نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۶۳۶-۶۱۹

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 619-636

اثر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر جذب برخی عناصر پرمصرف و سدیم در گیاه آفتابگردان در یک خاک شن لومی

نصرت اله نجفی[1*]- سنیه مردمی[2]- شاهین اوستان[3]

تاریخ دریافت:۸۹/۹/۲۳
تاریخ پذیرش:۹۰/۱۱/۱۰

چکیده

در یک آزمایش گلخانه‌ای، تأثیر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر جذب و غلظت P، K، Ca، Mg و Na در ریشه و بخش هوایی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) بررسی گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار شامل مدت غرقاب در پنج سطح (صفر، ۲، ۴، ۸، ۲۲ روز)، منبع کود آلی در دو سطح (کود دامی و لجن فاضلاب) و هر کود آلی در سه سطح (صفر، ۱۵، ۳۰ گرم بر کیلوگرم خاک) انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، جذب و غلظت P و K در ریشه و بخش هوایی، غلظت Ca و Na در ریشه، غلظت Mg بخش هوایی، جذب Ca و Mg در ریشه و جذب و غلظت Na در بخش هوایی آفتابگردان افزایش یافت ولی جذب و غلظت P در ریشه و جذب K در ریشه و بخش هوایی مجدداً کاهش یافت. با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، جذب و غلظت Ca در بخش هوایی کاهش یافت ولی غلظت Ca در بخش هوایی دوباره افزایش یافت. اثر غرقاب شدن خاک بر جذب Mg در بخش هوایی معنی‌دار نبود. با کاربرد کود دامی و لجن فاضلاب و افزایش سطح مصرفی آنها جذب و غلظت P در ریشه و بخش هوایی، جذب Ca در ریشه و بخش هوایی و جذب و غلظت Na در بخش هوایی افزایش یافت. جذب و غلظت K در بخش هوایی با کاربرد کود دامی و افزایش سطح مصرفی آن افزایش یافت ولی با مصرف لجن فاضلاب کاهش یافت. تأثیر غرقاب شدن خاک بر جذب و غلظت عناصر پرمصرف و سدیم در ریشه و بخش هوایی به منبع و مقدار کود آلی مصرفی بستگی داشت و برعکس. نتایج نشان داد که حتی دوره‌های کوتاه غرقاب شدن خاک (۲ روز) بر غلظت‌های عناصر در گیاه اثرات طولانی مدت داشت. به‌طور کلی، گیاه آفتابگردان P، Mg و Naرا در ریشه و Ca را در بخش هوایی انباشته کرد در حالی‌که غلظت K در ریشه تفاوت معنی‌داری با بخش هوایی نداشت.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، غرقاب، کود دامی، لجن فاضلاب، عناصر پرمصرف، سدیم

مقدمه

فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم از عناصر پرمصرف ضروری برای تغذیه گیاه، انسان و دام می‌باشند. سدیم از عناصر مفید در تغذیه گیاهان و از عناصر پرمصرف ضروری برای تغذیه انسان و دام می‌باشد (۱، ۲۸ و ۴۲). سدیم و پتاسیم در حفظ تعادل اسید و باز، نفوذپذیری غشای سلول‌ها، تنظیم اسمزی و توزیع آب در بدن انسان و دام نقش دارند. کلسیم و فسفر در ساخت دندان‌ها، استخوان‌ها و برای انجام تمام واکنش‌های بیوشیمیایی در بدن انسان و دام ضروری هستند. منیزیم علاوه بر شرکت در ساختمان بدن انسان و دام، وظایف کاتالیزوری و الکتروشیمیایی نیز به‌عهده دارد (۱ و ۴۲). لذا، وجود غلظت‌های مناسبی از فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در گیاهان نه‌تنها برای رشد مطلوب آن‌ها بلکه در زنجیره غذایی برای سلامتی انسان و دام اهمیت دارد. غلظت‌های این عناصر در گیاهان بسته به گونه و رقم گیاه، مرحله رشد گیاه، نوع خاک، اقلیم، شرایط رطوبتی خاک و کاربرد یا عدم کاربرد کودهای آلی و شیمیایی متفاوت است (۱ و ۲۸).

آفتابگردان یکی از چهار گیاه روغنی مهم یک‌ساله‌ای است که برای تهیه روغن خوراکی و تغذیه انسان و دام کشت می‌شود. در اکثر مناطق ایران امکان تولید آفتابگردان به صورت اقتصادی وجود دارد. خاک مزارع آفتابگردان باید زهکشی خوبی داشته باشند؛ زیرا رطوبت

۱،۲و۳- به ترتیب استادیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: (Email: n-najafi@tabrizu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

اضافی در خاک برای آفتابگردان در هر مرحله از رشد مضر است و میزان خسارت مستقیماً به طول دوره غرقاب شدن خاک بستگی دارد (۲ و ۶). با این حال، خاک‌های مزارع آفتابگردان در کشور بر اثر آبیاری نادرست، بارندگی زیاد، وقوع سیل و طغیان رودخانه‌ها در معرض غرقاب قرار می‌گیرند. این تغییرات در شرایط رطوبتی خاک، می‌تواند قابلیت جذب عناصر غذایی و در نتیجه غلظت آن‌ها در گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که پس از غرقاب، pH، EC، Eh، غلظت عناصر مختلف در محلول خاک و قابلیت جذب آن‌ها به‌طور معنی‌داری تغییر می‌کند (۵، ۷، ۳۲ و۴۱).

گزارش‌ها در مورد اثر مدت غرقاب شدن خاک بر غلظت عناصر مختلف در بخش هوایی و ریشه‌های گیاهان متفاوت است که ناشی از گونه و رقم گیاه مورد مطالعه، مرحله رشد گیاه، مدت غرقاب، ویژگی‌های خاک و زمان اندازه‌گیری غلظت عناصر در گیاه می‌باشد. در برخی بررسی‌ها غلظت‌های عناصر در گیاه بلافاصله پس از اعمال دوره غرقاب تعیین شده است (۱۷ و ۵۰) و در برخی دیگر، پس از اعمال دوره غرقاب، به گیاه فرصت داده شده است تا پس از زهکشی و در شرایط عادی به رشد خود ادامه دهد تا مشخص شود که گیاه می‌تواند مجدداً خود را بازیابی کند یا نه؟ در این بررسی‌ها غلظت‌های عناصر پس از گذشت مدتی مثلاً یک ماه تعیین شده است (۲۷). دریو و سیسورو (۱۷) گیاه جو را در معرض زمان‌های مختلف غرقاب شدن خاک قرار دادند و بلافاصله غلظت و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در بخش هوایی تعیین کردند. آنان کاهش غلظت و جذب این عناصر پس از غرقاب را مشاهده کردند. تروت و دریو (۵۰) گزارش دادند که غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در بخش هوایی گندم پس از غرقاب شدن خاک کاهش یافت. آنان غلظت‌های عناصر را بلافاصله پس از پایان دوره غرقاب تعیین کردند و این کاهش را به کاهش جذب و انتقال این عناصر به‌وسیله ریشه بر اثر کمبود اکسیژن در خاک نسبت دادند.

از طرف دیگر، وجود مقدار کافی مواد آلی در خاک، برای افزایش غلظت عناصر غذایی، رشد مطلوب گیاه آفتابگردان و دستیابی به عملکرد بهینه آن لازم است. با این حال، میزان مواد آلی در اغلب خاک‌های زیرکشت ایران کمتر از یک درصد می‌باشد و منابع تأمین مواد آلی نیز بسیار محدود است و عمدتاً شامل کودهای دامی، بقایای گیاهی و انواع کمپوست می‌باشد که جوابگوی نیاز روزافزون بخش کشاورزی به کودهای آلی نیست (۴). در سال‌های اخیر کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی، از یک طرف به‌عنوان یک کود آلی ارزان‌قیمت و سرشار از عناصر غذایی مختلف مثل نیتروژن و فسفر (۱۸ و ۲۱) و از طرف دیگر به‌عنوان یک روش ایمن برای دفن پسماند حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری مورد توجه قرار گرفته است (۱۰). ارزش لجن فاضلاب به‌عنوان منبع تأمین عناصر غذایی برای گیاهان در پژوهش‌های متعددی نشان داده شده است (۴۶).

مهمترین مزیت کاربرد لجن فاضلاب در کشاورزی افزایش عناصر غذایی قابل‌جذب گیاه در خاک می‌باشد. لجن فاضلاب باعث افزایش کربن آلی، نیتروژن و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک، افزایش CEC و کاهش pH خاک می‌شود (۱۳ و ۴۵).

با توجه به مطالب در پیش گفته شده، به‌نظر می‌رسد میان مواد آلی و غرقاب شدن خاک از نظر تأثیر بر جذب و غلظت‌های عناصر پرمصرف و سدیم در گیاه آفتابگردان اثر متقابل معنی‌دار وجود داشته باشد. لذا، در این تحقیق اثر مدت غرقاب شدن خاک، کود دامی و لجن فاضلاب و اثر متقابل آنها بر جذب و غلظت فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در ریشه و بخش هوایی آفتابگردان مورد بررسی قرار گرفت. بررسی منابع نشان داد که در این زمینه مطالعات کمی در دنیا انجام شده است و در داخل کشور هم کار منتشر شده‌ای مشاهده نگردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز و گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی در تابستان و پاییز ۱۳۸۷ انجام گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار، شامل مدت غرقاب در پنج سطح (صفر، ۲، ۴، ۸، ۲۲ روز) و منبع و مقدار کود آلی در پنج سطح (شاهد، ۱۵ گرم کود دامی، ۳۰ گرم کود دامی، ۱۵ گرم لجن فاضلاب و ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر هر کیلوگرم خاک) انجام شد. خاک مورد نظر از ایستگاه تحقیقات خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انتخاب گردید و از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. کودهای آلی مورد استفاده شامل لجن فاضلاب از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر میانه و کود دامی از ایستگاه تحقیقات کشاورزی خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه گردید. خاک و کودهای آلی پس از هواخشک شدن کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. سپس، هم در کودهای آلی و هم در خاک، فسفر قابل‌جذب با عصاره‌گیر اولسن (۳۶)، پتاسیم و سدیم قابل‌جذب با عصاره‌گیر استات آمونیوم (۲۵)، روی، آهن، منگنز، مس، کادمیم و سرب قابل‌جذب با عصاره‌گیر DTPA (۲۶) استخراج شدند. pH خاک در سوسپانسیون ۱:۱ آب به خاک (۲۹) و EC آن در محلول ۱:۱ آب به خاک (۲۰)، بافت خاک به‌روش هیدرومتر (۱۱)، کربن آلی خاک به‌روش اکسایش تر (۳۴)، کربنات کلسیم معادل خاک به‌روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود (۴۳)، pH و EC کودهای آلی در نسبت ۱:۲ آب به کود آلی اندازه‌گیری شد (۴۰). برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای در جدول ۱ و برخی ویژگی‌های شیمیایی کود دامی و لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

گروه بافت	آهک	N	ماده آلی	pH	EC	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb
		(٪)		(۱:۱)	(dS/m)	(mg/kg)										
شن‌لومی	ناچیز	۰/۰۸	۰/۱	۷/۶	۰/۱	۸۲	۲۵۰	۱۱۴۹	۹۹/۱	۱۷/۱	۱/۸	۱/۱	۱/۳	۰/۳	۰/۴	۳/۴

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی کود دامی و لجن فاضلاب مورد استفاده

	pH (1:2)	$EC_{(1:2)}$ (dS/m)	OC	N	Ca	Na	K	P	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb
				(٪)			(mg/kg)							
کود دامی	۸/۷	۲۱/۲	۱۵	۰/۹	۱/۳	۵۸۱۲	۳۸۱۲	۱۸۸	۶	۴	۲	۱۰	۰/۴	۳
لجن‌فاضلاب	۶/۲	۴/۱	۳۰	۲	۰/۸	۶۷۶	۱۶۱۲	۴۷۵	۳۲	۲۷	۴۵	۲۸	۰/۹	۱۴

برای کشت گیاهان از گلدان‌های حاوی ۲/۵ کیلوگرم خاک با بافت شن لومی استفاده شد. علت انتخاب خاک با بافت سبک این بود که در پایان دوره رشد، جمع‌آوری سیستم ریشه‌ای گیاه و جداسازی آن‌ها از خاک تسهیل گردد و پس از زهکشی آب اضافی سریع‌تر خارج گردد. کودهای آلی به میزان ۱۵ و ۳۰ گرم به هر کیلوگرم خاک (معادل ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار) قبل از کشت افزوده شد و با خاک خوب مخلوط گردید. شش عدد بذر جوانه‌دار شده آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) رقم محلی قلمی در هر گلدان کشت شد و در مرحله دو برگی به دو گیاه در هر گلدان تنک گردید (۱۹). مدت غرقاب صفر، ۲، ۴، ۸ و ۲۲ روز بود که در مرحله شش برگی اعمال شد (۳۷). ارتفاع آب غرقاب در سطح خاک سه سانتی‌متر بود (۱۹). در پایان هر یک از دوره‌های غرقاب، گلدان‌ها با ایجاد سوراخ‌هایی در ته آنها زهکشی شدند و زه‌آب آن‌ها جمع‌آوری شد و در مراحل بعدی رشد با آب زه‌آب آبیاری شد تا بر شوری و غلظت‌های عناصر غذایی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای نداشته باشند. پس از زهکشی اجازه داده شد تا گیاهان به رشد خود ادامه دهند (حدود ۳۵ روز) تا معلوم شود، اثر غرقاب با گذشت زمان برطرف می‌شود یا این که تا مدت طولانی باقی می‌ماند. پس از ۸۵ روز رشد، بخش هوایی گیاهان از محل طوقه برداشت و ریشه نیز از خاک جدا شد. ریشه و بخش هوایی گیاهان پس از شستشو با آب مقطر، در داخل دستگاه خشک‌کن نمونه‌های گیاهی با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و ۷۲ ساعت نگهداری شدند تا خشک شدند. سپس با استفاده از آسیاب پودر شده و از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند. آنگاه غلظت‌های P، K، Ca، Mg و Na در ریشه و بخش هوایی گیاهان به روش خشک‌سوزانی (۵۲) تعیین گردید. غلظت فسفر عصاره‌ها با روش وانادومولیبدوفسفریک اسید و با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۳۰ نانومتر، غلظت کلسیم و منیزیم عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی ساخت شرکت شیمادزو ژاپن مدل AA-6200 (۵۱) و پتاسیم و سدیم عصاره‌ها با دستگاه فلیم‌فوتومتر ساخت شرکت کورنینگ انگلستان مدل ۴۱۰ اندازه‌گیری شد. میزان جذب هر عنصر از حاصل‌ضرب غلظت آن در ماده خشک بخش هوایی و ریشه محاسبه گردید. فاکتور انتقال از تقسیم غلظت عنصر در بخش هوایی به غلظت آن در ریشه محاسبه شد. این فاکتور شاخصی برای تعیین توانایی گیاه در انتقال عنصر از ریشه به بخش هوایی می‌باشد. اگر این فاکتور بیش از یک باشد، گیاه عنصر را در بخش هوایی انباشته می‌کند ولی اگر کوچکتر از یک باشد، گیاه عنصر را در ریشه انباشته می‌کند (۱۶). تجزیه آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و آزمون تی در سطح احتمال پنج درصد) با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC و SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت و جذب فسفر در ریشه و بخش هوایی

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کودهای آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر غلظت فسفر بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های غلظت فسفر بخش هوایی تحت اثر اصلی غرقاب و کودهای آلی (جدول ۷) نشان داد که غلظت فسفر بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب شدن خاک نسبت به شاهد (بدون غرقاب) افزایش یافت و بیشترین آن در ۲۲ روز غرقاب بود. این افزایش غلظت فسفر بخش هوایی را می‌توان به افزایش غلظت فسفر قابل‌جذب خاک پس از غرقاب و کاهش ماده خشک بخش هوایی و وقوع اثر تغلیظ (۲۸) در مدت غرقاب بیشتر از ۲ روز نسبت داد. نجفی و توفیقی (۷) گزارش دادند که پس از غرقاب شدن خاک‌های اسیدی و قلیایی مورد مطالعه، غلظت فسفر قابل‌جذب آن‌ها به‌طور میانگین بیش از ۲/۳ برابر افزایش یافت. افزایش فسفر قابل‌جذب خاک پس از غرقاب معمولاً به کاهش فسفات فریک به شکل فسفات فرو محلول‌تر و هیدرولیز ترکیبات فسفات نسبت داده شده است (۳۳). همچنین، انحلال پوشش هیدروکسید آهن بر اثر ایجاد شرایط کاهشی در خاک و آزاد شدن فسفر محبوس شده در زیر

Archive of SID

www.SID.ir

این پوشش‌ها باعث افزایش فسفر قابل‌جذب خاک می‌گردد (۳۹). چن و همکاران (۱۴) گزارش دادند که غلظت فسفر برگ‌های موچه تا ۱۵روز پس از غرقاب افزایش و پس از آن کاهش یافت. کاهش غلظت فسفر پهنک برگ گیاه انگور رقم سلطانا پس از غرقاب شدن خاک به‌وسیله استونس و پریور (۴۹) در یک آزمایش گلخانه‌ای مشاهده گردید. پس از غرقاب شدن خاک، کاهش غلظت فسفر برگ-های پنبه به‌وسیله هاکینگ و همکاران (۲۲) و کاهش غلظت فسفر بخش هوایی گیاه یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (۴۷) گزارش شده است. به‌نظر می‌سد یکی از دلایل متفاوت بودن نتایج بررسی-های مذکور با نتایج ما این است که در بررسی ما، تنش غرقاب در مرحله ۶ برگی گیاه آفتابگردان اعمال گردید و پس از زهکشی نمودن گلدان‌ها اجازه داده شد تا گیاهان به رشد خود ادامه دهند تا مشخص شود آیا اثر زمان‌های مختلف غرقاب در مراحل بعدی رشد برطرف می‌شود یا اینکه تا پایان دوره رشد باقی می‌ماند؛ در حالی که در مطالعات مذکور بلافاصله پس از اعمال غرقاب غلظت فسفر در بخش هوایی گیاهان تعیین گردیده است. همچنین متفاوت بودن گونه و رقم گیاه، مدت غرقاب، ویژگی‌های خاک، دما و مرحله رشد گیاه نیز در این اختلاف نتایج می‌تواند مؤثر باشد. بررسی ما نشان داد که اثر مدت غرقاب شدن خاک در مرحله ۶ برگی گیاه آفتابگردان بر غلظت فسفر بخش هوایی آن تا پایان دوره رشد آن باقی ماند (حتی ۲ روز غرقاب).

با کاربرد هر دو نوع کود آلی غلظت فسفر بخش هوایی افزایش یافت و میزان این افزایش با کاربرد کود دامی بیشتر از لجن فاضلاب بود (جدول ۷). این افزایش غلظت فسفر بخش هوایی را می‌توان به افزایش غلظت فسفر قابل‌جذب خاک پس از کاربرد کودهای آلی و کاهش ماده خشک بخش هوایی و وقوع اثر تغلیظ (در سطوح غرقاب بیشتر از ۲ روز) نسبت داد. بردی و ویل (۱۲) بیان داشتند که خاک-های با ماده آلی زیاد، مخصوصاً با شکل‌های فعال ماده آلی، عموماً مقدار نسبتاً کمی از فسفر را تثبیت می‌کنند. چند سازوکار برای کاهش تثبیت فسفر در خاک‌های با ماده آلی زیاد ارائه شده است (۱۲، ۱۵، ۲۱ و ۴۴): اوّل، مولکول‌های بزرگ هومیک به سطح رس‌ها و ذرات اکسیدهای هیدراته فلزات چسبیده و روی مکان‌های تثبیت کننده فسفر را می‌پوشانند و مانع از واکنش این مکان‌ها با فسفات‌های موجود در محلول خاک می‌شوند. دوّم، اسیدهای آلی تولید شده به-وسیله ریشه گیاه و تجزیه میکروبی برای جذب شدن روی سطوح رس‌ها و هیدروکسیدها با فسفات‌ها رقابت می‌کنند. سوّم، اسیدهای آلی خاص و ترکیبات مشابه، با کلسیم، آهن و آلومینیوم کمپلکس‌های پایدار به‌نام کی‌لیت تشکیل می‌دهند و مانع از واکنش این فلزات با یون‌های فسفر محلول خاک می‌شوند و غلظت فسفر محلول را به-دلیل افزایش حلالیت فسفات‌های کلسیم، آهن و آلومینیوم افزایش می‌دهند. چهارم، با افزودن ماده آلی به خاک ممکن است بخشی از آن معدنی شده و غلظت فسفر قابل‌جذب خاک را افزایش دهد.

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی بر غلظت فسفر بخش هوایی (جدول ۱۱) نشان داد که اثر مدت غرقاب شدن خاک بر غلظت فسفر بخش هوایی در تمامی سطوح کود آلی مصرفی معنی‌دار بود. بیشترین غلظت فسفر بخش هوایی در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۲ روز غرقاب و کمترین آن در تیمار بدون کود آلی و بدون غرقاب مشاهده گردید.

تجزیه واریانس نشان داد که اثر غرقاب و کودهای آلی و نیز اثر متقابل آنها بر جذب فسفر در بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های جذب فسفر در بخش هوایی تحت اثر اصلی غرقاب و کود آلی (جدول ۸) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، جذب فسفر در بخش هوایی نسبت به شاهد (بدون غرقاب) افزایش یافت و روند تغییرات آن تقریباً مشابه روند تغییرات غلظت فسفر بخش هوایی بود؛ با این تفاوت که بیشترین جذب فسفر در بخش هوایی در ۲۲ روز غرقاب نبود. این کاهش جذب فسفر در بخش هوایی علی‌رغم افزایش غلظت فسفر را می‌توان به کاهش ماده خشک گیاه نسبت داد. پس از غرقاب شدن خاک، کاهش جذب فسفر در بخش هوایی آفتابگردان و سورگوم به-وسیله اورچارد و جسوپ (۳۷) و کاهش جذب فسفر در برگ‌های یک نوع گیاه دارویی به‌وسیله نیکام و چوان (۳۵) گزارش شده است.

با مصرف هر دو نوع کود آلی جذب فسفر در بخش هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که ناشی از افزایش غلظت فسفر و ماده خشک بخش هوایی بود. مینا و همکاران (۳۰) نیز افزایش جذب فسفر در بخش هوایی آفتابگردان را با کاربرد کود دامی گزارش نمودند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۱۲) نشان داد که بیشترین جذب فسفر در بخش هوایی در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۲ روز غرقاب و کمترین آن در تیمار بدون کود آلی و بدون غرقاب بود.

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کود آلی و نیز اثر متقابل آنها بر غلظت فسفر ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب و کود آلی (جدول ۹) نشان داد که با غرقاب شدن خاک غلظت فسفر ریشه ابتدا در روز دوم غرقاب افزایش یافت ولی پس از آن به‌تدریج کاهش یافت و در ۲۲ روز غرقاب به کمترین مقدار رسید. این کاهش را می‌توان به کاهش جذب فعال فسفر بر اثر وقوع تنش کمبود اکسیژن در ریشه نسبت داد. این نتایج با گزارش اسمتورست و همکاران (۴۷) در گیاه یونجه مطابقت داشت. با افزودن هر دو نوع کود آلی و افزایش سطح مصرفی آن‌ها غلظت فسفر ریشه افزایش یافت. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی (جدول ۱۳) نشان داد که بیشترین غلظت فسفر ریشه در تیمار ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و ۲ روز غرقاب و کمترین آن در تیمار بدون کود آلی و بدون غرقاب بود؛ هر چند که با برخی تیمارها از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار نداشت. بیشتر بودن غلظت فسفر ریشه در تیمارهای دارای لجن

Archive of SID

www.SID.ir

فاضلاب نسبت به تیمارهای دارای کود دامی می‌تواند به بیشتر بودن غلظت فسفر قابل‌جذب و درصد مواد آلی لجن فاضلاب نسبت به کود دامی مربوط باشد (جدول ۲).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کود آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر جذب فسفر در ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های جذب فسفر در ریشه تحت اثر اصلی غرقاب و کود آلی (جدول ۱۰) نشان داد که جذب فسفر در ریشه با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، ابتدا در ۲ روز غرقاب افزایش یافت ولی پس از آن به‌تدریج کاهش یافت و روند تغییرات آن مشابه با روند تغییرات غلظت فسفر در ریشه بود. در تأیید این مطلب میان غلظت فسفر (mg/g dw) در ریشه و جذب فسفر (mg/pot) رابطه خطی $P_{up}=10.40(P_{con})-1.183$ با $r^2=0.917^{**}$ مشاهده گردید که نشان می‌دهد بخش عمده تغییرات جذب فسفر در ریشه به‌وسیله غلظت فسفر در ریشه توضیح داده می‌شود. با مصرف هر دو نوع کود آلی و افزایش سطح مصرفی آن‌ها جذب فسفر در ریشه افزایش یافت. مقایسه میانگین‌های جذب فسفر در ریشه تحت اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی نشان داد که بیشترین جذب فسفر در ریشه در تیمار ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و ۲ روز غرقاب بود (جدول ۱۴). میانگین فاکتور انتقال فسفر ۰/۷۵ بود که نشانگر تجمع فسفر در ریشه می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون تی نمونه‌های جفتی نشان داد که غلظت فسفر بخش هوایی به‌طور معنی‌داری از غلظت فسفر ریشه کمتر بود.

غلظت و جذب پتاسیم در ریشه و بخش هوایی

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کود آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر غلظت پتاسیم بخش هوایی آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر مدت غرقاب و کود آلی بر غلظت عناصر پرمصرف و سدیم در بخش هوایی

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
غرقاب	۴	۰/۰۶۹**	۳۳/۰۸**	۰/۰۴۴**	۱۳/۳۶۸**	۰/۵۷۳**
کود آلی	۴	۰/۰۷۲**	۱۴۱/۶۶**	۰/۱۰۳**	۵۰/۴۶۱**	۰/۴۱۴*
غرقاب× کود آلی	۱۶	۰/۰۱۶**	۱۱/۳۰**	۰/۰۲۰**	۷/۸۲۴**	۰/۴۶۰**
خطای آزمایشی	۵۰	۰/۰۰۱	۱/۳۰۳	۰/۰۰۱	۳/۱۹۵	۰/۱۵۲
ضریب تغییرات(٪)		۸/۵	۱۰/۵۸	۸/۷۳	۱۳/۸۱	۲۸/۰۶

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ٤- تجزیه واریانس تأثیر مدت غرقاب و کود آلی بر جذب عناصر پرمصرف و سدیم در بخش هوایی

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
غرقاب	۴	۲/۸۱**	۱۲۳۲/۲۴**	۷/۹۷۷**	۲۸۷۹۰/۰۴۰**	۲۳۶/۸۳۸ $^{n.s}$
کود آلی	۴	۶/۸۵**	۸۱۸۷/۵۱**	۲/۴۴۰**	۹۹۹۹۷/۴۰۴**	۱۷۰۲/۲۶۶**
غرقاب× کود آلی	۱۶	۱/۲۳**	۸۰۸/۴۸**	۱/۳۴۱**	۸۰۹۸/۲۵۹ $^{n.s}$	۳۴۱/۹۷*
خطای آزمایشی	۵۰	۰/۲۱	۱۵۵/۲۱۶	۰/۱۳۲	۴۶۸۴/۴۱۷	۱۶۴/۶۲۶
ضریب تغییرات(٪)		۱۷/۳۸	۱۵/۲۳	۱۵/۳۲	۱۸/۰۲	۳۱/۲۴

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر مدت غرقاب و کود آلی بر غلظت عناصر پرمصرف و سدیم در ریشه

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
غرقاب	۴	۱۰/۳۲**	۶/۰۸۸**	۰/۰۷۶**	۲۱/۷۲۴**	۱/۳۲۹**
کود آلی	۴	۳۰/۵۹**	۶۶۱/۷۸۵**	۰/۲۵۶**	۱۳/۶۹۱**	۳/۴۲۸**
غرقاب× کود آلی	۱۶	۵/۳۸**	۶/۹۶۷**	۰/۰۲۷**	۶/۵۴۶**	۰/۲۴۸ $^{n.s}$
خطای آزمایشی	۵۰	۰/۴۴	۰/۹۲۵	۰/۰۰۲	۱/۶۵۹	۰/۱۹۶
ضریب تغییرات(٪)		۸/۹۹	۸/۵۲	۹/۸۹	۱۵/۱۲	۲۳/۶۲

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦- تجزیه واریانس تأثیر مدت غرقاب و کود آلی بر جذب عناصر پرمصرف و سدیم در ریشه

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
غرقاب	۴	۱۰۹۳/۱**	۲۱۴۵/۷**	۱۰/۸۲۳**	۸۴۱/۹۹۳**	۲۷/۸۷۴*
کود آلی	۴	۲۸۹۵/۳**	۸۴۳۰۴/۹**	۲۶/۲۰۳**	۲۲۷۲/۴۷۲**	۲۳۵/۱۱۱**
غرقاب× کود آلی	۱۶	۴۳۷/۰**	۱۷۵۷/۳**	۳/۷۲۹**	۴۲۰/۶**	۱۰/۱۹۲ $^{n.s}$
خطای آزمایشی	۵۰	۶۸/۳	۵۴۲/۱۸۱	۰/۵۱۹	۱۶۰/۲۳۹	۹/۹۵۲
ضریب تغییرات(٪)		۱۴/۹	۱۷/۸۴	۲۰/۹۳	۲۰/۰۰	۲۲/۸۶

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های غلظت (mg/g dw) عناصر پرمصرف و سدیم در بخش هوایی تحت اثر اصلی غرقاب و کود آلی

اثر اصلی	سطوح	سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
مدت غرقاب (روز)	۰	۰/۲۵ d	۹/۴ d	۰/۲۳ d	۱۳/۶۲ a	۱/۳۷ ab
	۲	۰/۳۲c	۱۱/۵ b	۰/۳۴ b	۱۳/۸۳a	۱/۴۹ab
	۴	۰/۳b	۱۰/۹bc	۰/۳۰ c	۱۱/۸۳ b	۱/۲۲ b
	۸	۰/۳۶b	۱۰/۴c	۰/۳۲bc	۱۲/۰۲b	۱/۱۹b
	۲۲	۰/۴۴ a	۱۳/۴ a	۰/۳۷ a	۱۳/۴۱ a	۱/۶۶ a
منبع و مقدار کود آلی	شاهد	۰/۲۱d	۱۰/۵c	۰/۱۸d	۱۲/۰۴ b	۱/۴۷ ab
	کود دامی (۱۵ **g/kg**)	۰/۳۷b	۱۲/۱b	۰/۳۸a	۱۲/۶۸ b	۱/۲۰ b
	کود دامی (۳۰ **g/kg**)	۰/۴۴ a	۱۵/۹ a	۰/۳۷ a	۱۵/۳۰ a	۱/۳۰ b
	لجن‌فاضلاب (۱۵ **g/kg**)	۰/۳۱c	۸/۷d	۰/۲۹c	۱۴/۱۲a	۱/۶۳a
	لجن‌فاضلاب (۳۰ **g/kg**)	۰/۳۸b	۸/۴d	۰/۳۲b	۱۰/۵۷c	۱/۳۳b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های جذب (mg/pot) عناصر پرمصرف و سدیم در بخش هوایی تحت اثر اصلی غرقاب و کود آلی

اثر اصلی	سطوح	سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
مدت غرقاب (روز)	۰	۱/۸ b	۶۸/۶ c	۱/۷۲ d	۴۴۶/۸ a	۴۵/۵۸ a
	۲	۲/۶a	۹۱/۶a	۲/۷۵a	۴۰۰/۹ab	۴۴/۰۱a
	۴	۲/۶a	۸۰/۲b	۲/۲۸c	۳۵۴/۸ bc	۳۸/۶۷ a
	۸	۲/۹a	۷۹/۶b	۲/۶۱ab	۳۵۷/۱bc	۳۵/۷۴a
	۲۲	۲/۹ a	۸۸/۹ ab	۲/۴۷ bc	۳۳۹/۷ c	۴۱/۳۴ a
منبع و مقدار کود آلی	شاهد	۱/۷d	۶۶/۱ c	۱/۱۱c	۲۶۱/۵ d	۳۱/۵۶ b
	کود دامی (۱۵ **g/kg**)	۲/۴c	۸۴/۲b	۲/۶۸a	۳۴۲/۲c	۳۲/۸۳b
	کود دامی (۳۰ **g/kg**)	۳/۵ a	۱۲۱/۶ a	۲/۹۳ a	۴۲۸/۵ ab	۳۶/۲۴ b
	لجن‌فاضلاب (۱۵ **g/kg**)	۲/۳c	۶۸/۵c	۲/۳۵b	۴۷۳/۰a	۵۵/۳۲a
	لجن‌فاضلاب (۳۰ **g/kg**)	۲/۹b	۶۸/۷c	۲/۷۴a	۳۹۴/۰b	۴۹/۳۸a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب نشان داد که روند تغییرات غلظت پتاسیم بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب شدن خاک بصورت افزایشی، کاهشی و مجدداً افزایشی بود ولی در هر حال غلظت پتاسیم بخش هوایی در شرایط غرقاب پیوسته از شرایط غیرغرقاب بیشتر بود (جدول ۷). افزایش اولیه غلظت پتاسیم بخش هوایی را می‌توان به افزایش غلظت پتاسیم محلول خاک و افزایش سرعت پخشیدگی پتاسیم به سطح ریشه پس از غرقاب (۲۱ و ۲۳) نسبت داد. با این حال، با گذشت زمان بر اثر کاهش میزان اکسیژن در پیرامون ریشه، تنفس ریشه و در نتیجه جذب فعال مختل شده و غلظت پتاسیم بخش هوایی کاهش یافت. کافی و همکاران (۳) بیان کردند که گرچه در شرایط احیایی حلالیت پتاسیم افزایش می‌یابد ولی به‌دلیل صدماتی که به ریشه می‌رسد، جذب این عنصر با مشکل مواجه می‌گردد. همچنین با غرقاب شدن خاک، غلظت نیتروژن آمونیومی خاک افزایش می‌یابد (۲۳). آمونیوم در فرآیند جذب با پتاسیم رقابت داشته و می‌تواند جذب پتاسیم به‌وسیله ریشه گیاه را کاهش دهد (۲۸). به‌نظر می‌رسد عامل دیگری که در افزایش غلظت

Archive of SID

www.SID.ir

پتاسیم بخش هوایی در سطح ۲۲ روز غرقاب شدن خاک اثر داشت، کاهش ماده خشک بخش هوایی و وقوع اثر تغلیظ می‌باشد. به عبارت دیگر، سرعت جذب و انتقال پتاسیم به بخش هوایی در این سطح غرقاب بیشتر از سرعت رشد گیاه بوده است. در نتیجه، غلظت پتاسیم بخش هوایی افزایش یافته است. چن و همکاران (۱۴) گزارش دادند که غلظت پتاسیم برگ‌های مو چه تا ۳۰روز پس از غرقاب افزایش و پس از آن کاهش یافت. پس از غرقاب شدن خاک، کاهش غلظت پتاسیم برگ‌های پنبه به‌وسیله هاکینگ و همکاران (۲۲)، عدم تغییر معنی‌دار غلظت پتاسیم پهنک برگ گیاه انگور رقم سلطانا به‌وسیله استونس و پریور (۴۹)، کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (۴۷) و کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی پنبه به‌وسیله میلروی و همکاران (۳۱) گزارش شده است. علت تفاوت در نتایج بررسی ما و نتایج سایر محققان قبلاً در بخش فسفر بیان گردید.

مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم بخش هوایی تحت اثر اصلی کودهای آلی نشان داد که با کاربرد کود دامی و افزایش سطح مصرفی آن، غلظت پتاسیم بخش هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی با مصرف لجن فاضلاب کاهش یافت (جدول ۷). کود دامی به‌عنوان یک منبع غنی از پتاسیم، پتاسیم قابل‌جذب خاک را افزایش می‌دهد؛ در نتیجه، جذب پتاسیم توسط گیاه نیز افزایش می‌یابد. جدول ۲ نشان می‌دهد که غلظت پتاسیم قابل‌جذب کود دامی حدود ۲/۴ برابر لجن فاضلاب می‌باشد. با این حال، چون پتاسیم قابل‌جذب لجن فاضلاب از خود خاک بیشتر بود، انتظار این بود که با کاربرد لجن فاضلاب نیز غلظت پتاسیم بخش هوایی افزایش یابد. کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی با کاربرد هر دو سطح لجن فاضلاب را می‌توان به رشد بیشتر گیاهان در این سطوح و افزایش ماده خشک بخش هوایی و وقوع اثر رقت (۲۸) نسبت داد. به عبارت دیگر، در هر دو سطح لجن فاضلاب، سرعت رشد گیاه از سرعت جذب پتاسیم بیشتر بوده است و سبب کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی گردیده است. در تأیید این مطلب، علی‌رغم کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم بخش هوایی، مقدار جذب پتاسیم در بخش هوایی با شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۸).

جدول ۹- مقایسه میانگین‌های غلظت (mg/g dw) عناصر پرمصرف و سدیم در ریشه تحت اثر اصلی غرقاب و کود آلی

اثر اصلی	سطوح	سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
مدت غرقاب (روز)	۰	۶/۳ d	۱۰/۲ b	۰/۴۶ b	۷/۳۱ c	۱/۵۹ b
	۲	۷/۶ b	۱۱/۵ a	۰/۵۵ a	۸/۵۳ b	۱/۸۱ b
	۴	۷/۰c	۱۱/۷a	۰/۴۱c	۷/۴۱c	۱/۷۱b
	۸	۸/۵a	۱۱/۱a	۰/۴۲c	۹/۱۹b	۱/۸۹b
	۲۲	۷/۴ bc	۱۱/۷ a	۰/۳۶ d	۱۰/۱۵ a	۲/۳۷ a
منبع و مقدار کود آلی	شاهد	۸/۱ b	۶/۹۳c	۰/۲۴ d	۸/۸۶ a	۲/۲۹ a
	کود دامی (۱۵ **g/kg**)	۵/۳d	۱۸/۰b	۰/۴۲c	۶/۹۴b	۱/۲۱b
	کود دامی (۳۰ **g/kg**)	۶/۴ c	۱۹/۰ a	۰/۵۳ b	۸/۵۸ a	۱/۵۲ b
	لجن‌فاضلاب (۱۵ **g/kg**)	۸/۸a	۵/۶d	۰/۴۳c	۸/۶۶a	۲/۱۷a
	لجن‌فاضلاب (۳۰ **g/kg**)	۸/۲b	۶/۷c	۰/۵۸ a	۹/۵۴ a	۲/۱۷ a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین‌های جذب (mg/pot) عناصر پرمصرف و سدیم در ریشه تحت اثر اصلی غرقاب و کود آلی

اثر اصلی	سطوح	سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
مدت غرقاب (روز)	۰	۴۷/۸ b	۱۱۳/۵ c	۳/۵۴ b	۵۵/۴۴ b	۱۲/۳۰ b
	۲	۶۲/۴ a	۱۴۲ a	۴/۷۴ a	۶۹/۲۷a	۱۴/۶۳ab
	۴	۵۲/۱b	۱۳۴/۸ab	۳/۱۲b	۵۴/۹۲ b	۱۲/۵۹ b
	۸	۶۶/۶a	۱۳۹/۳ab	۳/۴۰b	۶۹/۸۵a	۱۳/۹۴ab
	۲۲	۴۸/۵ b	۱۲۳ bc	۲/۴۰ c	۶۷/۰۳ a	۱۵/۵۴ a
منبع و مقدار کود آلی	شاهد	۵۱/۲ b	۶۹/۱ d	۱/۵۴ e	۵۴/۵۴ c	۱۴/۰۲ b
	کود دامی (۱۵ **g/kg**)	۳۷/۸c	۱۹۶/۳b	۲/۹۴d	۴۸/۲۷c	۸/۳۷۰d
	کود دامی (۳۰ **g/kg**)	۴۹/۲ b	۲۲۶/۵ a	۴/۱۱ b	۶۵/۹۱ b	۱۱/۵۷ c
	لجن‌فاضلاب (۱۵ **g/kg**)	۷۰/۲a	۷۱/۹cd	۳/۵۴c	۶۷/۸۸b	۱۷/۰۴a
	لجن‌فاضلاب (۳۰ **g/kg**)	۶۹/۱a	۸۸/۷c	۵/۰۷a	۷۹/۹۰a	۱۸/۰۰a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی (جدول ۱۱) نشان داد که بیشترین غلظت پتاسیم بخش هوایی (mg/g dw ۲۰/۷۷) در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و با دو روز غرقاب و کمترین آن (mg/g dw ۵/۷۰) در تیمار ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و در شرایط بدون غرقاب مشاهده گردید؛ هرچند با برخی تیمارها تفاوت معنی‌دار نداشت. روند تغییرات غلظت پتاسیم بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب شدن خاک در سطوح مختلف مواد آلی متفاوت بود. در سطح شاهد و ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با افزایش مدت غرقاب شدن خاک غلظت پتاسیم بخش هوایی افزایش یافت ولی در سایر سطوح این روند متفاوت بود. میان مدت غرقاب شدن خاک (روز) و غلظت پتاسیم بخش هوایی (mg/g dw) در شرایط بدون کاربرد کود آلی، رابطه $K_{con}=0.149(Time)+9.466$ با $r^2=0.87^{**}$ و در سطح ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک رابطه $K_{con}=-0.017(Time)^2+0.63(Time)+5.807$ با $R^2=0.997^{**}$ مشاهده گردید. با استفاده از این روابط می‌توان غلظت پتاسیم بخش هوایی آفتابگردان را در زمانهای مختلف با دقت مناسبی برآورد کرد.

تجزیه واریانس نشان داد که اثر غرقاب و کود آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر جذب پتاسیم در بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب (جدول ۸) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک جذب پتاسیم در بخش هوایی ابتدا در ۲ روز غرقاب افزایش و مجدداً در ۴ روز کاهش یافت ولی پس از آن تغییر معنی‌داری نکرد. افزایش اولیه جذب پتاسیم در بخش هوایی عمدتاً ناشی از افزایش غلظت پتاسیم بخش هوایی است و کاهش بعدی و ثابت ماندن آن ناشی از کاهش غلظت و کاهش ماده خشک بخش هوایی می‌باشد. پس از غرقاب شدن خاک، کاهش جذب پتاسیم در بخش هوایی آفتابگردان و سورگوم به‌وسیله اورچارد و جسوپ (۳۷) و کاهش مقدار پتاسیم موجود در برگ‌های یک گیاه دارویی به‌وسیله نیکام و چوان (۳۵) گزارش شده است.

جدول ۱۱ـ مقایسه میانگین‌های غلظت (mg/g dw) عناصر پرمصرف و سدیم بخش هوایی آفتابگردان تحت اثر متقابل غرقاب و کود آلی

کود آلی	مدت غرقاب (روز)	سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
	۰	۰/۱۶۸ l	۸/۹۹ ijk	۰/۰۹ m	۱۴/۳۶ bcd	۱/۶۴ bcd
	۲	۰/۲۸۹ hij	۱۰/۴۳ f-i	۰/۱۳ lm	۱۱/۵۹c-h	۱/۲۴b-f
شاهد	۴	۰/۲۸۰hij	۹/۶۲g-j	۰/۱۲ lm	۹/۹۶ ghi	۰/۸۵ ef
	۸	۰/۲۷۴ hij	۱۱/۰۴f-i	۰/۱۵l	۱۰/۶۲e-i	۱/۰۵c-f
	۲۲	۰/۳۸۴ c-f	۱۲/۶۴ def	۰/۴۲ bc	۱۳/۶۶ b-f	۲/۵۸ a
	۰	۰/۲۹۳ hij	۱۳/۷۹cd	۰/۳۵d-g	۱۴/۰۲ b-e	۱/۲۳ b-f
	۲	۰/۳۳۸ e-i	۱۰/۴۸f-i	۰/۴۴b	۱۴/۶۵ bc	۱/۸۸ b
۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک	۴	۰/۳۷۲e-i	۱۱/۸۷ d-g	۰/۳۶ cde	۱۲/۸۸ c-g	۰/۸۹ def
	۸	۰/۳۸۳ c-f	۱۱/۴۲e-h	۰/۴۰bcd	۱۱/۶۰c-h	۰/۹۸c-f
	۲۲	۰/۳۷۰ c-f	۱۳/۳۲cde	۰/۳۸bcd	۱۰/۲۲f-i	۱/۰۵c-f
	۰	۰/۲۳۵ jk	۱۱/۵۶ e-h	۰/۲۰ k	۱۳/۹۲ b-e	۰/۸۰ f
	۲	۰/۳۸۹cde	۲۰/۷۷ a	۰/۵۵ a	۱۶/۹ab	۱/۴۶b-f
۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک	۴	۰/۴۲۴c	۱۵/۲۵c	۰/۳۱ f-i	۱۴/۰۶ b-e	۱/۳۵ b-f
	۸	۰/۵۴۴b	۱۳/۴۳cde	۰/۴۳b	۱۳/۷۳b-e	۱/۱۸b-f
	۲۲	۰/۷۰۲ a	۱۸/۶۷ b	۰/۴۰ bcd	۱۷/۸۶ a	۱/۷۴ bc
	۰	۰/۱۸۶ kl	۷/۱۰klm	۰/۲۳jk	۱۲/۹۹ c-g	۱/۵۸ b-e
	۲	۰/۳۲۹e-i	۹/۱۰ijk	۰/۲۹hi	۱۴/۹۴ abc	۱/۷۱ bc
۱۵ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک	۴	۰/۳۷۶c-f	۹/۵۶ hij	۰/۳۵ d-h	۱۴/۳۰ bcd	۱/۸۷ b
	۸	۰/۳۰۰gh	۶/۷۹lm	۰/۲۸ij	۱۴/۶۵bc	۱/۴۷b-f
	۲۲	۰/۳۲۳ f-i	۱۱/۰۶f-i	۰/۳۵d-i	۱۳/۷b-e	۱/۵۴bcd
	۰	۰/۳۸۰c-f	۵/۷۰ m	۰/۲۸ ij	۱۲/۸۲ c-h	۱/۶۱ b-e
	۲	۰/۲۹۱hij	۷/۰۸ klm	۰/۳۰ ghi	۱۱/۰۲d-i	۱/۲۰b-f
۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک	۴	۰/۳۶۰ def	۸/۲۰jkl	۰/۳۷ c-f	۷/۹۶ i	۱/۱۴ b-f
	۸	۰/۳۵۷d-g	۹/۶۴g-j	۰/۳۷cde	۹/۴۲hi	۱/۲۹b-f
	۲۲	۰/۴۱۳cd	۱۱/۴۰ e-h	۰/۳۲ e-i	۱۱/۶۴ c-h	۱/۴۱ b-f

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه میانگین‌های اثر اصلی کودهای آلی (جدول ۸) نشان داد که با کاربرد کود دامی و افزایش سطح مصرفی آن جذب پتاسیم در بخش هوایی افزایش یافت که ناشی از افزایش غلظت پتاسیم در بخش هوایی و افزایش ماده خشک بخش هوایی بود ولی برخلاف انتظار جذب پتاسیم در بخش هوایی با کاربرد لجن فاضلاب در سطح اول آن کاهش یافت و در سطح دوم تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. با توجه به افزایش ماده خشک گیاه پس از کاربرد لجن فاضلاب، این کاهش را می‌توان به کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی نسبت داد. در تأیید این مطلب، میان غلظت پتاسیم بخش هوایی (mg/g dw) و جذب پتاسیم در بخش هوایی (mg/pot)، رابطه $K_{up}=6.819(K_{con})+5.745$ با $r^2=0.808^{**}$ مشاهده گردید که نشان می‌دهد بخش عمده تغییرات جذب پتاسیم در بخش هوایی ناشی از تغییرات غلظت پتاسیم می‌باشد. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی (جدول ۱۲) نشان داد که بیشترین جذب پتاسیم در بخش هوایی (۱۶۸/۵ mg/pot)، در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و دو روز غرقاب مشاهده گردید. کمترین جذب پتاسیم در بخش هوایی (۴۵/۴۷ mg/pot)، در تیمار ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و بدون غرقاب بدست آمد هرچند که با برخی تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت. تأثیر غرقاب بر جذب پتاسیم در بخش هوایی به سطوح کود آلی مصرفی بستگی داشت و برعکس؛ به‌طوری که تأثیر غرقاب بر جذب پتاسیم در بخش هوایی در برخی سطوح کود آلی معنی‌دار نبود ولی در برخی دیگر معنی‌دار بود (جدول ۱۲).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کود آلی و نیز اثر متقابل آنها بر غلظت پتاسیم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب (جدول ۹) نشان داد که با غرقاب شدن خاک به مدت دو روز، غلظت پتاسیم ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی پس از آن با افزایش مدت زمان غرقاب ثابت باقی ماند.

جدول ۱۲ـ مقایسه میانگین‌های جذب (mg/pot) عناصر پرمصرف و سدیم در بخش هوایی آفتابگردان تحت اثر متقابل غرقاب و کود آلی

کود آلی	مدت غرقاب (روز)	سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
	۰	۱/۲۵ h	۶۷/۶۴ c-g	۰/۶۵ j	۳۲۲/۴ d-i	۳۷/۱۸ d-i
	۲	۱/۹۳d-h	۶۹/۵۲c-f	۰/۸۵ij	۲۸۷/۳f-i	۳۰/۷۵d-i
شاهد	۴	۱/۷۷e-h	۶۱/۱۲d-g	۰/۷۸ij	۲۱۴/۰ i	۱۸/۴۰ i
	۸	۱/۳۵gh	۵۴/۷۸fg	۰/۷۳j	۲۲۱/۳hi	۲۲/۱۲hi
	۲۲	۲/۳۶ bf	۷۷/۵ c-f	۲/۵۹ d-h	۲۶۲/۷ ghi	۴۹/۳۳ a-f
	۰	۱/۷۸fgh	۸۴/۳۳ cd	۲/۱۵gh	۴۴۸/۴ a-d	۳۹/۳۸ b-i
	۲	۲/۲۳c-f	۷۰/۳۵c-f	۲/۹۴c-f	۳۷۵/۸c-g	۵۰/۰۶a-e
۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک	۴	۲/۸۱ bcd	۹۰/۰۳ c	۲/۷۵ c-g	۳۴۸/۴ c-h	۲۴/۱۹ f-i
	۸	۲/۹۳bc	۸۷/۵۲c	۳/۰۳b-e	۳۲۵/۶d-i	۲۷/۴۶e-i
	۲۲	۲/۴۸bf	۸۸/۷۹c	۲/۵۷d-h	۲۱۳/۰i	۲۳/۰۸ghi
	۰	۱/۶۳ fgh	۸۰/۰۶ cde	۱/۴۰ i	۴۲۴/۴a-e	۲۳/۴۹ ghi
	۲	۳/۱۵c-f	۱۶۸/۵a	۴/۴۵a	۴۴۷/۷ a-d	۳۸/۶۵c-i
۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک	۴	۳/۱۴b	۱۱۲/۶b	۲/۲۶fgh	۳۹۹/۵a-f	۳۸/۷۳ c-i
	۸	۴/۷۴a	۱۱۳/۳b	۳/۶۷b	۴۰۲/۲ a-f	۳۴/۵۶d-i
	۲۲	۵/۰۳ a	۱۳۳/۵ b	۲/۸۹ c-f	۴۶۸/۷ abc	۴۵/۷۶ a-h
	۰	۱/۷۲e-h	۶۵/۶۵ c-g	۲/۱۵gh	۵۲۳/۵ a	۶۳/۷۶ abc
	۲	۲/۸۰bcd	۷۷/۱۲c-f	۲/۴۶d-h	۴۸۳/۲abc	۵۵/۷۳a-d
۱۵ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک	۴	۲/۷۷ bcd	۷۰/۱۶ c-f	۲/۵۸ d-h	۵۰۹/۶ ab	۶۷/۲۰ a
	۸	۲/۴۵b-f	۵۵/۶۵efg	۲/۲۵fgh	۴۸۲/۲abc	۴۸/۳۲a-g
	۲۲	۲/۱۹c-g	۷۳/۹۵c-f	۲/۳۴e-h	۳۶۶/۶c-g	۴۱/۶۰b-i
	۰	۳/۰۲ bc	۴۵/۴۷ g	۲/۲۶ fgh	۵۱۵/۳ ab	۶۴/۰۸ ab
	۲	۲/۹۸bc	۷۲/۸۳c-f	۳/۱۰bcd	۴۱۰/۴a-f	۴۴/۸۳a-h
۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک	۴	۲/۹۷bc	۶۷/۱۷c-g	۳/۰۳b-e	۳۰۲/۴ e-i	۴۴/۸۱ a-h
	۸	۳/۲۴b	۸۷/۱۱c	۳/۳۷bc	۳۵۴/۳c-g	۴۶/۲۶a-h
	۲۲	۲/۵۷ b-e	۷۰/۹۴ c-f	۲/۰۰ h	۳۸۷/۷ b-g	۴۶/۹۳ a-h

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir

دلیل افزایش اولیه غلظت پتاسیم ریشه قبلاً در قسمت غلظت پتاسیم بخش هوایی بیان شده است. اسمتورست و همکاران (۴۷) کاهش غلظت پتاسیم ریشه یونجه پس از غرقاب شدن خاک را گزارش کردند. با ادامه شرایط غرقاب کمبود تهویه و تنش اکسیژن باعث جلوگیری از جذب فعال پتاسیم می‌گردد. در نتیجه، غلظت پتاسیم در ریشه گیاه کاهش می‌یابد (۴۷). کاربرد کود دامی غلظت پتاسیم ریشه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد در حالی که با کاربرد سطح اول لجن فاضلاب غلظت پتاسیم ریشه کاهش یافت و در سطح دوم تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۹). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی نشان داد که بیشترین غلظت پتاسیم ریشه (۲۰/۵۷ mg/g dw) در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۴ روز غرقاب مشاهده گردید (جدول ۱۳).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کودهای آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر جذب پتاسیم در ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب و کودهای آلی (جدول ۱۰) نشان داد که با غرقاب شدن خاک، جذب پتاسیم در ریشه افزایش یافت و سپس با زیاد شدن مدت غرقاب شدن خاک مجدداً کاهش یافت به‌طوری که در ۲۲ روز غرقاب با شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت. به‌نظر می‌رسد افزایش اولیه جذب پتاسیم در ریشه به‌دلیل افزایش غلظت پتاسیم ریشه بوده و کاهش بعدی آن ناشی از کاهش ماده خشک ریشه می‌باشد. با کاربرد هر دو سطح کود دامی و سطح دوم لجن فاضلاب، جذب پتاسیم در ریشه افزایش یافت. مقدار افزایش جذب پتاسیم با کاربرد کود دامی بیشتر از لجن فاضلاب بود (جدول ۱۰). بیشترین جذب پتاسیم در ریشه (۲۵۸/۳ mg/pot) در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۸ روز غرقاب بود (جدول ۱۴). فاکتور انتقال پتاسیم در اغلب تیمارها بیشتر از یک بود (به‌طور میانگین ۱/۲۷) که بیانگر بیشتر بودن میانگین غلظت پتاسیم بخش هوایی آفتابگردان نسبت به ریشه بود. با این حال، مقایسه میانگین‌ها با آزمون تی نمونه‌های جفتی نشان داد که غلظت پتاسیم بخش هوایی تفاوت معنی‌داری با غلظت پتاسیم ریشه نداشت.

جدول ۱۳ـ مقایسه میانگین‌های غلظت (mg/g dw) عناصر پرمصرف و سدیم ریشه آفتابگردان تحت اثر متقابل غرقاب و کود آلی

کود آلی	مدت غرقاب (روز)	سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
	۰	۷/۷۱ def	۵/۳۵ ijk	۰/۲۱ j	۶/۶۷ hij	۱/۵۷ di
	۲	۸/۷۳ cd	۶/۰۴ g-j	۰/۲۴ ij	۹/۳۴ b-f	۲/۲۲ bcd
شاهد	۴	۷/۶۵def	۹/۵۶e	۰/۲۴ij	۸/۹۰ch	۲/۲۶bcd
	۸	۸/۱۳cde	۴/۹۰hij	۰/۲۲j	۱۱/۴۸ab	۲/۷۰ab
	۲۲	۸/۲۸ cd	۸/۷۹ ef	۰/۳۱ hi	۷/۹۲ d-j	۲/۷۳ ab
	۰	۵/۰۱ ij	۱۵/۲۷d	۰/۴۱ fg	۶/۲۴ ij	۱/۱۰ ghi
	۲	۵/۳۴hij	۱۸/۶۱bc	۰/۵۱cde	۶/۹۲f-j	۱/۳۲e-i
۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک	۴	۴/۳۵ j	۱۷/۸۷ bc	۰/۴۷ def	۶/۷۴ g-j	۱/۰۲ hi
	۸	۷/۵۴def	۱۸/۸۳abc	۰/۴۷def	۶/۶۴hij	۰/۸۹i
	۲۲	۴/۶۶j	۱۹/۴۶ab	۰/۲۵ ij	۸/۲۱ d-i	۱/۷۶ c-h
	۰	۵/۹۳ ghi	۱۸/۸۸ abc	۰/۵۶ bc	۷/۰۱ f-j	۱/۵۴ d-i
	۲	۵/۹۳ ghi	۱۷/۶۰ c	۰/۶۱ b	۹/۷۱ b-e	۱/۷۱ c-i
۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک	۴	۵/۴۵hij	۲۰/۵۷a	۰/۵۵bcd	۵/۶۶j	۱/۲۷f-i
	۸	۶/۶۹fg	۱۹/۱۷abc	۰/۶۰b	۹/۲۱b-g	۱/۴۴d-i
	۲۲	۸/۲۶ cd	۱۹/۰۴ abc	۰/۳۵ gh	۱۱/۳۵ abc	۱/۶۵ c-i
	۰	۶/۱۲ ghi	۵/۸۲hij	۰/۵۱ cde	۷/۲۹ e-j	۱/۷۵ c-i
	۲	۱۰/۲۴ab	۷/۵۵fgh	۰/۵۶bc	۷/۴۴ej	۱/۹۰b-g
۱۵ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک	۴	۱۰/۹۶ a	۵/۳۲ ijk	۰/۳۳ h	۷/۰۷ f-j	۱/۸۶ b-h
	۸	۱۰/۱۱ab	۵/۷۷jk	۰/۳۴gh	۸/۳۰d-i	۲/۱۸b-e
	۲۲	۶/۵۶fgh	۳/۸۸k	۰/۴۵ ef	۱۳/۲۲ a	۳/۲۰ a
	۰	۶/۷۳ fg	۵/۸۴ hij	۰/۶۲ b	۹/۳۶ b-f	۲/۰۲ b-f
	۲	۸/۰۲ de	۸/۰۰ ef	۰/۸۶ a	۹/۲۵ bg	۱/۹۱ b-g
۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک	۴	۶/۹۵ efg	۵/۲۸ijk	۰/۴۹cdef	۸/۷۱d-i	۲/۱۳b-f
	۸	۱۰/۴۱ab	۷/۰۸f-i	۰/۴۷def	۱۰/۳۴bcd	۲/۲۸bcd
	۲۲	۹/۲۶ bc	۷/۶۶ fg	۰/۴۸ def	۱۰/۰۵ bcd	۲/۵۲ abc

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۴ـ مقایسه میانگین‌های جذب (mg/pot) عناصر پرمصرف و سدیم در ریشه آفتابگردان تحت اثر متقابل غرقاب و کود آلی

کود آلی	مدت غرقاب (روز)	سدیم	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم
	۰	۵۷/۳۷ b	۶۳/۴۳ efg	۱/۵۹ jk	۴۹/۳۳ g-i	۱۱/۷۶ d-h
	۲	۵۸/۲۷ b	۶۳/۱۹ efg	۱/۵۶ jk	۶۱/۹۵c-j	۱۴/۶۲b-f
شاهد	۴	۴۸/۷۶bcd	۹۵/۶۹de	۱/۵۶jk	۵۶/۹۹ d-j	۱۴/۴۵ b-f
	۸	۴۰/۸۵c-f	۳۸/۵۳g	۱/۱۰k	۵۶/۱d-j	۱۲/۵۴d-h
	۲۲	۵۰/۸ bcd	۸۴/۶۵ ef	۱/۹۰ h-k	۴۸/۳۵ g-j	۱۶/۷۲ a-e
	۰	۳۰/۷۴ f	۱۴۵/۷ c	۲/۵۱ g-j	۳۸/۲۹ i	۶/۷۹ h
	۲	۳۶/۴def	۱۹۶/۶b	۳/۴۰d-g	۴۶/۸۱hij	۸/۹۹fgh
۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک	۴	۳۲/۹۸ ef	۲۱۱/۳ b	۳/۵۲ d-g	۵۰/۸۱ f-j	۷/۶۷ gh
	۸	۵۷/۹۸b	۲۲۵/۷ab	۳/۶۳c-g	۵۰/۹۰f-j	۶/۸۱h
	۲۲	۳۱/۰۷f	۲۰۲/۲b	۱/۶۵ijk	۵۴/۵۴e-j	۱۱/۵۹dh
	۰	۴۰/۸۳ c-f	۲۰۱/۵ b	۳/۹۲ b-f	۴۷/۹۳ g-i	۱۰/۷۵ e-h
	۲	۴۸/۱۵ b-e	۲۲۱/۶ ab	۴/۹۶ bc	۷۷/۹۴a-e	۱۳/۶۳c-g
۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک	۴	۴۰/۳۶c-f	۲۳۷/۹ab	۴/۰۴b-f	۴۱/۸۴ ij	۹/۳۹ fgh
	۸	۵۷/۵۳b	۲۵۸/۳a	۵/۱۷b	۸۰/۲۴a-d	۱۲/۳۴d-h
	۲۲	۵۹/۲۶ b	۲۱۳/۱ b	۲/۴۹ g-i	۸۱/۶۰ abc	۱۱/۷۴ d-h
	۰	۵۶/۶۳ bc	۸۴/۰۴ ef	۴/۷۴ bcd	۶۷/۰۹ b-h	۱۶/۱۶ a-e
	۲	۸۷/۰۳a	۱۰۰/۵de	۴/۷۶bcd	۶۳/۳۴c-i	۱۶/۱۳abc
۱۵ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک	۴	۸۰/۹۵ a	۶۱/۰۱ efg	۲/۴۰ g-k	۵۲/۱ f-i	۱۳/۶۸ a-d
	۸	۸۲/۳۳a	۷۳/۵۲efg	۲/۷۷f-j	۶۸/۰۱b-h	۱۷/۷۰c-g
	۲۲	۴۴/۲۶b-f	۴۰/۶۸fg	۳/۰۳e-i	۸۸/۸۶ab	۲۱/۵۶a
	۰	۵۳/۵۸ bc	۷۲/۷۹ ef	۴/۹۸ bc	۷۴/۵۴ a-f	۱۶/۰۷ a-e
	۲	۸۲/۴۲ a	۱۲۸ cd	۹/۰۱ a	۹۶/۲۸a	۱۹/۷۹abc
۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک	۴	۵۷/۴۲b	۶۷/۹۳efg	۴/۰۸b-f	۷۲/۸۶ a-g	۱۷/۷۶ a-d
	۸	۹۴/۵۶a	۱۰۰/۴de	۴/۳۲b-e	۹۴/۰۳a	۲۰/۳۲ab
	۲۲	۵۷/۱ b	۷۴/۶۷ efg	۲/۹۷ e-i	۶۱/۸۱ c-j	۱۶/۰۷ a-e

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

غلظت و جذب کلسیم در ریشه و بخش هوایی

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کود آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر غلظت کلسیم بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب و کود آلی (جدول ۷) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، غلظت کلسیم بخش هوایی ابتدا در دو سطح ۴ و ۸ روز غرقاب کاهش یافت ولی دوباره در سطح ۲۲ روز غرقاب افزایش یافت. کاهش اولیه غلظت کلسیم بخش هوایی را می‌توان به صدمه ناشی از غرقاب و اثر رقابت یون‌های آمونیوم، پتاسیم و منیزیم با کلسیم در جذب مربوط دانست. در شرایط غرقاب، غلظت یون‌های آمونیوم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول خاک افزایش می‌یابد (۲۳، ۳۳ و ۴۱)؛ افزایش غلظت آمونیوم، پتاسیم و منیزیم می‌تواند به کاهش جذب کلسیم به‌وسیله گیاه منجر شود. به‌نظر می‌رسد کم بودن نقاط جذب کلسیم در ریشه که محدود به قسمت‌های نوک ریشه می‌باشد (۲۸)، نیز در این پدیده بی‌تأثیر نباشد. افزایش مجدد غلظت کلسیم بخش هوایی در ۲۲ روز غرقاب ممکن است به کاهش ماده خشک بخش هوایی و وقوع اثر تغلیظ مربوط باشد (۲۸). پس از غرقاب شدن خاک، افزایش غلظت کلسیم برگ‌های پنبه به‌وسیله هاکینگ و همکاران (۲۲)، کاهش غلظت کلسیم پهنک برگ گیاه انگور رقم سلطانا به‌وسیله استونس و پریور (۴۹)، کاهش غلظت کلسیم بخش هوایی یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (۴۷) و افزایش مقدار کلسیم موجود در برگ‌های یک گیاه دارویی به‌وسیله نیکام و چوان (۳۵) گزارش شده است. دلایل این نتایج متفاوت قبلاً در بخش فسفر بیان گردید.

مصرف ۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک تغییر معنی‌داری در غلظت کلسیم بخش هوایی ایجاد نکرد ولی افزودن ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۱۵ گرم لجن‌فاضلاب بر کیلوگرم خاک، غلظت کلسیم بخش هوایی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. مصرف ۳۰ گرم لجن‌فاضلاب بر کیلوگرم خاک، غلظت کلسیم بخش هوایی را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۷). این پدیده می‌تواند ناشی از افزایش ماده خشک بخش هوایی و وقوع اثر رقت باشد (۲۸). یگانه (۹) افزایش غلظت کلسیم محلول و تبادلی خاک را با افزودن

Archive of SID

www.SID.ir

لجن فاضلاب گزارش کرد. بیشترین غلظت کلسیم بخش هوایی (۱۷/۸۶ mg/g dw) در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۲۲ روز غرقاب و کمترین آن (۷/۹۶ mg/g dw) در تیمار ۳۰ گرم لجن‌فاضلاب بر کیلوگرم خاک و ۴ روز غرقاب بود هر چند که با برخی تیمارها از لحاظ آماری تفاوت نداشت (جدول ۱۱).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کود آلی بر جذب کلسیم در بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، جذب کلسیم در بخش هوایی کاهش یافت (جدول ۸). کاهش معنی‌دار جذب کلسیم در بخش هوایی در ۲۲ روز غرقاب با وجود افزایش غلظت کلسیم بخش هوایی را می‌توان به کاهش ماده خشک گیاه نسبت داد. با مصرف هر دو نوع کود آلی جذب کلسیم در بخش هوایی افزایش یافت. با کاربرد ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک جذب کلسیم نسبت به سطح ۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک افزایش یافت. جذب کلسیم در سطح ۱۵ گرم لجن‌فاضلاب بر کیلوگرم خاک بیشتر از ۳۰ گرم لجن‌فاضلاب بر کیلوگرم خاک بود (جدول ۸) که ناشی از کاهش غلظت کلسیم بخش هوایی در سطح دوم بود. در سطح بدون کود آلی تأثیر غرقاب بر جذب کلسیم در بخش هوایی معنی‌دار نبود ولی در سایر سطوح کود آلی معنی‌دار بود (جدول ۱۲). معنی‌دار نبودن اثر غرقاب بر جذب کلسیم در بخش هوایی در سطح بدون کود آلی را می‌توان به اثر کود آلی بر کاهش پتانسیل ریداکس خاک، مصرف اکسیژن برای تجزیه مواد آلی، افزایش جمعیت میکروبی و افزایش تنفس میکروبی و مصرف اکسیژن بیشتر به‌وسیله آن‌ها نسبت داد که تنش کمبود اکسیژن را تشدید می‌کند (۲۸). بیشترین جذب کلسیم در بخش هوایی (۵۲۳/۵ mg/pot) در تیمار ۱۵ گرم لجن‌فاضلاب بر کیلوگرم خاک و بدون غرقاب و کمترین آن (۲۱۳/۰ mg/pot) در تیمار ۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۲۲ روز غرقاب بود هرچند که با برخی تیمارها تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۲).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کود آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر غلظت کلسیم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با غرقاب شدن خاک، غلظت کلسیم ریشه در ۲ روز غرقاب افزایش یافت و پس از یک کاهش در ۴ روز غرقاب، مجدداً افزایش یافت و در ۲۲ روز غرقاب به حداکثر مقدار خود رسید (جدول ۹). اسمتورست و همکاران (۴۷) گزارش دادند که غلظت کلسیم ریشه یونجه پس از غرقاب شدن خاک کاهش یافت. کاربرد ۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک، غلظت کلسیم ریشه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد ولی کاربرد ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و نیز هر دو سطح از لجن فاضلاب اثر معنی‌داری بر غلظت کلسیم ریشه نداشت. به‌طور کلی، چند عامل هم‌زمان غلظت کلسیم ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهند که عبارتند از: ۱) سرعت جذب کلسیم به‌وسیله ریشه، ۲) سرعت رشد ریشه و ۳) سرعت انتقال کلسیم به اندامهای هوایی. اگر سرعت رشد ریشه بیشتر از سرعت جذب کلسیم به‌وسیله ریشه باشد، با توجه به انتقال بخشی از کلسیم جذب شده به اندامهای هوایی، غلظت کلسیم ریشه کاهش می‌یابد. بیشترین غلظت کلسیم ریشه (۱۳/۲۲ mg/g dw) در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۲۲ روز غرقاب بود (جدول ۱۳).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر غرقاب و کود آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر جذب کلسیم در ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب و کود آلی (جدول ۱۰) نشان داد که دو روز پس از غرقاب شدن خاک جذب کلسیم در ریشه افزایش یافت و پس از یک کاهش در ۴ روز غرقاب مجدداً افزایش یافت و روند تغییرات آن مشابه روند تغییرات غلظت کلسیم ریشه بود. با این حال، میان جذب کلسیم در ریشه و غلظت کلسیم ریشه رابطه خطی $Ca_{up}=6.411(Ca_{con})+8.67$ با $r^2=0.528^{**}$ مشاهده گردید که نشان می‌دهد ۵۲/۸ درصد تغییرات جذب کلسیم در ریشه به تغییرات غلظت کلسیم مربوط است و ۴۷/۲ درصد تغییرات آن به تغییرات ماده خشک ریشه مربوط می‌باشد. با کاربرد هر دو نوع کود آلی جذب کلسیم در ریشه افزایش یافت. کاربرد ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۱۵ و ۳۰ گرم لجن‌فاضلاب بر کیلوگرم خاک جذب کلسیم در ریشه را افزایش داد ولی اثر ۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک معنی‌دار نبود (جدول ۱۰). تأثیر مدت غرقاب شدن خاک بر جذب کلسیم در ریشه به سطوح کود آلی مصرفی بستگی داشت و بر عکس. به‌طوری که اثر غرقاب بر جذب کلسیم در ریشه در دو سطح شاهد و ۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک معنی‌دار نبود ولی در سایر سطوح معنی‌دار بود (جدول ۱۴). دلایل این اثرات قبلاً ذکر گردیده است. بیشترین جذب کلسیم ریشه (۹۶/۲۸ mg/pot) در تیمار ۳۰ گرم لجن‌فاضلاب بر کیلوگرم خاک و ۲ روز غرقاب و کمترین آن (۳۸/۲۹ mg/pot) در تیمار ۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و بدون غرقاب بود هر چند که با برخی تیمارها از لحاظ آماری تفاوت نداشت. تقریباً در تمام تیمارها فاکتور انتقال کلیسم بیشتر از یک (با میانگین ۱/۵۹) بود که بیانگر تجمع کلسیم در بخش هوایی گیاه آفتابگردان بود. مقایسه میانگین‌ها با آزمون تی نمونه‌های جفتی نیز نشان داد که غلظت کلسیم بخش هوایی به‌طور معنی‌داری از ریشه‌ها بیشتر بود.

غلظت و جذب منیزیم در ریشه و بخش هوایی

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی کود آلی و غرقاب و نیز اثر متقابل آنها بر غلظت منیزیم بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب (جدول ۷) نشان داد که غلظت منیزیم بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب شدن خاک تا ۸ روز تغییر

Archive of SID

www.SID.ir

معنی‌داری نکرد ولی در ۲۲ روز غرقاب افزایش یافت. اسلام و اسلام (۲۳) گزارش دادند که پس از غرقاب شدن خاک غلظت منیزیم محلول خاک افزایش می‌یابد. افزایش غلظت منیزیم بخش هوایی در ۲۲ روز غرقاب ممکن است ناشی از کاهش ماده خشک بخش هوایی و وقوع اثر تغلیظ باشد. پس از غرقاب شدن خاک، افزایش غلظت منیزیم برگهای پنبه به‌وسیله هاکینگ و همکاران (۲۲)، افزایش غلظت منیزیم پهنک برگ انگور رقم سلطانا به‌وسیله استونس و پریور (۴۹) و کاهش غلظت منیزیم بخش هوایی یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (۴۷) گزارش شده است.

مقایسه میانگین‌های اثر اصلی کودهای آلی (جدول ۷) نشان داد که غلظت منیزیم بخش هوایی با کاربرد سطح اول لجن فاضلاب افزایش یافت ولی اثر سطح دوم آن و هر دو سطح کود دامی معنی‌دار نبود. یگانه (۹) افزایش منیزیم محلول و تبادلی خاک را با کاربرد لجن فاضلاب گزارش کرد. بیشترین غلظت منیزیم بخش هوایی (mg/g ۲/۵۸ dw) در تیمار بدون کود آلی و ۲۲ روز غرقاب و کمترین آن (۰/۸۰ mg/g dw) در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و بدون غرقاب بود هر چند که با برخی تیمارها از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۱).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی کود آلی و اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی بر جذب منیزیم در بخش هوایی معنی‌دار بود. اثر اصلی غرقاب بر جذب منیزیم در بخش هوایی معنی‌دار نبود (جدول ۴). با این حال، نیکام و چوان (۳۵) افزایش مقدار منیزیم موجود در برگ‌های یک گیاه دارویی را پس از غرقاب شدن خاک گزارش دادند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد هر دو سطح لجن فاضلاب جذب منیزیم در بخش هوایی را نسبت به شاهد افزایش داد ولی اثر کود دامی معنی‌دار نبود (جدول ۸). بیشترین جذب منیزیم در بخش هوایی (۶۷/۲۰ mg/pot) در تیمار ۱۵ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و ۴ روز غرقاب و کمترین آن (mg/pot ۱۸/۴۰) در تیمار بدون کود آلی و ۴ روز غرقاب بود (جدول ۱۲).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کود آلی بر غلظت منیزیم ریشه معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۹) نشان داد که با غرقاب شدن خاک غلظت منیزیم ریشه به‌تدریج افزایش یافت و در ۲۲ روز غرقاب با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشت. میان مدت غرقاب شدن خاک (روز) و غلظت منیزیم ریشه (mg/g dw) رابطه خطی $Mg_{con}=0.033(Time)+1.634$ با $r^2=0.951^{**}$ مشاهده گردید. این رابطه نشان می‌دهد که در گستره زمان‌های مورد مطالعه در این بررسی، می‌توان غلظت منیزیم ریشه را در زمان‌های مختلف غرقاب شدن خاک با دقت خوبی پیش‌بینی کرد. کاهش غلظت منیزیم ریشه یونجه پس از غرقاب شدن خاک به‌وسیله اسمتورست و همکاران (۴۷) گزارش شده است. کاربرد کود دامی غلظت منیزیم ریشه را نسبت به شاهد کاهش داد. این نتیجه را می‌توان به رابطه آنتاگونیستی منیزیم با یون‌های کلسیم و پتاسیم نسبت داد (۲۸). با مصرف کود دامی جذب و غلظت پتاسیم در ریشه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول‌های ۹ و ۱۰). در نتیجه، احتمالاً به‌دلیل اثر رقابتی با منیزیم بر سر استفاده از ناقل‌های موجود در غشای سلول‌ها، جذب منیزیم کاهش یافت. غلظت منیزیم ریشه در هر دو سطح لجن فاضلاب با شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۹). تأثیر غرقاب بر غلظت منیزیم ریشه بسته به سطح کود آلی مصرفی متفاوت بود و برعکس. بیشترین غلظت منیزیم ریشه (۳/۲ mg/g dw) در تیمار ۱۵ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و ۲۲ روز غرقاب و کمترین آن (۰/۸۹ mg/g dw) در تیمار ۱۵ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۸ روز غرقاب مشاهده گردید هر چند که با برخی تیمارها از لحاظ آماری تفاوت نداشت (جدول ۱۳).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کود آلی بر جذب منیزیم در ریشه معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که جذب منیزیم در ریشه با افزایش مدت غرقاب شدن خاک تا ۸ روز تغییر معنی‌داری نکرد ولی در ۲۲ روز غرقاب افزایش یافت (جدول ۱۰). این افزایش را می‌توان به افزایش غلظت منیزیم ریشه نسبت داد (جدول ۹). جذب منیزیم در ریشه با کاربرد کود دامی نسبت به شاهد کاهش یافت که ناشی از کاهش غلظت منیزیم ریشه بود (جدول ۹)؛ در حالی که با کاربرد لجن فاضلاب افزایش یافت که با توجه به جدول ۹ این افزایش ناشی از افزایش ماده خشک بود. میانگین فاکتور انتقال منیزیم در تیمارهای مختلف ۰/۷۹ بود. مقایسه میانگین‌ها با آزمون تی نمونه‌های جفتی نشان داد که غلظت منیزیم بخش هوایی آفتابگردان به‌طور معنی‌داری از ریشه کمتر بود.

غلظت و جذب سدیم در ریشه و بخش هوایی

تجزیه واریانس نشان داد که اثر غرقاب، کودهای آلی و اثر متقابل آنها بر غلظت سدیم بخش هوایی آفتابگردان معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش طول دوره غرقاب شدن خاک، غلظت سدیم بخش هوایی افزایش یافت (جدول ۷) که با نتایج مارشنر (۲۸) در آفتابگردان، هاکینگ و همکاران (۲۲) و میلروی و همکاران (۳۱) در پنبه، استونس و پریور (۴۹) در گیاه انگور رقم سلطانا و اسمتورست و همکاران (۴۷) در بخش هوایی یونجه مطابقت داشت. با غرقاب شدن خاک غلظت سدیم محلول در آب خاک افزایش می‌یابد؛ زیرا غلظت NH_4^+، Fe^{2+} و Mn^{2+} در محلول خاک در شرایط غرقاب زیاد شده و به جایگاه‌های تبادلی حمله کرده و سدیم‌ها را به محلول خاک آزاد می‌کنند در نتیجه غلظت سدیم محلول خاک افزایش می‌یابد (۲۳، ۳۳ و ۴۱) و به‌دنبال آن جذب

Archive of SID

www.SID.ir

سدیم به‌وسیله گیاه افزایش می‌یابد. رابطه $Na_{con}=-0.002(Time)^2+0.144(Time)+2.632$ با $R^2=0.936^{**}$ میان غلظت سدیم بخش هوایی (درصد) و مدت غرقاب (روز) مشاهده گردید. این رابطه نشان می‌دهد که ۹۳/۶ درصد از تغییرات غلظت سدیم بخش هوایی به مدت غرقاب مربوط است. بنابراین، با استفاده از این معادله می‌توان تغییرات غلظت سدیم بخش هوایی را در زمان‌های مختلف پس از غرقاب با دقت خوبی برآورد کرد.

مقایسه میانگین‌های اثر اصلی کودهای آلی نشان داد که با مصرف هر دو نوع کود آلی و افزایش سطح مصرفی آن‌ها غلظت سدیم بخش هوایی افزایش یافت. مقدار این افزایش با مصرف کود دامی بیشتر از لجن فاضلاب بود؛ به‌طوری که بیشترین غلظت سدیم بخش هوایی با کاربرد ۳۰ گرم کود دامی به‌دست آمد. نتایج تجزیه شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده (جدول ۲) نشان داد که غلظت سدیم قابل‌جذب کود دامی حدود ۷۰ برابر خاک و لجن فاضلاب حدود ۸/۵ برابر خاک بود. لذا، با کاربرد کود دامی نسبت به لجن فاضلاب، غلظت سدیم قابل‌جذب خاک بیشتر افزایش یافته و در نتیجه سدیم بیشتری بوسیله گیاه جذب شده است. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی نشان داد که تأثیر منبع و مقدار کود آلی بر غلظت سدیم بخش هوایی به مدت غرقاب شدن خاک بستگی داشت و برعکس. بیشترین غلظت سدیم بخش هوایی (۷۰۲ mg/kg dw) در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۲۲ روز غرقاب بود در حالی که کمترین غلظت سدیم بخش هوایی (۱۶۸ mg/kg dw) در تیمار بدون کود آلی و بدون غرقاب بود هرچند که با سطح اول لجن فاضلاب در شرایط بدون غرقاب تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۱).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کودهای آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر جذب سدیم در بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب و کودهای آلی (جدول ۸) نشان داد که ۲ روز پس از غرقاب شدن خاک جذب سدیم در بخش هوایی آفتابگردان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی پس از آن با افزایش مدت غرقاب تغییر معنی‌داری نکرد. افزایش اولیه جذب سدیم در بخش هوایی ناشی از افزایش غلظت سدیم بخش هوایی بر اثر غرقاب شدن خاک (جدول ۷) بود و عدم تغییر معنی‌دار آن با افزایش زمان غرقاب ناشی از کاهش ماده خشک بخش هوایی گیاه از یک طرف و افزایش غلظت سدیم بخش هوایی از طرف دیگر بود؛ در نتیجه حاصل‌ضرب آن‌ها (جذب) تغییر معنی‌داری نکرد. بررسی ما نشان داد که با افزایش مدت غرقاب ماده خشک بخش هوایی کاهش یافت (داده‌ها ارائه نشده است).

با مصرف هر دو نوع کود آلی و افزایش سطح مصرفی آن‌ها، جذب سدیم در بخش هوایی آفتابگردان افزایش یافت (جدول ۸). این افزایش ناشی از افزایش غلظت سدیم بخش هوایی (جدول ۷) و افزایش ماده خشک بخش هوایی بود. نظری و همکاران (۸) افزایش جذب سدیم در بخش هوایی گیاهان گندم، جو و ذرت را بر اثر کاربرد لجن فاضلاب در خاک گزارش نمودند و بیان کردند که این افزایش به غلظت سدیم لجن فاضلاب مربوط است. سامرز و همکاران (۴۸) بیان داشتند که پساب‌ها و لجن فاضلاب به‌دلیل شوری زیاد دارای غلظت نسبتاً زیاد سدیم می‌باشند و در کاربردهای کشاورزی مخصوصاً در پرورش گیاهان حساس، غلظت این عنصر در خاک و گیاه، باید مورد توجه قرار گیرد. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی (جدول ۱۲) نشان داد که تأثیر منبع و مقدار کود آلی بر جذب سدیم در بخش هوایی به مدت غرقاب شدن خاک بستگی داشت و برعکس. بیشترین جذب سدیم در بخش هوایی (۵/۰۳ mg/pot) در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۲۲ روز غرقاب مشاهده شد هر چند که با تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک و ۸ روز غرقاب تفاوت معنی‌دار نداشت.

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کودهای آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر غلظت سدیم ریشه معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب و کودهای آلی بر غلظت سدیم ریشه (جدول ۹) نشان داد که با افزایش طول دوره غرقاب شدن خاک، تغییرات غلظت سدیم ریشه روند ثابتی نداشت ولی در هر حال غلظت سدیم ریشه در شرایط غرقاب بیشتر از شرایط غیرغرقاب بود. اسمتورست و همکاران (۴۷) افزایش غلظت سدیم ریشه یونجه را پس از غرقاب شدن خاک گزارش دادند. غلظت سدیم ریشه با کاربرد کود دامی کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد که این کاهش از یک طرف ناشی از افزایش ماده خشک ریشه و وقوع اثر رقت و از طرف دیگر ناشی از افزایش ماده خشک بخش هوایی و انتقال بیشتر سدیم به بخش هوایی می‌باشد. شاید به‌دلیل برآیند اثر همین عامل‌ها است که غلظت سدیم ریشه در سطح ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت.

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی (جدول ۱۳) نشان داد که تأثیر مدت غرقاب شدن خاک بر غلظت سدیم ریشه به منبع و مقدار کود آلی بستگی داشت و برعکس؛ به‌طوری که در سطح بدون کود آلی تأثیر غرقاب بر غلظت سدیم ریشه معنی‌دار نبود ولی در سایر سطوح هر دو نوع کود آلی معنی‌دار بود. این نتایج نشان می‌دهد که افزودن ماده آلی تأثیر غرقاب را تشدید می‌کند. بیشترین غلظت سدیم ریشه در شرایط غرقاب و با کاربرد لجن فاضلاب به‌دست آمد.

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب و کود آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر جذب سدیم در ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب و کود آلی (جدول ۱۰) نشان داد که اثر غرقاب بر جذب سدیم در ریشه روند ثابتی نداشت و روند تغییرات آن کاملاً مشابه روند تغیرات غلظت این عنصر در ریشه بود. مقدار جذب سدیم در ریشه فقط با کاربرد هر دو

Archive of SID

www.SID.ir

سطح لجن فاضلاب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. مقدار جذب سدیم در ریشه میان سطح دوم کود دامی و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی سطح اول از شاهد کمتر بود که با توجه به جدول ۹ این تغییرات با تغییرات غلظت سدیم ریشه مطابقت داشت. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل غرقاب و کودهای آلی (جدول ۱۴) نشان داد که بیشترین جذب سدیم در ریشه در تیمار ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و ۸ روز غرقاب بود؛ هرچند با برخی تیمارها از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار نداشت. میان جذب سدیم در ریشه و غلظت سدیم ریشه رابطه خطی با $r=0.856^{**}$ مشاهده گردید. بنابراین، بخش عمده تغییرات جذب سدیم در ریشه ناشی از تغییرات غلظت سدیم می‌باشد. در تمام تیمارها فاکتور انتقال کمتر از یک بود (به‌طور میانگین ۰/۰۵) که نشان می‌دهد گیاه آفتابگردان سدیم را در ریشه انباشته کرد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون تی نمونه‌های جفتی نشان داد که غلظت سدیم بخش هوایی آفتابگردان به‌طور معنی‌داری از ریشه کمتر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، جذب و غلظت P و K در ریشه و بخش هوایی، غلظت Ca و Na در ریشه، غلظت Mg بخش هوایی، جذب Ca و Mg در ریشه و جذب و غلظت Na در بخش هوایی آفتابگردان افزایش یافت ولی جذب و غلظت P در ریشه و جذب K در ریشه و بخش هوایی مجدداً کاهش یافت. با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، جذب و غلظت Ca در بخش هوایی کاهش یافت ولی غلظت Ca در بخش هوایی دوباره افزایش یافت. اثر غرقاب شدن خاک بر جذب Mg در بخش هوایی معنی‌دار نبود. با کاربرد کود دامی و لجن فاضلاب و افزایش سطح مصرفی آن‌ها جذب و غلظت P در ریشه و بخش هوایی، جذب Ca در ریشه و بخش هوایی و جذب و غلظت Na در بخش هوایی افزایش یافت. جذب و غلظت K در بخش هوایی با کاربرد کود دامی و افزایش سطح مصرفی آن افزایش یافت ولی با مصرف لجن فاضلاب کاهش یافت. تأثیر غرقاب شدن خاک بر جذب و غلظت عناصر پرمصرف و سدیم در ریشه و بخش هوایی به منبع و مقدار کود آلی مصرفی بستگی داشت و برعکس. حتی دوره‌های کوتاه غرقاب شدن خاک (۲ روز) بر غلظت‌های عناصر پرمصرف و سدیم در گیاه آفتابگردان اثرات طولانی مدت داشت. به‌طور کلی، گیاه آفتابگردان P، Mg و Na را در ریشه و Ca را در بخش هوایی انباشته کرد در حالی‌که غلظت K در ریشه تفاوت معنی‌داری با بخش هوایی نداشت.

منابع

۱- صوفی ر.س.، و جانمحمدی ح. ۱۳۸۸. تغذیه دام. ویرایش ششم، انتشارات عمیدی، تبریز، ایران.

۲- عرشی ی. ۱۳۷۳. علوم و تکنولوژی آفتابگردان (ترجمه). انتشارات اداره کل پنبه و دانه‌های روغنی ایران، تهران.

۳- کافی م.، زند ا.، کامکار ب.، شریفی ح.ر.، و گلدانی م. ۱۳۷۸. فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

۴- کلباسی م. ۱۳۷۵. وضعیت مواد آلی در خاکهای ایران و نقش کود کمپوست. خلاصه مقالات پنجمین کنگره علوم خاک ایران، ۱۰ تا ۱۳ شهریور، آموزشکده کشاورزی کرج، کرج، ایران.

۵- کلباسی م.، و حسین‌پور ع. ۱۳۷۶. اثر مانداب شدن موقت سه خاک آهکی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و تغییرات آنها پس از زهکشی. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۳: ۴۹-۵۸.

۶- میرنظامی ض.ح. ۱۳۸۰. فن‌آوری روغن و پالایش آن. نشر علوم دانشگاهی، تهران، ایران.

۷- نجفی ن.، و توفیقی ح. ۱۳۸۶. تغییرات فسفر قابل‌جذب و شکلهای فسفر معدنی پس از غرقاب در خاکهای شالیزاری شمال ایران. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، ۶-۴ شهریور، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۸- نظری م.ع.، شریعتمداری ح.، افیونی م.، مبلی م.، و رحیلی ش. ۱۳۸۵. اثر کاربرد پساب و لجن فاضلاب بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم شماره سوم(الف): ۹۷-۱۱۰.

۹- یگانه م. ۱۳۸۳. اثر لجن فاضلاب بر پارامترهای شوری و فلزات سنگین در پروفیل یک خاک آهکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

10- Bolan N.S., and Duraisamy V.P. 2003. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilisation and phytoavailability of heavy metals: A review involving specific case studies. Australian Journal of Soil Research, 41:533-555.

11- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agronomy Journal, 54: 494-465.

12- Brady N.C., and Weil R.R. 1999. The Nature and Properties of Soils. Twelfth Edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA.

Archive of SID

www.SID.ir

13- Brollier S., Smith S.R., Henry C.L., and Harrison R.B. 1992. Changes in soil chemistry. Seventeen years of municipal sludge application in forests. Agronomy Abstracts, 33.
14- Chen H., Qualls R.G., and Blank R.R. 2005. Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. Aquatic Botany, 82: 250-268.
15- Claassen N., and Jones D.L. 2004. Phosphorus solubilization by citrate in soils of low P availability: Effect and mechanisms. Rhizosphere International Congress Abstracts, Session 9, p. 145, 12-17 September, Munich, Germany.
16- Das M., and Maiti S.K. 2007. Metal accumulation in 5 native plants growing on abandoned CU-tailings ponds. Applied Ecology and Environmental Research, 5: 27-35.
17- Drew M.C., and Sisworo E.J. 1979. The development of waterlogging damage in young barley plants in relation to plant nutrient status and changes in soil properties. New Phytologist, 82: 301-314.
18- Gouim F.R. 1985. Growth of hardy chrysanthemums in containers of media amended with composted municipal sewage sludge. Journal of Environmental Horticulture, 3: 53-55.
19- Grassini P., Indaco G.V., Pereira M.L., Hall A.J., and Trapani N. 2007. Responses to short-term waterlogging during grain filling in sunflower. Field Crops Research, 101:352-363.
20- Gupta P.K. 2000. Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Delhi, India.
21- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., and Nelson W.L. 2004. Soil Fertility and Fertilizers an Introduction to Nutrient Management. 7th Edition, Prentice Hall, USA.
22- Hocking P.J., Reicosky D.C., and Meyer W.S. 1987. Effects of intermittent waterlogging on the mineral nutrition of cotton. Plant and Soil, 101 (2): 211-221.
23- Islam A., and Islam W. 1973. Chemistry of submerged soils and growth and yield of rice. I. Benefits from submergence. Plant and Soil, 39: 555-565.
24- Jamil M., Qacim M., and Umar M. 2006. Utilization of sewage sludge as organic fertilizer in sustainable agriculture. Journal of Applied Science, 6: 531-535.
25- Knudsen D., Peterson G.A., and Pratt P.F. 1982. Lithium, sodium, and potassium. pp. 225-246. In: A. L. Page (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2. ASA-SSA, Madison, WI., USA.
26- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society American Journal, 42: 421-428.
27- Malik A.I., Colmer T.D., Lambers H., Seher T.L., and Schortemeyer M. 2002. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. New Phytologist, 153: 225-236.
28- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition, Academic Press, USA.
29- Mclean E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. pp. 199-224. In: A. L, Page, R .H, Miller and D. R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition, Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison USA.
30- Meena S.P., Senthilvalavan P., Malarkodi M., and Kaleeswari R.K. 2007. Residual effect of phosphorus from organic manures in sunflower- assessment using radio tracer technique. Research Journal of Biological Sciences, 3: 377-379.
31- Milroy S.P., Bange M.P., and Thongbai P. 2009. Cotton leaf nutrient concentrations in response to waterlogging under field conditions. Field Crops Research, 113: 246-255.
32- Najafi N., and Towfighi H. 2008. Changes in pH, EC and concentration of phosphorus in soil solution during submergence and rice growth period in some paddy soils of North of Iran. P. 555-567. In Proceedins of the International Meeting on Soil Fertility, Land Management, and Agroclimatology, 29 October - 1 November, 2008, Kusadasi, Turkey.
33- Narteh L.T., and Sahrawat K.L. 1999. Influence of flooding on electrochemical and chemical properties of West African soils. Geoderma, 87: 179-207.
34- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539-579. In: A. L. Page et al. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part II. 2nd ed. ASA, SSSA, Madison, WI. USA.
35- Nikam V.K., and Chanav P.D. 2009. Influence of water deficit and waterlogging on the mineral status of a medicinal plant Chlorophytum borivilianum. Acta Botanica Hungarica, 51: 105-113.
36- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. pp. 403-430. In: Page et al. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part II. 2ed. ASA, SSSA, Madison, WI. USA.
37- Orchard P.W., and Jessop R.S. 1984. The response of sorghum and sunflower to short-term waterlogging. I. Effects of stage of development and duration of waterlogging on growth and yield. Plant and Soil, 81:119-132.
38- Orchard P.W., Jessop R.S., and So H.B. 1986. The response of sorghum and sunflower to short-term waterlogging. IV. Water and nutrient uptake effects. Plant and Soil, 91:87-100.
39- Patrick W.H., Jr., and Reddy K.R. 1978. Chemical changes in rice soils. P. 361-379. In: IRRI. Soil and Rice. Los Banos, Laguna, Philippines.
40- Peters J. 2003. Recommended Methods of Manure Analysis. Cooperative Extension Publishing, University of Wisconsin, USA.
41- Ponnamperuma F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy, 24: 29-96.

Archive of SID

www.SID.ir

42- Pressman A.H., and Buff S. 1997. Vitamins and Minerals. Alfa Books, Macmillan Company, NY, USA.
43- Richards L.A. 1969. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook. No. 60. USDA. USA.
44- Robbins C.W., Westermann D.T., and Freeborn L.L. 1999. Phosphorus forms and extractability from three sources in recently exposed calcareous subsoil. Soil Science Society American Journal, 63: 1717-1724.
45- Singh R.P., and Agrawal M. 2007. Effect of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* palnts. Chemosphere, 67: 2229-2240.
46- Singh R.P., and Agrawal M. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Management, 28: 347-358.
47- Smethurst C.F., Garnett T., and Shabala S. 2005. Nutritional and chlorophyll fluorescence responses of lucerne (*Medicago sativa*) to waterlogging and subsequent recovery. Plant and Soil, 270: 31-45.
48- Sommers L.E., Nelson D.W., and Yost K.J. 1976. Variable nature of chemical composition of sewage sludge. Journal of Environmental Quality, 5: 303-306.
49- Stevens R.M., and Prior L.D. 1994. The effect of transient waterlogging on the growth, leaf gas exchange, and mineral composition of potted Sultana grapevines. American Journal of Enology and Viticulture, 45: 285-290.
50- Trought M.C.T., and Drew M.C. 1980. The development of waterlogging damage in wheat seedlings *(Triticum aestivum L.)*. II. Accumulation and redistribution of nutrients by the shoot. Plant and Soil, 56: 187-199.
51- Waling I., Vark W.V., Houba V.J.G., and Van Der Lee J.J. 1989. Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, Netherland.
52- Westerman R.L. 1990. Soil Testing and Plant analysis. 3rd Edition, Soil Science Society of America Book Series, Number 3, Madison, Wisconsin, USA.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 619-636

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۶۳۶-۶۱۹

The Effect of Waterlogging, Sewage Sludge and Manure on Selected Macronutrients and Sodium Uptake in Sunflower Plant in a Loamy Sand Soil

N. Najafi[1*]- S. Mardomi[2]- Sh. Oustan[3]
Received: 14-12-2010
Accepted: 30-1-2011

Abstract

In a greenhouse experiment, the effects of waterlogging, sewage sludge and manure on the uptake and concentrations of P, K, Ca, Mg and Na in root and shoot of sunflower (*Helianthus annuus* L.) were investigated. A factorial experiment based on completely randomized design with three replications including duration of waterlogging at five levels (0, 2, 4, 8, 22 days), source of organic fertilizer at two levels (manure and sewage sludge) and each at three levels (0, 15, 30 grams per kg of soil) was conducted. The results showed that by increasing the duration of soil waterlogging, the P and K uptake and concentration in shoot and root, the concentration of Ca and Na in root, the Mg concentration in shoot, the uptake of Ca and Mg in root and the uptake and concentration of Na in shoot increased but P uptake and concentration in root and K uptake in root and shoot decreased again. By increasing the duration of soil waterlogging, the uptake and concentration of Ca in shoot decreased but the Ca concentration in shoot increased again. The effect of soil waterlogging on the Mg uptake in shoot was not significant. By application of sewage sludge and manure and increasing their amounts, the uptake and concentration of P in shoot and root, the uptake of Ca in shoot and root and the uptake and concentration of Na in shoot increased. The K uptake and concentration in shoot increased by application of manure and increasing its level while decreased by application of sewage sludge. The effect of soil waterlogging on the macronutrients and sodium uptake and concentrations in root and shoot was dependent on the source and amount of organic fertilizer and vice versa. The results demonstrated that even short periods of soil waterlogging (2 days) had considerable long-term effect on the concentrations of elements in plant. Generally, sunflower plant accumulated P, Mg and Na in root and Ca in shoot while the K concentration in root did not differ with shoot significantly.

Keywords: Macronutrients, Manure, Sewage sludge, Sodium, Sunflower, Waterlogging

Archive of SID

1,2,3- Assistant Professor, Former MSc Student and Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Respectively
(*- Corresponding Author Email: n-najafi@tabrizu.ac.ir)

www.SID.ir