نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۶
http://ejsms.gau.ac.ir

اثر مصرف تلفیقی کود فسفر و لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل و برخی ویژگی‌های رشد آفتابگردان در شرایط تنش کم‌آبی

سولماز کاظم‌علیلو[۱]، نصرت‌اله نجفی[۲]، عادل ریحانی‌تبار[۲] و مهدی غفاری[۳]

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز، [۲]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز، [۳]استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: تنش کم‌آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصول در دنیا و ایران است. برای افزایش تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، تلفیق کودهای شیمیایی و آلی توصیه می‌شود. مطالعات مختلفی در مورد اثر فسفر و لجن فاضلاب بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی محصولات زراعی مختلف در سطح دنیا انجام شده است ولی تاکنون در مورد مصرف توأم فسفر و لجن فاضلاب بر رشد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و تعیین مقدار بهینه این کودها برای شرایط آبیاری مطلوب و محدود گزارشی ارائه نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر برای بررسی تأثیر سوپرفسفات‌تریپل و لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل و برخی ویژگی‌های رشد آفتابگردان روغنی در شرایط آبیاری مطلوب و محدود در یک خاک لوم رسی انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان خوی و در شرایط مزرعه‌ای اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل سال در دو سطح (۲۰۱٤ و ۲۰۱۵)، زمان آبیاری در دو سطح (آبیاری پس از ٦۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)، سوپرفسفات‌تریپل در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و لجن فاضلاب در چهار سطح (صفر، ۱٤/۲، ۲۸/٤ و ٥٦/۷ تن ماده خشک در هکتار) بودند. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

یافته‌ها: مطابق با نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثر سال تنها بر شاخص سطح برگ، عملکرد زیستی و ارتفاع گیاه معنی‌دار بود. تنش کم‌آبی سبب کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ، شاخص سطح برگ، عملکرد زیستی، ارتفاع بوته و قطر ساقه شد ولی مصرف سوپرفسفات‌تریپل و لجن فاضلاب تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند. در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود، بیش‌ترین شاخص کلروفیل برگ، شاخص سطح برگ، عملکرد زیستی، ارتفاع بوته و قطر ساقه از تیمارهای تلفیقی به‌دست آمد که در شرایط آبیاری مطلوب به‌ترتیب ٤۰، ۱٤۱، ۷۵، ۲٦ و ٤۷ درصد و در شرایط آبیاری محدود ۵۱، ۹۵، ۱۱٤، ۳٦ و ٦۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند.

* مسئول مکاتبه: solmaz.kazemalilou@tabrizu.ac.ir

نتیجه‌گیری: برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و دستیابی به رشد مطلوب آفتابگردان، در شرایط آبیاری مطلوب مصرف تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل + ٥٦/٧ تن لجن فاضلاب در هکتار و در شرایط آبیاری محدود مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل + ٥٦/٧ تن لجن فاضلاب در هکتار در شرایط مشابه می‌تواند توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، تنش کم‌آبی، کلروفیل، مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه

مقدمه

تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد؛ چون سبب بسته شدن روزنه‌ها، تولید گونه‌های فعال اکسیژن، آسیب به کلروفیل و کاهش فتوسنتز در گیاهان می‌شود (٢٦). علاوه‌بر این، وقتی گیاهان با تنش کم‌آبی مواجه می‌شوند، از تنش کمبود عناصر غذایی به‌دلیل ارتباط نزدیک بین رطوبت و فراهمی عناصر غذایی رنج می‌برند. کمبود آب میزان جذب و انتقال عناصر غذایی از ریشه به بخش هوایی را نیز کاهش می‌دهد، چون میزان تعرق و پخشیدگی عناصر غذایی از خاک به سطح ریشه را کاهش داده و به انتقال فعال و تراوایی غشاهای سلولی آسیب می‌رساند (٦١). تغذیه گیاهان با عناصر غذایی معدنی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، روی و بور تحمل گیاهان در برابر تنش کم‌آبی را افزایش می‌دهد. بنابراین، در شرایط تنش کم‌آبی، بهبود حاصلخیزی خاک می‌تواند جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاهان را افزایش داده و در افزایش تحمل گیاهان به کم‌آبی نقش مهمی داشته باشد (١٧).

کمبود فسفر بعد از نیتروژن، اغلب محدودکننده‌ترین عامل در تولید گیاهان می‌باشد. فسفر در ساختمان اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها، فسفوپروتئین‌ها، دی‌نوکلئوتیدها و آدنوزین تری‌فسفات‌ها شرکت دارد. فسفر در فرآیندهای ذخیره و انتقال انرژی، فتوسنتز، تنظیم فعالیت برخی آنزیم‌ها و انتقال کربوهیدرات‌ها نقش دارد. فراهمی کافی آب برای جذب فسفر به‌وسیله گیاهان ضروری می‌باشد؛ چون یون‌های فسفات از طریق فرآیند انتشار در خاک حرکت می‌کنند و اگر مقدار آب در خاک کاهش یابد به‌دلیل کاهش منافذ پر از آب و افزایش پیچ‌خوردگی[1]، تحرک فسفر کاهش می‌یابد. خشکی باعث کاهش جذب و انتقال فسفر در گیاهان از طریق کاهش شکل‌های قابل‌جذب فسفر و افزایش تثبیت فسفر در خاک می‌شود. معلوم شده است که کمبود فسفر، سرعت جذب نیترات و همگون‌سازی آن به‌وسیله آنزیم نیترات ریداکتاز را کاهش می‌دهد (٣٩ و ٥٩). برخی مطالعات نشان داده است که افزودن فسفر می‌تواند اثرهای منفی تنش خشکی بر عملکرد گیاهان را کاهش دهد؛ به‌عبارت دیگر، تحمل گیاهان در برابر تنش خشکی با تغذیه بهینه فسفر افزایش می‌یابد (١٣).

خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک عموماً آهکی با ماده آلی کم و دارای pH قلیایی هستند. بنابراین، در این خاک‌ها بسیاری از گیاهان همواره با مشکل جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و عناصر غذایی کم‌مصرف مواجه هستند. در چنین شرایطی استفاده از کودهای شیمیایی ضروری به‌نظر می‌رسد ولی مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی علاوه‌بر افزایش هزینه‌های تولید، سبب تخریب محیط زیست می‌شود. همچنین، هدررفت

1- Tortuosity

فسفر در خاک از طریق فرسایش (آبی و بادی) و رواناب، علاوه‌بر به‌پروردگی[1] «غنی‌شدن» و آلودگی آب‌ها می‌تواند مشکلاتی برای سلامتی جانداران آبزی ایجاد کند (۱۰ و ٥٤). از طرف دیگر، تولید کودهای فسفری و نیتروژنی محدودیت دارد چون منابع فسفر رو به اتمام است و تولید کودهای نیتروژنی نیز به منابع عظیم انرژی نیاز دارد (۸). برای حل این مشکل و بهبود حاصلخیزی خاک روش‌هایی مانند مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهان[2] با منابع و نهاده‌های تجدیدپذیر شامل مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی برای توسعه کشاورزی پایدار پیشنهاد شده است (۱۸). هدف از مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهان، جذب کافی عناصر غذایی و رشد مطلوب گیاه با کم‌ترین اثرهای منفی بر محیط زیست می‌باشد (۵). یکی از اجزای مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهان استفاده از کودهای آلی مانند لجن فاضلاب[3] است. لجن فاضلاب کودی غنی از عناصر غذایی و مواد آلی می‌باشد که رشد و عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد (۳۲). لجن فاضلاب می‌تواند جانشین مناسبی برای کودهای شیمیایی بوده و می‌توان مصرف کودهای شیمیایی را از این طریق کاهش داد ولی هنگامی که لجن فاضلاب مقدار مطلوبی از عناصر غذایی لازم برای رشد گیاهان را نداشته باشد می‌توان آن را همراه با کودهای شیمیایی و به‌صورت تلفیقی مصرف کرد (٤٨). مواد آلی موجود در لجن می‌تواند کربن را ترسیب کرده و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد (۳۳).

قبل از استفاده از لجن فاضلاب در کشاورزی باید به غلظت فلزات سنگین در آن توجه کرد چون اگر غلظت فلزات سنگین در لجن فاضلاب زیاد باشد مصرف مداوم آن در هر سال سبب تجمع فلزات سنگین در خاک شده و برای گیاهان، دام و انسان سمیت ایجاد می‌کند. با این‌حال، اگر مصرف لجن فاضلاب در کشاورزی در مقادیر مناسب و با توجه به دستورالعمل‌ها صورت گیرد، اثرهای منفی آن بر محیط زیست کاهش یافته و کشاورزی پایدار رعایت می‌شود (۳۳). لوبو و فیلهو (۲۰۰۹) گزارش کردند که اگرچه مصرف لجن فاضلاب در مقادیر زیاد عملکرد آفتابگردان را افزایش داد ولی مقدار آن کم‌تر از عملکرد به‌دست آمده از مصرف کودهای شیمیایی بود (۳٦). بنابراین، لازم است در کنار لجن فاضلاب از کودهای شیمیایی نیز استفاده شود. احمدی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که بیش‌ترین ارتفاع، شاخص کلروفیل، تعداد برگ در بوته و عملکرد بیولوژیک گندم با مصرف تلفیقی ٦۰ تن لجن فاضلاب شهری در هکتار و ۵۰ درصد کود اوره توصیه شده به‌دست آمد (۳). جمیل و همکاران (۲۰۰٦) با بررسی اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر گیاه گندم گزارش کردند که با مصرف ٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه و کاه حاصل شد. همچنین آنان گزارش کردند که با مصرف تلقیقی ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار و نصف کودهای شیمیایی توصیه شده (NPK) بیش‌ترین عملکرد دانه و رشد گیاه حاصل شد (۲۷). اسماعیلیان و همکاران (۲۰۱٤) تأثیر مصرف کودهای آلی، شیمیایی و تلفیق آنها بر گیاه آفتابگردان در شرایط تنش خشکی را بررسی و گزارش کردند که تیمار کودهای آلی (۲۰ تن در هکتار کود گوسفندی و ۱۰ تن در هکتار کود مرغی) و تیمار تلفیقی (۱۵ تن در هکتار کود گاوی + نصف کود شیمیایی توصیه شده) عملکرد و ویژگی‌های رشد گیاه آفتابگردان در شرایط تنش خشکی را به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها افزایش دادند (۱٦).

آفتابگردان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی جهان بوده که علاوه‌بر استفاده از آن در تغذیه دام و پرندگان، ٥۲–٤۸ درصد روغن با کیفیت عالی

1- Eutrophication
2- Integrated Plant Nutrition Management (IPNM)
3- Sewage Sludge (SS)

داشته و در صنایع کنسروسازی و رنگ نیز اهمیت زیادی دارد (۵۳). اما در حال حاضر در ایران با وجود اراضی وسیع قابل‌کشت، متأسفانه ۹۰ درصد روغن خوراکی مورد نیاز از محل واردات تأمین و تنها ۱۰ درصد روغن در کشور تولید می‌شود (٦). آفتابگردان هر چند به‌دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای قوی نسبتاً متحمل به خشکی است ولی به‌دلیل تولید زیست‌توده و رشد رویشی گسترده به آب زیادی نیاز دارد (۱۲). استان آذربایجان‌غربی با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی پتانسیل قابل‌توجهی برای تولید آفتابگردان روغنی و آجیلی دارد. بر اساس گزارش جهاد کشاورزی (۱۳۹۲)، سطح زیر کشت آفتابگردان روغنی و آجیلی در استان آ.غ به‌ترتیب ٤۰۰۰ و ۲۷۵۰۰ هکتار با میزان تولید ۷۰۰۰ و ٤۱۰۰۰ تن بود (٦). بنابراین، با توسعه کشت آفتابگردان روغنی علاوه‌بر گسترش اشتغال فعال در کشور می‌توان از واردات بی‌رویه روغن و کنجاله جلوگیری کرد (٥٦). هدف از این پژوهش بررسی اثر مصرف توأم فسفر و لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های رشد آفتابگردان روغنی در شرایط آبیاری مطلوب و محدود و تعیین مقدار بهینه این کودها برای مصرف در هر دو شرایط مذکور بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی متوالی ۲۰۱٤ و ۲۰۱۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان خوی واقع در ۲ کیلومتری شمال این شهرستان در استان آذربایجان غربی انجام شد. ایستگاه در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤٤ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی قرار داشته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۵۷ متر است. در هر سال، قبل از اقدام به کاشت بذر آفتابگردان، نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه تهیه و بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری برخی ویژگی‌های مهم خاک مانند بافت، pH، EC و درصد ماده آلی تعیین شد (٤۷). نیتروژن کل خاک با استفاده از روش کجلدال (۲۸)، فسفر قابل‌جذب خاک به روش اولسن (٤۵)، پتاسیم قابل‌جذب با استفاده از استات آمونیم یک نرمال (۳٤)، آهن، روی، منگنز و مس قابل‌جذب خاک به روش DTPA (۳۵) اندازه‌گیری شدند. لجن فاضلاب مورد استفاده از تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان خوی تهیه و پس از عبور از الک دو میلی‌متری و تعیین برخی ویژگی‌های شیمیایی مانند pH، EC، کربن آلی و غلظت‌های کل برخی عناصر غذایی و فلزات سنگین مانند کادمیم و سرب (٤۹)، قبل از کشت گیاه به خاک افزوده شده و به‌خوبی با خاک مخلوط شد (۳ و ٤۳).

آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در شرایط مزرعه‌ای اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل سال در دو سطح (۲۰۱٤ و ۲۰۱۵)، زمان آبیاری در دو سطح (آبیاری مطلوب و محدود پس از ٦۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)، لجن فاضلاب در چهار سطح (صفر، ۱٤/۲، ۲۸/٤ و ٥٦/۷ تن ماده خشک در هکتار) و کود فسفر در سه سطح از منبع سوپرفسفات‌تریپل (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. مقادیر فسفر بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب (۳۷) و سطوح لجن فاضلاب بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام یافته (۳ و ٤۳) تعیین شد. سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نیز بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور (۳۷) هنگام کاشت و به‌صورت نواری در همه کرت‌ها مصرف شد. نیتروژن از منبع اوره به‌میزان ۲۵۰

کیلوگرم در هکتار در سه مرحله مصرف شد. یک سوم آن هنگام کاشت به‌صورت نواری و مخلوط با بقیه کودها، یک‌سوم هنگام هشت‌برگی شدن آفتابگردان و یک سوم هم قبل از گلدهی به‌صورت کوددهی جانبی یا پای بوته، کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و کود روی از منبع سولفات روی به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله چهار برگی شدن آفتابگردان به‌صورت نواری و در عمق ۵ سانتی‌متری خاک مصرف شد. رطوبت خاک مزرعه تا استقرار کامل گیاهان در حد ظرفیت مزرعه‌ای نگه‌داری شد. برای تعیین رطوبت مزرعه‌ای از روش وزنی استفاده شد. تنش کمبود آب از مرحله ٤-۳ برگی تا پایان دوره رشد گیاه اعمال شد. پس از این مرحله، تمام کرت‌ها بر اساس ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (پس از ٦۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به‌ترتیب به‌عنوان آبیاری محدود و مطلوب) با استفاده از روش تبخیر از تشت (۱۹) تا پایان دوره رشد گیاه آبیاری شدند. نیاز آبی گیاه آفتابگردان (ET_C) از طریق حاصلضرب مقادیر K_C در مقادیر ET_O طبق معادله زیر به‌دست آمد. لازم به ذکر است که مقادیر ET_O از داده‌های اقلیمی و مقادیر K_C از اطلاعات محلی به‌دست آمد.

$$ET_C=K_C\times ET_O$$

$$ET_O=K_P\times E_{Pan}$$

که در آن‌ها، ET_C، K_C و ET_O به‌ترتیب تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر در روز)، ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) را نشان می‌دهند. K_P نیز ضریب تشت (۰/٦۷) و E_{Pan} تبخیر از تشت می‌باشد. برای محاسبه حجم آب مورد نیاز در هر آبیاری از معادله زیر استفاده شد. در این معادله، V، A و E به‌ترتیب مقدار آب مورد نیاز گیاه (لیتر در کرت)، مساحت کرت (مترمربع) و راندمان (۸۵٪) می‌باشند.

$$V=\frac{A\times ETc}{E}$$

برای کشت از آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.) هیبرید زودرس و پرمحصول فرخ که توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج معرفی شده است و با تراکم ٦٦ هزار بوته در هکتار استفاده شد. در مجموع در این آزمایش در هر سال، ۷۲ کرت وجود داشت. طول هر کرت ۳ متر و عرض آن ۲/٤ متر بوده و فاصله بین ردیف‌ها ٦۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۲۵ سانتی‌متر بود. بین هر کرت با کرت بعدی دو خط نکاشت (۱/۲ متر) و بین بلوک‌ها ۱/۵ متر فاصله برای جلوگیری از انتقال آب در زمان اعمال تیمارهای آبی در نظر گرفته شد. بعد از آبیاری اولیه، کشت گیاه با قرار دادن چهار بذر در کپه‌هایی به عمق سه سانتی‌متر انجام شد. یک هفته بعد از جوانه‌زنی عملیات تنک کردن و دو هفته بعد وجین علف‌های هرز انجام شد.

برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ[1]، در مرحله R_6 یا پایان گلدهی (۵۲) سه بوته از هر کرت انتخاب و برگ‌های آن‌ها از ساقه‌ها جدا سپس با ترازوی دقیق توزین شدند. از بین برگ‌ها تعداد ۱۰ برگ به‌طور تصادفی انتخاب و توزین شدند. نمونه‌های برگی روی ورقه کاغذ قرار گرفته و پیرامون آن‌ها علامت‌گذاری و توسط قیچی برش و کاغذها توزین شدند. با محاسبه نسبت وزن کپی کاغذی برگ به وزن یک سانتی‌متر مربع از کاغذ (رابطه تناسبی) سطح هر برگ و شاخص سطح برگ محاسبه شد (۱۱). شاخص کلروفیل برگ‌ها[2] (غلظت نسبی کلروفیل برگ) در مرحله R_6 یا پایان گلدهی (۵۲) با استفاده از دستگاه

1- Leaf Area Index: LAI
2- Leaf Chlorophyll Index: LCI

کلروفیل‌سنج (Hansatech, CL-01, UK) اندازه‌گیری شد. برای این منظور سه بوته از هر کرت انتخاب شد و پس از پاک کردن جوان‌ترین برگ تکامل‌یافته، سه قسمت از برگ شامل ابتدا، وسط و انتها در میان انبرک دستگاه قرار داده شده و شاخص کلروفیل آن اندازه‌گیری شد. میانگین این ۹ عدد به‌عنوان شاخص کلروفیل برگ برای آن واحد آزمایشی در نظر گرفته شد (٤٦). در پایان دوره رشد، برخی ویژگی‌های ظاهری گیاهان مانند ارتفاع (به‌وسیله متر)، قطر ساقه در محل طوقه (با استفاده از کولیس با دقت پنج صدم میلی‌متر) در سه بوته از هر کرت اندازه‌گیری و سپس میانگین آن‌ها برای آن کرت در تحلیل آماری در نظر گرفته شد. همچنین در پایان دوره رشد، برای تعیین عملکرد زیستی[1]، ٦ بوته از وسط هر کرت با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط به‌عنوان اثر حاشیه‌ای از محل طوقه قطع و سپس اندام‌های هوایی با آب معمولی و مقطر شسته شدند. نمونه‌های گیاهی (اندام‌های هوایی) داخل پاکت‌های کاغذی به درون آون تهویه‌دار منتقل شده و به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس خشک شدند. سپس نمونه‌ها از آون خارج شده و با ترازوی حساس (±۰/۰۰۱g) توزین و عملکرد زیستی آن‌ها (تن در هکتار) تعیین شد. برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار MSTATC و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. داده‌های دو سال آزمایش با هم ترکیب و تجزیه واریانس مرکب انجام شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش در دو سال در جدول ۱ آورده شده است. خاک مزرعه مورد آزمایش دارای بافت لوم رسی، با pH قلیایی و غیرشور بود. با توجه به جدول ۱، ماده آلی خاک کم‌تر از ۲ درصد (دارای کمبود مواد آلی) و فسفر قابل‌جذب آن کم‌تر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (دارای کمبود فسفر) بود (۲۵). ملکوتی و همکاران (۱۳۸۷) سطح بحرانی فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس در خاک برای آفتابگردان را به‌ترتیب ۱۲، ۳۵۰، ۷، ۲ و ۵ و ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند که با توجه به جدول ۱، فقط غلظت مس در خاک بیش‌تر از سطح بحرانی می‌باشد (۳۸).

برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است. pH لجن فاضلاب مورد مطالعه کمی اسیدی (pH=٦/٩) است. این pH می‌تواند قابلیت دسترسی به عناصر غذایی را افزایش دهد. pH اسیدی برای لجن در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (۲۷ و ۵۰). مقدار کربن آلی لجن فاضلاب مورد استفاده در آزمایش قابل‌توجه است. این مقدار کربن آلی بالا علاوه‌بر افزایش ماده آلی خاک می‌تواند اثر مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (به‌ویژه خاک‌های ایران که با کمبود مواد آلی مواجهه هستند) بگذارد. نسبت C/N نیز در کود مورد نظر مطلوب و پایین بود. لجن مورد مطالعه دارای ۲/۷ درصد نیتروژن و میانگین فسفر کل ۲/۳ میلی‌گرم بر گرم می‌باشد که می‌تواند سهم به‌سزایی در تأمین نیاز گیاه به این عناصر داشته باشد (جدول ۲). هر چند بخش عمده این عناصر به شکل آلی موجود بوده و از طریق فرآیندهای زیستی به‌تدریج معدنی شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. غلظت کادمیم، سرب، روی و مس در لجن فاضلاب مورد استفاده از حد مجاز استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (به‌ترتیب ۱۰، ۹۰۰، ۲۵۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) کم‌تر است (۱۵) که نشان‌دهنده پتانسیل آلودگی کم این کود و نکته مثبتی در به‌کار بردن لجن فاضلاب در کشاورزی می‌باشد.

1- Biological Yield: BY

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش در دو سال (۲۰۱٤ و ۲۰۱۵).

Table 1. Soil physical and chemical characteristics of the experimental field at two years (2014 and 2015).

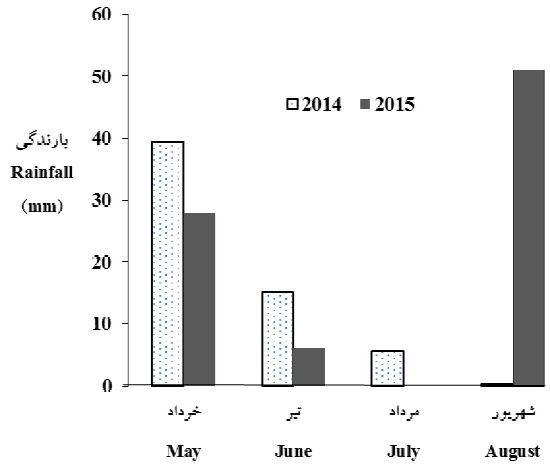
سال Year	بافت خاک Soil Texture	pH (1:1)	EC (1:2) (dS/m)	ماده آلی OM(%)	نیتروژن کل (N)	فسفر (P)	پتاسیم (K)	آهن (Fe)	روی (Zn)	منگنز (Mn)	مس (Cu)
					(%)	قابل‌جذب (mg/kg)					
۱۳۹۳ (2014)	Clay loam	8.5	1.4	0.88	0.06	4.2	250.3	4.6	0.2	3.6	2.3
۱۳۹٤ (2015)	Clay loam	8.5	1.3	0.86	0.05	6.0	230.7	4.4	0.3	3.2	2.4

جدول ۲- ویژگی‌های کلی لجن فاضلاب مورد استفاده در آزمایش مزرعه‌ای در دو سال (۲۰۱٤ و ۲۰۱۵).

Table 2. General characteristics of sewage sludge used in the field experiment (2014 and 2015).

سال Year	pH	EC (1:5)	OC	N (کل)	C/N	P	K	Fe	Zn	Mn	Cu	Cd	Pb
	(1:5)	(dS/m)	(%)		-	غ کل (mg/g)		غلظت کل (mg/kg)					
2014	6.9	2.8	31.1	2.7	11.5	2.5	1.1	12902	750	245	57.5	4.1	141.5
2015	6.8	2.5	32.7	2.8	11.7	2.0	1.4	16280	972	310	67.5	4.2	75.8

متوسط درجه حرارت منطقه حدود ۱۲/٤ درجه سلسیوس و متوسط بارندگی ایستگاه در پنجاه سال اخیر ۲۸٦ میلی‌متر گزارش شده است (۷). میانگین دمای سالیانه در سال ۲۰۱٤ و ۲۰۱۵ (به‌ترتیب ۱۳/٦ و ۱٤/۳) اندکی بیش‌تر از دمای ۵۰ ساله بود. مقدار بارندگی کل در سال ۲۰۱٤، برابر با ۲۷۳ میلی‌متر (کم‌تر از مقدار طولانی‌مدت) و در سال ۲۰۱۵ برابر با ٤۱٤ میلی‌متر (بیش‌تر از نرمال) بود. مجموع بارندگی ایستگاه در طول دوره رشد آفتابگردان در سال ۲۰۱٤ و ۲۰۱۵ در شکل ۱ آورده شده است. بارندگی کل در طول دوره رشد (اواخر خرداد تا شهریور) در سال اول و دوم به‌ترتیب ٦۰/۵ و ۸۵ میلی‌متر بود و در سال دوم علاوه‌بر این‌که میزان بارندگی نسبت به سال اول زیاد بود، بارندگی نسبتاً خوبی در شهریورماه (اواخر مرحله پرشدن دانه) اتفاق افتاد در حالی‌که در سال اول تقریباً بارندگی در این ماه (مرحله پرشدن دانه) رخ نداد ولی میانگین دما در دو سال مشابه هم بود.



شکل ۱- مجموع بارندگی در طول دوره رشد آفتابگردان در سال ۲۰۱٤ و ۲۰۱۵ (ایستگاه هواشناسی خوی).

Figure 1. Total rainfall in sunflower growing period in 2014 and 2015 (Khoy Meteorological Station).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال تنها بر شاخص سطح برگ، عملکرد زیستی و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر سال بیانگر آن است که گیاه آفتابگردان با شرایط محیطی متفاوتی طی دو سال اجرای آزمایش مواجه بوده است. اثرهای اصلی آبیاری، کود فسفر و لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل برگ‌ها، شاخص سطح برگ، عملکرد زیستی، ارتفاع و قطر ساقه معنی‌دار بودند. اثر متقابل فسفر × آبیاری تنها بر شاخص سطح برگ و عملکرد زیستی معنی‌دار شد. اثر متقابل لجن فاضلاب × آبیاری به‌استثنای قطر ساقه بر سایر صفات معنی‌دار بود. اثر متقابل لجن فاضلاب × فسفر و لجن فاضلاب × فسفر × آبیاری بر تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه معنی‌دار بودند (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین مربعات اثر سال، آبیاری، کود فسفر و لجن فاضلاب برای ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده آفتابگردان.

Table 3. Mean of squares for effects of year (Y), irrigation (I), phosphorus fertilizer (TSP) and sewage sludge (SS) on measured characteristics of sunflower.

میانگین مربعات Mean of squares					درجه آزادی Df	منابع تغییر Sources of variation
قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد زیستی (BY)	شاخص سطح برگ (LAI)	شاخص کلروفیل (LCI)		
0.1^{ns}	16074.0**	10.7**	0.01**	1.8^{ns}	1	سال (Y)
2.1	99.0	0.1	0.001	0.8	4	تکرار (سال) Replication (Y)
110.9**	2079.9*	176.4**	0.29**	113.4**	1	آبیاری (I)
2.7^{ns}	3738.7**	0.8^{ns}	0.01**	32.4**	1	سال × آبیاری (Y×I)
2.22	159.6	0.2	0.001	0.9	4	خطا (Error)
76.6**	1110.8**	57.4**	0.12**	75.7**	2	فسفر (TSP)
5.9**	48.8^{ns}	1.7**	0.001^{ns}	9.8**	2	فسفر × سال (TSP×Y)
2.8^{ns}	114.8^{ns}	14.3**	0.03**	0.5^{ns}	2	فسفر × آبیاری (TSP×I)
0.31^{ns}	186.9*	4.4**	0.01^{ns}	9.4**	2	آبیاری × فسفر × سال (I×TSP×Y)
111.6**	2005.3**	175.8**	0.003**	66.9**	3	لجن فاضلاب (SS)
6.1**	380.1**	0.1^{ns}	0.19^{ns}	4.1*	3	لجن فاضلاب × سال (SS×Y)
2.4^{ns}	272.1**	5.1**	0.001**	6.9**	3	لجن فاضلاب × آبیاری (SS×I)
17.8**	251.9**	11.4**	0.01**	18.8**	6	لجن فاضلاب × فسفر (SS×TSP)
3.1*	463.9**	1.2**	0.001^{ns}	5.0**	6	لجن فاضلاب × فسفر × سال (SS×TSP×Y)
6.3**	422.1**	6.7**	0.02**	3.2*	6	لجن فاضلاب × فسفر × آبیاری (SS×TSP×I)
1.2^{ns}	282.7**	0.4^{ns}	0.001^{ns}	1.1^{ns}	9	لجن فاضلاب × فسفر × آبیاری × سال (SS×TSP×I×Y)
1.1	39.1	0.3	0.001	1.1	88	خطا (Error)
5.7	5.2	4.2	3.9	6.8	-	ضریب تغییرات (C.V%)

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

Leaf chlorophyll index: LCI, Leaf area index: LAI, Biological yield: BY.
^{ns}, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

مقایسه میانگین‌های اثر ساده سال نشان داد که شاخص سطح برگ و عملکرد زیستی در سال ۲۰۱٤ به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سال ۲۰۱۵ بود که یک دلیل آن ممکن است بارندگی بیش‌تر در سال ۲۰۱۵ باشد ولی ارتفاع بوته در سال ۲۰۱٤ بیش‌تر از ۲۰۱۵ بود (جدول ٤). علاوه‌بر تفاوت در شرایط اقلیمی، ویژگی‌های لجن نیز در دو سال متفاوت بود که این عامل هم می‌تواند تأثیرگذار باشد.

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های اثر ساده سال برای ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده آفتابگردان.

Table 4. Means comparison on measured characteristics of sunflower for effect of year.

عامل Factor	سطوح Levels	شاخص سطح برگ (LAI)	عملکرد زیستی (BY) (t/ha)	ارتفاع بوته Plant height (cm)
سال (Year)	2014	0.92^{b}	13.2^{b}	130.9^{a}
	2015	0.94^{a}	13.7^{a}	109.7^{b}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن ندارند.

Means within each column followed by the same letter are not statistically different at $\alpha = 0.05$ by Duncan test.

شاخص کلروفیل برگ: شاخص کلروفیل برگ با غلظت کلروفیل آن رابطه خطی مثبت (r^2=۰/۹۱) دارد. برگ‌هایی که شاخص کلروفیل بالاتری دارند تثبیت CO_2 و فتوسنتز بیش‌تری نیز دارند (٦۰). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش کم‌آبی سبب کاهش ($P\leq$۰/۰۱) شاخص کلروفیل برگ‌ها شد (جدول ۵). پایداری کلروفیل در هر شرایطی برای تداوم فتوسنتز ضروری بوده و به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی می‌باشد (٤۱). در شرایط تنش، به‌علت تخریب بیش‌تر کلروفیل نسبت به ساخت آن، مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد (۵۷). چون علاوه‌بر افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز در شرایط تنش خشکی، اکسایش چربی‌ها توسط آنزیم لیپواکسیژناز نیز باعث تجزیه کلروفیل می‌شود (۲۹). همچنین تنش کمبود آب، وضعیت آبی گیاه را تحت‌تأثیر قرار داده و تقسیم سلولی، فتوسنتز (۱٤)، فعالیت ریشه و جذب عناصر غذایی را کاهش می‌دهد (۲۲) که می‌تواند دلیلی بر کاهش میزان کلروفیل برگ‌ها باشد. نتایج مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل برگ برای اثر متقابل لجن فاضلاب × فسفر × آبیاری نشان داد که با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر و ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار، شاخص کلروفیل برگ‌ها در شرایط آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۳۱/٦ و ۳۲/٤ درصد و در شرایط آبیاری محدود به‌ترتیب ۵۵/۱ و ۵۷/۱ درصد نسبت به تیمار بدون کود (شاهد) افزایش یافت (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف تلفیقی ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر + ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب شاخص کلروفیل برگ‌ها را ٤۰ درصد و در شرایط آبیاری محدود، ۵۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۵). نتایج نشان داد که مصرف تلفیقی لجن فاضلاب و کود فسفر، غلظت نیتروژن برگ‌ها در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود را به‌طور معنی‌داری افزایش داد و منجر به افزایش سطح برگ و ماده خشک برگ‌ها شد (داده‌ها آورده نشده است). این نتایج با توجه به وجود نیتروژن در لجن فاضلاب مورد استفاده و نقش نیتروژن در ساختمان کلروفیل گیاه و نیز نقش فسفر در فتوسنتز و افزایش فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز

قابل توجیه است (۵۹). مصرف لجن فاضلاب در خاک میزان تثبیت CO_2 و فتوسنتز در گیاهان در شرایط تنش کم‌آبی را افزایش می‌دهد؛ چون در گیاهان تیمارشده با لجن، ترکیبات نیتروژن‌دار بیش‌تری مانند پرولین، متابولیت‌های آنتی‌اکسیدان همانند آسکوربات و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز نسبت به شاهد تولید می‌شود (۹). پژوهشگران متعددی اثر مثبت لجن فاضلاب بر افزایش رشد و میزان فتوسنتز در گیاهان را گزارش کرده‌اند (۱، ۹ و ۵۵). بنابراین، نتایج این پژوهش بیانگر آن است که مدیریت تلفیقی تغذیه در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی سبب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ آفتابگردان شد. آیلین‌سای و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که با مصرف تلفیقی ٦٠ تن لجن فاضلاب در هکتار و کودهای شیمیایی NP (هر یک ٦٠ کیلوگرم در هکتار) عملکرد سویا نسبت به شاهد ١٢١/٤ درصد افزایش یافت (٤).

شاخص سطح برگ: شاخص سطح برگ عبارت است از نسبت کل سطح برگ گیاه به سطح کل زمینی که پوشش داده شده است. با توجه به رابطه مستقیمی که بین شاخص سطح برگ و توانایی فتوسنتز گیاه وجود دارد می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش سطح برگ، عملکرد گیاه نیز افزایش می‌یابد (۲۲). همچنین شاخص سطح برگ معیاری از حساسیت گیاه به تنش کم‌آبی بوده و در چنین شرایطی کاهش می‌یابد (۲۰). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل لجن فاضلاب × فسفر × آبیاری برای شاخص سطح برگ نشان داد که تنش کمبود آب سبب کاهش ($P\leq$۰/۰۱) شاخص سطح برگ در تیمارهای شاهد شد (جدول ۵). گزارش شده است که تنش کمبود آب از طریق کاهش آماس سلولی سبب کاهش توسعه برگ و سرانجام کاهش سطح برگ آفتابگردان می‌شود. کاهش شاخص سطح برگ بر اثر اعمال تنش به‌دلیل کاهش سرعت تولید برگ‌های جدید و تسریع پیری برگ‌ها می‌باشد (۲۰). به‌نظر می‌رسد کاهش سطح برگ یکی از راه‌های کاهش تعرق و هدررفت رطوبت در مواقع کمبود آب است. آبیاری مطلوب در مرحله رویشی سبب توسعه مطلوب سطح برگ‌ها و فتوسنتز گیاه می‌شود ولی آبیاری محدود از طریق پیری زودرس و کاهش سطح برگ‌ها سبب افت عملکرد دانه می‌شود (٤٠). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر و ٥٦/٧ تن لجن فاضلاب در هکتار، شاخص سطح برگ در شرایط آبیاری مطلوب را به‌ترتیب ۵۲/۲ و ۷۱/۰ درصد و در شرایط آبیاری محدود به‌ترتیب ۳۲/۸ و ٦٥/٥ درصد نسبت به تیمارهای شاهد افزایش دادند (جدول ۵). این نتایج با توجه به نقش فسفر در حفظ و انتقال انرژی، فعالیت برخی آنزیم‌ها، فتوسنتز، تنفس سلولی، ساخت ساکاروز و نشاسته و انتقال کربوهیدارت‌ها قابل توجیه است (۵۸). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین شاخص سطح برگ در شرایط آبیاری مطلوب به تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر + ٥٦/٧ تن لجن فاضلاب مربوط بود که با تیمار ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر + ٢٨/٤ تن لجن تفاوت معنی‌داری نداشت و تیمار ٥٦/٧ تن لجن فاضلاب در جایگاه بعدی قرار داشت. در شرایط آبیاری محدود بیش‌ترین شاخص سطح برگ همانند شاخص کلروفیل به تیمار تلفیقی ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر + ٥٦/٧ تن لجن فاضلاب در هکتار تعلق داشت (جدول ۵). افزایش سطح برگ با مصرف تلفیقی فسفر و لجن فاضلاب می‌تواند به‌دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی باشد که در طول دوره رشد در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. افزایش سطح برگ با مصرف کودهای شیمیایی و آلی علاوه‌بر افزایش تولید برگ می‌تواند به‌دلیل افزایش دوام سطح برگ و تأخیر در پیری و زرد شدن برگ‌ها نیز باشد (۲۳).

عملکرد زیستی: عملکرد زیستی که نشان‌دهنده ماده خشک بخش هوایی (شاخساره) در زمان برداشت است و شاخص مهمی برای تعیین فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌باشد، تحت‌تأثیر تنش کم‌آبی و تیمارهای کودی قرار گرفت. مقایسه میانگین‌های عملکرد زیستی برای اثر متقابل لجن فاضلاب × فسفر × آبیاری نشان داد که تنش کمبود آب سبب کاهش ($P\leq$۰/۰۱) عملکرد زیستی از ۱۰/٦ به ۸/۱ تن در هکتار در تیمارهای شاهد شد (جدول ۳). نتایج مشابهی توسط کرم (۱۹۷۸) گزارش شده است که تنش کم‌آبی سبب کاهش عملکرد دانه، ارتفاع گیاه و قطر طبق آفتابگردان شد و درصد دانه‌های پوک افزایش یافت (۳۰). با اضافه کردن کود فسفر و افزایش مقادیر آن، عملکرد زیستی افزایش یافت به‌طوری که بیش‌ترین مقدار آن در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود با مقادیر به‌ترتیب ۱٤/٦ و ۱۰/٦ تن در هکتار مربوط به سطح ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار بود. مصرف لجن فاضلاب نیز نتایجی مشابه کود فسفر داشت و مصرف ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب، عملکرد زیستی آفتابگردان در شرایط آبیاری مطلوب و محدود را به‌ترتیب ٥۲ و ۸۹ درصد نسبت به تیمارهای شاهد افزایش داد (جدول ٥). افزایش عملکرد زیستی آفتابگردان با مصرف کودهای آلی را می‌توان به بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگه‌داری آب، کاهش فرسایش خاک، بهبود تهویه و فعالیت ریزجانداران مفید خاک نسبت داد (۲٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد زیستی در شرایط آبیاری مطلوب به تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر + ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار و در شرایط آبیاری محدود به تیمار تلفیقی ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر + ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب تعلق داشت که به‌ترتیب ۷٥ و ۱۱٤ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند (جدول ٥). نتایج مشابهی توسط کرمی و سپهری (۱۳۹۰) گزارش شده است که با مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی علاوه‌بر افزایش عملکرد زیستی گاوزبان می‌توان تا حدی اثرهای منفی تنش خشکی را کاهش داد (۳۱).

ارتفاع گیاه: ارتفاع گیاه و قطر ساقه از مهم‌ترین پارامترهای فیزیولوژیکی گیاهان می‌باشند که با عملکرد آفتابگردان همبستگی نزدیکی داشته و در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابند (۲۱ و ٥۷). نتایج مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته برای اثر متقابل لجن فاضلاب × فسفر × آبیاری نشان داد که تنش کم‌آبی سبب کاهش ($P\leq$۰/۰٥) ارتفاع گیاه از ۱۱۳/۲ به ۹٤/۹ سانتی‌متر در تیمار شاهد شد (جدول ٥). کمبود آب در گیاهان باعث از دست رفتن فشار تورمی و کاهش نمو سلول‌ها به‌ویژه در ساقه‌ها و برگ‌ها شده و سبب کوچکی اندازه گیاه می‌شود (۳۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با مصرف کود فسفر و لجن فاضلاب و افزایش مقادیر آن، ارتفاع بوته ($P\leq$۰/۰۱) افزایش یافت، به‌طوری که بیش‌ترین مقدار آن به سطوح ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر و ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار تعلق داشت که در شرایط آبیاری مطلوب و محدود به‌ترتیب ۱٤ و ۱۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند؛ اما از نظر آماری اختلاف بین سطوح ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر و شاهد در شرایط آبیاری مطلوب معنی‌دار نبود (جدول ٥). اثرهای مثبت فسفر بر رشد گیاه در شرایط تنش خشکی را می‌توان به افزایش کارایی مصرف آب، هدایت روزنه‌ها (افزایش پتانسیل آب برگ)، پایداری غشای سلولی، روابط آبی و مقاومت به خشکی نسبت داد (٤۲ و ٥۹). لوبو و فیلهو (۲۰۰۹) گزارش کردند که مصرف ۳۰ تن لجن فاضلاب در هکتار سبب افزایش رشد رویشی (ارتفاع، قطر ساقه و تعداد برگ) آفتابگردان شد (۳٦). مصرف لجن فاضلاب، pH خاک را کاهش و مقدار ماده آلی، CEC، نیتروژن قابل‌جذب، کربن زیتوده میکروبی،

تنفس پایه و فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتاز را افزایش می‌دهد (۹). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مصرف لجن فاضلاب از طریق بهبود ویژگی‌های خاک، رشد و عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه در شرایط آبیاری مطلوب به تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر + ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار و در شرایط آبیاری محدود به تیمار ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب و ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر + ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار تعلق داشت که به‌ترتیب ۲٦ و ۳٦ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین تیمار ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب در شرایط آبیاری مطلوب و محدود تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت (جدول ٥). اثر مثبت لجن فاضلاب بر رشد گیاهان به فراهمی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند ظرفیت نگه‌داشت آب مربوط می‌شود (٤٤). نتایج مشابهی توسط نجفی و مردمی (۲۰۱۲) نیز گزارش شده است که مصرف کودهای آلی (کمپوست لجن فاضلاب و کود گاوی) با افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود وضعیت رشد و تغذیه گیاه، اثر صدمه تنش غرقاب بر گیاه آفتابگردان را کاهش داد (٤۳). عبدل و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که با مصرف کمپوست، عملکرد برگ و ساقه آفتابگردان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که به‌دلیل تجزیه مواد آلی و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی به شکل قابل‌جذب برای گیاه می‌باشد (۲). آنتولین و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر رشد گیاه یونجه گزارش کردند که مصرف لجن فاضلاب میزان فتوسنتز و رشد گیاهان در شرایط تنش کم‌آبی را افزایش داد (۹). آنان گزارش کردند که فعالیت آنزیم نیتروژناز بر اثر تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ولی گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در گیاهان تیمار شده با لجن فاضلاب از تنش کم‌آبی محافظت شدند.

قطر ساقه: قطر ساقه یک ویژگی مهم زراعی در آفتابگردان است چون که سبب کاهش خطر خوابیدگی ساقه شده و تسهیل مدیریت و برداشت را فراهم می‌آورد (۳٦). قطر ساقه از طریق ذخیره کردن کربوهیدرات در طول دوره رویشی و انتقال آن‌ها به دانه‌ها نقش مهمی در گیاه دارد و هرچه قطر ساقه بیش‌تر باشد، عملکرد گیاه نیز افزایش می‌یابد. مقایسه میانگین‌های قطر ساقه برای اثر متقابل لجن فاضلاب × فسفر × آبیاری نشان داد که تنش کم‌آبی سبب کاهش ($P\leq$۰/۰۱) قطر ساقه از ۱٥/۰ به ۱۲/۷ میلی‌متر شد (جدول ٥). سادراس و همکاران (۱۹۹۸) دلیل کاهش قطر ساقه آفتابگردان بر اثر تنش کم‌آبی را کاهش رشد رویشی و تقسیم سلولی بیان کردند (٥۱). نتایج مشابهی توسط ابراهیمیان و بایبوردی (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است که دلیل آن را کاهش فتوسنتز و انتقال کربوهیدرات‌ها به ساقه بیان کرده‌اند (۱٤). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که قطر ساقه با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر، در شرایط آبیاری مطلوب و محدود به‌ترتیب ۳۳/۳ و ٤۲/٥ درصد و با مصرف ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار، ۳۸/۷ و ٥۲/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ٥). نجفی و مردمی (۲۰۱۲) نیز بیان کردند که مصرف ۱٥ و ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک، قطر ساقه در محل طوقه آفتابگردان را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (٤۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین قطر ساقه با مقدار ۲۲ میلی‌متر در شرایط آبیاری مطلوب به تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر + ٥٦/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار و در شرایط آبیاری محدود به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر + ٥٦/۷ تن

لجن فاضلاب در هکتار تعلق داشت که به‌ترتیب ٤٧ و ٦٠ درصد نسبت به تیمار بدون مصرف کود افزایش یافتند (جدول ٥). اسماعیلیان و همکاران (٢٠١٤) گزارش کردند که تغذیه تلفیقی (١٥ تن کود گاوی در هکتار + نصف کود شیمیایی توصیه شده بر اساس آزمون خاک) ارتفاع و قطر ساقه آفتابگردان را به‌ترتیب ١٣ و ١٢ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (١٦).

جدول ٥- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده آفتابگردان برای اثر متقابل آبیاری، TSP و SS.

Table 5. Means comparison on measured characteristics of sunflower for interaction effects of irrigation, TSP and SS.

آبیاری Irrigation	TSP (kg/ha)	SS (t/ha)	شاخص کلروفیل (LCI)	شاخص سطح برگ (LAI)	عملکرد زیستی (BY) (t/ha)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)
	0	0	13.6^{jk}	0.69^{n}	10.6^{n}	113.2^{g}	15.0^{j}
	0	14.2	14.3^{i-k}	0.73^{mn}	11.4^{m}	118.9^{e-g}	16.2^{i}
	0	28.4	15.7^{f-h}	0.96^{e-h}	14.1^{gh}	125.3^{b-e}	19.2^{d-f}
	0	56.7	18.0^{a-d}	1.18^{b}	16.1^{c}	130.6^{bc}	20.8^{b}
	100	0	14.9^{g-j}	0.95^{f-i}	12.6^{kl}	115.7^{fg}	17.0^{g-i}
مطلوب	100	14.2	15.2^{g-i}	0.97^{f-j}	13.9^{hi}	118.6^{e-g}	16.8^{hi}
(Optimum)	100	28.4	15.7^{f-h}	0.99^{d-g}	14.9^{ef}	125.8^{b-e}	20.7^{bc}
	100	56.7	19.0^{a}	1.07^{cd}	16.7^{b}	120.3^{d-g}	20.3^{b-d}
	200	0	17.9^{a-d}	1.05^{c-e}	14.6^{fg}	128.9^{bc}	20.0^{b-d}
	200	14.2	17.0^{c-f}	1.02^{d-f}	15.5^{c-e}	126.0^{b-e}	20.0^{b-d}
	200	28.4	18.4^{a-c}	1.04^{b}	15.6^{cd}	123.4^{c-f}	20.7^{bc}
	200	56.7	18.8^{ab}	1.66^{a}	18.5^{a}	142.4^{a}	22.0^{a}
	0	0	10.7^{m}	0.58^{p}	8.1^{p}	94.9^{i}	12.7^{k}
	0	14.2	13.5^{k}	0.72^{mn}	9.6^{o}	103.4^{h}	15.0^{j}
	0	28.4	14.4^{h-k}	0.85^{jk}	12.5^{l}	116.0^{fg}	18.1^{e-g}
	0	56.7	16.8^{d-f}	0.96^{e-h}	15.3^{de}	133.7^{b}	19.4^{c-e}
	100	0	12.2^{l}	0.63^{o}	9.2^{o}	104.1^{h}	15.0^{j}
محدود	100	14.2	13.5^{k}	0.82^{kl}	11.5^{m}	112.2^{g}	16.7^{hi}
(Limited)	100	28.4	15.7^{f-h}	0.87^{i-k}	14.1^{gh}	118.6^{e-g}	17.0^{g-i}
	100	56.7	16.2^{fg}	1.13^{bc}	17.3^{b}	129.0^{bc}	20.3^{b-d}
	200	0	16.6^{ef}	0.77^{lm}	10.6^{n}	111.9^{g}	18.1^{e-g}
	200	14.2	16.2^{g-i}	0.87^{h-k}	13.5^{h-j}	127.4^{b-d}	18.4^{ef}
	200	28.4	17.6^{b-e}	0.92^{f-j}	13.3^{i-k}	128.5^{b-d}	19.1^{d-f}
	200	56.7	14.9^{g-j}	0.91^{g-j}	13.0^{j-l}	118.0^{e-g}	17.9^{f-h}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن ندارند.

Means within each column followed by the same letter are not statistically different at $\alpha = 0.05$ by Duncan test.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی شاخص کلروفیل برگ، شاخص سطح برگ، عملکرد زیستی، ارتفاع و قطر ساقه آفتابگردان را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. با این‌حال، مصرف تلفیقی لجن فاضلاب و کود فسفر در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود توانست رشد آفتابگردان را بهبود دهد. بنابراین، جایگزینی لجن فاضلاب به جای بخشی از کودهای شیمیایی می‌تواند راهی امیدبخش به سوی کشاورزی پایدار و سلامت محیط زیست باشد. با توجه به واکنش صفات مورد مطالعه نسبت به مصرف سطوح مختلف کود فسفر و لجن فاضلاب

چنین نتیجه‌گیری می‌شود که برای افزایش ویژگی‌های رشد آفتابگردان و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، در شرایط آبیاری مطلوب مصرف تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل + ٥٦/٧ تن لجن فاضلاب در هکتار و در شرایط آبیاری محدود مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل + ٥٦/٧ تن لجن فاضلاب در هکتار توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز به‌دلیل حمایت مالی در اجرای طرح پژوهشی که این مقاله حاوی قسمتی از نتایج آن است و نیز همکاری و مساعدت مدیریت محترم اداره آب و فاضلاب شهرستان خوی، سپاسگزاری به‌عمل می‌آید.

منابع

1.Abbasi, M., Najafi, N., Aliasgharzad, N., and Oustan, Sh. 2013. Effects of soil water conditions, sewage sludge, poultry manure and chemical fertilizers on the growth characteristics and water use efficiency of rice plant in a calcareous soil. J. Soil Water Sci. 23: 1. 189-208. (In Persian)

2.Abdel-Sabour, M.F., Abo El-Seoud, M.A., and Rizk, M. 1999. Physiological and chemical response of sunflower to previous organic waste composts application to sandy soils. Egypt J. Soil Sci. 39: 407-420.

3.Ahmadinejad, F., Najafi, N., Aliasgharzad, N., and Oustan, S. 2013. Effects of organic and nitrogen fertilizers on water use efficiency, yield and the growth characteristics of wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). J. Soil Water Sci. 23: 2. 194-177. (In Persian)

4.Ailincai, C., Jitareanu, G., Bucur, D., Ailincai, D., Zbanţ, M., Mercus, A.D., and Cara, M. 2015. Influence of sewage sludge from Iasi water treatment station on soybean yield quantity and quality and soil chemical characteristics. Ins. Biol. Res. Iaşi. 39: 2. 13-22.

5.Alley, M.M., and Vanlauwe, B. 2009. The role of fertilizers in integrated plant nutrient management. Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture Paris, 54p.

6.Anonymous. 2014. The Ministry of Agriculture, Department of Animal Production.

7.Anonymous. 2014. Meteorological organization of Iran. www.iranhydrology.net/meteo.asp.

8.Anonymous. 1996. Mineral fertilizer production and the environment, a guide to reducing the environmental impact form fertilizer production. Technical Report No 26, United Nations Environmental Programme, Industry and the Environment, Paris, France.

9.Antolin, M.C., Muro, I., and Sanchez-Diaz, M. 2010. Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions. Environ. Exp. Bot. 68: 1. 75-82.

10.Aulakh, M.S., Garg, A.K., and Kabba, B.S. 2007. Phosphorus accumulation and leaching, and residual effects on crop yields from long-term applications in subtropics. Soil Use Manag. 23: 4. 417-427.

11.Chaudhary, P., Godara, S., Cheeran, A.N., and Chaudhari, A.K. 2012. Fast and accurate method for leaf area measurement. Int. J. Comput. Appl. 49: 9. 22-25.

12.Chimenti, C.A., Pearson, J., and Hall, A.J. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. Field Crop Res. 75: 2. 235-246.

13.Ciríaco da Silva, E., Nogueira, R.J.M.C., Almeida da Silva, M., and Bandeira de Albuquerque, M. 2011. Drought stress and plant nutrition. P 32-41, In: N.A. Anjum and F. Lopez-Lauri (Eds.), Plant nutrition and abiotic stress tolerance III. Plant Stress 5 (Special Issue 1). Global Science Books.

14.Ebrahimian, E., and Bybordi, A. 2011. Effect of iron foliar fertilization on growth, seed and oil yield of sunflower grown under different irrigation regimes. Middle East J. Sci. Res. 9: 5. 621-627.

15. Environmental Protection Agency (EPA). 1993. Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge; Final Rules. FR 58 (32): 9248-9415. Office of Science & Technology, Washington, D.C.
16. Esmaeilian, Y., Galavi, M., Amiri, E., and Heidari, M. 2014. Effect of organic and chemical fertilizers on yield, yield components and seed quality of sunflower under drought stress conditions. J. Soil Water Sci. 24: 3. 175-189. (In Persian)
17. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev. 29: 1. 185-212.
18. FAO. 2006. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. FAO Fertlizer and plant nutrition bulletin. Rome, No 16, 347p.
19. FAO. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. By: Richard Allen, Luis Pereira, Dirk Raes and Martin Smith. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy.
20. Flenet, F., Boundiols, A., and Suraiva, C. 1996. Sunflower response to a range of soil water contents. Euro. J. Agron. 15: 161-167.
21. Ghafari, M., and Pashapur, H. 2006. Evaluation of variety and inbreed lines of sunflower for drought tolerance. Scientific and Applications of oil plant industrial Congress, Tehran, Iran. (In Persian)
22. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., and Jamshidi, E. 2008. The Effect of irrigation regimes and fertilizer treatments on grain yield and elements concentration in leaf and grain of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pajouhesh and Sazandegi. 79: 91-100. (In Persian)
23. Hakan, O. 2002. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapseed cultivars. Agron. J. 19: 453-463.
24. Hamza, M.A.M., and Abd-Elhady, E.S.E. 2010. Effect of organic and inorganic fertilization on vegetative growth and volatile oil of marjoram (*Majorana hortensis* L.) plant. J. Soil Sci. Agric. Eng. 1: 8. 839-851.
25. Hazelton, P.A., and Murphy, B.W. 2007. Interpreting soil test results: what do all the numbers mean? CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
26. Hu, Y., and Schmidhalter, U. 2003. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of Plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 4. 541-549.
27. Jamil, M., Qasim, M., and Umar, M. 2006. Utilization of sewage sludge on organic fertilizer in sustainable agriculture. J. Appl. Sci. 6: 3. 531-535.
28. Jones, B.J. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, USA.
29. Kabiri, R., Nasibi, F., and Farah Bakhsh, H. 2013. Study of some oxidative parameters induced by drought stress some in *Nigella sativa* under hydroponic culture. J. Plant Proc. Func. 2: 3. 11-19. (In Persian)
30. Karam, C. 1978. Effect of irrigation intervals on yield components of sunflower. Field Crop Abst. 31: 90-97.
31. Karami, A., and Sepehri, A. 2012. Effects of application of nitroxin and biophosphate on the nutrient use efficiency and harvest index of (*Borago officinalis* L.) under water deficit stress. J. Sustain. Agric. Prod. Sci. 23: 3. 144-156. (In Persian)
32. Kauthale, V.K., Takawale, P.S., Kulkarni, P.K., and Daniel, L.N. 2005. Influence of flyash and sewage sludge application on growth and yield of annual crops. Int. J. Trop. Agric. 23: 49-54.
33. Khalid, U., Khan, S., Ghulam, S., Khan, M.U., Khan, N., Khan, M.A., and Khalil, S.K. 2012. Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications. Am. J. Plant Sci. 3: 12. 1708-1721.
34. Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium, and potassium. P 225-246, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Soil Sci. Soc. Amer. J. Book Ser. 5. Madison, WI, USA.

35.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1987. Development of DTPA Soil test for Zinc, Iron, Mangnese and Copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
36.Lobo, T.F., and Filho, H.G. 2009. Sewage sludge levels on the development and nutrition of sunflower plants. J. Soil. Sci. Plant Nutr. 9: 3. 245-255.
37.Malakouti, M.J., Balali, M.R., Golchin, A., Majidi, A., Drodi, M.S., Ziaeian, A.A., Lotfollahi, M.A., Shahabian, M., Basirat, M., Manochehri, S., Davoudi, M.H., Khadami, Z., and Shahbazi, K. 2000. Optimum fertilizer recommendation to crops. Technical publication, No. 200, Research Institute of soil and water, agricultural education, Karaj, Iran.
38.Malakouti, M.J., Keshavarz, P., and Karimian, N. 2008. A comprehensive approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture. 7th ed. With full revision, Tarbiat Modars University Press, Tehran, Iran, 755p. (In Persian)
39.Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. 2nd edition, New York.
40.Mazaheri Laghab, H.F., Noori Zare Abyaneh, H., and Vafaie, H.M. 2001. Effects of supplemental irrigation on important agronomic traits of three sunflower cultivars in dryland agriculture. J. Agric. Res. 3: 3. 31-44. (In Persian)
41.Modhan, M.M., Narayanan, S.L., and Ibrahim, S.M. 2000. Chlorophyll stability indexes (CSI): Its impacts on salt tolerance in rice. International Rice Res. Inst. Notes. 25: 2. 38-40.
42.Motallebifard, R., Najafi, N., Oustan, S., Neyshabouri, M.R., and Valizadeh, M. 2014. Effects of soil moisture, phosphorus and zinc levels on the growth attributes of potato, greenhouse conditions. Iranian J. Soil Water Res. 45: 1. 75-86. (In Persian)
43.Najafi, N., and Mardomi, S. 2012. The effects of waterlogging, sewage sludge and manure on the growth characteristics of sunflower in a sandy loam soil. J. Water Soil. 25: 6. 1264-1276. (In Persian)
44.Nascimento, A.L., Sampaio, R.A., Zuba Junio, G.R., Carneiro, J.P., Fernandes, L.A., and Rodrigues, M.N. 2014. Heavy metal contents in soil and in sunflower fertilized with sewage sludge. J. Int. Soc. Sports Nutr. 18: 3. 294-300.
45.Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phsphorus. P 403-430, In: A.L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Methods, 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, USA.
46.Oneill, P.M., Shanahan, J.F., and Schepers, J.S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. Crop Sci. 46: 681-687.
47.Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA-CSSA-SSSA Publisher, Madison, Wisconsin, USA.
48.Pakhnenkoa, E.P., Ermakova, A.V., and Ubugunovb, L.L. 2009. Influence of sewage sludge from sludge beds of Ulan-Ude on the soil properties and the yield and quality of potatoes. Moscow Univ. Soil Sci. Bull. 64: 4. 175-181.
49.Peters, J. 2003. Recommended methods of manure analysis. Cooperative Extension publishing, University of Wisconsin, USA.
50.Saadat, K., Barani Motlagh, M., Dordipour, E., and Ghasemnezhad, A. 2012. Influence of sewage sludge on some soil properties, yield and concentration of lead and cadmium in roots and shoots of Maize. J. Soil Manage. Sust. 2: 2. 27-48. (In Persian)
51.Sadras, V.O., Cannor, D.J., and Whitfield, D.M. 1998. Yield, yield components and source-sink relationships in water-stressed sunflower. Field Crop Res. 31: 27-39.
52.Schniter, A.A., and Miller, J.F. 1981. Description of sunflower growth stage. Crop Sci. 21: 901-903.
53.Silva, P.R.F., and Freitas, T.F.S. 2008. Biodiesel: the charge and the bond of the fuel producing. Rural Sci. Santa Maria. 38: 3. 843-851.
54.Sharpley, A.N., Daniel, T.C., Sims, J.T., and Pote, D.H. 1996. Determining environmentally sound soil phosphorus levels. J. Soil Water Conserv. 51: 2. 160-166.

55.Song, U., and Lee, E.J. 2010. Ecophysiological responses of plants after sewage sludge compost applications. J. Plant Biol. 53: 259-267.
56.Stone, L.R., Goodrum, D.E., Jaafar, M.N., and Khan, A.H. 2002. Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. Agron. J. 93: 5. 1105-1110.
57.Thalooth, A.T., Tawfik, M.M., and Magda Mohamed, H. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. World J. Agric. Sci. 2: 1. 37-46.
58.Unyayar, S., Keles, Y., and Unal, E. 2004. Proline and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. Bulg. J. Plant Physiol. 30: 3-4. 34-47.
59.Waraich, E.A., Ahmad, R., Saifullah, A.M., and Ehsanullah, Y. 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. Aust. J. Crop Sci. 5: 6. 764-777.
60.Xu, W., Rosenowd, T., and Nguyenh, T. 2007. Stay green trait in grain sorghum: relationship between visual rating and leaf chlorophyll concentration. Plant Breed. 119: 4. 365-367.
61.Yuncai, H., and Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 4. 541-549.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 7(4), 2018
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effects of integrated application of phosphorus fertilizer and sewage sludge on leaf chlorophyll index and some growth characteristics of sunflower under water deficit conditions

***S. Kazemalilou[1], N. Najafi[2], A. Reyhanitabar[2] and M. Ghaffari[3]**
[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz,
[2]Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz,
[3]Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)
Received: 12/31/2016; Accepted: 09/13/2017

Abstract

Background and Objectives: Water deficit is one of the most important factors limiting crops production in the world and Iran. To increase the tolerance of plants to water deficit and reducing the consumption of chemical fertilizers, integrated application of organic and chemical fertilizers is recommended. Several studies have been done about the effects of phosphorus and sewage sludge on yield and quality of different crops at the world, but a report has not yet been presented about the effect of integrated application of phosphorus and sewage sludge on the growth of sunflower and determination of optimal amount of fertilizer under optimum and limited irrigation conditions. Therefore, the present study was conducted for evaluating the effect of triple superphosphate (TSP) and sewage sludge (SS) on leaf chlorophyll index (LCI) and some growth characteristics of oil sunflower under optimum and limited irrigation conditions in a clay loam soil.

Materials and Methods: The study was carried out as a split-factorial experiment based on randomized complete blocks design for two years in Agricultural Research Station of Khoy under farm conditions. Experimental factors were included year at two levels (2014 and 2015), irrigation time at two levels (irrigation after 60 and 150 mm evaporation from pan class A), TSP at three levels (0, 100, 200 kg/ha) and SS at four levels (0, 14.2, 28.4 and 56.7 t/ha). Statistical analysis of the data using MSTATC software and means comparison was performed by the Duncan test at 5% probability level.

Results: According to the combined analysis of variances, the effect of year was significant only for plant height, BY and LAI. Water deficit decreased LCI, LAI, BY, plant height and stem diameter but application of TSP and SS increased all studied characteristics significantly compared to the control. In both optimum and limited irrigation conditions, the highest LCI, LAI, BY, plant height and stem diameter were obtained from integrated treatments which increased 40, 141, 75, 26 and 47 percent at optimum irrigation conditions and 51, 95, 114, 36 and 60 percent at limited irrigation conditions respectively compared to the control treatments.

Conclusion: In order to reducing the consumption of chemical fertilizers and achieving the optimum growth of sunflower, application of 200 kg TSP + 56.7 tons SS under optimum and 100 kg TSP + 56.7 tons of SS per hectare under limited irrigation is recommended at similar conditions.

Keywords: Chlorophyll, Integrated plant nutrition management (IPNM), Sunflower, Water deficit

* Corresponding Author; Email: solmaz.kazemalilou@tabrizu.ac.ir