DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2024.21043.1983

تأثیر لجن فاضلاب در بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه دارویی چای‌ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تحت تنش خشکی

(مقالهٔ پژوهشی)

۱- مینا فلاحتی، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گیاهان دارویی و صنعتی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۲- علی‌اکبر کریمیان*، دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
akarimian@yazd.ac.ir
۳- حمید سودایی‌زاده، دانشیار گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱

چکیده

کمبود منابع آب شیرین در مناطق خشک و نیمه‌خشک مهم‌ترین عامل محدودکننده فعالیت‌های کشاورزی است. از طرفی، یکی از چالش‌هایی که در شهرها وجود دارد، انباشته‌شدن لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری است. بر اساس منابع موجود، لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری حاوی مقادیر زیادی مواد معدنی و آلی است که می‌تواند باعث بهبود حاصلخیزی خاک و نگهداری آب شده و برای محصولات کشاورزی مفید باشد. در این راستا، به‌منظور بررسی تأثیر لجن فاضلاب در کاهش اثرات تنش خشکی بر ویژگی‌های رشدی چای‌ترش، مطالعه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی با چهار سطح (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و لجن فاضلاب با دو سطح (صفر و ۱۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و چهار تکرار بود. در طی دوره رشدی شش ماهه گیاهان در گلخانه، تیمارهای خشکی با استفاده از آب لوله‌کشی با میزان شوری ۷۰۰ میکروزیمنس بر متر، بر اساس توزین گلدان‌ها اعمال گردید. پس از رسیدن گیاهان به مرحله گلدهی و تولید غوزه، صفات مرفولوژیکی، از قبیل ارتفاع بوته، وزن اندام هوایی، قطر ساقه، تعداد غوزه، وزن ریشه و تعداد برگ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اثر کاربرد لجن فاضلاب بر صفات وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع، تعداد غوزه، قطر ساقه و وزن تر ریشه در سطح یک درصد ($p< ۰/۰۱$) و وزن خشک ریشه در سطح پنج درصد ($p< ۰/۰۵$) معنی‌دار بود. استفاده از لجن فاضلاب وزن خشک گیاه را ۴۶ درصد، ارتفاع را ۲۴ درصد، قطر ساقه را ۱۴ درصد و وزن خشک ریشه را ۵۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. بررسی اثر متقابل خشکی و لجن بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در سطوح تنش ۱۰۰، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، میزان وزن تر اندام هوایی را به ترتیب معادل ۱۱۸، ۹۰ و ۷۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. اثر متقابل خشکی و لجن بر تعداد غوزه گیاه نشان داد که بیشترین مقدار این صفت با میانگین ۲۵ عدد در تیمار کاربرد لجن فاضلاب و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن معادل ۱/۲۵ عدد در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد لجن فاضلاب به‌دست آمد. اثر متقابل خشکی و لجن بر صفات فیزیولوژک گیاه از قبیل میزان پرولین، قند، کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید معنی‌دار نبود. به‌طورکلی نتایج این تحقیق بیانگر نقش مثبت لجن فاضلاب بر بهبود رشد و عملکرد گیاه چای-ترش در شرایط تنش خشکی است.

واژگان کلیدی: تنش خشکی، فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی.

مقدّمه

امروزه به دنبال افزایش روزافزون جمعیت با کمبود منابع آب و لزوم تصفیه فاضلاب روبه‌رو هستیم؛ این امر باعث ایجاد حجم عظیمی از لجن (محصول جانبی فاضلاب) می‌شود که ضروری است از نظر محیط‌زیستی به صورت ایمن دفع گردد. دفع لجن مازاد حاصل از تصفیه فاضلاب، از ضروریات یک تصفیه‌خانه به‌شمار می‌آید و این مرحله، قسمت عمده هزینه یک تصفیه فاضلاب را در بر می‌گیرد [۱۷].

متخصصان محیط‌زیست برای رهایی از مشکلات ناشی از لجن تولیدی در تصفیه‌خانه‌ها، استفاده از آن را به‌عنوان

کود در کشاورزی توصیه می‌کنند و گفته می‌شود لجن فاضلاب به دلیل دارابودن مقادیر زیادی از مواد آلی و عناصر غذایی مورد نیاز خاک و گیاه، می‌تواند بهترین و ارزان‌ترین کود آلی برای اراضی کشاورزی باشد [۱۲]. این امر به خصوص در کشورهایی با آب‌وهوای خشک به دلیل کمبود مواد آلی خاک و همچنین کمبود آب، بیشتر مورد توجه می‌باشد [۱۶].

از نظر اقلیمی بخش عمده‌ای از ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود و خاک‌های این مناطق با کمبود مواد آلی مواجه هستند. یکی از عمده‌ترین منابع تأمین‌کننده مواد آلی لجن فاضلاب است؛ ازهمین‌رو، استفاده از لجن فاضلاب در ایران بیشتر مورد توجه قرارگرفته و همچنین پژوهشگران بسیاری گزارش کرده‌اند که مواد آلی موجود در لجن تأثیر مطلوبی بر عملکرد محصولات کشاورزی نظیر گندم، فلفل سبز قلمی، اسفناج، ریحان و گل گاوزبان دارند [۱، ۵، ۸، ۱۶، ۱۷، ۱۸].

کم‌آبیاری یکی از راه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب به‌خصوص در آبیاری سطحی است. به‌جز مراحل حساس به تنش خشکی مثل مرحله گلدهی می‌توان ۲۰ تا ۲۵ درصد، کم‌آبیاری را برای گیاهان توصیه نمود [۱۱]. هدف اصلی از تنش خشکی افزایش کارایی مصرف آب است. این افزایش می‌تواند از طریق کاهش آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری، افزایش دور آبیاری و یا حذف آبیاری‌هایی که بازده کم دارند صورت بگیرد. کودهای زیستی از جمله لجن فاضلاب باعث تسریع تجزیه میکروبی و فراهمی عناصر غذایی در خاک و همچنین بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و افزایش رطوبت خاک شده و رشد و توسعه و افزایش راندمان گیاهان را به‌دنبال داشته باشد و از این لحاظ می‌تواند کمک زیادی به منابع آب زیرزمینی نموده و همچنین به روند اصلاح خاک و محیط زیست کمک کند [۳، ۹].

چای‌ترش یا چای مالمیر با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* L. از کاسبرگ گیاه چای‌ترش که گیاهی یکساله و دارای بوته‌هایی به ارتفاع ۳–۲ متر است، حاصل می‌شود [۶ و ۱۶]. این گیاه به صورت گونه مهاجر وارد ایران و در منطقه گلمورتی (دلگان) استان سیستان و بلوچستان برای اولین بار کشت شد. نام دیگر آن، چای مکی است زیرا به صورت گسترده‌ای در شبه‌جزیره عربستان کشت و مورد استفاده است و در بسیاری از مناطق دنیا به‌صورت نوشیدنی گرم یا سرد مصرف می‌شود. مزه آن ترش است و معمولاً با نبات نوشیده می‌شود. این چای مقدار قابل توجهی ویتامین C دارد که برای سرماخوردگی مفید است [۱۷ و ۲۲].

در ارتباط با جنبه‌های مختلف این گیاه مطالعات زیادی انجام شده ولی در رابطه با نحوه استقرار و مقاومت گیاه در شرایط استفاده از لجن فاضلاب همراه با تنش خشکی کمتر مطالعه‌ای انجام شده است. هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر لجن فاضلاب و تنش خشکی بر برخی خصوصیات رویشی، عملکردی و فیزیولوژیکی گیاه چای ترش است.

مواد و روش‌ها

محل کاشت گیاه

به‌منظور بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک چای‌ترش، بذور گیاه در گلخانه دانشگاه یزد در تاریخ ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ کشت شدند. کلیه مراحل کشت و نگهداری گیاه در میانگین دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۶ درجه سانتی‌گراد در شب با میانگین رطوبت ۴۰ درصد و نور شدید حدود ۷۰۰۰ لوکس، در طول یک دوره رشد ۸ ماهه انجام شد.

آماده‌سازی بستر کشت

بذور چای ترش (رقم ویداس) از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شد. سپس بذور به‌صورت جداگانه در سینی نشاء با بستر کوکوپیت ساخت کشور سریلانکا مستقر شدند. پس از گذشت ۳۰ روز و رسیدن بذور به مرحله ده سانتیمتری، نشاءها به گلدان‌های بزرگ‌تر منتقل شدند (شکل ۱).

شکل ۱- الف) کاشت بذور چای ترش در سینی نشاء و ب) انتقال نشاءهای آماده‌شده به گلدان

خاک

در این مطالعه از یک خاک لوم که از نسبت ۱:۱ ماسه و رس به‌دست آمد، استفاده شد و به هر گلدان مقدار ۵ کیلوگرم از خاک خشک اضافه شد. سپس گلدان‌ها در حد اشباع آبیاری شد تا پس از خروج آب ثقلی از آن، رطوبت ظرفیت زراعی حاصل شود. برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

خصوصیات	واحد	مقدار
بافت خاک	-	لومی (رس ۳۰، ماسه ۴۰ و شن ۳۰ درصد)
ظرفیت زراعی (FC)	٪	۵۰۰
EC*	dS/m	۳/۵۰
pH*	-	۷/۸۰
ازت کل	%	۰/۱۰
فسفر قابل جذب	ppm	۷/۱۶
پتاسیم قابل جذب	ppm	۱۶۵
کلسیم	meq/L	۱۲/۸
منیزیوم	meq/L	۸/۶۰
مس	ppm	۱/۹۰
روی	ppm	۲/۱۶
آهن	ppm	۹/۳۰
منگنز	ppm	۷/۲۶

EC و pH در نسبت یک به ده و بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شده است.

طرح آماری و تیمارهای اعمال شده

مطالعه‌ای به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی با چهار سطح (۱۰۰، ۷۵، ۵۰، و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و لجن فاضلاب با دو سطح (صفر و ۵۰ گرم در هر گلدان) و چهار تکرار انجام گرفت.

تهیه لجن فاضلاب

لجن خشک فاضلاب از ایستگاه تصفیه فاضلاب شهری یزد تهیه و پس از کوبیدن، از الک مش ۲ میلی‌متر عبور داده شد. سپس به ازای هر کیلوگرم خاک ۱۰ گرم از پودر لجن خشک (مجموعاً ۵۰ گرم برای هر گلدان) به خاک نیمی از گلدان‌ها اضافه و به‌خوبی مخلوط گردید. نیم دیگر گلدان‌ها بدون لجن آماده شد. خصوصیات لجن مورد استفاده در جدول ۲ و حد مجاز غلظت فلزات سنگین در جدول ۳ ارائه شده است.

قبل از انتقال نهال‌ها به گلدان ابتدا گلدان‌ها تا حد اشباع آبیاری شده و بعد از ۴۸ ساعت نشاءها به گلدان انتقال داده شد (شکل ۱). مقایسه غلظت عناصر سنگین موجود در لجن فاضلاب مورد مطالعه و مقادیر استاندارد حاکی از عدم‌محدودیت آن در کشاورزی است (جدول‌های ۲ و ۳).

جدول ۲- خصوصیات لجن فاضلاب مورد استفاده در آزمایش

پارامترها	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	فسفر کل (٪)	پتاسیم کل (٪)	ازت کل (٪)	ماده آلی (٪)	سرب (mg/kg)	کادمیوم (mg/kg)	کروم (mg/kg)	نیکل (mg/kg)
مقادیر	۶/۹۴	۶/۵۳	۳/۱۶	۰/۵۱	۴/۰۲	۴۷/۰۶	۳/۲۱	۰/۴۱	۲۲/۰۲	۲۲/۷۰

منبع: سازمان آب و فاضلاب استان یزد

جدول ۳- حد مجاز غلظت عناصر سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در لجن فاضلاب مطابق استانداردهای EPA، DWAF، USEPA، کانادا و ایران

استاندارد مورد استفاده	سرب	کادمیوم	کروم	نیکل
EPA [۱۲]	۳۰۰	۳۹	۱۲۰۰	۴۲۰
DWAF [۱۲]	۱۵۰	۵	۴۵۰	۲۰۰
USEPA [۱۲]	۳۰۰	۱۰	۱۲۰۰	۴۲۰
کانادا [۱۲]	۲۰۰	۱۰	۱۰۰۰	۱۰۰
استاندارد ملی ایران [۲۰]	۲۰۰	۱۰	۱۵۰	۱۲۰

آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا (USEPA)

تیمار خشکی

گیاهان بعد از استقرار کامل در خاک تحت تنش‌های مختلف خشکی شامل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)، ۷۵ درصد (تنش ملایم)، ۵۰ درصد (تنش متوسط)، و ۲۵ درصد (تنش شدید) به مدت ۶ ماه در گلخانه نگهداری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت از سیستم توزین گلدان‌ها استفاده شد و آبیاری براساس تغییر وزن خاک گلدان‌ها نسبت به ظرفیت زراعی تعیین شده انجام شد.

اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیک

پس از رسیدن گیاهان به مرحله گلدهی و تولید غوزه‌های چای ترش (به مدت ۸ ماه)، گیاهان جمع‌آوری (شکل ۲) و صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، تعداد بوته، وزن تر اندام هوایی، قطر ساقه، طول گل، وزن ریشه و تعداد برگ اندازه‌گیری شد.

جداسازی ریشه‌ها از خاک به این صورت بود که ابتدا ریشه‌ها با جریان ملایم آب شهری شستشو داده شد و در بشر با حجم ۲۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر (سه بار تقطیر) معلق گشت. پس از جداشدن کامل ذرات خاک ریشه‌ها برای اندازه‌گیری صفات (وزن تر و خشک) مورد استفاده قرار گرفتند.

شکل ۲ – مرحله گلدهی و تولید غوزه‌های چای ترش در گلدان (تیمار لجن)

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیولوژیک

غلظت پرولین

برای اندازه‌گیری پرولین از روش Bates استفاده شد [۲]. بدین‌صورت که ۰/۵۰ گرم برگ تر گیاه را کوبیده و در جریان کوبیدن به شکل تدریجی ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳٪ به آن اضافه شد. نمونه‌ها به لوله‌های آزمایش منتقل و در در دمای اتاق در دور ۶۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ مدل 3K15 ساخت کشور آلمان شدند. سپس به ۲ میلی‌لیتر عصاره به‌دست آمده، ۲ میلی-لیتر معرف نین‌هیدرین (ساخته شده از سود ۵٪ و اسید استیک گلاسیال غلیظ) و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک غلیظ (۹۷٪) افزوده شد.

محتویات به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، قرار داده شد. بعد از این مدت، محلول به مدت ۱۵ دقیقه در حمام یخ قرار داده شد. پس از هم‌دماشدن نمونه‌ها با محیط، به هر نمونه ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه کرده تا محلول آزمایشی به ۲ فاز تبدیل شود. فاز بالایی این محلول با پیپت برداشته شد و میزان جذب آن در طول موج ۵۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومترمدل ENA 210 ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری گردید.

کل قندهای محلول

برای تعیین میزان قندهای محلول، به ۰/۲ گرم نمونه برگ پودر شده ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد اضافه کرده و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شد. پس از این مدت، ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی با پیپت برداشته و به آن ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه کرده و آنقدر تکان داده شد تا کف کند. پس از ۴۵ دقیقه و خنک شدن محلول، غلظت کل قندهای حاصل‌شده در طول موج ۴۸۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد [۱۱].

کلروفیل و کاروتنوئید

به‌منظور تعیین مقدار کلروفیل و کارتنوئید، از روش لیچتنتایر استفاده شد [۱۱]. از هر تیمار ۰/۲ گرم برگ تازه گیاه به تعداد سه تکرار توزین شده و در درون هاون چینی کمی ساییده شد. در مرحله بعد، ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ ٪ کم‌کم به نمونه‌ها اضافه و همزمان نمونه‌ها ساییده شد. سپس نمونه‌ها به وسیله کاغذ صافی، صاف شد.

پس از کالیبره‌کردن دستگاه با استون ۸۰٪، نمونه‌های صاف‌شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های (۶۶۳: کلروفیل a، ۶۴۵: کلروفیل b و ۴۷۰: کارتنوئید) قرائت و یادداشت شد. سپس با استفاده از رابطه‌های ۱ تا

۴ به ترتیب، مقادیر کلروفیل a و b، کارتنوئید و کلروفیل کل تعیین شد [۱۱].

$$C_a\ mg/g = (۱۲,۲۵(A_{۶۶۳}) - ۲,۷۹(A_{۶۴۶})) \quad (۱)$$

$$C_b\ mg/g = (۲۱,۵۰(A_{۶۴۶}) - ۵,۱۰(A_{۶۶۳})) \quad (۲)$$

$$Car\ mg/g = (۱۰۰۰(A_{۴۷۰}) - ۱,۸۲(C_a) - ۸۵,۰۲(C_b)/۱۹۸)) \quad (۳)$$

$$C_T = (۷,۱۵(A_{۶۶۳}) + ۱۸,۷۱(A_{۶۴۶})) \quad (۴)$$

که در آنها، A: میزان جذب صورت گرفته در طول موج مورد نظر است.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های بدست آمده با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نرمال‌بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرونوف بررسی شد. به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱و۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژیک گیاه چای‌ترش

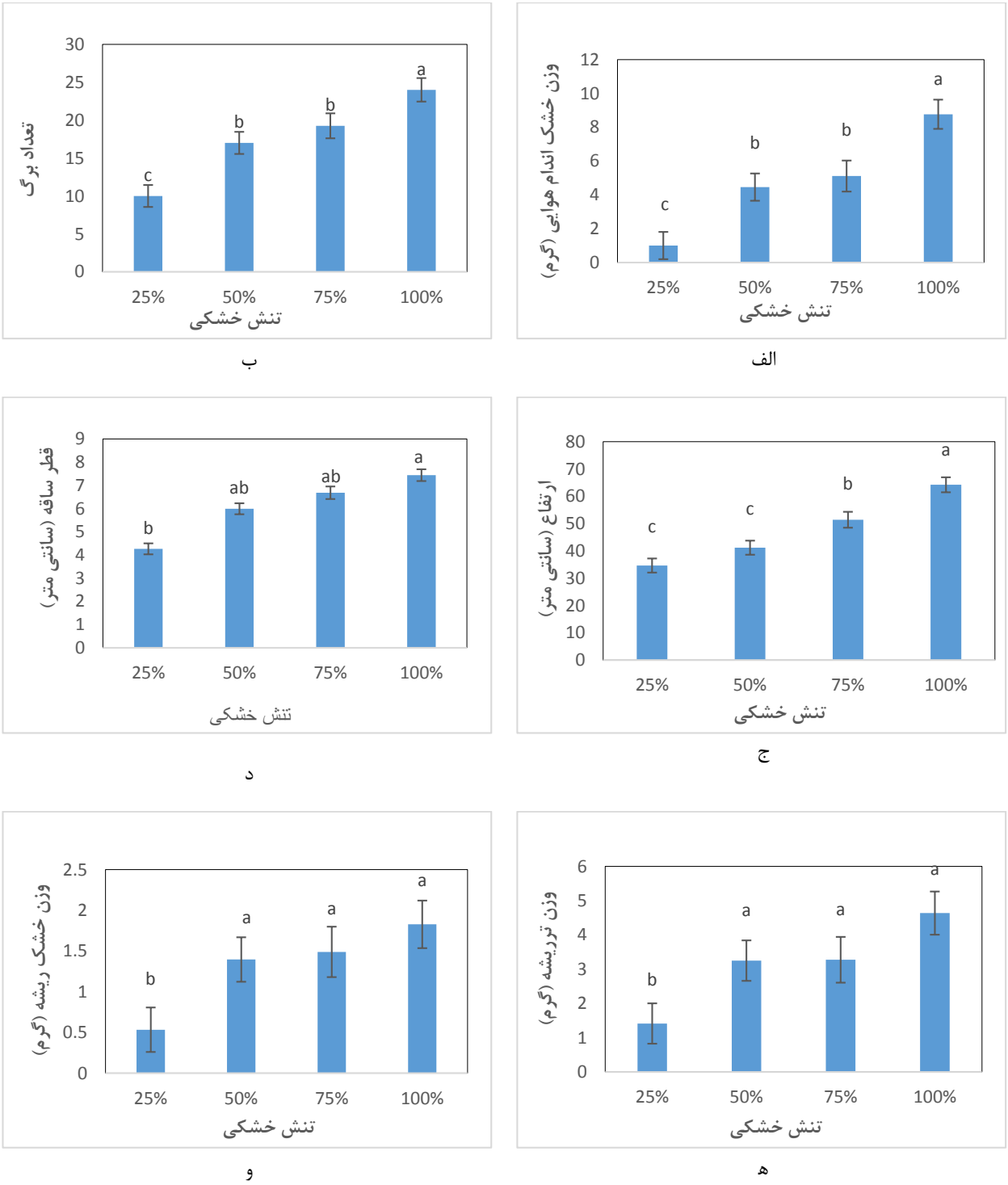
نتایج تجزیه واریانس خصوصیات مورفولوژیک گیاه چای‌ترش نشان داد که تیمار خشکی بر تمامی صفات مورد نظر اثر معنی‌دار داشته است ($p< ۰/۰۱$). اثر لجن فاضلاب بر صفات وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع، تعداد غوزه، قطر ساقه، وزن خشک ریشه، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما بر تعداد برگ چای‌ترش اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). اثر متقابل خشکی و لجن فاضلاب تنها بر تعداد غوزه در سطح احتمال یک درصد و وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مرفولوژیکی گیاه چای ترش تحت شرایط تنش خشکی و لجن

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	تعداد برگ	ارتفاع	تعداد غوزه	قطر ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
خشکی	۳	۳۱۵۲/۰۰**	۶۴/۷۳**	۲۱۸/۵۰**	۱۰۵۵/۰۰**	۲۸۲/۰۰**	۱۱/۸۶**	۱۱/۳۴**	۱/۹۸**
لجن	۱	۱۴۷۶/۰۰**	۳۲/۴۱**	۳۰/۲۰ns	۱۹۷۷/۵۰**	۳۵۷/۳۰**	۶/۲۰**	۲۳/۷۰**	۳/۰۰*
خشکی ×لجن	۳	۴۰۳/۳۰*	۴/۱۰ns	۳۸/۰۰ns	۱۰۷/۷۰ns	۹۵/۸۰**	۰ /۵۵ns	۱/۵۳ns	۰/۷۱ns
خطا	۱۸	۸۸/۸۶	۱/۶۲	۱۴/۴۳	۴۵/۵۹	۴/۷۸	۰/۳۸	۲/۳۷	۰/۵۱
ضریب تغییرات		۲۶/۵۲	۲۶/۵۰	۲۲/۱۰	۱۳/۹۰	۲۷/۶۰	۱۰/۲۹	۰/۳۰	۱۸/۷۰

ns, *,** به‌ترتیب عدم‌تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

نتایج مقایسه میانگین تعداد برگ و وزن خشک اندام هوایی نشان داد که بیشترین تعداد برگ و وزن خشک اندام هوایی در تیمار خشکی ۱۰۰ درصد و کمترین میزان آن دو صفت در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی حاصل شده است و بین تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی برای هر دو صفت اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است (شکل ۳ الف و ب). بیشترین میزان قطر ساقه در تیمار خشکی ۱۰۰ درصد مشاهده شد که با تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نداشته و کمترین مقدار آن در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد که با تیمار خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳، د).

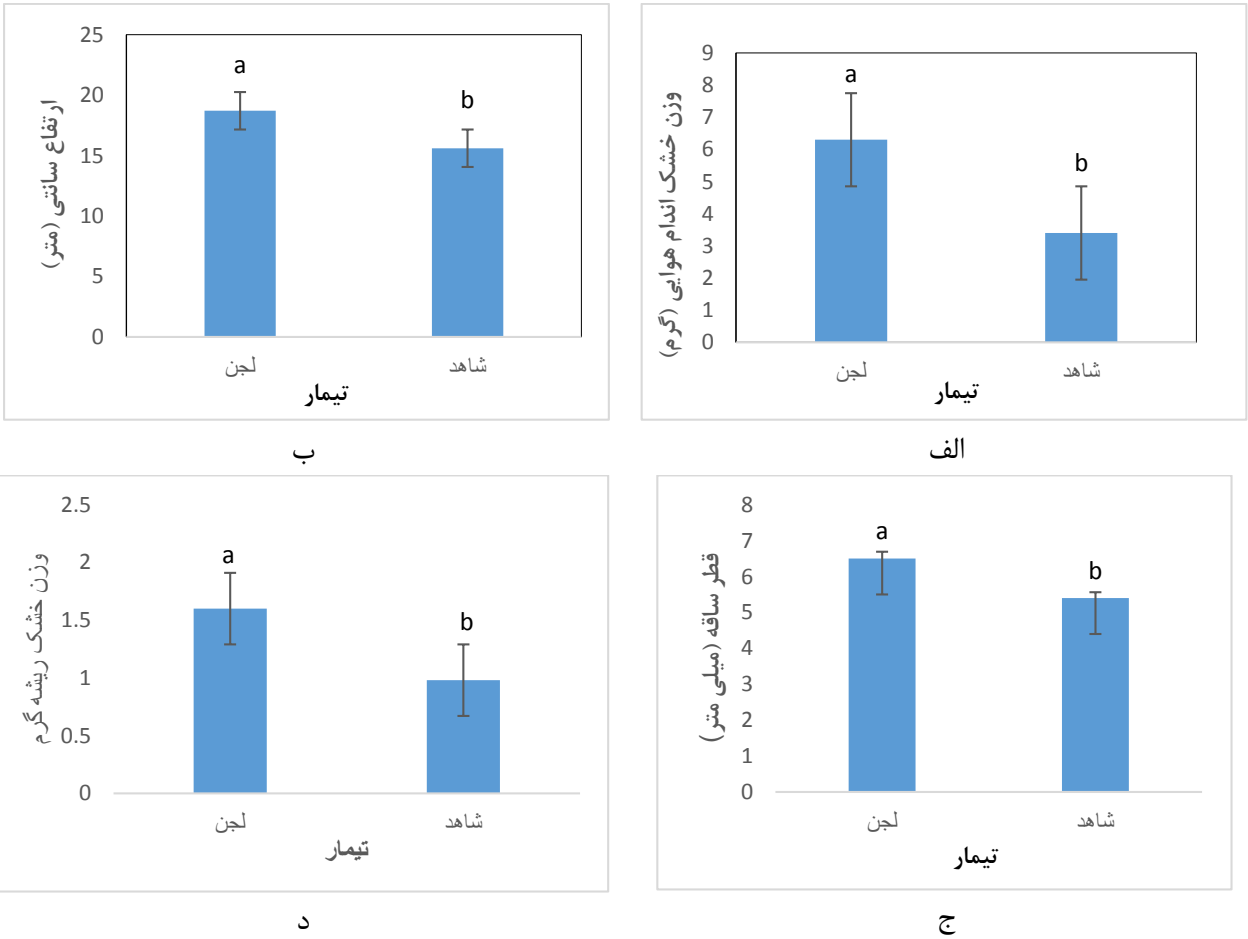


شکل ۳- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی (الف)، تعداد برگ (ب)، ارتفاع (ج)، فطر ساقه (د)، وزن تر ریشه (ه)، و وزن خشک ریشه (و) چای ترش در شرایط تنش خشکی (میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند).

بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار خشکی ۱۰۰ درصد و کمترین ارتفاع در تیمار خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد که بین تیمارهای ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۳، ج). همچنین مقایسه میانگین وزن خشک و تر ریشه نشان داد که کمترین میزان وزن خشک و تر ریشه در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و بیشترین مقدار آن در تیمار ۱۰۰ درصد می‌باشد. بین تیمارهای ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳، ه و و).

مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی نشان داد که در حضور لجن فاضلاب، وزن خشک گیاه به ۶/۳ گرم در هر گیاه رسیده که در مقایسه با تیمار شاهد حدود ۴۶ درصد افزایش یافته است (شکل ۴ الف). میانگین ارتفاع اندام هوایی گیاه در حضور لجن فاضلاب نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار ۳/۱ سانتی‌متری بوده و استفاده از لجن توانسته ارتفاع گیاه را از ۱۵ سانتی‌متر به حدود ۱۸/۷ برساند (شکل ۴ ب).

مقایسه میانگین قطر ساقه گیاه چای‌ترش در حضور لجن فاضلاب نشان داد که قطر ساقه در شرایط عدم‌استفاده از لجن فاضلاب از ۵/۴ میلی‌متر به ۶/۵ میلی‌متر در شرایط استفاده از لجن افزایش یافته است (شکل ۴ ج). افزایش در حدود ۱۴ درصدی قطر ساقه می‌تواند در نگه‌داشتن مقادیر بیشتر غوزه چای‌ترش تأثیر مثبت داشته باشد. میانگین وزن خشک ریشه نیز افزایش حدود ۵۰ درصدی را در حضور لجن نشان داد (شکل ۴ د).



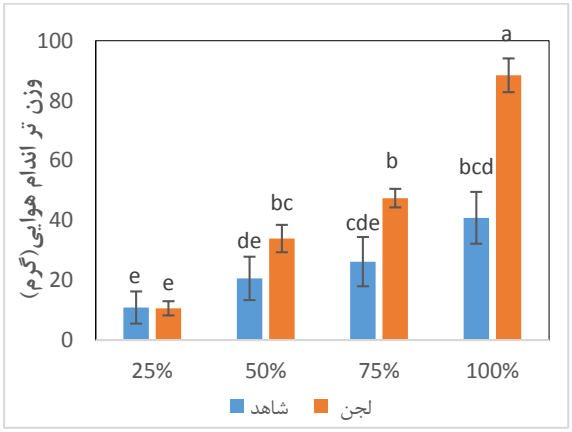
شکل ۴- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی (الف)، ارتفاع گیاه (ب)، قطر ساقه (ج) و وزن خشک ریشه (د) چای ترش در حضور لجن فاضلاب (میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند)

بررسی تغییرات صفات مرفولوژیکی گیاه ناشی از اثرات کاربرد لجن فاضلاب شهری در بستر رشد گیاه دارویی چای‌ترش نشان داد که تمامی صفات رویش و عملکردی گیاه به‌جز تعداد برگ تحت تأثیر لجن فاضلاب قرارگرفته و نسبت به شاهد افزایش نشان دادند. همچنین بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی گیاه نشان از ایجاد اختلاف معنی‌دار بین تمام خصوصیات مرفولوژیک و عملکرد گیاه چای‌ترش دارد؛ به‌این‌معنی که کاهش مقدار آب باعث کاهش رشد رویشی و عملکرد گیاه شده است. اما نتایج حاکی از آن است که گیاه توانسته تا ۵۰ درصد تنش خشکی را تحمل نماید. اگرچه اختلاف بین صفات مورفولوژیکی و عملکرد گیاه، در این سطح از مقدار آب وجود دارد، ولی از نظر آماری معنی‌دار نشده است.

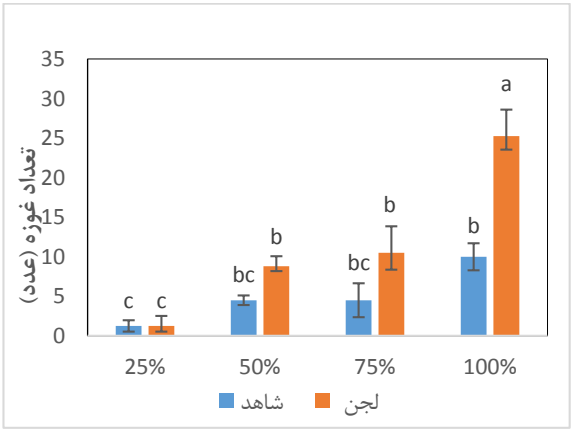
بررسی اثر متقابل تیمارهای لجن و تنش خشکی بر صفات مورفولوژیکی گیاه چای‌ترش

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و لجن بر وزن تر اندام هوایی گیاه نشان داد که بیشترین مقدار وزن تر اندام هوایی در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و در حضور لجن فاضلاب حاصل شده است (حدود ۴۵ گرم، بیش از ۱۰۰ درصد). در تیمارهای خشکی ۷۵ درصد (حدود ۲۰ گرم معادل ۹۰ درصد) و در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (حدود ۱۵ گرم معادل ۷۵ درصد) ایجاد شده است. کمترین میزان این صفت در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. بین دو حالت استفاده و عدم‌استفاده از لجن در این مقدار آبیاری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵ الف).

مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و لجن بر تعداد غوزه گیاه چای ترش نشان داد بیشترین میزان این صفت در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و مصرف لجن به میزان ۱۵۰ درصد و کمترین آن در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی وجود دارد. در تیمارهای ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بین مصرف و عدم‌مصرف لجن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵ ب).



الف



ب

شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و لجن بر روی وزن تر (الف) و تعداد غوزه (ب) چای ترش (میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند)

بررسی اثر متقابل تنش خشکی و استفاده از لجن فاضلاب نشان داد که بین وزن تر اندام هوایی و تعداد غوزه اختلاف معنی‌دار وجود داشته که این خود نشان‌دهنده آن است که لجن فاضلاب توانسته تا حدود زیادی تأثیر تنش خشکی حاصل از کم‌آبیاری را تعدیل نموده به‌طوری‌که به‌جز در آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در سایر موارد بین تیمار لجن و شاهد اختلاف معنی‌دار مشاهده شود؛ یعنی لجن فاضلاب توانسته تأثیر کمبود آب را با نگهداشت آب و رهاسازی آرام آن جبران نموده و شرایط را برای رشد بهتر گیاه فراهم نماید.

درهمین‌راستا، محققان زیادی از جمله بوستانی و رونقی (۱۳۹۰) بیان نمودند کودهای زیستی تأثیر مثبتی در افزایش عملکرد و رشد رویشی گیاهان دارد [۳]. همچنین نعمتی (۱۳۹۵)، مصرف هم‌زمان کودهای زیستی و دامی را در افزایش عملکرد اقتصادی و ویژگی‌های کیفی چای‌ترش مؤثر دانست [۱۴]. سهرابی و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان دادند که کاربرد لجن فاضلاب، سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، طول ریشه و شاخص سطح برگ در گیاه می‌شود [۲۰].

صفات فیزیولوژیک چای‌ترش

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی گیاه چای‌ترش نشان داد که اثر تیمار خشکی بر میزان پرولین، قندهای محلول در سطح یک درصد و بر کاروتنوئید در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت. اثر لجن و اثر متقابل لجن و خشکی بر هیچکدام از صفات مورد مطالعه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

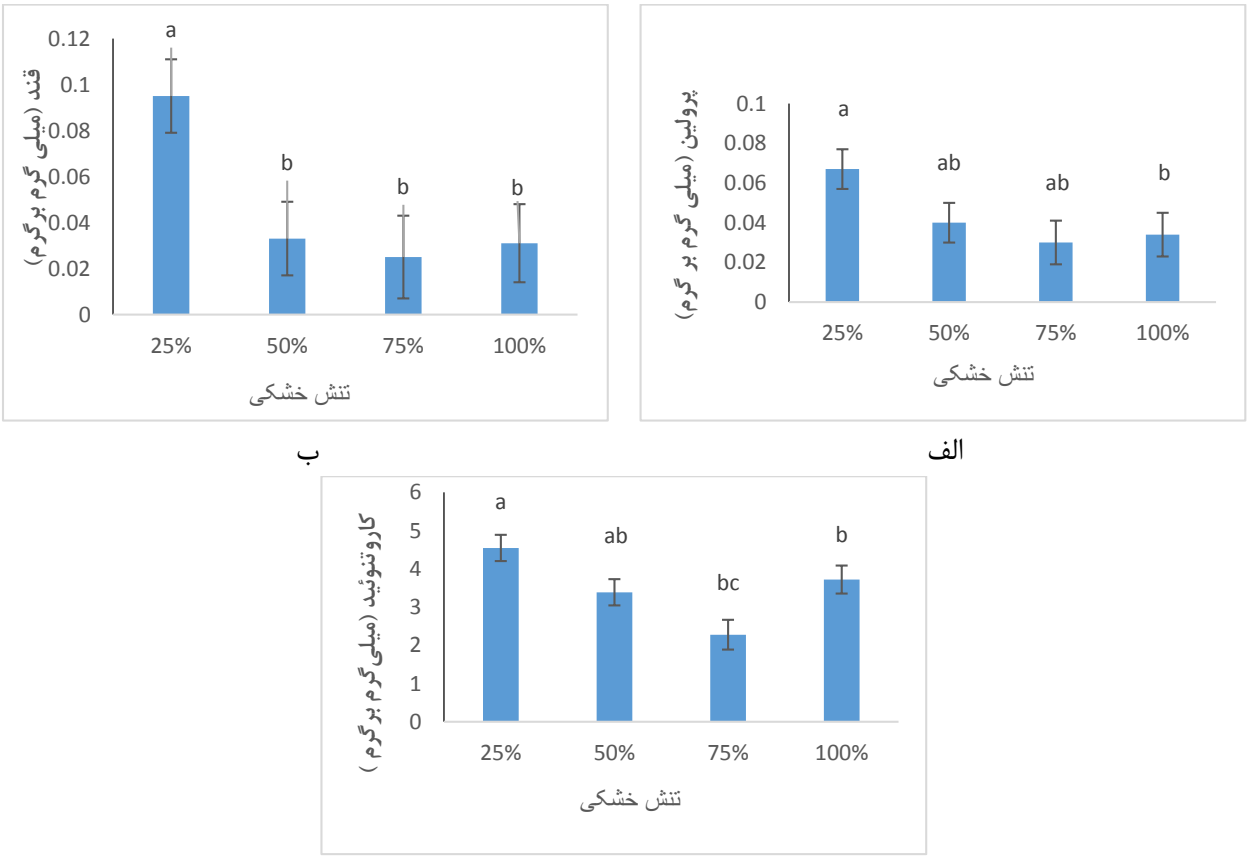
جدول ۵- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک گیاه چای ترش تحت شرایط تنش خشکی و لجن

منابع تغییر	درجه ازادی	پرولین	قند	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید
خشکی	۳	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۷**	۰/۵۲۲^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۵/۲۶*
لجن	۱	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۱۴^{ns}
خشکی×لجن	۳	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱۶^{ns}	۰/۴۵^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۱/۰۳^{ns}
خطا	۱۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۵	۰/۲۱	۰/۰۰۸	۰/۸۰۵
ضریب تغییرات	-	۲۳/۲	۲۶	۲۵/۷	۲۶/۳	۲۵/۷

ns, *, **به ترتیب عدم‌تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

نتایج مقایسه میانگین پرولین برگ گیاه چای‌ترش تحت شرایط خشکی نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار آن به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری ۲۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد البته تیمارهای ۷۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۶، الف).

مقایسه میانگین مقدار قند برگ گیاه نشان داد که بیشترین مقدار قند برگ در تیمار خشکی ۲۵ و کمترین آن بدون تفاوت معنی‌دار در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۶، ب). مقایسه میانگین مقدار کاروتنوئید برگ گیاه چای‌ترش نیز نشان داد که بیشترین مقدار صفت مذکور در تیمار آبیاری ۲۵ درصد و کمترین آن در تیمار ۷۵ درصد وجود داشته که با تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۶، ج).



شکل ۶- مقایسه میانگین مقدار پرولین (الف)، قند (ب) وکاروتنوئید (ج) چای ترش در اثر تنش خشکی (میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند).

بررسی تغییرات صفات فیزیولوژیکی گیاه چای‌ترش تحت تأثیر تنش خشکی نشان داد که بین صفات پرولین، قند و کاروتنوئید اختلاف معنی‌دار وجود دارد. به‌این‌معنی که گیاه در تنش خشکی بیش از ۵۰٪ به‌دلیل تنش شدید وارد شده میزان قند محلول را افزایش داده است. پرولین در شرایط تنش به تدریج افزایش یافته و در تنش بیش از ۵۰٪ اختلاف معنی‌داری را در میزان این ماده نشان می‌دهد که این خود عاملی جهت مقاومت گیاه نسبت به خشکی است [۲] و کاروتنوئید نیز فقط در تنش خشکی ۲۵ درصد با ۱۰۰٪ اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد یعنی تنش‌های خشکی ۵۰ و ۷۵٪ ظرفیت زراعی اثر معنی‌داری در افزایش این ماده در گیاه نداشته ولی تنش شدید خشکی ۲۵درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش این ماده در گیاه شده است.

با توجه به نتایج جدول ۵ اثر متقابل تنش خشکی و لجن برخصوصیات فیزیولوژیک گیاه نیز نشان داد که بین فاکتورهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد بدین معنی که استفاده از لجن فاضلاب اثرات سوء تنش خشکی را بر روی گیاه چای‌ترش تقلیل داده به‌طوری‌که گیاه توانسته در شرایط استفاده از لجن به مقدار ۵۰ گرم در گلدان تنش ۵۰ درصدی را تحمل نموده و تغییری در میزان پرولین و قندهای محلول برگ ایجاد نکند.

در مورد کاروتنوئید حتی تنش‌های تا ۷۵ درصد را نیز در صورت استفاده از لجن تحمل نموده و تغییری در میزان این ماده در گیاه رخ نداده است. این ماده نقش مهمی در حفاظت از سیستم فتوسنتزی در قبال خسارت اکسیداسیون نوری داشته و باعث جلوگیری از تأثیر شدید نور در گیاه تحت تنش خشکی می‌شود. بنابراین، می‌توان با استفاده از لجن فاضلاب تأثیرات سوء تنش خشکی را که باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود به مقدار زیادی کاهش داد.

در همین راستا، محققان دیگری از جمله نعمتی (۱۳۹۵)، سهرابی (۱۳۹۶) و کریمیان (۱۳۹۹) نیز بیان نمودند استفاده از کودهای زیستی علاوه بر تأثیر مثبت بر روی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و همچنین محتوای نسبی رطوبت خاک، سبب افزایش سبزینگی برگ، مقدار کلروفیل a، b و کارتنوئید چای ترش نسبت به شاهد می‌شود [۹، ۱۴ و ۱۹] که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

انجام تحقیق حاضر با هدف دستیابی به اطلاعات واکنش برخی از خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی چای‌ترش در شرایط کاربرد لجن فاضلاب در بهبود رشد و نمو در شرایط تنش خشکی صورت پذیرفت. نتایج نشان از تأثیر مناسب استفاده از لجن فاضلاب برای کشت گیاه چای‌ترش در شرایط کمبود منابع آب دارد به‌طوری‌که گیاه توانسته تا ۵۰٪ تنش خشکی را بدون تغییر در صفات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی خود تحمل نموده و تغییر معنی‌داری در عملکرد محصول نداشته باشد.

باید در نظر داشت که استفاده از آبیاری کافی (متناسب با ظرفیت زراعی) در کنار مصرف لجن فاضلاب باعث تسریع تجزیه میکروبی و فراهمی عناصر غذایی در خاک و همچنین بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و افزایش محتوای رطوبتی خاک شده و بدین سبب، موجب رشد و توسعه بهتر گیاه می‌شود. البته نحوه توزیع این عناصر تحت‌تأثیر رفتار فیزیولوژی جذب ریشه و به کارگیری مکانیسم‌های مختلف جذب توسط ریشه گیاهان متفاوت بوده و از این لحاظ گیاه چای‌ترش که دارای ریشه نسبتاً قوی و حجیم است در میزان جذب عناصر غذایی و چگونگی رفتار فیزیولوژیک آن مؤثر بوده است.

References

[1]. Alloway, B.J., & Jackson, A.P. (1991). The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils. *Science of the Total Environment, 100,* 151-176. doi: 10.1016/0048-9697(91)90377-Q

[2]. Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D., (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-208. doi: 10.1007/BF00018060

[3]. Boostani, H.R., & Ronaghi, A. (2011). Comparison of sewage sludge and chemical fertilizer application on yield and

concentration of some nutrients in spinach (*Spinosa olerace* L.) in three textural classes of a calcareous soil. *Journal of Soil and Plant Interactions*, *2*(6), 65-74. [in Farsi]

[4]. Duke, J. A. (1983). *Hibiscus sabdariffa* L. Retrieved August, 29, 2009.

[5]. Ganjali, H. R., Kamali Deljoo, A., Azizian Shermeh, O., & Lakizahi, M. (2017). Growth and yield characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) affected by different rates of nitrogen, phosphorus and potassium in Saravan, Iran. *Agroecology Journal*, *13*(1), 29-37. doi: 10.22034/aej.2017.531118 [in Farsi]

[6]. Jalali-Khanabadi, B. A., Mozaffari-Khosravi, H., & Afkhami-Ardekani, M. (2010). Comparison of sour and black tea consumption on the serum lipid oxidizability in diabetic patients. *Iranian Journal of Diabetes and obesity*, *2*(1), 1-6. [in Farsi]

[7]. Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Gomathinayagam, M., & Panneerselvam, R. (2008). Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comptes Rendus Biologies*, *331*(1), 42-47. doi: 10.1016/j.crvi.2007.11.003

[8]. Karami, M., Rezainejad, Y., Afyuni, M., & Shariatmadari, H. (2007). Cumulative and Residual Effects of Sewage Sludge on Lead and Cadmium Concentration in Soil and Wheat. *Journal of Crop Production and Processing*, *11*(1), 79-95. [in Farsi]

[9]. Karimian, M., Mir, B., Bidranameni, F., & Keshtehgar, A. (2020). Effects of Manure and Different Intercropping Patterns on Quantitative and Qualitative Yield of Roselle (*Hibiscus Sabdariffa*) and Cowpea (*Phasaeolous vulgaris*). *Crop Science Research in Arid Regions*, *2*(1), 113-125. doi: 10.22034/csrar.2020.119091 [in Farsi]

[10]. Kochert, G. D. (1978). *Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method*, Cambridge University Press.

[11]. Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. doi: 10.1016/0076-6879(87)48036-1

[12]. Mohammadian, E., Hashemi Garmdareh, S. E., & Varavipour, M. (2020). The Effect of Sewage Sludge Application on Soil Chemical Properties in Greenhouse Conditions of Helianthus Annuus. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, *5*(3), 34-40. doi: 10.22112/JWWSE.2020.215767.1182 [in Farsi]

[13]. Naderi A., & Erfani Agah, E. (1999). *Guideline to rare elements* (Translation) Shahrood University Press. [in Farsi]

[14]. Nemati, M., Dahmardeh, M., Khmmari, E., & Nejati, M. (2015). Effect of biofertilizer and manure application on economic yield and quality characteristics of Roselle (Hibiscus sabdariffa L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *31*(4), 610-625. doi: 10.22092/ijmapr.2015.102679 [in Farsi]

[15]. Nematollahi, D., Eisvand, H. R., Modaerrs Sanavy, S. A. M., Akbari, N., & Ismaili, A. (2020). Effects of low irrigation on yield quantity and quality of clover species under high input management conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *51*(3), 47-57. doi: 10.22059/ijfcs.2019.251696.654444 [in Farsi]

[16]. Nikghadami, M., Fotovat, A., & Khorassani, R. (2020). Effect of Different Levels of Domestic Sewage Sludge on concentration of heavy of Zn, Cu, Cd and Pb in in Radish and basil and some of chemical Soil Properties. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *10*(3), 115-134. doi: 10.22069/ejsms.2021.17554.1925 [in Farsi]

[17]. Swanson, H. (2005). *The Jamaica Flower Iced Tea Recipe*. https://www.101cookbooks.com/archives/000172.html

[18]. Shojaeiyan, S., & Abbasi, M. (June, 2018). *Investigation of characteristics, features and application of sludge from urban wastewater treatment*. 4th International Conference on Environmental Engineering. https://civilica.com/doc/798243 [in Farsi]

[19]. Sohrabi, N., Alinejadian Bidabadi, A., Feizian, M., & Maleki, A. (2017). A Comparative Study of the Effects of Sewage Sludge on Heavy Metals Concentrations and Some Morphological Characteristics of Lettuce. *Iranian Journal of Soil Research*,

31(2), 291-302. doi: 10.22092/IJSR.2017.113113 [in Farsi]

[20]. Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., & Mobli, M. (2005). Effect of Sewage Sludge on Some Macronutrients Concentration and Soil Chemical Properties. *Journal of Water and Wastewater, 16*(1), 15-22. [in Farsi]

[21]. Zazouli, M. A., & Dehghan, S. (2014) *Solid waste & compost Sampling and analysis Guideline*, Avaye ghalam (Avapublisher). [in Farsi]

[22]. Zargari A. (2014). *Medicinal Plants*, University of Tehran Press. [in Farsi]

The effect of sewage sludge on improving the growth characteristics of the medicinal plant *Hibiscus sabdariffa* L. under drought stress (Research Paper)

1- Mina Felahati, M.Sc. in Medicinal and Industrial plants, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
2- Ali Akbar Karimian*, Associate professor, Department of Rangland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
akarimian@yazd.ac.ir
3- Hamid Sodaeizadeh, Associate Professor, Department of Desert Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

Received: 31 Dec. 2023
Accepted: 21 May 2024

Abstract

The lack of fresh water resources in arid and semi-arid regions is the most important factor limiting agricultural activities. On the other hand, one of the challenges that exist in cities is the accumulation of sludge resulting from urban sewage treatment. According to the available sources, the sludge obtained from urban sewage treatment contains large amounts of mineral and organic substances, which can improve soil fertility and water retention and are useful for agricultural products. In this regard, in order to investigate the effect of sewage sludge in reducing the effects of drought stress on the growth characteristics of *Hibiscus sabdariffa* L., a study was conducted in the form of a completely randomized design in a factorial format and under greenhouse conditions. The test factors included drought stress with four levels (100, 75, 50 and 25% of crop capacity) and sewage sludge with two levels (zero and 10 grams per kilogram of soil) and four replications. During the six-month growth period of the plants in the greenhouse, dry treatments were applied using tap water with a salinity of 700 micro Siemens per meter, based on the weighing of the pots. After the plants reached the stage of flowering and boll production, morphological traits such as plant height, shoot weight, stem diameter, number of bolls, root weight and number of leaves were measured. The results showed that the effect of sewage sludge application on the wet and dry weight of shoot, height, number of bolls, stem diameter and root wet weight at the level of one percent ($p<0.01$) and the dry weight of the root at the level of five percent ($p<0.05$) was significant. Using sewage sludge increased plant dry weight by 46%, height by 24%, stem diameter by 14%, and root dry weight by 50% compared to the control treatment. The investigation of the interaction effect of drought and sludge on the morphological characteristics of the plant showed that the application of sewage sludge at stress levels of 100, 70 and 50% of the field capacity increased the fresh weight of aerial parts by 118, 90 and 75%, respectively, compared to the control. The interaction effect of drought and sludge on the number of plant bolls showed that the highest amount of this trait was obtained with an average of 25 numbers in the treatment of sewage sludge application and 100% field capacity, and the lowest amount was equal to 1.25 in the treatment of 25% field capacity and no sewage sludge application. The interaction effect of drought and sewage sludge on plant physiological traits such as proline, sugar, chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid levels was not significant. In general, the results of this research show the positive role of sewage sludge on improving the growth and performance of this plant under drought stress conditions.

Keywords: Drought stress, Morphologic, Physiologic.