تأثیر کاهش غلظت نیتروژن محلول غذایی بر رشد، عملکرد و محتوای عناصر برگ کاهوی باترهد در کشت شناوری

عفت السادات مرتضوی خرمی[۱]، رحیم برزگر[۱*] و سعید ریزی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۹)
DOI: 10.29252/ejgcst.9.3.1

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاهش غلظت نیتروژن محلول غذایی بر عملکرد و شاخص‌های رشدی کاهوی باترهد (*Lacttuca sativa* L.) در کشت شناور، آزمایشی در گلخانه‌های پژوهشی دانشگاه شهرکرد انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و سه تکرار اجرا شد. بوته‌های کاهو در سیستم کشت شناوری حاوی محلول غذایی بوس (Both) که غلظت نیتروژن آن از ۱۲۰ به ۱۰۰ ، ۸۰، ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن کاهش یافته بود، پرورش یافتند. هر واحد آزمایشی شامل ۱۰ بوته کاهو بود که در استخرهای چوبی با ابعاد ۱۵ (ارتفاع) ×۵۰ (عرض) ×۱۰۰ (طول) سانتی‌متر روی صفحات یونولیتی پرورش یافتند. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در صفات تعداد برگ، وزن هد، وزن تر ریشه و محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم برگ وجود نداشت، اما تفاوت‌های معنی‌داری بین تیمارها در صفات وزن خشک برگ و ریشه، طول و قطر ساقه، غلظت عناصر کلسیم برگ مشاهده شد. بیشترین وزن هد در تیمار ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن به‌دست آمد (۳۲۶ گرم) که تفاوت معنی‌داری با وزن هد در سایر غلظت‌های نیتروژن نداشت. بیشترین وزن خشک برگ و ریشه و نیز طول و قطر ساقه در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن مشاهده شد. نتایج نشان داد که کاهش غلظت نیتروژن محلول غذایی تا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتری تأثیری بر کاهش عملکرد کاهو نداشت.

کلمات کلیدی: کشت بدون خاک، کود نیتروژنه، محتوای نیتروژن برگ، وزن خشک، وزن هد کاهو

مقدمه

کاهو از جمله سبزی‌های یکساله، روزبلند است (۲) که از نظر اقتصادی یکی از مهم‌ترین سبزیجات برگی در جهان می‌باشد (۳۳). ایران با تولید ۵۷۰ هزار تن در سال در رتبه پنجم جهان قرار گرفته است (۱۳). کشت بدون خاک یکی از مؤثرترین راهکارهای افزایش کارایی مصرف آب و استفاده بهینه از کودها و امکانات موجود در راستای پرورش گیاهان می‌باشد (۳۴) که در مقایسه با کشت خاکی سبب افزایش عملکرد به ازای واحد سطح، افزایش کیفیت آن و کاهش آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی می‌گردد (۲۷).

کشت شناوری نوعی کشت بدون خاک بسته است که در آن گیاه روی یک فوم شناور بر روی محلول غذایی پرورش داده

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Barzegar56@yahoo.com

می‌شود و محلول غذایی درون استخر برای مدت طولانی بدون تعویض مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد (۲۱). این سیستم به علت سادگی و نیز ارزان بودن آن نسبت به سایر سیستم‌های کشت بدون خاک، به‌طور گسترده‌ای جهت رشد سبزیجات برگی مانند کاهو و ریحان (سبزی های برگی دارای چرخه رشد کوتاه) تحت شرایط گلخانه برای دستیابی به عملکرد بیشتر، رشد یکنواخت و نیز کنترل بهتر پارامترهای کیفی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۷ ، ۲۰).

تغذیه بهینه گیاه در کشت بدون خاک، جهت افزایش کیفیت و سرعت رشد گیاه حائز اهمیت است (۱۰). در این سیستم امکان کنترل محلول غذایی و تغییر غلظت و نسبت عناصر غذایی جهت دستیابی به حداکثر عملکرد و کیفیت محصول وجود دارد (۱۵). نیتروژن اثرات قابل توجهی بر ویژگی‌های رشد، وزن تر و خشک برگ‌ها و همچنین تعداد برگ‌ها دارد (۱۲). نیتروژن عنصری ضروری برای حداکثر رشد و توسعه گیاه و یک عنصر کلیدی برای عملکرد محصول است (۷).

در تحقیقی گزارش شد که افزایش سطوح نیتروژن از ۳۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در روش کود آبیاری سبب افزایش تعداد برگ‌ها، وزن تر اندام هوایی و کاهش وزن خشک گیاه شد، اما در غلظت‌های بالای نیتروژن (۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) تفاوت قابل توجهی میان تیمارها مشاهده نشد (۳۵). نتایج پژوهشی دیگری نشان داد که افزایش سطوح نیتروژن از ۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌طور قابل توجهی سبب افزایش تعداد برگ، ارتفاع گیاه و عملکرد کاهو در سیستم هیدروپونیک شد و حداقل تجمع نیترات در برگ‌ها توسط تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد (۱۴). در پژوهشی سطوح مختلف نیتروژن (۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) بر روی کاهو در سیستم کشت شناوری مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که افزایش نیتروژن از ۰ تا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش وزن ریشه و شاخساره، افزایش نسبت وزن شاخساره به ریشه شد. با افزایش سطوح نیتروژن، سرعت رشد نسبی، سطح برگ و وزن برگ افزایش یافت (۳۱).

غلظت پایین‌تر از حد بهینه نیتروژن محلول غذایی سبب کاهش رشد شاخه گیاهان، سطح و تعداد برگ و نیز کاهش غلظت کلروفیل می‌گردد و در عوض سبب افزایش رشد ریشه می‌گردد (۲۸). کاربرد بیش از اندازه کود نیتروژن جهت دستیابی به عملکرد بیشتر، سبب اختلال در تعادل عناصر غذایی، اثرات سوء زیست محیطی بر خاک و آب‌های زیرزمینی (۷) و نیز تجمع نیترات در برگ‌های کاهو (۱۱) می‌گردد. بنابراین هر قدر بتوان میزان مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد، بدون آنکه تأثیر معنی‌داری بر کاهش عملکرد داشته باشد، می‌توان هم در مصرف کودهای شیمیایی صرفه‌جویی نمود و هم از اثرات سوء زیست محیطی و نیز تجمع نیترات در برگ‌ها جلوگیری کرد. هدف از اجرای پژوهش حاضر، بررسی اثر کاهش غلظت نیتروژن محلول غذایی به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه و اثر آن بر میزان عملکرد و پارامترهای رشدی کاهوی باترهد در کشت شناوری بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد بر روی کاهوی باترهد در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در غلظت‌های مختلف نیتروژن (شامل ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در محلول غذایی) انجام گرفت. هر واحد آزمایشی شامل ۱۰ بوته بود که در استخر چوبی به ابعاد ۵۰×۱۰۰ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر با گنجایش مفید ۵۰ لیتر محلول غذایی پرورش یافتند.

قبل از تهیه محلول غذایی، کیفیت آب آبیاری تعیین و غلظت استفاده برای تهیه محلول غذایی با استفاده از نرم‌افزار هیدروبادی نسخه ۱/۵ مشخص شد. pH محلول در طول دوره رشد در محدوده ۵/۸– ۶/۲ و EC اولیه آن ۱۳۰۰–۱۲۰۰µS/cm بود. EC و pH محلول غذایی درون استخر به‌طور روزانه کنترل شدند. محلول غذایی در طول دوره فقط یکبار و در پایان هفته سوم تعویض گردید. در این فاصله میزان کاهش حجم محلول غذایی استخر، مجدداً به‌وسیله آب پر شد (۱).

در ابتدا بذرهای کاهو واریته باترهد رقم تام سامب (Tom Thumb) در اول اردیبهشت به تعداد کافی بر روی قطعات اسفنج کاملاً مرطوب در حفره‌ای به عمق ۰/۵ سانتی‌متر کشت شدند تا نشای سه برگی کاهو تهیه گردد. کف و دیواره استخر

جدول ۱. غلظت عناصر پرمصرف و کم مصرف در محلول غذایی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

Cu	Mo	Mn	B	Zn	Fe	S	Ca	Mg	P	K
۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۳	۱	۳۵	۸۰	۲۴	۳۱	۲۱۵

جدول۲. تجزیه واریانس غلظت‌های مختلف نیتروژن بر صفات مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		تعداد برگ	وزن هد بوته	وزن خشک برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	قطر ساقه	ارتفاع ساقه
تیمار	۳	۵/۷۱^{ns}	۴۳۳۹^{ns}	۰/۵۷۶**	۵/۸۴^{ns}	۰/۵۰۴**	۶/۳۴*	۲۸/۶**
خطا	۸	۷/۱۷	۱۶۸۳	۰/۰۳۳	۸/۷۰	۰/۰۰۲	۱/۲۵	۲/۱۶
ضریب تغییرات ٪		۷/۱۳	۱۴/۰۵	۵/۱۴	۶/۷۳	۱۱/۵۵	۴/۸۰	۹/۵۸

*، **، و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها

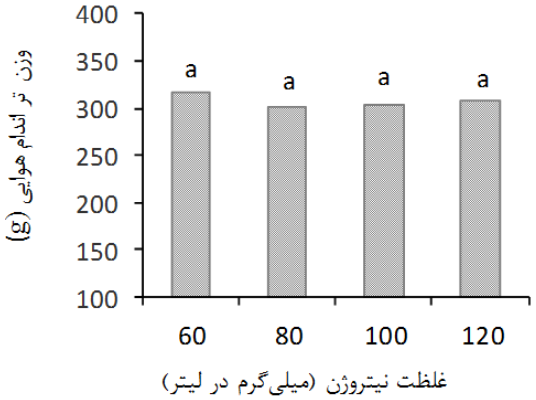
چوبی، با کلسیم و منیزیم آب در تهیه محلول غذایی لحاظ شد. در تهیه محلول غذایی از فرمول غذایی بوث (۸) استفاده شد (جدول۱) ولی غلظت عنصر نیتروژن (که به‌صورت یون نیترات بود) در آن متناسب با تیمار مورد نظر تغییر داده شد. نوع و مقدار کود مورد استفاده از پلاستیک سیاه رنگ برای جلوگیری از رشد جلبلک و سپس توسط پلاستیک شفاف پوشانیده شد. سپس استخر با محلول غذایی تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر پر شد و ورق‌های یونولیت به ابعاد استخر، تهیه و سوراخ‌هایی به قطر ۳ سانتی‌متر و در فواصل ۲۰×۳۰ سانتی‌متر روی آنها تعبیه شد و نشاها در در پانزده اردیبهشت بر روی یونولیت شناور در محلول غذایی کشت شدند. تراکم کاشت ۲۰ گیاه در هر متر مربع بود که برای تامین اکسیژن مورد نیاز ریشه، از یک پمپ هوا استفاده شد. دمای هوا در طول روز ۱± ۲۲ و در طول شب ۱±۱۷ تنظم شد. میزان رطوبت نسبی گلخانه بین ۵۵–۶۰ درصد متغیر بود.

درنهایت ۴۵ روز بعد از کشت نشاء در آخر خرداد بوته‌های کاهو به مرحله برداشت رسیدند. در انتهای آزمایش و بعد از اتمام دوره رشد، چهار گیاه به‌صورت تصادفی از هر واحد آزمایشی، از سطح بستر (یقه) کف بر شد. وزن هر گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و به عنوان وزن تر یادداشت گردید. برای اندازه‌گیری تعداد برگ‌های خوراکی، برگ‌های بوته‌های برداشت شده از هر واحد آزمایشی را جدا کرده و سپس تعداد برگ‌های قابل مصرف را شمارش و به عنوان تعداد برگ‌های خوراکی یادداشت گردید. جهت اندازه‌گیری وزن خشک برگ و ریشه، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها خشک شوند، سپس وزن خشک نمونه‌ها توزین شد. ارتفاع ساقه با استفاده از خط‌کش فلزی و قطر ساقه توسط کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. نیتروژن به روش کجلدال، پتاسیم با استفاده از فلیم فتومتر Jenway، فسفر با استفاده از اسپکروفتومتر Farmesia LKB، و عناصر کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی Perkin Elmer 400AA اندازه‌گیری شدند.

تجزیه‌های آماری داده‌های حاصل از اندازه‌گیری فوق با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 و مقایسه میانگین بین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که از نظر صفت تعداد برگ خوراکی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت. تعداد برگ خوراکی در تیمارها بین۳۶–۳۸ عدد متغیر بود. آکار و همکاران (۶) گزارش کردند که مصرف ۳۰۰–۰ کیلوگرم در هکتار



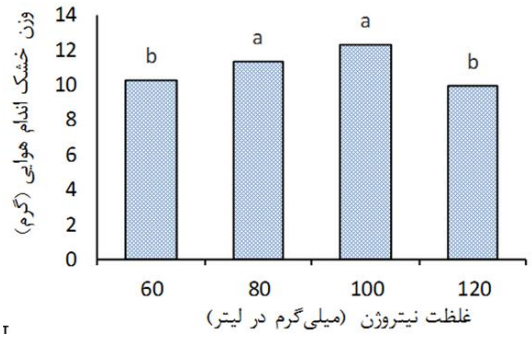
شکل ۱. وزن هد کاهو در غلظت‌های مختلف نیتروژن محلول غذایی

تأثیری بر تعداد برگ‌های کاهو نداشت. نتایج مطالعات محققین دیگر نیز نشان داد که افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی از ۷۰-۱۴۰ mg/l (۱۱) یا افزایش آن از ۱۰۰-۴۰۰ mg/l (۲۳) تأثیری بر تعداد برگ‌ها در بوته کاهو نداشت. در تحقیقی بیان شد که تعداد برگ های کاهو در غلظت ۱۵۰ mg/l نیتروژن تفاوتی با تعداد برگ‌ها در غلظت‌های ۳۰۰ و ۴۵۰ mg/l نداشت (۳۵). کومیتی و همکاران (۱۱) گزارش کردند که تعداد برگ‌های کاهو تحت تأثیر غلظت ۷۰ و ۱۴۰ mg/l نیتروژن قرار نگرفت. آلبرسینی و همکاران (۶) نیز گزارش کردند که با کاهش غلظت محلول غذایی به ۲۵٪ غلظت محلول هوگلند (معادل ۵۵ mg/l نیتروژن) سبب کاهش تعداد برگ‌ها در کاهو باترهد نگردید. اما تحقیقات دیگر نشان داد که تعداد برگ‌ها به تغذیه مناسب و به‌خصوص غلظت نیتروژن بستگی دارد به‌طوری که عدم حضور نیتروژن (۳۵ و ۷) یا غلظت بسیار پایین (۳۰ mg/l) نیتروژن سبب کاهش شدید تعداد برگ‌ها در کاهو (۳۲) گردید. تعداد برگ‌های تشکیل یافته در واحد زمان تحت تأثیر عوامل محیطی نور و دما و دسترسی به آب و عناصر غذایی است (۲۹). در گزارشی بیان شد که تعداد کل برگ و تعداد برگ خوراکی در کاهو وابسته به رقم بوده و با میزان نیتروژن موجود در محلول غذایی همبستگی ندارد (۲۳). با توجه به نتایج این تحقیق و تحقیقات برخی محققین پیشین (۱۱ و ۷)، به نظر می رسد که وجود یک سطح حداقلی از غلظت نیتروژن برای انجام تقسیم سلولی و تعداد برگ ضروری است اما در غلظت‌های بالاتر، نیتروژن تأثیری بر تعداد برگ‌ها نداشته و از طریق افزایش سطح برگ سبب افزایش عملکرد خواهد شد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای اعمال شده در صفت وزن هد کاهو در سطح احتمال پنج درصد وجود نداشت. وزن هد مربوط به تیمار ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن به میزان ۳۲۶ بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با غلظت‌های ۸۰ و ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن نشان نداد (شکل ۱).

از مهم‌ترین عواملی که بر وزن تر کاهو اثر می‌گذارد، تعداد برگ‌ها و اندازه آن (سطح برگ) است (۱). از آنجایی که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ‌ها نداشتند بنابراین به نظر می‌رسد که کاهش غلظت نیتروژن سبب کاهش سطح برگ‌ها و وزن هد نشد.

در تحقیقی گزارش شد که با کاهش غلظت محلول غذایی هوگلند (۱۰۰ درصد) به ۵۰ و ۲۵ درصد (یعنی کاهش غلظت نیتروژن از ۲۲۰ به ۱۱۰ و ۵۵ میلی‌گرم بر لیتر) سبب کاهش عملکرد در کاهو و اسفناج در کشت شناوری نشد (۶). لسترا و همکاران (۲۳) نیز گزارش کردند که افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی از ۱۰۰ تا ۴۰۰ mg/l سبب کاهش وزن هد در دو رقم گردید و در دو رقم دیگر سبب افزایش وزن هد شد. گزارش شد که افزایش مصرف کود نیتروژن از ۱۰۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش وزن هد نگردید (۴). در مقابل در تحقیق دیگری گزارش شد که افزایش غلظت نیترات محلول غذایی



شکل ۲. مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی در غلظت‌های مختلف نیتروژن در سطح ۵ درصد آزمون LSD

از ۷۰ به ۱۴۰ mg/l سبب افزایش وزن تر هد کاهوی رقم ورا (Vera) گردید (۱۱). غلظت بهینه نیتروژن سبب افزایش رشد رویشی و عملکرد می‌گردد اما غلظت‌های بالاتر از حد بهینه از طریق کاهش جذب آنیون‌های فسفات می توانند سبب کاهش رشد گردند (۱۲). گزارش شد که کاربرد نیتروژن بالاتر از غلظت بهینه سبب افزایش عملکرد نمی‌شود و بر محتوای کلروفیل (البرسینی، ۹ و ۲۶) نیز تأثیری نداشته و فعالیت آنتی اکسیدانی برگ‌ها را کاهش می‌دهد (۳۳ و ۶). غلظت متفاوتی به‌عنوان غلظت بهینه نیتروژن برای پرورش کاهو در تحقیقات مختلف گزارش شده است . به عنوان مثال تسیاکاراس و همکاران (۳۵) غلظت ۳۰۰ mg/l، فراگ و همکاران (۱۴) غلظت ۱۵۰ mg/l، سوندی و همکاران (۳۲) غلظت ۶۰ mg/l و آلیرسینی و همکاران (۶) غلظت ۵۵ mg/l را به عنوان غلظت بهینه در آزمایشات خود گزارش نمودند. با توجه به نتایج این تحقیق و گزارشات محققین قبلی به نظر می رسد که سه عامل مهم رقم (۲۳) و فصل رشد (۶ و ۳۰) و همچنین سیستم کشت بر واکنش گیاه به غلظت نیتروژن محلول غذایی مؤثر است، به نحوی که واکنش یک رقم به غلظت نیتروژن در فصول مختلف متفاوت بود. عامل مهم دیگری که سبب شده تا در تحقیقات مختلف، غلظت بهینه نیتروژن متفاوتی ارائه گردد، نوع سیستم کشت است، به‌طوری که در تحقیقاتی که کاهو به‌صورت خاکی یا در یک بستر خنثی به‌صورت هیدروپونیکی پرورش یافت غلظت بالاتری از نیتروژن mg/l ۴۰۰ به عنوان غلظت بهینه نیتروژن گزارش شده است (۳۳).

اما در کشت‌های بدون بستر مانند کشت شناوری یا NFT غلظت‌های پایین‌تر از نیتروژن به عنوان غلظت بهینه گزارش شد. به نظر می‌رسد که کارایی جذب نیتروژن محلول غذایی توسط کاهو در کشت شناوری بیشتر از کارایی جذب آن در کشت‌های دارای بستر خنثی است.

نتایج تجزیه واریانس (جدول۲) بیانگر تأثیر معنی‌دار غلظت‌های مختلف نیتروژن ($p<0/001$) بر صفت وزن خشک برگ بود. وزن خشک برگ در تیمارهای مورد بررسی بین ۹/۹۷–۱۲/۳ گرم متغیر بود. بیشترین مقدار وزن خشک برگ به میزان ۱۲/۳ مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن بود که اختلاف معنی‌داری با وزن خشک برگ در تیمار ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر داشت (شکل ۲). رگرسیون غلظت نیتروژن محلول غذایی و وزن خشک اندام هوایی به‌صورت تابع درجه دو بود ($y = -0/85x^2 + 4/3x + 6/7$). در تحقیقی گزارش شد که با افزایش غلظت نیتروژن، جذب آن نیز افزایش می‌یابد و افزایش در جذب نیتروژن سبب تأثیر مثبت بر میزان فتوسنتز و تجمع ماده خشک می‌گردد (۳). غلظت بهینه نیتروژن با افزایش غلظت کلروفیل و فتوسنتز و نیز ترکیب نیتروژن با مواد تولید شده توسط گیاه طی فتوسنتز و تولید آمینواسیدها و پروتئین‌ها سبب افزایش میزان ماده خشک می‌گردد (۵). غلظت‌های بالاتر از حد بهینه نیتروژن اگر چه تا حدودی ممکن است سبب افزایش تجمع ماده خشک در برگ‌ها می‌گردد اما بازده تولید کاهش می‌یابد یعنی متناسب با افزایش غلظت نیتروژن، میزان ماده خشک افزایش نخواهد یافت (۲۵). علت کاهش وزن ماده خشک برگ با افزایش



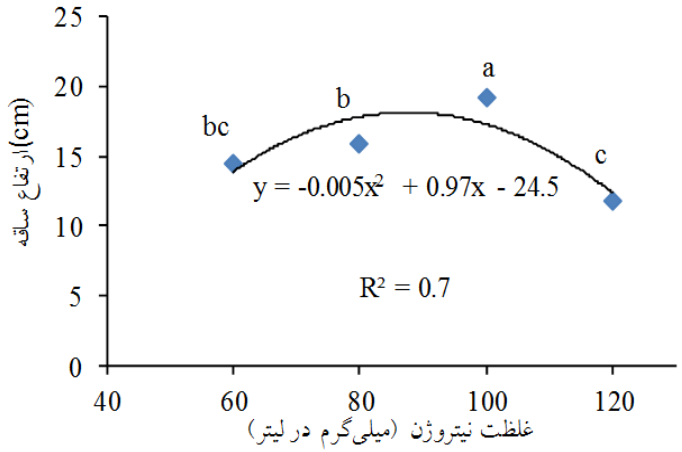
شکل ۳. مقایسه میانگین وزن خشک ریشه در غلظت‌های مختلف نیتروژن در سطح ۵ درصد آزمون LSD

غلظت نیروژن، جایگزینی نیترات به جای اسیدهای آمینه و قندها بیان شد (۲۷)

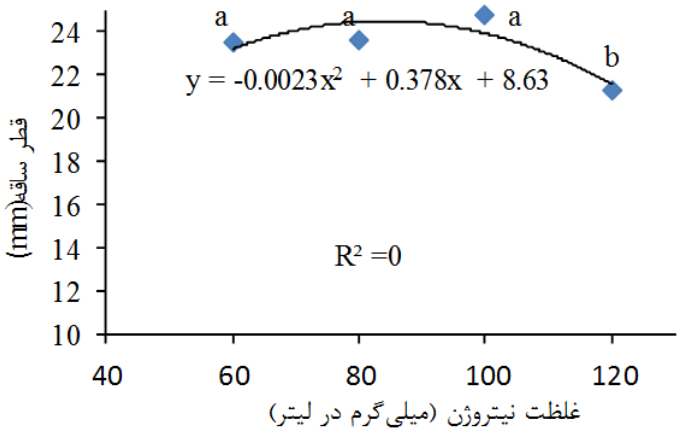
طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر وزن تر ریشه مشاهده نشد. وزن تر ریشه در تیمارهای مختلف بین ۴۱/۱–۴۵/۸ گرم متغیر بود. گزارش شد که با افزایش غلظت نیتروژن از ۱۵ به ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر وزن تر ریشه‌ها افزایش یافت. به نظر می‌رسد در صورتی که غلظت نیتروژن در محلول غذایی از حد خاصی بالاتر باشد تأثیری در گسترش ریشه و افزایش حجم آن ندارد (۳۱).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که وزن خشک ریشه به‌طور معنی‌داری ($p<0/001$) تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نیتروژن قرار گرفت. کمترین وزن خشک ریشه در تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن به میزان ۱۱/۵ گرم بود (شکل ۳) و بیشترین آن در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم برلیتر به میزان ۱۵ گرم مشاهده شد. نتایج این تحقیق نیز تقریباً مشابه با نتایج سوندی و همکاران (۳۲) بود. آنها گزارش کردند که با افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی از ۰ تا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر، سبب افزایش وزن خشک ریشه نیتروژن افزایش و بعد از آن یعنی در ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم کاهش یافت که به‌صورت تابع درجه دو بود. در تحقیقی گزارش شد که با افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی از ۷۰ به ۱۸۲ میلی‌گرم بر لیتر و در زمان‌های متفاوت به‌طور قابل توجهی وزن خشک ریشه کاهش یافت (۲۶). در تحقیق دیگری سوندی و همکاران (۳۲)، بیان کردند که با افزایش غلظت نیتروژن از ۰ تا ۹۰ میلی‌گرم بر لیتر (۲۸ روز بعد از کشت بذر) وزن خشک ریشه‌ها افزایش یافت، اما در غلظت بالاتر (۱۲۰ میلی‌گرم برلیتر) وزن خشک ریشه‌ها کاهش یافت. کاردوسو و همکاران (۹) گزارش کردند که با افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی از ۸۰ تا ۱۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، وزن خشک ریشه افزایش یافت ولی بعد از این سطح، با افزایش غلظت نیتروژن، وزن خشک ریشه کاهش یافت. لیو و همکاران (۲۴) بیان کردند که نیتروژن به عنوان عنصری کلیدی در تنظیم رشد ریشه و اندام هوایی کاهو محسوب می‌شود. به نحوی که در غلظت ۶۰ تا ۹۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن بیشترین رشد ریشه حاصل شد که منجر به افزایش زنده‌مانی بوته‌ها گردید.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در صفت طول ساقه، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد (جدول ۲). مقدار این صفت بین ۱۹/۲–۱۱/۷ سانتی‌متر متغیر بود. بیشترین ارتفاع ساقه (۱۹/۲ سانتی‌متر) مربوط به تیمار ۱۰۰ و کمترین آن (۱۱/۷۵ سانتی متر) در تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن بود (شکل ۴). طول ساقه در کاهو که بستگی به تغذیه، شرایط محیطی (دمای محیط و طول روز) و عادت رشد گیاه دارد را می‌توان به عنوان یکی از شاخص‌های قدرت گیاه در نظر گرفت (۵). برخی محققین (۲۴ و ۷) گزارش کردند که لزوماً افزایش مصرف کود نیتروژنی سبب افزایش طول ساقه کاهو نمی‌گردد. نتایج تحقیقات بروجردنیا و عالم‌زاده (۷) نشان داد که افزایش مصرف کود نیتروژنه از ۶۰ به ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش ارتفاع ساقه نگردید. لیو و همکاران (۲۴) گزارش کردند که



شکل ۴. رگرسیون غلظت‌های مختلف نیتروژن بر طول ساقه کاهو و مقایسه میانگین تیمارها در سطح ۵ درصد آزمون LSD



شکل ۵. رگرسیون غلظت‌های مختلف نیتروژن با قطر ساقه کاهو و مقایسه میانگین تیمارها در سطح ۵ درصد آزمون LSD

افزایش مصرف کود نیتروژنی از ۲۰۰ به ۴۰۰ کیلو گرم در هکتار سبب کاهش ارتفاع ساقه کاهو گردید. اما کومیتی و همکاران (۱۱) گزارش کردند که با افزایش غلظت نیتروژن از ۷۰ به ۱۴۰ میلی‌گرم بر لیتر، طول ساقه اندکی افزایش یافت. به نظر می رسد که واکنش ارتفاع ساقه کاهو به غلظت نیتروژن محلول غذایی، با توجه به شرایط محیطی یا فصل کشت (۶)، نوع کاهو و رقم مورد استفاده (۷) متفاوت است.

از نظر قطر ساقه نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شد (جدول ۲). مقدار این صفت بین ۲۱/۳–۲۴/۸ میلی‌متر متغیر بود. بیشترین قطر ساقه (۲۴/۸ میلی‌متر) مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین آن (۲۱/۳ میلی‌متر) در تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن بود (نمودار ۵). همبستگی بالایی (r=۷۱۲) بین قطر ساقه و وزن هد گزارش شده است. افزایش قطر ساقه سبب افزایش وزن ریشه در بوته می‌شود که به نوبه خود موجب افزایش جذب آب و عناصر غذایی و درنهایت افزایش عملکرد می‌گردد (۱). گزارش شد که با افزایش غلظت نیتروژن از ۱۵ به ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر قطر ساقه افزایش یافت اما در مقادیر بالاتر (۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) قطر ساقه کاهش یافت (۳۱). سوندی و همکاران (۳۲) گزارش کردند که با افزایش غلظت نیتروژن تا ۹۰ میلی‌گرم بر لیتر، قطر ساقه افزایش و سپس کاهش یافت (به‌صورت تابع درجه دو). لیو و همکاران (۲۴) گزارش کردند که در غلظت‌هایی از نیتروژن که میزان تولید ماده خشک

جدول۳. تجزیه واریانس غلظت‌های مختلف نیتروژن بر محتوای عناصر غذایی برگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم
تیمار	۳	۰/۰۱۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۱۲*	۰/۰۰۶^{ns}
خطا	۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹
ضریب تغییرات ٪		۲/۹۳	۱/۹۳	۲/۸۵	۳/۲۷	۸/۳۳

* ، ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ، و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها

جدول۴. مقایسه میانگین غلظت عناصر برگ در سطوح مختلف نیتروژن محلول غذایی

غلظت نیتروژن (mg/l)	N	P	K	Ca	Mg
	(٪)				
۶۰	۲/۴۰	۰/۳۷۰	۲/۳۸	۲/۰۱^{b}	۱/۱۷
۸۰	۲/۴۰	۰/۳۶۶	۲/۳۴	۲/۱۰^{ab}	۱/۰۹
۱۰۰	۲/۵۴	۰/۳۶۶	۲/۳۴	۲/۱۴^{ab}	۱/۱۴
۱۲۰	۲/۵۳	۰/۳۶۳	۲/۲۹	۲/۱۸^{a}	۱/۰۸
محدوده غلظت بهینه					
(Hartz et al, 2007)	۳/۳–۴/۸	۰/۳۵–۰/۷۵	۲/۹–۷/۸	۰/۶–۱/۱	۰/۲۵–۰/۴۵
(Huchmuth et al, 2004)	۲–۳	۰/۲۵–۰/۵	۲/۵–۵	۲–۲/۸	۰/۳–۰/۷

میانگین ها با حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون LSD می‌باشند.

بیشتر بود، قطر ساقه نیز بیشتر بود و به عبارت دیگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان ماده خشک و قطر ساقه گزارش کردند.

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر غلظت‌های مختلف نیتروژن محلول غذایی بر غلظت عناصر کلسیم و منگنز برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و روی برگ وجود نداشت که نشان دهنده آن است که حتی در غلظت‌های پایین نیتروژن نیز بوته‌های کاهو توانستند نیاز نیتروژنی خود را بر طرف نمایند.

همان‌طور که ذکر شد اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر غلظت نیتروژن برگ وجود نداشت. مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۴) محتوای نیتروژن برگ در تیمارهای مختلف بین ۲/۵۳– ۲/۴۰ درصد ماده خشک برگ متغیر بود. که بیشترین غلظت مربوط به تیمار ۱۰۰ و کمترین آن نیز مربوط به غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن بود. در منابع درباره محدوده غلظت بهینه نیتروژن کاهوی گلخانه‌ای باترهد گزارشی ارائه نشده است اما محتوای نیتروژن برگ‌های کاهو در محدوده غلظت بهینه‌ای بود که در توسط هاچماس و همکاران (۱۹) گزارش شد. اما به‌طور کلی با کاهش غلظت نیتروژن محلول غذایی به ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر تأثیری بر غلظت نیتروژن برگ نداشت. به نظر می‌رسد که کارایی جذب نیتروژن در سیستم کشت شناوری بیشتر از سیستم کشت بدون خاک بستری باشد. فاکتور مهم دیگری که باید در کشت شناوری لحاظ شود، حجم محلول غذایی و مقدار کود اختصاص یافته برای هر بوته است. در این پژوهش حجم محلول غذایی برای هر بوته معادل ۵ لیتر بود که بنابراین مقدار کود نیتروژن اختصاص یافته برای هر بوته با توجه به غلظت نیتروژن در هر تیمار بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌گرم متغیر بود و با توجه به اینکه محلول غذایی یکبار در

طول دوره تعویض شد بنابراین در تیمار mg/l ۶۰ نیتروژن، مقدار ۶۰۰ میلی‌گرم نیتروژن به هر بوته کاهو اختصاص یافت که مقدار ۶۰۰ میلی‌گرم می‌تواند نیاز یک بوته ۳۰۰ گرمی کاهو به نیتروژن (با ۳٪ نیتروژن در ماده خشک) را به راحتی تأمین نماید. بنابراین در کشت‌های شناوری علاوه بر غلظت محلول غذایی، حجم محلول غذایی و مقدار نیتروژن اختصاص یافته به هر بوته نیز حتماً باید مد نظر قرار گیرد.

محتوای کلسیم برگ در تیمارهای مختلف بین ۲/۰۱–۲/۱۸ درصد وزن خشک متغیر بود که بیشترین کلسیم در غلظت ۱۲۰ و کمترین کلسیم برگ در غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن مشاهده شد (جدول ۴). میزان جذب و انتقال کلسیم به اندام‌ها، تحت تأثیر عواملی مانند شرایط محیطی، سرعت رشد، تعرق و فشار ریشه‌ای است (۱۶ ، ۱۵). رقم کاهوی برگی و فصل کشت نیز به‌طور قابل توجهی بر مقدار کلسیم برگ مؤثر است (۲۲). استفانلیی و همکاران (۳۳) گزارش کردند که با افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی در کاهو، غلظت کلسیم برگ نیز افزایش یافت. این افزایش جذب کلسیم می‌تواند به‌دلیل جبران بار الکتریکی درون سلول باشد که به خاطر جذب آنیون نیترات در غلظت‌های بالاتر نیتروژن محلول غذایی رخ می‌دهد (۲۴).

مقایسه غلظت عناصر برگ در تیمارهای مختلف با محدوده بهینه غلظت عناصر غذایی پیشنهاد شده توسط محققین دیگر (۱۸، ۱۹) نشان داد که غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و کلسیم در محدوده بهینه قرار داشت. غلظت پتاسیم برگ به میزانی جزئی کمتر از محدوده غلظت بهینه بود اما هیچ علائمی از کمبود این عنصر در گیاه مشاهده نشد. غلظت کلسیم برگ در محدوده غلظت بهینه بود. علت افزایش غلظت منیزیم در تیمارها می‌تواند ناشی از کاهش غلظت پتاسیم باشد که در کلیه تیمارها اندکی کمتر از محدوده بهینه بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در پرورش کاهوی باترهد در سیستم کشت شناوری، با کاهش غلظت نیتروژن محلول غذایی از ۱۲۰ به ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر، وزن هر بوته تغییر معنی‌داری نداشت. بیشترین وزن خشک برگ و ریشه و نیز طول و قطر ساقه در غلظت ۱۰۰ میلی بر لیتر نیتروژن به‌دست آمد. با افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی، محتوای کلسیم در بافت برگ افزایش یافت اما تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از لحاظ محتوای نیتروژن و سایر عناصر پر مصرف مشاهده نشد.

منابع مورد استفاده

۱. برزگر، ر.، س. ریزی و م. خسروی بابادی. ۱۳۹۵. اثر دور تعویض محلول غذایی و غلظت محلول پرکننده بر رشد کاهو در سیستم کشت شناور، علوم و فنون کشت های گلخانه‌ای. ۲۵: ۱۱۹–۱۱۱.

۲. پیوست، غ. ۱۳۸۸. سبزیکاری، انتشارات دانش پذیر. رشت. ۵۷۷ صفحه.

۳. صفائی، م.، ج. پناهنده، س. ج. طباطبایی و ع. ر. مطلبی‌آذر. ۱۳۹۳. تأثیر محلول‌های غذایی مختلف بر عملکرد و برخی شاخص‌های رشدی کاهو در سیستم هیدروپونیک، علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۱۸: ۱۵۲ – ۱۴۵.

4. Acar, B., M. Paksoy, O. Turkmen and M. Seymen. 2008. Irrigation and nitrogen level affect lettuce yield in greenhouse condition. Afr. J. Biotech. 7(24):4450-4453.
5. Alberici A., E. Quattrini, M. Penati, L. Martinetti, P. Marino Gallina and A. Ferrante. 2008. Effect of the Reduction of Nutrient Solution Concentration on Leafy Vegetables Quality Grown in Floating System. Acta Hort. 801, 1167-1176.
6. Aminifard, M.H., H. Aroiee, A. Ameri and H. Fatemi. 2012. Effect of plant density and nitrogen fertilizer on growth, yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). Afr. J. Agr. Res. 7(6):859-866.
7. Boroujerdnia, M. and N. Alemzadeh Ansari. 2007. Effect of different levels of nitrogen fertilizer and cultivars on growth, yield and yield components of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). Mid East & Rus J. Pla. Sci. & Biotech. 1(2):47-53.
8. Both, A.J. 2003. Ten years of hydroponic lettuce research Department of Plant Biology and Pathology Rutgers.

[Online]. Available at: http://www.ecaa ntu.edu.tw/weifang/lab551/vegetable// culturapractice/ ten%20years%20 of%20hydtoponic%20lettuce%20research. Pdf. (Accessed 18 october 2014). The State University of New Jersey.
9. Cardoso F.l; J.l. Andriolo; M. Dal Picio; M, Piccin, J. M. Souza. 2015. Nitrogen on growth and yield of lettuce plants g*row*n under root confinement. Hortic bras. 33: 422-427.
10. Cocetta, G., E. Quattrini, M. Schiavi, L. Martinetti, A. Spinardi, and A. Ferrant. 2007. Nitrate and sucrose content in fresh-cut leaves of spinach plants grown in floating systems, Agric. Medit. 137:1-7.
11. Cometti, N.N., M.Q. Martins, C.A. Bremenkamp, and J.A. Nunes. 2011. Nitrate concentration in lettuce leaves depending on photosynthetic photon flux and nitrate concentration in the nutrient solution, Hort Bra. 29: 548-553.
12. Dzida, K., Z. Jarosz, Z. Michalojc, and R. Nurzynska-Wierdak. 2012. The influence of diversified nitrogen and liming fertilization on the chemical composition of lettuce, Acta Sci. Pol: Hort Cul. 11(3):247-254.
13. FAO. 2012. Lettuce and chicory production quantity. Available online at http://faosta3.fao.org/home/index .html≠download .Accessed 18 October 2014.
14. Farag, A.A., M.A.A. Abdrabbo, and E.M. Abd-Elmoniem. 2013. Using different nitrogen and compost levels on lettuce grown in coconut fiber. J. Hort & For. 5(2): 21-28.
15. Favaro, S.P., J.A. Braga Neto, H.W. Takahashi, E. Miglioranza, and E.I. Ida. 2007. Rates of calcium, yield and quality of snap bean. Sci. Agric. 64(6):616-620.
16. Frezza, D., A. Leon, V. Logegaray, A. Chiesa, M. Desimone, and L. Diaz. 2005. Soilless culture technology for high quality lettuce. Acta Hort. (ISHS). 697:43-48.
17. Gonnella, M., F. Serio, G. Conversa, and P. Santamaria. 2003. Yield and Quality of Lettuce Grown in Floating System Using Different Sowing Density and Plant Spatial Arrangements, Acta Hort. 614:687-692
18. Hartz, T.K., P.R. Johnstone, E. Williams and F.F. Smith. 2007. Establishing lettuce leaf nutrient optimum ranges through DRIS analysis. HortScience. 42(1): 143-146.
19. Hochmuth, G., D. Maynard, C. Vavrina, E. Hanlon, and E. Simonne. 2004. Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crop in Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida (HS). 964:1-48.
20. Jones, J.B. 2005. Hydroponics: a practical guide for the soilless grower (2th Ed), CRC press. New York, pp: 423.
21. Kobayashi, K., T. Amore and M. Lazaro. 2013. Light-Emitting Diodes (LEDs) for Miniature Hydroponic Lettuce. Opt. & Photo. J. 3:74-77.
22. Koudela, M. and K. Petrikova. 2008. Nutrients content and yield in selected cultivars of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. crispa). Horticultural Science. 35(3):99-106.
23. Lastra, O., M.L. Tapia, B. Razeto and M. Rojas. 2009. Response of hydroponic lettuce cultivars to different treatments of nitrogen, growth and foliar nitrate content, IDESIA (Chile) Enero. 27:83-89
24. Liu, C., Y. Sung, B. Chen, H. Lai. 2014. Effects of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Int. J. Environ. Res. Public Health 11 (4): 4427–40.
25. Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, (3th Edition). Elsevier. pp: 651
26. Marsic, N.K. and J. Osvald. 2002. Effects of different nitrogen levels on lettuce growth and nitrate accumulation in iceberg lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata L.) Grown Hydroponically under Greenhouse Conditions. Gartenbauwissenschaft. 67 (4): 128-134.
27. Nemadodzi, L.E. 2015. Growth and development of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.) with reference to mineral nutrition. MSc Dissertation, University of South Africa, Pretoria.
28. Pardossi, A., F. Malorgio, L. Incrocci and F. Tognoni. 2006. Hydroponic technologies for greenhouse crops. In: Dris R (ed) Crops: Quality, Growth and Biotechnology, vol 23. WFL Publisher, Helsinky, pp 360 -378.
29. Samarakoon, U.C., P.A. Weerasighe and A.P. Weerakodi. 2006. Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake growth and yield of leafy lettuce in stationary culture. Trop. Agr. Res. 18: 13-21.
30. Sanguandeekul, S. 1999. The effect of cultivar, nutrient solution concentration and season on the yield and quality of NFT produced lettuce *(Lactuca sativa* L.). PhD thesis. Maasey University.
31. Sounday, P. and D.J. Cantliffe. 2001. Improving lettuce transplant quality in response to nitrogen nutrition in a floatation production system. Proceedings of the Florida State Horticultural Society. 114:294-303.
32. Soundy, P., D.J. Cantliffe. GJ. Hochmuth and P.J. Stoffella. 2005. Management of nitrogen and irrigation in lettuce transplant production affects transplant root and shoot development and subsequent crop yields. HortScience. 40(3):607-610.
33. Stefanelli, D., S. Winkler and R. Jones. 2011. Reduced nitrogen availability during growth improves quality in red oak lettuce leaves by minimizing nitrate content, and increasing antioxidant capacity and leaf mineral content. Agr. Sci. 2(4):477-486.
34. Trejo-Tellez, LI. and FC. Gomez-Merino. 2012. Nutrient solution for hydroponic systems. Hydroponics-Astandard Methodology for Plant Biological Researches. [Online]. Available at :http://www.intechopen.com . pp:1- 23.
35. Tsiakaras, G., S.A. Petropoulos and E.M. Khah. 2014. Effect of GA and nitrogen on yield and marketability of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Aust. J. Crop Sci. 8(1):127-132.