

بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های عدس (*Lens culinaris* Medik.) به تنش شوری در شرایط کنترل‌شده

جعفر نباتی^{۱*}، مرتضی گلدانی^۲، محمد محمدی^۲، سیده محبوبه میرمیران^۳ و علی اسدی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸)

چکیده

در این پژوهش تحمل به شوری ۲۴ ژنوتیپ عدس در کشت هیدروپونیک به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. تنش شوری (۵/۰، ۱۲ و 16 dS m^{-1}) در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌های عدس در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. اعمال تنش شوری ۱۲ و 16 dS m^{-1} سبب کاهش درصد بقا در تمامی ژنوتیپ‌ها در مقایسه با شاهد شد. ژنوتیپ‌های MLC57، MLC73، MLC94، MLC104 و MLC108 قادر به تحمل شوری 16 dS m^{-1} نبودند. اعمال سطوح تنش شوری سبب کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، وزن خشک و درصد بقای برگ در بیش‌تر ژنوتیپ‌ها شد. کم‌ترین درصد کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، وزن خشک و درصد بقای برگ در سطح شوری 16 dS m^{-1} نسبت به شاهد، به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های MLC13، MLC120، MLC4 و MLC12 مشاهده شد. کم‌ترین افزایش میزان سدیم (۵/۵۲ برابر) در نتیجه اعمال شوری 16 dS m^{-1} نسبت به شاهد در ژنوتیپ MLC108 و بیش‌ترین میزان کلسیم (۴ برابر) در ژنوتیپ MLC78 مشاهده شد. به‌عبارتی این ژنوتیپ‌ها توانستند آثار منفی افزایش یون‌های سدیم در نتیجه اعمال تنش شوری را کاهش دهند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان‌دهنده برتری نسبی تمام ژنوتیپ‌های متعلق به گروه اول (MLC120، MLC178، MLC12، MLC26، MLC117 و MLC6) در بیش‌تر صفات نسبت به میانگین کل بود. به‌طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان گفت این ژنوتیپ‌ها از درصد بقا و ویژگی‌های رشدی مناسب‌تری در مواجهه با تنش شوری برخوردارند که از این ویژگی‌ها می‌توان در انتخاب بهتر ژنوتیپ‌های متحمل به شوری در پژوهش‌های آینده استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بقای برگ، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، درصد بقا، سدیم، شاخص پایداری غشاء

مقدمه

از حبوبات سرمدوست و یکی از قدیمی‌ترین محصولات خوراکی است که از ۷۰۰۰ سال پیش از میلاد در جنوب

عدس (*Lens Culinaris* L.) از گیاهان خانواده Fabaceae و

۱- پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه آگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir

نوع واکنش فیزیولوژیک و تغییرات متابولیکی با توجه به گونه گیاهی متفاوت است (۱۰ و ۱۵). واکنش گیاهان به شوری بسته به میزان رشد، مرحله رشدی و مدت زمان قرار گرفتن در معرض تنش شوری متفاوت است. پژوهش‌های انجام‌شده روی عدس نشان داد که در این گیاه مرحله جوانه‌زنی نسبت به مرحله رشد رویشی اولیه حساسیت کم‌تری نسبت به شوری دارد (۱۰ و ۲۰). غربال‌گری ژنوتیپ‌های عدس در مرحله گیاهچه آسان‌تر از مراحل رشد رویشی یا زایشی است و مراحل رشد اولیه واکنش بهتر گیاه به شوری را نشان می‌دهد؛ بنابراین، غربال‌گری اولیه برای تحمل به شوری در مرحله گیاهچه اهمیت بیش‌تری دارد (۲۰).

عدس توان زنده‌ماندن در خاک‌های نسبتاً فقیر و در شرایط نامساعد محیطی (به‌ویژه دمای زیاد و خشکی) را دارد با این حال، مانند بسیاری از گونه‌های دیگر حبوبات، عدس به‌عنوان یک گیاه حساس به شوری طبقه‌بندی می‌شود (۴ و ۱۵). در پژوهش‌های پیشین، لاین‌ها و ارقام مختلف عدس سطوح متفاوتی از تحمل به شوری را نشان داده‌اند و تا حدود ۲۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم ($11/7 \text{ dS m}^{-1}$) توانایی رشد داشته‌اند (۱۰، ۱۱، ۱۵ و ۲۰).

بررسی تحمل به شوری ۱۶۲ گونه عدس در محیط هیدروپونیک نشان داد که تحمل شوری با عواملی مانند محدودیت حرکت Na^+ و Cl^- همراه با افزایش ضخامت اپیدرم و افزایش دسته‌های آوندی، کاهش جذب مواد غذایی ضروری مانند کلسیم و پتاسیم، کاهش تولید H_2O_2 ، افزایش تجمع K^+ ، تجمع پرولین، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان، رشد گیاهچه، میزان زیست‌توده و زنده‌مانی گیاهچه در ارتباط است (۲۰). علاوه بر این، لاین‌های متحمل به شوری قادر به تنظیم Na^+ و Cl^- در ریشه و اندام هوایی بودند. همچنین جذب K^+ توسط ریشه‌ها و جابه‌جایی و توزیع آن در اندام‌های گیاهی بهتر از ارقام حساس صورت می‌گیرد. تنش شوری باعث کاهش طول، وزن خشک و افزایش میزان پرولین در بافت ساقه و ریشه می‌شود. شوری باعث افزایش میزان H_2O_2 ، افزایش میزان پراکسیداسیون

غربی آسیا، آمریکای شمالی و شمال آفریقا کشت شده است (۱۴). عدس پس از نخود فرنگی (*Pisum sativum*) و نخود (*Cicer arietinum L.*) سومین حبوبات سرمدوست در جهان است و از نظر تولید حبوبات دانه‌ای پس از لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*)، نخود، نخودفرنگی، باقلا (*Vicia faba L.*) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata L.*) رتبه ششم را دارد (۱۰). با این وجود، تولید جهانی عدس تنها شش درصد از کل تولید حبوبات خشک را از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ با میانگین عملکرد ۹۲۶ کیلوگرم در هکتار شامل شد. هند، ترکیه و کانادا حدود ۷۰ درصد تولید جهانی عدس را دارند (۱۹).

عدس با همزیستی بین ریشه و ریزوباکتری، از طریق تثبیت بیولوژیک نیتروژن هوا تا ۸۰٪ نیاز نیتروژن خود را تأمین می‌کند (۱۱). این توانایی به‌ویژه در سیستم‌های کم‌نهاد بسیار مطلوب است. استفاده از حبوبات در تناوب زراعی از طریق افزایش تنوع زیستی، افزایش حاصلخیزی خاک (تثبیت نیتروژن) و مدیریت آفات در سطح سیستم زراعی یکی از راه‌های افزایش پایداری کشاورزی است (۱۲).

شوری خاک و آب یکی از تهدیدهای اصلی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است زیرا رشد و بهره‌وری و گاهی اوقات کیفیت گیاهان را به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی، سمیت یونی و تحریک تنش اکسیداتیو تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴، ۱۱ و ۱۷). کاربرد روش‌های مدیریت خاک و آب برای بهبود شوری خاک در این مناطق برای کشاورزان بسیار پرهزینه است؛ بنابراین کشت ژنوتیپ‌های متحمل به شوری مناسب‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین راهبرد برای تثبیت عملکرد در مناطق تحت تأثیر شوری است (۲۰).

شوری توانایی گیاهان را در جذب آب کاهش داده و منجر به کاهش رشد گیاه عدس می‌شود (۱۱). تنش شوری بسته به گونه گیاهی، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۵). شوری تقریباً بر همه جنبه‌های رشد و نمو و متابولیسم گیاه تأثیر می‌گذارد و باعث تغییر در مورفولوژی و آناتومی گیاه عدس می‌شود. با این حال،

مجموع رسانایی الکتریکی محلول غذایی در شاهد $2/5 \text{ dS m}^{-1}$ ، در تیمار شوری 12 dS m^{-1} به 14 dS m^{-1} و در شوری 16 dS m^{-1} به 18 dS m^{-1} رسید. از نمک کلرید سدیم برای تهیه سطوح تنش شوری استفاده شد.

پیش از اعمال تنش و چهار هفته پس از اعمال تنش شوری، ارتفاع بوته ثبت شد و اختلاف ارتفاع بوته پیش و پس از اعمال تنش شوری محاسبه شد. چهار هفته پس از اعمال تنش شوری، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، درصد بقای بوته، درصد برگ باقی‌مانده، شاخص پایداری غشاء (MSI) و محتوی سدیم، پتاسیم و کلسیم اندام هوایی ثبت و اندازه‌گیری شدند.

برای محاسبه درصد بقا پیش از اعمال تنش شوری تعداد بوته‌های سبز شده ثبت شد و پیش از برداشت نیز تعداد بوته‌های زنده ثبت شده و درصد بقا بر اساس معادله (۱) محاسبه شد:

$$(1) \quad \text{تعداد بوته پیش از اعمال تنش} / (100 \times \text{تعداد بوته چهار هفته پس از اعمال تنش}) = \text{درصد بقا}$$

در هر ژنوتیپ تعداد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده سه بوته شمارش شده و درصد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری میزان شاخص پایداری غشاء از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته استفاده شد و درون لوله‌های آزمایش حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر شده قرار داده شد. سپس لوله‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفته و در مرحله بعد میزان نشت الکتروولت‌ها با استفاده از دستگاه رسانایی‌سنج الکتریکی (مدل Jenway) اندازه‌گیری شده و به عنوان EC1 ثبت شد. به منظور تعیین میزان کل نشت الکتروولت‌ها در اثر مرگ سلول، ویال‌ها به اتوکلاو با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و فشار ۱/۲ اتمسفر انتقال داده شده و به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند. سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفته و مجدداً رسانایی الکتریکی آن‌ها تحت عنوان EC2 اندازه‌گیری شد. در ادامه شاخص پایداری غشاء با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد (۱۶):

چربی‌ها و افزایش نشت الکتروولت در برگ‌ها می‌شود. بافت‌های ریشه عدس به دلیل افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) تحت تنش شوری، در برابر تنش اکسیداتیو بهتر محافظت می‌شوند (۱۹).

با توجه با کاهش کیفیت منابع آب و افزایش سطح زمین-های شور و همچنین آثار مفید زیست‌محیطی حبوبات به‌ویژه عدس در تناوب زراعی، این پژوهش با هدف انتخاب بهتر ژنوتیپ‌های عدس در شرایط شوری در محیط کنترل‌شده انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرایط هیدروپونیک در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. برای این آزمایش ۲۴ ژنوتیپ متحمل به تنش شوری گیاه عدس که در آزمایش‌های مقدماتی انتخاب شده بودند به‌عنوان کرت فرعی و سه سطح تنش شوری ۵/۰ (شاهد)، ۱۲ و 16 dS m^{-1} به‌عنوان کرت اصلی مورد بررسی قرار گرفت.

بذر ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی از بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد. بذرها در محیط هیدروپونیک در گلخانه با طول دوره روشنایی و تاریکی مطابق طول روز طبیعی، دمای روز و شب به ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سلسیوس با دامنه تغییر ± 5 درجه سلسیوس و شرایط نور طبیعی کشت شدند. یک هفته پس از کشت در مرحله چهار تا شش برگی، تنش شوری اعمال شد. بستر مورد استفاده در این پژوهش، ماسه بود و تغذیه با استفاده از محلول غذایی هوگلند (۵) صورت گرفت. سامانه تغذیه به‌صورت بسته اعمال شد. محلول غذایی به‌صورت هفتگی جایگزین شده و میزان شوری محلول غذایی به‌صورت روزانه پایش و تنظیم شد. با توجه به اینکه محلول هوگلند به‌واسطه دارا بودن عناصر غذایی، رسانایی الکتریکی حدود 2 dS m^{-1} ایجاد می‌کند

مربوط به ژنوتیپ‌های MLC104, MLC94, MLC73, MLC57 و MLC108 بود (جدول ۱). بقا در شرایط تنش یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است. در این پژوهش تنوع چشمگیری بین ژنوتیپ‌های عدس در سطوح مختلف تنش شوری مشاهده شد، به طوری که در تنش شوری 12 dS m^{-1} و حتی در 16 dS m^{-1} برخی از ژنوتیپ‌ها قادر به حفظ بقای خود بودند. البته به این نکته باید توجه داشت که این میزان شوری در شرایط هیدروپونیک همراه با تغذیه با محلول هوگلند بوده که می‌تواند در کاهش آثار تنش مؤثر باشد. ضمن اینکه مدت زمان تنش چهار هفته بود که قطعاً در شرایط تنش مشابه در درازمدت آثار سمیت تنش شوری شدت بیشتری پیدا خواهد کرد. با تمام این شرایط تنوع بسیار مناسبی در میان ژنوتیپ‌ها برای گزینش تحمل به شوری وجود داشت. تجمع سدیم بیش از حد در گیاه سبب کاهش فرآیندهای فیزیولوژیک مانند فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، میزان تعرق، شاخص عدد کلروفیل متر، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه، اختلال در غشای سلولی، ناتوانی در سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن در سیتوپلاسم و تغییر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شده و در نهایت سبب خسارت به اندام‌های گیاه و مرگ گیاه می‌شود (۶).

اثر برهم‌کنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های عدس بر اختلاف ارتفاع بوته پیش و پس از اعمال تنش شوری معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین اختلاف ارتفاع بوته در شرایط بدون تنش در ژنوتیپ MLC192 با $13/7$ سانتی‌متر افزایش مشاهده شد، این ژنوتیپ بیش‌ترین ارتفاع نهایی بوته را در شرایط بدون تنش دارا بود. کم‌ترین اختلاف ارتفاع بوته به میزان $1/07$ سانتی‌متر در ژنوتیپ MLC13 مشاهده شد. با اعمال تنش شوری 12 dS m^{-1} باز هم ژنوتیپ‌های MLC120 و MLC192 به ترتیب با اختلاف ارتفاع $8/63$ و $6/87$ سانتی‌متر دارای بیش‌ترین اختلاف مقادیر این صفت در بین ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ MLC26 با $0/34$ سانتی‌متر و ژنوتیپ MLC4 با $1/87$ سانتی‌متر اختلاف ارتفاع بوته دارای کم‌ترین مقادیر این صفت

(۲) $100 \times [1 - (EC1/EC2)] =$ شاخص پایداری غشاء برای تعیین سطح تنش شوری کاهنده 50% درصد وزن خشک بوته ژنوتیپ‌های عدس (RDWEC50¹) از نرم‌افزار Slide Write V7.01 استفاده شد. RDWEC50 با استفاده از رسم نمودار صفت مذکور در برابر سطوح تنش شوری تعیین شد. میزان سدیم، پتاسیم و کلسیم اندام‌های هوایی با استفاده از 250 میلی‌گرم نمونه خشک آسیاب شده که به مدت 24 ساعت در اسید نیتریک غلیظ هضم شده و یک ساعت در دمای 80 درجه سلسیوس قرار گرفته بود با دستگاه فلیم‌فتومتر (UK-Jenway) و محلول‌های استاندارد سدیم، پتاسیم و کلسیم تعیین شد (۲۱).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار Minitab 17 و مقایسه میانگین آن‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و خطای استاندارد انجام شد. برای برآورد همبستگی، تجزیه خوشه‌ای (بر اساس روش Ward) از نرم‌افزار JMP4 و برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار STATISTICA8 استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر برهم‌کنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های عدس بر درصد بقا معنی‌دار بود. در شرایط بدون تنش در هیچ‌یک از ژنوتیپ‌ها گیاهیچه از بین رفته مشاهده نشد و همگی دارای 100% درصد بقا بودند. بیش‌ترین درصد بقا در سطح تنش شوری 12 dS m^{-1} مربوط به ژنوتیپ‌های MLC12 و MLC178 به ترتیب با 80% و 75% درصد بود و با افزایش شدت تنش به 16 dS m^{-1} نیز بیش‌ترین درصد بقا مربوط به همین دو ژنوتیپ به ترتیب با 30% و 33% درصد بقا بود. کم‌ترین درصد بقا در سطح تنش 12 dS m^{-1} مربوط به ژنوتیپ‌های MLC57 و MLC73 به ترتیب با 10% و 10% درصد بقا بود. در سطح تنش شوری 16 dS m^{-1} بیش‌ترین درصد بقا مربوط به سه ژنوتیپ MLC12, MLC26 و MLC178 و کم‌ترین میزان بقا با 100% درصد تلفات

1. EC corresponding to 50% reduction in dry weight

جدول ۱. تأثیر تنش شوری بر درصد بقا، ارتفاع بوته، و اختلاف ارتفاع بوته پیش و پس از اعمال تنش در ژنوتیپ‌های عدس.

Table 1. Effects of salinity stress on survival percentage, plant height and plant height difference between before and after the stress application in lentil genotypes.

ژنوتیپ	درصد بقا			ارتفاع بوته			اختلاف ارتفاع بوته			
	Survival percentage			Plant height (cm)			ΔHeight (cm)			
	تنش شوری (dS m ⁻¹)			تنش شوری (dS m ⁻¹)			تنش شوری (dS m ⁻¹)			
Genotype	0.5	12	16	0.5	12	16	0.5	12	16	
MLC4 ¹	100 ^{a2}	16.7 ^{g-k}	4.44 ^{i-k}	14.8 ^{b-j}	10.6 ^{f-j}	12.3 ^{c-j}	6.36 ^{c-m}	1.87 ^{n-q}	3.77 ^{g-q}	
MLC5	100 ^a	18.7 ^{f-k}	3.70 ^{i-k}	13.5 ^{b-j}	10.7 ^{f-j}	10.6 ^{f-j}	4.58 ^{e-p}	2.93 ^{i-q}	2.17 ^{n-q}	
MLC6	100 ^a	62.9 ^{b-d}	17.2 ^{g-k}	16.4 ^{b-i}	11.8 ^{c-j}	10.4 ^{g-j}	9.40 ^{b-d}	3.27 ^{h-q}	1.80 ^{n-q}	
MLC12	100 ^a	75.2 ^{a-c}	32.9 ^{d-k}	16.5 ^{b-h}	13.6 ^{b-j}	12.6 ^{c-j}	8.44 ^{b-e}	3.82 ^{g-q}	1.67 ^{o-q}	
MLC13	100 ^a	35.8 ^{c-k}	12.1 ^{g-k}	11.2 ^{c-j}	12.1 ^{c-j}	12.4 ^{c-j}	1.07 ^{pq}	3.27 ^{h-q}	2.07 ^{n-q}	
MLC14	100 ^a	36.3 ^{c-k}	9.39 ^{h-k}	21.0 ^{ab}	13.5 ^{c-j}	13.0 ^{c-j}	11.4 ^{ab}	3.17 ^{i-q}	2.63 ^{k-q}	
MLC25	100 ^a	43.5 ^{b-j}	7.87 ^{i-k}	14.7 ^{b-j}	9.83 ^{h-j}	8.93 ^{ij}	6.72 ^{c-k}	2.50 ^{l-q}	0.97 ^{pq}	
MLC26	100 ^a	61.1 ^{a-e}	25.0 ^{d-k}	15.2 ^{b-j}	10.4 ^{g-j}	9.63 ^{h-j}	6.50 ^{c-l}	0.340 ^q	1.33 ^{pq}	
MLC57	100 ^a	9.60 ^{h-k}	0.00 ^k	19.2 ^{a-c}	13.4 ^{c-j}	0.00 ^k	9.74 ^{a-c}	2.60 ^{k-q}	2.20 ^{m-q}	
MLC73	100 ^a	6.20 ^{i-k}	0.00 ^k	13.8 ^{b-j}	12.5 ^{c-j}	0.00 ^k	4.54 ^{e-p}	3.03 ^{i-q}	2.47 ^{h-q}	
MLC77	100 ^a	34.4 ^{c-k}	8.09 ^{i-k}	17.8 ^{a-g}	14.3 ^{b-j}	12.7 ^{c-j}	7.57 ^{c-g}	3.31 ^{h-q}	2.60 ^{k-q}	
MLC78	100 ^a	45.5 ^{b-i}	4.85 ^{i-k}	14.8 ^{b-k}	8.63 ^j	11.3 ^{d-j}	5.57 ^{d-o}	4.07 ^{f-q}	3.30 ^{h-q}	
MLC81	100 ^a	30.6 ^{d-k}	8.33 ^{i-k}	16.3 ^{b-i}	13.6 ^{b-j}	12.6 ^{c-k}	7.33 ^{b-h}	2.82 ^{i-q}	2.90 ^{i-q}	
MLC94	100 ^a	18.7 ^{f-k}	0.00 ^k	13.3 ^{c-k}	9.97 ^{h-j}	0.00 ^k	4.68 ^{e-p}	2.37 ^{l-q}	1.93 ^{mq}	
MLC104	100 ^a	12.2 ^{g-k}	0.00 ^k	14.2 ^{b-j}	12.7 ^{c-j}	0.00 ^k	5.57 ^{d-o}	2.73 ^{i-q}	3.07 ^{i-q}	
MLC108	100 ^a	13.1 ^{g-k}	0.00 ^k	11.0 ^{c-j}	10.2 ^{h-j}	0.00 ^k	3.17 ^{i-q}	2.87 ^{i-q}	2.13 ^{n-q}	
MLC109	100 ^a	20.1 ^{e-k}	3.51 ^{jk}	18.0 ^{a-f}	14.8 ^{b-j}	12.5 ^{c-j}	9.53 ^{b-d}	4.67 ^{e-p}	2.13 ^{n-q}	
MLC117	100 ^a	52.2 ^{b-g}	20.5 ^{e-k}	15.7 ^{b-j}	13.0 ^{c-j}	13.1 ^{c-j}	5.73 ^{c-o}	4.64 ^{e-p}	2.08 ^{n-q}	
MLC118	100 ^a	51.3 ^{b-h}	22.5 ^{d-k}	12.9 ^{c-j}	12.7 ^{c-j}	13.5 ^{c-j}	3.47 ^{g-q}	3.00 ^{i-q}	1.63 ^{o-q}	
MLC120	100 ^a	59.8 ^{a-f}	15.6 ^{g-k}	18.2 ^{a-e}	16.7 ^{b-h}	16.9 ^{b-h}	9.37 ^{b-d}	6.87 ^{c-j}	5.87 ^{c-n}	
MLC152	100 ^a	41.7 ^{b-k}	8.53 ^{i-k}	17.0 ^{b-h}	11.9 ^{c-j}	10.8 ^{e-j}	9.00 ^{b-d}	3.10 ^{i-q}	1.20 ^{pq}	
MLC156	100 ^a	42.3 ^{b-j}	9.06 ^{i-k}	16.5 ^{b-h}	12.7 ^{c-j}	12.3 ^{c-j}	8.19 ^{b-f}	3.30 ^{h-q}	0.98 ^{pq}	
MLC178	100 ^a	79.6 ^{ab}	29.6 ^{d-k}	15.9 ^{b-j}	12.2 ^{c-j}	15.1 ^{b-j}	6.97 ^{c-i}	2.63 ^{k-q}	5.69 ^{c-o}	
MLC192	100 ^a	20.7 ^{e-k}	3.92 ^{i-k}	24.6 ^a	18.7 ^{a-d}	14.7 ^{b-j}	13.7 ^a	8.63 ^{b-e}	5.77 ^{c-o}	
S.O.V	df	Mean squares			Mean squares			Mean squares		
Block	2	2401 ^{**}			10.5 ^{ns}			7.04 ^{**}		
Salinity stress (S)	2	152716 ^{**}			678 ^{**}			400 ^{**}		
Ea	4	1011			2.67			7.72		
Genotype (G)	23	918 ^{**}			75.1 ^{**}			22.3 ^{**}		
S × G	46	350 ^{**}			27.5 ^{**}			7.70 ^{**}		
Eb	138	135			4.31			1.33		
CV%	-	23.7			16.3			26.5		

۱- MLC: کلکسیون عدس مشهد، ۲- حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها است، ** و * به ترتیب معنی‌دار در

سطوح احتمال یک و پنج درصد، CV: ضریب تغییرات، ΔHeight: اختلاف بین ارتفاع بوته پیش و پس از اعمال تنش.

1- MLC: Mashhad Lentil Collection, 2- Different letters indicated a significant difference in the mean comparisons of the interaction of treatments, ** and *: Significant at probability levels of 1 and 5%, respectively, CV: Coefficient of variation, ΔHeight: Plant height difference between before and after the stress application.

بوته بودند. با افزایش سطح تنش شوری به ۱۶ dS m⁻¹، نسبت به شرایط پیش از تنش نشان دادند. با این حال همان‌طور گیاهچه‌ها رشد کم‌تری داشتند و اختلاف ارتفاع بوته کم‌تری که در تنش ۱۲ dS m⁻¹ مشاهده شد، بیش‌ترین اختلاف ارتفاع

اثر برهم‌کنش بین تنش شوری و ژنوتیپ‌ها بر تعداد شاخه در بوته گیاهچه‌های عدس معنی‌دار بود (جدول ۲). ژنوتیپ MLC81 بیش‌ترین تعداد شاخه در بوته در سه تیمار شاهد، ۱۲ و 16 dS m^{-1} تولید کرد. کم‌ترین تعداد شاخه در بوته در شرایط بدون تنش با $2/44$ و $2/31$ برابر کاهش نسبت به ژنوتیپ MLC81، به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های MLC108 و MLC4 بود. از طرفی در سطح تنش شوری 12 dS m^{-1} نیز کم‌ترین تعداد شاخه در بوته در ژنوتیپ‌های MLC4، MLC57، MLC108 و MLC109 به‌ترتیب با $2/7$ و $2/5$ برابر کاهش نسبت به ژنوتیپ MLC81 مشاهده شد. همچنین در تنش شوری 16 dS m^{-1} ژنوتیپ MLC4 به میزان $2/1$ برابر تعداد شاخه در بوته کم‌تری نسبت به MLC81 تولید کرد (جدول ۲). همبستگی بین صفات نیز حاکی از رابطه مثبت و معنی‌دار بین درصد بقا و تعداد شاخه در بوته در تمام سطوح تنش شوری مورد بررسی بود (جداول ۳ و ۴).

اثر برهم‌کنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های عدس بر درصد بقای برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). در شاهد میان ژنوتیپ‌ها اختلافی از نظر درصد بقای برگ مشاهده نشد و همه ژنوتیپ‌ها تمامی برگ‌های خود را تا انتهای آزمایش حفظ کردند. در تنش شوری 12 dS m^{-1} ، 38 درصد ژنوتیپ‌ها بیش از 90 درصد، 29 درصد ژنوتیپ‌ها بین 70 تا 90 درصد، 25 درصد ژنوتیپ‌ها بین 50 تا 70 درصد و هشت درصد آن‌ها کم‌تر از 50 درصد برگ‌های خود را حفظ کردند. بیش‌ترین درصد بقای برگ در ژنوتیپ‌های MLC178، MLC26، MLC6، MLC118، MLC78، MLC12، MLC117، MLC152 و MLC120 و کم‌ترین درصد بقای برگ در ژنوتیپ MLC57 مشاهده شد (جدول ۲). با افزایش سطح تنش شوری به میزان 16 dS m^{-1} ، درصد بقای برگ بیش‌تر تحت تأثیر قرار گرفت به‌گونه‌ای که تنها ژنوتیپ MLC12 بیش از 90 درصد (92 درصد) بقای برگ را نشان داد. به‌طور کلی در این سطح شوری، 29 درصد ژنوتیپ‌ها بیش از 50 درصد بقای برگ، 25 درصد ژنوتیپ‌ها بین 25 تا 50 درصد و 46 درصد نیز بین 0 تا 25

در ژنوتیپ‌های MLC120 و MLC192 و همچنین ژنوتیپ MLC178 به‌ترتیب با $5/77$ ، $5/87$ و $5/69$ سانتی‌متر ثبت شد و ژنوتیپ‌های MLC26، MLC152، MLC25، MLC156 به‌ترتیب با $0/98$ ، $0/97$ ، $1/20$ و $1/33$ سانتی‌متر دارای کم‌ترین اختلاف ارتفاع بودند (جدول ۱).

اثر برهم‌کنش بین تنش شوری و ژنوتیپ‌های عدس بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۱). بیش‌ترین ارتفاع بوته در شاهد مربوط به ژنوتیپ‌های MLC192 و MLC14 بود و ژنوتیپ‌های MLC13 و MLC108 نیز کم‌ترین ارتفاع بوته را در بین 24 ژنوتیپ مورد بررسی داشتند (جدول ۱). ژنوتیپ MLC192 که در شرایط بدون تنش بیش‌ترین ارتفاع بوته را ثبت کرده بود، در سطح تنش شوری 12 dS m^{-1} نیز بیش‌ترین و ژنوتیپ MLC78 کم‌ترین ارتفاع بوته را داشت. در تنش شوری 16 dS m^{-1} بیش‌ترین ارتفاع مربوط به ژنوتیپ‌های MLC120، MLC178 و MLC192 بود. کم‌ترین ارتفاع بوته در تنش شوری 16 dS m^{-1} در ژنوتیپ MLC25 مشاهده شد که 89 درصد کاهش نسبت به بیش‌ترین ارتفاع نشان داد (جدول ۱).

ارتفاع بوته از ویژگی‌های مهم در ارتباط با میزان رشد گیاه در شرایط تنش‌های محیطی است. علی‌رغم اینکه در ارتفاع بوته ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر ژنتیک آن‌ها قرار می‌گیرد اما اختلاف ارتفاع بوته پیش و پس از تنش می‌تواند شاخص مناسبی برای بررسی اثر تنش در طول دوره رشد باشد. در پژوهش حاضر با افزایش سطح تنش شوری، کاهش ارتفاع بوته در اکثر ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. در سه ژنوتیپ MLC192، MLC120 و MLC178 بیش‌ترین اختلاف ارتفاع بوته پیش و پس از اعمال تنش مشاهده شد که نشان‌دهنده رشد بهتر این ژنوتیپ‌ها در طی دوره اعمال تنش شوری بود (جدول ۱). کاهش ارتفاع گیاه نشان‌دهنده آثار نامطلوب تجمع بیش از حد نمک بر ویژگی‌های فیزیولوژیک (سرعت فتوسنتز، تجمع کربوهیدرات‌ها و سنتز پروتئین‌ها) و مورفولوژیک (ارتفاع) گیاه است. به‌عبارتی کاهش سرعت فتوسنتز سبب کاهش رشد اندام‌های هوایی و در نتیجه کاهش ارتفاع بوته‌ها می‌شود (۶).

جدول ۲. تأثیر تنش شوری بر تعداد شاخه در بوته، درصد بقای برگ و شاخص پایداری غشاء (MSI) ژنوتیپ‌های عدس در شرایط کنترل‌شده.
Table 2. Effects of salinity stress on branch number, leaf survival percentage and membrane stability index (MSI) in lentil genotypes under controlled conditions.

ژنوتیپ	تعداد شاخه در بوته			درصد بقای برگ			شاخص پایداری غشاء		
	Branch number per plant			Leaf survival (%)			MSI (%)		
	تنش شوری			تنش شوری			تنش شوری		
Genotype	Salinity stress (dS m ⁻¹)			Salinity stress (dS m ⁻¹)			Salinity stress (dS m ⁻¹)		
	0.5	12	16	0.5	12	16	0.5	12	16
MLC4 ¹	2.11 ^{f-i2}	1.89 ^{hi}	1.78 ^{ij}	100 ^a	88.0 ^{a-d}	14.0 ^{fg}	60.6 ^{ab}	14.8 ^{i-k}	0.32 ^k
MLC5	2.55 ^{c-i}	2.11 ^{f-i}	2.56 ^{c-i}	100 ^a	57.7 ^{a-g}	22.3 ^{c-g}	39.0 ^{e-g}	1.57 ^k	1.70 ^k
MLC6	2.89 ^{c-i}	3.67 ^{a-h}	2.89 ^{c-i}	100 ^a	99.3 ^a	75.7 ^{a-f}	59.0 ^{a-c}	6.77 ^{jk}	6.82 ^{jk}
MLC12	3.78 ^{a-g}	3.67 ^{a-h}	2.66 ^{c-i}	100 ^a	95.7 ^{ab}	92.3 ^{a-d}	62.3 ^{ab}	17.9 ^{h-j}	11.5 ^{i-k}
MLC13	3.00 ^{c-i}	3.00 ^{c-i}	2.55 ^{c-i}	100 ^a	69.7 ^{a-g}	36.7 ^{a-g}	7.13 ^{jk}	6.07 ^{jk}	5.59 ^{jk}
MLC14	4.00 ^{a-e}	3.56 ^{a-i}	2.00 ^{g-i}	100 ^a	76.0 ^{a-f}	29.7 ^{a-g}	43.2 ^{d-f}	1.31 ^k	11.0 ^{i-k}
MLC25	4.22 ^{a-d}	2.78 ^{c-i}	1.78 ^{ij}	100 ^a	87.7 ^{a-e}	23.0 ^{b-g}	63.7 ^a	3.46 ^{jk}	1.00 ^k
MLC26	3.67 ^{a-h}	3.44 ^{a-i}	3.00 ^{c-i}	100 ^a	98.7 ^a	60.3 ^{a-g}	31.7 ^{f-h}	26.3 ^{g-i}	3.83 ^{jk}
MLC57	3.11 ^{a-i}	2.00 ^{g-i}	0.00 ^j	100 ^a	42.0 ^{a-g}	0.00 ^g	35.6 ^{fg}	1.30 ^k	0.00 ^k
MLC73	3.33 ^{a-i}	3.22 ^{d-l}	0.00 ^j	100 ^a	49.0 ^{a-g}	0.00 ^g	53.0 ^{a-e}	1.30 ^k	0.00 ^k
MLC77	3.45 ^{a-i}	3.45 ^{a-i}	1.78 ^{ij}	100 ^a	68.0 ^{a-g}	37.3 ^{a-g}	40.3 ^{d-g}	5.23 ^{jk}	2.51 ^{jk}
MLC78	3.22 ^{b-i}	3.56 ^{a-i}	2.22 ^{e-i}	100 ^a	97.0 ^a	43.4 ^{a-g}	46.4 ^{b-f}	13.2 ^{i-k}	1.41 ^k
MLC81	4.89 ^{ab}	5.11 ^a	3.67 ^{a-h}	100 ^a	74.0 ^{a-f}	19.0 ^{d-g}	62.0 ^{ab}	9.27 ^{jk}	3.13 ^{jk}
MLC94	2.56 ^{c-i}	3.00 ^{c-i}	0.00 ^j	100 ^a	57.3 ^{a-g}	0.00 ^g	65.3 ^a	4.23 ^{jk}	0.00 ^k
MLC104	2.44 ^{d-i}	2.55 ^{c-i}	0.00 ^j	100 ^a	72.5 ^{a-g}	0.00 ^g	52.0 ^{a-e}	2.75 ^{jk}	0.00 ^k
MLC108	2.00 ^{g-i}	2.00 ^{g-i}	0.00 ^j	100 ^a	83.0 ^{a-f}	0.00 ^g	54.7 ^{a-e}	7.00 ^{jk}	0.00 ^k
MLC109	3.55 ^{a-i}	2.00 ^{g-i}	2.56 ^{c-i}	100 ^a	57.3 ^{a-g}	14.3 ^{fg}	43.0 ^{d-f}	8.00 ^{jk}	0.99 ^k
MLC117	4.33 ^{a-c}	3.67 ^{a-h}	3.00 ^{c-i}	100 ^a	95.7 ^{a-c}	61.0 ^{a-g}	65.4 ^a	7.39 ^{jk}	7.83 ^{jk}
MLC118	2.56 ^{c-i}	2.56 ^{c-i}	2.22 ^{e-i}	100 ^a	98.3 ^a	53.0 ^{a-g}	55.8 ^{a-d}	10.3 ^{i-k}	4.10 ^{jk}
MLC120	2.56 ^{c-i}	3.89 ^{a-f}	2.78 ^{c-i}	100 ^a	96.0 ^{ab}	66.7 ^{a-g}	66.0 ^a	6.53 ^{jk}	3.00 ^{jk}
MLC152	2.89 ^{c-i}	3.55 ^{a-i}	2.33 ^{e-i}	100 ^a	92.7 ^{a-c}	39.0 ^{a-g}	64.3 ^a	9.00 ^{jk}	6.00 ^{jk}
MLC156	3.56 ^{a-i}	4.33 ^{a-c}	3.00 ^{c-i}	100 ^a	81.3 ^{a-f}	35.3 ^{a-g}	44.0 ^{c-f}	4.16 ^{jk}	0.43 ^k
MLC178	3.33 ^{a-i}	3.33 ^{a-i}	2.66 ^{c-i}	100 ^a	100 ^a	75.0 ^{a-f}	62.3 ^{ab}	13.5 ^{i-k}	4.86 ^{jk}
MLC192	2.67 ^{c-i}	2.22 ^{e-i}	2.44 ^{d-i}	100 ^a	67.0 ^{a-g}	14.6 ^{e-g}	64.0 ^a	5.11 ^{jk}	3.73 ^{jk}
S.O.V	df	Mean squares		Mean squares			Mean squares		
Block	2	0.728 ^{ns}		3493 ^{**}			26.0 ^{ns}		
Salinity stress (S)	2	32.2 ^{**}		82408 ^{**}			51536 ^{**}		
E _a	4	0.412		928			35.0		
Genotypes (G)	23	4.99 ^{**}		1815 ^{**}			274 ^{**}		
S×G	46	1.24 ^{**}		693 [*]			240 ^{**}		
E _b	138	0.269		412			19.7		
CV%	-	18.8		28.6			21.1		

۱- MLC: کلکسیون عدس مشهد، ۲- حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها است، ns: غیرمعنی‌دار ** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد، CV: ضریب تغییرات.

1- MLC: Mashhad Lentil Collection, 2- Different letters indicated a significant difference in the mean comparisons of the interaction of treatments, ns: non-significant, ** and *: Significant at probability levels of 1 and 5%, respectively, CV: Coefficient of variation.

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های عدس در شاهد (0.5 dS m^{-1}) (قطر بالا) و کل سطوح تنش شوری (قطر پایین).

Table 3. Correlation matrix of lentil genotypes traits in control ($EC = 0.5 \text{ dS m}^{-1}$) (above diagonal) and total salinity stress levels (lower diamond).

No.	Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Survival%	1	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
2	Final height	0.10 ^{ns}	1	0.96**	0.24 ^{ns}	**	0.20 ^{ns}	0.49*	-0.08 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	0.41*	-0.34 ^{ns}	-0.33 ^{ns}
3	ΔHeight	0.07 ^{ns}	0.91**	1	0.22 ^{ns}	**	0.31 ^{ns}	0.45*	-0.12 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	0.35 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	-0.29 ^{ns}
4	Branch number	0.52*	0.14 ^{ns}	0.07 ^{ns}	1	**	-0.01 ^{ns}	0.61**	-0.39 ^{ns}	-0.31 ^{ns}	0.55**	-0.40 ^{ns}	-0.62**
5	Leaf survival	0.94**	0.05 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.40 ^{ns}	1	**	**	**	**	**	**	**
6	MSI	0.47*	0.16 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.52*	1	-0.16 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.30 ^{ns}
7	Dry weight	-0.02 ^{ns}	0.45*	0.38*	0.51*	-0.16 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	1	-0.50*	-0.25 ^{ns}	0.43*	-0.35 ^{ns}	-0.65**
8	RDWEC50	-0.57**	-0.09 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.52*	-0.55**	-0.27 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	1	0.29 ^{ns}	-0.51*	0.40 ^{ns}	0.42*
9	Na	-0.46*	0.36 ^{ns}	0.43*	-0.02 ^{ns}	-0.47*	-0.22 ^{ns}	0.53**	0.24 ^{ns}	1	-0.35 ^{ns}	0.94**	0.09 ^{ns}
10	K	0.66**	0.48*	0.48*	0.39 ^{ns}	0.61**	0.24 ^{ns}	0.36 ^{ns}	-0.49*	-0.07 ^{ns}	1	-0.60**	-0.37 ^{ns}
11	Na/K	-0.73**	-0.08 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	-0.76**	-0.32 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.68**	-0.72**	1	0.19 ^{ns}
12	Ca	-0.10 ^{ns}	-0.51*	-0.39 ^{ns}	-0.48*	0.07 ^{ns}	0.26 ^{ns}	-0.78**	0.09 ^{ns}	-0.34 ^{ns}	-0.33 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	1

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد. ΔHeight: اختلاف بین ارتفاع بوته پیش و پس از اعمال تنش، RDWEC50:

سطح تنش شوری کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک بوته، MSI: شاخص پایداری غشاء.

ns, * and **: non-significant and significant in the probability levels of 5, and 1%, respectively. ΔHeight: Plant height difference between before and after the stress, RDWEC50: EC corresponding to 50% reduction in dry weight, MSI: Membrane stability index

طویل شدن سلول‌ها و اختلال در عملکرد پروتئین‌های حامل H^+ -ATPase و H^+ -PPase این گیاهان باشد (۲ و ۱۳).

اثر برهم‌کنش تنش شوری و ژنوتیپ‌های عدس بر شاخص پایداری غشاء معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد ۱۰ ژنوتیپ (MLC4، MLC12، MLC25، MLC81، MLC94، MLC117، MLC120، MLC152، MLC178 و MLC192) از بین ۲۴ ژنوتیپ مورد بررسی با ۶۰ تا ۶۶ درصد پایداری، بیش‌ترین میزان پایداری غشاء را در بین ژنوتیپ‌های عدس در شرایط بدون تنش نشان دادند. با افزایش سطح تنش شوری، شاخص پایداری غشای ژنوتیپ‌های عدس کاهش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان پایداری غشاء در تنش شوری 12 dS m^{-1} با ۲۶/۳ درصد مربوط به ژنوتیپ MLC26 بود. در سطح تنش شوری 16 dS m^{-1} بیش‌ترین میزان پایداری غشاء با ۱۱/۵ و ۱۱ درصد به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های MLC12 و MLC14 بود (جدول ۲).

تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش شوری، موجب تنش اکسیداتیو می‌شود که در نهایت به لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک از طریق تغییر متابولیسم سلولی خسارت

درصد بقای برگ داشتند. ژنوتیپ‌های MLC6، MLC12 و MLC178 به ترتیب با ۹۲، ۷۶ و ۷۵ درصد بیش‌ترین درصد بقای برگ دارا بودند (جدول ۲). برگ به‌عنوان مهم‌ترین بخش فتوسنتزکننده گیاه نقش مهمی در تولید و عملکرد گیاه دارد. کاهش تعداد برگ در اثر تجمع نمک موجب ریزش برگ‌ها و کاهش سطح فتوسنتزکننده و در نهایت کاهش رشد خواهد شد. حفظ برگ در گیاه تحت تنش شوری به معنای کاهش تجمع نمک در برگ و یا مدیریت نمک در برگ است که از سمیت یونی جلوگیری کرده و مانع از ریزش برگ می‌شود. بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که بین درصد بقای گیاه با درصد بقای برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری در تمام سطوح تنش وجود داشت به این معنا که با افزایش درصد بقای گیاه، درصد برگ باقی‌مانده در هر ژنوتیپ نیز افزایش می‌یابد (جدول ۳ و ۴). پژوهش‌ها نشان داد که اعمال شوری 1 dS m^{-1} سبب کاهش تولید وزن تازه و خشک، کاهش تعداد برگ و سطح برگ در کلزا (*Brassica napus* L.) و بابونه (*Tanacetum parthenium* L.) شد. کاهش تولید ماده خشک و یا تأخیر در رشد گیاه تحت تنش می‌تواند به دلیل جلوگیری از

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های عدس در شوری 12 dS m^{-1} (قطر بالا) و شوری 16 dS m^{-1} (قطر پایین).

Table 4. Correlation matrix of lentil genotypes traits in $EC = 12 \text{ dS m}^{-1}$ (above diagonal) and $EC = 16 \text{ dS m}^{-1}$ (lower diamond).

No.	Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Survival%	1	0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.53 ^{**}	0.82 ^{**}	0.57 ^{**}	-0.29 ^{ns}	-0.56 ^{**}	-0.30 ^{ns}	0.68 ^{**}	-0.58 ^{**}	-0.06 ^{ns}
2	Final height	0.27 ^{ns}	1	0.77 ^{**}	0.07 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	0.44 [*]	0.03 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.45 [*]	-0.23 ^{ns}	-0.40 ^{ns}
3	Δ Height	0.03 ^{ns}	0.76 ^{**}	1	-0.01 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.27 ^{ns}	0.41 [*]	0.12 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.41 [*]	-0.26 ^{ns}	-0.24 ^{ns}
4	Branch number	0.49 [*]	0.16 ^{ns}	0.03 ^{ns}	1	0.38 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.52 ^{**}	0.03 ^{ns}	0.35 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	-0.20 ^{ns}
5	Leaf survival	0.89 ^{**}	0.26 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.49 [*]	1	0.63 ^{**}	-0.41 [*]	-0.38 ^{ns}	-0.39 ^{ns}	0.50 [*]	0.07 ^{ns}	0.07 ^{ns}
6	MSI	0.56 ^{**}	0.17 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.52 ^{**}	1	-0.22 ^{ns}	-0.30 ^{ns}	-0.30 ^{ns}	0.28 ^{ns}	-0.41 [*]	0.03 ^{ns}
7	Dry weight	0.61 ^{**}	0.12 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.42 [*]	0.60 ^{**}	0.47 [*]	1	0.63 ^{**}	0.31 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.40 ^{ns}
8	RDWEC50	-0.57 ^{**}	-0.21 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.39 ^{ns}	-0.60 ^{**}	-0.33 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	1	0.11 ^{ns}	-0.42 [*]	0.30 ^{ns}	-0.03 ^{ns}
9	Na	-0.42 [*]	0.12 ^{ns}	0.18 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	0.20 ^{ns}	1	-0.22 ^{ns}	0.78 ^{**}	-0.03 ^{ns}
10	K	0.59 ^{**}	0.31 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.72 ^{**}	0.39 ^{ns}	0.45 [*]	-0.37 ^{ns}	0.21 ^{ns}	1	-0.73 ^{**}	-0.38 ^{ns}
11	Na/K	-0.74 ^{**}	-0.10 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	-0.71 ^{**}	-0.42 [*]	-0.50 [*]	0.34 ^{ns}	0.61 ^{**}	-0.61 ^{**}	1	0.16 ^{ns}
12	Ca	0.16 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.04 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.48 [*]	0.11 ^{ns}	-0.49 [*]	1

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد، Δ Height: اختلاف بین ارتفاع بوته پیش و پس از اعمال تنش، RDWEC50:

سطح تنش شوری کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک بوته، MSI: شاخص پایداری غشاء.

ns, * and **: non-significant and significant in the probability levels of 5 and 1%, respectively, Δ Height: Plant height difference between before and after the stress application, RDWEC50: EC corresponding to 50% reduction in dry weight, MSI: Membrane stability index.

(MLC73) و بیشترین (MLC192) وزن خشک بوته ژنوتیپ‌ها بیش تر از چهار برابر بود. با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به 12 dS m^{-1} کمترین و بیشترین کاهش وزن خشک بوته به ترتیب در ژنوتیپ‌های MLC192 و MLC73 مشاهده شد. افزایش سطح تنش شوری از شاهد به 16 dS m^{-1} موجب از بین رفتن کامل ژنوتیپ‌های MLC57، MLC73، MLC94، MLC104 و MLC108 شد. از طرف دیگر کمترین تأثیر تنش شوری بر وزن خشک بوته در ژنوتیپ‌های MLC25 و MLC118 مشاهده شد (جدول ۵). بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که در تیمار 12 dS m^{-1} ، همبستگی معنی داری بین درصد بقا و وزن خشک بوته وجود نداشت اما در تیمار 16 dS m^{-1} این همبستگی مثبت و معنی دار (** $r=0/61$) بود (جدول ۳ و ۴). تنش شوری از طریق تجمع یون‌های سدیم و پتاسیم، سبب بروز تنش اکسیداتیو، برهم خوردن تعادل یونی و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در بافت‌های گیاهی و خسارت به ساختار سلول می‌شود (۷). تنش اکسیداتیو سبب بسته شدن روزنه‌ها، افزایش دمای برگ، کاهش شاخص سطح برگ، کاهش طولیل شدن اندام‌های هوایی و در نهایت سبب کاهش وزن خشک گیاه می‌شود (۶).

از نظر سطح شوری کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک بوته تفاوت معنی داری بین ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی مشاهده

وارد می‌کند. حفظ ساختار غشاء سلولی با استفاده از ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی از راه‌کارهای اصلی در شرایط تنش است (۹). در پژوهش حاضر ساختار غشاء سلولی تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت به طوری که در ژنوتیپ‌هایی که بقای مناسبی نیز داشتند کاهش شدید شاخص پایداری غشاء مشاهده شد. با این وجود در ژنوتیپ MLC12 که بیشترین درصد بقا در سطح تنش شوری 16 dS m^{-1} را داشت از نظر شاخص پایداری غشاء نیز از سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود (جدول ۱ و ۲). بررسی همبستگی بین صفات نیز حاکی از رابطه مثبت و معنی دار بین درصد بقا با شاخص پایداری غشاء در کل سطوح تنش شوری (** $r=0/46$)، سطح تنش 12 dS m^{-1} (** $r=0/57$) و 16 dS m^{-1} (** $r=0/56$) بود (جدول ۳ و ۴).

پژوهش حاضر نشان‌دهنده تفاوت معنی داری بین ژنوتیپ‌های عدس در سطوح مختلف تنش شوری از نظر وزن خشک بوته بود (جدول ۵). در شاهد بیشترین وزن خشک مربوط به ژنوتیپ‌های MLC14 و MLC57 بود. با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به 12 dS m^{-1} و 16 dS m^{-1} در ژنوتیپ MLC14 به ترتیب $2/8$ و $15/2$ برابر و در ژنوتیپ MLC57 از شاهد به 12 dS m^{-1} ، $3/5$ برابر کاهش وزن خشک مشاهده شد و در تیمار 16 dS m^{-1} در این ژنوتیپ بوته‌ها کاملاً از بین رفتند. در سطح تنش شوری 12 dS m^{-1} تفاوت بین کمترین

جدول ۵. تأثیر تنش شوری بر وزن خشک، سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم ژنوتیپ‌های عدس در شرایط کنترل‌شده.

Table 5. Effects of salinity stress on dry weight per plant, Na and Na/K in lentil genotypes under controlled conditions.

ژنوتیپ	وزن خشک (mg plant ⁻¹)			سدیم (mg g DW ⁻¹)			نسبت سدیم به پتاسیم (Na/K)			
	تنش شوری (dS m ⁻¹)			تنش شوری (dS m ⁻¹)			تنش شوری (dS m ⁻¹)			
	0.5	12	16	0.5	12	16	0.5	12	16	
MLC4 ¹	32.0 ^{l-y2}	26.0 ^{n-z}	4.60 ^{x-z}	3.71 ^{v-y}	21.3 ^{n-v}	37.1 ^{e-o}	0.174 ^{u-w}	1.71 ^{h-r}	1.95 ^{g-o}	
MLC5	56.1 ^{f-n}	16.2 ^{q-z}	2.85 ^{vz}	2.98 ^{w-y}	33.0 ^{g-p}	38.8 ^{d-n}	0.136 ^{vw}	2.00 ^{f-o}	2.50 ^{d-h}	
MLC6	55.9 ^{e-n}	24.4 ^{p-z}	9.67 ^{s-z}	3.23 ^{w-y}	29.4 ^{i-q}	41.5 ^{c-k}	0.127 ^{vw}	1.35 ^{t-s}	1.86 ^{g-p}	
MLC12	84.8 ^{a-e}	24.6 ^{p-z}	13.5 ^{r-z}	1.45 ^y	20.7 ^{o-w}	42.0 ^{c-k}	0.046 ^w	0.81 ^{q-w}	1.37 ^{k-s}	
MLC13	55.8 ^{e-o}	44.7 ^{g-q}	21.1 ^{p-z}	2.28 ^y	20.1 ^{o-x}	26.8 ^{k-r}	0.100 ^{vw}	1.07 ^{n-v}	1.75 ^{g-r}	
MLC14	109.0 ^a	37.9 ^{j-u}	7.18 ^{u-z}	1.53 ^y	21.7 ^{m-t}	53.1 ^{b-e}	0.060 ^w	0.81 ^{s-q-w}	2.50 ^{d-h}	
MLC25	48.2 ^{f-p}	32.0 ^{l-y}	8.52 ^{u-z}	3.57 ^{v-y}	33.8 ^{f-p}	45.6 ^{c-i}	0.126 ^{vw}	1.78 ^{g-q}	1.89 ^{g-p}	
MLC26	69.9 ^{b-i}	22.9 ^{p-z}	9.05 ^{t-z}	2.65 ^{xy}	27.8 ^{j-q}	26.1 ^{k-r}	0.084 ^w	1.06 ^{o-v}	1.32 ^{m-t}	
MLC57	98.3 ^{ab}	27.8 ^{m-z}	0.00 ^z	2.79 ^{xy}	49.1 ^{b-g}	53.1 ^{b-e}	0.102 ^{vw}	2.38 ^{d-j}	3.64 ^{a-c}	
MLC73	88.0 ^{a-c}	12.0 ^{f-z}	0.00 ^z	3.66 ^{v-y}	23.5 ^{t-r}	48.0 ^{b-h}	0.116 ^{vw}	2.15 ^{e-m}	3.34 ^{a-d}	
MLC77	70.0 ^{b-i}	39.6 ^{i-t}	7.48 ^{u-z}	1.74 ^y	32.1 ^{g-p}	64.5 ^{ab}	0.060 ^w	1.59 ^{h-s}	2.70 ^{c-g}	
MLC78	91.3 ^{a-c}	24.8 ^{o-z}	4.21 ^{x-z}	9.54 ^{r-y}	23.5 ^{t-r}	57.0 ^{bc}	0.359 ^{t-w}	1.05 ^{o-v}	2.17 ^{e-m}	
MLC81	90.4 ^{a-c}	40.7 ^{i-r}	7.15 ^{u-z}	2.73 ^{xy}	37.1 ^{e-o}	36.0 ^{e-o}	0.135 ^{vw}	1.93 ^{g-o}	2.93 ^{b-f}	
MLC94	65.9 ^{c-j}	33.8 ^{k-x}	0.00 ^z	4.06 ^{t-y}	34.5 ^{f-p}	42.4 ^{c-k}	0.261 ^{u-w}	2.99 ^{b-e}	3.82 ^{ab}	
MLC104	37.2 ^{j-v}	28.7 ^{m-z}	0.00 ^z	13.1 ^{q-y}	26.1 ^{k-r}	31.3 ^{g-p}	0.670 ^{s-w}	2.03 ^{e-n}	2.94 ^{b-f}	
MLC108	40.3 ^{i-s}	29.0 ^{m-z}	0.00 ^z	4.96 ^{t-y}	31.1 ^{h-p}	27.4 ^{j-q}	0.365 ^{t-w}	2.52 ^{d-h}	2.22 ^{e-m}	
MLC109	87.4 ^{a-d}	42.7 ^{h-r}	2.86 ^{vz}	2.42 ^{xy}	44.7 ^{c-j}	53.2 ^{b-e}	0.072 ^w	2.31 ^{e-l}	2.48 ^{d-h}	
MLC117	73.1 ^{b-h}	25.4 ^{n-z}	8.03 ^{u-z}	2.10 ^y	37.1 ^{e-o}	30.9 ^{h-p}	0.068 ^w	1.41 ^{j-s}	1.31 ^{m-t}	
MLC118	36.0 ^{j-w}	14.5 ^{q-z}	5.60 ^{x-z}	3.00 ^{w-y}	22.8 ^{m-s}	25.1 ^{k-r}	0.154 ^{vw}	1.26 ^{m-t}	1.59 ^{h-s}	
MLC120	62.3 ^{c-l}	21.8 ^{p-z}	8.10 ^{u-z}	2.04 ^y	17.8 ^{p-y}	39.0 ^{d-m}	0.075 ^w	0.65 ^{s-w}	1.48 ^{i-s}	
MLC152	76.6 ^{b-f}	29.2 ^{m-z}	8.22 ^{u-z}	2.80 ^{xy}	40.9 ^{c-l}	51.3 ^{b-f}	0.063 ^w	2.33 ^{e-k}	2.39 ^{d-i}	
MLC156	74.4 ^{b-g}	36.8 ^{j-v}	6.68 ^{u-z}	5.76 ^{s-y}	55.5 ^{b-d}	37.8 ^{d-o}	0.144 ^{vw}	3.61 ^{a-c}	4.14 ^a	
MLC178	55.8 ^{e-o}	13.7 ^{r-z}	6.84 ^{u-z}	2.38 ^y	21.5 ^{m-u}	22.9 ^{m-s}	0.353 ^{t-w}	0.81 ^{r-w}	0.93 ^{p-w}	
MLC192	64.1 ^{c-k}	57.5 ^{d-m}	6.33 ^{u-z}	3.71 ^{u-y}	29.4 ^{i-q}	81.1 ^a	0.129 ^{vw}	1.14 ^{n-u}	3.78 ^{ab}	
S.O.V	df	Mean squares			Mean squares			Mean squares		
Block	2	778**			138**			0.285*		
Salinity stress (S)	2	69302**			28097**			92.2**		
Ea	4	1872			31.2			0.335		
Genotypes (G)	23	689**			371**			2.53**		
S × G	46	514**			258**			0.818**		
Eb	138	74.0			24.1			0.072		
CV%	-	25.0			19.3			18.9		

۱- MLC: کلکسیون عدس مشهد، ۲- حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها است، ns: غیرمعنی‌دار و **: معنی‌دار

در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات.

1- MLC: Mashhad Lentil Collection, 2- Different letters indicated a significant difference in the mean comparisons of the interaction of treatments, ns: non-significant and **: Significant at probability level of 1%, CV: Coefficient of variation.

جدول ۶. تاثیر تنش شوری بر سطح تنش شوری کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک بوته (RDWEC50) ژنوتیپ‌های عدس در شرایط کنترل شده.

Table 6. Effects of salinity stress on EC corresponding to 50% reduction in dry weight (RDWEC50) in lentil genotypes under controlled conditions.

ژنوتیپ	RDWEC50	ژنوتیپ	RDWEC50
Genotype		Genotype	
MLC4 ¹	12.0 ^{ab2}	MLC81	9.67 ^{ab}
MLC5	9.33 ^{ab}	MLC94	11.8 ^{ab}
MLC6	9.03 ^{ab}	MLC104	12.4 ^{ab}
MLC12	7.00 ^b	MLC108	13.3 ^a
MLC13	12.4 ^{ab}	MLC109	10.9 ^{ab}
MLC14	8.83 ^{ab}	MLC117	8.37 ^{ab}
MLC25	12.3 ^{ab}	MLC118	9.57 ^{ab}
MLC26	8.20 ^{ab}	MLC120	8.37 ^{ab}
MLC57	9.43 ^{ab}	MLC152	8.70 ^{ab}
MLC73	7.07 ^{ab}	MLC156	9.60 ^{ab}
MLC77	11.3 ^{ab}	MLC178	7.27 ^{ab}
MLC78	8.57 ^{ab}	MLC192	13.5 ^a
S.O.V	df	Mean squares	
Genotype	23	11.8*	
Error	48	5.88	
CV%	71	24.2	

۱- MLC: کلکسیون عدس مشهد، ۲- حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در در مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها است، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات، RDWEC50: سطح تنش شوری کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک بوته.

1- MLC: Mashhad Lentil Collection, 2- Different letters indicated a significant difference in the mean comparisons of the interaction of treatments, *: Significant at probability level of 5%, CV: Coefficient of variation, RDWEC50: EC corresponding to 50% reduction in dry weight.

تجمع‌یافته در گیاه در ژنوتیپ‌های MLC104 و MLC78 و کم‌ترین مقدار سدیم نیز در ژنوتیپ MLC12 مشاهده شد (جدول ۵). با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به 1 dS m^{-1} ، غلظت سدیم به‌شدت افزایش یافت به‌طوری‌که کم‌ترین میزان سدیم در تنش شوری 12 dS m^{-1} نسبت به بیش‌ترین میزان سدیم در شرایط بدون تنش، ۳۶ درصد افزایش داشت. بیش‌ترین میزان افزایش غلظت سدیم با افزایش سطح تنش از شاهد به 12 dS m^{-1} در ژنوتیپ‌های MLC77، MLC109، MLC117 و MLC57 به‌ترتیب با $18/5$ ، $18/4$ ، $17/7$ و $17/6$ برابر افزایش مشاهده شد. کم‌ترین غلظت سدیم در اندام هوایی در تیمار 12 dS m^{-1} در ژنوتیپ MLC120 مشاهده شد؛ از طرفی سه ژنوتیپ MLC156، MLC57 و MLC109 در این تیمار بیش‌ترین جذب سدیم را دارا بودند. با افزایش سطح تنش از 12 به 16 dS m^{-1} ، میزان غلظت سدیم در شش ژنوتیپ MLC26، MLC81، MLC108، MLC117، MLC152 و

شد. میزان تنش شوری کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک بوته در ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی در دامنه ۷ تا $13/5 \text{ dS m}^{-1}$ بود (جدول ۶). در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی، سه ژنوتیپ MLC12، MLC73 و MLC178 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش شوری بوده به گونه‌ای که در تنش شوری حدود 1 dS m^{-1} ۷ پنجاه درصد ماده خشک آن‌ها کاهش یافت. از طرفی در شش ژنوتیپ MLC4، MLC13، MLC25، MLC104، MLC108 و MLC192 در شوری بیش از 12 dS m^{-1} کاهش پنجاه درصد ماده خشک مشاهده شد که توانایی مناسبی در تحمل به تنش شوری داشتند (جدول ۶). بررسی تحمل به شوری ۱۶۲ ژنوتیپ عدس نشان داد که در تمامی ژنوتیپ‌ها تأخیر در جوانه‌زنی بذر و کاهش رشد در شوری $10/97 \text{ dS m}^{-1}$ کلرید سدیم ایجاد شد (۲۰).

اثر برهم‌کنش تنش شوری و ژنوتیپ‌های عدس بر میزان سدیم اندام هوایی معنی‌دار شد. در شاهد بیش‌ترین میزان

اثر برهم‌کنش میان سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های عدس بر نسبت سدیم به پتاسیم معنی‌دار بود (جدول ۵). در شاهد کم‌ترین نسبت سدیم به پتاسیم در ژنوتیپ‌هایی مشاهده شد که دارای کم‌ترین میزان سدیم بودند (ژنوتیپ‌های MLC12، MLC14، MLC77، MLC117 و MLC178) و بیش‌ترین نسبت سدیم به پتاسیم نیز در ژنوتیپ‌هایی که بیش‌ترین میزان سدیم را داشتند، مشاهده شد. با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به ۱۲ و ۱۶ dS m^{-1} نسبت سدیم به پتاسیم افزایش یافت. در سطح تنش شوری ۱۲ dS m^{-1} ژنوتیپ‌های MLC12، MLC14، MLC120 و MLC178 کم‌ترین نسبت سدیم به پتاسیم را داشتند و در سطح تنش شوری ۱۶ dS m^{-1} ژنوتیپ MLC178 کم‌ترین نسبت سدیم به پتاسیم را داشت (جدول ۵). به‌طور کلی نسبت سدیم به پتاسیم در تمام سطوح ارتباط مستقیمی با میزان سدیم موجود در بافت گیاه داشت؛ با افزایش میزان سدیم بافت، نسبت سدیم به پتاسیم کاهش می‌یابد و بالعکس (جدول ۵). بنابراین کم‌تر بودن این نسبت نشان‌دهنده جذب کم‌تر سدیم و افزایش جذب پتاسیم خواهد بود. از طرفی با توجه به کاهش غلظت پتاسیم با افزایش سطح تنش شوری، می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که در ژنوتیپ‌هایی که نسبت سدیم به پتاسیم کم‌تری دارند میزان جذب سدیم کم‌تر بوده است. تأثیر منفی افزایش غلظت سدیم با افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در همبستگی منفی بین درصد بقای گیاه و برگ با نسبت سدیم به پتاسیم مشاهده شد (جدول ۳ و ۴).

برهم‌کنش بین تنش شوری و ژنوتیپ‌های عدس حاکی از تفاوت معنی‌داری از نظر میزان کلسیم اندام هوایی بود. میزان کلسیم در ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شاهد از تنوع زیادی برخوردار بود به‌طوری‌که از ۱۱۵ (MLC4) تا ۱۹۷ (MLC13) میلی‌گرم در گرم ماده خشک متغیر بود (جدول ۷).

واکنش ژنوتیپ‌ها به افزایش شدت تنش شوری از لحاظ میزان کلسیم متفاوت بود. با افزایش سطح تنش شوری در برخی از ژنوتیپ‌ها شاهد کاهش و در برخی دیگر افزایش میزان کلسیم مشاهده شد. واکنش ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف

به‌ترتیب ۷، ۳، ۱۴، ۲۰، ۵ و ۸ درصد کاهش یافت و در ژنوتیپ‌های MLC12، MLC14، MLC73، MLC77، MLC78، MLC120 و MLC192 به‌ترتیب ۷/۵۹، ۱/۵۹، ۱/۵۱، ۲/۵۰، ۷/۵۸، ۹/۵۲ و ۶/۶۳ درصد افزایش یافت (جدول ۵). همبستگی بین صفات حاکی از رابطه منفی معنی‌دار بین غلظت سدیم و درصد بقای گیاه ($r = -0/46^*$) و درصد بقای برگ ($r = -0/47^*$) بود (جدول ۳ و ۴). تجمع سدیم در گیاه، سبب افزایش نسبت یون‌های سدیم به پتاسیم و کلسیم، اشغال شدن مکان‌های کلسیمی توسط سدیم در سلول‌ها، کاهش جذب آب و مواد غذایی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش ورود دی‌اکسید کربن، تخریب کلروفیل، اختلال در عملکرد آنزیم‌ها، کاهش فتوسنتز، کاهش رشد برگ و گسترش ریشه‌ها و در نهایت منجر به مرگ سلولی می‌شود (۱ و ۱۸).

اثر تنش شوری و ژنوتیپ‌های عدس بر غلظت پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار بود. با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به ۱۲ و ۱۶ dS m^{-1} ، غلظت پتاسیم اندام هوایی به‌ترتیب ۳۰ و ۳۵ درصد کاهش یافت (جدول ۷). در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی چهار ژنوتیپ MLC12، MLC178، MLC117 و MLC120 دارای بیش‌ترین غلظت پتاسیم در اندام هوایی بودند. برخلاف سدیم، پتاسیم همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد بقای گیاه ($r = 0/66^{***}$) و درصد بقای برگ ($r = 0/61^{***}$) داشت (جدول ۳ و ۴). تجمع زیاد یون سدیم در سلول‌ها، سبب کاهش پتانسیل اسمزی، بروز سمیت یونی، اختلال در عملکرد پتاسیم و فعالیت‌های روزنه‌ای می‌شود. یکی از استراتژی‌های مؤثر برای کاهش آثار منفی تنش شوری بیان ژن CED-9 است که از طریق فعالیت آنزیم‌های نوکلئاز، پروتئاز و کسپاز سبب افزایش تجمع و حفظ یون‌های پتاسیم در سیتوپلاسم می‌شود (۳). همچنین گیاهان مقاوم از طریق انتقال یون‌های سدیم و کلرید به شاخسارهای گیاه و تجمع آن‌ها در واکوئل سبب افزایش نسبت یون‌های پتاسیم به سدیم در سیتوزول می‌شوند. به عبارتی گیاهان مقاوم به تنش قادرند نسبت پتاسیم به سدیم را در سطح بالاتری حفظ کنند (۲۲).

جدول ۷. میزان پتاسیم در ژنوتیپ‌های عدس و میزان کلسیم تحت تأثیر تنش شوری و ژنوتیپ‌های عدس در شرایط کنترل شده.

Table 7. Potassium (K) content in lentil genotype and effects of salinity stress and lentil genotypes on calcium (Ca) under controlled conditions.

ژنوتیپ	پتاسیم K (mg g DW ⁻¹)	کلسیم Ca (mg g DW ⁻¹)		
		تنش شوری (dS m ⁻¹)		
Genotype		0.5	12	16
MLC4 ¹	18.0 ^{e-h2}	115 ^{a-e}	97.8 ^{a-i}	115 ^{a-e}
MLC5	18.2 ^{e-h}	98.9 ^{a-h}	145 ^{a-i}	98.9 ^{a-h}
MLC6	23.5 ^{a-f}	57.4 ^{f-s}	74.3 ^{c-p}	22.6 ^{o-s}
MLC12	28.7 ^{ab}	41.7 ^{h-s}	10.8 ^s	117 ^{a-e}
MLC13	20.8 ^{b-h}	19.7 ^{p-s}	13.6 ^{rs}	24.5 ^{n-s}
MLC14	25.2 ^{a-e}	22.7 ^{o-s}	11.1 ^s	21.4 ^{o-s}
MLC25	23.9 ^{a-f}	64.2 ^{d-s}	91.3 ^{a-j}	112 ^{a-f}
MLC26	26.0 ^{a-e}	40.7 ^{i-s}	73.5 ^{c-q}	86.6 ^{b-l}
MLC57	21.2 ^{b-g}	27.3 ^{m-s}	21.3 ^{o-s}	15.1 ^{rs}
MLC73	19.7 ^{c-h}	74.1 ^{c-q}	69.8 ^{d-r}	83.2 ^{b-m}
MLC77	24.5 ^{a-f}	54.4 ^{g-s}	77.8 ^{c-o}	24.5 ^{n-s}
MLC78	26.2 ^{a-e}	26.0 ^{m-s}	73.8 ^{c-q}	105 ^{a-g}
MLC81	19.0 ^{d-h}	37.0 ^{j-s}	11.9 ^{rs}	20.4 ^{o-s}
MLC94	12.7 ^h	87.2 ^{b-k}	108 ^{a-g}	38.1 ^{j-s}
MLC104	14.2 ^{gh}	65.9 ^{d-s}	17.1 ^{p-s}	110 ^{a-g}
MLC108	12.8 ^{gh}	104 ^{a-g}	17.2 ^{p-s}	137 ^{ab}
MLC109	25.5 ^{a-e}	69.8 ^{d-r}	34.3 ^{j-s}	13.7 ^{rs}
MLC117	28.1 ^{a-c}	30.3 ^{k-s}	16.4 ^{q-s}	98.0 ^{a-i}
MLC118	18.6 ^{e-h}	96.4 ^{a-i}	128 ^{a-c}	121 ^{a-d}
MLC120	27.1 ^{a-d}	53.8 ^{g-s}	62.5 ^{e-s}	83.4 ^{b-m}
MLC152	17.9 ^{e-h}	29.4 ^{l-s}	116 ^{a-e}	81.5 ^{b-n}
MLC156	16.1 ^{f-h}	23.6 ^{n-s}	36.4 ^{j-s}	12.3 ^{rs}
MLC178	29.8 ^a	45.8 ^{h-s}	16.4 ^{q-s}	56.4 ^{f-s}
MLC192	25.4 ^{a-e}	67.4 ^{d-s}	23.5 ^{o-s}	17.8 ^{p-s}
S.O.V	df	Mean squares	Mean squares	
Block	2	27.5 ^{ns}	310 ^{ns}	
Salinity stress (S)	2	981 ^{**}	2947 ^{**}	
Ea	4	31.2	849	
Genotypes (G)	23	230 ^{**}	7923 ^{**}	
S × G	46	31.2 ^{ns}	2740 ^{**}	
Eb	138	21.9	257	
CV%	-	21.4	26.7	

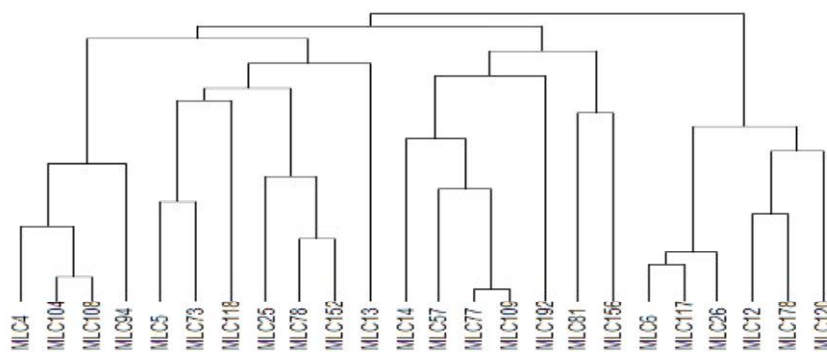
۱- MLC: Mashhad Lentil Collection, ۲- حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها است، ns: غیرمعنی‌دار و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات.

1- MLC: Mashhad Lentil Collection, 2- Different letters indicated a significant difference in the mean comparisons of the interaction of treatments, ns: non-significant and **: Significant at probability level of 1%, CV: Coefficient of variation.

(جدول ۷). بررسی همبستگی بین صفات حاکی از رابطه غیرمعنی‌دار بین درصد بقای گیاه و برگ با کلسیم اندام هوایی بود (جدول ۳ و ۴).

گیاهان مقاوم به شوری از راه‌کارهای مختلفی برای افزایش

تنش شوری نیز یکسان نبود؛ به‌طور مثال در ژنوتیپ MLC108 با افزایش سطح تنش به 12 dS m^{-1} ، غلظت کلسیم در اندام هوایی شش برابر کم‌تر از شاهد بود و با افزایش شوری به 16 dS m^{-1} ، غلظت کلسیم نسبت به شاهد 30% درصد افزایش یافت



شکل ۱. گروه‌بندی خوشه‌ای ژنوتیپ‌های عدس بر اساس صفات مورد بررسی تحت شرایط کنترل‌شده.

Fig. 1. Cluster grouping of lentil genotypes based on the studied traits under controlled conditions.

MLC: Mashhad Lentil Collection. کلکسیون عدس مشهد.

ژنوتیپ‌های گروه اول در بیش‌تر صفات مورد بررسی از جمله تعداد شاخه، تعداد و بقای برگ، شاخص پایداری غشاء و میزان پتاسیم موجود در اندام‌های هوایی بود. همچنین ژنوتیپ‌های گروه دوم از ارتفاع، اختلاف ارتفاع بوته پیش و پس از تنش، وزن خشک و سدیم بیش‌تری نسبت به میانگین کل و سایر گروه‌ها برخوردار بودند. به عبارتی نتایج نشان‌دهنده برتری نسبی ژنوتیپ‌های متعلق به دو گروه‌های اول و دوم از لحاظ صفات مورفولوژیک بود (جدول ۸).

نتایج حاصل از آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و ترسیم بای‌پلات نشان داد که مؤلفه اول ۳۹/۴ درصد از تغییرات صفات شامل درصد بقا، شاخص پایداری غشاء و درصد بقای برگ بود. مؤلفه دوم نیز ارتفاع نهایی بوته، اختلاف ارتفاع بوته پیش و پس از تنش، تعداد شاخه، وزن خشک و میزان پتاسیم را با ۲۶/۳ درصد توضیح می‌دهد (شکل ۲). در واقع بعد اول نمودار ویژگی‌های بقا و پایداری غشاء در برابر تنش و بعد دوم بیش‌تر ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه را در بر دارد. بررسی آزمون PCA همراه با نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که تمام ژنوتیپ‌های موجود در گروه‌های اول به همراه دو ژنوتیپ MLC14 و MLC81 از گروه دوم در دو بعد تجزیه به مؤلفه‌های اصلی قرار دارند. با توجه به این نتایج می‌توان عنوان کرد که این ژنوتیپ‌ها قادر به حفظ بقای خود در شرایط تنش شوری بوده و از درصد بقا و ویژگی‌های رشدی مناسب‌تری

تحمل به تنش استفاده می‌کنند. یکی از این موارد، فعال شدن مسیر SOS (فوق حساس به شوری) است. این مسیر از سه جزء اصلی SOS1، SOS2، و SOS3 تشکیل شده است. پس از درک تنش توسط سلول، میزان کلسیم سیتوزولی افزایش می‌یابد. کلسیم از طریق پیوند با EF-hand در SOS3 یا ScaBP8/CBL10 سبب فعال شدن این پروتئین‌ها می‌شود. سپس پروتئین‌های حس‌کننده کلسیم در ترکیب با SOS2 سبب فعال شدن مسیر SOS1 می‌شوند. SOS1 به‌عنوان آنتی‌پورتر Na/H در غشای پلاسمایی عمل کرده و سبب حذف سدیم از سیتوپلاسم و جایگذاری آن‌ها در واکوئل می‌شود. در نهایت بیان این سه مسیر در کنار یکدیگر، سبب افزایش مقاومت به تنش شوری می‌شود. به عبارتی کلسیم از طریق شرکت در انتقال پیام تنش، سبب کاهش اثر سمیت سدیم و همچنین حذف گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده در اثر تنش شوری شده و به این طریق سبب افزایش تحمل تنش می‌شود (۸ و ۱۳).

نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی عدس نشان‌دهنده قرارگیری آن‌ها در چهار گروه مجزا بود. به ترتیب ۶، ۷، ۴ و ۷ ژنوتیپ در گروه‌های اول تا چهارم قرار گرفتند (شکل ۱). مقایسه میانگین گروه‌ها با میانگین کل نشان داد که تنها درصد بقا در ژنوتیپ‌های متعلق به گروه اول نسبت به میانگین کل برتری داشت. به‌طور کلی نتایج نشان‌دهنده برتری نسبی

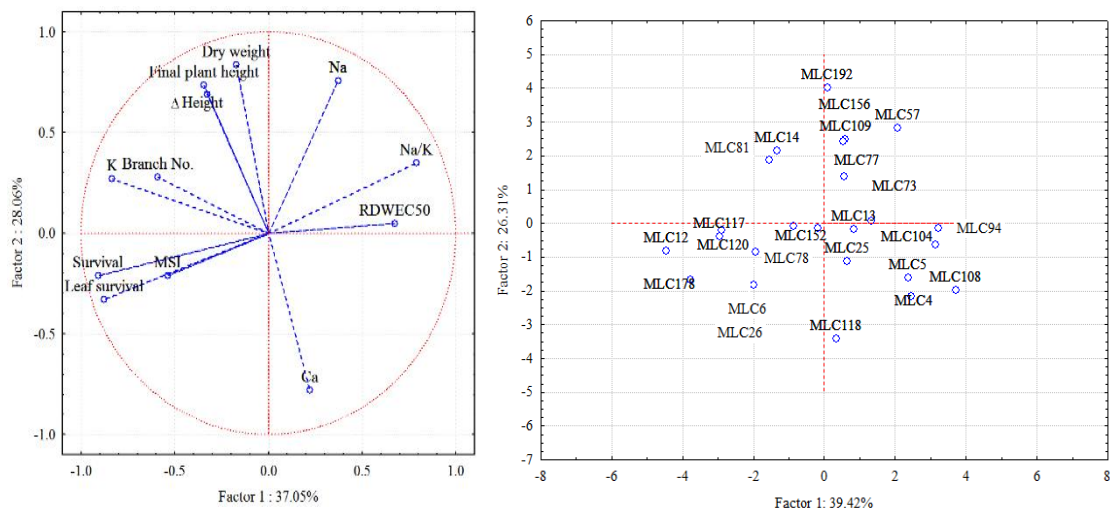
جدول ۸. میانگین و انحراف از میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های عدس تحت شرایط کنترل شده.

Table 8. Mean and deviation from mean of groups in cluster analysis for traits in lentil genotypes under controlled conditions.

ژنوتیپ Genotypes	گروه Group							
	1		2		3		4	
	MLC120, MLC178, MLC12, MLC26, MLC117, MLC6		MLC156, MLC81, MLC192, LC109, MLC77, MLC57, MLC14		MLC5, MLC73, MLC118, MLC25, MLC78, MLC152, MLC13		MLC4, MLC104, MLC108, MLC94	
صفات Traits	میانگین گروه	اختلاف از میانگین	میانگین گروه	اختلاف از میانگین	میانگین گروه	اختلاف از میانگین	میانگین گروه	اختلاف از میانگین
	Group mean	Deviation from mean	Group mean	Deviation from mean	Group mean	Deviation from mean	Group mean	Deviation from mean
Survival (%)	62.870	13.736	44.667	-4.468	47.730	-1.404	38.806	-10.329
Plant height (cm)	14.080	0.529	15.457	1.907	12.187	-1.363	11.806	-1.745
ΔHeight (cm)	4.801	0.457	5.486	1.142	3.364	-0.980	3.375	-0.969
Branch number	3.290	0.395	3.079	0.184	2.777	-0.117	2.185	-0.710
Leaf survival (%)	89.796	17.282	64.079	-8.435	72.540	0.026	61.306	-11.208
MSI (%)	25.685	4.588	18.651	-2.446	18.778	-2.319	22.556	1.458
Dry weight (mg plant ⁻¹)	32.815	-1.644	43.603	9.145	32.238	-2.220	24.806	-9.653
RDWEC50	8.039	-1.918	10.462	0.505	9.705	-0.252	12.392	2.435
Na (mg g DW ⁻¹)	20.512	-4.971	32.503	7.021	24.091	-1.391	23.087	-2.396
K (mg g DW ⁻¹)	27.194	5.398	22.419	0.622	20.753	-1.044	14.438	-7.359
Na/K	0.824	-0.589	1.755	0.342	1.352	-0.060	1.804	0.391
Ca (mg g DW ⁻¹)	54.878	-5.108	30.660	-29.325	79.675	19.689	84.511	24.525

MLC: کلکسیون عدس مشهد، ΔHeight: اختلاف ارتفاع بوته پیش و پس از اعمال تنش، RDWEC50: شوری کاهش ۵۰ درصد وزن خشک، MSI: شاخص پایداری غشاء.

MLC: Mashhad Lentil Collection, ΔHeight: Plant height difference between before and after the stress application, RDWEC50: EC corresponding to 50% reduction in dry weight, MSI: Membrane stability index.



شکل ۲. نمودار بای پلات بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم.

Fig. 2. Biplot based on two major principal component factors.

MLC: Mashhad Lentil Collection; مLC: کلکسیون عدس مشهد.

مؤلفه‌های اصلی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های متعلق به گروه چهارم در بیش تر صفات مورد بررسی از میانگین پایین تری در مقایسه با میانگین کل برخوردار بودند و بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز در هیچ کدام از دو بُعد نمودار بای پلات قرار نگرفتند. نتایج نشان‌دهنده برتری نسبی تمام ژنوتیپ‌های متعلق به گروه اول (MLC120، MLC178، MLC12، MLC26، MLC117 و MLC6) در بیش تر صفات نسبت به میانگین کل بود. همچنین میزان سدیم کمتر و میزان پتاسیم بیشتر در این ژنوتیپ‌ها در مقایسه با میانگین کل نیز می‌تواند نشان‌دهنده توانایی بیش تر آن‌ها در کاهش آثار منفی تنش باشد. با توجه به اجرای این پژوهش در شرایط کنترل شده و اهمیت میزان عملکرد دانه در کنار تحمل شوری، بررسی تحمل به شوری این ژنوتیپ‌ها در شرایط مزرعه پیشنهاد می‌شود.

در مواجهه با تنش برخوردارند؛ بنابراین از این ویژگی‌ها می‌توان در به‌گزینی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری عدس استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ صفات مورفولوژیک و درصد بقا بود. در تمامی سطوح تنش شوری، کاهش رشد و تولید ماده خشک مشاهده شد. به‌جز ژنوتیپ‌های MLC94، MLC73، MLC57، MLC104 و MLC108، سایر ژنوتیپ‌ها قادر به تحمل شوری 16 dS m^{-1} بودند. ژنوتیپ‌های MLC26، MLC12، MLC6، MLC117، MLC120 و MLC178 از گروه اول همراه با دو ژنوتیپ MLC14 و MLC81 از گروه دوم و دو ژنوتیپ MLC78 و MLC152 از گروه سوم در دو بُعد تجزیه به

منابع مورد استفاده

- Ahanger, M. A., Agarwal, R. M., 2017. Salinity stress induced alterations in antioxidant metabolism and nitrogen assimilation in wheat (*Triticum aestivum* L) as influenced by potassium supplementation. *Plant Physiology and Biochemistry* 115: 449–460.
- Ahmadi, F. I., Karimi, K., Struik, P. C., 2018. Effect of exogenous application of methyl jasmonate on physiological and biochemical characteristics of *Brassica napus* L. cv. Talaye under salinity stress. *South African Journal of Botany* 115: 5–11.
- Demidchik, V., Cuin, T. A., Svistunenko, D., Smith, S. J., Miller, A. J., Shabala, S., Sokolik, A., Yurin, V., 2010. Arabidopsis root K^+ -efflux conductance activated by hydroxyl radicals: Single-channel properties, genetic basis and involvement in stress-induced cell death. *Journal of Cell Science* 123(9): 1468–1479.
- Gaafar, R. M., Seyam, M. M., 2018. Ascorbate–glutathione cycle confers salt tolerance in Egyptian lentil cultivars. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 24(6): 1083–1092.
- Hoagland, D.R., Arnon. D.I., 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular p. 337.
- Hussain, S., Bai, Z., Huang, J., Cao, X., Zhu, L., Zhu, C., Khaskheli, M. A., Zhong, C., Jin, Q., Zhang, J., 2019. 1-methylcyclopropene modulates physiological, biochemical, and antioxidant responses of rice to different salt stress levels. *Frontiers in Plant Science* 10(124): 1–18.
- Hussain, S., Zhong, Ch., Bai, Zh., Cao, X., Zhu, L., Hussain, A., Zhu, Ch., Fahad, Sh., Bohr James, A., Zhang, J., Jin, Q., 2018. Effects of 1-Methylcyclopropene on rice growth characteristics and superior and inferior spikelet development under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 37: 1368–1384.
- Ji, H., Pardo, J. M., Batelli, G., Van Oosten, M. J., Bressan, R. A., Li, X., 2013. The Salt Overly Sensitive (SOS) pathway: established and emerging roles. *Molecular Plant* 6(2): 275–286.
- Koca, H., Bor, M., Ozdemir, F., Turkan, I., 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 60: 344–351.
- Kumawat, K. R., Gothwal, D. K., 2018. Genetic variability for seedling characters in lentil under salinity stress. *Electronic Journal of Plant Breeding* 9(4): 1295–1302.
- Kumawat, K. R., Gothwal, D. K., Singh, D., 2017. Salinity tolerance of lentil genotypes based on stress tolerance indices. *Journal Pharmacogn Phytochem* 6(4): 1368–1372.
- Loic, V., Laurent, B., Etienne-Pascal, J., Eric, J., 2018. Yield gap analysis extended to marketable grain reveals the profitability of organic lentil-spring wheat intercrops. *Agronomy for Sustainable Development* 38(4): 1–12.
- Mallahi, T., Saharkhiz, M. J., Javanmardi, J., 2018. Salicylic acid changes morpho-physiological attributes of

- feverfew (*Tanacetum parthenium* L.) under salinity stress. *Acta Ecologica Sinica* 38(5): 351–355.
14. Muscolo, A., Calderaro, A., Papalia, T., Settineri, G., Mallamaci, C., Panuccio, M. R., 2020. Soil salinity improves nutritional and health promoting compounds in three varieties of lentil (*Lens culinaris* Med.). *Food Bioscience* 35: 100571.
15. Ouji, A., El-Bok, S., Mouelhi, M., Younes, M. B., Kharrat, M., 2015. Effect of salinity stress on germination of five Tunisian lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes. *European Scientific Journal* 11(21): 63–75.
16. Premachandra, G.S., Saneoka, H., Kanaya, M., Ogata, S., 1991. Cell membrane stability and leaf surface wax content as affected by increasing water deficits in maize. *Journal of Experimental Botany* 42(2): 167–171.
17. Rameshwaran, P., Qadir, M., Ragab, R., Arslan, A., Majid, G. A., Abdallah, K., 2016. Tolerance of faba bean, chickpea and lentil to salinity: accessions' salinity response functions. *Irrigation and Drainage* 65(1): 49–60.
18. Sapre, S., Gontia-Mishra, I., Tiwari, S., 2018. *Klebsiella* sp. confers enhanced tolerance to salinity and plant growth promotion in oat seedlings (*Avena sativa*). *Microbiological Research* 206: 25–32.
19. Sehgal, A., Sita, K., Rehman, A., Farooq, M., Kumar, S., Yadav, R., Nayyar, H., Singh, S., Siddique, K. H., 2021. Lentil. In: In: Sadras, V., Calderini, D. (Eds.), *Crop Physiology Case Histories for Major Crops*. Academic Press, pp. 408–428.
20. Singh, D., Singh, C. K., Kumari, S., Singh Tomar, R. S., Karwa, S., Singh, R., Pal, M., 2017. Discerning morpho-anatomical, physiological and molecular multiformity in cultivated and wild genotypes of lentil with reconciliation to salinity stress. *Plos One* 12(5): e0177465.
21. Tandon, H.L.S., 1995. *Methods of analysis of soils, plants, water and fertilizers*. FDCO, New Delhi.
22. Wakeel, A., Farooq, M., Qadir, M., Schubert, S., 2011. Potassium substitution by sodium in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30(40): 401–413.



Evaluation of Response of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Genotypes to Salinity Stress under Controlled Conditions

J. Nabati^{1*}, M. Goldani², M. Mohammadi², S.M. Mirmiran³ and A. Asadi²

(Received: 6 November 2021; Accepted: 8 January 2021)

Abstract

Salinity tolerant of 24 lentil genotypes was investigated in a split-plot based on a randomized complete blocks design with three replications. Salinity levels (0.5, 12, and 16 dS m⁻¹) were arranged as the main plot and lentil genotypes as the subplot. Results indicated that salinity levels of 12 and 16 dS m⁻¹ reduced the survival percentage of all genotypes compared to control. MLC57, MLC73, MLC94, MLC104, and MLC108 genotypes were not able to tolerate the 16 dS m⁻¹ salinity level. Morphological traits were affected by salinity stress as plant height, number of branches per plant, dry weight, and leaf survival percentage in most genotypes were decreased. Compared to control, the lowest reductions of plant height, number of branches per plant, plant dry weight, and leaf survival percentage were observed at salinity level of 16 dS m⁻¹ in MLC13, MLC120, MLC4, and MLC12 genotypes, respectively. Also the lowest increase in Na⁺ (5.5 times) and the highest increase in Ca²⁺ (4 times) were observed at salinity level of 16 dS m⁻¹, in MLC108 and MLC78, respectively. In other words, these genotypes were able to reduce the adverse effects of increased NaCl in higher salinity levels. Principal component analysis (PCA) showed that all genotypes of the first group (MLC6, MLC12, MLC26, MLC117, MLC120, and MLC178) were superior for most traits as compared to the total mean. Generally, it could be concluded that this group of genotypes has a better survival percentage and growth characteristics in salinity conditions, which may be used to select salinity tolerant lentil genotypes in subsequent studies.

Keywords: Leaf survival, Membrane stability index, Principal component analysis, Sodium, Survival percentage.

Background and Objective: Salinity of soil and water is one of the problems in arid and semiarid areas because it affects growth and productivity of plants due to ionic toxicity, oxidative and osmotic stresses (1). Plant response to salinity stress depends on the stress severity, plant species, and even genotype. Salinity stress also has adverse effects on physiological and morphological traits of the plants (2). Different accessions of a plant species may also use different mechanisms to cope with salinity stress and complete their life cycle. Therefore, identifying the mechanism of salt-tolerant plants is necessary to select plants for high salinity conditions. It is possible to use the saline more efficiently by cultivating tolerant plants in saline

1- Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad.

2- Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

3- Khorasan-e-Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

* Corresponding Author, Email: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir

soils. Still, complex physiological and genetic processes control salt tolerance, and understanding these mechanisms is essential to improve yield in saline soils. Reducing the effect of salinity by soil and water management methods is very costly; so, breeding salinity tolerant plants has been the most appropriate and effective strategy for sustainable yield in the salt-affected areas (3). This study was conducted to select salinity tolerant lentil genotypes in controlled conditions because of reducing the quality of water resources, increasing saline lands and the beneficial environmental impacts of legumes, especially lentils.

Methods: This study was carried out in the greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad in 2019. The experiment was arranged as a split plot based on a randomized complete blocks design with three replications. A total of 24 salt tolerant lentil genotypes, selected from previous studies, were evaluated at two levels of salinity (12 and 16 dS m⁻¹) and compared to the control (0.5 dS m⁻¹). Lentil seeds were prepared from the seed bank of Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad. One week after planting, salt stress treatments were applied. Plants were grown hydroponically in sand culture and Hoagland solution was used for plant nutrition. Recycling system was used for irrigation. Nutrient solution was replaced weekly, and the electrical conductivity (EC) of solution was daily adjusted. Plant height was recorded before and four weeks after imposing salinity stress treatments. Number of branches per plant, survival percentage of plants, leaf survival percentage, membrane stability index, Na⁺, K⁺, and Ca²⁺ were measured four weeks after the application of salinity stress treatments.

Results: Salinity levels of 12 and 16 dS m⁻¹ reduced plant survival percentage in all genotypes compared to the control. Results indicated that MLC57, MLC73, MLC94, MLC104, and MLC108 genotypes were not able to tolerate the salinity level of 16 dS m⁻¹. Salinity decreased morphological traits such as plant height, number of branches per plant, dry weight and leaf survival percentage in most genotypes. The lowest reductions of plant height, number of branches per plant, plant dry weight and leaf survival percentage were observed in 16 dS m⁻¹ for MLC13, MLC120, MLC4 and MLC12, respectively. The lowest increase in Na⁺ (5.5 times) and the highest increase in Ca⁺⁺ (4 times) were observed by increasing salinity to 16 dS m⁻¹ in MLC108 and MLC78, respectively. In other words, these genotypes were able to reduce the adverse effects of increased salinity. Principal component analysis (PCA) showed that the first component explained 39.4% of the variation for survival percentage, membrane stability index, and leaf survival percentage and the second component explained 26.3% of the changes in plant height, number of branches per plant, dry weight, K⁺ content and the difference in plant height before and after imposing stress. Results of PCA and cluster analysis showed that all genotypes in the first group (MLC6, MLC12, MLC26, MLC117, MLC120, and MLC178) were in the first dimension of the PCA and had high survival percentage and membrane stability index. Also, these genotypes had lower Na⁺ content and higher K⁺ content compared to other groups and total mean.

Conclusions: It was found that the first genotypic group (MLC6, MLC12, MLC26, MLC117, MLC120, and MLC178) had better survival percentage and growth characteristics in salinity conditions which may be used to select salinity tolerant lentil genotypes in subsequent studies.

References:

1. Gaafar, R. M., Seyam, M. M., 2018. Ascorbate–glutathione cycle confers salt tolerance in Egyptian lentil cultivars. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 24(6): 1083–1092.
2. Kumawat, K. R., Gothwal, D. K., 2018. Genetic variability for seedling characters in lentil under salinity stress. *Electronic Journal of Plant Breeding* 9(4): 1295–1302.
3. Singh, D., Singh, C. K., Kumari, S., Singh Tomar, R. S., Karwa, S., Singh, R., Pal, M., 2017. Discerning morpho-anatomical, physiological and molecular multiformity in cultivated and wild genotypes of lentil with reconciliation to salinity stress. *Plos One* 12(5): e0177465.