

تأثیر غلظت نیتروژن و کلسیم محلول غذایی بر رشد، عملکرد و نوک سوختگی کاهو در کشت شناوری

عفت السادات مرتضوی^۱، رحیم برزگر^{۱*} و سعید ریزی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۷)

چکیده

پژوهش حاضر برای بررسی تأثیر غلظت های مختلف نیتروژن و کلسیم محلول غذایی و نسبت N:Ca محلول غذایی بر شاخص های رشد، عملکرد و نوک سوختگی کاهوی باترهد (*Lactuca sativa var. Capitata*) در سیستم شناور انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار ۳ و تکرار در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. تیمارها (غلظت های مختلف کلسیم و نیتروژن محلول غذایی بر حسب میلی گرم بر لیتر) شامل $T_1 (N 60 + Ca 80)$ ، $T_2 (N 80 + Ca 80)$ ، $T_3 (N 100 + Ca 80)$ ، $T_4 (N 120 + Ca 80)$ ، $T_5 (N 120 + Ca 160)$ ، $T_6 (N 160 + Ca 160)$ ، T_7 و $T_8 (N 240 + Ca 160)$ بود. نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین تیمارها از نظر تعداد برگ وجود نداشت؛ اما تفاوت های معنی داری از نظر درصد بوته های دچار نوک سوختگی، وزن تازه برگ و ریشه، وزن خشک برگ و ریشه و قطر ساقه مشاهده شد. بیشترین وزن سر کاهو، قطر و طول ساقه، همچنین وزن خشک ریشه و اندام هوایی در تیمارهای $T_1 (N 60 + Ca 80)$ ، $T_2 (N 80 + Ca 80)$ و $T_3 (N 100 + Ca 80)$ مشاهده شد. وزن سر کاهو در تیمارهای مختلف از ۲۱۸ تا ۳۲۶ گرم در گیاه متغیر بود. با افزایش غلظت نیتروژن به بیش از ۱۰۰ mg/L، عملکرد کاهش یافت. عملکرد بیشتری در غلظت ۸۰ mg/L کلسیم نسبت به غلظت ۱۶۰ mg/L مشاهده شد. وقوع نوک سوختگی در تیمارهای مختلف بین ۱۰/۵-۴۲/۵ درصد متغیر بود. کمترین میزان نوک سوختگی در تیمارهای T_6 و T_7 (نسبت N:Ca=۱) مشاهده شد. در حالی که بیشترین وقوع نوک سوختگی در تیمارهای T_1 و T_5 (نسبت N:Ca=۰/۷۵) بود. تفاوت معنی داری بین تیمارها از نظر غلظت کلسیم و نیتروژن برگ وجود داشت. تیمار $T_7 (N 80 + Ca 80)$ به دلیل عملکرد زیاد و کاهش درصد نوک سوختگی بهترین تیمار بود.

کلمات کلیدی: کاهو، کشت بدون خاک، نسبت عناصر، وزن سر کاهو، نیتروژن برگ

مقدمه

ششم قرار گرفته است (۲۰).

کشت بدون خاک یکی از راهکارهای مهم در بهینه سازی تولید، رسیدن به کشاورزی پایدار و نیز افزایش کارایی مصرف آب است (۳۵). سیستم کشت شناور، مناسب ترین سیستم کشت

کاهو از پرمصرف ترین سبزی های برگی است که تولید سالانه آن در جهان حدود ۲۵ میلیون تن بوده و ایران با سطح زیر کشت ۱۷۰۰۰ هکتار و تولید سالانه ۵۷۰ هزار تن، در رتبه

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Barzegar56@yahoo.com

کمبود کلسیم است در اواخر دوره رشد با توسعه ناحیه نکروزه در نوک و حاشیه برگ‌های جوان و در حال رشد سریع، نمایان می‌شود و در موارد شدید ممکن است نیمی از مساحت برگ را فرا گیرد (۱۷). این اختلال فیزیولوژیک می‌تواند به‌طور قابل توجهی سبب کاهش عملکرد و از دست رفتن ارزش اقتصادی شود (۳). محدوده وسیعی از عواملی مانند شدت نور، فتوپریود، دمای زیاد، تعرق و سطوح کلسیم و نیتروژن محلول غذایی از مهم‌ترین فاکتورهایی هستند که در ایجاد نوک‌سوختگی برگ نقش دارند (۷). بین شیوع نوک‌سوختگی و سرعت رشد گیاه همبستگی مثبتی مشاهده شده است. به‌گونه‌ای که با افزایش سرعت رشد گیاه تحت شرایط محیطی کنترل شده، احتمال کمبود کلسیم در حاشیه برگ‌ها و خطر شیوع نوک‌سوختگی افزایش می‌یابد (۱۷). در پژوهشی، با بررسی نسبت‌های مختلف K:Ca (۴:۴، ۶:۳، ۶:۳ و ۷/۵:۳) در سیستم بدون خاک مشخص شد که افزایش نسبت K:Ca سبب افزایش غلظت پتاسیم و کاهش غلظت کلسیم برگ و قطر در گیاه شیکوره شد. افزایش نسبت K:Ca تا نسبت ۶:۳ میلی‌مول بر لیتر باعث افزایش عملکرد شد. در صورتی که نسبت‌های بیشتر (۷/۵:۳)، سبب کاهش عملکرد و افزایش شیوع نوک‌سوختگی برگ‌ها شد (۳۷). در پژوهشی، بیان شد که غلظت‌های کم نیتروژن محلول غذایی سبب کاهش جذب کلسیم در کاهو شد (۱۵). از آنجایی که تعادل عناصر غذایی در محیط کشت از فاکتورهای مؤثر در تولید محصول به‌شمار می‌آید و عدم وجود تعادل بین عناصر غذایی پرمصرف کلسیم و نیتروژن می‌تواند سبب رشد رویشی بیش از حد یا رشد کند و شیوع عارضه نوک‌سوختگی برگ شود، لذا تعیین غلظت و نسبت بهینه این دو عنصر در محلول غذایی می‌تواند به توسعه کشت شناوری کاهو و بهبود کیفیت این محصول کمک کند. بنابراین، هدف از اجرای این پژوهش، بررسی تأثیر غلظت‌های هر یک از عناصر نیتروژن و کلسیم و نسبت‌های مختلف N:Ca محلول غذایی بر رشد، عملکرد و میزان نوک‌سوختگی برگ کاهوی باترهد رقم تام سامب در کشت شناوری در شرایط گرم بود.

بدون خاک برای سبزی‌های برگی است که دارای دوره رشد کوتاه بوده و برداشت آنها طی ۳-۶ هفته پس از جوانه‌زنی انجام می‌شود (۱۴). در این سیستم، مصرف آب و محلول غذایی ۴۰٪ کمتر از سیستم کشت باز بوده و به محیط‌زیست آسیب کمتری می‌زند (۱۲). همچنین، این روش آسان‌ترین و ارزان‌ترین روش تولید سبزی‌های برگی است (۲۱). این سیستم تولید محصول، سبب بیشینه رشد و توسعه‌ی محصولات برگی شده، درحالی که از نوک‌سوختگی جلوگیری کرده و یا آن را کاهش می‌دهد (۱۲).

تغذیه مناسب، از عوامل کلیدی در تعیین عملکرد و کیفیت سبزی‌های برگی است (۷) و کنترل صحیح تغذیه گیاهان، برتری اصلی کشت بدون خاک است (۳۵). در تغذیه صحیح، نه تنها باید هر عنصر به اندازه کافی در دسترس گیاه قرار گیرد، بلکه ایجاد تعادل و رعایت نسبت میان عناصر غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۳۴). در صورت عدم تعادل محلول غذایی، اختلالاتی در رشد گیاه ایجاد شده که ممکن است منجر به کاهش عملکرد یا کیفیت آن شود (۳۰).

نیتروژن یک عنصر کلیدی برای عملکرد محصول است و مقدار بهینه آن سبب تسریع در تشکیل سر کاهو و تأخیر در به گل رفتن، افزایش تعداد و سطح برگ در کاهو می‌شود (۱۱). کلسیم نیز یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی و جزئی از پکتات کلسیم، ماده سازنده دیواره سلولی است و سبب پایداری غشای سلولی و به تأخیر انداختن پیری می‌شود (۲). کمبود کلسیم سبب چندین اختلال فیزیولوژیک در گیاه مانند قهوه‌ای‌شدن حاشیه برگ‌ها (نوک‌سوختگی) در کاهو، کوتاه‌ماندن برگ‌های کرفس، قهوه‌ای‌شدن سر کلم پیچ و پوسیدگی انتهایی گلجها در گوجه‌فرنگی می‌شود (۱۹). کمبود کلسیم نتیجه کاهش غلظت کلسیم قابل دسترس ریشه، یا انتقال کم کلسیم به اندام‌های نیازمند است که تحت تأثیر فاکتورهایی مانند رطوبت نسبی زیاد، سرعت رشد، شدت تعرق و شوری محیط ریشه است (۲۱).

عارضه فیزیولوژیک نوک‌سوختگی برگ کاهو که مرتبط با

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد روی کاهوی باترهد رقم تام سامب در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار در سه تکرار انجام شد. هشت تیمار از غلظت‌های مختلف کلسیم و نیتروژن محلول غذایی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر مورد ارزیابی قرار گرفتند که شامل $T_1 (N 60 + Ca 80)$ ، $T_2 (N 80 + Ca 80)$ ، $T_3 (N 100 + Ca 80)$ ، $T_4 (N 120 + Ca 80)$ ، $T_5 (N 120 + Ca 160)$ ، $T_6 (N 160 + Ca 160)$ ، $T_7 (N 200 + Ca 160)$ و $T_8 (N 240 + Ca 160)$ بودند. از تیمارهای فوق، چهار نسبت مختلف نیتروژن به کلسیم (۰/۷۵، ۱/۲۵، ۱/۵ و ۱) در دو غلظت کلسیم ۸۰ و ۱۶۰ mg/L حاصل شد که این غلظت‌ها با توجه به پژوهش‌های پژوهشگران پیشین تعیین شد (۱۲، ۱۶ و ۳۱). هر واحد آزمایشی شامل ۱۰ بوته بود که در استخرهای چوبی با ابعاد ۱۵ (ارتفاع) × ۵۰ (عرض) × ۱۰۰ (طول) سانتی‌متر پرورش یافتند. در تهیه محلول غذایی، از فرمول غذایی ارائه شده توسط بوث (۱۲) استفاده شد (جدول ۱). ولی غلظت عناصر نیتروژن و کلسیم در آن متناسب با تیمار مورد نظر تغییر داده شد و نسبت‌های مختلفی از N/Ca به‌دست آمد. EC و pH محلول غذایی درون استخر به‌طور روزانه تنظیم شدند. نوع و مقدار کودهای مورد استفاده برای تهیه محلول غذایی با استفاده از نرم‌افزار هیدروبادی (Hydro buddy ver 1.4) مشخص شد و کلیه کودهای مصرفی ساخت شرکت اس‌کیوام بلژیک (SQM) بودند. pH محلول غذایی در محدوده ۵/۸-۶/۲ و EC آنها ۱۲۰۰-۱۳۰۰ $\mu S/cm$ بود.

برای تهیه نشا، بذرهای کاهوی باترهد رقم تام سامب در اول اردیبهشت روی قطعات مکعبی اسفنج به ابعاد ۳ سانتی‌متر در حفره‌ای به عمق ۵/۰ سانتی‌متر کشت شدند. پس از آبیاری روزانه و مراقبت‌های لازم، بذرهای جوانه‌زده و نشای سه برگی کاهو تهیه شد. پانزده روز پس از کشت بذرها، نشاها برای انتقال به استخر محلول غذایی آماده شدند. برای جلوگیری از رشد جلبک در استخر، کف و دیواره استخر چوبی با استفاده از

پلاستیک سیاه‌رنگ پوشانیده شد. سپس، استخر تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر با محلول غذایی 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 روی یونولیت شناور در محلول غذایی قرار داده شدند. تراکم کاشت ۲۰ گیاه در هر مترمربع بود. برای تأمین اکسیژن مورد نیاز ریشه، از یک پمپ هوا استفاده شد. محلول غذایی در طول دوره تنها یک‌بار و در پایان هفته سوم تعویض شد. در این فاصله، میزان کاهش حجم محلول غذایی استخر، مجدداً به‌وسیله آب پر شد (۱). گیاهان در گلخانه‌ای با دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی، در دمای شب ۱۸ و روز ۲۵ درجه سلسیوس، و رطوبت نسبی ۵۰٪ رشد کردند.

در نهایت، ۴۲ روز پس از کشت نشاها، بوته‌های کاهو به مرحله برداشت رسیدند. در انتهای آزمایش و پس از اتمام دوره رشد، درصد بوته‌های دچار نوک‌سوختگی در واحدهای آزمایشی اندازه‌گیری شد. در این آزمایش، همه بوته‌هایی که علائم نوک‌سوختگی هم روی برگ‌های بیرونی پیچ و هم برگ‌های درونی پیچ قابل مشاهده بود به‌عنوان بوته‌های نوک سوخته محسوب شدند. سپس، از هر واحد آزمایشی ۴ بوته به‌صورت تصادفی، از سطح طوقه کف بر شدند، و صفات وزن سر کاهو، وزن تازه ریشه، تعداد برگ خوراکی قابل مصرف، طول ساقه اصلی و قطر آن اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر برگ، یک برگ تازه بالغ (بیرونی‌ترین برگ چسبیده به پیچ) از چهار بوته یک واحد آزمایشی جدا شده، یک نمونه برگ مخلوط تهیه شده و برای آنالیز مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ و ریشه، نمونه‌ها جداگانه داخل پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و سپس به‌مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. تجزیه‌های آماری داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های فوق با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین بین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ انجام شد. به‌منظور بررسی روابط بین صفات، همبستگی بین صفات تعیین شد.

جدول ۱. غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در محلول غذایی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (۹)

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

جدول ۲. ضریب همبستگی ساده بین صفات در کاهو

تعداد برگ	طول ساقه	قطر ساقه	وزن سر کاهو	وزن تازه ریشه	وزن خشک برگ
۰/۳۰۹*					
	۰/۵۲۸**				
		۰/۶۹۰**			
			۰/۶۸۴**		
				۰/۱۵۷	
					۰/۳۲۱**
		۰/۴۹۷**	۰/۳۹۷**	۰/۲۲۷	
		۰/۱۴۴	۰/۵۲۹**		
					۰/۰۹۶-
		۰/۳۵۰**	۰/۲۷۸*	۰/۰۷۸	
		۰/۲۹۵*	۰/۰۲۹		

** و * به ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ است.

اما تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ یافت نشد.

نتایج و بحث

تجزیه همبستگی صفات (جدول ۲) نشان داد که صفات تعداد برگ خوراکی، قطر ساقه و وزن تازه ریشه به‌ترتیب با $r=0/697$ ، $r=0/690$ و $r=0/684$ بیشترین همبستگی معنی‌دار و مثبت ($p<0/01$) را با صفت وزن سر کاهو داشتند. نتایج مشابهی نیز در پژوهش‌های برزگر و همکاران (۱) گزارش شده است. تعداد برگ، همبستگی مثبت و معنی‌داری با قطر ساقه ($r=0/528^{**}$) و وزن تازه ریشه ($r=0/529^{**}$) داشت. علاوه بر آن، بین وزن تازه ریشه با صفت تعداد برگ خوراکی نیز همبستگی معنی‌دار و مثبت در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. قطر ساقه، تعداد برگ‌های خوراکی و سطح برگ‌ها از مهم‌ترین اجزای عملکرد در کاهو به‌شمار می‌روند (۴). در پژوهشی، گزارش شد که همبستگی قوی‌ای ($r=0/77$) بین قطر ساقه و وزن سر کاهو در شش رقم کاهو وجود داشت و قطر ساقه می‌تواند به‌عنوان معیاری برای پیش‌بینی وزن سر کاهو مورد استفاده قرار گیرد (۱۰).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که بین تیمارهای مختلف محلول غذایی بین نوک‌سوختگی برگ و شاخص‌های رویشی مانند وزن تازه و خشک برگ، وزن تازه و خشک ریشه، قطر و طول ساقه تفاوت معنی‌داری مشاهده شد؛

نوک‌سوختگی برگ

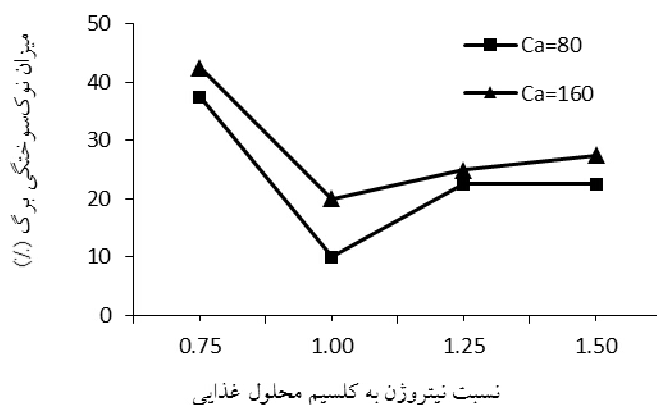
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر نوک‌سوختگی برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. نوک‌سوختگی برگ بین ۱۰/۵-۴۲/۵ درصد متغیر بود. بیشترین نوک‌سوختگی برگ در تیمارهای T_1 (۸۰ Ca + N:Ca=۰/۷۵) و T_5 (۱۲۰ N + Ca ۱۶۰) با نسبت N:Ca=۰/۷۵ به‌ترتیب به‌میزان ۴۲/۵ و ۳۷/۵ درصد یافت شد (جدول ۴). کمترین میزان آن در تیمار T_2 (۸۰ N + Ca ۸۰) به‌مقدار ۱۰/۵ درصد و سپس در تیمار T_6 (۱۶۰ N + Ca ۱۶۰) به‌میزان ۲۰/۵ درصد مشاهده شد که در آن نسبت N:Ca برابر ۱ بود.

نوک‌سوختگی برگ از دو جنبه غلظت هر یک از این عناصر و نسبت N/Ca در محلول غذایی قابل بررسی است. زیاد بودن میزان نوک‌سوختگی در نسبت N:Ca برابر ۰/۷۵، می‌تواند ناشی از کاهش سرعت جذب و انتقال یون کلسیم به‌عنوان کاتیون همراه به‌علت کاهش مقدار جذب آنیون نیترات باشد (۲۱). این موضوع به‌خوبی در شکل (۱) قابل مشاهده است. با کاهش غلظت نیتروژن محلول غذایی و کاهش جذب آن، انتقال کلسیم

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر صفات مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		نوک سوختگی	تعداد برگ	وزن سر کاهو	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه
تیمار	۷	۱۵۰۰**	۱۰/۵ ^{ns}	۳۸۰۶*	۱۱/۱۱**	۴۷/۱**	۰/۲۴۷**
خطا	۱۶	۱۰۶	۴/۱۶	۱۰۵۴	۱/۸۶	۵/۱۷	۰/۰۰۹
ضریب تغییرات (%)		۱۹/۴۴	۵/۵۵	۱۱/۷	۱۴/۶۵	۵/۵۴	۸/۰۱

**، * و ns به ترتیب بیان گر اثر معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی دار است.



شکل ۱. اثر نسبت‌های مختلف نیتروژن به کلسیم (N:Ca) در غلظت‌های مختلف کلسیم بر درصد بوته‌های دچار نوک سوختگی برگ

که می‌تواند سبب افزایش یا کاهش جذب کلسیم و شیوع نوک سوختگی شود، میزان نیتروژن است (۱۹). یون نیترات از جمله عواملی است که می‌تواند به انتقال کلسیم در گیاه کمک کند و کاهش نسبت نیتروژن به کلسیم (۰/۷۵) موجب کندی انتقال کلسیم و افزایش درصد نوک سوختگی می‌شود. به‌طور کلی، در محیط کنترل‌شده، افزایش شدت نوک سوختگی به ویژگی‌هایی همچون دمای زیاد، که سرعت رشد گیاه را تسریع می‌کند، نسبت داده می‌شود (۱۷). سنتز پلی‌فنول‌هایی مانند کلروژنیک اسید، که یک گروه از ترکیبات غیرفعال‌کننده آنزیم‌ها هستند، توسط سطوح تابش زیاد و فتوپریود طولانی (بهار و تابستان) تحریک می‌شود. این افزایش سطوح کلروژنیک اسید در کاهو به دلیل افزایش فعالیت آنزیم ایندول استیک اسید اکسیداز (IAA-Oxidase)، سبب افزایش تولید اکسین و رشد برگ می‌شود که همین امر مانع از رسیدن سریع کلسیم (علی

نیز کاهش یافت (۱۸). با توجه به غلظت بهینه کلسیم برگ در همه تیمارها، به نظر می‌رسد که در غلظت‌های بیشتر یون نیترات، عامل اصلی ایجاد نوک سوختگی، کاهش انتقال کلسیم به نوک برگ‌های داخلی سر کاهو باشد، زیرا با افزایش دما به بالاتر از دمای بهینه کاهو (۱۸ درجه سلسیوس)، سرعت رشد کاهو افزایش می‌یابد (۱۲). این درحالی است که سرعت انتقال کلسیم متناسب با سرعت رشد برگ‌ها افزایش نخواهد یافت و بنابراین نوک سوختگی افزایش می‌یابد. یکی از راهکارهای پیشنهادی برای کاهش میزان نوک سوختگی در دمای زیاد، کاهش غلظت نیتروژن محلول غذایی به منظور کاهش سرعت رشد کاهو است (۳۳).

صرف نظر از غلظت عناصر غذایی، عواملی همچون سرعت رشد، دما، شدت نور، فتوپریود، رطوبت نسبی و فصل رشد مرتبط با توسعه نوک سوختگی ذکر شده‌اند (۷). یکی از عواملی

کمترین وزن سر کاهو (۲۱۸ گرم) به تیمار T_5 ($Ca\ 160 + N\ 120$) تعلق داشت. در پژوهش‌های پژوهشگران دیگر مانند آکار و همکاران (۴) نیز گزارش شده که افزایش مصرف کود نیتروژنه از ۱۰۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش وزن سر کاهو نشد. لاسترا و همکاران (۲۳) نیز گزارش کردند که افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی از ۱۰۰ تا $400\ mg/L$ سبب کاهش وزن سر کاهو در دو رقم شد و در دو رقم دیگر سبب افزایش وزن سر کاهو شد. در مقابل، کومیتی و همکاران (۱۶) گزارش کردند که افزایش غلظت نترات محلول غذایی از ۷۰ به $140\ mg/L$ سبب افزایش وزن تازه سر کاهوی رقم Vera شد. در پژوهش آلبرسینی و همکاران (۵) گزارش شده که در کشت تابستانه، کاهش غلظت محلول غذایی تا ۲۵٪ (کاهش غلظت نیتروژن از ۲۴۰ به ۶۰ و کاهش غلظت کلسیم از ۱۴۰ به ۳۵ میلی‌گرم بر لیتر) سبب کاهش وزن سر در کاهوی باترهد رقم تام سامب نشد. ولی در کشت زمستانه، افزایش غلظت محلول غذایی سبب افزایش عملکرد شد.

در غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم، نتایج بهتری از نظر عملکرد وزن سر کاهو حاصل شد که ممکن است ناشی از کاهش جذب پتاسیم در غلظت $160\ mg/L$ کلسیم باشد. این امر، فعالیت بسیاری از آنزیم‌هایی که پتاسیم در آنها نقش دارد را کاهش داده و سبب کاهش تولید پروتئین و مواد فتوسنتزی می‌شود (۲). در پژوهشی، گزارش شده که افزایش غلظت کلسیم از ۶۰ به ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر تأثیری بر عملکرد کاهو نداشت (۲۱).

وزن خشک برگ

براساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای مورد بررسی بین ۷/۱۱-۱۲/۳۵ گرم متغیر بود. مقدار وزن خشک اندام هوایی در تیمار T_3 ($Ca\ 80 + N\ 100$) و T_7 ($Ca\ 80 + N\ 80$) بیشتر از سایر تیمارها بود و کمترین مقدار آن در تیمار T_5 ($Ca\ 160 + N\ 120$) مشاهده شد که با تیمارهای T_6 ، T_7 و T_8 تفاوت معنی‌داری نداشت.

رغم وجود کلسیم در محیط ریشه) به نوک برگ و شیوع نوک سوختگی می‌شود. به همین دلیل به نظر می‌رسد که ارتباطی بین غلظت کلسیم محلول غذایی و شدت نوک سوختگی برگ وجود ندارد (۱۵).

تعداد برگ

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، تیمارهای مختلف اثر معنی‌داری بر تعداد برگ خوراکی نداشتند. تعداد برگ خوراکی در تیمارها بین $34/6-38/8$ عدد متغیر بود. لاسترا و همکاران (۲۳) گزارش کردند که تعداد کل برگ و تعداد برگ خوراکی در کاهو وابسته به رقم بوده و با میزان نیتروژن موجود در محلول غذایی همبستگی ندارد. در غلظت‌های کم نیتروژن و کلسیم محلول غذایی، این عناصر به سمت مریستم‌های در حال تقسیم سلولی حرکت کرده و نیاز گیاه به تقسیم سلولی و تولید برگ را برطرف کرده و در غلظت‌های بیشتر می‌توانند موجب گسترش سطح برگ شوند (۶). فریزا و همکاران (۲۱) نیز گزارش کردند که افزایش غلظت کلسیم از ۶۰ به ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر تأثیری بر تعداد برگ‌های کاهو در کشت شناوری نداشت. نتایج مطالعات پژوهشگران دیگر نیز نشان داده که افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی از ۷۰ به $140\ mg/L$ (۱۶) یا افزایش آن از ۱۰۰ به $400\ mg/L$ (۲۰) تأثیری بر تعداد برگ‌ها در بوته کاهو نداشت. در پژوهشی، بیان شده که تعداد برگ‌های کاهو در غلظت $150\ mg/L$ نیتروژن تفاوتی با تعداد برگ در غلظت‌های ۳۰۰ و 450 میلی‌گرم بر لیتر نداشت (۳۶).

وزن سر کاهو

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) بیانگر تأثیر تیمارهای مختلف بر وزن تازه برگ در سطح احتمال ۵٪ بود. مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۴) نشان داد که وزن سر کاهو در تیمارهای مختلف بین ۲۱۸-۳۲۶ گرم متغیر بود. بیشترین وزن سر کاهو از لحاظ آماری در تیمارهای T_1 ($Ca\ 80 + N\ 60$)، T_7 ($Ca\ 80 + N\ 100$) و T_3 ($Ca\ 80 + N\ 100$) مشاهده شد.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های نوک‌سوخنگی و شاخص‌های رشدی کاهو در تیمارهای مورد بررسی

قطر ساقه (mm)	طول ساقه (cm)	وزن خشک (g/plant)		وزن تازه (g/plant)		وزن سر کاهو (g/plant)	تعداد برگ	نوک سوخنگی (%)	نسبت Ni:Ca	غلظت Ca	غلظت N	تیمار
		ریشه	برگ	ریشه	برگ							
۲۳/۵ ^{ab}	۱۴/۵ ^{bc}	۱/۴۳ ^{ab}	۱۰/۶۲ ^{abc}	۴۵/۹ ^a	۱۰/۶۲ ^{abc}	۳۲/۶ ^a	۳۸/۸	۳۷/۵ ^a	۰/۷۵	۸۰	۶۰	T _۱
۲۳/۶ ^{ab}	۱۵/۹ ^b	۱/۳۵ ^b	۱۱/۳۳ ^{ab}	۴۳/۱ ^{ab}	۱۱/۳۳ ^{ab}	۳۰/۱ ^{ab}	۳۶/۲	۱۰/۵ ^c	۱	۸۰	۸۰	T _۲
۲۴/۹ ^a	۱۹/۲ ^a	۱/۵۳ ^a	۱۲/۳۵ ^a	۴۳/۶ ^a	۱۲/۳۵ ^a	۳۰/۳ ^{ab}	۳۸/۶	۲۲/۵ ^b	۱/۲۵	۸۰	۱۰۰	T _۳
۲۱/۳ ^c	۱۱/۸ ^d	۱/۰۸ ^d	۷/۴۵ ^d	۴۲/۸ ^{ab}	۷/۴۵ ^d	۲۳/۷ ^{cd}	۳۶/۵	۲۲/۵ ^b	۱/۵	۸۰	۱۲۰	T _۴
۲۲/۴ ^{bc}	۱۲/۸ ^{cd}	۱/۳۱ ^{bc}	۷/۱۱ ^d	۳۴/۲ ^d	۷/۱۱ ^d	۲۱/۸ ^d	۳۴/۸	۴۲/۵ ^a	۰/۷۵	۱۶۰	۱۲۰	T _۵
۲۲/۱ ^{bc}	۱۲/۸ ^{cd}	۱/۱۶ ^{cd}	۷/۸۵ ^d	۴۲/۹ ^{ab}	۷/۸۵ ^d	۲۶/۶ ^{bc}	۳۴/۶	۲۰/۵ ^b	۱	۱۶۰	۱۶۰	T _۶
۲۱/۳ ^c	۱۲/۱ ^d	۰/۶۰ ^{۷c}	۹/۱۶ ^{bcd}	۳۶/۵ ^{cd}	۹/۱۶ ^{bcd}	۲۸/۷ ^b	۳۸/۵	۲۵/۵ ^b	۱/۲۵	۱۶۰	۲۰۰	T _۷
۲۱/۰ ^c	۱۱/۷ ^d	۱/۱ ^{۰d}	۸/۶۷ ^{cd}	۳۹/۴ ^{bc}	۸/۶۷ ^{cd}	۲۷/۷ ^b	۳۶/۸	۲۷/۵ ^b	۱/۵	۱۶۰	۲۴۰	T _۸

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD هستند.

غلظت‌های کم نیتروژن، مواد فتوسنتزی بیشتری به سمت ریشه حمل می‌شود تا سبب افزایش رشد ریشه و افزایش وزن تازه آن شود. اما در غلظت‌های بیشتر از یک حد خاص (که در هر گیاه متفاوت است)، دیگر بر وزن تازه ریشه افزوده نمی‌شود و وزن خشک برگ افزایش می‌یابد (۲).

وزن تازه ریشه در غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم بیشینه بود. افزایش غلظت عناصر در محلول غذایی از طریق برهم زدن تعادل یونی و اثر بر تغذیه گیاه، رشد ریشه را کاهش داده و حتی متوقف می‌کند (۳۰). چون کلسیم تنها از محل نوک ریشه‌های جوان جذب می‌شود، منشعب شدن ریشه در میزان جذب آن عامل تعیین کننده است (۸). طبق نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۲)، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن تازه ریشه و وزن تازه برگ ($r=0/684$) وجود داشت. وزن تازه ریشه و گسترش آن می‌تواند در افزایش جذب عناصر غذایی و آب مؤثر باشد (۱).

وزن خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) تأثیر معنی‌داری را از تیمارهای مختلف بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱٪ را نشان داد. براساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار T_3 ($N 100 + Ca 80$) و سپس در تیمار T_1 ($N 60 + Ca 80$) به ترتیب به میزان ۱/۵۳ و ۱/۴۳ گرم یافت شد و کمترین مقدار آن در تیمار T_7 ($N 160 + Ca 160$) به میزان ۰/۶۰۷ گرم حاصل شد. در پژوهشی، گزارش شده که با افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی از ۷۰ به ۱۸۲ میلی‌گرم بر لیتر و در زمان‌های متفاوت، وزن خشک ریشه به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (۲۷). در پژوهش دیگری، سوندی و همکاران (۳۴) بیان کردند که با افزایش غلظت نیتروژن از صفر تا ۹۰ میلی‌گرم بر لیتر (۲۸ روز پس از کشت بذر) وزن خشک ریشه‌ها افزایش یافت. اما در غلظت بیشتر (۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر)، وزن خشک ریشه‌ها کاهش یافت. کاردوسو و همکاران (۱۳) گزارش کردند که با افزایش

به عبارت دیگر، با افزایش غلظت نیتروژن به بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، وزن خشک بوته‌ها کاهش یافت. غلظت‌های بیشتر از حد بهینه نیتروژن اگرچه تا حدودی ممکن است سبب افزایش تجمع ماده خشک در برگ‌ها شوند، اما موجب کاهش بازده تولید می‌شود؛ یعنی متناسب با افزایش غلظت نیتروژن، میزان ماده خشک افزایش نخواهد یافت (۲). علت کاهش وزن ماده خشک برگ با افزایش غلظت نیتروژن، جایگزینی نیترات به جای اسیدهای آمینه و قندها بیان شده است (۹ و ۲۴). زیرا با افزایش نیترات در سلول و قلیائی شدن pH سلول، مقداری از اسیدهای آلی و قندها تجزیه شده و تبدیل به آنیون‌های آلی و یون H^+ می‌شوند تا بتوانند pH سلول را کاهش دهند که این امر موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی می‌شود (۲۶). در غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم، نتایج بهتری از نظر وزن خشک برگ به دست آمد. پی و همکاران (۲۹) اظهار داشتند که به دلیل رابطه آنتاگونیستی، افزایش غلظت کلسیم، جریان پتاسیم به سلول‌های محافظ را کاهش داده، که کاهش فشار آماس سلول‌های محافظ سبب بسته شدن روزنه‌های هوایی و کاهش فعالیت فتوسنتز در گیاه می‌شود که این امر در گیاهان علفی، کاهش وزن خشک برگ‌ها را به دنبال دارد. گزارش شده که افزایش غلظت کلسیم محلول غذایی از ۶۰ به ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی شده که دلیل آن کاهش جذب پتاسیم و منیزیم با افزایش غلظت کلسیم محلول غذایی است (۲۱).

وزن تازه ریشه

مطابق با نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، وزن تازه ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت. طبق جدول مقایسه میانگین (جدول ۴)، بیشترین وزن تازه ریشه در تیمار T_1 ($N 60 + Ca 80$) و سپس در تیمار T_3 ($N 100 + Ca 80$) به ترتیب به میزان ۴۵/۹ و ۴۳/۶ گرم حاصل شد. کمترین وزن تازه ریشه نیز در تیمار T_5 ($N 120 + Ca 160$) به میزان ۳۴/۲ گرم حاصل شد. در

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر برگ (%) در تیمارهای مختلف و مقایسه با غلظت بهینه

تیمار	غلظت N	غلظت Ca	نسبت N:Ca	N	K	Ca	P
T _۱	۶۰	۸۰	۰/۷۵	۲/۴ ^{o,b}	۲/۲۸	۲/۰۱ ^c	۰/۳۶۵
T _۲	۸۰	۸۰	۱	۲/۴ ^{o,b}	۲/۳۳	۲/۰۲ ^c	۰/۳۶۵
T _۳	۱۰۰	۸۰	۱/۲۵	۲/۵۳ ^{ab}	۲/۳۴	۲/۱۳ ^{ab}	۰/۳۶۶
T _۴	۱۲۰	۸۰	۱/۵	۲/۵۳ ^{ab}	۲/۳۷	۲/۱۷ ^a	۰/۳۶۴
T _۵	۱۲۰	۱۶۰	۰/۷۵	۲/۴۹ ^{ab}	۲/۲۸	۲/۰۶ ^{bc}	۰/۳۷۰
T _۶	۱۶۰	۱۶۰	۱	۲/۵۵ ^a	۲/۲۷	۲/۰۹ ^{abc}	۰/۳۷۹
T _۷	۲۰۰	۱۶۰	۱/۲۵	۲/۴۹ ^{ab}	۲/۲۷	۲/۱۸ ^a	۰/۳۶۶
T _۸	۲۴۰	۱۶۰	۱/۵	۲/۵۲ ^{ab}	۲/۲۴	۲/۱۶ ^a	۰/۳۶۸
دامنه غلظت بهینه (Huchmuth et al, 2004)							
سطح معنی‌داری				*	ns	*	ns
ضریب تغییرات (%)				۳/۲۳	۲/۹۴	۲/۷۱	۲/۴۷

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD هستند. ns و *، ** به ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و عدم اثر معنی‌دار است.

غلظت عناصر برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارها تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت نیتروژن و کلسیم برگ وجود داشت؛ اما تأثیری بر غلظت پتاسیم و فسفر برگ نداشتند. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که غلظت نیتروژن برگ در تیمارهای مختلف بین ۲/۴-۲/۵۵ درصد ماده خشک برگ متغیر بود و کمترین آن نیز مربوط به تیمار T_۱ با غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن بود. غلظت کلسیم برگ در تیمارهای مختلف بین ۲/۰۱-۲/۱۸ درصد وزن خشک متغیر بود که غلظت کلسیم برگ در تیمارهای حاوی ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم بیشتر بود. مقایسه غلظت عناصر برگ در تیمارهای مختلف با محدوده بهینه غلظت عناصر غذایی پیشنهاد شده توسط هاجماس و همکاران (۲۲) نشان داد که غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و کلسیم در محدوده بهینه قرار دارد. این امر نشان‌دهنده آن است که حتی در غلظت‌های کم نیتروژن (۶۰ و ۸۰ mg/L) نیز بوته‌های کاهو توانستند نیاز خود را برطرف کنند. فاکتور مهمی که باید در کشت شناوری لحاظ شود، حجم محلول غذایی و مقدار کود اختصاص

غلظت نیتروژن محلول غذایی از ۸۰ تا ۱۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، وزن خشک ریشه افزایش یافت. ولی پس از این سطح، با افزایش غلظت نیتروژن، وزن خشک ریشه کاهش یافت. لیو و همکاران (۲۴) بیان کردند که نیتروژن به‌عنوان عنصری کلیدی در تنظیم رشد ریشه و اندام هوایی کاهو محسوب می‌شود. به‌گونه‌ای که در غلظت ۶۰ تا ۹۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن بیشترین رشد ریشه حاصل شد که منجر به افزایش زنده‌مانی بوته‌ها شد.

قطر ساقه

مطابق نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارهای مختلف بر صفت قطر ساقه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). مطابق با نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، مقدار این صفت بین ۲۱-۲۴/۹ میلی‌متر متغیر بود. بیشترین قطر ساقه برابر ۲۴/۹ میلی‌متر متعلق به تیمار T_۳ (۸۰ Ca + ۱۰۰ N) بود و کمترین میزان آن (۲۱ میلی‌متر) در تیمار T_۸ (۱۶۰ Ca + ۲۴۰ N) مشاهده شد که همبستگی مثبت و خوبی بین قطر ساقه و وزن سر کاهو وجود دارد (۱).

خوراکی معنی‌دار نبود. بیشترین وزن سر کاهو، طول و قطر ساقه و وزن خشک ریشه و اندام هوایی در تیمارهای T_۱ (N ۱۰۰ + Ca ۸۰) T_۲، (N ۶۰ + Ca ۸۰) T_۳ و (N ۸۰ + Ca ۸۰) T_۴ مشاهده شد. در بین تیمارها، کمترین شدت نوک‌سوختگی به میزان ۱۰/۵ درصد در تیمار T_۴ (N ۸۰ + Ca ۸۰) و T_۵ (N ۱۶۰ + Ca ۱۶۰) مشاهده شد که در آن نسبت N:Ca=۱ بود. بیشترین شدت نوک‌سوختگی به میزان ۴۲/۵ و ۳۷/۵ درصد در تیمارهای T_۱ (N ۶۰ + Ca ۸۰) و T_۵ (N ۱۶۰ + Ca ۱۶۰) شد که در آنها نسبت N:Ca = ۰/۷۵ بود. بر اساس نتایج این پژوهش، در شرایط گرم گلخانه (دمای شبانه ۱۸ و روز ۲۵ درجه سلسیوس)، استفاده از محلول غذایی به میزان ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن و ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم با تولید عملکرد و شاخص‌های رویشی مطلوب و ایجاد نوک‌سوختگی برگ کمتر برای کشت شناوری کاهو توصیه می‌شود.

یافته برای هر بوته است. در این پژوهش، حجم محلول غذایی برای هر بوته برابر ۵ لیتر بود و بنابراین مقدار کود نیتروژن اختصاص یافته برای هر بوته، با توجه به غلظت نیتروژن در هر تیمار، بین ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌گرم متغیر بود. با توجه به اینکه محلول غذایی یک‌بار در طول دوره تعویض شد، بنابراین در تیمار ۶۰ mg/L 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 کند. بنابراین، در کشت‌های شناوری، علاوه بر غلظت محلول غذایی، حجم محلول غذایی و مقدار نیتروژن اختصاص یافته به هر بوته نیز حتماً باید مدنظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که اثر تیمارهای مورد بررسی بر تعداد برگ

منابع مورد استفاده

۱. برزگر، ر.، س. ریزی و م. خسروی. ۱۳۹۵. اثر دور تعویض محلول غذایی و غلظت‌های مختلف محلول پرکننده بر رشد کاهو (*Lactuca sativa* L.) در سیستم کشت شناوری. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۲۵: ۱۱۹-۱۱۱.
۲. خلدبرین، ب. و ط. اسلام‌زاده. ۱۳۸۴. تغذیه معدنی گیاهان عالی. جلد اول، انتشارات دانشگاه شیراز.
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. Biotechnol. 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. Arreola, J.A., M. Ana, C. Gonzalez and E.A. Garcia. 2008. Effect of calcium, boron and molybdenum on plant growth and bract pigmentation in poinsettia. Rev. Fitotec. Mex. 31(2): 165-172.
7. Assimakopoulou, A., A. Kotsiras and K. Nifakos. 2013. Incidence of lettuce tipburn as related to hydroponic system and cultivar. J. Plant Nutr. 36: 1383-1400.
8. Barker, A.V. and D.J. Pilbeam. 2007. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, New York, 613 p.
9. Behr, U. and H.J. Wiebe. 1992. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. Sci. Hort. 49(3-4): 175-179.
10. Bleyaert, P., K. Vermeulen, K. Steppe and J. Dekock. 2012. Evaluation of a sensor for online measurements of stem diameter variations of leafy vegetables. Acta Hort. 927: 571-579.
11. 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.). Middle Eastern and Russian J. Plant Sci. and Biotechnol. 1(2): 47-53.
12. Both, A.J. 2003. Ten years of hydroponic lettuce research. Department of Plant Biology and Pathology Rutgers, The State University of New Jersey. Available online at: <http://www.ecaantu.edu.tw/~weifang/lab551/vegetable/culturapractice/ten%20years%20of%20hydroponic%20lettuce%20research>. Pdf. Accessed 18 October 2014.

13. Cardoso, F.L., J.L. Andriolo, M. Dal Picio, M. Piccin and J.M. Souza. 2015. Nitrogen on growth and yield of lettuce plants grown under root confinement. Hort. Bras. 33: 422–427.
14. 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. Agr. Med. 137: 1–7.
15. Collier, G.F. and T.W. Tibbitts. 1980. Tipburn of lettuce. Hort. Rev. 4: 49–65.
16. 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. Bras. 29: 548–553.
17. Corriveau, J., L. Gaudreau, J. Caron, S. Jenni and A. Gosselin. 2012. Effect of water management, fogging and Ca foliar application on tipburn of romain lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in greenhouse. Acta Hort. 927: 475–480.
18. Das, B.K. and S.P. Sen. 1981. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium deficiency on the uptake and mobilization of ions in Bengal gram (*Cicer arietinum*). J. BioSci. 3(3): 249–257.
19. Dzida, K., Z. Jarosz, Z. Michalajc and R. Nurzynska-Wierdak. 2012. The influence of diversified nitrogen and liming fertilization on the chemical composition of lettuce. Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus. 11(3): 247–254.
20. FAO. 2012. Lettuce and chicory production quantity. Available online at <http://faosta3.fao.org/home/index.html#download>. Accessed 2 October 2016.
21. Frezza, D., A. Leon, V. Logegaray, A. Chiesa, M. Desimone and L. Diaz. 2005. Soilless culture technology for high quality lettuce. Acta Hort. 697: 43–48.
22. Hochmuth, G., D. Maynard, C. Vavrina, E. Hanlon and E. Simonne. 2004. Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crop in Florida. University of Florida Special Publication SS-VEC- 42.
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(1): 83–89.
24. Liu, C., Y. Sung, B. Chen and 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): 4427–4440.
25. Mardani Nejad, S.H., B. Kholdbarin, Y. Saadat, A. Moradshahi and M. Vazirpour. 2003. Effect of nitrogen on growth behavior and essential oil of *Lavandula officinalis* L. Iran. J. Med. Arom. Plants Res. 19: 16–35.
26. Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
27. Marsic, N.K. and J. Osvald. 2002. Effects of different nitrogen levels on lettuce growth and nitrate accumulation in iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Capitata) grown hydroponically under greenhouse conditions. Gartenbauwissenschaft 67(4): 128–134.
28. 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.
29. Pei, Z.M., Y.G. Murata, S. Benning, B. Thomine, G. Klusener, J. Allen, E. Grill and J.I. Schroeder. 2000. Calcium channels activated by hydrogen peroxide mediate abscisic acid signaling in guard cells. Nature 406: 731–734.
30. Phommy, I., N. Yasuyo and F. Yasufumi. 2012. Effect of potassium sources and rates on plant growth, mineral absorption, and the incidence of tipburn in cabbage, celery, and lettuce. Hort. Environ. Biotechnol. 53(2): 135–142.
31. 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. Agric. Res. 18: 13–21.
32. Santamaria, P., A. Elia and F. Serio. 2002. Effect of solution nitrogen concentration on yield, leaf element content, and water and nitrogen use efficiency of three hydroponically-grown rocket salad genotypes, J. Plant Nutr. 25(2): 245–258.
33. Smith, R., T. Hartz and R. Hayes. 2011. Overview of tipburn of lettuce. Salinas valley agriculture, highlighting agricultural developments, problems, research, AND issues for central coast CA. Available online at: <http://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=5608>.
34. Sounday, P. and D.J. Cantliffe. 2001. Improving lettuce transplant quality in response to nitrogen nutrition in a floatation production system. Proc. of the Florida State Hort. Soc. 114: 294–303.
35. Trejo-Tellez L.I. and F.C. Gomez-Merino. 2012. Hydroponics-A standard methodology for plant biological researches. Available online at: <http://www.intechopen.com>, pp. 1–23.
36. 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.
37. Zamaniyan, M., J. Panahandeh, S.J. Tabatabaei and A. Motallebie-Azar. 2012. Effects of different ratios of K:Ca in nutrient solution on growth, yield and chicon quality of witloof chicory (*Cichorium intybus* L.). Int. J. AgriSci. 2(12): 1137–1142.

Effect of Nitrogen and Calcium Concentration in Nutrient Solution on Growth, Yield and Tipburn of Butterhead Lettuce in Floating System

E. Mortezaei¹, R. Barzegar^{1*} and S. Reezi¹

(Received: 7 February 2017 ; Accepted: 18 August 2017)

Abstract

The present investigation was carried out to evaluate the impacts of different concentrations of N and Ca and N:Ca ratio in nutrient solution on growth indices, yield and tipburn of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. Capitata) in floating system. The experiment was conducted as completely randomized design, with 8 treatments and 3 replications, in Research Greenhouse of Shahrekord University. Treatments (different concentrations of Ca and N (mg/L) in the nutrient solution) included T₁ (N60 + Ca80), T₂ (N80 + Ca80), T₃ (N100 + Ca80), T₄ (N120 + Ca80), T₅ (N120 + Ca160), T₆ (N160 + Ca160), T₇ (N200 + Ca160) and T₈ (N240 + Ca160). Results showed that there was no significant difference between treatments for number of leaves; but significant differences were observed in tipburn percent, leaf and root fresh weight, leaf and root dry weight, and stem length and diameter. The highest head weight, length and diameter of stem, and root and leaf dry weight were observed in T₁ (N60 + Ca80), T₂ (N80 + Ca80) and T₃ (N100+ Ca80) treatments. The weight of head in different treatments varied from 218 to 326 g/plant. Increasing the N concentration to more than 100 mg/L decreased the yield. Higher yield was obtained in 80 mg/L Ca concentration as compared to 160 mg/L. The tipburn occurrence of the treatments varied from 10.5 to 42.5 percent. The lowest tipburn occurrence was observed in T₂ and T₆ (N:Ca=1) treatments; while it was highest in T₁ and T₅ (N:Ca=0.75) treatments. Leaf analysis showed that significant difference was observed among the treatments with respect to N and Ca content. The T₂ treatment (N80 + Ca80) was the best due to its high yield and lower tipburn incidence.

Keywords: Lettuce, Soilless culture, Nutrients ratio, Head weight, Leaf nitrogen.

1. Dept. of Hort. Sci., College of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.

* Corresponding Author, Email: Barzegar56@yahoo.com