

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

Sahar Naseri^{id}, Shahram Kiani^{*id} and Hamid Reza Motaghian^{id}

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

* Corresponding author, Email: shkiani2002@yahoo.com

Abstract

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

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
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shkiani2002@yahoo.com

چکیده

شکل نیتروژن محلول غذایی با تأثیر بر جذب کاتیونها و آنیونها بر غلظت عناصر غذایی و عملکرد گیاه اثر دارد. این تحقیق 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. این آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با هفت نسبت اوره به نیترات در محلول غذایی به صورت کشت بدون خاک در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در چهار تکرار انجام شد. نسبت‌های اوره به نیترات 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. نتایج نشان داد غلظت نیتروژن شاخساره (به استثنای گیاهان تغذیه شده 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 شاخساره و فسفر و کلسیم ریشه کاهو شد. اما غلظت‌های فسفر، پتاسیم و سدیم شاخساره کاهو کاهش یافت. نتایج نشان داد وزن خشک شاخساره و ریشه کاهو تحت تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی قرار نگرفت. با توجه به قیمت کمتر اوره در مقایسه با کودهای حاوی 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 توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سبزی‌های برگ‌ریز، شکل نیتروژن، عناصر غذایی، هیدروپونیک.

مقدمه

گیاهان نیتروژن مورد نیاز خود را به شکل‌های معدنی (نیتрат 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 OH^- و یا HCO_3^- از ریشه آزاد می‌شود (Marschner, 1995) و سبب افزایش pH محیط اطراف ریشه در سامانه‌های کشت بدون خاک می‌گردد. موقعی که گیاهان با نیترات تغذیه می‌شوند، سنتز اسیدهای آلی در داخل گیاه افزایش یافته و ترکیب آنیون‌های آلی حاصل از این اسیدها با کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم منجر به افزایش غلظت آنها در داخل 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 می‌دهد، 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 بارهایی 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). ایکدا و تان (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 انجام شده 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). لو و همکاران (Luo et al., 1993) کاهش معنی‌دار غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره کاهو را در نتیجه جایگزینی نیترات با اوره گزارش کردند. خان و همکاران (Khan et al., 1999) کاهش معنی‌دار غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره اسفناج را در گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی حاوی ۲۰ درصد کل نیتروژن به صورت اوره و حسینی فرهی و همکاران (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 خان و همکاران (Khan et al., 2000) اثر بازدارنده اوره بر جذب پتاسیم و منیزیم در اسفناج مشاهده شد. پژوهش‌های انجام شده در مورد هیدرولیز اوره به آمونیوم در محلول غذایی حاکی از آن است که به دلیل عدم وجود ریزجاندان تولید کننده آنزیم اوره آز در محلول غذایی امکان بروز هیدرولیز اوره بسیار کم می‌باشد. در همین زمینه خان و همکاران (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

مواد و روش‌ها

این آزمایش با هفت تیمار شامل نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و در چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی 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 نیترات محلول غذایی عبارت بودند از: صفر به ۱۰، ۱۰۰ به 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 حاوی 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 حاوی کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۲ به ۱ حجمی/حجمی (Banitalebi et al., 2021) انتقال داده شدند. گلدانها در یک گلخانه با دمای 23 ± 3 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 60 ± 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 (قابلیت هدایت الکتریکی کمتر از ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر و غلظت سدیم و کلر 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، 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. براساس آزمایش‌های صورت گرفته این محلول غذایی برای پرورش کاهو

(Ikeda and Tan, 1998; Khan et al., 2000; Luo et al., 1993; Silva et al., 2013; Zhu et al., 2018) و نشان داده است که اوره مانند نیترات در تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه و دستیابی به عملکرد بهینه موثر است. لو و همکاران (Luo et al., 1993) گزارش نمودند که در دو گونه *Ipomoea aquatica* و *Brassica chinensis* عملکرد گیاهان تغذیه شده با نیترات به تنهایی و نیترات و اوره (با نسبت یک به یک) تفاوت معنی‌داری با هم نداشت. ایکدا و تان (Ikeda and Tan, 1998) مشاهده نمودند که وزن خشک گیاهانی که مقدار یکسانی نیتروژن با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات دریافت کرده بودند به طور معنی‌داری بیشتر از گیاهانی بود که اوره به تنهایی دریافت کرده بودند و تقریباً مساوی گیاهانی بود که نیترات به تنهایی یا محلولی از نیترات و آمونیوم دریافت کرده بودند. همچنین بین وزن خشک برگ، ساقه، ریشه و کل گیاهانی که مقدار مساوی نیتروژن از منبع نیترات به تنهایی یا نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی دریافت کرده بودند تفاوت معنی‌داری دیده نشد. آن‌ها عنوان کردند کاربرد ترکیبی اوره و نیترات برای رشد کافی گوجه فرنگی بدون کاهش در جذب کاتیون‌ها مفید است. خان و همکاران (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. سیلوا و همکاران (Silva et al., 2013) مشاهده نمودند کاربرد نیتروژن به صورت نیترات و یا اوره تأثیری بر درصد ماده خشک غده در سه رقم سیب زمینی در کشت هیدروپونیک نداشت. اما جایگزینی ۲۰ درصد از نیترات 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 حاوی نیترات و لزوم بررسی تأثیر کاربرد این کود در تأمین نیتروژن مورد نیاز کاهو در کشت بدون خاک هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی و عملکرد کاهوی فرانسوی قرمز بود.

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

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

کلر	بی کربنات	نیتروژن نیتراته	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	سدیم	پ.هاش	قابلیت هدایت الکتریکی
Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	N-NO ₃ ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	pH	EC
			(mmol L ⁻¹)					(dS m ⁻¹)
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 محلول غذایی

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

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

نیز کود اوره معمولی تجاری بود. پس از انتقال نشاهای کاهو به گلدان‌ها از محلول غذایی تمام قدرت دمنگوس و همکاران (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 آبشویی 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 ۴ 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،

در شرایط گلخانه‌ای شهرکرد مناسب می‌باشد (Kiani, 2020). همچنین در تمام محلول‌های غذایی، نیکل با غلظت ۰/۰۴ میکرومولار مورد استفاده قرار گرفت (Khoshgoftarmanesh et al., 2011). در محلول‌های غذایی تهیه شده قابلیت هدایت الکتریکی بین ۱/۲ تا ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر و pH حدود ۵/۴ تنظیم شد. در جدول ۲ غلظت عناصر غذایی پرنیاز در محلول‌های غذایی مورد استفاده در نسبت‌های مختلف اوره به نیترات ارائه شده است. لازم به ذکر است که در تمامی محلول‌های غذایی تهیه شده به غیر از سطوح متفاوت تیمارهای آزمایشی (نسبت اوره به نیترات) غلظت بقیه عناصر غذایی پرنیاز و کم‌نیاز 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

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

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

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	آهن	منگنز	روی	مس	سدیم
S.O.V.	df	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na
نسبت اوره به نیترات	6	45.58**	0.21*	189.39**	0.43 ^{ns}	0.21 ^{ns}	8655**	470 ^{ns}	359**	2.22 ^{ns}	0.58**
Urea to nitrate ratio											
خطا	21	9.78	0.07	23.17	0.32	0.73	1391	204	32.4	1.26	0.09
Error											
ضریب تغییرات (درصد)		7.5	7.9	5.8	5.5	27.6	13.7	44.7	6.4	27.1	7.3
Coefficient of variation (%)											

^{ns} غیر معنی 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 ریشه کاهو

Table 4. Variance analysis (mean square) for the effect of urea to nitrate ratio in the nutrient solution on 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 ^{ns}	2.39*	1.03 ^{ns}	3698 ^{ns}	12.4 ^{ns}	1645 ^{ns}	4.18 ^{ns}	0.65 ^{ns}
Urea to nitrate ratio										
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 (%)										

^{ns} غیر معنی 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 پر نیاز 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 یک درصد و بر غلظت فسفر شاخساره کاهو در سطح احتمال پنج 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 فسفووانادات 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 معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

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

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

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

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.

(Merigout et al., 2008a; Tan et al., 2000) انتقال می‌یابد. بر اساس پژوهش مریگوت و همکاران (Merigout et al., 2008b) اوره قبل از هیدرولیز در محلول غذایی، توسط سلول‌های ریشه اراییدوپسیس به صورت مستقیم جذب شد. با کاربرد اوره دارای نیتروژن نشان‌دار (¹⁵N) ثابت شد اوره قادر است از غشای سیتوپلاسمی سلول‌های ریشه به صورت مولکول کامل عبور کند. بخشی از اوره در بافت ریشه، توسط اوره‌آز سیتوپلاسمی هیدرولیز شده و آمونیوم حاصل از آن از طریق چرخه GS-¹GOGAT آسمیله می‌شود. بخش قابل توجهی نیز (۲۰ درصد) از اوره جذب شده به بخش هوایی گیاه انتقال داده می‌شود. بنابراین این امکان وجود دارد که اوره و آمونیوم حاصل از آن مانند آمونیوم حاصله از فرایندهای دیگر از قبیل تنفس نوری یا آسمیلاسیون نیترات و به همان روش مورد استفاده قرار بگیرد. بنابراین مسیر آسمیلاسیون اوره مشابه مسیر آسمیلاسیون آمونیوم در گیاه بود. خان و همکاران (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 تغذیه شده با محلول غذایی حاوی نیترات و آمونیوم اما بدون کاربرد اوره وجود نداشت. ایکدا و تان

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

عدم تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیتروژن شاخساره (به استثنای گیاهان تغذیه شده 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 مسئله نشان داد که اوره کاربردی در محلول غذایی توسط ریشه گیاه جذب شده و پس از آسمیلاسیون به عنوان منبع نیتروژن مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهند اوره کاربردی در محلول غذایی توسط ریشه گیاه جذب شده و به صورت مولکول کامل در برخی محصولات از قبیل غلات و گوجه فرنگی

¹Glutamine Synthetase- Glutamine α-OxoGlutarate Amino Transferase

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

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

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

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.

نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت فسفر ریشه کاهو نشان داد گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات دارای بیشترین غلظت فسفر ریشه بودند که به طور معنی‌داری از غلظت فسفر ریشه گیاهان تغذیه شده با نسبت‌های 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 عدم کاربرد اوره (نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات) به طور معنی‌داری کاهش یافت. خان و همکاران (Khan et al., 1999) کاهش معنی‌دار غلظت فسفر شاخساره اسفناج را در گیاهان تغذیه شده با محلول‌های غذایی حاوی 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. لو و همکاران (Luo et al., 1993) نیز کاهش معنی‌دار غلظت فسفر شاخساره کاهو را در نتیجه جایگزینی نیترات با اوره گزارش کردند که در مطابقت با نتایج پژوهش حاضر بود. همچنین یولداس و همکاران (Yoldas et al., 2008) گزارش کردند با کاهش غلظت نیترات محلول غذایی غلظت فسفر در کلم بروکلی کاهش یافت. حسینی فرهی و همکاران (Hosseini Farahi et al., 2014) گزارش کردند با افزایش غلظت اوره در محلول غذایی غلظت فسفر در برگ

(Ikeda and Tan, 1998) نیز تفاوت معنی‌داری بین غلظت نیتروژن برگ در گیاهان گوجه فرنگی که مقدار مساوی 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. سیلوا و همکاران (Silva et al., 2013) گزارش کردند کاربرد نیتروژن به صورت نیترات و یا اوره تأثیری بر غلظت نیتروژن کل غده در سه رقم سیب زمینی در کشت هیدروپونیک نداشت که تمام این نتایج در مطابقت با نتایج پژوهش حاضر بود.

نتایج تأثیر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت فسفر شاخساره کاهو نشان داد بین غلظت فسفر شاخساره گیاهان تغذیه شده با نیترات به تنهایی (نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات) و گیاهان تغذیه شده با سطوح مختلف اوره به نیترات به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین غلظت فسفر شاخساره (۳/۶۳ گرم بر کیلوگرم) در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت ۲۰ به ۸۰ اوره به نیترات مشاهده شد. کمترین غلظت فسفر (۳/۰۱ گرم بر کیلوگرم) نیز در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات مشاهده شد که در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با نیترات به تنهایی (محلول غذایی فاقد اوره) به طور معنی‌داری به میزان ۱۶ درصد کاهش یافت (جدول ۵). نتایج تأثیر

گل رز کاهش یافت. با این وجود ایکدا و تان (Ikeda and Tan, 1998) گزارش کردند تفاوت معنی داری بین غلظت فسفر برگ در گیاهانی که مقدار یکسان نیتروژن از منبع نیتрат 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 نسبت های 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 عدم 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 نسبت های 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 عدم کاربرد اوره شد (جدول ۵). در توجیه کاهش معنی دار غلظت پتاسیم و سدیم شاخساره کاهو می توان گفت که اصل خنثی بودن بار الکتریکی سیتوپلاسم بافت های گیاهی برای انجام صحیح وظایف سلول لازم بوده و آنیون ها و کاتیون های آلی و غیر آلی 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 خصوصا عناصر غذایی کاتیونی را تسهیل می کند. به هنگام تغذیه گیاهان با نیترات به تنهایی ستنز اسیدهای آلی در داخل گیاه افزایش یافته که ترکیب آنیون های آلی حاصل از این اسیدها با کاتیون های پتاسیم، کلسیم و منیزیم منجر به افزایش میزان تجمع آن ها در داخل گیاه می شود (Marschner, 1995). بنابراین موقعی که گیاهان نیترات را جذب می کنند مقدار زیادی از کاتیون های پتاسیم، کلسیم و منیزیم جذب

گیاه شده و به دنبال آن مقدار مشخصی یون هیدروکسیل یا بی-کربنات توسط ریشه به منظور تعادل بار منفی به محیط اطراف ریشه تراوش می شود. موقعی که اوره برای جایگزینی نیترات استفاده می شود ساختار غیر قابل تفکیک و مولکولی غیر یونی اوره، جایگزین نیترات شده و از آن جایی که اوره بدون نیاز گیاه برای تعادل بار جذب می شود کاهش زیادی در جذب یون های دیگر رخ می دهد. این فرآیند همچنین تغییراتی در تعادل حیاتی اسمزی گیاه ایجاد می کند چون که نیترات و اسیدهای آلی ستنز شده در متابولیسم نیترات به عنوان اسمولیت های مهم مطرح هستند (Gerendas and Sattelmacher, 1997). در مطابقت با نتایج پژوهش حاضر خان و همکاران (Khan et 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 لو و همکاران (Luo et al., 1993) کاهش معنی-دار غلظت پتاسیم شاخساره کاهو را در نتیجه جایگزینی نیترات با اوره گزارش کردند. نتایج آزمایش های پارادیسو و همکاران (Paradiso et al., 2014) نشان داد کود آبیاری با اوره منجر به کاهش معنی دار جذب کاتیون های 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 فاقد نیتروژن نیز مشاهده شده است که در نتیجه آن رشد و عملکرد گیاه به دلیل کمبود نیتروژن و کاهش جذب کاتیون ها کاهش یافته است (Kontopoulou et al., 2015). حسینی فرهی و همکاران (Hosseini Farahi et al., 2014) گزارش کردند با افزایش غلظت اوره در محلول غذایی غلظت پتاسیم در برگ گل رز کاهش یافت. خان و همکاران (Khan et al., 2000) اثر بازدارنده اوره بر جذب پتاسیم و منیزیم را در اسفناج تحت شرایط کشت هیدروپونیک گزارش کردند که همگی این پژوهش ها در مطابقت با نتایج پژوهش حاضر بود. با این وجود ایکدا و تان (Ikeda and Tan, 1998) گزارش کردند تفاوت معنی داری از نظر غلظت پتاسیم برگ در گیاهانی که مقدار مساوی نیتروژن از دو منبع نیترات و

نیترات/اوره با نسبت یک به یک در محلول غذایی دریافت کرده بودند مشاهده نشد.

نتایج نشان داد غلظت کلسیم و منیزیم شاخصاره و غلظت منیزیم ریشه کاهو تحت تأثیر نسبت اوره به نیترات قرار نگرفت (جدول ۳ و ۴). در حالی که نسبت‌های مختلف اوره به نیترات منجر به افزایش معنی‌دار غلظت کلسیم ریشه نسبت به عدم کاربرد اوره (نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات) به استثنای نسبت‌های 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 عدم کاربرد اوره به میزان ۵۳٪ افزایش یافت. کمترین غلظت کلسیم ریشه (۴/۴۷ گرم بر کیلوگرم) نیز با کاربرد نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات حاصل شد. در مطابقت با نتایج این پژوهش لو و همکاران (Luo et al., 1993) عدم تأثیرپذیری غلظت کلسیم و منیزیم شاخصاره کاهو را در نتیجه جایگزینی نیترات با اوره در محلول غذایی گزارش کردند. با این وجود خان و همکاران (Khan et al., 1999) افزایش غلظت کلسیم و کاهش غلظت منیزیم شاخصاره اسفناج را در نتیجه جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره گزارش کردند. همچنین ایکدا و تان (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 (عدم کاربرد اوره) به طور معنی‌داری کاهش یافت.

غلظت عناصر کم‌نیاز شاخصاره و ریشه کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات بر غلظت آهن و روی شاخصاره کاهو در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). اما اثر نسبت اوره به نیترات بر غلظت منگنز و مس شاخصاره و غلظت آهن، منگنز، روی و مس ریشه کاهو معنی‌دار نشد (جدول ۱ و ۲). نتایج نشان داد با کاربرد نسبت ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات غلظت آهن شاخصاره کاهو در مقایسه با سایر نسبت‌های اوره به نیترات به طور معنی‌داری افزایش یافت.

بیشترین غلظت آهن شاخصاره کاهو (۳۶۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن (۲۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به ترتیب با کاربرد نسبت‌های ۶۰ به ۴۰ و صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات حاصل شد. کاربرد نسبت ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات منجر به افزایش آهن شاخصاره کاهو به میزان ۵۷ درصد در مقایسه با عدم کاربرد اوره شد (جدول ۵). نتایج نشان داد با افزایش نسبت اوره به نیترات غلظت روی شاخصاره کاهو افزایش یافت. بیشترین غلظت روی شاخصاره کاهو (۱۰۵/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن (۷۶/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های 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 شاخصاره کاهو به میزان ۳۸ درصد در مقایسه با عدم کاربرد اوره شد (جدول ۵).

افزایش معنی‌دار غلظت آهن و روی شاخصاره 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 کاتیون‌ها و آنیون‌های جذب شده توسط ریشه در اثر کاربرد نیترات است. کاربرد نیترات به دلیل افزایش pH محیط ریشه، آهن را در سلول‌های ریشه غیرمتحرک می‌کند. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که میزان آهن در قسمت‌های 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 می‌گردد. با افزایش pH آپوپلاست احیای ترکیبات آهن III کاهش یافته و بنابراین انتقال آهن به سلول‌ها کم می‌شود (Marschner, 1995) که نتیجه آن کاهش غلظت آهن در گیاه با افزایش سهم نیترات در محلول غذایی است. با این وجود در برخی از پژوهش‌ها کاربرد اوره در محلول غذایی منجر به کاهش غلظت عناصر کم‌نیاز در گیاه شده است که در مطابقت با نتایج پژوهش حاضر نبوده است. به عنوان

جدول ۷. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر وزن خشک شاخساره و ریشه کاهو

Table 7. Variance analysis (mean square) for the effect of urea to nitrate ratio in the nutrient solution on the shoot and root dry weights of lettuce

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه
S.O.V.	df	Shoot dry weigh	Root dry weigh
نسبت اوره به نیترات	6	0.27 ^{ns}	0.006 ^{ns}
Urea to nitrate ratio			
خطا	21	0.40	0.012
Error			
ضریب تغییرات (درصد)		9.3	15.8
Coefficient of variation (%)			

^{ns} غیر معنی دار، * معنی دار در سطح ۵ درصد

^{ns} Non significant, * significant at 5%

جدول ۸. مقایسه میانگین تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر وزن خشک شاخساره و ریشه کاهو

Table 8. Mean comparisons of the effect of urea to nitrate ratio in the nutrient solution on the shoot and root dry weights of lettuce

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

میانگین‌ها در هر ستون با حروف مشابه بدون اختلاف معنی دار 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.

خشک شاخساره و ریشه کاهو معنی دار نشد (جدول ۷). بیشترین و کمترین وزن خشک شاخساره به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده 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 تغذیه شده با نسبت‌های ۱۰ به ۹۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات مشاهده شد (جدول ۸).

بر مبنای نتایج این پژوهش جایگزینی تدریجی نیترات محلول غذایی با اوره تأثیری بر وزن خشک شاخساره و ریشه کاهو نداشت. این مسئله نشان‌دهنده آن است که گیاهان کاهو تغذیه

مثال خان و همکاران (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 عدم کاربرد اوره (مصرف نیترات و آمونیوم) شد. همچنین حسینی فرهی و همکاران (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

شده با مخلوطی از نیترات و اوره توانسته‌اند به طور موثری اوره را هیدرولیز کرده و به صورت کارا از آن به عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند. در مطابقت با نتایج این پژوهش لو و همکاران (Luo et al., 1993) مشاهده نمودند در دو گونه *Ipomoea aquatica* و *Brassica chinensis* عملکرد گیاهان تغذیه شده با نیترات به تنهایی و نیترات و اوره (با نسبت یک به یک) تفاوت معنی‌داری با هم نداشت. ایکدا و تان (Ikeda and Tan, 1998) بیان کردند وزن خشک گیاهان گوجه فرنگی که اوره و نیترات با نسبت ۵۰ به ۵۰ دریافت کرده بودند تقریباً مساوی گیاهانی بود که نیترات به تنهایی دریافت کرده بودند. در ضمن بین وزن خشک برگ، ساقه، ریشه و کل گیاهانی که مقدار مساوی 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. یوتوتیرات و رامرونگسری (Uathitirat and Ruamrungsri, 2013) نشان دادند تفاوت معنی‌داری در وزن خشک گیاهان کاهوی تغذیه شده با محلول غذایی حاوی اوره در مقایسه با همان محلول غذایی اما فاقد اوره وجود نداشت که همگی این نتایج در مطابقت با نتایج پژوهش حاضر است. میرمقدم و همکاران (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 تغذیه شده 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.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی پرنیاز و کم‌نیاز شاخساره و ریشه

منابع مورد استفاده

کاهو تأثیر داشت. افزایش نسبت اوره به نیترات منجر به افزایش معنی‌دار غلظت‌های آهن و روی شاخساره و فسفر و کلسیم ریشه کاهو شد. اما غلظت‌های 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 معنی‌داری 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 کرده است. دلیل احتمالی این مسئله، کاربرد اوره با غلظت زیر حد آستانه سمیت اوره برای گیاهان (۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر) و استفاده از نشاهای یک ماهه کاهو دارای سیستم ریشه‌ای کامل می‌باشد. بنابراین کاهوی فرانسوی قرمز دارای ظرفیت جذب و آسمیلاسیون 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 قابل توصیه است. زیرا کود اوره از کودهای حاوی نیترات از قبیل نیترات کلسیم و نیترات پتاسیم ارزان‌تر بوده و کاربرد آن ضمن تضمین رشد مطلوب کاهو بدون کاهش عملکرد برای تامین بخشی از نیتروژن محلول غذایی و کاهش هزینه‌های تولید موثر است.

سپاسگزاری

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

تضاد منافع

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

References

1. 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>
2. 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>
3. Emami, A., 1996. *Methods of Plant Analysis*. Soil and Water Research Institute Press, Tehran.
4. Gerendas, J., Sattelmacher, B., 1997. Significance of N source (urea vs NH_4NO_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>
5. 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)
6. 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>
7. 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>
8. 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.
9. 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>
10. 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_2 -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. Mirmoghdam, 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>

نسخه
پیش
از انتشار