Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2023, Vol 6, No 12 (2), Pages 85-96

doi: 10.22034/iuvs.2022.557938.1225 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

The Effect of Ammonium:Nitrate Ratios of Nutrient Solution on Yield and Some Characteristics of Lettuce

Jaber Panahandeh[1*], Sahar Hanafi[2], Shahin Oustan[3] and Alireza Motallebie azar[1]

1- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

[*]**Corresponding author:** panahandeh@tabrizu.ac.ir

(**Received:** 18 July 2022 **Revised:** 13 August 2022 **Accepted:** 14 August 2022)

Extended Abstract

1. Introduction: Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most important leafy vegetable. Due to importance and high demand the greenhouse and hydroponically growing of lettuce is increasing. One of the key points in effectiveness of hydroponic production is the formulation of suitable nutrient solution. Nitrogen as an essential element could be provided by two form in nutrient solution, ammonium and nitrate. Although both form provide the nitrogen for plants but they can affect the growth and physiological aspects differentiatly. In other side open systems of hydroponic in addition to to high cost for nutrient solution preparation can cause soil and water pollution, so its need to use hydroponic systems that decrease the amount of nutrient solution consumation. In this study we assessed the effect of three different NH^{+}_{4}:NO^{-}_{3} ratio in nutrient solution in an easy and very low cost closed hydroponic system so called Kratky method on lettuce production.

2. Materials and Methods: The experiment was conducted in hydroponic greenhouse as a factorial based on completely randomized design. Three nutrient solutions with the same level of total nitrogen but with different ammonium to nitrate ratio (0.5:8, 1:8 and 2:8) were used for growing the three lettuce cultivars (Local Romain, French red and Salinas) in closed hydroponic system without the exchange of nutrient solution during the growing cycle and just water were added to substition the of the consumed solution. The seeds of lettuce cultivars at first were planted in cell try that were filled with coco peat-perlite with 1:1 ratio and after emergence and until reaching to suitable size for transplating seedling were fertigated with hoglnd nutrient solution. Two lettuce seedlings were transplanted via the small plastic small baskets and styrofom plate in pots with seven liters volum until the end of growing period. The characters like leaf and root fresh and dry weight, chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content were assessed.

3. Results and Discussion: The results indicate that the ammonium:nitrate ratio had significant effect on the lettuce leaf and roots fresh and dry weight, chlorophyll index and anthocyanin contents. The cultivars had significantly difference effects on leaf and roots fresh and dry weight, collorophyl index, carotenoid and anthocyanin content. But the interaction between the ammonium:nitrate ratio and lettuce cultivars were not significant on the investigated characters. Between the cultivars Salinas and locally Romaine respectively had the highest and lowest yield. The highest and lowest root fresh and dry weights also were obtained from the 2:8 and 0.5:8 ammonium to nitrate ratios respectively while the 0.5:8 and 1:8 ammonium to nitrate ratio were not the significantly different from each other on the leaf fresh wight. The same rule also was for the leaf dry weight. The Salinas and French red had the highest dry weight and the localy romain significantly leaf lowest dry weight. On the roots fresh and dry weight characters there was significantly difference between the cultivars that was close to the results on leaf fresh and dry weight. So that Salinas withought the significantly difference with the French red had the highest root fresh weight and lowest root fresh weight belongs to locally romain. Result showed that lettuce being a vegetative crop satisfied by increasing the ammonium:nitrate ratio in nutrient solution. This is close to the results that previously has been reported by some authors.

4. Conclusion: The highest fresh and dry weights of lettuce were obtained by the solution with the 2:8 ammoniums:nitrate ratio, which indicate the superiority of the lettuce simultaneously feeding with nitrate and ammonium. In addition to quatitative characteristic like the yield the yield, simoultaneously feeding with ammonium and nitrate affected the qualitative characteristics like the anthocyanin and cartenoeid contents. Also providing the some parts of Nitrogen needs of plant as ammonium can reduce the nitrate accumulation. All of three nutrient solution with different ammonium to nitrate ratio but with the same level of total nitrogene and without any need to aeration also without the change of nutrient solution and only by substitution of consumed water were able to feed the lettuce plants without any visible disorders. This kind of hydroponic due to the drastic decrease of production costs would be suitable method specially for small scale hydroponic vegtable production greenhouse.

Keywords: Anthocyanin, Kratky method, Hydroponic, Carotenoid, Nitrogen.

Citation: Panahandeh, J., Hanafi, S., Oustan, S. & Motallebiazar, A. (2023). The effect of ammonium:nitrate ratios of nutrient solution on yield and some characteristics of lettuce. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 85-96. doi: 10.22034/iuvs.2022.557938.1225.

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۶، دوره ۱۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۹۶-۸۵

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2022.557938.1225

تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی بر عملکرد و برخی صفات کاهو

جابر پناهنده[1*]، سحر حنفی[2]، شاهین اوستان[3] و علیرضا مطلبی‌آذر[1]

۱- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز ، تبریز، ایران.

۳- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

[*]نویسنده مسئول: panahandeh@tabrizu.ac.ir

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۱/۰۴/۲۷ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۰۵/۲۲ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۵/۲۳)

چکیده

کاهو به‌دلیل اهمیت و مصرف بالا از سبزی‌هایی است که برای تأمین دائمی تولید گلخانه‌ای آن بویژه بصورت کشت هیدروپونیک رو به افزایش است. یکی از نکات مهم در موفقیت کشت‌های هیدروپونیک فرمولاسیون مناسب محلول غذایی است. در این آزمایش تأثیر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات (۰,۵:۸، ۱:۸ و ۲:۸) در سطح ثابت نیتروژن در سیستم بسته هیدروپونیک و بدون تعویض محلول غذایی در دوره پرورش بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی سه رقم کاهو در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نسبت آمونیوم به نیترات روی صفات وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، شاخص کلروفیل، میزان کارتنوئید و محتوای آنتوسیانین معنی‌دار بود. تفاوت ارقام نیز از نظر صفات وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و شاخص کلروفیل و محتوای آنتوسیانین معنی‌دار بود؛ اما برهمکنش نسبت آمونیوم به نیترات و رقم در هیچکدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود. در این پژوهش بالاترین وزن تر در نسبت ۲:۸ آمونیوم به نیترات محلول غذایی به‌دست آمد. در بین ارقام نیز رقم "سالیناس" بیشترین عملکرد و رقم محلی "رومین" کمترین وزن تر را دارا بودند. همچنین بیشترین و کمترین وزن تر و خشک ریشه نیز به ترتیب به نسبت ۲:۸ و ۰,۵:۸ آمونیوم به نیترات تعلق داشت.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، روش کراتکی، هیدروپونیک، کارتنوئید، نیتروژن.

استناد: پناهنده‌ینگجه، ج.، حنفی، س.، اوستان، ش. و مطلبی‌آذر، ع. (۱۴۰۱). تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی بر عملکرد و برخی صفات کاهو. *علوم سبزی ها*، ۶ (۲)، ۹۶-۸۵.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

کاهو با نام علمی *Lactuca sativa* L. یکی از مهمترین سبزی‌های برگی در جهان می‌باشد و به دلیل مصرف روزانه و دائمی برای تأمین آن در تمام فصول از سبزی‌های گلخانه‌ای مهم نیز بشمار می‌رود. امروزه تولید گلخانه‌ای کاهو بیشتر بصورت کشت بدون خاک و با استفاده از تغذیه توسط محلول‌های غذایی در سیستم‌های هیدروپونیک صورت می‌گیرد (Kiani, 2019). یکی از نکات مهم و کلیدی در موفقیت کشت‌های هیدروپونیک به‌کارگیری محلول‌های غذایی مناسب برای تولید است. فرمولاسیون‌های مختلف به‌ویژه برای برخی از سبزی‌های رایج در کشت‌های هیدروپونیک در منابع دیده می‌شود. Safaei و همکاران (۲۰۱۴) با ارزیابی چهار محلول برای عملکرد کاهوی رومن نشان دادند که از میان محلول‌های غذایی هوگلند، ناپ، انگلستان و محلول غذایی دانشگاه تبریز، محلول غذایی انگلستان بیشترین وزن‌تر و خشک و نیز سطح برگ را تولید کرد. با توجه به اینکه محلول انگلستان در بین این محلول‌ها بیشترین نیتروژن را دارا بود، این پژوهشگران برتری این محلول غذایی را از نظر افزایش محصول به نیتروژن بالای آن نسبت دادند.

از سوی دیگر مقدار مطلق عناصر در یک محلول غذایی تنها عامل تعیین‌کننده برای عملکرد و کیفیت محصول تولیدی نمی‌تواند باشد. برای مثال نیتروژن به‌عنوان یکی از عناصر ضروری برای همه گیاهان می‌باشد، این عنصر در محلول‌های غذایی می‌تواند به دو فرم آمونیومی (NH^+_4) و یا نیتراتی (NO^-_3) برای تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه به‌کار برده شود. با اینکه هر دو این ترکیبات تأمین کننده نیتروزن برای گیاه خواهند بود اما می‌توانند بسیاری از جنبه‌های رشد و نمو و فیزیولوژی محصول را به‌طور کاملاً متفاوت تحت تأثیر قرار دهند و عموماً عملکرد گیاهان در کاربرد توأم این دو ترکیب بهتر از کاربرد منفرد آنها است (Zhu *et al.*, 2021). البته با توجه به اینکه غلظت بالای آمونیوم برای اغلب گیاهان سمی و حتی می‌تواند کشنده باشد، تأمین تمامی نیاز نیتروژنی محصول با آمونیوم ممکن نیست (Liu & von Wirén, 2017). نسبت متعادل آمونیوم به نیترات برای تغذیه متعادل به عوامل مختلفی از قبیل گونه گیاهی، مرحله رشد و شرایط محیطی (دما، شدت نور و pH) بستگی دارد (Zhao *et al.*, 2016). چندین مطالعه در مورد تأثیر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات در برخی محصولات از جمله کاهو صورت گرفته است. Beigi Harchegani و همکاران (۲۰۲۰) با کاربرد سه نسبت مختلف آمونیوم به نیترات در پرورش دو رقم از کاهوی رومن نشان دادند که عملکرد ارقام در ارتباط با نسبت‌های مختلف یکسان نیست، به‌طوری که بیشترین وزن تر یک رقم در نسبت ۰:۱۰۰ و رقم دیگر در نسبت ۱۵:۸۵ مشاهده شد. Wong & Qirong (۲۰۱۱) تأثیر ۴ نسبت مختلف آمونیوم به نیترات را روی ۵ رقم کاهوی رایج در جنوب چین را بررسی کردند که از این میان دو رقم در نسبت ۲۵:۷۵ بهترین کارکرد را از نظر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی دارا بودند، این مولفین نتیجه گرفتند که با نسبت‌های متناسب از آمونیوم به نیترات می‌توان بهره‌وری کودهای نیتروژنی را بهبود داده و تجمع نیترات در گیاه را نیز کاهش داد.

کشت‌های هیدروپونیک به دلیل مزایایی که دارند در سال‌های اخیر با استقبال روبرو شده و در کشور شاهد توسعه و گسترش این نوع کشت‌ها هستیم در این میان سیستم‌های باز هیدروپونیک به دلیل ساده‌گی و احتمال پایین بروز مشکلات تغذیه‌ای از اقبال بیشتری برخوردار هستند، اما هزینه بیشتری نیز به تولیدکننده تحمیل می‌نمایند و افزون بر آن ممکن است در آینده مخاطرات زیست‌محیطی بیشتری را موجب شوند به‌دلیل اینکه محلول غذایی بعد از یکبار مصرف از محل پرورش محصول (گلخانه) خارج شده و به مزارع و خاک‌های مجاور سرازیر می‌گردد و می‌تواند به افزایش شوری و نیز آلودگی آب‌های زیر زمینی منجر شود. بنابراین بهره گیری از سیستم‌های هیدروپونیکی که امکان تولید محصول با حداقل

مصرف محلول غذایی و یا تعویض کمتر محلول غذایی را دارا باشند از راهکارهای مناسب برای کاهش صدمات زیست محیطی و نیز هزینه تولید خواهند بود (Savvas *et al*. 2013).

آزمایش حاضر با در نظر گرفتن این موارد در جهت ارزیابی نسبت‌های مختلف NH^+_4:NO^-_3 در محلول غذایی با استفاده از سیستم ساده Kratky (۲۰۰۴)، کشت شناور بدون تعویض محلول غذایی و بدون استفاده از سیستم تهویه در طول دوره پرورش کاهو طراحی و انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل دو عامله در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار که فاکتور اول سه نسبت مختلف آمونیوم به نیترات (نسبت ۰/۵ به ۸ ، ۱ به ۸ و۲ به ۸ آمونیوم به نیترات در محلول غذایی) و فاکتور دوم سه رقم متفاوت از کاهو شامل رومن، برگی قرمز و هددار بود و با مجموع ۲۷ گلدان به صورت کشت هیدروپونیک اجرا شد. کشت در گلدان‌های ۷ لیتری انجام گرفت و درون هر گلدان دو نشاء سه هفته‌ای کاهو کشت شد. ابتدا گلدان‌ها بر اساس نقشه کاشت تصادفی شده با محلول‌های غذایی مورد نظر (با نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات) که در جدول ۱ غلظت عناصر غذایی آنها نمایش داده شده، تا ۴ سانتی‌متری دهانه گلدان پر شدند سپس دهانه گلدان‌ها با صفحات یونولیتی که از قبل برش خورده و آماده شده بودند و در هر کدام از آنها دو منفذ برای قرارگیری سبدهای کوچک پلاستیکی به منظور استقرار نشاء تعبیه شده بود، پوشیده شد (شکل ۱).

بذر ارقام کاهوی مذکور ابتدا در سینی‌های کشت که با مخلوطی از پرلایت و کوکوپیت پر شده بودند کشت و در گلخانه قرار داده شدند و تا قبل از سبز شدن بسترهای کشت در مواقع نیاز آبیاری می‌شدند. پس از سبز شدن و تا زمان انتقال به محیط اصلی (کشت شناور در گلدان) با محلول ½ هوگلند تغذیه می‌شدند. نشاءها یک ماه بعد از کشت به محیط کشت اصلی منتقل شدند. گیاهان تا پایان دوره رشد در همین محلول غذایی بودند و محلول تعویض نمی‌شد و برای جایگزینی آب مصرف شده، هر چند روز یکبار آب اضافه می‌شد.

برداشت گیاهان با برش از سطح بالای سبدهای پلاستیکی انجام می‌گرفت. صفات وزن تر و خشک و تعداد برگ، بعد از برداشت گیاهان با توزین و شمارش و سپس خشک کردن نمونه‌ها در آون اندازه‌گیری شد.

شاخص کلروفیل ۴ هفته بعد از انتقال بوته‌ها به محیط اصلی و اعمال تیمارها، با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (SPAD – 502, Konica, Minolta, Osaka, Japan) شاخص SPAD از برگ‌های جوان اما کاملاً توسعه یافته اندازه گرفته شد.

جدول ۱- غلظت عناصر غذایی ($mg\ L^{-1}$) در محلول‌های با نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات

Table 1- The concentration of nutrient elements in nutrient solution (mgL^{-1}) with different NH^+_4:NO^-_3 ratios

	NH^+_4:NO^-_3 ratio		
Element	0.5:8	1:8	2:8
N	114	113	114
K	174.4	173.9	170.4
Mg	20	20	20
Ca	103.8	103.8	89.7
P	26.6	26.6	50.9
S	26.4	26.4	61
Fe	5	5	5
B	0.7	0.7	0.7
Zn	0.3	0.3	0.3
Cu	0.2	0.2	0.2
Mo	0.05	0.05	0.05

میزان کلروفیل a و b

برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، b برگ، ۰/۵ گرم از برگ برداشته و سپس در داخل هاون چینی کاملاً له شده و سپس ۲۵ میلی‌لیتر استون ۷۰٪ به آن اضافه شده و دوباره به همراه استون در هاون چینی له گردید. عصاره به دست آمده با افزودن استون به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و با استفاده از کاغذ صافی، صاف شد. محلول حاصل در داخل لوله آزمایش درپوش‌دار ریخته شده و دهانه آن بسته شد. نمونه‌ها با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و سپس میزان جذب نور عصاره خالص به‌دست آمده با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Shimatzo در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر اندازه‌گیری شد و میزان کلروفیل a و کلروفیل b طبق فرمول‌های ۱ و ۲ محاسبه گردید.

کلروفیل a در هر گرم وزن تر بر حسب میلی‌گرم = {۱۲/۷ (جذب در ۶۶۳ نانومتر)-۲/۶۹ (جذب در ۶۴۵ نانومتر)}× حجم نمونه استخراج شده/ وزن تر نمونه

کلروفیل b در هر گرم وزن تر بر حسب میلی‌گرم = {۲۲/۹ (جذب در ۶۴۵ نانومتر)-۴/۶۹ (جذب در ۶۶۳ نانومتر)}× حجم نمونه استخراج شده / وزن تر نمونه

محتوای کارتنوئید

محتوای کارتنوئید برگ‌ها با استفاده از روش آرنون (۱۹۴۹) محاسبه شد. بدین منظور ۰/۵ گرم از برگ تازه به همراه پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد (وزن به حجم) ساییده شد. پس از ۱۵ دقیقه سانتریفوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای چهار درجه سلسیوس، و رساندن حجم به ۱۰ میلی‌لیتر و جذب عصاره حاصل در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵، ۵۱۰ و ۴۸۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت، و اعداد جهت اندازه‌گیری پارامترها در روابط زیر قرار داده شد. در این روابط، C کارتنوئید، A طول موج، V حجم محلول و W وزن نمونه برگ می‌باشد.

$$\text{Carotenoid} = 7.6\,(A_{480}) - 14.9\,(A_{510}) \times V/P50\%M0W$$

شکل ۱- گلدان‌های محتوی محلول غذایی و نحوه استقرار گیاهان با استفاده از صفحات یونولیتی
Figure 1- Pots with nutrient solution and mode of plants establishment by Styrofoam plates

محتوای آنتوسیانین

برای این منظور ابتدا ۰/۵ گرم از برگ‌های تازه توزین و به قطعات کوچک تبدیل و سپس در هاون کاملاً خرد و له گردید. جهت استخراج آنتوسیانین به هر نمونه حجم معینی از محلول حاوی مخلوط (۹۹ میلی‌لیتر متانول+یک میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۱٪) اضافه نموده

سپس نمونه در داخل فالکون ریخته شده و ۲۴ ساعت در یخچال در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. نهایتاً میزان آنتوسیانین پس از رقیق‌سازی مناسب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج‌های ۵۳۰ و ۶۷۵ نانومتر قرائت گردید.

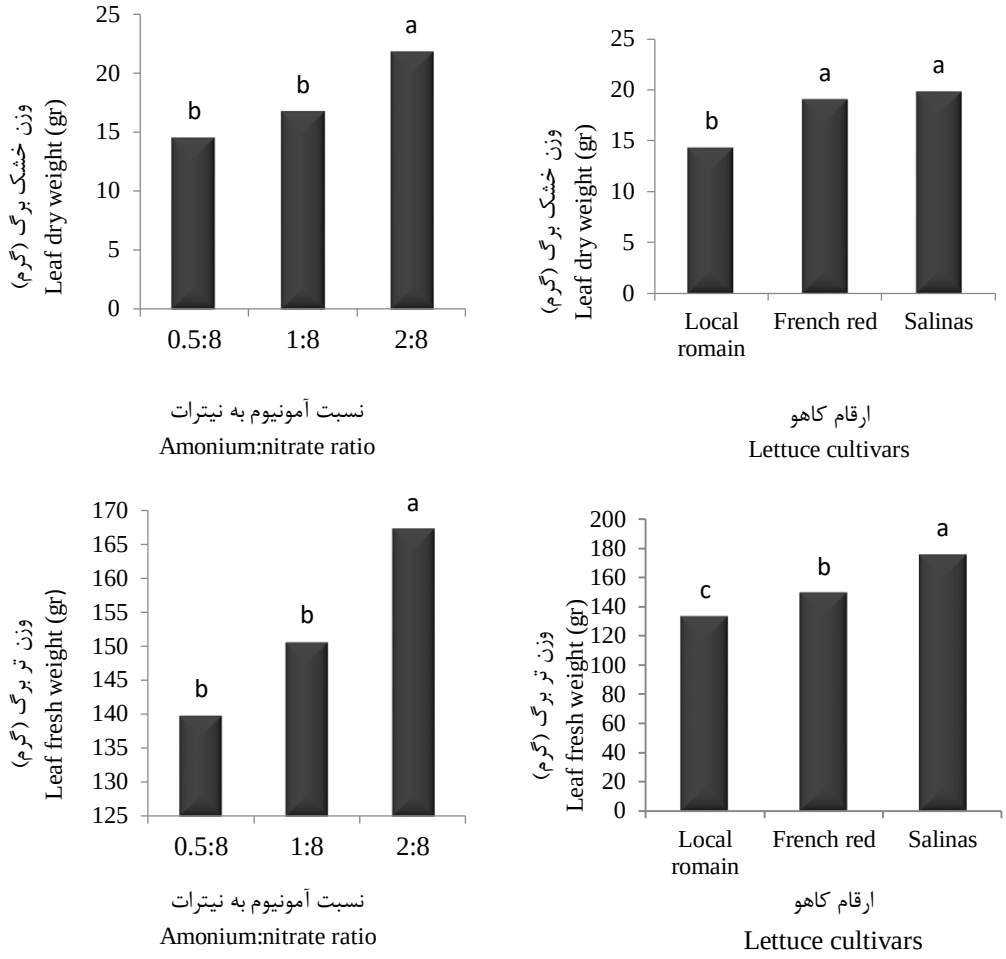
قبل از تجزیه آماری، تست نرمال بودن داده‌ها انجام و سپس تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. ترسیم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس صفات نسبت آمونیوم به نیترات در صفات وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، شاخص محتوای کلروفیل، کلروفیل b، میزان کارتنوئید و محتوای آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد و در صفات محتوای کلروفیل a و وزن تر ریشه در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری داشت. رقم نیز در صفات وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، شاخص کلروفیل، محتوای کلروفیل b، میزان کارتنوئید و محتوای آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد و در صفت محتوای کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری داشت. برهمکنش نسبت آمونیوم به نیترات و رقم در مورد هیچ‌یک از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود.

وزن تر و خشک بخش هوایی

وزن تر بخش هوایی کاهو به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرهای اصلی (رقم و نسبت‌های آمونیوم به نیترات محلول غذایی) قرار داشت (جدول ۱). در این مطالعه نسبت‌های آمونیوم به نیترات اثر متفاوتی بر وزن تر اندام هوایی داشتند، به‌طوری‌که بین نسبت ۰/۵ به ۸ آمونیوم به نیترات و نسبت ۱ به ۸ آمونیوم به نیترات از نظر وزن تر اندام هوایی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، درحالی‌که نسبت ۲ به ۸ آمونیوم به نیترات باعث بالاترین وزن تر اندام هوایی (۱۶۷/۳ گرم) شد که در مقایسه با نسبت ۰/۵ به ۸ آمونیوم به نیترات ۱۹/۷ درصد بیشتر بود (شکل ۲). نتایج نشان می‌دهد که افزایش نسبت آمونیوم به نیترات تا نسبت ۲ به ۸ بر وزن تر اندام هوایی افزوده است. آمونیوم و نیترات فرم‌های معدنی قابل جذب نیتروژن برای گیاهان هستند. عکس‌العمل گیاهان به نسبت‌های نیترات به آمونیوم تحت تأثیر گونه و شرایط محیطی از جمله دما و pH می‌تواند متفاوت باشد. Jeong و Lee (۱۹۹۷) در فلفل بالاترین وزن خشک را در نسبت ۲۵:۷۵ آمونیوم به نیترات گزارش کردند. Errebhi و Wilcox (۲۰۰۸) نشان دادند که در نسبت مساوی (۷۷:۷۷) آمونیوم به نیترات بیشترین کاهش در عملکرد در گیاه کلم، ملون و ذرت ظاهر شد درحالی‌که لوبیا بیشترین تحمل را نسبت به سطح برابر آمونیوم به نیترات را نشان داد. (Verulkar *et al.*, 2018). در منابع غالباً نسبت ۱:۸ آمونیوم به نیترات برای تغذیه متعادل و همچنین ثبات pH توصیه می‌شود، درحالی‌که بررسی حاضر نشان داد که افزایش دو برابری این نسبت بر وزن‌تر اندام هوایی کاهو افزوده است. بیگی هرچگانی و همکاران (۱۳۹۹) به‌منظور بررسی تأثیر شکل نیتروژن بر ترکیب شیمیایی و عملکرد ارقام کاهوی رومین به صورت کشت بدون خاک آزمایشی انجام دادند که بهترین تیمار از نظر وزن تر اندام هوایی را نسبت ۱۵ به ۱۰۰ آمونیوم به نیترات دانستند.

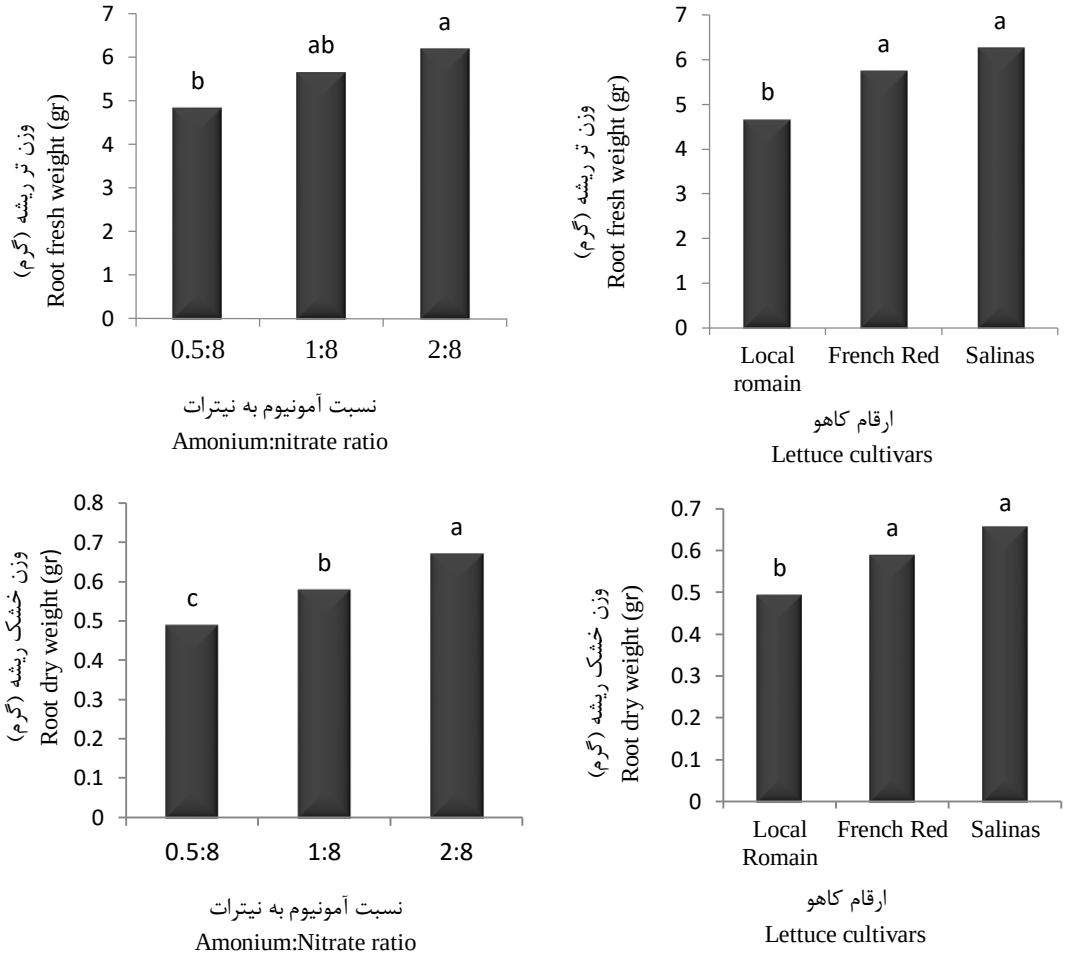


شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات و ارقام کاهو بر وزن تر و خشک برگ‌ها در کاهو
حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

Figure 2- Mean comparison of the effect of different ammonium:nitrate ratios and lettuce cultivars on the leaf fresh and dry weight of lettuce.
Different letters show the significant difference at P> 0.05.

ارقام کاهو تفاوت معنی‌داری را از نظر عملکرد دارا بودند و از میان ارقام کاهوی مورد بررسی در این آزمایش رقم سالیناس بیشترین عملکرد (وزن تر) و رقم محلی رومین کمترین وزن تر را دارا بود. به‌لحاظ وزن خشک نیز همان‌گونه که انتظار می‌رفت نتایج مشابه نتایج وزن تر به‌دست آمد و نسبت ۲:۸ آمونیوم بیشترین وزن خشک را موجب شد. اختلاف بین نسبت ۰/۵:۸ و ۱:۸ معنی‌دار نبود. ارقام سالیناس و برگی قرمز عملکرد ماده خشک مشابه و بیشتری از رقم محلی رومین را نشان دادند (شکل ۲).

از نظر صفت وزن تر و خشک ریشه نیز تفاوت معنی‌داری بین ارقام مشاهده شد که خیلی مشابه نتایج وزن تر و خشک بخش هوایی بود به‌طوری‌که رقم سالیناس بیشترین وزن تر ریشه را بدون اختلاف معنی‌دار با رقم برگی قرمز دارا بود و کمترین مقدار به رقم محلی رومین تعلق داشت. از نظر وزن خشک ریشه نیز در بین ارقام همین روند مشاهده شد (شکل ۳).

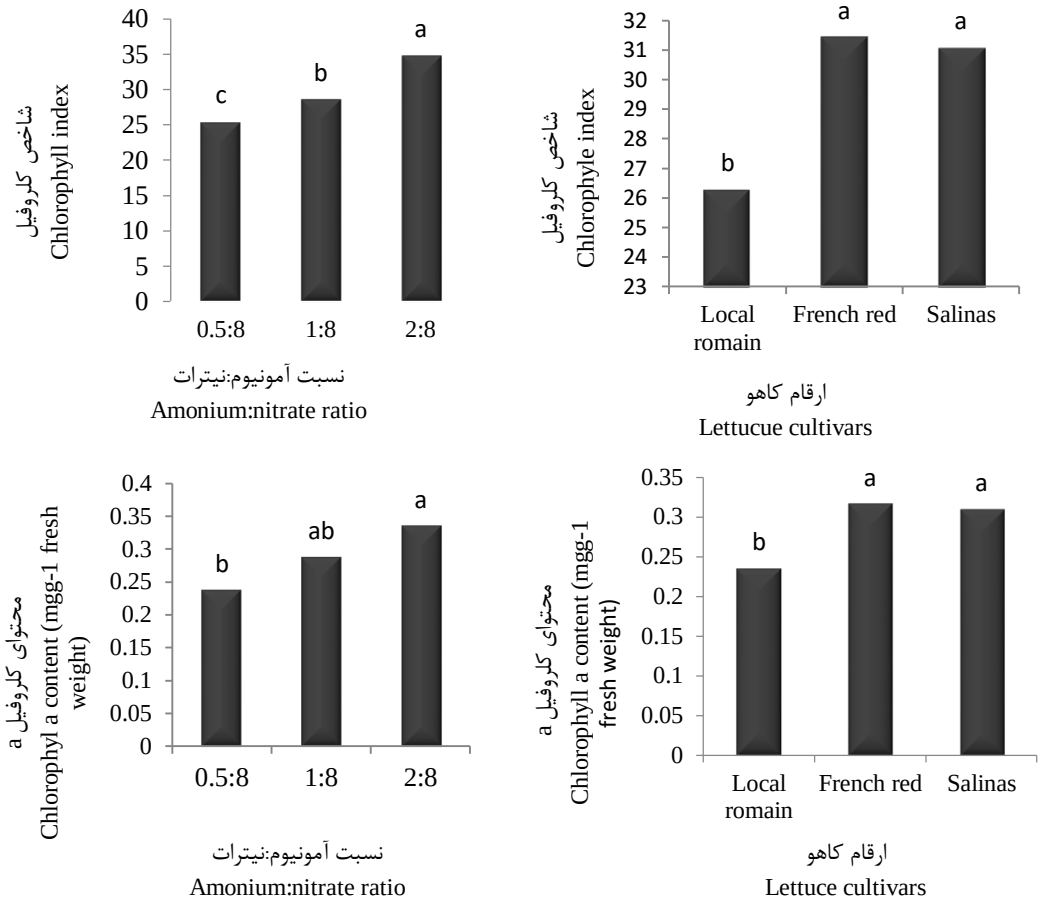


شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات و ارقام کاهو بر وزن تر و خشک ریشه در کاهو
حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

Figure 3- Mean comparison of the effect of different ammonium:nitrate ratios and lettuce cultivars on the roots fresh and dry weight of lettuce
Different letters show the significant difference at P> 0.05.

نسبت‌های آمونیوم به نیترات محلول غذایی از نظر وزن تر و خشک ریشه تفاوت معنی‌داری را موجب شده بودند، به‌طوری‌که بیشترین وزن تر ریشه مربوط به نسبت ۲:۸ و کمترین مقدار نیز به نسبت ۰/۵:۸ تعلق داشت. از نظر وزن خشک ریشه نیز تقریباً نتیجه به همین شکل بود، با این تفاوت که از نظر وزن تر تفاوت معنی‌داری بین نسبت ۰/۵:۸ با نسبت ۱:۸ دیده نمی‌شد ولی در وزن خشک تفاوت بین تمامی نسبت‌ها معنی‌دار بود. این امر می‌تواند به‌دلیل آبدارتر بودن ریشه‌ها در تیمار ۰/۵:۸ نسبت به تیمار ۱:۸ باشد (شکل ۳).

به‌لحاظ شاخص کلروفیل نیز نسبت ۲:۸ بالاترین و نسبت ۰/۵:۸ پایین‌ترین شاخص را دارا بودند و نسبت ۱:۸ نیز حد واسط این دو تیمار و با اختلاف معنی‌دار قرار داشت. از میان ارقام نیز رقم برگی قرمز بدون اختلاف معنی‌دار با رقم سالیناس بالاترین شاخص کلروفیل را دارا بود. در صفت محتوای کلروفیل a نیز نسبت ۲:۸ آمونیوم به نیترات نسبت به تیمار ۰/۵:۸ با اختلاف معنی‌داری بالاتر بود و نسبت ۱:۸ بدون اختلاف معنی‌دار با دو تیمار دیگر در حد وسط قرار داشت. مقایسه میانگین ارقام نیز از نظر این صفات نشان داد که ارقام سالیناس و برگی قرمز در یک گروه و با اختلاف معنی‌دار نسبت به رقم محلی رومین بالاترین شاخص کلروفیل و همین‌طور کلروفیل a را دارا هستند (شکل ۴).

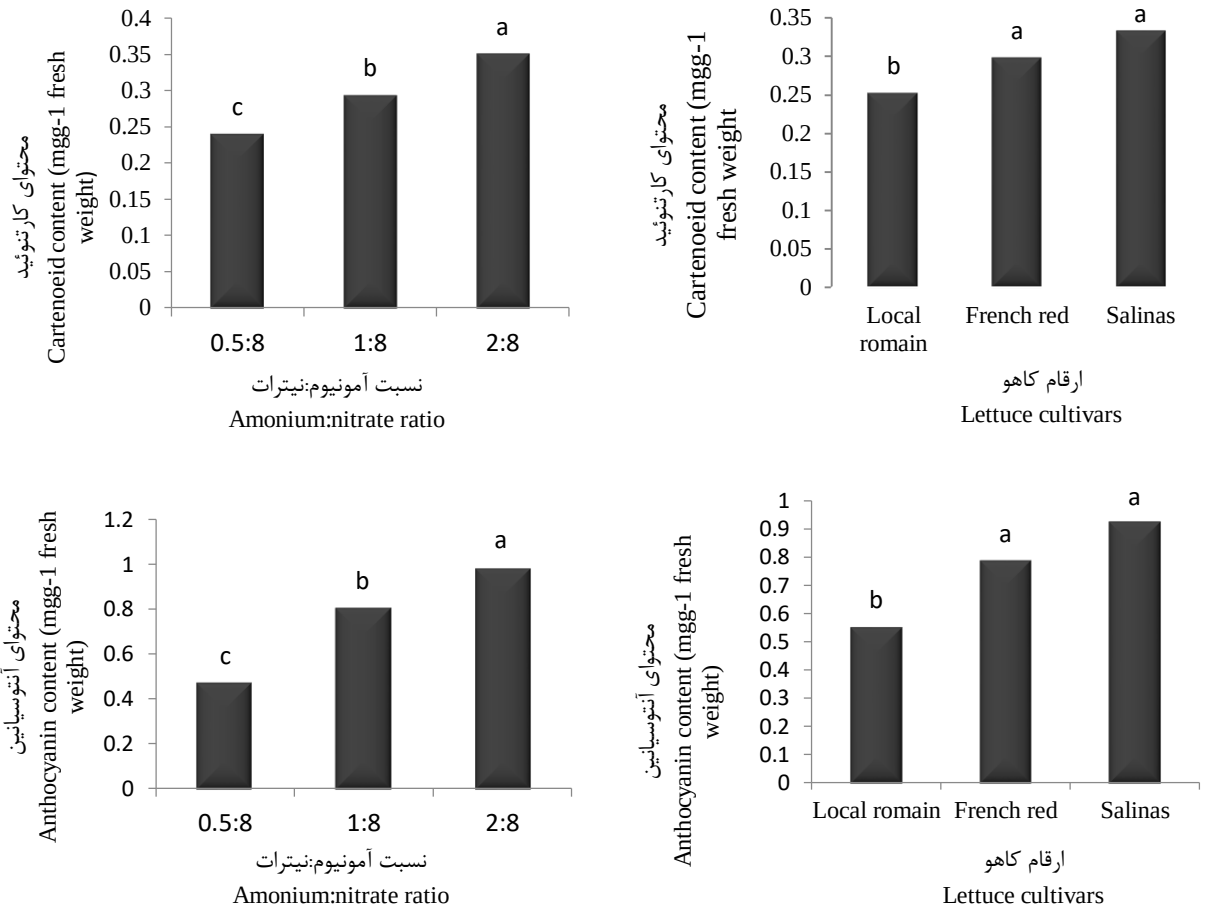


شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات و ارقام کاهو بر شاخص و محتوای کلروفیل در کاهو
حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

Figure 4- Mean comparison of the effect of different ammonium:nitrate ratios and lettuce cultivars on chlorophyll index and chlorophyll a content of lettuce
Different letters show the significant difference at P> 0.05.

محتوای کارتنوئید تیمار نسبت ۲:۸ در مقایسه با تیمارهای ۰/۵:۸ و ۱:۸ به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. اختلاف نسبت ۱:۸ نیز به‌طور معنی‌داری بیشتر از ۰/۵:۸ بود (شکل ۵).

به لحاظ محتوای آنتوسیانین نیز حداکثر مقدار متعلق به بالاترین نسبت (۲:۸) آمونیوم به نیترات بود که بطور معنی‌داری بالاتر از نسبت‌های ۱:۸ و ۰/۵:۸ بود. ارقام سالیناس و برگی قرمز نیز با اختلاف معنی‌داری نسبت به رقم رومین بیشترین محتوای آنتوسیانین را دارا بودند (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات و ارقام کاهو بر محتوای کارتنوئید و آنتوسیانین
حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

Figure 5-Mean comparison of the effect of different ammonium:nitrate ratios and lettuce cultivars on carotenoid and anthocyanin content
Different letters show the significant difference at P> 0.05.

نتیجه‌گیری کلی

سه محلول غذایی با سطح نیتروژن یکسان ولی با نسبت‌های متفاوت آمونیوم به نیترات، بدون انجام تهویه و تعویض محلول غذایی و تنها با افزودن آب برای جایگزینی آبی که گیاه مصرف می‌نمود توانستند بخوبی گیاهان کاهو را تغذیه و به محصول برسانند. این شیوه از هیدروپونیک به دلیل کاهش قابل‌توجه خطرات زیست محیطی و هزینه محلول غذایی بویژه برای تولیدکنندگانی که در سطوح کوچک به کشت و پرورش هیدروپونیکی سبزی‌ها می‌پردازند قابل توجه می‌باشد. بیشترین وزن تر و خشک محصول مربوط به محلول غذایی با نسبت ۲:۸ آمونیوم به نیترات بود که نشان از برتری تغذیه توام آمونیوم و نیترات می‌تواند باشد. علاوه بر جنبه کمی (عملکرد) تغذیه توأم آمونیوم و نیترات، خصوصیات کیفی محصول کاهو را تحت تأثیر قرار داد به‌طوری‌که بیشترین محتوای آنتوسیانین و کارتنوئید برگ‌ها در هر سه رقم کاهوی مورد کشت در بالاترین نسبت آمونیوم به نیترات (۲:۸) حاصل گشت. افزون بر این تأمین بخشی از نیاز نیتروژنی گیاهان بویژه در سبزی‌های برگی نظیر کاهو می‌تواند در کاهش تجمع نیترات نیز مؤثر باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از آقایان مهندس فرج جهانگیری و مهندس علی لطف‌الهی بابت مساعدت‌هایشان در انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.

References

- Beigi Harchegani, A., Sh. Kiani, Sh. & A.R. Hosseinpur, A. R. (2020). The Effect of nitrogen form on chemical composition and yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars in soilless culture. *Journal of Horticultural Science*, 34,119-130.
- Errebhi, M. & Wilcox, G. E. (2008). Plant species response to ammonium-nitrate concentration ratios. *Journal of Plant nutrition*. 13,1017-1029.
- Jeong, B. & Lee, E. (1997). Growth of plug seedlings of *Capsicum annuum* as affected by ion concentration and NH4:NO3 ratio of nutrient solution. *In International Symposium on Growing Media and Hydroponics, 481*, 425-432.
- Kiani, S. (2020). Effect of different nutrient solutions on the yield, chemical composition and nitrate accumulation of lettuce in soilless culture system. *J. Sci. & Technol. Greenhouse Culture*,. 10:77-87.
- Kratky, B.A. (2004). A suspended pot, non-circulating hydroponic method. Proceedings of the ISHS South Pacific Soilless Culture Conference. *Acta Horticulturae*, 648, 83-89.
- Liu, Y., & von Wirén, N. (2017). Ammonium as a signal for physiological and morphological responses in plants. *Journal of Experimental Botany*, 68, 2581–2592.
- Safaei, M., Panahandeh, J., S. J. Tabatabaei, S.J. & A. Motallebiazar, A. (2014). Effect of nutrient solution on growth and some physiological characters of hydroponically grown lettuce. *J. Sci. & Technol. Greenhouse Culture*, 5,145-*152.*
- Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y. & Gruda, N. (2013). Soilless culture. In FAO. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. Pp. 303-355.
- Verulkar, S.B., R. Upadhyay, M. Wallalwar, S. Verma, T. Agrawal, H. Thomas, J. K. Arti Guhe & R. Saxena. (2018). Identification of QTLs for nitrate and ammonium use efficiency under direct seeded condition and differential expression of genes involved in their absorption and metabolic pathway. *Oryza*, 55, 56-67.
- Wong, B. & Qirong, S. (2011). NH4-N/NO3 -N ratios on growth and NO3-N remobilization in root vacuoles and cytoplasm of lettuce genotypes. *Can. J. Plant Sci*, 91, 411-417.
- Zhao, X., Bi, G., & Harkess, L. R. (2016). Effects of different NH4:NO3 ratios on growth and nutrition uptake in *Iris germanica* ‘Immortality’. *Hortscience*, 51,1045–1049.
- Zhu, Y., Qi1, B., Hao Y., Liu, H., Guangwen Sun, G., Riyuan Chen, R. &

Song, S. (2021). Appropriate NH4/NO3- ratio triggers plant growth and nutrient uptake of flowering chinese cabbage by optimizing the pH value of nutrient solution. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1-16.