مجله علوم باغبانی ایران
دوره ۴۱، شماره ۳، ۱۳۸۹ (۲۶۳-۲۵۳)

تأثیر محلول‌های غذایی مختلف بر عملکرد، عناصر غذایی و خصوصیات فیزیولوژیکی خیار رشد یافته در آبکشت

قادر خضری[۱] و سید جلال طباطبائی[۲]*
۱، ۲، دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
(تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۴ - تاریخ تصویب: ۸۹/۹/۱۴)

چکیده

استفاده از آبکشت و تأمین محلول‌های غذایی مناسب عامل مهم در بهینه‌سازی تولید و رسیدن به کشاورزی پایدار است. در ایران تولید محصولات گلخانه‌ای از جمله خیار رو به توسعه است ولی محلول‌های غذایی مختلفی پیشنهاد می‌شود که مزیت نسبی آنها مطالعه نشده است. به این منظور تأثیرات شش نوع محلول غذایی رایج دنیا شامل محلول غذایی هوگلند (NS_{Hog})، محلول استاینر (NS_{St})، محلول ناپ (NS_{Knop})، فرمول انگلستان ($NS_{U.K}$)، فرمول هلند (NS_{Neth}) و فرمول دانشگاه تبریز (NS_{UT}) بر رشد، عملکرد و کیفیت دو رقم خیار گلخانه‌ای به نام‌های نگین (Negeen) و کاترینا (Katrina) مورد مطالعه قرار گرفت. طرح آزمایش از نوع بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار (هر تکرار ۴۸ گیاه) بود. بذور خیار ۴۸ ساعت پس از جوانه‌زنی در کانال‌های حاوی پرلایت و ورمی‌کولایت (به نسبت V:V ۳:۱) کاشته شده و گیاهان تا نخستین برداشت با یک چهارم غلظت و از زمان نخستین برداشت تا انتهای آزمایش با نصف غلظت محلول‌های غذایی مختلف تغذیه گردیدند. میوه‌ها یک روز در میان برداشت و نهایتاً پس از گذشت شش ماه عملکرد نهایی محاسبه گردید. خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی گیاه در دو مرحله یعنی در طول رشد گیاه و انتهای رشد اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که محلول‌های غذایی تأثیر معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۱$) بر عملکرد خیار داشتند به طوری که $NS_{U.K}$ و NS_{Hog} حداکثر عملکرد و محلول NS_{Knop} حداقل عملکرد را داشتند. با همان محلول‌های غذایی، رقم نگین نسبت به رقم کاترینا ۳۰ درصد افزایش محصول نشان داد. خصوصیات رویشی و کیفی گیاه نیز تحت تأثیر محلول‌های غذایی و ارقام قرار گرفت. سطح برگ گیاهان در محلول‌های $NS_{U.K}$، NS_{Hog} و NS_{Knop} حداکثر بود. همچنین سطح برگ رقم نگین نسبت به رقم کاترینا افزایش معنی‌داری را نشان داد. همبستگی قوی ($r^2=۰/۷۶$) بین سطح برگ و عملکرد به دست آمد. حداقل شاخص کلروفیل در تیمارهای NS_{St} و NS_{Neth} دیده شد. تأثیر تیمارها و ارقام بر درصد مواد جامد محلول (TSS) میوه‌ها معنی‌دار شد به طوری که حداکثر TSS در تیمار NS_{Hog} و حداقل در NS_{Neth} و $NS_{U.T}$ دیده شد ولی حداکثر TSS دمبرگ در تیمار NS_{Neth} مشاهده گردید. نیتروژن برگ برای تیمار NS_{St} بیشترین میزان را دارا بود که با محلول‌های دیگر متفاوت بود ($P\leq ۰/۰۵$) در حالی که نیتروژن برگ رقم کاترینا با رقم نگین تفاوت معنی‌دار داشت. پتاسیم برگ در تیمار $NS_{U.K}$ بیشترین میزان را نشان داد ولی در بین ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. فسفر برگ‌ها نیز در بین ارقام معنی‌دار شد. در نهایت میزان اسید قابل تیتراسیون (TA) میوه‌ها در تیمار $NS_{U.K}$ بیشترین بود. به این ترتیب به نظر می‌رسد که مصرف محلول $NS_{U.K}$ و NS_{Hog} نسبت به محلول‌های دیگر ارجحیت داشته باشد ولی لازم است که جنبه‌های اقتصادی آنها بررسی گردد.

واژه‌های کلیدی: آبکشت، کیفیت، کلروفیل، محلول غذائی، خیار.

* نویسنده مسئول: سید جلال طباطبائی تلفن: ۰۹۱۴-۴۱۵۷۰۱۴ E-mail: tabatabaei@tabrizu.ac.ir

مقدمه

کشاورزی پایدار نوعی از سیستم کشاورزی است که در آن با به کارگیری حداقل نهاده‌ها و عوامل شیمیایی خارجی، بتوان عملکرد مطلوبی به دست آورد. در ضمن کشاورزی پایدار حداقل تأثیر سوء را بر محیط زیست گذاشته و در دراز مدت کیفیت محیط و منابع طبیعی را ارتقا می‌دهد. با افزایش روزافزون جمعیت و نیازهای فراوان آن از جمله غذا، کشاورزی به روش‌های ابتدایی و سنتی با بازدهی کم، دیگر جوابگوی این نیازها نیست. همچنین آلودگی منابع خاک و آب نیز از دیگر عوامل بازدارنده استفاده از کودهای شیمیایی در خاک است. در این میان استفاده از آبکشت به منظور استفاده بهینه از نهاده‌های کشاورزی و به دست آوردن عملکردهای بالا در مقایسه با میزان کود مصرفی نقش بسیار مهمی در کشاورزی پایدار دارد. تغذیه عناصر معدنی و همچنین شرایط محیطی از جمله نور و دما و رطوبت نسبی یکی از مهمترین عوامل موفقیت در مدیریت و پرورش خیار گلخانه‌ای می‌باشد. هر چند تحقیقات در رابطه با استفاده از منابع ارگانیک در آبکشت رو به گسترش است (Graber & Junge, 2009). با این وجود تحقیق مستمر درباره محلول‌های غذایی و با روند رو به رشد صنعت گلخانه‌داری و تولید فرآورده‌های گلخانه‌ای، شناسایی بهترین محلول‌های غذایی برای محصول خاص ضروری می‌باشد. در آبکشت بایستی در خصوص استفاده از عناصر غذایی دقت بالایی لحاظ گردد زیرا در این روش کمبود هر یک از عناصر اثر خود را به سرعت نمایان می‌کند (Papadopulus, 1994). از شاخص‌های کلیدی یک محلول غذایی مناسب، تأمین عناصر مورد نیاز گیاه به گونه‌ای که گیاه با دریافت عناصر پرمصرف و کم مصرف در اندازه بهینه دچار تنش‌های تغذیه‌ای نگردد و از همه مهمتر به اقتصادی بودن آن است تا بدین وسیله مقبولیت آن در بین سرمایه‌گذاران فراهم گردد. داشتن اطلاع کافی از فرمولاسیون محلول‌های غذایی مهم است اما مهمتر از آن، چگونگی مدیریت کردن آن است تا تولید موفق باشد (Benton Jones, 2005). در روش‌های کشت بدون خاک تمامی عناصر ضروری بایستی به صورت نمک‌های محلول به گیاه داده شود. محلول استاندارد محلولی است که حاوی تمامی عناصر غذایی در غلظت‌های مشخص باشد و متخصصان بنا به مؤلفه‌های تحقیق و شرایط کشت و گونه گیاهی مورد تحقیق از محلول‌های استاندارد تغییر یافته و یا غلظت‌های متفاوت آن بهره می‌گیرند. با توجه به این که یک عنصر به صورت نمک‌های مختلف وجود دارد، انتخاب نوع نمک یا کود برای تأمین آن عنصر بستگی به عواملی همچون نسبت عناصر، درجه حلالیت، pH، محیط کشت، هزینه و مکانیسم‌های تأثیر آن عنصر دارد (Tabatabaei, 2009). در کشورهای مختلف دنیا محلول‌های غذایی متفاوتی با توجه به نوع کشت، عوامل محیطی و هزینه کودهای مختلف استفاده می‌شود. در ایران با توجه به سابقه نه چندان طولانی سیستم‌های آبکشت، تأثیر محلول‌های مختلف غذایی بر کشت گیاهان پر محصول مثل خیار یا گوجه‌فرنگی کمتر بررسی شده است. بنابراین برای حصول به عملکرد و کیفیت مناسب لازم است محلول‌های غذایی مهم بررسی شود تا بتوان مناسب‌ترین آنها را از لحاظ اقتصادی، تأثیر روی عملکرد و حتی عوامل زیست محیطی انتخاب نمود. تیمار سه منبع نیتروژن (NO_3^-، NH_4^+ یا NH_4NO_3) بر ارقام خیار گلخانه‌ای حساس به سمیت آمونیوم نشان داد که وزن تر گیاهان تیمار شده با نسبت آمونیوم ۱۵ و ۲۵ درصد، با وزن تر گیاهان تیمار شده با نیترات یکسان بود اما، در گیاهان تیمار شده با نسبت آمونیوم ۳۵ و ۴۵ درصد، تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید و رشد کاهش یافت (Roosta et al., 2009). در آزمایشی دیگر محلول‌های غذایی که دارای کودهای آلی و عناصر معدنی بودند بر روی دو رقم خیار (آرمارا-پر رشد و گوردیون-کم رشد) و در چهار نوع محیط کشت و طی دو فصل آزمایش گردید. نتایج نشان داد محلول غذایی که با استفاده از کودهای آلی تهیه شده بود میزان عملکرد کل را به اندازه ۲۲/۴ درصد در کشت پاییزه در مقایسه با محلولی که با استفاده از عناصر معدنی تهیه شده بود افزایش داد. اما این مقدار در کشت بهاره به ۱۰/۹ درصد تنزل کرد (Gul et al., 2007). همچنین میزان رشد، عملکرد، کیفیت و متابولیسم نیتروژن در توت‌فرنگی‌های گلخانه‌ای با تیمار سایه‌اندازی ۵۰ درصد و نیز در زمان استفاده از نسبت‌های مختلف نیترات به آمونیوم در محلول‌های غذایی ارزیابی گردید. نتایج

حاصله نشان داد که وزن تر و خشک با بالا رفتن غلظت نیترات (۱۰۰٪) و آمونیوم (۷۵٪) در محیط کشت کاهش نشان داد. وزن تر و خشک میوه‌ها در تیمارهای ۷۵ به ۲۵ و ۵۰ به ۵۰ نیترات به آمونیوم افزایش معنی‌داری نشان داد و در نهایت میزان مواد جامد قابل حل (TSS) در گیاهان بدون سایه و سایه دار با افزایش میزان آمونیوم افزایش نشان داد هرچند که در گیاهان سایه‌دار شده با افزایش نسبت آمونیوم در نسبت‌های بالا تأثیر معکوس نشان داد (Tabatabaei et al., 2007). در تحقیقی دیگر تأثیر دو نسبت نیتروژن (با اضافه کردن نیتروژن به میزان ۱۰۰٪ به شکل نیترات یا ۸۰٪ نیترات و ۲۰٪ آمونیوم در محلول غذایی) و سه سطح آهن (صفر میکرومول آهن، ۲۰ میکرومول Fe-EDDHA و ۳ میکرومول Fe-EDDHA + ۱۰ میلی‌مول $NaHCO_3$) بر روی رشد، علایم زرد شدگی برگ‌ها و ترکیب عناصر موجود در اندام‌های هوائی اسفناج‌های پرورش یافته در آبکشت نشان داد، هنگامی که آهن به اندازه کافی (۲۰ میکرومول آهن) در محلول غذایی وجود داشته باشد به همراه نیتروژن (چه به صورت نیترات یا ترکیب نیترات با آمونیوم) منجر به تولید ماده خشک بیشتر و افزایش میزان آهن و منگنز و روی در گیاهان می‌شد. گیاهانی که با فقدان آهن روبرو بودند دارای میزان بالاتری از غلظت منگنز و روی در ساقه‌های خود بودند. تحت شرایطی که تیمار غلظت بالای بی‌کربنات‌ها همراه با سطوح پایین آهن (۳ میکرومول آهن + ۱۰ میلی‌مول $NaHCO_3$) به کار برده شده بود، نوع نیتروژن به کار رفته تأثیر معنی‌داری بر روی میزان ماده خشک نداشت. هر چند که انباشت آهن و منگنز در ساقه گیاهانی که فقط با نیترات تغذیه شده بودند در مقایسه با گیاهانی که از هر دو شکل نیتروژن برخوردار بودند در سطوح پایین‌تری بود (Assimakopoulou, 2006). همچنین تأثیر سطوح مختلف آمونیوم (۰، ۰/۱ و ۰/۳ میلی‌اکی والان گرم در لیتر) به شکل نیترات آمونیوم و مولیبدن (۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر) به شکل مولیبدات آمونیوم در محلول‌های غذایی در دو فصل کشت بهاره و پاییزه بر غلظت نیترات در میوه خیار رقم‌های"سلطان" و "روبا-اس" مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که غلظت نیترات در گیاهان تغذیه شده به وسیله محلول‌های غذایی حاوی ۰/۳ میلی‌مولار آمونیوم (۰/۳۷ درصد در ماده خشک) در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی ۰/۱ میلی‌مولار (۰/۴ درصد ماده خشک) کاهش یافت. اما کمترین غلظت نیترات در تیمار بدون آمونیوم (۰/۲۵ درصد ماده خشک) به دست آمد. در بین سطوح مختلف مولیبدن نیز بیشترین تجمع نیترات مربوط به ۰/۱۵ میلی مولار محلول غذایی (۰/۳۸ درصد ماده خشک) می‌باشد و بین دو سطح دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. دو رقم از نظر میزان غلظت نیترات اختلاف معنی‌داری نداشتند (Chirani et al., 2008). در تحقیق دیگری ترکیب عناصر غذایی ۱۲ محلول مهم دنیا شامل ناپ، پنینگسفیلد شمال آفریقا، پنینگسفیلد کارناسین، محلول ژاپن، آرنون و هوگلند (۱۹۴۰)، دنیس و هوگلند آمریکا، شیو و رابین، هاکس کالیو (۱۹۶۱)، استاینر (۱۹۶۱)، کوپر (۱۹۷۹)، مرکز تحقیقات کشت بدون خاک و نالدویک، مقایسه گردید و مشاهده شد که ترکیب عناصر غذایی پرمصرف محلول‌های غذایی تأثیر قابل توجهی روی عناصر ریزمغذی می‌گذارند (De Rijck & Schrevens 1998). در تمامی محلول‌های غذایی مورد مطالعه که از آهن کلاته یا آهن معدنی به عنوان منبع تأمین‌کننده عنصر آهن مورد نیاز گیاهان استفاده می‌شد، افزایش غلظت آهن به فرم معدنی یا کلاته در محلول‌های غذایی تأثیری بر مقدار جذب آهن نداشت. با توجه به اطلاعات فوق محلول‌های غذایی متفاوتی برای کشت خیار توصیه شده است. با این حال تحقیقات جامعی که تأثیر محلول‌های غذایی دنیا را بررسی نماید اندک بوده، بخصوص با توجه به اینکه در ایران کشت این گیاه در گلخانه‌ها توسعه پیدا کرده است لازم است محلول غذایی مناسب ارائه شود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی آبکشت گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد. آزمایش به صورت کشت بدون خاک در مواد جامد حاوی مخلوطی از پرلایت و ورمی‌کولایت به نسبت (۳:۱ V:V) انجام شد. در مجموع ۱۸ عدد کانال بتونی

یعنی ۶ عدد کانال بتونی به طول ۳ متر و ۱۲ عدد کانال بتونی به طول ۱/۵ متر (۶ عدد کانال بتونی ۳ متری که برای بالا بردن دقت آزمایش از وسط نصف شدند) اعمال گردید.

تیمارهای آزمایش متشکل از شش محلول غذایی شامل محلول هوگلند (NS_{Hog}- (Harris, 1992) (Hoagland)، محلول استاینر(Winsor et al., 1990)- (NS_{St} (Steiner)، محلول ناپ (NS_{Knop}-(Harris, 1992) (Knop)، فرمول انگلستان (Winsor et al., 1990)- ($NS_{U.K}$ (England)، فرمول هلند(Winsor et al., 1990)- (NS_{Neth} (Netherland) و فرمول جدید دانشگاه تبریز (University of $NS_{U.T}$ -(Tabatabaei et al., 2007) (Tabriz و دو رقم به نام‌های نگین (Negeen) و کاترینا (Katrina) بودند که مجموعاً ۱۲ تیمار آزمایشی را تشکیل می‌داد. ترکیب محلول‌های غذایی مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- غلظت عناصر در محلول‌های غذایی مورد مطالعه

عناصر غذایی	محلول‌های غذایی					
(mg/L)	University of Tabriz	Netherland	England	Knops	Steiner	Hoagland and Arnon
N	۲۰۸/۰	۱۷۰/۰	۲۸۵/۰	۱۷۰/۰	۱۹۸/۲	۲۲۴/۰
K	۱۹۳/۰	۲۱۵/۰	۳۴۹/۲	۷۷/۶	۲۳۷/۵	۲۳۵/۰
Ca	۸۴/۵	۱۱۵/۰	۱۲۶/۷۵	۱۳۵/۲	۱۸۱/۵	۱۶۰/۰
P	۲۰/۷	۱۱۰/۰	۱۶۰/۸	۱۰۷/۲	۷۲/۴	۶۲/۰
S	۵۲/۷	۶۷/۷	۴۴/۸	۱۶/۷	۸۰/۰	۳۲/۰
Mg	۳۹/۲	۱۲/۰	۲۹/۴	۹/۸	۲۴/۴	۲۴/۰
Fe	۱/۹	۵/۵	۲/۲۵	۳/۰	۰/۵	۳/۰
Cl	--	--	--	--	--	۱/۸
B	۰/۳	۳/۴	۰/۵	۵/۱	۰/۵	۰/۳
Mn	۰/۸	۴/۲	۹/۹	۴/۹	۰/۷	۰/۱
Zn	۰/۱	۲/۶	۰/۱	۱/۱	۰/۱۲	۰/۱
Cu	۰/۲	۰/۳	۰/۱۲	۰/۵	۰/۰۲	۰/۰۳
Mo	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳

اواخر اردیبهشت ماه بذور خیار در آزمایشگاه، داخل پتری‌دیش‌ها، جوانه‌دار شده و پس از ۴۸ ساعت به صورت مستقیم در محیط کشت اصلی کاشته شدند. میانگین دمای روزانه گلخانه ۲±۲۵ و دمای شبانه ۲±۱۸ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. محیط گلخانه نیز با رطوبت نسبی ۵±۶۵٪ و شرایط نور طبیعی خورشید (و بدون استفاده از منابع نور مصنوعی) تنظیم شد. در ابتدا روزانه به میزان ۳۰۰ میلی‌لیتر به هر گیاه محلول داده شد و در زمان اوج باردهی این میزان روزانه به ۱۵۰۰-۱۰۰۰ میلی‌لیتر افزایش یافت. از زمان پیدایش نخستین برگ حقیقی تا زمان نخستین برداشت از ۲۵ درصد غلظت اصلی و از زمان نخستین برداشت تا انتهای آزمایش از نصف غلظت محلول‌های غذایی استاندارد استفاده گردید. با افزودن ۰/۰۲۵ میلی‌لیتر در لیتر اسید فسفریک و ۰/۰۶۲ میلی‌لیتر در لیتر اسید نیتریک، pH محلول‌ها در محدوده ۶/۵ تنظیم گردید و EC محلول‌های غذایی به طور مداوم اندازه‌گیری شده و هر هفته آبشویی بستر به منظور اجتناب از بالا رفتن EC بستر و تجمع نمک صورت گرفت. محلول‌رسانی به گیاهان با قطره‌چکان‌هایی با آبدهی چهار لیتر در ساعت و با زمان‌سنج‌های ویژه روزانه شش مرتبه و هر بار به مدت پنج دقیقه صورت گرفت. به مدت سه ماه از آغاز نخستین برداشت، هفته‌ای سه بار میوه‌ها چیده شده، تعداد میوه‌ها شمارش گردید و وزن آنها جداگانه برای هر بوته به منظور ارزیابی عملکرد توزین گردید. غلظت نیترات دمبرگ برگ‌های تازه توسعه یافته با استفاده از دستگاه نیترات سنج (HORIBA, Japan) اندازه‌گیری شد. از برگ‌های تازه توسعه یافته گیاهان مورد تیمار با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD – 502, SPAD Konica, Minolta, Osaka, Japan) (برای هر گیاه حدود

۱۰-۱۵ بار) اندازه‌گیری شده و میانگین آنها به عنوان شاخصی از میزان کلروفیل گیاهان هر تیمار یادداشت شد. سطح برگ گیاهان با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (LI COR, model Li-1300, Lincoln, NE, USA) اندازه‌گیری شد که به این منظور در انتهای آزمایش حداقل دو گیاه از هر تیمار انتخاب و از سطح بستر بریده شدند. سپس تعداد برگ‌ها و گره‌ها شمارش گردید و با تعمیم دادن سطح تک برگ به تعداد گره‌های گیاه سطح برگ محاسبه گردید.

در طی دوره برداشت TSS آب میوه‌ها با استفاده از دستگاه رفراکتومتر سنجیده شد و TSS دمبرگ‌ها نیز در طی دو دوره با گرفتن آب دمبرگ‌ها اندازه‌گیری شد. نیتروژن موجود در برگ‌ها با استفاده از دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها خشک و آسیاب شده و درون اجاق هضم در دمای ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد مراحل هضم را گذرانید. سپس با استفاده از NaOH و اسید بوریک و معرف‌های رنگی تیتره گردیده و مقدار نیتروژن محاسبه گردید (Tabatabaei, 2009). برای اندازه‌گیری فسفر، نمونه‌های خشک گیاهی با اسید نیتریک به مدت ۱۲ ساعت بدون حرارت و سپس به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد هضم گردید و محتوای آن با استفاده از دستگاه اسپکترومتر (Moticm Cl-45240-00, China) در طول موج ۴۳۰ نانومتر تعیین شد. برای اندازه‌گیری پتاسیم نیز هضم نمونه ها مشابه فسفر انجام گرفته و مشابه آن با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر با استفاده از روش نشر شعله‌ای اندازه‌گیری شد. برای سنجش اسیدیته کل (TA) ۱۰ گرم از گوشت آبدار میوه، له شده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس با محلول هیدروکسید ۰/۱ نرمال تیتره شده و میزان TA محاسبه گردید (Tabatabaei, 2009). برای اندازه‌گیری pH و EC نیز ۱۰ گرم از گوشت آبدار میوه، له شده به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر

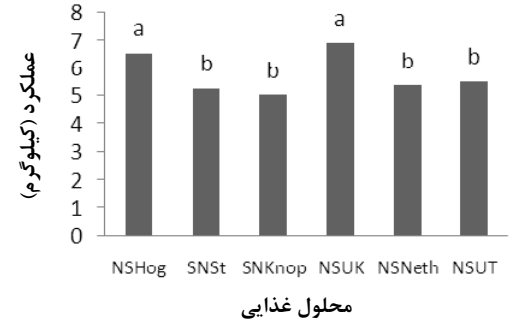
جدول ۲- غلظت نمک‌های کودی تشکیل‌دهنده محلول‌های غذایی برحسب میلی گرم در لیتر

نمک‌های کودی	محلول‌های غذایی					
	University of Tabriz	Netherland	England	Knops	Steiner	Hoagland and Arnon
KNO_3	۵۰۰/۰	۲۵۰/۳	۹۰۰/۰	۲۰۰/۰	۲۸۰/۱	۶۰۰/۶
NH_4NO_3	۱۵۰/۰	۴۰/۰	--	--	--	--
Urea	۳۰/۰	--	--	--	--	--
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	--	--	--	--	۱۰۷/۴	--
$Ca(NO_3)_2$	۵۰۰/۰	۶۷۰/۹	۷۵۰/۰	۸۰۰/۰	--	۶۵۰/۶
$MgSO_4.7H_2O$	--	--	--	--	۴۹۰/۸	۴۹۰/۰
$MgSO_4$	۴۰۰/۰	۲۴۰/۶	۶۰۰/۰	۲۰۰/۰	--	--
$NH_4H_2PO_4$	--	--	--	--	--	۱۱/۵
KH_2PO_4	--	۲۰۰/۴	۳۰۰/۰	۲۰۰/۰	۱۳۰/۵	--
$(NH_4)_3PO_4$	۱۰۰/۰	--	--	--	--	--
K_2SO_4	--	۲۶۰/۰	--	--	۲۵۰/۱	--
KOH	--	--	--	--	۲۰/۳	--
FeNa-EDTA	--	--	--	--	۱/۰	--
Fe-EDDHA	۲/۵	۶/۰	۳/۰	۴/۰	--	۴/۰
$MnSO_4.4H_2O$	--	--	--	--	۰/۲۵	--
$MnSO_4$	۰/۲	۱/۷	۴/۰	۲/۰	--	--
$MnCl_2.4H_2O$	--	--	--	--	--	۰/۱۸۱
H_3BO_3	۰/۲۲	۱/۹	۰/۲۴	۲/۹	۰/۲۵	۰/۲۸۶
$ZnSO_4.7H_2O$	--	--	--	--	۰/۰۵	۰/۰۲۲
$ZnSO_4$	۰/۲۳	۱/۱۵	۰/۰۴	۰/۴۵	--	--
$CuSO_4.5H_2O$	--	--	--	--	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸
$CuSO_4$	۰/۰۰۵	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۲	--	--
$H_2MoO_4.H_2O$	۰/۰۰۱	--	--	--	--	۰/۰۰۲
$Na_2MoO_4.2H_2O$	--	--	--	--	۰/۰۱۲	--

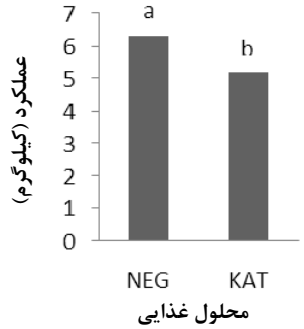
رسانیده شد و با pHمتر و ECمتر اندازه‌گیری شد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های فوق با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 تجزیه آماری و میانگین‌های به دست آمده با روش چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر محلول‌های غذایی و ارقام روی عملکرد و خصوصیات رویشی و کیفی معنی‌دار بود ولی اثرات متقابل معنی‌دار نبود. تیمارها تأثیر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر عملکرد داشتند و حداکثر عملکرد در تیمارهای $NS_{U.K}$ و NS_{Hog} دیده شد که به ترتیب ۶/۷ و ۶/۵ کیلوگرم در بوته بودند. عملکرد محلول‌های دیگر کمتر از محلول‌های NS_{Hog} و $NS_{U.K}$ بودند که با همدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (شکل ۱). تأثیر ارقام نیز روی عملکرد محصول معنی‌دار بود بطوری که عملکرد رقم نگین نسبت به رقم کاترینا ۲۲/۳ درصد بیشتر بود (شکل ۲). ریزش گل در رقم کاترینا بیشتر مشاهده شد، و بهمین دلیل، عملکرد نهایی آن نسبت به رقم نگین کمتر بود. به نظر می‌رسد میزان عملکرد بالای محلول‌های $NS_{U.K}$ و NS_{Hog} بیشتر بدلیل مقادیر بیشتر عناصر پرمصرف آنها به ازای هر لیتر محلول غذایی نسبت به محلول‌های غذایی دیگر باشد. همانگونه که در آزمایشی روی محلول پاشی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای نیز چنین نتایجی مشاهده گردیده است (Contreras et al., 2007). در این آزمایش با محلول‌پاشی بوته‌های گوجه‌فرنگی با محلول‌های غذایی کامل، نصف و دو برابر غلظت با افزایش غلظت عناصر غذایی به ویژه عناصر غذایی پر مصرف عملکرد تجاری به صورت معنی داری افزایش یافت.

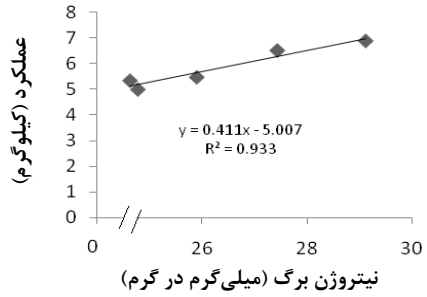


شکل ۱- اثر تیمار محلول‌های غذایی روی میزان عملکرد



شکل ۲- اثر ارقام مورد استفاده در آزمایش بر روی عملکرد

در این آزمایش ضریب همبستگی قوی (R^2= ۰/۹۳) بین میزان نیتروژن برگ و میزان عملکرد مشاهده گردید (شکل ۳). میزان نیتروژن در گیاهان مختلف بین ۲ تا ۵ درصد وزن خشک برگ گیاه متغیر است. نیتروژن جزء اصلی تشکیل‌دهنده آمینو اسیدها و پروتئین‌ها به شمار می‌رود که نقش مهمی را در رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کنند. از این رو گیاهان با در اختیار داشتن نیتروژن بیشتر (در حد اپتیمم) فتوسنتز خالص بیشتری را دارا بوده و بالطبع ماده‌سازی بیشتری خواهند داشت (Benton, 2005). به نظر می‌رسد میزان بالای نیتروژن در محلول‌های NS_{Hog} و $NS_{U.K}$ نسبت به محلول‌های غذایی دیگر از عوامل موثر افزایش میزان عملکرد و کیفیت میوه‌های آن بوده است.



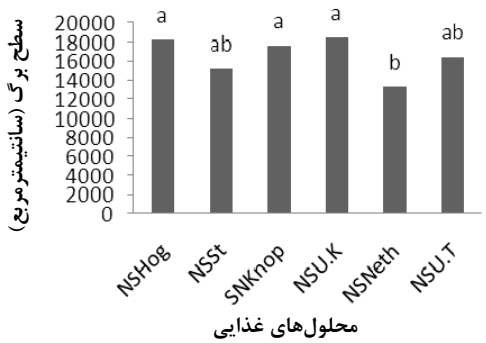
شکل ۳- همبستگی بین نیتروژن برگی با عملکرد

سطح برگ یکی از عوامل بسیار مهم در رشد گیاه می‌باشد و با افزایش سطح برگ به همان نسبت فتوسنتز یا ماده سازی افزایش می‌یابد. علاوه بر شکل ساختمانی برگ، میزان فشردگی دیواره تیلاکوئید، حرکت کلروپلاست در داخل سلول‌ها، افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ به جذب حداکثر نور و بالارفتن میزان فتوسنتز کمک می‌کند (Taize & Ziger 2006) که این خود موجب ماده‌سازی بیشتر و بالا رفتن میزان

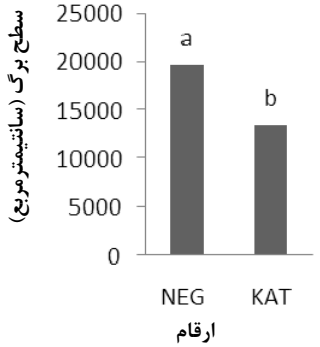
ماده خشک گیاهی می‌گردد. کلروفیل برگ‌های بالغ طی فرایند فتوسنتز، مولکول‌های غیر آلی (بیشتر CO_2، فسفات، نیترات و آمونیوم) را به مولکول‌های ساده زیستی (از قبیل تریوز فسفات و آمینواسیدها) تبدیل می‌کند که آنها نیز به نوبه خود در فرایند فتوسنتز با تشکیل مولکول‌های زیستی پیچیده‌تر (از قبیل ساکاریدها، پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها) که برای فرایند رشد ضروری هستند، مصرف می‌شوند (Pessarakli, 2002). در این آزمایش محلول‌های غذایی تأثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۱) بر سطح برگ داشتند.

بیشترین میزان سطح برگ در تیمارهای $NS_{U.K}$ و NS_{Hog} و NS_{Knop} دیده شد (شکل ۴). ارقام مختلف نیز از لحاظ سطح برگ با هم متفاوت بودند به صورتی که سطح برگ‌های رقم Neg به میزان ۴۵/۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۵). معنی‌دار بودن سطح برگ در بین محلول‌های غذایی می‌تواند از دلایل دیگر افزایش میزان عملکرد محلول‌های غذایی به شمار می‌رود، همان‌طور که بررسی تأثیر نور مصنوعی بر روی صفات کمی و کیفی خیار در طی دوره یک ساله نشان داد که از بین سطوح تیمار نوردهی از بالا، نوردهی از بالا به علاوه نوردهی بین ردیف‌ها به میزان ۲۴ درصد و نوردهی از بالا بعلاوه نوردهی بین ردیف‌ها به میزان ۴۸ درصد، تیمار شدت نور بیشتر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد خیار گلخانه‌ای نشان داد که در نتیجه افزایش میزان سطح برگ بیشتر گیاهان تیمار شده بود. به تبع آن افزایش شاخص کلروفیل برگ‌های گیاه موجب استفاده بهینه از روشنایی محیط و بالارفتن میزان فتوسنتز گیاه و بالطبع آن افزایش عملکرد گردید (Hovi-Pekkanen, 2007). در این آزمایش محلول‌های NS_{Hog} و $NS_{U.T}$ بیشترین میزان کلروفیل برگی را دارا بودند که با NS_{Neth} و NSst تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان دادند (جدول۲) و بین ارقام شاخص کلروفیل رقم Neg، ۳/۸۴ درصد بیشتر بود (جدول ۳).

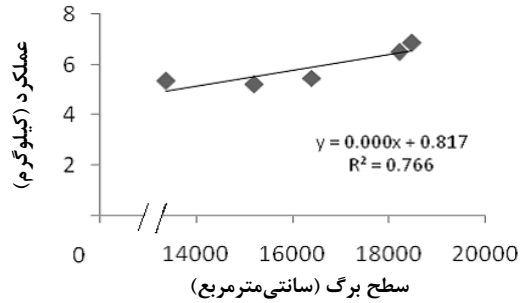
همچنین بین صفت سطح برگ با میزان عملکرد ضریب همبستگی نسبتاً قوی (R^2=۰/۷۶) مشاهده گردید (شکل ۶) و با افزایش میزان سطح برگ، TSS میوه‌ها نیز افزایش یافته که رابطه ضریب همبستگی خطی به وضوح نشان‌دهنده آن است (شکل ۷).



شکل ۴- اثر محلول‌های غذایی بر سطح برگ



شکل ۵- سطح برگ ارقام خیار در تیمارهای محلوهای غذائی

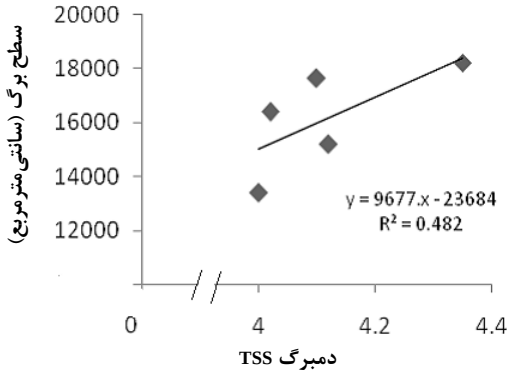


شکل ۶- همبستگی بین سطح برگ با عملکرد

تأثیر تیمار محلول‌های غذایی روی درصد مواد جامد محلول (TSS) میوه‌ها نیز معنی‌دار شد. به طوری که تیمار NS_{Hog} با تیمار NS_{Neth} و $NS_{U.T}$ تفاوت معنی‌داری نشان داد و در بین ارقام نیز TSS رقم نگین نسبت به رقم کاترینا بیشتر بود (جدول ۳). همچنین بیشترین میزان TSS دمبرگ در تیمار NS_{Neth} مشاهده گردید که با تیمار NS_{Hog}، $NS_{U.T}$ و $NS_{U.K}$ تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۱) نشان داد ولی ارقام تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۳).

جدول ۳- اثرات تیمار محلول‌های غذایی مختلف و ارقام روی صفات کلروفیل برگ، TSS میوه، TSS دمبرگ، نیترات دمبرگ، pH میوه، EC میوه و فسفر برگ

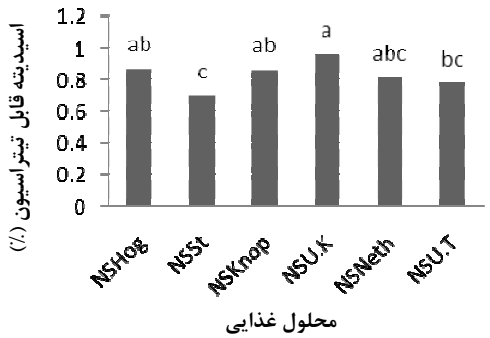
محلول‌های غذایی	شاخص کلروفیل برگ	TSS میوه (٪)	TSS دمبرگ (٪)	نیترات دمبرگ (mg/L)	pH میوه	EC میوه (µS)	فسفر برگ (mg/g)
NS_{Hog}	۵۴/۹۹ a	۴/۳۵ a	۳/۸۳b	۸۴۶/۷	۵/۹۳	۳۱۹/۳۳	۲/۵۴
NS_{St}	۵۱/۵ b	۴/۱۲ ab	۴/۸۳ab	۸۳۱/۷	۵/۸۲	۳۳۰/۹۲	۲/۷۶
NS_{Knop}	۵۲/۱۴ab	۴/۱ ab	۴/۴۱ab	۸۰۵/۰	۵/۸۹	۳۲۳/۰	۳/۲۲
$NS_{U.K}$	۵۲/۴۲ab	۴/۱ ab	۴/۲۵b	۸۰۸/۳	۵/۹۱	۳۳۰/۲۵	۳/۰۲
NS_{Neth}	۵۱/۴۹b	۴/۰۴b	۵/۵a	۸۰۸/۳	۵/۸۴	۳۲۷/۱۷	۲/۸۵
NS_{UT}	۵۵/۲۵a	۴/۰۲b	۴/۲۵b	۹۲۵/۰	۵/۸۵	۳۲۱/۸۳	۲/۹۹
ارقام							
Negeen	۵۳/۹۶a	۴/۲۸a	۴/۳۸	۸۶۶/۱	۵/۹۱a	۳۳۳/۳۶	۳/۳۹a
Catrina	۵۱/۹۶b	۳/۹۶b	۴/۶۳	۸۰۸/۹	۵/۸۳ b	۳۱۷/۴۲	۲/۴۱b



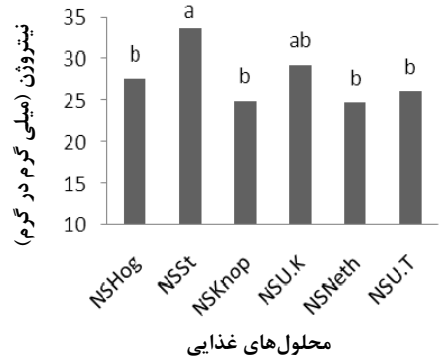
شکل ۷- همبستگی بین سطح برگ با TSS میوه

میزان نیترات دمبرگ در بین تیمار محلول‌های غذایی و ارقام تفاوت معنی‌داری نشان نداد و از لحاظ آماری یکسان بودند (جدول۳) و به نظر می‌رسد دلیل آن تأمین بخش قابل توجهی از نیتروژن مورد نیاز گیاه با یون نیترات باشد. مقادیر pH تنها در بین ارقام معنی‌دار بود بگونه‌ای که رقم نگین با رقم کاترینا در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول۳). برای مقادیر EC آب میوه‌ها در بین تیمار محلول‌های غذایی و ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول۳). تأثیر محلول‌های غذایی بر شاخص درصد اسید قابل تیتراسیون (TA%) معنی‌دار شد و حداکثر TA در محلول غذایی $NS_{U.K}$ و حداقل در محلول NS_{St} مشاهده گردید (شکل ۸) ولی بین ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایجی مشابه توسط Contreras et al. (2007) گزارش گردید، به طوری که با افزایش میزان غلظت محلول‌های غذایی از نصف تا دو برابر محلول کامل، میزان اسید قابل تیتراسیون میوه‌های گوجه‌فرنگی به صورت معنی‌داری افزایش یافت.

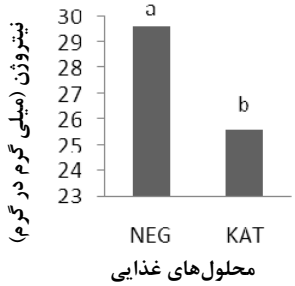
میزان نیتروژن برگ برای تیمار محلول‌های غذایی تفاوت معنی‌دار داشت که در این میان NS_{St} با دیگر محلول‌های غذایی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (شکل ۹) و در بین ارقام، اختلاف نگین با کاترینا معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) بود (شکل ۱۰). بررسی داده‌های مربوط به محتوای پتاسیم برگ‌ها نیز نشان داد که محلول $NS_{U.K}$ با محلول‌های NS_{Knop}، $NS_{U.T}$ و NS_{Hog} تفاوت معنی‌دار داشت ولی بین ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱۱). پتاسیم در سرعت بخشیدن فرآیندهای نوری کلروپلاست برگ‌های گیاهان نقش مهمی ایفا کرده، و موجب نقل و انتقال سریع‌تر فرآورده‌های فوتوسنتزی از طریق آوندهای آبکش به اندام‌های ذخیره می‌گردد (Marschner, 1995) و این خود موجب افزایش عملکرد و کیفیت میوه می‌گردد.



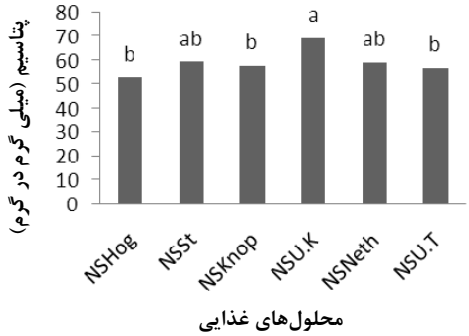
شکل ۸- تأثیر محلول‌های غذایی بر اسیدیته میوه‌ها



شکل ۹- تأثیر محلول‌های غذایی بر غلظت نیتروژن برگ



شکل ۱۰- غلظت نیتروژن برگ در ارقام



شکل ۱۱- تأثیر محلول‌های غذایی بر غلظت پتاسیم برگ

با بررسی غلظت پتاسیم محلول‌های غذایی مورد مطالعه در این آزمایش می‌توان دریافت که بیشترین عملکرد به محلول‌های غذایی دارای بیشترین غلظت پتاسیم اختصاص دارد. همانطور که Kilinc et al. (2007) بیشترین میزان عملکرد رشدی را در قلمه های انجیر تیمار شده با محلول‌های غذایی هوگلند با ۲۳۴ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم گزارش کردند. در حالی که Lin et al. (2004) مقادیر بهینه پتاسیم برای خربزه را ۲۴۰ میلی‌گرم در لیتر پیشنهاد کرده بودند. میزان فسفر برگ‌ها برای محلول‌های غذایی معنی‌دار نبود ولی در بین ارقام، رقم نگین با رقم کاترینا تفاوت معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۱$) نشان داد به صورتی که محتوای فسفر برگ‌های رقم نگین ۳۴/۱ درصد افزایش نشان داد.

نتیجه گیری کلی

محلول‌های غذائی مختلفی برای تغذیه گیاهان از جمله خیار توصیه شده است. با این حال، انتخاب محلول‌های مختلف اغلب اوقات نسبت به شرایط کشت و گونه گیاهی مورد پرورش بازنگری می‌شود. از مزایای استفاده از فرمول‌های غذایی استاندارد رعایت بالانس بین کاتیون و آنیون در محلول‌های غذایی می‌باشد. همانطور که هر کدام از بنیان عناصر مورد نیاز گیاهان درصد مشخصی از میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها را شامل می‌گردند (Steiner, 1961). مبنای بیشتر فرمولاسیون محلول‌های غذایی بر گرفته از ترکیب عناصر فرمول محلول غذایی است که توسط Hoagland & Arnon (1950) در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی ایالت کالیفرنیا از مجموع تحقیقات مولفان به دست آمده است (جدول ۱).

Steiner (1980) دلیل موفقیت بسیاری از پرورش‌دهندگان که از فرمول هوگلند استفاده کرده اند را بالانس مناسب بین یونهای آنیون و کاتیون عناصر غذایی بیان می‌کند.

مقالاتی که پس از این فرمولاسیون محلول‌های غذایی را ارایه داده‌اند تحت عنوان محلول هوگلند تغییر یافته مطرح هستند که اندکی تغییرات در محدوده عناصر غذایی و کودهای مورد استفاده در آنها نسبت به شرایط مقتضی لحاظ گردیده است (Benton, 2005). محلول انگلستان نیز علاوه بر دارا بودن بالانس مناسب بین کاتیون‌ها و آنیون‌ها، با غلظت‌های بالای عناصر غذایی بویژه نیتروژن موجب افزایش عملکرد نسبت به محلول‌های غذایی دیگر گردیده است که با نتایج Papadopoulos (1985) مطابقت دارد، اما غلظت‌های بالای نیتروژن مانع جذب پتاسیم و فسفر محلول‌های غذایی می‌گردد و میزان بیشتر این عناصر در محلول غذایی $NS_{U.K}$ به این دلیل می‌باشد. در بیشتر گونه‌ها به ویژه گیاه خیار استفاده از نیتروژن نیتراتی باعث افزایش میزان فتوسنتز خالص و عملکرد می‌شود (Roosta et al., 2009). ولی حذف کامل آمونیوم نیز فتوسنتز را کاهش می‌دهد و باید مقداری آمونیوم در محلول غذایی

موجود باشد (Ruiz & Romero, 1999) که از این لحاظ محلول دانشگاه تبریز با تأمین بخشی از نیتروژن گیاه با کود نیترات آمونیوم (جدول ۲) می‌تواند مفید واقع شود.

به هر حال آمونیوم پس از جذب در ریشه‌های گیاه به ترکیبات آلی تبدیل می‌شود اما نیترات در آوند چوبی منتقل شده و در واکوئل‌ها ذخیره می‌شود و نقش مهمی در تعادل بین آنیون‌ها و کاتیون‌ها دارد (Marschner, 1995). همان طور که تحقیق Hayness (1990) نشان داد تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه با یون آمونیوم باعث رشد بهتر گیاه کیوی فروت می‌گردد که ناشی از تبدیل مستقیم آمونیوم به آمینواسیدها بوده در حالی که یون نیترات جهت آسیمیلاسیون قبلاً بایستی به یون آمونیوم تبدیل شود. همچنین کود اوره نیز به عنوان یکی از منابع مهم تأمین نیتروژن گیاهی مطرح بوده و در آبکشت می‌تواند جایگزین نیتروژن نیتراتی شود و از اثرات نامطلوب آمونیوم روی رشد گیاه پیشگیری کند (Raviv & Heinrich Lieth, 2008). با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایش برای پرورش خیار می‌توان از نصف غلظت محلول غذایی هوگلند و یا از نصف محلول غذایی انگلستان که فرمول آنها در جدول ۲ آمده است، استفاده نمود. عملکرد و رشد خیار زمانی که از نصف محلول‌های هوگلند و انگلستان استفاده شد بیشتر از سایر محلول‌ها بود ولی کودهای استفاده شده در این محلول‌ها نسبتاً گران‌قیمت است. محلول دانشگاه تبریز به منظور جایگزینی کودهای گران قیمت با کودهای داخلی ارزان قیمت پیشنهاد می‌گردد.

REFERENCES

1. Assimakopoulou, A. (2006). Effect of iron supply and nitrogen form on growth, nutritional status and ferric reducing activity of spinach in nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae*, 110, 21–29.
2. Benton, J. (2005). *Hydroponics-A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press, USA.
3. Chirani, J., Olfati, A., Babalar, M., Kashi, A., Dadashipoor, K. & Shahmoradi, K. (2008). The effects of ammonium and molybdenum on nitrate concentration in two cultivavs of greenhouse cucumbers, *Agricultural Sciences and Technology*, 22, 69-78. (In Farsi).
4. Contreras, J. I., Segura, M., Pascual, M. & Catala, J. J. (2007). Effect of the NPK Fertilization and Irrigation Water Quality on the Quality of Tomato Fruit. *Acta Horticulturae*, 747, 473-476.
5. De Rijck, G. & Schrevens, E. (1998). Comparison of the mineral composition of twelve standard nutrient solutions, *Journal of Plant Nutrition*, 21, 2115-2125.
6. Graber, A. & Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246, 147–156.
7. Gul, A., Kidoglu, F. & Anac, D. (2007). Effect of nutrient sources on cucumber production in different substrates. *Scientia Horticulturae*, 113, 216-220.
8. Harris, D. (1992). *Hydroponics, The complete guide to gardening without soil*. New Holland, UK.
9. Hayness, R. J. (1990). Active ion uptake and maintenance of cation–anion balance: a critical examination of their role in regulating rhizosphere pH. *Plant and Soil*, 126, 247–264.
10. Hoagland, D. R. & Arnon, D. I. (1950). *The water culture method for growing plants without soil*, Circular 347, California Agricultural Experiment Station, University of California, Berkeley, CA.
11. Hovi-Pekkanen, T. (2008). Effects of interlighting on yield and external fruit quality in year-round cultivated cucumber. *Scientia Horticulturae*, 116, 152–161.
12. Kilinc, S. S., Ertan, E. & Seferoglu, S. (2007). Effects of different nutrient solution formulations on morphological and biochemical characteristics of nursery fig trees grown in substrate culture. *Scientia Horticulturae*, 113, 20–27.
13. Lin, D., Huang, D. & Wang, S. (2004). Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture. *Scientia Horticulturae*, 102, 53–60.
14. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, (2^{nd} ed.). Academic Press Inc.,
15. Papadopoulos, A. P. (1994). *Growing greenhouse seedless cucumbers in soil and in soilless media*. Agriculture and Agri-Food Canada Publication, Ottawa, Ont.
16. Papadopoulos, I. (1985). Nitrogen fertigation of greenhouse-grown cucumber. *Plant and Soil*, 93, 87-93.
17. Pessarakli, M. (2002). *Handbook of Plant and Crop Physiology*. The University of Arizona. 270 Madison Avenue, New York, NY 10016.
18. Raviv, M. & Heinrich Lieth, J. (2008). *Soiless Culture: Theory And Practice*. Elsevier Theobald's Road, London, UK.
19. Roosta, H. R., Sajjadinia, A., Rahimi, A. & Schjoerring, J. K. (2009). Responses of cucumber plant to NH_4^+ and $NO3^-$ nutrition: The relative addition rate technique vs. cultivation at constant nitrogen concentration. *Scientia Horticulturae*, 121, 397–403.

20. Ruiz, J. M. & Romero, L. (1999). Cucumber yield and nitrogen metabolism in response to nitrogen supply. *Scientia Horticulturae*, 82, 309-316.
21. Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of certain desired composition, *Plant and Soil*, 15, 134–154.
22. Steiner, A. A. (1980). The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition of the nutrient solution. *Acta Horticulturae*, 98, 37–97.
23. Tabatabaei, S. J. (2009). *Principles of Plant Mineral Nutrition*. Kharazmi. Tabriz. Iran. (In Farsi).
24. Tabatabaei, S. J., Yusefi, M. & Hajiloo, J. (2007). Effects of shading and NO3:NH4 ratio on the yield, quality and N metabolism in strawberry. *Scientia Horticulturae*, 116, 264-272.
25. Taiz, L. & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, (3rd ed.).
26. Winsor, G. W. & Schwarz, M. (1990). *Soiless culture for horticultural crop production*. FAO. Rome, Italy.