بررسی رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه پیوندی و غیرپیوندی هندوانه بومی در شرایط تنش اکسیژن در سیستم هیدروپونیک

حمیدرضا روستا*[۱]، امین اکبری [۲]

*[۱] استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان

[۲] دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان

نویسنده مسئول: roosta_h@yahoo.com

چکیده

امروزه تکنیک پیوند برای افزایش مقاومت سبزی‌ها به تنش‌های زیستی و غیرزیستی در سطح وسیعی استفاده می‌شود. یکی از این تنش‌ها شرایط غرقابی یا کمبود اکسیژن در محیط ریشه گیاه می‌باشد که رشد گیاه را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. لذا در این تحقیق به منظور ارزیابی تحمل گیاهان پیوندشده هندوانه روی پایه کدو به شرایط کمبود اکسیژن بر اساس پارامترهای رویشی و فیزیولوژیکی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با دوفاکتور میزان هوادهی محلول غذایی (شاهد، کاهش هوادهی، عدم هوادهی و تزریق نیتروژن) و پیوند (عدم پیوند و پیوند) در غالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. نتایج این آزمایش نشان داد که با کاهش اکسیژن محلول غذایی یا تزریق N_2 به محلول غذایی خصوصیات رشدی گیاه نظیر ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد که در این بین در شرایط تنش، گیاهان پیوندی از ویژگی‌های رشدی بهتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بودند. تنش اکسیژن باعث کاهش مقدار کلروفیل کل و کارتنوئید و افزایش غلظت پرولین و قندهای محلول شد به‌طوریکه غلظت آنها در گیاهان پیوندی بالاتر از گیاهان غیر پیوندی بود. لذا با توجه به نتایج این تحقیق پیوند هندوانه روی پایه کدو سبب افزایش تحمل گیاه هندوانه به شرایط کمبود اکسیژن گردید.

کلمات کلیدی: تنش اکسیژن، تزریق گاز نیتروژن، هندوانه، تنظیم کننده‌های اسمزی

مقدمه

کمبود اکسیژن و تنش غرقابی یکی از تنش‌های غیرزنده محیطی می‌باشد که نقش عمده در کاهش عملکرد محصولات دارد (Visser *et al.*, 2003). معمولاً زمانی که رطوبت خاک به ۲۰ درصد بالاتر از ظرفیت زراعی برسد در حالت اشباع یا غرقاب قرار دارد و باعث کمبود اکسیژن می‌شود (Irfan *et al.*, 2010). کمبود اکسیژن در شرایط کشت هیدروپونیک نیز رخ می‌دهد که می‌تواند تحت تاثیر کاهش هوادهی محلول‌غذایی، ترکیب بستر نامناسب و یا آبیاری بیش از حد بستر کشت باشد (Steffens *et al.*, 2005). معمولاً در شرایطی که نسبت اکسیژن به دی‌اکسید کربن در محلول غذایی پایین است فعالیت ریشه کاهش یافته و در نهایت جذب آب و مواد غذایی کاهش می‌یابد (Yetisir *et al.*, 2006). افزایش نیتروژن مولکولی (گاز نیتروژن) در محلول غذایی یا آب نیز ممکن است به سرعت با اکسیژن موجود در محلول غذایی ترکیب شده و سبب کاهش مقدار اکسیژن محلول گردد (Steffens *et al.*, 2005). بنابراین اکسیژن محلول غذایی نقش تعیین کننده در رشد دارد و تحت تاثیر عوامل مختلف قرار می‌گیرد. گیاهان سه پاسخ اساسی به کمبود اکسیژن و یا تنش غرقابی نشان می‌دهند. اولین مرحله کاهش انتقال سیگنال از طریق کاهش اسیمیلاسیون کربوهیدرات می‌باشد. دومین مرحله افزایش فعالیت مسیرهای تخمیری و در نهایت تغییرات مورفولوژیکی و ساختاری (تشکیل بافت آئرانشیم و ریشه‌های نابجا) در بافت گیاه می‌باشد (Wei *et al.*, 2013). طی پژوهشی رشد گیاه هندوانه در شرایط کمبود اکسیژن کاهش یافت (Yetisir *et al.*, 2006). در آزمایشی دیگر شاخص سبزینگی گیاه سویا که در معرض کمبود اکسیژن و زیادی دی‌اکسید کربن قرار گرفته بود نسبت به شرایط نرمال کاهش پیدا کرد و زمانی که ریشه گیاه در معرض ۱۰۰

IrHC2019

درصد گاز نیتروژن قرار گرفته بود بیشترین کاهش شاخص سبزینگی را از خود نشان داد (Boru *et al.*, 2003). همچنین کمبود اکسیژن محلول غذایی، سبب کاهش غلظت عناصر غذایی بافت برگ و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی گردید (Morard *et al.*, 2000). مرارد و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که کمبود اکسیژن سبب تجمع نیتریت در محلول غذایی و آوند چوبی می‌شود و یکی از عوامل آسیب به بافت گیاه در شرایط کمبود اکسیژن، تجمع نیتریت است. این محققان همچنین نشان دادند که به خاطر کاهش فعالیت ریشه جذب آب و عناصر غذایی مثل پتاسیم، منیزیم، کلسیم، فسفر و گوگرد کاهش می‌یابد.

برخی از گونه‌های گیاهی بدلیل برخی از ویژگی‌های خاص نظیر تغییر در ساختار مورفولوژیکی، آناتومی (نظیر توسعه سلول‌های آئرانشیم) و یا مکانیسم‌های انتقال اکسیژن از قسمت‌های هوایی به سمت ریشه، می‌توانند تحمل بیشتری به شرایط کمبود اکسیژن داشته باشند. بنابراین می‌توان با شیوه‌های مدیریتی نظیر انتخاب گونه‌های مقاوم و یا استفاده از تکنیک‌های خاص در ارا ضی با شرایط کمبود اکسیژن تولید محصول با کیفیت دا شت (Yetisir *et al.*, 2006). در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک پیوند سبزی‌ها به منظور کاهش کنترل بیماری‌های خاکزاد (Oda, 1995) و مقاومت به شرایط تنش (Mohsenian and Roosta, 2015) توسعه زیادی پیدا کرده است. تکنیک پیوند علاوه بر اینکه نیاز به صرف زمان، فضا، مواد گیاهی اضافی و تجربه کافی دارد، همچنین ناسازگاری پیوند نیز به عنوان یک عامل محدود کننده در استفاده از تکنیک پیوند محسوب گردد. ولی به طورکلی مزایای زیاد این تکنیک زمینه‌های تحقیقاتی گسترده‌ای را برای ارتقاء روش کار و مراقبت‌های ویژه پس از پیوند فراهم کرده است (Edelstein, 2004).

هندوانه به عنوان یکی از محصولات اقتصادی در ایران می‌باشد که حدود ۱۳۰ هزار هکتار سطح زیرکشت از زمین‌های زراعی در ایران را به خود اختصاص داده است. تنش غرقابی در شرایط بارندگی‌های شدید و بخصوص جاری شدن سیل های اخیر م شکلاتی را برای ک شاورزان تولید کننده هندوانه در جنوب و جنوب شرقی ک شور ایجاد نموده است. از طرف دیگر برای تولید این گیاه نیاز به آب زیاد می‌باشد، بنابراین برای کاهش مصرف آب تولید این گیاه در شرایط کنترل شده توسعه پیدا کرده است. در شرایط کنترل شده نیز گیاه هندوانه دچار مشکلاتی می‌باشد که یکی از این مشکلات کمبود اکسیژن در محیط ریشه می‌باشد. از مهمترین علایمی که گیاه هندوانه به شرایط کمبود اکسیژن نشان می‌دهد کوچک شدن برگ و زردی برگ می‌با شد (Yetisir *et al.*, 2006). با ا ستفاده از تکنیک پیوند و پایه‌های مقاوم به کمبود اکسیژن می توان مشکل کمبود اکسیژن را برطرف کرد و سبب افزایش رشد گیاه در شرایط تنش شد. تحقیقات زیادی نشان داده ا ست که پیوند هندوانه روی پایه‌های کدو سبب افزایش خصو صیات ر شدی گیاه هندوانه نسبت به گیاهان غیر پیوندی شده است (Huang *et al.*, 2016). بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی برخی از ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه پیوندی و غیرپیوندی هندوانه بومی در شرایط تنش اکسیژن در سیستم هیدروپونیک اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

بذر هندوانه توده بومی منطقه رفسنجان با ویژگی‌های میوه‌های متوسط و گرد، دارای پوست نازک و به رنگ سبز تیره دارای گوشت قرمز و بذرهای سیاه کوچک از مرکز تحقیقات کرمان تهیه و برای پیوند استفاده گردید. در این تحقیق از کدوی هیبرید رقم ازرا (*Cucurbita spp*) متعلق به خانواده Cucurbitaceae به عنوان پایه استفاده گردید. این گیاه یکساله و رونده بوده که معمولا در مناطق گرمسیری پراکنده است. دارای پوست زرد و میان‌بر با ضخامت کم می‌باشد و کمتر به مصرف تغذیه می‌رسد. این رقم از مرکزتحقیقات استان کرمان تهیه گردید.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دوفاکتور میزان هوادهی محلول غذایی (شاهد، کاهش هوادهی، عدم هوادهی و تزریق نیتروژن که به ترتیب بر حسب میزان اکسیژن در محلول غذایی ۱±۵، ۱±۴، ۱±۳ و ۱±۲) و پیوند (عدم پیوند و پیوند) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. بذرهای کدو ابتدا در کیسه‌های پلاستیکی کوچک در بستر ۱:۱ پرلیت

IrHC2019

و کوکوپیت کشت شد. سپس بذور توده بومی هندوانه به عنوان پیوندک یک روز پس از پایه کشت گردید. پس از تشکیل برگ‌های لپه‌ای پیوند هندوانه روی کدو به‌روش حفره‌ای انجام شد. گیاهان پیوندی در داخل گلخانه و در زیر میز با حصاری از گونی و نایلون داخل جعبه‌هایی که دور آن با نایلون برای حفظ رطوبت پوشانده شده بود قرار گرفتند. برای حفظ رطوبت بیشتر هر روز حصار دور میز مرطوب می‌شد. دراین شرایط رطوبت ۹۰ درصد و دما ۲۸ درجه سلسیوس بود. پس از سه روز از انجام عمل پیوند نایلون‌های دور جعبه‌ها کنار زده شد تا گیاهان کم‌کم به شرایط گلخانه و بیرون سازگار شوند. ده روز پس از انجام عمل پیوند حصار نایلونی دور میز و پوشش اطراف آن به طور کامل برداشته شد و گیاهان پیوندی در شرایط گلخانه و نور معمولی قرار گرفتند.

پس از اینکه گیاهان پیوندی و غیر پیوندی به مرحله ۲ الی ۳ برگ اصلی (۱۶ روز بعد از پیوند) رسیدند به بستر اصلی انتقال داده شدند. برای این منظور نشاها به سطل‌های ۵ لیتری منتقل شدند که در این روش قسمت هوایی گیاه در هوای آزاد قرار داشت و ریشه در محلول غذایی شناور بود. جهت نگهداری گیاهچه در سطل به دور آن‌ها اسفنج پیچیده شد تا علاوه بر ثابت نگهداشتن گیاه از آسیب احتمالی ساقه نیز جلوگیری گردد. جهت هوادهی سطل‌ها از یک پمپ هوای آکواریومی بزرگ استفاده گردید که توسط شیلنگ‌های جداگانه هوا را به درون سطل منتقل می‌کردند. برای کنترل و تنظیم میزان هوادهی درونی به درون سطل‌ها از ست سرم استفاده شد. در تیمار تزریق نیتروژن از یک کپسول حاوی گاز نیتروژن استفاده شد که به وسیله شلنگ‌های سرم به محلول غذایی تزریق گردید. از فرمول غذایی هوگلند و آرنون (۱۹۵۰) برای ساخت محلول غذایی استفاده شد. محلول غذایی به‌کار رفته هر هفته تعویض می‌شد.

صفات رویشی که در این آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفتند شامل طول ساقه، قطر ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه بودند. ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر ابتدا گیاه از ناحیه طوقه جدا و به دو قسمت بخش هوایی و ریشه تقسیم شده و با ترازو هر کدام جداگانه وزن شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده و سپس وزن شدند. کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و به روش آرنون اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949). به منظور تعیین قندهای محلول از روش ایریگوین استفاده شد (Irigoyen *et al.*,1992). پرولین با اسفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (T80UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd)درطول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. آنالیز داده‌های آماری حاصل از این آزمایش، با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام گرفت و مقایسه میانگین تیمارها در سطح ۱ و ۵ درصد توسط آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که با کاهش مقدار اکسیژن در محلول غذایی طول ساقه به طورمعنی‌داری کاهش پیدا کرد. به‌طوری‌که طول ساقه در تیمار تزریق گاز نیتروژن، عدم هوادهی و کاهش هوادهی به ترتیب حدود ۳۱، ۱۷ و ۷ در صد نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کرد. نتایج همچنین نشان داد که گیاهان پیوندی حدود ۲۹ درصد از طول ساقه بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بودند. نتایج همچنین بیانگر این است که بیشترین طول ساقه در گیاهان پیوندی که در شرایط شاهد رشد کرده بودند مشاهده گردید و کمترین طول ساقه در گیاهان غیر پیوندی که در شرایط تزریق گاز نیتروژن رشد کرده بودند مشاهده گردید (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها همچنین نشان داد که تیمار N_2، کاهش هوادهی و حذف هوادهی محلول غذایی سبب کاهش ۴۰، ۳۶ و ۲۰ درصدی تعداد گره نسبت به تیمار شاهد گردید. گیاهان پیوندی از تعداد گره بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بودند به طوری‌که تعداد گره در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیر پیوندی حدود ۱۶ درصد بیشتر بود (جدول ۱). نتایج همچنین نشان داد که قطر ساقه در سطح احتمال ۵ درصد تحت تاثیر تنش و پیوند قرار نگرفت.

IrHC2019

مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که با اعمال تنش وزن تر ریشه در گیاهان پیوندی و غیر پیوندی کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین وزن تر ریشه در گیاهان شاهد پیوندی و کمترین آن در تیمار تزریق N_2 و گیاهان غیرپیوندی مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد که وزن خشک ریشه با کاهش مقدار اکسیژن محلول غذایی در گیاهان پیوندی و غیرپیوندی کاهش پیدا کرد ولی مقدار کاهش وزن در گیاهان غیرپیوندی نسبت به گیاهان غیر پیوندی کاهش پیدا کرد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات رویشی گیاهان پیوندی و غیر پیوندی گیاه هندوانه در شرایط تنش کمبود اکسیژن

Oxygen treatment	Grafting	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of nod	Root dry weigh (g per plant)	Root fresh weight (g per plant)	shoot dry weigh (g per plant)	**shoot fresh weight (g per plant)**
Control	Non-grafted	189 ^{c}	1.08 ^{a}	14.5 ^{ab}	35 ^{bc}	62.3 ^{d}	54.3 ^{c}	**109 ^{c}**
	Grafted	215 ^{a}	1.08 ^{a}	15.5 ^{a}	52.3 ^{a}	93.7 ^{a}	78 ^{a}	**147 ^{a}**
Reduce aeration	Non-grafted	168 ^{e}	1.06 ^{a}	11.33 ^{c}	29.3 ^{c}	51 ^{e}	47.5 ^{d}	**87 ^{d}**
	Grafted	204 ^{b}	1.07 ^{a}	13.33 ^{b}	38.7 ^{b}	81 ^{b}	57 ^{b}	**121 ^{b}**
Non-aerated	Non-grafted	151 ^{f}	1.05 ^{a}	8.5 ^{e}	20 ^{d}	41 ^{f}	38.3 ^{e}	**76.3 ^{e}**
	Grafted	185 ^{cd}	1.06 ^{a}	9.92 ^{d}	29.3 ^{c}	73.3 ^{c}	47.7 ^{c}	**109 ^{c}**
N_2 treatment	Non-grafted	99 ^{g}	1.04 ^{a}	8.17 ^{e}	12.7 ^{f}	19 ^{g}	19.7 ^{f}	**46.3 ^{f}**
	Grafted	176 ^{de}	1.05 ^{a}	10.17 ^{cd}	20.3 ^{d}	63.3 ^{d}	35.3 ^{d}	**88.6 ^{d}**

ستون‌ها با حروف متفاوت اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD دارند.

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمار تزریق N_2، کاهش هوادهی و حذف هوادهی محلول غذایی سبب کاهش ۴۷، ۱۹ و ۲۷ در صدی وزن تر و ۵۸، ۲۱ و ۳۵ در صدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد گردید. نتایج همچنین حاکی از آن است که گیاهان پیوندی از وزن تر و خشک بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بودند به طوری‌که وزن تر و خشک اندام هوایی گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیر پیوندی به ترتیب حدود ۴۶ و ۳۶ درصد بیشتر بود. نتایج همچنین بیانگر آن است که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاهان پیوندی در شرایط شاهد و کمترین وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاهان غیر پیوندی در شرایط تزریق گاز نیتروژن به محلول غذایی مشاهده گردید (جدول ۱).

کمبود اکسیژن در محیط ریشه (غرقابی، کاهش هوادهی محلول غذایی) علاوه بر اینکه به طور مستقیم سبب کاهش فعالیت ریشه می شود بلکه از طریق کاهش مقدار فتو سنتز انتقال مواد فتو سنتزی به سمت ریشه نیز کاهش می‌یابد که منجر به کاهش شدید رشد ریشه و در نهایت از بین رفتن ریشه می‌شود (روستائی، ۱۳۸۴). همچنین گزارش شده است که حذف اکسیژن از طریق تزریق گاز نیتروژن به محلول غذایی گیاهان جو و گندم در شرایط هیدروپونیک سبب کاهش قابل توجهی در پارامترهای رشدی این گیاهان از طریق کاهش جذب عناصر غذایی نظیر فسفر، پتاسیم، منگنز، روی و مس شد (Steffens *et al.*, 2005). غرقاب شدن و کاهش اکسیژن از طرق مختلف بر رشد گیاه اثر می‌گذارد که عبارتنداز: ۱) اثر بر قابلیت جذب و انتقال عناصر غذایی به اندام هوایی، به طوری‌که در شرایط کمبود اکسیژن قابلیت جذب نیتروژن برای گیاه در خاک به دلیل هدر رفت آن از طریق فرایند نیترات زدایی و بروز کمبود نیتروژن در گیاه (Bartholomeus *et al.*, 2008)، ۲) کمبود اکسیژن به دلیل متابولیسم‌های بی‌هوازی سبب تولید اتانل و لاکتات می‌گردد که سبب آسیب به بافت گیاه شده و در نهایت رشد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Krishnamurthy and Rathinasabapathi, 2013)، ۳) در متابولیسم بی‌هوازی ATP کمتری تولید می شود که سبب

IrHC2019

مختل شدن وظایف سلول‌های گیاه می‌گردد، ۴) کاهش تولید کلروفیل یا تجزیه آن سبب کاهش شدت فتوسنتز و بروز کمبود کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌گردد که ر شد گیاه را کم می‌کند (Steffens *et al.*, 2005)، ۵) غرقاب شدن خاک از ساخت و انتقال هورمون‌های سیتوکنین و جیبرلین به اندام‌های هوایی جلوگیری می‌کند در نتیجه رشد گیاه کاهش می‌یابد. از طرف دیگر هورمون‌های اتیلن و اسید ابسایزیک در ریشه انباشته می‌شوند و می‌توانند به اندام‌های هوایی نیز انتقال یابند و ر شد گیاه بر اثر زیادی آن‌ها کاهش می‌یابد (Pasternak *et al.*, 2005). از طرف دیگر گونه‌های گیاهی در مقابل کمبود اکسیژن در محیط ریشه قابلیت های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. بعضی خیلی حساس و برخی دیگر به‌طور نسبی تقا ضای کمتری برای اکسیژن ر سانی دارند (رو ستائی، ۱۳۸۴). در یک برر سی انجام شده روی هندوانه نشان داده شد خصو صیات ر شدی گیاه هندوانه که روی پایه کدو پیوند زده شده بود از خصو صیات ر شدی بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بود این امر به خاطر تشکیل بافت آئرانشیم در کنار سلول‌های آوند آبکش بود که در شرایط غرقابی از اکسیژن ذخیره شده در این سلول‌ها استفاده می‌کرد (Yetisir *et al.*, 2006). نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که گیاهان پیوندی از خ صو صیات ر شدی بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بود. همچنین گزارش شده است که در گیاهان پیوندی در شرایط غرقابی سبب تولید ریشه‌های نابجا می‌شود که سبب افزایش جذب بیشتر اکسیژن در شرایط غرقابی می‌گردد (Yetisir *et al.*, 2006). به طور کلی کاهش شاخص‌های رشدی گیاهان پیوندی و غیرپیوندی در شرایط تنش اکسیژن را می‌توان به کاهش فعالیت ریشه و در نهایت کاهش جذب آب و مواد غذایی نسبت داد و از آنجایی که گیاهان پیوندی از سیستم ریشه‌ای قوی‌تری برخوردار بودند در نتیجه کاهش جذب عناصر غذایی کمتر رخ می‌دهد.

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمار کاهش هوادهی، حذف هوادهی و تزریق N_2، از محلول غذایی سبب کاهش ۳، ۱۰ و ۲۰ درصدی مقدار کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد گردید. نتایج همچنین حاکی از آن است که گیاهان پیوندی در شرایط تزریق N_2، حذف هوادهی و کاهش هوادهی از محلول غذایی به ترتیب حدود ۱۸، ۸ و ۴ درصد از مقدار کلروفیل کل بیشتری نسبت به گیاهان غیر پیوندی برخوردار بودند (جدول ۲).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با اعمال تنش مقدار کارتنوئید کل در گیاهان پیوندی و غیر پیوندی کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین مقدار کارتنوئید کل در گیاهان شاهد پیوندی و کمترین آن در تیمار تزریق N_2 و گیاهان غیرپیوندی مشاهده شد (جدول ۲).

در آزمایشی شرایط غرقابی سبب کاهش قابل توجهی در مقدار کلروفیل برگ گردید درحالی که برخی از گونه‌ها تغییرات اندک و در برخی از گونه‌ها تفاوتی از لحاظ مقدار کلروفیل مشاهده نشد (Herrera, 2015). کاهش در مقدار کلروفیل ممکن است به دلیل کاهش آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتو سنتزی باشد (Murkute *et al.*, 2006)، مثلاً تحت شرایط تنش، میزان فعالیت آنزیم کلروفیلاز با افزایش بیان آن، افزایش می‌یابد (Reddy and Vora, 2005)، همچنین از بیو سنتز کلروفیل جدید ممانعت می شود، چون با سنتز بیشتر پرولین، گلوتامات که پیش ماده مشترک ساخت کلروفیل و پرولین است کمتر در مسیر سنتز کلروفیل وارد می‌شود (جهانی، ۱۳۹۰). به طور کلی تفاوت در مقدار کلروفیل در گیاهان تحت شرایط تنش اکسیژن را می‌توان به ساختار ریشه و یا مکانیسم های دفاعی این گیاهان نظیر تشکیل ریشه‌های نابجا نسبت داد (Herrera, 2015). گزارش شده است که مقدار کلروفیل گیاهان ذرت، نخود و باقلا در شرایط غرقابی به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت (Caudle and Maricle, 2012). به طور کلی گزارش شده است که شرایط غرقابی با تغییر در شکل ظاهری و همچنین فیزیولوژیکی برگ سبب تغییر در رنگ برگ و در نهایت زردی برگ می‌گردد (Kozlowski, 1985). از آنجایی که نیتروژن، منیزیم و آهن نقش اساسی در سنتز و تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی ایفا می‌کنند، می‌توان کاهش مقدار کلروفیل را به کاهش مقدار این عناصر در شرایط غرقابی نسبت داد (Caudle and Maricle, 2012). در یک بررسی اثر تنش غرقابی بر

IrHC2019

گیاهان پیوندی و غیرپیوندی هندوانه مشاهده شد که گیاهان پیوندی هندوانه از رنگ پریدگی کمتری نسبت به گیاهان غیر پیوندی برخوردار بودند (Yetisir *et al.*, 2006) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمار تزریق N_2، حذف هوادهی و کاهش هوادهی محلول غذایی سبب افزایش ۲۶۲، ۱۶۹ و ۳۷ درصدی مقدار پرولین ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. نتایج همچنین حاکی از آن است که گیاهان پیوندی از مقدار پرولین بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بودند به طوری‌که مقدار پرولین در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیر پیوندی حدود ۲۳ درصد بیشتر بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها همچنین نشان داد که با اعمال تنش مقدار پرولین اندام هوایی در گیاهان پیوندی و غیر پیوندی افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین مقدار پرولین در گیاهان پیوندی که با N_2 تیمار شده بودند مشاهده گردید و کمترین مقدار پرولین اندام هوایی در گیاهان غیر پیوندی در شرایط شاهد مشاهده شد (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمار تزریق N_2، حذف هوادهی و کاهش هوادهی از محلول غذایی سبب افزایش ۱۲۱، ۴۴ و ۴ درصدی مقدار قندهای محلول ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. نتایج همچنین حاکی از آن بود که گیاهان پیوندی در شرایط کاهش هوادهی و حذف هوادهی از محلول غذایی به ترتیب حدود ۶۴ و ۴۲ درصد از مقدار قندهای محلول ریشه بیشتری نسبت به گیاهان غیر پیوندی برخوردار بودند ولی اختلاف معنی‌داری بین گیاهان پیوندی و غیر پیوندی در شرایط تزریق نیتروژن به محلول غذایی وجود نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمار تزریق N_2، حذف هوادهی و کاهش هوادهی محلول غذایی سبب افزایش ۱۹۲، ۸۲ و ۲۵ درصدی مقدار قندهای محلول اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد گردید. نتایج همچنین حاکی از آن است که گیاهان پیوندی از مقدار قندهای محلول اندام هوایی بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی برخوردار بودند به طوری‌که مقدار قندهای محلول اندام هوایی گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیر پیوندی حدود ۹/۳۶ درصد بیشتر بود. نتایج همچنین بیانگر آن است که بیشترین مقدار قندهای محلول اندام هوایی در گیاهان پیوندی در شرایط شاهد و کمترین مقدار قندهای محلول اندام هوایی در گیاهان غیر پیوندی در شرایط تزریق گاز نیتروژن به محلول غذایی مشاهده گردید (جدول ۲).

در شرایط تنش گیاه به منظور حفظ پایداری غشا از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و یا به عبارت دیگر تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد. یکی از پاسخ‌های عمومی سلول به تغییرات فشار اسمزی خارجی، تجمع متابولیت‌هایی است که قابلیت انحلال داشته و متابولیسم طبیعی گیاه را مختل نمی‌کنند (Orcutt and Nilsen, 2000). این مواد که عموماً به اسمولیت‌ها معروف هستند شامل قندهایی مثل ساکارز و فروکتوز، یون‌هایی مانند پتاسیم یا متابولیت‌های دارای بار الکتریکی مثل گلایسین بتائین، دی متیل سولفونیوم پروپیونات و اسید آمینه‌ای چون پرولین هستند (Paul and Hasegava, 1996).

اسمولایت‌ها همچنین باعث پایداری آنزیم‌ها در حضور یون‌ها، تنش آبی و نیز تاثیر ترکیبات شیمیایی دناتوره می‌شوند. پرولین به عنوان یکی از این ترکیبات است که تاثیر فعالیت کدکنندگی یون‌ها را روی آنزیم‌ها کاهش می‌دهد و باعث افزایش و پایداری آنزیم‌ها در دمای بالا می‌شود (Paul and Hasegava, 1996). پرولین می‌تواند به عنوان یک مولکول تنظیمی علامتی عمل نماید و موجب فعال سازی پاسخ‌های متعددی شود که از اجزای فرایندهای سازگاری محسوب می‌شوند. پرولین می‌تواند در اعمالی از جمله تنظیم پتانسیل احیاء سلول، حفظ pH سلول، تثبیت فسفولیپیدهای غشاء، تنظیم پروتئین‌ها و محافظت از آنزیم‌ها در مقابل دناتوره شدن نقش داشته باشد و به عنوان منبع کربن و نیتروژن در سلول عمل نماید (Chen and Murata, 2000). انباشت پرولین در شرایط تنش ممکن است به علت فعال سازی آنزیم‌های بیوسنتزی پرولین، کاهش اکسیداسیون و تبدیل شدن آن به گلوتامات، کاهش استفاده از پرولین در سنتز پروتئین‌ها و افزایش واژگردی پروتئین‌ها باشد (Maggio *et al.*, 2002). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با حذف و یا کاهش اکسیژن محلول غذایی مقدار پرولین ریشه و اندام هوایی به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرد.

IrHC2019

در یک بررسی دیگر روی ارقام مختلف گوجه‌فرنگی نشان داده شد که شرایط غرقابی سبب افزایش قابل توجهی در مقدار پرولین و قندهای محلول ارقام گوجه‌فرنگی گردید، هرچند تفاوت قابل توجهی بین ارقام از لحاظ مقدار پرولین و قندهای محلول در پاسخ به تنش غرقابی مشاهده گردید (Aloni and Rosenshtein, 1982). همچنین مقدار پرولین و قندهای محلول گیاه برنج با افزایش مدت زمان غرقابی افزایش پیدا کرد (Chanu and Sarangthem, 2015) که این نتایج با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که گیاهان پیوندی از مقدار پرولین و قندهای محلول بیشتری نسبت به گیاهان غیر پیوندی برخوردار بودند. در یک بررسی انجام شده روی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری نشان داده شد که با افزایش تنش شوری مقدار پرولین در گیاهان پیوندی و غیر پیوندی افزایش پیدا کرد ولی مقدار پرولین در گیاهان پیوندی از مقدار بیشتری برخوردار بود (Wahb-Allah, 2014). همچنین گزارش شده که گیاهان هندوانه پیوند شده روی کدو از مقدار پرولین و قندهای محلول بیشتری در شرایط تنش شوری برخوردار بوده است (سیاهکوهی، ۱۳۹۵). همچنین گیاهان گوجه‌فرنگی که روی پایه بادمجان پیوند زده شده بودند از مقدار پرولین و قندهای محلول بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی در شرایط تنش غرقابی برخوردار بودند (Bahadur *et al.*, 2015) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. به طور کلی تفاوت مقدار قندهای محلول و پرولین در گیاهان پیوندی را می‌توان به سیستم ریشه‌ای قوی‌تر و توانایی جذب آب و مواد غذایی بیشتر در شرایط تنش نسبت داد. همچنین گزارش شده است که گیاهان پیوندی به دلیل تولید ریشه های نابجا (که به عنوان ریشه‌های هوایی نام برده شده است) می‌توانند اکسیژن ریشه را در شرایط کمبود اکسیژن تامین کنند (Yetisir *et al.*, 2006).

جدول ۲- کلروفیل کل، کارتنوئیدها، کربوهیدرات‌های محلول ریشه و ساقه، و پرولین ریشه و ساقه گیاهان پیوندی و غیر پیوندی هندوانه در شرایط تنش کمبود اکسیژن

Oxygen treatment	Grafting	TChl (mg.g^{-1} FW)	Carotenoid (mg.g^{-1} FW)	Root TSC (mg.g^{-1} FW)	Shoot TSC (mg.g^{-1} FW)	Root proline (µg.g^{-1} FW)	**Shoot proline (µg.g^{-1} FW)**
Control	Non-grafted	1.54 ^{b}	1.5 ^{b}	1.33 ^{e}	3.40 ^{f}	60.5 ^{g}	**85.6 ^{g}**
	Grafted	1.69 ^{a}	1.7 ^{a}	2.47 ^{cd}	3.63 ^{ef}	63 ^{g}	**100 ^{f}**
Reduce aeration	Non-grafted	1.5 ^{b}	1.5 ^{b}	1.5 ^{e}	4.67 ^{d}	78 ^{f}	**115 ^{e}**
	Grafted	1.51 ^{b}	1.5 ^{b}	2.47 ^{c}	4.17 ^{de}	95 ^{e}	**111 ^{e}**
Non-aerated	Non-grafted	1.34 ^{d}	1.3 ^{d}	2.27 ^{d}	6.2 ^{c}	150 ^{d}	**161 ^{d}**
	Grafted	1.41 ^{c}	1.33 ^{c}	3.23 ^{b}	6.6 ^{c}	175 ^{c}	**178 ^{c}**
N_2 treatment	Non-grafted	1.21 ^{e}	1.20 ^{e}	4.2 ^{a}	9.23 ^{b}	201 ^{b}	**215 ^{b}**
	Grafted	1.38 ^{cd}	1.27 ^{cd}	4.2 ^{a}	11.3 ^{a}	262 ^{a}	**236 ^{a}**

ستون‌ها با حروف متفاوت اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD دارند.

منابع

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant physiology, 24(1):1.

Boru, G., Vantoai, T., Alves, J., Hua, D. and Knee, M. 2003. Responses of soybean to oxygen deficiency and elevated root-zone carbon dioxide concentration. Annals of botany, 91(4): 447-453.

Edelstein, M. 2004. Grafting vegetable-crop plants: pros and cons. Acta Horticulturae, 659 (1): 235-238.

Huang, Y., Zhao, L., Kong, Q., Cheng, F., Niu, M., Xie, J., Nawaz, M.A. and Bie, Z. 2016. Comprehensive mineral nutrition analysis of watermelon grafted onto two different rootstocks. Horticultural Plant Journal, 2(2): 105-113.

Irfan, M., Hayat, S., Hayat, Q., Afroz, S. and Ahmad, A. 2010. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging. Protoplasma, 241(14): 3-17.

IrHC2019

Irigoyen, J.J., Einerich, D.W. and Sánchez-Díaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativd*) plants. Physiologia plantarum, 84(1): 55-60.

Mohsenian, Y. and Roosta, H.R. 2015. Effects of grafting on alkali stress in tomato plants: datura rootstock improve alkalinity tolerance of tomato plants. Journal of plant nutrition, 38(1): 51-72.

Morard, P., Lacoste, L. and Silvestre, J. 2000. Effect of oxygen deficiency on uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. Journal of Plant Nutrition, 23(8): 1063-1078.

Morard, P., Lacoste, L. and Silvestre, J. 2004. Effect of oxygen deficiency on mineral nutrition of excised tomato roots. Journal of Plant Nutrition, 27(4): 613-626.

Oda, M. 1995. New grafting methods for fruit-bearing vegetables in Japan. JARQ (Japan).

Steffens, D., Hutsch, B.W., Eschholz, T., Losak, T. and Schubert, S. 2005. Water logging may inhibit plant growth primarily by nutrient deficiency rather than nutrient toxicity. Plant Soil and Environment, 51(12): 545.

Visser, E.J.W., Voesenek, L.A.C.J., Vartapetian, B.B. and Jackson, M.B. 2003. Flooding and plant growth. Annals of Botany, 91(2): 107-109.

Wei, W., Li, D., Wang, L., Ding, X., Zhang, Y., Gao, Y. and Zhang, X. 2013. Morpho-anatomical and physiological responses to waterlogging of sesame (*Sesamum indicum* L.). Plant science, 208: 102-111.

Yetisir, H., Caliskan, M.E., Soylu, S. and Sakar, M. 2006. Some physiological and growth responses of watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai] grafted onto *Lagenaria siceraria* to flooding. Environmental and Experimental Botany, 58(13): pp.1-8.

Investigation of growth and physiological characteristics of grafted and non-grafted watermelon in oxygen deficiency stress condition in hydroponic system

Hamid Reza Roosta[1]*, Amin Akbari[2]
[1, 2] Department. of Horticultural Science, Rafsanjan, Iran
[*]*Corresponding Author: Roosta_h@yahoo.com*

Abstract

Nowadays, grafting technique is used in wide range for elevating of vegetable tolerance to biotic and abiotic stresses. One of these stresses is water lodging or oxygen deficiency in the root environment that affect plant growth, markedly. Therefore, in order to investigating of the tolerance of grafted and non-grafted watermelon to oxygen deficiency stress, an experiment was conducted as factorial with two factors including nutrient solution aeration level (control, decreasing aeration, no aeration and N_2 injection) and grafting (non-grafted and grafted plants) base on completely randomize design with three replications. The results showed that decreasing oxygen concentration or N_2 injection into the nutrient solutions decreased vegetative traits including plant height, leaf number, stem diameter, shoot and root dry and fresh weight in grafted and non-grafted plants, although, vegetative traits in grafted plants were higher than in non-grafted plants. The results also showed that root and leaf osmorogoulators such as proline and soluble sugar increased in grafted and non-grafted plants, significantly. Oxygen deficiency in nutrient solution also decreased total chlorophyll and carotenoids. It is concluded that, grafting of watermelon on cucurbit rootstock increased watermelon tolerance to oxygen deficiency stress.

Keywords: oxygen stress, N_2 injection, watermelon, osmoregulators.

IrHC2019