اثر محلول‌پاشی سولفات نیکل و اوره بر رشد زایشی و ویژگی‌های کمی و کیفی میوه توت فرنگی رقم پاجارو (*Fragaria ananassa* Duch. cv. Pajaro)

روح‌اله رنجبر، سعید عشقی* و مسلم رستمی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۴)

چکیده

در این پژوهش، اثر محلول‌پاشی سولفات نیکل و اوره بر رشد زایشی، عملکرد و برخی ویژگی‌های کیفی میوه توت فرنگی مطالعه شد. گیاهان دختری ریشه‌دار شده توت فرنگی، رقم پاجارو، در گلدان‌های ۳ لیتری در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز کاشته شدند. گیاهان مستقر شده در مرحله ۴ تا ۵ برگی با سولفات نیکل در غلظت‌های صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر و اوره در غلظت‌های صفر و ۲ گرم در لیتر محلول‌پاشی شدند. عملکرد، وزن اولین، دومین و سومین میوه، نسبت طول به قطر میوه، تعداد گل آذین و تعداد گل در گل آذین از ویژگی‌های مورد نظر رشد زایشی و ویتامین ث، درصد مواد جامد محلول و اسید کل از ویژگی‌های کیفی میوه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل بدون اوره باعث افزایش معنی‌دار عملکرد، وزن میوه‌های اولیه و ثانویه و تعداد گل آذین نسبت به شاهد شد. هم‌چنین تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل همراه با ۲ گرم در لیتر اوره بیشترین میزان اسید کل (۰/۷۵ درصد) را دارا بود. در مجموع، محلول‌پاشی سولفات نیکل با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با ۲ گرم در لیتر اوره برای افزایش عملکرد توت فرنگی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نیکل، اوره، توت فرنگی، عملکرد

مقدمه

توت فرنگی (*Fragaria ananassa* Duch.) میوه‌ای خوشمزه با ارزش غذایی و سلامتی بالایی می‌باشد (۴). عناصر غذایی قابل استفاده طی رشد و نمو میوه یکی از مهمترین عواملی است که کمیت و کیفیت میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۱۹). عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاهان شامل عناصر پرمصرف و عناصر کم مصرف می‌باشند. نیتروژن جزو عناصر پر مصرف و مهمترین این عناصر می‌باشد و تأثیر زیادی بر کیفیت و عملکرد دارد. در صورتی که نیکل جزو عناصر کم مصرف است که در غلظت‌های کم برای رشد و نمو طبیعی مورد نیاز است (۲۱). کمبود نیتروژن در توت فرنگی (کمتر از ۱/۹٪ وزن خشک برگ) موجب زردی برگ‌ها، کاهش سطح برگ، اندازه میوه و آنتوسیانین می‌شود (۲۸). با این وجود، زیادی نیتروژن (بیشتر از ۴٪ وزن خشک برگ) رشد رویشی را تحریک می‌کند، بلوغ را به تأخیر می‌اندازد و موجب کاهش سفتی میوه‌ها می‌شود که کیفیت آن را در نتیجه افزایش حساسیت به حملات عوامل بیماری‌زا کاهش می‌دهد (۱۳ و ۱۶).

اوره رایج‌ترین شکل کود نیتروژنی می‌باشد. اما نیتروژن

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: eshghi@shirazu.ac.ir

موجود در اوره برای گیاهان غیر قابل استفاده می‌باشد، مگر این که به وسیله آنزیم اوره‌آز هیدرولیز شود و تبدیل به فرم قابل استفاده نیتروژن یعنی یون آمونیوم (NH_4^+) و دی اکسید کربن گردد (۶). دو گونه از اوره‌آز در گیاهان وجود دارد که یکی از آنها اوره‌آز ubiquitous می‌باشد که نقش مهمی را در متابولیسم نیتروژن بازی می‌کند. نیکل یکی از اجزای اصلی آنزیم اوره‌آز می‌باشد (۱۷). بنابراین نیکل می‌تواند میزان و فعالیت آنزیم اوره‌آز را در بافت‌های گیاهان افزایش دهد و کارآیی مصرف نیتروژن به شکل اوره را بهبود بخشد. بعد از کشف نیکل به عنوان یک جزء اصلی اوره‌آز، پژوهشگران بسیاری (۱، ۹ و ۲۵) آثار مثبت کاربرد نیکل بر رشد، عملکرد و افزایش جوانه‌زنی را نشان دادند.

در پژوهشی، افزودن ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم نیکل به ازای هر کیلوگرم خاک به صورت معنی‌داری سبب افزایش عملکرد سبزی جعفری و کیفیت آن (سطح برگ، غلظت عناصر معدنی، عملکرد روغن و مزه) گردید. هم‌چنین برگ‌ها برای مصرف توسط انسان سالم‌تر بودند، زیرا غلظت نیترات و آمونیوم کمتری داشتند (۱۱). نیکل می‌تواند باعث افزایش عملکرد میوه و کیفیت آنها در گوجه‌فرنگی گردد (۱۴). در بعضی موارد، نیکل می‌تواند جایگزین روی یا آهن در متالوآنزیم‌های خاص شود (۲۰). گزارش‌های زیادی در مورد محلول‌پاشی منابع نیتروژنی بر گیاهان وجود دارد. نشان داده شده است که انواع مختلف منابع نیتروژنی رشد، عملکرد، کیفیت میوه و ترکیب بافت‌های گیاهی در توت فرنگی و گیاهان دیگر را به گونه‌ای متفاوت تحت تأثیر قرار می‌دهند (۸ و ۲۲). در پژوهشی که از منابع مختلف نیتروژنی استفاده شده بود اوره بیشترین میزان عملکرد در توت فرنگی را باعث شد که نتیجه آن افزایش تشکیل میوه مطلوب بود (۱۵). به طور کلی، میزان گل‌دهی با کوددهی نیتروژنی در توت فرنگی رقم 'کرونا' افزایش یافت، اگرچه این اثر با زمان کاربرد نیتروژن به مقدار زیادی تفاوت نشان داد. بیشترین میزان گل‌دهی زمانی که کوددهی نیتروژن یک هفته بعد از اولین دوره روز کوتاهی به کار برده شد اتفاق افتاد، که تعداد طوقه و گل آذین در هر بوته نسبت به بوته‌های شاهد دو برابر شده بود. در صورتی که کوددهی دو هفته قبل از تیمار روز کوتاهی تأثیر معنی‌داری بر این شاخص‌ها نداشت. تعداد کل طوقه در هر بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر زمان کوددهی نیتروژن قرار نگرفت (۲۱).

اما گزارش‌های محدودی به بررسی برهمکنش نیکل و اوره پرداخته‌اند. به نظر می‌رسد با توجه به نقش فیزیولوژیک شناخته شده نیکل، که میزان و فعالیت آنزیم اوره‌آز را افزایش می‌دهد، کاربرد محلول‌پاشی نیکل به همراه اوره می‌تواند کارآیی مصرف اوره را افزایش دهد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش نیتروژن و نیکل بر رشد زایشی و برخی ویژگی‌های کیفی میوه توت فرنگی در شرایط گلخانه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

گیاهان دختری ریشه‌دار شده توت فرنگی رقم 'پاجارو' در گلدان‌های ۳ لیتری پر شده از ترکیب خاک برگ، ماسه و خاک مزرعه (به نسبت ۱:۱:۱ حجمی) در گلخانه بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز کشت شدند. گیاهان مستقر شده در مرحله ۴ تا ۵ برگی با اوره در غلظت‌های صفر و ۲ گرم در لیتر و سولفات نیکل در غلظت‌های صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی شدند و ۳۰ روز بعد محلول-پاشی‌ها تکرار شد. تیمارهای مورد نظر به وسیله یک آبپاش دستی روی گیاهان تا مرحله رواناب محلول‌پاشی شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در ۸ تیمار و ۴ تکرار و ۳ گلدان در هر تکرار انجام شد. آبیاری گیاهان به صورت دستی انجام شد و هر ماه یکبار همه گلدان‌ها با کود کامل کریستالون با غلظت ۲ گرم در لیتر + ۰/۵ گرم در لیتر سکسترون آهن ۱۳۸ به صورت کودآبیاری تغذیه شدند. گیاهان توت فرنگی در گلخانه تحت شرایط نور طبیعی ($>800\ \mu mol/m^2.s$) و دمای روزانه ($۲۵\pm۲\ ^\circ C$) و دمای شبانه ($۱۶\pm۲\ ^\circ C$) و رطوبت نسبی ۵۰± ۵ درصد پرورش یافتند. در طول فصل رشد، به تدریج، میوه‌هایی که بیش از دو سوم آنها رنگ گرفته بود برداشت شده و پس از انتقال به

آزمایشگاه، ویژگی‌هایی مانند وزن اولین، دومین و سومین میوه، نسبت طول به قطر میوه، تعداد گل آذین در بوته، تعداد گل در گل آذین، ویتامین ث، درصد مواد جامد محلول و اسید کل مورد ارزیابی قرار گرفتند. در یک دوره سه ماهه از کاشت تا برداشت، میوه‌های رسیده برداشت شد و عملکرد تک بوته محاسبه گردید. بعد از مشخص کردن اولین، دومین و سومین میوه و گذاشتن آنها درون کیسه‌های پلاستیکی جداگانه، به آزمایشگاه منتقل و وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی حساس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری طول و قطر میوه‌ها از کولیس دیجیتال استفاده شد و تعداد فندقه‌ها نیز شمارش گردید. تعداد گل آذین و تعداد گل در گل آذین نیز در گلخانه شمارش شد. آسکوربیک اسید با استفاده از روش تیتراسیون ایندوفنول (۲۴) مورد ارزیابی قرار گرفت و به صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد. در این روش، ابتدا محلولی که برای تیتر کردن لازم بود (محلول تیترانت) و همین طور محلول تثبیت کننده اسید و محلول استاندارد ساخته شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب میوه را که گرفته شده و با پارچه ململ کاملاً صاف شده بود با ۱۰ میلی‌لیتر محلول تثبت کننده متافسفریک اسید کاملاً مخلوط شد. بعد از آن ۱۰ میلی‌لیتر از آن را جدا کرده و با محلول ایندوفنول تیتر نموده تا زمانی که تغییر رنگ مشاهده شد (یعنی آب میوه به رنگ آجری درآمد). این فرایند را می‌توان تکرار کرد و از دو قرائت به دست آمده میانگین گرفته و عدد به دست آمده را در فرمول زیر قرار داده تا میزان ویتامین ث در آب میوه به دست آید.

۴۰ × F × حجم رنگ مصرفی = ویتامین ث (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر)

که F میلی‌گرم آسکوربیک اسید معادل میلی‌لیتر ایندوفنل است. میزان F با خواندن محلول استاندارد به دست آورده شد.

درصد مواد جامد محلول در مقیاس بریکس (Brix) با استفاده از قندسنج دستی (Refractometer) (ارما ساخت ژاپن) مورد ارزیابی قرار گرفت. به این صورت که یک قطره از آب میوه را روی قندسنج دستی قرار داده و درصد مواد جامد محلول در آن اندازه‌گیری شد.

اسید کل به روش تیتراسیون NaOH اندازه‌گیری شد. اسید غالب در توت فرنگی اسید سیتریک می‌باشد. در این روش، در ۱۰ میلی‌لیتر از آب میوه، ۵ تا ۶ قطره فنول فتالئین اضافه شد و سپس این ترکیب با استفاده از NaOH ۰/۳ نرمال تیتر شد تا تغییر رنگ اتفاق بیفتد. پس از آن، از فرمول زیر برای محاسبه اسید کل استفاده گردید:

= میلی‌گرم اسید غالب در ۱۰۰ سی‌سی از آب میوه

۱۰۰ × والانس گرم اسید غالب × نرمالیته سود × حجم سود مصرفی

۱۰۰۰ × وزن نمونه (آب میوه)

پس از جمع آوری داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی در سطح احتمال ۵٪ توسط نرم‌افزار SPSS 17 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که وزن اولین میوه در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل و بدون اوره به طور معنی‌داری نسبت به شاهد بیشتر بود (جدول۱). اگرچه افزایش سولفات نیکل تا غلظت ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر بدون اوره باعث افزایش معنی‌دار وزن اولین میوه نسبت به تیمار شاهد شد، اما وزن میوه را نسبت به تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل کاهش داد. هم‌چنین وزن دومین میوه در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل و بدون اوره نیز به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۱). اما در مورد وزن سومین میوه تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد (داده‌ها ارائه نشده‌اند). سولفات نیکل در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه ۲ گرم در لیتر اوره به طور معنی‌داری وزن اولین میوه را نسبت به شاهد افزایش داد. اما در حضور اوره، غلظت‌های بالاتر سولفات نیکل به طور معنی‌داری باعث افزایش وزن اولین میوه نسبت به شاهد نشدند. آنزیم اوره‌آز از جمله آنزیم‌هایی است که نیکل در آن نقش دارد. حضور نیکل در گیاه باعث افزایش فعالیت این آنزیم شده و باعث تجزیه اوره و قابل دسترس شدن نیتروژن بیشتر برای گیاه می‌شود. عدم افزایش معنی‌دار وزن اولین میوه با

جدول ۱. اثر محلول پاشی سولفات نیکل و اوره بر تعداد گل آذین در بوته، وزن اولین و دومین میوه، عملکرد و نسبت طول به قطر میوه توت فرنگی

نیکل (میلی گرم در لیتر)					
	۰	۱۵۰	۳۰۰	۴۵۰	
اوره (گرم در لیتر)		تعداد گل آذین			میانگین
۰	۳/۶۲abc	۲/۷۵ c	۴/۱۲ a	۴/۱ ab	۳/۶۴ A
۲	۳/۲۵ abc	۳/۶۲ abc	۳/۳۷ abc	۳ bc	۳/۳۱ A
میانگین	۳/۴۳ A	۳/۱۸ A	۳/۷۵ A	۳/۵۵ A	
اوره (گرم در لیتر)		وزن اولین میوه (گرم)			
۰	۱۰/۵۶ b	۱۵/۵۳ ab	۱۷/۳۱ a	۱۵/۸۸ a	۱۴/۸۲ A
۲	۱۳/۷۱ ab	۱۶/۵۲ a	۱۳/۱۱ ab	۱۳/۷۳ ab	۱۴/۲۶ A
میانگین	۱۲/۱۳ B	۱۶/۰۲ A	۱۵/۲۱ AB	۱۴/۸ AB	
اوره (گرم در لیتر)		وزن دومین میوه (گرم)			
۰	۷/۵۱ b	۱۰/۲۷ ab	۱۰/۶۳ a	۸/۹۶ ab	۹/۳۴ A
۲	۸/۳۲ ab	۷/۶۶ b	۸/۳۷ ab	۹/۰۱ ab	۸/۳۴ B
میانگین	۷/۹۱ A	۸/۹۶ A	۹/۵ A	۸/۹۸ A	
اوره (گرم در لیتر)		عملکرد (گرم)			
۰	۶۵/۵۹ b	۸۱/۸۳ ab	۱۰۶/۵۵ a	۷۹/۰۳ ab	۸۳/۲۵ B
۲	۸۳/۳۳ ab	۸۸/۱۷ ab	۱۰۵/۷۶ a	۷۶/۰۱ b	۸۸/۳۲ A
میانگین	۷۴/۴۶ B	۸۵/۰۱ B	۱۰۶/۱۵ A	۷۷/۵۲ B	
اوره (گرم در لیتر)		نسبت طول به قطر			
۰	۱/۰۷ b	۱/۲۷ a	۱/۱۲ ab	۱/۱۴ ab	۱/۱۵ A
۲	۱/۲۱ ab	۱/۱۷ ab	۱/۰۸ b	۱/۱۵ab	۱/۱۵ A
میانگین	۱/۱۴ AB	۱/۲۲ A	۱/۱ B	۱/۱۵ AB	

در هر ردیف و ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابهی (حروف کوچک برای میانگین‌ها و حروف بزرگ برای میانگین ردیف‌ها و ستون‌ها) هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون توکی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

افزایش نیکل در حضور اوره احتمالاً به این دلیل است که اوره بیشتری تجزیه شده، نیتروژن قابل استفاده بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفته، رشد رویشی گیاه بیشتر تحریک شده و وزن میوه‌ها افزایش نیافته است. یکی دیگر از آنزیم‌هایی که نیکل در آن نقش دارد استیل کوآنزیم A سینتاز و هیدروژناز می‌باشد (۳). نیکل یکی از ترکیبات اصلی کوآنزیم A سینتاز است که پیش‌ساز کوآنزیم A می‌باشد که نقش آن در سنتز و اکسیداسیون اسیدهای چرب و اکسیداسیون پیرووات در چرخه اسید سیتریک قابل ملاحظه است. بنابراین مقادیر کافی نیکل، شکل‌های کربن آلی مورد نیاز را در دسترس گیاه قرار می‌دهد (۲ و ۲۶).

هم‌چنین، نیکل در متحرک شدن ذخایر کربوهیدرات درون گیاه و ذخیره انرژی درون پیوندهای پر انرژی مؤثر است (۲۶) و همین دو عامل بر افزایش وزن میوه‌ها تأثیر دارند. پس تیمار

جدول ۲. اثر سولفات نیکل و اوره بر درصد مواد جامد محلول، اسید کل و ویتامین ث میوه توت فرنگی

نیکل (میلی‌گرم در لیتر)					
	۰	۱۵۰	۳۰۰	۴۵۰	
اوره (گرم در لیتر)	درصد مواد جامد محلول				میانگین
۰	۹ a	۸/۰۲ ab	۷/۳ ab	۶/۳ b	۷/۶۵ A
۲	۶/۲۶ b	۶/۷۲ b	۷/۹۵ ab	۶/۲۷ b	۶/۸ B
میانگین	۷/۶۳ A	۷/۳۷ A	۷/۶۲A	۶/۲۸ A	
اوره (گرم در لیتر)	اسید کل (میلی‌گرم در cc ۱۰۰ آب میوه)				
۰	۰/۵۵ bcd	۰/۷۱ ab	۰/۵۲ cd	۰/۶۴abc	۰/۶ A
۲	۰/۴۵ d	۰/۴۶ d	۰/۷۵ a	۰/۴۹ cd	۰/۵۴ A
میانگین	۰/۵ A	۰/۵۸ A	۰/۶۳ A	۰/۵۶ A	
اوره (گرم در لیتر)	ویتامین ث (میلی‌گرم در cc ۱۰۰ آب میوه)				
۰	۷۹/۴۲ab	۸۸/۶۶ a	۸۲/۲۱ ab	۷۰/۴ b	۸۰/۱۷ A
۲	۸۰ ab	۸۷/۵۶ a	۸۳/۰۵ ab	۸۰/۵۲ ab	۸۲/۷۸ A
میانگین	۷۹/۷۱ AB	۸۸/۱۱ A	۸۲/۶۳ AB	۷۵/۴۶ B	

در هر ردیف و ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابهی (حروف کوچک برای میانگین‌ها و حروف بزرگ برای میانگین ردیف‌ها و ستون‌ها) هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون توکی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

گیاهان با عنصر نیکل می‌تواند سبب افزایش وزن میوه‌ها گردد.

سولفات نیکل با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه غلظت‌های صفر و ۲ گرم در لیتر اوره نسبت به تیمار شاهد (بدون نیکل و اوره) افزایش معنی‌داری را در عملکرد داشت. با افزایش سولفات نیکل تا غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، عملکرد نیز افزایش یافت، در صورتی که میزان بیشتر سولفات نیکل (۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر) باعث کاهش عملکرد گردید (جدول۲).

نتایج حاصل از این پژوهش با پژوهش‌های انجام گرفته از زمان گذشته تا کنون در زمینه افزایش عملکرد محصولات با تیمار نیکل در تطابق است. نیکل یک کوفاکتور ضروری برای اوره‌آز است که در صورت کمبود نیکل، کاتابولیسم اوره‌اید تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین در دسترس بودن نیتروژن از ترکیبات نیتروژن ذخیره‌ای که برای فرایندهای رشد و نمو لازم است تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۸). در پژوهشی، نیکل عملکرد میوه و کیفیت و ویژگی‌های تغذیه‌ای میوه‌های گوجه‌فرنگی را افزایش داد (۱۴). گاد و همکاران (۵) نشان دادند که ۳۰ میلی‌گرم نیکل در هر کیلوگرم محیط شنی نه تنها می‌تواند عملکرد میوه گوجه‌فرنگی را افزایش دهد، بلکه باعث افزایش درصد مواد جامد محلول، ویژگی‌های فیزیکی میوه به همراه کاهش در مقادیر آمونیوم و نیترات نیز می‌شود. نستبای و همکاران (۱۲) نشان دادند که گیاهان توت فرنگی که تحت شرایط کمبود نیتروژن پرورش یافتند، کوچک با برگ‌های زرد رنگ بوده و هم‌چنین عملکرد کمی داشتند، که دلیل آن نامتعادل بودن مواد متابولیک است که در شرایط جذب کمتر نیتروژن، سنتز پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه محدود می‌شود و فتوسنتز، رشد و ترکیب شیمیایی بافت‌های گیاهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. هم‌چنین وقتی که میزان نیتروژن از مقدار مشخصی بالاتر رفت (3-6 mmol/L) عملکرد و اندازه میوه افزایش پیدا نکرد (۱۲).

طباطبایی و همکاران (۲۳) گزارش کردند که عملکرد توت

فرنگی با توجه به وزن میوه خشک و تر در هر گیاه به طور معنی‌داری در تیمارهای ۷۵:۲۵ و ۵۰:۵۰ (NO_3^-:NH_4^+) نسبت به تیمارهای ۱۰۰:۰و ۲۵:۷۵ (NO_3^-:NH_4^+) افزایش پیدا کرد و هم‌چنین این تیمارها باعث افزایش معنی‌دار اندازه میوه شده به طوری که در این تیمارها بزرگترین اندازه میوه به دست آمد.

تعداد گل در گل آذین در این آزمایش به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت (داده‌ها ارائه نشده‌اند). تیمارهای ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل و بدون اوره، بیشترین تعداد گل آذین در بوته را داشتند (جدول ۱).

در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل و بدون اوره، بیشترین نسبت طول به قطر در میوه‌ها به دست آمد. تیمار شاهد کمترین نسبت طول به قطر را در میوه‌ها داشت. در صورتی که افزایش بیشتر نیکل تأثیر منفی بر طول میوه داشت (جدول ۱). گاد و همکاران (۵) نشان دادند که کاربرد نیکل باعث افزایش ویژگی‌های فیزیکی میوه (طول، قطر، وزن تر و وزن خشک) گوجه‌فرنگی می‌شود.

با افزایش میزان سولفات نیکل، درصد مواد جامد محلول نیز کاهش پیدا کرد. به طوری که بیشترین درصد مواد جامد محلول در تیمار شاهد به دست آمد، که این میزان نسبت به تیمار ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل (بدون و با اوره) اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲). با افزایش میزان اوره، درصد مواد جامد محلول نیز کاهش پیدا کرد. این نتایج با یافته‌های طباطبایی و همکاران (۲۳) که گزارش کردند درصد مواد جامد محلول در گیاهان توت فرنگی که در شرایط بدون سایه رشد کرده بودند با افزایش نسبت NH_4^+ در محلول‌های غذایی افزایش می‌یابد مغایرت دارد.

تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل به اضافه ۲ گرم در لیتر اوره باعث افزایش معنی‌دار اسید کل گردید، که نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد (جدول ۲). علت این افزایش را ممکن است بتوان در خاصیت ضد اتیلنی عنصر نیکل جستجو نمود. نیکل یک کمپلکس آنزیم- فلز ایجاد می‌کند که همین موضوع باعث جلوگیری از عمل ACC-Oxidase می‌شود و در نتیجه اتیلن تولید نمی‌شود، یا حداقل تولید آن کاهش می‌یابد (۲۹). از آنجا که اتیلن نقش مهمی در فرایند رسیدن و پیر شدن میوه‌ها دارد، کاهش اتیلن باعث پیری دیرتر میوه‌ها می‌گردد. پس حضور یون نیکل می‌تواند سبب افزایش درصد اسیدیته میوه‌ها گردد.

تیمارهای ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل بدون اوره و ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل + ۲ گرم در لیتر اوره باعث افزایش معنی‌دار ویتامین ث نسبت به تیمار ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل بدون اوره گردید. علت این افزایش شاید در دسترس بودن بهتر ذخایر کربوهیدرات برای رشد و نمو بهتر میوه و در نتیجه تشکیل بیشتر ویتامین ث باشد. به طور کلی، با توجه به آزمایش‌های گذشته به نظر می‌رسد که تیمار نیکل و اوره توانایی افزایش ویتامین ث را داراست. به عنوان مثال، زو و همکاران (۲۷) نشان دادند که کاربرد نیکل به صورت خاکی می‌تواند سبب افزایش ویتامین ث میوه‌های کیوی شود. افزودن ۳۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک به طور معنی‌داری ویتامین ث میوه گوجه‌فرنگی را نسبت به شاهد افزایش داد (۵). محلول‌پاشی برگی درخت انگور با سولفات نیکل ۰/۰۱ درصد توانست ویتامین ث میوه‌ها را در حدود ۲۰٪ افزایش دهد (۷). در مطالعه‌ای دیگر، میشرا و کار (۱۰)، تأثیر نمک‌های نیکل و عناصر دیگر را بر پایداری اسید آسکوربیک در محیطی با آب، اسید کلریدریک، اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم مورد مطالعه قرار دادند. در محلول‌های آب و اسید کلریدریک، نیکل بیشترین تأثیر را بر ویتامین ث داشت. هم‌چنین، طباطبایی و همکاران (۲۳) گزارش کردند که کمبود نیتروژن باعث کاهش اسید سیتریک و اسید آسکوربیک می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر محلول‌پاشی سولفات نیکل و اوره بر رشد زایشی، عملکرد و برخی از ویژگی‌های کیفی میوه توت فرنگی مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده، با محلول‌پاشی سولفات نیکل و اوره، بیشترین میزان عملکرد و

وزن اولین میوه به دست آمد. هم‌چنین نتایج به دست آمده نشان داد که غلظت‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل مؤثرتر بودند. در مجموع، محلول‌پاشی با ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات نیکل همراه با ۲ گرم در لیتر اوره برای افزایش عملکرد توت فرنگی پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Andreeva, I., V. Govorina, S. Vinogradov and B. Yagodin. 2001. Nickel in plants. Agric. Chem. 3: 82-94.
2. Bai, C., C. C. Reilly and B. W. Wood. 2006. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids and organic acids of young pecan foliage. Plant Physiol. 140: 433-443.
3. Brown, P. H. 2007. Nickel. PP. 395-402. *In*: Barker, A. V. and D. J. Pilbean (Eds.), Handbook of Plant Nutrition, CRC, Taylor and Francis, New York, USA.
4. Cordenunci, B. R., J. R. O. Nascimento and F. M. Lajolo. 2003. Physicochemical changes related to quality of fine strawberry fruit cultivars during cool-storage. Food Chem. 83: 167-173.
5. Gad, N., M. H. Elsherif and M. H. Elgereed. 2007. Influence of nickel on some physiological aspects of tomato plants. Australian J. Basic Appl. Sci. 1(3): 286-293.
6. Gerendas, J. and B. Sattelmacher. 1999. Influence of Ni supply on growth and nitrogen metabolism of *Brassica napus* L. grown with NH_4NO_3 or urea as N source. Annals of Bot. 83: 65-71.
7. Hyde, J. M., J. B. Layfield and S. Weaver. 2005. Effects of foliar application of nickel sulfate on grape growth and development. Can. J. Appl. Sci. 21(2): 257-273.
8. Kotsiras, A., C. M. Olympios, J. Drosopoulos and H. C. Passam. 2002. Effect of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruit. J. Am. Soc. Hort. Sci. 95: 175-183.
9. Mengel, K. and E. Kirkby. 1978. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, 593 p.
10. Mishra, D. and M. Kar. 1974. Nickel in plant growth and metabolism. Bot. Rev. 40: 395-452.
11. Mordy, A. and A. Aly. 1999. Effect of nickel addition on yield and quality of parsley leaves. Sci. Hort. 82(1-2): 9-24.
12. Nestby, R., F. Lieten, D. Pivot, C. Raynal-Lacroix and M. Tagliavini. 2005. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs: A review. Intl. J. Fruit Sci. 5: 141-158.
13. Neuweiler, R. 1997. Nitrogen fertilization in integrated outdoor strawberry production. Acta Hort. 439: 747-751.
14. Ozores-Hampton, M. E., H. Hanlon, H. Bryan and B. Schaffer. 1999. Cadmium, copper, lead, zinc and nickel concentration in tomato and squash growth. Compost Sci. 5(4): 40-45.
15. Papadopoulos, I. 1987. Nitrogen fertigation of greenhouse-grown strawberries. Fert. Res. 13: 269-276.
16. Perez, A., R. Olias, J. Espada, J. Olias and C. Sanz. 1997. Rapid determination of sugars, nonvolatile acids, and ascorbic acid in strawberry and other fruits. J. Agric. Food Chem. 45: 3545-3549.
17. Polacco, J. C. and M. A. Holland. 1994. Genetic control of plant urease. PP. 33-48. *In*: Setlow, J. K. (Ed.), Genetic Engineering (Vol. 16), Plenum Press, New York, USA.
18. Schubert, K. R. and M. J. Bolund. 1990. The ureides. Biol. Chem. 16: 197-283.
19. Schuman, G. E., A. M. Stanley and D. Knudsen. 1973. Automated total nitrogen analysis of soil and plant samples. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 37: 480-481.
20. Sengar, R. S., S. Guta, M. Gautam, A. Sarma and K. Sengar. 2008. Occurrence, uptake, accumulation and physiological responses of nickel in plants and its effect on environment. Res. J. Phytochem. 2(2): 44-60.
21. Sonsteby, A., N. Opstad, U. Myrheim and M. O. Heide. 2009. Interaction of short day and timing of nitrogen fertilization on growth and flowering of 'Korona' strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). Sci. Hort. 123: 204-209.
22. Tabatabaei, S. J., L. Fatemi and E. Fallahi. 2006. Effect of ammonium:nitrate ratio on yield, calcium concentration, and photosynthesis rate in strawberry. J. Plant Nutr. 29: 1273-1285.
23. Tabatabaei, S. J., M. Yusefi and J. Hajiloo. 2008. Effects of shading and NO_3:NH_4 ratio on the yield, quality and N metabolism in strawberry. Sci. Hort. 116: 264-272.
24. Ting, S. U. and L. Russeff. 1981. Citrus Fruits and Their Products Analysis Technology. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
25. Witte, C. P., S. A. Tiller, M. A. Taylor and H. V. Davies. 2002. Leaf urea metabolism in potato: Urease activity profile and patterns of recovery and distribution of ^{15}N after foliar urea application in wild-type and urease-antisense transgenics. Plant Physiol. 128: 1129-1136.

26. Wood, B. W. and C. C. Reilly. 2007. Nickel and plant disease. PP. 351-402. *In:* Datnoff, L. E., W. H. Elmber and D. M. Huber (Eds.), Mineral Nutrition and Plant Disease, 1st Ed., APS Press, Minneapolis, USA.
27. Xu, L. L., W.Y. Wang and Z. Z. Zhang. 1997. Effect of nickel amended soil on some physiological aspects and growth parameters of 'Hardi' kiwi fruits. J. Plant Nutr. 20(12): 1773-1775.
28. Yoshida, Y., T. Goto, M. Hirai and M. Masuda. 2002. Anthocyanin accumulation in strawberry fruits as affected by nitrogen nutrition. Acta Hort. 567: 357-360.
29. Zhang, Q., A. Nakatsuka, T. Matsumoto and H. Itamara. 2006. Preharvest nickel application to calyx of 'Saijo' persimmon fruit prolongs postharvest shelf-life. Postharvest Biol. Technol. 42(1): 98-103.