Effects of Different Ratios of Urea to Nitrate in Nutrient Solution on the Growth and Nitrate Accumulation of Red French Lettuce in Soilless Culture

Sahar Naseri, Shahram Kiani and Hamid Reza Motaghian

Introduction

Urea is one of the nitrogen chemical fertilizers for vegetable production in soil. But it is seldom used in soilless cultures. Leafy vegetables such as Lettuce (*Lactuca sativa* L.) contain high levels of nitrate and attempts have been made to reduce the nitrate concentration in this crop for human consumption. Using reduced forms of nitrogen, i.e. urea, is one of the applied strategies for reducing nitrate accumulation in lettuce. Little information is available concerning urea as a source of nitrogen for production of leafy vegetables such as lettuce in soilless culture. This experiment was conducted to investigate the effect of different ratios of urea to nitrate in nutrient solution on the growth indices, yield and nitrate accumulation of red French lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. *Lolla Rossa*) in soilless culture.

Materials and Methods

A hydroponic experiment using completely randomized design was carried out with seven ratios of urea to nitrate in nutrient solution and four replications in the research greenhouse of Shahrekord University. Urea to nitrate ratios in nutrient solution were: 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 and 60:40. Lettuce seedlings were grown in 2 L plastic pots (one plant per pot) containing mixture of cocopeat + perlite at the ratio of 2:1 (v/v) and were manually fertigated with nutrient solutions on a daily basis. Four weeks after transplanting, lettuce plants were harvested and fresh weights of shoot and root were determined. Plant growth indices including of plant height, plant diameter, leaf length, leaf width, leaf number, leaf greenness index and leaf brix level were measured. After measuring the growth indices, the leaves were grouped separately according to leaf numbers 1-10=outer leaves, >11= inner leaves. The samples were dried in an oven at 60 °C and were ground. Nitrate concentrations in samples were determined calorimetrically using a spectrophotometer at a wavelength of 410 nm. Analysis of variance was performed using SAS software version 9.4. Means comparison was conducted using least significant difference test at 0.05 probability level.

Results and Discussion

The results indicated that application of different ratios of urea to nitrate in nutrient solution had not significant effect on the lettuce growth indices including of plant diameter, leaf length, leaf width, leaf number, leaf greenness index and leaf brix level in comparison with 0:100 of urea to nitrate ratio. Also, root and shoot fresh weights were not affected by urea to nitrate ratio in nutrient solution. The greatest quantity of shoot fresh weight (141 g plant^{-1}) was obtained in 50:50 urea to nitrate ratio; of course, it had no significant difference with shoot fresh weight (125 g plant^{-1}) when urea was not supplied in the nutrient solution. Shoot nitrogen concentration (except for plants nourished with a 50:50 urea to nitrate ratio) was not affected by increasing the urea to nitrate ratio in the nutrient solution. The results revealed that application of urea in nutrient solution effectively provided the nitrogen requirement of lettuce. This indicates that lettuce plants can efficiently hydrolyze urea and use it efficiently as a nitrogen source. Application of urea in the nutrient solution led to significant decrease in the nitrate concentration of lettuce root ($P< 0.05$). Also, increasing urea to nitrate ratio in nutrient solution resulted to significant decrease in the nitrate concentration of outer leaves, inner leaves and all leaves of lettuce ($P< 0.01$). The highest and lowest nitrate concentration in inner, outer and all leaves of lettuce were obtained in plants

nourished with 0:100 and 50:50 urea to nitrate ratio in nutrient solution, respectively. Application of urea to nitrate ratio of 50:50 led to the meaningful decrease of nitrate concentration in root (43%), outer leaves (41%), inner leaves (44%) and all leaves (43%) of lettuce in comparison with 0:100 of urea to nitrate ratio. Urea has a repressive effect on nitrate influx and decreases its uptake by plants. Also, after urea uptake by plant root, it is first degraded by cytosolic ureases and then ammonium is incorporated via the GS-GOGAT (Glutamine Synthetase- Glutamine α-OxoGlutarate Amino Transferaze) cycle. Therefore, application of urea in nutrient solution can lead to the reduction of nitrate accumulation in plants.

Conclusions

Based on the shoot fresh weight and nitrate concentration in lettuce leaves, replacing 50% of nitrate in nutrient solution with urea is recommended for red French lettuce production in hydroponic culture under the conditions of the present study. Compared to other nitrogen fertilizers, urea has a lower price and its application in nutrient solution is useful in reducing production costs.

Keywords: Hydroponic, Leafy vegetables, Methemoglobinemia, Nitrogen form

نسخه پیش انتشار

تأثیر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی بر رشد و تجمع نیترات کاهوی فرانسوی قرمز در کشت بدون خاک

سحر ناصری، شهرام کیانی و حمیدرضا متقیان

چکیده

اوره یکی از کودهای شیمیایی نیتروژنه برای تولید سبزی‌ها در خاک است که به ندرت در کشت‌های هیدروپونیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پژوهش به منظور بررسی اثر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص‌های رشدی و تجمع نیترات در 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 محلول غذایی در چهار تکرار به صورت کشت بدون خاک در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد 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 کاربرد نسبت‌های مختلف اوره به نیترات در محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشدی کاهو از قبیل قطر گیاه، طول برگ، عرض برگ، تعداد برگ، شاخص سبزینگی برگ و میزان بریکس برگ در مقایسه با نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات نداشت. همچنین وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو تحت تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی قرار نگرفت. بیشترین وزن تازه شاخساره کاهو (۱۴۱ گرم بر گیاه) با کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات حاصل شد که با عدم کاربرد اوره (۱۲۵ گرم بر گیاه) تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد غلظت نیتروژن شاخساره (به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات) تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی قرار نگرفت. با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات در ریشه، برگهای بیرونی، درونی و کل کاهو به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طوری که بیشترین و کمترین غلظت نیترات در ریشه، برگهای بیرونی، درونی و کل کاهو به ترتیب در گیاهان تغذیه شده با نسبتهای صفر به ۱۰۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی حاصل شد. نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد اوره در محلول غذایی منجر به تامین نیتروژن کاهو شد. این نشان می‌دهد گیاهان کاهو به طور موثری اوره را هیدرولیز کرده و به صورت کارا از آن به عنوان منبع نیتروژن استفاده کرده‌اند. بر اساس وزن تازه شاخساره و غلظت نیترات در کل برگ‌های کاهو، جایگزینی ۵۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره برای تولید کاهوی فرانسوی قرمز در کشت هیدروپونیک در شرایط این پژوهش توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: سبزی‌های برگی، شکل نیتروژن، متهموگلوبینیمیا، هیدروپونیک.

مقدمه

به طور کلی برای تامین نیتروژن مورد نیاز گیاهان در کشت‌های بدون خاک عمدتا از منبع نیترات استفاده می‌شود. اما در سال‌های اخیر استفاده از اوره برای تامین بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه گسترش بیشتری یافته است. بر اساس پژوهش‌های انجام شده زمانی که اوره و نیترات به صورت ترکیبی در محلول غذایی به کار برده شوند عملکرد گیاهان بهبود یافته و یا در برخی از موارد تفاوتی از نظر عملکرد بین گیاهان تغذیه شده با نیترات به تنهایی و کاربرد ترکیبی اوره و نیترات مشاهده نشده است. به عنوان مثال ژو و همکاران (Zhu *et al.*, 1997) گزارش کردند جایگزینی ۲۵ و ۵۰ درصد نیترات محلول غذایی با

اوره منجر به بهبود رشد پاک چوی[1] شد. در همین زمینه باریوسف و همکاران (Bar-Yosef *et al.*, 2009) گزارش کردند تغذیه گل‌های رز با محلول غذایی دارای نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات برای عملکرد مفید بود زیرا منجر به کاهش غلظت آمونیوم در محلول و افزایش pH محلول غذایی شد. گونس و همکاران (Gunes *et al.*, 1996) نشان دادند جایگزینی ۲۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره، اسید آمینه گلایسین و یا مخلوط اسیدهای آمینه اثری بر وزن تازه پیاز نداشته است. خان و همکاران (Khan *et al.*, 1999) در کشت هیدروپونیک اسفناج نشان دادند که جایگزینی ۲۰ و ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی با اوره تأثیر معنی‌داری بر حداکثر طول برگ و تعداد برگ گیاه در مقایسه با عدم کاربرد اوره (مصرف نیتروژن به صورت نیترات و آمونیوم) نداشت. آن‌ها پیشنهاد کردند اوره می‌تواند به عنوان منبع احتمالی نیتروژن در کشت‌های هیدروپونیک به کار برده شود. طباطبایی (Tabatabaei, 2009) گزارش کرد که وزن تازه برگ و درصد ماده خشک خیار تحت تأثیر نوع تغذیه نیتروژنه با اوره و یا نیترات به تنهایی قرار نگرفت. خوشگفتارمنش و بهمن زیاری (Khoshgoftarmanesh and Bahmanziari, 2012) گزارش کردند در صورت تامین نیکل کافی، می‌توان از اوره به عنوان منبع تامین نیتروژن برای خیار (رقم نگین) در محیط های کشت بدون خاک استفاده کرد. سیلوا و همکاران (Silva *et al.*, 2013) گزارش کردند کاربرد نیتروژن به صورت نیترات و یا اوره تأثیری بر درصد ماده خشک غده در سه رقم سیب زمینی در کشت هیدروپونیک نداشت. آن‌ها کاربرد ترکیبی نیتروژن از منبع اوره و نیترات را برای پرورش سیب زمینی در شرایط هیدروپونیک توصیه کردند. با این وجود در برخی از موارد نیز کاربرد اوره در محلول غذایی منجر به کاهش عملکرد گیاه شده است (Luo *et al.*, 1993). به عنوان مثال ژو و همکاران (Zhu *et al.*, 2018) عنوان کردند جایگزینی ۲۰ درصد از نیترات محلول غذایی با اوره و اسید آمینه گلیسین در کلم پیچ چینی منجر به کاهش قابل توجه زیست توده این گیاه شد.

بسیاری از سبزی‌های برگی از قبیل کاهو تجمع‌دهنده نیترات هستند. نیترات در بدن انسان به وسیله باکتری‌ها به نیتریت تبدیل و پس از جذب باعث ایجاد عارضه متهموگلوبینمیا[2] می‌شود که این امر می‌تواند در نوزادان باعث ایجاد سندروم نوزاد کبود شود. از طرف دیگر نیتریت با ترکیبات نیتروساتابل[3] از قبیل آمیدها و آمین‌ها در معده انسان واکنش داده و منجر به تولید ترکیبات ان- نیتروزو می‌شود (Santamaria, 2006) که برخی از ترکیبات آن مثل نیتروزآمین سرطان‌زای قوی در گونه‌های حیوانی بوده و بنابراین می‌توانند منجر به سرطان در انسان شوند (Risch *et al.*, 1985). نتایج تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که کاربرد اوره و نیترات به صورت ترکیبی در محلول غذایی منجر به کاهش تجمع نیترات در سبزیها شده است. لو و همکاران (Luo *et al.*, 1993) گزارش کردند جایگزینی اوره به جای نیترات می‌تواند از تجمع نیترات در کاهو جلوگیری کند. به طور مشابه جایگزینی ۲۰ درصد نیترات با اوره، اسید آمینه گلایسین و یا مخلوط اسیدهای آمینه منجر به کاهش غلظت نیترات و افزایش غلظت نیتروژن در پیاز شد (Gunes *et al.*, 1996). نتایج تحقیقات خان و همکاران (Khan *et al.*, 1999) در کشت هیدروپونیک اسفناج نشان داد با افزایش اوره در محلول غذایی از صفر به ۵۰ درصد کل نیتروژن، غلظت نیترات شاخساره اسفناج به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین مریگوت و همکاران (Merigout *et al.*, 2008a) کاهش غلظت نیترات در گندم و ذرت تغذیه شده با اوره و سولفات آمونیوم را در مقایسه با نیترات آمونیوم در شرایط هیدروپونیک گزارش کردند. در پژوهشی دیگر مشخص شد غلظت نیترات در میوه بوته‌های خیار تغذیه شده با اوره در مقایسه با بوته‌های تغذیه شده با نیترات حدودا ۵۰ درصد کاهش یافت (Tabatabaei, 2009). خوشگفتارمنش و همکاران

[1] Pak-choi (*Brassica chinensis* L)

[2] Methemoglobinemia

[3] Nitrosatable

(Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2011) گزارش کردند کاربرد اوره در مقایسه با نیترات آمونیوم غلظت نیترات برگ کاهو را به طور معنی‌داری کاهش داد. همچنین جایگزینی ۲۰ درصد از نیترات محلول غذایی با هر یک از شکل‌های نیتروژن (آمونیوم، اوره و اسید آمینه گلیسین) میزان نیترات را به میزان قابل‌توجهی در کلم پیچ چینی کاهش داد (Zhu *et al.*, 2018). بنابراین با توجه به موارد فوق تحقیق حاضر سعی دارد اثر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی را بر رشد و تجمع نیترات کاهوی فرانسوی قرمز در کشت بدون خاک مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت طرح کاملاً تصادفی با هفت تیمار شامل نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی در چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد روی کاهوی فرانسوی قرمز رقم لولا رزا به صورت هیدروپونیک انجام شد. نسبت‌های مختلف 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. به‌منظور اجرای آزمایش، بذرهای کاهو پس از ضدعفونی توسط محلول هیپوکلریت سدیم ۱٪ در سینی کشت نشا حاوی کوکوپیت و پرلیت (با نسبت ۲ به ۱ حجمی/حجمی) کاشته شده و روزانه توسط آب مقطر آبیاری شدند. پس از ظهور دو برگ اولیه، کودآبیاری نشاها با یک چهارم غلظت محلول غذایی دمینگوس و همکاران (Domingues *et al.*, 2012) انجام گرفت. به تدریج و با افزایش رشد نشاهای کاهو از محلول‌های غذایی با غلظت یک دوم و سه چهارم غلظت محلول استاندارد استفاده شد. چهار هفته پس از کشت بذور کاهو در ۲۲ آذرماه ۱۴۰۰ و در مرحله پنج تا شش برگی، نشاهای کاهو به گلدان‌های پلاستیکی ۱/۷ لیتری حاوی کوکوپیت و پرلیت (با نسبت ۲ به ۱ حجمی/حجمی) منتقل شدند. برای هر واحد آزمایشی دو گلدان در نظر گرفته شد و در داخل هر گلدان یک بوته کشت شد (مجموعاً ۵۶ گلدان). گلدانهای حاوی گیاهان آزمایشی در یک گلخانه با دمای ۳±۲۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱۰±۶۰ درصد بر روی سکو چیده شدند. برای تهیه محلول غذایی از آب شرب دانشگاه شهرکرد استفاده شد. بدین منظور ابتدا pH، قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، نیترات و کلر آن با استفاده از روش‌های معمول اندازه‌گیری شد (Ali Ehyayi and Behbehanizadeh, 1993). برای تهیه محلول غذایی از فرمولاسیون پیشنهادی دمینگوس و همکاران (Domingues *et al.*, 2012) با کمی تغییرات استفاده شد. در این فرمولاسیون غلظت نیتروژن- نیتراته، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد در محلول غذایی به ترتیب برابر با ۱۰/۵، ۰/۷، ۶/۲، ۳/۵، ۱/۴ و ۱/۴ میلی‌مولار و غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف برای 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. از آنجایی که تامین نیکل برای گیاهان تغذیه شده با اوره ضروری است بنابراین نیکل با غلظت ۰/۰۴ میکرومولار از منبع سولفات نیکل در تمام محلول‌های غذایی مورد استفاده قرار گرفت (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2011). نیکل به عنوان کوفاکتور آنزیم اوره‌آز در هیدرولیز اوره و تبدیل آن به آمونیوم و دی اکسید کربن در گیاهان تغذیه شده با اوره نقش دارد (Marschner, 1995). با لحاظ کردن غلظت عناصر غذایی موجود در آب (جدول ۱)، محاسبات لازم برای حصول به غلظت‌های مورد نظر در محلول‌های غذایی مورد استفاده انجام شد. قابلیت هدایت الکتریکی محلول‌های غذایی تهیه شده بین ۱/۲ تا ۱/۴ دسی-زیمنس بر متر بود. همچنین pH محلول‌های غذایی با استفاده از محلول یک مولار اسید سولفوریک حدود ۵/۴ تنظیم شد. پس از انتقال نشاهای کاهو به گلدان‌ها از محلول غذایی تمام غلظت تیمارهای آزمایشی استفاده شد. محلول غذایی روزانه و به صورت دستی به گیاهان داده شد. نوع سامانه هیدروپونیک مورد استفاده از نوع باز بود و کسر آبشویی بسته به مرحله رشد گیاه بین ۵ تا ۱۰ درصد درنظر گرفته شد تا از تجمع نمک‌ها در بستر جلوگیری شود. سپس مراقبت‌های زراعی معمول در

حین دوره داشت در گلخانه تا زمان برداشت در ۲۲ دیماه ۱۴۰۰ صورت گرفت. در طول دوره آزمایش گیاهان مورد بازبینی روزانه قرار گرفتند تا در صورت وجود علائم ناشی از سمیت اوره به صورت کلروز و نکروز حاشیه برگی (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2011) ثبت شوند.

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

قابلیت هدایت الکتریکی EC	پ.هاش pH	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^{2+}	نیتروژن نیتراته $N\text{-}NO_3^-$	بی کربنات HCO_3^-	کلر Cl^-
($dS\ m^{-1}$)		($mmol\ L^{-1}$)						
0.25	7.6	0.043	0.013	1.0	0.5	0.31	1.5	1.0

پس از گذشت ۴ هفته، بوته‌ها (شامل شاخساره و ریشه) برداشت شده و وزن تازه نمونه‌ها توسط ترازوی رقومی اندازه‌گیری شد. پس از برداشت، یک بوته برای اندازه‌گیری خصوصیات ظاهری گیاه شامل ارتفاع گیاه، قطر گیاه، حداکثر طول و عرض برگ، تعداد برگ، شاخص سبزینگی برگ و غلظت نیترات اختصاص داده شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع، خط‌کش از محل برش بوته تا کنار بلندترین برگ در هر بوته قرار داده شده و ارتفاع اندازه‌گیری شد. برای اندازه گیری قطر بوته نیز ابتدا محیط بوته در قسمت بالایی آن با استفاده از متر اندازه‌گیری شده و سپس قطر بوته محاسبه شد. حداکثر طول و عرض برگ نیز با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. سبزینگی برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج Hansatech مدل CL-01 اندازه‌گیری شد. بدین منظور برای هر واحد آزمایشی ۱۰ قرائت از برگ‌های مختلف انجام شد و سپس میانگین آن‌ها به عنوان شاخص میزان کلروفیل آن واحد در نظر گرفته شد. نمونه‌های شاخساره کاهو به مدت ۷۲ ساعت در آون فن‌دار در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شده و پس از آسیاب کردن، غلظت نیتروژن آنها با استفاده از روش کلدال اندازه‌گیری شد (Karla, 1998). به منظور اندازه‌گیری غلظت نیترات یکی از گیاهان به دو بخش برگ‌های بیرونی (پیرتر، برگهای شماره ۱ تا ۱۰) و برگ‌های درونی (جوان‌تر، برگ‌های شماره ۱۱ به بعد) تقسیم شد (Marsic and Osvald, 2002). سپس غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی و درونی به روش سولفوسالیسیلیک اسید و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. (Cataldo *et al.*, 1975). غلظت نیترات در کل برگ‌های کاهو با استفاده از میانگین وزنی غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی و درونی محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان بریکس برگ (میزان مواد جامد محلول) در یکی دیگر از گیاهان برداشت شده، تعداد ۳ برگ بیرونی (پیرتر) و ۳ برگ درونی (جوان‌تر) در هاونگ خرد شدند. سپس عصاره مخلوط خرد شده تهیه و درجه بریکس آن با دستگاه رفراکتومتر مدل Atago اندازه‌گیری شد. نتایج حاصله توسط نرم افزار آماری SAS نسخه ۹ تجزیه شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص‌های رشدی کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر ارتفاع کاهو در سطح پنج درصد آماری معنی‌دار شد. در حالی که اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر دیگر شاخصهای رشدی از قبیل قطر بوته، طول و عرض برگ و تعداد کل برگ کاهو معنی‌دار نشد (جدول ۲). ارتفاع ساقه در کاهو که آن را می‌توان یکی از شاخص‌های قدرت گیاه در نظر

گرفت بستگی به تغذیه، شرایط محیطی (دمای محیط و طول روز) و عادت رشد گیاه دارد (Alberici *et al.*, 2008). نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد اوره در محلول غذایی تا ۱۰ درصد کل نیتروژن مصرفی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع کاهو در مقایسه با عدم کاربرد اوره در محلول غذایی (نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات) به میزان ۱۸ درصد شد. اما افزایش بیشتر درصد اوره در محلول غذایی تا ۳۰ درصد کل نیتروژن منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع کاهو در مقایسه با نسبت ۱۰ به ۹۰ اوره به نیترات شد. بیشترین ارتفاع کاهو (۱۲/۴ سانتی‌متر) در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۱۰ به ۹۰ اوره به نیترات و کمترین آن (۹/۵ سانتی متر) در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۲۰ به ۸۰ اوره به نیترات در محلول غذایی مشاهده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد قطر بوته تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات در محلول غذایی قرار نگرفت. بیشترین قطر بوته (۲۵/۲ سانتیمتر) و کمترین قطر بوته (۲۳/۳ سانتیمتر) به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های اوره به نیترات ۳۰ به ۷۰ و ۴۰ به ۶۰ مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با قطر گیاه در گیاهان تغذیه شده با نسبت اوره به نیترات صفر به ۱۰۰ نداشت (جدول ۳). نتایج نشان داد طول و عرض برگ کاهو تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات در محلول غذایی قرار نگرفتند. بیشترین طول و عرض برگ به ترتیب در گیاهان تغذیه شده با نسبت‌های ۵۰ به ۵۰ و ۴۰ به ۶۰ اوره به نیترات محلول غذایی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تعداد برگ در گیاهان تغذیه شده با نسبت اوره به نیترات صفر به ۱۰۰ نداشت (جدول ۳). تعداد برگ‌های تشکیل یافته در واحد زمان تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر نور، دما، دسترسی به آب و عناصر غذایی است (Samarakoon *et al.*, 2006). بر مبنای نتایج حاصله بیشترین تعداد برگ (۲۵ عدد) و کمترین تعداد برگ (۲۱ عدد) به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های اوره به نیترات ۴۰ به ۶۰ و ۶۰ به ۴۰ مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با تعداد برگ در گیاهان تغذیه شده با نسبت اوره به نیترات صفر به ۱۰۰ نداشت (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر ارتفاع و قطر گیاه، طول و عرض برگ و تعداد برگ کاهو

Table 2- Variance analysis (mean square) for the effect of urea to nitrate ratio in nutrient solution on height and diameter of the plant, length and width of the leaf and leaf number of lettuce

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	قطر گیاه Plant diameter	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	تعداد برگ Leaf number
نسبت اوره به نیترات Urea to nitrate ratio	6	3.15*	1.91ns	31.98ns	1.79ns	7.20ns
خطا Error	21	0.83	1.24	26.50	1.39	4.35
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		8.4	4.54	31.3	8.2	9.2

ns غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد

ns Non significant, * significant at 5%

برمبنای نتایج این پژوهش جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره تأثیری بر هیچ کدام از شاخص‌های رشدی کاهو به غیر از ارتفاع آن نداشت. این مسئله نشان‌دهنده آن است که گیاهان کاهو تغذیه شده با اوره توانسته‌اند به طور موثری اوره را هیدرولیز کرده و به صورت کارا از آن به عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند. ارتقای رشد گیاهان کاهوی تغذیه شده با اوره و نیکل با بهبود آسیمیلاسیون اوره مرتبط است. گیاهان تامین شده با نیکل می‌توانند به طور موثر اوره را هیدرولیز کرده و به طور موثر از آن به عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2011). نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که جایگزینی بخشی از نیتروژن محلول غذایی از منبع نیترات و یا نیترات به همراه آمونیوم با اوره

تأثیری بر برخی شاخص‌های رشدی گیاهان در کشت‌های هیدروپونیک نداشته است. براساس نتایج پژوهش یوتوتیرات و رامرونگسری (Uathitirat and Ruamrungsri, 2013) در کشت هیدروپونیک کاهو در سیستم لایه نازک محلول غذایی تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع گیاه در گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی حاوی اوره در فاصله زمانی ۴۵ روز پس از کاشت در مقایسه با همان محلول غذایی اما فاقد اوره وجود نداشت. با این وجود گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد اوره ارتفاع و عرض بیشتری در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی حاوی اوره داشتند. همچنین نتایج تحقیقات خان و همکاران (Khan *et al.*, 1999) در کشت هیدروپونیک اسفناج نشان داد که جایگزینی ۲۰ و ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی با اوره تأثیر معنی‌داری بر حداکثر طول برگ و تعداد برگ گیاه در مقایسه با عدم کاربرد اوره (مصرف نیتروژن به صورت نیترات و آمونیوم) نداشت که این امر در مطابقت با نتایج پژوهش حاضر است.

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر ارتفاع و قطر بوته، طول و عرض برگ و تعداد برگ کاهو

Table 3- Mean comparisons of the effect of urea to nitrate ratio in nutrient solution on height and diameter of the plant, length and width of the leaf and leaf number of lettuce

نسبت اوره به نیترات Urea to nitrate ratio	ارتفاع گیاه Plant height	قطر گیاه Plant diameter	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	تعداد برگ Leaf number
	(سانتی متر) (cm)				
0:100	10.5^{bc}	24.6^{a}	15.5^{a}	14.3^{a}	23.0^{a}
10:90	12.4^{a}	24.4^{a}	15.0^{a}	13.6^{a}	22.0^{a}
20:80	9.5^{c}	24.9^{a}	15.5^{a}	14.0^{a}	21.8^{a}
30:70	10.9^{b}	25.2^{a}	15.6^{a}	14.3^{a}	23.0^{a}
40:60	11.2^{ab}	23.3^{a}	15.4^{a}	15.3^{a}	25.0^{a}
50:50	11.2^{ab}	25.3^{a}	15.9^{a}	15.1^{a}	23.8^{a}
60:40	10.4^{bc}	24.3^{a}	15.3^{a}	13.6^{a}	21.0^{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.

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی هیچ گونه علائم ناشی از سمیت اوره به صورت کلروز و نکروز نوک و حاشیه برگ‌ها در گیاهان مورد آزمایش دیده نشد. در این پژوهش غلظت نیتروژن از منبع اوره حداکثر به ۸۸ میلی‌گرم بر لیتر در نسبت ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات رسید. اما این غلظت اوره منجر به بروز سمیت اوره در گیاهان کاهو نشد. به طور مشابه خان و همکاران (Khan *et al.*, 1999) گزارش کردند حتی گیاهان اسفناج تغذیه شده با اوره به میزان ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی (۱۱۲ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن) علائم سمیت اوره را نشان ندادند. تان و همکاران (Tan *et al.*, 2000) گزارش کردند هیچ گونه سمیت اوره در گیاهان گوجه فرنگی که ۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن به شکل اوره به همراه نیکل (با غلظت ۰/۱ یا یک میلی‌گرم بر لیتر) در محلول غذایی دریافت کرده بودند مشاهده نشد. طباطبایی (Tabatabaei, 2009) گزارش کرد که هیچ گونه علائم ناشی از سمیت اوره در خیار موقعی که منبع نیتروژن اوره بود مشاهده نشد. خوشگفتارمنش و همکاران (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2011) نشان دادند گیاهان کاهو به خوبی در محلول غذایی حاوی ۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن از منبع اوره به همراه نیکل رشد کردند بدون این که علائم سمیت اوره را نشان دهند. بنابراین به نظر می‌رسد سمیت اوره در گیاهان در کشت‌های هیدروپونیک در عدم حضور نیکل (Tan *et al.*, 2000) و استفاده از مقادیر زیاد اوره (Luo *et al.*, 1993) بروز کرده است. در بررسی منابع انجام شده اعداد مختلفی برای غلظت نیتروژن از منبع اوره در محلول غذایی برای بروز عوارض ناشی از سمیت آن در گیاهان کشت شده در شرایط

هیدروپونیک ارائه شده است. به عنوان مثال ایکدا و تان (Ikeda and Tan, 1998) گزارش کردند گیاهان گوجه فرنگی تغذیه شده با اوره در غلظت‌های زیاد نیتروژن (۳۳۶ و ۵۰۴ میلی‌گرم بر لیتر) علائم سمیت اوره را نشان دادند. آن‌ها آستانه سمیت غلظت نیتروژن به شکل اوره را در گوجه فرنگی ۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. ساواس و همکاران (Savvas *et al.*, 2013) گزارش کردند محدوده تحمل گیاه به غلظت اوره در محلول غذایی نسبت به نیترات باریک‌تر بوده و بسته به نوع گونه گیاهی بین ۱۹۶ تا ۲۵۲ میلی‌گرم بر لیتر است. بنابراین از آنجایی که در این پژوهش حداکثر غلظت نیتروژن به شکل اوره در محلول غذایی (۸۸ میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با کمترین آستانه سمیت ذکر برای اوره (۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر) در تحقیق ایکدا و تان (Ikeda and Tan, 1998) کمتر بود بنابراین علائم سمیت اوره در گیاهان کاهو مشاهده نشد.

تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص سبزینگی و میزان بریکس برگ کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص سبزینگی و میزان بریکس برگ کاهو معنی‌دار نبود (جدول ۴). کاربرد نسبت ۴۰ به ۶۰ اوره به نیترات در محلول غذایی منجر به بیشترین شاخص سبزینگی در برگ‌های کاهو (۴/۰۰) شد اگرچه تفاوت معنی‌داری با مقادیر این شاخص در برگ‌های گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات نداشت (جدول ۵). شاخص سبزینگی برگ که نشان دهنده شدت رنگ سبز است یکی از شاخص‌های کیفی در کاهو می‌باشد. اندازه‌گیری شاخص سبزینگی برگ روشی غیرمخرب برای برآورد میزان کلروفیل برگ است. میزان کلروفیل از معیارهای مشخصی است که به عنوان شاخص فعالیت فتوسنتزی در کشاورزی به کار می‌رود. از آنجایی که نیتروژن جزو سازنده کلروفیل است بنابراین فراهمی و تامین آن بر میزان کلروفیل گیاه اثر دارد (Marschner, 1995). از طرف دیگر کاربرد اوره در محلول غذایی با تأثیر بر غلظت سایر عناصر غذایی گیاه بر میزان کلروفیل موثر است (Tan *et al.*, 2000). در این پژوهش، عدم تأثیر اوره بر شاخص سبزینگی برگ کاهو نشان‌دهنده آن است که گیاهان کاهو از اوره موجود در محلول غذایی به صورت موثری به عنوان منبع نیتروژن استفاده کرده و آن را در ساخت کلروفیل مورد استفاده قرار داده‌اند. در همین زمینه تان و همکاران (Tan *et al.*, 2000) گزارش کردند بین شاخص سبزینگی برگ در گیاهان گوجه فرنگی تغذیه شده با اوره در حضور نیکل و گیاهان تغذیه شده با نیترات تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. آن‌ها بیان کردند این امر نشان‌دهنده آن است که اوره در شرایط مناسب می‌تواند به خوبی میزان نیتروژن مورد نیاز گیاه را تامین کند. چون نیتروژن یکی از مهمترین ترکیبات تشکیل دهنده کلروفیل در گیاهان است. از آنجایی که کاهو برای تهیه سالاد استفاده می‌شود شاخص سبزینگی برگ آن دارای اهمیت زیادی است. زیرا رنگ تیره‌تر کاهو توسط مصرف کنندگان ترجیح داده می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی، شاخص سبزینگی برگ تحت تأثیر قرار نگرفت که این مسئله از لحاظ بازارپسندی کاهو بسیار مهم است.

میزان بریکس معیاری برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول میوه‌ها و سبزی‌ها است. از آنجایی که اکثر ماده محلول موجود در آب میوه را قندها تشکیل می‌دهند بنابراین این شاخص به عنوان معیاری برای تعیین میزان قندهای محلول در میوه‌ها و سبزی‌ها است. به طوری که افزایش این شاخص در بهبود کیفی کاهو موثر است. نتایج نشان داد میزان بریکس برگ کاهو تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات در محلول غذایی قرار نگرفت. بیشترین و کمترین میزان بریکس برگ به ترتیب در گیاهان تغذیه شده با نسبت‌های ۲۰ به ۸۰ و صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات محلول غذایی مشاهده شد (جدول ۵). تحقیقات اندکی در مورد تأثیر کاربرد اوره در محلول غذایی بر میزان بریکس انجام شده است. نتایج تحقیقات ژو و همکاران (Zhu *et al.*, 2018) نشان داد جایگزینی ۲۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره منجر به افزایش معنی‌دار میزان قند محلول برگ و

ساقه در مقایسه با تیمار نیترات به تنهایی شد. به طور عکس باریوسف و همکاران (Bar-Yosef *et al.*, 2009) گزارش کردند جایگزینی آمونیوم محلول غذایی با اوره به طور قابل توجهی غلظت گلوکز و فروکتوز در برگ‌ها را کاهش داد که دلیل آن احتمالاً کاهش غلظت فسفر در برگ بود. به‌هرحال با توجه به عدم تأثیر معنی‌دار نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر میزان بریکس برگ کاهو نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات انجام شده در این زمینه مطابقت نداشت.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص سبزینگی برگ، میزان بریکس برگ، وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو

Table 4- Variance analysis (mean square) for the effect of urea to nitrate ratio in nutrient solution on leaf greenness index, leaf brix level, root and shoot fresh weights of lettuce

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	شاخص سبزینگی برگ Leaf greenness index	میزان بریکس برگ Leaf brix level	وزن تازه ریشه Root fresh weigh	وزن تازه شاخساره Shoot fresh weigh
نسبت اوره به نیترات Urea to nitrate ratio	6	0.19^{ns}	0.08^{ns}	2.86^{ns}	192.9^{ns}
خطا Error	21	0.14	0.16	4.42	108.0
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		10.5	12.4	18.7	7.8

^{ns} غیر معنی‌دار
^{ns} Non significant

جدول ٥- مقایسه میانگین تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص سبزینگی برگ، میزان بریکس برگ، وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو

Table 5- Mean comparisons of the effect of urea to nitrate ratio in nutrient solution on leaf greenness index, leaf brix level, root and shoot fresh weights of lettuce

نسبت اوره به نیترات Urea to nitrate ratio	شاخص سبزینگی برگ Leaf greenness index	میزان بریکس برگ Leaf brix level	وزن تازه ریشه Root fresh weigh	وزن تازه شاخساره Shoot fresh weigh
			(گرم بر گیاه) (g plant^{-1})	
0:100	3.49^{a}	2.90^{a}	11.37^{a}	125.0^{a}
10:90	3.42^{a}	3.25^{a}	12.03^{a}	139.7^{a}
20:80	3.40^{a}	3.35^{a}	11.55^{a}	124.1^{a}
30:70	3.72^{a}	3.17^{a}	10.75^{a}	136.1^{a}
40:60	4.00^{a}	3.30^{a}	12.35^{a}	135.4^{a}
50:50	3.72^{a}	3.20^{a}	10.65^{a}	141.3^{a}
60:40	3.73^{a}	3.27^{a}	9.92^{a}	128.8^{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.

تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو معنی‌دار نشد (جدول ۴). بیشترین وزن تازه ریشه (۱۲/۳۵ گرم بر گیاه) و کمترین مقدار آن (۹/۹۲ گرم بر گیاه) به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های ۴۰ به ۶۰ و ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات در محلول غذایی مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با وزن تازه گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد اوره نداشت. همچنین بیشترین وزن تازه شاخساره (۱۴۱/۳ گرم بر گیاه) و

کمترین آن (۱۲۴/۱ گرم بر گیاه) به ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با محلول‌های غذایی دارای نسبت ۵۰ به ۵۰ و ۲۰ به ۸۰ اوره به نیترات محلول غذایی مشاهده شد (جدول ۵). برمبنای نتایج این پژوهش جایگزینی تدریجی نیترات محلول غذایی با اوره تأثیری بر وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو نداشت. این مسئله نشان‌دهنده آن است که گیاهان کاهو تغذیه شده با اوره و نیترات توانسته‌اند به طور موثری اوره را هیدرولیز کرده و به صورت کارا از آن به عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند. در همین زمینه ایکدا و تان (Ikeda and Tan, 1998) عنوان کردند موقعی که گیاهان گوجه فرنگی با محلول غذایی دارای ۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن تغذیه شدند وزن خشک گیاهانی که اوره و نیترات با نسبت ۵۰ به ۵۰ دریافت کرده بودند تقریبا مساوی گیاهانی بود که نیترات به تنهایی و یا نیترات + آمونیوم دریافت کرده بودند. همچنین بین وزن خشک برگ، ساقه، ریشه و کل گیاهانی که مقدار مساوی نیتروژن (۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر) از منبع نیترات به تنهایی و 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. از طرف دیگر اوره به دلیل ماهیت غیریونی به پایداری pH محلول غذایی نیز کمک می‌کند. به طور مشابه گونس و همکاران (Gunes *et al.*, 1996) نشان دادند جایگزینی ۲۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره، اسید آمینه گلایسین و یا مخلوط اسیدهای آمینه اثری بر وزن تازه پیاز نداشته است. همچنین نتایج پژوهش یوتوتیرات و رامرونگسری (Uathitirat and Ruamrungsri, 2013) در کشت هیدروپونیک کاهو در سیستم لایه نازک محلول غذایی نشان دادند تفاوت معنی‌داری در وزن خشک گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی حاوی اوره در فاصله زمانی ۴۵ روز پس از کاشت در مقایسه با همان محلول غذایی اما فاقد اوره وجود نداشت که این نتایج در مطابقت با نتایج پژوهش حاضر است.

تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیتروژن شاخساره و غلظت نیترات ریشه و شاخساره کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیترات ریشه کاهو در سطح پنج درصد آماری و بر غلظت نیتروژن شاخساره و غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی، درونی و همچنین کل برگ‌های کاهو در سطح یک درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۶). نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین غلظت نیتروژن شاخساره در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در مقایسه با عدم کاربرد اوره در محلول غذایی (نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات) مشاهده شد. بیشترین غلظت نیتروژن شاخساره (۴۴/۶ گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن (۳۴/۹ گرم بر کیلوگرم) به ترتیب در گیاهان تغذیه شده با نسبت‌های ۲۰ به ۸۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات مشاهده شد (جدول ۷). بر مبنای نتایج حاصله، جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره تاثیری بر وضعیت تغذیه نیتروژن کاهو (به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات) نداشته است. این مسئله نشان‌دهنده آن است که اوره کاربردی در محلول غذایی توسط ریشه گیاه جذب شده و پس از آسیمیلاسیون مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که اوره مصرفی در محلول غذایی در کشت‌های هیدروپونیک توسط ریشه گیاه جذب شده و به صورت مولکول کامل در برخی محصولات از قبیل غلات (Merigout *et al.*, 2008a) و گوجه فرنگی (Tan *et al.*, 2000) در گیاه انتقال مجدد می‌یابد. در همین زمینه مریگوت و همکاران (Merigout *et al.*, 2008b) در تحقیق خود در مورد جذب و آسیمیلاسیون اوره در گیاه آرابیدوپسیس در شرایط هیدروپونیک نشان دادند که اوره قبل از هیدرولیز در محلول غذایی، مستقیما توسط سلول‌های ریشه آرابیدوپسیس جذب شد. نتایج

آزمایش‌های حاصله با استفاده از اوره دارای نیتروژن نشان‌دار (^{15}N) ثابت کرد اوره قادر است از غشای سیتوپلاسمایی سلول‌های ریشه به صورت مولکول کامل عبور کرده و این امر به وضعیت نیتروژن اولیه گیاه ارتباطی ندارد. بخشی از اوره در بافت ریشه، توسط اوره‌آز سیتوپلاسمی تجزیه شده و آمونیوم حاصل از آن از طریق چرخه GS-GOGAT[1] آسیمیله شده است. آن‌ها همچنین عنوان کردند بخش قابل توجهی (۲۰ درصد) از اوره جذب شده توسط ریشه‌ها قبل از هیدرولیز توسط آنزیم اوره‌آز سیتوپلاسمی سلول‌های ریشه به قسمت‌های هوایی گیاه انتقال داده می‌شود. در مطابقت با نتایج این پژوهش حاضر خان و همکاران (Khan *et al.*, 1999) در بررسی وضعیت نیتروژن شاخساره گیاه اسفناج تحت شرایط کشت هیدروپونیک 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 (عدم کاربرد اوره) وجود نداشت. لازم به ذکر است کاهش معنی‌دار غلظت نیتروژن شاخساره کاهو در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در مقایسه با سایر نسبت‌ها (جدول ۷) احتمالا می‌تواند به دلیل اثر رقت باشد. چرا که گیاهان تغذیه شده با این نسبت بیشترین وزن تازه شاخساره کاهو را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیتروژن شاخساره و غلظت نیترات در ریشه، برگ‌های بیرونی، برگهای درونی و کل برگ‌های کاهو

Table 6- Variance analysis (mean square) for the effect of urea to nitrate ratio in nutrient solution on shoot nitrogen concentration and nitrate concentration in root, outer leaves, inner leaves and all leaves of lettuce

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	نیتروژن شاخساره Shoot nitrogen	نیترات ریشه Root nitrate	نیترات برگ‌های بیرونی Outer leaves nitrate	نیترات برگ‌های درونی Inner leaves nitrate	نیترات کل برگ‌ها Nitrate of all leaves
نسبت اوره به نیترات Urea to nitrate ratio	6	45.58**	420819*	751247**	439623**	625165**
خطا Error	21	9.78	140435	79064	74194	54024
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		7.5	21.0	11.8	18.3	11.0

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

* significant at 5%, * significant at 1%

نتایج نشان داد با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین غلظت نیترات ریشه (۲۱۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن (۱۲۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به ترتیب با کاربرد نسبت‌های صفر به ۱۰۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات محلول غذایی حاصل شد (جدول ۷). همچنین تغذیه گیاهان کاهو با نسبت‌های ۴۰ به ۶۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات منجر به کاهش غلظت نیترات ریشه کاهو در مقایسه با نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات به ترتیب به میزان ۳۱ و ۴۳ درصد شد. بر مبنای نتایج حاصله با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی کاهو به طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی (۱۸۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی و بیشترین آن (۳۱۵۶ میلی‌گرم بر

[1] Glutamine Synthetase- Glutamine α-OxoGlutarate Amino Transferaze

کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات مشاهده شد. با کاربرد ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد کل نیتروژن به شکل اوره، غلظت نیترات برگ‌های بیرونی در مقایسه با عدم کاربرد اوره به ترتیب ۲۹، ۱۷، ۲۶، ۲۰، ۴۱ و ۴۰ درصد کاهش یافت (جدول ۷). به طور مشابه با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات در برگ‌های درونی کاهو به طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین غلظت نیترات در برگ‌های درونی (۱۱۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی و بیشترین آن (۲۰۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات مشاهده شد. با کاربرد ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد کل نیتروژن به شکل اوره، غلظت نیترات برگ‌های درونی در مقایسه با عدم کاربرد اوره به ترتیب ۱۴، ۴۰، ۳۳، ۳۵، ۴۴ و ۳۶ درصد کاهش یافت (جدول ۷). نتایج تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیترات کل برگ‌های کاهو نیز نشان داد با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات در کل برگ‌های کاهو به طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین غلظت نیترات در کل برگ‌های کاهو (۱۶۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی و بیشترین آن (۲۸۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات مشاهده شد. با کاربرد ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد کل نیتروژن به شکل اوره، غلظت نیترات کل برگ‌های کاهو در مقایسه با عدم کاربرد اوره به ترتیب ۲۸، ۱۹، ۳۰، ۲۵، ۴۳ و ۳۶ درصد کاهش یافت (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیتروژن شاخساره (گرم بر کیلوگرم وزن خشک) و غلظت نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) در ریشه، برگ‌های بیرونی، برگهای درونی و کل برگ‌های کاهو

Table 7- Mean comparisons of the effect of urea to nitrate ratio in nutrient solution on shoot nitrogen concentration (g kg^{-1} dry weight) and nitrate concentration (mg kg^{-1} fresh weight) in root, outer leaves, inner leaves and all leaves of lettuce

نسبت اوره به نیترات Urea to nitrate ratio	نیتروژن شاخساره Shoot nitrogen	نیترات ریشه Root nitrate	نیترات برگ‌های بیرونی Outer leaves nitrate	نیترات برگ‌های درونی Inner leaves nitrate	نیترات کل برگ‌ها Nitrate of all leaves
0:100	44.1^{a}	2141^{a}	3156^{a}	2085^{a}	2852^{a}
10:90	41.0^{a}	1863^{ab}	2253^{bcd}	1798^{a}	2055^{bc}
20:80	44.6^{a}	2069^{a}	2629^{b}	1257^{b}	2314^{b}
30:70	40.6^{a}	1883^{ab}	2340^{bc}	1390^{b}	1993^{bc}
40:60	43.5^{a}	1480^{bc}	2526^{b}	1364^{b}	2130^{bc}
50:50	34.9^{b}	1225^{c}	1861^{d}	1161^{b}	1621^{d}
60:40	43.2^{a}	1822^{ab}	1986^{cd}	1343^{b}	1812^{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.

کاهش غلظت نیترات در بخش‌های مختلف کاهو در نتیجه کاربرد اوره در محلول غذایی دلایل مختلفی دارد. از یک طرف اوره اثر بازدارنده بر جریان جذب نیترات داشته (Merigout *et al.*, 2008b) و جذب آن توسط گیاه را کاهش می‌دهد. بنابراین کوددهی با اوره در ترکیب با کودهای حاوی نیترات و آمونیوم راهی برای کاهش غلظت نیترات در گیاهان است. در گیاهان یک سیستم انتقال تخصصی برای تعیین میزان جذب نیترات از محیط توسعه یافته است. ژن‌های دخیل در سیستم انتقال نیترات متعلق به ناقلین نیترات/پپتید (NPFs)، ناقل نیترات (NRT2) و ژن‌های مرتبط با آسیمیلاسیون نیترات (NAR2) هستند (Tsay *et al.*, 2007). خانواده NRT2 بخشی از یک ابرخانواده تسهیل‌کننده اصلی جذب نیترات هستند (Gu *et al.*, 2016). سیستم انتقال نیترات القاپذیر است و تحت تأثیر غلظت نیترات و سایر شکل‌های نیتروژن است (Tsay *et al.*, 2007; Zanin *et al.*, 2015). پیشنهاد شده است که دلیل ممانعت اوره از القای جذب نیترات، به‌واسطه فراوانی

کمتر ناقلین ZmNRT2.1 و ZmNAR2.2 است (Zanin *et al.*, 2015). نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داد که افزودن اوره یا گلیسین به محلول غذایی حاوی نیترات به طور قابل توجهی نیترات را کاهش داد و منجر به کاهش ظرفیت جذب نیترات توسط کلم‌پیچ چینی شد (Song *et al.*, 2016). از طرف دیگر اوره جذب شده توسط گیاه در سیتوپلاسم سلولهای ریشه و برگ توسط آنزیم اوره‌آز سیتوپلاسمی هیدرولیز شده و آمونیوم حاصل از آن از طریق چرخه GS-GOGAT آسیمیله شده (Merigout *et al.*, 2008b) و ضمن تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه در کاهش غلظت نیترات در بخش‌های مختلف گیاه موثر است. این مطلب نشان‌دهنده آنست که اوره می‌تواند به صورت کارا و به عنوان منبع نیتروژن مورد استفاده کاهو قرار گیرد. لازم به ذکر است کاهش غلظت نیترات محلول‌های غذایی مورد استفاده در این پژوهش با افزایش نسبت اوره به نیترات در تیمارهای آزمایشی و جایگزینی نیتروژن آن از منبع اوره نیز در کاهش غلظت نیترات در کاهو موثر بوده است. این در حالی است که بررسی وضعیت تغذیه نیتروژن شاخساره کاهو حاکی از آن است که غلظت نیتروژن شاخساره به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات تحت تأثیر کاربرد اوره در محلول غذایی قرار نگرفته است (نتایج ارائه نشده است). بنابراین به نظر نمی‌رسد مشکلی از لحاظ تامین نیتروژن مورد نیاز گیاهان کاهو با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی وجود داشته باشد. نتایج تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که جایگزینی اوره به جای نیترات می تواند از تجمع نیترات در سبزی‌های میوه‌ای نظیر گوجه فرنگی (Tan *et al.*, 2000) و سبزی‌های برگی نظیر کاهو (Luo *et al.*, 1993) جلوگیری کند. خان و همکاران (Khan *et al.*, 1999) در کشت هیدروپونیک اسفناج گزارش کردند بیشترین غلظت نیترات شاخساره در تیمار عدم کاربرد اوره (مصرف نیتروژن به صورت نیترات و آمونیوم) و کمترین آن با کاربرد ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به صورت اوره دیده شد. نتایج نشان داد با افزایش درصد اوره در محلول غذایی غلظت نیترات شاخساره اسفناج کاهش یافت. تان و همکاران (Tan *et al.*, 2000) گزارش کردند با کاربرد اوره در محلول غذایی با و بدون کاربرد نیکل، غلظت نیترات در برگ‌های گوجه فرنگی در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با نیترات به طور معنی‌داری کاهش یافت. حسینی و همکاران (Hosseini *et al.*, 2012) گزارش کردند غلظت نیترات شاخساره کاهو در بوته‌های رشد کرده در محلول غذایی حاوی اوره از بوته‌های تغذیه شده با نیترات آمونیوم کمتر بود. کاهش غلظت نیترات گیاه در نتیجه کاربرد اوره در محلول غذایی در کاهو (Hosseini *et al.*, 2012)، اسفناج (Khan *et al.*, 1999, 2000)، پیاز (Gunes *et al.*, 1996)، خیار (Tabatabaei, 2009)، کلم پیچ چینی (Zhu *et al.*, 2018) و گوجه فرنگی (Tan *et al.*, 2000) نیز مشاهده شده است که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

نتایج نشان داد غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی کاهو بیشتر از برگ‌های درونی کاهو بود (جدول ۷). بر اساس پژوهش-های انجام شده بخش‌های مختلف گیاهان نیترات را به‌طور مساوی در خود تجمع نمی‌دهند. در کاهو برگ‌های بیرونی در مقایسه با برگ‌های درونی تا پنج برابر نیترات بیشتری داشتند (Abu-Rayyan *et al.*, 2004). نیترات توسط ریشه جذب شده و از طریق آوندهای چوبی به بخش‌های هوایی گیاه منتقل می‌شود. از آنجایی که سرعت حرکت شیره خام در آوند چوب تابع میزان تعرق گیاه می‌باشد بنابراین بخش‌هایی که سطح بیشتری دارند تعرق بیشتری داشته و میزان بیشتری نیترات دریافت می‌کنند (Marschner, 1995). بنابراین از آن‌جایی که سطح برگ‌های بیرونی کاهو خیلی بیشتر از سطح برگ‌های درونی آن می‌باشد این مسئله منجر به غلظت بیشتر نیترات در برگ‌های بیرونی کاهو شده است. از طرف دیگر نیترات اغلب در قسمت‌های مسن گیاه مثل برگ‌های بیرونی تجمع می‌یابد زیرا در این قسمت‌ها برخلاف گیاهان نسبتا جوان فعالیت آنزیم احیاکننده نیترات کمتر است (Biemond and Vos, 1992). در مورد غلظت استاندارد نیترات در سبزی‌های برگی اتحادیه اروپا مقدار ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه را به عنوان حد مجاز معرفی کرده است (Santamaria, 2006). بر اساس

نتایج جدول یک غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی و کل برگ‌های گیاهان تغذیه شده با نسبت اوره به نیترات صفر به ۱۰۰ (فاقد اوره) بیشتر از ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه بود. اما کاربرد اوره در محلول غذایی به جای نیترات حتی در مقادیر کم (نسبت ۱۰ به ۹۰ اوره به نیترات) منجر به کاهش غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی و کل برگ‌های کاهو به زیر حد مجاز شد. این مطلب نشان‌دهنده آن است که حتی جایگزینی ۱۰ درصد نیتروژن محلول غذایی با اوره منجر به کاهش غلظت نیترات در شاخساره کاهو شده است. به‌هرحال این کاهش از لحاظ تغذیه‌ای دارای اهمیت زیادی بوده و مصرف این نوع کاهو خطری را برای سلامتی انسان به لحاظ غلظت نیترات ایجاد نمی‌کند.

نتیجه گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی تا نسبت ۶۰ به ۴۰ تأثیر معنی‌داری بر وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو نداشت. همچنین هیچ گونه علائم ناشی از سمیت اوره به صورت کلروز و نکروز نوک و حاشیه برگ‌ها در گیاهان مورد آزمایش دیده نشد. از طرف دیگر هیچ کدام از شاخص‌های رشدی به استثنای ارتفاع گیاه تحت تاثیر افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی قرار نگرفتند. همچنین غلظت نیتروژن شاخساره (به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات) تحت تأثیر کاربرد اوره در محلول غذایی قرار نگرفت. این امر نشان‌دهنده آن است جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره با تامین نیتروژن مورد نیاز کاهو رشد آن را تضمین کرده است. احتمالا کاربرد اوره با غلظت زیر حد آستانه سمیت اوره برای گیاهان (۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر) و استفاده از نشاهای یک ماهه کاهو که دارای سیستم ریشه‌ای کامل بودند در این امر موثر بود. با این حال افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی منجر به کاهش تجمع نیترات در ریشه و شاخساره کاهو شد که از لحاظ سلامتی مصرف‌کننده دارای اهمیت زیادی است. بر مبنای نتایج این پژوهش و بر اساس وزن تازه شاخساره و غلظت نیترات در کل برگ‌های کاهو، جایگزینی ۵۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره برای تولید کاهوی فرانسوی قرمز در کشت هیدروپونیک قابل توصیه است. این مسئله در مدیریت محلول‌های غذایی در کشت‌های هیدروپونیک از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا کود اوره از کودهای نیتراته ارزان‌تر بوده و کاربرد آن در محلول‌های غذایی در کاهش هزینه‌های تولید موثر است.

منابع

1- Abu-Rayyan A., Khraiwesh, B., & Al-Ismail, K.M. (2004). Nitrate content in lettuce (*Lactuca sativa* L.) heads in relation to plant spacing, nitrogen form and irrigation level. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(9), 931-936. http://doi:10.1002/jsfa.1733

2- Alberici, A., Quattrini, E., Penati, M., Martinetti, L., Marino-Gallina, P., & Ferrante, A. (2008). Effect of the reduction of nutrient solution concentration on leafy vegetables quality grown in floating system. *Acta Horticulturae*, 801, 1167-1176. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.801.142

3- Ali Ehyayi, M., & Behbehanizadeh, A.A. (1993). Methods of Soil Analysis. Soil and Water Research Institute Press, Tehran. (In Persian).

4- Bar-Yosef, B., Mattson, N.S., & Lieth, H.J. (2009). Effects of NH_4:NO_3: urea ratio on cut roses yield, leaf nutrients content and proton efflux by roots in closed hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 610–619. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.019

5- Biemond, H., and Vos, J. (1992). Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 2: The partitioning of dry matter, nitrogen and nitrate. *Annals of Botany*, *70*(1), 37-45.
6- Cataldo, D., Maroon, M., Schrader, L.E., & Youngs, V.L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis,* 6(1), 71-80. http://doi:10.1080/00103627509366547
7- 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. *Computers and Electronics in Agriculture,* 84(1), 53-61. https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006
8- Gu, C.S., Song, A.P., Zhang, X.X., Wang, H.B., Li, T., Chen, Y., Jiang, J.F., Chen, F.D., & Chen, S.M. (2016). Cloning of chrysanthemum high-affinity nitrate transporter family CmNRT2) and characterization of CmNRT2.1. *Scientific Reports,* 6,23462. https://doi.org/10.1038/srep23462
9- Gunes, A., Inal, A., & Mehmet, A. (1996). Reducing nitrate content of NFT grown winter onion plants (*Allium cepa* L.) by partial replacement of NO_3^- with amino acid in nutrient solution. *Scientia Horticulturae,* 65(2-3), 203-208. https://doi.org/10.1016/0304-4238(95)00864-0
10- Hosseini, F., Khoshgoftarmanesh, A.H., & Afyuni, M. (2012). Influence of nickel nutrition and nitrogen source on growth and yield of lettuce in hydroponic culture. *Journal of Soil and Plant Interactions,* 3(1), 53-62. (In Persian with English Abstract).
11- Ikeda, H., & Tan, X. (1998). Urea as an organic nitrogen source for hydroponically grown tomatoes in comparison with inorganic nitrogen sources. *Soil Science and Plant Nutrition,* 44(4), 609-615. https://doi.org/10.1080/00380768.1998.10414484
12- Karla, Y.P. (1998). Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group. London.
13- 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 Science and Plant Nutrition,* 45(3), 569-575. https://doi.org/10.1080/00380768.1999.10415820
14- Khan, N.K., Watanabe, M., & Watanabe, Y. (2000). Effect of partial urea application on nutrient absorption by hydroponically grown spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Soil Science and Plant Nutrition,* 46(1), 199-208. https://doi.org/10.1080/00380768.2000.10408775
15- Khoshgoftarmanesh, A.H., & Bahmanziari, H. (2012). Stimulating and toxicity effects of nickel on growth yield and fruit quality of cucumber supplied with different nitrogen sources. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science,* 175(3), 474-481. https://doi.org/10.1002/jpln.201100241
16- Khoshgoftarmanesh, 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. *Scientia Horticulturae,* 130(2), 381-385. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.009
17- 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. *Journal of Plant Nutrition,* 16(5), 797-812. https://doi.org/10.1080/01904169309364575
18- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.

19- Marsic, N.K., & Osvald, J. (2002). Effects of different nitrogen levels on lettuce growth and nitrate accumulation in iceberg lettuce (*Lactuca sativa* var. Capitata) grown hydroponically under greenhouse conditions. *Gartenbauwissenschaft*, 67(4),128-134.
20- Merigout, P., Gaudon, V., Quiller, I., Briand, X., & Daniel-Vedele, F. (2008a). Urea use efficiency of hydroponically grown maize and wheat. *Journal of Plant Nutrition,* 31(3),427–443. https://doi.org/10.1080/01904160801894970
21- 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 Physiology*, 147(3): 1225-1238. https://doi.org/10.1104/pp.108.119339
22- Risch H.A., Jain M., Choi N.W., Fodor J.G., Pfeiffer C.J., Howe G.R., Harrison L.W., Craib K.J.P., & Miller A.B. (1985). Dietary factors and the incidence of cancer of the stomach. *American Journal of Epidemiology,* 122(6), 947-949. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a114199
23- Samarakoon, U.C., Weerasighe, P.A., & Weerakodi, A.P. (2006). Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture. Tropical Agricultural Research. 18(1), 13-21.
24- Santamaria, P. (2006). Nitrate in vegetables: toxicity content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 86(1), 10-17. https://doi.org/10.1002/jsfa.2351
25- Savvas, D., Gianquinto, G.P., Tüzel, Y., & Gruda, N. (2013). Soilless Culture. p. 303-354. In: Baudoin, W., Nono-Womdim, R., Lutaladio, N., Hodder, A., Castilla, N., Leonardi, C., De Pascale, S., Qaryouti, M. (eds.) Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops. Principles for Mediterranean Climate Areas. FAO. Rome.
26- Silva, J., França, M., Gomide, F., & Magalhaes, J. (2013). Different nitrogen sources affect biomass partitioning and quality of potato production in a hydroponic system. *American Journal of Potato Research*, 90(2), 179-185. https://doi.org/10.1007/s12230-012-9297-5
27- Song, S.W., Li, G., Sun, G.W., Liu, H.C., & Chen, R.Y. (2016). Uptake kinetics of different nitrogen forms by Chinese Kale. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47 (11),1372–78. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1178279
28- Tabatabaei, S.J. (2009). Supplements of nickel affect yield, quality, and nitrogen metabolism when urea or nitrate is the sole nitrogen source for cucumber. *Journal of Plant Nutrition*, 32(5), 713-724. https://doi.org/10.1080/01904160902787834
29- 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. Scientia Horticulturae, 84(3-4), 265–273. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00107-7
30- Tsay, Y.F., Chiu, C.C., Tsai, C.B., Ho, C.H., & Hsu, P.K. (2007). Nitrate transporters and peptide transporters. *FEBS Letters,* 581(12), 2290–300. https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.04.047.
31- Uathitirat, J., & Ruamrungsri, S. (2013). *Effects of urea as a nitrogen source on growth of lettuce grown in hydroponic*. P. 37-39. In International Graduate Research Conference. 20 December 2013. Chiang Mai University, Thailand.

32- Zanin, L., Zamboni, A., Monte, R., Tomasi, N., Varanini, Z., Cesco, S., & Pinton, R. (2015). Transcriptomic analysis highlights reciprocal interactions of urea and nitrate for nitrogen acquisition by maize roots. *Plant and Cell Physiology*, 56(3), 532-48. https://doi.org/10.1093/pcp/pcu202
33- 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. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(11), 1384-1393. https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1464179
34- Zhu, Z., Gerendas, J., & Sattelmacher, B. (1997). *Effects of Replacing of Nitrate with Urea or Chloride on the Growth and Nitrate Accumulation in Pak-Choi in the Hydroponics.* p. 963-964. In: Ando, T., Fujita, K., Mae, T., Matsumoto, H., Mori, S., Sekiya, J. (eds.) Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. The Netherlands.

نسخه پیش انتشار