مقاله پژوهشی

واکنش رشد و نموی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa* Duch.) به سیستم کشت و غلظت‌های مختلف عناصر معدنی محلول غذایی

جلیل رحیم‌دوست[۱]، محمد جواد نظری‌دلجو[۲]* و موسی ارشد[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۱۷- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۳)

چکیده

به‌منظور بررسی خصوصیات رشد و نموی، کیفی، عملکرد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی توت‌فرنگی رقم آروماس تحت تأثیر سطوح مختلف هدایت الکتریکی محلول غذایی بر اساس تغییرات عناصر معدنی پرمصرف (EC= 0.65-1.3 dS/m) و سیستم کشت (گلخانه و فضای آزاد)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گردید. در طول آزمایش پارامترهای رشد و نموی، کیفی و بیوشیمیایی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج آزمایش، اغلب صفات مورد بررسی همزمان با افزایش EC محلول غذایی روندی افزایشی نشان دادند. به‌طوری‌که وزن خشک برگ، ویتامین ث و فعالیت آنزیم‌های SOD، POD و CAT با افزایش EC محلول غذایی از ۰/۶۵ به ۱/۳ (dS/m) افزایش معنی‌داری پیدا کردند. از طرفی در فضای آزاد پارامترهای محتوای آنتوسیانین (۱۴/۵۲ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر)، ویتامین ث (۵۱/۹۹ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه)، شاخص طعم (۱۳/۱۹)، محتوای فنل (۸۴/۰۱ میلی‌گرم اسید گالیک بر صد گرم وزن تر) و فلاونوئید (۲/۲۶ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک) نسبت به گلخانه دارای میزان بیشتری بودند. همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز در گیاهان پرورش یافته در فضای آزاد بیشتر بود. با این حال سطح ویژه برگ و عملکرد در گیاهان پرورش یافته در سیستم گلخانه و EC 1.3 dS/m بیشتر بود. براساس نتایج آزمایش، امکان کشت بدون خاک توت فرنگی در شرایط فضای آزاد موفقیت‌آمیز بوده، به‌علاوه شاخص‌های کیفی در مقایسه با میوه‌های تولید شده در سیستم گلخانه که برای مصرف کنندگان بسیار حائز اهمیت است، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

کلمات کلیدی: آنتوسیانین، عملکرد، کشت بدون خاک، هدایت الکتریکی

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

* پست الکترونیک: nazarideljou@yahoo.com

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria× ananassa* Duch. متعلق به خانواده Rosaceae، جزء میوه‌هایی است که به دلیل عطر، طعم و ارزش غذایی بالا دارای طرفداران بسیار زیادی در سراسر جهان است (الدیزهان[1]، ۲۰۱۸; وبر[2] و همکاران، ۲۰۱۸). از لحاظ گیاه‌شناسی، توت‌فرنگی گیاهی چندساله علفی بوده و به طور متوسط ۵-۳ سال عمر اقتصادی دارد (جلیلی‌مرندی، ۱۳۸۹). از جمله شاخص‌های بارز مربوط به کیفیت توت‌فرنگی، عطر و طعم (نسبت قند به اسید و ترکیبات فرار) و رنگ است (یان[3] و همکاران، ۲۰۱۹). این میوه همچنین غنی از ویتامین ث، فنل‌ها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین و همچنین دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است که نقش مهمی در سلامتی انسان ایفا می‌کند (وبر و همکاران، ۲۰۱۸).

توت‌فرنگی به‌دلیل مزیت‌های نسبی فراوان از مهمترین میوه‌های دانه‌ریز در دنیا محسوب گردیده و کشت و کار آن در کشورهای مختلف جهان به‌صورت تجاری انجام می‌شود (کرمی و سرسیفی، ۱۳۹۹). بر اساس آمارها سطح زیر کشت توت‌فرنگی در ۲۰ سال گذشته در جهان حدودا دو برابر شده و در ایران نیز رو به گسترش است (رنجبر[4] و همکاران، ۲۰۲۲). در رتبه‌بندی جهانی تولید توت‌فرنگی، چین در رتبه اول و بعد از آن آمریکا و مکزیک به‌ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند. از طرفی رتبه اول بیشترین عملکرد در واحد سطح (۵۶/۳ تن در هکتار) مربوط به کشور آمریکا و پس از آن مکزیک (۵۲/۴ تن در هکتار) و مراکش (۴۸/۶ تن در هکتار) در رتبه دوم و سوم قرار دارند. لیکن کشور ایران در این میان از لحاظ تولید توت‌فرنگی در رتبه ۲۲ و از نظر عملکرد در واحد سطح در رتبه ۳۹ جهانی قرار دارد (فائو[5]، ۲۰۲۴). در ایران بر اساس آخرین آمارها، استان کردستان با ۵۶ درصد (۲.۷۸۳ هکتار)، بیشترین سطح زیر کشت را با تولید کل ۲۷.۲۲۰ تن به خود اختصاص داده است که کشت غالب آن به‌صورت خاکی در مزرعه بوده و رقم اصلی در این منطقه رقم "کردستان" است. پس از آن استان مازندران (۱.۱۹۵ هکتار) و گلستان (۸۷۱ هکتار) به‌ترتیب با تولید کل ۱۶.۰۶۳ و ۶.۸۳۵ تن در رتبه دوم و سوم بودند (طاهرخانی و رحمانی، ۱۳۸۵؛ عشقی و تفضلی، ۱۳۸۵؛ کرمی و سرسیفی، ۱۳۹۹؛ آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۰).

کشت توت‌فرنگی در گذشته به صورت خاکی بوده لیکن امروزه به‌دلیل افزایش تقاضای برای این محصول و همچنین امکان تولید خارج از فصل، تولیدکنندگان به تولید در گلخانه و کشت بدون خاک روی آورده‌اند (ملائی و همکاران، ۱۳۹۹). کشت بدون خاک دارای مزایای متعددی از جمله کنترل عوامل تغذیه‌ای، افزایش تولید محصول و کنترل بیماری‌ها است (میشرا[6] و همکاران، ۲۰۱۸). در کشت بدون خاک، عناصر معدنی با غلظت‌های به‌خصوص در محلول غذایی بر اساس نیاز تحت عنوان فرمول غذایی در اختیار گیاه قرار داده می‌شوند. معیار سنجش غلظت عناصر معدنی در محلول غذایی، هدایت الکتریکی (EC) بر حسب دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) است (سیلیس‌پور، ۱۳۹۸).

غلظت عناصر معدنی محلول غذایی یکی از مهمترین عوامل موثر بر رشد گیاه در کشت‌های بدون خاک است (ون بیبرشتاین[7] و همکاران، ۲۰۱۴؛ ماگیو[8] و همکاران، ۲۰۰۶). این معیار در محلول‌های غذایی بسته به محصول، شرایط محیطی، بستر کشت، و غیره متغیر است (قاسمی و همکاران، ۱۴۰۰). غلظت پایین عناصر معدنی در محلول غذایی یا سطح کم هدایت الکتریکی و غلظت زیاد یا سطح بالای هدایت الکتریکی به‌ترتیب منجر به بروز کمبود و بیش‌بود یا سمیت عناصر می‌گردد. در سطوح بالای غلظت عناصر معدنی، گیاه علاوه بر چالش تنش شوری با عدم تعادل یونی و تنش پتانسیل اسمزی مواجه گردیده و منجر به کاهش رشد و زیست توده گیاهی می‌گردد (دینگ[9] و همکاران، ۲۰۱۸؛ مویا[10] و همکاران، ۲۰۱۷). در همین راستا مطالعات متعددی در خصوص نقش غلظت عناصر معدنی محلول غذایی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان در شرایط کشت بدون خاک انجام شده است. در پژوهشی تأثیر تغییرات غلظت عناصر معدنی محلول غذایی در فلفل تند (*Capsicum annuum*) در شرایط کشت بدون خاک مورد بررسی قرار گرفت، نتایج بیانگر تأثیر مثبت افزایش Ec محلول غذایی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش کاروتنوئید،

1. Yildizhan
2. Weber
3. Yan
4. Ranjbar
5. FAO
6. Mishra
7. Von Bieberstein
8. Maggio
9. Ding
10. Moya

میزان مواد جامد محلول و ویتامین ث بود (روستا[1] و همکاران، ۲۰۲۰). در مطالعه‌ای دیگر تاثیر سطوح Ec محلول غذایی (1.6, 1.8, 2 dS/m) و چهار سطح pH (۶، ۶/۲ و ۶/۴) روی گیاه کاهو (*Lactuca sativa*) رقم "Green Butter" در شرایط کشت بدون خاک توسط سامارخان[2] و همکاران (۲۰۲۰) بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش بازده کاهو در سطح (1.8 dS/m) محلول غذایی بود، همچنین شاخص‌های رشدی و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در سطح (1.8 dS/m) محلول غذایی دارای بیشترین میزان بودند. در پژوهشی دیگر نگوین[3] و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که کاهش سطوح Ec محلول غذایی روی گیاه نعنا ارغوانی (*Perilla frutescens*) منجر به کاهش شاخص‌های رشدی، کاهش عناصر غذایی، افزایش محتوای فنل کل، افزایش آنتوسیانین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود. تأثیر سطوح مختلف غلظت عناصر معدنی محلول غذایی بر پایه افزایش عناصر پر مصرف، روی توت‌فرنگی در شرایط کشت هیدروپونیک توسط ویکاس[4] و همکاران (۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده افزایش ارتفاع گیاه، سطح برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد گل در هر گیاه، تعداد میوه و میزان عملکرد بود، همچنین کاهش غلظت عناصر پرمصرف در محلول غذایی منجر به کاهش تولید شاخه‌های جانبی و تولید گل کمتر در هر بوته گردید.

طی یک پژوهش کشت بدون خاک توت‌فرنگی بین گلخانه و فضای آزاد توسط نین[5] و همکاران (۲۰۱۸) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت، نتایج نشان داد که عملکرد و اندازه میوه‌ها در سیستم گلخانه بیشتر بود، لیکن صفات کیفی مانند سفتی بافت میوه و محتوای مواد جامد محلول در گیاهانی که زیر نور مستقیم خورشید بودند، روند افزایشی نشان دادند. همچنین تأثیر غلظت عناصر معدنی پرمصرف محلول غذایی بر رشد و نمو، سلامت، مقاومت و همچنین فیزیولوژی توت‌فرنگی توسط محققان زیادی به اثبات رسیده است (مشایخی و همکاران، ۱۳۹۵؛ کاسترو[6] و همکاران، ۲۰۰۴؛ نام[7] و همکاران، ۲۰۰۶). گنجه‌ای و گلچین[8] (۱۳۹۰) در پژوهشی با بررسی واکنش توت‌فرنگی رقم گاویتا به تأثیر سطوح نیتروژن (۱۱۰–۳۳۰)، پتاسیم (۱۲۰–۳۶۰) و منیزیم (۱۲–۴۸ میلی‌گرم در لیتر) در سیستم هیدروپونیک، با افزایش نیتروژن و پتاسیم عملکرد کاهش یافت و بیشترین عملکرد در پایین‌ترین سطوح نیتروژن (۱۱۰) و پتاسیم (۱۲۰) و سطح متوسط منیزیم (۲۴ میلی‌گرم در لیتر) حاصل شد. بنابراین ترکیب بهینه (N: 110_K:120_Mg: 24 mg/lit) برای حداکثر عملکرد توصیه گردید. مچنین در تحقیقی، تأثیر سطوح مختلف غلظت عناصر معدنی پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) بر خصوصیات رشدی، کیفی و فیزیولوژیکی توت‌فرنگی توسط علی[9] و همکاران (۲۰۲۳) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش غلظت عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم باعث افزایش پارامترهای رویشی و زایشی شد.

توسعه کشت‌های بدون خاک در کشور به‌دلیل رفع موانع و محدودیت‌های ناشی از خاک (شوری، غیرحاصلخیزی، بیماری‌های خاک‌زی) و همچنین محدودیت‌های منابع آبی (کم آبی، شوری، آلودگی) امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی مهمترین مشکل توسعه کشت‌های بدون خاک گلخانه‌ای، حجم سرمایه‌گذاری عظیم در واحد سطح و نیاز مداوم به انرژی است. براساس آمارهای جهانی مرتبط با کشت‌های گلخانه‌ای بدون خاک تجاری در سال ۲۰۲۳، حداقل سرمایه مورد نیاز در هر مترمربع فارغ از هزینه زمین و بسته به نوع سازه و کیفیت مواد مصرفی (سازه، سیستم‌های کنترل محیطی، تجهیزات آبیاری، تغذیه و پوشش گلخانه) بین ۵۰ تا ۱۵۰ میلیون ریال متغیر است (موسسه دنیای در معرض خطر ما[10]، ۲۰۲۳). به‌طوری‌که امروزه در داخل کشور این امر یکی از مهم‌ترین مولفه‌های مؤثر در عدم استقبال از احداث و توسعه گلخانه‌ها با توجه به سطح وسیع اراضی دارای محدودیت است (رابط، ۱۳۹۸). از طرفی شواهد نشان‌دهنده کاهش نسبی کیفیت و عطر و طعم محصولات گلخانه‌ای نسبت به فضای آزاد است. امروزه ارزش و کیفیت محصولات غذایی خصوصا حوزه باغبانی،

1. Roosta
2. Samarakoon
3. Nguyen
4. Vikas
5. Nin
6. Castro
7. Nam
8. Ganjei and Golchin
9. Ali
10. Our Endangered World Institute

دارای اهمیت و تعریف سلامت‌محور و تازه‌تری نسبت به گذشته است (رافائل[1] و همکاران، ۲۰۱۲). عطر و طعم، مقدار ماده خشک، آنتی‌اکسیدان‌ها و همچنین رنگ میوه از عوامل مهم در تعیین کیفیت میوه هستند. تحقیقات نشان داده فاکتورهای محیطی مانند نور و دما تأثیر مستقیمی بر کیفیت میوه دارند، به‌طوری‌که تداوم شدت نور در طول فصل می‌تواند کیفیت محصول را به‌طور معنی‌داری فزونی بخشد (وستون و بارت[2]، ۱۹۹۷). در تحقیقی توسط کاروسو[3] و همکاران (۲۰۰۳) نشان داده شد که توت‌فرنگی‌های کشت شده در محیط با نور کافی (تابش مستقیم خورشید) مقدار کربوهیدرات و ماده خشک بیشتری را نسبت به محیط با نور کم، تولید کردند. بین شدت نور کافی و محتوای ویتامین ث نیز در سبزیجات از جمله توت‌فرنگی، رابطه نزدیک و همبستگی مثبتی گزارش شده است (دارو[4]، ۱۹۹۶؛ شینوهارا[5]، ۱۹۸۷). در این رابطه یکی از عواملی که باید مدنظر قرار گیرد، تأثیر پوشش‌های پلاستیکی بر پرتوهای فعال فتوسنتزی (PAR) و اشعه ماوراء بنفش (UV) است که هر دو نقش مهمی در حفظ ترکیبات زیست فعال میوه‌ها دارند. تحقیقات نشان می‌دهد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های زغال اخته‌ای که در زیر پوشش‌های پلاستیکی کشت می‌شوند در مقایسه با فضای آزاد به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این امر بر اثر مخرب پوشش‌های پلاستیکی بر حفظ ترکیبات زیست فعال در میوه‌ها تأکید می‌کند (کریشنا[6] و همکاران، ۲۰۲۳). دما نیز نقش اساسی در فنولوژی و رشد گیاه ایفا می‌کند و سطوح بهینه آن در بین گونه‌های گیاهی متفاوت است (هاتفیلد و پروگر[7]، ۲۰۱۵). دما به‌طور غیرمستقیم بر هدایت روزنه‌ای برگ از طریق تغییر در وضعیت آب و فشار بخار گیاه و در نتیجه بر تعرق و فتوسنتز تأثیر مستقیم دارد (اوربان و همکاران، ۲۰۱۷؛ تیزت و همکاران، ۲۰۰۳). دمای بالا می‌تواند با کاهش محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای، افزایش دمای برگ (کرافورد[8] و همکاران، ۲۰۱۲)، افزایش نرخ تعرق، کاهش فتوسنتز و در نهایت مانع از رشد اندام هوایی، تولید متابولیت‌ها و به‌طور کلی گیاه مانع از فرآیندهای فیزیولوژیکی و نموی گیاه شود (فلر و واسوا[9]، ۲۰۱۴؛ تیزت و همکاران، ۲۰۰۳). متغیرهای شدت نور و دما که وابسته به شرایط محیطی هستند، نقش مهمی در رشد و بقای گیاه دارند. هنگامی که این متغیرها در سطوح بسیار کم یا زیاد باشند، می‌توانند باعث ایجاد تنش در گیاهان شوند با این حال، حفظ آنها در محدوده قابل قبول می‌تواند کمیت و کیفیت محصول را افزایش دهد (فرانته و ماریان[10]، ۲۰۱۸). در نتیجه، به‌نظر می‌رسد که کشت بدون خاک در فضای آزاد، می‌تواند به‌طور بالقوه کیفیت و ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه را بهبود بخشد. این بهبود را می‌توان به عواملی مانند شدت نور بالاتر و یکنواخت‌تر (اوردیج[11] و همکاران، ۲۰۱۲) و همچنین بالاتر بودن اختلاف دمای شب و روز نسبت داد (لی[12] و همکاران، ۲۰۱۵).

بر همین اساس، بررسی امکان کشت بدون خاک گیاه در فضای آزاد و دستیابی به آن به‌منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت محصول، می‌تواند راهکاری مناسب برای مدیریت و بهره‌وری از منابع دارای محدودیت، همچنین توسعه کشت‌های بدون خاک و متعاقب آن افزایش تولید غذا در مناطق دارای بحران‌های اقلیمی و کشاورزی مانند ایران باشد (گرودا و فرناندز[13]، ۲۰۲۲). طی سالیان اخیر، تحقیقات اندکی در خصوص کشت بدون خاک در فضای آزاد صورت گرفته است، بنابراین اطلاعات مرتبط با مدیریت تغذیه معدنی به‌عنوان مهمترین بخش در کشت‌های بدون خاک، همچنین تأثیرات عوامل محیطی بر آن، بسیار اندک بوده و دستیابی به آن حائز اهمیت است. بر همین اساس هدف پژوهش حاضر ارزیابی دو سیستم (گلخانه و فضای آزاد) جهت کشت بدون خاک توت‌فرنگی با غلظت‌های مختلف عناصر معدنی پرمصرف محلول غذایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شرایط محیطی و مواد گیاهی مورد استفاده

آزمایش حاضر با هدف بررسی کشت بدون خاک توت‌فرنگی رقم آروماس در گلخانه و فضای آزاد تحت تأثیر سطوح مختلف EC محلول غذایی وتأثیر این فاکتورها بر شاخصهای

1. Rouphael
2. Weston and Barth
3. Caruso
4. Darrow
5. Shinohara
6. Krishna
7. Hatfield and Prueger
8. Crawford
9. Feller and Vaseva
10. Ferrante and Mariani
11. Ordidge
12. Li
13. Gruda and Fernández

رشدی، کیفی و بیوشیمیایی، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار (۴ مشاهده در هر واحد آزمایشی) انجام گرفت. محل انجام آزمایش با ۱۳۲۰ متر ارتفاع از سطح دریا، طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی، دارای شرایط محیطی در گلخانه با میانگین شدت نور ۳۰۸/۹۷ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، رطوبت نسبی ۴۹ درصد و دمای روزانه ۲۱/۸ و شبانه ۱۸/۸ درجه سلسیوس، همچنین در فضای آزاد با میانگین شدت نور ۹۵۶/۷۸ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، رطوبت نسبی ۲۲ درصد و دمای روزانه و شبانه به‌ترتیب برابر با ۲۴ و ۱۵/۵ درجه سلسیوس، طی فصول بهار و تابستان سال ۱۴۰۰ در شهرستان مهاباد متفاوت بود (جدول ۱).

گیاهچه‌های یک‌ساله یکنواخت و سالم یک رقم توت‌فرنگی روز خنثی (آروماس) از شهرستان مریوان در استان کردستان تهیه و پس از هرس ریشه و برگ‌های خشک شده، با مخلوط قارچ‌کش کاپتان-کاربندازیم ضدعفونی شدند. سپس به کیسه‌های کشت پلی‌اتیلنی حاوی بستر کوکوپیت (الیاف فرآوری شده نارگیل) و پرلایت (۵-۳ میلی‌متر) با نسبت حجمی برابر انتقال یافتند. محلول غذایی مورد استفاده در دو سطح غلظت عناصر معدنی پرمصرف محلول غذایی (0.65 و 1.3 dS/m) بر اساس فرمولاسیون کودی کاروسو و همکاران (۲۰۱۱) آماده (جدول ۲) و محلول‌دهی بوته‌ها در هر دو سیستم با توجه به وضعیت رطوبتی بستر، یک هفته پس از استقرار کامل اعمال گردید. pH محلول غذایی در تمامی تیمارها برابر ۵/۸ تنظیم گردید. برای تهیه محلول غذایی از آب دیونیزه حاصل از فیلتراسیون آب آبیاری با دستگاه اسمزمعکوس آکواجوی (RO-102, UV-NEW) استفاده گردید.

ارزیابی و اندازه‌گیری شاخص‌ها

صفات رشد و نموی و عملکرد

عملکرد میوه در بوته در طول فصل با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد، همچنین شاخص‌های رشدی وزن خشک برگ و سطح ویژه برگ (SLA) از رابطه ۱ مورد ارزیابی قرار گرفت (عثمان‌پور و همکاران، ۱۳۹۹).

جدول ۱- مشخصات تکمیلی شرایط محیطی مکان پژوهش در ۶ ماه اول سال ۱۴۰۰

ماه	محیط	میانگین‌دمای روز (°C)	میانگین‌دمای شب (°C)	میانگین‌رطوبت نسبی (%)	میانگین‌شدت نور ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)
فروردین	گلخانه	۱۸	۱۶	۴۵	۱۲۰/۴
	فضای آزاد	۱۳	۷	۶۰	۳۱۴/۸
اردیبهشت	گلخانه	۲۰	۱۷	۵۳	۱۷۷/۸
	فضای آزاد	۲۲	۱۵	۳۸	۷۹۶/۳
خرداد	گلخانه	۲۱	۱۹	۵۱	۳۸۸/۹
	فضای آزاد	۲۵/۸	۱۷	۱۴	۱۲۰۳/۷
تیر	گلخانه	۲۴	۲۰	۵۰	۴۸۱/۵
	فضای آزاد	۲۸	۱۹	۱۰	۱۳۱۴/۸
مرداد	گلخانه	۲۵	۲۱	۴۵	۴۲۵/۹
	فضای آزاد	۳۰	۱۹	۵	۱۱۶۶/۷
شهریور	گلخانه	۲۳	۲۰	۵۱	۲۵۹/۳
	فضای آزاد	۲۵	۱۶	۷	۹۴۴/۴

جدول ۲- غلظت عناصر معدنی محلول غذایی مورد استفاده در آزمایش

عناصر پرمصرف	گرم در لیتر		عناصر کم‌مصرف	میلی‌گرم در لیتر
	EC: 0.65 dS/m	EC: 1.3 dS/m	EC: 0.65-1.3 dS/m	
فسفات پتاسیم	۰/۰۳۴	۰/۰۶۸	کلات آهن (۶٪) DTPA	۴۲
نیترات پتاسیم	۰/۱۰۳	۰/۲۰۶	سولفات مس	۵
نیترات کلسیم	۰/۲۴۰	۰/۴۸۰	سولفات منگنز	۵/۶
سولفات منیزیم	۱۹/۶۸	۰/۳۹۳۶	سولفات روی	۱۰/۹
-	-	-	اسید بوریک	۰/۷۶
-	-	-	مولیبدات سدیم	۰/۲۱

SLA=Leaf area/Leaf dry weight (رابطه ۱)

صفات کیفی

به‌منظور تعیین شاخص طعم میوه (TSS/TA) از روش روسوس[1] و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شد. برای تعیین میزان ویتامین ث (اسید آسکوربیک) نیز از روش تیتراسیون با ید در یدورپتاسیم در حضور معرف نشاسته ۱ درصد استفاده گردید (ماجدی، ۱۳۷۳). جهت تهیه محلول ید در یدورپتاسیم، ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر ید ۰/۰۱ نرمال به بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و ۱/۶ گرم یدور پتاسیم (Ki) به آن اضافه نموده و با آب‌مقطر به حجم رسانیده شد. سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول یک درصد نشاسته تهیه گردید. برای تعیین محتوای ویتامین ث، پس از افزودن ۵ میلی‌لیتر آب‌میوه و حدود ۲۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری، محلول حاصل با استفاده از محلول ید در یدور پتاسیم در حضور ۲ میلی‌لیتر معرف نشاسته ۱ درصد تیتر گردید. در پایان آزمایش و پس از حصول رنگ آبی و با توجه به حجم آب‌میوه اولیه، محتوای ویتامین ث طبق فرمول زیر محاسبه گردید (رابطه ۲).

$$Ascorbic\ acid\ \% = \frac{0.88 \times V}{Juice\ volume(cc)} \times 100$$ (رابطه۲)

Ascorbic acid: محتوای ویتامین ث بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه، V: حجم ید در یدورپتاسیم مصرفی بر حسب میلی‌لیتر ۰/۸۸: عدد ثابت (بیانگر ۰/۸۸ میلی‌گرم ویتامین ث در هر میلی‌لیتر ید ۰/۰۱ نرمال است). همچنین اندازه‌گیری آنتوسیانین میوه به روش اختلاف pH صورت گرفت (لی[2] و همکاران، ۲۰۰۵). برای سنجش محتوای فنل کل بر اساس میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر از روش فولین سیوکالتیو (وانگ[3] و همکاران، ۲۰۱۹) و جهت اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید از روش آلومینیوم کلراید استفاده و براساس میلی‌گرم کوئرستین برگرم وزن خشک گیاه گزارش گردید (چانگ[4] و همکاران، ۲۰۰۲).

صفات بیوشیمیایی

برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از برگ‌های جوان و توسعه یافته استفاده گردید. به این منظور کاتالاز (CAT) با استفاده از روش ایبی[5] (۱۹۸۴) در طول موج ۲۴۰ نانومتر و فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) توسط روش آپادیایا[6] و همکاران (۱۹۸۵) در طول‌موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و محاسبه شد. همچنین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) از روش بایچامپ و فرودویچ[7] (۱۹۷۱) برحسب تغییر شیمیایی نیتروبلوتترازولیوم و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر قرائت و محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار *SAS* (نسخه 9.1) و مقایسات میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجریه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار اثر متقابل سیستم کشت و EC محلول غذایی بر سطح ویژه برگ در سطح احتمال ۵ درصد و تأثیر معنی‌دار اثر ساده EC محلول غذایی بر وزن خشک برگ در سطح احتمال ۱ درصد بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، گیاهان کشت شده در گلخانه و EC محلول غذایی ۱/۳ (dS/m) حدود ۲۶۳ درصد میزان سطح ویژه برگ (۱۹۲/۴۸ سانتی‌مترمربع بر گرم وزن خشک) بیشتری نسبت به گیاهان کشت شده در فضای آزاد و EC محلول غذایی ۰/۶۵ (dS/m) (۵۲/۹۵ سانتی‌مترمربع بر گرم وزن خشک) داشتند (شکل A-۱). همچنین افزایش EC محلول غذایی از ۰/۶۵ به ۱/۳ (dS/m) منجر به افزایش ۲۷ درصدی وزن خشک برگ گردید (شکل B-۱).

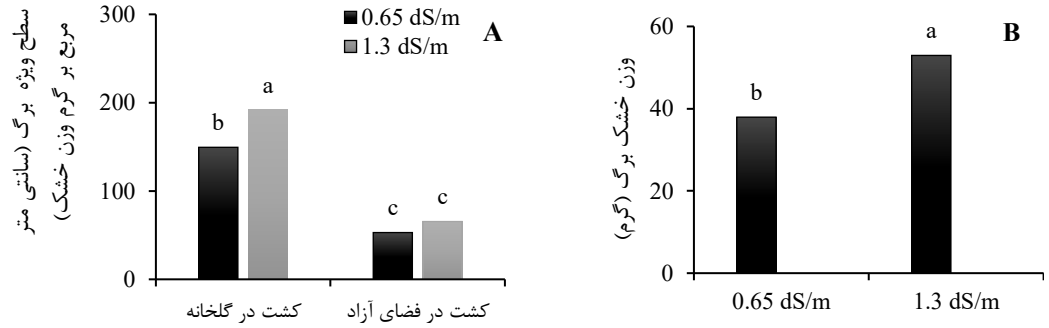
نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش EC محلول غذایی از ۰/۶۵ به ۱/۳ (dS/m) منجر به افزایش وزن خشک برگ و سطح ویژه برگ می‌گردد، همچنین گیاهان رشد یافته در گلخانه دارای سطح ویژه برگ بیشتری نسبت به فضای آزاد بودند. با توجه به اینکه افزایش EC محلول غذایی متناسب با تحمل گیاه با افزایش پتانسیل تورژسانس مرتبط است، موجب گسترش بافت‌های هوایی و ریشه گیاه می‌گردد که در آزمایش حاضر به‌نظر می‌رسد، همین‌طور باشد. از طرفی EC مناسب محلول غذایی بطور مستقیم میزان فتوسنتز را در گیاهان افزایش می‌دهد و بدین طریق باعث می‌شود تأمین کربوهیدرات برای رشد افزایش یابد. گزارش شده است که با افزایش غلظت عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و

1. Roussos
2. Lee
3. Wang
4. Chang
5. Aebi
6. Upadhyaya
7. Beauchamp and Fridovich

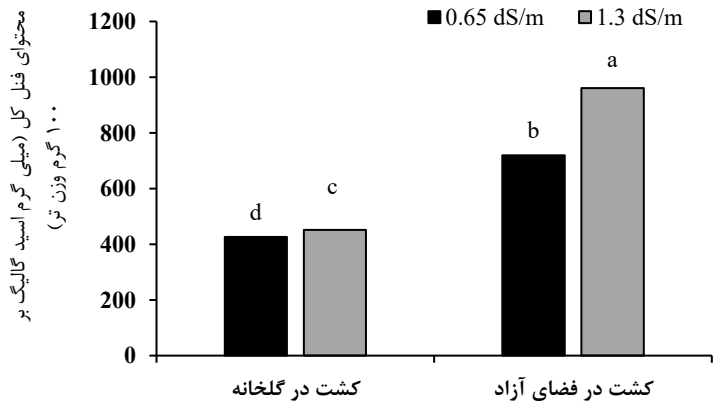
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برخی از صفات مورفولوژی، بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های ضداکسایشی توت‌فرنگی رقم "آروماس" تحت تأثیر EC محلول غذایی و سیستم کشت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)						
		سطح ویژه برگ	وزن خشک برگ	محتوای فنل کل	فلاونوئید کل	SOD	POD	CAT
بلوک	۳	۲۷۹/۹^{ns}	۳/۳۰^{ns}	۱/۷۷^{ns}	۰/۰۱۶**	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۳۵^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}
سیستم کشت	۱	۴۹۸۳۴/۹ **	۲/۴۸ ^{ns}	۴۹۳۸/۵ **	۱/۴۵ **	۰/۰۹۰ **	۰/۰۵ **	۰/۱۳ **
EC محلول غذایی	۱	۳۰۴۰/۶ **	۹۰۱/۳۵ **	۹۹۹/۱۹ **	۰/۴۴ **	۰/۰۷۲ **	۰/۰۴۷ **	۰/۰۴۲ **
سیستم کشت × EC	۱	۱/۹۰^{ns}	۲/۵۳^{ns}	۲۷۲/۵۸**	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۳۸^{ns}
خطا	۹	۹۱۰/۶	۹/۱۱	۱۵/۹۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۹/۸۶	۶/۶۴	۶/۰۱	۵/۷۱	۱۰/۵۷	۱۲/۴۸	۱۱/۷

ns: عدم معنی‌داری،*: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، **: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل EC محلول غذایی و سیستم کشت بر سطح ویژه برگ (A) و EC محلول غذایی بر وزن خشک برگ (B) توت‌فرنگی رقم آروماس. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.



شکل ۲- تأثیر متقابل EC محلول غذایی و سیستم کشت بر محتوای فنل کل در توت‌فرنگی رقم آروماس. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

پتاسیم ($N_{160}P_{100}K_{190}$ mg/l)، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی افزایش یافته است (مشایخی و همکاران، ۱۳۹۵).

نتایج تحقیقی بر روی گیاه دارویی نعنا کره‌ای[1]، حاکی از آن بود که برخی شاخص‌های رشد و نموی گیاه با افزایش EC محلول غذایی در کشت بدون خاک افزایش یافت که دلیل احتمالی این امر را افزایش توسعه و بزرگ شدن سلول به‌دلیل افزایش جذب آب و فشار تورژسانس عنوان کردند (کیم[2] و همکاران، ۲۰۱۸). به‌نظر می‌رسد نتایج پژوهش حاضر نیز در همین راستا باشد.

در رابطه با محتوای فنل کل، تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سیستم کشت و EC محلول غذایی در

1. *Kuntze rugosa Agastache*

2. Kim

سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسات میانگین (شکل ۲)، محتوای فنل کل در گیاهان کشت شده در فضای آزاد و EC محلول غذایی ۱/۳ (dS/m) (۹۶/۰۴ میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم وزن تر) حدود ۱۲۵ درصد نسبت به گیاهان کشت شده در گلخانه با EC محلول غذایی ۰/۶۵ (dS/m) (۴۲/۶۵ میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم وزن تر) بیشتر بود.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات ساده سیستم کشت و EC محلول غذایی بر محتوای فلاونوئید کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسات میانگین نشان داد که افزایش EC محلول غذایی از ۰/۶۵ به ۱/۳ (dS/m) منجر به افزایش ۱۸/۹ درصدی در میزان فلاونوئید کل گردید، همچنین گیاهان کشت شده در فضای EC محلول غذایی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز در سطح احتمال ۱ درصد بود (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین نشان داد، افزایش ECمحلول غذایی از ۰/۶۵ به ۱/۳ (dS/m) منجر به افزایش ۴۳/۷ درصدی در میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز، افزایش ۵۵ درصدی در میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و آزاد در مقایسه با گلخانه افزایش ۳۶ درصدی را در میزان فلاونوئید نشان دادند (جدول ۴).

در رابطه با فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر معنی‌داری اثر ساده سیستم کشت و افزایش ۳۸ درصدی در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گردید. از طرفی گیاهان کشت شده در فضای آزاد در مقایسه با گلخانه حدود ۴۸ درصد فعالیت بیشتری (۰/۴۶ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) از آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را از خود نشان دادند. همچنین گیاهان کشت شده در فضای آزاد میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۳۱۳ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) و کاتالاز (۰/۴۰۸ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) آن‌ها در مقایسه با گیاهان کشت شده در گلخانه، به‌ترتیب ۶۱ و ۸۲ درصد بیشتر بود (جدول ۴). نتایج حاصل از پژوهش حاضر، بیانگر افزایش محتوای فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در اثر افزایش EC محلول غذایی از ۰/۶۵ به ۱/۳ (dS/m) بود و بوته‌های کشت شده در فضای آزاد نیز دارای میزان بیشتری از شاخص‌های ذکر شده نسبت به گلخانه بودند.ترکیبات فنلی، فلانوئیدها و آنتوسیانین‌ها به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه ضداکسایشی شناخته شده‌اند که از طریق جمع‌آوری و احیای انواع اکسیژن واکنش‌گر از اکسیداسیون متابولیت‌های حیاتی سلول و ایجاد تنش اکسیداتیو از سلول‌های گیاهی محافظت می‌کنند (اقبال و اشرف[1]، ۲۰۰۷; پنیکوک[2] و همکاران، ۲۰۰۵). گزارش شده است که ترکیبات فنلی در کاهش اکسیداسیون لیپیدها و حذف رادیکال‌های آزاد، به‌عنوان ترکیبات ضداکسایشی لازم برای محافظت از گیاهان در مقابل گونه‌های اکسیژن فعال، عمل می‌کنند (ناوارو[3] و همکاران، ۲۰۰۶). فلانوئیدها گروه بزرگی از ترکیبات فنلی هستند که تولید آن‌ها در شرایط نامساعد افزایش می‌یابد. همچنین آنها آنتی‌اکسیدان‌های قوی هستند که می‌توانند پراکسید هیدروژن را با آنزیم‌های پراکسیداز خاص در واکوئل و یا دیواره سلولی گیاه سم‌زدایی کنند (دانشمند[4] و همکاران، ۲۰۱۰).

در نتایج حاضر همچنین مشاهده می‌شود که فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیمی (POD, SOD, CAT) گیاه توت فرنگی با افزایش سطح EC محلول غذایی از ۰/۶۵ به ۱/۳ (dS/m) روند افزایشی نشان داده است. از طرفی در فضای آزاد نیز نسبت به گلخانه میزان این فعالیت‌ها بیشتر بوده است که نشان‌دهنده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش تحمل گیاه در شرایط تنش‌زا خصوصا شرایط نامطلوب محیطی می‌باشد. توت‌فرنگی دارای انواع سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی نیز از جمله ویتامین ث، ترکیبات فنلی، فلانوئیدی، آنتوسیانین، کارتنوئیدها و سایر متابولیت‌های ثانویه برای مهار گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (امینی فرد[5] و همکاران، ۲۰۱۲; دایپونماکا[6] و همکاران، ۲۰۱۰). افزایش غلظت این مولکول‌های زیستی نقش مهمی در کاهش آسیب‌های ناشی از تنش‌های محیطی و افزایش تحمل گیاه به این شرایط ایفا می‌کند (دانشمند و همکاران، ۲۰۱۰). گزارش شده است که افزایش EC محلول غذایی در گوجه‌فرنگی، میزان فنل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است (تافایو[7] و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین با توجه به نتایج پژوهش حاضر مشاهده

1. Iqbal and Ashraf
2. Pennycooke
3. Navarro
4. Daneshmand
5. Aminifard
6. Daiponmaka
7. Taffouo

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی توت‌فرنگی رقم "آروماس" تحت تأثیر EC محلول غذایی و سیستم کشت

تیمار	فلاونوئید کل (میلی‌گرم کوئرسیتین بر گرم وزن خشک)	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر)	آنزیم پراکسیداز (میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر)	آنزیم کاتالاز (میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر)
(EC: 0.65 dS/m)	۱/۷۹ b	۰/۳۲ b	۰/۱۹۹ b	۰/۲۶ b
(EC: 1.3 dS/m)	۲/۱۳a	۰/۴۶a	۰/۳۰۸a	۰/۳۶a
گلخانه	۱/۶۶b	۰/۳۱b	۰/۱۹۴b	۰/۲۲۴b
فضای آزاد	۲/۲۶ a	۰/۴۶ a	۰/۳۱۳ a	۰/۴۰۸ a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

می‌شود که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و تولید متابولیت‌های ثانویه مانند محتوای فنل و فلاونوئید کل در اثر افزایش EC محلول غذایی افزایش پیدا کرده و موجب تولید میوه‌های توت‌فرنگی با کیفیت بالاتر شده است، از طرفی در فضای آزاد میزان این متابولیت‌های ثانویه بیشتر هم بود و به‌نظر می‌رسد کیفیت میوه بیشتر افزایش پیدا کرده است.

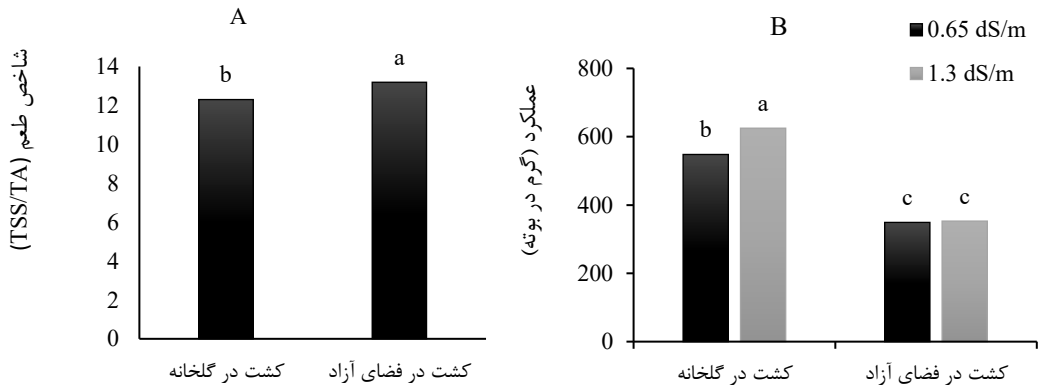
در تأیید نتایج پژوهش حاضر در مطالعه‌ای عنوان شد که با افزایش EC محلول غذایی در گیاه دارویی پونه معطر[1] در سیستم کشت بدون خاک با استفاده از محلول غذایی هوگلند، فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت (مرآتی و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج پژوهش انجام شده نیز در همین راستا می‌باشد به نظر می‌رسد که افزایش EC محلول غذایی از ۰/۶۵ به ۱/۳ (dS/m) نه تنها منجر به سمیت در بوته‌های توت‌فرنگی نشده، بلکه در افزایش شاخص‌های رشد و نموی و آنتی‌اکسیدانی نیز موثر بوده است.

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ساده سیستم کشت بر شاخص طعم میوه (TSS/TA) و اثر متقابل سیستم کشت و EC محلول غذایی بر عملکرد میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). با توجه به نتایج مقایسات میانگین، گیاهان کشت شده در فضای آزاد در مقایسه با گلخانه، حدود ۷/۲ درصد میزان شاخص طعم بیشتری داشتند (شکل A-۳). همچنین مقایسات میانگین بیانگر عملکرد بیشتر گیاهان کشت شده در گلخانه و EC محلول غذایی ۱/۳ (dS/m) بود (۶۲۴/۹۲ گرم در بوته) نسبت به سایر تیمارها بود، لیکن گیاهان کشت شده در فضای آزاد در ECهای ۰/۶۵ و ۱/۳ (dS/m) محلول غذایی دارای عملکردی مشابه بودند (شکل B-۳). در ارتباط با آنتوسیانین و ویتامین ث، نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر معنی‌داری اثر متقابل سیستم کشت و EC محلول غذایی در سطح احتمال ۵ درصد بود (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسات میانگین مشخص گردید که میزان آنتوسیانین در گیاهان کشت شده در فضای آزاد و EC محلول غذایی ۱/۳ (dS/m) (۱۵/۵۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) حدود ۴۰ درصد نسبت به گیاهان کشت شده در گلخانه و EC محلول غذایی ۰/۶۵ (dS/m) افزایش نشان داد (شکل A-۴). همچنین میزان ویتامین ث در فضای آزاد و EC محلول غذایی ۱/۳ (dS/m) (۵۸/۶۳ میلی‌گرم بر۱۰۰ میلی‌لیتر آبمیوه) نسبت به گلخانه و EC محلول غذایی ۰/۶۵ (dS/m) حدود ۸۹ درصد افزایش یافت (شکل B-۴).

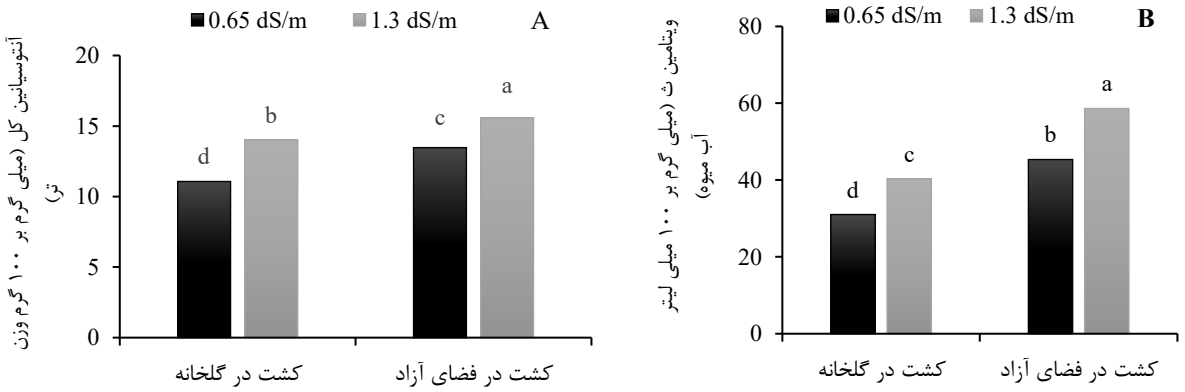
براساس داده‌ها و نتایج این آزمایش بوته‌های توت‌فرنگی پرورش یافته در فضای آزاد با تنش‌های محیطی روبرو بوده‌اند. بررسی دمای هر دو محیط کشت بیانگر اختلاف بالای دمای شب و روز (DIF) در فضای آزاد (۸/۵ درجه سلسیوس) نسبت به گلخانه (۳ درجه سلسیوس) بود. همچنین میانگین شدت نور سه برابری ($957\ \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) در فضای آزاد در مقایسه با گلخانه ($309\ \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) از دیگر تغییرات محیطی موثر بر پارامترهای رشد و نموی بود. تغییرات محیطی مورد اشاره می‌توانند به عنوان عوامل موثر و مثبت در افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی (SOD, POD and CAT) و غیرآنزیمی (فنل، فلاونوئید، ویتامین ث و آنتوسیانین) و در نتیجه بهبود کیفیت میوه در فضای آزاد در نظر گرفته شوند. افزایش ویتامین ث در شرایط فضای آزاد به دلیل پاسخ به تنش‌های غیرزیستی مانند تغییرات DIF، از طریق سنتز دوباره یا بازسازی آن از یک آنتی‌اکسیدان منحصر به فرد در سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن گزارش شده است (بوتلا[2] و همکاران، ۲۰۲۱). فنل‌ها و فلاونوئیدها به عنوان ترکیب‌های فعال در سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد در هنگام افزایش تنش‌های محیطی مانند شدت نور و دما

1. *Mentha pulegium* L.

2. Botella



شکل ۳- اثر سیستم کشت بر شاخص طعم (A) و اثر متقابل سیستم کشت و EC محلول غذایی بر عملکرد (B) میوه توت‌فرنگی. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.



شکل ۴- تأثیر EC محلول غذایی و سیستم کشت بر میزان آنتوسیانین کل (A) و ویتامین ث (B) میوه توت‌فرنگی. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های کیفی توت‌فرنگی رقم "آروماس" تحت تأثیر EC محلول غذایی و سیستم کشت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)			
		شاخص طعم	عملکرد	آنتوسیانین	ویتامین ث
بلوک	۳	۱/۰۲*	۴۶۵/۳ns	۰/۳۳ns	۱۲/۰۵**
سیستم کشت	۱	۳/۱۶ **	۲۲۱۷۴۲/۱ **	۱۵/۷۱ **	۱۰۶۱/۷ **
EC محلول غذایی	۱	۱/۰۳ ns	۶۵۲۲/۱ **	۲۵/۶۶ **	۵۱۱/۴۲**
سیستم کشت × EC	۱	۰/۵۹ns	۵۳۳۷/۰۳**	۰/۶۸*	۱۵/۴*
خطا	۹	۰/۲۶۰	۲۸۲/۷	۰/۰۸	۱/۶۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۴/۰۰۵	۳/۵۸	۲/۲۰	۲/۹۳

ns: عدم معنی‌داری *: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد **: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

(توسکانو[1] و همکاران، ۲۰۱۹) عمل می‌نمایند. طبق گزارشات متعدد تجمع این ترکیب‌ها بسته به نوع تنش محیطی متفاوت بوده و از گیاه در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش‌های غیرزیستی محافظت می‌کنند (خو[2] و همکاران، ۲۰۱۷).

واکنش گیاهان به تنش‌های حرارتی از طریق سنتز فنل‌ها و فلاونوئیدها که به شدت به تغییرات دما حساس هستند، به اثبات رسیده است (الحیثلول[3] و همکاران ۲۰۱۲). افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌های مورد اشاره در گیاهان پرورش یافته در فضای آزاد با میانگین شدت نور ($957\ \mu mol\ m^{-2}$

1. Toscano
2. Xu
3. Alhaithloul

s^{-1}) و دمای بالاتر (۲۴ درجه سانتی‌گراد) نسبت به گلخانه و در نتیجه افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کیفیت میوه تولیدی با نتایج تحقیقات مذکور مطابقت دارد. از طرفی گزارش شده است که DIF بالاتر می‌تواند محتوای قند محلول را افزایش داده و نسبت شاخص طعم (TSS/TA) و در نهایت کیفیت میوه را بهبود بخشد (لی و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش DIF (بالاتر از ۸ درجه سانتی‌گراد) از طریق افزایش فعالیت آنزیم بیوسنتز ساکارز (ساکارزفسفات سنتتاز) منجر به افزایش محتوای قند میوه می‌شود (وو[1] و همکاران، ۲۰۲۱). به‌نظر می‌رسد در آزمایش حاضر طعم بالاتر مشاهده شده در فضای آزاد در مقایسه با گلخانه، می‌تواند به محتوای قند بالا ناشی از افزایش DIF نسبت داده شود. علاوه بر این، گزارش شده است که پوشش‌های گلخانه‌ای با حذف اشعه ماوراء بنفش (UV) باعث کاهش میزان متابولیت‌های ثانویه و آنتی‌اکسیدان‌ها نسبت به میوه‌های تولید شده در شرایط فضای آزاد می‌شوند (اوردیج و همکاران، ۲۰۱۲; گارسیا-ماسیاس[2] و همکاران، ۲۰۰۷). براساس نتایج آزمایش حاضر در سیستم گلخانه به‌دلیل کاهش اشعه UV، تولید آنتی‌اکسیدان‌ها مانند محتوای ویتامین ث، فنل و فلاونوئیدها نسبت به فضای آزاد کاهش یافته و کیفیت میوه تحت تأثیر قرار گرفته است.

همچنین در پژوهش حاضر، افزایش EC محلول غذایی منجر به بهبود محتوای آنتوسیانین، ویتامین ث، شاخص کلروفیل و عملکرد گردید. بیشترین شاخص طعم در فضای آزاد در EC محلول غذایی برابر با ۱/۳ (dS/m) مشاهده شد. تغییر EC محلول غذایی در پژوهش حاضر مبنی بر تغییر غلظت عناصر پرمصرف بود. یکی از عوامل موثر در افزایش عملکرد میوه، افزایش میزان گلدهی و به طبع آن افزایش تعداد میوه در بوته است. در تأیید نتایج پژوهش حاضر مبنی بر افزایش عملکرد میوه در تحقیقی توسط ویکاس و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده است که افزایش EC محلول غذایی تا سطح قابل تحمل گیاه منجر به افزایش تعداد گل و میوه در بوته و متعاقبا افزایش عملکرد خواهد شد که با نتایج حاضر مطابقت دارد. از طرفی گزارش شده است که افزایش پتاسیم باعث افزایش فتوسنتز، انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به آوند آبکش، سرعت انتقال در آوند و انتقال آن‌ها به میوه می‌شود (لستر[3] و همکاران، ۲۰۱۰). در تأیید نتایج پژوهش انجام شده، گزارش شده است که کاربرد پتاسیم روی طالبی (جیفون و لستر[4]، ۲۰۰۷) و کاربرد کلسیم روی زردآلو[5] منجر به افزایش قابل توجهی در میزان مواد جامد محلول می‌شود که نتایج پژوهش حاضر نیز در همین راستا بوده و می‌توان استدلال کرد از این طریق مواد جامد محلول افزایش یافته و موجب افزایش نسبت شاخص طعم شده است. نقش عنصر نیتروژن در سنتز و ساختار درشت مولکول‌ها (پروتئین، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل) و متابولیت‌های آلی (مانند اسیدهای آمینه، فیتوهورمون‌ها و متابولیت‌های ثانویه)، فسفر در اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها، متابولیسم انرژی (ATP و NADPH)، سیگنال‌دهی و فعال‌سازی آنزیم‌ها، همچنین پتاسیم در تنظیم اسمزی و تورژسانس، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کنترل ورود و خروج برگ‌ها و رشد و توسعه سلولی ثابت شده است (گنجه‌ای و گلچین، ۱۳۹۰؛ دیبنگ[6] و همکاران، ۲۰۲۱). احتمالا افزایش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم از ۰/۶۵ به ۱/۳ (dS/m) در آزمایش حاضر منجر به بهبود کنترل روزنه‌ها، تورژسانس، افزایش فتوسنتز و سنتز درشت مولکول‌ها، افزایش فعال مکانسیم آنزیمی و تسریع در سنتز متابولیت‌ها همچنین بهبود متابولیسم انرژی و در نتیجه بهبود رشد، عملکرد و کیفیت محصول شده است.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج پژوهش، مشاهده شد که بیشترین میزان عملکرد و شاخص‌های رشدی مربوط به تیمار گلخانه و EC محلول غذایی ۱/۳ (dS/m) بود در حالی‌که اکثر شاخص‌های کیفی و ضداکسایشی آنزیمی و غیرآنزیمی، من‌جمله شاخص طعم، ویتامین ث، آنتوسیانین، محتوای فنل و فلاونوئید کل، SOD، POD و CAT در تیمار فضای آزاد دارای میزان بیشتری بودند. به‌علاوه با افزایش EC محلول غذایی، میزان این شاخص‌ها اکثرا افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد ظرفیت ضداکسایشی آنزیمی و غیرآنزیمی توت فرنگی در شرایط پژوهش حاضر به‌نحوی بود که با وجود کاهش عملکرد و رشد رویشی در فضای آزاد، توانست

1. Wu
2. Garcia-Macías
3. Lester
4. Jifon and Lester
5. *Prunus armeniaca*
6. De Bang

محتوای ضداکسایشی، کیفیت و عطر و طعم میوه را به‌طور چشمگیری افزایش دهد و به‌نوعی کاهش عملکرد را جبران کند. سطح کم غلظت عناصر معدنی محلول غذایی منجر به کاهش رشد و سطح بالای آن سبب بهم خوردن تعادل اسمزی محلـول غـذایی و کاهش کـارایی بسیاری از عناصر موجود مورد نیاز گیاه، خواهد شـد. برهمین اساس به‌منظور دستیابی به رشد و عملکرد بهینه گیاه در سیستم‌های کشـت بدون خاک به‌ویژه در شرایط تنش‌زای فضای آزاد، پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی غلظت محلول غذایی در سطوح مختلف همراه با سیستم و بسترهای کشت متفاوت مورد بررسی و توجه ویژه قرار گیرد.

منابع

آمارنامه کشاورزی. ۱۴۰۰. محصولات باغبانی و گلخانه‌ای. مرکز آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، ۳۲۸ ص.

جلیلی‌مرندی، ر. ۱۳۸۹. فیزیولوژی تنش‌های محیطی و مکانیسم‌های مقاومت در گیاهان باغی. انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه، جلد اول، ۶۳۶ ص.

رابط. ع. ۱۳۹۸. بررسی نقش توسعه گلخانه‌ای بر تولید و کارآفرینی در استان زنجان. مطالعات کارآفرینی و توسعه پایدار کشاورزی، ۶(۲): ۴۱-۵۴.

سیلسپور، م. ۱۳۹۸. راهنمای تهیه و استفاده از محلول‌های غذایی برای کشت سبزی‌های گلخانه‌ای در سیستم کشت هیدروپونیک. موسسه تحقیقات آب و خاک، نشریه فنی شماره ۵۸۰، ۶۸ ص.

طاهرخانی، م. و رحمانی، د. ۱۳۸۵. تحلیلی بر تخصصی شدن الگوی کشت و نقش آن در توسعه روستایی نمونه موردی: کشت توت‌فرنگی در منطقه ژاورود مریوان. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۰(۱): ۸۱-۱۰۲.

عثمان‌پور، س.، مظفری، ع.ا. و قادری، ن. ۱۳۹۹. اثر نانوذرات سیلیس و جاسمونیک اسید بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک توت‌فرنگی تحت تنش شوری. مجله روابط خاک و گیاه، ۱۱(۴): ۵۱-۶۴.

عشقی، س. و تفضلی‌بندری، ع.ا. ۱۳۸۵. تغییرهای فتوسنتز و رشد رویشی در دوره گل‌انگیزی توت‌فرنگی رقم 'کردستان'. علوم و فنون باغبانی ایران، ۷(۱): ۳۳-۴۴.

قاسمی، ع.، هدایت، م. و شهریاری، م.ح. ۱۴۰۰. تأثیر محلول‌های غذایی مختلف بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی گوجه‌فرنگی تحت سیستم هیدروپونیک. دوازدهمین کنگره علوم باغبانی ایران.

کرمی. ف. و سرسیفی. م. ۱۳۹۹. مقایسه تولید توت‌فرنگی در ایران با سایر کشورها. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، موسسه آموزش و ترویج کشاورزی. نشر آموزش کشاورزی، ۵۲ ص.

گنجه‌ای، ب. و گلچین، ا. ۱۳۹۰. تأثیر سطوح مختلف نیتروژن، پتاسیم و منیزیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه توت‌فرنگی در محیط کشت هیدروپونیک. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۲(۴): ۷۱-۸۱.

ماجدی، م. ۱۳۷۳. روش‌های آزمایش شیمیایی مواد غذایی. انتشارات جهاد دانشگاهی تهران، ۱۰۸ ص.

مرآتی، م.ج.، نیکنام، و.، حسن‌پور، ح. و میرمعصومی، م. ۱۳۹۴. مقایسه تأثیر تنش شوری بر رشد و پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی در اندام‌های مختلف گیاه پونه معطر (*Mentha pulegium* L.). مجله پژوهش‌های گیاهی (زیست شناسی ایران)، ۲۸(۵): ۱۰۹۷-۱۱۰۷.

مشایخی، پ.، تاتاری، م. و فلاحی، س. ۱۳۹۵. تأثیر غلظت‌های مختلف نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی توت‌فرنگی در کشت هیدروپونیک. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۳۰(۴): ۳۹۱-۴۰۲.

ملائی، ن.، طباطبائی، س. و شرفی، ی. ۱۳۹۹. تأثیر محلول‌پاشی و محلول‌دهی فسفر بر رشد، عملکرد و کیفیت توت‌فرنگی در کشت هیدروپونیک. تغذیه گیاهان باغی، ۳(۲)، ۱۰۷-۱۱۶.

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. In Methods in enzymology (Vol. 105, pp. 121-126). Academic press.

Alhaithloul, H.A., Galal, F.H. and Seufi, A.M. 2021. Effect of extreme temperature changes on phenolic, flavonoid contents and antioxidant activity of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). PeerJ, 9: e11193.

Ali, B., Babar, M., Fatima, R.N., Mahmood, A., Sher, A., Siddique, T., Aslam, M.S., Afzal, S., Luqman, M., Shahzad, K. and Murad, T. 2023. Effect of Different Doses of NPK at Different Time Intervals on Growth, Yield and Quality of Strawberry CV. Chandler (*Fragaria ananassa*). Journal of Survey in Fisheries Sciences, 10(2S): 4095-4108.

Aminifard, M.H., Aroiee, H., Nemati, H., Azizi, M. and Jaafar, H.Z. 2012. Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. African Journal of Biotechnology, 11(68): 13179-13185.

Botella, M.Á., Hernández, V., Mestre, T., Hellín, P., García-Legaz, M.F., Rivero, R.M., Martínez, V., Fenoll, J. and Flores, P. 2021. Bioactive compounds of tomato fruit in response to salinity, heat and their combination. Agriculture, 11(6): 534.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical biochemistry, 44(1): 276-287.

Caruso, G., Villari, A. and Villari, G. 2003. February. Quality characteristics of *Fragaria vesca* L. fruits influenced by NFT solution EC and shading. In South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC, 648: 167-175.

Caruso, G., Villari, G., Melchionna, G. and Conti, S. 2011. Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. Scientia Horticulturae, 129(3): 479-485.

Castro, G., Rodríguez-Delfín, A. and Hoyos, M. 2004. Marginal mineral nutrition of strawberry (*Fragaria× ananassa*) plants grown hydroponically. In International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics, 697: 321-327.

Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M. and Chern, J.C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food and Drug Analysis, 10(3): 178-182.

Crawford, A.J., McLachlan, D.H., Hetherington, A.M. and Franklin, K.A. 2012. High temperature exposure increases plant cooling capacity. Current biology, 22(10): 396-397.

Daiponmak, W., Theerakulpisut, P., Thanonkao, P., Vanavichit, A. and Prathepha, P. 2010. Changes of anthocyanin cyanidin-3-glucoside content and antioxidant activity in Thai rice varieties under salinity stress. Science Asia, 36: 286-291.

Daneshmand, F., Arvin, M.J. and Kalantari, K.M. 2010. Physiological responses to NaCl stress in three wild species of potato in vitro. Acta Physiologiae Plantarum, 32(1): 91-101.

Darrow, G.M., 1966. The strawberry. History, breeding and physiology. The New England Institute for Medical Research.

De Bang, T.C., Husted, S., Laursen, K.H., Persson, D.P. and Schjoerring, J.K. 2021. The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. New Phytologist, 229(5): 2446-2469.

Ding, X., Jiang, Y., Zhao, H., Guo, D., He, L., Liu, F., Zhou, Q., Nandwani, D., Hui, D. and Yu, J. 2018. Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. Chinensis) in a hydroponic system. PloS one, 13(8): e0202090.

FAO. 2024. FAOSTAT: Crops and livestock products domain, Strawberries – Production quantity and Yield (2022 data). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

Feller, U. and Vaseva, I.I. 2014. Extreme climatic events: impacts of drought and high temperature on physiological processes in agronomically important plants. Frontiers in Environmental Science, 2: 39.

Ferrante, A. and Mariani, L. 2018. Agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses: High and low values of temperature, light intensity, and relative humidity. Horticulturae, 4(3): 21.

García-Macías, P., Ordidge, M., Vysini, E., Waroonphan, S., Battey, N.H., Gordon, M.H., Hadley, P., John, P., Lovegrove, J.A. and Wagstaffe, A., 2007. Changes in the flavonoid and phenolic acid contents and antioxidant activity of red leaf lettuce (Lollo Rosso) due to cultivation under plastic films varying in ultraviolet transparency. Journal of agricultural and food chemistry, 55(25): 10168-10172.

Gruda, N.S. and Fernández, J.A. 2022. Optimising soilless culture systems and alternative growing media to current used materials. Horticulturae, 8(4): 292.

Hatfield, J.L. and Prueger, J.H. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes, 10: 4-10

Iqbal, M. and Ashraf, M. 2007. Seed preconditioning modulates growth, ionic relations, and photosynthetic capacity in adult plants of hexaploid wheat under salt stress. Journal of Plant Nutrition, 30(3): 381-396.

Jifon, G.E. and Lester, J.L. 2007. Effects of foliar potassium fertilization on muskmelon fruit quality and yield. Annual Report for TX-52F: 1-5.

Kim, S.J., Park, J.E., Bok, G.J., Kanth, B.K., Lam, V.P. and Park, J.S. 2018. High electrical conductivity of nutrient solution and application of methyl jasmonate promote phenylpropanoid production in hydroponically grown Agastache rugosa. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 36(6): 841-852.

Krishna, P., Pandey, G., Thomas, R. and Parks, S. 2023. Improving blueberry fruit nutritional quality through physiological and genetic interventions: A review of current research and future directions. Antioxidants, 12(4): 810.

Lee, J., Durst, R.W., Wrolstad, R.E. and Collaborators: Eisele T Giusti MM Hach J Hofsommer H Koswig S Krueger DA Kupina; S Martin SK Martinsen BK Miller TC Paquette F Ryabkova A Skrede G Trenn U Wightman JD, 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. Journal of AOAC International, 88(5): 1269-1278.

Lester, G.E., Jifon, J.L. and Makus, D.J. 2010. Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L) case study. Plant and Soil, 335: 117-131.

Li, L.I., Jia, L.I., Qing, G.A.O. and Jin-xing, C.H.E.N. 2015. Effects of day and night temperature difference on growth, development, yield and fruit quality of tomatoes. Yingyong Shengtai Xuebao, 26(9).

Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A. and De Pascale, S. 2006. Soilless cultivation of saffron in Mediterranean environment. In III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation, 718: 515-522.

Mishra, V., Ellouze, W. and Howard, R.J. 2018. Utility of arbuscular mycorrhizal fungi for improved production and disease mitigation in organic and hydroponic greenhouse crops. Journal of Horticulture, 5(03): 1-10.

Moya, C., Oyanedel, E., Verdugo, G., Flores, M.F., Urrestarazu, M. and Álvaro, J.E. 2017. Increased electrical conductivity in nutrient solution management enhances dietary and organoleptic qualities in soilless culture tomato. HortScience, 52(6): 868-872.

Nam, M.H., Jeong, S.K., Lee, Y.S., Choi, J.M. and Kim, H.G. 2006. Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium nutrition on strawberry anthracnose. Plant Pathology, 55(2): 246-249.

Navarro, J.M., Flores, P., Garrido, C. and Martinez, V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. Food Chemistry, 96(1): 66-73.

Nguyen, T.K.L., Yeom, M.S. and Oh, M.M. 2021. Effect of a newly-developed nutrient solution and electrical conductivity on growth and bioactive compounds in *Perilla frutescens* var. crispa. Agronomy, 11(5): 932.

Nin, S., Petrucci, W.A., Giordani, E. and Marinelli, C. 2018. Soilless systems as an alternative to wild strawberry (*Fragaria vesca* L.) traditional open-field cultivation in marginal lands of the Tuscan Apennines to enhance crop yield and producers' income. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 93(3): 323-335.

Ordidge, M., García-Macías, P., Battey, N.H., Gordon, M.H., John, P., Lovegrove, J.A., Vysini, E., Wagstaffe, A. and Hadley, P. 2012. Development of colour and firmness in strawberry crops is UV light sensitive, but colour is not a good predictor of several quality parameters. Journal of the Science of Food and Agriculture, 92(8): 1597-1604.

Pennycooke, J.C., Cox, S. and Stushnoff, C. 2005. Relationship of cold acclimation, total phenolic content and antioxidant capacity with chilling tolerance in petunia (*Petunia× hybrida*). Environmental and Experimental Botany, 53(2): 225-232.

Ranjbar, B., Naeimi, A. and Badsar, M. 2022. Designing an integrated model for strawberry growers' behavior toward implementation of good agricultural practices in Iran. Environment, Development and Sustainability, 24(9):10924-10944.

Roosta, H.R., Mohammadian, F., Raghami, M., Hamidpour, M. and Mirdehghan, S.H. 2020. Effect of nutrient solution and pruning on plant growth, yield, and fruit quality of hot pepper grown in an NFT system. Journal of Agricultural Science and Technology, 22(6): 1537-1550.

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bassal, A., Leonardi, C., Giuffrida, F. and Colla, G. 2012. Vegetable quality as affected by genetic, agronomic and environmental factors. Journal of Food, Agriculture and Environment, 10(3): 680-688.

Roussos, P.A., Sefferou, V., Denaxa, N.K., Tsantili, E. and Stathis, V. 2011. Apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different crop load. Scientia Horticulturae, 129(3): 472-478.

Samarakoon, U., Palmer, J., Ling, P. and Altland, J. 2020. Effects of electrical conductivity, pH, and foliar application of calcium chloride on yield and tipburn of Lactuca sativa grown using the nutrient–film technique. HortScience, 55(8):1265-1271.

Shinohara, Y. 1987. Growing conditions and quality of vegetables: effect of light and fertilizer conditions on the ascorbic acid content of vegetables. Memoirs of Institute of Agriculture and Forestry-University of Tsukuba. Agricultural and Forestry Science (Japan), (3).

Taffouo, V.D., Nouck, A.H., Dibong, S.D. and Amougou, A. 2010. Effects of salinity stress on seedlings growth, mineral nutrients and total chlorophyll of some tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) cultivars. African Journal of Biotechnology, 9(33).

Toscano, S., Trivellini, A., Cocetta, G., Bulgari, R., Francini, A., Romano, D. and Ferrante, A. 2019. Effect of preharvest abiotic stresses on the accumulation of bioactive compounds in horticultural produce. Frontiers in Plant Science, 10: 1212.

Upadhyaya, A., Sankhla, D., Davis, T.D., Sankhla, N. and Smith, B.N. 1985. Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. Journal of Plant Physiology, 121(5): 453-461.

Vikas, K.A., Kumar, A., Singh, A., Kumar, P., Rafie, J., Verma, P. and Kumar, A. 2017. Influence of different nutrient concentration on strawberry under hydroponic cultivation system. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6: 2999-3006.

Von Bieberstein, P., Xu, Y.M., Gunatilaka, A.L. and Gruener, R. 2014. Biomass production and withaferin a synthesis by Withania somnifera grown in aeroponics and hydroponics. HortScience, 49(12): 1506-1509.

Wang, H., Fu, Z., Lu, W., Zhao, Y. and Hao, R. 2019. Research on sulfur oxides and nitric oxides released from coal-fired flue gas and vehicle exhaust: a bibliometric analysis. Environmental Science and Pollution Research, 26: 17821-17833.

Weston, L.A. and Barth, M.M. (1997). Preharvest factors affecting postharvest quality of vegetables. HortScience, 32(5): 812-816.

Weber, N., Schmitzer, V., Jakopic, J. and Stampar, F. 2018. First fruit in season: Seaweed extract and silicon advance organic strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) fruit formation and yield. Scientia Horticulturae, 242: 103-109.

Wu, X.Y., Han, W., Yang, Z.Q., Zhang, Y.X. and Zheng, Y.J. 2021. The difference in temperature between day and night affects the strawberry soluble sugar content by influencing the photosynthesis, respiration and sucrose phosphatase synthase. Horticultural Science, 48(4): 174-182.

Xu, Y., Charles, M.T., Luo, Z., Mimee, B., Veronneau, P.Y., Rolland, D. and Roussel, D. 2017. Preharvest ultraviolet C irradiation increased the level of polyphenol accumulation and flavonoid pathway gene expression in strawberry fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65(46): 9970-9979.

Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., Aghdam, M.S. and Li, L. 2019. The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. Postharvest Biology and Technology, 147: 29-38.

Yildizhan, H. 2018. Energy, exergy utilization and CO2 emission of strawberry production in greenhouse and open field. Energy, 143: 417-423.