

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 گاوینا 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 به دست 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 به دست آمد. سطوح منیزیم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی داشت، به طوری که بیشترین عملکرد از مصرف ۲۴ میلی‌گرم در لیتر منیزیم به دست 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 به دست آمد. به طور کلی، این سطوح برای به دست آوردن حداکثر عملکرد توت‌فرنگی در محیط‌های هیدروپونیک توصیه می‌گردند.

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

مقدمه

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

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

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

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

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 به صورت 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 نترات 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 برگگی، 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

ارقام مختلف متفاوت می‌باشد (۱۴ و ۲۲). ماکن و همکاران (۱۶) با بررسی تأثیر سطوح نیتروژن از ۱۵۰ تا ۶۰۰ 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 پلی‌پپتیدی 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

جدول ۱. ترکیب محلول غذایی اپستین

ترکیب	غلظت محلول ذخیره (گرم در لیتر)	نوع محلول	حجم محلول ذخیره در لیتر محلول نهایی (میلی لیتر)
KNO ₃	۱۰۱/۱۰	A	۶/۰
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	۲۳۶/۱۶		۴/۰
NH ₄ H ₂ PO ₄	۱۱۵/۰۸		۲/۰
MgSO ₄ .7H ₂ O	۲۴۶/۴۹		۱/۰
KCl	۳/۷۲۸	B	۱/۰
H ₃ BO ₃	۱/۵۴۶		
MnSO ₄ .H ₂ O	۰/۳۳۸		
ZnSO ₄ .7H ₂ O	۰/۵۷۵		
CuSO ₄ .5H ₂ O	۰/۱۲۵		
H ₂ MoO ₄ (85% MoO ₄)	۰/۰۸۱	C	۱/۰
Fe-EDTA	۰/۹۲۲		

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 به دست 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

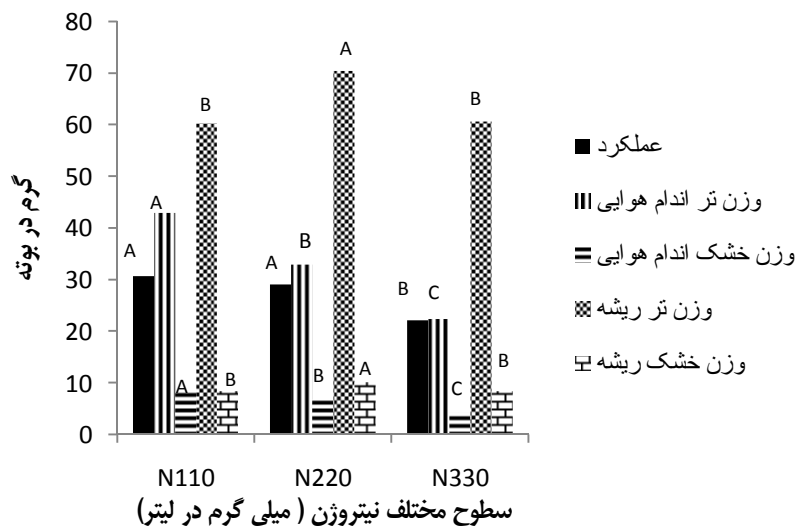
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که سطوح نیتروژن بر عملکرد، تعداد میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه تأثیر معنی‌داری دارد (جدول ۲). بیشترین عملکرد، تعداد میوه، وزن تر و خشک اندام هوایی از مصرف ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن به دست آمد و افزایش سطح نیتروژن به بالاتر از این

سطح سبب کاهش این پارامترها شد. ولی بیشترین وزن تر و خشک ریشه از مصرف ۲۲۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن به دست 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). پاپادوپولوس (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

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه توت‌فرنگی

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

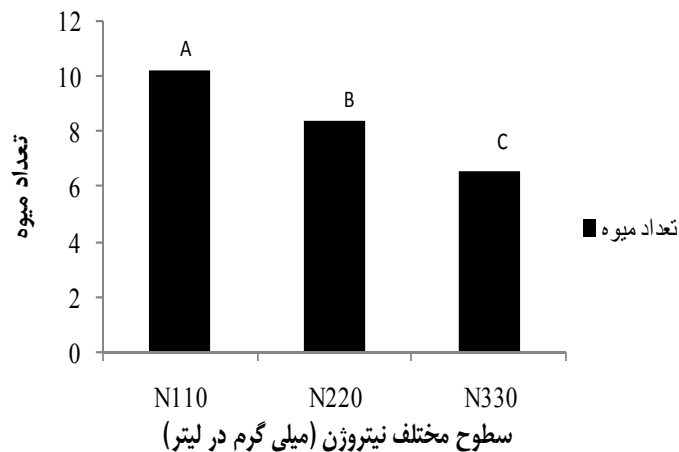
**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار



شکل ۱. اثر سطوح مختلف نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری شده

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

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



شکل ۲. اثر سطوح مختلف نیتروژن بر تعداد میوه

کاهش می‌یابد (۴). به هم خوردن تعادل عناصر غذایی و افزایش شوری در محیط ریشه باعث کاهش فتوسنتز و وزن خشک گیاه می‌شود (۲). به طوری که 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

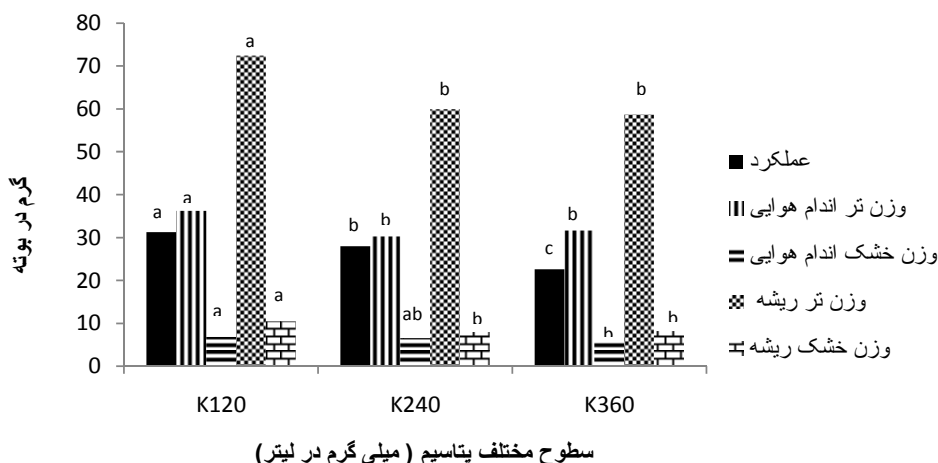
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر سطوح مختلف منیزیم بر عملکرد و وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۲)، ولی بر تعداد میوه و وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار نبود. بیشترین عملکرد و وزن تر و خشک اندام هوایی از مصرف ۲۴ میلی‌گرم در لیتر منیزیم به دست آمد، در حالی که کمترین عملکرد و وزن تر 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

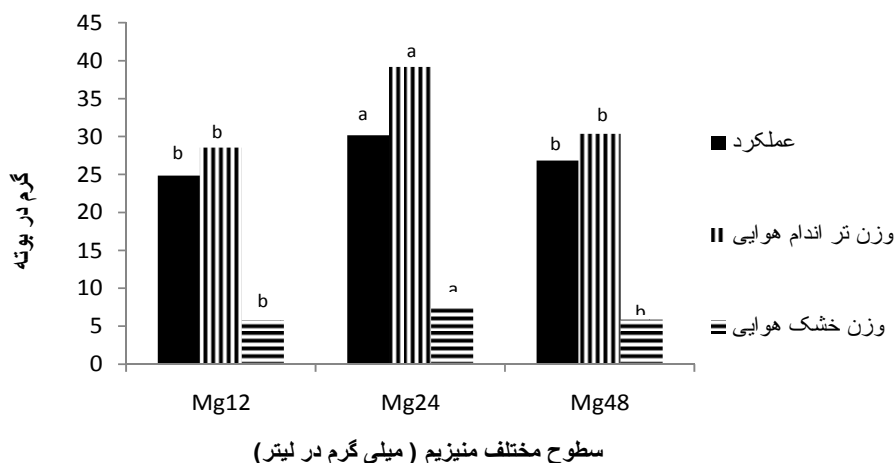
برای کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی و دستیابی به عملکرد بیشتر و میوه با کیفیت بهتر توصیه نمودند. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که مرحله رشد رویشی و مراحل اولیه رشد زایشی گیاه توت‌فرنگی از مراحل بسیار حساس به شوری است. ولی مراحل گل‌دهی و رسیدگی میوه به ترتیب از حساسیت کمتری برخوردارند. در نتیجه، زمانی که گیاه 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 به دست آمد و کمترین مقدار این صفات به تیمار ۳۶۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم تعلق داشت (شکل ۳). جذب عناصر اصلی غذایی مثل Ca^{+2} و NH_4^{+} در نتیجه مصرف زیاد پتاسیم به شدت



شکل ۳. اثر سطوح مختلف پتاسیم بر صفات اندازه‌گیری شده



شکل ۴. اثر سطوح مختلف منیزیم بر صفات اندازه‌گیری شده

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 به دلیل توقف رشد یا مردن بافت‌ها باشد که به‌صورت نکروزه شدن و

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).

جدول ۳. اثر متقابل سطوح نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه توت‌فرنگی

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

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

جدول ۴. اثر متقابل سطوح نیتروژن و منیزیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد در گیاه توت‌فرنگی

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

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

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 به دست آمد (جدول ۴). ولی

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

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

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

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

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 به دست 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

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 به دست 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 به دست 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

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 به وجود 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.

می‌کند (۱۸) و رشد گیاه را به‌طور 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 به‌گونه‌ای 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 $N_{110}K_{120}Mg_{24}$ به‌دست آمد. ولی بالاترین وزن تر (۱۱۲ گرم در بوته) و وزن خشک ریشه (۲۵/۱۷ گرم در بوته) از تیمار $N_{330}K_{120}Mg_{48}$ 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

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،

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: R.D. 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 (*Fragaria* × *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.