

اثر غلظت‌های مختلف پتاسیم و نیتروژن در محلول غذایی بر رشد و کیفیت نشای گوجه‌فرنگی

حسن احمدی^۱، مجتبی دلشاد^{۲*} و مصباح‌بابالار^۳
۱، ۲، ۳، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۴/۳)

چکیده

در این پژوهش، اثر غلظت‌های مختلف نیتروژن و پتاسیم در محلول غذایی بر رشد و کیفیت نشای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم سیندا مطالعه شد. سه غلظت نیتروژن (۱/۵، ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و سه غلظت پتاسیم (۱/۵، ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) به صورت فاکتوریل (۳×۳) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار روی نشاهای گوجه‌فرنگی، به مدت ۲۷ روز از زمان ظهور گیاهچه‌ها اعمال شدند. در پایان دوره پرورش نشاها، صفاتی چون قطر ساقه، سطح ویژه برگ (SLA)، نسبت ماده خشک ریشه به کل (RMF)، نسبت ماده خشک ساقه به کل (SMF)، نسبت ماده خشک برگ به کل (LMF)، نرخ فتوسنتز خالص (NAR) و نسبت سطح شاخساره (RSR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، نرخ فتوسنتز خالص (NAR) و نسبت سطح برگ (LAR) ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت پتاسیم، قطر و وزن خشک ساقه افزایش یافت در حالی که با افزایش نیتروژن، قطر و ماده تر ساقه افزایش پیدا کرد. در حالی که افزایش پتاسیم به ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر سبب افزایش سطح ویژه برگ شد، افزایش نیتروژن تأثیری بر سطح ویژه برگ نداشت. نسبت RMF با افزایش غلظت پتاسیم و نیتروژن کاهش یافت. اثر پتاسیم بر LMF معنادار نبود، اما نیتروژن سبب افزایش این نسبت شد. بیشترین میزان SMF در نسبت (K:N) ۶:۱/۵ اتفاق افتاد و کمترین مقدار SMF در نسبت‌های ۳:۶ و ۱/۵:۶ بود، که بیانگر اثر منفی نیتروژن بر SMF بود. با افزایش غلظت پتاسیم محلول غذایی میزان RGR و LAR افزایش یافتند در حالی که اثر پتاسیم بر مقدار NAR معنادار نبود. با افزایش غلظت نیتروژن، مقدار RGR افزایش پیدا کرد، در حالی که اثر آن بر هیچ‌کدام از فاکتورهای NAR و LAR معنادار نبود. بیشترین میزان RGR (با تفاوت غیرمعنادار) در نسبت ۶:۶ (K:N) مشاهده شد. اگرچه بین این نسبت و نسبت‌های کمتر تفاوت معناداری وجود نداشت. اثر متقابل نیتروژن و پتاسیم بر هیچ‌کدام از صفات مربوط به تخصیص ماده خشک و سرعت رشد نسبی معنادار نبود. نتایج نشان داد که افزایش نسبت K:N تا ۶:۱/۵ سبب بهبود کیفیت نشاها می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل نیتروژن و پتاسیم، تخصیص ماده خشک، سرعت رشد نسبی، سطح ویژه برگ، قطر نشا.

نشا برای تولیدکنندگان سبزی هستند (Cantliffe, 2009). در کشور ایران نیز در سال‌های اخیر تعدادی گلخانه ویژه پرورش نشا احداث و راه‌اندازی شده‌اند. عمده‌ترین مزایای این گلخانه‌ها، کنترل شرایط محیطی است که منجر به بهبود رشد گیاهان می‌شود. با وجود این کاهش شدت نور، تغییر کیفیت نور، تراکم بالای کشت برای تولید نشا و رقابتی که بر سر نور به وجود

مقدمه

تولید نشای باکیفیت، یکی از عوامل اصلی موفقیت در پرورش سبزی‌های نشایی است و به همین دلیل توسعه گلخانه‌های ویژه پرورش نشا (خزانه‌ها) افزایش یافته است. در حال حاضر در بیشتر کشورهای توسعه‌یافته، خزانه‌ها و گلخانه‌های پرورش نشا، تأمین‌کننده اصلی

است و نقش‌های فراوانی در فیزیولوژی گیاهان ایفا می‌کند (Marschner, 2011). از آنجایی که پتاسیم نقش ضروری در انتقال اجزای کلیدی پروتئین‌ها، یعنی نیتروژن که جزء اصلی سنتز پروتئین‌هاست ایفا می‌کند، ارتباط تنگاتنگی بین جذب و انتقال پتاسیم می‌تواند برقرار باشد (Mengel, 1985). پتاسیم به‌منزله یک کاتیون، آنیون نیترات را در انتقال از ریشه به شاخساره همراهی می‌کند و گزارش شده است هنگامی که پتاسیم همراه با نیتروژن استفاده می‌شود، تحرک و انتقال نیترات در آوند چوبی بیشتر می‌شود (Ruiz & Romero 2002) گزارش کردند که کاربرد پتاسیم سبب افزایش غلظت نیتروژن داخل برگ و انتقال آمینواسیدها به داخل میوه خیار می‌شود.

همچنین مشخص شده است گیاهانی که با کمبود پتاسیم مواجه‌اند از انتقال نیترات به شاخساره باز می‌مانند که منجر به احیای بیشتر نیترات در ریشه و تجمع آمینواسیدها در ریشه‌ها می‌شود و این به‌منزله پیامی برای کاهش جذب نیترات توسط ریشه تلقی می‌شود (Marschner, 1996). در ارتباط با گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای هم مشخص شده است که نسبت بین دو عنصر تأثیر زیادی بر رشد گیاه دارد و در حال حاضر در مقیاس تجاری، نسبت پتاسیم به نیتروژن در مراحل مختلف رویشی و زایشی تغییر داده می‌شود (Heuvelink, 2005). (Papadopoulos & Kholsa, 2001). از بررسی اثر نسبت‌های مختلف (K:N) و هدایت الکتریکی (EC) بر رشد نشاهای گوجه‌فرنگی نتیجه‌گیری کردند که کاهش رشد رویشی نشا از طریق افزایش هدایت الکتریکی تا ۴۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر مربع و افزایش نسبت (K:N) تا نسبت (۴:۱) یا ترکیب ۴۰۰:۱۰۰ برحسب میلی‌گرم بر لیتر امکان‌پذیر است. با توجه به گسترش واحدهای تولید نشا در کشور و کمبود اطلاعات علمی مورد نیاز، بررسی اثر این دو عنصر و رابطه متقابل آنها بر رشد نشا ضروری به نظر می‌رسید که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفت. اهداف اصلی این آزمایش پاسخ به سه سؤال بود: ۱. نشاهای گوجه‌فرنگی در چه غلظتی از پتاسیم و نیتروژن در محلول غذایی بهترین رشد و کیفیت را خواهند داشت؟ ۲. تأثیر ارتباط متقابل بین پتاسیم و نیتروژن بر رشد

می‌آید سبب افزایش طول میانگروه‌ها، کاهش وزن خشک ریشه در برابر شاخساره، نازک‌شدن برگ و کاهش قطر ساقه نشاها می‌شود. نتیجه این تغییرات مورفولوژیکی، تولید نشاهایی ضعیف، با حساسیت فراوان به شرایط نامساعد محیطی، بیماری‌ها و آفات است. از طرفی دیگر دستگاه‌های نشاکاری جدید برای اندازه‌های خاصی از نشا طراحی شده‌اند و نشاهایی که طولی‌اند در این دستگاه‌ها آسیب می‌بینند. از تیمارهای زیادی برای افزایش کیفیت نشا و جبران کاهش کیفیت ناشی از تراکم بالا و کمبود نور استفاده می‌شود که می‌توان به استفاده از تیمارهای مکانیکی، مواد بازدارنده رشد مثل پاکلوبوترازول (Ayastuy *et al.*, 2009)، استفاده از نور تکمیلی، تغییر کیفیت نور، افزایش دوره روشنایی (Rajapakse & Shahak, 2007)، تغییر دمای شب و روز (Xiong *et al.*, 2002)، تنش آبی (خشکی) (Liptay *et al.*, 1998) و تغذیه‌ای اشاره کرد. تیمار مکانیکی نیازمند مدیریت فراوان است و ممکن است در مقیاس وسیع عملی نباشد، همچنین احتمال گسترش بیماری‌ها را افزایش می‌دهد. استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد مانند پاکلوبوترازول و سایر ترکیبات مصنوعی به دلیل اثرات زیست‌محیطی فراوان با مشکل روبه‌روست (Bennett *et al.*, 2002).

افزایش شدت نور و طول روز از لحاظ اقتصادی جز در مورد عده‌ای از گیاهان زینتی به‌صرفه و کاربردی نیست (Rajapakse & Shahak, 2007). در این میان تنش آبی از نظر هزینه از سایر موارد اقتصادی‌تر است، اما استفاده از این تکنیک به دلیل حساس بودن زمان و مدت اعمال تنش آبی (خشکی) به دقت و تجربه زیادی نیاز دارد (Liptay *et al.*, 1998). ثابت شده است که تغذیه گیاهان در دوره پرورش نشا، کیفیت و رشد آنها را پس از انتقال به محل اصلی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Dufault, 1998; Maynard *et al.*, 2006). همچنین مشخص شده است که افزایش کیفیت نشاها از طریق فاکتورهای تغذیه‌ای امکان‌پذیر است (Zandstra & Liptay, 1999). بیشتر مطالعات تغذیه نشاها درباره نیتروژن انجام گرفته و گزارش شده که اثرات آن بر رشد نشا بیشتر از سایر عناصر دیگر است. عنصر پتاسیم بعد از نیتروژن دومین عنصر فراوان مورد نیاز برای گیاهان

نسبت (ریز) ۳:۱ (متوسط) بود. قبل از کاشت پرلیت برای حذف گرد پرلیت و عناصر قابل جذب آن، با آب به‌طور کامل شست‌وشو داده شد. میانگین دمای گلخانه در طول روز حدود 24 ± 3 و شب حدود ۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت گلخانه بین ۶۰ الی ۷۰ درصد حفظ می‌شد. غلظت عناصر غذایی براساس میلی‌اکی‌والان بر لیتر (meq l^{-1}) و برپایهٔ محلول اصلاح‌شده Coic تنظیم شدند (Zolfaghari, 2008). سه غلظت نیتروژن (۳، ۱/۵، ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و سه غلظت پتاسیم (۳، ۱/۵، ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) به‌صورت فاکتوریل (3×3) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بر نشاهای گوجه‌فرنگی، به‌مدت ۲۷ روز از زمان ظهور گیاهچه‌ها اعمال شدند (جدول ۱). نه مشاهده در هر واحد آزمایشی (تکرار) و در مجموع ۲۴۳ گیاه ارزیابی شدند. بعد از تنظیم pH محلول غذایی ($5/8 \pm 0/2$)، عناصر میکرو به محلول غذایی اضافه شدند (جدول ۲).

نشاهای چگونه است؟ ۳. بهترین نسبت (K:N) برای رشد نشای گوجه‌فرنگی کدام است؟ همچنین با توجه به اینکه در پژوهش‌های قبلی تغییر نسبت (K:N) محلول‌های غذایی تنها از طریق افزایش یا کاهش غلظت پتاسیم و برحسب میلی‌گرم بر لیتر انجام شده بود، آزمایش زیر به صورت فاکتوریل انجام و اختلاف تیمارها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر تنظیم شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در زمستان سال ۱۳۸۹ در گلخانهٔ سبزی‌کاری گروه علوم باغبانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهرستان کرج انجام گرفت. گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم Synda متعلق به شرکت Rijk Zwaan به‌منزلهٔ مادهٔ آزمایشی استفاده شد. بذرها در گلدان‌های نشایی که حاوی بستر پرلیت بودند، در تاریخ ۱۰ بهمن کاشته شدند. بستر پرلیت استفاده‌شده ترکیبی از پرلیت با اندازهٔ متوسط و ریز با

جدول ۱. غلظت عناصر غذایی موجود در ۹ محلول غذایی (برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر)

عنصر	نسبت‌های (K:N) یا ترکیب‌های تیماری (meq l^{-1})								
	۶:۶	۶:۳	۶:۱/۵	۳:۶	۳:۳	۳:۱/۵	۱/۵:۶	۱/۵:۳	۱/۵:۱/۵
K	۶	۶	۶	۳	۳	۳	۱/۵	۱/۵	۱/۵
Ca	۲/۳	۱/۵	۱/۵	۳/۱۵	۱/۵	۱/۵	۲/۴	۲/۴	۱/۴
Mg	۱/۲	۰/۷۵	۰/۷۵	۱/۷۵	۰/۶۵	۰/۷۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۰/۷۵
N	۶	۳	۱/۵	۶	۳	۱/۵	۳	۳	۱/۵
PO_۴	۳/۳	۴/۰۵	۳/۹	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
SO_۴	۲/۲	۳/۶۵	۴/۲۵	۱/۵	۱/۷۵	۳/۳۵	۱/۷۵	۱/۷۵	۱/۷۵

جدول ۲. مقدار نمک عناصر کم‌مصرف (برحسب گرم در هزار لیتر)

غلظت	Squestrene Fe	MnSO _۴ ·۴H _۲ O	ZnSO _۴ ·۷H _۲ O	CuSO _۴ ·۵H _۲ O	H _۲ BO _۳	(NH _۴) _۶ Mo _۷ O _{۲۳} ·۴H _۲ O
گرم نمک در ۱۰۰۰ لیتر	۱۰	۲	۱	۰/۲۵	۱/۵	۰/۰۵

مدل «WinDias» اندازه‌گیری شد. ساقه، برگ و ریشهٔ نشاها را در پاکت‌های مقوایی گذاشته و به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد در داخل دستگاه آون خشک شدند. بعد از خشک‌شدن کامل، پاکت‌ها را از آون خارج کرده و وزن خشک اندام‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. میانگین اعداد ۹ بوته برای هر واحد آزمایش استفاده شد.

بعد از جوانه‌زنی و هنگام شروع تیمارها (۲۰ بهمن‌ماه) ۱۵ گیاهچهٔ یکنواخت برای اندازه‌گیری مادهٔ خشک ریشه، برگ، ساقه و سطح برگ تخریب شدند (به‌منزلهٔ اندازه‌گیری اولیه برای محاسبهٔ شاخص‌های رشد).

در پایان آزمایش (روز بیست و هفتم) قطر ساقه، سطح برگ، مادهٔ خشک ریشه، برگ و ساقه اندازه‌گیری شدند. سطح برگ‌های هر نشا توسط دستگاه سطح‌سنج

جدول ۳. تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های رشد و سطح ویژه برگ

شاخص	فرمول محاسبه	واحد	تعریف
سرعت رشد نسبی	$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$	$mg \cdot mg^{-1} \cdot d^{-1}$	به میزان ماده خشک تولید شده (W_2) به ازای واحد ماده خشک اولیه (W_1) در طول زمان مشخص ($t_2 - t_1$) اطلاق می‌شود.
نسبت سطح برگ	$LAR = \frac{LA_2 - LA_1}{W_2 - W_1}$	$cm^2 \cdot mg^{-1}$	میزان سطح برگی ($LA_2 - LA_1$) که گیاه به ازای هر واحد ماده خشک توسعه می‌دهد.
میزان فتوسنتز خالص	$NAR = \frac{W_2 - W_1}{LA_2 - LA_1} \times \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$	$mg \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$	ماده خشک تولید شده در یک گیاه به ازای سطح برگ تولید شده، طی یک دوره مشخص ($t_2 - t_1$) است.
سطح ویژه برگ	$SLA = \frac{LA}{W_L}$	$cm^2 \cdot mg^{-1}$	نسبت سطح برگ (LA) به مقدار ماده خشک برگ (W_L)

نیترژن وزن خشک ساقه کاهش یافت، درحالی که در غلظت ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر پتاسیم، افزایش غلظت نیترژن به ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیشترین میزان وزن خشک ساقه را سبب شد. درواقع می‌توان گفت زمانی که غلظت پتاسیم کم باشد نیترژن اثر منفی بر وزن خشک ساقه دارد اما زمانی که غلظت پتاسیم افزایش یافت نیترژن سبب بهبود وزن خشک ساقه شده است (جدول ۵).

پاسخ قطر و ماده خشک ساقه به افزایش غلظت پتاسیم تقریباً مشابه بود (جدول ۵)، که نشان‌دهنده این واقعیت است که بخشی از افزایش قطر نشا به دلیل افزایش وزن خشک ساقه بوده است. میزان ماده خشک ساقه در گیاهان علفی به‌منزله معیاری برای رشد شعاعی گیاهان در نظر گرفته می‌شود و در برخی موارد دقیق‌تر از قطر ساقه است. چون قطر ساقه در گیاهان علفی، که نشای سبزی‌ها هم جز آنهاست، برآیند وزن تر و وزن خشک ساقه است. هرچه مقدار ماده خشک ساقه بیشتر باشد در برابر تنش‌های محیطی به‌خصوص سرما مقاوم‌تر است (Masson *et al.*, 1991).

بیشترین مقدار وزن تر و قطر ساقه در غلظت ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر نیترژن مشاهده شد (جدول ۵). درعین حال اثر نیترژن بر ماده خشک ساقه معنادار نبود (جدول ۴) که نشان‌دهنده آبدارشدن ساقه‌ها به‌منزله یک صفت نامطلوب در پاسخ به نیترژن است. نتایج مشابهی در ارتباط با آبدارشدن ساقه با افزایش نیترژن توسط (Balliu *et al.* 2006) و (De Grazia *et al.* 2006) گزارش شده است.

به‌منظور بررسی اثر عناصر نیترژن و پتاسیم بر نحوه تخصیص ماده خشک به اندام‌های مختلف در پایان آزمایش (روز بیست و هفتم) نسبت‌های ماده خشک برگ به ماده خشک کل^۱ (LMF)، نسبت ماده خشک ساقه به ماده خشک کل^۲ (SMF) و نسبت ماده خشک ریشه به ماده خشک کل^۳ (RMF) محاسبه شدند. همچنین اثر تیمارها بر سرعت رشد نسبی^۴ (RGR)، میزان فتوسنتز خالص^۵ (NAR)، نسبت سطح برگ^۶ (LAR) و سطح ویژه برگ^۷ (SLA) با استفاده از فرمول‌های مربوطه محاسبه شدند (جدول ۳). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گرفت. مقایسه میانگین در سطح احتمال ۰/۰۵ و با آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

اثر نیترژن و پتاسیم بر ویژگی‌های ساقه

اثر متقابل نیترژن و پتاسیم تنها بر وزن خشک ساقه در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود و قطر و وزن تر ساقه را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۴). در غلظت ۱/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر پتاسیم، وزن خشک ساقه در غلظت‌های مختلف نیترژن اختلافی را نشان نداد. همچنین وزن خشک ساقه در این سه تیمار (۱/۵:۱/۵، ۱/۵:۳ و ۱/۵:۶) کمتر از سایر تیمارها بود (جدول ۵). در غلظت ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر پتاسیم با افزایش غلظت

1. Leaf mass Fraction
2. Stem Mass Fraction
3. Root Mass Fraction
4. Relative Growth Rate
5. Net Assimilation Rate
6. Leaf Area Ratio
7. Specific Leaf Area

جدول ۴. جدول تجزیه واریانس صفات رویشی صفات ساقه، برگ و ریشه

منبع تغییر	قطر ساقه	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه	سطح برگ	وزن خشک برگ	SLA	ماده خشک ریشه	ماده خشک کل
پتاسیم	۰/۷۴۸**	۸/۳۶۳**	۳۷۹۳۰**	۷۵۶۲۴**	۵۹۵۲۰۱**	۰/۰۰۴۰۹۳۰۴**	۲۳۸۳۴**	۱۲۳۸۷۴۶**
نیتروژن	۰/۵۳۶*	۱/۲۵۵*	۵۵۳۵ ^{NS}	۳۲۰۷۸**	۳۷۵۶۳۱**	۰/۰۰۰۷۱۱۱۵ ^{NS}	۴۶۸۵ ^{NS}	۴۳۷۷۴۲**
پتاسیم×نیتروژن	۰/۱۷۳ ^{NS}	۰/۸۲۸ ^{NS}	۹۵۷۳*	۳۷۰۱۶ ^{NS}	۵۹۸۲۵ ^{NS}	۰/۰۰۱۳۸۱۹۳ ^{NS}	۱۰۳۹۹**	۱۴۶۸۲۴*
اشتباه	۰/۱۱۵	۰/۲۹	۳۲۴۳	۱۶۸۵/۴۵۵	۲۶۸۴۰	۰/۰۰۰۵۶	۲۱۰۲	۴۴۱۴۲
ضرب تغییرات	۶/۰۶	۸,۹	۱۰/۱	۱۰	۱۱/۵۸	۸	۱۰/۵	۱۱

ns: عدم معناداری * اختلاف معنادار در سطح احتمال ۰/۰۵ ** اختلاف معنادار سطح احتمال ۰/۰۱

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات ساقه، برگ، ریشه

غلظت (meq l ⁻¹)	قطر ساقه (mm)	وزن تر ساقه (g)	وزن خشک ساقه (mg)	سطح برگ (cm ²)	وزن خشک برگ (mg)	ماده خشک ریشه (mg)	ماده خشک کل (mg)
پتاسیم ۱/۵	۵/۲۸b	۳/۶۷c	۲۹۳b	۲۹۷/۳۲b	۱۰۸۰b	۳۶۳b	۱۷۳۷b
۳	۵/۶۵a	۴/۹۸b	۳۸۴a	۴۳۸/۰۱a	۱۵۳۴a	۴۵۶a	۲۳۷۵a
۶	۵/۸۵a	۵/۵۵a	۴۱۸a	۴۶۹/۴۷a	۵۱۷a	۴۴۸a	۲۳۸۴a
نیتروژن ۱/۵	۵/۴۹b	۴/۶۱b	۳۸۶a	۳۶۷/۸۱b	۱۲۳۶b	۴۳۶a	۲۰۵۸b
۳	۵/۴۲b	۴/۴۴b	۳۳۸a	۳۶۶/۴۶b	۱۲۸۴b	۳۹۶a	۲۰۱۹b
۶	۵/۸۷a	۵/۱۶a	۳۷۱a	۴۷۰/۵۳a	۱۶۱۱a	۴۳۵a	۲۴۱۹a
پتاسیم نیتروژن ۱/۵	۵/۲۶bc	۳/۷۳cd	۳۱۸cb	۲۹۲/۵۳d	۱۰۳۴ef	۳۵۸cd	۱۷۱۲fe
۳	۴/۸۹c	۲/۸۳e	۲۲۸c	۲۳۲/۶۷d	۹۳۶/۵f	۳۰۸d	۱۴۷۳f
۶	۵/۶۹ab	۴/۴۵cd	۳۳۲cb	۳۶۶/۷۷c	۱۲۷۱cde	۴۲۳cb	۲۰۲۶dec
۳	۵/۷۱ab	۵/۰۸bc	۴۴۴a	۴۱۰/۹۳cb	۱۴۸۵bcd	۵۲۹a	۲۴۶۰ab
۶	۵/۴۸bc	۴/۹۷bc	۳۸۶ab	۳۹۱/۰۷c	۱۳۹۲cd	۴۰۳cb	۲۱۸۳dbc
۳	۵/۷۵ab	۴/۹۰bc	۳۲۲cb	۵۱۲/۰۳a	۱۷۲۵ab	۴۳۵cb	۲۴۸۳ab
۶	۵/۵bc	۵/۰۲bc	۳۹۶ab	۳۹۹/۹۷c	۱۱۸۷def	۴۱۹cb	۲۰۰۳de
۳	۵/۸۸ab	۵/۵۳ab	۳۹۸ab	۴۷۵/۶۳ab	۱۵۲۵cb	۴۷۷ab	۲۴۰۱abc
۶	۶/۱۷a	۶/۱۲a	۴۶۰a	۵۳۲/۸a	۱۸۳۸a	۴۴۸ab	۲۷۴۸a

* حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنادار بین دو تیمار است.

Ericsson, 1995; Meille & Pellerin, 2008; Zhang *et al.*, 2009). علت این کاهش در نسبت RMF در پاسخ به افزایش غلظت پتاسیم و تناقض آن با مطالعات پیشین را در دو نکته می‌توان تفسیر کرد. نخست اینکه افزایش پتاسیم محلول غذایی هم‌زمان با افزایش ماده خشک ریشه، سبب افزایش ماده خشک ساقه و برگ هم شده است (جدول ۵). یعنی غلظت‌های کم پتاسیم برای رشد نشا کافی نبوده است، با افزایش غلظت آن، ماده خشک

اثر پتاسیم و نیتروژن بر نحوه تخصیص ماده خشک اثر پتاسیم بر نسبت‌های ماده خشک برگ به ماده خشک کل (LMF) و ماده خشک ساقه به ماده خشک کل (SMF) معنادار نبود (جدول ۶). با وجود این با افزایش پتاسیم نسبت ماده خشک ریشه به ماده خشک کل (RMF) کاهش یافت (جدول ۷)، درحالی‌که در مطالعات پیشین گزارش شده بود که RMF با افزایش مقدار پتاسیم افزایش می‌یابد (Cakmak *et al.*, 1994).

RMF مربوط به نسبت (K:N) ۶:۶ بود و بیشترین مقدار آن نیز در نسبت ۳:۱/۵ به دست آمد. نکته جالب دیگر این بود که، درحالی که بین نسبت‌های مشابه ۱/۵:۱/۵ و ۶:۶ در نسبت RMF اختلاف معناداری وجود داشت، بین نسبت‌های متفاوت اختلاف معنادار نبود (جدول ۵). این پدیده بیانگر این موضوع است که احتمالاً این نسبت پتاسیم به نیتروژن نیست که تعیین‌کننده نحوه تخصیص مواد خشک است بلکه تخصیص ماده خشک در نشاهای گوجه‌فرنگی بیشتر به غلظت خود عناصر غذایی وابسته است. بررسی این موضوع در پژوهش‌های آینده می‌تواند مورد ارزیابی و توجه بیشتری قرار گیرد.

اثر نیتروژن بر نسبت ماده خشک برگ‌ها به کل ماده خشک (LMF) کاملاً معنادار بود (جدول ۶) و با افزایش مقدار نیتروژن محلول غذایی ماده خشک برگ و نسبت آن به کل گیاه افزایش پیدا کرد (جدول‌های ۵ و ۷). این نتیجه مشابه نتایج سایر پژوهشگران بود (De Grazia *et al.*, 2006; Sallaku *et al.*, 2009; Vavrina *et al.*, 1998). گفته شده است که با افزایش مقدار نیتروژن سایتوکینین بیشتری در ریشه‌ها تولید شده و به اندام‌های هوایی ارسال می‌شود، درنهایت سایتوکینین سبب افزایش تقسیمات سلولی در برگ می‌شود. اما سایتوکینین سبب رشد ریشه‌ها هم می‌شود، اما حساسیت برگ‌ها و پاسخ آنها به سایتوکینین بیشتر از ریشه‌هاست (Wien, 1997).

ساقه و برگ هم افزایش یافته است (جدول ۵) و کاهش RMF به دلیل اثرات منفی پتاسیم بر ماده خشک ریشه نبوده است. چراکه مقایسه میانگین ماده خشک ریشه به تنهایی مشخص کرد که پتاسیم سبب افزایش ماده خشک ریشه می‌شود. از طرف دیگر با توجه به اینکه که در محلول‌های حاوی غلظت‌های بالای پتاسیم، غلظت کل عناصر غذایی هم افزایش یافته بود و در بسیاری از مطالعات (Ericsson, 1995; Hilbert, 1990; Marschner *et al.*, 1996) هم مشخص شده است که افزایش کل عناصر غذایی در محیط ریشه سبب کاهش نسبت RMF می‌شود، می‌توان این کاهش RMF را به بیشتر بودن عناصر غذایی در محیط ریشه هم نسبت داد. این واکنش نشاها را در مقایسه سه نسبت (K:N) ۱/۵:۱/۵، ۳:۳ و ۶:۶ می‌توان به صورت آشکار مشاهده کرد. با افزایش غلظت دو عنصر N و K (درحالی که نسبت آنها ثابت است)، کاهش نسبت وزن ریشه به ماده خشک کل مشاهده شد (جدول ۷). اثر نیتروژن بر RMF کاملاً منفی بود و سبب کاهش شدید نسبت وزن ریشه به شاخساره شد. در مطالعات قبلی نتایجی مشابه در مورد اثر نیتروژن بر کاهش RMF گزارش شده است (Ågren & Franklin, 2003; De Grazia *et al.*, 2006; Sallaku *et al.*, 2009). عمده دلیلی که برای کاهش RMF در این مطالعات ذکر شده است، افزایش بیشتر ماده خشک برگ در مقایسه با ماده خشک ریشه در پاسخ به افزایش نیتروژن بوده است. در این آزمایش کمترین میزان

جدول ۶. جدول تجزیه واریانس شاخص‌های رشد و تخصیص ماده خشک به اندام‌های مختلف

منبع تغییر	LMf	SMF	RMF	RGR	LAR	NAR	SLA
پتاسیم	۰/۰۰۱۳۳۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۴۶۶۳۳ ^{ns}	۰/۰۰۱۱۱۲۴۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۴۰۸۳۳**	۰/۰۰۱۸۳۴۷۸**	۰/۰۱۷۰۶۴۷ ^{ns}	۰/۰۰۴۰۹۳۰۴**
نیتروژن	۰/۰۰۹۴۳۴۴**	۰/۰۰۲۸۴۸۷۸**	۰/۰۰۱۹۸۱۸۱*	۰/۰۰۰۱۳۰۱۱**	۰/۰۰۰۶۷۵ ^{ns}	۰/۰۰۵۸۵۱۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۷۱۱۱۵ ^{ns}
پتاسیم × نیتروژن	۰/۰۰۱۱۰۱۶۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۶۸۷۷۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۵۲۹۳۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴۶۷۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۴۷۵۹۴ ^{ns}	۰/۰۱۵۰۲۸۹۸ ^{ns}	۰/۰۰۱۳۸۱۹۳ ^{ns}
اشتباه آزمایشی	۰/۰۰۱۱۶۴۱۹	۰/۰۰۰۴۴۵۳	۰/۰۰۰۳۶۲۵۲	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۲۳۲۰۴	۰/۰۰۷۵۰۱۴۸	۰/۰۰۰۰۵۶
ضرب تغییرات	۵/۳۹	۱۲/۴	۹/۶۲	۲/۲۰	۸/۲۶	۹/۶۴۳	۸

ns: عدم معناداری * : اختلاف معنادار در سطح احتمال ۰/۰۵ ** : اختلاف معنادار سطح احتمال ۰/۰۱

جدول ۷. مقایسه میانگین نسبت ماده خشک در اندام‌های مختلف و شاخص‌های رشد نشا

SLA (cm ² /mg)	NAR	LAR	RGR	RMF	SMF	LMF	غلظت (mg l ⁻¹)	
۰/۲۷۳b	۰/۹۲۷a	۰/۱۷b	۰/۱۵۶b	۰/۲۱۱a	۰/۱۶۹a	۰/۶۲۱a	۱/۵	پتاسیم
۰/۲۸۵b	۰/۹۱۹a	۰/۱۸۴ab	۰/۱۶۸a	۰/۱۹۲ab	۰/۱۶۳a	۰/۶۴۵a	۳	
۰/۳۱۴a	۰/۸۴۸a	۰/۱۹۹a	۰/۱۶۸a	۰/۱۹۰b	۰/۱۷۷a	۰/۶۳۲a	۶	
۰/۲۹۹a	۰/۹۱۷a	۰/۱۷۹a	۰/۱۶۲b	۰/۲۱۲a	۰/۱۸۹a	۰/۵۹۹b	۱/۵	نیتروژن
۰/۲۹۲a	۰/۹۰۸a	۰/۱۷۹a	۰/۱۶۱b	۰/۱۹۸ab	۰/۱۶۶b	۰/۶۳۶a	۳	
۰/۲۸۱a	۰/۸۶۹a	۰/۱۹۴a	۰/۱۶۸a	۰/۱۸۳b	۰/۱۵۴b	۰/۶۶۴a	۶	
								پتاسیم
۰/۲۸cb	۰/۹۳۲ab	۰/۱۶۹bc	۰/۱۵۶de	۰/۲۱۲ab	۰/۱۸۸ab	۰/۶۰۱c	۱/۵	نیتروژن
۰/۲۵c	۰/۹۵۴ab	۰/۱۶۰c	۰/۱۵e	۰/۲۱۱ab	۰/۱۵۵bc	۰/۶۳۴abc	۳	
۰/۲۹cb	۰/۸۹۷ab	۰/۱۸۲abc	۰/۱۶۲dc	۰/۲۰۹ab	۰/۱۶۴abc	۰/۶۲۷bc	۶	
۰/۲۸cb	۱/۰۱۲a	۰/۱۶۷bc	۰/۱۶۹ab	۰/۲۱۵a	۰/۱۸۸ab	۰/۶۰۴c	۱/۵	۳
۰/۲۸cb	۰/۹۲۵ab	۰/۱۷۹abc	۰/۱۶۵bc	۰/۱۸۵abc	۰/۱۷۷ab	۰/۶۳۷abc	۳	
۰/۳b	۰/۸۱۹b	۰/۲۰۷a	۰/۱۶۹ab	۰/۱۷۶bc	۰/۱۳c	۰/۶۹۴a	۶	
۰/۳۴a	۰/۸۰۷b	۰/۲۰۲a	۰/۱۶۲dc	۰/۲۱ab	۰/۱۹۸a	۰/۵۹۲c	۱/۵	۶
۰/۳۱ab	۰/۸۴۶ab	۰/۱۹۹a	۰/۱۶۸abc	۰/۱۹۹abc	۰/۱۶۶abc	۰/۶۳۵abc	۳	
۰/۲۹cb	۰/۸۹۱ab	۰/۱۹۵ab	۰/۱۷۳a	۰/۱۶۴c	۰/۱۶۷abc	۰/۶۷ab	۶	

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنادار بین دو تیمار است.

اثر نیتروژن و پتاسیم بر شاخص‌های رشد

سرعت رشد نسبی (RGR) در سطوح مختلف پتاسیم تفاوت معناداری نشان داد و با افزایش مقدار پتاسیم مقدار RGR افزایش یافت. افزایش سرعت رشد نسبی در مورد پتاسیم ناشی از نرخ توسعه برگ (LAR) بود. چون هم‌زمان با افزایش RGR مقدار LAR هم افزایش پیدا کرد درحالی‌که اثر پتاسیم بر مقدار NAR معنادار نبود (جدول ۶). همانند پتاسیم، با افزایش مقدار نیتروژن مقدار RGR افزایش پیدا کرد (جدول ۷). درحالی‌که اثر آن بر هیچ‌کدام از فاکتورهای LAR و NAR در کل دوره معنادار نبود (جدول ۷). *et al. De Grazia* (2006) گزارش کردند که غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن سبب افزایش تولید ماده خشک و افزایش سرعت رشد نسبی می‌شود. نتایجی مشابه در مورد فلفل توسط *Bassocu & Nicola* (1994)، و *Vavrina et al* (1998) به دست آمد.

گیاهان می‌توانند در محدوده وسیعی از فاکتورهای محیطی (مانند عناصر غذایی) از طریق تغییر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی زنده بمانند و رشد کنند. اثرات فاکتورهای محیطی که در این آزمایش نیتروژن و پتاسیم بودند (بر رشد گیاهان از طریق تجزیه سرعت رشد نسبی به دو فاکتور فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی

نکته جالب این بود که افزایش نیتروژن در همه سطوح پتاسیم سبب افزایش تخصیص ماده خشک به برگ‌ها شده بود، اما در سطوح مختلف نیتروژن با افزایش مقدار پتاسیم مقدار LMF ثابت ماند. نیتروژن سبب کاهش نسبت ماده خشک ساقه به ماده خشک کل (SMF) شد (جدول ۷). غلظت ۱/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر آن بیشترین نسبت SMF را داشت. نسبت SMF یکی از فاکتورهای کلیدی رشد نشاسته، چراکه بیانگر قدرت نشا حین انتقال به محل اصلی و مقاومت در برابر باد و خشکی محسوب می‌شود. اثر متقابل نیتروژن و پتاسیم بر نسبت‌های RMF، SMF و LMF معنادار نبود (جدول ۶).

با این وجود، بیشترین میزان SMF در نسبت (K:N) ۶:۱/۵ اتفاق افتاد و کمترین مقدار SMF در نسبت‌های ۳:۶ و ۱/۵:۶ بود که نشان‌دهنده اثر منفی کاهش نسبت (K:N) بر SMF بود (جدول ۷). اما بیشترین میزان RMF در نسبت ۳:۱/۵ و کمترین میزان آن در نسبت ۶:۶ مشاهده شد. این نتایج بیانگر آن است که زمانی که نسبت بین پتاسیم و نیتروژن (K:N) بیشتر می‌شود تخصیص ماده خشک در جهت بهبود کیفیت نشا، یعنی افزایش نسبت ماده خشک ریشه و ساقه به ماده خشک کل (SMF و RMF) اتفاق خواهد افتاد.

افزایش نامحسوس LAR در پاسخ به افزایش نیتروژن ناشی از افزایش LMF بوده است و نه SLA، چراکه اثر نیتروژن بر مقدار SLA غیرمعنی‌دار بود (جدول ۵ و ۷).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه کیفیت و رشد نشاها تحت تأثیر تغذیه نیتروژن و پتاسیم قرار گرفت. با اینکه اثر نیتروژن و پتاسیم بر رشد و کیفیت نشاها معنادار بود، اثر متقابل نیتروژن و پتاسیم بر اکثر صفات غیرمعنی‌دار بود. افزایش پتاسیم سبب افزایش اکثر صفات مطلوب شد. بدون در نظر گرفتن اثرات ترکیبی این دو عنصر غلظت ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر برای پتاسیم و غلظت ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر برای نیتروژن معرفی می‌شود اما مقایسه میانگین کلی تیمارها نشان داد که بهترین رشد نشاها (بیشترین مقادیر NAR و RGR و کمترین مقدار LAR) در ترکیب تیماری ۳:۱/۵ (K:N) به دست آمد. همچنین ترکیب ۶:۳ و ۳:۶ (K:N) هم نتایج خوبی را در پی داشتند اما به دلیل اینکه در این ترکیب‌ها غلظت کل عناصر محلول غذایی بالاتر از نسبت ۳:۱/۵ است، برای صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی بهتر است از آنها استفاده نشود.

بررسی می‌شوند). طبق گفته Poorter & Negal (2000) در اکثر مطالعات تغذیه گیاهی، اثر عناصر بر رشد گیاهان بیشتر از طریق تغییر فاکتور LAR در مقایسه با NAR بوده است، در این آزمایش نیز RGR و LAR در پاسخ به پتاسیم، هر دو افزایش یافتند. اگرچه در چند آزمایش هم مشخص شده است که NAR اهمیت بیشتری دارد (Taub, 2002). LAR منعکس‌کننده پاسخ مورفولوژیکی گیاه است اما NAR بیانگر تعادل بین فتوسنتز و تنفس است و منعکس‌کننده پاسخ فیزیولوژیکی گیاه است. خود LAR، حاصل ضرب سطح ویژه برگ (SLA) در نسبت ماده خشک برگ به کل گیاه (LMF) است (Lambers *et al.*, 2008). در این آزمایش مشخص شد که افزایش LAR توسط پتاسیم از طریق افزایش در SLA بود چون LMF تحت تأثیر سطوح مختلف پتاسیم قرار نگرفت. پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد پتاسیم از طریق افزایش سطح برگ سبب افزایش LAR شده است. در طرف مقابل اثر نیتروژن با وجود اینکه بر RGR معنادار بود اما بر هیچ‌کدام از فاکتورهای LAR و NAR معنادار نبود، هرچند که LAR و NAR به ترتیب افزایش و کاهش غیرمعناداری را در پاسخ به نیتروژن تجربه کردند.

REFERENCES

- Ågren, G. I. and Franklin, O. (2003). Root: shoot ratios, optimization & nitrogen productivity. *Annals of Botany*, 92, 795-800.
- Ayastuy, M., Hernández, L., Rodríguez, R., Fernández, J. & Cantamutto, M. (2009). Field Performance of Melon Seedlings Hardened by Brushing or with Paclobutrazol. *Acta Horticulturae*, 898, 299-306
- Balliu, A., Bani, A. & Sulçe, S. (2006). Nitrogen effects on the relative growth rate and its components of pepper (*Capsicum annuum*) and eggplant (*Solanum melongena*) seedlings. *Acta Horticulturae*, 747, 257-262.
- Basoccu, L. & Nicola, S. (1994). Supplementary light and pretransplant nitrogen effects on tomato seedling growth and yield. *Acta Horticulturae*, 396, 313-320.
- Bennett, M., Precheur, R., Kleinhenz, M., Riedel, R. & Dikshit, S. (2002). Transplant quality, disease control and yield in fresh market tomato as affected by paclobutrazol and commercial biological control agents. *Acta Horticulturae*, 241, 283-289.
- Cakmak, I., Hengeler, C. & Marschner, H. (1994). Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *Journal of Experimental Botany*, 45, 1245-1250.
- Cantliffe, D. J. (2009). Plug Transplant Technology. *Horticultural Reviews*, 37, 397-436
- De Grazia, J., Tittone, P. & Chiesa, A. (2006). Nitrogen fertilization of Eggplant (*Solanum melongena* L. var. *esculentum*) transplants and their impact on crop growth after transplanting. *Acta Horticulturae*, 459, 185-192.
- Dhawan, N. G., Umar, S., Siddiqi, T. O. & Iqbal, M. (2011). Nitrogen assimilation and yield of *Lepidium Sativum* [L.] as affected by potassium availability. *Journal of Functional and Environmental Botany*, 1, 1-10.
- Dufault, R. J. (1998). Vegetable transplant nutrition. *Hort Technology (USA)*, 8, 515-523.

11. Ericsson, T. (1995). Growth and shoot: root ratio of seedlings in relation to nutrient availability. *Plant and soil*, 168, 205-214.
12. Heuvelink, E. (2005). *Tomatoes*. Wageningen. CABI. (pp. 75-89)
13. Hilbert, D. W. (1990). Optimization of plant root: shoot ratios and internal nitrogen concentration. *Annals of Botany*, 66, 91-98.
14. Khosla, S. & Papadopoulos, A. (2001). Influence of K: N ratio and EC on tomato plant raising. *Acta Horticulturae*, 675, 149-156.
15. Lambers, H., Chapin, F. S. & Pons, T. L. (2008). Growth and allocation. *Plant Physiological Ecology*, Springer. New York.
16. Liptay, A., Sikkema, P. & Fonteno, W. (1998). Transplant growth control through water deficit stress: a review. *HortTechnology*, 8, 540-543.
17. Marschner, H., Kirkby, E. & Cakmak, I. (1996). Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany*, 47, 1248-1255.
18. Marschner, P. (2011). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic press. (pp. 162-189).
19. Masson, J., Tremblay, N. & Gosselin, A. (1991). Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence vegetable transplant production. I. Transplant growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116, 594-598.
20. Maynard, D. N., Hochmuth, G. J. & Knott, J. E. (2006). Knott's handbook for vegetable growers. Wiley. (pp. 60-93)
21. Meille, J. L. & Pellerin, S. (2008). Shoot and root growth of hydroponic maize (*Zea mays* L.) as influenced by K deficiency. *Plant and Soil*, 304, 157-168.
22. Mengel, K. (1985). Potassium movement within plants and its importance in assimilate transport. *In Potassium in agriculture*. Madison, Wis. (pp. 397-411)
23. Rajapakse, N. C. & Shahak, Y. (2007). Light-quality manipulation by horticulture industry. In *Annual Plant Reviews (30): Light and Plant Development*. Blackwell Publishing Ltd. (pp. 290-312).
24. Ruiz, J. & Romero, L. (2002). Relationship between potassium fertilisation and nitrate assimilation in leaves and fruits of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Annals of applied biology*, 140, 241-245.
25. Sallaku, G., Bani, A. & Balliu, A. (2009). The effects of N concentration in pre-transplant nutrient solution on the N use efficiency and dry mass partitioning of vegetable solanaceae seedlings. *Acta Horticulturae*, 830, 405-412.
26. Taub, D. R. (2002). Analysis of interspecific variation in plant growth responses to nitrogen. *Canadian Journal of Botany*, 80, 34-41.
27. Vavrina, C. S., Hochmuth, G., Cornell, J. & Olson, S. (1998). Nitrogen fertilization of Florida-grown tomato transplants: Seasonal variation in greenhouse and field performance. *HortScience*, 33, 251-254.
28. Wien, H. C. (1997). *The physiology of vegetable crops*. New York: CABI. 662. (pp. 37-69).
29. Xiong, J., Patil, G. G. & Moe, R. (2002). Effect of DIF and end-of-day light quality on stem elongation in *Cucumis sativus*. *Scientia Horticulturae*, 94, 219-229.
30. Zandstra, J. & Liptay, A. (1999). Nutritional effects on transplant root and shoot growth: a review. *Acta Horticulturae*, 504, 23-32
31. Zhang, Z., WANG, Q.-L., LI, Zhao-Hu, DUAN, Liu-Sheng. (2009). Effects of potassium deficiency on root growth of cotton seedlings & its physiological mechanisms. *Acta Agronomica Sinica*, 35, 718-723.
32. Zolfaghari, M. (2008). *Zooponic and phosphorus nutrition of rose with Iranian apatites*. Ms.c Thesis. Faculty of Agricultural Science and Technology. University of Tehran, Iran. (In Farsi).