر شده و نیز نوع گونه گیاهی باشد. میتال و همکاران (۱۹۹۰) تخلیه پتاسیم را در خاکهای نیمه‌خشک هند بررسی و نتیجه گرفتند که میزان پتاسیم تبدالی در طی ۱۲ سال کشت متراکم ارزن - گندم از ۶۲۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش پیدا کرد.

آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که پتاسیم تبدالی در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر در شرکت توسعه نیشکر در سطح پنج درصد، کارون ۱۰ درصد و هفت تپه یک درصد، اختلاف معنی‌داری با هم دارند. در کل نیز، پتاسیم تبدالی خاکهای زیرکشت نیشکر در منطقه، در سطح یک درصد کاهش معنی‌داری را نسبت به خاکهای کشت نشده نشان می‌دهد (شکل‌های ۳ و ۴).

نتایج بیانگر کاهش سطح پتاسیم تبدالی خاکهای زیرکشت در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر نسبت به خاکهای کشت نشده مشابه می‌باشد. به گونه‌ای که سطح پتاسیم تبدالی در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر خاکهای زیرکشت در مقایسه با خاکهای کشت نشده مجاور، در شرکت‌های توسعه نیشکر، کارون و هفت تپه به طور متوسط به ترتیب ۲۱/۶۴، ۴۳/۸۹ و ۷۳/۸۱ درصد کاهش را نشان می‌دهد. در کل خاکها نیز در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر، سطح پتاسیم تبدالی به طور متوسط ۵۴/۵۱ درصد نسبت به خاکهای کشت نشده کاهش یافته است. مقادیر فوق برای عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر شرکت‌های ذکر شده به ترتیب، ۲۱/۶۵، ۲۴/۶ و ۷۲/۹ و در کل خاکها ۵۶/۰۲ درصد



شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین پتاسیم تبدالی خاکهای زیرکشت و کشت نشده در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر

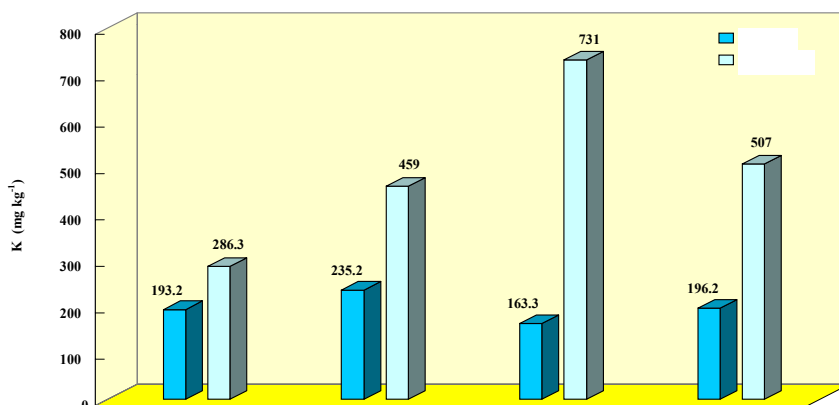


شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین پتاسیم تبادل‌ی خاکهای زیرکشت و کشت نشده در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

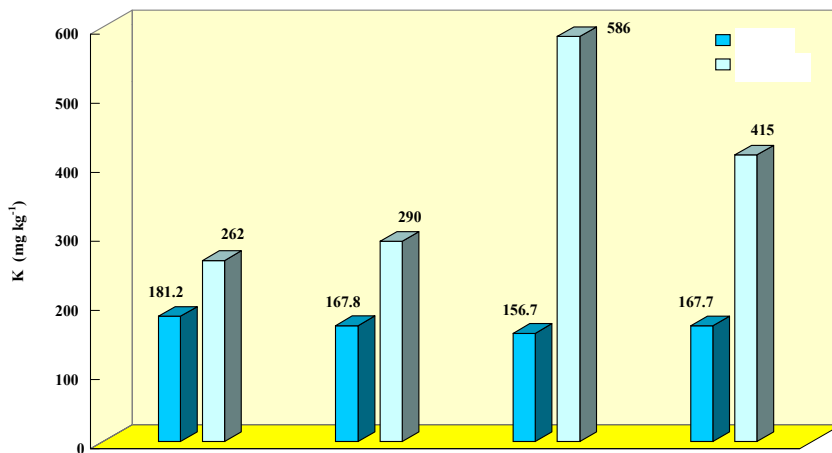
-

سال بوده که دلیل عمده کاهش قابل‌ملاحظه پتاسیم در خاکهای شرکت هفت تپه نسبت به دو شرکت دیگر می‌باشد. کاهش مقدار پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر در خاکهای زیرکشت شرکت‌های یاد شده در مقایسه با خاکهای کشت نشده به طور متوسط به ترتیب ۳۰/۸۴ ، ۴۲/۱۴ و ۷۳/۲۶ درصد بوده است. همچنین در کلیه خاکهای مورد مطالعه نیز در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر، به طور متوسط به ترتیب ۶۱/۳ و ۵۹/۵۹ درصد کاهش سطح پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک در خاکهای زیرکشت نسبت به خاکهای کشت نشده مجاور مشاهده گردید. اوستان (۱۳۷۳) نیز کاهش پتاسیم قابل‌استخراج با اسید نیتریک را در خاکهای شالیزاری مازندران در مقایسه با خاکهای غیرشالیزاری ۳۶ درصد و در خاکهای شالیزاری گیلان ۲۶/۷ درصد گزارش کرد.

آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک در هر دو عمق مورد مطالعه در خاکهای زیرکشت شرکت‌های توسعه نیشکر، هفت تپه و نیز در کل خاکها، در سطح یک درصد کاهش معنی‌داری نسبت به خاکهای کشت نشده داشته است. لیکن در شرکت کارون، این کاهش در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در سطح یک درصد و در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (شکل‌های ۵ و ۶). نتایج نشان می‌دهد که سطح پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاکهای زیرکشت در مقایسه با خاکهای کشت نشده به طور متوسط ۴۸/۷۶ ، ۳۲/۵۲ و ۷۷/۶۶ درصد کاهش یافته است که به ترتیب مربوط به شرکت‌های توسعه نیشکر، کارون و هفت تپه هستند. سابقه کشت متراکم نیشکر در این شرکت‌ها به ترتیب ۲۰، ۸ و ۴۰



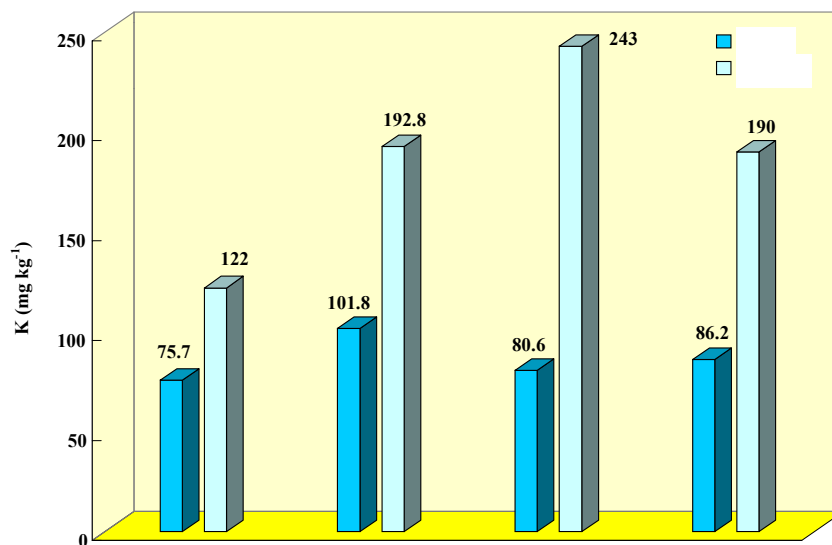
شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین پتاسیم قابل‌استخراج با اسید نیتریک خاکهای زیرکشت و کشت نشده در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر



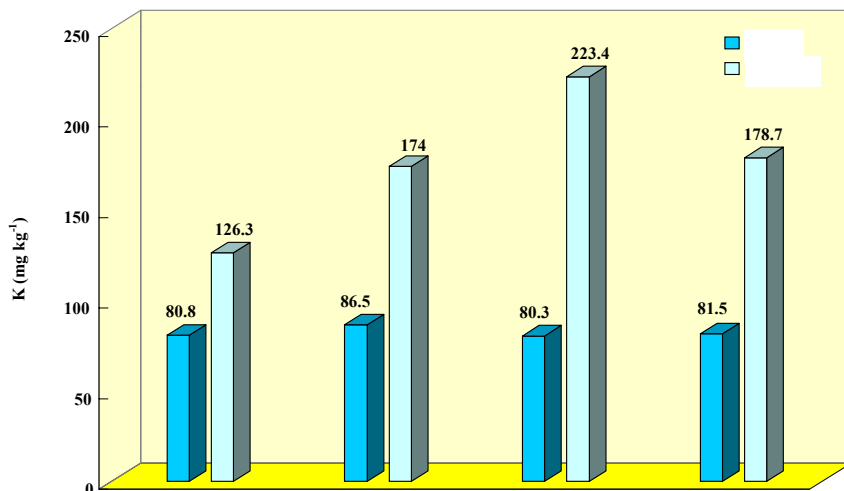
شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک خاکهای زیرکشت و کشت نشده در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر

۳۰ سانتی متر در خاکهای زیرکشت شرکت های توسعه نیشکر و هفت تپه در سطح یک درصد کاهش معنی داری نسبت به خاکهای کشت نشده داشته است. لیکن در شرکت کارون این کاهش در عمق ۰-۳۰ سانتی متر در سطح یک درصد و در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر در سطح پنج درصد معنی دار بود. در کل، آزمون مقایسه میانگین ها نشان داد که پتاسیم غیرتبادلی در هر دو عمق مورد مطالعه خاکهای زیرکشت در سطح یک درصد کاهش معنی داری در مقایسه با خاکهای کشت نشده داشته است (شکل های ۷ و ۸).

پتاسیم غیرتبادلی به ویژه هنگامی که سطح پتاسیم تبادلی خاکها کم باشد، می تواند به عنوان مهمترین عامل در ارزیابی روند تخلیه پتاسیم مد نظر قرار گیرد. پتاسیم غیرتبادلی، اختلاف پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک و استات آمونیوم بوده و لذا با کنترل شوری که بر مقدار پتاسیم محلول اثر گذار است، می توان با اطمینان بیشتری در مورد تخلیه پتاسیم از خاکهای زیرکشت بحث نمود. آزمون مقایسه میانگین ها نشان داد که پتاسیم غیرتبادلی در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰



شکل ۷- نمودار مقایسه میانگین پتاسیم غیرتبادلی خاکهای زیرکشت و کشت نشده در عمق ۰-۳۰ سانتی متر



شکل ۸- نمودار مقایسه میانگین پتاسیم غیرتبادلی خاکهای زیرکشت و کشت نشده در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

هنگامیکه سطوح این دو (تبادلی و محلول) کاهش پیدا کرده باشد، آزاد می‌شود. میتال و همکاران (۱۹۹۰) بیان کردند که پتاسیم غیرتبادلی سهم بزرگی (بیش از ۹۰ درصد در کرت‌های کود نخورده و بیش از ۷۰ درصد در کرت‌های کود خورده) در پتاسیم جذب شده به وسیله گیاهان دارد.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که میانگین برداشت پتاسیم بوسیله نیشکر از خاکهای منطقه، ۲۷۴/۳۱ کیلوگرم در هکتار است. از آنجا که نیشکر گیاهی پتاسیم دوست بوده و مقادیر زیادی پتاسیم از خاک جذب می‌کند، بنابراین برداشت چنین مقدار قابل توجهی پتاسیم به وسیله گیاه، می‌تواند نقش مهمی در سرعت بخشیدن به روند تخلیه پتاسیم در خاکهای منطقه ایفا کند. از سوی دیگر، متوسط پتاسیم افزوده شده به خاک از طریق آب آبیاری ۸۳/۸۶ کیلوگرم پتاسیم در هکتار (معادل ۱۸۷/۰۷ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم) است که می‌تواند پویایی شکل‌های مختلف پتاسیم را تحت تأثیر قرار دهد. به نظر می‌رسد پتاسیم آب آبیاری توانسته است به عنوان منبعی مهم در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه در طی دوره رشد عمل کند.

نتایج نشان داد که در خاکهای زیرکشت شرکت‌های توسعه نیشکر و کارون، درصد کاهش پتاسیم غیرتبادلی بیشتر از درصد کاهش پتاسیم تبادلی است، در حالی که درصد کاهش پتاسیم

نتایج نشان دهنده کاهش سطح پتاسیم غیرتبادلی خاکهای زیرکشت در هر دو عمق ۳۰-۶۰ و ۰-۳۰ سانتی‌متر در مقایسه با خاکهای کشت نشده مجاور می‌باشد به گونه‌ای که سطح پتاسیم غیرتبادلی در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر خاکهای زیرکشت در مقایسه با خاکهای کشت نشده، در شرکت‌های توسعه نیشکر، کارون و هفت تپه به ترتیب به طور متوسط ۳۷/۹۵، ۴۷/۲ و ۶۶/۸۳ درصد کاهش یافته است.

این مقادیر برای عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر شرکت‌های یاد شده به ترتیب ۳۶/۰۲، ۵۰/۲۹ و ۶۴/۰۵ درصد هستند. در کل نیز، سطح پتاسیم غیرتبادلی در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر به ترتیب ۵۴/۶۳ و ۵۴/۴ درصد کاهش نشان می‌دهد. رائو و همکاران (۱۹۹۴) نیز کاهش ۱۷/۸ درصدی پتاسیم غیرتبادلی را بر اثر کشت متراکم سودان گراس گزارش نمودند. همچنین صاحب رائو (۲۰۰۰) کاهش پتاسیم غیرتبادلی به میزان ۴۸/۷ درصد را در ورته‌سولهای تخلیه‌شده از پتاسیم هند در اثر کشت مداوم ذرت گزارش نمود. آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار پتاسیم تبادلی و محلول از طریق جذب گیاهی، آبشویی و یا افزایش زیاد فعالیتهای میکروبی، کاهش یابد (۱۶، ۱۷، ۱۸، ۳۲). دل و لوکاس (۱۹۷۳) اظهار داشته‌اند که پتاسیم غیرتبادلی موجود در کلریت، ورته‌سولایت و میکا به پتاسیم تبادلی و محلول،

هفت تپه با توجه به میانگین نسبتاً بالای پتاسیم تبدالی اولیه خاکها (312 mg kg^{-1} برای عمق ۰-۳۰ و 278 mg kg^{-1} برای عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر) به نظر می‌رسد که روند تخلیه پتاسیم از شکل تبدالی همچنان ادامه خواهد داشت. به همین دلیل، درصد تخلیه پتاسیم غیرتبدالی در خاکهای زیرکشت شرکت هفت تپه کمتر از درصد تخلیه پتاسیم تبدالی در این خاکهاست.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران که هزینه اجرای این طرح را فراهم نمودند سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از مسئولین محترم شرکت‌های توسعه نیشکر و صنایع جانبی، کارون و هفت‌تپه که در اجرای این طرح همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد. از دیگر عزیزانی نیز که در اجرای این تحقیق همکاری نموده‌اند تشکر می‌نماید.

غیرتبدالی در خاکهای زیرکشت شرکت هفت تپه کمتر از درصد کاهش پتاسیم تبدالی این خاکهاست. تحقیقات نشان می‌دهد، گیاه معمولاً قادر نیست پتاسیم تبدالی خاک را به زیر سطحی که ناشی از ویژگیهای آن خاک است برساند زیرا با کاهش سطح پتاسیم تبدالی مقدار باقی مانده با شدت بیشتری نگهداری می‌شود و نیز وقتی این سطح حداقل فرارسید، سازوکار آزادکننده پتاسیم غیرتبدالی، به دلیل غلظت پایین پتاسیم تبدالی، سرعت بیشتری می‌یابد (۱۵). از آنجاکه میانگین پتاسیم تبدالی در هر دو عمق خاکهای کشت نشده شرکت توسعه نیشکر (به ترتیب $143/7 \text{ mg kg}^{-1}$ و $123/3$) و کارون (به ترتیب 231 mg kg^{-1} و $105/3$) نسبتاً پایین می‌باشد، از این رو، به نظر می‌رسد که خاکهای زیرکشت شرکت‌های یاد شده به سطح حداقل پتاسیم تبدالی رسیده‌اند، بنابراین، کاهش سطح پتاسیم تبدالی متوقف شده و پتاسیم غیرتبدالی کنترل کننده جذب پتاسیم توسط نیشکر خواهد بود. لیکن در شرکت

REFERENCES

منابع مورد استفاده

۱. اوستان، ش. ۱۳۷۳. بررسی تخلیه پتاسیم از خاکهای شالیزاری شمال کشور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
2. Bertsch, P. M. & G. W. Thomas. 1985. Potassium status of temperate region soils. P.131-162. In R. D. Munson (ed.) Potassium in agriculture. ASA. CSSA. SSSA. Madison. WI.
3. Black, C. A. 1968. Soil-Plant relationships. 2nd ed, John Wiley and Sons, New York. P. 792.
4. Bower, C. A. & J. T. Hatcher. 1966. Simultaneous determination of surface area and cation exchange capacity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 525-527.
5. Doll, E. C. & R. E. Lucas. 1973. Testing soil for Potassium, Calcium and Magnesium. P.58-76. In M. L. Walsh and J. D. Beaton (Eds.) Soil testing and plant analysis. SSSA. Madison, WI.
6. Foth, H. D. & B. G. Ellis. 1997. Soil fertility. CRC Press. Boca Raton, Florida, 2nd ed. 290P.
7. Ganeshamurthy, A. N., & C. R. Biswas. 1985. Contribution of potassium from nonexchangeable sources in soil to crops. J. Indian. Soc. Soil. Sci. 33: 60-66.
8. Hebsur, N. S., & T. Satyanaryana. 2002. Potassium status and clay mineralogical composition of some sugarcane soils of North Karantaka. 17th World Congr. Soil Science. Bangkok. Thailand.
9. Hinsinger, P. & B. Jaillard. 1993. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. J. Soil Sci. 44: 525-534.
10. <http://www.soils.wisc.edu/~barak/soilscience326/potassium.htm>
11. Hunsigi, G. & S. C. Srivastava. 1980. Quantity-Potential (Q/P) and quantity-intensity (Q/I) isotherms of soil potassium in some sugar growing soil. Deccan Sugar Technol. ASSOC. 30th Conv. Poona. PP. 63-72.
12. Johnston, A. E. & J. D. D. Mitchell. 1974. The behavior of K remaining in soils from the Agdell experiment at Rothamsted. Rothamsted Experimental Station Report. Part 2, 74-97.
13. Knudsen, D., G. A. Peterson, & P. F. Pratt. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. P.225-246. In A. L. Page et al. (eds.) Methods of soil analysis. Part 2. (2nd edition). SSSA.

14. Korb, N. C. Jones, & J. Jacobsen. 2002. Potassium cycling, testing, and fertilizer recommendations. Nutrient Management. Module No.5.
15. MacLean, E. O. & M. E. Watson. 1985. Soil measurement of plant available potassium. P. 277-308. In R. D. Munson (ed.) Potassium in agriculture. ASA. CSSA. SSSA. Madison. WI.
16. Malavolta, E. 1994. Nutrient and fertilizer management in sugarcane. Int. Potash. Inst Res. Topic 14. Basel. Switzerland.
17. Martin, H. W. & D. L. Sparks. 1983. Kinetics of nonexchangeable potassium release from two Coastal plains. Soil. Soil Sci. Soc. Am. J.47: 883-887.
18. Mehta, S. C., P. K. Meel, K. S. Grewal, & M. Singh. 1995. Release of nonexchangeable potassium in Entisols. J. Indian Soc. Soil Sci. 43: 351-356.
19. Mittal, S. B., R. Singh, S. C. Mehta, & M. Singh. 1990. Potassium depletion under long-term fertilization in a semi-arid soil in India. J. Agricultural Sci. 115: 173-178.
20. Mustscher, H. 1995. Measurement and assessment of soil potassium. Int. Potash. Inst. Res. Topic. 4.
21. Nelson, D. W. & L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. P.539-579. In A. L. Page et al. (eds.) Methods of soil analysis. Agronomy Mon. no. 9. Part 2. (2nd edition).
22. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. P. 181-197. In: A. L. Page (ed.) Methods of soil analysis. Part2. ASA. SSSA. Madison, WI. USA.
23. Rahmatullah & K. Mengel. 2000. Potassium release from mineral structures by H⁺ ion-resin. Geoderma. 96: 291-305.
24. Rao, C. S., M. S. Khera & A. S. Rao. 1994. Soil potassium depletion and K replenishment capacity under intensive cropping. J. of Potassium Research. 10: 3, 229-235.
25. Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. P.167-179. In A. L. Page et al. (eds.) Methods of soil analysis. Agronomy Mon. no. 9. Part 2. (2nd edition).
26. Rowell, D. L. 1995. Soil Science: methods and applications. Longman Scientific and Technical. Harlow, UK. P. 350.
27. Ryan, B. F. & B. L. Joiner. 1994. Minitab Handbook. Duxbury Press. 483 PP. California, USA.
28. Sahebrao, P. P. 2000. Behavior of potassium in potassium depleted and nondepleted vertisols of Maharashtra. Potash and Phosphate Institute (PPI). 655 Engineering Drive, Suite 110, Norcross, Georgia, USA.
29. Schraeder, D. 1978. Structure and weathering of soil potassium containing minerals. Proc. Congr. Int. Potash. Inst. 11: 43-63.
30. Sheldrick, B. H. & C. Wang. 1993. Particle size distribution. P. 499-511. In M. R. Carter. (ed.) Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. Ottawa, Ontario, Canada.
31. Sheldrick, W. F. 1985. World potassium reserves. P: 3-29. In R. D. Munson (ed.) Potassium in agriculture. ASA. CSSA. SSSA. Madison WI.
32. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. Adv. Soil Sci. 6: 1-63.
33. Sparks, D. L. 2000. Bioavailability of soil potassium. P. D38-D53. In M. E. Sumner (ed.) Handbook of Soil Science. CRC Press. Boca Raron. FL.
34. Syers, J. K. 1998. Soil and plant potassium in agriculture. Paper Presented to the Fertiliser Society at a Meeting in London on 30 April 1998. (Proceeding No. 411), The Fertiliser Society, York, 32PP.
35. Tisdale, S. L, W. L. Nelson, J. D. Beaton & J. L. Halvin. 1993. Soil fertility and fertilizers. Macmillan. Pub.