مقایسه کاهو و اسفناج تغذیه شده با نیترات یا آمونیوم در سیستم هیدروپونیک

حمیدرضا روستا[۱*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۶/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۲/۱۱)

چکیده

بیشتر گونه‌های گیاهی نسبت به غلظت‌های زیاد آمونیوم حساسند. این آزمایش به منظور بررسی تأثیر منبع نیتروژن بر رشد رویشی، غلظت کلروفیل a و b، و جزءبندی عناصر در گیاه در قالب طرح فاکتوریل با دو عامل شامل منبع نیتروژن (آمونیوم و نیترات) و گونه گیاهی (کاهو و اسفناج) بر پایه طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار اجرا شد. بذور گیاهان در گلدان‌های سفالی حاوی مخلوط پرلیت، ماسه و خاک رس کشت شدند. بعد از دو هفته، نشاها در مرحله دو برگی به داخل گلدان‌های چهار لیتری حاوی محلول هوادهی شده انتقال یافتند، به طوری که در هر گلدان ۴ گیاه کشت شد. تیمارها شامل آمونیوم و نیترات در غلظت ۵ میلی‌مولار بود. نتایج نشان داد که در مقایسه با نیترات، آمونیوم سبب کاهش رشد هر دو گیاه شد. غلظت عناصر پتاسیم، منیزیم، و سدیم با تغذیه آمونیوم در هردوگیاه کاهش یافت. کاهش غلظت پتاسیم و منیزیم در بافت‌های گیاهانی که با آمونیوم تغذیه شدند ممکن است در ایجاد علائم سمیت آمونیوم نقش داشته باشد. تغذیه هر دو گیاه با آمونیوم باعث افزایش فسفر در ریشه و اندام هوایی شد. مقدار کلروفیل a و b در گیاهان اسفناج و کاهوی تغذیه شده با آمونیوم بسیار بیشتر از گیاهان تغذیه شده با نیترات بود.

واژه‌های کلیدی: آبکشت، سبزی، عناصر غذایی، کلروفیل، نیتروژن

مقدمه

اکثر گیاهان می‌توانند از نیترات و آمونیوم به‌عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند (۵ و ۱۳) ولی نیترات را به آمونیوم ترجیح می‌دهند، اگرچه کاربرد همزمان این دو ترکیب اثرات مفیدی بر رشد و محصول دارد (۱۱ و ۱۴). میزان اثربخشی هر کدام از آنها به مرحله رشد گیاه، میزان جذب عناصر غذایی، گونه گیاهی و نسبت نیترات به آمونیوم بستگی دارد (۵). برای مثال، رشد مطلوب ریشه‌های گوجه‌فرنگی در خاکی با نسبت نیترات به آمونیوم ۱: ۳ به‌دست می‌آید و اگر غلظت آمونیوم بیش از حد زیاد باشد از رشد جلوگیری می‌کند. در صورتی که کاج میلاد به غلظت به نسبت زیاد آمونیوم پاسخ مثبت می‌دهد (۸).

فیزیولوژیست‌ها درصدد یافتن این نکته هستند که چرا گیاهان در حضور نیترات رشد بهتری نسبت به آمونیوم دارند. همچنین دلیل رشد بهتر گیاهان در محیط حاوی مخلوط آمونیوم و نیترات در مقایسه با محیط حاوی هر یک از این یون‌ها به تنهایی به‌خوبی مشخص نشده است. مخلوط نیترات و آمونیوم آثار مفیدی بر رشد و نمو گیاه دارد، از جمله: ذخیره انرژی، به حداقل رساندن تغییرات pH و بهبود بخشیدن تولید ATP (۴). فرایند کاهش نیترات در گیاه نیاز به انرژی زیادی دارد که به وسیله فرایند تنفس یا فسفریلاسیون نوری تأمین

۱. استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

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

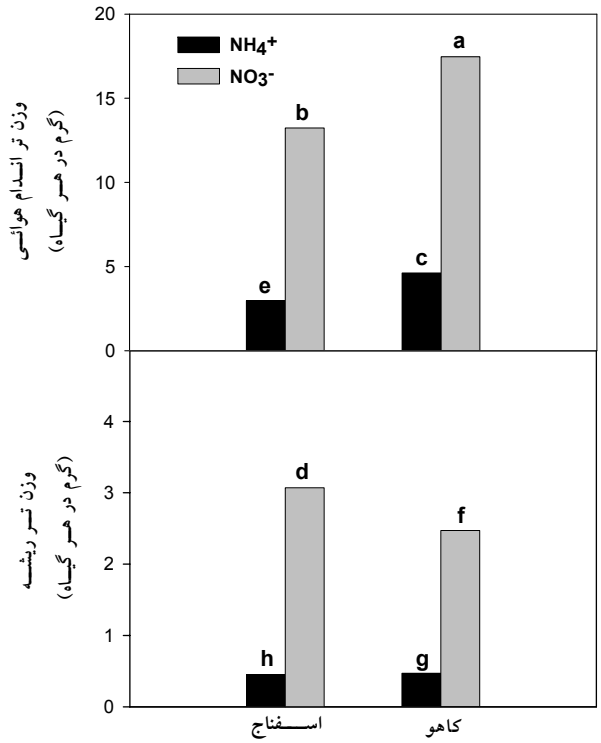
می‌شود، درحالی که آمونیوم که شکل احیای نیتروژن است، به انرژی زیادی نیاز ندارد. بیشتر کودهای نیتروژنی که به خاک‌های گرم و زهکش‌دار اضافه می‌شود سریعاً به نیترات اکسید می‌شوند، بنابراین باید استفاده از آمونیوم به‌عنوان منبع نیتروژن با درک صحیح از محیطی که گیاه در آن رشد می‌کند همراه باشد. شرایط رشد و نمو گیاه در سیستم‌های کشت هیدروپونیک متفاوت از خاک است. به عنوان مثال، اکسیداسیون آمونیوم در شرایط کشت بدون خاک کمتر از خاک اتفاق می‌افتد. در سیستم‌های هیدروپونیک بافر نشده و خاک‌های با تهویه ضعیف اگر نسبت کود آمونیوم به نیترات بیشتر باشد منجر به اسیدی شدن محیط ریشه‌ها می‌شود (۲). کاهش رشد در گیاهانی که با آمونیوم تغذیه می‌شوند در اثر عواملی مانند اختلال در کاهش آمونیوم، کاهش pH، اثرات سمیت آمونیوم آزاد، کمبود عناصر غذایی مثل پتاسیم، کلسیم و منیزیم و نیز محدودیت کربوهیدرات ناشی از مصرف بیش از حد قندهای محلول برای آسیمیلاسیون آمونیوم است (۱۴ و ۱۷).

با توجه به اهمیت تغذیه نیتروژن گیاه، به ویژه در سبزی‌های برگی، به علت تأثیر آن در رشد رویشی گیاه و تجمع در بافت‌ها و احتمال سمیت آن برای انسان در شکل نیترات و یا احتمال کاهش دادن رشد گیاه و جذب عناصر در شکل آمونیوم، بررسی تأثیر شکل‌های مختلف نیتروژن بر رشد و نمو و جذب عناصر توسط گیاه اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف از این مطالعه بررسی اثر آمونیوم و نیترات بر رشد رویشی، غلظت کلروفیل a و b، و جزءبندی عناصر در دو گیاه کاهو و اسفناج بود.

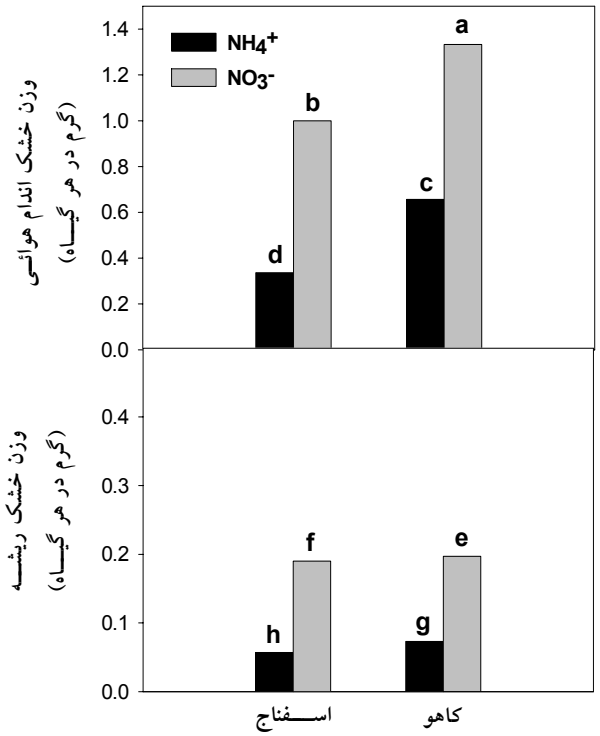
مواد و روش‌ها

این آزمایش با دو گیاه کاهو (*Lactuca sativa* L.) و اسفناج (*Spinacea oleracea* L.) در گلخانه دانشگاه ولیعصر رفسنجان انجام شد. بذور کاهو و اسفناج در گلدان‌های سفالی حاوی مخلوط پرلیت، ماسه و خاک رس کشت شدند. بعد از دو هفته، نشاءها در مرحله دو برگی به داخل گلدان‌های چهار لیتری حاوی محلول هوادهی شده انتقال یافتند، به طوری که در هر گلدان چهار گیاه کشت شد. به گلدان‌ها عناصر پرمصرف شامل مونوفسفات پتاسیم (۰/۲ میلی‌مولار(به استثنای کودهای نیتروژنه که غلظت بر اساس عنصر نیتروژن می‌باشد، بقیه ارقام داخل پرانتز مربوط به غلظت کودها می‌باشد.))، سولفات پتاسیم (۰/۲ میلی‌مولار)، سولفات منیزیم (۰/۳ میلی‌مولار) و کلرید سدیم (۰/۱ میلی‌مولار) اضافه شد. همچنین به گلدان‌ها عناصر کم‌مصرف به صورت کلات آهن (۵۰ میکرومولار، EDTA-Fe)، سولفات منگنز (۷ میکرو مولار)، کلرید روی (۰/۷ میکرو مولار)، سولفات مس (۰/۸ میکرو مولار)، اسید بوریک (۲ میکرو مولار)، مولیبدات سدیم (۰/۸ میکرو مولار) و نیتروژن به صورت نیترات کلسیم یا سولفات آمونیوم، بسته به تیمار آزمایش، در غلظت ۵ میلی مولار نیتروژن اضافه شد. محلول گلدان‌ها هر دو هفته یکبار تعویض شده و با توجه به این که آمونیوم سریعاً باعث کاهش pH می‌شود، برای تنظیم pH در حدود ۷، از کربنات کلسیم که خاصیت بافری داشته و از تغییر ناگهانی pH جلوگیری می‌کند، استفاده شد.

گیاهان پس از دو ماه رشد، به طور کامل از گلدان‌ها برداشت شدند و قسمت‌های هوایی و ریشه از هم جدا و توزین شدند. به منظور اندازه‌گیری کلروفیل، قسمتی از نمونه‌ها داخل فریزر نگه‌داری شد و بقیه نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس خشک‌کن قرار گرفتند. مقدار ۰/۵ گرم از هر نمونه گیاه خشک و آسیاب شده (اندام هوایی و ریشه به صورت مجزا) در داخل کروزه سیلیسی ریخته و در کوره الکتریکی قرار داده شد. دمای کوره به تدریج طی ۴ ساعت به ۵۰۰ درجه سلسیوس رسانده شد. بعد از ۲۴ ساعت، بوته‌ها را از کوره خارج کرده و برای هضم نمونه‌ها از اسید کلریدریک ۲ نرمال استفاده شد. بعد از عصاره‌گیری، غلظت سدیم و پتاسیم توسط شعله‌سنج، کلسیم، منیزیم و آهن توسط دستگاه جذب اتمی (GBC Avanta ver.1.33) و فسفر و کلروفیل a و b توسط طیف‌سنج اندازه‌گیری شد. کلروفیل a، b و کارتنوئیدها با استفاده از متانول از بافت برگ استخراج شد. برای این منظور ۰/۲ گرم برگ تر در یک هاون که برای جلوگیری از تجزیه کلروفیل در



شکل ۱. اثر آمونیوم و نیترات بر وزن تر ریشه و اندام هوایی دو گیاه اسفناج و کاهو. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.



شکل ۲. اثر آمونیوم و نیترات بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی دو گیاه اسفناج و کاهو. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.

داخل ظرف حاوی یخ قرار گرفته بود ساییده شده و در حین ساییدن ۲۵ میلی‌لیتر متانول به آن اضافه شد. نمونه به‌دست آمده درون تیوب‌های پلاستیکی ریخته شده و به مدت یک شب درون یخچال قرار گرفت. ده میلی‌لیتر از هر نمونه در سانتریفیوژ با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۷ دقیقه و دمای $^{\circ}C$ ۲۱ قرار گرفت. سپس با استفاده از دستگاه طیف‌سنج در طول موج‌های ۶۶۶، ۶۶۰ و۶۵۳ نانومتر، میزان کلروفیل a و b و کارتنوئیدها در سوپرناتانت اندازه‌گیری و محاسبه شد (۱۰).

نتایج

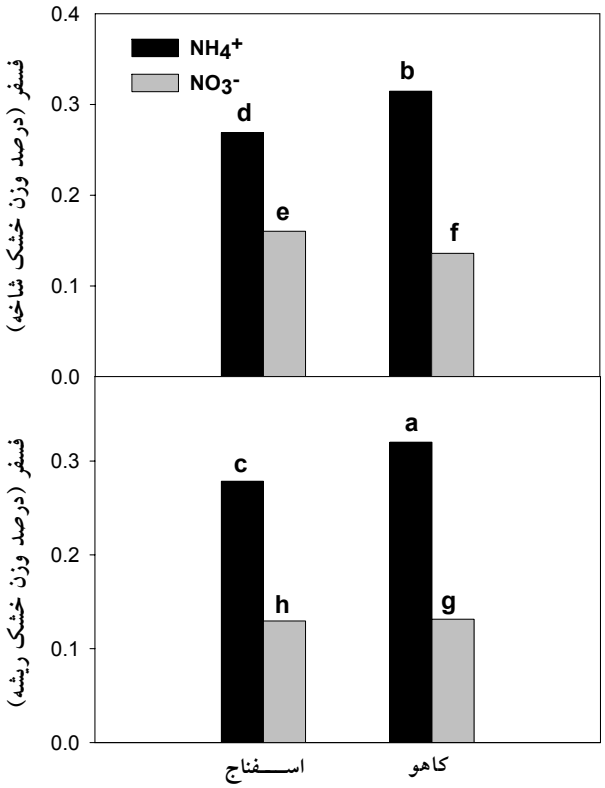
رشد رویشی گیاه

وزن تر و خشک ریشه (شکل ۱) و اندام هوایی (شکل ۲) هر دو گیاه اسفناج و کاهو با تغذیه آمونیوم نسبت به تیمار نیترات کاهش یافت و این کاهش وزن در هر دو گیاه تقریباً یکسان بود.

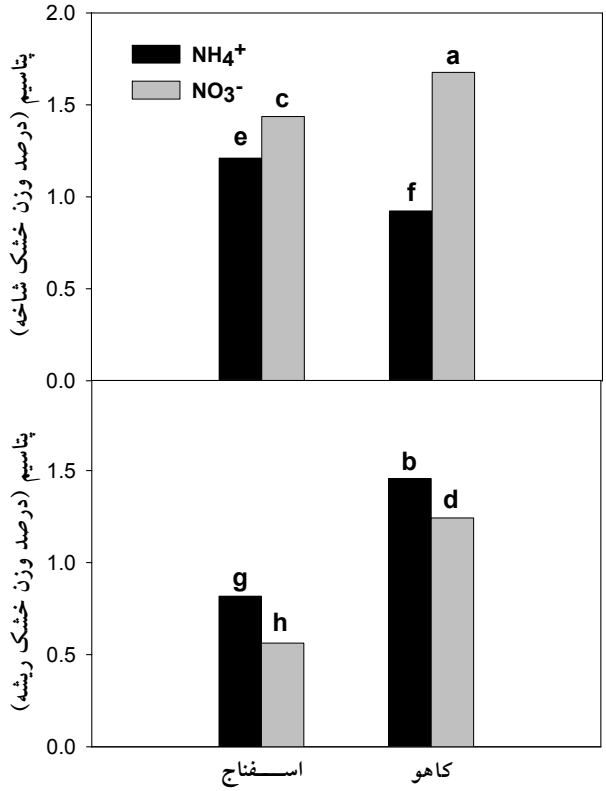
عناصر غذایی در گیاه

تغذیه با آمونیوم در مقایسه با نیترات سبب کاهش غلظت پتاسیم اندام‌های هوایی اسفناج و کاهو شد، در صورتی‌که مقدار پتاسیم در ریشه‌های هر دو گیاه در تیمار آمونیوم بیشتر از گیاهان تغذیه شده با نیترات بود (شکل ۳). کمترین غلظت پتاسیم در ریشه اسفناج تغذیه شده با نیترات مشاهده شد. کاهش پتاسیم در اندام‌های هوایی کاهوی تغذیه شده با نیترات بیشتر از اسفناج تغذیه شده با نیترات بود. بیشترین غلظت پتاسیم اندام هوایی در کاهوی تغذیه شده با نیترات مشاهده شد (شکل ۳). تغذیه با آمونیوم در مقایسه با نیترات سبب افزایش غلظت فسفر ریشه و اندام هوایی اسفناج و کاهو شد (شکل ۴)، به طوری‌که بیشترین غلظت فسفر ریشه و اندام هوایی در کاهوی تغذیه شده با آمونیوم مشاهده شد.

در بررسی نتایج به دست آمده، کمترین غلظت منیزیم در



شکل ۴. اثر آمونیوم و نیترات بر غلظت فسفر ریشه و اندام هوایی اسفناج و کاهو. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.



شکل ۳. اثر آمونیوم و نیترات بر غلظت پتاسیم ریشه و اندام هوایی اسفناج و کاهو. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.

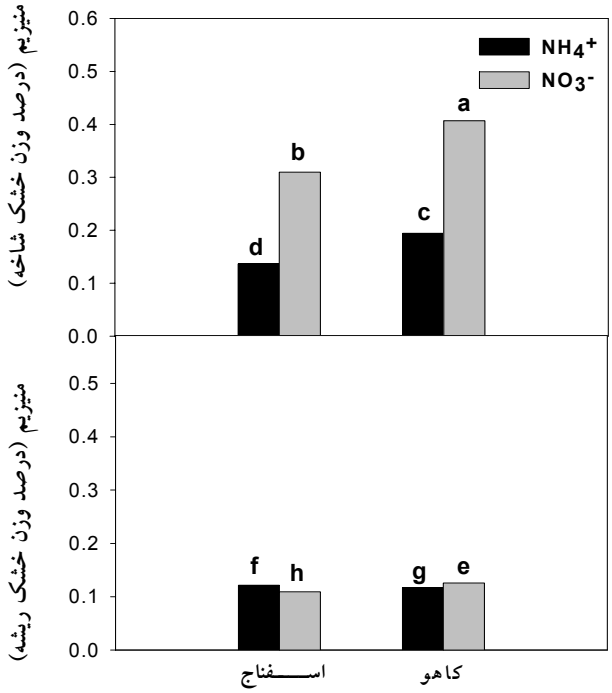
ریشه‌های اسفناج و بیشترین مقدار آن در اندام هوایی این گیاه مشاهده شد که این تفاوت‌ها در سطح ۵٪ معنی دار بود. غلظت منیزیم در ریشه و اندام هوایی هر دو گیاه اسفناج و کاهو با کاربرد آمونیوم کاهش یافت. همچنین غلظت منیزیم اندام هوایی کاهو بیشتر از اندام هوایی اسفناج بود (شکل ۵). تغذیه با آمونیوم نسبت به نیترات غلظت سدیم را در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی دو گیاه کاهش داد (شکل ۶). تغذیه با آمونیوم باعث افزایش مقدار آهن در ریشه‌های هر دو گیاه اسفناج و کاهو شد، در صورتی‌که افزایش آهن توسط آمونیوم در اندام هوایی، فقط در گیاه کاهو مشاهده شد (شکل ۷).

کلروفیل a، b و کارتنوئیدها در گیاه

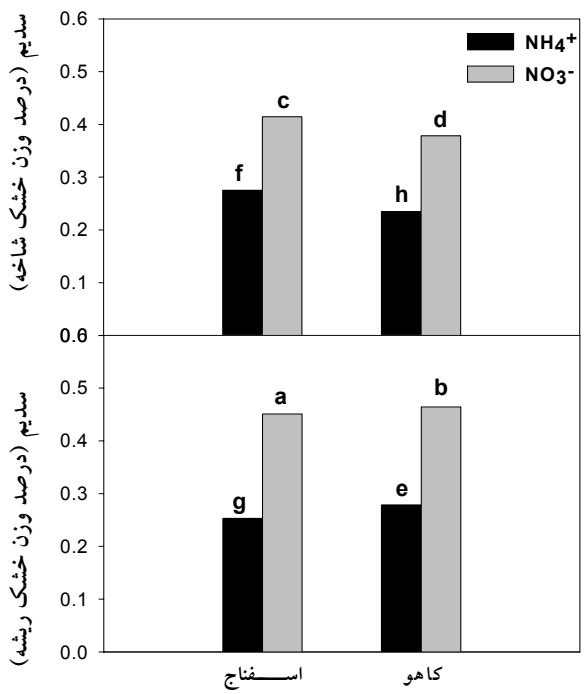
در گیاهان اسفناج و کاهوی تغذیه شده با آمونیوم میزان کلروفیل a وb بیشتر از گیاهان تغذیه شده با نیترات بود (شکل ۸). ولی اختلاف معنی‌داری در میزان کلروفیل a و b در بین دو گیاه اسفناج و کاهو وجود نداشت.

بحث

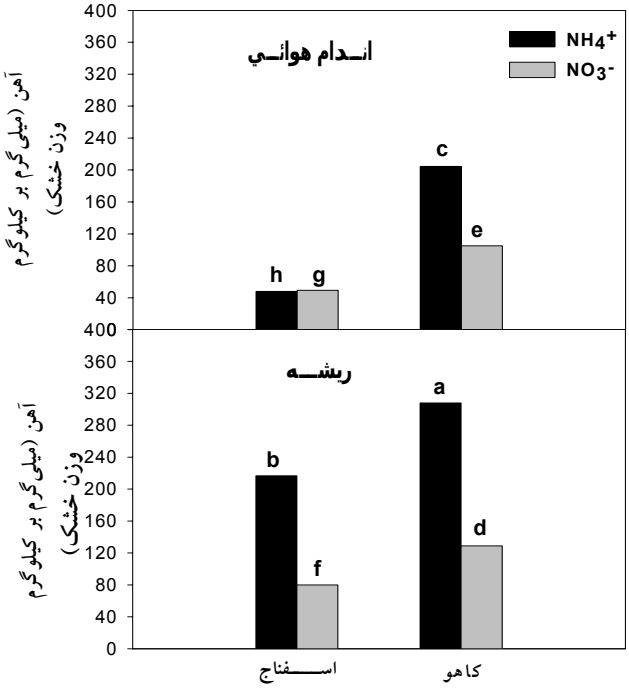
آمونیوم یک واسطه مرکزی در متابولیسم نیتروژن در گیاهان است (۱۳). آمونیوم در فرایند اسیمیلاسیون نیترات، تثبیت نیتروژن، آمین‌زدایی اسیدهای‌آمینه و همچنین در مرحله ذخیره پروتئین و فسفریلاسیون تولید می‌شود (۳). آمونیوم همچنین می‌تواند به طور مستقیم از محیط کشت جذب شود. بیشتر گیاهان واکنش متفاوتی به آمونیوم نشان می‌دهند (۱۱). بنابراین گیاهان از لحاظ تحمل غلظت‌های زیاد آمونیوم به گونه‌های حساس و مقاوم تقسیم می‌شوند. اسفناج و کاهو به ترتیب



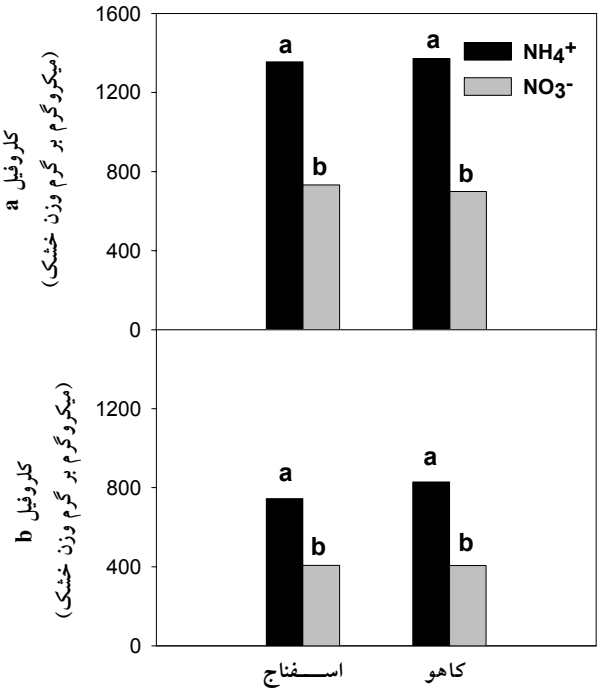
شکل ۵. اثر آمونیوم و نیترات بر غلظت منیزیم ریشه و اندام هوایی اسفناج و کاهو. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.



شکل ۶. اثر آمونیوم و نیترات بر غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی اسفناج و کاهو. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.



شکل ۷. اثر آمونیوم و نیترات بر غلظت آهن در ریشه و اندام هوایی اسفناج و کاهو. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است



شکل ۸. اثر آمونیوم و نیترات بر مقدار کلروفیل a و b در برگ‌های اسفناج و کاهو. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.

متعلق به خانواده‌های چغندر و کمپوزیته می‌باشند که بریتو و کرانزوکر (۲) هر دو خانواده را جزء خانواده‌های گیاهی حساس به آمونیوم تقسیم‌بندی می‌کنند. حساسیت این دو گیاه به آمونیوم به وسیله پژوهش حاضر و با مشاهده جلوگیری از رشد (شکل‌های ۱ و ۲) توسط آمونیوم به عنوان تنها منبع نیتروژن نشان داده شد. برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاه تحت تأثیر وضعیت نیتروژن قرار گرفت. در شرایط کاربرد آمونیوم به عنوان تنها منبع نیتروژن، نسبت ریشه به اندام هوایی در مقایسه با شرایط حضور نیترات در محیط کشت، کمتر بود. تجمع نیتروژن در پاسخ به کاربرد نیتروژن به مقدار بیشتر از ظرفیت اسیمیلاسیون گیاه، یک پدیده معمول در بسیاری ازگونه‌های گیاهی است (۱۲). انباشته شدن درونی آمونیوم آزاد در غلظت بالای آمونیوم در محیط، مانع رشد گیاه می‌شود (۷). فقط تعداد کمی از گونه‌های گیاهی قادر به ذخیره آمونیوم در واکوئل سلول‌هایشان می‌باشند، بدون اینکه نشانه‌های سمیت آمونیوم را نشان دهند(۱۶). نشانه‌های سمیت آمونیوم در خیار با غلظت آن در گیاه همبستگی دارد (۱۳). این آثار ممکن است به اشباع شدن فعالیت گلوتامین سنتتاز مربوط شود (۶). برخلاف گیاهان تغذیه شده با آمونیوم, حتی در غلظت‌های زیاد نیترات در محیط، تجمع آمونیوم در بوته‌های خیار اتفاق نیافتاد. همچنین، نشانه‌های سمیت در بوته‌های تغذیه شده با نیترات، حتی در غلظت بالای این عنصر در محیط مشاهده نشد (۱۳). بارکر و کوری (۱) گزارش کردند که مقدار اتیلن در گیاهان تغذیه شده با نیترات در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با آمونیوم کمتر است و پیشنهاد دادند که سمیت آمونیوم با غلظت اتیلن در گیاه در ارتباط است. در آزمایشی مشابه، با ریحان و نعناع که توسط روستا و همکاران انجام شد، اپی‌ناستی یا خمیدگی برگ‌ها به طرف پایین در برگ‌های گیاهان تغذیه شده با آمونیوم مشاهده شد که ممکن است به‌دلیل افزایش اتیلن در گیاه باشد (داده‌های منتشر نشده). محل اسیمیلاسیون آمونیوم یک عامل مهم تنظیم کننده مقاومت به سمیت آمونیوم در گونه‌های متفاوت گیاهی است، و گیاهانی که بیشتر آمونیوم را در ریشه اسیمیله می‌کنند، مقاومت بیشتری نسبت به سمیت آمونیوم دارند (۹). غلظت پتاسیم و منیزیم در اندام‌های هوایی هر دو گیاه اسفناج و کاهو با افزایش آمونیوم کاهش یافت (شکل‌های ۳ و ۵) و کمبود این دو عنصر پر مصرف با کاهش رشد هر دو گیاه تغذیه شده با آمونیوم همراه بود (شکل‌های ۱ و۲). افزایش کاربرد پتاسیم در بعضی موارد باعث کاهش سمیت آمونیوم می‌شود (۱۵). گیاهانی که با آمونیوم تغذیه شدند، ممکن است دارای مقدار کمتری از آنیون‌های با وزن مولکولی کم بوده‌اند (NO_3^- و کربوکسیلات‌ها) و بنابراین بار منفی کمتری برای ایجاد تعادل بار مثبت و منفی داشته‌اند. فسفر اهمیت خاصی در تأمین آنیون و ایجاد تعادل در گیاه تغذیه شده با آمونیوم دارد (۷ و ۱۸). بنابراین بالا بودن مقدار فسفر در گیاهان اسفناج و کاهوی تغذیه شده با آمونیوم (شکل ۴) ممکن است برای ایجاد تعادل بارهای مثبت و منفی در گیاه باشد. افزایش میزان کلروفیل a و b در برگ‌های اسفناج و کاهوی تغذیه شده با آمونیوم (شکل ۸)، احتمالاً با افزایش نیاز گیاهان به اسکلت کربنی برای اسیمیلاسیون آمونیوم در ارتباط می‌باشد.

نتیجه‌گیری

اسفناج و کاهو دو گیاه حساس به آمونیوم هستند که در حضور آمونیوم، به عنوان تنها منبع نیتروژن، رشد آنها کاهش می‌یابد. کاهش غلظت پتاسیم و منیزیم در بافت‌هایی که با آمونیوم تغذیه شدند ممکن است در ایجاد نشانه‌های سمیت آمونیوم نقش داشته باشند. زیاد بودن مقدار فسفر در گیاهان اسفناج و کاهوی تغذیه شده با آمونیوم ممکن است به دلیل ایجاد تعادل بارهای مثبت و منفی در گیاهان باشد. بنابراین، در کاربرد کودهای آمونیومی، به‌ویژه در کشت هیدروپونیک کاهو و اسفناج که باکتری‌های شوره‌ساز در محیط کشت فعالیت کمتری دارند، باید دقت کافی به عمل آید و در صورت امکان درصد کود آمونیومی از کودهای نیتروژنی کمتر باشد تا اثرات نامطلوبی بر رشد گیاه و در نتیجه، عملکرد محصول نداشته باشد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان به علت تامین مالی تحقیق حاضر در قالب پژوهانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

1. Barker, A. V. and K. A. Corey. 1991. Interrelation of ammonium toxicity and ethylene action in tomato. HortScience 26: 177-180.
2. Beritto, D. T. and H. J. Kronzucker. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants. J. Plant Physiol. 159: 567-584.
3. Cao, Y., A. D. M. Glass and N. M. Crawford. 1993. Ammonium inhibition of Arabidopsis root growth can be reversed by potassium and by auxin resistance mutations *aux1*, *axr1*, and *axr2*. Plant Physiol. 102: 983-989.
4. Cox, W. J. and H. M. Reisenauer. 1973. Growth and ion uptake by wheat supplied by nitrogen as nitrate, or ammonium, or both. Plant and Soil 38: 363-380.
5. Errebhi, M. and G. E. Wilcox. 1990. Plant species response to ammonium-nitrate concentration ratios. J. of Plant Nutr. 13(8): 1017-1029.
6. Finnemann, J. and J. K. Schjoerring. 1999. Translocation of NH_4^+ in oilseed rape plants in relation to glutamine synthetase isogene expression and activity. Physiologia Plantarum 105: 469-477.
7. Gerendas, J., Z. J. Zhu, R. Bendixen, R. G. Ratcliffe and B. Sattelmacher. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 160: 239-251.
8. Kronzucker, H. J., M. Y. Siddiqi and A. D. M. Glass. 1997. Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession. Nature 385: 59–61.
9. Lasa, B., S. Frechilla, P. M. Lamsfus and A. Tejo. 2001. The sensitivity to ammonium nutrition is related to nitrogen accumulation. Scientia Horticulturae 91: 143-152.
10. Lichtenthaler, H. K. and A. R. Wellburn. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Soc. Trans. 603: 591-592.
11. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, 570 p.
12. Millard, P. 1988. The accumulation and storage of nitrogen by herbaceous plants. Plant, Cell and Environment 11: 1-8.
13. Roosta, H. R. and J. K. Schjoerring. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. J. of Plant Nutr. 30: 1933-1951.
14. Roosta, H. R. and J. K. Schjoerring. 2008a. Root carbon enrichment alleviates ammonium toxicity in cucumber plants. J. of Plant Nutr. 31: 941-958.
15. Roosta, H. R. and J. K. Schjoerring. 2008b. Effects of nitrate and potassium on ammonium toxicity in cucumber plants. J. of Plant Nutr. 31: 1270-1283.
16. Schortemeyere, M., P. Stamp and B. Feil. 1997. Ammonium tolerance and carbohydrate status in maize cultivars. Annals of Botany 79: 25-30.
17. Walch-Liu, P., G. Neumann, F. Bangerth and C. Engels. 2000. Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis in tobacco. J. of Exper. Botany 51(343): 227-237.
18. Zhang, Y. P., X. Y. Lin, Y. S. Zhang, S. J. Zheng and S. T. Du. 2005. Effects of nitrogen levels and nitrate/ammonium ratios on oxalate concentrations of different forms in edible parts of spinach. J. of Plant Nutr. 28: 2011-2025.