اثر شوری بر فیزیولوژی رشد رویشی، اجزاء عملکرد و خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم کاماروزا

The Effects of Salinity on Vegetative Growth Physiology, Yield Properties and Fruit Quality of Strawberry cv. Camarosa

سلاله نجفی مرغملکی[۱]، سیدمحمدحسن مرتضوی[۲*] و نوراله معلمی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۴

چکیده

توت‌فرنگی یکی از میوه‌های ارزشمندی است که کشت آن به‌صورت چندساله و یک‌ساله (گلخانه‌ای) رو به گسترش است. این گیاه به شوری حساس می‌باشد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری (صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) بر تغییرات رشد رویشی، زایشی و خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم کاماروزا در شرایط هیدروپونیک اجرا گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که با بیشتر شدن سطح شوری علاوه‌بر کاهش قابل توجه وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد و سطح برگ، اجزای عملکرد نیز کاهش چشمگیری یافت به‌گونه‌ای که عملکرد بوته در سطوح شوری ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۰، ۴۲، ۴۵ و ۶۵ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. تنش شوری همچنین سبب کمتر شدن کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ، غلظت مواد جامد محلول کل و اسیدیته قابل تیتر میوه گردید، درحالی‌که مقدار نشت الکترولیت برگ، درصد و سطح نکروزه برگ، محتوای آنتوسیانین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، مواد فنولی، پرولین و سفتی میوه با بیشتر شدن سطح شوری افزایش یافت. به‌طورکلی بیشترین تغییرات بر اثر اعمال تنش شوری در رشد رویشی و زایشی مشاهده گردید. درحالی‌که تغییرات در خصوصیات کیفی میوه به مقدار کمتری تحت تاثیر شوری قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، کلرید سدیم، کیفیت میوه، کاماروزا

۱، ۲ و ۳. به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
*: نویسنده مسئول Email: mortazavi_mh@scu.ac.ir

مقدمه

توت‌فرنگی یکی از مهم‌ترین میوه‌های ریز است که به‌دلیل برخورداری از ظاهری جذاب، مزه مطلوب و ارزش غذایی بالا در بین میوه‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. بررسی آمار سطح زیر کشت و مقدار تولید این میوه نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر تولید توت‌فرنگی هم در دنیا (*فائو*[1]، 2013) و هم در داخل کشور (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۲) از توسعه قابل توجه‌ای برخوردار بوده است. اگر چه کشت سنتی و چندساله توت‌فرنگی در مناطق با تابستان‌های معتدل از سالیان قبل متداول بوده است ولی امکان تولید یک‌ساله، این گیاه را به یکی از محصولات با ارزش گلخانه‌ای در بیشتر مناطق دنیا تبدیل نموده است. امروزه در کشور ایران تولید خارج از فصل و گلخانه‌ای توت‌فرنگی (خاکی یا هیدروپونیک) هر ساله سود قابل توجه‌ای را عاید کشاورزان می‌کند (شاکری و همکاران، ۱۳۸۸). کاهش کیفیت و شور شدن تدریجی منابع آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های جاری و پیش روی تولیدات کشاورزی می‌باشد. امروزه محدود شدن منابع آب شیرین سبب گردیده تا در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از آب‌های شور و سدیمی برای آبیاری محصولات کشاورزی استفاده شود (*اختر*[2]، 2003). بررسی‌های میدانی نشان داده که تأثیر منفی غلظت بالای یون سدیم در آب بر برخی محصولات باغی مانند توت‌فرنگی سبب شده تا تولیدکنندگان با صرف هزینه‌های زیاد، آب را ابتدا شیرین نموده و سپس مورد استفاده قرار دهند. از این نظر میزان تأثیری که شوری آب بر رشد و نمو، عملکرد گیاه و کیفیت میوه تولید شده می‌گذارد برای تولیدکنندگان از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار است. یکی از عوامل مؤثر بر رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی کیفیت آب مصرفی و بستر کشت این گیاه است و افزایش غلظت املاح آب می‌تواند عملکرد گیاه را به نحو قابل توجه‌ای تحت تأثیر قرار دهد (*کایا*[3] و همکاران، 2002). شوری همچنین می‌تواند بر خصوصیات کیفی میوه مانند درجه شیرینی و اسیدیته میوه توت‌فرنگی نیز تأثیر منفی بگذارد (*کیوتگن و پاولزیک*[4]، 2008؛ *تولیپانی*[5] و همکاران، 2008). براساس گزارش *گرینوی و مونس*[6] (1980)، شوری از طریق کاهش جذب آب و به دنبال آن کاهش جذب عناصر، و نیز سمیت ناشی از غلظت بالای عناصر کلر و سدیم، کیفیت و کمیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر فیزیولوژی رشد رویشی، اجزای عملکرد و کیفیت میوه تولید شده در این شرایط طراحی و انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و اعمال تیمارها

این پژوهش در فاصله زمانی آبان‌ماه ۱۳۸۹ تا مهرماه ۱۳۹۰ در مجتمع گلخانه‌ای و آزمایشگاه‌های فیزیولوژی و تجزیه کیفی گروه علوم باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردید. نشاهای توت‌فرنگی رقم کاماروزا در اوایل آبان‌ماه از استان کردستان خریداری و پس از انتقال به اهواز، براساس طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در گلدان‌هایی با ظرفیت ده لیتر حاوی کوکوپیت کشت گردید. برای هر واحد آزمایشی ۴ گلدان در نظر گرفته شد. در دو هفته اول، گیاهان با آب معمولی (با هدایت الکتریکی ۱ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) آبیاری شده و در ادامه با محلول غذایی هوگلند تغییر داده شده (هدایت الکتریکی ۱/۷۸ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) تغذیه شدند (جدول ۱). مقدار محلول داده شده به هر گلدان بسته به دمای هوا از ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌لیتر در روز متغیر بود. تنش شوری از هفته چهارم پس از کاشت به‌صورت اضافه کردن نمک کلریدسدیم در پنج سطح (صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌مولار) به محلول غذایی هوگلند و به‌صورت پلکانی آغاز گردید.

خصوصیات رویشی گیاه

به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه و شاخساره در پایان آزمایش بخش‌های ریشه و شاخساره از ناحیه طوقه از هم جدا و جهت تعیین وزن تر هر بخش با ترازوی دقیق (دقت ۰/۰۱ گرم) توزین شد. در ادامه جهت تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت درون آون با دمای $70^{o}C$ خشک و سپس توزین شدند (*تورهان و اریس*، 2005). برای تعیین نسبت وزن تر و خشک شاخساره به وزن تر و خشک ریشه از اطلاعات به‌دست آمده در بخش قبل استفاده شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ و درصد نکروزه از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[7] (HGHTBOX- انگلستان) استفاده شد.

1. FAO
2. Akhtar
3. Kaya
4. Keutgen and Pawelzik
5. Tulipani
6. Greenway and Munns
7. Leaf Area Meter

جدول ۱: غلظت عناصر غذایی در محلول غذایی هوگلند (1974) مورد استفاده برای تغذیه گیاهان توت‌فرنگی
Table 1: Nutrient concentrations in Hoagland solution (1974) used to feed strawberry plants

عناصر ماکرو Macro Elements	غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Concentration (mg/kg)	عناصر میکرو Micro Elements	غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Concentration (mg/kg)
نیتروژن (N)	224	بور (B)	0.27
پتاسیم (K)	235	منگنز (Mn)	0.11
فسفر (P)	62	روی (Zn)	0.13
کلسیم (Ca)	160	مس (Cu)	0.03
گوگرد (S)	32	مولیبدن (Mo)	0.05
منیزیم (Mg)	24	آهن (Fe)	3

محتوای رطوبت نسبی برگ به روش ریچی[1] و همکاران (1990) اندازه‌گیری شد. بدین منظور ۱۰ دیسک برگی با قطر ۱ سانتی‌متر وزن گردید (W_f)، سپس دیسک‌ها درون بشر حاوی آب مقطر غوطه‌ور و پس از ۲۴ ساعت نگه‌داری در یخچال (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) وزن اشباع (W_t) اندازه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌ها به‌مدت یک شبانه‌روز در دمای ۷۰°C قرار گرفته و وزن خشک آنها اندازه‌گیری (W_d) شد. با قرار دادن اعداد حاصل از توزین با ترازوی دیجیتالی در رابطه ۱ محتوای نسبی آب برگ به‌دست آمد:

رابطه ۱: $RWC = ((W_f-W_d)/(W_t-W_d)) \times 100$

برای اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت بافت برگ از روش *ژائو*[2] و همکاران (1992) استفاده شد. بدین‌منظور ۰/۵ گرم ماده گیاهی پس از تبدیل به قطعات با ابعاد ۲-۱ سانتی‌متر، در لوله فالکون حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر غوطه‌ور شدند. پس از ۲۰ ثانیه EC_0 با استفاده از دستگاه EC متر (WTW- آلمان) اندازه‌گیری شد. بعد از قرار دادن نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ °C، EC_1 و پس قرار دادن آنها به‌مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد، EC_2 آنها قرائت شد. از مقادیر EC به‌دست آمده و رابطه ۲ برای محاسبه درصد نشت الکترولیت استفاده گردید.

رابطه ۲: $EL\% = (EC_1-EC_0)/(EC_2-EC_0) \times 100$

به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل برگ نیز، پس از عصاره‌گیری ۰/۱ گرم از بافت برگ (w) با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ (v)، نمونه‌ها سانتریفیوژ شدند. میزان جذب روشناور در دو طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (شیماتزو[3]-ژاپن) قرائت گردید و از داده‌های به‌دست آمده و رابطه *آرنون*[4] (1949) برای محاسبه مقدار کلروفیل برگ استفاده گردید.

رابطه ۳: کلروفیل کل (mg/g) = ((20.08 (A_{645})) + (8.02 (A_{663}))) / w×v

خصوصیات زایشی و اجزای عملکرد

تعداد گل و میوه برداشت شده از ابتدا تا انتهای دوره رشد ثبت گردید و درصد تشکیل میوه (درصد نسبت میوه برداشت شده به تعداد گل) با استفاده از اطلاعات ثبت شده محاسبه شد. وزن میوه با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. مجموع وزن میوه‌های برداشت شده از هر بوته نیز به‌عنوان عملکرد بوته در نظر گرفته شد.

خصوصیات کیفی میوه

غلظت مواد جامد محلول کل با استفاده از رفراکتومتر دیجیتال (آتاگو[5]-ژاپن) و بر حسب درجه بریکس قرائت گردید. اسیدیته قابل تیتر به‌وسیله تیتراسیون عصاره میوه با محلول سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH ۸/۱ محاسبه گردید. پس از قرار دادن مقدار سود مصرفی در رابطه تیتراسیون سود و اسید ($N_1V_1=N_2V_2$)، نتایج به‌صورت درصد بیان شد.

ویتامین ث میوه به روش *هرناندز*[6] و همکاران (2006) اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور ابتدا بافتی همگن از میوه‌های هر تکرار تهیه شد، ۲ گرم از نمونه همگن وزن و با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر عصاره‌گیری شد. عصاره با محلول رنگی دی‌کلروفنول‌ایندوفنول[7] تیتر شده و براساس مقدار رنگ مصرف شده، مقدار ویتامین ث میوه بر حسب میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر گزارش گردید.

1. Ritchie
2. Zhao
3. Shimadzu
4. Arnon
5. Atago
6. Hernández
7. 2,6-dichlorophenolindophenol (DCPIP)

آنتوسیانین کل میوه براساس روش اختلاف pH اندازه‌گیری شد (*لی*[1] و همکاران، 2005). بدین منظور دو گرم نمونه همگن با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی عصاره‌گیری شد. پس از سانتریفیوژ عصاره، ۲ میلی‌لیتر از روشناور در دو لوله فالکون ریخته شد و به آنها ۱۸ میلی‌لیتر بافرهای با pH ۱ و ۴/۵ اضافه گردید. نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در محل تاریک قرار داده شده و پس از کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفتومتر با آب مقطر، میزان جذب نمونه‌ها در دو طول موج ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر قرائت گردید. میزان آنتوسیانین برحسب میلی‌گرم سیانیدین-۳ گلوکوزید بر گرم بافت گیاه بیان گردید.

مواد فنولی کل میوه براساس روش *اسلینگارد و سینگلتون*[2] (1977) اندازه‌گیری گردید. بدین منظور ابتدا عصاره متانولی بافت استخراج و ۱۰۰ میکرولیتر از روشناور حاصل از سانتریفیوژ نمونه به ۷۵۰ میکرولیتر معرف فولین ۱۰ بار رقیق شده درون لوله آزمایش اضافه شد. مخلوط واکنش به‌مدت ۱۰ دقیقه در محیط آزمایشگاه قرار گرفت و سپس ۷۵۰ میکرولیتر از محلول کربنات سدیم ۶٪ به آن اضافه شده و به‌مدت ۹۰ دقیقه در محیط آزمایشگاه قرار گرفت، سپس میزان جذب مخلوط واکنش در طول موج ۷۲۵ نانومتر قرائت شده و نتایج براساس نمودار استاندارد به‌دست آمده برای اسید گالیک گزارش شد. برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه، ۱۰۰ میکرولیتر از روشناور عصاره متانولی میوه پس از سانتریفیوژ، با ۲/۵ میلی‌لیتر از واکنش‌گر تازه تهیه شده FRAP [3] مخلوط شد. مخلوط حاصله به‌مدت ۵۰ دقیقه در دمای ۳۷°C قرار گرفت و سپس میزان جذب در طول موج ۵۹۳ نانومتر قرائت شده و نتایج براساس میلی‌مول آهن II بر گرم وزن تر گزارش شد (*گو*[4] و همکاران، 2003). برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه‌ها، از سفتی‌سنج دیجیتال (لوترون-تایوان) استفاده گردید و نتایج بر حسب نیوتن بر واحد سطح پروب بیان شد.

مقدار پرولین با روش *بتس*[5] و همکاران (1973) با اندکی تغییرات محاسبه شد. بدین منظور ۰/۵ گرم از بافت در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳٪ عصاره‌گیری و سپس سانتریفیوژ شد. مخلوط ۱:۱:۱ اسید نین‌هیدرین، اسید استیک و عصاره تهیه گردید و به‌مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰۰°C قرار داده شد. پس از متوقف کردن واکنش با استفاده از حمام یخ و اضافه کردن تولوئن، مخلوط به‌مدت ۳۰ ثانیه هم زده شد، و میزان جذب مخلوط صورتی رنگ در فاز تولوئن در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید. برای رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های ۲۰-۰ میلی‌گرم در لیتر پرولین استاندارد استفاده شد و نتایج براساس میلی‌گرم پرولین در گرم وزن تر بافت گزارش گردید.

آنالیز آماری

این پژوهش بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طراحی و انجام شد. تجزیه داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون LSD انجام گردید. به‌منظور تعیین رابطه میان صفات اندازه‌گیری شده و میزان تغییرات مشترک آنها از ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از مقدار عددی مشاهدات در هر تیمار استفاده گردید.

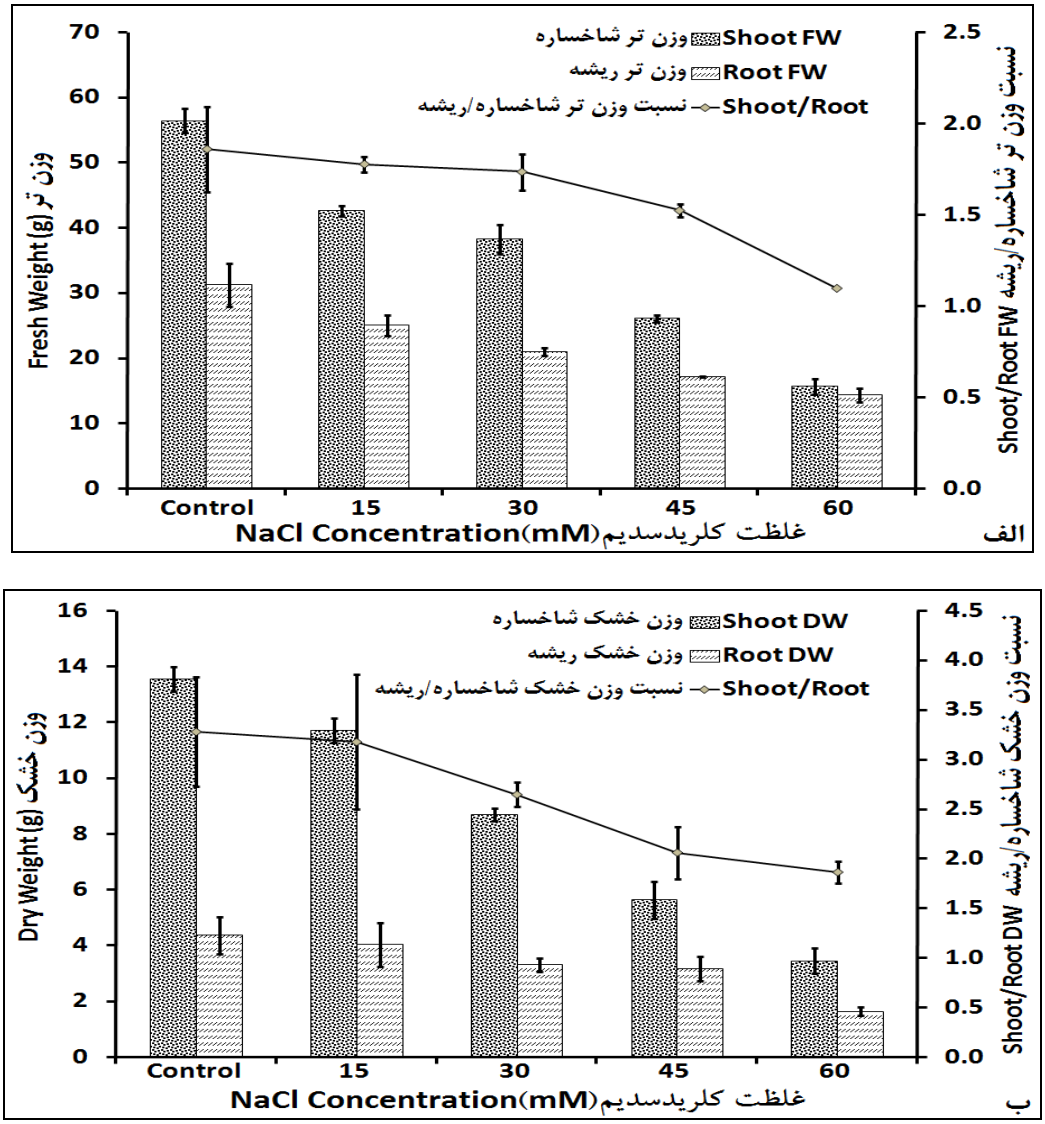
نتایج

براساس نتایج به‌دست آمده، با افزایش سطح شوری خصوصیات مختلف رویشی مانند وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، نسبت وزن شاخساره به ریشه (تر و خشک)، سطح و تعداد برگ بوته کاهش یافتند. همان‌گونه که در شکل ۱- الف مشاهده می‌شود، اعمال تنش شوری و افزایش سطح آن سبب کاهش معنی‌دار وزن تر شاخساره و ریشه گردید. به‌طوری‌که بیشترین مقدار وزن تر شاخساره در گیاهان شاهد مشاهده شد (۵۶/۳۹ گرم)، و مقدار آن در سطح شوری ۶۰ میلی‌مولار (۱۵/۶۷ گرم) به میزان ۷۲٪ نسبت به شاهد کاهش یافت. همین روند برای وزن تر ریشه رخ داد. به‌طوری‌که وزن تر ریشه در سطح شوری ۶۰ میلی‌مولار نسبت به گیاهان شاهد، که از بیشترین وزن تر ریشه (۳۱/۱۸ گرم) برخوردار بودند، ۵۴٪ کاهش یافت. روند کاهش وزن تر ریشه نسبت به وزن تر شاخساره با بیشتر شدن شوری کندتر بود، به‌گونه‌ای‌که نسبت شاخساره به ریشه، در گیاهان شاهد حدود ۱/۹ بود، و با افزایش سطح شوری به ۶۰ میلی‌مولار به حدود ۱ رسید. این نتیجه حاکی از واکنش شدیدتر بخش هوایی گیاه نسبت به بخش زیرزمینی به افزایش سطح شوری می‌باشد.

روند تغییرات وزن خشک شاخساره و ریشه در اثر تنش شوری نیز مشابه وزن تر بود. در سطح شوری ۶۰ میلی‌مولار، وزن خشک شاخساره (۳/۴۳ گرم) نسبت به شاهد (۱۴/۵۵ گرم) حدود ۷۵٪ کمتر شد، درحالی‌که این کاهش در وزن خشک ریشه حدود ۶۲٪ بود (شکل ۱- ب). به‌طورکلی نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه نیز با بیشتر شدن سطح شوری کمتر شد، به‌گونه‌ای‌که گیاهان شاهد بیشترین نسبت وزن

1. Lee
2. Slinkard and Singleton
3. Ferric reducing ability of plasma
4. Guo
5. Bates

خشک شاخساره به ریشه را نشان دادند (۳/۲۸)، و کمترین نسبت مربوط به سطح شوری ۶۰ میلی‌مولار بود (۱/۸۶).



شکل ۱: اثر تنش شوری بر وزن تر شاخساره، ریشه و نسبت وزن تر شاخساره به ریشه (الف) و وزن خشک شاخساره، ریشه و نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه (ب) توت‌فرنگی رقم کاماروزا

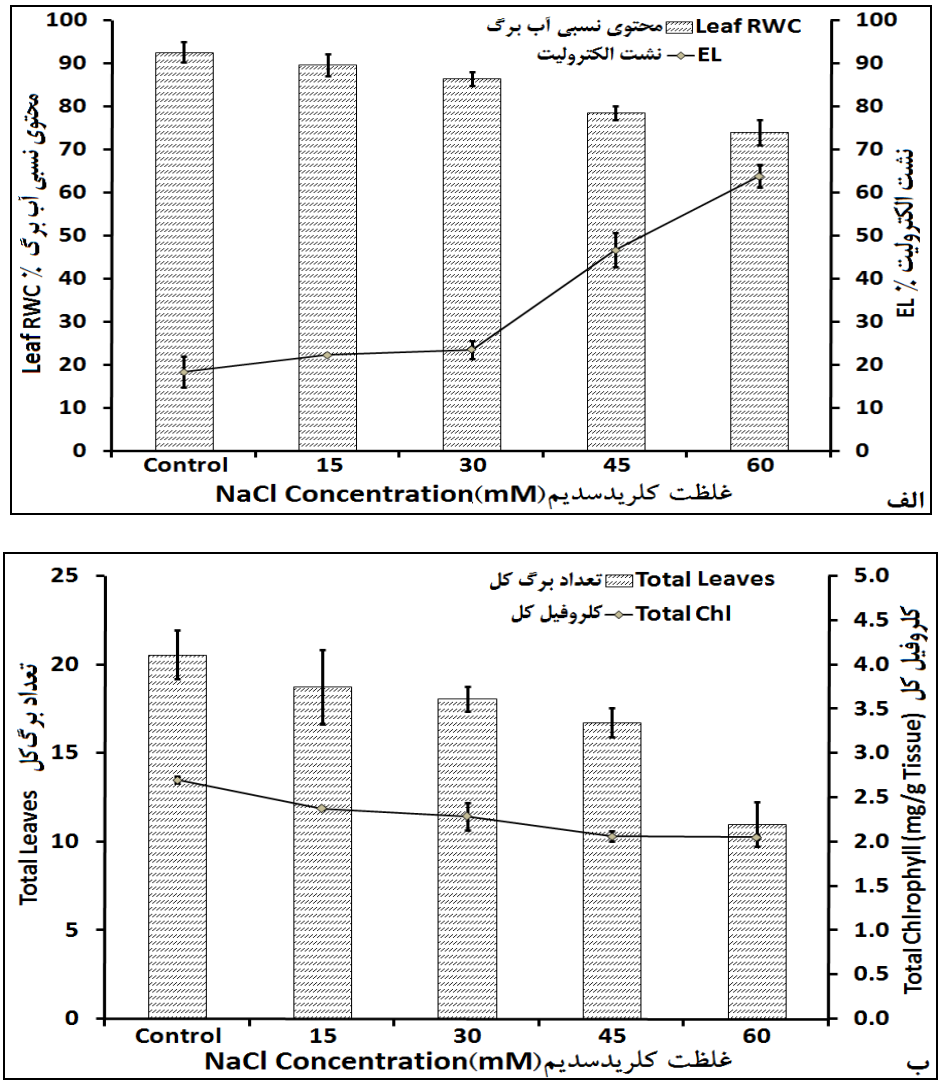
Fig. 1: Effect of salt stress on shoot and root fresh weight and shoot to root fresh weight ratio (a) and shoot and root dry weight and shoot to root dry weight (b) strawberry cv. Camarosa

دو ویژگی نشت الکترولیت و محتوای نسبی آب برگ برای ارزیابی اثر تنش شوری بر فیزیولوژی گیاه مورد بررسی قرار گرفتند. همان‌گونه که در شکل ۲- الف ملاحظه می‌شود، اعمال تنش شوری و افزایش سطح آن سبب افزایش معنی‌دار نشت الکترولیت و کاهش قابل توجه محتوای نسبی آب برگ گردید، اگرچه تغییرات در هر دو مورد در اثر تنش تا سطح ۳۰ میلی‌مولار معنی‌دار نبود. سطوح شوری ۴۵ و ۶۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ داشتند، اما از این نظر بین این دو سطح تفاوت معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ در گیاهان شاهد مشاهده گردید (۹۲/۵۶٪)، و کمترین آن در گیاهان تیمار شده با کلریدسدیم ۶۰ میلی‌مولار (۷۳/۹۸٪). درصد نشت الکترولیت نیز در گیاهان شاهد کمترین مقدار را داشت (۱۸/۳۲٪)، و بیشترین مقدار آن در گیاهان تیمار شده با کلریدسدیم ۶۰ میلی‌مولار مشاهده گردید، که ۳/۵ برابر گیاهان شاهد بود.

با وجود روند کاهشی در تعداد برگ کل بوته در اثر تنش شوری، این کاهش تا سطح ۳۰ میلی‌مولار (۱۲٪کمتر از شاهد) معنی‌دار نبود. در سطوح شوری ۴۵ و ۶۰ میلی‌مولار به‌ترتیب کاهش ۱۹ و ۴۷ درصدی در تعداد برگ نسبت به گیاهان شاهد (۲۰/۵۸) مشاهده گردید (شکل ۲- ب). مقدار کلروفیل کل نیز همان‌طورکه در شکل ۲- ب مشاهده می‌شود در اثر شوری کاهشی معنی‌دار نشان داد، به‌طوری‌که گیاهان شاهد بیشترین

مقدار کلروفیل را داشتند (۲/۷۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، که در گیاهان تیمار شده با کلریدسدیم ۶۰ میلی‌مولار (حاوی کمترین مقدار کلروفیل: ۲/۰۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) حدود ۲۴٪ کاهش یافته بود.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که سطح برگ کل بوته در اثر شوری کاهش قابل‌توجهی یافت. در مقابل با بیشتر شدن شوری، سطح نکروزه کل بوته و در نتیجه درصد نکروزه هر بوته افزایش قابل‌توجه‌ای یافت. گیاهان شاهد از بیشترین سطح برگ (۱۱۴۵/۲۴ سانتی‌مترمربع) و کمترین سطح نکروزه (۱۰۵/۷۶ سانتی‌مترمربع) برخوردار بودند، افزایش سطح شوری به ۶۰ میلی‌مولار سبب ۷۵٪ کاهش سطح برگ (۲۸۱/۳۷ سانتی‌مترمربع) و ۴۷٪ افزایش سطح نکروزه (۱۵۵/۶۳ سانتی‌مترمربع) گردید (شکل ۳- الف). در گیاهان شاهد که تحت شرایط تنش نبودند، ۹/۲۶٪ سطح برگ کل بوته دچار نکروزه گردید، درحالی‌که این مقدار به حدود ۵۵٪ از سطح کل برگ در گیاهان تحت تنش کلریدسدیم ۶۰ میلی‌مولار افزایش یافت.

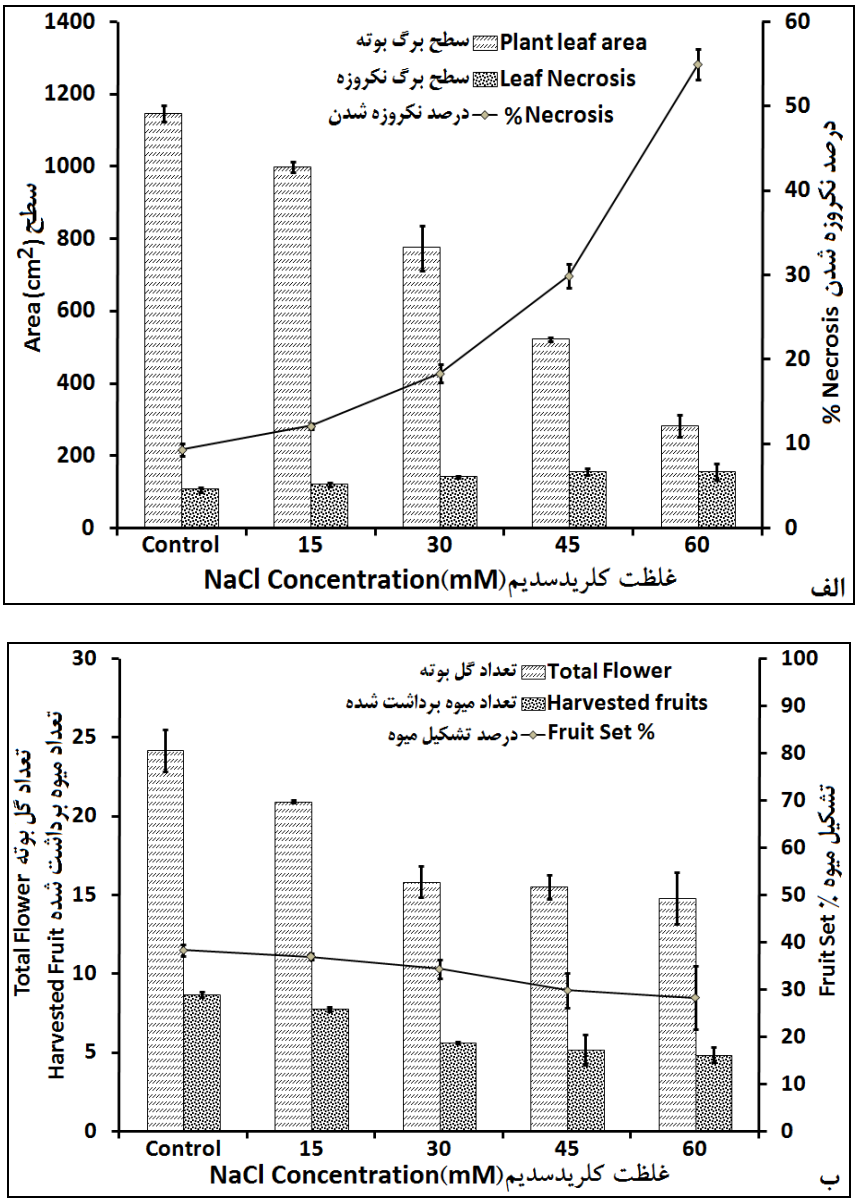


شکل ۲: اثر تنش شوری بر نشت الکترولیت و محتوای نسبی آب برگ (الف)، تعداد برگ و کلروفیل کل (ب) توت‌فرنگی رقم کاماروزا

Fig. 2: Effect of salt stress on electrolyte leakage and RWC (a), number of leaf and total chlorophyll (b) strawberry cv. Camarosa

نتایج به‌دست آمده همچنین نشان داد که تنش شوری بر صفات مختلف رشد زایشی و اجزای عملکرد نیز مانند تعداد گل و میوه، درصد تشکیل میوه، متوسط وزن میوه و عملکرد تأثیر قابل‌توجه‌ای داشت. تعداد گل تولید شده در هر بوته توت‌فرنگی رقم کاماروزا در سطوح شوری صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۴/۱۷، ۲۰/۹۲، ۱۵/۸۳، ۱۵/۵۰ و ۱۴/۷۸ به‌دست آمد. کاهش ۳۹ درصدی تعداد گل در سطح ۶۰ میلی‌مولار کلریدسدیم نسبت به شاهد قابل توجه بود (شکل ۳- ب). به همین ترتیب، تعداد میوه برداشت شده در سطوح شوری ذکر شده به ترتیب ۸/۶۷، ۷/۷۵، ۵/۶۳، ۵/۱۷ و ۴/۸۳

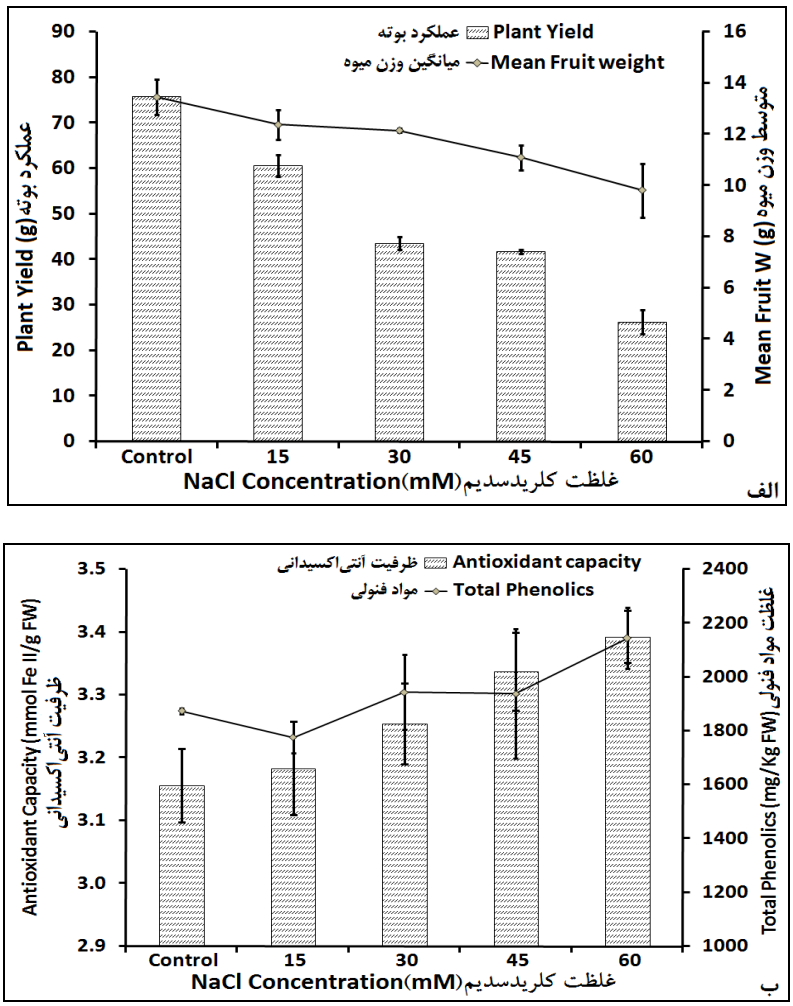
عدد بود که بر این اساس گیاهان تیمار شده با کلریدسدیم ۶۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد از ۴۴٪ تعداد میوه کمتری برخوردار بودند. درصد تشکیل میوه تفاوت معنی‌داری در سطوح مختلف شوری نشان نداد.



شکل ۳: اثر تنش شوری بر سطح برگ و نکروزه کل بوته و درصد نکروزه (الف)، تعداد گل، میوه و درصد تشکیل میوه (ب) توت‌فرنگی رقم کاماروزا

Fig. 3: Effect of salt stress on leaf area, leaf necrosis and (a), number of flower, fruit and fruit set (b) strawberry cv. Camarosa

متوسط وزن میوه و عملکرد بوته نیز در اثر شوری کاهش قابل توجهی نشان دادند به‌گونه‌ای‌که متوسط وزن میوه در سطوح شوری ۱۵ تا ۶۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۸/۰۵، ۹/۷۱، ۱۷/۵۷ و ۲۷/۱۲ درصد نسبت به شاهد کمتر بود. همچنین عملکرد بوته نیز به‌ترتیب ۱۹/۹۰، ۴۲/۵۰، ۴۴/۹۰ و ۶۵/۳۰ درصد نسبت به عملکرد گیاه شاهد (۷۵/۷۴ گرم) کاهش یافت (شکل ۴- الف).



شکل ۴: اثر تنش شوری بر وزن میوه و عملکرد (الف)، غلظت مواد فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه (ب) توت‌فرنگی رقم کاماروزا

Fig. 4: Effect of salt stress on fruit weight and yield (a), phenolic compounds and antioxidant capacity (b) strawberry cv. Camarosa

همان‌گونه که در شکل ۴- ب نشان داده شده است، افزایش سطح شوری بر خصوصیات مربوط به ارزش غذایی میوه مانند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مواد فنولی تأثیر گذاشت. افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در اثر تنش شوری تا سطح ۳۰ میلی‌مولار کلریدسدیم معنی‌دار نبود. اما میوه‌های بوته‌های تحت تنش کلریدسدیم ۴۵ و ۶۰ میلی‌مولار با اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد به‌ترتیب از ۵ و ۷/۵ درصد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری برخوردار بودند (۳/۳۹). تنش شوری به خصوص در سطوح ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌مولار سبب افزایش محتوای مواد فنولی میوه نیز گردید و میوه‌های تحت تنش ۶۰ میلی‌مولار بالاترین مقدار مواد فنولی را داشتند (۲۲۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر)، که حدود ۲۱٪ افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد.

نتایج تغییرات دیگر خصوصیات کیفی میوه در سطوح مختلف شوری در جدول ۲ نشان داده شده است. با افزایش سطح شوری کاهش معنی‌داری در غلظت مواد جامد محلول کل مشاهده شد، کاهش در مقدار مواد جامد محلول کل میوه در سطوح ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد معنی‌دار نبود ولی میوه‌های تحت تنش ۶۰ میلی‌مولار حاوی ۱۵٪ مواد جامد محلول کمتری نسبت به شاهد بودند. میوه‌های گیاهان شاهد همچنین از بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتر (۰/۸۸٪) برخوردار بودند. اگرچه بین سطوح مختلف تنش، اختلاف معنی‌داری از نظر اسیدیته میوه مشاهده نشد ولی افزایش سطح شوری تا ۶۰ میلی‌مولار کلریدسدیم سبب کاهش قابل توجه ۱۳ درصدی در مقدار اسیدیته میوه نسبت به شاهد گردید.

مقدار ویتامین ث در اثر تنش شوری کاهش یافت به‌طوری‌که میوه‌های شاهد از بیشترین مقدار ویتامین ث (۶۹/۷۲ میلی‌گرم در صد گرم وزن تر) برخوردار بودند، و اعمال تنش در سطح ۱۵ میلی‌مولار سبب کاهش ۱۶/۵ درصدی در مقدار ویتامین ث گردید. اما بین سطوح مختلف تنش شوری (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌مولار) از این نظر اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. آنتوسیانین مهم‌ترین رنگیزه میوه توت‌فرنگی می‌باشد که براساس نتایج مندرج در جدول ۲، با اعمال تنش شوری غلظت آن به نحو چشمگیری افزایش یافت و از حدود

۴۹/۲۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم در میوه‌های شاهد به ۵۹/۶۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم در بالاترین سطح شوری رسید (۲۱٪ افزایش). پرولین میوه که در تیمار شاهد ۱۰/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود با افزایش سطح شوری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری‌که مقدار آن در میوه‌های تحت تنش ۶۰ میلی‌مولار کلریدسدیم با ۸۴٪ افزایش به ۱۸/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید. سفتی بافت میوه‌ها نیز تحت تأثیر شوری قرار گرفت و با بیشتر شدن سطح شوری افزایش یافت و در سطح شوری ۶۰ میلی‌مولار کلریدسدیم به بیشترین مقدار خود رسید (۲/۷۰ نیوتن).

جدول ۲: اثر تنش شوری بر برخی خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم کاماروزا*

Table 2: Effect of salt stress on some quality characteristics of strawberry fruit cv. Camarosa*

سطوح شوری (میلی‌مولار کلریدسدیم) Salinity level (mM NaCl)	مواد جامد محلول کل (درصد) Total Soluble Solids (٪)	اسیدیته قابل تیتر (درصد) Titratable acidity (٪)	ویتامین ث (میلی‌گرم در صد گرم وزن تر) Vitamin C (mg/100g FW)	آنتوسیانین کل (میلی‌گرم در صد گرم وزن تر) Anthocyanin (mg/100g Fw)	پرولین میوه (میلی‌گرم در صد گرم وزن تر) Fruit proline (mg/g FW)	سفتی بافت (نیوتن) Firmness (N)
Control	10.67^{a}	0.88^{a}	69.72^{a}	49.27^{b}	10.24^{b}	2.21^{c}
15	10.14^{ab}	0.77^{b}	58.33^{b}	52.30^{ab}	10.32^{b}	2.27^{c}
30	9.85^{abc}	0.75^{b}	60.28^{b}	54.17^{ab}	16.98^{a}	2.46^{b}
45	9.56^{bc}	0.76^{b}	57.78^{b}	58.29^{a}	17.68^{a}	2.53^{ab}
60	9.00^{c}	0.76^{b}	58.33^{b}	59.64^{a}	18.88^{a}	2.70^{a}

* حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت آماری در سطح ۵٪ است

Different letters indicate significant differences at the level of 5%

نتایج مربوط به همبستگی صفات مورد بررسی در جدول ۳ آمده است. براساس این نتایج سطح برگ بوته با وزن تر شاخساره و محتوی نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین عملکرد بوته به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صفات مورد بررسی با ویژگی‌هایی مانند وزن تر شاخساره، سطح برگ بوته، محتوی نسبی آب، تعداد گل و تعداد میوه همبستگی مثبتی داشت و در مقابل با صفاتی مانند درصد نکروزه برگ و نشت الکترولیت همبستگی منفی نشان داد.

جدول ۳: همبستگی بین برخی خصوصیات توت‌فرنگی رقم کاماروزا

Table 3: Correlation between some characteristics of strawberry cv. Camarosa

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	وزن تر شاخساره Shoot FW	1								
2	سطح برگ بوته Leaf Area	0.98^{**}	1							
3	درصد نکروزه برگ Leaf Necrosis	-0.91^{**}	-0.93^{**}	1						
4	محتوای نسبی آب برگ Leaf RWC	0.87^{**}	0.87^{**}	-0.87^{**}	1					
5	نشت الکترولیت EL	-0.91^{**}	-0.93^{**}	0.96^{**}	-0.86^{**}	1				
6	تعداد گل Flower no.	0.77^{**}	0.97^{**}	-0.67^{**}	0.69^{**}	-0.64^{**}	1			
7	تعداد میوه Fruit no.	0.84^{**}	0.84^{**}	-0.71^{**}	0.74^{**}	-0.65^{**}	0.81^{**}	1		
8	عملکرد بوته Yield	0.92^{**}	0.92^{**}	-0.86^{**}	0.86^{**}	-0.80^{**}	0.89^{**}	0.86^{**}	1	
9	وزن میوه Fruit weight	0.82^{**}	0.83^{**}	-0.76^{**}	0.67^{**}	-0.81^{**}	0.62^{*}	0.58^{*}	0.76^{**}	1

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، **: معنی‌دار در سطح ۱٪

*significant at the level of 5%, **significant at the level of 1%

بحث

براساس نتایج به‌دست آمده، شوری سبب کاهش تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر شاخساره و ریشه گردید. مکانیسم اثر شوری بر گیاه از طریق تأثیر بر مقدار مواد فتوسنتزی ساخته شده در برگ‌ها و روند انتقال آنها به سایر بخش‌های گیاه می‌باشد (سیدی و همکاران، ۱۳۸۹). شوری به سادگی روابط آبی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث افزایش میزان انرژی لازم برای حفظ حالت طبیعی سلول می‌شود، در نتیجه انرژی کمتری برای نیازهای رشدی باقی می‌ماند و باعث کاهش سرعت رشد و در نتیجه آن تولید برگ‌های کوچک‌تر، گیاه کوچک‌تر و در مواردی تعداد برگ کمتر است. طول و حجم ریشه‌ها نیز کاهش می‌یابد، اما ممکن است نازک‌تر یا ضخیم‌تر شوند (*گراتان و گریو*[1]، 1998؛ سعید[2]، 2004). محتوای نسبی آب برگ، از نظر فیزیولوژیکی، یک معیار سنجش مناسب برای آگاهی از وضعیت آب گیاه است. اثر کاهشی شوری بر محتوای نسبی آب برگ بوته توت‌فرنگی رقم کاماروزا را می‌توان به سادگی درک نمود زیرا یکی از اثرات اولیه شوری افزایش غلظت نمک و پتانسیل اسمزی محلول غذایی و در نتیجه کاهش جذب آب و به‌دنبال آن کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها و کمتر شدن آب بافت گیاهی می‌باشد (*مونس*[3] و همکاران، 1982). نتایج حاصل از کار *کیوتگن و پاولزیک* (2009) بر دو رقم توت‌فرنگی نیز نشان داد که شوری محتوای نسبی آب برگ را به میزان قابل‌توجهی کاهش داد.

در تنش شوری خروج آب از سلول‌ها مانع از رشد آنها می‌گردد. از طرف دیگر با کوچک شدن و ریزش برگ‌ها منبع تولید آسیمیلات‌ها در گیاه کاهش می‌یابد، بنابراین مقدار موادی که به سلول‌ها می‌رسد به مراتب کاهش چشمگیری پیدا می‌کند، که در نهایت هم تعداد و هم اندازه سلول‌ها کاهش می‌یابد (*راوسون*[4] و همکاران، 1988). کاهش رشد تحت تنش شوری در بسیاری از گونه‌های گیاهی مانند گوجه‌فرنگی (*ماجیو و رایموندی*[5]، 2007)، ذرت (*شینگون و کانگ‌مینگ*[6]، 2005) و بسیاری گونه‌های دیگر گزارش شده است. در توضیح مکانیسم‌های سمیت نمک در برگ‌ها، در گذشته بیشتر تأکید بر جلوگیری از فعل و انفعالات آنزیمی و توزیع نامناسب نمک بین سیتوپلاسم و واکوئل بوده است، امروزه شواهد زیادی بر فرضیه *اورتلی*[7] (1968) وجود دارد که تجمع نمک در آپوپلاسم برگ منجر به از دست دادن آب سلول‌ها، شادابی و در نهایت مرگ سلول‌ها و بافت برگ می‌شود (سعید، 2004). تنش اسمزی خیلی سریع گسترش سلولی در نوک ریشه و برگ‌های جوان را کاهش می‌دهد و باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود و نه تنها دارای اثرات سریعی بر رشد است، بلکه دارای اثرات بیشتری نسبت به تنش یونی بر روی سرعت رشد می‌باشد (*مونس و تستر*[8]، 2008). مرگ سلول‌ها در اثر شوری سبب بروز خشکیدگی برگ و لکه‌های نکروزه می‌شود که در نتایج به‌دست آمده در این آزمایش نیز مشخص گردید در سطوح شوری بالا علاوه‌بر کاهش تعداد برگ تولید شده و کوچک‌تر شدن برگ‌ها، درصد نکروزه برگ‌های روی بوته نیز افزایش قابل توجه‌ای یافت. نتیجه دیگری که در این آزمایش به‌دست آمد اثرپذیری بیشتر بخش هوایی بوته نسبت به بخش ریشه بود. بروز این مسأله را می‌توان به حساس‌تر بودن بخش شاخساره نسبت داد، پدیده‌ای که در خاک‌های خشک نیز رخ می‌دهد. با کاهش بیشتر رشد و نمو برگ نسبت به ریشه، استفاده آب توسط گیاه کاهش خواهد یافت، بنابراین رطوبت خاک حفظ شده و از افزایش غلظت نمک در خاک جلوگیری می‌شود. وقتی‌که مرحله اثر یونی تنش شوری بر گیاه آغاز می‌گردد، برگ‌های پیر که تجمع نمک در آنها به غلظت سمی رسیده است، می‌میرند (*مونس و تستر*، 2008). در طول روز، کاهش در بزرگ شدن سلول‌ها و تقسیم سلولی منجر به کاهش سرعت ظهور برگ‌های جدید خواهد شد و اندازه نهایی برگ‌ها کاهش خواهد یافت. تغییر در ابعاد و اندازه سلول با کاهش بیشتری در سطح سلول همراه است، به‌طوری‌که برگ‌ها کوچک‌تر و ضخیم‌تر می‌شوند (*مونس و تستر*، 2008). در اثر تنش شوری نمک کلریدسدیم، برگ‌های توت‌فرنگی ابتدا از نوک و حاشیه خشک شدند که این خشکیدیگی در ادامه به سمت مرکز برگ بسط یافتند و نهایتاً لکه‌های نکروزه تمام برگ را پوشاندند. این سوختگی برگ‌ها علائم مشخص کلر اضافی در ناحیه ریشه است (*کیوتگن و پاولزیک*، 2009).

مطابق با نتایج پیشتر گزارش شده، در این آزمایش نیز اثر شوری در کاهش سبزینگی و کلروفیل برگ توت‌فرنگی مشاهده شد (*توهما و اسیتکن*[9]، 2011). به نظر می‌رسد نمک کلریدسدیم باعث به تاخیر انداختن سنتز و یا تسریع در تجزیه رنگیزه کلروفیل بوده و یا در فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر سنتز

1. Grattan and Grieve
2. Saied
3. Munns
4. Rawson
5. Maggio and Raimondi
6. Xinghong and Congming
7. Oertli
8. Munns and Tester
9. Tohma and Esitken

رنگدانه‌های سبز در گیاه، اختلال ایجاد می‌کند (*دیاپونماکا*[1] و همکاران، 2010).

نتایج به‌دست آمده نشان داد که با بیشتر شدن سطح شوری، نشت الکترولیت بافت بیشتر شد. نشت الکترولیت برای سنجش میزان تراوایی غشاء مورد استفاده قرار می‌گیرد و افزایش مقدار آن در بافت نشان‌دهنده تنش و وارد آمدن خسارت به غشای سلول‌های بافت می‌باشد (*فرخنده*[2] و همکاران، 2012). نتایج *کایا* و همکاران (2002) نشان داد که غلظت بالای نمک کلریدسدیم در محلول غذایی (۳۵ mM) به‌طور معنی‌داری باعث افزایش میزان نشت الکترولیت در ارقام توت‌فرنگی اسوگراند و کاماروزا گردید.

هر گیاهی جهت دستیابی به عملکرد بالاتر به تولید میوه بیشتر و میوه‌های بزرگ‌تر نیاز دارد. چنین مسأله‌ای مستلزم رشد قوی رویشی بوته و برخورداری از ذخایر غذایی کافی است. این رشد مناسب در صورتی میسر خواهد شد که آب و عناصر غذایی به مقدار بهینه و کافی، توسط ریشه‌ها جذب شود (*تورهان و آتیلا*[3]، 2004). همان‌گونه در نتایج اشاره گردید در سطوح بالاتر شوری، متوسط وزن میوه توت‌فرنگی کاهش یافت که می‌توان آن را به‌دلیل محدود شدن جریان آب به‌سمت میوه دانست. از علل کاهش میزان جذب آب در سطوح شوری بالا، به‌دنبال افزایش مقادیر هدایت الکتریکی، کاهش نفوذپذیری ریشه می‌باشد که منجر به کاهش جذب آب توسط گیاه و متعاقباً میوه می‌شود (*کارترو و فرناندز مونز*[4]، 1999). کمتر شدن تعداد و وزن میوه به سادگی سبب کاهش عملکرد بوته توت‌فرنگی گردید. یافته‌های مشابهی توسط *یحیی*[5] و همکاران (1995) و *سعید* و همکاران (2005) بر توت‌فرنگی گزارش شده است.

کمتر شدن غلظت مواد جامد محلول در میوه گیاهانی که تحت شرایط تنش شوری هستند، به دلایل مختلفی می‌تواند رخ دهد. شوری می‌تواند با کاهش فتوسنتز، تولید قندها را محدود نماید (*آوانگ*[6] و همکاران، 1993). همچنین غلظت بالای سدیم در خاک سبب کاهش جذب پتاسیم می‌شود، عنصری که نقشی کلیدی در ساخت قندها و اسیدهای محلول میوه دارد (*خیاط*[7] و همکاران، 2007). در بسیاری موارد مقدار قند و اسید هر میوه در سطوح بالای شوری کمتر می‌شود (*گرینوی و مونس*، 1980). براساس گزارش *الیحیایی*[8] و همکاران (2010) در میوه گوجه‌فرنگی با افزایش سطح شوری از ۳ به ۶ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته قابل تیتر کاهش معنی‌دار یافت. در توت‌فرنگی رقم کاماروزا نیز تنش شوری اسیدیته قابل تیتر را اندکی کاهش داد (*خیاط* و همکاران، 2007). کاهش در اسیدیته قابل تیتر و همچنین غلظت مواد جامد محلول میوه توت‌فرنگی تحت شرایط تنش شوری به‌وسیله *سعید* و همکاران (2005)؛ *کایا* و همکاران (2003) و *کیوتگن و پاولزیک* (2007) نیز گزارش شده است. در این آزمایش، شوری باعث بیشتر شدن سفتی میوه شد. افزایش سفتی بافت میوه در اثر شوری برای گوجه‌فرنگی نیز گزارش شده است (*الیحیایی* و همکاران، 2010). تغییرات در سفتی بافت میوه بر اثر تنش شوری ارتباط نزدیکی با ترکیبات دیواره سلولی دارد (*ساتو*[9] و همکاران، 2006). براساس یافته‌های *پترسن*[10] و همکاران (1998) شوری سبب کوچک‌تر شدن سلول‌های پریکارپ و ضخیم شدن دیواره‌های سلولی می‌گردد، که می‌تواند افزایش سفتی در اثر شوری در آزمایش ما را توجیه کند.

کاهش مقدار ویتامین ث میوه در سطوح بالای شوری را می‌توان به کمتر شدن تولید قندها در نتیجه فتوسنتز نسبت داد زیرا در مسیر بیوسنتز ویتامین ث نقشی کلیدی ایفا می‌کنند (*بریچ و پپر*[11]، 1983). افزایش غلظت رنگیزه آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی با بیشتر شدن شوری را نیز می‌توان به‌دلیل بیشتر شدن فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز نسبت داد زیرا این آنزیم کلیدی در بیوسنتز آنتوسیانین‌ها، در سطوح بالاتر نمک نیز به خوبی فعالیت می‌کند (*ماتسوموتو*[12] و همکاران، 1994). از طرفی آنتوسیانین‌ها از جمله ترکیبات فنولی و نیز ترکیبات با ارزش آنتی‌اکسیدانی هستند که افزایش آنها با بیشتر شدن شوری در یک راستا قابل پذیرش است. براساس یافته‌های *دیاپونماکا* و همکاران (2010) قرار دادن گیاه در معرض تنش شوری، منجر به افزایش محتوای مواد فنولی محصول برنج شد. تجمع مواد فنولی و آنتی‌اکسیدانی در اثر تنش شوری، در توت‌فرنگی و نیشکر نیز مشاهده شده است (*دیاپونماکا* و همکاران، 2010؛ *کیوتگن و پاولزیک*، 2007). پرولین ازجمله اسیدآمینه‌های مهمی است که غلظت آن در شرایط تنش‌های محیطی در بافت‌های گیاهی افزایش می‌یابد. *پرز- آلفوسیا*[13] و همکاران (1994) اظهار داشتند که انباشتگی

1. Daiponmaka
2. Farkhondeh
3. Turhan and Atilla
4. Cuartero and Fernandez-Munoz
5. Yahya
6. Awang
7. Khayyat
8. Al-Yahyai
9. Sato
10. Petersen
11. Birch and Pepper
12. Matsumoto
13. Perez-Alfocea

پرولین ممکن است برای تنظیم اسمزی در سطح مولکولی ادامه پیدا کند. پرولین به‌عنوان یک محافظ آنزیمی پایدارکننده ساختمان ماکرومولکول‌ها و منبع اصلی انرژی و نیتروژن در مقابل شوری به شمار می‌رود. گزارشات مکرری سنتز پرولین تحت شرایط تنش و جلوگیری از اکسید شدن آن را نشان می‌دهند که نتیجه آن تجمع پرولین در بافت‌های تحت تنش می‌باشد (*منصور*[1]، 2000؛ *میسرا و کوپتا*[2]، 2005).

1. Mansour
2. Misra and Gupta

منابع

سیدی، ا.، عبادی، ع.، بابالار، م. و سعیدی، ب. ۱۳۸۹. بررسی اثر سطوح تراکم کاشت بر عملکرد و کیفیت میوه توت فرنگی رقم سلوا در سیستم کشت بدون خاک عمودی. نشریه علوم باغبانی، ۲۴: ۶-۱.

شاکری، ف.، بانی‌نسب، ب.، قبادی، س. و مبلی، م. ۱۳۸۸. اثر غلظت و روش استفاده از پاکلوبوترازول بر رشد رویشی و زایشی توت‌فرنگی رقم سلوا (*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. Selva). نشریه علوم باغبانی، ۲۳: ۲۴-۱۸.

یوسفی، م.، طباطبایی، ج.، حاجیلو، ج. و مهنا، ن. ۱۳۹۲. تأثیر شوری غیریکنواخت در بخشی از ریشه بر شدت فتوسنتز و غلظت عناصر غذایی گیاه توت‌فرنگی رقم کاماروزا. نشریه علوم باغبانی، ۲۷: ۱۸۴-۱۷۸.

Al-Yahyai, R., Al-Ismaily, S. and Al-Rawahy, S. A. 2010. Growing tomatoes under saline field conditions and the role of fertilizers. A Monograph on Management of Salt-Affected Soils and Water for Sustainable Agriculture, 83-88.

Akhtar, J. 2003. Effects on some physic-chemical and mineralogical characteristics of salt-affected soil by growing kallar grass using saline water. Institute of Geology/ University of the Punjab, 180 pp.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24: 1-15.

Awang, Y. B., Atherton, J. G. and Taylor, A. J. 1993. Salinity effects on strawberry plants Grown in Rockwool II. Fruit quality. Journal of Horticultural Science, 68: 631-635.

Bates, I. S., Waldern, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free prolin for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

Birch, G. G. and Pepper, T. 1983. Protection of vitamin C by sugars and their hydrogenated derivatives. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 31: 980-985.

Cuartero, J. and Fernandez-Munoz, R. 1999. Tomato and salinity. Scientia Horticulturae, 78: 83-125.

Daiponmaka, W., Theerakulpisutb, P., Thanonkaoc, P., Vanavichitd, A. and Prathephaa, P. 2010. Changes of anthocyanin cyanidin-3-glucoside content and antioxidant activity in Thai rice varieties under salinity stress. Science Asia, 36: 286-291.

FAO, 2013. http://faostat3.fao.org//faostat-gateway/go/to/compare/Q/QC/E.

Farkhondeh, R., Nabizadeh, E. and Jalilnezhad, N. 2012. Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relations in two sugar beet cultivars. International Journal of AgriScience, 2: 385-392.

Grattan, S. R. and Grieve, C. M. 1998. Salinity-Mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae, 78: 127-157.

Greenway, H. and Munns, R. 1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes: annual review. Plant Physiology, 31: 149-190.

Guo, C., Yang, J., Wei, J., Li, Y., Xu, J. and Jiang, Y. 2003. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. Nutrition Research, 23: 1719-726.

Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular, 347: 1-32.

Hernández, Y., Lobo, M. G. and González, M. 2006. Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. Food Chemistry, 96: 654-664.

Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D. and Saltali, K. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high NaCl salinity. Scientia Horticulture, 93: 65-74.

Kaya, C., Ak, B. E. and Higgs, D. 2003. Response of salt stressed strawberry plants to supplementary calcium nitrate and/or potassium nitrate. Journal of Plant Nutrition, 26: 543-560.

Keutgen, A. J. and Pawelzik, E. 2007. Medifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. Food Chemistry, 105: 1487-1494.

Keutgen, A. J. and Pawelzik, E. 2008. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. Food Chemistry, 107: 1413-1420.

Keutgen, A. J. and Pawelzik, E. 2009. Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. Environmental and Experimental Botany, 65: 170-176.

Khayyat, M., Tafazoli, E., Eshghi, S., Rahemi, M. and Rajaee, S. 2007. Salinity, supplementary calcium and potassium effects on fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch). American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 2: 539-544.

Lee, J., Durst, R. W. and Wrolstad, R. E. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. Journal of AOAC International, 88: 1269-1278.

Maggio, A. and Raimondi, G. 2007. Salt stress respons in tomato beyond the salinity tolerance threshold. Journal of Experimental Botany, 59: 276-282.

Mansour, M. F. 2000. Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. Biologia Plantarum, 43: 491-500.

Matsumoto, S., Takeuchi, A., Hayatsu, M. and Kondo, S. 1994. Molecular cloning of phenylalanine ammonia-lyase cDNA and classification of varieties and cultivars of tea plants (*Camellia sinensis*) using the tea PAL cDNA probe. Theoretical and Applied Genetics, 89: 671-675.

Misra, N. and Gupta, A. K. 2005. Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. Plant Science, 169: 331-339.

Munns, R., Greenway, H., Delane, R. and Gibbs, R. 1982. Ion concentration and carbohydrate status of the elongating leaf tissue of *Hordeum vulgar* growing at high external NaCl. Journal of Experimental Botany, 33: 574-583.

Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59: 651-681.

Oertli, J. J. 1968. Extracellular salt accumulation, a possible mechanism of salt injury in plants. Agrochimica, 12: 461-469.

Perez-Alfocea, F., Santa-Cruz, A., Guerrier, G. and Bolarin, M. C. 1994. NaCl stress induced organic solute change on leaves and calli of (*Lycopersicum esculentum* L.). pennellii and their inter specific hybrid. Plant Physiology, 143: 106-111.

Petersen, K. K., Willumsen, J. and Kaack, K. 1998. Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources, Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 73: 205-215.

Rawson, H. M., Iong, M. J. and Munns, R. 1988. Growth and development in NaCl treated plants. Plant Physiology, 15: 519-527.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. and Holaday, A. S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30: 105-111.

Saied, A. S. 2004. Differences in NaCl stress tolerance of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars Elsanta and Korona. Cuvillier Verlag, 111: 1-14.

Saied, A. S., Keutgen, A. J. and Noga, G. 2005. The influence of NaCl salinity on growth, yield and fruit quality of strawberry cvs. Elsanta and Korona. Scientia Horticulturae, 103: 289-303.

Sato, S., Sakaguchi, S., Furukawa, H. and Ikeda, H. 2006. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristic of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Scientia Horticulturae, 109: 248-253.

Slinkard, K. and Singleton, V. L. 1977. Total phenol analyses: Automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture, 28: 49-55.

Tohma, O. and Esitken, A. 2011. Response of salt stressed strawberry plants to foliar salicylic acid pre-treatments. Journal of Plant Nutrition, 34: 590-599.

Tulipani, S., Mezzetti, B., Capocasa, F., Bompadre, S., Beekwilder, J., Ricvos, C. H., Capanoglu, E., Bovy, A. and Battino, M. 2008. Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 56: 696-704.

Turhan, E. and Atilla, E. 2004. Effect of chloride application and different media on ionic strawberry plants under salt stress conditions. Soil Science and Plant Analysis, 36: 1021-1028.

Turhan, E. and Eris, A. 2005. Changes of micronutrients, dry weight and chlorophyll contents in strawberry plants under salt stress conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36: 1021-1028.

Xinghong, Y. and Congming, Lu. 2005. Photosynthesis is improved by exogenous glycinebetaine in salt stressed Maize plants. Physiologia Plantarum, 124: 343-352.

Yahya, B., Awang, J. and Atherton, G. 1995. Growth and fruiting responses of strawberry lants grown on Rockwool to shading and salinity. Scientia Horticulturae, 62: 25-31.

Zhao, Y., Aspinall, D. and Paleg, L. G. 1992. Protection of membrance integration (*Medicago saliva* L.). By glycinebetaine against the effects of freezing. Journal of Plant Physiology, 14: 541-543.

The Effects of Salinity on Vegetative Growth Physiology, Yield Properties and Fruit Quality of Strawberry cv. Camarosa

Najafi Marghmaleki[1], S., Mortazavi[2*], S. M. H. and Moallemi[3], N.

Abstract

Strawberry is one of the unique small fruits which it's annual (in glasshouse) and perennial culture has been expanding. This plant is sensitive to salinity. This research was done to investigate the effects of different salinity levels (0, 15, 30, 45 and 60 mM NaCl) on changes of vegetative and reproductive growth and fruit quality of strawberry in hydroponics system. The experiment was done based on a randomized complete blocks design with three replicates. The results showed that by increasing the level of salinity, in addition of considerable loss of fresh and dry weight of plant shoot and root parts, leaves number and area also reduced significantly so that the plant yield at different salinity levels of 15, 30, 45 and 60 mM reduced by 20, 42, 45 and 65% respectively compared to control. The salinity stress also resulted in reduced leaf chlorophyll and relative water content, fruit TSS and titratable acidity while the amount of leaf electrolyte leakage, necrosis area and percentage, fruit anthocyanin, antioxidant capacity, phenolic content, proline and firmness were enhanced by increasing the level of salinity. Totally the majority of changes in response to using salinity stress were observed in vegetative and reproductive plant growth, while, changes in the properties of fruit quality was less affected by salinity.

Keywords: Salinity stress, Sodium Chloride, Fruit quality, Camarosa

1, 2 and 3. Gratuated M.Sc. Student, Associate Professor and Professor, Respectively, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

*: Corresponding author Email: mortazavi_mh@scu.ac.ir