نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۲۸۳-۲۹۸
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2019.16640.2527

تغییرات عملکرد، خصوصیات رویشی، فیزیولوژیکی و زیست– شیمیایی توت‌فرنگی رقم آروماس (Aromas) تحت‌تأثیر هدایت الکتریکی محلول غذایی ناشی از کلرید سدیم

اختر یوسفی[۱]، ناصر قادری[۲] و *جلال خورشیدی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران،
[۲]دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، مرکز پژوهشی به‌نژادی و به‌زراعی توت‌فرنگی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران،
[۳]استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: اغلب مناطق ایران خشک و نیمه‌خشک بوده و آب آبیاری در این مناطق دارای هدایت الکتریکی بالا بوده و اکثراً شور می‌باشند. اصلاح آب و خاک‌های شور فرآیندی هزینه‌بر و زمان‌بر بوده و عملاً امکان‌پذیر نیست. بنابراین ارزیابی میزان تحمل گونه‌ها و ارقام مختلف گیاهی به شوری جهت کشت در این مناطق امری ضروری است. توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* Dusch.) از ریزمیوه‌هایی است که به‌واسطه ترکیبات مغذی فراوان و طعم و مزه مطلوبی که دارد، تقاضای بالایی در بازار دارد. این ریزمیوه دارای ارقام مختلف با میزان عملکرد و حساسیت‌های متفاوت به تنش‌ها می‌باشد. بنابراین در این پژوهش میزان حساسیت توت‌فرنگی رقم آروماس به سطوح مختلف هدایت الکتریکی محلول غذایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی تأثیر سطوح مختلف هدایت الکتریکی محلول غذایی بر عملکرد و خصوصیات رویشی، فیزیولوژیکی و زیست- شیمیایی توت‌فرنگی رقم آروماس، آزمایشی به‌صورت گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی در مرکز پژوهشی به‌نژادی و به‌زراعی توت‌فرنگی دانشگاه کردستان اجرا گردید. بستر کشت کوکوپیت و پرلیت با نسبت مساوی و محلول غذایی مورد استفاده، هوگلند تغییر یافته بود. سطوح مختلف هدایت الکتریکی محلول غذایی (۰/۷، ۲، ۳، ٤ و ٥ دسی‌زیمنس بر متر) با اضافه کردن کلرید سدیم به آن آماده گردید. برای ارزیابی‌های فیزیولوژیک و زیست- شیمیایی از نمونه‌های برگی فریز شده استفاده گردید. سپس در انتهای دوره آزمایش خصوصیات عملکردی بوته‌ها اندازه‌گیری شد و داده‌های به‌دست توسط نرم‌افزار SAS آنالیز شده و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD انجام شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار هدایت الکتریکی محلول غذایی بر تمام صفات اندازه‌گیری‌شده بود. بیش‌ترین میانگین تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک برگ، حجم ریشه، وزن خشک ریشه، تعداد طوقه، وزن خشک طوقه، وزن خشک کل بوته، تعداد میوه، وزن تک‌میوه و عملکرد کل میوه متعلق به بوته‌های آبیاری شده با محلول غذایی با هدایت الکتریکی ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود و با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، از میزان صفات یادشده کاسته شد. هم‌چنین بیش‌ترین

* مسئول مکاتبه: j.khorshidi@uok.ac.ir

محتوی نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء سلولی، پروتئین‌های محلول کل، کلروفیل و کاروتنوئید و پتاسیم برگ متعلق به بوته‌های تیمار ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. در حالی‌که بیش‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول کل، پرولین، پراکسید هیدروژن، میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، مالون دی‌آلدهید و سدیم برگ در بوته‌هایی مشاهده شد که محلول غذایی با هدایت الکتریکی ۵ دسی‌زیمنس بر متر را دریافت نموده بودند. شیب کاهش عملکرد، ٤۹/۰۲ به‌ازای افزایش هر واحد هدایت الکتریکی محلول غذایی به‌دست آمد و آستانه تحمل به شوری این رقم بر اساس عملکرد میوه و ماده خشک کل، کم‌تر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود.

نتیجه‌گیری: براساس یافته‌های پژوهش حاضر، توت‌فرنگی رقم آروماس به‌شدت تحت‌تأثیر هدایت الکتریکی محلول غذایی قرار گرفت و خصوصیات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیک، زیست- شیمیایی و عملکردی آن به‌طور معنی‌داری تغییر یافتند. براساس مشاهدات، به‌نظر می‌رسد رقم آروماس توانایی تحمل هدایت الکتریکی بالای محلول غذایی را نداشته و باید برای دست‌یابی به عملکرد مطلوب این رقم، از محلول‌های غذایی با هدایت الکتریکی کم‌تر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، پرولین، ریزمیوه، شوری، کربوهیدرات، وزن میوه

مقدمه

آب‌های با هدایت الکتریکی بالا اغلب دارای غلظت‌های بالایی از یون‌های سدیم و کلر بوده و شور می‌باشند، بنابراین اغلب عکس‌العمل گیاهان به آب‌های با هدایت الکتریکی بالا مشابه با واکنش آن‌ها به آب‌های شور می‌باشد (۳٤). مناطق خشک و نیمه‌خشک اغلب دارای آب‌هایی با هدایت الکتریکی بالا بوده و از آن‌جائی‌که بیش از ۵۰ درصد سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در ایران، در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شداند، بنابراین این مناطق و گیاهان کشت شده در آن‌ها به‌شدت با مشکل شوری آب و خاک مواجه هستند (٤۹). اصلاح خاک‌های شور با هدایت الکتریکی بالا فرآیندی هزینه‌بر و در خیلی از موارد غیرعملی بوده و بنابراین کشت و کار در این خاک‌ها مستلزم انتخاب گونه‌ها و ارقام گیاهی متحمل و یا مقاوم به تنش شوری می‌باشد. ارزیابی و تعیین آستانه تحمل تنش گونه‌ها و ارقام مختلف گیاهی ما را در تعیین مناسب‌ترین شرایط جهت کشت و کار آن‌ها یاری می‌نماید. گیاهان مختلف دارای درجات مختلفی از حساسیت به هدایت الکتریکی بالا (تنش شوری) بوده و پاسخ‌های متفاوتی به آن نشان می‌دهند که از جمله آن‌ها می‌توان به تغییرات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیک، زیست- شیمیایی و عملکردی اشاره کرد (۵۳). شوری بالای آب با ایجاد تنش خشکی ثانویه موجب کاهش باز شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد و عملکرد نهایی گیاه می‌گردد. همچنین در سطوح بالای شوری، میزان در دسترس بودن، توزیع و انتقال یون‌ها کاهش یافته و نیز تعادل یونی بهم خورده که همین امر منجر به بروز تنش اکسیداتیو در گیاه شده و در نهایت موجب تخریب ترکیبات سلولی و بروز علائمی هم‌چون کلروز، نکروز و کاهش رشد و عملکرد گیاه خواهد شد (۳۷). هدایت الکتریکی نه تنها بر رشد و عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد، بلکه با تأثیر بر جذب عناصر مختلف، بر کیفیت محصول نیز تأثیرگذار خواهد بود که میزان این تأثیرپذیری بسته به گونه و رقم گیاهی متفاوت می‌باشد (۵۱). توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* Dusch.) از ریزمیوه‌های عامه‌پسندی است که به‌واسطه داشتن عناصر معدنی، اسیدهای آلی، ویتامین‌ها، ترکیبات فنولی و

کربوهیدرات‌های مختلف ارزش غذایی بالایی داشته و کشت و کار آن روز به روز در حال افزایش است. براساس آمارنامه جهاد کشاورزی، میزان تولید توت‌فرنگی ایران در سال زراعی ۱۳۹۵ حدود ٦٦/٥ هزار تن بوده که ۲۲ هزار تن آن در گلخانه و مابقی در مزرعه تولید می‌گردد (۲). یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده کشت و کار توت‌فرنگی، حساسیت نسبتاً بالای آن به هدایت الکتریکی بالا است که البته میزان این حساسیت بسته به نوع رقم متفاوت می‌باشد. نتایج مطالعات نشان داده که توت‌فرنگی در هدایت الکتریکی بالای ۱ دسی‌زیمنس بر متر دچار اُفت عملکرد شده و به‌ازای افزایش هر ۱ دسی‌زیمنس بر متر هدایت الکتریکی، حدود ۳۳ درصد عملکرد آن کاهش می‌یابد (۲۷). در پژوهشی میزان حساسیت ارقام "آلبیون[1]"، "بنیسیا[2]"، "مونتری[3]"، "سان آندریاس[4]" و "ونتانا[5]" به سطوح مختلف هدایت الکتریکی ۰/۷ (شاهد)، ۱، ۱/۵ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر ناشی از کلرید سدیم و کلرید کلسیم مورد ارزیابی قرار گرفته و گزارش شده که تمام ارقام مذکور با افزایش هدایت الکتریکی دچار اُفت عملکرد شدند ولی میزان کاهش عملکرد ارقام مورد مطالعه در سطوح مختلف هدایت الکتریکی متفاوت بود (۲۱). در بین این ارقام، رقم آلبیون کم‌ترین کاهش عملکرد را داشت (۳۸/۲ درصد) و متحمل‌ترین رقم به هدایت الکتریکی بالا شناخته شد و رقم ونتانا با بیش‌ترین کاهش عملکرد (٦٢/٦ درصد)، حساس‌ترین رقم به هدایت الکتریکی بالا گزارش گردید. افزایش هدایت الکتریکی موجب افزایش غلظت یون کلر در تمام بافت‌های ارقام مورد مطالعه گردید ولی یون سدیم تنها در ریشه و دمبرگ افزایش یافت (۲۱). کیوتجن و پاولزیک (۲۰۰۷) تأثیر سطوح مختلف شوری (صفر، ٤٠ و ۸۰ میلی‌مولار) ناشی از کلرید سدیم را بر عملکرد و برخی ویژگی‌های کیفی دو رقم "کورونا[6]" و "السانتا[7]" ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که حساسیت رقم السانتا به شوری بیش‌تر از رقم کرونا بود و هر دو رقم مورد مطالعه با افزایش سطح شوری دچار اُفت عملکرد شدند ولی این کاهش عملکرد معنی‌دار نبود. بیش‌ترین میزان یون‌های سدیم و کلر برگ در شوری ۸۰ میلی‌مولار مشاهده گردید (٤٠). ارزیابی تأثیر سطوح مختلف شوری (۰، ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ٤٥ میلی‌مولار کلرید سدیم) بر عملکرد و ویژگی‌های زیست- شیمیایی رقم "کاماروزا[8]" نشان داد که رقم مذکور به‌شدت تحت‌تأثیر شوری بود و کم‌ترین عملکرد، وزن تک‌میوه و تعداد میوه را در بالاترین سطح شوری تولید نمود. بین سطوح صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری از لحاظ عملکرد و وزن تک‌میوه مشاهده نگردید ولی با افزایش سطح شوری به ۳۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری از لحاظ صفات مورد بررسی با سطوح پائین‌تر ایجاد گردید. هم‌چنین شوری باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ و کلروفیل و افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول و پروتئین برگ گردید (١٦). کاهش تعداد میوه، عملکرد نهایی، سطح برگ، تعداد برگ و وزن تر و خشک گیاه رقم "سلوا[9]" (٦٠)، کاهش محتوی نسبی آب برگ ارقام "فرن[10]" و "A6" (۳۸)، کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی، طول و حجم ریشه و تعداد برگ رقم "پاروس[11]" (٥٠) و کاهش وزن تر و خشک میوه و طول میوه رقم "کاماروزا" (۷۱) نیز تحت‌تأثیر افزایش هدایت الکتریکی

1- Albion
2 - Benicia
3- Monterey
4- Sun Andreas
5- Ventana
6- Korona
7- Elsanta
8- Camarosa
9- Selva
10- Feren
11- Paros

(شوری) گزارش شده است. تأثیر سطوح مختلف شوری ناشی از کلرید سدیم (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر ترکیب یونی توت‌فرنگی رقم "کاماروزا" نشان داده که شوری موجب تغییر ترکیب یونی برگ‌ها و میوه‌ها شده و بیش‌ترین میزان یون‌های سدیم، کلر، کلسیم و منیزیم اندام‌های هوایی در بالاترین سطح شوری مشاهده گردید، در حالی‌که بیش‌ترین میزان یون‌های پتاسیم و فسفر در پائین‌ترین سطح شوری مشاهده شد (٦٨). در گزارش دیگری نیز تغییر توزیع و ترکیب یونی اندام‌های هوایی و زمینی ارقام "السانتا"، "مارمولادا[1]" و "میراندا[2]" توت‌فرنگی تحت‌تأثیر سطوح مختلف شوری گزارش شده است (۱۰).

همان‌طور که در مطالعات پیشین نیز آمده است، ارقام مختلف توت‌فرنگی واکنش‌های متفاوتی به سطوح مختلف هدایت الکتریکی (شوری) نشان داده و تغییرات ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عملکردی، زیست- شیمیایی و کیفی میوه بسته به عامل ایجادکننده شوری، غلظت آن، مدت زمان تیمار، نوع بستر کشت و نیز نوع رقم کشت شده می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین در مطالعه حاضر تأثیر سطوح مختلف هدایت الکتریکی محلول غذایی ناشی از کلرید سدیم (۰/۷، ۲، ۳، ٤ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر) بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عملکردی، فیزیولوژیکی و زیست- شیمیایی توت‌فرنگی رقم "آروماس[3]" در شرایط کشت بدون خاک مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه کردستان با مختصات جغرافیایی ″٤٥ ′٥٩ °٤٦ شرقی و ″١٥ ′١٦ °٣٥ شمالی انجام گرفت. گیاهان در تابستان ۱۳۹۵ کشت شدند و تا اواخر خرداد ۱۳۹٦ رشد و نمو آن‌ها ادامه یافت. گلخانه مورد استفاده برای نگهداری بوته‌ها دارای دمای روزانه ۲۵-۲۰ و دمای شبانه ۱۸-۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵-۵۵ درصد بود. نور طبیعی خورشید منبع نوری مورد استفاده بوته‌ها بود. رقم مورد استفاده در این پژوهش رقم آروماس بود که از کلکسیون مرکز پژوهشی به‌نژادی و به‌زراعی توت‌فرنگی موجود در دانشگاه کردستان تهیه گردید. آروماس رقمی روزخنثی، با میوه درشت، مخروطی، سفت و بسیار براق و دارای عملکرد بالا بوده و مقاوم به فیتوفترا، سفیدک پودری و پوسیدگی طوقه ناشی از آنتراکنوز می‌باشد (۲۸). آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. هر تکرار شامل چهار گلدان با حجم ۱/۵ لیتر بود و در هر گلدان یک نشاء توت‌فرنگی کشت گردید. بستر کشت گلدان‌ها، کوکوپیت و پرلیت به نسبت مساوی بود. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف هدایت الکتریکی محلول غذایی (۰/۷، ۲، ۳، ٤ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر) بود که توسط غلظت‌های مختلف کلرید سدیم ایجاد گردید.

در ابتدای آزمایش به‌منظور استقرار کامل نشاءها، آبیاری توسط محلول غذایی با هدایت الکتریکی ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر انجام گرفت. پس از یک ماه از کشت، آبیاری نشاءهای هر تیمار سه مرتبه در هفته با ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول غذایی هوگلند تغییر یافته حاوی غلظت‌های مختلف کلرید سدیم متناسب با هر تیمار، انجام گرفت. براساس پیش آزمایش انجام شده، مشخص گردید که هر دو روز دادن ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول غذایی سطح بستر را در شرایط مطلوب رطوبتی حفظ می‌کند. در واقع در روز محلول‌دهی دوباره، رطوبت گلدان‌ها حدود ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود. برای جلوگیری از تجمع نمک در اطراف ریشه، از ابتدا تا انتهای آزمایش، هر هفته بسترهای

1- Marmolada
2- Miranda
3- Aromas

کشت هر گلدان با ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مورد شستشو قرار گرفتند، چرا که اگر آبشویی انجام نمی‌شد، املاح زیادی در اطراف ریشه‌ها تجمع پیدا کرده و هدایت الکتریکی خیلی بیش‌تر از هدایت الکتریکی موردنظر خواهد شد. یک مرتبه آبشویی بستر کشت تأثیری بر احیای بوته‌ها نداشت، چرا که بوته‌ها بلافاصله بعد از آبشویی دوباره محلول‌های موردنظر را دریافت نموده و سطح هدایت الکتریکی موردنظر در اطراف ریشه‌ها ایجاد شد. در پاییز و زمستان ۱۳۹۵ گیاهان در گلخانه سرد (بدون منبع حرارتی) نگهداری شدند. در این مدت اضافه کردن محلول غذایی به یک بار در هفته کاهش یافت. از بهمن ۱۳۹۵ به بعد محلول‌دهی گیاهان براساس تیمارهای مذکور سه بار در هفته ادامه یافت. در بهار سال ۱۳۹٦ نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری‌های زیست- شیمیایی و فیزیولوژیکی انجام گرفت. همچنین عملکرد گیاه از مجموع میوه برداشت‌شده در اسفند ۱۳۹۵ تا خرداد ۱۳۹٦ تعیین شد. بعد از اتمام آزمایش، بوته‌ها به‌طور کامل از گلدان‌ها خارج شده و خصوصیات رویشی آن‌ها تعیین گردید.

به‌منظور ارزیابی‌های فیزیولوژیک و زیست- شیمیایی، نمونه‌های برگی از بوته‌های هر تیمار در زمان اوج میوه‌دهی تهیه گردید و در فریزر با دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. محتوی نسبی آب برگ[1] مطابق روش گالمز و همکاران (۲۲)، شاخص پایداری غشاء سلولی[2] براساس روش سایرام و همکاران (۵۸)، میزان کربوهیدرات محلول کل برگ مطابق روش ایریگوین و همکاران (۳۳)، محتوی پرولین برگ براساس روش باتس و همکاران (۷)، پروتئین محلول کل برگ مطابق با روش برادفورد (۱۱)، میزان پراکسید هیدروژن مطابق روش آلکسیوا و همکاران (۳)، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس روش همدا و کلین (۳۱)، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مطابق روش بیر و فرودویچ (۹)، محتوی مالون دی آلدهید بر اساس روش لی (٤٦)، محتوی کلروفیل کل و نیز میزان کاروتنوئید براساس روش لیچتنتالر و بوسچمن (٤٧) و میزان سدیم و پتاسیم برگ مطابق روش جونس (۳٦) اندازه‌گیری شدند.

پس از اتمام دوره آزمایش، عملکرد کل میوه و تعداد میوه در هر بوته، میانگین وزن میوه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک برگ، تعداد طوقه، وزن خشک طوقه، طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک ریشه و وزن ماده خشک کل بوته‌های هر تیمار اندازه‌گیری شدند. هم‌چنین شاخص تحمل به شوری (STI) به روش شابالا و همکاران (٦۲) به‌دست آمد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه آماری آن‌ها به کمک نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

صفات ریخت‌شناسی و عملکردی: نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار هدایت الکتریکی محلول غذایی بر تمام صفات ریخت‌شناسی اندازه‌گیری‌شده بود (جدول ۱). بیش‌ترین میانگین تعداد برگ (۸۱/٦۷)، سطح برگ (۱۰۰۲/٦ سانتی‌مترمربع)، وزن خشک برگ (۵/۷۹ گرم)، حجم ریشه (۱۳٦/٦۷ سانتی‌مترمکعب)، وزن خشک ریشه (۸/۲ گرم)، تعداد طوقه (۷/۳۳)، وزن خشک طوقه (۱۰/۹۲ گرم)، وزن خشک کل بوته (۲٦/۸۲ گرم)، تعداد میوه (٤۰/۵۷) و عملکرد کل میوه (۳٤۷/۳ گرم) متعلق به بوته‌های آبیاری‌شده با محلول غذایی با هدایت الکتریکی ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود و با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، از میزان خصوصیات مذکور کاسته شد، طوری‌که کم‌ترین تعداد، سطح و وزن خشک برگ،

1- Relative Water Content (RWC)
2- Membrane Stability Index (MSI)

طول، حجم و وزن خشک ریشه، تعداد و وزن خشک طوقه، وزن خشک بوته، تعداد و عملکرد کل میوه، در تیمار با بالاترین میزان هدایت الکتریکی (۵ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده گردید (جدول ۱). البته از لحاظ تعداد برگ، وزن خشک ریشه و تعداد طوقه، بین تیمارهای ۰/۷ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی به ۳ دسی‌زیمنس بر متر و بالاتر، کاهش معنی‌داری در صفات مذکور مشاهده گردید. هم‌چنین افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی از ۰/۷ تا ۳ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر میزان وزن خشک برگ نداشت ولی با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی به بیش‌تر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر، کاهش معنی‌داری در وزن خشک برگ مشاهده شد (جدول ۱).

شیب کاهش عملکرد میوه در رابطه با تغییرات هدایت الکتریکی محلول غذایی، ٤۹/۰۲ به‌ازای هر واحد افزایش هدایت الکتریکی به‌دست آمد. شیب کاهش ماده خشک کل در رابطه با تغییرات هدایت الکتریکی از ۰/۷ تا ۲ دسی‌زیمنس بر متر، ۱/۹٤ و از ۲ تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر، ۵/۷۱ بود. بر اساس عملکرد میوه و ماده خشک کل، به‌نظر می‌رسد که آستانه تحمل هدایت الکتریکی رقم آروماس کم‌تر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر باشد، که البته برای تعیین دقیق آن باید فواصل بین سطوح هدایت الکتریکی محلول غذایی کم‌تر از فواصل به‌کار رفته در مطالعه حاضر باشد.

گزارش‌ها نشان داده که شوری موجب تحریک تولید ۱- آمینو سیکلوپروپان - ۱- اسید کربوکسیلیک (ACC) و نیز تبدیل این ترکیب به اتیلن شده که در نهایت موجب تحریک ریزش برگ می‌شود (۳۵). هم‌چنین شوری با تأثیر بر افزایش تولید و تجمع اسید آبسیزیک و کاهش میزان ایندول اسید استیک و سیتوکینین باعث پیری و ریزش برگ‌ها می‌شود (۲٤) و همین امر می‌تواند یکی از دلایل کاهش تعداد و وزن خشک برگ بوته‌ها در اثر افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی باشد. در شرایطی که گیاه تحت‌تأثیر سطوح بالای شوری قرار می‌گیرد، بخش زیادی از انرژی خود را صرف حفظ حالت طبیعی سلول‌ها و نگهداشتن بازده فتوسنتز در سطح بالا نموده و بنابراین انرژی کمی برای رشد گیاه باقی می‌ماند و همین امر موجب کاهش تعداد و وزن خشک برگ‌های آن می‌گردد (۵۵). در این پژوهش با افزایش هدایت الکتریکی (افزایش سطح شوری) محلول غذایی، سطح برگ به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. کاهش سطح برگ سریع‌ترین واکنش گیاهان به تنش شوری است (۵۱). کاهش تاج پوشش گیاه در شرایط مواجه شدن گیاه با تنش شوری یک سازوکار اجتناب بوده که موجب کاهش تلفات آب گیاه از طریق تعرق می‌گردد (۵۷). تحت شرایط شوری، فشار تورژسانس و سرعت فتوسنتز سلول‌های برگ کاهش یافته که در نهایت منجر به کاهش سطح کل برگ می‌گردد (۵۵). کاهش تعداد و سطح برگ تحت‌تأثیر افزایش سطح شوری محلول غذایی در ارقام پاروس و کردستان (۷۰) و السانتا و کرونا (٤۱) نیز گزارش شده است. طبیعی است که با کاهش تعداد و سطح برگ در اثر افزایش هدایت الکتریکی، ظرفیت فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها کاهش یافته و گیاه از اندوخته خود استفاده کرده و رشد آن کاهش می‌یابد. بنابراین تحت این شرایط رشد زایشی، وزن میوه و عملکرد نهایی نیز تحت‌تأثیر قرار خواهند گرفت (۱).

بر خلاف سایر صفات ریخت‌شناسی، بیش‌ترین طول ریشه (۲۰/۳ سانتی‌متر) در تیمار ۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید و بین سایر تیمارها از لحاظ صفت مذکور اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). پژوهش‌ها نشان داده که گیاه در شرایط تنش شوری، سطح ریشه‌های خود را جهت نگهداری و

جلوگیری از انتقال یون‌های سمی به اندام‌های هوایی و هم‌چنین افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی، توسعه می‌دهد (۱۲). البته شوری بیش از حد با تأثیر منفی بر جذب آب و عناصر غذایی، فتوسنتز، فعالیت هورمون‌ها، آنزیم‌های گیاهی و نیز سوخت و ساز گیاه موجب کاهش رشد ریشه می‌گردد (۲۶). به‌نظر می‌رسد شوری از طریق کاهش میزان فتوسنتز در اندام‌های هوایی، تحریک ریزش و کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش منبع تولید آسمیلات‌ها منجر به کاهش رشد ریشه می‌گردد. کاهش طول و حجم ریشه تحت‌تأثیر افزایش شوری محلول غذایی در توت‌فرنگی ارقام پاروس و کردستان نیز گزارش شده است (۷۰).

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات ریخت‌شناسی و عملکردی توت‌فرنگی رقم آروماس تحت‌تأثیر هدایت الکتریکی محلول غذایی.

Table 1. Mean comparison of morphological and functional traits in *Fragaria ananassa* Dusch. cv. Aromas as affected by electrical conductivity of nutrient solution.

۵ دسی‌زیمنس بر متر 5 dS/m	۴ دسی‌زیمنس بر متر 4 dS/m	۳ دسی‌زیمنس بر متر 3 dS/m	۲ دسی‌زیمنس بر متر 2 dS/m	۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر 0.7 dS/m	
7.33 c	47.00 b	54.00 b	75.67 a	81.67 a	تعداد برگ Number of leaf
73.9 e	481.2 d	557.3 c	909.3 b	1002.6 a	سطح برگ (سانتی‌مترمربع) Leaf area (cm^2)
0.71 c	3.79 b	5.05 a	5.73 a	5.79 a	وزن خشک برگ (گرم) Leaf dry weight (g)
15.3 b	17.0 b	16.0 b	20.3 a	17.0 b	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)
46.67 c	70.00 c	96.67 b	106.67 b	136.67 a	حجم ریشه (سانتی‌مترمکعب) Root volume (cm^3)
2.41 d	5.10 c	6.08 b	7.57 a	8.20 a	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)
1.00 d	4.67 bc	3.67 c	6.00 ab	7.33 a	تعداد طوقه Number of crown
3.43 e	5.51 d	7.51 c	9.25 b	10.92 a	وزن خشک طوقه (گرم) Crown dry weight (g)
6.69 e	15.43 d	19.79 c	24.29 b	26.82 a	وزن خشک کل بوته (گرم) Dry weight of total plant (g)
24.90d	57.58c	74.01b	90.75a	-	شاخص تحمل به شوری (درصد) Salt tolerance index (%)
19.42 d	24.50 c	25.75 c	35.17 b	40.57 a	تعداد میوه Number of fruit
7.14 c	7.49 c	7.92 b	8.06 b	8.56 a	وزن تک میوه (گرم) Single fruit weight (g)
138.49 e	183.47 d	203.86 c	283.67 b	347.32 a	عملکرد کل میوه (گرم) Total yield of fruit (g)

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ردیف، براساس آزمون LSD، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

Means with the same letters in each row are not significantly different at 5 % probability level based on LSD's test.

صفات فیزیولوژیک و زیست- شیمیایی

محتوی نسبی آب برگ: بیش‌ترین محتوی نسبی آب برگ (۷۹/٦ درصد) متعلق به برگ بوته‌های تیمار ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود و با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، محتوی نسبی آب برگ بوته‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (جدول ۲). افزایش سطح شوری محلول غذایی موجب افزایش فشار اسمزی آن و به دنبال آن کاهش جذب محلول غذایی توسط ریشه و کاهش فشار تورژسانس سلول‌های گیاه و در نهایت پائین آمدن محتوی نسبی آب برگ می‌گردد (۵۲). مقادیر بالای سدیم محلول غذایی باعث افزایش مقاومت بستر کشت در برابر جذب محلول غذایی و کاهش جریان آن به داخل ریشه از طریق کاهش هدایت هیدرولیکی محلول غذایی می‌گردد و به دنبال آن میزان آب برگ‌ها نیز کاهش پیدا خواهد کرد (٥٤). هدایت هیدرولیکی ریشه گیاهان در واکنش به محتوی نمک محلول غذایی مورد استفاده در تغذیه تحت‌تأثیر قرار گرفته و میزان آن در گیاهان تغذیه شده با محلول‌های غذایی با میزان نمک بالا به‌شدت کاهش می‌یابد (٦٤). بنابراین با افزایش سطح شوری محلول غذایی و بالا رفتن هدایت الکتریکی آن، جذب محلول غذایی توسط ریشه کاهش یافته و به‌دنبال آن میزان آب برگ‌ها نیز کاهش می‌یابد.

شاخص پایداری غشاء سلولی: شاخص پایداری غشاء سلولی با افزایش سطح شوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، طوری‌که بیش‌ترین میزان آن (۸۲/۱ درصد) متعلق به تیمار ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود که با تیمار ۲ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). براساس این نتایج به‌نظر می‌رسد که به‌ازای هر واحد افزایش در هدایت الکتریکی محلول غذایی حدوداً به میزان ۷ درصد شاخص پایداری غشاء سلولی کاهش یافته است. نتایج مطالعات متعددی بیانگر این مهم است که تحت شرایط تنش شوری، رادیکال‌های سوپراکسید و پراکسید هیدروژن در اندامک‌های مختلف سلول از جمله کلروپلاست، میتوکندری و فضای آپوپلاست سلولی تجمع پیدا کرده و موجب افزایش تعدادی از فرایندهای اکسایشی از جمله پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب غشاء سلول می‌گردند (۱). تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن تحت شرایط تنشی افزایش پیدا کرده و همین امر موجب پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلولی و بنابراین ایجاد ناپایداری و افزایش نفوذپذیری غشاء می‌گردد.

محتوی مالون دی‌آلدهید: نتایج نشان داد که با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، میزان مالون دی‌آلدهید نیز افزایش یافت، طوری‌که بیش‌ترین مقدار آن (۷٦/۸۲ نانومول در گرم وزن تازه برگ) در تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر و کم‌ترین میزان آن (٦۰/٤٥ نانومول در گرم وزن تازه برگ) در تیمار ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید (جدول ۲). میزان مالون دی آلدهید در تیمارهای ۲، ۳، ٤ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر (به‌ترتیب ٦۳/۷، ٦۸/۲، ۷۵/۳۵ و ۷٦/۸۲ نانومول در گرم وزن تر برگ) به‌ترتیب ۵/٤، ۱۲/۹، ۲٤/۷و ۲۷ درصد در مقایسه با شاهد (٦۰/٤٥ نانومول در گرم وزن تر برگ) افزایش یافت. افزایش محتوی مالون دی آلدهید با افزایش سطح شوری محلول غذایی تأییدکننده کاهش پایداری غشاء سلول تحت‌تأثیر افزایش سطح شوری است، زیرا با افزایش سطح شوری محلول غذایی و متعاقباً افزایش پراکسیداسیون لیپیدی، تخریب غشاء سلول و بنابراین کاهش پایداری آن، نشت یونی غشاء افزایش یافته و میزان مالون دی آلدهید تراوش یافته به فضای بین سلولی افزایش پیدا خواهد کرد (۵۹).

میزان کربوهیدرات، پروتئین و پرولین محلول برگ: میزان کربوهیدرات‌های محلول کل برگ نیز با افزایش

هدایت الکتریکی محلول غذایی افزایش نشان داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان آن (۲۱/٤٤ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید. مشابه با کربوهیدرات‌های محلول کل، میزان پرولین نیز همسو با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار آن (۰/۷۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) متعلق به تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۲). میزان پروتئین‌های محلول کل برگ بر خلاف میزان کربوهیدرات‌های محلول کل، با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی در اثر افزایش سطح شوری، کاهش یافت، طوری‌که بیش‌ترین میزان پروتئین‌های محلول کل برگ (۰/۷۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) متعلق به تیمار شاهد (۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر) بود و کم‌ترین مقدار آن (۰/۵۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) به تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت (جدول ۲).

در شرایط تنش شوری، جهت افزایش فشار اسمزی سلول‌های برگ و کمک به جذب آب بیش‌تر توسط آن‌ها، میزان تولید و تجمع یکسری ترکیبات به‌نام اسمولیت‌ها در داخل سلول‌های برگ به‌ویژه سلول‌های نگهبان روزنه افزایش پیدا می‌کند. از جمله این ترکیبات می‌توان به کربوهیدرات‌ها، ترکیبات نیتروژنی (پروتئین، گلوتامات، پرولین، پوترسین، آسپارات، گاما آمینو اسید بوتیریک) و اسیدهای آلی (مالات و اگزالات) اشاره کرد (٤٤). کربوهیدرات‌ها به‌عنوان اسمولیت‌های ایجادکننده سازگاری تحت شرایط تنشی، نقش مهمی در افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش ایفاء می‌کنند (۵۱). تجزیه و تبدیل کربوهیدرات‌های نامحلول به کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش، یکی دیگر از دلایل افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول تحت شرایط تنش است (۱۸). پرولین به‌عنوان یک اسمولیت سازگارکننده گیاه به شرایط تنشی، در تنظیم پیام‌رسانی (۳۰)، تنظیم اسمزی، تثبیت‌کننده غشاءهای سلولی و پروتئین‌ها و مهارکننده رادیکال‌های آزاد (٤۵)، بازدارنده پراکسیداسیون لیپیدها (٦۷) و حفاظت از دستگاه فتوسنتزی (٦) نقش ایفاء می‌کند. افزایش تولید و تجمع پرولین در اثر افزایش غلظت شوری در پژوهش‌های دیگر بر روی ارقام توت‌فرنگی کردستان و پاروس (۷۰) نیز گزارش شده است. یکی از مهم‌ترین عناصر دخیل در سنتز پروتئین‌ها، پتاسیم است. جذب سدیم و پتاسیم با هم در رقابت بوده و بنابراین در غلظت‌های بالای سدیم محلول غذایی، جذب پتاسیم کاهش یافته و همین امر می‌تواند یکی از دلایل کاهش میزان پروتئین‌های محلول برگ در غلظت‌های بالای شوری محلول غذایی باشد (٦٦). شوری با جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های گلوتامین سنتتاز و گلوتامات سنتتاز می‌تواند موجب کاهش سنتز پروتئین‌ها گردد (٤۲). همچنین گزارش شده که در شرایط تنشی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولید می‌گردند که میل ترکیبی بالایی با پروتئین‌ها دارند و موجب اکسید شدن آن‌ها می‌گردند (۳۹).

میزان سدیم و پتاسیم برگ: با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، جذب سدیم افزایش و جذب پتاسیم کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان سدیم (۱۳/۷ میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ) و کم‌ترین میزان پتاسیم (۱۷/۱ میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ) در برگ بوته‌های تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید (جدول ۲). کاهش میزان پتاسیم برگ در اثر افزایش سطح شوری محلول غذایی، می‌تواند به این صورت توجیه شود که شباهت دو کاتیون سدیم و پتاسیم در اندازه شعاع هیدراته و رقابت برای ورود به داخل سلول، پروتئین‌های انتقال‌دهنده آن‌ها را در تشخیص دچار اشتباه نموده و

بنابراین سدیم از طریق ناقل‌های با تمایل کم نسبت به جذب پتاسیم به راحتی وارد سلول شده و به این ترتیب جذب پتاسیم توسط گیاه در محیط‌های شور کاهش می‌یابد. از طرفی دیگر سدیم با ورود به فضای آپوپلاستی و جایگزینی با کلسیم، منجر به تخریب غشاء سلول و ایجاد اختلال در جذب انتخابی برخی یون‌ها می‌گردد (۵). از دلایل دیگر کاهش جذب پتاسیم در محیط‌های با مقادیر بالای سدیم، می‌توان به مسدود شدن کانال‌های واردکننده پتاسیم توسط سدیم و همچنین افزایش نشت پتاسیم از طریق کانال‌های خارج‌کننده پتاسیم اشاره نمود (٦١).

محتوی رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید برگ: میزان کلروفیل با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی تا ٤ دسی‌زیمنس بر متر روند کاهشی نشان داد ولی افزایش بیش‌تر هدایت الکتریکی تغییر معنی‌داری در میزان آن ایجاد نکرد. میزان کاهش کلروفیل کل به‌ترتیب ۱۰/۸، ۳۳/۱٦ و ۳۸/۲۲ به‌ترتیب در ۲، ۳ و ٤ دسی‌زیمنس بر متر بود. در مورد کاروتنوئید نیز افزایش هدایت الکتریکی از ۰/۷ تا ۳ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار این رنگیزه گردید ولی با افزایش هدایت الکتریکی به ٤ دسی‌زیمنس بر متر و بالاتر، تغییر معنی‌داری در میزان این رنگیزه مشاهده نگردید. بیش‌ترین میزان هر دو رنگیزه کلروفیل (۱/٤۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید (۰/۳۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) متعلق به بوته‌های تیمار شاهد (۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر) بود (جدول ۲). شوری در کوتاه‌مدت با تأثیر بر میزان باز شدن روزنه‌ها، روی فتوسنتز و آسیمیلاسیون کربن تأثیر می‌گذارد ولی در درازمدت، تجمع شوری در برگ‌های جوان از طریق کاهش محتوی کلروفیل و کاروتنوئیدها، بر فرآیندهای فتوسنتزی، زنجیره انتقال الکترون و چرخه کلوین تأثیر می‌گذارد (۱۷). در شرایط شوری، جذب یون‌های ایجادکننده شوری موجب ایجاد سمیت سلولی و آسیب به اندامک‌های سلول به‌ویژه کلروپلاست‌ها می‌گردد و بنابراین تولید و تجمع کلروفیل تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (۱). گزارش شده که تولید اتیلن تحت شرایط تنش شوری، از سنتز کلروفیل ممانعت می‌کند (٦۳). آسیب به کلروپلاست سلول‌های برگ، تغییر در تعداد و اندازه کلروپلاست‌ها و نیز کاهش توسعه و تکامل تیلاکوئیدها و گراناهای سلولی و طبیعتاً تولید و تجمع رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید از اثرات آبیاری با آب‌های شور است (۳۲). تجمع سدیم ناشی از شوری در بافت‌های فتوسنتزی می‌تواند ترکیبات فتوسنتزی مانند آنزیم‌ها، کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها را تحت‌تأثیر قرار دهد (۱٤). کاهش محتوی کلروفیل تحت‌تأثیر تنش شوری در توت‌فرنگی رقم کاماروزا نیز گزارش شده است (۲۳).

محتوی پراکسید هیدروژن و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپر اکسیددیسموتاز: با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، میزان پراکسید هیدروژن و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپر اکسیددیسموتاز افزایش نشان دادند، طوری‌که بیش‌ترین میزان پراکسید هیدروژن (۹٤/۲٦ میکرومول در گرم وزن تر برگ) و بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (۰/٤۱ واحد در میلی‌گرم پروتئین) و سوپر اکسیددیسموتاز (۲/۲٤ واحد در میلی‌گرم پروتئین) در بوته‌هایی مشاهده گردید که با محلول غذایی با بالاترین هدایت الکتریکی (۵ دسی‌زیمنس بر متر) آبیاری شده بودند (جدول ۲). مواجه شدن گیاهان با تنش شوری، موجب افزایش تولید ROSها می‌گردد (٦۹). در شرایط تنش شوری، سیستم انتقال الکترون کلروپلاست و میتوکندری آسیب‌دیده و تنفس نوری افزایش یافته و در نهایت تولید ROSها افزایش می‌یابد (٦۵).

پراکسید هیدروژن یکی از ROSها بوده که توسط سوپر اکسید دیسموتاز تولید می‌گردد (۱۹). با کاهش هدایت روزنه‌ای تحت شرایط تنش شوری، غلظت درونی دی‌اکسیدکربن در برگ کاهش یافته، چرخه کلوین مختل شده، تنفس نوری تحریک می‌گردد و به‌دنبال آن تولید پراکسید هیدروژن در پراکسی‌زوم افزایش می‌یابد (۲۵). افزایش میزان پراکسید هیدروژن تحت‌تأثیر تنش شوری در مطالعات دیگر بر روی گیاهان کلزا (۲۹)، گندم (۲۰) و توت‌فرنگی (۲۳ و ۷۰) نیز گزارش شده است. یکی از سازوکارهای مقابله با رادیکال‌های آزاد اکسیژن، فعال شدن آنزیم‌ها و افزایش تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان می‌باشد (٥٦). هرچه میزان فعالیت آنزیم‌های ضداکسایشی در گیاه بیش‌تر باشد، مقاومت گیاه در برابر تنش بیش‌تر خواهد بود، با این‌حال گفته شده که تحمل به شوری همیشه وابسته به فعالیت بالاتر آنزیم‌های ضداکسایشی نمی‌باشد (٤٣). سوپراکسید دیسموتاز نخستین سد دفاعی در برابر اثرات سمی ناشی از ROSها بوده و در مقاومت گیاهان به تنش‌های اکسیداتیو نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. تبدیل O_2^- به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی که گام مهمی در محافظت از سلول است، توسط سوپر اکسید دیسموتاز کاتالیز می‌گردد (۵۳). برخی مطالعات افزایش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز تحت تنش شوری را گزارش نموده‌اند (٤١) و برخی دیگر کاهش فعالیت آنزیم مذکور تحت شرایط شوری را گزارش کرده‌اند (۱۵). به‌نظر می‌رسد که کاهش یا افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز تحت تنش شوری، بسته به گونه گیاهی، سن آن و همچنین میزان غلظت شوری متغیر باشد (۱۳). افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌عنوان یک عامل کلیدی جهت حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی عنوان شده است (٤٨). این آنزیم با از بین بردن پراکسید هیدروژن تولید شده تحت شرایط تنشی، موجب کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش می‌گردد (۷۰). افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تنش شوری در گیاهان سورگوم (۸) و کلزا (٤) نیز گزارش شده است که تأییدکننده نتایج پژوهش حاضر است.

نتیجه‌گیری کلی

سطوح مختلف هدایت الکتریکی محلول غذایی توانست تأثیر به‌سزایی بر صفات ریخت‌شناسی، عملکردی، فیزیولوژیک و زیست- شیمیایی توت‌فرنگی رقم آروماس بگذارد. هر چند که رقم مذکور با اعمال یکسری تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک سعی در تحمل شرایط تنش ایجاد شده و گذر از این شرایط را داشت، ولی عملکرد آن به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر قرار گرفته و کاهش یافت. نتایج نشان داد که به‌ازای هر واحد افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی تا ٤ دسی‌زیمنس بر متر به‌میزان ١٦ درصد شاخص تحمل به شوری کاهش یافت و با افزایش هدایت الکتریکی از ٤ به ٥ دسی‌زیمنس بر متر این کاهش به دو برابر (۳۲ درصد) افزایش یافت. شیب کاهش عملکرد، ٤٩/٠٢ به‌ازای افزایش هر واحد هدایت الکتریکی محلول غذایی به‌دست آمد و آستانه تحمل به شوری این رقم بر اساس عملکرد میوه و زیست‌توده کل، کم‌تر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. به‌نظر می‌رسد رقم آروماس توانایی تحمل هدایت الکتریکی بالای محلول غذایی را نداشته و باید برای دست‌یابی به عملکرد مطلوب این رقم، از محلول‌های غذایی با هدایت الکتریکی کم‌تر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر استفاده گردد.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک و زیست- شیمیایی توت‌فرنگی رقم آروماس تحت‌تأثیر هدایت الکتریکی محلول غذایی.

Table 2. Mean comparison of physiological and biochemical traits in *Fragaria ananassa* Dusch. cv. Aromas as affected by electrical conductivity of nutrient solution.

۵ دسی‌زیمنس بر متر 5 dS/m	٤ دسی‌زیمنس بر متر 4 dS/m	۳ دسی‌زیمنس بر متر 3 dS/m	۲ دسی‌زیمنس بر متر 2 dS/m	۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر 0.7 dS/m	
60.32 c	61.78 c	67.83 b	68.55 b	79.60 a	محتوی نسبی آب برگ (درصد) Relative water content (%)
57.30 c	64.86 b	69.60 b	76.29 ab	82.10 a	شاخص پایداری غشاء سلول (درصد) Membrane stability index (%)
21.44 a	21.16 ab	20.54 bc	20.18 c	18.34 d	کربوهیدرات محلول کل (میلی‌گرم/ گرم وزن تر برگ) Total soluble carbohydrate (mg/g leaf fresh weight)
0.71 a	0.61 b	0.48 c	0.45 c	0.37 d	پرولین برگ (میلی‌گرم/ گرم وزن تر برگ) Leaf proline (mg/g leaf fresh weight)
0.53 c	0.54 bc	0.58 b	0.69 a	0.72 a	پروتئین محلول کل (میلی‌گرم/ گرم وزن تر برگ) Total soluble protein (mg/g leaf fresh weight)
94.26 a	76.32 b	69.68 c	62.03 d	60.01 d	میزان پراکسید هیدروژن (میکرومول در گرم وزن تر برگ) Hydrogen peroxide content (µmol/g leaf fresh weight)
0.41 a	0.34 b	0.22 c	0.21 c	0.18 d	فعالیت پراکسیداز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) Peroxidase activity (U/mg protein)
2.24 a	1.78 b	1.76 b	1.41 c	1.27 c	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) Superoxide dismutase activity (U/mg protein)
76.82 a	75.35 ab	68.20 abc	63.70 bc	60.45 c	محتوی مالون دی آلدهید (نانومول در گرم وزت تر برگ) Malon di aldehyde content (nmol/g leaf fresh weight)
0.83 d	0.87 d	0.95 c	1.26 b	1.41 a	کلروفیل کل (میلی‌گرم/ گرم وزن تر برگ) Total chlorophyll (mg/g leaf fresh weight)
0.23 c	0.23 c	0.23 c	0.36 b	0.39 a	کاروتنوئید (میلی‌گرم/ گرم وزن تر برگ) Carotenoid (mg/g leaf fresh weight)
13.7 a	12 b	9.8 c	9.2 cd	8.6 d	سدیم برگ (میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ) Leaf sodium (mg/g leaf dry weight)
17.1 d	18.4 d	22.3 c	25.2 b	28.0 a	پتاسیم برگ (میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ) Leaf potassium (mg/g leaf dry weight)

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ردیف، براساس آزمون LSD، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

Means with the same letters in each row are not significantly different at 5 % probability level based on LSD's test.

منابع

1. Acosta-Motos, J.R., Ortuño, M.F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M.J. and Hernandez, J.A. 2017. Plant responses to salt stress: Adaptive Mechanisms. Agr. 7: 1-38.
2. Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Hosseinpour, R., Abdshah, H., Rezaiee, M.M. and Fazli Estabragh, M. 2016. Agricultural Jihad Statistics. Ministry of Agricultural Jihad, 231p. (In Persian)
3. Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Pla. Cel. Environ. 24: 12. 1337-1344.
4. Ashraf, M. and Ali, Q. 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environ. Exper. Bot. 63: 1. 266-273.
5. Ashraf, M. and Foolad, M. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Envir. Exper. Bot. 59: 2. 206-216.
6. Ashraf, M., Athar, H.R., Harris, P.J.C. and Kwon, T.R. 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. Adv. Agr. 97: 45-110.
7. Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil. 39: 1. 205-207.
8. Bavei, V., Shiran, B. and Arzani, A. 2011. Evaluation of salinity tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using ion accumulation, proline and peroxidase criteria. Plant Grow. Regul. 64: 3. 275-285.
9. Beyer, W.F. and Fridovich, I. 1987. Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. Anal. Biochem. 161: 2. 559-566.
10. Bisko, A. 2017. Effect of salinity on behavior of some cations in strawberry (*Fragaria×ananassa*) plant organs. P 361-367, International Symposium on Physiological Principles and Their Application to Fruit Production, Geneva, America.
11. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72: 1. 248-254.
12. Cassaniti, C., Romano, D. and Flowers, T.J. 2012. Water management, pollution and alternative strategies. Rijeka, Croatia, Pp: 132-158.
13. Chaparzadeh, N., D'Amico, M.L., Khavari-Nejad, R.A., Izzo, R. and Navari-Izzo, F. 2004. Antioxidative responses of *Calendula officinalis* under salinity conditions. Plant Physiol. Biochem. 42: 9. 695-701.
14. Davenport, R., James, R.A., Zakrisson-Plogander, A., Tester, M. and Munns, R. 2005. Control of sodium transport in durum wheat. J. Plant Physiol. 137: 3. 807-818.
15. Dehghan, G., Amjad, L. and Nosrati, H. 2013. Enzymatic and non-enzymatic antioxidant responses of alfalfa leaves and roots under different salinity levels. Acta Biol. Hung. 64: 2. 207-217.
16. Dowlatshah, M., Rezaei Nejad, A.H. and Gholami, M. 2014. The effect of salinity stress on fruit yield and some physical and biochemical characteristics of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) cv. "Camarosa". Plant Pro. Tech. 14: 2. 127-138. (In Persian)
17. Duarte, B., Santos, D., Marques, J.C. and Caçador, I. 2013. Ecophysiological adaptations of two halophytes to salt stress: Photosynthesis, PS II photochemistry and anti-oxidant feedback implications for resilience in climate change. Plant Physiol. Biochem. 67: 178-188.
18. Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A. and Waines, J.G. 2008. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. Crop Sci. 46: 5. 2093-2103.
19. Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D.J. and Gunes, A. 2008. Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Matador) grown under boron toxicity and salinity. Plant Growth Regul. 55: 3. 207-219.

20. Esfandiari, E. and Gohari, G. 2017. Response of ROS-scavenging systems to salinity stress in two different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Not. Botan. Horti Agro. Cluj-Napoca. 45: 1. 287-291.
21. Ferreira, J.F.S., Liu, X. and Suarez, D.L. 2019. Fruit yield and survival of five commercial strawberry cultivars under field cultivation and salinity stress. Sci. Hort. 243: 401-410.
22. Galmes, J., Flexas, J., Save, R. and Medrano, H. 2007. Water relations and stomatal characteristics of mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. Plant and Soil. 290: 1. 139-155.
23. Garriga, M., Muñoz, C.A., Caligari, P.D. and Retamales, J.B. 2015. Effect of salt stress on genotypes of commercial (*Fragaria* × *ananassa*) and Chilean strawberry (*F. chiloensis*). Sci. Hort. 195: 37-47.
24. Ghanem, M.E., Albacete, A., Martínez-Andújar, C., Acosta, M., Romero-Aranda, R., Dodd, I.C., Lutts, S. and Pérez-Alfocea, F. 2008. Hormonal changes during salinity-induced leaf senescence in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). J. Exp. Bot. 59: 3039-3050.
25. Ghannoum, O. 2008. C_4 photosynthesis and water stress. Annual. Bot. 103: 4. 635-644.
26. Gónmez-Bellot, M.J., Álvarez, S., Bañón, S., Ortuño, M.F. and Sánchez-Blanco, M.J. 2013. Physiological mechanisms involved in the recovery of *Euonymus* and *Laurustinus* subjected to saline waters. Agric. Water Manag. 128: 131-139.
27. Grieve, C.M., Grattan, S.R. and Maas, E.V. 2012. Plant salt tolerance. ASCE. Reston, Pp: 405-459.
28. Hancock, J.F. 1999. Strawberries. CAB International Publishing. New York, USA, 237p.
29. Hasanuzzaman, M. and Fujita, M. 2011. Exogenous silicon treatment alleviates salinity-induced damage in *Brassica napus* L. seedlings by upregulating the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system. P 6-10, In: proceedings of the annual meeting of the american society of plant biologists, Minniapolis, USA.
30. Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J. and Ahmad, A. 2012. Role of proline under changing environments: a review. Plant Sig. Behav. 7: 11. 1456-1466.
31. Hemeda, H.M. and Klein, B.P. 1990. Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. J. Food Sci. 55: 1. 184-185.
32. Hernández, J.A., Corpas, F.J., Gómez, M., Del Río, L.A. and Sevilla, F. 1993. Salt induced oxidative stress mediated by activated oxygen species in pea leaf mitochondria. Physiol. Plant. 89: 103-110.
33. Irigoyen, J.J., Einerich, D.W. and Sánchez-Díaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiol. Plant. 84: 1. 55-60.
34. James, R.A., Blake, C., Byrt, C.S. and Munns, R. 2011. Major genes for Na^+ exclusion, Nax1 and Nax2 wheat HKT1; 4 and HKT1; 5), decrease Na^+ accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions. J. Exper. Bot. 6: 8. 2939-2947.
35. Jonathan, N.F.G., Lehti-Shiu, M.D., Ingram, P.A., Deak, K.I., Biesiada, T. and Malamy, J.E. 2006. Identification of quantitative trait loci that regulate *Arabidopsis* root system size and plasticity. Gen. 172: 485-498.
36. Jones Jr, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, 384p.
37. Jouyban, Z. 2012. The effects of salt stress on plant growth. Tech. J. Engin. Appl. Sci. 2: 1. 7-10.
38. Karlidag, H., Yildirim, E. and Turan, M. 2011. Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria* × *ananassa*). Sci. Hort. 130: 1. 133-140.

39.Keshavarz, H., Modaress, A.M. and Zarinkamar, F. 2014. Differences in antioxidant responses of autumn and spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars affected by salicylic acid under the field condition. J. Plant Res. 27: 2. 288-298. (In Persian)
40.Keutgen, A. and Pawelzik, E. 2007. Modifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. Food Chem. 105: 4. 1487-1494.
41.Keutgen, A.J. and Pawelzik, E. 2009. Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. Envir. Exper. Bot. 65: 2. 170-176.
42.Khan, W., Prithiviraj, B. and Smith, D.L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. J. Plant Physiol. 160: 5. 485-492.
43.Kim, Y., Arihara, J., Nakayama, T., Nakayama, N., Shimada, S. and Usui, K. 2004. Antioxidative responses and their relation to salt tolerance in *Echinochloa oryzicola* Vasing and *Setaria virdis* (L.) Beauv. Plant Growth Regul. 44: 1. 87-92.
44.Kinnersley, A.M. and Turano, F.J. 2000. Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. Crit. Rev. Plant Sci. 19: 479-509.
45.Kishor, K., Polavarapu, B. and Sreeniv Asulu, N. 2014. Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue?. Plant, Cell Envir. 37: 2. 300-311.
46.Li, H.S. 2000. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. Higher Education Press, Pp: 260-263.
47.Lichtenthaler, H.K. and Buschmann, C. 2001. Current protocols in food analytical chemistry, Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. John Wiley and Sons, New York, F4.3.1-F4.3.8.
48.Meloni, D.A., Oliva, M.A., Martinez, C.A. and Cambraia, J. 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. Environ. Exper. Bot. 49: 1. 69-76.
49.Mirmohammadi-Meibodi, A. and Gharayazi, B. 2002. Physiological aspects and breeding for salinity stress in plants. Isfahan University of Technology Publication Center. (In Persian)
50.Mirzakhani Nafchi, E., Rabiee, Gh., Rouhi, V. and Mohammad Khani, A. 2015. Effect of NaCl salinity stress on vegetative characteristics of strawberry cv. Paros. P 1-4, Third National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources, Tehran. (In Persian)
51.Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Ann. Rev. Plant Biol. 59: 651-681.
52.Najafi Marghmaleki, S., Mortazavi, S.M.H. and Moallemi, N. 2016. The effects of salinity on vegetative growth physiology, yield properties and fruit quality of strawberry cv. Camarosa. Plant Pro. Tech. 8: 1. 147-161. (In Persian)
53.Pessarakli, M. 2010. Handbook of Plant and Crop Stress. CRC press, 1194p.
54.Rengasamy, P. and Olsson, K.A. 1993. Irrigation and sodicity. Aust. J. Soil Res. 31: 821-837.
55.Rodríguez, P., Torrecillas, A., Morales, M.A., Ortuño, M.F. and Sánchez-Blanco, M.J. 2005. Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscus maritimus* plants. Environ. Exp. Bot. 53: 113-123.
56.Rubio, M.C., Bustos-Sanmaded, P., Clemente, R.M. and Becana, M. 2009. Effects of salt stress on the expression of antioxidant genes and proteins in the model legume *Lotus japonicus*. New Phytol. 181: 851-859.
57.Ruiz-Sánchez, M.C., Domingo, R., Torrecillas, A. and Pérez-Pastor, A. 2000. Water stress preconditioning to improve drought resistance in young apricot plants. Plant Sci. 156: 245-251.
58.Sairam, R.K., Rao, K.V. and Srivastava, G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. J. Plant Sci. 163: 5. 1037-1046.

59. Sankhla, N., Gehlot, H.S., Choudhary, R., Joshi, S. and Dinesh, R. 2008. Ecophysiology of high salinity tolerant plants. Springer, Pp: 201-213.
60. Seidler Fatemy, L., Tabatabaei, S.J. and Fallahi, E. 2009. The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. J. Hort. Sci. 23: 1. 88-95. (In Persian)
61. Shabala, A.J. and Al-Azawi, S.K. 2000. Occurrance of phosphate-solubilizing bacteria in some Iraqi soils. Plant Soil. 117: 135-141.
62. Shabala, S., Hariadi, Y. and Jacobsen, S.E. 2013. Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na^+ loading and stomatal density. J. Plant Physiol. 170: 10. 906-914.
63. Shah, S.H. 2007. Effects of salt stress on mustard as affected by gibberellic acid application. Gen. Appl. Plant Physiol. 33: 1. 97-106.
64. Steudle, E. 2000. Water uptake by roots: Effects of water deficit. J. Exp. Bot. 51: 1531-1542.
65. Tavallali, V., Rahemi, M., Eshghi, S., Kholdebarin, B. and Ramezanian, A. 2010. Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. 'Badami') seedlings. Turk. J. Agri. Fores. 34: 4. 349-359.
66. Tester, M. and Davenport, R. 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Ann. Bot. 91: 5. 503-527.
67. Trovato, M., Mattioli, R. and Costantino, P. 2008. Multiple roles of proline in plant stress tolerance and development. Rendico. Linc. 19: 4. 325-346.
68. Turhan, E. and Eris, A. 2004. Effects of sodium chloride applications and different growth media on ionic composition in strawberry plant. J. Pla. Nutri. 27: 9. 1653-1665.
69. Van Breusegem, F. and Dat, J.F. 2006. Reactive oxygen species in plant cell death. Plant Physiol. 141: 2. 384-390.
70. Yaghubi, K., Ghaderi, N., Vafaee, Y. and Javadi, T. 2016. Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on two strawberry cultivars grown under soilless pot culture. Sci. Hort. 213: 87-95.
71. Yusefi, M., Tabatabaei, S.J., Hajilu, J. and Mahna, N. 2011. The effect of partial root salinization on the yield and fruit quality in strawberry. Agri. Sci. Sust. Prod. 21: 1. 135-144. (In Persian)