تأثیر سطوح مختلف نیتروژن، پتاسیم و منیزیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه توت‌فرنگی در محیط کشت هیدروپونیک

بهناز گنجه‌ای* و احمد گلچین[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۹/۸)

چکیده

به منظور مطالعه تأثیر نیتروژن، پتاسیم و منیزیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه توت‌فرنگی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل سه سطح نیتروژن (۱۱۰، ۲۲۰ و ۳۳۰ میلی‌گرم در لیتر)، سه سطح پتاسیم (۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ میلی‌گرم در لیتر) و سه سطح منیزیم (۱۲، ۲۴ و ۴۸ میلی‌گرم در لیتر) بودند که در محیط کشت هیدروپونیک روی گیاه توت‌فرنگی رقم گاویتا اعمال گردیدند. عملکرد، تعداد میوه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه توت‌فرنگی در هر تیمار اندازه‌گیری گردید. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و شاخص‌های رشد توت‌فرنگی دارد. با افزایش مقدار نیتروژن، عملکرد میوه کاهش یافت، به طوری که بیشترین مقدار عملکرد از سطح ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن به‌دست آمد. سطوح پتاسیم بر عملکرد و شاخص‌های مورد مطالعه، بجز تعداد میوه، تأثیر معنی‌داری داشت و با افزایش مقدار پتاسیم، عملکرد میوه کاهش یافت. بیشترین مقدار عملکرد میوه از مصرف ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم به‌دست آمد. سطوح منیزیم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی داشت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد از مصرف ۲۴ میلی‌گرم در لیتر منیزیم به‌دست آمد. تمامی آثار متقابل بر عملکرد و شاخص‌های رشد توت‌فرنگی معنی‌دار بود و بیشترین عملکرد از مصرف توأم ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن، ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و ۲۴ میلی‌گرم در لیتر منیزیم محلول غذایی به‌دست آمد. به طور کلی، این سطوح برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد توت‌فرنگی در محیط‌های هیدروپونیک توصیه می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: توت‌فرنگی، عملکرد، پتاسیم، منیزیم، نیتروژن

مقدمه

امروزه در جهان بیش از نیمی از محصولات گلخانه‌ای به روش آبکشت تولید می‌شوند. سیستم کشت گلخانه‌ای بدون خاک یا هیدروپونیک، امکان کنترل هر چه بهتر تغذیه گیاهان را فراهم آورده و تحول شگرفی در عرضه محصولات گلخانه‌ای، از جمله توت‌فرنگی، ایجاد کرده است. توت‌فرنگی با نام علمی *ananassa Fragaria* یکی از ریزمیوه‌های مناطق معتدله است، که به دلیل غنی بودن از انواع ویتامین‌ها و عناصر معدنی طرفداران زیادی دارد. وضعیت تغذیه گیاه توت‌فرنگی علاوه بر عملکرد، به شدت کیفیت و ماندگاری محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نیتروژن مهمترین عنصر در تغذیه گیاهان است و کمبود آن یکی از عوامل محدود کننده رشد و نمو به حساب می‌آید (۷). مطالعات بی‌شماری که برای بررسی تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی انجام شده است نشان می‌دهد که پاسخ

۱. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ابهر

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: behnazganjehi@gmail.com

ارقام مختلف متفاوت می‌باشد (۱۴ و ۲۲). ماکن و همکاران (۱۶) با بررسی تأثیر سطوح نیتروژن از ۱۵۰ تا۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر محصول توت‌فرنگی بیان کردند که افزایش سطوح نیتروژن باعث کاهش عملکرد می‌شود. پتاسیم به دلیل نقشی که در رشد و توسعه سلول‌های گیاهی (۲۱ و ۲۳)، ایجاد تورژسانس سلولی، باز و بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه حفظ آب در گیاه (۱۰) و سنتز انواع کربوهیدرات‌ها (شکر، نشاسته و گلوکز) دارد تأثیر مهمی بر رشد و نمو، عملکرد و کیفیت محصول گیاهان می‌گذارد (۱۱). مصرف کافی پتاسیم موجب افزایش قند و بهبود طعم میوه توت‌فرنگی شده و مقدار ویتامین ث و قابلیت نگه‌داری میوه آن را افزایش می‌دهد (۱۱).

منیزیم یک بخش ضروری از مولکول کلروفیل بوده و در تعدادی از آنزیم‌ها، مانند ترانس فسفوریلاز (Transphosphorylase)، دهیدروژناز (Dehydrogenase) و کربوکسیلاز (Carboxylase) به عنوان یک کوفاکتور عمل می‌کند. هم‌چنین منیزیم به ایجاد قندها، روغن‌ها، چربی‌ها و زنجیره‌های پلی پپتیدی از اسیدهای آمینه کمک می‌کند (۹ و ۲۳). ولی استفاده بیش از حد از کودهای منیزیمی از یک طرف تعادل بین منیزیم و پتاسیم و از طرف دیگر تعادل بین منیزیم و کلسیم را به هم می‌زند و باعث کاهش جذب پتاسیم و کلسیم شده و کیفیت میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۱). لامارا و لارو (۱۴) نشان دادند که افزایش سطوح نیتروژن و منیزیم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد توت‌فرنگی نداشت و افزایش زیاد غلظت محلول غذایی باعث افزایش شوری محلول غذایی گردید که کاهش عملکرد و وزن خشک اندام هوایی گیاه را به همراه داشت. با توجه به این‌که تعادل عناصر غذایی در محیط کشت از فاکتورهای مؤثر در تولید محصول به شمار می‌آید و نیاز غذایی ارقام مختلف توت‌فرنگی متفاوت است، لذا تعیین سطوح بهینه عناصر غذایی در محلول غذایی در سیستم‌های آبکشت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل، هدف از این پژوهش یافتن سطوح مناسب نیتروژن، پتاسیم و منیزیم در محلول غذایی برای پرورش گیاه توت‌فرنگی رقم گاویتا و دستیابی به عملکرد و کیفیت مناسب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه تأثیر نیتروژن، پتاسیم و منیزیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه توت‌فرنگی، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی با ۲۷ تیمار و در سه تکرار به‌صورت گلخانه‌ای اجرا گردید. تیمارها شامل سه سطح نیتروژن (۱۱۰، ۲۲۰ و ۳۳۰ میلی‌گرم در لیتر)، سه سطح پتاسیم (۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ میلی‌گرم در لیتر) و سه سطح منیزیم (۱۲، ۲۴ و ۴۸ میلی‌گرم در لیتر) بودند که روی گیاه توت‌فرنگی رقم گاویتا اعمال گردیدند. برای تهیه محلول‌های غذایی مختلف از محلول غذایی اپستین با نصف قدرت یونی به عنوان محلول غذایی پایه استفاده شد. سپس با افزودن نیترات آمونیوم، سولفات پتاسیم و سولفات منیزیم به این محلول غذایی سطوح نیتروژن، پتاسیم و منیزیم در حد دلخواه تنظیم گردیدند. نشاهای توت‌فرنگی در مرحله ۴ برگی، از گلخانه‌ای واقع در شهرک گلخانه‌ای هشتگرد تهیه گشت. سپس به گلدان‌های ۶ کیلویی حاوی پرلیت (دانه متوسط) منتقل گردیدند و پس از استقرار با محلول‌های غذایی مختلف آبیاری شدند. برای آبیاری گلدان‌ها تا مرحله استقرار بوته‌ها (دو هفته پس از انتقال نشاها به گلدان‌ها) از محلول غذایی اپستین استفاده گردید. برای تهیه محلول غذایی اپستین طبق جدول ۱، ابتدا محلول‌های A، B و C به طور جداگانه و به عنوان محلول ذخیره تهیه و سپس از هر کدام از آنها به اندازه ذکر شده در جدول ۱ برداشته و با هم مخلوط گردید و در نهایت به حجم یک لیتر رسانده شدند.

آبیاری گلدان‌ها تا پایان فصل رشد با محلول‌های غذایی مختلف که حاوی تیمارهای مورد مطالعه بودند انجام شد. حجم محلول غذایی مصرفی در هر نوبت به گونه‌ای بود که شستشوی اندکی در گلدان‌ها به منظور جلوگیری از افزایش شوری اتفاق بیفتد. در طی فصل رویش، مراقبت‌های زراعی از گلدان‌ها به عمل آمد و دمای گلخانه در روز ۲۰-۲۵ درجه و در شب ۱۳-۱۸ درجه سلسیوس تنظیم گردید. پس از رسیدن میوه‌ها و

جدول ۱. ترکیب محلول غذایی اپستین

ترکیب	غلظت محلول ذخیره (گرم در لیتر)	نوع محلول	حجم محلول ذخیره در لیتر محلول نهایی (میلی‌لیتر)
KNO_3	۱۰۱/۱۰	A	۶/۰
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	۲۳۶/۱۶		۴/۰
$NH_4H_2PO_4$	۱۱۵/۰۸		۲/۰
$MgSO_4.7H_2O$	۲۴۶/۴۹		۱/۰
KCl	۳/۷۲۸	B	۱/۰
H_3BO_3	۱/۵۴۶		
$MnSO_4.H_2O$	۰/۳۳۸		
$ZnSO_4.7H_2O$	۰/۵۷۵		
$CuSO_4.5H_2O$	۰/۱۲۵		
H_2MoO_4(85% MoO_4)	۰/۰۸۱		
Fe-EDTA	۰/۹۲۲	C	۱/۰

برداشت آنها، میوه‌های هر تیمار وزن و تعداد آنها شمارش گردید. وزن کل میوه‌ها و تعداد کل آنها طی برداشت‌های مختلف در پایان فصل به عنوان عملکرد (گرم در گلدان) و تعداد میوه در بوته برای آن تیمار گزارش و برای آنالیز آماری مورد استفاده قرار گرفت. در پایان آزمایش، وزن تر اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری و برای تعیین وزن خشک آنها، این اندام‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس درون آون خشک شدند. اطلاعات به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

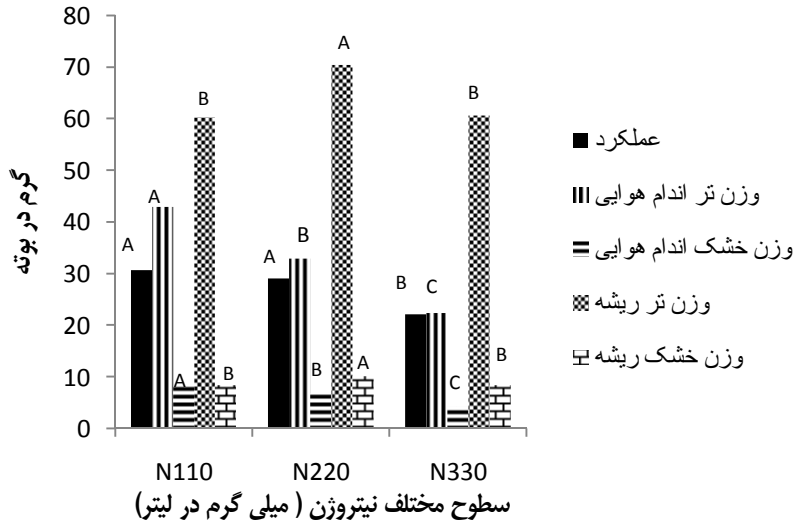
نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که سطوح نیتروژن بر عملکرد، تعداد میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه تأثیر معنی‌داری دارد (جدول ۲). بیشترین عملکرد، تعداد میوه، وزن تر و خشک اندام هوایی از مصرف ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن به‌دست آمد و افزایش سطح نیتروژن به بالاتر از این سطح سبب کاهش این پارامترها شد. ولی بیشترین وزن تر و خشک ریشه از مصرف ۲۲۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن به‌دست آمد (شکل‌های ۱ و ۲). کاشی و همکاران (۳) گزارش کردند که افزایش نیتروژن به بیش از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سبب کاهش عملکرد، تعداد میوه و ماده خشک توت‌فرنگی شد. یکی از علل افزایش عملکرد با کاربرد نیتروژن توسعه مناسب اندام‌های هوایی طی دوره رشد، استفاده مفید از نور خورشید و افزایش مواد فتوسنتزی در گیاه می‌باشد. با افزایش سطح برگ تا حد مطلوب، میزان عملکرد بالا می‌رود. در حالی‌که افزایش زیاد تعداد و سطح برگ‌ها با مصرف زیاد نیتروژن باعث سایه اندازی برگ‌ها روی یکدیگر شده و کاهش فتوسنتز معمولاً عامل محدود کننده تولید می‌شود (۱). پاپادوپلوس (۱۹) در آزمایشی با سطوح مختلف نیتروژن از ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، به این نتیجه رسید که مصرف نیتروژن به مقدار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، عملکرد توت‌فرنگی را افزایش می‌دهد و عملکرد این تیمار کمی بهتر از تیمار حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در لیتر است. ولی در سطح بالاتر نیتروژن، یعنی ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، عملکرد به طور معنی‌داری کاهش پیدا

جدول۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه توت‌فرنگی

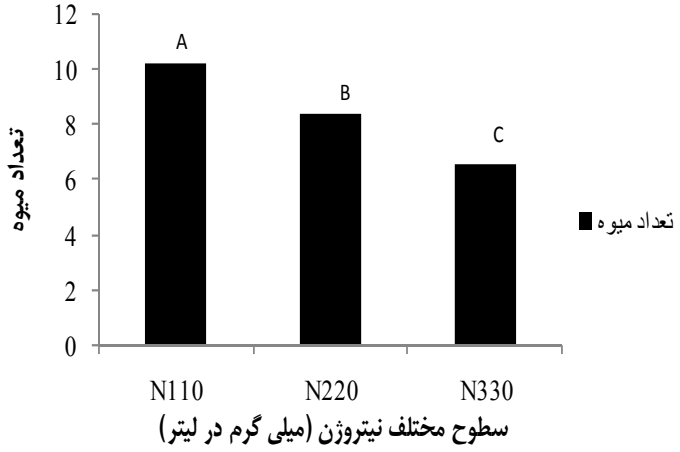
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن میوه	تعداد میوه در بوته	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه
سطوح نیتروژن (N)	۲	۵۵۳/۴۶۵*	۹۲/۵۹۳**	۱۱۴/۵۵۸**	۲۷/۷۰۹*	۲۸۳۴/۸۹۱**	۸۸۷/۷۴۰**
سطوح پتاسیم (K)	۲	۵۱۲/۱۹۶**	۶/۴۸۱^{ns}	۸/۷۹۹*	۵۰/۷۹۲**	۲۶۰/۸۳۸**	۱۵۶۶/۴۸۴**
سطوح نیتروژن × پتاسیم	۴	۹۵/۳۳۸**	۹۶/۲۹۶**	۲۶/۲۸۸**	۵۵/۱۹۳**	۵۸۶/۴۱۷**	۲۵۵۴/۴۶۷**
سطوح منیزیم (Mg)	۲	۱۹۴/۷۸۱**	۱۲/۰۳۷^{ns}	۲۳/۸۲۳**	۱۶/۴۱۷^{ns}	۸۷۷/۹۷۶**	۲۸۱/۲۳۴^{ns}
سطوح نیتروژن × منیزیم	۴	۱۸۰/۷۸۶**	۱۸/۵۱۹**	۱۸/۷۱۵**	۷۱/۰۸۹**	۷۵۵/۳۱۸**	۹۳۲/۷۳۹**
سطوح پتاسیم × منیزیم	۴	۱۶۷/۶۶۷**	۲۹/۶۳۰**	۶/۲۷۰^{ns}	۴۳/۹۱۵**	۲۳۴/۹۱۸**	۳۰/۶۳۰**
سطوح‌نیتروژن×پتاسیم×منیزیم	۸	۱۷۱/۰۶۹**	۴۱/۶۶۷**	۲۷/۱۵۴**	۵۹/۵۷۹**	۶۸۶/۲۸۰**	۱۷۴۲/۲۶۷**
خطا	۸۰	۲۲/۱۷۲	۴/۰۱۲	۲/۵۱۹	۶/۰۷۲	۴۱/۴۵۹	۱۳۱/۰۸۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۷/۲۶	۲۴/۰۴	۲۴/۹۵	۲۷/۷۹	۱۹/۶۹	۱۹/۹۷

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



شکل ۱. اثر سطوح مختلف نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری شده

می‌کند که با نتایج به‌دست آمده در این آزمایش مطابقت دارد. کانتلف و همکاران (۸) با بررسی تأثیر سطوح مختلف نیتروژن (۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن) بر عملکرد توت‌فرنگی مشاهده نمودند که با کاهش سطوح نیتروژن در محلول غذایی کاهشی در عملکرد توت‌فرنگی مشاهده نشد. آنها استفاده از سطوح ۴۰-۸۰ میلی‌گرم نیتروژن در لیتر را



شکل ۲. اثر سطوح مختلف نیتروژن بر تعداد میوه

برای کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی و دستیابی به عملکرد بیشتر و میوه با کیفیت بهتر توصیه نمودند. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که مرحله رشد رویشی و مراحل اولیه رشد زایشی گیاه توت‌فرنگی از مراحل بسیار حساس به شوری است. ولی مراحل گل‌دهی و رسیدگی میوه به ترتیب از حساسیت کمتری برخوردارند. در نتیجه، زمانی که گیاه به مرحله رشد زایشی وارد می‌شود، تنش شوری می‌تواند در بسیاری از فرایندهای خاص این مرحله که برای حصول به حداکثر عملکرد مورد نیاز است اختلال ایجاد نماید و باعث کاهش عملکرد و تعداد میوه شود (۴). به همین دلیل، غلظت‌های زیاد مواد غذایی در محیط کشت هیدروپونیک گیاه توت‌فرنگی که باعث افزایش شوری محلول غذایی می‌شود، عملکرد را کاهش می‌دهند.

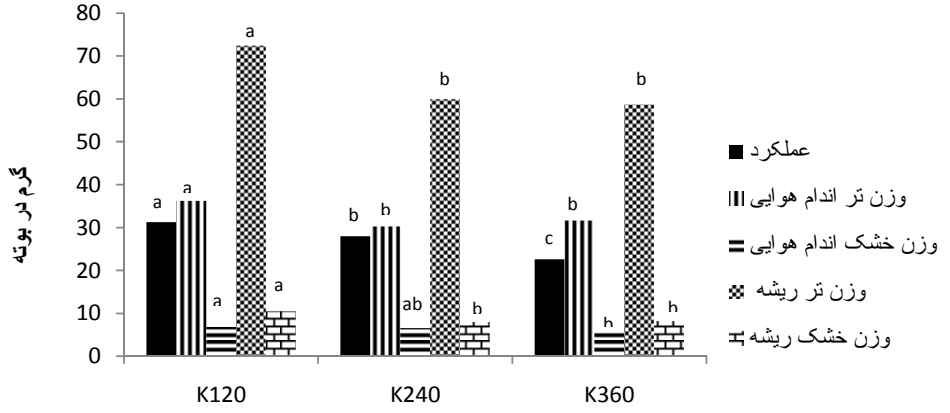
پتاسیم

اثر سطوح مختلف پتاسیم بر عملکرد، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه معنی‌دار است، اما بر تعداد میوه تأثیر معنی‌داری ندارند (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه از سطح ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم به‌دست آمد و کمترین مقدار این صفات به تیمار ۳۶۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم تعلق داشت (شکل ۳). جذب عناصر اصلی غذایی مثل Mg^{+2}، Ca^{+2} و NH_4^+ در نتیجه مصرف زیاد پتاسیم به شدت کاهش می‌یابد (۴). به هم خوردن تعادل عناصر غذایی و افزایش شوری در محیط ریشه باعث کاهش فتوسنتز و وزن خشک گیاه می‌شود (۲). به‌طوری‌که مشاهده شد، در این آزمایش هم با افزایش سطوح پتاسیم، از عملکرد و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه کاسته شد. لوکاسیو و ساکسنا (۱۵) در بررسی تأثیر سطوح مختلف پتاسیم از صفر تا ۱۳۰ کیلو گرم در هکتار روی گیاه توت‌فرنگی بیان کردند که با افزایش میزان مصرف پتاسیم به ۱۳۰ کیلو گرم در هکتار کاهش معنی‌داری در عملکرد مشاهده شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

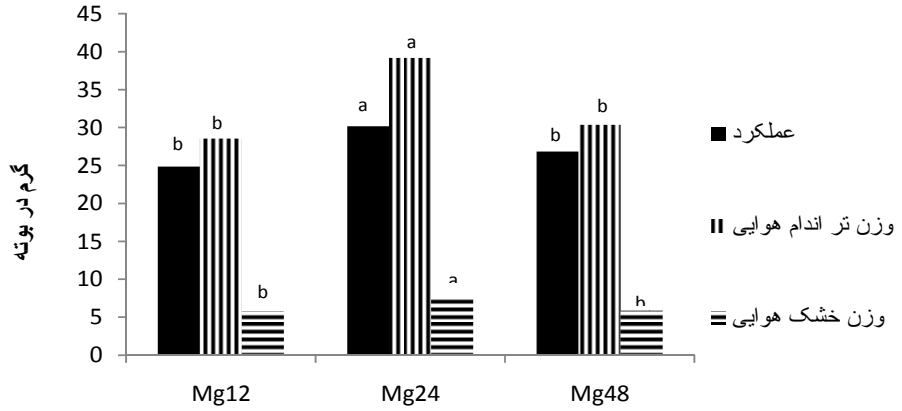
منیزیم

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر سطوح مختلف منیزیم بر عملکرد و وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۲)، ولی بر تعداد میوه و وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار نبود. بیشترین عملکرد و وزن تر و خشک اندام هوایی از مصرف ۲۴ میلی‌گرم در لیتر منیزیم به‌دست آمد، در حالی که کمترین عملکرد و وزن تر و خشک اندام هوایی از تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر منیزیم حاصل گردید (شکل ۴).

اثر متقابل نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد، تعداد میوه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد از تیمار ۲۲۰ میلی‌گرم در



شکل۳. اثر سطوح مختلف پتاسیم بر صفات اندازه‌گیری شده



شکل۴. اثر سطوح مختلف منیزیم بر صفات اندازه‌گیری شده

لیتر نیتروژن + ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم به‌دست آمد که با تیمار ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن + ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین تعداد میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی به تیمار N۱۱۰K۱۲۰ تعلق داشت. ولی بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه در تیمار N۳۳۰K۱۲۰ حاصل شد. کمترین مقدار عملکرد، تعداد میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی از تیمار N۳۳۰K۳۶۰ به‌دست آمد و کمترین وزن تر و خشک ریشه به تیمار N۳۳۰K۲۴۰ تعلق داشت که اختلاف معنی‌داری با تیمار N۳۳۰K۳۶۰ نداشت (جدول ۳).

نتایج نشان می‌دهد که وزن تر و خشک ریشه با افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی افزایش ولی با افزایش غلظت پتاسیم محلول غذایی کاهش می‌یابد. هم‌چنین بخش هوایی گیاه در مقایسه با ریشه به شوری محلول غذایی حساسیت بیشتری دارد. در شرایط شور، معمولاً کاهش وزن خشک اندام هوایی گیاه مشاهده می‌شود که علت آن احتمالاً کاهش تعداد برگ‌های تشکیل شده در محور اصلی و جلوگیری از فعالیت جوانه‌های جانبی می‌باشد. هم‌چنین این کاهش وزن ممکن است به‌دلیل توقف رشد یا مردن بافت‌ها باشد که به‌صورت نکروزه شدن و

جدول۳. اثر متقابل سطوح نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه توت‌فرنگی

سطوح نیتروژن و پتاسیم (میلی‌گرم در لیتر)	عملکرد میوه (گرم در بوته)	تعداد میوه در بوته	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	وزن تر اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن تر ریشه (گرم در بوته)
N۱۱۰K۱۲۰	۳۱/۵۷ab	۱۳/۸۹a	۱۰/۴۴a	۹/۱۱bc	۵۶/۵۸a	۶۱/۷۷cd
N۱۱۰K۲۴۰	۳۰/۳۸b	۶/۶۶c	۷/۴۴b	۸/۸۳bcd	۳۵/۰۶bc	۶۲/۲۲bcd
N۱۱۰K۳۶۰	۲۹/۹۶b	۱۰b	۶/۷۲b	۶/۸۸cde	۳۶/۸۹b	۵۴/۷۵de
N۲۲۰K۱۲۰	۳۵/۲۸a	۶/۱۱c	۵/۱۱c	۹/۴۴bc	۲۸/۶۷cd	۶۵/۰۶bcd
N۲۲۰K۲۴۰	۲۹/۲۶b	۱۱/۶۷b	۸/۲۲b	۹/۳۸bc	۳۳/۳۹bc	۷۴/۲۲b
N۲۲۰K۳۶۰	۲۲/۷۳c	۷/۲۲c	۶/۸۸b	۱۱/۲۸ab	۳۶/۶۱b	۷۱/۶۷bc
N۳۳۰K۱۲۰	۲۶/۸۷bc	۶/۱۱c	۴/۹۱c	۱۲/۷۸a	۲۳/۳۲de	۹۰/۵۷a
N۳۳۰K۲۴۰	۲۴/۳۷c	۷/۲۲c	۳/۹۴c	۵/۶۳e	۲۲/۲۹de	۴۱/۲۵f
N۳۳۰K۳۶۰	۱۵/۱۷d	۶/۱۱c	۳/۵۵c	۶/۴۴de	۲۱/۴۴e	۴۹/۷۶ef

میانگین‌هایی که در هر ستون یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول۴. اثر متقابل سطوح نیتروژن و منیزیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد در گیاه توت‌فرنگی

سطوح نیتروژن و منیزیم (میلی‌گرم در لیتر)	عملکرد میوه (گرم در بوته)	تعداد میوه در بوته	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	وزن تر اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن تر ریشه (گرم در بوته)
N۱۱۰Mg۱۲	۲۵/۴۴c	۷/۷۷bc	۷/۳۸b	۸/۲۷bcd	۳۶/۴۷b	۶۴/۳۳a
N۱۱۰Mg۲۴	۳۷/۸۳a	۱۱/۶۷a	۱۰/۸۳a	۹/۳۸bc	۶۰/۵۰a	۶۹/۴۴a
N۱۱۰Mg۴۸	۲۸/۶۴bc	۱۱/۱۱a	۶/۳۸bc	۷/۱۶cde	۳۱/۵۹bc	۴۶/۹۶c
N۲۲۰Mg۱۲	۳۱/۵۷b	۸/۸۸b	۶/۷۷b	۱۰/۶۷ab	۳۱/۷۵bc	۷۰/۲۸a
N۲۲۰Mg۲۴	۲۸/۰۷bc	۷/۲۲bc	۷/۳۸b	۱۰/۱۷b	۳۴/۴۷b	۷۲/۳۹a
N۲۲۰Mg۴۸	۲۷/۶۲bc	۸/۸۸b	۶/۰۵bc	۹/۲۷bc	۳۲/۴۴bc	۶۸/۲۸a
N۳۳۰Mg۱۲	۱۷/۵۵d	۶/۱۱c	۳/۱۹e	۶/۶۳de	۱۷/۳۸e	۵۰/۸۱bc
N۳۳۰Mg۲۴	۲۴/۶۲c	۶/۶۶c	۴/۱۱de	۵/۳۸e	۲۲/۶۱de	۶۰/۴۳ab
N۳۳۰Mg۴۸	۲۴/۲۴c	۶/۶۶c	۵/۱۱cd	۱۲/۸۳a	۲۷/۰۷cd	۷۰/۳۴a

سوختن حاشیه برگ‌ها و از بین رفتن آنها نمایان می‌گردد. مطالعات نشان می‌دهد که رشد گیاه با افزایش شوری به صورت خطی کاهش می‌یابد (۴).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر متقابل نیتروژن و منیزیم بر عملکرد، تعداد میوه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد، تعداد میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی از تیمار N۱۱۰Mg۲۴ به‌دست آمد (جدول ۴). ولی

جدول ۵. اثر متقابل سطوح پتاسیم و منیزیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه توت‌فرنگی

سطوح پتاسیم و منیزیم (میلی‌گرم در لیتر)	عملکرد میوه (گرم در بوته)	تعداد میوه در بوته	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	وزن تر اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن تر ریشه (گرم در بوته)
K۱۲۰Mg۱۲	۲۷/۶۲bcd	۷/۲۲b	۵/۳۵c	۹/۵۵b	۲۵/۶۸c	۶۹/۵۰ab
K۱۲۰Mg۲۴	۳۹/۳۷a	۱۱/۱۱a	۸/۵۰a	۸/۳۸bc	۴۷/۲۲a	۷۴/۹۶a
K۱۲۰Mg۴۸	۲۶/۷۳bcd	۷/۷۷b	۶/۶۱bc	۱۳/۳۹a	۳۵/۶۷b	۷۲/۹۳a
K۲۴۰Mg۱۲	۲۵/۱۹cde	۷/۷۷b	۶/۷۷bc	۴/۸۰bc	۲۹/۵۰bc	۵۷/۹۴bc
K۲۴۰Mg۲۴	۲۷/۸۰bc	۷/۲۲b	۷/۵۰ab	۹/۷۲b	۳۵/۷۸b	۶۴/۱۷abc
K۲۴۰Mg۴۸	۳۱/۰۲b	۱۰/۵۶a	۵/۳۳c	۶/۳۳c	۲۵/۴۶c	۵۷/۵۸bc
K۳۶۰Mg۱۲	۲۱/۷۶e	۷/۷۷b	۵/۲۲c	۸/۲۲bc	۳۰/۴۲bc	۵۷/۹۷bc
K۳۶۰Mg۲۴	۲۳/۳۴cde	۷/۲۲b	۶/۳۳bc	۶/۸۳c	۳۴/۵۸b	۶۳/۱۴abc
K۳۶۰Mg۴۸	۲۲/۷۶de	۸/۳۳b	۵/۶۱c	۹/۵۵b	۲۹/۹۴bc	۵۵/۰۶c

میانگین‌هایی که در هر ستون یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

بیشترین وزن خشک ریشه به تیمار N۳۳۰Mg۴۸ تعلق داشت و بالاترین وزن تر ریشه از تیمار N۲۲۰Mg۲۴ حاصل گردید که اختلاف معنی‌داری با تیمار N۳۳۰Mg۴۸ نداشت. کمترین مقدار عملکرد، تعداد میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه از تیمار N۳۳۰Mg۱۲ به‌دست آمد (جدول ۴). افزایش غلظت محلول غذایی باعث افزایش شوری می‌شود و این امر ممکن است حجم و وزن ریشه را برای جذب آب بیشتر افزایش دهد. ولی ییلدیریم و همکاران (۲۴) گزارش کردند که وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه توت‌فرنگی در تیمارهای تحت تنش شوری به شدت کاهش یافت که با نتایج به‌دست آمده در این آزمایش هماهنگی ندارد. تداوم تنش شوری سبب کاهش رشد برگ‌ها می‌شود زیرا مقدار زیادی نمک به برگ‌های جدید منتقل و باعث بسته شدن روزنه‌های هوایی و کاهش فعالیت فتوسنتزی در گیاه می‌شود که این امر در گیاهان علفی کاهش سطح برگ و کاهش وزن خشک برگ‌ها را به دنبال دارد. این مسئله هم‌چنین شروع پیری زودرس برگ‌ها، نکروزه شدن و ریزش آنها را تسریع می‌کند. در نهایت، شوری می‌تواند رشد ریشه را متوقف و ظرفیت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از بستر کشت به اندام‌های هوایی را کاهش دهد. برخی از گونه‌های گیاهی در واکنش به شوری رشد ریشه‌های خود را افزایش داده و بدین طریق به بقای خویش ادامه می‌دهند. ولی در برخی از گیاهان دیگر، رشد ریشه در شرایط شور کاهش می‌یابد (۴).

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل پتاسیم و منیزیم بر عملکرد، تعداد میوه و وزن تر اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۲). ولی بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار عملکرد، تعداد میوه، وزن تر اندام هوایی و ریشه از سطح ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم + ۲۴ میلی‌گرم در لیتر منیزیم به‌دست آمد. ولی بیشترین مقدار وزن خشک ریشه از تیمار K۱۲۰Mg۴۸ حاصل شد (جدول ۵). افزایش سطوح پتاسیم در محلول غذایی، با توجه به وجود اثر آنتاگونیستی بین پتاسیم- منیزیم و کلسیم- منیزیم باعث کاهش جذب منیزیم توسط گیاه می‌شود (۷ و ۲۰). وقتی که غلظت یک یون در گیاه از حد آستانه فراتر می‌رود، باعث ایجاد حالت سمیت در گیاه می‌شود، در جذب و یا متابولیسم عناصر ضروری دیگر توسط گیاه اختلال ایجاد

می‌کند (۱۸) و رشد گیاه را به طور معکوس تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی از محققین دلیل سمیت یون‌ها را حضور مقادیر زیاد یون در درون سلول و تخریب غیر قابل برگشت سلول می‌دانند. شواهد موجود حاکی از آن است که غلظت زیاد پتاسیم مشابه با منیزیم زیاد خاصیت سمی دارد (۴).

اوادا (۵) بیان داشت که افزایش پتاسیم در میوه سبب کاهش غلظت منیزیم و کلسیم در آن می‌شود. از آنجا که پتاسیم و منیزیم تأثیر آنتاگونیستی بر جذب یکدیگر دارند، لذا غلظت این‌گونه عناصر در محلول غذایی باید به گونه‌ای تنظیم شود که ضمن تأمین مواد غذایی کافی برای گیاه، غلظت زیاد یکی باعث کاهش جذب دیگری نشود. زیرا میزان زیاد پتاسیم می‌تواند مانع جذب کلسیم و منیزیم کافی توسط گیاه شود و عکس آن نیز صادق می‌باشد (۱۲).

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر متقابل نیتروژن، پتاسیم و منیزیم بر عملکرد، تعداد میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه معنی‌دار است (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد (۵۰/۳۸ گرم در بوته)، تعداد میوه (۲۱/۶۷) و وزن تر (۹۶ گرم در بوته) و وزن خشک اندام هوایی (۱۷/۱۷ گرم در بوته) از تیمار N۱۱۰K۱۲۰Mg۲۴ به‌دست آمد. ولی بالاترین وزن تر (۱۱۲ گرم در بوته) و وزن خشک ریشه (۲۵/۱۷ گرم در بوته) از تیمار N۳۳۰K۱۲۰Mg۴۸ حاصل گردید. عملکرد و شاخص‌های رشد واکنش‌های متفاوتی را به تنش شوری نشان می‌دهند. تنش شوری ممکن است از طریق به هم زدن تعادل یونی و اثر بر تغذیه گیاه، رشد آن را محدود کند (۴). کایا و همکاران (۱۳) بیان کردند که گیاهان توت‌فرنگی پرورش یافته تحت تنش شوری، عملکرد و وزن خشک کمتری نسبت به گیاهان شاهد داشتند. لوکاسیو و ساکسنا (۱۵) مشاهده نمودند که با افزایش سطوح نیتروژن، پتاسیم و منیزیم کاهش معنی‌داری در عملکرد گیاه توت‌فرنگی به‌وجود آمد. آنها بیان کردند که شاید فاکتور شوری و ازدیاد نمک در محلول غذایی از عوامل محدود کننده رشد باشد. افزایش غلظت محلول غذایی باعث افزایش شوری شده و این امر ممکن است حجم و وزن ریشه را برای جذب آب بیشتر افزایش دهد، ولی باعث کاهش معنی‌دار رشد، وزن بخش هوایی و عملکرد توت‌فرنگی می‌شود (۶). به‌طور کلی، پاسخ گیاهان به شوری بسته به غلظت نمک، زمان مواجهه با شوری و ترکیب نمک متفاوت است (۱۷).

نتیجه‌گیری

بیشترین عملکرد، تعداد میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی از مصرف ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن به‌دست آمد و افزایش بیشتر نیتروژن سبب کاهش این پارامترها شد. بیشترین مقدار عملکرد و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه از سطح ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم حاصل شد. بیشترین عملکرد و وزن تر و خشک اندام هوایی از مصرف ۲۴ میلی‌گرم در لیتر منیزیم به‌دست آمد. نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیشترین عملکرد از مصرف توأم ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن، ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و ۲۴ میلی‌گرم در لیتر منیزیم محلول غذایی به‌دست می‌آید.

منابع مورد استفاده

۱. خلدبرین، ب. و ط. اسلام زاده. ۱۳۸۴. تغذیه معدنی گیاهان عالی. انتشارات دانشگاه شیراز، ۲۲۹ صفحه.

۲. خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۶. مبانی تغذیه گیاه. نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحات ۲۹۰-۲۹۳.

۳. کاشی، ع. و ر. یازرلو. ۱۳۸۶. اثر مالچ پلی اتیلن سیاه و تغذیه نیتروژن بر صفات رویشی و عملکرد توت‌فرنگی. ششمین کنگره علوم باغبانی ایران، دانشگاه گیلان، رشت.

۴. میرمحمدی میبدی، م. و ب. قره یاضی. ۱۳۸۱. جنبه‌های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری گیاهان. نشر دانشگاه صنعتی اصفهان،

صفحات ۲۲-۷۰.

5. Awada, M. 1978. Relations of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization to nutrient composition of the petiole and growth of papaya. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102: 413-418.
6. Awang, Y.B. and J.G. Atherton. 1995. Growth and fruiting responses of strawberry plants grown on rockwool to shading and salinity. Sci. Hort. 62: 25-31.
7. Bould, C. 1964. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruit crops. V. Sand culture N, P, K, Mg experiments with strawberry (*Fragaria Spp.*). J. Sci. Food and Agric. 15: 474-487.
8. Cantliffe, D.J., J.Z. Castellanos and A.V. Paranjpe. 2007. Yield and quality of greenhouse-grown strawberries as affected by nitrogen level in coco coir and pine bark media. Proc. Florida State Hort. Soc. 120: 157-161.
9. Follett, R.H., L.S. Murphy and R.L. Donahue. 1981. Fertilizers and Soil Amendments. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
10. Huber, S.C. 1985. Role of potassium in photosynthesis and respiration. PP. 369-391. *In:* RD. Munson, R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI.
11. Hughes, H.M., J.B. Duggan and M.C. Banwell. 1969. Strawberry Bull. HMSO 10,6d, Min. Agric. Fish. Food, UK.
12. Katai, J., Z.S. Sandor and M. Tallai. 2008. The effect of an artificial and a bacterium fertilizer on some soil characteristics and on the biomass of the rye-grass (*Lolium perenne* L.). Cereal Res. Commun. 36: 1171-1174.
13. Kaya, C., B.E. Ak, D. Higgs and B. Murillo-Amador. 2002. Influence of foliar-applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt-stressed conditions. Austral. J. Exper. Agric. 42(5): 631-636.
14. Lamarre, M. and M.J. Lareau. 1997. Influence of nitrogen, potassium and magnesium fertilization on day-neutral strawberries in Quebec. Acta Hort. 439: 701-704.
15. Locascio, S.J. and G.K. Saxena. 1967. Effect of potassium source and rate and nitrogen rate on strawberry tissue composition and fruit yield. Proc. Florida State Hort. Soc. 80: 173-176.
16. Makkun, L., Z. Singh and D. Phillips. 2001. Nitrogen nutrition affects fruit firmness, quality and shelf life of strawberry. Acta Hort. 553: 69-71.
17. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
18. Osmond, C.B. 1976. Ion absorption and carbon metabolism in cells of higher plants. *In:* Luttge, U. and M.G. Pitman (Eds.), Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. 24, Springer-Verlag, Berlin, 347 p.
19. Papadopoulos, A.P. 1987. Nitrogen fertigation of greenhouse-grown strawberries. Nutrient Cycling in Agroecosys. 13(3): 269-276.
20. Smith, C.R. 1957. A study of inorganic nutrition of strawberries. Diss. Abstr. 17: 2757-2758.
21. Sulter, C.H. 1985. Role of potassium in enzyme catalysts. PP. 337-349. *In:* Munson, R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI.
22. Taghavi, T.S., M. Babalar, A. Ebadi, H. Ebrahimzadeh and M.A. Asgari. 2004. Effect of nitrate to ammonium ratio on yield and nitrogen metabolism of strawberry (*Faragaria×Ananassa* cv. Selva). International J. Agric. Biol. 6(6): 994-997.
23. Tisdale, S.L., W.L. Nelson and J.D. Beaton. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4th Ed., Macmillan Pub. Co., New York.
24. Yildirim, E., H. Karlidag and M. Turan. 2009. Mitigation of salt stress in strawberry by foliar K, Ca and Mg nutrient supply. Plant Soil Environ. 55: 213-221.