مقاله پژوهشی

تأثیر پوتریسین و کم محلول‌دهی بر برخی صفات کیفی و عملکرد میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در شرایط هیدروپونیک

فریدون احمدی[۱]*، محمدرضا اصغری[۲] و رامین حاجی‌تقی‌لو[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۵- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۱)

چکیده

امروزه به دلیل جلوگیری از خطرات زیست محیطی و برای تضمین سلامت مصرف‌کنندگان نیاز به استفاده از ترکیبات سالم و طبیعی در تولید محصولات غذایی بیش از پیش احساس می‌شود. همچنین به دلیل کمبود آب و خشکسالی صرفه‌جویی در مصرف آب ضروری می‌باشد. در این پژوهش اثر محلول‌پاشی پوتریسین (صفر و ۲ میلی‌مولار) و کم محلول‌دهی در سه سطح (۱۴۰، ۱۸۰ و ۲۲۰ میلی‌لیتر در روز) بر کیفیت و عملکرد کل میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در شرایط هیدروپونیک بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار مواد جامد محلول، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدان کل در تیمار ترکیبی پوتریسین ۲ میلی‌مولار و کم محلول‌دهی ۱۴۰ میلی لیتر در روز بدست آمد. مناسب‌ترین وضعیت ظاهری میوه و بیشترین عملکرد کل در اثر تیمار ترکیبی پوتریسین ۲ میلی‌مولار و محلول‌دهی ۱۸۰ میلی‌لیتر در روز حاصل شد. همچنین بیشترین اسیدیته قابل تیتراسیون در شاهد (محلول‌دهی۲۲۰ میلی‌لیتر در روز) ثبت شد. بر اساس این پژوهش، کاربرد پوتریسین می‌تواند در بهبود خواص کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی در شرایط کم‌محلول دهی مفید واقع شود.

کلمات کلیدی: تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کشت بدون خاک، کیفیت میوه و محلول غذایی

۱ - دانشجوی کارشناسی‌ارشد میوه‌کاری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- کارشناسی‌ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

* پست الکترونیک: Fereidunahmadi98@gmail.com

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria× ananassa* متعلق به تیره Rosaceae بوده و شامل گونه‌های مختلفی از جمله توت‌فرنگی وحشی یا موسوم به جنگلی[1] می‌باشد که بوسیله اصلاح‌گران به عنوان گونه اساسی از لحاظ ژنتیکی برای گونه‌های موجود در دنیا معرفی گردیده است (جلیلی‌مرندی، ۱۳۸۶).

میوه توت‌فرنگی به خاطر جذابیت رنگ، بافت لطیف، طعم منحصر به فرد و سرشار از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به صورت وسیع مصرف می‌شود. همچنین دارای انواع ویتامین، مواد معدنی و فیبر می‌باشد که در رژیم غذایی مورد نیاز است (کاپور[2] و همکاران، ۲۰۱۸). طعم میوه توت‌فرنگی حاصل ترکیب انواع قندها، اسیدهای آلی و مواد فرار می‌باشد که عوامل زیادی از قبیل رقم، وضعیت تغذیه‌ای گیاه و شرایط محیطی بر عطر و طعم آن تأثیر می‌گذارند. گلوکز، ساکارز و فروکتوز اصلی‌ترین قندهای محلول میوه توت‌فرنگی هستند. همچنین اسید سیتریک با میزان ۸۸٪ فراوان‌ترین اسید آلی در میوه توت‌فرنگی است (آخاتوی و فوماندز[3]، ۲۰۱۴). یکی از رهیافت‌های نوین در بهبود خواص کمی، کیفی و افزایش ماندگاری محصولات کشاورزی استفاده از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی است که در غلظت‌های بسیار کم تأثیرات شگرفی را بر فرایندهای مختلف گیاهی دارند (زاهدی‌پور، ۱۳۹۳).

پوتریسین که جزو هورمون‌ها و تنظیم کننده‌های رشد محسوب می‌شود با تنظیم روابط داخلی گیاه، افزایش قدرت جذب ریشه‌ها، افزایش حلالیت عناصر غذایی در اطراف ریشه، افزایش کارآیی فتوسنتز، کاهش اثرات مخرب فعالیت‌های متابولیکی و به طور ویژه حذف رادیکال‌های آزاد باعث افزایش عملکرد محصول شده و با توجه به ایفای نقش کلیدی در فعال نمودن ژن‌های مربوط به خصوصیات کیفی، سبب افزایش کیفیت محصول تولیدی می‌شود (اصغری، ۱۳۹۴). تیمار خوشه‌های انگور با پوتریسین در مرحله قبل از برداشت، سبب افزایش طول و قطر میوه شد و عملکرد را افزایش داد (قاسم[4] و همکاران، ۲۰۱۱). در مطالعه چن[5] و همکاران (۲۰۱۳) اعمال تیمار کم‌آبیاری در دو سطح ۳۰٪ و ۶۰٪ آبیاری کامل در مرحله دانهالی روی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، تأثیر معنی داری بر عملکرد کل نداشت، اما میزان مواد جامد محلول، اسیدهای آلی، ویتامین‌ث، نسبت قند به اسید، شاخص رنگ و کارآیی مصرف آب به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت.

ظرفیت نگهداری پایین آب بسترهای مورد استفاده در سیستم‌های هیدروپونیک، منجر به افزایش هدررفت آب و ایجاد تنش در این سیستم‌های کشت می‌شود. بنابراین تنظیم دور آبیاری و مدیریت محلول‌رسانی، سبب کاهش زه-آب گلخانه‌ای و خطرات زیست محیطی آن می‌شود (تری و بردوناباً[6]، ۲۰۱۰). با توجه به اینکه کاهش هزینه‌های تولید در شرایط کشت بدون خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، در این میان کاهش میزان محلول و هزینه‌های مواد غذایی بدون کاهش عملکرد و کیفیت میوه یکی از گزینه‌های مدیریتی محسوب می‌شود. همچنین برای تولید ترکیبات کیفی میوه از قبیل رنگ، عطر، طعم و سایر شاخص‌های کیفی فعال شدن مسیرهای بیوسنتزی ثانویه ضروری می‌باشد (کاپور و همکاران، ۲۰۱۸). در این پژوهش نقش پوتریسین و کم محلول دهی بر برخی خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در شرایط هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نشاءهای توت‌فرنگی رقم سابرینا از یک گلخانه تجاری واقع در شهرستان ارومیه در آبان‌ماه سال ۱۳۹۷تهیه و به مدت ۲۴۰ ساعت در سردخانه گروه علوم باغبانی (جهت اعمال سرمادهی) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از این مدت نشاءها در گلخانه گروه علوم باغبانی با دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد روز و ۱۵ درجه سانتی‌گراد شب و رطوبت نسبی ۷۰ درصد، در گلدان‌های با قطر دهانه ۱۹ سانتی متر و ترکیب بستر کشت

1. *Fragaria vesca*
2. Kapur
3. Akhatou and Fernandez
4. Kassem
5. Chen
6. Terry and Bordonaba

کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۱:۱ کشت شدند و فرمول غذایی مورد استفاده براساس روش (لینت[1]، ۲۰۰۶) تنظیم شد. تیمارهای آزمایشی شامل پوتریسین در غلظت صفر و ۲ میلی‌مولار که از زمان کاشت تا شروع برداشت میوه به فاصله زمانی ۲۰ روز محلول‌پاشی شد. مقدار محلول غذایی هم در سه سطح (۱۴۰، ۱۸۰ و ۲۲۰ میلی‌لیتر در روز) از شروع کاشت تا پایان برداشت میوه در اختیار گیاهان قرار داده شد.

صفات مورد بررسی

در این پژوهش صفاتی نظیر: مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، طعم ، فعالیت آنتی‌اکسیدان کل، فنل کل، شکل میوه و عملکرد کل مورد ارزیابی قرار گرفت.

اندازه‌گیری مواد جامد محلول

برای این منظور از رفراکتومتر دستی مدل (ATAGO) استفاده شد و داده‌ها بر حسب درصد بریکس یادداشت شدند.

اندازه‌گیری اسیدهای قابل تیتراسیون

برای این منظور از روش تیتراسیون توسط سدیم هیدروکسید (NaOH) ۰/۱ نرمال استفاده گردید (آیالا-زاوالا[2] و همکاران، ۲۰۰۷).

بر اساس مقدار سدیم هیدروکسید مصرفی، مقدار اسید موجود در عصاره میوه به صورت گرم اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر محاسبه شد. مقدار اسید قابل تیتراسیون بر حسب معادل اسید سیتریک که اسید غالب در توت‌فرنگی می‌باشد، طبق فرمول زیر محاسبه شد:

$$TA = \frac{S.N.F.E}{C} \times 100$$

TA: مقدار اسیدهای آلی موجود در عصاره میوه بر حسب $gr/100ml$

S: مقدار NaOH مصرفی بر حسب میلی‌لیتر

E: اکی‌والان اسید سیتریک (۰/۰۶۴گرم)

F: فاکتور NaOH برابر ۱ است.

C: مقدار عصاره میوه (ml)

شاخص طعم میوه

نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون به عنوان شاخص طعم در نظر گرفته می‌شود (وکا[3] و همکاران، ۲۰۰۹).

استخراج عصاره جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی اکسیدانی و فنل کل

آب میوه توت‌فرنگی همراه با متانول خالص به نسبت ۱:۱۰ (۵ میلی‌لیتر متانول و ۰/۵ میلی‌لیتر آب میوه) با استفاده از دستگاه اولتراسونیک در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه با هم مخلوط شدند سپس مخلوط حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ با دور ۵۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. در نهایت محلول رویی را در میکروتیوب ریخته و تا زمان آنالیز در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (وانگ[5] و همکاران، ۲۰۱۹).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدان کل

ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل با استفاده از روش رادیکال آزاد DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ارزیابی شد. به این صورت که ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۳ میلی لیتر محلول DPPH (۰/۰۰۸ گرم DPPH در ۲۰۰میلی متر متانول) مخلوط گردید و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی نگهداری شد. تغییرات جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانو متر قرائت شد، ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل طبق فرمول زیر محاسبه گردید (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

$$DPPH\ (\%\ inhibition) = [(Abs_0 - Abs_1) / Abs_0] \times 100$$

DPPH(% inhibition)= بازدارندگی DPPH برحسب درصد

Abs_0 = مقدار جذب بلنک

Abs_1 = مقدار جذب نمونه

اندازه‌گیری محتوای فنل کل

برای سنجش محتوای فنل کل از روش Folin- ciocalteau استفاده شد به این صورت که ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی را با ۵۰۰ میکرولیتر از محلول فولین ۱۰٪ مخلوط کرده و پس از ۳ دقیقه ۴۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم (۷ مولار) به آن اضافه شد. بعد از گذشت ۲ ساعت در دمای اتاق و تاریکی، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مقدار

1. Lynette
2. Ayala-Zavala
3. Voca

جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد. داده‌ها بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد (آریزا[1] و همکاران، ۲۰۱۸).

وضعیت ظاهری میوه

برای ارزیابی وضعیت ظاهری میوه از روش مشاهده ظاهری (امتیازدهی) استفاده شد (دی‌رسند[2] و همکاران، ۲۰۰۸). به طوری که به میوه‌های عالی از نظر تقارن شکل و ظاهر عدد ۵ و به میوه‌های با پایین‌ترین کیفیت ظاهری عدد۱ تعلق گرفت و بعدا میانگین امتیازها به عنوان امتیاز اصلی برای شکل میوه در هر تیمار در نظر گرفته شد.

شاخص عملکرد کل

برای ارزیابی عملکرد میوه از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد. به این صورت که حاصل جمع وزن میوه‌های هر تیمار در یک بازه مشخص برداشت (یک ماهه)، به عنوان عملکرد کل برای آن تیمار در نظر گرفته شد.

آنالیز آماری داده‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار انجام شد. همچنین داده‌ها به وسیله نرم‌افزار SAS و آزمون چند دامنه‌ای دانکن به منظور مقایسه میانگین تیمارها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد کل و بسیاری از شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شده تحت تأثیر تیمارهای پوتریسین و کم محلول‌دهی قرار گرفتند (جدول ۱).

مواد جامد محلول

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که اثر کم محلول‌دهی و اثر متقابل پوتریسین با کم محلول‌دهی بر مواد جامد محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۱). با کاهش سطح محلول‌دهی، مواد جامد محلول افزایش یافت و اختلاف بین تیمارها از این نظر معنی‌دار بود. بیشترین مقدار مواد جامد محلول در تیمار ترکیبی پوتریسین ۲ میلی‌مولار و کم‌محلول‌دهی ۱۴۰ میلی‌لیتر در روز و کمترین مقدار آن در تیمار محلول‌دهی ۲۲۰ میلی‌لیتر در روز مشاهده شد (شکل ۱). افزایش مواد جامد محلول در شرایط کم محلول‌دهی را می‌توان به کاهش آب دریافتی توسط میوه و افزایش نسبت قند و ماده خشک به آب در میوه نسبت داد. بدلیل اینکه در شرایط کم‌محلول‌دهی که یک تنش خشکی جزئی به حساب می‌آید، تولید هورمون اسید آبسیزیک افزایش می‌یابد و بر کاهش پتانسیل اسمزی غلبه می‌کند در نتیجه میزان آب کمتر و مواد جامد محلول بیشتری در سلول تجمع می‌یابد (تری و بردوناba، ۲۰۱۰). پوتریسین از آنجایی که توان فتوسنتزی گیاه را افزایش می‌دهد، می‌تواند در افزایش مواد جامد محلول نقش داشته باشد (شارما[3] و همکاران، ۲۰۱۹).

اسیدیته قابل تیتراسیون

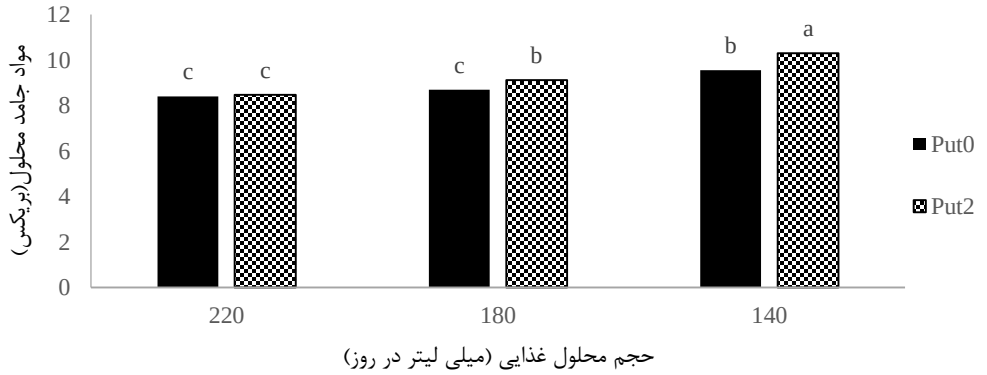
تأثیر پوتریسین، کم محلول‌دهی و اثرات متقابل پوتریسین با کم محلول‌دهی بر اسیدیته قابل تیتراسیون در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). کمترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در تیمار کم محلول‌دهی ۱۴۰ میلی لیتر در روز و بیشترین مقدار آن در شاهد به دست آمد (شکل ۲). یکی از دلایل کاهش اسیدیته میوه در کم محلول‌دهی افزایش تجزیه نشاسته، افزایش فروکتوز و گلوکز، کاهش انتقال ساکارز از برگ‌ها به خارج و مهمتر از آن تجزیه اسیدهای آلی می‌باشد (جین بردوناba و تری[4]، ۲۰۱۶). پوتریسین باعث کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون در میوه توت‌فرنگی شد (زکائی خسروشاهی و اثنی‌عشری، ۱۳۸۶). در مطالعه سلیم[5] و همکاران (۲۰۰۶)، پلی‌آمین‌ها اثر معنی‌داری بر کاهش اسیدیته میوه پرتقال خونی در مقایسه با شاهد داشتند که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در گیاهانی که بیشترین میزان محلول غذایی را دریافت کرده بودند، ثبت شد. در شرایط بدون تنش متابولیت‌های اولیه فعالیت بیشتری دارند و تجمع اسیدهای آلی در اثر فعالیت متابولیت‌های اولیه

1. Ariza
2. De Resende
3. Sharma
4. Giné-Bordonaba and Terry
5. Saleem

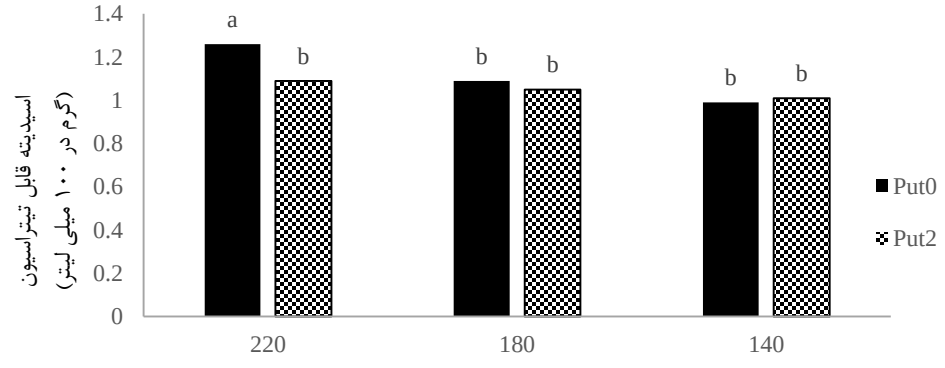
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر ساده و متقابل پوتریسین و کم محلول دهی بر عملکرد و صفات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		مواد جامد محلول	اسیدیته قابل تیتراسیون	طعم میوه	فعالیت آنتی اکسیدان کل	فنل کل	وضعیت ظاهری میوه	عملکرد کل
پوتریسین	۱	۰/۱۷۷^{ns}	۰/۰۵۰**	۰/۸۲۴^{ns}	۶۵/ ۸۹۴**	۹۷۶۲/۵۶۷**	۰/۰۸۳^{ns}	۳۰۰۳/۹۴۹**
کم محلول‌دهی	۲	۹/۳۵۰**	۰/۱۱۷**	۲۷/۲۴**	۹۶۵/۳۰۱**	۸۸۲۳/۹۴۷**	۲/۴۰۲**	۱۶۱۶/۲۱۳**
پوتریسین × کم محلول‌دهی	۲	۱/۳۷۸**	۰/۰۳۷**	۳/ ۶۶۵**	۳۴۶/۰۵۴**	۸۶۰/۰۴۸**	۱/۳۴۷**	۲۵/۲۴۹ ^{ns}
خطای آزمایشی	۱۸	۰/۲۳۳	۰/۰۰۳	۰/۴۱۳	۱/۵۲۴	۶۱/۹۲۲	۰/۰۷۳	۲۰/۴۱
ضریب تغییرات (٪)		۵/۳۰۹	۵/۶۱۸	۷/۵۸۱	۱/۴۷۵	۲/۰۶۷	۶/۵۳۰	۶/۹۱۵

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف پوتریسین و حجم محلول غذایی بر میزان مواد جامد محلول میوه توت فرنگی رقم سابرینا. Put0: پوتریسین صفر میلی‌مولار (شاهد) و Put2 : پوتریسین ۲ میلی‌مولار. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف پوتریسین و حجم محلول غذایی بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت فرنگی رقم سابرینا. Put0: پوتریسین صفر میلی‌مولار (شاهد) و Put2 : پوتریسین ۲ میلی‌مولار. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

می‌باشند (تایز[1] و همکاران، ۲۰۱۴).

شاخص طعم میوه

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که اثر کم محلول دهی و اثر متقابل پوتریسین با کم محلول‌دهی بر شاخص طعم میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۱). بیشترین مقدار طعم میوه در اثر تیمار کم محلول دهی ۱۴۰ میلی‌لیتر در روز و کمترین آن در شاهد مشاهده شد. در گزارش جین بردونابا و تری (۲۰۱۰) مونوساکاریدها و نسبت قند به اسید به طور کلی در میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با کم آبیاری بیشتر بود. تری[2] و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند نسبت قند به اسیدیته در گیاهانی که در شرایط خشکی رشد کرده بودند به مراتب از گیاهانی که با آبیاری کامل، آبیاری شده بودند بیشتر بود. کاهش آب آبیاری بین گل‌انگیزی تا برداشت میوه می‌تواند یک تکنیک قابل دوام برای افزایش ترکیبات وابسته به طعم در ارقام توت‌فرنگی باشد (تری و بردونابا، ۲۰۱۰). به دلیل اینکه شاخص طعم حاصل نسبت مواد جامد محلول بر اسیدیته قابل تیتراسیون می‌باشد، می‌توان استنباط نمود که با مواد جامد محلول رابطه مستقیم دارد.

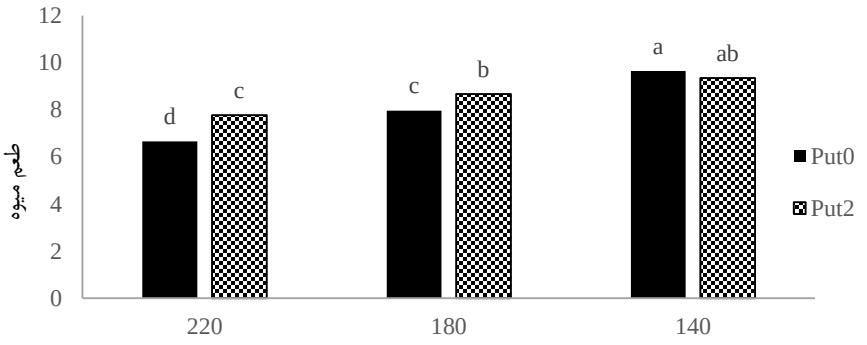
فعالیت آنتی اکسیدان کل و فنل کل

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که اثرات ساده و متقابل تیمارها بر فعالیت آنتی‌اکسیدان کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدان کل در تیمار ترکیبی پوتریسین ۲ میلی‌مولار و کم محلول‌دهی ۱۴۰ میلی‌لیتر در روز و کمترین میزان آن در شاهد بدست آمد (شکل ۴). یکی از تغییرات بیوشیمیایی که در گیاهان مواجه با تنش بروز می‌کند، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن است. گیاهان با دارا بودن سیستم ضداکسایشی که شامل ترکیبات آنزیمی (سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و ...) می‌باشند معمولا سطوح گونه‌های اکسیژن فعال را در سلول در حد متعادل نگه می‌دارند و موجب حفاظت گیاه در برابر تنش های محیطی می‌شوند (هادوی و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجایی که پلی‌آمین‌ها می‌توانند در ابقا و تنظیم هومئوستازی سلولی، نفوذپذیری غشاء پلاسمایی، جلوگیری از تجزیه کلروفیل و تحریک بیوسنتز پروتئین‌های ویژه نقش بازی کنند، می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل کل را افزایش می‌دهند (تیبورسیو[3] و همکاران، ۲۰۱۴). اثرات ساده و متقابل تیمارها بر مقدار فنل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین مقدار فنل کل در تیمار ترکیبی پوتریسین ۲ میلی‌مولار و کم محلول‌دهی ۱۴۰ میلی‌لیتر در روز و کمترین مقدار آن در شاهد مشاهده شد (شکل۵). در شرایط تنش‌های محیطی مثل کم محلول‌دهی فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز تحریک می‌شود که این آنزیم مسیر سنتز ترکیبات فنلی را فعال می‌کند (جولی و الفرجان[4]، ۲۰۰۳). در مطالعه ادک[5] و همکاران (۲۰۱۸) تنش کم‌آبیاری روی ارقام مختلف توت‌فرنگی بسیاری از خصوصیات بیوشیمیایی نظیر مقدار آنتوسیانین‌کل، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدان کل را در مقایسه با شرایط آبیاری کامل افزایش داد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. تیمارهای کم‌آبیاری ۴۰٪ (ملایم) و ۶۰٪ (شدید) نیاز آبی، به ترتیب ۴۷/۶ و ۹۰/۴ درصد فنل کل را نسبت به شاهد افزایش دادند (دارویژه[6] و همکاران، ۲۰۱۹).

وضعیت ظاهری میوه

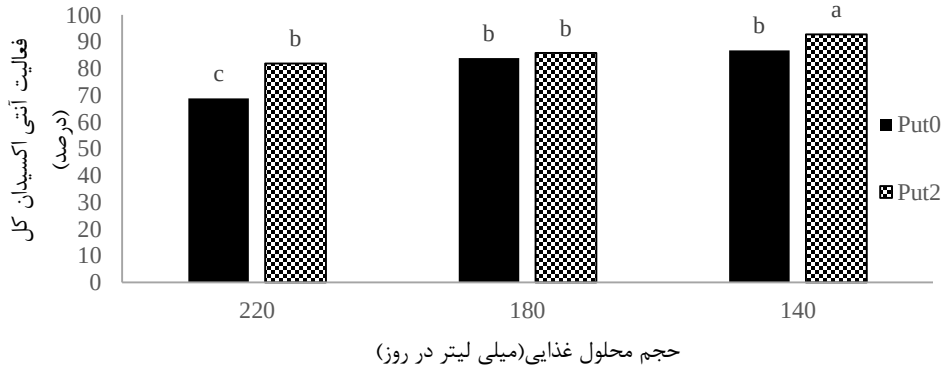
با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که اثر کم‌محلول‌دهی و اثر متقابل پوتریسین با کم محلول‌دهی بر وضعیت ظاهری میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول۱). مناسب‌ترین وضعیت ظاهری میوه در تیمار ترکیبی پوتریسین ۲ میلی‌مولار و کم محلول‌دهی ۱۸۰ میلی‌لیتر در روز و پایین‌ترین کیفیت ظاهری میوه در شاهد مشاهده شد (شکل ۶). تیمار پوتریسین در درختان انبه رقم زبدا باعث بهبود وضعیت ظاهری میوه و سایر خصوصیات کیفی شد (علی[7] و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به اینکه پلی‌آمین‌ها با افزایش اندازه سلول و تقسیم سلولی و انتقال آسمیلات‌ها درگیاهان، در پروسه‌های رشد و نمو شرکت می‌کنند باعث افزایش تعداد سلول‌ها و به دنبال آن افزایش

1. Taiz
2. Terry
3. Tiburcio
4. Jouili and El Ferjani
5. Adak
6. Darvizheh
7. Ali

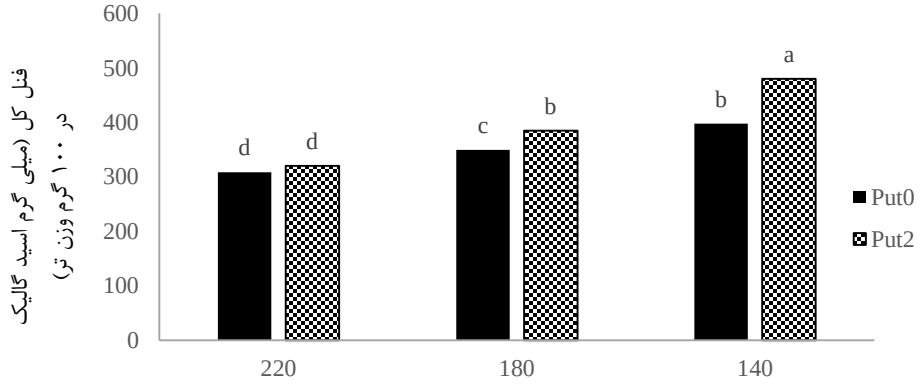


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف پوتریسین و حجم محلول غذایی بر میزان شاخص طعم میوه توت فرنگی رقم سابرینا.

Put0: پوتریسین صفر میلی‌مولار (شاهد) و Put2: پوتریسین ۲ میلی‌مولار. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

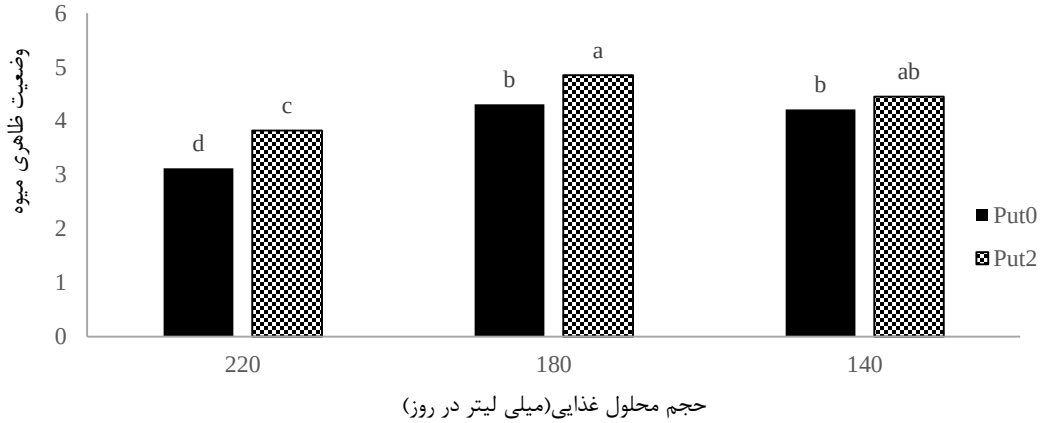


شکل ۴- **مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف پوتریسین و حجم محلول غذایی بر فعالیت آنتی‌اکسیدان کل میوه توت فرنگی رقم سابرینا.** Put0: پوتریسین صفر میلی‌مولار (شاهد) و Put2 : پوتریسین ۲ میلی‌مولار. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

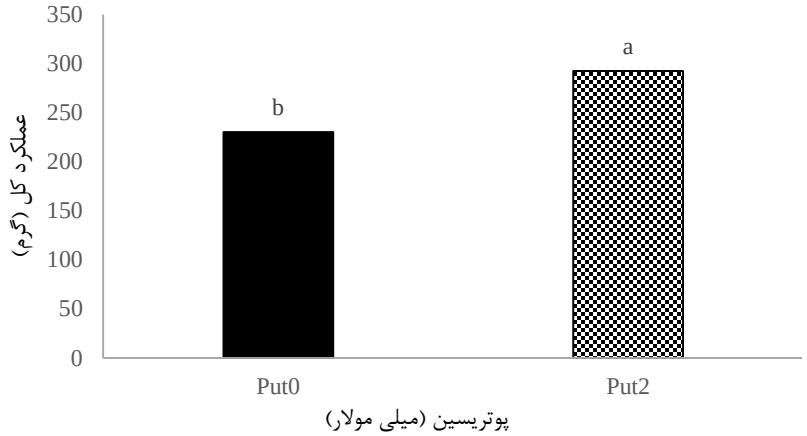


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف پوتریسین و حجم محلول غذایی بر میزان فنل کل میوه توت فرنگی رقم سابرینا.

Put0: پوتریسین صفر میلی‌مولار (شاهد) و Put2: پوتریسین ۲ میلی‌مولار. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف پوتریسین و حجم محلول غذایی بر وضعیت ظاهری میوه توت فرنگی رقم سابرینا.
Put0: پوتریسین صفر میلی‌مولار (شاهد) و Put2: پوتریسین ۲ میلی‌مولار. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف پوتریسین بر عملکرد کل میوه توت فرنگی رقم سابرینا. Put0: پوتریسین صفر میلی‌مولار (شاهد) و Put2: پوتریسین ۲ میلی‌مولار. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

حجم و وزن میوه خواهند شد که در نهایت بهبود شکل ظاهری میوه را به دنبال دارد که این موضوع می‌تواند دلیلی برای بازارپسندی محصول باشد (شریف‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۲؛ علی و همکاران، ۲۰۱۷؛ چن[1] و همکاران، ۲۰۱۹).

شاخص عملکرد کل

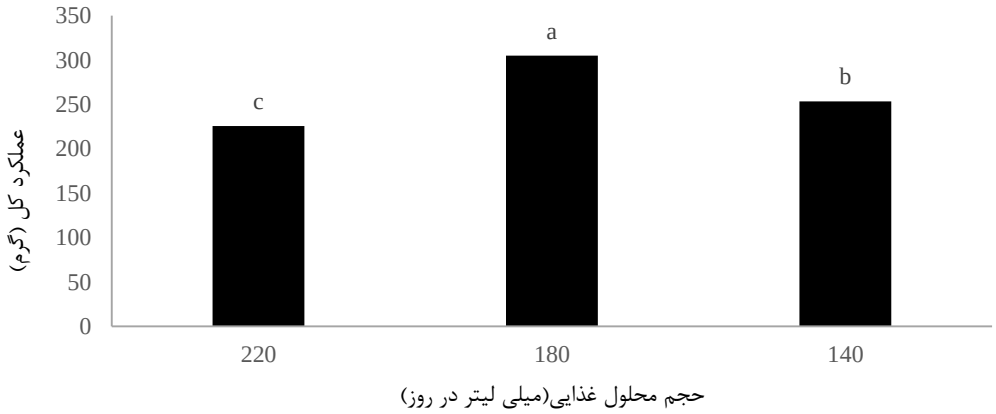
تأثیر پوتریسین و کم‌محلول‌دهی بر عملکردکل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). کمترین میزان عملکرد کل میوه در شاهد و بیشترین مقدار آن در کم محلول‌دهی ۱۸۰ میلی‌لیتر در روز و پوتریسین ۲ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۷ و ۸). کاهش عملکرد کل در تنش شدید کم محلول‌دهی (۱۴۰ میلی‌لیتر در روز) را می‌توان به کاهش پتانسیل آب در آوندهای چوبی نسبت داد که در این حالت، حرکت آب در داخل گیاه دچار اختلال شده و در اثر آن وزن تر میوه و در نهایت عملکرد کل کاهش می‌یابد (لی[2] و همکاران، ۲۰۱۰).

پلی‌آمین‌ها می‌توانند با مولکول‌های غیریونی و پروتئین‌ها که در بسیاری از فرایندهای درون گیاه شامل تقسیم و بزرگ شدن سلول، توسعه و رشد میوه و رسیدن نقش دارند، در افزایش عملکرد مشارکت کنند (لیو[3] و همکاران، ۲۰۰۷).

1. Chen
2. Li
3. Liu

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش مشخص شد که تیمار پوتریسین ۲ میلی مولار با کم محلول‌دهی ۱۴۰ میلی لیتر در روز نسبت به بقیه تیمارها بر اکثر خواص کیفی نقش ثبت داشته و به عنوان یک روش قابل اعتماد برای بهبود خواص کیفی میوه توت‌فرنگی می‌تواند مورد استفاده واقع شود. همچنین تیمار ترکیبی پوتریسین ۲ میلی مولار با کم محلول‌دهی ۱۸۰ میلی‌لیتر در روز برای بهبود کیفیت ظاهری و عملکرد کل میوه توت‌فرنگی پیشنهاد می‌شود.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر حجم محلول غذایی بر عملکرد میوه توت فرنگی رقم سابرینا. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

منابع

اصغری، م.ر. ۱۳۹۴. هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی جدید (غیرکلاسیک)، انتشارات دانشگاه ارومیه، ۳۵۲ ص.

جلیلی‌مرندی، ر. ۱۳۸۶. میوه‌های ریز، انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه، ۲۹۷ ص.

زاهدی‌پورششگلانی، پ. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد برگی-۴-۲ اپی براسینواستروئید و کلریدکلسیم بر ویژگی‌های رشدی گیاه، کیفیت و ماندگاری میوه توت‌فرنگی رقم سابروسا. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه. ۱۲۹ص.

زکائی‌خسروشاهی، م. ر. و اثنی‌عشری، م. ۱۳۸۶. اثر کاربرد پوتریسین بر عمر و فیزیولوژی پس از برداشت میوه‌های توت‌فرنگی، هلو، زردآلو و گیلاس. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۵: ۲۱۹-۲۲۷.

شریف‌زادگان، ح.، عبدوسی.، مشهدی اکبر بوجار، م. و نائینی، م.ر. ۱۳۹۲. اثر کاربرد پلی‌آمین‌ها بر سفتی بافت و فیزیولوژی پس از برداشت گیلاس رقم تک‌دانه مشهد. علوم غذایی و تغذیه، ۱۱: ۶۷-۷۴.

هادوی، م.، منتصرکوهساری، ش. و سروی، ر. ۱۳۸۹. تغییر الگوی الکتروفورتیک و فعالیت آنزیمی پراکسیداز گیاهچه‌های پسته احمد آقایی رفسنجان در پاسخ به آلودگی با قارچ (*aspergillus niger*). زیست‌شناسی گیاهی ایران، ۲: ۲۱-۳۰.

Adak, N., Gubbuk, H. and Tetik, N. 2018. Yield, quality and biochemical properties of various strawberry cultivars under water stress. Journal of the Science of Food and Agriculture, 98(1): 304-311.

Akhatou, L. and Fernandez, A. 2014. Influence of cultivar and culture system on nutritional and organoleptic quality of strawberry. Scientia Horticulturae, 178(3): 259-265.

Ali, M.S., Elhamahmy, M.A. and El-Shiekh, A.F. 2017. Mango trees productivity and quality as affected by Boron and Putrescine. Scientia Horticulturae, 216: 248-255.

Ariza, M.T., Reboredo-Rodríguez, P., Cervantes, L., Soria, C., Martínez-Ferri, E., González-Barreiro, C., Cancho-Grande, b., Battino, M. and Simal-Gándara, J. 2018. Bioaccessibility and potential bioavailability of phenolic compounds from achenes as a new target for strawberry breeding programs. Food Chemistry, 248: 155-165.

Ayala-Zavala, J.F., Wang, S.Y., Wang, C.Y. and González-Aguilar, G.A. 2007. High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. Food Science and Biotechnology, 45: 166– 173.

Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A. and Zheng, B., 2019. Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. Front Plant Science, 9: 19-45.

Chen, J., Kang, S., Du, T., Qiu, R., Guo, P. and Chen, R. 2013. Quantitative response of greenhouse tomato yield and quality to water deficit at different growth stages. Agricultural Water Management, 129: 152-162.

De Resende, J.T.V., Camargo, L.K., Argandoña, E.J., Marchese, A. and Camargo, C.K., 2008. Sensory analysis and chemical characterization of strawberry fruits. Horticultura Brasileira, 26: 371-374.

Giné-Bordonaba, J. and Terry, L.A., 2016. Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruit and leaves. Scientia Horticulture, 199: 63-70.

Jouili, H. and El Ferjani, E. 2003. "Changes in antioxidant and lignifying enzyme activities in sunflower roots (*Helianthus annuus* L.) stressed with copper excess". Comptes Rendus Biologies, 326: 639-644.

Kapur, B., Sarıdaş, M.A., Çeliktopuz, E., Kafkas, E. and Kargı, S.P. 2018. Health and taste related compounds in strawberries under various irrigation regimes and bio-stimulant application. Food Chemistry, 263: 67-73.

Kassem, H.A., Al-Obeed, R.S. and Soliman, S.S. 2011. Improving yield, quality and profitability of Flame seedless grapevine grown under arid environmental by growth regulators preharvest applications. Middle-East Journal of Scientific Research, 8(1): 165-172.

Li, H., Li, T., Gordon, R.J., Asiedu, S.K. and Hu, K. 2010. "Strawberry plant fruiting efficiency and its correlation with solar irradiance, temperature and reflectance water index variation". Environmental and Experimental Botany, 68: 165–174.

Liu, J.H., Kitashiba, H., Wang, J., Ban, Y. and Moriguchi, T. 2007. Polyamines and their ability to provide environmental stress tolerance to plants. Plant Biotechnology, 24(1): 117-126.

Lynette, M. 2006. Hydroponic strawberry production: A technical guide to the hydroponic production of strawberry (First ed). Suntec (NZ) Ltd publications.

Saleem, B.A., Malik, A.U., Anwar. R. and Farooq, M. 2006. Exogenous application of polyamines improves fruit set, yield and quality of sweet oranges. In XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Endogenous and Exogenous Plant Bioregulators, 774: 187-194.

Sharma, A., Shahzad, B., Kumar, V., Kohli, S.K., Sidhu, G.P.S., Bali, A.S., Handa, N., Kapoor, D., Bhardwaj, R. and Zheng, B. 2019. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. Biomolecules, 17(9): 285.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A., 2014. Plant physiology and development (Sixth ed.). Oxford University Press.

Terry, L.A. and Bordonaba, J. 2010. Manipulating the taste–related composition of strawberry fruits (*Fragaria ananassa*) from different cultivars using deficit irrigation. Food chemistry, 122, 1020-1026.

Terry, L.A., Chope, G.A. and GineBordonaba, J. 2007. "Effect of water deficit irrigation and inoculation with *Botrytis cinerea* on strawberry (*Fragaria×ananassa*) fruit quality". Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(26): 10812-10819.

Tiburcio, A.F., Altabella, T., Bitrián, M. and Alcázar, R. 2014. The roles of polyamines during the life span of plants: from development to stress. Planta, 240: 1–18.

Voca, S., Jakobek, L., Druzic, J., Sindrak, Z., Dobricevic, N., Seruga, M. and Kovac, A. 2009. Quality of strawberries produced applying two different growing systems Calidad de fresas producidas aplicando dos diferentes sistemas de cultivo. CyTA-Journal of Food, 7(3): 201-207.

Wang, J., Wang, J., Ye, J., Vanga, S.K. and Raghavan, V. 2019. Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: Profiles of ascorbic acid, phenolics, antioxidant activity and microstructure. Food Control, 96: 128-136.