

تأثیر هیدروژن پراکسید (H_2O_2) بر رشد و شاخص‌های فیزیولوژیک دو رقم گوجه فرنگی در کشت هیدروپونیک

سید سجاد فاطمی قیری^۱ و سید جلال طباطبایی*

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴)

چکیده

هیدروژن پراکسید نقش مهمی در پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی دارد. این پژوهش به منظور بررسی اثر هیدروژن پراکسید در چهار سطح غلظت (۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میکرولیتر در لیتر) بر شاخص‌های کمی و کیفی دو رقم گوجه‌فرنگی نیوتون و چری سانتلا (Newton and Cherry Santella) در کشت هیدروپونیک انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که کاربرد هیدروژن پراکسید باعث افزایش شاخص‌های رویشی و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی از جمله تعداد برگ، وزن خشک برگ و ریشه، حجم ریشه، سفتی بافت میوه سری اول و pH آب میوه شد. هیدروژن پراکسید باعث افزایش ۳۵ درصدی انبارداری میوه در رقم چری سانتلا نسبت به شاهد شد. حداکثر وزن میوه در رقم نیوتون و مربوط به تیمار ۸۰ میکرولیتر بر لیتر هیدروژن پراکسید بود که نسبت به شاهد ۵۸ درصد افزایش داشت. با توجه به اینکه بیش‌ترین تعداد برگ، وزن خشک برگ و حجم ریشه در غلظت ۸۰ میکرولیتر بر لیتر هیدروژن پراکسید مشاهده شد، و همچنین بیش‌ترین سفتی بافت میوه سری اول و انبارداری میوه در غلظت ۴۰ میکرولیتر بر لیتر هیدروژن پراکسید بود، استفاده از این دو غلظت برای بهبود شاخص‌های رویشی و فیزیولوژیک گوجه‌فرنگی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انتقال پیام، انبارداری، گوجه‌فرنگی، هیدروژن پراکسید

مقدمه

بیش‌ترین سطح زیر کشت در دنیا به گوجه‌فرنگی اختصاص دارد (۳۷). گوجه‌فرنگی در سطح وسیعی در سیستم‌های هیدروپونیک کشت می‌شود؛ به‌ویژه، تمایل به مصرف ارقام جدید گیلاسی و کشت آن در سیستم‌های هیدروپونیک در حال افزایش است (۳۲).

هیدروژن پراکسید متعلق به گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) (۱۲) و یک اکسیدکننده و سفیدکننده قوی است (۷).

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Lycopersicon esculentum* Mill منبع عمده‌ای از ویتامین‌های E، C، A و مقدار کمی ویتامین‌های گروه B شامل: B₁، B₂، B₃، B₅، اسید فولیک، مواد معدنی، فلاونوئیدها، اسیدهای فنلی و کاروتنوئیدها است که برای تغذیه و سلامت انسان اهمیت زیادی دارند (۶، ۹ و ۲۴). در تیره بادمجان پس از سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*),

۱- گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: j.tabatabaei@shahed.ac.ir

نیوتون و چری سانتلا ("Newton" و "Cherry Santella") در کشت هیدروپونیک بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه پژوهشی هیدروپونیک دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد تهران در بهار سال ۱۳۹۷ انجام شد و تعداد چهار گیاه برای هر واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. بستر مورد استفاده در این آزمایش برای کاشت بذرها، پومدیا شامل ترکیبی از پومیس، پرلیت و سیلت به ترتیب با نسبت‌های حجمی ۵:۲۵:۲۵ بود. بذرهاى دو رقم گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به نام‌های نیوتون و چری سانتلا در این بستر کشت شدند. آبیاری بذرها تا سبز شدن نشاها هر روز انجام شد. پس از جوانه‌زنی بذرها، در مرحله سه تا چهار برگ، نشاها به کیسه‌هایی از جنس کامپوزیت به طول ۴۵ و عرض ۲۵ سانتی‌متر که با ۱۵ کیلوگرم پومدیا پر شده بودند منتقل شدند. شرایط دمایی، نوری و رطوبتی گلخانه متناسب با رشد بهینه گوجه‌فرنگی توسط دستگاه کنترل‌کننده اقلیم کنترل می‌شد که میانگین دمای روزانه ۲۵ درجه سلسیوس و میزان رطوبت نسبی ۶۵ درصد بود. همچنین طول مدت آزمایش ۱۲۰ روز بود. در این آزمایش از محلول عناصر غذایی دانشگاه تبریز در سیستم هیدروپونیک استفاده شد (۳۶). فاکتورها شامل چهار سطح غلظت هیدروژن پراکسید (۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میکرولیتر در لیتر) بود که از آب اکسیژنه ۳۵ درصد شرکت مرک ساخته شد و ارقام گوجه‌فرنگی نیوتون و چری سانتلا ("Newton" و "Cherry Santella") که در مجموع هشت ترکیب تیماری بودند. تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش به صورت چهار محلول جداگانه در مخازن ۱۴۰ لیتری تهیه شده و مورد استفاده قرار گرفتند. بذرهاى دو رقم گوجه‌فرنگی چری سانتلا و نیوتون در پومدیا کشت شدند و تا ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری، از محلول عناصر غذایی تغذیه شدند. شایان ذکر است که سیستم هیدروپونیک مورد استفاده در این آزمایش سیستم باز بود، بدین ترتیب که پس از رسیدن بوته‌ها به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری،

منابع اصلی تولیدکننده هیدروژن پراکسید در سلول‌های گیاهی شامل واکنش‌های زنجیره انتقال الکترون در کلروپلاست و میتوکندری، آنزیم‌های پراکسیداز، واکنش مهلر و NADPH اکسیداز هستند (۲۳). این ماده در مقایسه با سوپر اکسید و به‌خصوص در مقایسه با رادیکال هیدروکسیل، نسبتاً بی‌خطر است (۸).

هیدروژن پراکسید، در طیف وسیعی از واکنش‌های آبشاری پیام‌رسان‌ها برای تمام جنبه‌های رشد گیاه شامل رشد ریشه‌های فرعی، تمایز آوند چوبی و چوبی شدن، نسبت ریشه به ساقه و کنترل روزنه‌ای نقش دارند (۸). هیدروژن پراکسید یک مولکول مهم پیام‌رسان در دفاع از گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده است (۲۲). هیدروژن پراکسید می‌تواند آثار مستقیمی بر دیواره سلولی داشته باشد (۱۵). این ماده آثار مهمی بر فیزیولوژی و رفتار سلول‌ها دارد (۱۶). همچنین در تولید فیتوالکسین و افزایش پایداری در برابر عوامل بیماری‌زا دخیل است (۱۱). هیدروژن پراکسید می‌تواند مورفولوژی ریشه، مورفولوژی و باز و بسته شدن روزنه‌ها، پاسخ‌های فتوسنتزی و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی موجود در گوجه‌فرنگی را در شرایط تنش مس اصلاح کند (۲۷). نتایج پژوهش‌ها نشان داد محلول پاشی هیدروژن پراکسید در غلظت‌های ۶، ۱۴ و ۱۸ میلی‌مولار بر گیاه فلفل (*Capsicum annuum*) باعث افزایش مقاومت به ویروس موزائیک طلائی فلفل شد (۲۲). همچنین استفاده از هیدروژن پراکسید در غلظت‌های دو و چهار درصد بر گیاه نخودفرنگی (*Pisum sativum*) باعث افزایش قابل توجه ویژگی‌های رشدی، عملکرد و کیفیت بذر شد (۱۰). هیدروژن پراکسید هم نقش اکسیدانی و هم نقش تسهیل‌کننده رشد گیاه را دارد که با توجه به غلظت و نوع گیاه می‌تواند متفاوت باشد. تجزیه این ماده سبب آزاد شدن اکسیژن و آب می‌شود که مصرف آن از لحاظ زیست‌محیطی نیز مشکل‌ساز نخواهد بود.

با توجه به نقش مهم هیدروژن پراکسید در رشد گیاه، به نظر می‌رسد که در بهبود رشد از آن می‌توان استفاده کرد؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر هیدروژن پراکسید بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و رشد دو رقم گوجه‌فرنگی

دو رقم گوجه‌فرنگی در جدول (۱) نشان داده شده است. اثر برهمکنش هیدروژن پراکسید و دو رقم گوجه‌فرنگی بر سطح برگ، تعداد برگ، ارتفاع گیاه، وزن تازه و خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن تازه و خشک ریشه، حجم ریشه و قطر ساقه معنی‌دار شدند.

تعداد برگ

اثر برهمکنش سطوح غلظت‌های هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد بیش‌ترین تعداد برگ در رقم چری سانتلا مربوط به تیمار ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید بود. کم‌ترین تعداد برگ مربوط به تیمار شاهد در رقم نیوتون و غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید بر رقم نیوتون بود. تیمار شاهد و غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید در رقم چری سانتلا و همچنین غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میکرولیتر بر لیتر هیدروژن پراکسید در رقم نیوتون تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد برگ نداشتند. تعداد برگ در غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا نسبت به غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون ۶۰/۹ درصد افزایش داشته است (شکل ۱-a). هیدروژن پراکسید با افزایش رشد گیاه می‌تواند در افزایش تعداد برگ و سایر فاکتورهای رشدی تأثیر داشته باشد (۲۰). نتایج پولادی (۳۰) نشان داد استفاده از پیش-تیمار هیدروژن پراکسید در غلظت‌های یک و دو میلی‌مولار بر گل جعفری (*Tagetes erecta L.*) تحت تنش شوری باعث افزایش معنی‌دار تعداد برگ نسبت به شاهد شد.

وزن خشک برگ

مقایسه میانگین اثر برهمکنش سطوح غلظت‌های هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد بیش‌ترین مقدار وزن خشک برگ مربوط به غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا بود و پس از آن غلظت ۲۰ میکرولیتر بر لیتر هیدروژن پراکسید بود و بقیه تیمارها با تفاوت

محلول غذایی و سطوح غلظت هیدروژن پراکسید که درون مخزن‌های ۱۴۰ لیتری تهیه می‌شد، به کیسه کشت منتقل شد. تهیه سطوح غلظت تیمارها هفته‌ای یک‌بار بود. آبیاری و تغذیه چهار نوبت در روز و در هر نوبت به مدت دو یا چهار دقیقه بر اساس اندازه و رشد گیاه انجام گرفت. همچنین، کنترل pH و EC به‌صورت خودکار انجام شد و برای اسیدی کردن محلول از HNO₃ و HPO₄ استفاده شد که EC محلول غذایی در مقدار ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر و pH آن در مقدار ۶/۵ تنظیم شده بود. به‌منظور جلوگیری از تأثیر نور بر هیدروژن پراکسید و رشد جلبک‌ها، محلول‌ها در مخزن‌های بسته تیره‌رنگ نگهداری شد. نمونه‌برداری از بوته‌ها پس از اعمال تیمار و در تمام مدت آزمایش به‌صورت مستمر در هر واحد آزمایشی و به‌شکل تصادفی انجام گرفت. تعدادی از صفات مورد نظر در گلخانه اندازه‌گیری شد و در پایان آزمایش میوه‌ها برداشت شده، بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری شدند. سپس صفاتی مانند تعداد برگ، وزن خشک برگ و ریشه، حجم ریشه، وزن تازه میوه، سفتی سری اول و دوم میوه با استفاده از دستگاه فروسنج (مدل Gy-4)، انبارداری میوه، قند میوه توسط دستگاه قندسنج دیجیتالی، لیکوپن توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (-Shimadzu model UV-1205) و pH آب میوه با استفاده از دستگاه pH متر (Clean model pH 500) اندازه‌گیری شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار اجرا شد. تجزیه واریانس داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین آن‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد. ترسیم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار MS Excel انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر سطوح هیدروژن پراکسید بر صفات رویشی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر هیدروژن پراکسید بر صفات رویشی

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر هیدروژن پراکسید و رقم بر صفات رویشی گیاه گوجه‌فرنگی.

Table 1. Analysis of variance of the effects of hydrogen peroxide and cultivar on vegetative characteristics of tomato plant.

میانگین مربعات Mean of Squares						
حجم ریشه Root volume	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تازه ریشه Root fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	تعداد برگ Number of leaves	درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
202**	13.05**	606**	5814**	376**	3	(H) H ₂ O ₂
704**	0.16 ^{ns}	94**	19323**	20068**	1	رقم (V)
6084**	32.6**	4413**	3871**	572**	3	H × V
33.3	2.08	7.61	217	9.37	16	خطا (Error)
3.25	5.83	1.63	8.73	2.45		CV (%)

** و ^{ns} به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

** and ns stand for significant effect at 1% probability level and non-significant effect at 5% probability level, respectively.

و درمنه کوهی، نشان داد استفاده از هیدروژن پراکسید در غلظت‌های ۱۰، ۴۰ و ۸۰ میکرومولار، افزایش معنی‌داری در وزن خشک ایجاد کرد. نتایج نوبخت (۲۸) نشان داد محلول پاشی هیدروژن پراکسید در غلظت ۲/۵ میلی‌مولار بر گیاه نعنای فلفلی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک بوته شد. نتایج سفیدخانی (۳۴) نشان داد کاربرد هیدروژن پراکسید و نیتروپروکسید سدیم باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ گیاه گاو‌دانه شد.

وزن تازه و خشک ریشه

مقایسه میانگین اثر برهمکنش سطوح غلظت هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد بیش‌ترین مقدار وزن تازه ریشه مربوط به غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون بود و سپس غلظت‌های ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا و غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون بود که تفاوت معنی‌داری نداشتند. بقیه تیمارها با تفاوت معنی‌داری سبب کاهش وزن تازه ریشه شدند. کم‌ترین مقدار وزن تازه ریشه نیز مربوط به غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون بود. شاهد با هر دو رقم نیوتون و چری سانتلا تفاوت معنی‌داری نداشت و بدین معنی است که این تیمار به یک اندازه وزن تازه

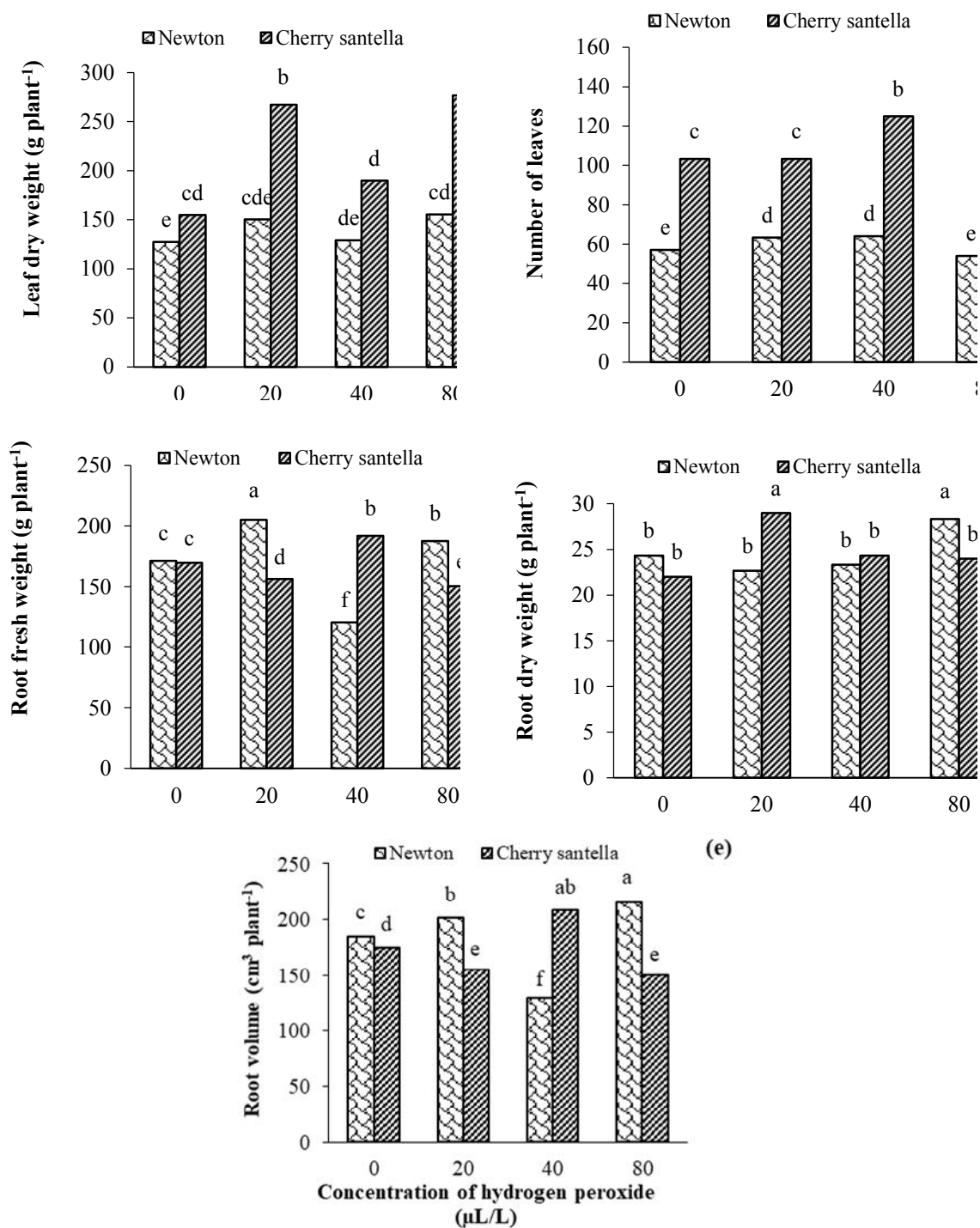
معنی‌داری سبب کاهش وزن خشک برگ شدند. کم‌ترین مقدار وزن خشک برگ نیز مربوط به شاهد با رقم نیوتون بود. شاهد با رقم چری سانتلا با غلظت ۲۰ و ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون تفاوت معنی‌داری نداشتند و این غلظت‌ها به یک اندازه وزن خشک برگ را کاهش داده‌اند. همچنین شاهد با رقم چری سانتلا با غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون و غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با دو رقم چری سانتلا و رقم نیوتون و غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید بر رقم نیوتون در یک گروه آماری قرار گرفتند. شاهد با رقم نیوتون و غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون و غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند. وزن خشک برگ در غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا نسبت به شاهد با رقم نیوتون ۵۴ درصد افزایش داشته است (شکل b-۱). نتایج رودباری و همکاران (۳۱) نشان داد محلول پاشی هیدروژن پراکسید در غلظت‌های نیم و یک میلی‌مولار و ۲۴-۲۰ میلی‌مولار بر گیاه دارویی زیره سبز باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد. نتایج عظیمیان دهکردی (۴) در مورد تأثیر کاربرد هیدروژن پراکسید و شوری بر محتوای فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در دو گونه درمنه دشتی

و بخش هوایی در گل تکمه‌ای (*Gomphrena Globosa L.*) و تاج خروس (*Amaranthus Tricolor L.*) شد (۱۳). نتایج رودباری و همکاران (۳۱) نشان داد محلول پاشی هیدروژن پراکسید در غلظت‌های نیم و یک میلی‌مولار و ۲۴-پی براسینواسستروئید بر گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum L.*) باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه و اندام هوایی شد. تأثیر محلول پاشی هیدروژن پراکسید روی برگ‌های گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum majorana L.*) نشان داد که هیدروژن پراکسید در دو غلظت ۲/۵ و ۵ میلی‌مولار، باعث افزایش وزن خشک ریشه این گیاه در مقایسه با شاهد شد (۳۵). نتایج نظیر و همکاران (۲۷) نشان داد استفاده از هیدروژن پراکسید در غلظت‌های ۱/۰ و ۵/۰ میلی‌مولار روی گیاه گوجه‌فرنگی سبب افزایش معنی‌دار و قابل توجه وزن خشک ریشه شد.

حجم ریشه

اثر برهمکنش غلظت‌های هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد بیش‌ترین مقدار حجم ریشه مربوط به غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون و غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا بود. غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون با غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا تفاوت معنی‌داری نداشتند که نشان می‌دهد استفاده این دو غلظت با رقم چری سانتلا بر حجم ریشه نتیجه مشابهی دارد. بقیه تیمارها با تفاوت معنی‌داری سبب کاهش حجم ریشه شدند. کم‌ترین مقدار حجم ریشه مربوط به غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون بود. غلظت‌های ۲۰ و ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا تفاوت معنی‌داری نداشتند و این دو غلظت به یک اندازه حجم ریشه را کاهش داده‌اند. حجم ریشه در غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون نسبت به غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون

ریشه را کاهش داده است. وزن تازه ریشه در غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون نسبت به غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون ۴۱/۳ درصد افزایش داشته است (شکل ۱-۳). تأثیر دو ماده هیدروژن پراکسید و ایندول-۳-بوتریک اسید بر ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی زغال‌اخته (*Cornus mas L.*) باعث افزایش معنی‌دار درصد ریشه‌زایی قلمه‌ها، طول ریشه، حجم ریشه، وزن تازه و خشک ریشه شد (۲۵). نتایج نشان داد تأثیر ایندول بوتریک اسید، پوتریسین و هیدروژن پراکسید بر ریشه‌زایی دو رگ هلو (*Prunus persica*) بادام (*Prunus dulcis*) پایه ۶۷۷GF موجب افزایش درصد ریشه‌زایی و کالوس‌زایی، طول و تعداد ریشه، وزن تازه و خشک ریشه در مقایسه با شاهد شدند (۱۹). نتایج پولادی (۳۰) نشان داد استفاده از پیش-تیمار هیدروژن پراکسید در غلظت‌های یک و دو میلی‌مولار بر گل جعفری (*Tagetes erecta L.*) تحت تنش شوری باعث افزایش معنی‌دار وزن تازه و خشک ریشه نسبت به شاهد شد. نتایج یوسفی (۳۸) نشان داد استفاده از هیدروژن پراکسید باعث افزایش معنی‌دار وزن تازه ریشه گیاه سرو طلایی (*Cupressus macrocarpos*) شد. نتایج نظیر و همکاران (۲۷) نشان داد استفاده از هیدروژن پراکسید در غلظت‌های ۱/۰ و ۵/۰ میلی‌مولار در گیاه گوجه‌فرنگی سبب افزایش معنی‌دار و قابل توجه وزن تازه ریشه شد. مقایسه میانگین اثر برهمکنش سطوح غلظت‌های هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد بیش‌ترین مقدار وزن خشک ریشه مربوط به غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا و ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون بود اگرچه تفاوت معنی‌داری نداشتند که نشان می‌دهد اثر استفاده این دو غلظت بر وزن خشک ریشه نتیجه مشابهی دارد. بقیه تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها دیده نشد و همه‌ی آن‌ها به یک اندازه بر وزن خشک ریشه تأثیر داشتند (شکل ۱-۴). نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داد که محلول پاشی هیدروژن پراکسید باعث افزایش وزن خشک ریشه



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش غلظت هیدروژن پراکسید و ارقام گوجه‌فرنگی بر تعداد برگ (a)، وزن خشک برگ (b)، وزن تازه ریشه (c)، وزن خشک ریشه (d)، و حجم ریشه (e)؛ ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

Fig. 1. Mean comparisons of the interaction effect of tomato cultivar and hydrogen peroxide concentration on number of leaves (a), leaf dry weight (b), root fresh weight (c), root dry weight (d), and root volume (e); Columns with dissimilar letters are significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر هیدروژن پراکسید و رقم بر شاخص‌های میوه گیاه گوجه فرنگی.

Table 2. Analysis of variance of the effects of hydrogen peroxide and cultivar on characteristics of tomato plant.

میانگین مربعات Mean of Squares								
منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	وزن تازه میوه Fruit fresh weight	سفتی میوه سری اول Fruit firmness (1 th)	سفتی میوه سری دوم Fruit firmness (2 ^{ed})	انبار داری میوه Fruit shelf life	قند Fruit sugar	لیکوپن Lycopene	pH آب میوه pH of fruit juice
(H) H ₂ O ₂	3	294.56**	0.44**	0.14**	392**	5.83 ^{ns}	1867**	0.00 ^{ns}
(V) رقم	1	325.67**	1.10**	3.20**	7.68 ^{ns}	0.16 ^{ns}	287**	0.21**
H × V	3	206.89**	0.15**	0.19**	402**	60.5**	795**	0.00 ^{ns}
خطا (Error)	16	361.87	0.00	0.02	2.74	3.41	2.84	0.00
(%) CV		4.45	1.95	7.61	6.29	0.33	1.67	1.31

** و ^{ns} به ترتیب بیانگر اثر معنی دار در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی دارد در سطح احتمال پنج درصد است.

** and ns stand for significant effect at 1% probability level and non-significant effect at 5% probability level, respectively.

و دو رقم گوجه‌فرنگی بر وزن تازه میوه، سفتی بافت میوه سری اول و دوم، انبارداری میوه، قند میوه و لیکوپن معنی دار بودند و pH آب میوه غیرمعنی دار شد.

وزن تازه میوه

غلظت ۸۰ میکرولیتر بر لیتر هیدروژن پراکسید بیش‌ترین مقدار وزن تازه میوه و تیمار شاهد کم‌ترین مقدار وزن تازه میوه را به خود اختصاص دادند. گوجه‌فرنگی رقم نیوتون بیش‌ترین و گوجه‌فرنگی چری سانتلا کم‌ترین مقدار وزن تازه میوه را به خود اختصاص داد. اثر برهم‌کنش سطوح غلظت هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد با افزایش سطوح غلظت هیدروژن پراکسید نسبت به شاهد در رقم نیوتون، وزن تازه میوه نیز افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار این صفت مربوط به غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید در رقم نیوتون بود که نسبت به شاهد ۵۸ درصد افزایش تولید نشان داد (شکل ۲). استفاده از هیدروژن پراکسید، صفات فیزیولوژیک و شیمیایی میوه سیب را بدون کاهش در رشد گیاه و عملکرد میوه، افزایش داده و باعث تنظیم قطر میوه، افزایش عملکرد میوه و کیفیت میوه می‌شود (۱۷).

۳۹/۵ درصد افزایش داشته است (شکل ۱-۵). تأثیر دو ماده هیدروژن پراکسید و ایندول ۳- بوتریک اسید بر ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی زغال‌اخته، باعث افزایش معنی دار درصد ریشه‌زایی قلمه‌ها، طول ریشه، حجم ریشه، وزن تازه و خشک ریشه شد (۲۵). در مطالعه اثر کاربرد هم‌زمان بوریک اسید، هیدروژن پراکسید و تیامین با ایندول بوتریک اسید بر ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی زیتون رقم رشد، کاربرد هیدروژن پراکسید همراه با ایندول بوتریک اسید باعث افزایش معنی دار درصد ریشه‌زایی، تعداد ریشه و طول ریشه و حجم ریشه شد (۳۳). غلظت ۵/۰ میلی‌مولار هیدروژن پراکسید، بهترین تأثیر را در افزایش رشد ریشه، حجم ریشه، وزن ریشه، تعداد ریشه‌ها، طول ریشه و فعالیت ریشه داشت (۹). نتایج پیش‌تیمار هیدروژن پراکسید در غلظت‌های یک و دو میلی‌مولار بر گل‌جعفری تحت تنش شوری باعث افزایش معنی دار میزان حجم ریشه نسبت به شاهد شد (۳۰).

تأثیر سطوح هیدروژن پراکسید بر صفات فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس تأثیر هیدروژن پراکسید بر شاخص‌های میوه دو رقم گوجه‌فرنگی در جدول (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر برهم‌کنش هیدروژن پراکسید

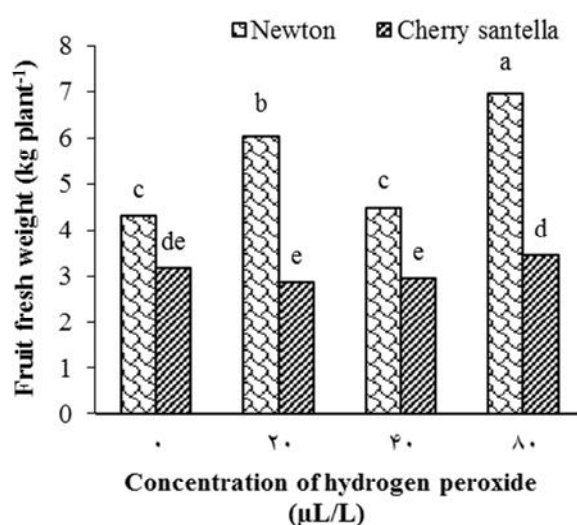
پراکسید با رقم نیوتون نسبت به غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا ۳۳/۳ درصد افزایش داشته است (شکل ۳-ا). استفاده از هیدروژن پراکسید به طور قابل توجهی موجب افزایش سفتی پوست میوه گوجه‌فرنگی شد (۳).

سفتی بافت میوه سری دوم

اثر برهم‌کنش سطوح غلظت هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد تمام غلظت‌های هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون بیش‌ترین مقدار سفتی بافت میوه را به خود اختصاص دادند و تفاوت معنی‌داری نداشتند. کم‌ترین مقدار سفتی بافت میوه مربوط به غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید بر رقم چری سانتلا بود. شاهد با هر دو رقم نیوتون و چری سانتلا در یک گروه آماری قرار گرفتند و همچنین شاهد با رقم چری سانتلا و غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۳-ب).

انبارداری میوه

اثر برهم‌کنش سطوح غلظت هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد بیش‌ترین مقدار انبارداری میوه مربوط به غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا بود. بقیه تیمارها با تفاوت معنی‌داری سبب کاهش انبارداری میوه شدند. کم‌ترین مقدار انبارداری میوه نیز مربوط به شاهد با رقم چری سانتلا بود. انبارداری میوه در غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا نسبت به شاهد با رقم چری سانتلا ۷۳/۴ درصد افزایش داشته است (شکل ۳-ج). استفاده از هیدروژن پراکسید در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار با گل بریده مریم (*Polianthes tuberosa*) باعث افزایش معنی‌دار طول عمر گلجایی شد و همچنین غلظت ۵۰ میکرومولار هیدروژن پراکسید، بیش‌ترین طول عمر پس از برداشت را در مقایسه با غلظت‌های دیگر به



شکل ۲. مقایسه میانگین تأثیر برهم‌کنش رقم گوجه‌فرنگی و غلظت هیدروژن پراکسید بر وزن تازه میوه؛ ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

Fig. 2. Mean comparisons of the interaction effect of tomato cultivar and hydrogen peroxide concentration on fruit fresh weight; Columns with dissimilar letters are significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

سفتی بافت میوه سری اول

مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح غلظت هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد بیش‌ترین مقدار سفتی بافت میوه مربوط به غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون بود. بقیه تیمارها با تفاوت معنی‌داری سبب کاهش سفتی بافت میوه شدند. کم‌ترین مقدار سفتی بافت میوه نیز مربوط به غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا بود. غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون با غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا و شاهد با رقم چری سانتلا با غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون همچنین، شاهد با رقم نیوتون با غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا و غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون تفاوت معنی‌داری نداشتند و این غلظت‌ها به یک اندازه سفتی بافت میوه را کاهش داده‌اند. سفتی بافت میوه در غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن

لیکوپن

مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح غلظت هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد بیش‌ترین مقدار لیکوپن مربوط به شاهد با رقم نیوتون بود. بقیه تیمارها با تفاوت معنی‌داری سبب کاهش لیکوپن شدند. کم‌ترین مقدار لیکوپن مربوط به غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با هر دو رقم نیوتون و چری سانتلا بود که در یک گروه آماری قرار گرفتند. مقدار لیکوپن در شاهد با رقم نیوتون نسبت به غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون ۴۲/۳۵ درصد افزایش داشته است (شکل ۳-ع). تأثیر هیدروژن پراکسید در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ مولار بر کیفیت غذایی گوجه‌فرنگی تازه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد استفاده از این تیمار منجر به کاهش لیکوپن شد (۱۸). استفاده از هیدروژن پراکسید در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار در گیاه گوجه‌فرنگی سبب افزایش محتوای لیکوپن شد (۲۷).

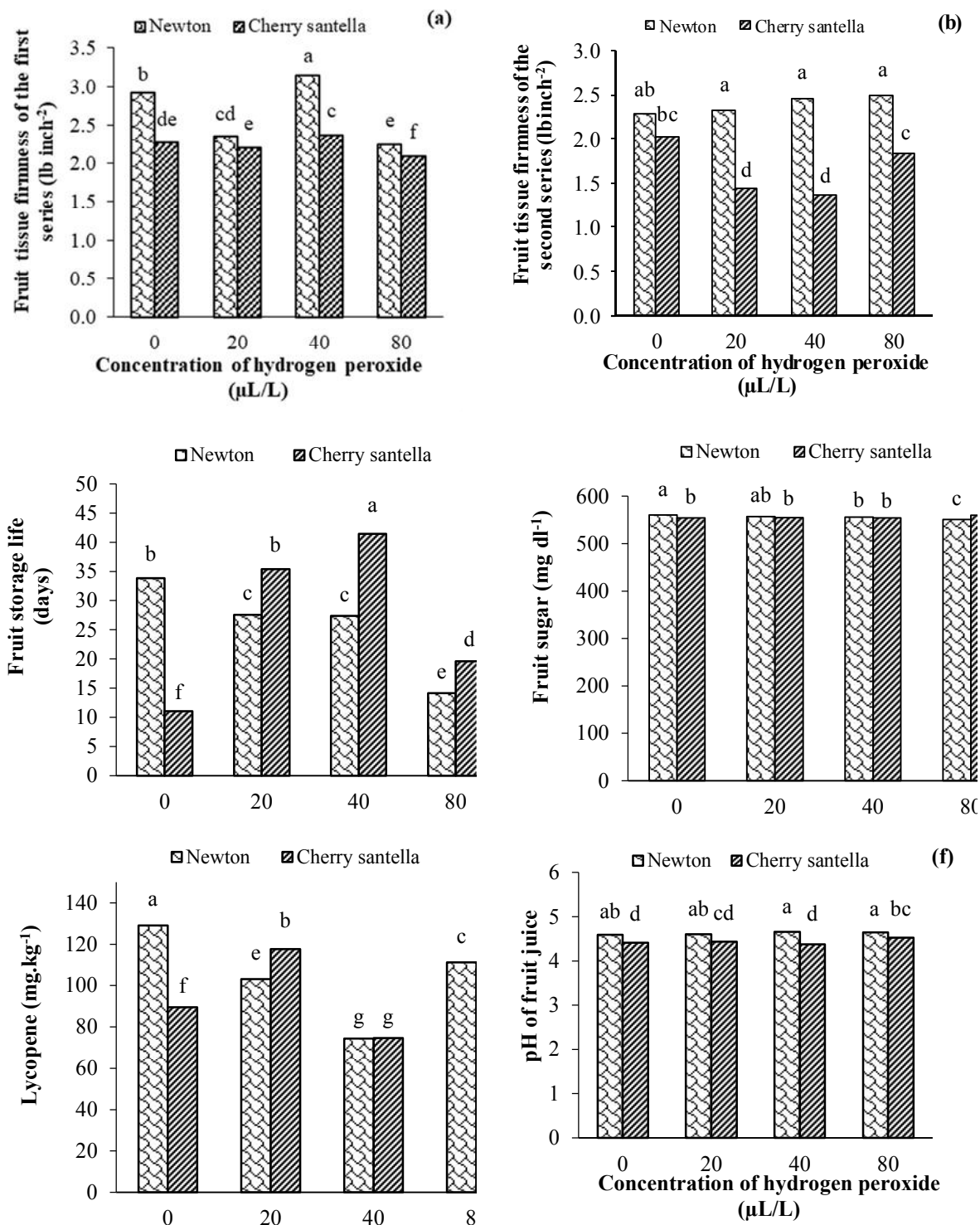
pH آب میوه

اثر برهم‌کنش سطوح غلظت هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد بیش‌ترین pH آب میوه مربوط به غلظت‌های ۴۰ و ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون بود که تفاوت معنی‌داری نداشتند و سپس تیمارهای شاهد و غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون بود که در یک گروه آماری قرار گرفتند. بقیه تیمارها با تفاوت معنی‌داری سبب کاهش pH آب میوه شدند. کم‌ترین pH آب میوه مربوط به شاهد و غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا بود که در یک گروه آماری قرار گرفتند. تمام سطوح غلظت هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون در یک گروه آماری قرار گرفتند. شاهد و غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون با غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا تفاوت معنی‌داری نداشتند. شاهد و غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا در یک گروه آماری

خود اختصاص داد (۲). در پژوهشی اثر استفاده از هیدروژن پراکسید با غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار در حفظ کیفیت پس از برداشت میوه فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*, L.) سفید به‌طور قابل توجهی کاهش وزن و شاخص سرعت پوسیدگی میوه‌ها بویژه با غلظت ۱۵ میلی‌مولار هیدروژن پراکسید را در مقایسه با شاهد کاهش داد؛ بنابراین استفاده از هیدروژن پراکسید توانایی بالقوه خوبی برای بهبود کیفیت پس از برداشت محصول، افزایش مدت‌زمان ماندگاری و حفظ کیفیت غذایی و همچنین جلوگیری از پوسیدگی میوه فلفل دارد (۵).

قند میوه

مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح غلظت هیدروژن پراکسید در ارقام گوجه‌فرنگی نشان داد بیش‌ترین مقدار قند میوه مربوط به شاهد و غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون و غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا بود که در یک گروه آماری قرار گرفتند و سپس شاهد با رقم چری سانتلا و غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با هر دو رقم نیوتون و چری سانتلا بود که تفاوت معنی‌داری نداشتند و اثر استفاده این غلظت‌ها با قند میوه نتیجه مشابهی دارد. کم‌ترین مقدار قند میوه نیز مربوط به غلظت ۸۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون بود (شکل ۳-د). محلول‌پاشی هیدروژن پراکسید روی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) باعث کاهش معنی‌دار قندهای محلول شد (۲۸). همچنین محلول‌پاشی هیدروژن پراکسید در غلظت‌های ۲/۵، ۵ و ۷/۵ میلی‌مولار روی خربزه توده خاتونی (*Cucumis melo* cv. *khatooni*) باعث افزایش معنی‌دار میزان قندهای محلول شد (۲۶). استفاده از هیدروژن پراکسید (۵۰-۱۰ میلی‌مولار) می‌تواند آنزیم‌های کلیدی سوخت‌وساز قند مانند cyto-FBPase، cp-FBPase، SPS و اینورتاز را در برگ‌های خربزه فعال کند (۲۹). تیمارهای ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار هیدروژن پراکسید موجب افزایش میزان قند محلول در گل جعفری (*Tagetes patula*) شد (۲۱).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهم کنش غلظت هیدروژن پراکسید و رقم گوجه فرنگی بر سفتی بافت میوه سری اول (a)، سفتی بافت میوه سری دوم (b)، انبارداری میوه (c)، قند میوه (d)، لیکوپن (e)، و pH آب میوه (f)؛ ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی دار دارند.

Fig. 3. Mean comparisons of the interaction effect of tomato cultivar and hydrogen peroxide concentration on fruit tissue firmness of the first series (a), fruit tissue firmness of the second series (b), fruit shelf life (c), fruit sugar (d), lycopene (e), pH of fruit juice (f); Columns with dissimilar letters are significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

میوه و لیکوپین در رقم نیوتون و افزایش معنی‌دار این صفات در رقم چری سانتلا شد. همچنین، کاربرد هیدروژن پراکسید موجب افزایش سفتی بافت میوه سری دوم در رقم نیوتون و کاهش این صفت در رقم چری سانتلا شد. انبارداری میوه در غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا نسبت به شاهد با رقم چری سانتلا ۷۳/۳۸ درصد افزایش داشت. استفاده از هیدروژن پراکسید موجب افزایش وزن خشک برگ و تعداد برگ شد که نشان می‌دهد رشد اندام هوایی گیاه را افزایش داد. همچنین کاربرد این ماده سبب افزایش چشمگیر وزن تازه و خشک ریشه و حجم ریشه شد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد هیدروژن پراکسید تأثیر مثبت و چشمگیری بر صفات رویشی و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی داشت.

قرار گرفتند و این سطوح غلظت یک اندازه pH آب میوه را کاهش داد. pH آب میوه در غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم نیوتون نسبت به غلظت ۴۰ میکرولیتر در لیتر هیدروژن پراکسید با رقم چری سانتلا ۶/۲ درصد افزایش داشته است (شکل ۴-۳).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، تأثیر هیدروژن پراکسید بر رشد و صفات فیزیولوژیک دو رقم گوجه‌فرنگی بررسی شد. کاربرد هیدروژن پراکسید باعث افزایش معنی‌دار تعداد برگ، وزن خشک برگ و ریشه، حجم ریشه، وزن تاز میوه، سفتی بافت میوه سری اول و pH آب میوه در هر دو رقم نیوتون و چری سانتلا شد. هیدروژن پراکسید موجب کاهش معنی‌دار انبارداری میوه، قند

منابع مورد استفاده

- Ahmed, M., Tariq, M., 2014. Enhancing post-harvest shelf life of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Rio Grandi using calcium chloride. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 14(2): 143-149.
- Amanzadeh Jajin, E., 2013. Study on the Effects of Hydrogen Peroxide, S-carvone, Nanosilver and Ascorbic Acid on Physico-Chemical Characteristics of *Polianthes tuberosa*. MSc Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (in Persian with English abstract)
- Andrews, J., Adams, S.R., Burton, K.S., Edmondson, R.N., 2002. Partial purification of tomato fruit peroxidase and its effect on the mechanical properties of tomato fruit skin. *Journal of Experimental Botany* 53(379): 2393-2399.
- Azimian Dehkordi, F., 2013. Effect of H₂O₂ and Salinity on Phenolic Contents and Antioxidant Capacities in *Artemisia sieberi* and *Artemisia aucheri*. MSc Thesis, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (in Persian with English abstract)
- Bayoumi, Y.A., 2008. Improvement of postharvest keeping quality of white pepper fruits (*Capsicum annum*, L.) by hydrogen peroxide treatment under shelf conditions. *Acta Biologica Szegediensis* 52(1): 7-15.
- Ceballos A.N., Franco Alirio, V.C., 2012. Evaluating the fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 65.2: 6593-6604.
- Chae, Y., Cui, R., Lee, J., An, Y.J., 2020. Effects on photosynthesis and polyphenolic compounds in crop plant mung bean (*Vigna radiata*) following simulated accidental exposure to hydrogen peroxide. *Journal of Hazardous Materials* 383: 121088.
- Cheeseman, J.M., 2007. Hydrogen peroxide and plant stress: a challenging relationship. *Plant Stress* 1(1): 4-15.
- Deng, X.P., Cheng, Y.J., Wu, X.B., Kwak, S.S., Chen, W., and Eneji, A.E., 2012. Exogenous hydrogen peroxide positively influences root growth and exogenous hydrogen peroxide positively influences root growth and metabolism in leaves of sweet potato seedlings. *Australian Journal of Crop Science* 6(11): 1572.
- Farouk, S., Qados, A.M.A., 2018. Enhancing seed quality and productivity as well as physio-anatomical responses of pea plants by folic acid and/or hydrogen peroxide application. *Scientia Horticulturae* 240: 29-37.
- Foyer, C.H., 2019. Causes of Photooxidative Stress and Amelioration of Defense Systems in Plants. CRC Press.
- Gechev, T.S., Hille, J., 2005. Hydrogen peroxide as a signal controlling plant programmed cell death. *The Journal of Cell Biology* 168(1): 17-20.
- Goldani, M., Kamali, M., 2011. Effect of exogenous application of hydrogen peroxide on water deficit stress in glob Amaranth (*Gomphrena Globosa* L.) and ornamental Amaranth (*Amaranthus Tricolor* L.). *Plant Products Technology (Agricultural Research)* 10(2): 65-81. (in Persian with English abstract)
- Jafarnia, S., Homaei, M., 2006. Comprehensive and Illustrated Guide to Growing Greenhouses of Cucumber,

- Tomato, Pepper and Strawberry. First ed., Sokhan Gostar Press, Mashhad.
15. Kärkönen, A., Kuchitsu, K., 2015. Reactive oxygen species in cell wall metabolism and development in plants. *Phytochemistry* 112: 22–32.
 16. Kärkönen, A., Dewhirst, R.A., Mackay, C.L., Fry, S.C., 2017. Metabolites of 2, 3-diketogulonate delay peroxidase action and induce non-enzymic H₂O₂ generation: Potential roles in the plant cell wall. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 620: 12–22.
 17. Khandaker, M.M., Boyce, A.N., Osman, N., 2012. The influence of hydrogen peroxide on the growth, development and quality of wax apple (*Syzygium samarangense*, [Blume] Merrill & LM Perry var. jambu madu) fruits. *Plant Physiology and Biochemistry* 53: 101–110.
 18. Kim, H.J., Fonseca, J.M., Kubota, C., Choi, J.H., 2007. Effect of hydrogen peroxide on quality of fresh-cut tomato. *Journal of Food Science* 72(7): S463–S467.
 19. Kordzadeh, S., 2014. Effect of IBA, putresine and hydrogen peroxide on rooting of GF677 (*Prunus amygdalus* × *Prunus persica*) rootstock. MSc Thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (in Persian with English abstract)
 20. Li, J.T., Qiu, Z.B., Zhang, X.W., Wang, L.S., 2011. Exogenous hydrogen peroxide can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 33(3): 835–842.
 21. Liao, W., Huang, G., Yu, J., Zhang, M., Shi, X., 2011. Nitric oxide and hydrogen peroxide are involved in indole-3-butyric acid-induced adventitious root development in marigold. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 86(2): 159–165.
 22. Mejia-Teniente, L., Durán-Flores, B.A., Torres-Pacheco, I., González-Chavira, M.M., Rivera-Bustamante, R.F., Feregrino-Perez, A.A., Guevara-González, R.G., 2019. Hydrogen peroxide protects pepper (*Capsicum annuum* L.) against pepper golden mosaic geminivirus (PepGMV) infections. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 106: 23–29.
 23. Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7(9): 405–410.
 24. Moghiseh, N., Ahmadzadeh Ghavidel, R., Ghiafeh Davoodi, M., Bami, F., 2013. Investigation of pectin synthesis in cherry tomatoes under map conditions. In: 21st National Congress of Food Science and Technology of Iran, Shiraz, October 29–31.
 25. Mohammadi, M., 2011. Effect of Hydrogen Peroxide and Indole-3-butyric Acid on Rooting of Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.) Cutting. MSc Thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran. (in Persian with English abstract)
 26. Mohammadi, S., 2017. Effect of paclobutrazol and hydrogen peroxide on growth, yield and fruit quality of melon fruit (*Cucumis melo* cv. khatooni). MSc Thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran. (in Persian with English abstract)
 27. Nazir, F., Hussain, A., Fariduddin, Q., 2019. Hydrogen peroxide modulate photosynthesis and antioxidant systems in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants under copper stress. *Chemosphere* 230: 544–558.
 28. Nobakht, P., 2016. Increase Peppermint (*Mentha piperita*) Tolerance to Water Deficit Stress by Hydrogen Proxside (H₂O₂) Application. MSc Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (in Persian with English abstract)
 29. Ozaki, K., Uchida, A., Takabe, T., Shinagawa, F., Tanaka, Y., Takabe, T., Takabe, T., 2009. Enrichment of sugar content in melon fruits by hydrogen peroxide treatment. *Journal of Plant Physiology* 166(6): 569–578.
 30. Pooladi, R., 2016. Effects of Hydrogen Peroxide on Growth and Flowering Characteristics of *Tagetes erecta* L. under Salinity Stress. MSc Thesis, Lorestan University, Lorestan, Iran. (in Persian with English abstract)
 31. Roodbari, N., Abbaspour, H., Manouchehri Kalantari, Kh., Aien, A., 2018. Effect of foliar application of hydrogen peroxide and 24-api-brassinosteroids in reducing oxidative damage from drought stress on cumin (*Cuminum cyminum* L.). Fourth International Conference on New Findings in *Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment*, Tehran, Iran, September 11. (in Persian)
 32. Saberi, Z., Khoshgoftarmanesh, A.H., Kalbasi, M., Mobli, M., Haghighi, M., 2013. The effect of different culture media on the absorption of high-consumption and low-consumption elements by cherry tomatoes. *Journal of Agricultural Science and Technology* 15(4): 77–86. (in Persian with English abstract)
 33. Sadeghi, H., Rajabnezhad, K., 2010. Evaluation of simultaneous application of boric acid, hydrogen peroxide and thiamine accompanied with indole-3-butyric acid on rooting of olive cuttings CV. Rashid. *Iranian Journal of Horticultural Sciences* 41(2): 173–178. (in Persian with English abstract)
 34. Sefidkhani, L., 2016. Effect of Hydrogen Peroxide and Sodium Nitroprusside on Growth and Physiological Characteristics during Germination and Seedling Stages in Bitter vetch under Salinity Stress. MSc Thesis, BU-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (in Persian with English abstract)
 35. Selahvarzi, Y., Goldani, M., Nabati, J., Alirezaei M., 2011. Evaluation of how to reduce the effects of salinity stress using foliar application of hydrogen peroxide in marjoram (*Origanum majorana* L.). In: 7th Iranian Congress of Horticultural Sciences, Esfahan, Iran, September 5. (in Persian)
 36. Tabatabaei, S.J., 2013. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz University Press, 463 pp, Tabriz. (in Persian)

37. Tuan, N.M., Mao, N.T., 2015. Effect of plant density on growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) at Thai Nguyen, Vietnam. *International Journal of Plant & Soil Science* 7(6): 357–361.
38. Yousefi, A.A., 2018. Investigation the Rooting of *Cupressus macrocarpos* using IBA and Hydrogen Proxide (H₂O₂). MSc Thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. (in Persian with English abstract)



Effect of Hydrogen Peroxide on Growth and Physiological Characteristics of Two Tomato Cultivars in Hydroponic Culture

S.S. Fatemi Ghiri¹ and S.J. Tabatabaei*

(Received: 5 September 2021; Accepted: 4 January 2021)

Abstract

Hydrogen peroxide plays an important role in the response of plants to environmental signals. This experiment aimed to find the effect of hydrogen peroxide at four levels (0, 20, 40, and 80 $\mu\text{L L}^{-1}$) on the quantitative and qualitative characteristics of two tomato cultivars including "Newton" and "Cherry Santella" grown in the hydroponics. The experiment was conducted as a factorial based on randomized complete block design with eight treatments and three replications. The results showed that the application of hydrogen peroxide significantly increased the vegetative characteristics and qualitative characteristics of tomato such as number of leaves, dry weight of leaves, fresh and dry weights of root, root volume, firmness and fruit juice pH. Maximum fresh weight of fruits was achieved at 80 $\mu\text{L L}^{-1}$ concentration with a 58% higher than that of the control. Furthermore, hydrogen peroxide increased fruit shelf life by 35% in "Cherry Santella" cultivar compared to control. The highest number of leaves, fresh and dry weights and root volume were observed at 80 $\mu\text{L L}^{-1}$. Fruit firmness and shelf life were increased at 40 $\mu\text{L L}^{-1}$ concentration. These findings suggest that the concentrations of 40 $\mu\text{L L}^{-1}$ can be used for tomato production in hydroponics.

Keywords: Hydrogen peroxide, Tomato, shelf life, signaling.

Background and Objective: Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) is a major source of vitamins A, C, E and small amounts of B vitamins including: B5, B3, B2, and B1. It contains folic acid, minerals, flavonoids, phenolic acids and carotenoids that are important for human nutrition and health (1, 4). Hydrogen peroxide acts in a wide range of reactions, and signaling cascades required for all aspects of plant growth, including sub-root growth, wall loosening and attachment, woody and woody vessel differentiation, root-to-stem ratio, and stomata control (2). Hydrogen peroxide can modify root morphology, stomatal opening and closure, photosynthetic responses, and antioxidant systems in tomatoes under copper stress conditions (5). It has been demonstrated that foliar application of hydrogen peroxide at concentrations of 6, 14 and 18 mM on the pepper plant increased resistance to the golden pepper mosaic virus (3). In this study, the effect of hydrogen peroxide was assessed on the quantitative and qualitative characteristics of Newton and Cherry Santella cultivars in hydroponic culture with the aim of increasing yield and vegetative characteristics of the plant.

Methods: This experiment was conducted in a factorial with randomized complete block design and three replications. In this experiment, the nutrient solution of Tabriz University was used in the hydroponic system and Pumedica was used as a growing medium. Factors included four levels of hydrogen peroxide

1- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.

* Corresponding Author, Email: j.tabatabaei@shahed.ac.ir

concentration (0, 20, 40, and 80 $\mu\text{L L}^{-1}$) and two tomato cultivars (Newton and Cherry Santella). A number of desired traits were measured during growing period and at the end of the experiment. The fruits were harvested at physiological ripening and transferred to the plant nutrition laboratory for measurements. Data were analyzed using SAS software and the means were compared using Duncan's multiple range test at 1 and 5% probability levels. Graphs were drawn using MS Excel.

Results: Results showed that hydrogen peroxide significantly increased the number of leaves, leaf dry weight, root fresh and dry weights, root volume, and other aspects of plant growth. The highest number of leaves, leaf dry weight and fruit sugar content were obtained from 80 $\mu\text{L L}^{-1}$ hydrogen peroxide treatment on Santella cultivar. The highest fresh weight of fruits was achieved at 80 $\mu\text{L L}^{-1}$ concentration with 58% higher than that of the control. Fruit shelf life at a concentration of 40 $\mu\text{L L}^{-1}$ of hydrogen peroxide on Chery Santella cultivar increased by 73.4% compared to the control. Increased fruit shelf life may be related to increased firmness of fruits. The fresh and dry weights of root and root volume were increased by applying hydrogen peroxide, attributable to changes in root morphology by hydrogen peroxide.

Conclusions: The finding of this experiment may suggest the application of hydrogen peroxide for tomato cultivation as it promotes growth and improves the quality of fruits. The concentration of 40 or 80 $\mu\text{L L}^{-1}$ is endorsed in hydroponics.

References:

1. Ceballos A.N., Franco Alirio, V.C., 2012. Evaluating the fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 65.2: 6593–6604.
2. Cheeseman, J.M., 2007. Hydrogen peroxide and plant stress: a challenging relationship. *Plant Stress* 1(1): 4–15.
3. Mejia-Teniente, L., Durán-Flores, B.A., Torres-Pacheco, I., González-Chavira, M.M., Rivera-Bustamante, R.F., Feregrino-Perez, A.A., Guevara-González, R.G., 2019. Hydrogen peroxide protects pepper (*Capsicum annuum* L.) against pepper golden mosaic geminivirus (PepGMV) infections. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 106: 23–29.
4. Moghiseh, N., Ahmadzadeh Ghavidel, R., Ghiafeh Davoodi, M., Bami, F., 2013. Investigation of pectin synthesis in cherry tomatoes under Map conditions. 21st National Congress of *Food Science and Technology* of Iran, Shiraz, October 29–31.
5. Nazir, F., Hussain, A., Fariduddin, Q., 2019. Hydrogen peroxide modulate photosynthesis and antioxidant systems in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants under copper stress. *Chemosphere* 230: 544–558.