نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۸۹، ص. ۶۳-۵۹
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. ۲٤, No. ۱, Spring-Summer ۲۰۱۰, P. ۵۹-۶۳
ISSN: ۲۰۰۸ - ٤۷۳۰

استفاده از تکنیک افزودن نسبی (RAR) نیتروژن برای کاهش سمیت آمونیوم در گیاه خیار

عبدالرضا سجادی نیا[۱]- حمید رضا روستا[۲*]- محمد کاظم سوری[۳]- اصغر رحیمی[٤]

تاریخ دریافت: ۸۸/۱/۲۲
تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۵

چکیده

در این آزمایش اثر نسبت های مختلف آمونیوم و نیترات بر روی رشد گیاه خیار در محیط هیدروپونیک بررسی شد. این مطالعات نشان داد که تنش آمونیوم در خیار، که یک گونه حساس به سمیت آمونیوم است، می‌تواند بوسیله تطبیق سرعت کاربرد نیتروژن در محیط کشت نسبت به تقاضای گیاه به نیتروژن کم شود. آمونیوم در یک آهنگ افزایش نسبی ۰/۱۵ و ۰/۲۵ بطور روزانه بکار رفت. برای مقایسه، گیاهان در غلظتهای ثابت ۱ و ۴ میلی مولار آمونیوم هم کشت شدند. وزن تر گیاهان رشد کرده با آمونیوم به عنوان تنها منبع نیتروژن در افزایش نسبی ۰/۱۵ در روز مشابه گیاهان تغذیه شده با نیترات بود، در حالی که سرعت کاربرد بالای آمونیوم در ۰/۲۵ در روز کاهش کمی را در رشد گیاه ایجاد نمود. آمونیوم رشد گیاه را در غلظت ۴ میلی مولار کاهش داد. نسبت رشد ریشه به شاخه نیز در گیاهان تغذیه شده با آمونیوم کاهش یافت. غلظت کلسیم در برگهای گیاهان تغذیه شده با آمونیوم در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با نیترات کمتر بود. تیمارهای مختلف اثر معنی‌داری بر کلروفیل فلورسانس برگ نداشت. بنابراین، از این آزمایش نتیجه‌گیری شد که تکنیک افزودن نسبی حداقل در نسبتهای پایین ۰/۱۵ در روز اثر منفی آمونیوم بر رشد گیاه خیار را از بین می‌برد.

واژه های کلیدی: خیار، هیدروپونیک، نیترات، سمیت آمونیوم، آهنگ افزایش نسبی نیتروژن، کلسیم

مقدمه

گیاهان آلی قادرند از نیترات و آمونیوم به عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند. آمونیوم به عنوان تنها منبع نیتروژن باعث سمیت در گیاه می‌شود و آهنگ رشد را کاهش می‌دهد در حالی که در مقابل، بیشتر گیاهان زیادی نیترات را تحمل می‌کنند و آن را درون بافتهایشان انباشته می‌کنند (۱۹).

توانایی بالا برای انباشتن نیترات در برگها (۲۲)، و از طرفی احتمال مضر بودن نیترات برای سلامتی بشر (۱۰) و حیوانات (۳)، باعث شده که آمونیوم بتواند منبع مفید نیتروژن برای تغذیه گیاه تحت موقعیت های مختلف باشد. قسمت زیادی از نیترات که بصورت کودهای شیمیایی به خاک مزرعه افزوده می‌شود، ممکن است به وسیله شستشو از دست برود و منجر به آلودگی آبهای سطحی و زیر زمینی شود. با توجه به بهای اکولوژیکی و محیطی کاربرد زیاد کودهای نیتروژنی به خصوص نیترات به علاوه هزینه اقتصادی مربوط به کاربرد کودهای شیمیایی زیاد، در آینده ممکن است کاربرد نیترات محدود شود (۱۵). از طرف دیگر آمونیوم نسبتاً در خاک ثابت است و به مقدار کمتری شسته می‌شود. نیتروژن آمونیومی نقش مهمی در تولید محصولات باغبانی دارد. آزمایش‌های مختلف در چندین سال گذشته نشان داده که ترکیب کودهای آمونیوم و باز دارنده های نیتریفیکاسیون (دی متیل پیرازول فسفات) می‌تواند جایگزین کود های نیتراتی شود. با کاربرد آمونیوم شستشوی نیتروژن کاهش یافته و محصول در مقایسه با کودهای معمول در پرورش سبزیجات و درختان میوه افزایش می‌یابد (۱۲). جایگزینی جزئی از نیترات با آمونیوم (۲۵٪ از مجموع نیتروژن) باعث افزایش رشد در کلم چینی و کاهش تجمع نیترات در بافت‌های گیاه شد (۶). زو و همکاران (۲۴) گزارش کردند که بالاترین مقدار زودرسی میوه‌ها و بالاترین میزان محصول میوه‌ها از فلفل شیرین وقتی که آمونیوم حدود ۳۰٪ از مجموع کود نیتروژنی را تشکیل می‌داد بدست آمد. کاردناس و همکاران (۴) مشاهده کردند که وقتی آمونیوم حدود ۲۵٪ از نیتروژن کل را تشکیل می‌داد، تعداد میوه‌های توت فرنگی را افزایش داد. نیتروژن آمونیومی در تولید گیاهان زینتی نیز می‌تواند مفید باشد. جیمنز و لائو (۱۶) گزارش

۱و ۲- به ترتیب کارشناس ارشد (مدرس گروه باغبانی) و استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان
(*-نویسنده مسئول: Email: roosta_h@yahoo.com)
۳- استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۴- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

کردند که آمونیوم چندین پارامتر از جمله رنگ برگها را در دیفن باخیا بهبود می‌بخشد. بسته به نوع رشد و محصول، پاسخ گیاهان به آمونیوم متفاوت است. برای مثال گونه‌هایی مثل برنج (۱) و بلوبری (۷) آمونیوم را به عنوان منبع نیتروژن ترجیح می‌دهند، در حالی که گندم (۸)، خیار (۱۹، ۲۰و ۲۱) و گوجه فرنگی (روستا و شاقینگ، داده های منتشر نشده) به غلظت‌های پایین آمونیوم حساسند.

یکی از روشهای افزودن مواد غذائی روش افزودن نسبی ماده غذائی (RAR[1]) است که توسط اینگستد (۱۴) در سال ۱۹۸۲ ارائه شد. تفاوت اساسی بین روش افزودن نسبی ماده غذائی و افزودن معمولی این است که در آن افزودن نیتروژن به محیط کشت به صورت تصاعدی در واحد زمان افزایش می‌یابد، به طوریکه آهنگ نسبی رشد تقریبا برابر با آهنگ افزایش نسبی نیتروژن می‌باشد.

هدف از این آزمایش این بود که مشخص شود که آیا استرس آمونیوم در خیار، که یک گونه حساس به سمیت آمونیوم است، می‌تواند بوسیله تطبیق آهنگ افزودن نیتروژن و نیاز گیاه به آن کم شود.

مواد و روش ها

شرایط کشت

بذرهای گیاه خیار (*Cucumis sativus* L., cv. Styx) در روی کاغذ صافی مرطوب در جعبه های پلاستیکی برای ۳ روز در°C ۲۰ جوانه زدند. سپس دانهال ها به سطل‌های سیاه رنگ محتوی ۴ لیتر از محلول غذائی هوا داده شده انتقال یافتند. ۴ گیاه باهم در یک سطل قرار داده شدند. محلول غذایی حاوی ۰/۲ میلی مولار KH_2PO_4، ۰/۲ میلی مولار K_2SO_4، ۰/۳ میلی مولار $MgSO_4,7H_2O$ و ۰/۱ میلی مولار NaCl بود. ترکیبات حاوی عناصر کم مصرف عبارت بودند از ۵۰ میکرو مولار Fe(III)-EDTA-Na، ۷ میکرومولار $MnSO_4.H_2$، ۰/۷ میکرومولار $ZnCL_2$، ۰/۸ میکرو مولار $CuSO_4,5H_2O$، ۲ میکرومولار H_2BO_3 و ۰/۸ میکرومولار $Na_2MoO_4,2H_2O$.

pH محلول غذایی بوسیله بکارگیری $CaCO_3$ در حدود ۶/۷ کنترل شد. منابع مختلف نیتروژن $(NH_4)_2SO_4$ و $Ca(NO_3)_2,4H_2O$ در سرعتهای افزایش نسبی ۰/۱۵ و ۰/۲۵ در روز بوسیله استفاده از معادله زیر اضافه شد:

$$N_t=N_.\times e^{RA\times t}$$

N_t و $N_.$ مقدار نیتروژن گیاهان به ترتیب در زمان های t و صفر می‌باشند و RA سرعت نسبی اضافه کردن نیتروژن است. RA بوسیله افزایش روزانه نیتروژن محاسبه شده از N_t-$N_.$ ثابت نگهداشته شد و محلول هر ۴ روز یکبار عوض می‌شد. گیاهان در گلخانه ای با ۱۶ ساعت نور (°C ۲۱) و ۸ ساعت تاریکی (°C ۱۸) و رطوبت نسبی ۷۰٪ رشد کردند. گیاهان در دو زمان ۱۴ و ۲۰ روز بعد از انتقال نشاء برداشت و توزین گردیند. سی روز پس از انتقال نشاء اندامهای گیاهی (ریشه ها، برگها و ساقه) برای بار سوم برداشت، توزین و به سرعت در نیتروژن مایع منجمد شدند و در°C ۸۰- انبار شدند.

برای اندازه گیری آمونیوم، عصاره بافت گیاهی با ۱۰ میلی مولار اسید فرمیک (وزن به حجم ۱۰ :۱) بر روی یخ استخراج شده و در دمای ۴ درجه سانتیگراد برای ۳ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از گذراندن محلول روئی[2] از صافی میراکلودز و تمیز شدن آن، آمونیوم بوسیله بکارگیری دستگاه فلو استار اندازه گیری شد. اصول تجزیه مبنی بر ایجاد فلورسنس در واکنش بین فلوروکروم OPA و آمونیوم بود که بوسیله هوستد و همکاران (۱۳) ارائه شده بود.

مقدار کلسیم در گیاه بوسیله دستگاه ICP-MS بعد از هضم اندامهای گیاهی در اسید نیتریک در Mod Block اندازه گیری شد.

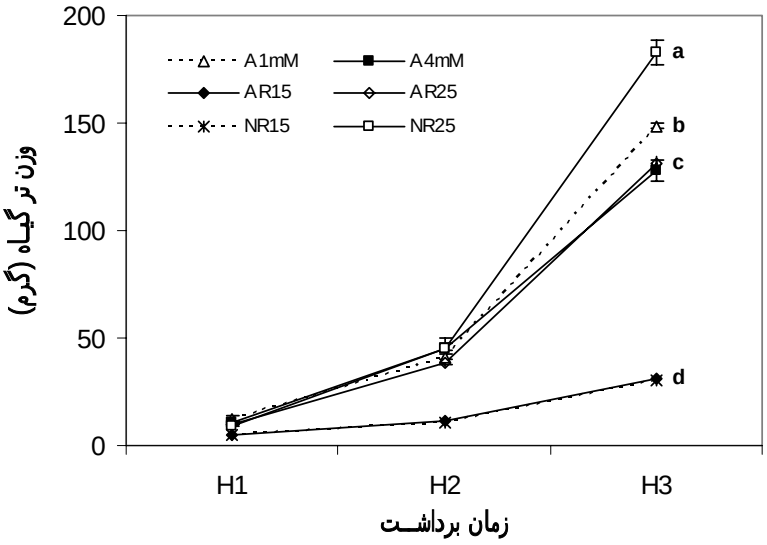
نتایج و بحث

در بیشتر گونه های گیاهی وقتی گیاهان در سطوح متوسط تا بالای آمونیوم رشد می‌کنند، علائم سمیت نشان می‌دهند (۲، ۵، ۹، ۱۹). در این آزمایش تنش آمونیوم با کاربرد نیتروژن با استفاده از تکنیک آهنگ افزایش نسبی نیتروژن کاهش یافت. وزن تر گیاهان رشد کرده با آمونیوم به عنوان تنها منبع نیتروژن در افزایش نسبی ۰/۱۵ در روز مشابه گیاهان تغذیه شده با نیترات بود، در حالی که کاربرد بالای آمونیوم در افزایش نسبی ۰/۲۵ در روز باعث کاهش کمی در رشد گیاهان شد (شکل ۱). وقتی غلظت ثابت بود، آمونیوم رشد گیاه را در ۴ میلی مولار کاهش داد. نسبت ریشه به شاخه در گیاهان تغذیه شده با آمونیوم در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با نیترات کاهش یافت و گیاهان تغذیه شده با آمونیوم ریشه های فرعی بیشتری داشتند، و این تغییر در مرفولوژی گیاه، با تغییر در مقادیر هورمونهای مختلف مثل اکسین، سیتوکینین و اتیلن در اثر تغذیه گیاه با منابع مختلف نیتروژن می‌تواند در ارتباط باشد (۱). با افزایش فعالیت بسیاری از آنزیم‌های مربوط به تنفس، احتمال داده می‌شود که متابولیسم انرژی می‌تواند بوسیله تیمار آمونیوم تحت تاثیر قرار بگیرد. بدون شک آسیمیلاسیون بالای نیتروژن در گیاهان تغذیه شده با آمونیوم، اسکلت کربنی را خالی می‌کند و این احتمالا محرک چرخه کربس است تا تولید اسکلت کربنی را افزایش دهد، و این افزایش تنفس در بافتهای گیاه به ویژه بافتهای ریشه می‌تواند باعث کاهش

۱- Relative addition rate

۲- Supernatant

رشد ریشه شود (۱).



شکل ۱- اثر منبع نیتروژن و روش کاربرد نیتروژن بر روی وزن تر گیاه خیار در سه زمان برداشت ۱۴ (H1)، ۲۰ (H2) و ۳۰ (H3) روز بعد از انتقال نشاء

منبع نیتروژن آمونیومی ($(NH_4)_2SO_4$) در سرعتهای افزایش نسبی ۰/۱۵ (AR۱۵) و ۰/۲۵ (AR۲۵) در روز و غلظتهای ثابت ۱ (A۱mM) و ۴ (A۴mM) میلی‌مولار و منبع نیتروژن نیتراتی ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$) در سرعتهای افزایش نسبی ۰/۱۵ (NR۱۵) و ۰/۲۵ (NR۲۵) در روز اضافه شد. حروف متفاوت میانگین‌ها نشانه معنی‌دار بودن تفاوت آنها در سطح ۵٪ آزمون دانکن می‌باشد.

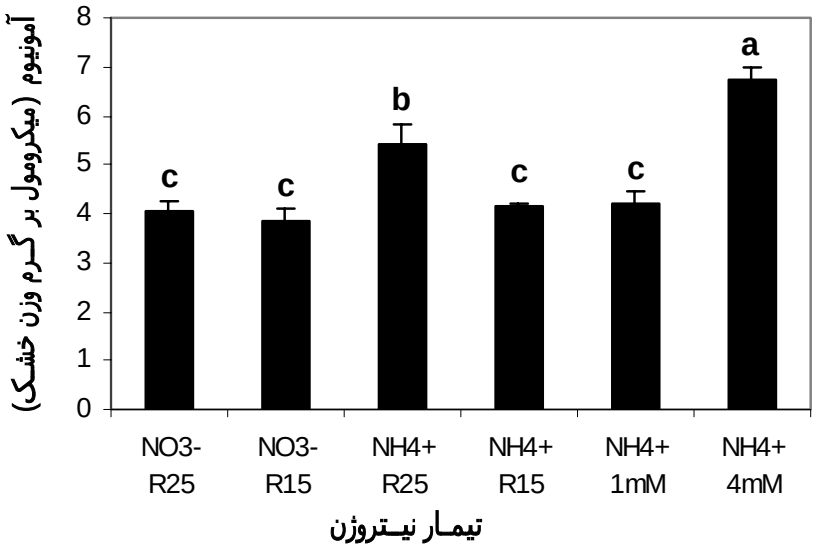
تغیرات شیمیایی القاء شده با آمونیوم در گیاه عبارت هستند از کم شدن کاتیونهای اصلی مثل پتاسیم، کلسیم و منیزیم در بافتهای گیاه، که این کاهش در کاتیونها، با افزایش در آنیونهای غیر آلی مثل کلرید، سولفات و فسفات همراه است (۱، ۱۷و ۱۹). کلسیم در برگهای گیاهان تغذیه شده با آمونیوم نسبت به گیاهان تغذیه شده با نیترات کاهش یافت (شکل ۳). گیاهان تغذیه شده با آمونیوم محتوی آنیونهای با وزن مولکولی کمی (نیترات و کربوکسیلات) دارند و بار منفی خود را برای تعادل از دست می‌دهند. فسفر و گوگرد برای تعادل آنیونی و تعادل باری در گیاهان رشد کرده در آمونیوم مهم می‌باشند (۱۱و ۲۳). از طرف دیگر، ممکن است کاهش جذب کلسیم به عنوان یون مثبت در گیاهان تغذیه شده با آمونیوم نیز برای ایجاد تعادل یونهای مثبت و منفی در گیاه باشد.

سمیت آمونیوم برای گیاه، به تجمع آن در بافتهای فتوسنتز کننده نسبت داده می‌شود (۶ و ۱۸). غلظت آمونیوم در برگهای گیاهان رشد کرده با آمونیوم در ۴ میلی مولار حتی از گیاهان رشد کرده در افزایش نسبی ۰/۲۵ در روز نیز بالاتر بود (شکل ۲)؛ و این نشان دهنده آن است که تکنیک افزایش نسبی نیتروژن تجمع آمونیوم را در گیاه کاهش داده که می‌تواند به مقاومت گیاه نسبت به آمونیوم کمک کند. اگرچه، در این آزمایش آمونیوم در افزایش نسبی ۰/۲۵ در روز باعث کاهش رشد گیاه شد ولی دلیل این کاهش رشد تجمع آمونیوم در بافتها نمی‌تواند باشد، بلکه عوامل دیگری ممکن است در این اتفاق دخیل باشند. بر اساس منابع آمونیوم در غلظت های ثابت بسیار کم (میکرومول) نیز باعث کاهش رشد گیاهان نیترات دوست می‌شود (۱) و این باعث محدودیت استفاده از آمونیوم در محیط هیدروپونیک شده است. با توجه به عدم کاهش رشد در افزودن نسبی ۰/۱۵ در روز (شکل ۱)، نتایج این آزمایش امیدوار کننده است. البته آزمایشات بیشتری لازم است تا بالاترین نسبتی از آمونیوم که باعث کاهش رشد نمی‌شود شناسائی شود. اگرچه در غلظت ۱ میلی مولار رشد گیاه بیشتر بوده ولی بر اساس آزمایشات قبلی در مورد خیار (۱۹) غلظت ثابت ۱ میلی مولار نیز در مقایسه با ۱ میلی‌مولار نیترات باعث کاهش رشد شد، که استفاده از ۱ میلی مولار آمونیوم را در مورد کشت خیار غیر عملی می‌کند. البته کاهش رشد ناشی از کمبود نیتروژن را در نسبتهای پایین آمونیوم (۰/۱۵ در روز) می‌توان با افزودن نیترات برطرف کرد و در عین حال از فوائد کاربرد همزمان دو نوع نیتروژن استفاده کرد. بنابراین، از این آزمایش نتیجه‌گیری شد که تکنیک افزودن نسبی حداقل در نسبتهای پایین ۰/۱۵ در روز اثر منفی آمونیوم بر رشد گیاه خیار را از بین می‌برد، و این اثر مفید به دلیل تامین آمونیوم به مرور زمان توسط تکنیک افزودن نسبی می‌باشد. در این تکنیک به گیاه فرصت داده می‌شود تا آمونیوم جذب شده را آسمیله کند و سمیت آن را برای گیاه از بین ببرد (۱۹). از طرف دیگر، چون آمونیوم در این روش به مرور به محیط اضافه می‌شود، غلظت آن در محیط کشت پایین مانده و سمیت آن در محیط ریشه نیز کاهش می‌یابد (۱۹). توصیه می‌شود تا در آینده آزمایش‌های دیگری با نسبت

های افزایش نسبی مختلف آمونیوم انجام شود تا بالاترین نسبت قابل تحمل برای گیاهان مختلف شناسائی شود. شناسائی این نسبتها کمک می‌کند تا آمونیوم با استفاده از تکنیک افزودن نسبی و بدون اثر مـضر بر رشد گیاه در پرورش گیاهان مختلـف بکـار رفتـه و از محاسـن آن بهره گرفته شود.

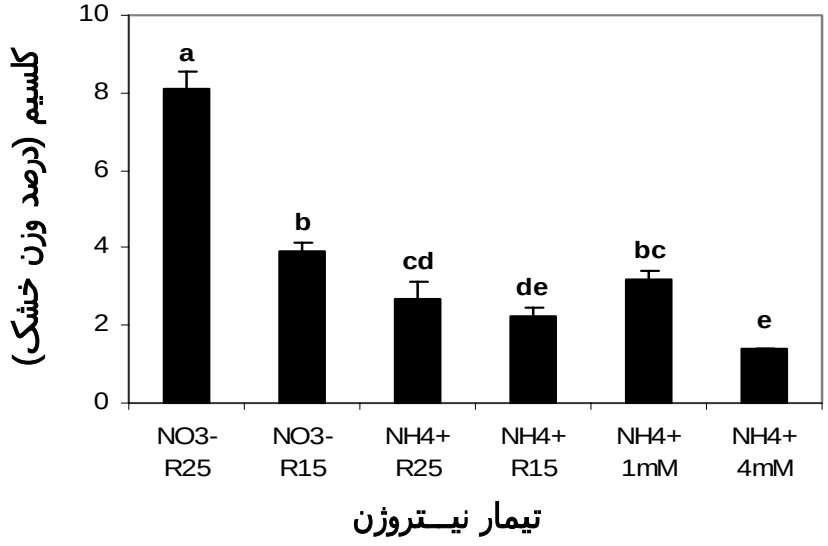
تشکر و قدردانی

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



شکل ۲- تجمع آمونیوم در برگهای خیار تغذیه شده با آمونیوم یا نیترات

منبع نیتروژن آمونیومی ($(NH_4)_2SO_4$) در سرعتهای افزایش نسبی ۰/۱۵ (R۱۵) و ۰/۲۵ (R۲۵) در روز و غلظتهای ثابت ۱ و ۴ میلی‌مولار و منبع نیتروژن نیتراتی ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$) در سرعتهای افزایش نسبی ۰/۱۵ و ۰/۲۵ در روز اضافه شد. حروف متفاوت میانگین‌ها نشانه معنی‌دار بودن تفاوت آنها در سطح ۵٪ آزمون دانکن می‌باشد.



شکل ۳- اثر منبع نیتروژن و روش کاربرد نیتروژن بر روی غلظت کلسیم در برگهای خیار

منبع نیتروژن آمونیومی ($(NH_4)_2SO_4$) در سرعتهای افزایش نسبی ۰/۱۵ (R۱۵) و ۰/۲۵ (R۲۵) در روز و غلظتهای ثابت ۱ و ۴ میلی‌مولار و منبع نیتروژن نیتراتی ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$) در سرعتهای افزایش نسبی ۰/۱۵ و ۰/۲۵ در روز اضافه شد. حروف متفاوت میانگین‌ها نشانه معنی‌دار بودن تفاوت آنها در سطح ۵٪ آزمون دانکن می‌باشد.

منابع

۱- Beritto D.T. and Kronzucker H.J. ۲۰۰۲. NH_4^+ toxicity in higher plants. J. Plant Physiol. ۱۵۹, ۵۶۷–۵۸۴.

۲- Britto D.T., Siddiqi M.Y., Glass A.D.M., and Kronzucker H.J. ۲۰۰۱. Futile transmembrane NH_4^+ cycling: A cellular hypothesis to explain ammonium toxicity in plants. *Procceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America* ۹۸, ۴۲۵۵–۴۲۵۸.

۳- Bruning-Fann C. and Kaneene J.B. ۱۹۹۳. The effect of nitrate, nitrite and N-nitroso compounds on animal health. Vet. Hum. Toxicol.۳۵, ۲۳۷–۲۵۳.

۴- Cardenas-Navarro R.L., Lopez-Perez Lobit P., and Ruiz-Corro R. ۲۰۰۶. Effects of nitrogen source on growth and development of strawberry plants. J. of Plant Nutr. ۲۹: ۱۶۹۹–۱۷۰۷.

۵- Chen W., Luo J.K., and Shen Q.R. ۲۰۰۵. Effect of NH_4^+-N/NO_3^- -N ratios on growth and some physiological parameters of Chinese cabbage cultivars. Pedosphere ۱۵(۳): ۳۱۰–۳۱۸.

۶- Chen S.J., Hung K.T., and Kao C.H. ۱۹۹۷. Ammonium accumulation is associated with senescence of rice leaves. Plant Growth Regul. ۲۱, ۱۹۵–۲۰۱.

۷- Claussen W. and Lenz F. ۱۹۹۹. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. Plant and Soil ۲۰۸: ۹۵–۱۰۲.

۸- Cox W.J. and Reisenauer H.M. ۱۹۷۳. Growth and ion uptake by wheat supplied by nitrogen as nitrate, or ammonium, or both. Plant and Soil ۳۸:۳۶۳–۳۸۰.

۹- Cruz C., Bio A.F.M., and Dominguez-Valdivia M.D. ۲۰۰۶. How does glutamine synthetase activity determine plant tolerance to ammonium? Planta ۲۲۳, ۱۰۶۸–۱۰۸۰.

۱۰- Gangolli S.D., Van Den Brandt P.A., Feron V.J., Jan-Zowesky C., Koeman J.H., Speijers G.J.A., Spiegelhalder B., Walker R., and Winshnok J.S. ۱۹۹۴. Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds. Eur. J. Pharm. Environ. Toxicol. Pharm. Section ۲۹۲, ۱–۳۸.

۱۱- Gerendas J., Zhu Z.J., Bendixen R., Ratcliffe R.G., and Sattelmacher B. ۱۹۹۷. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde ۱۶۰, ۲۳۹–۲۵۱.

۱۲- Hahndel R. and Zerulla W. ۲۰۰۱. Effects of ammonium-stabilized N-fertilizers on yield and quality of vegetables. Act. Hort. ۵۶۳.

۱۳- Husted S., Hebbern C.A., Mattsson M., and Schjoerring J.K. ۲۰۰۰. A critical experimental evaluation of methods for determination of NH_4^+ in plant tissue, xylem sap and apoplastic fluid. Physiol. Plant. ۱۰۹, ۱۶۷–۱۷۹.

۱۴- Ingestad T. ۱۹۸۲. Relative addition rate and external concentration; driving variables used in plant nutrition research. Plant Cell Environ. ۵:۴۴۳–۴۵۳.

۱۵- Jenkinson D.S. ۲۰۰۱. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperature arable agriculture. Plant and Soil ۲۲۸: ۳–۱۵.

۱۶- Jimenez S. and Lao M.T. ۲۰۰۵. Influence of nitrogen form on the quality of Dieffenbachia amoena 'Tropic Snow'. HortScience ۴۰(۲): ۳۸۶–۳۹۰.

۱۷- Kafkafi U. ۱۹۹۰. Root temperature, concentration and the ratio NO_3^- / NH_4^+ effect on plant development. J. of Plant Nutr. ۱۳, ۱۲۹۱–۱۳۰۶.

۱۸- Lasa B.S., Frechilla, P.M. Lamsfus, and Tejo A. ۲۰۰۱. The sensitivity to ammonium nutrition is related to nitrogen accumulation. Scientia Hort. ۹۱:۱۴۳–۱۵۲.

۱۹- Roosta H.R. and Schjoerring J.K. ۲۰۰۷. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants, J. of Plant Nutr. ۳۰:۱۹۳۳–۱۹۵۱.

۲۰- Roosta H.R. and Schjoerring J.K. ۲۰۰۸a. Effects of nitrate and ammonium on ammonium toxicity in cucumber plants. J. of Plant Nutr. ۳۱:۱۲۷۰–۱۲۸۳.

۲۱- Roosta H.R. and Schjoerring J.K. ۲۰۰۸b. Root carbon enrichment alleviates ammonium toxicity in cucumber plants. J. of Plant Nutr. ۳۱:۹۴۱–۹۵۸.

۲۲- Santamaría P., Elia A., Papa G., and Serio F. ۱۹۹۸. Nitrate and ammonium nutrition in chicory and rocket salad plants. J. Plant Nutr. ۲۱, ۱۷۷۹–۱۷۸۹.

۲۳- Zhang Y.P., Lin X.Y., Zhang Y.S., Zheng S.J., and Du S.T. ۲۰۰۵. Effects of nitrogen levels and nitrate/ammonium

ratios on oxalate concentrations of different forms in edible parts of spinach. J. of Plant Nutr. ۲۸, ۲۰۱۱-۲۰۲۵.

۲۴- Xu G., Wolf S., and Kafkafi U. ۲۰۰۱. Effect of varying nitrogen form and concentration during growing season on sweet pepper flowering and fruit yield. J. of Plant Nutr. ۲۴: ۱۰۹۹-۱۱۱۶.