



## Effects of Different Ratios of Urea to Nitrate on The Nutrients Concentration and Yield of Red French Lettuce in Soilless Culture

Sahar Naseri<sup>id</sup>, Shahram Kiani<sup>\*id</sup> and Hamid Reza Motaghian<sup>id</sup>

Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

\* Corresponding author, Email: [kiani.shahram@sku.ac.ir](mailto:kiani.shahram@sku.ac.ir)

(Received: 7 June 2025; Revised: 6 August 2025; Accepted: 12 August 2025)

### Abstract

**Background and Objective:** The form of nitrogen in the nutrient solution affects the nutrients concentration and yield of the plant by influencing the uptake of cations and anions. This research was conducted to investigate the effect of different urea to nitrate ratios in the nutrient solution on the shoot and root nutrients concentration and yield of red French lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. *Lolla Rossa*).

**Methods:** A soilless culture experiment using completely randomized design was carried out with seven urea to nitrate ratios in the nutrient solution and four replications in the research greenhouse of Shahrekord University. The urea to nitrate ratios in the nutrient solution were 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, and 60:40. After harvest, dry weights of shoot and root and their nutrients concentration were measured.

**Results:** The results indicated that shoot nitrogen concentration (except for plants fed with a urea to nitrate ratio of 50:50) was not significantly affected by increasing the urea to nitrate ratio in the nutrient solution. Increasing urea to nitrate ratio in the nutrient solution led to a significant increase in the concentrations of Fe and Zn in the shoot and the concentrations of P and Ca in the roots of lettuce. But, the concentrations of P, K and Na in the lettuce shoot decreased. The results showed that the root and shoot dry weights were not affected by urea to nitrate ratio in the nutrient solution.

**Conclusion:** Considering the lower price of urea compared to nitrate-containing fertilizers and the useful effect of combined application of urea and nitrate in the nutrient solution for optimal lettuce growth without yield reduction, the application of a 50:50 ratio of urea to nitrate in the nutrient solution is recommended for red French lettuce production in soilless culture under the conditions of this research.

**Keywords:** Hydroponic, Leafy vegetables, Nitrogen form, Nutrients.

**How to Cite:** Naseri, S., Kiani, S., Motaghian, H.R., 2025. Effects of different ratios of urea to nitrate on the nutrients concentration and yield of red French lettuce in soilless culture. J. Soil Plant Interact. 16(2), 79–91 (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jspi.16.2.023612>



Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.



## تأثیر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات بر غلظت عناصر غذایی و عملکرد کاهوی فرانسوی قرمز در کشت بدون خاک

سحر ناصری، شهرام کیانی\* و حمیدرضا متقیان

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران  
\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [kiani.shahram@sku.ac.ir](mailto:kiani.shahram@sku.ac.ir)

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۱۷؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۵/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۲۱)

### چکیده

**پیشینه پژوهش و هدف:** شکل نیتروژن در محلول غذایی با تأثیر بر جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها، بر غلظت عناصر غذایی و عملکرد گیاه اثر دارد. این پژوهش به منظور بررسی اثر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی شاخساره و ریشه و عملکرد کاهوی فرانسوی قرمز رقم لولا رزا (*Lactuca sativa* L. cv. *Lolla Rossa*) انجام شد.

**روش‌ها:** این آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با هفت نسبت اوره به نیترات در محلول غذایی به صورت کشت بدون خاک در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد در چهار تکرار انجام شد. نسبت‌های اوره به نیترات در محلول غذایی شامل صفر به ۱۰۰، ۱۰ به ۹۰، ۲۰ به ۸۰، ۳۰ به ۷۰، ۴۰ به ۶۰، ۵۰ به ۵۰ و ۶۰ به ۴۰ بودند. پس از برداشت، وزن خشک شاخساره و ریشه و غلظت عناصر غذایی آن‌ها اندازه‌گیری شد.

**نتایج:** نتایج نشان داد غلظت نیتروژن شاخساره (به استثنای گیاهان تغذیه‌شده با نسبت اوره به نیترات ۵۰ به ۵۰) تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی قرار نگرفت. افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت‌های آهن و روی در شاخساره، و غلظت‌های فسفر و کلسیم در ریشه کاهو شد. اما غلظت‌های فسفر، پتاسیم و سدیم در شاخساره کاهو کاهش یافت. نتایج نشان داد وزن خشک شاخساره و ریشه کاهو تحت تأثیر نسبت اوره به نیترات در محلول غذایی قرار نگرفت.

**نتیجه‌گیری کلی:** با توجه به قیمت کمتر اوره در مقایسه با کودهای دارای نیترات و اثر مفید کاربرد ترکیبی اوره و نیترات در محلول غذایی برای رشد مطلوب کاهو بدون کاهش عملکرد، کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی برای تولید کاهوی فرانسوی قرمز در کشت بدون خاک در شرایط این پژوهش پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** سبزی‌های برگ‌ی، شکل نیتروژن، عناصر غذایی، هیدروپونیک.



## مقدمه

گیاهان نیتروژن مورد نیاز خود را به شکل‌های معدنی (نیترات و آمونیوم) و آلی (اسیدهای آمینه و اوره) جذب می‌کنند. شکل نیتروژن با تأثیر بر جذب کاتیون‌ها و آنیون‌های مورد نیاز گیاه بر غلظت آن‌ها در بافت‌های مختلف گیاه تأثیر دارد. با کاربرد نیترات جذب کاتیون‌ها بر آنیون‌ها برتری یافته و بنابراین  $\text{OH}^-$  و یا  $\text{HCO}_3^-$  از ریشه آزاد می‌شود (Marschner, 1995) و سبب افزایش pH محیط اطراف ریشه در سامانه‌های کشت بدون خاک می‌گردد. هنگامی که گیاهان با نیترات تغذیه می‌شوند، تولید اسیدهای آلی در گیاه افزایش یافته و ترکیب آنیون‌های آلی حاصل از این اسیدها با کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم منجر به افزایش غلظت آنها در درون گیاه می‌شود. با مصرف آمونیوم، جذب آنیون‌ها نسبت به کاتیون‌ها افزایش یافته و با آزاد سازی پروتون از ریشه برای موازنه بار آزاد سبب کاهش pH محیط اطراف ریشه در سامانه‌های کشت بدون خاک می‌گردد. از طرف دیگر جذب آمونیوم به وسیله ریشه‌ها غلظت کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم را در بافت‌های گیاهان کاهش داده، و سبب افزایش میزان آنیون‌های فسفات، سولفات و کلرید می‌شود (Marschner, 1995).

اوره به عنوان یک مولکول خنثی (دارای ماهیت غیریونی) جذب گیاه می‌شود و بنابراین گیاهان نیازی به تعادل مجدد یونی برای حفظ تعادل بارهای الکتریکی ندارند (Merigout et al., 2008a). اوره نمی‌تواند در جذب برخی از یون‌های غذایی عدم تعادل ایجاد کند و باعث پایداری pH محلول غذایی می‌گردد (Ikeda and Tan, 1998). به عنوان مثال جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره، تأثیری بر غلظت نیتروژن شاخساره اسفناج (Khan et al., 1999) و برگ گوجه فرنگی (Ikeda and Tan, 1998) نداشته است. کاربرد نیتروژن به صورت نیترات و یا اوره تأثیری بر غلظت نیتروژن کل غده در سه رقم سیب زمینی در کشت هیدروپونیک نداشت (Silva et al., 2013). Ikeda and Tan (1998) گزارش نمودند که تفاوت معنی‌داری بین غلظت فسفر و پتاسیم برگ در گیاهانی که مقدار یکسان نیتروژن از منبع

نیترات به تنهایی و یا نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی دریافت کرده بودند، دیده نشد. با این حال برخی از پژوهش‌های انجام‌شده نشان داده‌اند که با کاربرد اوره در محلول غذایی در کشت‌های بدون خاک غلظت عناصر غذایی در بافت‌های گیاه به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفته است (Khan et al., 1999; Luo et al., 1993; Silva et al., 2013). al. (1993) کاهش معنی‌دار غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره کاهو را در نتیجه جایگزینی نیترات با اوره گزارش کردند. (Khan et al., 1999) کاهش معنی‌دار غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره اسفناج را در گیاهان تغذیه‌شده با محلول غذایی دارای ۲۰ درصد کل نیتروژن به صورت اوره گزارش کردند. همچنین Hosseini Farahi et al. (2014) کاهش معنی‌دار غلظت فسفر و پتاسیم برگ گل رز را با افزایش غلظت اوره در محلول غذایی گزارش کردند. کودآبیاری با اوره منجر به کاهش معنی‌دار جذب کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم و به دنبال آن بروز کمبود این عناصر در سویا شد (Paradiso et al., 2015). در پژوهش Khan et al. (2000) اثر بازدارنده اوره بر جذب پتاسیم و منیزیم در اسفناج مشاهده شد. پژوهش‌های انجام‌شده در مورد هیدرولیز اوره به آمونیوم در محلول غذایی حاکی از آن است که به دلیل نبود ریزجانداران تولیدکننده آنزیم اوره‌آز در محلول غذایی امکان بروز هیدرولیز اوره بسیار کم است. در همین زمینه (Khan et al., 2000) در کشت هیدروپونیک اسفناج گزارش نمودند اوره در محلول غذایی هیدرولیز نشده و هیچ گونه آمونیومی حاصل از هیدرولیز اوره تولید نشده است.

در کشت بدون خاک سبزیجات بیشتر از نیترات به عنوان منبع نیتروژن در محلول غذایی استفاده می‌شود. تغذیه نیتراتی می‌تواند pH محلول غذایی را افزایش دهد که منجر به صرف وقت و هزینه برای تنظیم آن می‌شود. سبزی‌ها می‌توانند مقدار زیادی نیترات را در خود تجمع دهند (Santamaria, 2006) که برای سلامت انسان مضر است. پژوهش‌های متعددی درباره جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره انجام شده (Ikeda and Tan, 1998; Khan et al., 2000; Luo et al., 1993; )

نیترا ت محلول غذایی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و در چهار تکرار در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد روی کاهوی فرانسوی قرمز رقم لولا رزا (*Lactuca sativa* L. cv. *Lolla*) (Rossa) به صورت کشت بدون خاک انجام شد. نسبت‌های اوره به نیترا ت محلول غذایی عبارت بودند از: صفر به ۱۰۰، ۱۰، ۹۰، ۲۰ به ۸۰، ۳۰ به ۷۰، ۴۰ به ۶۰، ۵۰ به ۵۰ و ۶۰ به ۴۰. برای اجرای آزمایش، بذور کاهو در سینی کشت نشا دارای کوکوپیت و پرلیت (با نسبت ۲ به ۱ حجمی/حجمی) کاشته شده و با آب مقطر آبیاری شدند. در مرحله ظهور دو برگ اولیه، کودآبیاری با محلول غذایی یک چهارم قدرت دمینگوس و همکاران (Domingues et al., 2012) آغاز شد. سپس با افزایش رشد نشاهای کاهو از محلول‌های غذایی یک دوم و سه چهارم قدرت استفاده شد. چهار هفته پس از کشت بذور کاهو (مرحله پنج تا شش برگی)، نشاهای کاهو به گلدان‌های پلاستیکی ۱/۷ لیتری دارای کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۲ به ۱ حجمی/حجمی (Banitalebi et al., 2021) انتقال داده شدند. گلدان‌ها در گلخانه با دمای  $23 \pm 3$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $60 \pm 10$  درصد بر روی سکو چیده شدند.

برای تهیه محلول غذایی، از آب شرب دانشگاه شهرکرد که ویژگی‌های آن در جدول ۱ ارائه شده است، استفاده شد. بر مبنای شاخص‌های آب مناسب برای تهیه محلول غذایی شامل رسانایی الکتریکی کمتر از ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر و غلظت سدیم و کلرید کمتر از ۱/۵ میلی‌مول بر لیتر (Van-der-Lugt et al., 2020)، این آب برای تهیه محلول غذایی مناسب بود. در فرمولاسیون مورد استفاده برای ساخت محلول غذایی (Domingues et al., 2012)، غلظت نیتروژن-نیترا ت، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد به ترتیب برابر با ۱۰/۵، ۰/۷، ۶/۲، ۳/۵، ۱/۴ و ۱/۴ میلی‌مولار و غلظت آهن، منگنز، روی، مس، مولیبدن و بور به ترتیب برابر ۶۲/۵، ۶/۳۶، ۰/۵۴، ۰/۲۲، ۰/۰۷ و ۳۲/۴ میکرومولار بود. بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته این محلول غذایی برای پرورش کاهو در شرایط گلخانه‌ای شهرکرد مناسب است (Kiani, 2020). همچنین در تمام محلول‌های

مانند نیترا ت در تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه و دستیابی به عملکرد بهینه موثر است. (Luo et al., 1993) گزارش نمودند که در دو گونه *Brassica chinensis* و *Ipomoea aquatica* عملکرد گیاهان تغذیه شده با نیترا ت به تنهایی و نیترا ت و اوره (با نسبت یک به یک) تفاوت معنی‌داری با هم نداشت. Ikeda and Tan (1998) مشاهده نمودند که وزن خشک گیاهانی که مقدار یکسانی نیتروژن با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترا ت دریافت کرده بودند به طور معنی‌داری بیشتر از گیاهانی بود که اوره به تنهایی دریافت کرده بودند و تقریباً برابر گیاهانی بود که نیترا ت به تنهایی و یا مخلوطی از نیترا ت و آمونیوم دریافت کرده بودند. همچنین بین وزن خشک برگ، ساقه، ریشه و کل گیاهانی که مقدار برابر نیتروژن از منبع نیترا ت به تنهایی و یا نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترا ت در محلول غذایی دریافت کرده بودند تفاوت معنی‌داری دیده نشد. آن‌ها عنوان کردند کاربرد ترکیبی اوره و نیترا ت برای رشد کافی گوجه فرنگی بدون کاهش در جذب کاتیون‌ها مفید است. (Khan et al., 2000) نشان دادند با کاربرد نیکل و مصرف ۲۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به صورت اوره بیشترین وزن تازه و خشک ساقه در اسفناج حاصل شد. Silva et al. (2013) مشاهده نمودند کاربرد نیتروژن به صورت نیترا ت و یا اوره تأثیری بر درصد ماده خشک غده در سه رقم سیب زمینی در کشت هیدروپونیک نداشت. اما جایگزینی ۲۰ درصد از نیترا ت محلول غذایی با اوره و اسید آمینه گلیسین سبب کاهش قابل توجه زیست توده کلم پیچ چینی شد (Zhu et al., 2018). با توجه به قیمت کمتر اوره در مقایسه با کودهای دارای نیترا ت و لزوم بررسی تأثیر کاربرد این کود در تأمین نیتروژن مورد نیاز کاهو در کشت بدون خاک، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر نسبت‌های مختلف اوره به نیترا ت در محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی و عملکرد کاهوی فرانسوی قرمز بود.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش با هفت تیمار شامل نسبت‌های مختلف اوره به

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده برای تهیه محلول غذایی

Table 1. Some chemical properties of the water used for preparation of nutrient solution

| کلید                    | بی‌کربنات                     | نیتروژن نیتراته                | منیزیم           | کلسیم            | پتاسیم         | سدیم            | پ‌هاش | رسانایی الکتریکی      |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------|-----------------------|
| Cl <sup>-</sup>         | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | pH    | EC                    |
| (mmol L <sup>-1</sup> ) |                               |                                |                  |                  |                |                 |       | (dS m <sup>-1</sup> ) |
| 1.0                     | 1.5                           | 0.31                           | 0.5              | 1.0              | 0.013          | 0.043           | 7.6   | 0.25                  |

جدول ۲. غلظت عناصر غذایی در نسبت‌های مختلف اوره به نیترات در محلول غذایی

Table 2. Nutrient concentrations in the different ratios of urea to nitrate in the nutrient solution

| نسبت اوره به نیترات     | نیتروژن اوره | نیتروژن نیتراتی                 | فسفر | پتاسیم | کلسیم | منیزیم | گوگرد |
|-------------------------|--------------|---------------------------------|------|--------|-------|--------|-------|
| Urea to nitrate ratio   | N- Urea      | N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | P    | K      | Ca    | Mg     | S     |
| ( میلی مول در لیتر )    |              |                                 |      |        |       |        |       |
| (mmol L <sup>-1</sup> ) |              |                                 |      |        |       |        |       |
| 0:100                   | 0            | 10.5                            | 0.7  | 6.2    | 3.5   | 1.4    | 1.4   |
| 10:90                   | 1.05         | 9.45                            | 0.7  | 6.2    | 3.5   | 1.4    | 1.9   |
| 20:80                   | 2.1          | 8.4                             | 0.7  | 6.2    | 3.5   | 1.4    | 2.5   |
| 30:70                   | 3.15         | 7.35                            | 0.7  | 6.2    | 3.5   | 1.4    | 3.0   |
| 40:60                   | 4.2          | 6.3                             | 0.7  | 6.2    | 3.5   | 1.4    | 3.5   |
| 50:50                   | 5.25         | 5.25                            | 0.7  | 6.2    | 3.5   | 1.4    | 4.0   |
| 60:40                   | 6.3          | 4.2                             | 0.7  | 6.2    | 3.5   | 1.4    | 4.6   |

بود. پس از انتقال نشاهای کاهو به گلدان‌ها از محلول غذایی کامل گرفت (Domingues et al., 2012) استفاده شد. محلول غذایی به صورت دستی و روزانه به گیاهان داده شد. در این آزمایش از سامانه کشت بدون خاک باز استفاده شد که کسر آبی‌شویی بسته به مرحله رشدی گیاه حدود ۵ تا ۱۰ درصد در نظر گرفته شد. در حین دوره داشت مراقبت‌های زراعی معمول در گلخانه انجام شد. پس از گذشت چهار هفته از انتقال نشاهای کاهو به گلدان‌ها، گیاهان برداشت شده و وزن تازه شاخساره و ریشه توسط ترازوی رقومی اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون فن‌دار در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شده و سپس وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. به دنبال آن نمونه‌ها با استفاده از آسیاب برقی خرد شده و غلظت عناصر غذایی آنها اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها با استفاده از مخلوط اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه هضم شده و غلظت نیتروژن آن‌ها با روش کج‌لدال تعیین گردید. غلظت عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم،

غذایی، نیکل با غلظت ۰/۰۴ میکرومولار مورد استفاده قرار گرفت (Khoshgoftarmanesh et al., 2011). در محلول‌های غذایی تهیه‌شده رسانایی الکتریکی بین ۱/۲ تا ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر و pH حدود ۵/۴ تنظیم شد. در جدول ۲ غلظت عناصر غذایی پرمصرف در محلول‌های غذایی مورد استفاده در نسبت‌های مختلف اوره به نیترات ارائه شده است. لازم به ذکر است که در تمامی محلول‌های غذایی تهیه‌شده به غیر از سطوح متفاوت تیمارهای آزمایشی (نسبت اوره به نیترات)، غلظت بقیه عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف به استثنای سولفات ثابت بود. دلیل این مسئله آن است که پس از جایگزینی نیترات با اوره برای تامین پتاسیم حاصله از نیترات پتاسیم از سولفات پتاسیم استفاده شده است تا غلظت پتاسیم در تمام تیمارها ثابت نگه داشته شود. همچنین محاسبات مربوط به مقدار نیتروژن مورد نیاز در نسبت‌های مختلف اوره بر نیترات بر مبنای نیتروژن کل اوره انجام شده است. منبع اوره مورد استفاده نیز کود اوره معمولی تجاری

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی در شاخساره کاهو

**Table 3.** Variance analysis (mean square) for the effect of urea to nitrate ratio in the nutrient solution on the shoot nutrients concentration of lettuce

| منابع تغییر                  | درجه آزادی | فسفر  | پتاسیم   | کلسیم              | منیزیم             | آهن    | منگنز             | روی   | مس                 | سدیم   |
|------------------------------|------------|-------|----------|--------------------|--------------------|--------|-------------------|-------|--------------------|--------|
| S.O.V.                       | df         | P     | K        | Ca                 | Mg                 | Fe     | Mn                | Zn    | Cu                 | Na     |
| نسبت اوره به نیترات          | 6          | 0.21* | 189.39** | 0.43 <sup>ns</sup> | 0.21 <sup>ns</sup> | 8655** | 470 <sup>ns</sup> | 359** | 2.22 <sup>ns</sup> | 0.58** |
| خطا                          | 21         | 9.78  | 23.17    | 0.32               | 0.73               | 1391   | 204               | 32.4  | 1.26               | 0.09   |
| Error                        |            |       |          |                    |                    |        |                   |       |                    |        |
| ضریب تغییرات (درصد)          |            | 7.5   | 7.9      | 5.8                | 27.6               | 13.7   | 44.7              | 6.4   | 27.1               | 7.3    |
| Coefficient of variation (%) |            |       |          |                    |                    |        |                   |       |                    |        |

<sup>ns</sup> غیرمعنی دار، \*: معنی دار در سطح ۵ درصد، \*\*: معنی دار در سطح ۱ درصد

ns: non significant, \*: significant at 5%, \*\*: significant at 1%

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی در ریشه کاهو

**Table 4.** Variance analysis (mean square) for the effect of urea to nitrate ratio in the nutrient solution on the root nutrients concentration of lettuce

| منابع تغییر                  | درجه آزادی | فسفر  | پتاسیم             | کلسیم | منیزیم             | آهن                | منگنز              | روی                | مس                 | سدیم               |
|------------------------------|------------|-------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| S.O.V.                       | df         | P     | K                  | Ca    | Mg                 | Fe                 | Mn                 | Zn                 | Cu                 | Na                 |
| نسبت اوره به نیترات          | 6          | 0.56* | 30.0 <sup>ns</sup> | 2.39* | 1.03 <sup>ns</sup> | 3698 <sup>ns</sup> | 12.4 <sup>ns</sup> | 1645 <sup>ns</sup> | 4.18 <sup>ns</sup> | 0.65 <sup>ns</sup> |
| خطا                          | 21         | 0.19  | 53.0               | 0.83  | 0.59               | 7666               | 18.3               | 1343               | 7.57               | 0.46               |
| Error                        |            |       |                    |       |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| ضریب تغییرات (درصد)          |            | 20.4  | 16.8               | 15.5  | 58.8               | 29.8               | 19.4               | 26.0               | 22.0               | 22.6               |
| Coefficient of variation (%) |            |       |                    |       |                    |                    |                    |                    |                    |                    |

<sup>ns</sup> غیرمعنی دار، \*: معنی دار در سطح ۵ درصد، \*\*: معنی دار در سطح ۱ درصد

ns: non significant, \*: significant at 5%, \*\*: significant at 1%

## نتایج و بحث

### غلظت عناصر پرمصرف و سدیم شاخساره و ریشه کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیتروژن، پتاسیم و سدیم شاخساره کاهو در سطح احتمال پنج یک درصد و بر غلظت فسفر شاخساره کاهو در سطح احتمال پنج یک درصد معنی دار بود. اما نسبت اوره به نیترات محلول غذایی اثر معنی داری بر غلظت کلسیم و منیزیم شاخساره کاهو نداشت (جدول ۳). نتایج نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت فسفر و کلسیم ریشه کاهو در سطح آماری پنج درصد معنی دار شد. اما نسبت اوره به نیترات محلول غذایی اثر معنی داری بر غلظت پتاسیم، منیزیم و سدیم ریشه کاهو نداشت (جدول ۴). نتایج نشان داد تفاوت

منیزیم، آهن، منگنز، روی و مس نمونه‌ها پس از تهیه عصاره به روش هضم خشک و ترکیب با اسید کلریدریک تعیین شد. فسفر به روش فسفو واناتات مولیبدات زرد و با دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم و سدیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با EDTA اندازه‌گیری شدند. غلظت آهن، منگنز، مس و روی موجود در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Emami, 1996). داده‌ها با استفاده از نرم-افزار SAS نسخه ۹ تجزیه و تحلیل شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

جدول ۵. مقایسه میانگین تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی در شاخساره کاهو

Table 5. Mean comparisons of the effect of urea to nitrate ratio in the nutrient solution on the shoot nutrients concentration of lettuce

| نسبت اوره به نیترات<br>Urea to nitrate ratio | نیتروژن<br>N                              | فسفر<br>P           | پتاسیم<br>K        | کلسیم<br>Ca       | منیزیم<br>Mg      | آهن<br>Fe                                       | منگنز<br>Mn       | روی<br>Zn          | مس<br>Cu          | سدیم<br>Na         |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|                                              | (گرم بر کیلوگرم)<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |                     |                    |                   |                   | (میلی گرم بر کیلوگرم)<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) |                   |                    |                   |                    |
| 0:100                                        | 44.1 <sup>a</sup>                         | 3.58 <sup>ab</sup>  | 91.6 <sup>a</sup>  | 10.1 <sup>a</sup> | 3.18 <sup>a</sup> | 235 <sup>b</sup>                                | 30.4 <sup>a</sup> | 76.6 <sup>c</sup>  | 3.23 <sup>a</sup> | 4.81 <sup>a</sup>  |
| 10:90                                        | 41.0 <sup>a</sup>                         | 3.37 <sup>abc</sup> | 87.1 <sup>ab</sup> | 10.5 <sup>a</sup> | 2.94 <sup>a</sup> | 241 <sup>b</sup>                                | 20.7 <sup>a</sup> | 81.5 <sup>de</sup> | 4.53 <sup>a</sup> | 4.12 <sup>bc</sup> |
| 20:80                                        | 44.6 <sup>a</sup>                         | 3.63 <sup>a</sup>   | 88.4 <sup>ab</sup> | 10.1 <sup>a</sup> | 3.30 <sup>a</sup> | 243 <sup>b</sup>                                | 26.4 <sup>a</sup> | 85.9 <sup>cd</sup> | 3.50 <sup>a</sup> | 4.29 <sup>b</sup>  |
| 30:70                                        | 40.6 <sup>a</sup>                         | 3.21 <sup>bc</sup>  | 82.9 <sup>bc</sup> | 10.1 <sup>a</sup> | 3.21 <sup>a</sup> | 253 <sup>b</sup>                                | 25.7 <sup>a</sup> | 87.0 <sup>cd</sup> | 3.75 <sup>a</sup> | 4.18 <sup>bc</sup> |
| 40:60                                        | 43.5 <sup>a</sup>                         | 3.29 <sup>abc</sup> | 82.0 <sup>bc</sup> | 10.4 <sup>a</sup> | 3.39 <sup>a</sup> | 285 <sup>b</sup>                                | 26.8 <sup>a</sup> | 95.7 <sup>b</sup>  | 4.40 <sup>a</sup> | 4.17 <sup>bc</sup> |
| 50:50                                        | 34.9 <sup>b</sup>                         | 3.01 <sup>c</sup>   | 76.1 <sup>cd</sup> | 11.0 <sup>a</sup> | 2.76 <sup>a</sup> | 276 <sup>b</sup>                                | 43.6 <sup>a</sup> | 91.1 <sup>bc</sup> | 4.15 <sup>a</sup> | 3.63 <sup>d</sup>  |
| 60:40                                        | 43.2 <sup>a</sup>                         | 3.57 <sup>ab</sup>  | 72.3 <sup>d</sup>  | 10.3 <sup>a</sup> | 2.94 <sup>a</sup> | 368 <sup>a</sup>                                | 50.5 <sup>a</sup> | 105.3 <sup>a</sup> | 5.45 <sup>a</sup> | 3.77 <sup>cd</sup> |

میانگین‌ها در هر ستون با حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Data in each column with the same letter are not statistically different at 0.05 probability level based on LSD test.

کامل در برخی از گیاهان مانند غلات و گوجه فرنگی (Merigout et al., 2008a; Tan et al., 2000) انتقال می‌یابد. بر اساس پژوهش Merigout et al. (2008b)، اوره پیش از هیدرولیز در محلول غذایی، توسط سلول‌های ریشه آراییدوپسیس به صورت مستقیم جذب شد. با کاربرد اوره دارای نیتروژن نشان‌دار (<sup>15</sup>N) ثابت شد اوره قادر است از غشای سیتوپلاسمایی سلول-های ریشه به صورت مولکول کامل عبور کند. بخشی از اوره در بافت ریشه، توسط اوره‌آز سیتوپلاسمی هیدرولیز شده و آمونیوم حاصل از آن از راه چرخه GS-GOGAT<sup>1</sup> جذب و ساخت می‌شود. بخش قابل توجهی نیز (۲۰ درصد) از اوره جذب‌شده به شاخساره گیاه انتقال داده می‌شود. بنابراین این امکان وجود دارد که اوره و آمونیوم حاصل از آن مانند آمونیوم حاصله از فرایندهای دیگر مانند تنفس نوری یا جذب و ساخت نیترات و به همان روش مورد استفاده قرار بگیرد. بنابراین مسیر جذب و ساخت اوره مشابه مسیر جذب و ساخت آمونیوم در گیاه بود. Khan et al. (1999) نشان دادند با جایگزینی ۲۰ و ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی با اوره تفاوت معنی‌داری بین غلظت نیتروژن شاخساره این گیاهان در مقایسه با گیاهان تغذیه‌شده با

معنی‌داری بین غلظت نیتروژن شاخساره در کاهوی تغذیه‌شده با نسبت‌های مختلف اوره به نیترات به استثنای گیاهان تغذیه‌شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات مشاهده نشد. بیشترین غلظت نیتروژن شاخساره (۴۴/۶۲ گرم بر کیلوگرم) در گیاهان تغذیه‌شده با نسبت ۲۰ به ۸۰ اوره به نیترات مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با گیاهان تغذیه‌شده با محلول غذایی بدون اوره نداشت. کمترین غلظت نیتروژن شاخساره (۳۴/۸۶ گرم بر کیلوگرم) نیز در گیاهان کاهوی تغذیه‌شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات محلول غذایی مشاهده شد (جدول ۵).

تأثیر غیرمعنی‌دار نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیتروژن شاخساره (به استثنای گیاهان تغذیه‌شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات) نشان‌دهنده آن است که جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره تأثیری بر وضعیت تغذیه نیتروژن کاهو نداشته است. این یافته نشان داد که اوره کاربردی در محلول غذایی توسط ریشه گیاه جذب شده و پس از جذب و ساخت به عنوان منبع نیتروژن مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهند اوره کاربردی در محلول غذایی توسط ریشه گیاه جذب شده و به صورت مولکول

1- Glutamine Synthetase- Glutamine α-OxoGlutarate Amino Transferase

جدول ۶. مقایسه میانگین تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی در ریشه کاهو

Table 6. Mean comparisons of the effect of urea to nitrate ratio in the nutrient solution on the root nutrients concentration of lettuce

| نسبت اوره به نیترات<br>Urea to Nitrate ratio | فسفر<br>P                                 | پتاسیم<br>K       | کلسیم<br>Ca         | منیزیم<br>Mg      | آهن<br>Fe                                       | منگنز<br>Mn       | روی<br>Zn        | مس<br>Cu          | سدیم<br>Na        |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|                                              | (گرم بر کیلوگرم)<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |                   |                     |                   | (میلی گرم بر کیلوگرم)<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) |                   |                  |                   |                   |
| 0:100                                        | 1.96 <sup>b</sup>                         | 41.9 <sup>a</sup> | 4.47 <sup>c</sup>   | 1.53 <sup>a</sup> | 299 <sup>a</sup>                                | 20.8 <sup>a</sup> | 126 <sup>a</sup> | 11.5 <sup>a</sup> | 2.35 <sup>a</sup> |
| 10:90                                        | 1.82 <sup>b</sup>                         | 44.4 <sup>a</sup> | 6.20 <sup>ab</sup>  | 0.69 <sup>a</sup> | 299 <sup>a</sup>                                | 21.8 <sup>a</sup> | 134 <sup>a</sup> | 12.8 <sup>a</sup> | 3.02 <sup>a</sup> |
| 20:80                                        | 1.97 <sup>b</sup>                         | 44.0 <sup>a</sup> | 5.43 <sup>bc</sup>  | 1.83 <sup>a</sup> | 308 <sup>a</sup>                                | 21.8 <sup>a</sup> | 142 <sup>a</sup> | 12.1 <sup>a</sup> | 2.53 <sup>a</sup> |
| 30:70                                        | 1.72 <sup>b</sup>                         | 40.2 <sup>a</sup> | 6.08 <sup>ab</sup>  | 1.17 <sup>a</sup> | 294 <sup>a</sup>                                | 20.0 <sup>a</sup> | 125 <sup>a</sup> | 12.4 <sup>a</sup> | 3.03 <sup>a</sup> |
| 40:60                                        | 2.24 <sup>ab</sup>                        | 44.2 <sup>a</sup> | 6.46 <sup>ab</sup>  | 1.28 <sup>a</sup> | 335 <sup>a</sup>                                | 21.7 <sup>a</sup> | 138 <sup>a</sup> | 11.8 <sup>a</sup> | 3.22 <sup>a</sup> |
| 50:50                                        | 2.26 <sup>ab</sup>                        | 41.2 <sup>a</sup> | 6.83 <sup>a</sup>   | 0.67 <sup>a</sup> | 235 <sup>a</sup>                                | 22.6 <sup>a</sup> | 136 <sup>a</sup> | 12.5 <sup>a</sup> | 3.40 <sup>a</sup> |
| 60:40                                        | 2.84 <sup>a</sup>                         | 48.5 <sup>a</sup> | 5.73 <sup>abc</sup> | 1.95 <sup>a</sup> | 283 <sup>a</sup>                                | 25.6 <sup>a</sup> | 185 <sup>a</sup> | 14.6 <sup>a</sup> | 3.35 <sup>a</sup> |

میانگین‌ها در هر ستون با حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Data in each column with the same letter are not statistically different at 0.05 probability level based on LSD test.

معنی‌داری به میزان ۱۶ درصد کاهش یافت (جدول ۵). نتایج تأثیر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت فسفر ریشه کاهو نشان داد گیاهان کاهوی تغذیه‌شده با نسبت ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات، دارای بیشترین غلظت فسفر ریشه بودند که به طور معنی‌داری از غلظت فسفر ریشه گیاهان تغذیه‌شده با نسبت-های صفر به ۱۰۰ تا ۳۰ به ۷۰ اوره به نیترات بیشتر بود (جدول ۶).

بر مبنای نتایج این پژوهش، غلظت فسفر شاخساره کاهو با کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات محلول غذایی در مقایسه با شرایط بدون کاربرد اوره (نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات) به طور معنی‌داری کاهش یافت. (Khan et al. (1999 کاهش معنی‌دار غلظت فسفر شاخساره اسفناج را در گیاهان تغذیه‌شده با محلول‌های غذایی دارای ۲۰ درصد کل نیتروژن به صورت اوره (با و بدون کاربرد نیکل) و ۵۰ درصد کل نیتروژن به صورت اوره (با کاربرد نیکل) گزارش کردند. (Luo et al. (1993 نیز کاهش معنی‌دار غلظت فسفر شاخساره کاهو را در نتیجه جایگزینی نیترات با اوره گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر هماهنگی دارد. همچنین Yoldas et al. (2008 گزارش کردند با کاهش غلظت نیترات محلول غذایی غلظت فسفر در کلم بروکلی کاهش یافت. (Hosseini Farahi et al. (2014 گزارش کردند با افزایش غلظت اوره در محلول غذایی غلظت

محلول غذایی دارای نیترات و آمونیوم اما بدون کاربرد اوره وجود نداشت. (Ikeda and Tan (1998 نیز تفاوت معنی‌داری بین غلظت نیتروژن برگ در گیاهان گوجه فرنگی که مقدار برابر نیتروژن (۱۶۸ میلی گرم بر لیتر) از منبع نیترات به تنهایی و یا نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی دریافت کرده بودند، مشاهده نکردند. (Silva et al. (2013 گزارش کردند کاربرد نیتروژن به صورت نیترات و یا اوره تأثیری بر غلظت نیتروژن کل غده در سه رقم سیب‌زمینی در کشت هیدروپونیک نداشت، که این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی داشت.

نتایج تأثیر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت فسفر شاخساره کاهو نشان داد بین غلظت فسفر شاخساره گیاهان تغذیه‌شده با نیترات به تنهایی (نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات) و گیاهان تغذیه‌شده با سطوح مختلف اوره به نیترات، به استثنای گیاهان تغذیه‌شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین غلظت فسفر شاخساره (۳/۶۳ گرم بر کیلوگرم) در گیاهان کاهوی تغذیه‌شده با نسبت ۲۰ به ۸۰ اوره به نیترات مشاهده شد. کمترین غلظت فسفر (۳/۰۱ گرم بر کیلوگرم) نیز در گیاهان تغذیه‌شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات مشاهده شد که در مقایسه با گیاهان تغذیه‌شده با نیترات به تنهایی (محلول غذایی بدون اوره) به طور



پتاسیم، کلسیم و منیزیم جذب گیاه شده و به دنبال آن مقدار مشخصی یون هیدروکسیل یا بی‌کربنات توسط ریشه به منظور تعادل بار منفی به محیط اطراف ریشه تراوش می‌شود. هنگامی که اوره برای جایگزینی نیترات استفاده می‌شود ساختار غیرقابل تفکیک و مولکولی غیریونی اوره، جایگزین نیترات شده و از آن جایی که اوره بدون نیاز گیاه برای تعادل بار، جذب می‌شود کاهش زیادی در جذب یون‌های دیگر رخ می‌دهد. این فرآیند همچنین تغییراتی در تعادل اسمزی گیاه ایجاد می‌کند چون که نیترات و اسیدهای آلی سنتز شده در متابولیسم نیترات به عنوان اسمولیت‌های مهم مطرح هستند (Gerendas and Khan et al., 1997). مشابه نتایج پژوهش حاضر، (Sattelmacher, 1997) al. (1999) کاهش معنی دار غلظت پتاسیم شاخساره اسفناج را با کاربرد ۲۰ و ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به شکل اوره گزارش کردند. همچنین (Luo et al., 1993) کاهش معنی دار غلظت پتاسیم شاخساره کاهو را در نتیجه جایگزینی نیترات با اوره گزارش کردند. نتایج آزمایش‌های (Paradiso et al., 2014) نشان داد کودآبیاری با اوره منجر به کاهش معنی دار جذب کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم و به دنبال آن بروز کمبود این عناصر در سویا شد. کاهش جذب پتاسیم و منیزیم با تأثیر بر تعادل الکتروشیمیایی و نسبت آنیون به کاتیون در لوبیا چیتی تغذیه شده با محلول غذایی بدون نیتروژن نیز مشاهده شده است، که در نتیجه آن رشد و عملکرد گیاه به دلیل کمبود نیتروژن و کاهش جذب کاتیون‌ها کاهش یافته است (Kontopoulou et al., 2015). (Hosseini Farahi et al., 2014) گزارش کردند با افزایش غلظت اوره در محلول غذایی، غلظت پتاسیم در برگ گل رز کاهش یافت. (Khan et al., 2000) اثر بازدارنده اوره بر جذب پتاسیم و منیزیم را در اسفناج تحت شرایط کشت هیدروپونیک گزارش کردند که یافته‌های این پژوهش‌ها با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت. با این وجود (Ikeda and Tan, 1998) گزارش کردند تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت پتاسیم برگ در گیاهانی که مقدار یکسان نیتروژن از دو منبع نیترات و نیترات/اوره با نسبت یک به یک در محلول غذایی دریافت کرده بودند، مشاهده نشد.

فسفر در برگ گل رز کاهش یافت. با این وجود (Ikeda and Tan, 1998) گزارش کردند تفاوت معنی‌داری بین غلظت فسفر برگ در گیاهانی که مقدار یکسان نیتروژن از منبع نیترات به تنهایی و یا نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی دریافت کرده بودند، دیده نشد.

با افزایش نسبت اوره به نیترات، غلظت پتاسیم و سدیم شاخساره کاهو کاهش یافت. بیشترین غلظت پتاسیم شاخساره کاهو (۹۱/۶۲ گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن (۷۲/۲۵ گرم بر کیلوگرم) به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های صفر به ۱۰۰ و ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات محلول غذایی مشاهده شد. کاربرد ۶۰ درصد نیتروژن کل به شکل اوره منجر به کاهش معنی دار پتاسیم شاخساره کاهو به میزان ۲۱ درصد در مقایسه با بدون کاربرد اوره در محلول غذایی شد. بیشترین سدیم شاخساره کاهو (۴/۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن (۳/۶۲ میلی گرم بر کیلوگرم) به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های صفر به ۱۰۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات محلول غذایی مشاهده شد. کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات منجر به کاهش غلظت سدیم شاخساره کاهو به میزان ۲۵ درصد در مقایسه با بدون کاربرد اوره شد (جدول ۵). در توجیه کاهش معنی دار غلظت پتاسیم و سدیم شاخساره کاهو می‌توان گفت که اصل خنثی بودن بار الکتریکی سیتوپلاسم بافت‌های گیاهی برای کارکردهای مناسب سلول لازم بوده و آنیون‌ها و کاتیون‌های آلی و غیرآلی در تنظیم تعادل بار الکتریکی سلول نقش دارند. نیترات به دلیل اینکه شکل غالب نیتروژن مورد نیاز گیاه است نقش اساسی در این فرآیند دارد (Kirkby and Mengel, 1967). حضور نیترات در محلول غذایی جذب دیگر عناصر غذایی، به ویژه عناصر غذایی کاتیونی، را تسهیل می‌کند. به هنگام تغذیه گیاهان با نیترات به تنهایی تولید اسیدهای آلی در گیاه افزایش یافته که ترکیب آنیون‌های آلی حاصل از این اسیدها با کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم منجر به افزایش میزان تجمع آن‌ها در داخل گیاه می‌شود (Marschner, 1995). بنابراین هنگامی که گیاهان نیترات را جذب می‌کنند مقدار زیادی از کاتیون‌های

حاصل شد. کاربرد نسبت ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات منجر به افزایش آهن شاخساره کاهو به میزان ۵۷ درصد در مقایسه با بدون کاربرد اوره شد (جدول ۵). نتایج نشان داد با افزایش نسبت اوره به نیترات، غلظت روی در شاخساره کاهو افزایش یافت. بیشترین غلظت روی در شاخساره کاهو (۱۰۵/۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن (۷۶/۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم) به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت های ۶۰ به ۴۰ و صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات مشاهده شد. کاربرد نسبت ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات منجر به افزایش غلظت روی شاخساره کاهو به میزان ۳۸ درصد در مقایسه با بدون کاربرد اوره شد (جدول ۵).

افزایش معنی دار غلظت آهن و روی در شاخساره کاهو با افزایش نسبت اوره به نیترات به دلیل کاهش غلظت نیترات محلول غذایی است. تغذیه آهن در گیاهان رابطه تنگاتنگی با شکل نیتروژن مصرفی دارد. این امر به دلیل تغییرات ایجاد شده در pH محیط ریشه و آپوپلاست و همچنین غلظت کاتیون ها و آنیون های جذب شده توسط ریشه در اثر کاربرد نیترات است. کاربرد نیترات به دلیل افزایش pH محیط ریشه، آهن را در سلول های ریشه غیرمتحرک می کند. پژوهش های انجام شده نشان می دهد که میزان آهن در قسمت های هوایی گیاهان تغذیه شده با نیترات کمتر بوده، حتی در صورتی که میزان آهن ریشه بیشتر باشد. دلیل این امر به سازوکار جذب نیترات ارتباط داده شده است. جذب نیترات از طریق فرآیند انتقال همزمان پروتون/نیترات بوده که در نهایت منجر به افزایش pH آپوپلاست می گردد. با افزایش pH آپوپلاست احیای ترکیبات آهن III کاهش یافته و بنابراین انتقال آهن به سلول ها کم می شود (Marschner, 1995) که نتیجه آن کاهش غلظت آهن در گیاه با افزایش سهم نیترات در محلول غذایی است. با این وجود در برخی از پژوهش ها کاربرد اوره در محلول غذایی منجر به کاهش غلظت عناصر کم مصرف در گیاه شده است که با نتایج پژوهش حاضر متفاوت است. به عنوان نمونه Khan et al. (1999) گزارش کردند کاربرد ۵۰ درصد کل نیتروژن مصرفی به شکل اوره در محلول غذایی منجر به کاهش معنی دار غلظت آهن و روی شاخساره اسفناج در مقایسه با بدون

نتایج نشان داد غلظت کلسیم و منیزیم شاخساره و غلظت منیزیم ریشه کاهو تحت تأثیر نسبت اوره به نیترات قرار نگرفت (جدول ۳ و ۴). در حالی که نسبت های مختلف اوره به نیترات منجر به افزایش معنی دار غلظت کلسیم ریشه نسبت به بدون کاربرد اوره (نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات) به استثنای نسبت های ۲۰ به ۸۰ و ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات شدند. بیشترین غلظت کلسیم ریشه (۶/۸۳ گرم بر کیلوگرم) با کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات مشاهده شد که نسبت به بدون کاربرد اوره به میزان ۵۳ درصد افزایش یافت. کمترین غلظت کلسیم ریشه (۴/۴۷ گرم بر کیلوگرم) نیز با کاربرد نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات حاصل شد. مشابه با نتایج این پژوهش، (Luo et al. (1993 تأثیر ناپذیری غلظت کلسیم و منیزیم شاخساره کاهو را در نتیجه جایگزینی نیترات با اوره در محلول غذایی گزارش کردند. با این وجود Khan et al. (1999) افزایش غلظت کلسیم و کاهش غلظت منیزیم شاخساره اسفناج را در نتیجه جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره گزارش کردند. همچنین Ikeda and Tan (1998) گزارش کردند غلظت کلسیم و منیزیم در برگ گوجه فرنگی در گیاهانی که با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات محلول غذایی تغذیه شده بودند در مقایسه با کاربرد نیترات به تنهایی (بدون کاربرد اوره) به طور معنی داری کاهش یافت.

#### غلظت عناصر کم مصرف شاخساره و ریشه کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات بر غلظت آهن و روی شاخساره کاهو در سطح آماری یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). اما اثر نسبت اوره به نیترات بر غلظت منگنز و مس شاخساره و غلظت آهن، منگنز، روی و مس ریشه کاهو معنی دار نشد (جدول ۱ و ۲). نتایج نشان داد با کاربرد نسبت ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات غلظت آهن شاخساره کاهو در مقایسه با سایر نسبت های اوره به نیترات به طور معنی داری افزایش یافت. بیشترین غلظت آهن شاخساره کاهو (۳۶۸/۲ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن (۲۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم) به ترتیب با کاربرد نسبت های ۶۰ به ۴۰ و صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات

جدول ۷. مقایسه میانگین تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر وزن خشک شاخساره و ریشه کاهو

Table 7. Mean comparisons of the effect of urea to nitrate ratio in the nutrient solution on the shoot and root dry weights of lettuce

| وزن خشک ریشه<br>Root dry weigh            | وزن خشک شاخساره<br>Shoot dry weigh | نسبت اوره به نیترات<br>Urea to nitrate ratio |
|-------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|
| (گرم بر گیاه)<br>(g plant <sup>-1</sup> ) |                                    |                                              |
| 0.69 <sup>a</sup>                         | 6.54 <sup>a</sup>                  | 0:100                                        |
| 0.76 <sup>a</sup>                         | 6.92 <sup>a</sup>                  | 10:90                                        |
| 0.73 <sup>a</sup>                         | 6.67 <sup>a</sup>                  | 20:80                                        |
| 0.71 <sup>a</sup>                         | 6.86 <sup>a</sup>                  | 30:70                                        |
| 0.72 <sup>a</sup>                         | 7.11 <sup>a</sup>                  | 40:60                                        |
| 0.63 <sup>a</sup>                         | 7.31 <sup>a</sup>                  | 50:50                                        |
| 0.67 <sup>a</sup>                         | 6.87 <sup>a</sup>                  | 60:40                                        |

میانگین‌ها در هر ستون با حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Data in each column with the same letter are not statistically different at 0.05 probability level based on LSD test.

*chinensis* عملکرد گیاهان تغذیه‌شده با نیترات به تنهایی و نیترات و اوره (با نسبت یک به یک) تفاوت معنی‌داری با هم نداشت. Ikeda and Tan (1998) بیان کردند وزن خشک گیاهان گوجه فرنگی که اوره و نیترات با نسبت ۵۰ به ۵۰ دریافت کرده بودند تقریباً برابر گیاهانی بود که نیترات به تنهایی دریافت کرده بودند. در ضمن بین وزن خشک برگ، ساقه، ریشه و کل گیاهانی که مقدار یکسان نیتروژن از منبع نیترات به تنهایی و یا نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی دریافت کرده بودند تفاوت معنی‌داری دیده نشد. (Uathitirat and Ruamrungsri (2013) نشان دادند تفاوت معنی‌داری در وزن خشک گیاهان کاهوی تغذیه‌شده با محلول غذایی دارای اوره در مقایسه با همان محلول غذایی اما بدون اوره وجود نداشت که این نتایج هم‌راستا با یافته‌های پژوهش حاضر است. (Mirmoghdam et al. (2024) گزارش کردند کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر وزن تازه ریشه، حجم ریشه و طول ریشه ریحان در مقایسه با گیاهان تغذیه‌شده با نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات نداشت. با این حال آنها گزارش کردند کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی منجر به افزایش معنی‌دار وزن تازه و خشک شاخساره ریحان در مقایسه با کاربرد ۱۰۰ درصد نیتروژن به شکل نیترات شد.

کاربرد اوره (مصرف نیترات و آمونیوم) شد. همچنین Hosseini Farahi et al. (2014) گزارش کردند با افزایش غلظت اوره در محلول غذایی غلظت آهن، روی و مس در برگ گل رز کاهش یافت.

#### وزن خشک شاخساره و ریشه کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات بر وزن خشک شاخساره و ریشه کاهو معنی‌دار نشد. بیشترین و کمترین وزن خشک شاخساره به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه‌شده با محلول‌های غذایی دارای نسبت ۵۰ به ۵۰ و صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات مشاهده شد. همچنین بیشترین و کمترین وزن خشک ریشه به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه‌شده با نسبت‌های ۱۰ به ۹۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات مشاهده شد (جدول ۷).

بر مبنای نتایج این پژوهش جایگزینی تدریجی نیترات محلول غذایی با اوره تأثیری بر وزن خشک شاخساره و ریشه کاهو نداشت. این یافته نشان‌دهنده آن است که گیاهان کاهو تغذیه‌شده با مخلوطی از نیترات و اوره توانسته‌اند به‌طور موثری اوره را هیدرولیز کرده و به‌صورت کارا از آن به عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، Luo et al. (1993) مشاهده نمودند در دو گونه *Ipomoea aquatica* و *Brassica*

## نتیجه گیری

دارای ظرفیت جذب و ساخت اوره به عنوان منبع نیتروژن است. بر مبنای نتایج این پژوهش، کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی برای تولید کاهوی فرانسوی قرمز در کشت بدون خاک در شرایط این پژوهش پیشنهاد می شود. زیرا کود اوره از کودهای دارای نیترات مانند نیترات کلسیم و نیترات پتاسیم ارزان تر بوده و کاربرد آن ضمن تضمین رشد مطلوب کاهو بدون کاهش عملکرد برای تامین بخشی از نیتروژن محلول غذایی و کاهش هزینه های تولید موثر است.

## تشکر و سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد برای حمایت مالی این پژوهش تشکر و قدردانی می شود.

## تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچگونه تضاد منفعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

نتایج این پژوهش نشان داد افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف شاخساره و ریشه کاهو تأثیر داشت. افزایش نسبت اوره به نیترات منجر به افزایش معنی دار غلظت های آهن و روی شاخساره و فسفر و کلسیم ریشه کاهو شد، اما غلظت های فسفر، پتاسیم و سدیم شاخساره کاهو کاهش یافت. در این میان غلظت نیتروژن شاخساره (به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت اوره به نیترات ۵۰ به ۵۰) تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات قرار نگرفت. با این وجود افزایش نسبت اوره به نیترات تا نسبت ۶۰ به ۴۰ تأثیر معنی داری بر وزن خشک شاخساره و ریشه کاهو نداشت. بنابراین جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره با تامین نیتروژن مورد نیاز کاهو رشد آن را تضمین می کند. دلیل احتمالی این یافته، کاربرد اوره با غلظت زیر حد آستانه سمیت اوره برای گیاهان (۱۶۸ میلی گرم بر لیتر) و استفاده از نشاهای یک ماهه کاهو دارای سیستم ریشه ای کامل است. بنابراین کاهوی فرانسوی قرمز

## منابع مورد استفاده

## References

- Banitalebi, G., Mosaddeghi, M.R., Shariatmadari, H., 2021. Evaluation of physico-chemical properties of biochar-based mixtures for soilless growth media. J. Mater. Cycles Waste Manag. 23(3), 950–964. <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01181-z>.
- Domingues, D.S., Takahashi, H.W., Camara, C.A.P., Nixdorf, S.L., 2012. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. Comput. Electron. Agric. 84(1), 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006>.
- Emami, A., 1996. Methods of Plant Analysis. Soil and Water Research Institute Press, Tehran.
- Gerendas, J., Sattelmacher, B., 1997. Significance of N source (urea vs  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) and Ni supply for growth, urease activity and nitrogen metabolism of zucchini (*Cucurbita pepo* convar. *giromontiina*). Plant Soil 196(2), 217–222. <https://doi.org/10.1023/A:1004297807151>.
- Hosseini Farahi, M., Kholdbarin, B., Eshghi, S., 2014. Effect of  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  Urea ratio in nutrient solution on mineral nutrient concentration and vase life of rose (*Rosa hybrid* L.) cut flower in soilless culture. J. Sci. Techno. Greenh. Cult. 5(3), 133–146. (In Persian with English abstract)
- Ikeda, H., Tan, X., 1998. Urea as an organic nitrogen source for hydroponically grown tomatoes in comparison with inorganic nitrogen sources. Soil Sci. Plant Nutr. 44(4), 609–615. <https://doi.org/10.1080/00380768.1998.10414484>.
- Kiani, Sh., 2020. Effect of different nutrient solutions on the yield, chemical composition and nitrate accumulation of lettuce in soilless culture system. J. Soil Plant Interact. 10(4), 77–87. <https://doi.org/10.47176/jspi.10.4.23610>.
- Kirkby, E.A., Mengel, K., 1967. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. Plant Physiol. 42(1), 6–14.
- Khan, N.K., Watanabe, M., Watanabe, Y., 1999. Effect of different concentrations of urea with or without nickel addition on spinach (*Spinacia oleracea* E.) growth under hydroponic culture. Soil Sci. Plant Nutr. 45(3), 569–575. <https://doi.org/10.1080/00380768.1999.10415820>.
- Khan, N.K., Watanabe, M., Watanabe, Y., 2000. Effect of partial urea application on nutrient absorption by hydroponically grown spinach (*Spinacia oleracea* L.). Soil Sci. Plant Nutr. 46(1), 199–208.

<https://doi.org/10.1080/00380768.2000.10408775>

11. Khoshgofarmanesh, A.H., Hosseini, F., Afyuni, M., 2011. Nickel supplementation effect on the growth, urease activity and urea and nitrate concentrations in lettuce supplied with different nitrogen sources. *Sci. Hortic.* 130(2), 381–385. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.009>.
12. Kontopoulou, C.K., Giagkou, S., Stathi, E., Iannetta, P.M., Savvas, D., 2015. Responses of hydroponically-grown common bean fed with nitrogen-free nutrient solution to root inoculation with N<sub>2</sub>-fixing bacteria. *HortScience* 50(4), 597–602. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.4.597>.
13. Luo, J., Lian, Zh., Yan, X., 1993. Urea transformation and the adaptability of three leafy vegetables to urea as a source of nitrogen in hydroponic culture. *J. Plant Nutr.* 16(5), 797–812. <https://doi.org/10.1080/01904169309364575>.
14. Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
15. Merigout, P., Gaudon, V., Quiller, I., Briand, X., Daniel-Vedele, F., 2008a. Urea use efficiency of hydroponically grown maize and wheat. *J. Plant Nutr.* 31(3), 427–443. <https://doi.org/10.1080/01904160801894970>.
16. Merigout, P., Lelandais, M., Bitton, F., Renou, J.P., Briand, X., Meyer, C., Daniel-Vedele, F., 2008b. Physiological and transcriptomic aspects of urea uptake and assimilation in arabidopsis plants. *Plant Physiol.* 147(3), 1225–1238. <https://doi.org/10.1104/pp.108.119339>.
17. Mirmoghadam, S., Eshghi, S., Etemadi, M., Jamali, B., 2024. Effect of nitrate, ammonium, and urea ratios and molybdenum level in the nutrient solution on vegetative growth and biochemical responses of basil plants. *J. Plant Nutr.* 48(3), 345–357. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2403690>.
18. Paradiso, R., Buonomo, R., Dixon, M.A., Barbieri, G., De-Pascale, S., 2014. Soybean cultivation for bioregenerative life support systems (BLSSs): The effect of hydroponic system and nitrogen source. *Adv. Space Res.* 53(3), 574–584. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.11.024>.
19. Paradiso, R., Buonomo, R., Dixon, M.A., Barbieri, G., De-Pascale, S., 2015. Effect of bacterial root symbiosis and urea as source of nitrogen on performance of soybean plants grown hydroponically for Bioregenerative Life Support Systems (BLSSs). *Front. Plant Sci.* 6, 888. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00888>.
20. Santamaria, P., 2006. Nitrate in vegetables: toxicity content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 86(1), 10–17. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2351>.
21. Silva, J., França, M., Gomide, F., Magalhaes, J., 2013. Different nitrogen sources affect biomass partitioning and quality of potato production in a hydroponic system. *Am. J. Potato Res.* 90(2), 179–185. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9297-5>.
22. Tan, X.W., Ikeda, H., Oda, M., 2000. Effects of nickel concentration in the nutrient solution on the nitrogen assimilation and growth of tomato seedlings in hydroponic culture supplied with urea or nitrate as the sole nitrogen source. *Sci. Hortic.* 84(3-4), 265–273. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00107-7).
23. Uathitirat, J., Ruamrungsri, S., 2013. Effects of urea as a nitrogen source on growth of lettuce grown in hydroponic. In: *Proceeding of International Graduate Research Conference*, December 20, Chiang Mai University, Thailand.
24. Van-der-Lugt, G., Holwerda, H.T., Hora, K., Bugter, M., Hardeman, J., deVries, P., 2020. Nutrient Solutions for Greenhouse Crops. Version 4, Eurofins Agro, Geerten van der Lugt, Nouryon, SQM, Yara.Geerten.
25. Yoldas F., Ceylan S., Yagmur B., Mordogan, N., 2008. Effects of nitrogen fertilizer on yield quality and nutrient content in broccoli. *J. Plant Nutr.* 31(7), 1333–1343. <https://doi.org/10.1080/01904160802135118>.
26. Zhu, Y., Li, G., Liu, H., Sun, G., Chen, R., Song, S., 2018. Effects of partial replacement of nitrate with different nitrogen forms on the yield, quality and nitrate content of Chinese kale. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 49(11), 1384–1393. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1464179>.