نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) / الف / جلد 34 / شماره 1 / 1399
Archive of SID

اثر رطوبت خاک و لجن فاضلاب بر کارایی مصرف آب و غلظت برخی عناصر در گیاه یونجه

نصرت اله نجفی[1]، شهاب محمودی، محمدرضا نیشابوری و عادل ریحانی‌تبار

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز؛ n-najafi@tabrizu.ac.ir

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز؛ sh.mahmoudi.t@hotmail.com

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز؛ neyshmr@hotmail.com

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز؛ areyhani@tabrizu.ac.ir

دریافت: 98/3/7 و پذیرش: 98/11/27

چکیده

در این پژوهش اثر متقابل رطوبت خاک و لجن فاضلاب بر وزن شاخساره و ریشه تر، کارایی مصرف آب و غلظت برخی عناصر در یونجه (*Medicago sativa* L.) رقم قره‌یونجه در شرایط گلخانه‌ای در یک خاک لوم بررسی گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار شامل رطوبت خاک در سه محدوده 50–34، 75–56 و 100–81 درصد ظرفیت مزرعه‌ای و لجن فاضلاب در چهار سطح (0، 15، 30 و 60 گرم بر کیلوگرم خاک) انجام شد. در زمان گل‌دهی یونجه به میزان 10 درصد، وزن شاخساره و ریشه تر، غلظت نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، آهن، روی، مس، منگنز و کارایی مصرف آب یونجه تعیین شد. نتایج نشان داد که اثرهای اصلی و متقابل لجن فاضلاب و رطوبت خاک بر وزن شاخساره و ریشه تر، کارایی مصرف آب و غلظت عناصر یونجه معنادار بود ($p\leq0.01$)، با کاهش رطوبت خاک، وزن شاخساره و ریشه تر، کارایی مصرف آب، غلظت آهن ریشه و شاخساره و غلظت فسفر و سدیم ریشه کاهش ($p\leq0.05$) و غلظت روی شاخساره و غلظت مس ریشه و شاخساره افزایش یافت ($p\leq0.05$). اثر رطوبت خاک بر غلظت نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، روی و منگنز ریشه به سطح لجن فاضلاب بستگی داشت. با مصرف لجن فاضلاب و افزایش مقدار آن، غلظت منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز ریشه و شاخساره و غلظت فسفر، پتاسیم و کلسیم ریشه افزایش یافت ($p\leq0.05$). با افزایش مقدار لجن فاضلاب مصرفی، وزن شاخساره و ریشه تر ابتدا افزایش و پس از رسیدن به یک بیشینه کاهش یافت ($p\leq0.05$). اثر لجن فاضلاب بر کارایی مصرف آب به مقدار رطوبت خاک بستگی داشت. در رطوبت مطلوب (100–81 درصد)، با افزایش مصرف لجن فاضلاب، کارایی مصرف آب افزایش یافت ($p\leq0.05$)، درحالی‌که در شرایط تنش کمبود آب (50–34 درصد)، مصرف لجن فاضلاب تا سطح 30 گرم بر کیلوگرم خاک، کارایی را افزایش، اما در سطح 60 گرم بر کیلوگرم بر اثر افزایش شوری محلول خاک، کارایی مصرف آب را کاهش داد ($p\leq0.05$). برای افزایش کارایی مصرف آب و بهبود تغذیه و رشد گیاه یونجه در شرایط مشابه، مصرف 30 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک در شرایط با و بدون تنش کمبود آب می‌تواند توصیه شود. هرچند استفاده از لجن فاضلاب در این آزمایش نتایج مفیدی داشته است، اما باید به خطرهای احتمالی فلزهای سنگین در مصرف طولانی‌مدت این پسماند آلی توجه شده و از آن جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: پسماند آلی، تغذیه گیاه، تنش کمبود آب، *Medicago sativa*

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.) از تیره باقلاییان یا لگوم‌ها، یک نیام‌دار چندساله است که با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک سازگار بوده، به‌عنوان علوفه دام و یا مرتع کشت شده و چند بار در هر سال برداشت می‌شود (کریمی، 1369؛ پنگ و همکاران، 2008). کشت گیاه یونجه به‌دلیل تثبیت نیتروژن هم ازنظر بهبود حاصلخیزی خاک و حفظ محیط‌زیست و هم ازنظر تولید علوفه با کیفیت برای تغذیه دام ارزش زیادی دارد. در سال زراعی 1396-1395، سطح زیرکشت و تولید یونجه آبی در ایران به‌ترتیب حدود 600 هزار هکتار و 6/2 میلیون تن بوده است (بی‌نام، 1397). عامل‌های مختلفی بر تولید یونجه اثر دارند که ازجمله آن‌ها می‌توان به حاصلخیزی خاک و فراهمی آب اشاره کرد. برای تولید پایدار محصولات کشاورزی لازم است مقدار ماده آلی خاک به‌عنوان کلید حاصلخیزی خاک در سطح مناسب باشد (هاولین و همکاران، 2006). مقدار ماده آلی در بیش از 63 درصد خاک‌های زیرکشت ایران کم‌تر از 1/7 درصد است (شهبازی و بشارتی، 1392)؛ درحالی‌که اکثر خاکشناسان سطح بحرانی ماده آلی خاک را 3/4 درصد در نظر گرفته‌اند (لاولند و وب، 2003). منابع سنتی تأمین مواد آلی برای خاک‌های زیرکشت ایران مانند کود دامی محدود بوده و برای تأمین نیاز روزافزون بخش کشاورزی کافی نیست.

بنابراین، در سال‌های اخیر تمایل کشاورزان به استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان جانشینی برای کودهای شیمیایی، کاهش هزینه های تولید، افزایش مواد آلی و حاصلخیزی خاک زیاد شده است (بیندر و همکاران، 2002). امروزه شهرها و صنایع گوناگون مقادیر زیادی فاضلاب تولید می‌کنند که در تصفیه‌خانه‌ها به پساب و لجن فاضلاب تبدیل می‌شود. اگر این لجن فاضلاب به شیوه مناسب مصرف یا دفع نشود، مشکلات زیادی در محیط‌زیست ایجاد می‌کند. بنابراین، استفاده از این مواد در کشاورزی یکی از راه‌های ایمن برای دفع لجن فاضلاب بوده و روشی ارزان برای بهبود حاصلخیزی خاک است. بااین حال، با توجه به آلودگی های احتمالی موجود در این مواد، لازم است مصرف آن‌ها در خاک‌های کشاورزی با احتیاط و بر اساس نتایج پژوهش‌ها باشد (اقبال و همکاران، 2004؛ محمودی و همکاران، 1394).

تنش کمبود آب در خاک یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که تولید محصولات کشاورزی ازجمله یونجه را در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاهش می‌دهد. این کاهش بر اثر مختل‌شدن جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاه، مختل‌شدن فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و کاهش فتوسنتز، کاهش فشار تورمی و تقسیم یاخته‌ها و غیره انجام می‌شود (مارشنر، 1997؛ هاولین و همکاران، 2006، فاروک و همکاران، 2009). مصرف لجن فاضلاب در خاک با افزایش سرعت نفوذ آب و هوا در خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش روان‌آب و فرسایش خاک، بهبود حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه می‌تواند تحمل گیاهان ازجمله یونجه را به تنش خشکی افزایش دهد (اقبال و همکاران، 2004؛ محمودی و همکاران، 1394). کیدمبی و همکاران (1990) اثر رطوبت خاک را بر غلظت عناصر معدنی شاخساره یونجه بررسی کردند. برکه و همکاران (1996) اثر لجن فاضلاب را بر میزان تشکیل گره در ریشه یونجه بررسی کردند. آنتولین و همکاران (2010) گزارش دادند که مصرف لجن فاضلاب سبب بهبود فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شاخساره یونجه در شرایط تنش خشکی گردید. لورا فیاسکونارو و همکاران (2013) گزارش دادند که مصرف لجن فاضلاب با بهبود تغذیه نیتروژن گیاه سبب افزایش کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی گردید.

کاظم‌علیلو و همکاران (الف و ب1396) با انجام یک آزمایش مزرعه‌ای در دو سال زراعی متوالی مشاهده کردند که تنش کمبود آب در خاک وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته، قطر طبق، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و ارتفاع گیاه آفتابگردان را در منطقه خوی آذربایجان غربی به‌طور معنادار کاهش داد اما مصرف لجن فاضلاب ویژگی‌های مذکور و تحمل گیاه در برابر تنش خشکی را افزایش داد. باتوجه‌به مطالب ذکرشده، در این پژوهش اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب بر وزن شاخساره و ریشه تر، کارایی مصرف آب و غلظت برخی عناصر در ریشه و شاخساره یونجه بررسی می‌شود. در بررسی منابع، گزارش منتشرشده‌ای در این مورد یافت نشد. باتوجه‌به کم‌آبی‌ها و نیاز به تولید علوفه بیش‌تر برای تغذیه دام‌ها، انتظار این است که مصرف لجن فاضلاب در خاک بتواند کارایی مصرف آب و تولید گیاه یونجه را در شرایط کمبود آب بهبود بخشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با کشت گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.) رقم قره‌یونجه در شرایط گلخانه‌ای و با استفاده از گلدان‌های پلاستیکی حاوی 3 کیلوگرم خاک با بافت لوم انجام گردید. علت انتخاب خاکی با این بافت این بود که گیاه یونجه در خاک‌هایی با بافت متوسط تا سنگین با pH 6/2 تا 7/5 و کلسیم فراوان به خوبی رشد

www.SID.ir

Archive of SID

می‌کند (کریمی، 1369؛ هاولین و همکاران، 2006). خاک مذکور از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری مزرعه‌ای در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خلعت‌پوشان دانشگاه تبریز نمونه‌برداری و بعد از هواخشک شدن، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک با روش اولسن (اولسن و سامرز، 1982)، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم قابل‌جذب با عصاره‌گیر استات آمونیم (نادسن، 1982)، آهن، روی، مس و منگنز قابل‌جذب با عصاره‌گیر DTPA (لیندزی و نورول، 1978)، pH خاک در سوسپانسیون 1:1 آب به خاک (مک‌لین، 1982) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) آن در عصاره اشباع (گوپتا، 2000)، بافت خاک به‌روش هیدرومتر با چهار قرائت (گی و اور، 2002)، کربن آلی خاک به‌روش اکسایش تر (نلسون و سامرز، 1982) و کربنات کلسیم معادل خاک به‌روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود (ریچاردز، 1954) اندازه‌گیری شد. تعیین غلظت کل عناصر، pH و EC لجن فاضلاب بر اساس پیترز (2003) و تجزیه شیمیایی آب آبیاری بر اساس گوپتا (2000) انجام و نتایج آن در جدول‌های 1 و 2 ارائه شد. در یک آزمایش دیگر، پس از دو هفته خوابانیدن (Incubation) خاک با سطوح مختلف لجن فاضلاب در گلدان‌ها، از خاک هر گلدان نمونه دست نخورده تهیه و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای آن‌ها (رطوبت FC) به‌وسیله دستگاه صفحات فشار در مکش 30 کیلوپاسکال تعیین (کالرا و مینارد، 1991) و نتایج آن در جدول 3 ارائه شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و فاکتورهای رطوبت خاک در سه سطح 34 تا 50 درصد، 56 تا 75 درصد و 81 تا 100 درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (به‌ترتیب 0.34FC-0.50FC، 0.56FC-0.75FC و 0.81FC-FC) و لجن فاضلاب در 4 سطح (صفر، 15، 30 و 60 گرم بر کیلوگرم خاک) انجام شد. دامنه رطوبت خاک گلدان‌ها با توزین گلدان‌ها دو بار در روز تعیین شد. لجن فاضلاب از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر میانه که شامل مراحل هوادهی و خشک‌کردن است، تهیه شد. سطوح رطوبت خاک بر اساس نتایج بررسی مطلبی‌فرد و همکاران (2013) انجام شد و هدف این بود که گیاه از نظر فراهمی آب به‌ترتیب در شرایط بدون تنش (0.81FC-FC)، تنش ملایم (0.56FC-0.75FC) و تنش شدید (0.34FC-0.50FC) رشد نماید. دامنه‌های ذکر شده برای رطوبت خاک با توزین روزانه گلدان‌ها و یادداشت اعداد آن‌ها در طول دوره رشد تعیین شد. قبل از کشت گیاه، ابتدا لجن فاضلاب به خاک افزوده و خوب مخلوط و در گلدان‌ها ریخته شد. قطر داخلی و ارتفاع هر گلدان 20 سانتی‌متر بود. سپس برای رسیدن به تعادل نسبی، به مدت دو هفته در رطوبت نزدیک FC نگه داشته شد (با توزین روزانه گلدان‌ها و افزودن آب). سپس 20 عدد بذر یونجه انتخاب و در عمق پنج سانتی‌متری کاشته شد. بعد از اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها (زمانی که به مرحله 3 برگی رسیدند)، تعداد آنها به 10 عدد در هر گلدان کاهش یافت. وقتی گیاهان به مرحله 8 برگی رسیدند، سطوح مختلف رطوبت خاک با توزین گلدان‌ها (یک تا دو بار در روز) و افزودن آب (معادل با کاهش وزن هر گلدان) ایجاد شد. حجم آب مصرف‌شده در هر بار آبیاری یادداشت شد. برای آبیاری از مخلوط آب شهر و آب مقطر با نسبت 1:1 استفاده شد. برای محاسبه کارایی مصرف آب، مقدار ماده خشک تولید شده در هر گلدان به مقدار آب مصرف شده در آن تقسیم گردید (کرامر، 1983). برای تصحیح تأثیر وزن ریشه و شاخساره تر گیاه بر کاهش وزن اندازه‌گیری شده که مبنای آبیاری و پایش رطوبت خاک گلدان‌ها بود، به تعداد لازم گلدان اضافی در نظر گرفته شد. در طول دوره رشد، با کف بر کردن شاخساره در گلدان‌های اضافی و جدانمودن ریشه از خاک گلدان (با استفاده از یک الک)، وزن تر آن‌ها مشخص و در محاسبه مقدار آب آبیاری (برای حفظ رطوبت خاک در سطوح مشخص شده) استفاده شد. دمای گلخانه از 20 تا 31 °C در طول شب و روز نوسان داشت. پس از اینکه حدود 10 درصد یونجه‌ها گل دادند، بوته‌ها از محل طوقه قطع و وزن ریشه و شاخساره تر اندازه‌گیری شد. سپس هر بخش گیاه با آب مقطر شسته شده و در دستگاه خشک‌کن تهویه‌دار با دمای 70 °C تا زمان خشک‌شدن کامل و رسیدن به وزن ثابت، نگهداری شدند.

نمونه‌ها پس از توزین با استفاده از آسیاب دارای تیغه استیل پودر شده و از الک 0/5 میلی‌متری عبور داده شدند. غلظت نیتروژن به روش کجلدال تعیین شد که شامل سه مرحله هضم، تقطیر و تیترکردن بود (گوپتا، 2000). برای اندازه‌گیری غلظت فسفر (P)، پتاسیم (K)، سدیم (Na)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn) و مس (Cu) در نمونه‌های گیاهی، هضم آن‌ها با روش اکسایش تر انجام شد (گوپتا، 2000). غلظت فسفر در آب آبیاری و عصاره‌های خاک با روش آبی آسکوربیک اسید و در عصاره‌های گیاه با روش زرد نیتروواندومولیبدات تعیین شد (اولسن و سامرز، 1982). در آب آبیاری و عصاره‌های حاصل از گیاه و خاک، غلظت فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل

www.SID.ir

Archive of SID

PD-303 ساخت شرکت Apel ژاپن، پتاسیم و سدیم با دستگاه فلیم فتومتر مدل 410 ساخت شرکت Corning انگلستان و کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز با دستگاه جذب اتمی مدل AA-6300 ساخت شرکت Shimadzu ژاپن تعیین شد. تحلیل آماری داده‌ها (آزمون نرمال‌بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها) با نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد انجام و شکل‌ها با نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب، نتایج تجزیه شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای و مقادیر رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در سطوح مختلف لجن فاضلاب به‌ترتیب در جدول‌های 1 تا 4 ارائه شده است. به‌نظر می‌رسد حضور روی در آب آبیاری مورداستفاده (0/6 میلی‌گرم در لیتر) ناشی از پوسیدگی لوله‌های آب و آزادشدن روی موجود در این لوله‌ها است. همان‌طورکه در جدول 4 مشاهده می‌شود با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی، مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک مورد مطالعه افزایش یافت. تحلیل رگرسیون نشان داد که میان سطح لجن فاضلاب مصرفی برحسب گرم بر کیلوگرم (SS) و مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای بر حسب درصد (FC) رابطه FC=34.37(SS)-636.24 با $r=0.9943^{**}$ وجود داشت. بنابراین، با استفاده از این رابطه می‌توان مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک را با مصرف مقادیر مختلف لجن فاضلاب با دقت خوبی پیش‌بینی کرد.

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

گروه بافت	شن (g/kg)	رس (g/kg)	کربنات کلسیم معادل (g/kg)	کربن آلی (g/kg)	SP (g/kg)	$pH_{(1:1)}$	EC_e (dS/m)
لوم	390	225	153	5/9	444	8/0	0/47

ادامه جدول 1- نیتروژن کل و غلظت عناصر قابل‌جذب گیاه در خاک

N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
(%)	(mg/kg)								
0/02	8/7	556/4	7234/7	797/8	325/7	3/98	7/01	0/52	2/2

جدول 2- برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب شهری مورد استفاده

ماده آلی (%)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	C/N	$pH_{(1:5)}$ (w/v)	$pH_{(1:2)}$ (w/v)	$EC_{(1:5)}$ (dSm^{-1})(w/v)	$EC_{(1:2)}$ (dSm^{-1})(w/v)
37/5	21/8	2	10/9	6/63	6/26	3/25	5/58

ادامه جدول 2- غلظت کل عناصر در لجن فاضلاب شهری مورد استفاده

P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
(mg/g)					(mg/kg)			
11/6	2/9	0/79	26/7	5/2	7124	808	2723	186/5

جدول 3- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

عناصر	K	P	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Cl^-	HCO_3^-	pH	EC (dS/m)
غلظت (mg/L)	4/3	0/05	35	42	11	0/1	nd	0/6	nd	20	87	7/7	0/49

nd: غیرقابل‌تشخیص

جدول 4- مقادیر رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) در سطوح مختلف لجن فاضلاب مورد استفاده

سطوح لجن فاضلاب (g/kg)	صفر	15	30	60
درصد رطوبت وزنی FC (معادل 30 kPa)	18/5	18/9	19/5	20/2

www.SID.ir

Archive of SID

وزن شاخساره و ریشه تر یونجه

تعیین وزن شاخساره تر یونجه از این جهت اهمیت دارد که این گیاه به‌عنوان علوفه دام نه‌تنها به‌صورت خشک بلکه به‌صورت تازه نیز مصرف می‌شود. تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و لجن فاضلاب و اثر متقابل آن‌ها بر وزن شاخساره و ریشه تر معنادار بود (جدول‌های 5 و 6). مقایسه میانگین‌های وزن شاخساره و ریشه تر برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب نشان داد که در هر سه سطح رطوبت خاک، با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی، وزن شاخساره و ریشه تر ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. در هر چهار سطح لجن فاضلاب، با کاهش مقدار آب خاک، وزن شاخساره و ریشه تر کاهش یافت. بیش‌ترین وزن شاخساره و ریشه تر از مصرف 15 گرم لجن فاضلاب و در رطوبت 0.81FC-FC و کم‌ترین آن‌ها از مصرف 60 گرم لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک در رطوبت 0.34FC-0.50FC حاصل شد (شکل 1).

جدول 5- تجزیه واریانس تأثیر رطوبت خاک و لجن فاضلاب بر وزن تر و غلظت آهن، منگنز، روی و مس شاخساره یونجه

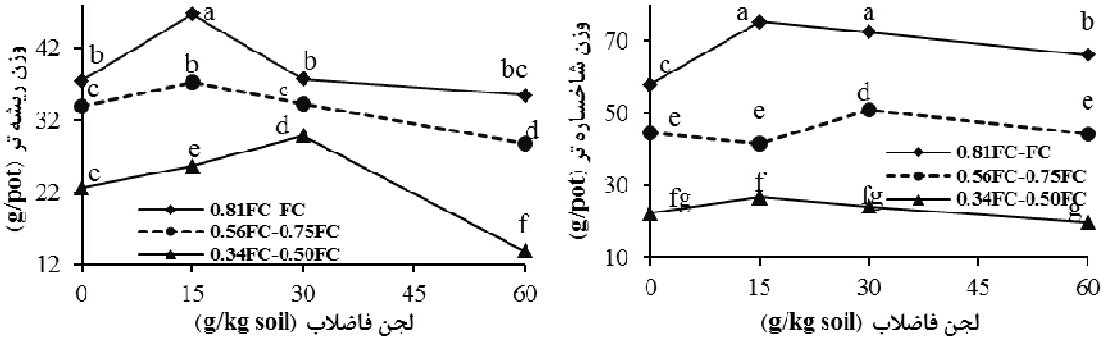
منبع تغییر	میانگین مربعات					
	وزن شاخساره تر	کارایی مصرف آب	آهن	منگنز	روی	مس
بلوک	10/66 n.s.	0/004 *	1026/6 n.s.	2/437 n.s.	17/72 n.s.	0/105 n.s.
رطوبت خاک	5970/6**	0/127**	72905**	137/3**	537/4**	84/72**
لجن فاضلاب	115/5**	0/007**	86814**	526/0**	849/8**	383/9**
رطوبت خاک × لجن فاضلاب	67/35**	0/006**	14953**	477/0**	107/5**	24/5**
خطا	11/232	0/001	1233/7	21/82	5/759	0/402
ضریب تغییرات (%)	7/37	5/96	8/84	6/20	4/83	3/06

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال 5 و 1 درصد

جدول 6- تجزیه واریانس تأثیر رطوبت خاک و لجن فاضلاب بر وزن تر و غلظت آهن، منگنز، روی و مس ریشه یونجه

منبع تغییر	میانگین مربعات				
	وزن ریشه تر	آهن	منگنز	روی	مس
بلوک	4/807 n.s.	492/5 n.s.	7/21 n.s.	34/82 n.s.	0/324 n.s.
رطوبت خاک	825/5**	148893/2**	15/34**	127/0*	68/3**
لجن فاضلاب	181/8**	89310/9**	1209/78**	5538/2**	335/1**
رطوبت خاک × لجن فاضلاب	35/02**	3168/0**	480/8**	465/1**	20/15**
خطا	3/334	805/654	5/614	32/517	0/797
ضریب تغییرات (%)	5/72	7/55	7/47	8/92	5/33

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال 5 و 1 درصد



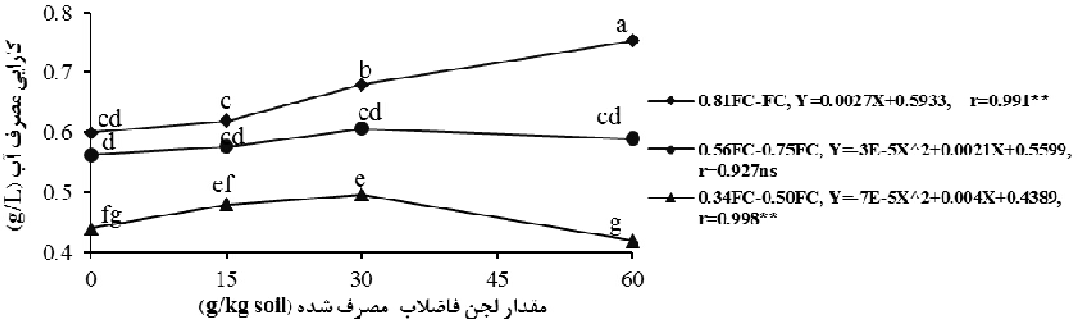
شکل 1- مقایسه میانگین‌های وزن شاخساره و ریشه تر یونجه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب

www.SID.ir

Archive of SID

کارایی مصرف آب

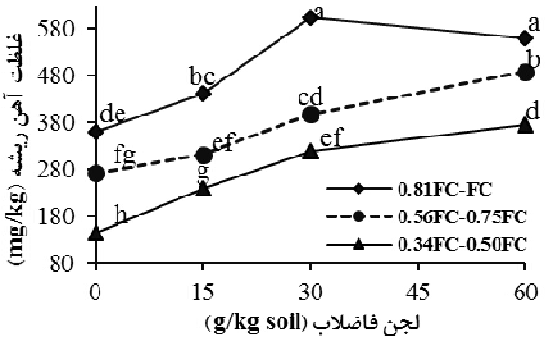
تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و لجن فاضلاب و اثر متقابل آن‌ها بر کارایی مصرف آب معنادار بود (جدول 5). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطوح مختلف لجن فاضلاب، با کاهش مقدار آب خاک، کارایی مصرف آب کاهش یافت؛ درحالی‌که اثر لجن فاضلاب بر کارایی مصرف آب به مقدار آب خاک بستگی داشت. در رطوبت 0.81FC-FC، با افزایش مقدار لجن فاضلاب مصرف شده در خاک، کارایی مصرف آب به‌طور معنادار افزایش یافت. در رطوبت 0.56FC-0.75FC، با افزایش مقدار لجن فاضلاب، کارایی مصرف آب تغییر معنادار نکرد. در رطوبت 0.34FC-0.50FC، با افزایش مقدار لجن فاضلاب مصرف شده در خاک، کارایی مصرف آب ابتدا به‌طور معنادار افزایش و سپس کاهش یافت. با استفاده از معادله‌های رگرسیونی برازش داده شده به داده‌ها (شکل 2) می‌توان کارایی مصرف آب گیاه یونجه را در سطوح مختلف لجن فاضلاب مصرفی پیش‌بینی کرد. بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب در تیمار 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم و رطوبت 0.81FC-FC مشاهده شد (شکل 2).



شکل 2- مقایسه میانگین‌های کارایی مصرف آب یونجه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب

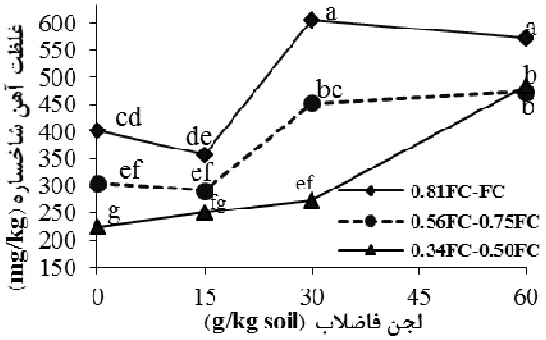
غلظت آهن شاخساره و ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و لجن فاضلاب و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت آهن شاخساره و ریشه معنادار بود (جدول‌های 5 و 6). مقایسه میانگین‌های غلظت آهن شاخساره و ریشه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب نشان داد که در هر سه سطح رطوبت خاک، با افزایش سطح لجن فاضلاب از صفر به 60 گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت آهن شاخساره و ریشه به‌طور معنادار افزایش یافت. در هر چهار سطح لجن فاضلاب، با کاهش رطوبت خاک از 0.81FC-FC به 0.56FC-0.75FC و 0.34FC-0.50FC، غلظت آهن شاخساره و ریشه به‌طور معنادار کاهش یافت. کم‌ترین غلظت آهن شاخساره و ریشه در سطح رطوبت 0.34FC-0.50FC و بدون مصرف لجن فاضلاب مشاهده شد. بیش‌ترین غلظت آهن شاخساره و ریشه در سطح رطوبت 0.81FC-FC و با مصرف 30 و 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل 3). در سطح رطوبت 0.56FC-0.75FC، میان غلظت آهن ریشه و سطح لجن فاضلاب مصرفی (SS)، رابطه خطی $Fe_{Con.} = 3.7362(SS) + 269$, $r = 0.993^{**}$ مشاهده شد.



www.SID.ir

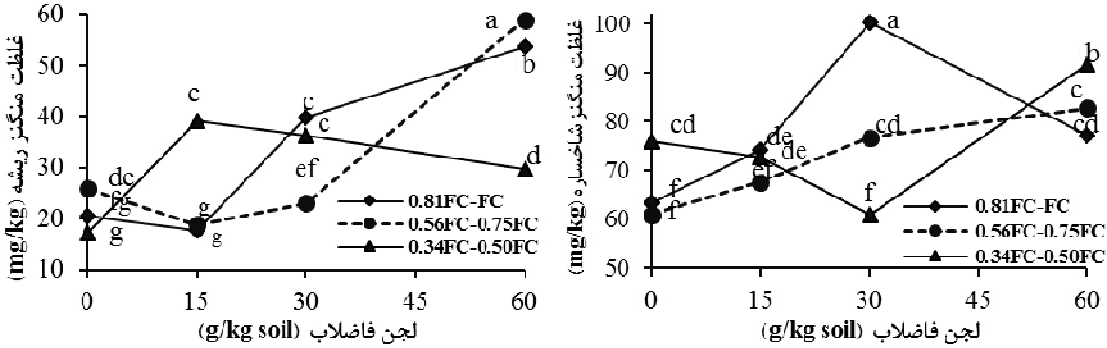
Archive of SID



شکل 3- مقایسه میانگین‌های غلظت آهن شاخساره و ریشه گیاه یونجه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب

غلظت منگنز شاخساره و ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و لجن فاضلاب و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت منگنز شاخساره و ریشه معنادار بود (جدول‌های 5 و 6). مقایسه میانگین‌های غلظت منگنز شاخساره و ریشه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب نشان داد که اثر لجن فاضلاب بر غلظت منگنز شاخساره و ریشه بسته به سطح رطوبت خاک و سطح لجن فاضلاب مصرفی متفاوت بود. در رطوبت 0.81FC-FC، با افزایش سطح لجن فاضلاب، غلظت منگنز شاخساره ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت، درحالی‌که غلظت منگنز ریشه افزایش یافت. در رطوبت 0.56FC-0.75FC، با افزایش سطح لجن فاضلاب غلظت منگنز شاخساره افزایش یافت درحالی‌که غلظت منگنز ریشه ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. در رطوبت 0.34FC-0.50FC، با افزایش سطح لجن فاضلاب، غلظت منگنز شاخساره ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت اما غلظت منگنز ریشه ابتدا افزایش سپس کاهش یافت. همچنین، اثر مقدار آب خاک بر غلظت منگنز شاخساره و ریشه یونجه به سطح لجن فاضلاب مصرفی بستگی داشت و روند خاصی نداشت. بیش‌ترین غلظت منگنز شاخساره در سطح رطوبت 0.81FC-FC و با مصرف 30 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک مشاهده شد، درحالی‌که بیش‌ترین غلظت منگنز ریشه در رطوبت 0.56FC-0.75FC و با مصرف 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل 4).



شکل 4- مقایسه میانگین‌های غلظت منگنز شاخساره و ریشه گیاه یونجه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب

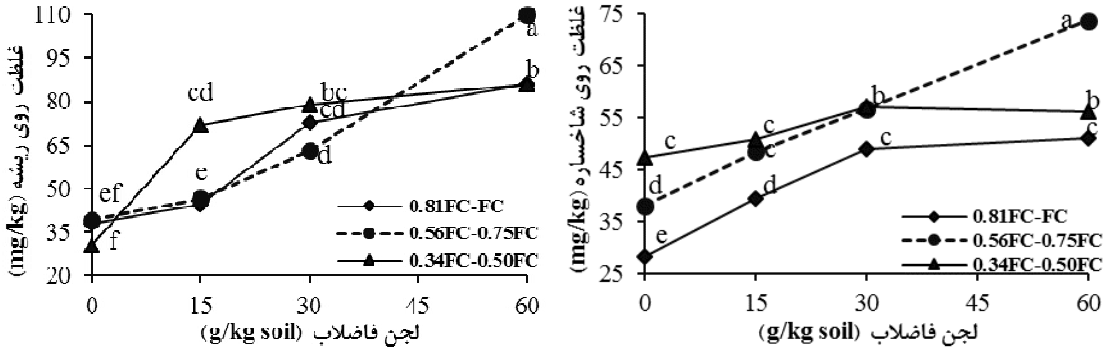
غلظت روی شاخساره و ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و لجن فاضلاب و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت روی شاخساره و ریشه معنادار بود (جدول‌های 5 و 6). مقایسه میانگین‌های غلظت روی شاخساره و ریشه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب نشان داد که در هر سه سطح رطوبت خاک، با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی، غلظت روی شاخساره و ریشه افزایش یافت. همچنین، اثر مقدار آب خاک بر غلظت روی شاخساره و ریشه یونجه به سطح لجن فاضلاب بستگی داشت. در هر چهار سطح لجن فاضلاب، با کاهش رطوبت خاک غلظت روی شاخساره به‌طور معنادار افزایش یافت، درحالی‌که غلظت روی ریشه روند خاصی نداشت. بیش‌ترین غلظت

www.SID.ir

Archive of SID

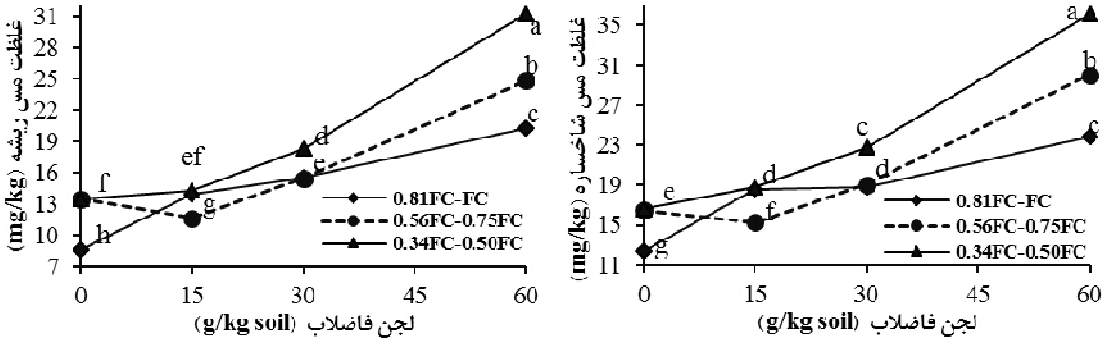
روی شاخساره و ریشه با مصرف 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک در رطوبت 0.56FC-0.75FC مشاهده شد (شکل 5).



شکل 5- مقایسه میانگین‌های غلظت روی شاخساره و ریشه گیاه یونجه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب

غلظت مس شاخساره و ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و لجن فاضلاب و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت مس شاخساره و ریشه معنادار بود (جدول‌های 5 و 6). مقایسه میانگین‌های غلظت مس شاخساره و ریشه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب نشان داد که در دو سطح رطوبت 0.81FC-FC و 0.34FC-0.50FC، با افزایش مقدار لجن فاضلاب از صفر به 60 گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت مس شاخساره و ریشه افزایش یافت. در رطوبت 0.56FC-0.75FC، با افزایش مقدار لجن فاضلاب از صفر به 15 گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت مس شاخساره و ریشه به‌طور معنادار کاهش یافت اما با مصرف 30 و 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک، غلظت مس شاخساره و ریشه افزایش یافت. اثر مقدار آب خاک بر غلظت مس شاخساره و ریشه یونجه، بسته به سطح لجن فاضلاب مصرفی متفاوت بود. در سطوح 0، 30 و 60 گرم بر کیلوگرم خاک، با کاهش مقدار آب خاک از 0.81FC-FC به 0.34FC-0.50FC، غلظت مس شاخساره و ریشه افزایش یافت اما در سطح 15 گرم لجن فاضلاب تغییر معناداری نکرد. بین دو سطح 0.56FC-0.75FC و 0.34FC-0.50FC از نظر اثر بر غلظت مس شاخساره و ریشه در شرایط عدم‌مصرف لجن فاضلاب تفاوت معنادار وجود نداشت اما در دو سطح 30 و 60 لجن فاضلاب، غلظت مس شاخساره در رطوبت 0.34FC-0.50FC بیش‌تر از رطوبت 0.56FC-0.75FC بود. کم‌ترین غلظت مس شاخساره و ریشه در تیمار عدم‌مصرف لجن فاضلاب و سطح رطوبت 0.81FC-FC و بیش‌ترین آن‌ها در تیمار 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم و رطوبت 0.34FC-0.50FC مشاهده شد (شکل 6).



شکل 6- مقایسه میانگین‌های غلظت مس شاخساره و ریشه گیاه یونجه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب

www.SID.ir

Archive of SID

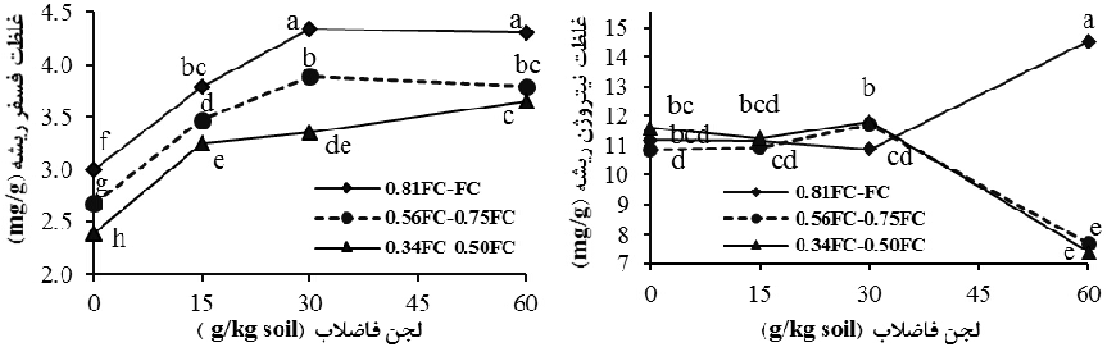
غلظت نیتروژن و فسفر ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و لجن فاضلاب و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت نیتروژن و فسفر ریشه معنادار بود (جدول 7). مقایسه میانگین‌های غلظت نیتروژن و فسفر ریشه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب نشان داد که اثر لجن فاضلاب بر غلظت نیتروژن ریشه به سطح رطوبت خاک بستگی داشت. با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی از صفر تا 30 گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت نیتروژن ریشه در هر سه سطح رطوبت تغییر زیادی نکرد اما با افزایش سطح لجن فاضلاب از 30 به 60 گرم بر کیلوگرم خاک، در سطح رطوبت 0.81FC-FC به‌طور معنادار افزایش و در دو سطح رطوبت 0.56FC-0.75FC و 0.34FC-0.50FC، به‌طور معنادار کاهش یافت. در هر سه سطح رطوبت خاک، با افزایش سطح لجن فاضلاب غلظت فسفر ریشه افزایش یافت. همچنین، اثر مقدار آب خاک بر غلظت نیتروژن ریشه بسته به سطح لجن فاضلاب متفاوت بود و روند خاصی نداشت. در سه سطح اول لجن فاضلاب میان سطوح رطوبت خاک از نظر اثر بر غلظت نیتروژن ریشه تفاوت زیادی دیده نشد اما در سطح 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با کاهش رطوبت خاک از 0.81FC-FC به 0.56FC-0.75FC و 0.34FC-0.50FC غلظت نیتروژن ریشه کاهش یافت. در هر چهار سطح لجن فاضلاب، با کاهش مقدار آب خاک، غلظت فسفر ریشه کاهش یافت. بیش‌ترین غلظت نیتروژن و فسفر ریشه با مصرف 60 گرم لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک و در رطوبت 0.81FC-FC مشاهده شد (شکل 8).

جدول 7- تجزیه واریانس تأثیر رطوبت خاک و لجن فاضلاب بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم ریشه یونجه

منبع تغییر	میانگین مربعات					
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم
بلوک	0/868*	0/042*	0/772n.s.	0/002n.s.	0/364n.s.	0/009 n.s.
رطوبت خاک	9/603**	1/484**	1/613*	1/968**	9/18**	0/206**
لجن فاضلاب	4/586**	2/917**	140/927**	0/565**	508/659**	3/77**
رطوبت خاک × لجن فاضلاب	13/553**	0/04 n.s	17/186**	0/735**	72/592**	0/311**
خطا	0/187	0/008	0/415	0/025	1/274	0/014
ضریب تغییرات (%)	4/15	6/63	3/19	7/08	6/21	3/98

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال 5 و 1 درصد



شکل 8- مقایسه میانگین‌های غلظت نیتروژن و فسفر ریشه گیاه یونجه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب

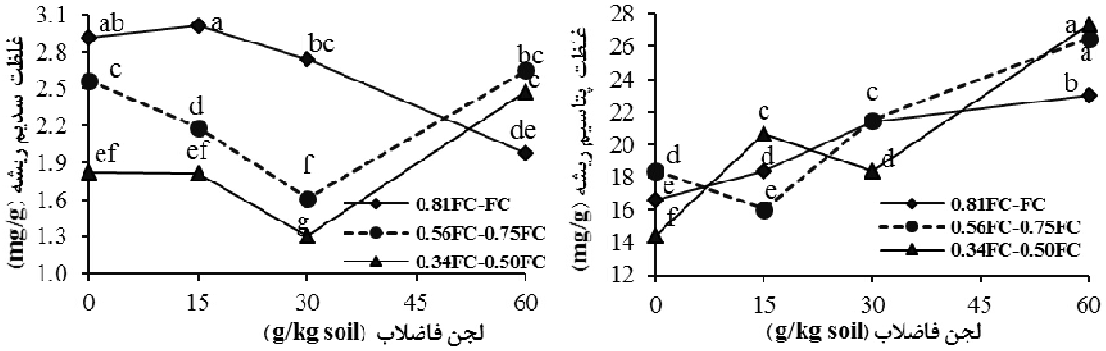
غلظت پتاسیم و سدیم ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و لجن فاضلاب و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت پتاسیم و سدیم ریشه معنادار بود (جدول 7). مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم و سدیم ریشه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب نشان داد که در هر سه سطح رطوبت خاک، با افزایش سطح لجن فاضلاب غلظت فسفر ریشه روند افزایشی داشت. در دو سطح رطوبت 0.56FC-0.75FC و 0.34FC-0.50FC، با افزایش سطح لجن فاضلاب به 30 گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت سدیم ریشه روند کاهشی داشت اما با افزایش سطح لجن فاضلاب از

www.SID.ir

Archive of SID

30 به 60 گرم بر کیلوگرم خاک افزایش یافت. در سطح رطوبت 0.81FC-FC، با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی غلظت سدیم ریشه ابتدا تغییر معناداری نکرد و سپس کاهش یافت. همچنین، اثر مقدار آب خاک بر غلظت پتاسیم ریشه در سطوح مختلف لجن فاضلاب روند خاصی نداشت. اثر مقدار آب خاک بر غلظت سدیم ریشه در سطوح مختلف لجن فاضلاب متفاوت بود. در سه سطح اول لجن فاضلاب، با کاهش مقدار آب خاک، غلظت سدیم ریشه کاهش یافت اما در سطح 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک، با کاهش رطوبت خاک از 0.81FC-FC به 0.56FC-0.75FC و 0.34FC-0.50FC، غلظت سدیم ریشه افزایش یافت. کم‌ترین غلظت پتاسیم ریشه در رطوبت 0.34FC-0.50FC و بدون مصرف لجن فاضلاب به‌دست آمد. کم‌ترین غلظت سدیم ریشه نیز در رطوبت 0.34FC-0.50FC و با مصرف 30 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک مشاهده شد (شکل 9).



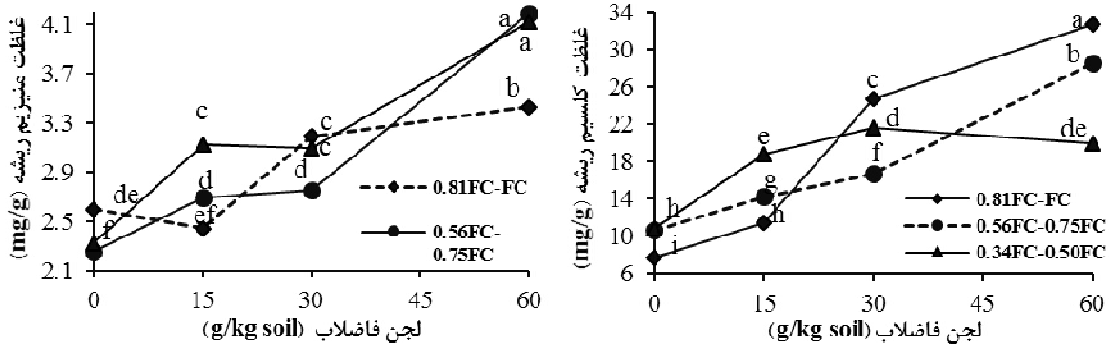
شکل 9- مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم و سدیم ریشه گیاه یونجه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب

غلظت کلسیم و منیزیم ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و لجن فاضلاب و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت کلسیم و منیزیم ریشه معنادار بود (جدول 7). مقایسه میانگین‌های غلظت کلسیم و منیزیم ریشه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب نشان داد که در هر سه سطح رطوبت خاک، با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی غلظت کلسیم و منیزیم ریشه به‌طور معنادار افزایش یافت. همچنین، اثر مقدار آب خاک بر غلظت کلسیم و منیزیم ریشه در سطوح مختلف لجن فاضلاب متفاوت بود و روند خاصی نداشت. در دو سطح اول لجن فاضلاب (0 و 15 گرم)، با کاهش مقدار آب خاک از 0.81FC-FC به 0.56FC-0.75FC و 0.34FC-0.50FC، غلظت کلسیم ریشه افزایش یافت اما در دو سطح 30 و 60 گرم لجن فاضلاب غلظت کلسیم ریشه کاهش یافت. در هر سطح لجن فاضلاب، افزایش غلظت کلسیم بر اثر کاهش مقدار آب خاک با کاهش غلظت منیزیم همراه بود و برعکس. کم‌ترین غلظت کلسیم ریشه در تیمار عدم‌مصرف لجن فاضلاب و سطح رطوبت 0.81FC-FC مشاهده شد. بیش‌ترین غلظت کلسیم و منیزیم ریشه با مصرف 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب در رطوبت 0.81FC-FC و 0.56FC-0.75FC به‌دست آمد (شکل 10). میان غلظت کلسیم ریشه و سطح لجن فاضلاب مصرفی (SS) در سطح رطوبت 0.81FC-FC، رابطه خطی $Ca_{Con}=0.44(SS)+9.527,\ r=0.969^{*}$ و در سطح رطوبت 0.56FC-0.75FC رابطه خطی $Ca_{Con}=0.298(SS)+9.73,\ r=0.984^{*}$ مشاهده شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 10- مقایسه میانگین‌های غلظت کلسیم ریشه گیاه یونجه برای اثر متقابل رطوبت خاک با لجن فاضلاب

بحث

با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی، وزن شاخساره و ریشه تر یونجه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. افزایش وزن شاخساره و ریشه تر با کاربرد لجن فاضلاب را می‌توان به افزایش غلظت عناصر غذایی در خاک و بهبود ویژگی‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی خاک بر اثر مصرف این ماده آلی نسبت داد، چون غلظت عناصر غذایی در لجن فاضلاب بیش‌تر از خاک بود (جدول‌های 1 و 2). همچنین، عناصر غذایی موجود در لجن فاضلاب در طول دوره رشد گیاه طی فرایند معدنی‌شدن آزاد شده و سبب افزایش عناصر غذایی قابل‌جذب گیاه در خاک و بهبود تغذیه و رشد گیاه می‌شود. با مصرف لجن فاضلاب، افزایش رشد و عملکرد آفتابگردان به‌وسیله نجفی و مردمی (1390) و کاظم‌علیلو و همکاران (الف و ب1396)، افزایش رشد برنج به‌وسیله عباسی و همکاران (1392)، افزایش عملکرد گندم به‌وسیله احمدی‌نژاد و همکاران (1392)، افزایش رشد یونجه به‌وسیله برکه و همکاران (1996)، افزایش رشد گیاه جو به‌وسیله آنتولین و همکاران (2005)، افزایش عملکرد باقلا به‌وسیله امین و همکاران (2009)، افزایش رشد گیاه ذرت به‌وسیله محمدنژاد و همکاران (1394) و افزایش رشد گیاه دارویی نعناع به‌وسیله عسگری و همکاران (2019a) نیز گزارش شده است. کاهش وزن شاخساره و ریشه تر با مصرف 60 گرم لجن فاضلاب در هر سه سطح رطوبت خاک ممکن است به افزایش شوری محلول خاک و بروز پدیده خشکی فیزیولوژیکی مربوط باشد زیرا EC لجن فاضلاب از EC خاک بیش‌تر بود (جدول 2) و سبب افزایش EC محلول خاک به حدود 3/6 dS/m در گلدان‌هایی گردید که ته آن‌ها بسته بود و امکان خروج آب نداشتند (محمودی و همکاران، 1394). سطح بحرانی شوری گیاه یونجه 2 dS/m بوده و به‌ازای هر واحد افزایش EC از این سطح، عملکرد این گیاه 7/3 درصد کاهش می‌یابد (هاولین و همکاران، 2006). چنگ و همکاران (2007) مشاهده کردند که مصرف لجن فاضلاب به مقدار 40 تا 100 درصد جرم خاک، به‌دلیل افزایش غلظت نمک‌های محلول، رشد چمن را به‌طور معنادار کاهش داد. شاید یک دلیل دیگر برای این کاهش رشد یونجه در سطح بالای لجن فاضلاب، سمیت مواد آلی و معدنی موجود در لجن فاضلاب باشد. احتمال دارد غلظت برخی مواد در این سطح لجن فاضلاب بیش‌تر از آستانه سمیت باشد. بنابراین، مصرف لجن فاضلاب به میزان 60 گرم در کیلوگرم خاک در شرایط مشابه پژوهش حاضر توصیه نمی‌شود.

با کاهش رطوبت خاک، وزن شاخساره و ریشه تر و کارایی مصرف آب یونجه در هر چهار سطح لجن فاضلاب کاهش یافت. پس از اعمال تنش کمبود آب در خاک، کاهش رشد شاخساره ذرت و گندم به‌وسیله وو و همکاران (2011)، کاهش رشد شاخساره و ریشه یونجه به‌وسیله مارکاریان و همکاران (1394b)، کاهش عملکرد غده و شاخساره سیب زمینی به‌وسیله مطلبی‌فرد و همکاران (1393 و 2013) نیز گزارش شده است. با کاهش مقدار آب خاک، عناصر غذایی در خاک رسوب کرده، عرضه آن‌ها به سطح ریشه با سازوکارهای جریان توده‌ای و پخشیدگی کاهش یافته، سرعت معدنی‌شدن عناصر غذایی موجود در ساختمان ترکیب‌های آلی کم شده و درنتیجه جذب عناصر غذایی و تغذیه گیاهان مختل شده و رشد گیاه نیز کاهش می‌یابد (مارشنر، 1997؛ هاولین و همکاران، 2006). با کاهش مقدار آب قابل‌جذب گیاه در خاک، فشار تورمی یاخته‌ها کم شده، طویل‌شدن یاخته‌ها کاهش یافته، تقسیم میتوز مختل شده و درنتیجه تقسیم یاخته‌ها کاهش یافته و رشد گیاه کم می‌شود. همچنین، بر اثر تنش کمبود آب در خاک، گونه‌های فعال اکسیژن بیش‌تری تولید شده، غشاهای

www.SID.ir

Archive of SID

یاخته‌ها تخریب شده، تولید ATP کم شده، فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی مانند روبیسکو و فسفوانول‌پیرووات کربوکسیلاز کاهش یافته، روزنه‌ها بسته شده و هدایت روزنه‌ای کاهش یافته و در نتیجه شدت فتوسنتز گیاه نیز کاهش می‌یابد. در شرایط تنش خشکی گونه‌های فعال اکسیژن سبب تخریب پروتئین‌ها، چربی‌ها و DNA شده و وظایف یاخته‌ها مختل شده و رشد گیاه کاهش می‌یابد (فاروک و همکاران، 2009).

کاهش کارایی مصرف آب با کاهش مقدار آب خاک در مطالعه ما با نتایج اردم و همکاران (2006)، النعیم (2008) و مطلبی‌فرد و همکاران (2013) مطابقت داشت. کیو و همکاران (2008) گزارش دادند که با افزایش مقدار آب مصرفی در هر آبیاری عملکرد دانه گندم و کارایی مصرف آب افزایش یافت اما با مصرف آب بیش‌تر در هر آبیاری و افزایش تعداد آبیاری کارایی مصرف آب کاهش یافت. آنان بین مقدار آب مصرف شده و کارایی مصرف آب رابطه معکوس معنادار مشاهده کردند. با کاهش مقدار آب خاک، از یک طرف، حجم آب مصرف‌شده برای آبیاری گیاهان کم می‌شود و از طرف دیگر، رشد گیاه و ماده خشک شاخساره یونجه بر اثر کم‌آبی نیز کاهش می‌یابد (شکل 1). چون میزان کاهش ماده خشک گیاه از مقدار آب مصرف‌شده بیش‌تر است، کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد.

افزایش معنادار کارایی مصرف آب گیاه یونجه در شرایط آبیاری مطلوب (رطوبت 0.81FC-FC) را با مصرف لجن فاضلاب با نتایج عباسی و همکاران (1392)، محمدنژاد و همکاران (1394)، مطابقت داشت. باتوجه‌به‌اینکه بین ماده خشک بخش هوایی و کارایی مصرف آب رابطه مثبت و معنادار ($r= 0/894^{**}$) مشاهده شد، این افزایش را می‌توان به افزایش ماده خشک شاخساره نسبت داد. افزودن لجن فاضلاب به خاک و افزایش کربن آلی خاک با بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگه‌داری آب، کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و افزایش عناصر غذایی خاک، باعث بهبود رشد ریشه و شاخساره گیاه و افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (محمدنژاد و همکاران، 1394؛ هاولین و همکاران، 2006). در رطوبت 0.34FC-0.50FC، با افزایش مقدار لجن فاضلاب مصرف شده در خاک، کارایی مصرف آب ابتدا به‌طور معنادار افزایش و سپس کاهش یافت. لورا فیاسکونارو و همکاران (2013) نیز افزایش معنادار کارایی مصرف گیاه یونجه را با مصرف لجن فاضلاب در شرایط کمبود آب در خاک گزارش کردند. همان‌طور که در شکل‌های 1 و 2 مشاهده می‌شود، روند تغییرات کارایی مصرف آب و ماده خشک شاخساره مشابه هم است. بنابراین، افزایش و کاهش کارایی مصرف آب را می‌توان به افزایش و کاهش ماده خشک شاخساره مربوط دانست که دلیل‌های آن پیش از این ذکر شده است.

در شرایط این پژوهش، مصرف لجن فاضلاب (تا 30 گرم بر کیلوگرم خاک) با بهبود رشد گیاه یونجه، تحمل آن را در برابر تنش کمبود آب در خاک افزایش داد که با نتایج پاسکوال و همکاران (2004) و آنتولین و همکاران (2010) مطابقت داشت. با کاهش مقدار آب خاک، مقاومت مکانیکی خاک افزایش و رشد ریشه کاهش می‌یابد (بنگوق و همکاران، 2011)، اما با مصرف لجن فاضلاب، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش و ظرفیت نگهداری آب در خاک افزایش می‌یابد که سبب بهبود رشد گیاه می‌شود (چنگ و همکاران، 2007؛ محمودی و همکاران، 1394).

با مصرف لجن فاضلاب در خاک غلظت آهن، منگنز، روی و مس شاخساره و غلظت آهن، منگنز، روی، مس، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم ریشه یونجه به‌طور معنادار افزایش یافت که با نتایج عباسی و همکاران (1391)، عسگری و همکاران (a,b 2019) مطابقت داشت. آنان گزارش دادند که مصرف لجن فاضلاب در خاک غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف گیاه نعناع را افزایش داد. با توجه به بیش‌تر بودن غلظت این عناصر در لجن فاضلاب نسبت به خاک (جدول‌های 1 و 2) این افزایش را می‌توان به افزایش غلظت عناصر غذایی در خاک بر اثر مصرف این ماده آلی نسبت داد. همچنین، عناصر غذایی موجود در لجن فاضلاب در طول دوره رشد گیاه طی فرایند معدنی‌شدن آزاد شده و سبب افزایش عناصر غذایی قابل‌جذب گیاه در خاک و غلظت این عناصر در ریشه و شاخساره گیاه یونجه می‌شود (محمودی و همکاران، 1394؛ عسگری و همکاران، a,b 2019). نجفی و همکاران (الف1391) گزارش دادند که مصرف لجن فاضلاب در خاک سبب کاهش pH و افزایش عناصر غذایی کم‌مصرف قابل‌جذب گیاه در خاک شد. نجفی و محمدنژاد (1394) گزارش دادند که غلظت فسفر، آهن، روی و منگنز شاخساره ذرت با مصرف لجن فاضلاب شهر تبریز افزایش یافت اما بر غلظت پتاسیم و سدیم شاخساره اثر معنادار نداشت. نجفی و همکاران (1392) و نجفی و عباسی (1393) مشاهده کردند که مصرف لجن فاضلاب در یک خاک آهکی سبب کاهش pH و افزایش EC، پتاسیم، سدیم، آهن، روی و منگنز محلول خاک شد. با توجه به اینکه گیاهان عناصر غذایی را از محلول خاک جذب می‌کنند، این

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرات سبب بهبود جذب یون‌ها و کاتیون‌های مختلف و افزایش غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در گیاه می‌شود.

پس از مصرف لجن فاضلاب در خاک افزایش غلظت آهن و روی برگ و ریشه یونجه به‌وسیله آنتولین و همکاران (2010)، افزایش غلظت آهن دانه لوبیا به‌وسیله سینگ و آگراوال (b 2010)، افزایش غلظت منگنز شاخساره گیاه کاهو به‌وسیله محمد و اتحمنه (2004)، افزایش غلظت روی شاخساره یونجه و چغندرقند به‌ترتیب به‌وسیله باراکه و همکاران (1996) و سینگ و اگراوال (2007) و افزایش غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در آفتابگردان به‌وسیله نجفی و همکاران (1390) و نجفی و همکاران (ب1391) گزارش شده است. در مقابل، سینگ و آگراوال (2007) کاهش معنادار غلظت منگنز شاخساره گیاه چغندرقند را با مصرف لجن فاضلاب مشاهده کردند. آنان دلیل این کاهش را وجود رابطه ناهم‌سازی (Antagonistic) بین منگنز و کادمیم موجود در لجن فاضلاب بیان کردند.

به‌طورکلی، با کاهش مقدار آب خاک غلظت آهن شاخساره و غلظت آهن، فسفر و سدیم ریشه کاهش یافت درحالی‌که غلظت روی و مس شاخساره افزایش یافت. اثر مقدار آب خاک بر غلظت سایر عناصر مورد مطالعه به سطح لجن فاضلاب بستگی داشت. در بیش‌ترین سطح لجن فاضلاب (60 گرم بر کیلوگرم خاک)، با کاهش مقدار آب خاک، غلظت نیتروژن ریشه کاهش یافت (شکل‌های 3، 7، 8، 9). کاهش غلظت نیتروژن ریشه در شرایط کمبود آب ممکن است به‌علت کاهش سرعت تعرق و کاهش جذب و انتقال نیتروژن از ریشه به شاخساره باشد (علم، 1999). همچنین، کاهش غلظت نیتروژن ریشه یونجه را می‌توان به کاهش جذب آن توسط گیاه به‌دلیل شورشدن خاک بر اثر زیادی لجن فاضلاب نسبت داد. شوری خاک در این تیمار سرعت معدنی‌شدن نیتروژن موجود در لجن فاضلاب و خاک را کاهش می‌دهد و درنتیجه نیتروژن قابل‌جذب گیاه در خاک کاهش می‌یابد (گراتان و گریو، 1998؛ محمودی و همکاران، 1394). با کاهش مقدار آب در خاک، کاهش غلظت نیتروژن ریشه نشاهای گیاه *Parthenocissus tricuspidata* به‌وسیله وانگ و همکاران (2009) و کاهش غلظت نیتروژن ریشه موز به‌وسیله ماهواچی (2009) نیز گزارش شده است. بااین‌حال، عدم تأثیر معنادار کمبود آب در خاک بر غلظت نیتروژن ریشه گیاه *Lotus tenuis* به‌وسیله گارسیا و همکاران (2008) و گیاه یونجه به‌وسیله مارکاریان و همکاران (1394) گزارش شده است. مارکاریان و همکاران (1394) مشاهده کردند که با کاهش رطوبت خاک، باوجود عدم‌تغییر معنادار غلظت نیتروژن ریشه، غلظت نیتروژن شاخساره یونجه به‌طور معناداری افزایش یافت. محمودی و همکاران (1394) گزارش دادند که با کاهش رطوبت خاک، غلظت نیتروژن شاخساره یونجه به‌طور معنادار افزایش یافت. باتوجه‌به اینکه در شرایط کمبود آب در خاک عرضه نیتروژن به ریشه از راه جریان توده‌ای و پخشیدگی کاهش می‌یابد (هاولین و همکاران، 2006)، کاهش غلظت نیتروژن ریشه گیاهان ممکن است به انتقال این عنصر از ریشه به شاخساره به‌دلیل پویابودن آن در گیاه مربوط باشد (مارشنر، 1997). به‌عبارت‌دیگر، در شرایط آزمایش، سرعت ورود نیتروژن به ریشه از سرعت انتقال آن به شاخساره گیاه کم‌تر بوده است. در نتیجه، غلظت نیتروژن ریشه یونجه کاهش یافته است.

کاهش غلظت فسفر ریشه یونجه با کاهش مقدار رطوبت خاک با نتایج مارکاریان و همکاران (الف1394)، هوآنگ (2001)، وانگ و همکاران (2009) و ماهواچی (2009) مطابقت داشت. بااین‌حال، کیدمبی و همکاران (1990) نشان دادند که غلظت فسفر برگ یونجه و اسپرس با کاهش مقدار آب خاک تغییر معنادار نکرد هرچند یک روند افزایشی در غلظت فسفر برگ یونجه مشاهده شد. با کاهش مقدار آب خاک ترکیب‌های فسفر رسوب کرده و عرضه فسفر به ریشه‌ها کم شده و به‌دلیل انتقال فسفر ریشه به شاخساره غلظت فسفر ریشه کاهش می‌یابد (مارکاریان و همکاران، 1394؛ هاولین و همکاران، 2006). شاید به‌همین‌دلیل هم در برخی تیمارها با کاهش مقدار آب خاک، غلظت پتاسیم ریشه کاهش یافت که با نتایج هوآنگ (2001)، وانگ و همکاران (2009) و آخوندی و همکاران (1385) مطابقت داشت.

در بیش‌ترین سطح لجن فاضلاب، با کاهش مقدار آب خاک، غلظت کلسیم ریشه کاهش و غلظت پتاسیم، منیزیم و سدیم ریشه یونجه افزایش یافت. به نظر می‌رسد با کاهش مقدار آب خاک، ترکیب‌های کلسیم نسبت به سه کاتیون دیگر سریع‌تر رسوب می‌کند. درنتیجه، عرضه کلسیم به ریشه‌ها کاهش یافته و غلظت آن در ریشه کم می‌شود که با نتایج اشرف و همکاران (2001) مطابقت داشت. آنان گزارش کردند که تنش کمبود آب باعث کاهش غلظت کلسیم ریشه ارزن شد. با کاهش مقدار آب خاک، افزایش غلظت کلسیم و سدیم شاخساره یونجه به‌وسیله آخوندی و همکاران (1385)، افزایش غلظت منیزیم کاه و کلش گندم و کاهش غلظت منیزیم دانه گندم به‌وسیله رضایی و همکاران (2010)، افزایش غلظت کلسیم شاخساره یونجه به‌وسیله کیدمبی و همکاران

www.SID.ir

Archive of SID

(1990)، افزایش غلظت منیزیم ذرت به‌وسیله پریماچاندرا و همکاران (1990)، کاهش غلظت منیزیم گندم به‌وسیله یاسین‌اشرف و همکاران (1990) گزارش شده است. آخوندی و همکاران (1385) گزارش نمودند که با کاهش پتانسیل آب خاک غلظت پتاسیم ریشه یونجه کاهش و غلظت پتاسیم برگ‌ها افزایش یافت. افزایش غلظت پتاسیم در شاخساره گندم به‌وسیله رضایی و همکاران (2010) نیز گزارش شده است.

کاهش غلظت آهن شاخساره و ریشه با کاهش مقدار آب خاک در بررسی حاضر با نتایج پاسکوال و همکاران (2004) مطابقت داشت. این کاهش را می‌توان به کاهش آهن قابل‌جذب گیاه در خاک بر اثر رسوب ترکیب‌های آهن، کاهش میزان معدنی‌شدن لجن فاضلاب و کاهش سرعت پخشیدگی آهن از خاک به سطح ریشه در شرایط کمبود آب نسبت داد (علم، 1999؛ پاسکوال و همکاران، 2004؛ هاولین و همکاران، 2006). افزایش غلظت روی شاخساره یونجه با کاهش مقدار آب خاک با نتایج سامارہ و همکاران (2004) مطابقت داشت. پاسکوال و همکاران (2004) افزایش معنادار غلظت روی ریشه چاودار را در شرایط کمبود آب در خاک گزارش کردند. در بیش‌ترین سطح لجن فاضلاب، با کاهش مقدار آب خاک، غلظت مس ریشه و شاخساره یونجه افزایش یافت که با نتایج پاسکوال و همکاران (2004)، اورتیز و الکانایز (2006)، سینگ و آگراوال (2007 و 2010) و آنتولین و همکاران (2010) مطابقت داشت. شاید افزایش غلظت روی و مس شاخساره یونجه در شرایط کمبود آب در خاک ناشی از کاهش ماده خشک گیاه، کاهش سرعت جذب این دو عنصر و وقوع پدیده «اثر تغلیظ» باشد (مارشنر، 1997). کلینگ و ماتوسا (1990) غلظت بحرانی کمبود آهن، روی، مس و منگنز را در شاخساره گیاه یونجه به‌ترتیب 44، 10، 5 و 20 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش دادند. بنابراین، باتوجه به این سطوح بحرانی، غلظت این عناصر غذایی کم‌مصرف در شاخساره گیاه یونجه در پژوهش حاضر در تمام تیمارها بیش‌تر از سطح بحرانی بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با کاهش رطوبت خاک، وزن شاخساره و ریشه تر، کارایی مصرف آب و غلظت آهن شاخساره و غلظت آهن، فسفر و سدیم ریشه کاهش و غلظت روی و مس شاخساره و غلظت مس ریشه افزایش یافت. اثر مقدار آب خاک بر غلظت نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، روی و منگنز ریشه به سطح لجن فاضلاب بستگی داشت. در سطح 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک، با کاهش رطوبت خاک غلظت منیزیم، سدیم و پتاسیم ریشه افزایش و غلظت نیتروژن و کلسیم ریشه کاهش یافت. با مصرف لجن فاضلاب، غلظت منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز ریشه و شاخساره و غلظت فسفر، پتاسیم و کلسیم ریشه به‌طور معنادار افزایش یافت. وزن شاخساره و ریشه تر با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی تا 30 گرم بر کیلوگرم خاک، افزایش یافت اما با مصرف 60 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک، به‌دلیل شورشدن خاک، کاهش یافت. اثر لجن فاضلاب بر کارایی مصرف آب به مقدار آب خاک بستگی داشت.

در شرایط آبیاری مطلوب (0.81FC-FC)، با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی، کارایی مصرف آب به‌طور خطی با $r = 0.991^{**}$ افزایش یافت، درحالی‌که در شرایط تنش کمبود آب (0.34FC-0.50FC)، مصرف لجن فاضلاب تا سطح 30 گرم بر کیلوگرم خاک، کارایی مصرف آب را افزایش داد اما در سطح 60 گرم بر کیلوگرم، بر اثر افزایش شوری محلول خاک، کارایی مصرف آب به‌طور معنادار کاهش یافت. در این سطح رطوبت، بین سطح لجن فاضلاب و کارایی مصرف آب رابطه چندجمله‌ای درجه دو با $r = 0.998^{**}$ مشاهده شد. مصرف لجن فاضلاب شهر میانه به میزان 30 گرم بر کیلوگرم یا کم‌تر در یک خاک آهکی سبب افزایش غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در ریشه و شاخساره، افزایش رشد، افزایش کارایی مصرف آب و افزایش تحمل یونجه در برابر تنش خشکی گردید. برای افزایش کارایی مصرف آب و بهبود تغذیه و رشد گیاه یونجه، مصرف 30 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک در شرایط با و بدون تنش کمبود آب در صورت دارا بودن سایر شرایط استاندارد لجن فاضلاب می‌تواند توصیه شود. هرچند استفاده از لجن فاضلاب در این آزمایش نتایج مفیدی داشته است، اما باید به خطرهای احتمالی فلزهای سنگین در مصرف طولانی‌مدت این پسماند آلی توجه شده و از آن جلوگیری شود.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع:

1. احمدی‌نژاد، ر.، ن. نجفی، ن. علی‌اصغرزاد، و ش. اوستان. 1392. اثر کودهای آلی و نیتروژن بر کارایی مصرف آب، عملکرد و ویژگی‌های رشد گندم (رقم الوند). دانش آب و خاک، 23(2): 197–177.
2. آخوندی، م.، ع. صفرنژاد و م. لاهوتی. 1385. اثر تنش خشکی بر تجمع پرولین و تغییرات عناصر در یونجه‌های یزدی، نیک‌شهری و رنجر (*Medicago sativa* L.). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 10(1): 174–165.
3. بی‌نام. 1397. گزارش برآورد سطح، تولید و عملکرد محصولات زراعی در سال زراعی 96–1395. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی، 77 صفحه.
4. شهبازی، ک.، و ح. بشارتی. 1392. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. مدیریت اراضی، 1(1): 15–1.
5. عباسی، م.، ن. نجفی، ن. علی‌اصغرزاد و ش. اوستان. 1391. اثر شرایط آب خاک، لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر غلظت های عناصر پرمصرف در برنج در یک خاک قلیایی. مدیریت خاک و تولید پایدار، 2(1): 26–1.
6. عباسی، م.، ن. نجفی، ن. علی‌اصغرزاد، ش. اوستان. 1392. اثر شرایط آب خاک و مصرف لجن فاضلاب، کود مرغی و کودهای شیمیایی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب گیاه برنج در یک خاک آهکی. دانش آب و خاک، 23(1): 208–189.
7. کاظم‌علیلو س.، ن. نجفی، ع. ریحانی‌تبار، م. غفاری. الف1396. اثر مصرف تلفیقی کود فسفر و لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل و برخی ویژگی‌های رشد آفتابگردان در شرایط تنش کم‌آبی. مدیریت خاک و تولید پایدار، 7(4): 18–1.
8. کاظم‌علیلو، س.، ن. نجفی، و ع. ریحانی‌تبار. ب1396. افزایش عملکرد و اجزای عملکرد آفتاب‌گردان با مصرف تلفیقی فسفر و لجن فاضلاب در شرایط آبیاری مطلوب و محدود. آب و خاک-دانشگاه فردوسی مشهد، 31(6): 1650–1637.
9. کاظم‌زاده، م.، س.ه. پیغمبردوست، و ن. نجفی. 1392. بهبود غلظت عناصر غذایی آرد گندم رقم الوند با مصرف تلفیقی کودهای آلی و نیتروژن. تحقیقات خاک و آب ایران، 44(4): 420–405.
10. کریمی، ه.. 1369. یونجه. مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
11. مارکاریان، ش.، ن. نجفی، ن. علی‌اصغرزاد، و ش. اوستان. 1394. اثر باکتری *سینوریزوبیوم ملیلوتی* و فسفر بر شاخص کلروفیل برگ، غلظت نیتروژن و فسفر ریشه و بخش هوایی یونجه در شرایط تنش خشکی. دانش آب و خاک، 25(4): 45–27.
12. محمدنژاد، آ.، ن. نجفی، و م. نیشابوری. 1394. تأثیر سه نوع کود آلی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب ذرت در سطوح مختلف فشردگی خاک. مدیریت خاک و تولید پایدار، 5(2): 47–25.
13. محمودی، ش.، ن. نجفی، و ع. ریحانی‌تبار. 1393. تأثیر رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل برگ و برخی ویژگی‌های رشد گیاه یونجه در شرایط گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، 5(20): 220–207.
14. محمودی، ش.، نجفی ن.، ریحانی‌تبار ع. 1394. اثر رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و غلظت عناصر پرمصرف علوفه یونجه در شرایط گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، 6(22): 55–37.
15. مطلبی‌فرد، ر.، ن. نجفی، ش. اوستان، م.ر. نیشابوری، و م. ولیزاده. 1393. اثر رطوبت خاک، فسفر و روی بر ویژگی‌های رشد سیب زمینی در شرایط گلخانه‌ای. تحقیقات خاک و آب ایران، 45(1): 86–75.
16. نجفی، ن. و س. مردمی. 1390. اثر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر ویژگی‌های رشد گیاه آفتابگردان در یک خاک

www.SID.ir

Archive of SID

شن لومی. آب و خاک- دانشگاه فردوسی مشهد، 25(6): 1276–1264.

17. نجفی، ن.، و آ. محمدنژاد. 1394. تغییرات غلظت برخی عناصر در علوفه ذرت (*Zea mays* L) تحت تأثیر منبع و مقدار کودهای آلی و فشردگی خاک. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، 9(4): 582–561.
18. نجفی، ن.، س. مردمی، ش. اوستان. 1390. اثر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر غلظت فلزات سنگین در ریشه و بخش هوایی آفتابگردان در یک خاک شن لومی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، 15(58): 157–139.
19. نجفی، ن.، س. مردمی، ش. اوستان. الف1391. تغییرات آهن، روی، مس و منگنز قابل‌استخراج با DTPA پس از غرقاب و کاربرد لجن فاضلاب و کود دامی در دو خاک مختلف. تحقیقات خاک و آب ایران، 43(1): 22–9.
20. نجفی، ن.، س. مردمی، و ش. اوستان. ب1391. اثر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر جذب برخی عناصر پرمصرف و سدیم در گیاه آفتابگردان در یک خاک شن لومی. آب و خاک–دانشگاه فردوسی مشهد، 26(3): 636–619.
21. نجفی، ن.، م. عباسی، ن. علی‌اصغرزاد، ش. اوستان. 1392. اثر کشت برنج، غرقاب، لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر pH، EC، پتاسیم و سدیم محلول خاک. دانش آب و خاک، 23(3): 121–105.
22. نجفی، ن.، و م. عباسی. 1393. اثر کشت برنج، لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات غلظت آهن، روی، مس و منگنز محلول خاک پس از غرقاب. مجله تحقیقات کاربردی خاک، 2(1): 14–1.
23. Alam, S.M. 1999. Nutrient uptake by plants under stress conditions, P. 285–313. In: M. Pessarakli (Ed.) Handbook of Plant and Crop Stress. Second Edition, Marcel Dekker Inc., New York, USA.
24. Al-Naeem, M.A. 2008. Influence of water stress on water use efficiency and dry hay production of alfalfa in Al-Ahsa, Saudi Arabia. International Journal of Soil Science 3:119–126.
25. Amin, A.W., F.K. Sherif, H. El-Atar, and H. Ez-Eldin. 2009. Effect of residual and accumulative sewage sludge on heavy metals bioaccumulation: Gene action and some yield parameters of *Vicia faba*. Research Journal of Environmental Toxicology, 3: 60–75.
26. Anonymous. 1994. A guide for land appliers on the requirements of the federal standards for the use or disposal of sewage sludge. 40 CFR Part 503. Office of Enforcement Environmental and Compliance Assurance, United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.
27. Antolin, M.C., I. Muro, and M. Sanchez-Diaz. 2010. Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions. Environmental and Experimental Botany, 68: 75–82.
28. Antolin, M.C., I. Pascual, C. Garcia, A. Polo, and M. Sanchez–Diaz. 2005. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. Field Crops Research, 94:224–237.
29. Asgari Lajayer, B., N. Najafi, E. Moghiseh, M. Mosaferi, and J. Hadian. 2019a. Effects of gamma irradiated and non-irradiated sewage sludge on growth characteristics, leaf chlorophyll index, and macronutrients concentrations in basil. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 19(3): 580–591.
30. Asgari Lajayer, B., N. Najafi, E. Moghiseh, M. Mosaferi, and J. Hadian. 2019b. Micronutrient and heavy metal concentrations in basil plant cultivated on irradiated and non-irradiated sewage sludge-treated soil and evaluation of human health risk. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 104: 141–150.
31. Ashraf, M., M. Shabaz, and M.Y. Ashraf. 2001. Influence of nitrogen supply and water stress on growth and nitrogen, phosphorus, potassium and calcium contents in pearl millet. Biologia Plantarum, 44:459–462.

www.SID.ir

Archive of SID

32. Barakah, F.N., S.H. Salem, and A.M. Heggo. 1996. Effect of sewage sludge on nodulation and N_2−fixation in alfalfa grown on calcareous loamy soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 159(3): 289–296.
33. Bengough, A.G., B.M. McKenzie, P.D. Hallett, and T.A. Valentine. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. Journal of Experimental Botany, 62: 59–68.
34. Binder, D.L., A. Dobermann, D.H. Sander, and K.G. Cassman. 2002. Biosolids as nitrogen source for irrigated maize and rainfed sorghum. Soil Science Society of America Journal, 66: 531–543.
35. Cheng, H., W. Xu, J. Liu, Q. Zhao, Y. He, and G. Chen. 2007. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. Ecological Engineering, 29: 96–104.
36. Eghball, B., D. Ginting and J.E. Gilley. 2004. Residual effect of manure and compost application on maize production and soil properties. Agronomy Journal, 96: 442–447.
37. Erdem, T., Y. Erdem, H. Orta and H. Okursoy. 2006. Water yield relationships of potato under different irrigation methods and regimens. Scientia Agricola, 63(3), 226–231.
38. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29(1):185–212.
39. Gee, G.W., and D. Or. 2002. Particle-Size Analysis. P. 255–295. In: A.D. Warren (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. SSSA, Madison, Wis, USA.
40. Gupta, P.K. 2000. Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Delhi, India.
41. Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 2006. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th ed. Prentice Hall of India, New Delhi, India.
42. Huang, B. 2001. Nutrient accumulation and associated root characteristics in response to drought stress in tall fescue cultivars. Hortscience, 36:148–152.
43. Kalra, Y.P., and D.G. Maynard. 1991. Methods Manual for Forest Soil and Plant Analysis. Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta, Canada.
44. Kelling, K.A. and J.E. Matocha. 1990. Plant Analysis as an Aid in Fertilizing forage crops. P. 603–643. In: R.L. Westerman (Ed.) Soil Testing and Plant Analysis. Third Edition, Soil Science Society of America Book Series No 3. Madison, Wis, USA, 784 Pages.
45. Kidambi, S.P., A.G. Matches, and T.P. Bolger. 1990. Mineral concentrations in alfalfa and sainfoin as influenced by soil moisture level. Agronomy Journal, 82: 229–236.
46. Knudsen, D., G.A. Peterson, and P.F. Pratt. 1982. Lithium, sodium, and potassium, P. 225–246. In: A.L. Page, et al. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA and SSSA Inc., Madison, Wis, USA.
47. Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. Academic Press, Inc. Florida, USA, 489 pages.
48. Laura Fiasconaro, M., M.Sánchez-Díaz and M. Carmen Antolín. 2013. Nitrogen metabolism is related to improved water–use efficiency of nodulated alfalfa grown with sewage sludge under drought. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 176: 110–117.
49. Lindsay, W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal, 42: 421–428.
50. Loveland, P., and J. Webb. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. Soil and Tillage Research, 70: 1–18.

www.SID.ir

Archive of SID

51. Mahouachi, J. 2009. Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual soil moisture depletion. Scientia Horticulturae, 120: 460–466.
52. Marschner, H. 1997. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition, Academic Press, London, UK, 889 pages.
53. McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. P. 199–224. In: A.L. Page et al. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA and SSSA Inc., Madison, WI, USA.
54. Mohammad, M.J., and B.M. Athamneh. 2004. Changes in soil fertility and plant uptake of nutrient and heavy metals in response to sewage sludge application to calcareous soils. Journal of Agronomy, 2: 229–236.
55. Motalebifard, R., N. Najafi, S. Oustan, M.R. Nyshabouri, and M. Valizadeh. 2013. The combined effects of phosphorus and zinc on evapotranspiration, leaf water potential, water use efficiency and tuber attributes of potato under water deficit conditions. Scientia Horticulturae, 162: 31–38.
56. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1982. Total Carbon and Organic Matter. P. 539–579. In: A.L. Page and et al. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA and SSSA, Madison, Wis, USA.
57. Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. P. 403–430. In: A. L. Page, et al. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. ASA and SSSA Inc., Madison, Wis, USA.
58. Ortiz, O., and J.M. Alcañiz. 2006. Bioaccumulation of heavy metals in *Dactylis glomerata* L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge. Bioresource Technology, 97: 545–552.
59. Pascual, I., M.C. Antolin, C. Garcia, A. Polo, and M. Sanchez-Diaz. 2004. Plant availability of heavy metals in a soil amended dose of sewage sludge under drought conditions. Biology and Fertility of Soils, 40: 291–299.
60. Peng, Y., Z. Gao, Y. Gao, G. Liu, L. Sheng and D. Wang. 2008. Ecophysiological characteristics of alfalfa seedlings in response to various mixed salt alkaline stresses. Journal of Integrative Plant Biology, 50: 29–39.
61. Peters, J. 2003. Recommended Methods of Manure Analysis. University of Wisconsin Cooperative Extension Publication, Wis, USA
62. Premachandra, G.S., H. Saneoka, K. Fujita, and S. Ogata. 1990. Cell membrane stability and leaf water relation as affected by phosphorus nutrition under water stress in maize. Soil Science and Plant Nutrition, 36(4): 653–659.
63. Qiu, G.Y., L.Wang, X. He, X. Zhang, S. Chen, J. Chen, Y. Yang. 2008. Water use efficiency and evapotranspiration of winter wheat and its response to irrigation regime in the north China plain. Agricultural and Forest Meteorology, 148: 1848–1859.
64. Rezaei M., S. Zehtab–Salmasi, N. Najafi, K. Ghassemi-Golezani, and M.R. Jalalikamali. 2010. Effects of water deficit on nutrient content and grain protein of bread wheat genotypes. Journal of Food, Agriculture & Environment, 8(3 & 4): 535–539.
65. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Salinity Laboratory Staff, Agriculture Handbook No. 60, United States Department of Agriculture, USA.
66. Singh, R.P. and M. Agrawal. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants. Chemosphere, 67: 2229–2240.
67. Singh, R.P. and M. Agrawal. 2010. Effect of different sewage sludge applications on growth and yield of *Vigna radiata* L. field crop: Metal uptake by plant. Ecological Engineering, 36: 969–972.

www.SID.ir

Archive of SID

68. Wu, Y., M. Huang, and D.N. Warrington. 2011. Growth and transpiration of maize and winter wheat in response to water deficits in pots and plots. Environmental and Experimental Botany, 71: 65–71.
69. Yasin–Ashraf, M., S.A. Ala, and A. Batti. 1998. Nutritional imbalance in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes grown at soil water stress. Acta Physiologiae Plantarum, 20: 307–310.

www.SID.ir

Archive of SID

Effects of Soil Moisture and Sewage Sludge on Water Use Efficiency and Concentrations of Some Elements in Alfalfa

N. Najafi[1], Sh. Mahmoudi, M. R. Neyshabouri, and A. Reyhanitabar

Associate Professor, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz; E-mail: n-najafi@tabrizu.ac.ir

Graduated MSc, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz; E-mail: sh.mahmoudi.t@hotmail.com

Professor, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz; E-mail: neyshmr@hotmail.com

Associate Professor, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz; E-mail: areyhani@tabrizu.ac.ir

Received: May, 2019 and Accepted: February, 2020

Abestrct

In this study, the interactive effects of soil moisture and S levels were investigated on alfalfa (*Medicago sativa* c.v Garehyounjeh) shoot and root fresh weights, water use efficiency (WUE), and concentrations of some elements in a loam soil under greenhouse conditions. A factorial experiment based on a randomized complete blocks design with three replications was conducted with two factors: soil moisture at three levels (0.81 FC–FC, 0.56–0.75 FC, and 0.35–0.50FC) and SS at four levels (0, 15, 30, and 60 g/kg soil). When 10% of the alfalfa plants flowered, the shoot and root fresh weights, concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), and zinc (Zn) and WUE of alfalfa plant were measured. The results showed that the main and interactive effects of SS and soil moisture on alfalfa shoot and root fresh weights, WUE, and concentrations of elements were significant ($p\leq0.01$). The decrease in soil moisture content, decreased alfalfa shoot and root fresh weights, WUE, concentrations of Fe in the shoot and concentrations of P, Fe, and Na in the root ($p\leq0.05$); while it increased concentrations of Cu in the root, and Cu and Zn in the shoot ($p\leq0.05$). Effect of soil water content on concentrations of N, K, Ca, Mg, Zn, and Mn of the root depended on the level of SS. Concentrations of Mg, Fe, Zn, Cu, and Mn in the root and shoot and concentrations of P, K, and Ca in the root were increased ($p\leq0.05$) with the use of SS and increase in its level. By increasing the SS level, shoot and root fresh weights were initially increased and then decreased ($p\leq0.05$). Effect of SS on WUE depended on soil water content. With sufficient water supply (0.81FC–FC), WUE was increased with increment of SS level, while under water-deficit stress (0.35FC–0.50FC), application of SS up to 30 g/kg increased WUE but at the level of 60 g/kg, increase in the soil salinity reduced WUE ($p\leq0.05$). To increase WUE and improve the nutrition and growth of alfalfa at similar conditions, 30 grams of SS per kilogram of soil may be recommended under both well-watered and water-deficit conditions. Although the use of sewage sludge had some beneficial effects in this experiment, the potential risks of heavy metals in long-term application of this organic waste should be considered and avoided.

Keywords: *Medicago sativa,* Organic waste, Plant nutrition, Water-deficit stress

[1.] Corresponding author: Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

www.SID.ir