

## اثر ترکیب عناصر غذایی بر پارامترهای رشد دو رقم کاهو در کشت هیدروپونیک با بستر جامد

### شهربانو وکیلی بسطام<sup>۱\*</sup> و صدیقه زمانی

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲۴)

#### چکیده

یک پژوهش گلخانه‌ای در مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی گرگان در پاییز-زمستان ۱۴۰۰ برای بررسی اثر سه محلول غذایی مختلف بر عملکرد و پارامترهای رشدی دو رقم کاهو در شرایط کشت هیدروپونیک با بستر جامد انجام شد. دو رقم مورد استفاده شامل دو رقم کاهوی معمولی محلی (Var1 و Var2) بودند. سه تیمار محلول غذایی از نظر غلظت سه عنصر نیتروژن (N)، پتاسیم (K) و کلسیم (Ca) تفاوت داشتند. محلول غذایی شاهد شامل ۱۸۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن، ۲۱۰ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم و ۱۹۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم بود. مقادیر غلظت این سه عنصر در محلول غذایی N2 به ترتیب ۱۴۰، ۱۵۰ و ۱۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و در محلول غذایی N3 به ترتیب ۲۲۰، ۲۷۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار با دو فاکتور نوع رقم (دو رقم Var1 و Var2) و محلول غذایی (در سه سطح شاهد، N2 و N3) انجام شد. بر اساس نتایج، دو رقم تفاوت معنی‌داری از نظر وزن خشک و وزن تازه نداشتند اما دو رقم در سایر صفات مورفولوژیک با هم تفاوت داشتند. در بین تیمارهای غذایی، محلول N3 وزن تازه بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها (۱۷/۱ درصد بیش‌تر نسبت به تیمار N2 و ۱۲/۵ درصد بیش‌تر نسبت به شاهد) تولید کرد. کاربرد محلول غذایی N3 همچنین موجب افزایش صفات وزن خشک برگ (۱۷/۶ و ۷/۵ درصد)، تعداد برگ (۱۲/۷ و ۱۷/۰ درصد)، عرض برگ (۹/۱ و ۱/۵ درصد)، طول برگ (۴/۸ و ۱/۵- درصد بدون تفاوت معنی‌دار)، وزن تازه ریشه (۸۵/۴ و ۵۸/۹ درصد)، و حجم ریشه (۲۶۴/۷ و ۱۸۶/۵ درصد) به ترتیب نسبت به محلول N2 و شاهد شده است. بنابراین محلول غذایی N3 با افزایش رشد اندام هوایی و ریشه گیاه می‌تواند برای تولید کاهو در کشت هیدروپونیک برای دستیابی به عملکرد بیشینه محصول مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، تغذیه، نیتروژن، کشت بدون خاک.

#### مقدمه

کشت هیدروپونیک یک روش آسان برای تولید سبزیجات برگی ارگانیک است که گیاهان در محلول حاوی عناصر غذایی بدون خاک پرورش می‌یابند (۳۳). کنترل آسان عناصر غذایی، نبود آلودگی‌های خاکی، رشد سریع گیاه، دوره کوتاه زراعی، کیفیت زیاد محصول و بازارپسندی آن، کشت

کاهو (*Lactuca sativa* L.) یکی از سبزیجات برگی متعلق به خانواده آستراسه (*Asteraceae*) است. کاهو محصول فصل سرد است که در دمای بین ۷ تا ۲۴ درجه سلسیوس رشد می‌کند و اغلب در سالاد مصرف می‌شود (۳۶). کاهو دارای ارزش غذایی بسیار زیادی است و منبع غنی از ویتامین C،

۱- بخش زراعی-باغی، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sh.vakili@areeo.ac.ir

هیدروپونیک را به یک روش تولید گیاهی جایگزین تبدیل کرده است (۱۴، ۲۴، ۲۶ و ۲۷).

در پرورش سبزیجات برگی مانند کاهو عموماً بوته‌ها در محلول غذایی شناور بوده و برای هوادهی ریشه و تأمین اکسیژن کافی از سیستم‌های اکسیژن‌ساز استفاده می‌شود. در گلخانه‌های هیدروپونیک تولید صیفی‌جات مانند گوجه‌فرنگی از اول فصل کشت تا اولین برداشت اقتصادی حدود ۳ ماه طول می‌کشد و با توجه به فواصل زیاد بین ردیف‌ها در این گلخانه‌ها (بیش از ۱/۵ متر)، فرصت بسیار خوبی برای پرورش توأم محصولات کم‌حجم و با رشد سریع مانند کاهو فراهم است. اما تعبیه سیستم کشت شناور علاوه بر تحمیل هزینه، به علت ثابت بودن، در پرورش محصول اصلی اختلال ایجاد خواهد کرد. با کشت کاهو در نایلون‌های پلاستیکی حاوی بستر جامد و تنها تعبیه سیستم آبیاری قطره‌ای به همراه مخزن کودی به‌آسانی می‌توان تا پیش از شاخ و برگ‌دهی محصول اصلی تا دو نسل محصول کاهو تولید نموده و روانه بازار کرد.

در سیستم‌های هیدروپونیک، غلظت عناصر محلول‌های غذایی مورد استفاده باید به‌درستی تنظیم شوند زیرا غلظت این عناصر ارزش تغذیه‌ای، طعم، بافت، رنگ و سایر ویژگی‌های سبزیجات را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۷). عملکرد و کیفیت گیاه به‌طور مستقیم به عناصر غذایی در دسترس در مراحل مختلف رشدی گیاه بستگی دارد. عناصر غذایی، فاکتورهای اولیه تأثیرگذار بر رشد گیاه و تولید زیست‌توده در کشت هیدروپونیک هستند (۳۶). نیتروژن (N) یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است. غلظت بهینه نیتروژن برای رشد نرمال گیاه لازم است، بخشی از ساختار و کارکرد پروتئین و کلروپلاست مربوط به این عنصر است (۵). اثر مثبت عنصر نیتروژن در رشد و توسعه برگ در تولید تجاری سبزیجات برگی مانند اسفناج و کاهو مشهود است. هر چند گفته می‌شود که مصرف زیاد نیتروژن برای رسیدن به بیشینه عملکرد مورد نیاز است (۱۳) ولی برخی پژوهش‌ها نشان داده است که عملکرد بهینه محصول با کاربرد نسبتاً کم‌تر نیتروژن قابل

حصول خواهد بود (۳۴). استفاده نیتروژن بیش از نیاز گیاه می‌تواند اثر منفی بر کیفیت محصول و ویژگی‌های تغذیه‌ای آن مانند تجمع نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) در بافت‌های خوراکی داشته باشد (۳۰). لوین و متسان (۱۷) گزارش کردند که کمبود پتاسیم عملکرد، صفات مورفولوژیک و عناصر غذایی بافت بیبی اسفناج را تحت تأثیر قرار داد. کمبود پتاسیم کارکردهای هموستازی یونی، تنظیم اسمزی، فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای متابولیکی مختلف را مختل می‌کند (۳، ۱۳، ۲۸ و ۳۱). ترتزیکیس (۳۸) گزارش کرد در پرورش گیاه آندیو افزایش غلظت پتاسیم یا کلسیم آثار سوء ناشی از شوری را خنثی کرد. پژوهش‌های پیشین درباره غلظت عناصر غذایی در کشت هیدروپونیک نشان داد در تغذیه کاهو با افزایش غلظت کلرید کلسیم یا کلرید پتاسیم، میزان نیترات برگ کاهش می‌یابد (۱۶). کلسیم در تنظیم فعالیت‌های متابولیکی گیاه نقش دارد (۲۲). همچنین این عنصر نقش بسیار مهمی در ساختار غشای سلولی و در تشکیل توده رویشی بوته ایفا می‌کند (۱۰). افزایش غلظت کلسیم در بوته با بهبود ساختار غشاء و دیواره سلولی موجب افزایش مقاومت بافت گیاهی به پاتوژن‌ها می‌شود (۱). کلسیم منجر به تعدیل آثار محیطی و جلوگیری از پژمردگی برگ‌ها می‌شود (۲۹). کمبود کلسیم موجب سوختگی نوک برگ کاهو شده و با محلول‌پاشی کلسیم برطرف می‌شود (۱). در پژوهشی مصرف ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم نسبت به ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در کشت هیدروپونیک موجب افزایش غلظت این عنصر در برگ کاهو و کاهش سوختگی نوک برگ شد (۶). افزایش محتوای کلسیم سبزیجات برگی می‌تواند ارزش غذایی آن‌ها را برای مصرف‌کننده افزایش دهد (۲۳). نیسر و همکاران (۲۳) گزارش کردند افزودن ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر عنصر کلسیم موجب افزایش محتوای کلسیم برگ از ۱۷۹ به ۲۲۹ گرم بر ۱۰۰ گرم برگ تازه کاهو شد، بدون این‌که کاهش معنی‌دار عملکرد رخ دهد.

هرچند در گذشته پژوهش‌هایی در مورد تغذیه در کشت هیدروپونیک کاهو انجام شده است، ولی یافته‌ها در مورد اثر

جدول ۱. غلظت عناصر غذایی در کشت هیدروپونیک کاهو در تیمارهای مختلف

**Table 1.** Nutrients concentration for lettuce hydroponic culture in different treatments

غلظت (میلی گرم بر لیتر)		عناصر	
N3	شاهد	N2	
220	180	140	N
270	210	150	K
220	190	140	Ca
50	50	50	P
45	45	45	Mg
0.5	0.5	0.5	B
0.1	0.1	0.1	Zn
3	3	3	Fe
0.5	0.5	0.5	Mn
0.05	0.05	0.05	Mo

محلول یکسان بود (جدول ۱). مقدار EC محلول‌های غذایی در تیمار شاهد، N2 و N3 به ترتیب برابر ۲۱۶۰، ۱۹۷۰ و ۲۵۴۰ میکروزیمنس بر سانتی متر بود.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار با دو فاکتور نوع رقم (دو رقم Var1 و Var2) و محلول غذایی (در سه سطح شاهد، N2 و N3) انجام شد. هر تیمار شامل ۱۲ گیاهچه از هر رقم بود. یادداشت برداری صفات هر تیمار از هر ۱۲ نمونه انجام شد، برای اندازه‌گیری صفات مربوط به ریشه از ۶ نمونه تصادفی استفاده شد.

گیاهان از همان ابتدای انتقال نشاها با محلول تیمار مورد نظر آبیاری شدند. کود آبیاری بر اساس شرایط نور و دمای گلخانه روزی ۱-۲ بار با ظرف مدرج توسط کارگر و به میزان یکسان در همه بوته‌ها انجام شد. به طوری که در روزهای بارانی و ابری روزی یک بار و در روزهای عادی روزی دوبار آبیاری تا عمق ریشه انجام می‌شد. گیاهان ۳۵ روز پس از انتقال نشا برداشت شدند. صفات مورد ارزیابی شامل وزن تازه برگ، وزن خشک برگ، تعداد برگ، طول بلندترین برگ، طول بلندترین ریشه، وزن تازه ریشه، وزن خشک ریشه و حجم ریشه بود.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری

رقم و ترکیبات عناصر غذایی در تولید کاهو کامل و روشن نیست (۳۱). پژوهش حاضر برای دستیابی به محلول غذایی مناسب برای کشت کاهو در بستر جامد هیدروپونیک برنامه‌ریزی شده است. در این پژوهش اثر سه محلول غذایی با غلظت‌های متفاوت عناصر پرمصرف N، K و Ca بر عملکرد و پارامترهای مورفولوژیک رشدی کاهو در شرایط کشت هیدروپونیک با بستر جامد بررسی شد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی گرگان از ۲۸ آبان تا ۵ بهمن ۱۴۰۰ (همزمان با پرورش گوجه‌فرنگی در گلخانه) انجام شد. در طی آزمایش، میانگین دمای روزانه بین ۲۵-۲۲ درجه سلسیوس و میانگین دمای شبانه در دامنه ۱۸-۱۵ درجه سلسیوس بود. میزان رطوبت نسبی بین ۶۰ تا ۷۰ درصد متغیر بود.

دو رقم کاهوی معمولی محلی (Var1 و Var2) برای بررسی اثر محلول‌های غذایی بر رقم مورد استفاده قرار گرفت. بذرها در سینی‌های نشای پلی‌اتیلنی که با کوکویت پر شده بودند در تاریخ ۲۸ آبان ۱۴۰۰ کشت شدند. بذرها پس از جوانه‌زنی و سبز شدن با نسبت ۲ در هزار N-P-K (۲۰-۲۰-۲۰) و محلول پاشی عناصر غذایی کم‌مصرف تا زمان انتقال نشاء تغذیه شدند. سپس گیاهچه‌های ۳-۴ برگی به نایلون‌های ۱۷×۱۵ سانتی‌متری حاوی بستر کشت جامد کوکویت انتقال داده شدند. منابع کودی شامل نیترات کلسیم، نیترات پتاسیم، مونوآمونیم فسفات، سولفات پتاسیم، سولفات منیزیم، کلات آهن، کلات مس، کلات روی، کلات منگنز، مولبیدات آمونیوم و اسیدبوریک برای تهیه محلول کودی مورد استفاده قرار گرفتند. مقدار pH محلول‌های کودی با افزودن اسید نیتریک حدود ۶ تنظیم شد.

در سه محلول کودی، غلظت عناصر نیتروژن (N)، پتاسیم (K) و کلسیم (Ca) با هم متفاوت بود. اما غلظت سایر عناصر مانند فسفر (P)، منیزیم (Mg)، روی (Zn)، بور (B) در هر سه

رشد گیاه اساسی ولی پیچیده است (۳۲). بین محلول شاهد و N2 در صفت تعداد برگ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در پژوهش ساپکوتا و همکاران (۳۱) ترکیبات با غلظت‌های بیش‌تر و کم‌تر عناصر غذایی از تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش تعداد برگ کم‌تری تولید کردند و با هم متفاوت نبودند که نشان می‌دهد ترکیب عناصر غذایی توأم در افزایش این صفت در محلول N3 مؤثر بوده است.

### وزن تازه برگ

بین تیمارهای محلول‌های غذایی، بیش‌ترین مقدار وزن تازه در محلول غذایی N3 حاصل شد که دارای بیش‌ترین غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم و کلسیم بود (جدول ۳، شکل ۱). مقادیر وزن تازه بین دو تیمار شاهد و N2 اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین بین دو رقم از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیش‌ترین وزن تازه برگ در رقم Var2 و در N3 (۱۰۸/۵۲ گرم در بوته) و پس از آن در همین محلول غذایی و رقم Var1 (۱۰۵/۱۸ گرم در بوته) حاصل شد. متفاوت بودن وزن کاهو در کشت هیدروپونیک را می‌توان به نوع رقم ارتباط داد و یا ناشی از تفاوت غلظت عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، کلسیم و پتاسیم دانست (۳۶). پتروپلوس و همکاران (۲۷) گزارش کردند افزایش غلظت N از ۱۰۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر وزن تازه کاهو را ۲۳/۵ تا ۱۱۳ درصد در کشت هیدروپونیک افزایش داد. در پژوهش دیگری افزایش ۰ تا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر غلظت نیتروژن موجب افزایش وزن اندام هوایی از ۶۹ تا ۱۳۰ گرم در کاهو شد (۳۵). پژوهش‌های پیشین نشان داد غلظت بیش‌تر عناصر N (۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، K (۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و Ca (۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) در محلول غذایی اثر عکس بر رشد کاهو داشت و سبب کاهش وزن تازه در مقایسه با محلول‌های با غلظت‌های کم‌تر این عناصر شد (۳۷). عناصر غذایی مانند N، مقدار عملکرد سبزیجات برگی را تعیین می‌کنند اما افزایش غلظت آن ممکن است اثر معکوس بر عملکرد و محتوای نیترات برگ داشته باشد (۲۵). علاوه بر

R 4.2.1 انجام شد. تجزیه واریانس برای تعیین تفاوت آثار اصلی رقم و محلول غذایی و اثر برهمکنش آن‌ها انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون LSD و در سطح آماری ۵ درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برای صفات تعداد برگ، طول برگ، وزن ساقه، طول ریشه، وزن تازه ریشه و حجم ریشه بین دو رقم بررسی شده اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). اثر محلول غذایی بر تمامی صفات مورد ارزیابی به‌جز طول ریشه معنی‌دار شد. اثر برهم‌کنش رقم و محلول غذایی نیز بر تمامی صفات به‌جز طول ریشه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین صفات تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

### تعداد برگ

گیاهانی که با محلول N3 تغذیه شدند تعداد برگ بیش‌تری نسبت به شاهد و تیمار N2 تولید کردند. همچنین رقم Var2 نسبت به Var1 تعداد برگ بیش‌تری داشت. بر اساس مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها، بیش‌ترین تعداد برگ در رقم Var2 و در غلظت زیاد عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم و کلسیم (N3) مشاهده شد. نتایج پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده است افزایش N از ۱۵۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، سبب افزایش معنی‌دار تعداد برگ کاهو در شرایط کشت گلخانه‌ای می‌شود (۲۷). در پژوهش حاضر بین غلظت‌های ۱۴۰ (در محلول N2) و ۱۸۰ (در شاهد) میلی‌گرم بر لیتر N، تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد برگ مشاهده نشد اما افزایش غلظت به ۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش معنی‌دار آن شده است. در کاهو افزایش کلسیم در برگ موجب افزایش توان فتوسنتزی و سنتز کلروفیل می‌شود (۸). کلسیم یکی از اجزای ساختاری دیواره سلولی بوده و برای رشد و تقسیم سلولی ضروری است و بدین دلیل در توسعه گیاه نقش مهمی ایفا می‌کند (۸). نقش پتاسیم در فعالیت فتوسنتزی و

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم و محلول غذایی بر پارامترهای رشدی کاهو  
**Table 2.** Analysis of variance (mean squares) of cultivar and nutrient solution effect on lettuce growth parameters

منابع تغییر	درجه آزادی df	تعداد برگ	وزن تازه برگ	وزن خشک برگ	طول برگ	عرض برگ	وزن ساقه	طول ریشه	وزن تازه ریشه	وزن خشک ریشه	حجم ریشه
S.O.V		Number of leaves	Leaf fresh weight	Leaf dry weight	Leaf length	Leaf width	Stem weight	Root length	Root fresh weight	Root dry weight	Root volume
رقم Cultivar	1	117.43*	211.9 <sup>ns</sup>	3.56 <sup>ns</sup>	19.55**	1.43 <sup>ns</sup>	52.70**	49.00**	176.49**	0.368 <sup>ns</sup>	441.0**
محلول غذایی Nutrient solution	2	148.11**	1593.6**	8.63*	7.48**	3.29**	6.67*	10.03 <sup>ns</sup>	172.73**	1.34**	459.2**
برهم کنش رقم × محلول غذایی Cultivar× Nutrient solution	2	70.43*	659.8*	4.75*	1.81*	0.11**	3.74*	3.25 <sup>ns</sup>	165.80**	2.05**	463.6**
خطا Error		17.63	147.8	2.43	1.36	0.53	2.62	3.86	9.45	0.13	22.2
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		8.62	9.43	7.93	6.46	6.93	7.20	10.33	7.35	9.28	14.16

\* و \*\*: به ترتیب اثر معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: اثر غیر معنی دار  
 \* and \*\*: Significant effect at 5 and 1% probability levels, respectively, ns: non-significant

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای رقم و محلول غذایی بر پارامترهای رشدی کاهو

**Table 3.** Mean comparisons of the main effect of variety and nutrient solution treatments on lettuce growth parameters

تیمار Treatment	صفت (Trait)									
	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن تازه برگ (گرم در بوته) Leaf fresh weight (g/plant)	وزن خشک برگ (گرم در بوته) Leaf dry weight (g/plant)	طول برگ (سانتی متر) Leaf length (cm)	عرض برگ (سانتی متر) Leaf width (cm)	وزن ساقه (گرم در بوته) Stem weight (g/plant)	طول ریشه (سانتی متر در بوته) Root length (cm/plant)	وزن تازه ریشه (گرم در بوته) Root fresh weight (g/plant)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته) Root dry weight (g/plant)	حجم ریشه (میلی متر مکعب در بوته) Root volume (mm <sup>3</sup> /plant)
محلول	C1L	30.45 <sup>b</sup>	95.00 <sup>b</sup>	7.47 <sup>ab</sup>	18.57 <sup>a</sup>	8.28 <sup>a</sup>	12.75 <sup>a</sup>	9.78 <sup>b</sup>	1.36 <sup>b</sup>	5.41 <sup>b</sup>
	N2	31.62 <sup>b</sup>	91.25 <sup>b</sup>	6.83 <sup>b</sup>	17.45 <sup>b</sup>	7.70 <sup>b</sup>	12.33 <sup>a</sup>	8.38 <sup>b</sup>	1.28 <sup>b</sup>	4.25 <sup>b</sup>
غذایی	N3	35.62 <sup>a</sup>	106.85 <sup>a</sup>	8.03 <sup>a</sup>	18.28 <sup>a</sup>	8.40 <sup>a</sup>	11.90 <sup>a</sup>	15.54 <sup>a</sup>	1.90 <sup>a</sup>	15.500 <sup>a</sup>
رقم	Var1	32.05 <sup>b</sup>	99.47 <sup>a</sup>	7.68 <sup>a</sup>	18.60 <sup>a</sup>	8.26 <sup>a</sup>	13.19 <sup>a</sup>	9.023 <sup>b</sup>	1.41 <sup>a</sup>	4.88 <sup>b</sup>
	Var2	34.64 <sup>a</sup>	95.99 <sup>a</sup>	7.21 <sup>a</sup>	17.54 <sup>b</sup>	7.97 <sup>a</sup>	10.86 <sup>b</sup>	13.45 <sup>a</sup>	1.61 <sup>a</sup>	11.88 <sup>a</sup>

در هر ستون و در هر گروه، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column and each group, means with the same letter are not significantly different (LSD  $p < 0.05$ ).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای رقم و محلول غذایی بر پارامترهای رشدی کاهو

**Table 4.** Mean comparisons of the interaction effect of variety and nutrient solution treatments on lettuce growth parameters

تیمار Treatment	صفت (Trait)									
	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن تازه برگ (گرم در بوته) Leaf fresh weight (g/plant)	وزن خشک برگ (گرم در بوته) Leaf dry weight (g/plant)	طول برگ (سانتی متر) Leaf length (cm)	عرض برگ (سانتی متر) Leaf width (cm)	وزن ساقه (گرم در بوته) Stem weight (g/plant)	طول ریشه (سانتی متر در بوته) Root length (cm/plant)	وزن تازه ریشه (گرم در بوته) Root fresh weight (g/plant)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته) Root dry weight (g/plant)	حجم ریشه (میلی متر مکعب در بوته) Root volume (mm <sup>3</sup> /plant)
CT1L <sub>V1</sub>	31.25 <sup>cd</sup>	99.22 <sup>ab</sup>	7.85 <sup>ab</sup>	18.76 <sup>a</sup>	8.43 <sup>a</sup>	9.55 <sup>ab</sup>	11.16 <sup>a</sup>	10.78 <sup>b</sup>	1.62 <sup>b</sup>	5.83 <sup>b</sup>
CT1L <sub>V2</sub>	29.50 <sup>d</sup>	86.02 <sup>b</sup>	6.67 <sup>b</sup>	18.35 <sup>ab</sup>	8.10 <sup>ab</sup>	8.03 <sup>c</sup>	14.33 <sup>a</sup>	8.79 <sup>b</sup>	1.11 <sup>c</sup>	5.00 <sup>b</sup>
N2 <sub>V1</sub>	31.67 <sup>cd</sup>	90.75 <sup>b</sup>	6.66 <sup>b</sup>	18.21 <sup>ab</sup>	7.76 <sup>b</sup>	8.91 <sup>b</sup>	11.00 <sup>a</sup>	7.03 <sup>c</sup>	1.28 <sup>b</sup>	4.00 <sup>b</sup>
N2 <sub>V2</sub>	35.58 <sup>ab</sup>	91.76 <sup>b</sup>	7.01 <sup>ab</sup>	16.68 <sup>c</sup>	7.63 <sup>b</sup>	7.85 <sup>c</sup>	13.66 <sup>a</sup>	9.73 <sup>b</sup>	1.28 <sup>b</sup>	4.50 <sup>b</sup>
N3 <sub>V1</sub>	33.25 <sup>bc</sup>	105.18 <sup>a</sup>	8.20 <sup>a</sup>	18.83 <sup>a</sup>	8.59 <sup>a</sup>	10.73 <sup>a</sup>	10.41 <sup>a</sup>	9.25 <sup>b</sup>	1.34 <sup>b</sup>	4.83 <sup>b</sup>
N3 <sub>V2</sub>	38.00 <sup>a</sup>	108.52 <sup>a</sup>	8.17 <sup>a</sup>	17.73 <sup>b</sup>	8.20 <sup>ab</sup>	8.12 <sup>c</sup>	11.58 <sup>a</sup>	21.83 <sup>a</sup>	2.45 <sup>a</sup>	26.16 <sup>a</sup>

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different (LSD  $p < 0.05$ ).



شکل ۱. اثر تیمارهای مختلف محلول‌های غذایی بر رشد برگ‌گی دو رقم کاهو

Fig. 1. The effect of nutrient solution treatments on leaf growth of two lettuce cultivars

بین پتاسیم-منیزیم و کلسیم-منیزیم باعث کاهش جذب منیزیم توسط گیاه می‌شود. از سویی میزان زیاد پتاسیم می‌تواند مانع جذب کلسیم و منیزیم کافی توسط گیاه شود و بالعکس افزایش سطوح کلسیم و منیزیم موجب کاهش جذب پتاسیم می‌شود (۱۲). در پژوهش‌های پیشین کاربرد مقادیر بیش‌تر N، K و Ca موجب کاهش وزن تازه کاهو شد (۳۸).

#### وزن خشک برگ

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳)، در هر دو رقم

تجمع نیترات در بافت خوراکی، آبشویی نیتروژن و آلودگی آب-های زیرزمینی، کاربرد بیش از اندازه عنصر N موجب کاهش رشد ریشه شده و بدین ترتیب گیاهان به تنش‌های محیطی مانند تنش کم‌آبی حساس شده و در نتیجه عملکرد و کیفیت محصول کاهش می‌یابد (۱۸). در پژوهشی غلظت زیاد پتاسیم و کلسیم موجب کاهش سطح برگ گیاه آندپو شد (۳۸). گزارش شده است که جذب عناصر اصلی غذایی همچون منیزیم، کلسیم و آمونیوم در نتیجه مصرف زیاد پتاسیم به شدت کاهش می‌یابد (۲۱). افزایش سطوح پتاسیم در محلول غذایی، با توجه به وجود اثر آنتاگونیستی

همچنین گزارش شد با افزایش توأم غلظت N و K، مقدار وزن تازه و خشک کاهو به مقدار بیش تری نسبت به افزایش به تنهایی غلظت N افزایش یافت (۴).

#### وزن ساقه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین آثار اصلی تیمارها (جدول ۳)، بیش ترین وزن ساقه کاهو در تیمار غذایی N3 و در بین ارقام در رقم Var1 مشاهده شد. محلول غذایی N2 با داشتن کم ترین غلظت عناصر غذایی، کم ترین وزن ساقه را تولید کرد. ساقه کاهو یکی از اجزای عملکردی این سبزی برگی بوده و در افزایش عملکرد محصول تأثیرگذار است. در بررسی کاربرد غلظت های مختلف فسفر در پرورش کاهو در سیستم هیدروپونیک، در مقادیر وزن ساقه کاهو تفاوت معنی داری گزارش نشده است (۷). بررسی های دقیقی در مورد این که کدام عنصر بر این صفت مؤثر است انجام نگرفته است ولی با توجه به این که ساقه جزء اندام های رویشی است هر عنصر یا ترکیبی که موجب افزایش رشد برگی شود احتمالاً در رشد ساقه نیز تأثیرگذار است. همانگونه که گفته شد برهم کنش عناصر و نسبت آن ها با یکدیگر بیش از اثر هر عنصر به تنهایی بر شاخص های رشد و عملکرد مؤثر است.

#### صفات ریشه

دو رقم کاهو Var1 و Var2 از نظر طول، وزن تازه و حجم ریشه اختلاف معنی دار نشان دادند (شکل ۲) ولی از نظر وزن خشک ریشه تفاوت معنی دار نداشتند (جدول ۳). اثر محلول غذایی بر وزن تازه، وزن خشک و حجم ریشه معنی دار بود. بیش ترین مقادیر هر سه صفت در تیمار غذایی N3 حاصل شد و محلول های غذایی شاهد و N2 تفاوت معنی دار از نظر این سه صفت ریشه ایجاد نکردند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای غذایی و رقم (جدول ۴)، رقم Var2 در محلول غذایی N3 بیش ترین وزن تازه، وزن خشک و حجم ریشه را داشت و با سایر تیمارهای ترکیبی اختلاف معنی دار

بررسی شده بیش ترین و کم ترین مقادیر وزن خشک به ترتیب مربوط به تیمارهای محلول غذایی N3، و محلول غذایی N2 بود. دو رقم از نظر وزن خشک با هم تفاوت معنی داری نداشتند. گنجه ای و گلچین (۱۲) گزارش کردند که با افزایش سطوح پتاسیم از عملکرد و وزن تازه و خشک اندام هوایی در توت فرنگی کاسته شد. اما در پژوهش حاضر با افزایش غلظت پتاسیم تا ۲۷۰ میلی گرم بر لیتر، کاهش در صفات مورد نظر مشاهده نشد. البته تعادل عناصر غذایی و برهم کنش بین آن ها می تواند منجر به نتایج متفاوت شود. به هم خوردن تعادل عناصر غذایی و افزایش شوری در محیط ریشه، کاهش فتوسنتز و وزن خشک گیاه را در پی دارد (۱۵). در این پژوهش با کاربرد محلول N3 با EC ۲۵۴۰ میکروزیمنس بر سانتی متر بیش ترین وزن خشک برگ تولید شد.

#### طول و عرض برگ

محلول غذایی N2 کوتاه ترین طول برگ را تولید کرد و بین تیمار شاهد و محلول غذایی N3 اختلاف معنی داری برای دو صفت طول و عرض برگ وجود نداشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر برهم کنش محلول غذایی و رقم (جدول ۴)، بزرگ ترین طول و عرض برگ در رقم Var1 و محلول های غذایی N3 و شاهد (که دارای غلظت عناصری بیش تری نسبت به محلول غذایی N2 بودند)، مشاهده شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی داری داشتند. تولید برگ های بزرگ تر در شاهد و N3، می تواند به علت ترکیب بهتر عناصر غذایی نسبت به N2 باشد. با بررسی رشد و کیفیت کاهو در سیستم هیدروپونیک، گزارش شده است که اندازه برگ به ترکیب عناصر غذایی، آب قابل دسترس و دما بستگی دارد (۹). در سطوح بالای نیتروژن به علت تولید بیش تر کلروفیل و افزایش میزان فتوسنتز، سطح برگ افزایش می یابد (۲۰). اثر عناصر غذایی بر اندازه برگ در پژوهش های پیشین گزارش شده است. در سبزیجات برگی افزایش مقادیر پتاسیم و نیتروژن موجب افزایش سطح برگ، وزن تازه و خشک و افزایش عملکرد می شود (۴ و ۲۵).





شکل ۲. تفاوت اندازه ریشه‌های بوته‌های کاهو در تیمارهای مختلف محلول تغذیه‌ای

از راست به چپ به ترتیب: N2V2 - N2V1 - N3V1 - N3V2

Fig. 2. The effect of nutrient solution treatments on root growth of two lettuce cultivars (left to right: N3V2, N3V1, N2V1, N2V2)

$N = 220$  میلی‌گرم بر لیتر) برای کشت کاهو در سیستم هیدروپونیک برای دستیابی به عملکرد بیشینه مناسب به نظر می‌رسد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده تفاوت صفات رشدی بین دو رقم کاهوی بررسی شده (Var1 و Var2) و همچنین پاسخ متفاوت آن‌ها به غلظت‌های عناصر غذایی مختلف در محلول غذایی بود. بنابراین برای کشت ارقام کاهو با ویژگی‌های رشدی مختلف نیاز است تا پاسخ رقم به محلول غذایی بررسی شود. پژوهش‌های پیش‌تری برای بررسی اثر جداگانه هر یک از عناصر  $N$ ،  $K$  و  $Ca$  و همچنین ارزیابی صفات کیفی محصول و تجمع نیترات برگ در شرایط کشت هیدروپونیک پیشنهاد می‌شود. با توجه به نتایج آزمایش به نظر می‌رسد در گلخانه‌های تولید صیفی‌جات با کشت توأم کاهو در بستر جامد می‌توان تا پیش از شاخ و برگ‌دهی محصول اصلی تا دو نسل محصول کاهوی خارج از فصل تولید و روانه بازار کرد و بدین صورت بازده اقتصادی گلخانه را افزایش داد.

### سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان که پژوهش‌گران را در اجرای این پژوهش یاری کردند، سپاسگزاری می‌کنند.

داشتند. این نتایج با یافته‌های ساپکوتا و همکاران (۳۱) هم‌خوانی داشت.

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که تیمارهای غذایی  $N1$  و شاهد، محلول‌های ضعیف‌تری برای هر دو رقم بودند. این محلول‌های غذایی مقدار کم‌تری از وزن تازه برگ، وزن خشک برگ، تعداد برگ، اندازه برگ و رشد ریشه را تولید کردند. در این آزمایش کشت کاهو در بستر جامد انجام شد. نتایج آزمایش بررسی اثر محلول‌های کودی بر صفات مختلف رشدی کاهو با سایر پژوهش‌هایی که در کشت هیدروپونیک به‌صورت شناور و در بستر مایع انجام شد (۲۷، ۳۵، ۳۶، ۳۱ و ۳۸) هم‌خوانی داشت. این آزمایش نشان داد که پرورش کاهو در بستر جامد در صورت نبود و عدم دسترسی به سیستم رایج کشت مایع می‌تواند جایگزین مناسبی باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد بیش‌ترین مقدار اغلب صفات رشدی بررسی شده در هر دو رقم کاهو مربوط به تیمار محلول غذایی ( $Ca = 220$  میلی‌گرم بر لیتر،  $K = 270$  میلی‌گرم بر لیتر و  $N = 220$  میلی‌گرم بر لیتر) بود. بنابراین محلول غذایی  $N3$  ( $Ca = 220$  میلی‌گرم بر لیتر،  $K = 270$  میلی‌گرم بر لیتر و

## منابع مورد استفاده

- Ahmad, M.S.A., Javed, F., Javed, S., Alvi, A.K., 2009. Relationship between callus growth and mineral nutrients uptake in salt-stressed Indica rice callus. *Journal of Plant Nutrition* 32(3): 382–394.
- Ainun, N., Maneepong, S., Suraninpong, P., 2018. Effects of photoradiation on the growth and potassium, calcium and magnesium uptake of lettuce cultivated by hydroponics. *Journal of Agricultural Science* 10(6): 253–263.
- Amtmann, A., Hammond, J.P., Armengaud, P., White, P.J., 2005. Nutrient sensing and signaling in plants: potassium and phosphorus. *Advance in Botanical Research* 43: 209–257.
- Awaad, M.S., Badr, R.A., Badr, M.A., Abd-elrahman, A.H., 2016. Effects of different nitrogen and potassium sources on lettuce (*Lactuca sativa* L.) yield in a sandy soil. *Eurasian Journal of Soil Science* 5(4): 299–306.
- Barker, A.V., Pilbeam, D.J., 2007. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, Boca Raton.
- Beninni, E.R.Y., Takahashi, H.W., Neves, C.S.V.J., 2003. Calcium management in hydroponic lettuce. *Horticultura Brasileira* 21(4): 605–610.
- Estrada-Ortiz, E., Trejo-Tellez, L.I., Gomez-Merino, F.C., Silva-Rojas, H.V., Castillo-Gonzalez, A. M., Avitia-García, E., 2016. Physiological responses of chard and lettuce to phosphite supply in nutrient solution. *Journal of Agricultural Science Technology* 18: 1079–1090.
- Falovo, C., Roupheal, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Battistelli, A., Colla, G., 2009. Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. *Journal of Food Agriculture and Environment* 7: 456–462.
- Fraile-Robayo, R.D., Alvarez-Herrera, J.G., Reyes, M., Johana, A., Alvarez-Herrera, O.F., Fraile-Robayo, A.L., 2017. Evaluation of the growth and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a closed recirculating hydroponic system. *Agronomy of Colombia* 35: 216–222.
- Hamdi, W., Helali, L., Beji, R., Zhani, K., Ouertatani, S., Gharbi, A., 2015. Effect of levels calcium nitrate addition on potatoes fertilizer. *International Research Journal of Engineering and Technology* 3(2): 2006–2013.
- Hoque, M.M., Ajva, H.A., Othman, M., Smith, R., 2010. Yield and postharvest quality of lettuce in response to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers. *Horticultural Science* 45(10):1539–1544.
- Gangeii, B., Golchin, A., 2011. The effect of different levels of nitrogen, potassium and magnesium on the yield and growth indicators of strawberry plants in hydroponic cultivation environment. *Science and Techniques of Greenhouse Crops* 2(8): 71–80.
- Gattward, J. N., Almeida, A. F., Souza, J. O., Gomes, F. P., Kronzucker, H.J., 2012. Sodium-potassium synergism in *Theobroma cacao*: Stimulation of photosynthesis, water-use efficiency and mineral nutrition. *Physiologia Plantarum* 146: 350–362.
- Gonnella, M., Serio, F., Conversa, G., Santamaria, P., 2003. Yield and quality of lettuce grown in floating system using different sowing density and plant spatial arrangements. *Acta Horticulturae* 614: 687–692.
- Khoshgoftarmanesh, A.H., 2007. Basics of Plant Nutrition, Isfahan University of Technology, Isfahan.
- Lee, G.J., Shin, H.M., Kim, K.S., Lee, C.H., Kim, J.H., 1999. Effects of added chlorides and their concentrations on growth and nitrate content in leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponics. *Plant Resource* 2: 26–30.
- Levine, C.P., Mattson, N.S., 2021. Potassium-deficient nutrient solution affects the yield, morphology, and tissue mineral elements for hydroponic baby leaf spinach. *Horticulture* 7: 213–221.
- Mahlangu, R.I.S., Maboko, M.M., Sivakumar, D., Soundy, P., Jifon, J., 2016. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, yield and quality response to nitrogen fertilization in a non-circulating hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition* 10: 1–28.
- Mulabagal, V., Ngouajio, M., Nair, A., Zhang, Y., Gottumukkala, A.L., Nair, M.G., 2010. In vitro evaluation of red and green lettuce (*Lactuca sativa*) for functional food properties. *Food Chemistry* 118: 300–306.
- Mashayekhi, P., Tatari, M., 2016. The effect of different concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium on some quantitative and qualitative characteristics of Strawberry in hydroponic culture. *Soil Research Journal (Soil and Water Sciences)* 30(4): 391–402.
- Mirmohammadi-Meybodi, M., Ghareyazi, B., 2002. Physiological and Breeding Aspects of Plant Salinity Stress. Isfahan University of Technology, Isfahan.
- Murillo-Amador, B., Yamada, S., Yamaguchi, T., Rueda-Puente, E., Avila-Serrano, N., Garcia-Hernandez, J.L., Nieto-Garibay, A., 2007. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193(6): 413–421.
- Neeser, C., Savidov, N., Driedger, D., 2007. Production of hydroponically grown calcium fortified lettuce. *Acta Horticulturae* 744: 317–322.
- Nicola, S., Hoeberechts, J., Fontana, E., 2005. Comparison between traditional and soilless culture systems to produce rocket (*Eruca sativa*) with low nitrate content. *Acta Horticulturae* 697: 549–555.
- Nurzynska-Wierdak, R., 2006. The effect of nitrogen fertilization on yield and chemical composition of garden

- rocket (*Eruca sativa* Mill.) in autumn cultivation. *Acta Scintiarum, Polonorum Hortorum Cultus* 5: 53–63.
26. Ohse, S., Dourado-Neto, D., Manfron, P.A., Santos, O.S.D., 2001. Quality of lettuce cultivars grown in hydroponic solution. *Science of Agriculture* 58: 181–185.
27. Petropoulos, S.A., Chatzieustratiou, E., Constantopoulou, E., Kapotis, G., 2016. Yield and quality of lettuce and rocket grown in floating culture system. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 44: 603–612.
28. Pettigrew, W. T., 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum* 133: 670–681.
29. Rathor, D., Verma, S., Solanki, H., 2021. A review on effect of potassium and calcium on different parameters on plants under hydroponic condition. *EPRA International Journal of Research and Development* 6(3): 87–91.
30. Santamaria, P., 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86: 10–17.
31. Sapkota, S., Sapkota, S., Zhiming, L., 2019. Effects of nutrient composition and lettuce cultivar on crop production in hydroponic culture. *Horticulture* 5(72): 1–8.
32. Sardans, J., Peñuelas, J., 2021. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants* 10(419): 1–31.
33. Schachtman, D. P., Shin, R., 2007. Nutrient sensing and signaling: NPKS. *Annual Review of Plant Biology* 58: 47–69.
34. Spehia, R.S., Devi, M., Singh, J., Sharma, S., Negi, A., Singh, S., Sharma, J.C., 2018. Lettuce growth and yield in Hoagland solution with an organic concoction. *International Journal of Vegetable Science* 24: 557–566.
35. Soundy, P., Cantlie, D.J., Hochmuth, G.J., Stoella, P.J., 2001. Nutrient requirements for lettuce transplants using a floatation irrigation system. I. Phosphorus. *Horticultural Science* 36: 1066–1070.
36. Soundy, P., Smith, I.F., 1992. Response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to nitrogen and phosphorus fertilization. *Journal of South African Society for Horticultural Science* 2: 82–85.
37. Sublett, W., Barickman, T., Sams, C., 2018. The effect of environment and nutrients on hydroponic lettuce yield, quality, and phytonutrients. *Horticulturae* 4: 48.
38. Tzortzakis, N.G., 2010. Potassium and calcium enrichment alleviate salinity-induced stress in hydroponically grown endives. *Horticultural Science* 37(4): 155–162.



## Effect of Nutrients Composition on The Growth Parameters of Two Lettuce Varieties in Hydroponic Culture With Solid Growing Media

S. Vakili Bastam<sup>1\*</sup> and S. Zamani

(Received: 31 July 2022; Accepted: 16 October 2022)

### Abstract

A greenhouse research study was conducted at Golestan Agricultural Science and Natural Resources Research Center, Gorgan, in autumn and winter 2021, to investigate the effects of three different nutrient solutions on the yield and growth parameters of two local lettuce cultivars grown in solid growing media of hydroponic system. Two local lettuce cultivars (Var1 and Var2) were subjected to different nutrient solutions. Three nutrient solutions were different in nitrogen (N), potassium (K) and calcium (Ca) concentrations. The control nutrient solution consisted of concentrations 180, 210 and 190 mg L<sup>-1</sup> for N, K and Ca. Corresponding concentrations were 140, 150 and 140 mg L<sup>-1</sup>, and 220, 270 and 220 mg L<sup>-1</sup> for N2 and N3 nutrient solutions, respectively. The experiment was conducted as a factorial in completely randomized design with 3 replications and two factors of cultivar type (Var1 and Var2) and nutrient solution (control, N2 and N3). Based on the results, the fresh and dry weights were not significantly different between the two cultivars, but significant differences were observed for other traits. Among the nutrient solution treatments, the highest fresh weight was obtained in N3 nutrient solution (17.1 and 12.5% greater than N2 and control, respectively). Using N3 nutrient solution increased leaf dry weight (by 17.6 and 7.5%), leaf number (by 12.7 and 17.0%), leaf width (by 9.1 and 1.5%), leaf length [by 4.8 and -1.5% (not significant)], root fresh weight (by 85.4 and 58.9%), and root volume (by 264.7 and 186.5%) compared to N2 and control, respectively. Therefore, the N3 nutrient solution increased the shoot and root growth and can be suggested for maximum lettuce production in hydroponic culture.

**Keywords:** Yield, Nutrition, Nitrogen, Soilless culture.

**Background and Objective:** Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a green leafy vegetable belonging to the *Asteraceae* family (3). It is a cool-season vegetable which thrives in temperatures ranging from 7 to 24 °C and is commonly consumed in salad mixes (1). Easy control of nutrient composition, lack of soil contamination, faster plant growth, shorter crop cycles, high product quality and good consumer acceptance have made hydroponics an important alternative plant production technique (2). The objective of this study was to determine the best N, K and Ca concentrations in nutrient solution in hydroponic lettuce production with solid growing media.

**Methods:** Two lettuce cultivars, Golestan and Romain, were named Var1 and Var2. Three nutrient solutions

1- Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.

\*: Corresponding author, Email: sh.vakili@areeo.ac.ir

were different in nitrogen (N), potassium (K) and calcium (Ca) concentrations. Two cultivars were subjected to one of three different nutrient concentrations of N, K and Ca at 180, 210 and 190 mg L<sup>-1</sup> (control), 140, 150 and 140 mg L<sup>-1</sup> (N2) and 220, 270 and 220 mg L<sup>-1</sup> (N3), respectively. The experiment was conducted as a factorial in completely randomized design in 3 replications with two factors of cultivar type (two cultivars Var1 and Var2) and nutrient solution (at three levels: control, N2 and N3). Each treatment consisted of twelve seedlings of each lettuce cultivar. The morphological characteristics of lettuce in each treatment were recorded from all 12 samples. Six random samples of each experimental unit were used to measure root traits. The data were subjected to analysis of variance using R software V4.2.1. Mean comparison was performed using the least significance difference (LSD) test at  $p < 5\%$ .

**Results:** Two cultivars were not significantly different in fresh weight (as lettuce yield index), however some significant differences were observed for other morphological traits. The effect of nutrient solution on all evaluated traits except root length was statistically significant. The interaction effect of cultivar and nutrient solution treatments was also significant for all traits except root length. The plants grown in N3 solution produced more leaves than the control and N2 treatments. Among the nutrient solution treatments, the highest fresh weight was observed in N3 nutrient solution which had the highest concentrations of N, K and Ca elements. The highest fresh weight was obtained in the combination of cultivar Var2 and N3 (108.52 g per plant) and then in the combination of cultivar Var1 and the same nutrient solution (105.18 g per plant). There was no significant difference between the control and N3 nutrient solutions in terms of leaf length and width but N2 treatment produced the shortest leaf length. Mean comparisons of the main effects of the treatments showed that the highest stem weight was observed in the combination of cultivar Var1 and N3. The root fresh weight, root dry weight and root volume was affected by nutrient solution treatments. The highest amount of all three traits were obtained in the N3 nutrient treatment, and the control and N2 nutrient solutions did not result in significant differences for these root traits. The N3 treatment proved significantly more productive than the other nutrient treatments in both cultivars. It is suggested to do mixed cultivation of lettuce in hydroponic greenhouses. In this way, up to two generations of out-of-season lettuce can be produced before the foliage of the main crop such as tomatoes grows, thus increase the economic efficiency of the greenhouse.

**Conclusions:** It is suggested to use N3 nutrient solution (N=220 mg L<sup>-1</sup>, K= 270 mg L<sup>-1</sup>, Ca= 220 mg L<sup>-1</sup>) for the lettuce production in hydroponic system to achieve the maximum yield. This nutrient solution produced maximum growth characteristics for both cultivars. Further studies are suggested to investigate the separate effect of the elements N, K and Ca, as well as to evaluate the quality traits in hydroponic cultivation conditions.

#### References:

1. Mulabagal, V., Ngouajio, M., Nair, A., Zhang, Y., Gottumukkala, A.L., Nair, M.G., 2010. In vitro evaluation of red and green lettuce (*Lactuca sativa*) for functional food properties. *Food Chemistry* 118: 300–306.
2. Petropoulos, S.A., Chatzieustratiou, E., Constantopoulou, E., Kapotis, G., 2016. Yield and quality of lettuce and rocket grown in floating culture system. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 44: 603–612.
3. Sublett, W., Barickman, T., Sams, C., 2018. The effect of environment and nutrients on hydroponic lettuce yield, quality, and phytonutrients. *Horticulturae* 4: 48.