تأثیر رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل برگ و برخی ویژگی‌های رشد گیاه یونجه در شرایط گلخانه‌ای

شهاب محمودی[۱]، نصرت‌اله نجفی[۱*] و عادل ریحانی‌تبار[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۱۶)

چکیده

با توجه به مقدار کم مواد آلی در اغلب خاک‌های زیر کشت ایران و بروز تنش خشکی در گیاهان بر اثر کمبود بارندگی، استفاده از کمپوست لجن فاضلاب برای افزایش مواد آلی خاک و بهبود حاصل‌خیزی خاک، افزایش تحمل گیاهان در برابر کم‌آبی و بهبود عملکرد توصیه شده است. لذا، این تحقیق با هدف بررسی اثر سطوح رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل برگ و برخی ویژگی‌های رشد گیاه یونجه در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و دو عامل شرایط رطوبت خاک در سه سطح (0.34FC-0.50FC، 0.56FC-0.75FC و 0.81FC-FC) و کمپوست لجن فاضلاب در چهار سطح (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ گرم بر کیلوگرم خاک) انجام شد. نتایج نشان داد که اثر سطوح رطوبت خاک بر شاخص کلروفیل برگ به میزان کمپوست لجن فاضلاب بستگی دارد. کمبود آب در خاک موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک بخش هوایی و ریشه و ارتفاع بوته شد (P<۰/۰۱). بخش هوایی یونجه نسبت به تنش کمبود آب حساس‌تر از ریشه بود. مصرف ۱۵ و ۳۰ گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک موجب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ، وزن خشک بخش هوایی و ریشه، ارتفاع بوته و نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه شد (P<۰/۰۱). اثر متقابل سطوح رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل برگ، وزن خشک بخش هوایی و ریشه، ارتفاع بوته و نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه معنی‌دار بود (P<۰/۰۱). بیشترین وزن خشک بخش هوایی و ریشه، ارتفاع بوته و نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه با مصرف ۳۰ g/kg کمپوست لجن فاضلاب در شرایط رطوبتی 0.81FC-FC مشاهده شد. همچنین، نتایج نشان داد که مصرف ۳۰ گرم کمپوست لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک، باعث کاهش اثر تنش کمبود آب بر گیاه یونجه گردید.

واژه‌های کلیدی: آب خاک، تنش خشکی، کمپوست لجن فاضلاب، رشد یونجه

مقدمه

محدودیت‌های محیطی مانند خشکی، شوری، غرقاب، دمای بیش از حد، فلزات سنگین، تابش فوتونی و اختلالات تغذیه‌ای از محدودکننده‌ترین عوامل تولید محصولات کشاورزی بوده و نقش اصلی را در پراکنش گونه‌های گیاهی در محیط‌های مختلف ایفا می‌کنند (۱۵). اطلاعات نشان‌دهنده آن است که حدود ۶۰٪ عملکرد پتانسیل محصولات عمده کشاورزی به‌سبب ناسازگاری در محیط‌های رشد، از دست می‌رود (۲۲). کمبود آب اصلی‌ترین محدودیتی است که تولید علوفه و پایداری عملکرد را در اغلب نواحی خشک و نیمه‌خشک، تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۲). ایران به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین با مشکل کم‌آبی مواجه می‌باشد. رشد فزاینده جمعیت و نیاز به محصولات کشاورزی و دامی و محدودیت منابع آب به‌عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی مسئله کم‌آبی را به‌گونه‌ای بسیار جدی فراروی کشور قرار داده است، به‌طوری که بروز خشکسالی‌های اخیر در کشور

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: n-najafi@tabrizu.ac.ir

آسیب‌های بسیاری را بر بخش کشاورزی وارد کرده است (۲).

اثر تنش کمبود آب بر عملکرد گیاه در پی تأثیرات منفی تنش در مرحله رویشی ادامه می‌یابد، به‌گونه‌ای که با بسته‌شدن روزنه‌ها، جذب CO_2 و تولید ماده خشک کاهش می‌یابد و تداوم تنش می‌تواند کاهش شدید فتوسنتز را به‌دنبال داشته باشد (۳۸). تنش کم‌آبی معمولاً به‌عنوان یک محدودیت فیزیکی برای تولید یونجه به‌شمار می‌آید و بر عملکرد و کیفیت علوفه تأثیر می‌گذارد (۳). برای مثال، باکستون (۲۱) گزارش کرد اگر چه تنش کم‌آبی باعث افزایش ۱۸ درصدی نسبت برگ به ساقه در گیاه یونجه شد (افزایش کیفیت)، اما به‌دلیل کاهش ۴۹ درصدی علوفه، به‌عنوان یک محدودیت فیزیکی محسوب می‌شود. فاروق و همکاران (۲۶) مقاومت گیاه به خشکی را توانایی گیاه برای رشد، گل‌دهی و دستیابی به عملکرد اقتصادی در شرایط کمبود آب تعریف کردند. در بیشتر موارد، مصرف کودهای آلی، با بهبود ویژگی‌های خاک از جمله افزایش ظرفیت نگهداری آب، کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش مواد آلی و عناصر غذایی امکان تولید گیاهان با عملکرد مناسب و کیفیت بهتر را فراهم می‌آورد (۴۵). آنجل و همکاران (۹) گزارش کردند که با مصرف کمپوست لجن فاضلاب در خاک، به‌دلیل مقادیر زیاد عناصر غذایی موجود در آن، کیفیت چمن افزایش می‌یابد. گارلینگ و بوهم (۳۰) گزارش کردند که کمپوست لجن فاضلاب می‌تواند با کود غیرآلی از لحاظ توانایی بهبود رنگ و افزایش رشد چمن، رقابت کند. در حقیقت خاک‌های اصلاح شده با لجن فاضلاب در مقایسه با خاک‌های اصلاح نشده، رطوبت نسبی خود را برای مدت طولانی‌تری حفظ کرده و گیاهان در این خاک‌ها می‌توانند سیستم ریشه‌ای خود را بیشتر و عمیق‌تر توسعه دهند (۴۶). میلر و همکاران (۳۷) گزارش کردند که مصرف ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار موجب افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه یونجه در چین‌های دوم و سوم و افزایش غیرمعنی‌دار آن در چین اول، نسبت به تیمار شاهد گردید. آنان معنی‌دار نبودن افزایش عملکرد چین اول را به کوتاهی طول روز و دمای کم محیط در مقایسه با دو چین دیگر نسبت دادند.

یونجه (*Medicago sativa* L.)، در میان گیاهان علوفه‌ای، به‌دلیل سطح زیر کشت وسیع آن و از طرفی وجود اقلیم مساعد رشد این گیاه در اکثر مناطق کشور، از اهمیت خاصی برخوردار است. اطلاعات به‌دست آمده نشان می‌دهد که در سال زراعی ۸۸–۱۳۸۷ از کل سطح زیرکشت نباتات علوفه‌ای کشور، ۶۳٪ زیر کشت گیاه یونجه بوده و بیش از ۷۰٪ کل تولیدات گیاهان علوفه‌ای را شامل می‌شود (۱). در میان عامل‌های مختلف محدود کننده رشد گیاهان، کمبود آب نقش اساسی در تولید علوفه یونجه ایفا می‌کند (۷). با توجه به اهمیت تولید غذای مورد نیاز جمعیت رو به رشد و از طرف دیگر رقابت ایجاد شده برای استفاده از منابع آب و خاک، راهکارهای مناسب جهت افزایش کمیت و بهبود کیفیت تولیدات کشاورزی باید شناخته شوند. با توجه به وضعیت منابع آب، خاک و اقلیم و کمبود علوفه برای تغذیه دام در کشور، امروزه تولید گیاهان علوفه‌ای از جمله یونجه در شرایط گلخانه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. از طرف دیگر، حاصل‌خیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک معمولاً به‌دلیل کمبود مواد آلی، ضعیف می‌باشد. لذا، به‌نظر می‌رسد تلفیق نظام‌های افزایش حاصل‌خیزی خاک و کم‌آبیاری و بررسی اثر آن بر رشد و عملکرد گیاهان، می‌تواند رهیافتی سازنده در جهت بهره‌وری صحیح و کارآمد از منابع خاک و آب باشد.

تاکنون تحقیقات مختلفی در خارج از ایران، اثر پس‌ماندهای آلی مانند کمپوست لجن فاضلاب و تنش کمبود آب را بر رقم‌های مختلف گیاه یونجه در شرایط گلخانه‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۲۸). ولی در داخل کشور هیچ مطالعه‌ای در این مورد انجام نشده است. از طرف دیگر، با توجه به اینکه پاسخ گیاهان به کمبود آب و سطوح کمپوست لجن فاضلاب بسته به شدت و طول دوره کمبود آب، مقدار مصرف کمپوست، محل تولید کمپوست لجن فاضلاب شهری و رقم گیاه می‌تواند متفاوت باشد، انجام این مطالعه با گیاه یونجه رقم قره‌یونجه ضروری به‌نظر می‌رسد. لذا، هدف این پژوهش، مطالعه و بررسی اثرهای اصلی و متقابل سطوح کمپوست لجن فاضلاب

شهری و رطوبت خاک بر شاخص کلروفیل برگ‌ها و برخی ویژگی‌های رشد گیاه یونجه در شرایط گلخانه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۱ با کشت گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.) رقم قره‌یونجه در شرایط گلخانه‌ای و با استفاده از گلدان‌های پلاستیکی حاوی ۳ کیلوگرم خاک با بافت لوم رسی انجام گردید. علت انتخاب خاکی با بافت لوم رسی این بود که گیاه یونجه در خاک‌هایی با بافت متوسط تا سنگین و pH خنثی تا قلیایی به‌خوبی رشد می‌کند (۵). این خاک با استفاده از اطلاعات موجود در گروه علوم خاک دانشگاه تبریز، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه‌ای واقع در روستای اسپیران در شمال غرب تبریز با طول جغرافیایی ″۵۳ ′۱۹ °۴۶ شرقی و عرض جغرافیایی ″۵۷ ′۱۵ °۳۸ شمالی تهیه و به آزمایشگاه منتقل و هواخشک شد. پس از کوبیدن و عبور دادن خاک از الک ۲ میلی‌متری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مهم خاک تعیین گردید (۲۴ و ۳۸)، که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

کمپوست لجن فاضلاب شهری از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر میانه تهیه و پس از عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری، ویژگی‌های شیمیایی آن تعیین شد (۳۸ و ۴۱)، که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. رطوبت ظرفیت مزرعه (Field capacity, FC) در نمونه دست نخورده از خاک گلدان‌های تیمار شده با سطوح مختلف کمپوست لجن فاضلاب، به‌وسیله دستگاه صفحات فشار تعیین گردید (۲۴)، که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با فاکتورهای رطوبت خاک در سه سطح (۵۰-۳۴، ۷۵-۵۶ و ۱۰۰-۸۱ درصد ظرفیت مزرعه) و کمپوست لجن فاضلاب در ۴ سطح (شاهد، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و در سه تکرار انجام شد. قبل از کشت گیاه، ابتدا کمپوست لجن فاضلاب به خاک افزوده شد و خاک به مدت دو هفته در داخل کیسه‌های پلاستیکی برای رسیدن به تعادل نسبی، در رطوبت نزدیک ظرفیت مزرعه (از طریق توزین روزانه) نگه داشته شد.

تعداد ۲۰ عدد بذر یونجه انتخاب و در هر گلدان در عمق ۵ سانتی‌متری کاشته شد. بعد از اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها (زمانی که به مرحله ۳ برگی رسیدند)، گیاهان به تعداد ۱۰ عدد در هر گلدان تنک شدند. سطوح مختلف رطوبت خاک در مرحله ۸ برگی با توزین روزانه گلدان‌ها و افزودن آب (یک تا دو بار در روز) ایجاد شد. رطوبت هوای داخل گلخانه حدود ۵۳-۴۰ درصد و دمای آن بین ۳۱/۵-۲۰ درجه سلسیوس در طول شبانه‌روز نوسان داشت. پس از اینکه حدود ۱۰٪ گیاهان گل دادند، شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech CL-01, UK) و ارتفاع گیاه با خط‌کش اندازه‌گیری شد. دستگاه کلروفیل‌سنج، غلظت نسبی کلروفیل برگ (شاخص کلروفیل) را در دو طول موج ۶۲۰ و ۶۴۰ نانومتر بر اساس مقدار نور جذب شده به‌وسیله کلروفیل بدون تخریب برگ و سریع تعیین می‌کند که شاخصی از فعالیت فتوسنتزی برگ می‌باشد. برای این منظور، ۱۰ برگ جوان و توسعه یافته از هر گلدان انتخاب شد. پس از پاک کردن برگ، پهن‌ترین بخش برگ میان انبرک دستگاه قرار گرفت. سپس، شاخص کلروفیل آن اندازه‌گیری شد. میانگین این ۱۰ نمونه به‌عنوان شاخص کلروفیل برگ برای آن گلدان (واحد آزمایشی) در نظر گرفته شد. شاخص کلروفیل برگ‌ها در سه زمان مختلف در طول دوره رشد اندازه‌گیری شد.

پس از برداشت گیاهان و تعیین وزن تر بخش هوایی، ریشه‌ها از خاک جدا شده و وزن تر آنها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱± گرم تعیین گردید. سپس، ریشه و بخش هوایی گیاهان با آب مقطر شسته شده و در دستگاه خشک‌کن نمونه‌های گیاهی با دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا زمان خشک شدن کامل و رسیدن به وزن ثابت، نگهداری شدند. سپس، وزن خشک بخش هوایی و ریشه تعیین گردید. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و SPSS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم گردیدند.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	آهک (٪)	کربن آلی (٪)	SP (٪)	$pH_{(1:1)}$	$EC_{(1:1)}$ (dS/m)
لوم رسی	۳۹	۳۸/۵	۲۲/۵	۱۵/۲۵	۰/۵۸۵	۴۴/۴	۷	۰/۴۷

ادامه جدول ۱. نیتروژن کل و غلظت عناصر قابل جذب در خاک

N	P	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb
(٪)	(mg/kg)								
۰/۰۲	۸/۷	۵۵۶/۴	۳۲۵/۷	۳/۹۸	۷/۰۱	۰/۵۲	۲/۲	۰/۰۴	ناچیز

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی کمپوست لجن فاضلاب

ماده آلی (٪)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	C/N	$pH_{(1:5)}$	$pH_{(1:2)}$	$EC_{(1:5)}$ (dS/m)	$EC_{(1:2)}$ (dS/m)
۳۷/۴۹	۲۱/۷۵	۲	۱۰/۸۸	۶/۶۳	۶/۲۶	۳/۲۵	۵/۵۸

ادامه جدول ۲. غلظت عناصر در کمپوست لجن فاضلاب

P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb
(mg/g)					(mg/kg)					
۱۱/۶	۲/۹	۰/۷۹	۲۶/۷	۵/۲	۷۱۲۴/۴	۸۰۸	۲۷۲۳	۱۸۶/۵	۱۲/۱	۵۱/۴

جدول ۳. مقادیر رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) در سطوح مختلف کمپوست لجن فاضلاب

سطح کمپوست لجن فاضلاب (g/kg)	صفر	۱۵	۳۰	۶۰
رطوبت ظرفیت مزرعه (٪)	۱۸/۵	۱۸/۹	۱۹/۵	۲۰/۲

نتایج و بحث

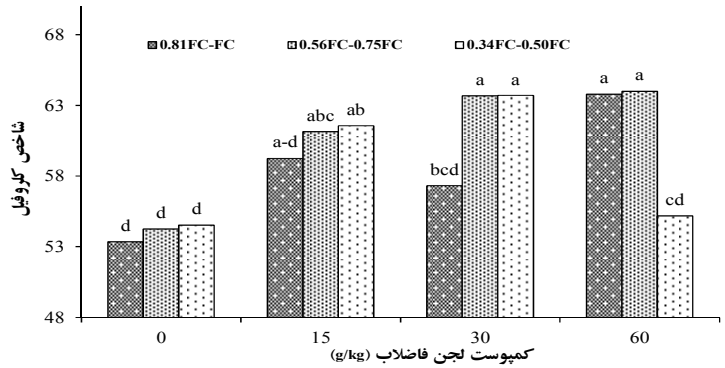
برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای، به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. مقادیر فلزات سنگین در کمپوست لجن فاضلاب از حدود مجاز اعلام شده به‌وسیله سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا کمتر بود (۴۷).

شاخص کلروفیل برگ

غلظت کلروفیل برگ‌ها شاخص مستقیم سلامتی گیاه و وضعیت رشد آن و شاخصی از فعالیت فتوسنتزی برگ و وضعیت تغذیه نیتروژن گیاه می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که اثرهای اصلی زمان، کمپوست لجن فاضلاب و اثر متقابل کمپوست و رطوبت خاک معنی‌دار و اثر رطوبت خاک و اثر متقابل رطوبت خاک و زمان، کمپوست و زمان و رطوبت خاک، کمپوست و زمان بر شاخص کلروفیل برگ‌های یونجه غیرمعنی‌دار بودند.

اثر کمپوست لجن فاضلاب و رطوبت خاک بر شاخص کلروفیل برگ

شکل ۱ نشان می‌دهد که اثر کمپوست لجن فاضلاب بر شاخص



شکل ۱. اثر متقابل رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل برگ‌های یونجه

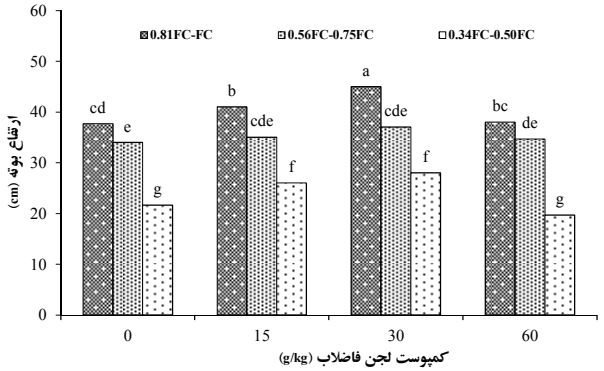
جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر زمان، رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل برگ‌های یونجه

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۷۰/۳ ns
رطوبت خاک	۲	۵۸ ns
کمپوست لجن فاضلاب	۳	۳۳۷/۵ **
رطوبت خاک × کمپوست لجن فاضلاب	۶	۱۰۲/۹ *
زمان	۲	۹۴۶۴/۲ **
رطوبت خاک × زمان	۴	۲۷/۴ ns
کمپوست لجن فاضلاب × زمان	۶	۷۳/۵ ns
رطوبت خاک × کمپوست لجن فاضلاب × زمان	۱۲	۶۱/۵ ns
خطای آزمایشی	۷۰	۴۱
ضریب تغییرات (٪)		۱۰/۸۰

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیرمعنی‌دار

کلروفیل برگ‌ها به رژیم رطوبتی خاک بستگی دارد. در سطح رطوبت 0.34FC-0.50FC، شاخص کلروفیل برگ‌ها با افزایش سطح لجن فاضلاب تا g/kg ۳۰ به‌طور معنی‌داری افزایش و در سطح g/kg ۶۰ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تحلیل رگرسیونی میان سطح کمپوست لجن فاضلاب (S) و شاخص کلروفیل برگ‌ها (C) برای سطوح رطوبت به‌صورت جداگانه انجام شد و نتایج آن نشان داد که در سطح 0.34FC-0.50FC، رابطه درجه دوم $C=54.568+0.606S-0.01S^2$ با $R=0.999^{**}$ بین سطح لجن فاضلاب و شاخص کلروفیل برگ‌ها وجود دارد. بنابراین، با استفاده از این رابطه می‌توان با دقت خیلی خوبی شاخص کلروفیل برگ‌های یونجه را در سطوح مختلف کمپوست لجن فاضلاب پیش‌بینی کرد. طبق این رابطه بیشترین شاخص کلروفیل برگ‌ها با مصرف g/kg ۳۰ کمپوست لجن فاضلاب به‌دست خواهد آمد. در سطوح 0.81FC-FC و 0.56FC-0.75FC رابطه رگرسیونی معنی‌داری بین کمپوست لجن فاضلاب و شاخص کلروفیل برگ‌ها مشاهده نشد.

افزایش شاخص کلروفیل برگ‌ها با مصرف کمپوست لجن فاضلاب می‌تواند به‌علت افزایش غلظت عناصر غذایی در خاک (به‌ویژه نیتروژن) بر اثر مصرف این کود باشد (جداول ۱ و ۲) که در طول دوره رشد گیاه آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (جدول ۳). شاخص کلروفیل برگ‌ها در تیمار g/kg ۶۰ کمپوست لجن فاضلاب و رطوبت 0.34FC-0.50FC کاهش شدیدی نشان داد (شکل ۱). این کاهش احتمالاً ناشی از افزایش شوری محلول خاک در این سطح کمپوست لجن فاضلاب



شکل ۲. اثر متقابل رطوبت خاک و لجن فاضلاب بر ارتفاع بوته یونجه

می‌باشد، به‌طوری که این بررسی نشان داد EC عصاره اشباع خاک در این تیمار dS/m ۳/۴۹ بود. بنابراین، بروز پدیده خشکی فیزیولوژیک (۳۲) و کاهش آب قابل استفاده گیاه در خاک ممکن است از عامل‌های اصلی کاهش میزان تشکیل کلروفیل باشد. عامل دیگری که ممکن است در این سطح کمپوست (۶٪) سبب کاهش شاخص کلروفیل برگ‌ها شود، وجود برخی ترکیبات آلی خطرناک در کمپوست لجن فاضلاب است که سبب کاهش رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و تشکیل کلروفیل برگ‌ها می‌شود (۳۶).

شکل ۱ نشان می‌دهد که در سطح g/kg ۳۰ کمپوست لجن فاضلاب، با کاهش رطوبت خاک، شاخص کلروفیل برگ‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی بین دو سطح 0.34FC-0.50FC و 0.56FC-0.75FC تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در سطح g/kg ۶۰ کمپوست لجن فاضلاب، با کاهش رطوبت خاک به 0.34FC-0.50FC شاخص کلروفیل برگ‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۲). با کاهش رطوبت خاک، آب قابل استفاده گیاه و فراهمی عناصر غذایی مختلف در خاک کاهش یافته و سبب کاهش رشد گیاه می‌گردد. به عبارت دیگر، در این شرایط، سرعت تشکیل کلروفیل از سرعت رشد گیاه بیشتر بوده است. زیادی کمپوست لجن فاضلاب و کمبود رطوبت باعث افزایش غلظت یون‌های مختلف در محلول خاک و شور شدن آن می‌شود که سبب می‌گردد سرعت تشکیل کلروفیل بیشتر از سرعت رشد گیاه کاهش یابد. در نتیجه، شاخص کلروفیل برگ‌ها کاهش می‌یابد.

شاخص کلروفیل برگ‌ها در سه زمان مختلف در طول دوره رشد اندازه‌گیری شد و به‌ترتیب مقادیر ۴۰/۸، ۶۶/۴ و ۷۰/۸ به‌دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که شاخص کلروفیل برگ‌ها با افزایش زمان رشد گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که می‌تواند به‌دلیل افزایش معدنی‌شدن ترکیبات آلی کمپوست لجن فاضلاب و آزاد شدن عناصر معدنی، به‌ویژه نیتروژن، و افزایش فراهمی آنها (۳۲ و ۳۶) برای گیاه باشد (جداول ۱ و ۲). همچنین، به‌نظر می‌رسد با افزایش سن گیاه، سرعت تشکیل کلروفیل در برگ‌ها بیشتر از سرعت رشد برگ‌ها بوده است. در نتیجه، بر اثر وقوع اثر تغلیظ (۳۶)، غلظت کلروفیل برگ‌ها افزایش یافته است. فیبو و همکاران (۲۷) بیان کردند که بین شاخص کلروفیل برگ و میزان نیتروژن قابل‌جذب گیاه در خاک، رابطه خطی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. معدنی‌شدن نیتروژن در خاک‌های اصلاح شده با پس‌ماندهای آلی یک فرایند پیچیده بوده و به ویژگی‌های خاک از قبیل نوع خاک، pH، دما، تهویه، رطوبت، نوع و مقدار پس‌ماند آلی افزوده شده بستگی دارد (۳۳ و ۳۴). لذا، شاخص کلروفیل برگ‌های گیاه می‌تواند تحت تأثیر این عامل‌ها قرار گیرد.

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب و اثر متقابل رطوبت خاک و کمپوست

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس تأثیر رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های رشد یونجه

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع گیاه	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه	درصد آب بخش هوایی
بلوک	۲	۳/۴۴۴ ns	۰/۱۱۵ ns	۰/۰۱۸ ns	۰/۰۴۱ ns	۲/۰۹۵ ns
رطوبت خاک	۲	۸۶۲/۰۲۸ **	۳۶۵/۰۳۷ **	۱۲۲/۱۵۶ **	۲۸/۵۳۱ **	۸/۷ **
کمپوست لجن فاضلاب	۳	۶۸/۶۲۰ **	۱۲/۷۰۱ **	۲۰/۱۵۵ **	۳۹/۹۲۱ **	۱۲/۲۵۶ **
رطوبت خاک × کمپوست	۶	۷/۶۲۰ ns	۲/۵۹۱ **	۲/۸۸۳ **	۸/۰۱۹ **	۸/۰۸۹ **
خطای آزمایشی	۲۲	۳/۶۲۶	۰/۳۷۳	۰/۳۰۸	۱/۲۸۶	۰/۷۸۹
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۷۵	۵/۱۶	۱۳/۲۱	۸/۴۱	۱۳/۲۱

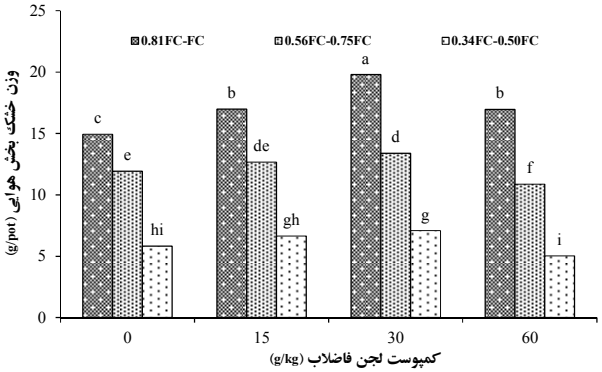
**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیرمعنی‌دار

لجن فاضلاب بر ارتفاع بوته معنی‌دار بودند (جدول ۵).

شکل ۲ نشان می‌دهد که در دو سطح رطوبت 0.81FC-FC و 0.34FC-0.50FC، ارتفاع بوته با افزایش سطح کمپوست لجن فاضلاب به g/kg ۳۰ افزایش معنی‌دار داشت؛ ولی در سطح g/kg ۶۰ کمپوست لجن فاضلاب، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. میان سطوح کمپوست لجن فاضلاب و ارتفاع بوته در هیچیک از سطوح رطوبت، رابطه رگرسیونی معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش ارتفاع بوته با کاربرد کمپوست لجن فاضلاب می‌تواند به‌علت تأثیر مثبت کمپوست لجن فاضلاب بر افزایش شدت فتوسنتز گیاه از طریق تأمین عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف و ترکیبات هیومیک موجود در آن باشد (۱۶ و ۴۴). دماسدو و همکاران (۲۵) و غفوری و همکاران (۳۱) نتایج مشابهی را گزارش کردند. ارتفاع بوته در تیمار g/kg ۶۰ کمپوست لجن فاضلاب و رطوبت 0.81FC-FC کاهش معنی‌داری نسبت به سطح g/kg ۳۰ کمپوست لجن فاضلاب نشان داد (شکل ۲). غفوری و همکاران (۳۱) افزایش ارتفاع گیاه با مصرف کمپوست لجن فاضلاب را به بهبود شرایط خاک برای رشد گیاه نسبت دادند و بیان داشتند که در این شرایط گیاهان دارای ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد برگ بیشتری بودند. کاهش ارتفاع بوته در مقدار زیاد کمپوست لجن فاضلاب (g/kg ۶۰) احتمالاً ناشی از کاهش تشکیل کلروفیل و شدت فتوسنتز خالص بر اثر آسیب وارد بر غشای کلروپلاست در نتیجه تولید گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش (شوری و خشکی) می‌باشد (۴۳).

با کاهش رطوبت خاک از 0.81FC-FC به 0.34FC-0.50FC، ارتفاع بوته در هر چهار سطح کمپوست لجن فاضلاب کاهش یافت. در سطح g/kg۶۰ کمپوست لجن فاضلاب، کاهش رطوبت خاک از سطح 0.56FC-0.75FC به 0.34FC-0.50FC، موجب کاهش شدید ارتفاع بوته شد (۴۳٪ کاهش نسبت به سطح 0.56FC-0.75FC) (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد این کاهش شدید ناشی از اثر توأم خشکی و شوری در این تیمار می‌باشد. بنی‌عباس شهری و همکاران (۱۸) کاهش ارتفاع بوته آفتابگردان را بر اثر تنش خشکی گزارش کردند. بای و همکاران (۱۷) گزارش کردند که ارتفاع بوته و طول ریشه اصلی گیاه *Sophora japonica*، با کاربرد ۶۰ تن کمپوست لجن فاضلاب در هکتار به حداکثر رسید و کاربرد ۳۰ و ۹۰ تن کمپوست لجن فاضلاب در هکتار باعث افزایش مقدار این ویژگی‌ها نسبت به تیمار شاهد شد.

نتایج نشان می‌دهد که کاربرد g/kg ۳۰ کمپوست لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به تیمار فاقد کمپوست در شرایط کمبود آب شد. پاسکوال و همکاران (۴۰) با مطالعه برهمکنش لجن فاضلاب و رطوبت خاک،



شکل ۳. اثر متقابل رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر وزن خشک بخش هوایی یونجه

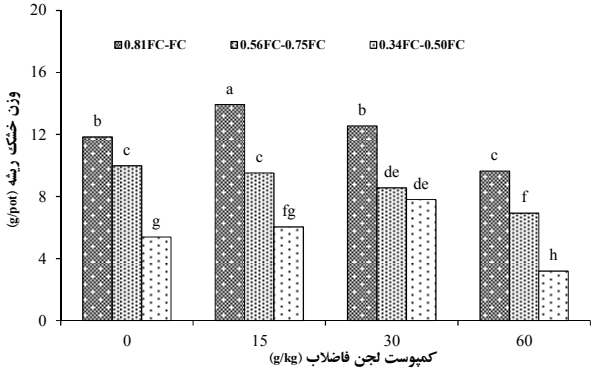
گزارش کردند که در شرایط کمبود آب، مقدار رطوبت در خاک حاوی لجن فاضلاب به‌مراتب بیشتر از خاک فاقد لجن فاضلاب بود. با توجه به جداول ۱ و ۲، با مصرف کمپوست لجن فاضلاب غلظت نیتروژن، روی، فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک افزایش می‌یابد. با جذب این عناصر به‌وسیله ریشه گیاه یونجه، رشد گیاه و ارتفاع آن افزایش می‌یابد (۳۶).

وزن خشک بخش هوایی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب و اثر متقابل رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار بودند (جدول ۵).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر سه سطح رطوبت خاک، وزن خشک بخش هوایی با افزایش سطح لجن فاضلاب تا g/kg ۳۰ افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت، ولی در سطح g/kg ۶۰ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. افزایش وزن خشک بخش هوایی در سطح رطوبت 0.81FC-FC، به‌مراتب شدیدتر از دو سطح دیگر بود. میان سطوح کمپوست لجن فاضلاب و وزن خشک بخش هوایی در هیچ‌یک از سطوح رطوبت، رابطه رگرسیونی معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳). افزایش وزن خشک بخش هوایی با کاربرد کمپوست لجن فاضلاب می‌تواند به‌علت افزایش غلظت عناصر غذایی در خاک بر اثر مصرف این کود باشد (جداول ۱ و ۲) که در طول دوره رشد گیاه آزاد شده و از طریق بهبود وضعیت تغذیه معدنی گیاه، موجب افزایش رشد آن می‌شود. آنتولین و همکاران (۱۴) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند و علت افزایش ماده خشک را فراهمی عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن، و افزایش غلظت پروتئین برگ در خاک‌های اصلاح شده با کمپوست لجن فاضلاب بیان کردند. با توجه به قابلیت هدایت الکتریکی زیاد کمپوست لجن فاضلاب (جدول ۲)، کاهش وزن خشک بخش هوایی در تیمار g/kg ۶۰ کمپوست لجن فاضلاب احتمالاً ناشی از افزایش شوری محلول خاک و بروز پدیده خشکی فیزیولوژیک می‌باشد (۳۲). گیاه یونجه نیمه‌حساس به شوری است و عملکرد آن در هدایت الکتریکی dS/m ۲ شروع به کاهش می‌کند (۲۹). چنگ و همکاران (۲۳) مشاهده کردند که مقدار ۴۰-۱۰۰ درصد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب به‌دلیل افزایش غلظت نمک‌های محلول، موجب کاهش معنی‌دار رشد چمن گردید. آنان کاربرد ۱۰-۲۰ درصد کمپوست لجن فاضلاب را برای رشد بهینه چمن توصیه کردند. با کاهش رطوبت خاک از 0.81FC-FC به 0.56FC-0.75FC، وزن خشک بخش هوایی در هر چهار سطح کمپوست لجن فاضلاب کاهش یافت. بیشترین میزان کاهش وزن خشک بخش هوایی در سطح g/kg ۳۰ و کمترین میزان آن در تیمار فاقد کمپوست لجن فاضلاب مشاهده شد. وو و همکاران (۴۸) کاهش وزن خشک بخش هوایی ذرت و گندم زمستانه را در دو آزمایش مزرعه‌ای و گلدانی گزارش کردند.

رشد پدیده‌ای است که حاصل تقسیم سلولی، توسعه و تمایز سلول و فرایندهای ژنتیک، فیزیولوژیک، اکولوژیک و



شکل ۴. اثر متقابل رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر وزن خشک ریشه یونجه

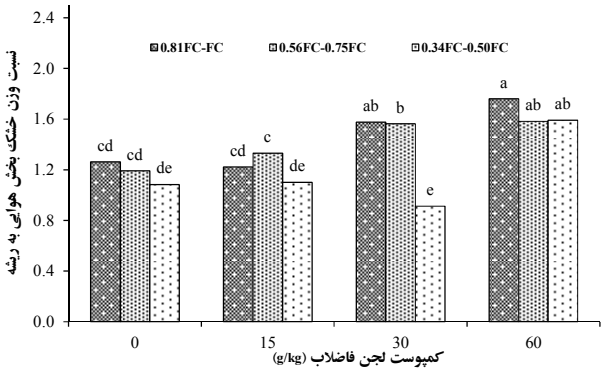
مورفولوژیک مرتبط و برهم‌کنش‌های پیچیده آنها می‌باشد و کمبود آب از طریق محدود کردن توسعه سلول به‌واسطه کاهش آماس و محدود کردن تقسیم سلولی به‌واسطه اختلال در تقسیم میتوز، رشد را کاهش می‌دهد (۲۶). کاهش وزن خشک بخش هوایی گیاه در تیمار g/kg ۶۰ کمپوست لجن فاضلاب و رطوبت 0.34FC-0.50FC به‌میزان ۴۲٪ نسبت به شاهد ناشی از اثر توأم خشکی و شوری می‌باشد. شکل ۳ نشان می‌دهد که کاربرد g/kg ۳۰ کمپوست لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک بخش هوایی نسبت به تیمار فاقد کمپوست در شرایط کمبود آب و افزایش تحمل گیاه به کم‌آبی شد. در یک بررسی، اثر مثبت کاربرد کمپوست لجن فاضلاب به مقدار ۳۰ گرم بر کیلوگرم خاک بر کاهش اثر سوء شرایط غرقاب در گیاه آفتابگردان گزارش گردید (۶). پاسکوال و همکاران (۴۰) مشاهده کردند که در شرایط کمبود آب، میزان ماده خشک گیاهان دریافت کننده لجن فاضلاب بیشتر از گیاهان شاهد بود. یانگ و همکاران (۵۰) در مطالعه خود نشان دادند که ظرفیت فتوسنتزی گیاه تحت تنش‌های هم‌زمان شوری و خشکی نسبت به حالتی که فقط تنش کمبود آب حاکم بود، بیشتر کاهش یافت. به گزارش آنان، کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه متعاقباً موجب کاهش عملکرد گیاه گردید.

وزن خشک ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب و اثر متقابل آنها بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بودند (جدول ۵).

مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که در دو سطح رطوبت 0.34FC-0.50FC و 0.81FC-FC، وزن خشک ریشه با افزایش سطح لجن فاضلاب تا g/kg ۳۰ افزایش معنی‌دار یافت. افزایش وزن خشک ریشه با کاربرد کمپوست لجن فاضلاب می‌تواند به‌علت افزایش جذب عناصر و آب و در نتیجه افزایش سرعت فتوسنتز خالص و به دنبال آن افزایش سنتز مواد فتوسنتزی و انتقال آنها به ریشه‌ها باشد. بارکه و همکاران (۱۹) و امین و همکاران (۸) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. امین و همکاران (۸) علت افزایش وزن خشک ریشه گیاه باقلا را با کاربرد کمپوست لجن فاضلاب، به افزایش تقسیم سلولی مربوط دانسته‌اند. وزن خشک ریشه در تیمار g/kg ۶۰ کمپوست لجن فاضلاب و رطوبت 0.81FC-FC کاهش ۱۹ درصدی نسبت به تیمار فاقد کمپوست لجن فاضلاب و سطح رطوبت 0.81FC-FC نشان داد (شکل ۴). امین و همکاران (۸) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. به‌نظر می‌رسد کاهش وزن خشک ریشه در سطوح زیاد کمپوست لجن فاضلاب به دلایلی مربوط است که در مورد شاخص کلروفیل برگ‌ها و وزن خشک بخش هوایی ذکر گردید.

همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، در سطح g/kg ۶۰ کمپوست لجن فاضلاب، کاهش رطوبت از سطح 0.81FC-FC به 0.56FC-0.75FC، موجب کاهش شدید وزن خشک ریشه شد. کاربرد g/kg ۳۰ کمپوست لجن فاضلاب موجب افزایش



شکل ۵. اثر متقابل رطوبت خاک و لجن فاضلاب بر نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه یونجه

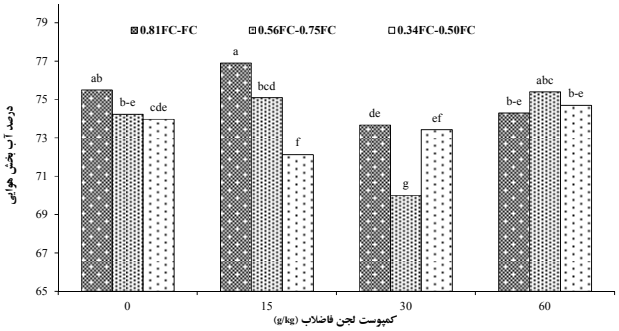
معنی‌دار وزن خشک ریشه نسبت به تیمار فاقد کمپوست، با وجود کمبود آب، شد. در شرایط کمبود آب در خاک، مقاومت مکانیکی خاک افزایش و رشد ریشه کاهش می‌یابد (۲۰). از طرفی، کاربرد لجن فاضلاب موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک می‌شود (۲۳). آنتولین و همکاران (۱۳) گزارش کردند که کاربرد لجن فاضلاب در شرایط کمبود آب موجب افزایش سرعت فتوسنتز گیاهان یونجه، نسبت به تیمار فاقد لجن فاضلاب، شد. بنابراین، می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد کمپوست لجن فاضلاب با بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، به رشد و توسعه بیشتر ریشه کمک می‌کند و از این طریق موجب افزایش تحمل گیاه در برابر شرایط کم‌آبی می‌شود.

نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب و اثر متقابل رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه معنی‌دار بودند (جدول ۵). با وجود معنی‌داری اثرهای اصلی و متقابل آنها بر نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه، اثر این فاکتورها بر رشد ریشه و بخش هوایی یکسان نبوده است.

مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه با افزایش سطح کمپوست لجن فاضلاب افزایش معنی‌داری یافت (شکل ۵). مصرف ۳۰ و ۶۰ گرم کمپوست در دو سطح رطوبت 0.56FC-0.75FC و 0.81FC-FC، در مقایسه با تیمار شاهد و ۱۵ گرم کمپوست، موجب افزایش معنی‌دار نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه شد. افزایش نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه با مصرف کمپوست لجن فاضلاب، می‌تواند به‌علت افزایش بیشتر رشد بخش هوایی نسبت به ریشه باشد (شکل‌های ۳ و ۴). افزایش نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه با کاربرد لجن فاضلاب به‌وسیله سایر محققین نیز گزارش شده است (۴ و ۶). در هر چهار سطح کمپوست لجن فاضلاب، با کاهش رطوبت خاک از 0.81FC-FC به 0.56FC-0.75FC، نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه تغییر معنی‌داری نکرد.

در سطح ۳۰ g/kg کمپوست لجن فاضلاب، با کاهش رطوبت خاک از 0.56FC-0.75FC به 0.34FC-0.50FC، نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۵). کاهش نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه با اعمال تنش خشکی نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی، رشد بخش هوایی بیشتر از رشد ریشه کاهش می‌یابد که با نتایج گزارش شده به‌وسیله سایر محققین مطابقت دارد (۳۶). در شرایط تنش خشکی، آبسیزیک اسید (ABA) بیشتری در نواحی نوک ریشه تشکیل می‌شود و به‌عنوان علامتی از کم‌آبی به بخش هوایی فرستاده می‌شود و سبب کاهش رشد بخش هوایی می‌شود. با این سازوکار، گیاه در شرایط خشک



شکل ۶. اثر متقابل رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر درصد آب بخش هوایی یونجه

شدن خاک، میزان تعرق را کاهش داده و با حفظ آب، سرعت بروز نشانه‌های کمبود آب در اندام‌های هوایی را کم می‌کند (۳۶). شو (۴۹) گزارش کرد که افزایش نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی باعث افزایش توانایی گیاه در جذب آب شده و اثر اتلاف آب از طریق تعرق را کاهش می‌دهد.

درصد آب بخش هوایی

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب و اثر متقابل رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر درصد آب بخش هوایی معنی‌دار بودند (جدول ۶).

شکل ۶ نشان می‌دهد که اثر کمپوست لجن فاضلاب بر درصد آب بخش هوایی به رژیم رطوبتی خاک بستگی دارد. با کاهش رطوبت خاک از 0.81FC-FC به 0.56FC-0.75FC، کاهش معنی‌دار درصد آب بخش هوایی در سطوح ۱۵ و ۳۰ g/kg کمپوست لجن فاضلاب مشاهده شد (شکل ۶) و بیشترین میزان کاهش در سطح ۳۰ g/kg کمپوست لجن فاضلاب بود. در سطح ۳۰ g/kg کمپوست لجن فاضلاب، با کاهش رطوبت خاک از 0.56FC-0.75FC به 0.34FC-0.50FC، افزایش معنی‌دار درصد آب بخش هوایی مشاهده شد (شکل ۶). کاهش معنی‌دار درصد آب بخش هوایی در تیمار ۱۵ g/kg کمپوست لجن فاضلاب و رطوبت 0.34FC-0.50FC نسبت به تیمارهای شاهد کمپوست لجن فاضلاب و سطوح رطوبت 0.34FC-0.50FC، 0.50FC-0.75FC و 0.34FC-FC، ممکن است بر اثر کمبود آب باشد. کاهش معنی‌دار درصد آب بخش هوایی در تیمار ۳۰ g/kg کمپوست لجن فاضلاب و رطوبت 0.50FC-0.75FC نسبت به تیمارهای شاهد، ۱۵ و ۶۰ g/kg کمپوست لجن فاضلاب در رطوبت 0.50FC-0.75FC، احتمالاً ناشی از افزایش تولید ماده خشک بخش هوایی (شکل ۳) و افزایش میزان تعرق ناشی از آن است که منجر به کاهش درصد آب بخش هوایی شده‌است.

نتیجه‌گیری

مقایسه میانگین‌های وزن خشک بخش هوایی و ریشه تحت اثر متقابل رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب نشان داد که تولید ماده خشک بخش هوایی و ریشه گیاه با مصرف کمپوست لجن فاضلاب افزایش یافت. در تمامی شرایط رطوبتی مورد مطالعه، با مصرف کمپوست لجن فاضلاب، وزن خشک بخش هوایی و ریشه ونسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه افزایش یافت. افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ‌ها و برخی ویژگی‌های گیاهان در شرایط تنش شدید کمبود آب با مصرف کمپوست لجن فاضلاب، حاکی از اثر مثبت کمپوست لجن فاضلاب بر بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و افزایش تحمل گیاه در برابر کم‌آبی بود. با توجه به اینکه در مطالعه حاضر گلدان‌ها فاقد زهکش بودند، مصرف ۶۰ گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک سبب افزایش شوری خاک گردید. در حالی که در شرایط مزرعه‌ای به‌دلیل آبشویی خاک بر اثر خروج آب زهکشی احتمالاً چنین مشکلی پیش نخواهد آمد. از

آنجا که با مصرف ۳۰ گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک (۶۰ تن در هکتار) در شرایط کمبود آب، شاخص کلروفیل برگ‌ها، وزن خشک بخش هوایی و ریشه و ارتفاع بوته یونجه، نسبت به تیمار شاهد کمپوست لجن فاضلاب به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند، مصرف کمپوست لجن فاضلاب به مقدار ۳۰ گرم بر کیلوگرم خاک در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای برای تولید علوفه بیشتر یونجه در خاک‌های مشابه پیشنهاد می‌شود. لازم به‌ذکر است که این توصیه فقط برای یکبار مصرف کمپوست لجن فاضلاب است و برای انجام توصیه دقیق و تعیین تعداد دفعات مصرف آن لازم است آزمایش‌های تکمیلی، هم در شرایط گلخانه‌ای و هم در شرایط مزرعه‌ای، انجام شود.

منابع مورد استفاده

۱. بی‌نام. ۱۳۹۰. بررسی نوسانات خشکسالی کشور بر مبنای بارش مهر ۱۳۸۸ تا پایان تیرماه ۱۳۹۰. گزارشات ماهانه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، پایگاه ملّی مدیریت خشکسالی www.ncadm.ir.

۲. بی‌نام. ۱۳۸۹. آمارنامه کشاورزی، جلد اول- محصولات زراعی سال ۸۸-۱۳۸۷. دفتر آمار و فناوری اطلاعات، وزارت جهاد کشاورزی.

۳. عباسی، م.، ن. نجفی، ن. علی‌اصغرزاد و ش. اوستان. ۱۳۹۲. اثر شرایط آب خاک، لجن فاضلاب، کود مرغی و کود شیمیایی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب گیاه برنج در یک خاک آهکی. نشریه دانش آب و خاک ۲۳(۱): ۱۸۹-۲۰۸.

۴. قربانی جاوید، م.، غ. اکبری، ف. مرادی و ا. اله‌دادی. ۱۳۸۶. ارزیابی میزان ماده خشک، روابط آبی و تنظیم اسمزی در دو ژنوتیپ یونجه یکساله مرتعی (*Medicago laciniata* (L.) Mill) تحت شرایط تنش خشکی. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۴(۳): ۳۳۶-۳۵۱.

۵. کریمی، ه. ۱۳۶۹. *یونجه*. مرکز نشر دانشگاهی، تهران

۶. . نجفی، ن. و س. مردمی. ۱۳۹۰. اثر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر ویژگی‌های رشد گیاه آفتابگردان در یک خاک شن لومی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۶): ۱۲۶۴-۱۲۷۶.

7. Al-Naeem, M.A. 2008. Influence of water stress on water use efficiency and dry hay production of alfalfa in Al-Ahsa, Saudi Arabia. Int. J. Soil Sci. 3: 119-126.
8. 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*. Res. J. Environ. Toxicol. 3: 60-75.
9. Angle, J.S. 1994. Sewage sludge compost for establishment and maintenance of turfgrass. PP. 45-52. *In*: Leslie, A.R. (Ed.), Handbook of Residue Integrated Pest Management for Turf and Ornamentals, Lewis Publisher, Boca Raton.
10. Antolin, M.C., J. Yoller and M. Sánchez-Díaz. 1995. Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen-fixing alfalfa plants. Plant Sci. 107: 159-167.
11. Antolin, M.C., M.L. Fiasconaro and M. Sánchez-Díaz. 2010a. Relationship between photosynthetic capacity, nitrogen assimilation and nodule metabolism in alfalfa (*Medicago sativa*) grown with sewage sludge. J. Hazard. Mater. 182: 210-216.
12. Antolin, M.C., I. Muro and M. Sánchez-Díaz. 2010b. Sewage sludge application can induce changes in antioxidant status of nodulated alfalfa plants. Ecotox. Environ. Safe. 73: 436-442.
13. Antolin, M.C., I. Muro and M. Sánchez-Díaz. 2010c. Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions. Environ. Exp. Bot. 68: 75-82.
14. Antolin, M.C., I. Pascual, C. García, A. Polo and M. Sánchez-Díaz. 2005. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. Field Crops Res. 94: 224-237.
15. Ashraf, M., N.A. Akram, F. Al-Qurainy and M.R. Foolad. 2011. Drought tolerance: Roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. Adv. Agron. 111: 249-296.

16. Azcona, I., I. Pascual, J. Aguirreolea, M. Fuentes, J. García-Mina and M. Sánchez-Díaz. 2011. Growth and development of pepper are affected by humic substances derived from composted sludge. J. Plant Nutr. Soil Sci. 174: 916-924.
17. Bai, L., H. Liu, C. Ding, H. Lu, C. Chen and Y. Fu. 2012. Effects of composted sewage sludge on photosynthesis and growth characteristics of *Sophora japonica* Linn and *Pinus tabulaeformis* Carr seedlings. PP. 1-8. Proc. of 2nd Int. Conf. on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, 1-3 June, Nanjing, Jiangsu, China.
18. Baniabbas Shahri, Z., G.R. Zamani and M.H. Sayyari-Zahan. 2012. Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Adv. Environ. Biol. 6: 518-525.
19. 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. J. Plant Nutr. Soil Sci. 159(3): 289-296.
20. 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. J. Exp. Bot. 62: 59-68.
21. Buxton, D.R. 1995. Growing Quality Forages under Variable Environmental Conditions. USDA, Iowa State University, USA.
22. Chaves, M.M., J. Flexas and C. Pinheiro. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. Ann. Bot. 103: 551-560.
23. 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. Ecol. Eng. 29: 96-104.
24. Dane, J.H. and G.C. Topp. 2002. Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods, ASA, CSSA and SSSA Publisher, Madison, WI, USA.
25. De Macedo, F.G., W.J. De Melo, L.C.S. Merlino, M.H. Ribeiro, M.A. Camacho and G.M.P. De Melo. 2012. Agronomic traits of corn fertilized with sewage sludge. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 43: 1790-1799.
26. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. PP. 153-188. *In*: Lichtfouse et al. (Eds.), Sustainable Agriculture, Springer, The Netherlands.
27. Feibo, W., W. Lianghuan and X. Fuhua. 1998. Chlorophyll meter to predict nitrogen side dress requirements for short-season cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Field Crop. Res. 56: 309-314.
28. Fiasconaro, M.L., M. Sánchez-Díaz and M.C. Antolin. 2013. Nitrogen metabolism is related to improved water-use efficiency of nodulated alfalfa grown with sewage sludge under drought. J. Plant Nutr. Soil Sci. 176: 110-117.
29. Fick, G.W., D.A. Holt and D.G. Lugg. 1988. Environmental physiology and crop growth. PP. 163-194. *In:* Hanson, et al. (Eds.), Alfalfa and Alfalfa Improvement, ASA, CSSA and SSSA Inc., Madison, WI, USA.
30. Garling, D.C. and M.J. Boehm. 2001. Temporal effects of compost and fertilizer applications on nitrogen fertility of golf course turfgrass. Agron. J. 93: 548-555.
31. Ghafoori, M., N.M. Majid, M.M. Islam and S. Luhat. 2011. Bioaccumulation of heavy metals by *Dyera costulata* cultivated in sewage sludge contaminated soil. Afr. J. Biotechnol. 10: 10674-10682.
32. Havlin, J.L., S.L. Tisdale, W.L. Nelson and J.D. Beaton. 2004. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th Ed., Prentice Hall, New Delhi, India.
33. Hernández, T., R. Moral, A. Perez-Espinosa, J. Moreno-Caselles, M.D. Perez-Murcia and C. García. 2002. Nitrogen mineralization potential in calcareous soils amended with sewage sludge. Bioresour. Technol. 83: 213-219.
34. Hseu, Z.Y. and C.C. Huang. 2005. Nitrogen mineralization potentials in three tropical soils treated with biosolids. Chemosphere 59: 447-454.
35. Mahidia, U.N. 1981. Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land. Teta-McGraw-Hill, New Delhi, India.
36. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, UK.
37. Miller, R.W., M.L. Al-Khazraji, D.R. Sisson and D.T. Gardiner. 1995. Alfalfa growth and absorption of cadmium and zinc from soils amended with sewage sludge. Agric., Ecosys. Environ. 53: 179-184.
38. Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties, ASA, CSSA and SSSA Publisher, Madison, WI.
39. Paleg, L.G. and D. Aspinall. 1982. Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. Academic Press, New York.
40. Pascual, I., M.C. Antolin, C. García, A. Polo and M. Sánchez-Díaz. 2004. Plant availability of heavy metals in a soil amended dose of sewage sludge under drought conditions. Biol. Fert. Soils 40: 291-299.
41. Peters, J. 2003. Recommended Methods of Manure Analysis. Cooperative Extension Publishing, University of Wisconsin, Wisconsin, USA.
42. Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel, P. Manivannan, R. Panneerselvam and M.A. Shao. 2009. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. Crit. Rev. Biotechnol. 29: 131-151.
43. Singh, R.P. and M. Agrawal. 2009. Use of sewage sludge as fertilizer supplement for *Abelmoschus esculentus* plants: Physiological, biochemical and growth responses. Int. J. Environ. Waste Manage. 3: 91-106.

44. Singh, R.P. and M. Agrawal. 2010. Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) grown on different sewage sludge amendments rates. Bull. Environ. Contam. Toxicol. J. 84: 606-612.
45. Tester, C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 827-831.
46. Tester, C.F., L.J. Sikora, J.M. Taylor and J.F. Parr. 1982. Nitrogen utilization by tall fescue from sewage sludge compost amended soils. Agron. J. 74: 1013-1018.
47. USEPA. 1994. A guide for land appliers on the requirements of the federal standards for the use or disposal of sewage sludge. Office of Enforcement and Compliance Assurance, USEPA, Washington, DC, USA.
48. 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. Environ. Exp. Bot. 71: 65-71.
49. Xu, H.L. 2001. Effects of a microbial inoculant, organic fertilizer and chemical fertilizer on water stress resistance of sweet corn. J. Crop Prod. 3: 223-233.
50. Yang, Z., T. Xie and Q. Liu. 2013. Physiological responses of Phragmites australis to the combined effects of water and salinity stress. Ecohydrology, doi: 10.1002/eco.1361.