روابط خاک و گیاه / سال یازدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۳۹۹/ صفحات ۱۱۲-۱۰۱ مقاله پژوهشی

تأثیر سطوح مختلف شوری بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های فلفل (*Capsicum annum* L.)

عبداله صداقت‌پور[۱]، بهمن زاهدی* و عبداله احتشام‌نیا

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۷)

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری آب و خاک تولید محصولات کشاورزی را محدود می‌کند. ارزیابی تحمل به شوری گیاهان به‌منظور کشت در مناطق شور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌منظور بررسی تأثیر تنش شوری بر ده ژنوتیپ مختلف فلفل، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۳ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا شد. فاکتور اول، تیمار شوری با استفاده از کلرید سدیم (NaCl) در چهار سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مول در لیتر و فاکتور دوم شامل ۱۰ ژنوتیپ مختلف فلفل قلمی (ژنوتیپ‌های بانه، چهارمحال، سبزوار، ارومیه، میناب، تبریز، لردگان، شهرکرد، مراغه و قالاجیغ) به‌صورت کشت خاکی در گلدان بود. تجزیه آماری نشان داد مشخصه‌های کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، وزن تازه و خشک ریشه و وزن تازه و خشک برگ با افزایش میزان شوری، کاهش معنی‌داری داشتند. به‌گونه‌ای که تمامی صفات مورد بررسی در تیمار ۷۵ میلی‌مولار، بیش‌ترین کاهش را نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که تنها میزان پرولین با افزایش شوری، افزایش یافت به‌گونه‌ای که کم‌ترین میزان پرولین مربوط به تیمار شاهد و بیش‌ترین میزان آن مربوط به تیمار ۷۵ میلی‌مولار بود.

واژه‌های کلیدی: تنش، کلرید سدیم، پرولین، فلفل

مقدمه

فلفل (*Capsicum annum* L.) گیاهی از خانواده سیب‌زمینی‌سانان (Solanacea) است. گیاه فلفل به‌عنوان یک محصول نسبتاً حساس به شوری معرفی شده است (۱۸). رشد و عملکرد گیاهان در بسیاری از مناطق دنیا توسط تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده متعدد محدود می‌شود و در بین تنش‌های غیرزنده، تنش شوری خسارات گسترده‌ای به محصولات کشاورزی وارد می‌کند (۳۸). تخمین زده می‌شود که نزدیک به هفت درصد از زمین‌های کشاورزی در جهان تحت تأثیر شوری قرار دارند و پیش‌بینی می‌شود افزایش شوری باعث از دست رفتن ۵۰ درصد زمین‌های قابل‌کشت تا اواسط قرن بیست و یکم شود (۲۷ و ۴۹).

آثار سه‌گانه شوری شامل کاهش پتانسیل آبی، به‌هم خوردن هموستازی یونی و سمّیت است که موجب تغییر در وضعیت

۱. گروه علوم باغبانی، دانشگاه لرستان، لرستان، خرم آباد، ایران.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zahedi.b@lu.ac.ir

آبی گیاه و درنتیجه کاهش رشد اولیه گیاه و محدودیت در تکثیر و تولیدمثل گیاه می‌شود. تنش شوری عموماً برای هر دو اثر اسمزی و سمیّت یونی تعریف می‌شود؛ از این‌رو توقف در رشد و اختلال در فرایند تکثیر گیاهان مستقیماً در ارتباط با غلظت کلی نمک‌های محلول یا پتانسیل اسمزی خاک است (۳۱). اثر منفی شوری خاک بر رشد گیاه به‌وسیله یون‌های سمّی مانند کلر و سدیم، تولید اتیلن، پلاسمولیز، اختلال در انتقال عناصر غذایی، تولید اکسیژن فعال، ممانعت از فتوسنتز و درنهایت ممانعت از جوانه‌زنی بذرها و رشد آن‌ها، گلدهی و تشکیل میوه می‌شود (۱۱). میزان این تأثیر به نوع گیاه، ترکیب املاح، بافت و ساختمان خاک و حتی روش آبیاری بستگی دارد (۳۹). تنش شوری از طریق کاهش طول ریشه گیاه فلفل، رشد آن را به میزان زیادی سرکوب می‌کند و میزان فتوسنتز و کلروفیل را به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد (۳۳)، با افزایش میزان مالون دی‌آلدهید باعث القای تنش اکسیداتیو می‌شود (۱)، باعث کاهش محتوای نسبی آب، افزایش تجمع پرولین آزاد نسبت به گیاهان شاهد می‌شود (۶۱)، بیش‌ترین میزان تجمع Na^+ و نیز Cl^- در برگ‌های فلفل انجام می‌گیرد (۴۵). طی پژوهش رضایی و همکاران (۴۷) در اصفهان، گزارش شده است که غلظت ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم تأثیر منفی بر وزن ساقه و ریشه تازه و خشک، حجم، طول و قطر ریشه، محتوای کلروفیل و تعداد برگ در گیاه فلفل می‌گذارد. به هر حال ممکن است تحمل گیاهان به شوری تحت شرایط محیطی و مدیریتی و شرایط شوری طبیعی خاک که یون‌های مختلف تشکیل‌دهنده شوری خاک هستند متفاوت باشد (۳۷، ۵۵ و ۵۷).

اصلاح ارقام مقاوم به شوری، یکی از مهم‌ترین روش‌های مؤثر در بهره‌برداری از خاک و آب شور به‌منظور افزایش عملکرد محسوب می‌شود (۳۸). انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش اولین گام برای اصلاح ارقام است که به دو روش مستقیم (اندازه‌گیری عملکرد) و غیرمستقیم (اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با تحمل تنش) انجام می‌شود (۱۷)، بنابراین شناخت ساز و کارهای تحمل به شوری ضروری به نظر می‌رسد. تلاش برای یافتن معیارهایی که بتوان از آن‌ها به‌طور مؤثری در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل یا مقاوم بهره جست، ادامه دارد. استفاده از تنوع گیاهی برای گزینش صفات مطلوب در شرایط تنش، از راه‌های مؤثر در شناسایی این صفات است (۱۷). در پژوهش حاضر به بررسی برخی از ویژگی‌های آگرونومیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک ۱۰ ژنوتیپ گیاه فلفل قلمی تحت تأثیر تنش شوری، پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم، بر برخی پارامترهای بیوشیمیایی (شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و پرولین)، فیزیولوژیک (شامل وزن تازه و خشک ریشه و نیز وزن تازه و خشک برگ) و صفات آگرونومیکی (تعداد میوه، وزن خشک میوه، طول میوه و قطر میوه) روی ۱۰ ژنوتیپ گیاه فلفل به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور A تیمار شوری با استفاده از NaCl در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مول در لیتر که معادل مقادیر رسانایی الکتریکی برابر ۱، ۳/۹، ۶/۸ و ۹/۸ دسی‌زیمنس در متر است) و فاکتور B شامل ۱۰ ژنوتیپ مختلف فلفل (سبزوار، ارومیه، میناب، تبریز، چهارمحال، لردگان، شهرکرد، بانه، مراغه و قالاجیغ بناب) بود. بنابراین ۴۰ ترکیب تیماری با سه تکرار و جمعاً ۱۲۰ گلدان در نظر گرفته شد. پژوهش حاضر در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واقع در کیلومتر ۱۱ خرم‌آباد–اندیمشک انجام گرفت. پس از بررسی منابع و تهیه مواد لازم، ابتدا بذور مورد نظر از بانک ژن کرج تهیه شده و در تاریخ اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ در گلخانه و در خاک شنی کشت شد. پس از کاشت در خزانه در مرحله چهاربرگی به گلدان با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر، حاوی مخلوطی از ماسه، رس و کود حیوانی (به نسبت حجمی ۱:۱:۱) در گلخانه با دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس منتقل شدند. یک هفته پس از استقرار گیاهان در گلدان، تیمارها اعمال شد. تغذیه

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر ژنوتیپ و شوری بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه فلفل.

Table 1. Analysis of variance of genotype and salinity effects on some biochemical and physiological characteristics of pepper plant.

	Mean squares					
Source of variation (SOV)	Genotype (A)	Salinity (B)	A × B	Error	CV
Leaf dry weight	3.38**	74.02**	2.35**	0.67	13.55
Leaf fresh weight	246.05**	3695.96**	128.96**	38.64	14.10
Root dry weight	1.05**	10.34**	0.43**	0.05	13.42
Root fresh weight	91.64**	682.90**	35.40**	4.75	13.96
Proline	0.02**	0.16**	0.01**	0.00	7.18
Carotenoid	0.66*	11.34**	1.65**	0.32	9.15
Total chlorophyll	35.86**	50.00**	49.73**	4.42	7.21
Chlorophyll b	9.62**	11.64**	8.42**	1.23	13.70
Chlorophyll a	10.75**	25.65**	19.48**	2.84	7.94
df	9	3	27	80	

**، * و ns به ترتیب نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطح ۱ و ۵٪ و غیرمعنی‌دار است

**, * and ns, indicate a significant effect at 1 and 5% and non-significant, respectively.

گیاهان با غلظت‌های مختلف نمک هفته‌ای دو تا سه بار و به میزان یک لیتر برای هر گلدان اعمال شد. هر دو هفته یک‌بار به خاطر جلوگیری از تجمع نمک، گلدان‌ها با آب شرب شستشو شدند. پس از گذشت حدود ۴ ماه از اعمال تیمارها، نمونه‌برداری انجام گرفت. پس از نمونه‌برداری، ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه اندازه‌گیری شد.

وزن تازه و خشک برگ و ریشه: برگ‌ها بلافاصله پس از چیده‌شدن توزین شدند. سپس برای تعیین وزن خشک، برگ‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. پس از شستشوی ریشه‌ها و خشک‌شدن رطوبت سطحی آن‌ها، وزن تازه اندازه‌گیری شد. پس از آن ریشه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شده و توزین شدند. طول و قطر میوه توسط کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. به‌منظور جلوگیری از کپک‌زدگی و تخلیه بهتر رطوبت، میوه‌ها خرد شده و در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس و به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. سپس برای تعیین وزن خشک میوه‌ها از ترازوی دیجیتالی استفاده شد. برای سنجش میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید از روش لیشتن تالر (۳۴) استفاده شد. برای سنجش میزان پرولین از روش بیتس و همکاران (۱۲) استفاده شد. برای تجزیه آماری از نرم‌افزارهای Minitab 17 و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، سطوح مختلف شوری تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل، کاتنوئید، میزان پرولین وزن تازه و خشک برگ و ریشه در ژنوتیپ‌های مختلف فلفل گذاشت (جدول ۱).

با افزایش سطح شوری از میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل کاسته شده است. بیش‌ترین میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در بین تیمارها، متعلق به تیمار شاهد (به‌ترتیب با میانگین ۲۲/۱۹، ۸/۹۱ و ۳۰/۳ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار ۷۵ میلی‌مولار (به‌ترتیب با میانگین ۲۰/۳۰، ۷/۵۸ و ۲۷/۹۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) بود (جدول ۲).

در بین ژنوتیپ‌های این گیاه اختلاف معنی‌داری در صفات کلروفیل a، b و کلروفیل کل به‌دست آمد به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میانگین (به‌ترتیب ۲۳/۳۱، ۹/۷۲ و ۳۲/۷۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) را ژنوتیپ مراغه و کم‌ترین میانگین

جدول ۲. مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف شوری بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه فلفل.

Table 2. Mean comparison of the effect of different levels of salinity on some biochemical and physiological characteristics of pepper plant.

75	50	25	0	Salinity level (mM)
4.18^{D}	5.51^{C}	6.46^{B}	7.94^{A}	Leaf dry weight (g per plant)
31.93^{C}	41.52^{B}	44.16^{B}	58.76^{A}	Leaf fresh weight (g per plant)
1.09^{D}	1.49^{C}	1.87^{B}	2.53^{A}	Root dry weight (g per plant)
10.18^{D}	13.93^{C}	16.39^{B}	22.22^{A}	Root fresh weight (g per plant)
0.24^{D}	0.16^{C}	0.10^{B}	0.08^{A}	Proline (µmol g^{1-} FW)
5.65^{C}	5.71^{C}	6.32^{B}	6.96^{A}	Carotenoid (mg g^{-1} FW)
27.92^{B}	28.16^{B}	30.24^{A}	30.30^{A}	Total chlorophyll (mg g^{-1} FW)
7.58^{C}	7.64^{C}	8.28^{B}	8.91^{A}	Chlorophyll b (mg g^{-1} FW)
20.30^{B}	20.49^{B}	21.96^{A}	22.19^{A}	Chlorophyll a (mg g^{-1} FW)

اعداد با حروف مشترک در هر ردیف به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) نمی‌باشند.

Numbers with common letters in each row are not significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

جدول ۳. مقایسه میانگین برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک در ژنوتیپ‌های مختلف گیاه فلفل.

Table 3. Mean comparison of some biochemical and physiological characteristics in different genotypes of pepper plants.

Ghale-jigh	Maragheh	Shahrekord	lordegan	Tabriz	Minab	Orumiyeh	Sabzevar	Chaharmahal	Baneh	Characteristic Genotype
20.53^{BC}	23.31^{A}	20.90^{BC}	19.98^{C}	20.58^{BC}	21.81^{B}	21.72^{B}	20.57^{BC}	21.34^{B}	21.61^{B}	Chlorophyll a (mg g^{-1} FW)
7.53^{B}	9.72^{A}	8.15^{B}	7.25^{B}	7.27^{B}	8.18^{B}	9.61^{A}	8.16^{B}	7.56^{B}	7.58^{B}	Chlorophyll b (mg g^{-1} FW)
27.86^{CDE}	32.72^{A}	28.86^{CDE}	27.04^{E}	27.65^{DE}	29.78^{BC}	31.32^{AB}	28.54^{CDE}	28.71^{CDE}	29.08^{CD}	Total chlorophyll (mg g^{-1} FW)
5.98^{B}	6.57^{A}	6.28^{AB}	5.93^{B}	6.14^{AB}	6.53^{A}	6.09^{AB}	6.08^{AB}	6.08^{AB}	5.91^{B}	Carotenoid (mg g^{-1} FW)
0.227^{A}	0.211^{B}	0.116^{D}	0.095^{E}	0.120^{D}	0.136^{C}	0.142^{C}	0.144^{C}	0.120^{D}	0.142^{C}	Proline (µmol g^{-1} FW)
14.24^{B}	14.96^{B}	11.62^{C}	10.59^{C}	13.74^{B}	18.63^{A}	18.75^{A}	19.21^{A}	18.80^{A}	15.12^{B}	Root fresh weight (g per plant)
1.42^{E}	1.89^{B}	1.49^{DE}	1.16^{F}	1.63^{CD}	1.96^{AB}	1.82^{BC}	2.00^{AB}	2.11^{A}	1.80^{BC}	Root dry weight (g per plant)
45.77^{ABC}	50.62^{A}	35.88^{E}	40.48^{CDE}	39.29^{DE}	48.03^{AB}	43.38^{BCD}	45.58^{ABC}	43.66^{BCD}	48.25^{AB}	Leaf fresh weight (g per plant)
5.78^{BCD}	6.94^{A}	5.13^{D}	5.48^{CD}	6.08^{BC}	6.22^{ABC}	6.53^{AB}	5.89^{BC}	6.03^{BC}	6.31^{AB}	Leaf dry weight (g per plant)

اعداد با حروف مشترک در هر ردیف به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) نمی‌باشند.

Numbers with common letters in each row are not significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

(به‌ترتیب ۱۹/۹۸، ۷/۲۵ و ۲۷/۰۴ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) را ژنوتیپ لردگان به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

با افزایش میزان شوری، مقدار کاروتنوئید کاهش یافت به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین میزان آن متعلق به تیمار ۷۵ میلی‌مولار بود (جدول ۲). بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر میزان کاروتنوئید در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت. بیش‌ترین میزان کاروتنوئید در بین تمام ژنوتیپ‌ها، مربوط به ژنوتیپ مراغه و کم‌ترین مقدار آن متعلق به ژنوتیپ بانه بود (جدول ۳). در بین سطوح تنش شوری بیش‌ترین میزان پرولین برگ مربوط به تیمار ۷۵ میلی‌مولار و کم‌ترین مقدار آن مربوط به سطح شاهد بود (جدول ۲). با افزایش سطح تنش شوری از وزن تازه و خشک ریشه و برگ کاسته شد. در بین سطوح تنش شوری بیش‌ترین وزن تازه و خشک ریشه و برگ مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین آن مربوط به سطح تنش ۷۵ میلی‌مولار بود (جدول ۲). بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی نیز از نظر صفات وزن تازه و خشک ریشه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بیش‌ترین وزن تازه و خشک ریشه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های سبزوار (با میانگین ۱۹/۲۱ گرم هر گیاه) و چهارمحال (با میانگین ۲/۱۱ گرم) و کم‌ترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ لردگان به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۰/۵۹ و ۱/۱۶ گرم بود (جدول ۳). همچنین بیش‌ترین وزن تازه و خشک برگ

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر ژنوتیپ و شوری بر برخی ویژگی‌های آگرونومیکی گیاه فلفل.

Table 4. Analysis of variance of the effects of genotype and salinity on some agronomic characteristics of pepper plant.

Source of variation (SOV)	df	Mean squares			
		Fruit diameter per plant	Fruit length per plant	Dry weight of fruit per plant	Number of fruits per plant
Genotype (A)	9	130.84**	20.79**	7101.84**	2298.04**
Salinity (B)	3	134.51**	20.02**	1496.10**	15787.34**
A × B	27	25.67**	2.23**	683.12**	309.55**
Error	80	4.68	1.12	67.97	3489.33
CV		11.18	14.09	14.80	13.94

**، * و ns به ترتیب نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطح ۱ و ۵٪ و غیرمعنی‌دار است

**, * and ns, indicate a significant effect at 1 and 5% and non-significant respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف شوری بر برخی ویژگی‌های آگرونومیکی گیاه فلفل.

Table 5. Mean comparison of the effect of different salinity levels on some agronomic characteristics of pepper plant.

Salinity level (mM)	Fruit diameter per plant (mm)	Fruit length per plant (cm)	Dry weight of fruit (g per plant)	Number of fruits per plant
0	21.64^{A}	8.27^{A}	61.04^{A}	74.10^{A}
25	20.66^{A}	8.12^{A}	60.10^{AB}	56.70^{B}
50	17.98^{B}	7.06^{B}	55.99^{B}	37.23^{C}
75	17.04^{B}	6.60^{B}	45.63^{C}	21.40^{C}

اعداد با حروف مشترک در هر ستون به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) نمی‌باشند.

Numbers with common letters in each column are not significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

مربوط به ژنوتیپ مراغه به‌ترتیب با میانگین ۵۰/۶۲ و ۶/۹۴ گرم و کم‌ترین وزن تازه و خشک برگ مربوط به ژنوتیپ شهرکرد به‌ترتیب با میانگین ۳۵/۸۸ و ۵/۱۳ گرم بود (جدول ۳).

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آگرونومیکی، سطوح مختلف شوری و ژنوتیپ‌ها هر کدام به تنهایی تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر صفات وزن خشک میوه، طول و قطر میوه و تعداد میوه در بوته داشتند. برهم‌کنش ژنوتیپ و تنش شوری نیز بر وزن تازه و خشک، قطر و تعداد میوه، در سطح یک درصد و در صفت طول میوه در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار داشت که نشان‌دهنده پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی در هنگام مواجه با تنش شوری است (جدول ۴).

به‌گونه‌ای که با افزایش سطح شوری صفات آگرونومیکی مورد بررسی کاسته شده است. بیش‌ترین مقدار این صفات در بین تیمارها، متعلق به تیمار شاهد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار ۷۵ میلی‌مولار بود (جدول ۵).

بین ژنوتیپ‌ها بیش‌ترین وزن تازه و خشک میوه مربوط به ژنوتیپ میناب، بیش‌ترین طول میوه مربوط به ژنوتیپ بانه و بیش‌ترین قطر مربوط به ژنوتیپ چهارمحال و بیش‌ترین تعداد میوه مربوط به ژنوتیپ تبریز بود (جدول ۶).

بحث

رنگدانه‌های فتوسنتز

مقدار کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در توان فتوسنتزی گیاهان هستند چرا که به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و تولید زیست‌توده مؤثر هستند (۲۵). معمولاً در اثر تنش شوری، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ‌ها کاهش می‌یابد و با طولانی‌شدن مدت تنش، برگ‌های پیرتر زرد شده و در نهایت می‌ریزند. در بررسی اثر تنش شوری بر گیاهان فلفل و همچنین گیاهان گشنیز، نتایج متفاوت از نتایج این پژوهش به‌دست آمد به‌گونه‌ای که تنش ملایم شوری منجر به افزایش غلظت کلروفیل برگ‌ها شد (۵ و ۶). به‌نظر می‌رسد که دلیل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری، افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش سنتز آن‌ها و نیز اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد (۵).

جدول ۶. مقایسه میانگین برخی صفات آگرونومیکی در ژنوتیپ‌های مختلف گیاه فلفل.

Table 6. Mean comparisons of some agronomic traits in different genotypes of pepper plant.

Characteristic Genotype	Fruit diameter per plant (mm)	Fruit length per plant (cm)	Dry weight of fruit (g per plant)	Number of fruits per plant
Baneh	23.27^{AB}	9.79^{A}	43.52^{EF}	28.83^{F}
Chaharmahal	24.39^{A}	9.11^{AB}	38.38^{FG}	23.00^{G}
Sabzevar	20.04^{C}	6.25^{EF}	64.75^{C}	44.83^{D}
Orumiyeh	18.39^{CD}	7.12^{ED}	88.15^{B}	52.00^{C}
Minab	18.54^{CD}	8.02^{CD}	107.78^{A}	37.00^{E}
Tabriz	13.82^{F}	7.60^{CD}	38.77^{FG}	66.16^{A}
lordegan	22.34^{B}	6.11^{F}	46.48^{DE}	53.33^{C}
Shahrekord	16.00^{E}	7.09^{DE}	42.49^{EF}	55.08^{C}
Maragheh	16.92^{DE}	8.26^{BC}	52.75^{D}	60.50^{B}
Ghale-jigh	20.05^{C}	5.70^{F}	33.89^{G}	52.83^{C}

اعداد با حروف مشترک در هر ستون به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) نمی‌باشند.

Numbers with common letters in each column are not significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

کاهش در پروتئین‌های غشایی خاص در شرایط تنش شوری، افزایش در فعالیت آنزیم کلروفیلاز و پراکسیداز را از عوامل مؤثر در کاهش کلروفیل در شرایط تنش شوری دانسته‌اند و همچنین کاهش سبزینگی برگ ممکن است تا حدودی ناشی از تغییر در فعالیت آنزیم‌هایی مانند نیترات ریداکتاز باشد (۱۸). در اثر شوری مقدار اتیلن افزایش یافته و در نتیجه کلروفیل گیاه به دلیل فعالیت آنزیم کلروفیلاز کاهش می‌یابد. یکی از آثار شوری در گیاه کاهش فعالیت فتوسنتزی در آن است که موجب کاهش مقدار کلروفیل و در نتیجه کاهش جذب CO_2 و توان فتوسنتزی گیاه می‌شود. همچنین کاهش در جذب کاتیون‌های مهم مانند منیزیم و آهن که در ساختار کلروفیل نقش دارند یا آن‌هایی که در واکنش‌های آنزیمی دخیل هستند مانند منگنز، روی و مس در اثر شوری خاک یا محیط ریشه می‌تواند منجر به کاهش کلروفیل برگ و توان فتوسنتزی گیاه شوند (۶ و ۵۳). گزارش شده است که غلظت زیاد شوری، موجب کاهش رنگیزه‌های پروتوکلروفیل، کلروفیل و کاروتنوئیدها در گیاه گیاه حرا (*Bruguiera parviflora*) و بلوط ابریشمی (*Grevillea robusta*) (۴۵) و کاهش در میزان کلروفیل a در گندم (۴۴) و فلفل (۵۱) شده است. در آزمایش حاصل، افزایش غلظت کلرید سدیم باعث کاهش میزان کلروفیل a، b و کل در ژنوتیپ‌های فلفل شد و با افزایش میزان تنش، شدت کاهش بیشتر نیز شد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج آزمایش‌هایی روی گیاهان فلفل (۳۳ و ۳۵)، گوجه فرنگی (۷ و ۱۰)، ذرت (۶۰) و نخود فرنگی (۴۰) هم‌خوانی دارد.

کاروتنوئیدها یکی از رنگیزه‌های کلیدی و مهم سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاهان بوده که گروه بزرگی از ترپنوئیدها را تشکیل می‌دهند و به تخریب اکسیداتیو نیز حساس هستند (۵۵). در پژوهش حاضر، با افزایش شدت تنش، میزان کارتنوئید کاهش یافته است. کاهش محتوای کاروتنوئید با افزایش تنش شوری به‌دلیل تخریب بتاکاروتن در فلفل توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (۵۰) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

پرولین

کاهش پتانسیل آب و پژمردگی باعث تجمع پرولین می‌شود، تجمع آن از غیرفعال‌شدن مکانیزم‌های طبیعی ناشی می‌شود. در غلظت‌های کم نمک احتمالاً کاهش پتانسیل آب به میزانی نبوده است که بتواند باعث پژمردگی و ممانعت از فعالیت‌های متابولیکی طبیعی شود. اما وقتی غلظت نمک در محیط بیرون سلول‌ها بیشتر شد، پرولین افزایش بیشتری پیدا خواهد کرد تا با تجمع خود در شرایط تنش با ایجاد تعادل بین کشش اسمزی سیتوزول و واکوئل با محیط بیرون، از سلول محافظت کند (۶۱). دانشمندان بیوسنتز پرولین از گلوتامات را عمده‌ترین مسیر بیوسنتز پرولین و تجمع آن به‌ویژه در شرایط تنش

می‌دانند و بیان می‌کنند که پرولین در کنار تنظیم اسمزی وظایف دیگری همچون حفاظت از غشای پلاسمایی، زدودن رادیکال‌های هیدروکسیل و اکسیژن فعال نیز دارد و می‌تواند منبعی برای کربن و نیتروژن باشد (۱۱). افزایش میزان پرولین در اثر تنش شوری در فلفل (۳۳، ۳۵ و ۶۳)، گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

وزن تازه و خشک ریشه

کاهش وزن تازه و خشک ریشه با افزایش غلظت شوری در گیاهان کاملاً مشهود بود. ریشه به‌دلیل ارتباط مستقیم با شوری بیش‌تر از سایر اندام‌ها در معرض تنش شوری است و به‌عنوان یک فیلتر عبور یون‌ها را کنترل می‌کند و نسبت مطلوب یون‌های سدیم و پتاسیم را برای فعالیت‌های سلول فراهم می‌سازد. هرگونه اختلال در سیستم جذب و انتقال انتخابی مواد که در اثر نامناسب بودن شرایط شیمیایی محیط K/Na خاک ایجاد می‌شود، می‌تواند از طریق فراهم‌کردن نسبت نامطلوب بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه تأثیر منفی گذاشته و ایجاد مسمومیت کند (۲۶). کاهش وزن تازه و خشک ریشه در اثر افزایش سطح تنش شوری در فلفل (۴۵)، گوجه‌فرنگی (۳۶ و ۳۸)، سنبل‌الطیب و زیره سبز (۵۱) و چغندرقند (۲۱) نیز گزارش شده است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد.

وزن تازه و خشک برگ

یکی از آثار مضر شوری در اکثر گونه‌های گیاهی، کاهش رشد به‌ویژه رشد شاخساره است که به‌عنوان یک شاخص برای تعیین میزان تحمل شوری در اکثر گونه‌ها محسوب می‌شود (۴۱ و ۴۵). در این آزمایش، کاهش وزن تازه و خشک برگ‌ها تحت تأثیر شوری نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی، تحمل این سطح از شوری را ندارند. کاهش وزن تازه و خشک برگ در اثر تنش شوری در پژوهش‌های دیگری از جمله پژوهش آثار نمک و تحمل شوری بر گیاهان (۴۵) و در گیاهان ذرت (۲۴)، پیاز (۸ و ۳۲) و فلفل (۱۸ و ۲۰) نیز گزارش شده است که با نتایج آزمایش حاضر هم‌خوانی دارد.

وزن خشک میوه

از آنجایی که در این پژوهش مقدار آب در دسترس و فتوسنتز تحت تنش شوری کاهش یافته است، میزان وزن خشک میوه نیز کاهش پیدا کرد. افزایش سطوح شوری در محلول غذایی می‌تواند سطح ناحیه چوبی را در غلاف‌های آوندی کاهش دهد که این مسئله نیز می‌تواند در کاهش جذب کلسیم توسط میوه مؤثر باشد. همچنین مشخص شده است که مقاومت هیدرولیکی در مسیر بین ساقه و میوه در شرایط افزایش شوری زیاد شده و در نتیجه میزان و سرعت انتقال آب و کلسیم به میوه کاهش می‌یابد (۱۳). بر اساس یک پژوهش دیگر، کاهش وزن خشک کل به بسته‌شدن روزنه‌ها به‌دلیل کاهش آماس سلول‌های نگهبان به واسطه سیگنال هورمونی که از ریشه آمده است ارتباط داده شد (۲۲). کاهش وزن خشک میوه در گوجه‌فرنگی (۱۰) و فلفل (۴ و ۵۳) در اثر افزایش تنش شوری توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد.

طول، قطر و تعداد میوه

هر گیاهی برای تولید میوه بیشتر و رشد مناسب و به عبارتی دستیابی به عملکرد قابل قبول، نیازمند رشد رویشی قوی و داشتن ذخایر غذایی کافی است. این رشد مناسب در صورتی میسر خواهد شد که جذب بهینه و کافی آب و عناصر غذایی توسط ریشه‌ها انجام شود (۶۱). مشاهده نتایج آزمایش‌های روی فلفل (۵۳ و ۴۳)، و روی توت‌فرنگی (۲۹)، نشان‌دهنده کاهش طول میوه در اثر تنش شوری است که با نتایج این پژوهش همسو است. همچنین مشاهده آثار تنش شوری بر فلفل (۵۳) حاکی از کاهش قطر میوه تحت تنش شوری است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

شوری با جلوگیری از رشد، توسعه ساقه های جانبی را محدود کرده، اندازه برگ، میوه ها و دانه، وزن خشک و تازه در قسمت های مختلف را کاهش داده، تعداد و سطح برگ را

محدود می‌کند که کاهش این پارامترها منجر به کاهش عملکرد می‌شود (۶۴). اثر شوری بر تعداد میوه در بررسی ما با یافته‌های پژوهشگران دیگر روی فلفل (۵۳) و گوجه‌فرنگی (۷ و ۴۳) هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

از آنجا که با افزایش شوری، کاهش چشم‌گیری در صفات اندازه‌گیری‌شده (به‌جز پرولین) حاصل شد، به‌نظر می‌رسد این ژنوتیپ‌ها از مقاومت زیادی در برابر شوری برخوردار نیستند و تنها در خاک‌های با شوری کم عملکرد اقتصادی خواهند داشت. با این وجود می‌توان گفت در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ تبریز مقاومت بهتری در برابر شوری نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها داشت زیرا در سطح شوری متوسط، درصد کاهش عملکرد (وزن خشک میوه و تعداد میوه) آن نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها کمتر بود.

منابع مورد استفاده

1. Abdel Latef, A.A.H., 2014. Does inoculation with *Glomus mosseae* improve salt tolerance in pepper plants? Available online at*: Journal of Plant Growth Regulation* 33(3): 644–653. doi 10.1007/s00344–014–9414–4.
2. Adams, P., 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *Journal of Horticultural Science* 66(2): 201–207.
3. Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P., Jabbari, F., 2007. Introduction to Plant Physiology. University of Tehran Press, Tehran. (in Persian)
4. Ahmadi, M., Souri, M.K., 2020. Growth characteristics and fruit quality of chili pepper under higher electrical conductivity of nutrient solution induced by various salts. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science* 42(1): 143–152.
5. Ahmadi, M., Souri, M.K., 2019. Nutrient uptake, proline content and antioxidant enzymes activity of pepper (*Capsicum annuum* L.) under higher electrical conductivity of nutrient solution created by nitrate or chloride salts of potassium and calcium. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum cultus* 18(5): 113–122.
6. Ahmadi, M., Souri, M.K., 2018. Growth and mineral elements of coriander (*Corianderum sativum* L.) plants under mild salinity with different salts. *Acta Physiologia Plantarum* 40: 94–99.
7. Ali, S.H., Charles, T.C., Glick, B.R., 2014. Amelioration of high salinity stress damage by plant growth promoting bacterial endophytes that contain ACC deaminase. *Plant Physiology and Biochemistry* 80: 160–167.
8. Arvin, M.J., Kazemi-Pour, N., 2002. Effects of salinity and drought stresses on growth and chemical and biochemical compositions of 4 Onion (*Allium cepa*) Cultivars. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science* 5(4): 41–52.
9. Ashraf, M., 2004. Some important physiological criteria for salt tolerance in plants. *Flora* 199: 361–376.
10. Azarmi, R., Didar Taleshmikail, R., Gikloo, A., 2010. Effects of salinity on morphological and physiological changes and yield of tomato in hydroponics system. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8(2): 573–576.
11. Bartels, D., Sunkar, R., 2005. Drought and tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Science* 24: 23–58.
12. Bates, L., Waldren, R.P., Teare, I. D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205–220.
13. Bleda, R.M., Fenlon, J. S., Ho, L.C., 1996. Salinity effects on the xylem vessels in tomato fruit among cultivars with different susceptibility to Blossom-end rot. *Journal of Horticultural Science* 71: 173–179.
14. Chavoshi, M., 2006. Effects of methyl jasmonate on some growth chemical and biochemical parameters, in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under salinity stress. MSc Thesis, Department of Biology, University of Shahid Bahonar, Kerman. (in Persian)
15. Cornillon, P., Palloix, A., 1997. Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. *Journal Plant Nutrition* 20: 1085–1094.
16. Dadashi, M.R., Majidi Heravan, I., Soltani, A., Noorinia, A.A., 2007. Evaluation of different genotypes of barley to salinity salt stress. *Journal of Agricultural Sciences* 13(1): 181–190. (in Persian with English abstract)
17. Davoodifard, M., Habibi, D., Davoodifard, F., 2012. Study of growth promoting Rhizobacteria and foliar application of amino acids and silicic acid on some physiological traits activity of wheat (*Triticum aestivum*) under drought stress. *Iranian Journal of Agronomy and Breeding of Spring Plants* 8(1): 101–114. (in Persian with English abstract)
18. De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G., Maggio, A., 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128: 48–54.
19. Eisvand, H. R., Ashouri, P., 2010. Stress Physiology. Lorestan University Press, Khorramabad. (in Persian)

20. Ghanbari, F., Amirinejad, A.A., Sayyari, M., Kordi, S., 2016. Effects of salicylic acid on salinity and alkali resistance in sweet pepper plant (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Plant Research* 29(1): 130–141. (In Persian with English abstract)
21. Ghoulam, C., Fares, K., 2001. Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Seed Science and Technology* 29: 357–364.
22. Giorgio, P., Sorrentino, G., Caserta, P., Tedeschi, P., 1996. Leaf area development of field – grown sunflower plants irrigated with saline water. *Helia* 19: 17–28.
23. Graifenberg, A., Botrini, L., Giustiniani, L., Lipucci M., Paola, D., 1996. Salinity affects growth, yield and elemental concentration of fennel. *Horticultural Science* 31(7): 1131–1134.
24. Hussein, M.M., Balbaa, L.K., Gaballah, M.S., 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. *Journal of Agricultural and Biological Science* 3(4): 321–328.
25. Kafi, M., Asadi, H., Ganjeali, A., 2010. Possible utilization of high salinity waters and application of low amounts of water for production of the halophyte *Kochia scoparia* as alternative fodder in saline agroecosystems. *Agricultural Water Management* 97: 139–147.
26. Kafi, M., Lahooti, M., Zand, E., Sharifi, H.R., Gholdani, M., 2005. Plant Physiology. 5th ed. Jehad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad. (in Persian)
27. Kapoor, R., Evelin, H., Mathur, P., Giri, B., 2013. Arbuscular mycorrhiza: Approaches for abiotic stress tolerance in crop plants for sustainable agriculture. In: Tuteja, N., Gill, S.S. (Eds.), Plant Acclimation to Environmental Stress. Springer Science, Business Media, LLC, Dordrecht, pp. 359–401.
28. Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Aydemir, S., Tuna, A. L., Cullu, M. A., 2009. The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. *Scientia Horticulturae* 121(1): 1–6.
29. Kaya, C., Higges, D., Kirnak, H., 2001. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. Bulgican. *Journal of Plant Physiology* 27: 47–59.
30. Khan, H.A., Pervez, M.A., Ayub, C.M., Ziaf, K., Balal, R.M., Shahid, M.A., Akhtar, N., 2009. Hormonal priming alleviates salt stress in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Soil and Environment* 28(2): 130–135.
31. Khan, M.A., Shirazi, M.U., Khan, M.A., Mujtaba, S.M., Islam, E., Mumtaz, S., Shereen, A., Ansari, R.U., Ashraf, M.Y., 2009. Role of proline, K^+/Na^+ ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat. *Pakistan Journal of Botany* 41(2): 633–638.
32. Khodadadi, M., 2003. Investigation of the Effects of Seed Priming on the Physiological and Morphological Characteristics of Onion Varieties under Salinity Stress Conditions. PhD Thesis, College of Agriculture, TarbiatModarres University, Tehran. (in Persian)
33. Korkmaz, A., Sirikci, R., Kocacinar, F., Deger, O., Demirkırıan, A.R., 2012. Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycine betaine. *Scientia Horticulturae* 148: 197–205.
34. Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350–382. http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.
35. Maaouia Houimli, S.I., Denden, M., Mouhandes, B.D., 2010. Effects of 24-epibrassinolide on growth, chlorophyll, electrolyte leakage and proline by pepper plants under NaCl-stress, *Eurasian Journal of BioSciences* 4: 96–104.
36. MahmoudiGhadi, P., Alipour, Z., Kasha, A., 2011. *Thiobacillus* impact on growth and yield of tomato under saline conditions. *Specialty Semiannual Journal of Salt* 1(3): 63–70. (in Persian with English abstract)
37. Mardanluo, S., Souri, M.K., Ahmadi, M., 2018. Plant growth and fruit quality of two pepper cultivars under different potassium levels of nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition* 41(12): 1604–1614.
38. Mirmohammady Meibody, S.A.M., Ghareyazie, B., 2002. Physiological and Breeding Aspects of Plant Salinity Stress. Isfahan University of Technology, Isfahan. (in Persian)
39. Mohammad Dost Shiri, A.R., Safarnejad, A., Hamidi, H., 2009. Investigation of morphological and biochemical properties of *Ferula assafoetida* against salinity. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research* 17(33): 49–38. (in Persian with English abstract).
40. Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., Mishra, S., 2009. Changes in growth and metabolic profile of chickpea under salt stress. *Journal of Applied Biosciences* 23: 1436–1446.
41. Munns, R., Husain, S., Rivelli, A.R., James, R.A., Condon Tony, A.G., Lindsay, M.P., Lagudah, E.S., Schachtman, D.P., Hare, R.A., 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. *Plant and Soil* 247: 93–105.
42. Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment* 25: 659–671.
43. Navarro, J.M., Garrido, C., Flores, P., Martinez, V., 2010. The effect of salinity on yield and fruit quality of pepper grown in perlite. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(1): 142–150.
44. Nejadali Moradi, H., 2007. Effects of Ultraviolet Radiation (UV-C) in Hardening Two Varieties of Wheat (*Triticum aestivum* L.) to Salinity Stress. MSc Thesis, Department of Biology, University of ShahidBahonar, Kerman. (in Persian)

45. Niu, G., Rodriguez, D.S., Call, E., Bosland, P.W., Ulery, A., Acosta, E., 2010. Responses of eight chile peppers to saline water irrigation. *Scientia Horticulturae* 126: 215–222.
46. Parida, A.K., Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324–349.
47. Rezai, S., Orojloo, M., Shirani Bidabadi, S., Soleimanzadeh, M., 2013. Possible role of methyl jasmonate in protection to NaCl–induced salt stress in pepper cv. "Green Hashemi". *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 6(17): 1235–1238.
48. Rubio, J.S., Garcıa-Sanchez, F., Rubio, F., Martınez, V., 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K^+ and Ca^{2+} fertilization. *Scientia Horticuturae* 119: 79–87.
49. Ruiz-Lozano, J.M., Porcel, R., Azcon, C., Aroca, R., 2012. Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of Experimental Botany* 63(11): 4033–4044.
50. Sakr, M.T., El-Sarkassy, N.M., Fuller, M.P., 2015. Minimization the effects of salt stress on sweet pepper plants by exogenous protectants application. *Zagazig Journal of Agricultural Botany* 42(6): 1397–1410.
51. Salami, M.R., Safarnejad, A., Hamidi, H., 2005. The effect of salinity on morphological characteristics of cumin (*Cumin umcyminum*) and valerian (*Valerian aofficinalis*). *Pajouhesh & Sazandegi* 7: 77–83. (in Persian with English abstract)
52. Sanatombi, K., Sharma, G. J., 2007. Micropropagation of *Capsicum annum* L. using axillary shoot explants. *Scientia Horticulturae* 113: 96–99.
53. Shayesteh, N., Golchin, A., Shafiee, S., 2011. Effects of irrigation water salinity, nitrogen and calcium chloride foliar application on yield and growth indices of *Capsicum annuum* L. *Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*. 34 (2): 69–84. (in Persian with English abstract)
54. Simkin, A.J., Moreau, H., Kuntz, M., Pagny, G., Lin, C., Tanksley, S., McCarthy, J., 2008. An investigation of carotenoid biosynthesis in *Coffea canephora* and *Coffea arabica*. *Journal of Plant Physiology* 165: 1087–1106.
55. Souri, M.K., Farhadi, N., Roosta, H.R., 2011. The growth characteristics of pepper (*Capsicum annuum* L.) under different ammonium to nitrate ratios. *Iranian Journal of Horticultural Sciences* 42(3): 309–318. (in Persian with English abstract)
56. Souri, M.K., Hatamian, M., 2019. Aminochelates in plant nutrition: a review. *Journal of Plant Nutrition* 42(1): 67–78.
57. Souri, M.K., Yaghoubi Sooraki, F., 2019. Benefits of organic fertilizers spray on growth quality of chili pepper seedlings under cool temperature. *Journal of Plant Nutrition* 42(6): 650656.
58. Tantawy, A.S., Abdel-Mawgoud, A.M.R., El-Nemr, M.A., Ghorra Chamoun, Y., 2009. Alleviation of salinity effects on tomato plants by application of amino acids and growth regulators. *European Journal of Scientific Research* 30: 484–494.
59. Telesinski, A., Nowak, J., Smolik, B., Dubowska, A., Skrzyiec, N., 2008. Effect of soil salinity on activity of antioxidant enzymes and content of ascorbic acid and phenols in bean plants. *Journal of Elementology* 13: 401–409.
60. Turan, M.A., Awad Alkarim, A.H., Taban, N., Taban, S., 2009. Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. *Journal of Agricultural Research* 4: 893–897.
61. Turhan, E., Eris, A., 2004. Effects of Sodium Chloride Applications and Different Growth Media on Ionic Composition in Strawberry Plant. *Journal of Plant Nutrition* 27(9): 1653–1665.
62. Turkan, I., Bor, M., Ozademir, F., Koca, H., 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science* 168(1): 223–231.
63. Yiua, J.C., Tseng, M.J., Liu, C.W., Kuo, C.T., 2011. Modulation of NaCl stress in *Capsicum annum* L. seedlings by catechin. *Scientia Horticulturae* 134: 200–209.
64. Zia Tabar Ahmadi, M.K., Babaian Jalodar, N.A., 2001. Plant Growth in Saline and Barren Lands. Mazandaran University Press. (in Persian)

The Effect of Salinity on Some Physiological and Biochemical Characteristics of Pepper (*Capsicum annum* L.) Genotypes

A. Sedaghatpoor[1], B. Zahedi[*] and A. Ehtesham Nia

(Received: 24 August 2019; Accepted: 5 February 2021)

Abstract

In dry and semi-arid areas, water and soil salinity can limit crop production. Evaluation of plants salt tolerance to grow in saline areas is, therefore, important. To investigate the effects of salinity on ten different pepper genotypes, a factorial experiment based on a completely randomized design was carried out with three replications at Lorestan University Greenhouse, in 2014. The first factor was salinity treatment using sodium chloride (NaCl) at four levels of zero, 25, 50 and 75 mmol per liter (mM); the second one consisted of 10 different genotypes of Chili pepper (including Bane, Mahal, Sabzevar, Urmia, Minab, Tabriz, Lordegan, Branch, Maragheh and Ghale-jigh). Statistical analysis indicated that the characteristics of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, fresh and dry weights of root and leaf dry weight were significantly reduced with increasing salinity level. Therefore, all studied traits in the 75 mM salinity level had experienced the most decrease, as compared to the control. The results also showed that only the amount of proline was increased with raising salinity, so the least amount of proline belonged to the control treatment, while the highest one was observed for 75 mM treatment.

Keywords: Pepper, Proline, Sodium chloride, Stress.

Background and Objective: Plant growth and yield in many parts of the world are limited by numerous biotic and abiotic environmental stresses. Among the abiotic stresses, salinity stress causes extensive damage to agricultural products. It is estimated that about seven percent of the world's agricultural land is affected by salinity. Besides, the salinity increase is estimated to cause the loss of 50 percent of the arable lands by the middle of the 21st century (2, 5). Rezaei et al. (4), in Isfahan, reported that 50 mM concentration of sodium chloride had a negative effect on the pepper stem and fresh root weight, root volume, length and diameter, chlorophyll content and the number of leaves per plant. Further efforts have been made to find criteria that could be used effectively in selecting tolerant or resistant genotypes. The use of plant diversity to select the desired traits in stress conditions is one of the effective ways to identify these traits. In the present study, some agronomic, biochemical and physiological characteristics of 10 chili genotypes under the influence of salinity stress were investigated.

Methods: This study was performed in greenhouse conditions, to investigate the effect of salinity stress caused by sodium chloride on some biochemical (including chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids and proline) and physiological (including fresh and dry weights of root and fresh and dry weights of leaves) parameters. Agronomic traits (number of fruits, fruit dry weight, and fruit length and diameter) of 10 pepper genotypes were analyzed based on a factorial design with three replications. Factor A of salinity treatment consisted of using NaCl at four levels (zero, 25, 50 and 75 mmol per liter (mM), which were equivalent to 1, 3.9, 6.8 and 9.8 dS m^{-1}). Factor B included 10 genotypes of pepper (i.e., Sabzevar, Urmia, Minab, Tabriz, Chaharmahal, Lordegan, Shahrekord, Baneh, Maragheh and Ghale-jigh). Lichtenthaler (3) method was used to measure the amounts of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids. Bates et al. (1) method was used to measure the amount of proline as well.

1. Department of Horticultural Sciences, Lorestan University, Lorestan, Khoramabad, Iran.
* Corresponding Author, Email: zahedi.b@lu.ac.ir

Results: Statistical analysis indicated that the chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, fresh and dry weights of root and leaf dry weight were significantly reduced with increasing salinity level. Therefore, all studied traits in the 75 mM salinity level had experienced the most decrease, as compared to the control. The results also showed that only the amount of proline was increased with raising salinity, so the least amount of proline belonged to the control treatment, while the highest one was observed for 75 mM treatment. It seems that these genotypes do not have high salinity resistance; so, they can have economic function only in the soils with low salinity.

Conclusions: With increasing salinity, a significant reduction in measured traits (except proline) was obtained. Hence, it seems that these genotypes do not have high resistance to salinity and will be economically viable only in soils with low salinity. However, it can be said that among the studied genotypes, Tabriz genotype had better resistance to salinity than other genotypes because in average salinity, the percentage of yield reduction (fruit dry weight and number of fruits) was lower than other genotypes.

References:

1. Bates, L., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205–220.
2. Kapoor, R., Evelin, H., Mathur, P., Giri, B., 2013. Arbuscular mycorrhiza: Approaches for abiotic stress tolerance in crop plants for sustainable agriculture. In: Tuteja, N., Gill, S.S. (Eds.), Plant Acclimation to Environmental Stress. Springer Science, Business Media, LLC, Dordrecht, pp. 359–401.
3. Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350–382. http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.4.
4. Rezai, S., Orojloo, M., Shirani Bidabadi, S., Soleimanzadeh, M., 2013. Possible role of methyl jasmonate in protection to NaCl–induced salt stress in pepper cv. "Green Hashemi". *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 6(17): 1235–1238.
5. Ruiz-Lozano, J.M., Porcel, R., Azcon, C., Aroca, R., 2012. Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of Experimental Botany* 63(11): 4033–4044.