تأثیر پیوند بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک طالبی توده شاه‌پسند در شرایط تنش شوری و قلیائیت در سیستم هیدروپونیک

مریم کشاورزی[۱]، محمود رقامی[۱*] و حمیدرضا روستا[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۸)

چکیده

طالبی یکی از گیاهان مهم جالیزی ایران است که امروزه به‌دلیل کاهش منابع آب با کمیت و کیفیت مناسب، افزایش pH و تجمع یون بی‌کربنات، عملکرد آن کاهش پیدا کرده است. برای حفظ کیفیت تولید این محصول، نیاز به فنون صحیح مدیریت به‌زراعی است. بدین منظور، تأثیر پیوند بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک طالبی توده بومی شاه‌پسند در شرایط تنش شوری و قلیائیت به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور تنش (شاهد، شوری ۱۵ میلی‌مولار و قلیائیت ۱۵ میلی‌مولار) و پیوند (پیوندی و غیرپیوندی) در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سیستم هیدروپونیک لایه نازک محلول غذایی(NFT) بررسی شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش و پیوند، به‌جز قطر پایه و محتوای کلسیم، بر شاخص‌های رویشی، رنگدانه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول، پرولین و عناصر معدنی معنی‌دار شد. با اعمال تنش، شاخص‌های طول اندام هوایی، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و میزان پتاسیم و کلسیم کاهش یافت. تیمار پیوند، شاخص‌های مذکور را بهبود بخشید؛ اما مقدار پرولین، قندهای محلول و عناصر سدیم و کلر اندام هوایی تحت شرایط تنش شوری و قلیائیت افزایش یافت. بر اساس نتایج این پژوهش، استفاده از پیوند در سیستم هیدروپونیک سبب افزایش و حفظ خصوصیات رشدی طالبی در شرایط تنش شوری و قلیائیت شده و تنش قلیائیت اثرهای منفی بیشتری نسبت به تنش شوری بر رشد گیاهان پیوندی و غیرپیوندی داشت.

کلمات کلیدی: بی‌کربنات، پرولین، پیوند، سیستم لایه نازک محلول غذایی، کلروفیل

مقدمه

جالیزکاری، به‌ویژه کشت خربزه و طالبی، در نیم قرن اخیر در دنیا گسترش یافته و یکی از فعالیت‌های مهم کشاورزی محسوب می‌شود. خانواده کدوئیان از نظر اقتصادی دارای اهمیت فراوانی هستند (۲۵). طالبی، گیاهی یک‌ساله با نام علمی *Cucumis melo* var. *cantalupensis* و مناسب کشت در فصول گرم است (۱۸). سطح زیر کشت طالبی در ایران در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، ۱۹۲۴۳ هکتار و میزان تولید آن ۵۲۸۷۷۴ تن بوده

۱. گروه علوم باغبانی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mraghami@vru.ac.ir

است (۱). امروزه، به‌دلیل کاهش منابع آب و همچنین کاهش منابع با کیفیت، کشت و تولید این محصول در دنیا با محدودیت مواجه شده است (۹). طبق آمار فائو (۱۹)، در دهه گذشته، سطح زیر کشت و میزان تولید خربزه و طالبی در ایران کاهش داشته است. شوری آب و خاک یکی از تنش‌های غیرزنده مهم است که رشد و بهره‌وری محصول در سراسر جهان را کاهش می‌دهد. تنش شوری، به‌دلیل افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک، باعث اختلال در تعرق و فتوسنتز گیاه می‌شود. به‌دلیل پیامدهای ناشی از تنش آب شامل کاهش در جذب مواد غذایی، سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش CO_2 داخلی برگ، مقدار مواد فتوسنتزی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در نتیجه شاخص‌های رشدی کاهش می‌یابند (۳۳). رشد گیاه توسط تنش شوری کاهش می‌یابد. اما تحمل گونه‌های گیاهی به شوری متفاوت است (۲۰). مهمترین فاکتور مؤثر بر رشد گیاه، آب است و آنچه در عرصه کشاورزی پایدار خیلی مهم است کیفیت آب آبیاری مورد استفاده است. یکی از معیارهای مورد ارزیابی در رابطه با کیفیت آب آبیاری، میزان حضور یون بی‌کربنات (HCO_3^-) در آن است. حضور این یون در آب آبیاری در عرصه‌ی کشاورزی و به‌ویژه باغبانی آثار نامطلوبی بر رشد گیاه دارد (۴). قلیائیت منشأ گرفته از بی‌کربنات سبب ایجاد تنش در گیاهان می شود که به علت غلظت‌های زیاد بی‌کربنات، گیاهان از طریق کاهش رشد قسمت هوایی واکنش نشان می‌دهند و این اثر جلوگیری‌کننده از رشد اندام های هوایی شامل کاهش در تعداد برگ‌ها، وزن تر و خشک گیاه و طول ساقه خواهد بود. پژوهش‌های انجام گرفته در محیط‌هایی که حاوی غلظت‌های زیاد بی‌کربنات بوده، کاهش رشد را در گیاهانی مثل لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) و نخود فرنگی (*Pisum sativum*) به‌دنبال داشته و به‌میزان زیادی سبب کاهش سرعت رشد نسبی تحت تنش قلیائیت، در مقایسه با تنش شوری، شده است (۳۸).

فناوری پیوند، از فنون نسبتاً نوینی است که از سال ۱۹۲۰ در پرورش سبزی‌ها با پیوند هندوانه روی کدو قلیانی به‌منظور افزایش مقاومت به بیماری‌های خاک‌زاد در کره و ژاپن شروع شده است. پیوند به‌عنوان یک ابزار مناسب برای افزایش تحمل به تنش‌های محیطی همچون سرما، شوری، مسمومیت ناشی از فلزات سنگین و pH نامطلوب در ژنوتیپ‌های پربازده متعلق به تیره کدوئیان و سیب‌زمینی‌سانان شناخته شده است (۱۳). افزون بر این، با کاربرد پایه‌های مناسب می‌توان به اهداف دیگری همچون افزایش عملکرد و کنترل صفات کیفی نیز دست یافت.

تحقیقات مختلف نشان داده که استفاده از کشت هیدروپونیک می‌تواند تا حدود ۵۰٪ سبب صرفه‌جویی در مصرف آب گردد. بنابراین، در نواحی خشک و نیمه‌خشک که تأمین آب هزینه زیادی برای تولیدکننده دارد، این روش بسیار مفید است (۲۲). با توجه به تغییرات کمی و کیفی آب آبیاری در ایران، هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی تأثیر تکنیک پیوند بر رشد و برخی از پارامترهای فیزیولوژیک و متابولیک و بررسی اثر جداگانه هر کدام از تنش‌های شوری و قلیائیت بر برخی خصوصیات رشدی و فیزیولوژیک طالبی در یک توده بومی ایرانی (شاه‌پسند) پیوندی و غیرپیوندی روی یک پایه بومی کدو بود.

مواد و روش‌ها

کاشت بذرها و محلول‌دهی

این آزمایش در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (ع) رفسنجان در فصل تابستان و پاییز سال ۱۳۹۴، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور پیوند (پیوندی و غیر پیوندی) و تنش (شاهد، شوری ۱۵ میلی‌مولار، قلیائیت ۱۵ میلی‌مولار) انجام شد. منبع بی‌کربنات و شوری مورد استفاده در این آزمایش، به‌ترتیب بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم بود. سیستم لایه نازک محلول غذایی (NFT) شامل سه سیستم جداگانه بود که هر کدام دارای دو آبراهه‌ی دو متری و روی هر آبراهه ۹ منفذ کشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم قرار داشت. هر سیستم دارای یک مخزن ۴۰ لیتری بود که پمپ داخل مخزن، محلول غذایی را به لوله‌ها می‌رساند. تعداد تیمارها شش و تعداد گیاهان در هر تیمار ۹ عدد بود. برای انجام این پژوهش نخست

جدول ۱. محلول غذایی هوگلند و آرنون (۱۹۵۰) و غلظت استفاده شده در آزمایش

نام فارسی محلول	فرمول شیمیایی	غلظت محلول پایه	مقدار کاربردی در محلول غذایی نهایی (ml/l)
پتاسیم دهیدروژن فسفات	KH_2PO_4	۱مولار	۱
نیترات پتاسیم	KNO_3	۱مولار	۵
نیترات کلسیم	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	۱مولار	۵
سولفات منیزیم	$MgSO_4.7H_2O$	۱مولار	۲
اسید بوریک	H_3BO_3	۰/۶ گرم در لیتر	۱
سولفات منگنز	$Mn\ SO_4.4H_2O$	۱/۱۸۳ گرم در لیتر	۱
سولفات روی	$ZnSO_4.5\ H_2O$	۰/۲۵ گرم در لیتر	۱
سولفات مس	$CuSO_4.5\ H_2O$	۰/۰۸ گرم در لیتر	۱
مولیبدات آمونیوم	$(NH_4)6Mo_7O_{24}.\ 4H_2O$	۰/۲۵ گرم در لیتر	۱
کلات آهن	Fe-EDDHA	۱۰ گرم در لیتر	۱

بذرهای کدو قلیانی (*Lagenaria siceraria* L.) به‌عنوان پایه و سپس توده بومی شاه‌پسند به عنوان پیوندک در گلدان‌های پلاستیکی در بستری با نسبت ۱:۱ پرلایت و کوکوپیت کشت شدند. توده بومی شاه‌پسند یک توده محلی ایرانی گروه Cantalupensis است. میوه این گیاه بسیار معطر، شکل گرد با وزن متوسط ۵۰۰ گرم، رنگ پوست میوه کرم با نوار های زرد رنگ، و گوشت سبز روشن، نرم، شیرین و دم میوه در هنگام رسیدن از میوه جدا می‌شود. بذر پایه و پیوندک مورد استفاده در این پژوهش از بازار محلی در شیراز تهیه شد. پس از تشکیل برگ‌های لپه‌ای، پیوند به‌روش حفره‌ای انجام گرفت. سپس، گلدان‌های گیاهان پیوندی به اتاقک پیوند با شرایط محیطی کنترل شده (دما ۳۰–۲۷ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی سه روز اول ۹۵٪ و سپس حدود ۷۰٪ و شرایط تاریکی در سه روز نخست) منتقل شدند. پس از گذشت ۱۰ روز، گیاهان پیوندی به گلخانه با نور طبیعی در دمای ۲۷–۲۵ درجه سلسیوس (روز) و ۲۰–۱۸ درجه سلسیوس (شب) و رطوبت نسبی ۷۰–۶۰ درصد منتقل و روزی یک بار با محلول هوگلند تغذیه شدند. دو هفته پس از پیوند، گیاهان پیوندی به سیستم NFT منتقل شدند و در منافذ آبراهه‌های سیستم قرار گرفتند. محلول غذایی هوگلند و آرنون (۱۹۵۰) جهت ساخت محلول غذایی استفاده شد (جدول ۱). حدود یک ماه پس از استقرار گیاهان در سیستم NFT اعمال تنش آغاز شد و تا زمان برداشت ادامه داشت. برای اعمال تنش بی‌کربنات سدیم ۱۵ میلی‌مولار و کلرید سدیم ۱۵ میلی‌مولار ابتدا محلول یک مولار بی‌کربنات سدیم (۱ l × ۸۴/۰۰۷ g/l) و کلرید سدیم (۱ l × ۵۸/۴۴ g/l) تهیه شد. سپس، به‌ازای هر مخزن ۴۰ لیتری (هر لیتر ۱۵ میلی‌لیتر از محلول آماده شده) ۶۰۰ میلی‌لیتر از محلول یک مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم به مخزن‌های مربوط به قلیائیت و شوری اضافه شد. حدود یک ماه پس از اعمال تنش، پارامترهای رنگدانه‌های فتوسنتزی، RWC، پرولین و قندهای محلول اندازه‌گیری شد. همچنین، در پایان آزمایش و بعد از برداشت میوه (دو ماه پس از اعمال تنش) پارامترهای رویشی شامل وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، طول اندام هوایی، سطح برگ، قطر پایه، کلسیم، پتاسیم، کلر و سدیم اندام هوایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

اندازه‌گیری پارامترها

طول اندام هوایی با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ، از دستگاه سنجش سطح برگ

(Leaf Area meter) مدل CI 202 استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها پس از ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس وزن شدند. میزان پرولین به‌روش بیتس و همکاران (۸) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd.) در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد. مقدار قندهای محلول به‌روش ایریگوین و همکاران (۲۱) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کلروفیل کل با استفاده از روش پورا (۳۰) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون صورت گرفت و غلظت کلروفیل محاسبه شد. میزان کاروتنوئید بر اساس روش لیختن‌تالر و ولبورن (۲۶) اندازه‌گیری شد. همچنین، شاخص سبزینگی (SPAD) با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی مدل SPAD-۵۰۲ ساخت کشور ژاپن در برگ های جوان کاملاً توسعه یافته اندازه‌گیری شد. عناصر غذایی ارزیابی شده در این آزمایش کلسیم، پتاسیم، سدیم و کلر در اندام هوایی بودند. پتاسیم و سدیم توسط دستگاه شعله‌سنج (JENWYAY ساخت کشور آلمان PEP7) و کلسیم به‌روش تیتراسیون تعیین شد (۲۳). کلر نیز به‌روش چاپمن (۱۰) با نیترات نقره تیتر شد. آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار SAS انجام گرفت و پس از آن مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

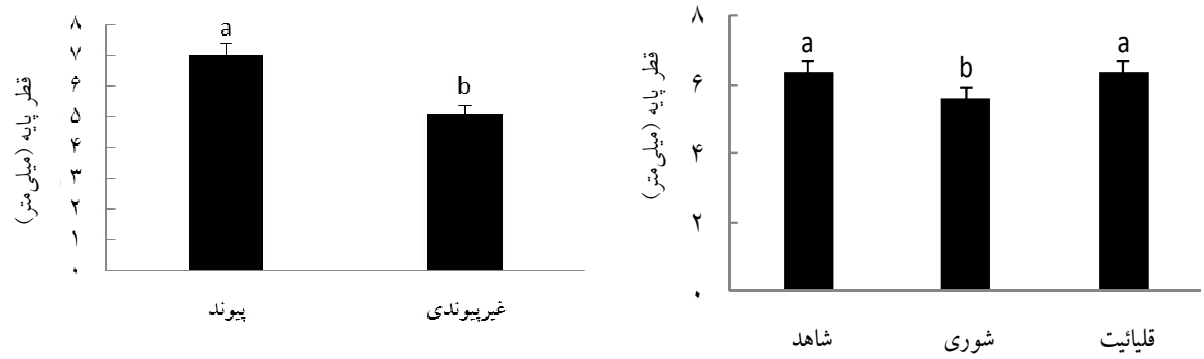
صفات رویشی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرهای ساده و متقابل پیوند و تنش، به‌جز قطر پایه، در خصوص طول اندام هوایی، سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره و وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار شد. همچنین، نتایج نشان داد که اثر ساده پیوند و تنش بر قطر پایه معنی‌دار شد (جدول ۲). با اعمال تنش، به‌جز شاخص قطر پایه، شاخص‌های طول اندام هوایی، سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره و وزن تر و خشک ریشه کاهش یافت اما پیوند، شاخص‌های مذکور را بهبود بخشید. به‌طوری که در هر یک از سطوح تیمار تنش، بیشترین میزان طول اندام هوایی، سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره و وزن تر و خشک ریشه در گیاهان پیوندی به‌دست آمد (جدول ۳). اثر پیوند بر میزان قطر پایه نشان داد که گیاهان پیوندی از میزان قطر پایه بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بودند. نتایج نشان داد که با اعمال تنش شوری، میزان قطر پایه کاهش یافت. اما در تنش قلیائیت، میزان قطر پایه تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد (شکل ۱).

شوری باعث کاهش پتانسیل اسمزی در محلول غذایی شده و دسترسی گیاه به‌آب را کاهش می‌دهد. به‌دلیل پیامدهای ناشی از تنش آب شامل کاهش جذب مواد غذایی، کاهش سطح برگ و فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب دی‌اکسید کربن، مقدار مواد فتوسنتزی نیز به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و در نتیجه شاخص‌های رشدی نیز کاهش می‌یابند (۳۳).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پارامترهای رویشی نظیر طول اندام هوایی، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه به‌طور قابل توجهی در شرایط تنش شوری کاهش پیدا کرد. این نتایج با نتایج روفائل و همکاران (۳۲) روی خیار (*Cucumis sativus*) و کولا و همکاران (۱۲) روی هندوانه (*Citrullus lanatus*) مبنی بر کاهش پارامترهای رشدی در شرایط تنش شوری مطابقت دارد. کاهش رشد تحت شرایط تنش شوری ممکن است به‌دلیل اثرهای منفی پتانسیل اسمزی زیاد ناشی از شوری محلول غذایی باشد که در این شرایط سلول‌های ریشه نمی‌توانند آب مورد نیاز گیاه را جذب کنند. بنابراین، جذب آب و عناصر غذایی کاهش یافته و در نهایت باعث کاهش رشد می‌شود. به‌طور کلی، می‌توان گفت وقتی تنش شوری ایجاد می‌شود، کاهش پتانسیل اسمزی و سمیت ناشی از یون سدیم، گیاه را با مشکل مواجه می‌سازد.

قلیائیت آب آبیاری تأثیر زیان‌باری بر تغذیه و رشد گیاهان دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که قلیائیت سبب کاهش قابل توجهی در پارامترهای رویشی توده بومی شاه‌پسند شد. مطالعات نشان داده که رشد لوبیا سبز (۳۶)، نخود فرنگی (۴۲)



شکل ۱. اثر تنش قلیائیت و شوری بر قطر پایه گیاهان پیوندی و غیرپیوندی طالبی

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

و خیار (۳۷) در محیط‌هایی که غلظت زیاد بی‌کربنات داشته‌اند، کاهش یافته است. میزان فتوسنتز کمتر، از تخریب سنتز کلروفیل به‌دلیل انتقال کم آهن یا قابلیت حل‌پذیری کمتر آهن در خاک یا محلول غذایی ناشی می‌شود. ممانعت از رشد ریشه یکی از نخستین اثرهای بی‌کربنات است. گزراش شده که قلیائیت ناشی از بی‌کربنات سدیم سبب کاهش قابل توجهی در پارامترهای رویشی طالبی شد (۳۱) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. کاهش رشد گیاهان در pH زیاد ارتباط نزدیکی با اختلال تغذیه‌ای و سمیت بی‌کربنات دارد. اغلب، اثر قلیاییت بر رشد گیاه از طریق کاهش در قابلیت حل عناصر توسط افزایش pH ایجاد می‌شود (۲۴). رشد کاهش یافته شاخساره، به‌میزان فتوسنتز کمتر در نتیجه زردی تحریک شده به‌وسیله بی‌کربنات در برگ‌ها مربوط می‌شود. در آزمایشی که توسط کسوری و همکاران (۲۴) صورت گرفت، افزایش غلظت بی‌کربنات باعث کاهش پارامترهای رشد گیاه انگور (وزن ساقه، سطح برگ، تعداد برگ و میزان زیست‌توده) شد. در آزمایشی روی کاهو، غلظت عناصر غذایی در اندام‌های هوایی در گیاهان شاهد نسبت به گیاهان تیمار شده با بی‌کربنات بیشتر بود. اما وقتی گیاهان به‌وسیله بی‌کربنات و قلیائیت تحریک شدند، گرایش قابل توجهی به‌افزایش تجمع عناصر غذایی در ریشه‌ها نشان دادند. در واقع، رشد اندام هوایی به‌شدت توسط قلیائیت آسیب دید (۳۱).

نتایج پژوهش حاضر همچنین حاکی از آن بود که تکنیک پیوند و پیوند زدن تأثیر معنی‌داری بر تحمل گیاهان به شرایط تنش شوری و قلیائیت دارد. گیاهان پیوندی که در شرایط شوری و قلیائیت رشد کرده بودند از پارامترهای رشدی بهتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بودند. با توجه به اینکه یکی از روش‌های به‌زراعی در افزایش تحمل گیاهان به شرایط تنش استفاده از پایه‌های مقاوم است، گزارش های زیادی نشان‌دهنده حفظ و بهبود رشد در شرایط تنش با استفاده از پایه‌های مقاوم است (۳۱). در چند گزارش بررسی خیار پیوند شده روی پایه کدو تنبل تحت شرایط سمیت کادمیوم (۳۴)، خیار پیوند شده روی پایه کدو برگ انجیری (*Cucurbita ficifolia*) تحت شرایط سمیت مس (۴۰) و خیار پیوند شده روی کدو تنبل (۳۷) در غلظت‌های زیاد نیترات کلسیم از رشد بهتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بوده‌اند. ژو و همکاران (۴۱) پیشنهاد کردند که استفاده از پایه کدو سبب افزایش تحمل به شوری گیاه خیار نسبت به گیاهان غیرپیوندی می‌شود. همچنین، گیاه خربزه پیوند شده روی پایه‌های کدو از رشد بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی در شرایط تنش برخوردار بودند. این امر احتمالاً به خاطر سیستم ریشه‌ای قوی پایه‌های کدو و مکانیسم کنترلی در جذب یون سدیم و کاهش اثر سمیت این یون نسبت به گیاهان خیار و خربزه است (۱۷). همچنین کولا و همکاران (۱۳) گزارش کردند که گیاهان پیوند شده روی پایه‌های کدو در شرایط

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تنش شوری و قلیائیت بر صفات فیزیکوشیمیایی و عناصر معدنی گیاه طالبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		قندهای محلول	پرولین	محتوای نسبی آب برگ	سدیم	پتاسیم	کلسیم	کلر
پیوند	۱	۳۰/۸۴**	۱۴۲۲/۵۱**	۳۳۳/۴۷**	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۰/۳۹**	۰/۰۰۸^{ns}
تنش	۲	۵۴/۱۳**	۴۱۵۳/۰۴**	۵۸۷/۵۱**	۰/۵۱۷**	۰/۳۹**	۰/۴۸**	۲۷۰/۶۲**
پیوند × تنش	۲	۱/۹۰**	۱۰۸/۰۱۴**	۵۶/۱۰*	۰/۴۱**	۰/۶۳**	۰/۰۰۲^{ns}	۲۱۷/۸۱**
خطا	۱۲	۰/۳۲	۱۹/۹۰	۱۱/۹۶	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۱	۰/۵۹
ضریب تغییرات (٪)		۵/۸۴	۸/۱۵	۴/۵۲	۴/۳	۳/۲۶	۸/۷۱	۴/۳۳

** ، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

قلیائیت از رشد بهتری برخوردار بودند که آن‌ها این امر را به‌خاطر جذب و انتقال بهتر عناصر معدنی به شاخساره به‌دلیل نسبت وزنی ریشه به شاخساره بیشتر و در نتیجه سطح ریشه بیشتر نسبت دادند.

رنگدانه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول، محتوای نسبی آب برگ و پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول‌های ۲ و ۴) نشان داد که اثرهای ساده و متقابل تنش و پیوند بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، قندهای محلول و پرولین معنی‌دار شد. با اعمال تنش، رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید کاهش و محتوای قندهای محلول و پرولین افزایش یافت. نتایج همچنین نشان داد که در شرایط تنش گیاهان پیوندی از مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ، قندهای محلول و پرولین بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار هستند (جدول ۴). طبق نتایج، مقدار رنگدانه های فتوسنتزی به طور قابل توجهی در شرایط تنش کاهش یافت. کلروفیل، مهمترین رنگدانه فعال در عمل فتوسنتز است و تنش ها باعث تخریب کلروپلاست و کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاهان می شوند. کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط تنش ممکن است به‌خاطر افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، یا کاهش آنزیم ها و یا مواد اولیه از جمله اسیدهای آمینه در سنتز کلروفیل (۲۸)، زوال غشای کلروپلاست و تیلاکوئید (۲۷)، ممانعت از بیوسنتز کلروفیل جدید به‌دلیل سنتز بیشتر میزان پرولین (زیرا گلوتامات که پیش‌ماده مشترک ساخت کلروفیل و پرولین است کمتر در مسیر سنتز کلروفیل وارد می‌شود)، کمبود یون‌های منیزیم و پتاسیم به‌عنوان عناصر اصلی در سنتز کلروفیل، کاهش نسبت پتاسیم به سدیم و حمله رادیکال‌های آزاد اکسیژن، ناشی از تنش اکسیدکننده و پراکسیداسیون و تجزیه کلروفیل باشد (۳۳).

در شرایط تنش کمبود آب، گیاه به‌منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و یا به‌عبارت دیگر تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد. تجمع پرولین یک پاسخ فیزیولوژیک به شرایط تنش بوده و از دو جنبه قابل بررسی است: اول اینکه در شرایط تنش شوری، Na^{+} در مقادیر زیاد در سیتوزول جمع شده، ایجاد سمیت می‌کند و باید به واکوئل‌ها منتقل شود. بنابراین، مواد آلی با وزن مولکولی کم، که با عنوان محلول‌های سازگار نامیده می‌شوند، برای حفظ تعادل پتانسیل آب، درون سیتوپلاسم تجمع می‌یابند. پرولین یکی از مهمترین محلول‌های سازگار بوده و در تعدیل پتانسیل اسمزی بسیار مؤثر است، به‌علاوه، پرولین نقش آسیمولاتی به‌عنوان مخزن کربن و نیتروژن دارد. همچنین، پرولین حفاظت گیاه را در برابر صدمات رادیکال‌های آزاد انجام می‌دهد (۲۷). از طرف دیگر، سمیت نمک با تحریک فعالیت

آنزیم گلوتامین‌کیناز که اولین آنزیم مسیر بیوسنتز پرولین است، تجمع پرولین را افزایش می‌دهد (۲۷). گزارش شده که تحت شرایط تنش قلیاییت، رشد ریشه کاهش یافته و در نتیجه جذب آب کاهش می‌یابد و در نتیجه پتانسیل آب برگ کاهش یافته و در نهایت سنتز پرولین افزایش می‌یابد. همچنین، کاهش میزان قندهای محلول تحت شرایط قلیائیت زیاد به‌دلیل افزایش سمیت این یون موجب آسیب به فرایندهای متابولیسمی می‌شود (۳۹). در یک بررسی دیگر، با تیمار بی‌کربنات سدیم روی بلوبری، مقدار پرولین و قندهای محلول به‌طور قابل توجهی افزایش پیدا کرد و بیان شد که تجمع این دو اسمولیت به‌عنوان یک شاخص پتانسیل مقاومت در برابر تنش قلیائیت عمل می‌کند (۶).

نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان داد که قندهای محلول و مقدار پرولین در گیاهان پیوندی طالبی بیشتر از گیاهان غیرپیوندی بود. نتایج مشابه دیگری نیز روی سایر گیاهان در ارتباط با زیاد بودن مقدار پرولین در گیاهان پیوندی گزارش شده است. به‌طوری که گیاهان گوجه‌فرنگی پیوند شده روی گوجه‌فرنگی وحشی میزان قند محلول و پرولین بیشتری نسبت به گیاهان بدون پیوند در شرایط تنش شوری داشتند. همچنین، گیاهان خیار پیوند شده روی پایه‌های کدو برگ انجیری نیز دارای میزان قند محلول و پرولین بیشتری در برگ‌های خود در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی بودند (۱۱). به‌طور کلی، افزایش مقدار پرولین در بافت گیاهان پیوندی را می‌توان به توانایی بالای پایه کدو در تولید و تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی نسبت داد. در یک بررسی که اثر پایه‌های مختلف روی گیاه بادمجان ارزیابی شده بود، پایه‌هایی که مقدار پرولین و قندهای محلول بیشتری داشتند از مقاومت بیشتری به شرایط تنش برخوردار بودند (۳).

عناصر غذایی

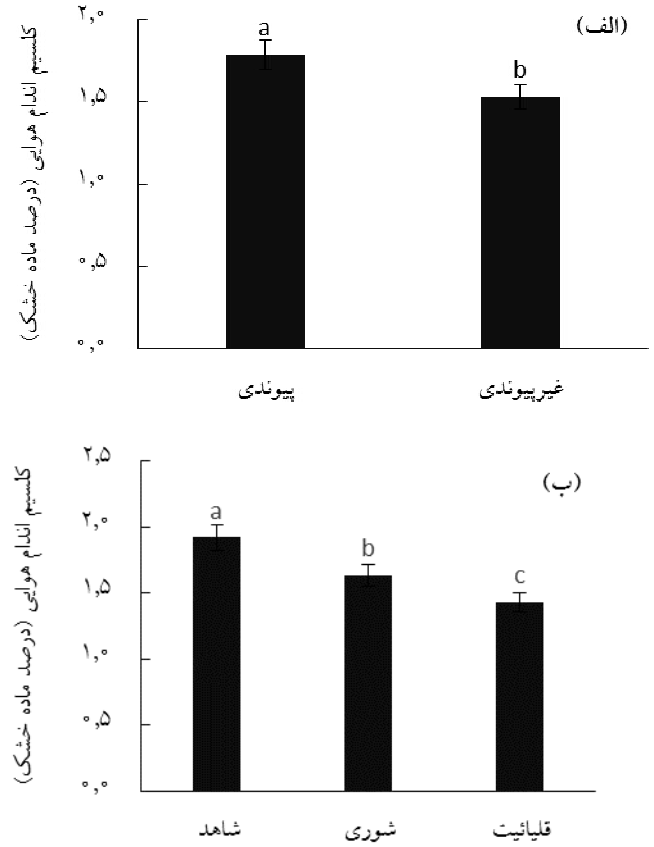
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که، به‌جز عنصر کلسیم، اثر متقابل پیوند در تنش بر محتوای عناصر معدنی سدیم، پتاسیم و کلر معنی‌دار شد (جدول ۴). با اعمال تنش، محتوای سدیم و کلر افزایش و کلسیم و پتاسیم کاهش یافت. طبق نتایج، پیوند، میزان شاخص‌های کلسیم و پتاسیم را بهبود بخشید. به‌طوری که در هر یک از سطوح تیمار تنش، با انجام پیوند، بیشترین میزان کلسیم و پتاسیم در گیاهان پیوندی مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین مربوط به کلسیم اندام هوایی نشان داد که با اعمال تنش مقدار آن کاهش یافت. به‌طوری که بیشترین مقدار در گیاهان شاهد و کمترین مقدار در گیاهان تحت تنش قلیائیت مشاهده شد. همچنین، نشان داده شد که گیاهان پیوندی از میزان کلسیم بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بودند (شکل ۲). اما تیمار پیوند اثر معنی‌داری بر میزان سدیم و کلر اندام هوایی نداشت. همچنین، نشان داده شد که با اعمال تنش، گیاهان پیوندی از میزان کلر کمتری نسبت به گیاهان غیر پیوندی برخوردار بودند (جدول ۴).

در پژوهش حاضر، مشاهده شد که با افزایش شوری، میزان سدیم و کلر اندام هوایی افزایش و کلسیم و پتاسیم کاهش یافت. ارتباط بین شوری و عناصر غذایی در محصولات کشاورزی بسیار پیچیده است. عملکرد محصولات باغی و زراعی می‌تواند به‌دلیل تأثیر شوری بر ایجاد عوارض تغذیه‌ای تحت تأثیر قرار بگیرد و در حد مطلوب نباشد. این عوارض می‌تواند ناشی از تأثیرات شوری بر قابلیت دسترسی، رقابت در جذب، انتقال یا توزیع عناصر غذایی در داخل گیاه باشد. غلظت زیاد سدیم در اندام هوایی دامنه‌ای از مشکلات اسمزی و متابولیک گیاه را موجب شده و سمیت احتمالی ناشی از تجمع بیش از حد این یون در اندام گیاهی و کاهش تولید ماده خشک گیاه را به‌دنبال خواهد داشت (۳۵). در گیاهان هالوفیت، غلظت Na^+ و Cl^- در سیتوپلاسم بیشتر است. ولی گیاهان حساس به شوری، توانایی نگهداری Na^+ و Cl^- را در بیرون از سیتوپلاسم نداشته و Na^+ را در بخش هوایی کاهش داده، یون‌ها را به ریشه منتقل کرده و سپس برون‌تراوی انجام می‌دهند. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، گزارشی وجود دارد مبنی بر اینکه در گیاه باقلا، در شرایط تنش شوری، مقدار Na^+ افزایش

جدول ۵. اثر متقابل تنش و پیوند بر صفات فیزیکوشیمیایی و عناصر معدنی گیاه طالبی

تنش	پیوند	قند محلول	پرولین	محتوای نسبی آب برگ	سدیم	پتاسیم	کلر
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)		(٪)	(درصد ماده خشک)		
شاهد	پیوندی	۴/۹^{c}	۵۸/۹۲^{d}	۸۳/۳^{a}	۰/۴^{d}	۱/۳۱^{a}	۰/۹۲^{e}
	غیرپیوندی	۳/۸^{d}	۴۱/۷۵^{e}	۸۵^{a}	۰/۹۳^{bc}	۰/۷^{c}	۲/۱۲^{b}
شوری	پیوندی	۱۱^{a}	۸۹/۱۷^{b}	۷۷^{b}	۰/۸۵^{c}	۰/۸۷^{b}	۱/۵^{d}
	غیرپیوندی	۸/۱^{b}	۸۱/۸۵^{c}	۷۰^{c}	۰/۹۸^{bc}	۱/۳۸^{a}	۱/۸^{c}
قلیائیت	پیوندی	۸/۴^{b}	۱۰۳/۸۶^{a}	۷۶/۳^{b}	۰/۹۴^{bc}	۰/۶۳^{d}	۲/۱^{b}
	غیرپیوندی	۵/۶^{c}	۸۲/۱۶^{c}	۶۳/۳^{d}	۱/۱۹^{a}	۰/۷۶^{c}	۲/۷^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.



شکل ۲. اثر الف) پیوند و ب) و تنش بر مقدار کلسیم اندام هوایی گیاهان پیوندی و غیرپیوندی طالبی
ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند

یافته است (۲۹). همچنین، ثابت شده که در ریشه و برگ‌ها رابطه مثبتی بین Na^{+} و Cl^{-} برقرار بوده، ولی بین یون‌های Na^{+} و K^{+} رابطه منفی برقرار است (۱۵). گزارش‌های دیگری مبنی بر افزایش یون‌های Na^{+} و Cl^{-} در تیمار شوری در گوجه‌فرنگی

(۱۶)، سورگوم (۷) و گیاه سنا (۵) منتشر شده است. تمامی گزارش‌های فوق نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌کند.

بی‌کربنات باعث افزایش pH می‌شود و کنترل pH محلول غذایی دارای اهمیت زیادی است. زیرا pH محلول غذایی رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در محلول غذایی با pH زیاد، فراهمی عناصر منیزیم، کلسیم، فسفر و پتاسیم به میزان کمی کاهش می‌یابد؛ در صورتی‌که فراهمی منگنز، روی، مس و مخصوصاً آهن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (۹). باقری و روستا (۲) گزارش دادند که غلظت‌های مختلف بی‌کربنات سدیم (تنش قلیائیت) بر برخی از واریته‌های کلم در سیستم هیدروپونیک باعث کاهش معنی‌دار غلظت آهن در برگ و ریشه شد. به‌طوری که در برگ، غلظت آهن نسبت به شاهد نزدیک به ۱۵۰٪ کاهش نشان داد. در آزمایشی که روی گیاه کاهو انجام شد، در گیاهان شاهد نسبت به گیاهان تیمار شده با بی‌کربنات، غلظت مواد غذایی در اندام هوایی بیشتر بود. اما تیمار بی‌کربنات و قلیائیت باعث تجمع مواد غذایی در ریشه‌ها شد و رشد اندام هوایی به‌شدت تحت تأثیر بی‌کربنات کاهش یافت. در بررسی اثر قلیائیت بر هندوانه، غلظت آهن، روی، مس، منیزیم، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نیتروژن تحت تأثیر بی‌کربنات کاهش پیدا کرد (۱۲). همچنین، قلیائیت محیط رشد باعث کاهش غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم و افزایش غلظت سدیم در گیاه نخودفرنگی شد.

نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان داد که پیوند طالبی روی کدوی قلیانی، اثر تنش بر مقدار عناصر را بهبود بخشید که این نتایج با نتایج کولا و همکاران (۱۴) روی گیاه خیار در شرایط تنش شوری مطابقت داشت. در پژوهش دیگری که کولا و همکاران (۱۲) روی هندوانه پیوند شده روی پایه های کدو تنبل انجام دادند، نشان داده شد که پایه‌های کدو تنبل سبب کاهش اثر قلیائیت ریشه و افزایش حلالیت عناصری مثل فسفر و آهن شده است.

نتیجه‌گیری

تنش شوری و قلیائیت بر شاخص‌های رشد گیاه، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، قند، پرولین و عناصر معدنی در توده بومی شاه‌پسند مؤثر بود. ولی پیوند روی پایه کدو قلیانی باعث شد تا شاخص‌های مذکور بهبود یابند. تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان پیوندی افزایش نشان داد و یا حداقل از تخریب آنها جلوگیری شد. همچنین، پیوند باعث افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول شد و لذا شرایط تنش شوری توسط گیاه تحمل شد. در پاسخ به شرایط تنش، سطح عناصر معدنی تحت تأثیر قرار گرفت. به‌طوری‌که محتوای سدیم و کلر افزایش و پتاسیم و کلسیم کاهش یافت. با توجه به نتایج این پژوهش، پیوند این توده بومی روی کدو قلیانی باعث افزایش پارامترهای مورد ارزیابی در گیاهان پیوندی شد که این افزایش احتمالاً به خاطر رشد بیشتر گیاهان پیوندی نسبت به غیرپیوندی صورت گرفت. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که پیوند شاه‌پسند روی کدو قلیانی یک ابزار مناسب برای بهبود تحمل گیاهان در مواجهه با تنش همزمان قلیائیت و شوری باشد.

منابع مورد استفاده

۱. آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۷. محصولات زراعی (سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵). جلد اول، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، وزارت جهاد کشاورزی.

۲. باقری، و. و ح. ر. روستا. ۱۳۹۱. بررسی اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات سدیم (تنش قلیائیت) بر برخی از واریته‌های کلم در سیستم هیدروپونیک. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۵(۱): ۶۷-۸۰.

۳. محسنیان سی‌سخت، ی. ۱۳۹۰. اثر بادمجان، گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای، داتوره، تاجریزی قرمز و تنباکو بر مقاومت به قلیائیت در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای کشت شده در سیستم هیدروپونیک. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان.

۴. ملکوتی، م. ج. و ع. ا. شهابی. ۱۳۸۲. نقش بی‌کربنات در بروز ناهنجاری‌های تغذیه‌ای درختان میوه. انتشارات سنا، تهران.

5. Agarwal, S. and V. Pandey. 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in Cassia angustifolia. Biol. Plant. 48(4): 555-560.
6. Ahmad, P., M. Ozturk, S. Sharma and S. Gucel. 2014. Effect of sodium carbonate-induced salinity–alkalinity on some key osmoprotectants, protein, profile, antioxidant enzymes, and lipid peroxidation in two mulberry (*Morus alba* L.) cultivars. J. Plant Int. 9(1): 460-467.
7. Almodares, A., M.R. Hadi, B. Kholdebarin, B. Samedani and Z.A. Kharazian.The response of sweet sorghum cultivars to salt stress and accumulation of Na^+, Cl^- and K^+ ions in relation to salinity. J. Environ. Biol. 35(4): 733-739.
8. Bates, L., R.P. Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil 39: 205-207.
9. Bugbee, B. 2003. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. Acta Hort. 648: 99-112.
10. Chapman, H.D. and D.F. Prah. 1961. Methods analysis for soil, plant and water. University of California Division, Agriculture Sciences, pp. 60-62.
11. Chen, G. and R. Wang. 2008. Effects of salinity on growth and concentrations of sodium, potassium and calcium in grafted cucumber seedlings. Acta Hort. 771: 217-224.
12. Colla, G., Y. Roupahel, M. Cardarelli and E. Rea. 2006. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. HortSci. 41: 622-627.
13. Colla, G., Y. Rouphael, C. Leonardi and B. Zhilong. 2010. Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. Sci. Hort. 127: 147-155.
14. Colla, G., Y. Rouphael, E. Rea and M. Cardarelli. 2012. Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. Sci. Hort. 135: 177-185.
15. Cuartero, J., A.R. Yeo and T.J. Flowers. 1992. Selection of donors for salt tolerance in tomato using physiological traits. New Phytol. 121(1): 63-69.
16. Cuartero, J., M.C. Bolarín, M. J. Asíns.and V. Moreno. 2006. Increasing salt tolerance in the tomato. J. Exp. Bot. 57(5): 1045-1058.
17. Edelstein, M., Z. Plaut and M. Ben-Hur. 2011. Sodium and chloride exclusion and retention by non-grafted and grafted melon and cucurbita plants. J. Exp. Bot. 62: 177-184.
18. Esquinas-Alcazar, J.T. and P.J. Gulick. 1983. Genetic-resources of Cucurbitaceae: A global report. International board for plant genetic resources (IBPGR). pp. 1-105.
19. FAO, FAOSTAT agricultural data base. 2013. http://apps.Fao.org.
20. Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanism of salt tolerance in non- halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31: 149-190.
21. Irigoyen, J.J., D.W. Emerich and M. Sanchie Diaz. 1992. Water stress induced changing concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) Plants. Physiol. Plant. 84: 67-72.
22. Jones, J.B. 2004. Hydroponics: A practical guide for the soilless grower. CRC Press, pp. 1-440.
23. Klute, A. 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods, Soil Science Society of America, SSSA Book Series.
24. Ksouri, R., A. Debez, H. Mahmoudi, Z. Ouerghi, M. Gharsalli and M. Lachaal. 2007. Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) Facing bicarbonate-induced iron deficiency. Plant Physiol. Biochem. 45: 315-322.
25. Kuepper, G., J. Bachman, and R. Thomas. 2003. Speciality muskmelons: Organic production. PP. 18-21. *In:* NCAT, Agricultural Specialists.
26. Lichtenthaler, H.K. and A.R. Wellburn. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochem. Soc. Trans. 11: 591-592.
27. Mane, A.V., T.V. Deshpande, V.B. Wagh, B.A. Karadge and J.S. Samant. 2011. A critical review on physiological changes associated with reference to salinity. Int. J. Environ. Sci. 4: 1192-1216.
28. Murkute, A.A., S. Sharma and S.K. Singh. 2006. Studies on salt stress tolerance of citrus rootstock genotypes with arbuscular mycorrhizal fungi. Hort. Sci. 33(2): 70-76.
29. Parida, A. and A.B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotox. Environ. Safety 60(3): 324-349.
30. Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosyn. Res. 73(1): 149-156.
31. Rivero, R.M., J.M. Ruiz and L. Romero. 2003. Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. J. Food Agric. Environ. 1(1): 70-74.
32. Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea and G. Colla. 2012. Improving melon and cucumber photosynthetic activity,

mineral composition, and growth performance under salinity stress by grafting onto Cucurbita hybrid rootstocks. Photosynthetica 50: 180-188.
33. Saadatmand, A.R., Z. Banihashemi, M. Maftoun and A.R. Sepaskhah. 2008. Interactive effect of soil salinity and water stress on growth and chemical compositions of pistachio nut tree. J. Plant Nutr. 30: 2037-2050.
34. Savvas, D., G. Ntatsi and P. Barouchas. 2013. Impact of grafting and rootstock genotype on cation uptake by cucumber (*Cucumis sativus* L.) exposed to Cd or Ni stress. Sci. Hort. 149: 86-96.
35. Tester, M. and R. Davenport. 2003. Na+ tolerance and Na+ transport in higher plants. Ann. Bot. 91(5): 503-527.
36. Valdez-Aguilar, L.A. and D.W. Reed. 2008. Influence of potassium substitution by rubidium and sodium on growth, ion accumulation, and ion partitioning in bean under high alkalinity. J. Plant Nutr. 31: 867-883.
37. Xing, W.W., L. Li, P. Gao, H. Li, Q.S. Shao, S. Shu, J. Sun and S.R. Guo. 2015. Effects of grafting with pumpkin rootstock on carbohydrate metabolism in cucumber seedlings under $Ca(NO_3)_2$ stress. Plant Physiol. Biochem. 87: 124-132.
38. Yang, C.W., A. Jianaer, C.Y. Li, D.C. Shi and D.L. Wang. 2008. Comparison of the effects of salt-stress and alkali-stress on photosynthesis and energy strong of an alkali-resistant halophyte *Chloris virgata*. Photosynthetica 46: 273-278.
39. Yang, C.W., H.H. Xu, L.L. Wang, J. Liu, D.C. Shi. and D.L. Wang. 2009. Comparative effects of salt-stress and alkali-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants. Photosynthetica 47: 79-86.
40. Zhang Z., H. Li, H. He and S. Liu. 2013. Grafting raises the Cu tolerance of cucumber through protecting roots against oxidative stress induced by Cu stress. J. Integ. Agric. 12: 815-824.
41. Zhu, J., Z.L. Bie, Y. Huang and X.X. Han. 2008. Effect of grafting on the growth and ion concentrations of cucumber seedlings under NaCl stress. Soil Sci. Plant Nutr. 6: 895-902.
42. Zribi, K. and M. Gharsalli. 2002. Effect of bicarbonate on growth and iron nutrition of pea. J. Plant Nutr., 25: 2143-2149.1.