تأثیر شکل نیتروژن و pH محلول غذایی بر غلظت فسفر، نیترات و نیتروژن بخش هوایی اسفناج در کشت هیدروپونیک

نصرت اله نجفی * و منصور پارسازاده[۱]

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

چکیده

برای بررسی تأثیر نسبت نیترات به آمونیوم و pH محلول غذایی بر غلظت فسفر، نیترات، نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی و نیتروژن کل بخش هوایی اسفناج (*Spinacia oleracea* L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل pH محلول غذایی در سه سطح ۴/۵، ۶/۵ و ۸ و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی در پنج سطح ۱۰۰:۰، ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰ با چهار تکرار به صورت هیدروپونیک انجام شد. نتایج نشان داد که اثر pH محلول غذایی بر غلظت فسفر، نیترات و نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی اسفناج معنی‌دار بود ولی بر غلظت نیتروژن کل بخش هوایی معنی‌دار نبود. با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۸، غلظت فسفر و نیترات بخش هوایی به طور معنی‌داری کاهش یافت، در حالی که نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی و نیتروژن کل بخش هوایی اسفناج تغییر معنی‌داری نکرد. با افزایش آمونیوم محلول غذایی، غلظت نیترات بخش هوایی اسفناج به طور معنی‌داری کاهش یافت، در حالی که غلظت فسفر و نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی و نیتروژن کل اسفناج به طور معنی‌داری افزایش یافت. تأثیر شکل نیتروژن محلول غذایی بر غلظت و مقدار فسفر، نیترات و نیتروژن کل اسفناج به pH محلول غذایی بستگی داشت. بیشترین غلظت فسفر در نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ و pH برابر ۸ بود. بیشترین غلظت نیترات در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و pH=۸ بوده، در حالی که بیشترین غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی و نیتروژن کل اسفناج در نسبت نیترات به آمونیوم ۲۵:۷۵ و pH برابر ۶/۵ مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: اسفناج، نیترات، آمونیوم، محلول غذایی، فسفر، نیتروژن

مقدمه

نیتروژن به عنوان یک عنصر غذایی پرمصرف عمدتاً به دو شکل نیترات و آمونیوم به‌وسیله گیاهان جذب می‌شود ولی گزارش شده است که شکل اصلی نیتروژن که توسط گیاهان جذب می‌شود نیترات است (۶). غلظت نیترات در گیاه نماینده وضعیت تغذیه گیاه از نظر نیتروژن می‌باشد (۲۴). بعد از نیتروژن، فسفر مهمترین عنصر غذایی است که کمبود آن باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود. فسفر بعد از کلسیم دومین عنصر فراوان در بدن انسان می‌باشد و در ساخت دندان‌ها، استخوان‌ها و برای انجام تمام واکنش‌های بیوشیمیایی در بدن انسان لازم است (۲۸). لذا، وجود غلظت مناسبی از فسفر، نیترات و نیتروژن نه تنها برای رشد مطلوب گیاه، بلکه در زنجیره غذایی برای سلامتی انسان اهمیت دارد.

اسفناج از مهمترین سبزی‌های برگی است که در نقاط

۱. به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: n-najafi@tabrizu.ac.ir

مختلف ایران کشت می‌شود و به تغییرات pH بسیار حساس است (۱). این سبزی غنی از ویتامین‌های A، B_1، B_2 و C و عناصر غذایی مانند کلسیم، آهن و منیزیم می‌باشد (۱۸) و در رژیم غذایی مردم ایران مصرف زیادی دارد. با این حال، زیادی نیترات در اسفناج، ارزش تغذیه‌ای آن را کاهش می‌دهد. غلظت نیترات در این گیاه از بیش از ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک (۲۹) تا ۴۵۰۰ میلیگرم بر کیلوگرم وزن تر یا محصول فرآوری شده (۲۳) گزارش شده است.

قسمت عمده نیتراتی که به بدن انسان وارد می‌شود از مصرف سبزی‌ها است. نیترات موجود در سبزی‌هایی مثل اسفناج می‌تواند پس از وارد شدن در دستگاه گوارش انسان به نیتریت تبدیل شود. وقتی نیتریت از طریق روده‌ها به داخل خون وارد می‌شود، آهن II هموگلوبین را به آهن III تبدیل نموده و در نتیجه مت‌هموگلوبین تشکیل می‌شود که نمی‌تواند اکسیژن را منتقل نماید (بیماری مت‌هموگلوبینمیا (Methemoglobinemia)). از احیای نیترات در دستگاه گوارش ترکیباتی مثل نیتروزآمین تشکیل می‌شود که سرطانزا می‌باشند (۶، ۲۳، ۲۴ و ۲۵). علاوه بر این، افزایش نیترات باعث تجمع اگزالات در سبزی‌های برگی نظیر اسفناج می‌شود که برای سلامتی انسان مضر می‌باشد؛ زیرا، با عناصر معدنی زیادی مانند کلسیم، آهن، منیزیم و مس نمک‌های نامحلول اگزالات تشکیل می‌دهد که موجب بروز کمبود عناصر مذکور و افزایش خطر تشکیل سنگ‌های کلیه می‌شود (۳۹). شدت انباشتگی نیترات به عاملی مانند ساختار ژنتیکی گیاه، توان عرضه نیترات خاک و شرایط محیطی که گیاه در آن رشد می‌کند، بستگی دارد. انباشته شدن نیترات در گیاهان وقتی اتفاق می‌افتد که سرعت جذب نیترات از سرعت احیا و همگون‌سازی (Assimilation) آن بیشتر باشد. از آنجا که همگون‌سازی نیترات در اندام‌های هوایی گیاهان به نور نیاز دارد، غلظت نیترات در گیاهان در بعد از ظهر کمتر از صبح بوده و توصیه شده است برداشت سبزی‌ها نزدیک غروب آفتاب انجام شود (۲۵).

از عوامل مؤثر بر غلظت فسفر، نیترات و نیتروژن کل اسفناج، pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی مورد استفاده در کشت هیدروپونیک است. با این حال بررسی‌ها نشان می‌دهد که تأثیر pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت فسفر، نیترات و نیتروژن کل اندام‌های گیاهان مختلف متفاوت است. گزارش شده است که با کاهش نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی، جذب نیترات به‌وسیله هندوانه کاهش می‌یابد (۳۵). دلشاد و همکاران (۳) نشان دادند که با افزایش نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات میوه‌های گوجه‌فرنگی کاهش و غلظت نیتروژن برگ‌ها افزایش می‌یابد. کوتسیراس و همکاران (۲۰) گزارش دادند که با افزایش آمونیوم محلول غذایی غلظت نیترات میوه‌های خیار کاهش می‌یابد ولی غلظت فسفر تغییر معنی‌داری نمی‌کند. سلطانی و همکاران (۴) بیان داشتند که با افزایش آمونیوم محلول غذایی غلظت نیتروژن و فسفر برگ‌های خیار افزایش می‌یابد. در یک بررسی دیگر مشاهده گردید که با افزایش غلظت آمونیوم محلول غذایی جذب نیتروژن و فسفر به‌وسیله نوعی صنوبر کاهش می‌یابد (۳۳). اسلام و همکاران (۱۶) مشاهده کردند که با افزایش pH از ۳/۳ به ۵/۵ غلظت فسفر در همه شش گونه گیاهی مورد مطالعه افزایش و با افزایش pH از ۵/۵ به ۸/۵ غلظت فسفر در همه گونه‌ها کاهش می‌یابد. کوالژیک و کانیزوفسکی (۲۱) بیان داشتند که با افزایش pH محلول غذایی از ۵/۰ به ۶/۵ غلظت فسفر برگ‌های گوجه‌فرنگی کاهش می‌یابد ولی غلظت فسفر میوه‌ها تغییر معنی‌داری نمی‌کند. دیسکو و همکاران (۱۱) مشاهده کردند که با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۶/۵ غلظت فسفر برگ‌های گوجه‌فرنگی کاهش می‌یابد ولی نیتروژن تغییر معنی‌داری نمی‌کند.

با توجه به مطالب فوق الذکر، این تحقیق برای بررسی اثر pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و برهمکنش آنها بر غلظت فسفر، نیترات، نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی و نیتروژن کل بخش هوایی اسفناج انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی هیدروپونیک دانشکده

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی آب گلخانه

عناصر	K	P	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Cl^-	HCO^-_3	pH	EC (dS/m)
غلظت (mg/L)	۴/۳	۰/۰۵	۳۵	۴۲	۱۱	۰/۱	۰	۱	۰	۲۰	۸۷	۷/۷	۰/۴۹

کشاورزی دانشگاه تبریز در تابستان ۱۳۸۶ انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل pH محلول غذایی در سه سطح (۴/۵، ۶/۵ و ۸) و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی در پنج سطح (۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰) و با چهار تکرار انجام شد. در این آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی هفت لیتری به قطر ۳۲ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. جهت ایجاد تهویه و جلوگیری از خروج پرلیت، در کف گلدان‌ها یک لایه شن درشت به جرم ۵۰۰ گرم ریخته شد. سپس به هر یک از گلدان‌ها ۹۰۰ گرم پرلیت دانه متوسط با قطر حدود دو میلی‌متر افزوده شد. محلول غذایی پایه، "هوگلند تغییر یافته" بود که غلظت عناصر در آن شامل: نیتروژن ۱۸۰، فسفر ۳۸، پتاسیم ۲۰۴، کلسیم ۱۶۱، منیزیم ۵۸، بُر ۰/۵، مس ۰/۰۲، آهن ۳، منگنز ۰/۵، مولیبدن ۰/۰۱ و روی ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر بود (۱۵). ابتدا محلول‌های غذایی با پنج نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰ در تانک‌های ۲۰۰ لیتری تهیه گردید. سپس محلول داخل تانک‌ها هر کدام به سه قسمت تقسیم شد و pH آنها با افزودن 0.1M HCl و 0.1M NaOH، در ۴/۵، ۶/۵ و ۸ تنظیم گردید (۳۹). برای تأمین عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، از منابع کودی KNO_3، $Ca(NO_3)_2.4H_2O$، $MgSO_4.7H_2O$، KH_2PO_4، K_2SO_4، $Mg(NO_3)_2.6H_2O$، $(NH_4)_2SO_4$، $ZnSO_4.7H_2O$، $CaCl_2.2H_2O$، Fe-EDDHA، Mn-EDTA، $CuSO_4.5H_2O$، H_3BO_3، NH_4Cl و $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ استفاده شد. در ضمن آب مصرفی در گلخانه در آزمایشگاه تجزیه شد (۱۳) و هنگام تهیه محلول‌های غذایی عناصر موجود در آب گلخانه نیز در نظر گرفته شد (جدول ۱). گیاهان در طول دوره رشد، هر روز با محلول‌های غذایی به صورت دستی آبیاری شدند.

بذور گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) هیبرید F1 رقم سیریوس در خزانه کشت گردید و از زمان کشت بذور تا یک هفته پس از جوانه‌زدن، رطوبت مورد نیاز از طریق آبیاری با آب معمولی (آب شهر) تأمین شد. سپس نشاها به بستر رشد (گلدان‌ها) منتقل گردید. سه نشای گیاه اسفناج در هر گلدان کشت و به مدت دو هفته با استفاده از یک دوم غلظت محلول غذایی "هوگلند تغییر یافته" با pH ۶/۵ و نیترات خالص محلول‌دهی شدند تا گیاهان به طور کامل استقرار یابند. سپس به مدت پنج هفته با محلول غذایی کامل هر تیمار تغذیه شدند (۳۹). در طول دوره رشد، دمای گلخانه در روز $24\pm3^{\circ}C$ و در شب $17\pm3^{\circ}C$ و میانگین رطوبت نسبی گلخانه ۵۵٪ بود. پس از هفت هفته رشد، اندام‌های هوایی گیاه از محل طوقه قطع شده و برداشت گردید و بلافاصله وزن تر آنها با استفاده از ترازوی دیجیتال تعیین شد. سپس نمونه‌های مذکور در درون دستگاه خشک‌کن نمونه‌های گیاهی با دمای $70^{\circ}C$ به مدت چهار روز نگهداری گردید تا خشک شدند و به کمک ترازوی دیجیتال وزن خشک آنها نیز تعیین گردید. پس از تعیین ماده خشک نمونه‌های گیاهی و آماده سازی آنها، غلظت فسفر بخش هوایی گیاهان به روش ترسوزانی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (۳۸)، غلظت نیترات به روش اسید سولفوسالیسیلیک- سود (۱۰) و غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی به روش کجلدال (۳۸) تعیین گردید. نیتروژن کل از مجموع نیتروژن نیتراتی، نیتروژن آلی و آمونیوم معدنی محاسبه گردید. مقادیر جذب فسفر و نیتروژن به‌وسیله گیاه از حاصلضرب غلظت آنها در ماده خشک گیاه محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها و تجزیه رگرسیون با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC و SPSS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گردید و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شد.

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت و مقدار نیترات و فسفر بخش هوایی اسفناج

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		غلظت نیترات	مقدار نیترات	غلظت فسفر	مقدار فسفر
pH	۲	۶۸۰۸/۹**	۲۷۲/۸*	۱۱/۹**	۷۶/۷*
نسبت نیترات به آمونیوم	۴	۷۹۶۷/۵**	۳۳۶/۱**	۷۶۴/۰**	۷۹۹/۱**
pH× نسبت نیترات به آمونیوم	۸	۱۸۴۱/۷**	۱۲/۵**	۱۴/۴**	۳۸۴/۸**
خطای آزمایشی	۴۵	۶۵/۱	۲/۹	۲/۳	۲۱/۸
ضریب تغییرات (٪)		۱۳/۱	۱۶/۷	۴/۳	۱۴/۹

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های اثر pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت و مقدار نیترات و فسفر بخش هوایی اسفناج[1]

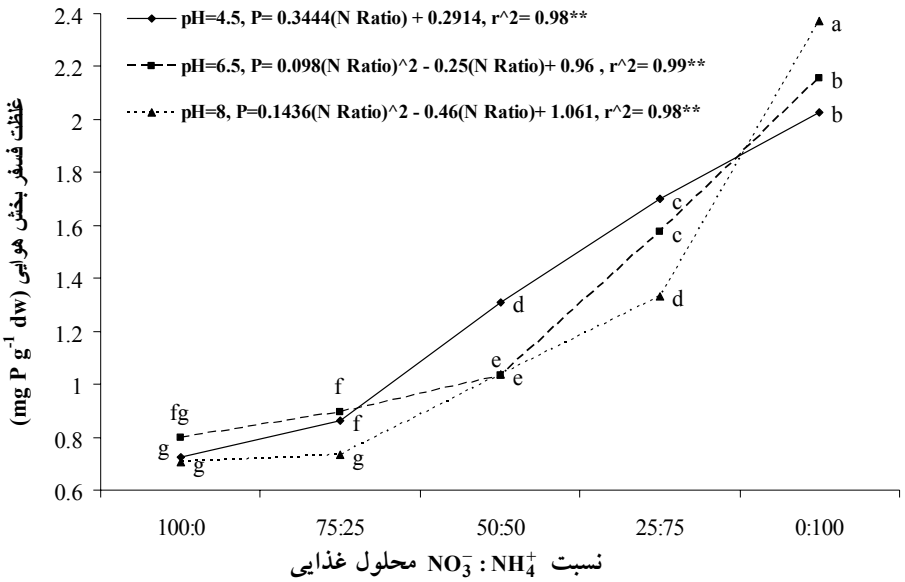
اثر اصلی	سطوح	غلظت نیترات ($mg\ kg^{-1}\ dw$)	مقدار نیترات ($mg\ pot^{-1}$)	غلظت فسفر ($mg\ g^{-1}\ dw$)	مقدار فسفر ($mg\ pot^{-1}$)
نسبت نیترات به آمونیوم	۱۰۰:۰	۱۱۲۹۹/۶ a	۲۷۵/۷ a	۰/۷۴ e	۲۲/۹ c
	۷۵:۲۵	۵۱۰۷/۲ b	۲۵۴/۵ a	۰/۸۳ d	۳۹/۷ a
	۵۰:۵۰	۲۶۵۸/۳ c	۹۸/۰ b	۱/۱۲ c	۳۹/۷ a
	۲۵:۷۵	۲۵۳۸/۸ d	۴۶/۸ c	۱/۵۳ b	۳۰/۶ b
	۰:۱۰۰	۲۵۲۱/۵ d	۲۴/۹ d	۲/۱۸ a	۲۳/۹ c
pH محلول غذایی	۴/۵	۶۸۹۴/۹ a	۲۴۳/۰ a	۱/۳۲ a	۳۳/۴ a
	۶/۵	۲۵۳۴/۸ c	۹۴/۱ b	۱/۲۹ a	۳۱/۱ ab
	۸/۰	۵۰۵۴/۶ b	۸۲/۸ b	۱/۲۳ b	۲۹/۵ b

۱. در هر ستون و در هر فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

نتایج و بحث

غلظت فسفر بخش هوایی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر pH، نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت فسفر بخش هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سطوح pH نشان می‌دهد کمترین غلظت فسفر بخش هوایی در pH ۸/۰ می‌باشد و میان دو pH ۶/۵ و ۴/۵ تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۳). همچنین، مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سطوح نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی نشان می‌دهد که بیشترین غلظت فسفر بخش هوایی نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ و کمترین آن در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ می‌باشد (جدول ۳). همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش آمونیوم محلول غذایی غلظت فسفر بخش هوایی افزایش می‌یابد که با نتایج الیا و همکاران (۱۲) مطابقت دارد. حل‌پذیری فسفات در خاک و یا کشت بدون خاک بر اثر تراوش‌های خالص پروتون به‌وسیله ریشه گیاه وقتی که با نیتروژن آمونیومی تغذیه می‌شود، زیاد می‌شود (۲۴). آسیماکوپولو (۷) بیان داشت که با افزایش آمونیوم محلول غذایی جذب فسفر به‌وسیله اسفناج افزایش می‌یابد. سرنا و



شکل ۱. اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت فسفر بخش هوایی اسفناج

همکاران (۳۴) مشاهده کردند که با افزایش آمونیوم محلول غذایی غلظت فسفر برگ‌های مرکبات افزایش می‌یابد. بن و کافکافی (۹) نیز گزارش داده‌اند که با افزودن کودهای آمونیومی به بسترهای کشت، جذب فسفر به‌وسیله گیاه افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی به‌وسیله رودشتاین و کرگ (۳۳) نیز گزارش شده است. همچنین شکل ۱ نشان می‌دهد که زیاد شدن نیترات در محلول غذایی سبب کاهش غلظت فسفر بخش هوایی می‌شود که علاوه بر افزایش pH رایزوسفر بر اثر جذب نیترات (داده‌ها ارائه نشده است) می‌تواند به علت برهمکنش منفی بین آنیون‌ها باشد (۲۴). با این حال، کوتسیراس و همکاران (۲۰) گزارش دادند که با افزایش آمونیوم محلول غذایی غلظت فسفر میوه‌های خیار تغییر معنی‌داری نمی‌کند.

شکل ۱ نشان می‌دهد که تأثیر pH محلول غذایی بر غلظت فسفر بخش هوایی اسفناج بسته به نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی متفاوت است و روند یکسانی ندارد. در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ تأثیر pH محلول غذایی بر غلظت فسفر بخش هوایی اسفناج معنی‌دار نیست، ولی در سایر نسبت‌ها این اثر معنی‌دار است. در دو نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ و ۲۵:۷۵ با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۸ و از ۶/۵ به ۸ غلظت فسفر بخش هوایی اسفناج به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در نسبت نیترات به آمونیوم ۵۰:۵۰ با افزایش pH محلول غذایی از ۶/۵ به ۸ غلظت فسفر بخش هوایی اسفناج به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. اسلام و همکاران (۱۶) مشاهده کردند که با افزایش pH از ۳/۳ به ۵/۵ غلظت فسفر در همه شش گونه گیاهی مورد مطالعه افزایش و با افزایش pH از ۵/۵ به ۸/۵ غلظت فسفر در همه گونه‌ها کاهش می‌یابد. کوالژیک و کانیزوفسکی (۲۱) بیان داشتند که با افزایش pH محلول غذایی از ۵/۰ به ۶/۵ غلظت فسفر برگ‌های گوجه-فرنگی کاهش می‌یابد ولی غلظت فسفر میوه‌ها تغییر معنی‌داری نمی‌کند. دیسکو و همکاران (۱۱) مشاهده کردند که با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۶/۵ غلظت فسفر برگ‌های گوجه‌فرنگی کاهش می‌یابد. با اندازه‌گیری pH رایزوسفر گیاه (داده‌ها ارائه نشده است) مشاهده گردید که تیمارهایی که کمترین غلظت فسفر بخش هوایی اسفناج را دارند، pH رایزوسفر بیشتری دارند. در pH ۶ تا ۶/۵ فسفر بیشترین قابلیت جذب را دارد. با کاهش pH از ۶ قابلیت جذب فسفر به دلیل تشکیل رسوب فسفات‌های آهن کاهش می‌یابد (۲۴). به طورکلی، بیشترین غلظت فسفر بخش هوایی اسفناج در نسبت

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر مقدار فسفر، نیترات، نیتروژن آلی+آمونیوم معدنی و نیتروژن کل بخش هوایی اسفناج[1]

pH	نسبت نیترات به آمونیوم	فسفر	نیترات	نیتروژن آلی+آمونیوم معدنی	نیتروژن کل
	۱۰۰:۰	۳۵/۳۱ bcd	۴۶۲/۹ a	۲۵۹۸/۱ a	۲۸۵۹/۷ a
	۷۵:۲۵	۴۱/۱۶ abc	۴۱۸/۸ a	۲۶۱۴/۷ a	۲۹۰۷/۵ a
۴/۵	۵۰:۵۰	۴۴/۶۴ a	۱۶۰/۰ cd	۲۱۱۹/۸ bc	۲۳۱۵/۷ bc
	۲۵:۷۵	۲۷/۶۲ ef	۱۱۱/۹ de	۱۰۰۲/۸ e	۱۱۸۹/۵ ef
	۰:۱۰۰	۱۸/۱۸ g	۶۱/۶ f	۵۵۹/۰ fgh	۶۰۶/۷ gh
	۱۰۰:۰	۲۹/۲۰ def	۲۵۱/۸ b	۲۱۳۵/۹ bc	۲۳۲۱/۹ bc
	۷۵:۲۵	۴۳/۶۵ a	۱۲۸/۷ d	۲۵۹۷/۱ a	۲۷۸۳/۲ a
۶/۵	۵۰:۵۰	۳۱/۹۹ de	۶۵/۸ ef	۱۸۹۲/۰ cd	۲۰۲۱/۳cd
	۲۵:۷۵	۲۸/۴۵ def	۱۶/۵ g	۱۲۱۶/۸ e	۱۳۶۵/۴ e
	۰:۱۰۰	۲۲/۳۰ g	۷/۸ g	۶۹۲/۶ fgh	۷۶۶/۷ gh
	۱۰۰:۰	۴/۱۹ h	۱۱۲/۴ de	۳۴۳/۲ h	۳۹۷/۷ h
	۷۵:۲۵	۳۴/۱۹ cde	۲۱۶/۰ bc	۲۴۱۱/۹ ab	۲۶۵۵/۵ ab
۸/۰	۵۰:۵۰	۴۲/۳۶ ab	۶۸/۳ef	۲۴۰۴/۲ ab	۲۶۴۷/۷ ab
	۲۵:۷۵	۳۵/۵۶ bcd	۱۲/۱ g	۱۶۵۵/۲ d	۱۷۴۴/۱ d
	۰:۱۰۰	۳۱/۱۰ de	۵/۵ g	۸۳۳/۵ efg	۹۰۷/۴ fg

۱. در هر ستون و در هر فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و pH ۸ مشاهده می‌شود (شکل ۱). با توجه به توضیح فوق، افزایش غلظت فسفر در pH ۸ برخلاف انتظار است. با مقایسه شکل ۱ با جدول ۴ می‌توان این افزایش غلظت فسفر را به اثر تغلیظ ناشی از کاهش ماده خشک گیاه نسبت داد. به عبارت دیگر در pH ۸ سرعت جذب و همگون‌سازی فسفر به‌وسیله گیاه از سرعت رشد گیاه بیشتر بوده و باعث انباشته شدن فسفر در گیاه شده است.

دامنه کفایت غلظت فسفر بخش هوایی اسفناج ۰/۳۵–۰/۲۵ درصد می‌باشد و اگر غلظت فسفر کمتر از ۰/۱ درصد ماده خشک باشد، گیاه دچار کمبود فسفر می‌شود (۸). لذا، غلظت فسفر در اکثر تیمارهای مورد مطالعه در این بررسی کمتر از دامنه کفایت قرار دارد و حتی در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و ۷۵:۲۵ کمتر از غلظت بحرانی است (شکل ۱). هرچند که نشانه‌های آشکار کمبود فسفر در گیاه در طی دوره رشد مشاهده نگردید، ولی به نظر می‌رسد غلظت فسفر محلول غذایی مورد استفاده در این بررسی، کافی نبوده است و بهتر است غلظت فسفر محلول غذایی افزایش داده شود. شاید غلظت روی و آهن در محلول غذایی زیاد بوده و برهمکنش آنتاگونیستی میان فسفر– روی و آهن– فسفر باعث شده است که غلظت فسفر بخش هوایی گیاه کاهش یابد.

مقدار فسفر بخش هوایی

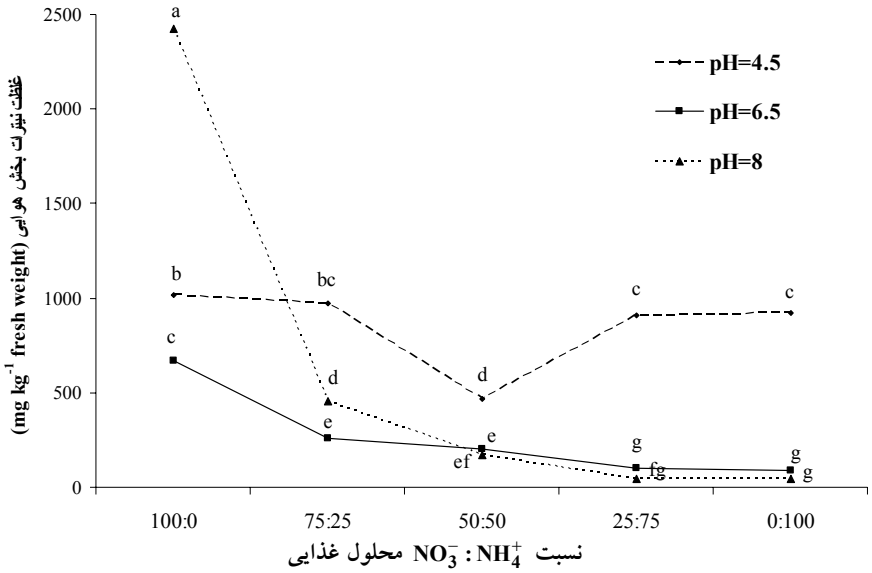
با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر pH، نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر مقدار (جذب) فسفر بخش

هوایی اسفناج در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی نشان می‌دهد که با افزایش آمونیوم محلول غذایی از صفر به ۲۵ درصد مقدار فسفر بخش هوایی اسفناج افزایش و با افزایش بیشتر آمونیوم محلول غذایی مقدار فسفر دوباره کاهش می‌یابد (جدول ۳) که با نتایج رودشتاین و کرگ (۳۳) مطابقت دارد. آنان مشاهده کردند که با افزایش آمونیوم محلول غذایی در pH ۵/۵ از صفر به ۲۵٪، مقدار (جذب) فسفر بخش هوایی صنوبر افزایش و با افزایش بیشتر آمونیوم محلول غذایی مقدار (جذب) فسفر کاهش می‌یابد. از آنجا که مقدار فسفر از حاصلضرب ماده خشک در غلظت فسفر محاسبه شده است و غلظت فسفر با افزایش نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی افزایش می‌یابد (شکل ۱)، کاهش مجدد مقدار فسفر بخش هوایی اسفناج با افزایش آمونیوم محلول غذایی را می‌توان به کاهش ماده خشک نسبت داد. بیشترین مقدار فسفر بخش هوایی اسفناج در دو نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ و ۵۰:۵۰ می‌باشد. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی pH محلول غذایی نشان می‌دهد که با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۶/۵ مقدار فسفر تغییر معنی‌داری نمی‌کند ولی با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۸، مقدار فسفر بخش هوایی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (جدول ۳). این کاهش ناشی از کاهش غلظت فسفر بخش هوایی و کاهش ماده خشک بخش هوایی در pH مذکور می‌باشد. جدول ۴ نشان می‌دهد که تأثیر pH بر مقدار فسفر بخش هوایی اسفناج بسته به نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی متفاوت است. به طوری که در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰، با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۸، مقدار فسفر بخش هوایی به طور معنی‌داری کاهش یافته ولی در نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ افزایش می‌یابد.

غلظت نیترات بخش هوایی

تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهد که اثر pH، نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت نیترات بخش هوایی اسفناج در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۶/۵ غلظت نیترات بخش هوایی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و با افزایش pH محلول غذایی از ۶/۵ به ۸ غلظت نیترات بخش هوایی به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی غلظت نیترات بخش هوایی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (جدول ۲) که با نتایج الیا و همکاران (۱۲) مطابقت دارد. با توجه به شکل ۲ بیشترین غلظت نیترات اسفناج در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و pH ۸ مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه این تیمار بیشترین غلظت نیترات محلول غذایی و کمترین وزن تر و خشک بخش هوایی را داشت، در نتیجه باعث انباشتگی نیترات در بخش هوایی گیاه شده است. به عبارت دیگر، در این تیمار سرعت جذب و همگون‌سازی نیترات به‌وسیله گیاه از سرعت رشد گیاه بیشتر بوده و باعث انباشته شدن نیترات در گیاه شده است. در تمام نسبت‌های نیترات به آمونیوم مورد مطالعه، با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۶/۵، غلظت نیترات بخش هوایی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند ناشی از کاهش سرعت جذب نیترات با افزایش pH باشد (۲۴)؛ زیرا ماده خشک بخش هوایی گیاه به استثنای نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ در بقیه نسبت‌ها با افزایش pH از ۴/۵ به ۶/۵ تغییر معنی‌داری نمی‌کند و در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ ماده خشک بخش هوایی گیاه کاهش می‌یابد که این کاهش نتوانسته است غلظت نیترات بخش هوایی را افزایش دهد. به عبارت دیگر، اثر افزایش pH بر کاهش غلظت نیترات بخش هوایی پدیده غالب بوده است. با افزایش pH از ۴/۵ به ۸ نیز نتایج مشابهی در اغلب نسبت‌های مورد مطالعه (به استثنای نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰) مشاهده گردید (شکل ۲).

مهمترین تفاوت میان جذب NO_3^- و جذب NH_4^+ در حساسیت آنها به pH است. آمونیوم در محیط خنثی به بهترین



شکل ۲. اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت نیترات بخش هوایی اسفناج بر اساس وزن تر

وجه جذب می‌شود و با کاهش pH سرعت جذب آن کم می‌شود. عکس این حالت در مورد نیترات صدق می‌کند که جذب سریعتر آن در مقادیر کم pH اتفاق می‌افتد. کاهش جذب NO_3^- در pH زیاد ممکن است به علت اثر رقابت یون‌های OH^- باشد که سامانه جذب و انتقال NO_3^- را متوقف می‌کند (۳۰). میخائیل و همکاران (۲۶) گزارش دادند که NH_4^+ و NO_3^- در pH ۶/۸ به‌وسیله گونه‌های گیاهی مختلف به میزان مساوی جذب می‌شوند ولی در pH ۴ جذب NO_3^- خیلی بیشتر از جذب NH_4^+ است. سیمونه و همکاران (۳۵) گزارش دادند که با کاهش نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی جذب نیترات به‌وسیله هندوانه کاهش می‌یابد. کیم و همکاران (۱۹) مشاهده کردند که افزایش آمونیوم محلول غذایی با pH ۶/۵ تأثیری بر جذب نیترات به‌وسیله درخت هلو ندارد. آنان علت این پدیده را به ترجیح شکل نیتراتی به‌وسیله گیاه مذکور نسبت دادند.

شکل ۲ نشان می‌دهد که کمترین غلظت نیترات در نسبت‌های نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ و ۲۵:۷۵ در pHهای ۶/۵ و ۸ می‌باشد. به عبارت دیگر، با کاهش نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی غلظت نیترات بخش هوایی کاهش می‌یابد که علت آن را می‌توان به کاهش غلظت نیترات در محلول غذایی نسبت داد؛ زیرا، رابطه مستقیمی بین غلظت نیترات محلول غذایی و غلظت نیترات بخش هوایی وجود دارد (۲۴). ربکا و استات (۳۱) دریافتند که میزان جذب نیترات توسط گیاه توت‌فرنگی با افزایش غلظت آن در محلول غذایی افزایش می‌یابد. عامل دیگری که می‌تواند بر غلظت نیترات تأثیر داشته باشد، افزایش غلظت آمونیوم در محلول غذایی است که باعث کاهش جذب نیترات به‌وسیله گیاه می‌شود. جوانپور هروی و همکاران (۲) نشان دادند که در محلول غذایی حاوی نیترات خالص با غلظت ۹۶ میلی‌گرم در لیتر، غلظت نیترات در میوه گوجه‌فرنگی بیشتر از محلول غذایی با غلظت نیترات ۱۶۸ میلی‌گرم در لیتر (دو برابر) بود که ۲۸ میلی‌گرم در لیتر آمونیوم نیز داشت. به عبارت دیگر حضور آمونیوم در محلول غذایی جذب نیترات را کاهش می‌دهد. دلشاد و همکاران (۳) نیز مشاهده کردند که با افزایش آمونیوم محلول غذایی غلظت نیترات میوه‌های گوجه‌فرنگی کاهش می‌یابد. سرنا و همکاران (۳۴) گزارش دادند که با افزایش آمونیوم محلول غذایی جذب $^{15}NO_3^-$ به‌وسیله مرکبات کاهش می‌یابد. کوتسیراس و همکاران (۲۰) گزارش دادند که با افزایش آمونیوم محلول

غذایی غلظت نیترات میوه‌های خیار کاهش می‌یابد.

لاسا و همکاران (۲۲) مشاهده کردند که تغذیه با نیترات خالص، غلظت نیترات را در اسفناج، آفتابگردان و نخودفرنگی به ترتیب به ۱۲۶۰۰، ۲۳۸۰۰ و ۱۶۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک افزایش می‌دهد و در تغذیه با آمونیوم خالص غلظت نیترات قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در این بررسی برخلاف نتایج لاسا و همکاران (۲۲)، در تغذیه با آمونیوم خالص نیز غلظت نیترات بخش هوایی گیاه قابل اندازه‌گیری بوده است و در pH ۴/۵ غلظت نیترات به طور معنی‌داری از دو pH ۶/۵ و ۸ بیشتر است که می‌توان آن را به عوامل زیر مربوط دانست: ۱) تغذیه گیاه با نیترات در اوایل دوره رشد که بخشی از آن در فرایندهای همگون‌سازی وارد نشده و در گیاه باقی مانده است، ۲) خشک شدن برگ‌ها بر اثر سمیت زیاد آمونیوم که نیترات همگون‌سازی نشده در برگ‌های خشک باقی مانده و اندازه‌گیری می‌شود، ۳) احتمالاً مقداری از آمونیوم‌ها در بستر جامد در طول دوره رشد طی فرایند نیترات‌سازی (Nitrification) به نیترات تبدیل می‌شود؛ تبدیل آمونیوم به نیترات در بستر پرلیت به‌وسیله تایسون و همکاران (۳۶) نیز گزارش شده است و (۴) تأثیر pH اسیدی بر جذب نیترات، که قبلاً بحث شد.

استانداردهای مختلفی برای حداکثر غلظت مجاز نیترات در سبزی‌ها وجود دارد. محدوده مجاز نیترات در ایران برای سبزی‌های مختلف فعلاً مشخص نشده است (۵). اتحادیه اروپا در سال ۱۹۹۷ حداکثر غلظت مجاز نیترات در اسفناج را ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر تعیین نموده است (۱۲). برای مقایسه با استاندارد اتحادیه اروپا در شکل ۲ غلظت نیترات بر اساس وزن تر اسفناج محاسبه گردید. همانطور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود غلظت نیترات اسفناج تولید شده در تمامی تیمارهای مورد مطالعه در این بررسی از حد مجاز اتحادیه اروپا کمتر است. بیشترین غلظت نیترات بر اساس وزن تر ۲۴۲۱ میلی‌گرم نیترات بر کیلوگرم وزن تر اسفناج می‌باشد که در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و pH ۸ مشاهده می‌شود. این تیمار کمترین وزن تر اسفناج را داشت. لذا، به دلیل بیشتر بودن سرعت جذب نیترات از سرعت رشد گیاه، نیترات در گیاه انباشته شده است.

مقدار نیترات بخش هوایی

تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهد که اثر pH، نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر مقدار نیترات بخش هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مقدار نیترات در نسبت‌های نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و ۷۵:۲۵ و در pH ۴/۵ است و کمترین مقدار نیترات در نسبت‌های نیترات به آمونیوم ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰ در دو pH ۶/۵ و ۸ می‌باشد و در اکثر نسبت‌ها مقدار نیترات در pH ۴/۵ با دو pH ۶/۵ و ۸ تفاوت معنی‌داری دارد (جدول ۴). همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزایش آمونیوم محلول غذایی مقدار نیترات به شدت کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش pH محلول غذایی مقدار نیترات به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد؛ به طوری که بیشترین مقدار نیترات در pH برابر ۴/۵ است و تفاوت معنی‌داری بین دو pH ۶/۵ و ۸ وجود ندارد. بین غلظت نیترات بخش هوایی و مقدار نیترات بخش هوایی رابطه خطی معنی‌داری با r=۰/۸۲** مشاهده گردید. همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود با افزایش آمونیوم محلول غذایی، فقط در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ و pH ۸ مقدار نیترات بخش هوایی به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش ماده خشک بخش هوایی گیاه باشد، زیرا غلظت نیترات در این تیمار کاهش یافته است (شکل ۲).

غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی

تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر اصلی pH محلول غذایی در سطح احتمال ۵٪ و اثر نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی در سطح احتمال ۱٪ بر غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی معنی‌دار می‌باشد، ولی اثر

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت و مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی و نیتروژن کل بخش هوایی اسفناج

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی	مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی	غلظت نیتروژن کل	مقدار نیتروژن کل
pH	۲	۴۸/۲۷*	۳۲۹۱۳۱*	۲۴/۲۶ n.s	۴۷۱۷۱۳ **
نسبت نیترات به آمونیوم	۴	۲۴۶/۹۸**	۶۲۱۸۸۰۴۰۱۵۶**	۲۰۰/۱۴**	۷۳۷۲۱۴۹ **
pH× نسبت نیترات به آمونیوم	۸	۲۱/۹۵n.s	۱۵۴۴۳۵۲**	۳۰/۶۹*	۱۷۷۵۱۲۰ **
خطای آزمایشی	۴۵	۱ ۱/۷۴	۷۱۳۲۸	۱۱/۸۶	۶۲۸۱۷
ضریب تغییرات (٪)		۵/۷۵	۱۵/۹۸	۵/۶۸	۱۳/۶۸

ns، * و ** : به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪

متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی معنی‌دار نیست. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان می‌دهد که بیشترین غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی در نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ و کمترین غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی مربوط به نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ می‌باشد. با افزایش آمونیوم محلول غذایی از صفر به ۲۵ درصد، غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی کاهش و با افزایش بیشتر افزایش می‌یابد. با توجه به این که نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ بیشترین و نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ کمترین وزن تر و خشک بخش هوایی را دارند؛ به نظر می‌رسد اثر رقت باعث کاهش غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ و اثر غلظت باعث افزایش غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی در نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ شده است (۲۴). این نتایج با یافته‌های نوریسادا و کوجیما (۲۷)، کیم و همکاران (۱۹) و سرنا و همکاران (۳۴) مطابقت دارد. با توجه به اینکه در روش کلجدال استاندارد، مجموع نیتروژن آلی و آمونیوم آزاد موجود در نمونه‌های گیاهی اندازه‌گیری می‌شود، لذا، در این بررسی معلوم نیست که افزایش غلظت نیتروژن آلی با کاهش نسبت نیترات به آمونیوم ناشی از افزایش آمونیوم آزاد در گیاه است یا افزایش نیتروژن آلی یا هر دو. با این حال بررسی دیگر ما (داده‌ها منتشر نشده) نشان داد که مقدار آمونیوم معدنی موجود در گیاه در مقایسه با نیتروژن آلی بسیار کم بوده و حتی با روش تیتر کردن قابل اندازه‌گیری نیست. همان طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود میانگین غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی با افزایش pH از ۴/۵ به ۶/۵ به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد، ولی با افزایش pH از ۶/۵ به ۸ مجدداً به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، بیشترین میانگین غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی مربوط به pH ۶/۵ می‌باشد و بین دو pH ۴/۵ و ۸ تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. به نظر می‌رسد در pH ۶/۵، سرعت جذب و همگون‌سازی نیترات و آمونیوم در گیاه بیشتر از سرعت رشد گیاه می‌باشد. در نتیجه، بیشترین میانگین غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی مربوط به این pH است (جدول ۶). شکل ۳ نشان می‌دهد که تأثیر pH محلول غذایی بر غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی اسفناج به نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بستگی دارد و بر عکس.

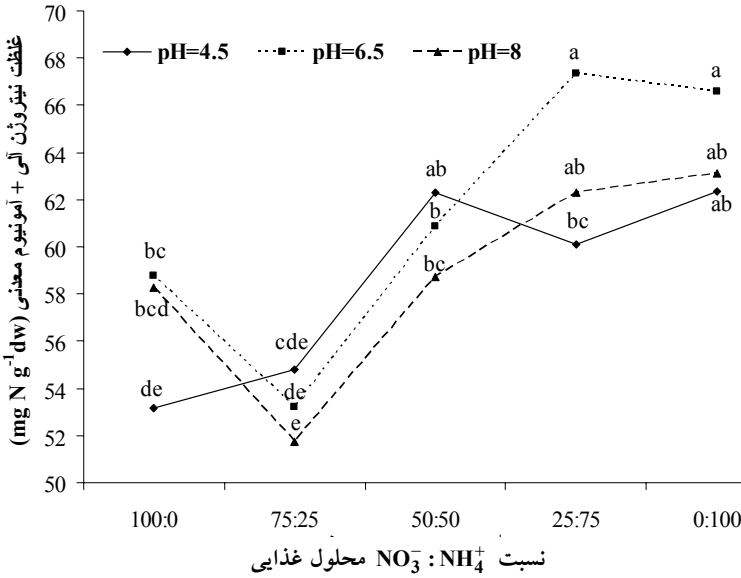
مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی

تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان می‌دهد که اثر pH محلول

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت و مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی و نیتروژن کل بخش هوایی اسفناج[1]

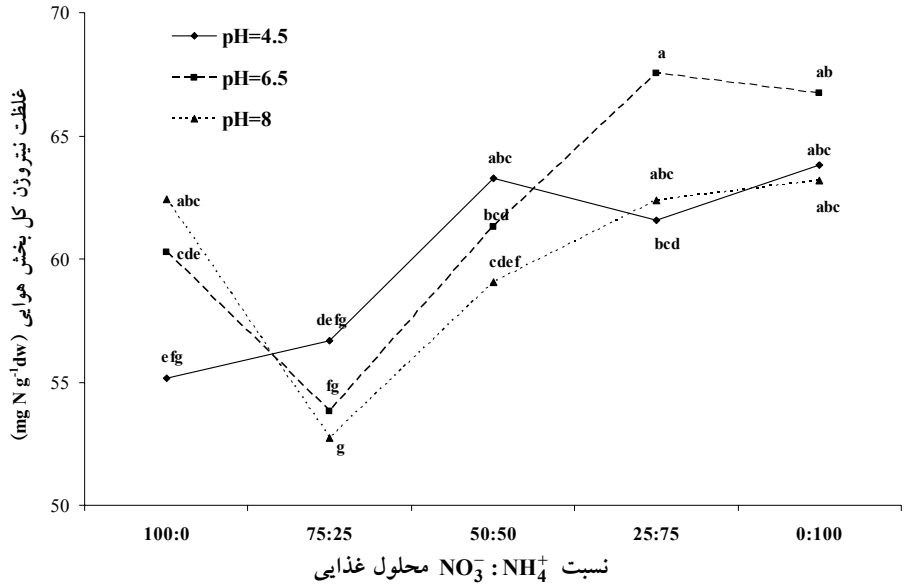
اثر اصلی	سطوح	غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی ($mg\ g^{-1}\ dw$)	مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی ($mg\ pot^{-1}$)	غلظت نیتروژن کل ($mg\ g^{-1}\ dw$)	مقدار نیتروژن کل ($mg\ pot^{-1}$)
نسبت نیترات به آمونیوم	۱۰۰:۰	۵۶/۷۴ c	۱۶۹۲ c	۵۹/۳ c	۱۸۶۰ c
	۷۵:۲۵	۵۳/۲۵ d	۲۵۴۱ a	۵۴/۴ d	۲۷۸۲ a
	۵۰:۵۰	۶۰/۶۲ b	۲۱۳۶ b	۶۱/۲ bc	۱۳۲۸ b
	۲۵:۷۵	۶۳/۲۴ ab	۱۲۹۲ d	۶۳/۸۲ ab	۱۴۳۳ d
	۰:۱۰۰	۶۴/۰۱ a	۶۹۵ e	۶۴/۵۸ a	۷۶۰ e
pH محلول غذایی	۴/۵	۵۸/۵۴ b	۱۷۷۹ a	۶۰/۱ a	۱۹۷۶ a
	۶/۵	۶۱/۳۶ a	۱۷۰۷ a	۶۱/۹ a	۱۸۵۲ a
	۸/۰	۵۸/۸۲ b	۱۵۳۰ b	۶۰/۰ a	۱۶۷۰ b

۱. در هر ستون و در هر فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.



شکل ۳. اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی اسفناج

غذایی در سطح احتمال ۵٪، اثر نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی در سطح احتمال ۱٪ بر مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی معنی‌دار می‌باشند. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی در pH ۴/۵ در دو نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و ۷۵:۲۵، و در pH ۶/۵ در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵، و در pH ۸ با نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ و ۵۰:۵۰ می‌باشد، در حالی که



شکل ۴. اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر غلظت نیتروژن کل بخش هوایی

کمترین مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی اسفناج در دو pH ۴/۵ و ۶/۵ با نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ و در pH ۸ با نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ می‌باشد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) نشان می‌دهد که با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۶/۵، مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی تغییر معنی‌داری نمی‌کند، ولی با افزایش pH محلول غذایی از ۶/۵ به ۸ به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. با افزایش آمونیوم محلول غذایی از صفر به ۲۵ درصد مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی افزایش و با افزایش بیشتر مجدداً کاهش می‌یابد. این کاهش ناشی از کاهش ماده خشک بخش هوایی می‌باشد. زیرا شکل ۳ نشان می‌دهد که با کاهش نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی، غلظت نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی افزایش می‌یابد. همچنین تجزیه رگرسیون خطی نشان داد که بیش از ۹۸٪ تغییرات مقدار نیتروژن آلی + آمونیوم معدنی بخش هوایی به تغییرات ماده خشک بخش هوایی مربوط است.

غلظت نیتروژن کل بخش هوایی

تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان می‌دهد که اثر pH بر غلظت نیتروژن کل بخش هوایی معنی‌دار نیست و تأثیر نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم بر غلظت نیتروژن کل بخش هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سطوح نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی (جدول ۶) نشان می‌دهد که کمترین غلظت نیتروژن کل بخش هوایی در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ می‌باشد. با توجه به جدول ۴ به نظر می‌رسد که این پدیده به علت اثر رقت ناشی از زیادی ماده خشک گیاه باشد. به عبارت دیگر در این تیمار سرعت جذب و همگون‌سازی نیتروژن به‌وسیله گیاه از سرعت رشد گیاه کمتر بوده است. جدول ۶ نشان می‌دهد که بیشترین غلظت نیتروژن کل اسفناج به محلول غذایی با آمونیوم خالص مربوط است، هرچند که با نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ تفاوت معنی‌داری ندارد. والنتین و همکاران (۳۷) نیز بیشترین غلظت نیتروژن کل برگ‌های خیار را در محلول غذایی با آمونیوم خالص مشاهده کردند. شکل ۴ نشان می‌دهد که در pH ۴/۵، با افزایش آمونیوم محلول غذایی غلظت نیتروژن کل اسفناج افزایش می‌یابد. این در حالی است که در دو pH ۶/۵ و ۸ غلظت نیتروژن کل ابتدا کاهش یافته و مجدداً افزایش می‌یابد. دلشاد و همکاران (۳) نیز

مشاهده کردند که افزایش آمونیوم محلول غذایی سبب افزایش غلظت نیتروژن برگ‌های گوجه‌فرنگی می‌گردد. افزایش غلظت نیتروژن برگ‌ها بر اثر تغذیه آمونیومی به‌وسیله خوزه و ویلکاکس (۱۷)، هارتمن و همکاران (۱۴)، سرنا و همکاران (۳۴) و رودشتاین و کرگ (۳۳) نیز گزارش شده است. با وجود اینکه اثر اصلی pH بر غلظت نیتروژن کل اسفناج معنی‌دار نبود ولی شکل ۴ نشان می‌دهد که تأثیر pH بر غلظت نیتروژن کل اسفناج بسته به نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی متفاوت است. به طوری که در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ غلظت نیتروژن کل اسفناج در pH ۸ بیشتر از pH ۴/۵ می‌باشد و در نسبت نیترات به آمونیوم ۲۵:۷۵ غلظت نیتروژن کل اسفناج در pH ۶/۵ بیشتر از دو pH ۴/۵ و ۸ می‌باشد. اسلام و همکاران (۱۶) مشاهده کردند که با افزایش pH محلول غذایی از ۳/۳ به ۵/۵ غلظت نیتروژن در اکثر گونه‌های گیاهی مورد مطالعه، افزایش و با افزایش pH از ۵/۵ به ۸/۵ غلظت نیتروژن در گندم و کاساوا کاهش و در گوجه‌فرنگی افزایش یافت. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود به استثنای نسبت نیترات به آمونیوم ۲۵:۷۵ در بقیه نسبت‌ها با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۶/۵ غلظت نیتروژن کل اسفناج تغییر معنی‌داری نمی‌کند که با نتایج دیسکو و همکاران (۱۱) مطابقت دارد. دامنه کفایت غلظت نیتروژن کل بخش هوایی اسفناج ۵۲-۴۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک می‌باشد (**۳۲**)؛ با توجه به شکل ۴ غلظت نیتروژن کل بخش هوایی اسفناج در تمام تیمارها بیشتر از دامنه کفایت می‌باشد.

مقدار نیتروژن کل بخش هوایی

تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان می‌دهد که اثر pH، نسبت نیترات به آمونیوم و اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی در سطح احتمال ۱٪ بر مقدار نیتروژن کل بخش هوایی اسفناج معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سطوح pH محلول غذایی (جدول ۶) نشان می‌دهد که با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۶/۵ مقدار نیتروژن کل اسفناج تغییر معنی‌داری نمی‌کند، ولی در pH ۸ به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه غلظت نیتروژن کل اسفناج در این pH تغییر معنی‌داری نمی‌کند (جدول ۶) این کاهش را می‌توان به کاهش ماده خشک گیاه نسبت داد. جدول ۴ نشان می‌دهد که تأثیر pH محلول غذایی بر مقدار نیتروژن کل اسفناج بسته به نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی متفاوت است. به طوری که در دو نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ و ۰:۱۰۰ تأثیر pH معنی‌دار نیست ولی در سایر نسبت‌های مورد مطالعه معنی‌دار است. در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۸/۰ مقدار نیتروژن کل اسفناج به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سطوح نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی (جدول ۶) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار نیتروژن کل اسفناج در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ و کمترین آن در نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ می‌باشد. با افزایش آمونیوم محلول غذایی مقدار نیتروژن کل اسفناج ابتدا افزایش یافته و مجدداً کاهش می‌یابد. جدول ۴ نشان می‌دهد که در pH ۴/۵ با افزایش آمونیوم محلول غذایی از صفر به ۲۵ درصد مقدار نیتروژن کل اسفناج تغییر معنی‌داری نمی‌کند ولی پس از آن به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در دو pH ۶/۵ و ۸ با افزایش آمونیوم محلول غذایی مقدار نیتروژن کل اسفناج ابتدا افزایش یافته و مجدداً کاهش می‌یابد. به طور کلی، با توجه به غلظت نیتروژن کل (شکل ۴) این تغییرات عمدتاً ناشی از تغییرات ماده خشک اسفناج می‌باشد. کیم و همکاران (۱۹) مشاهده کردند که با افزایش آمونیوم از ۲۵ به ۷۵ درصد در محلول غذایی با pH ۶/۵، مقدار جذب نیتروژن کل توسط گیاه هلو به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. رودشتاین و کرگ (۳۳) نشان دادند که با افزایش آمونیوم محلول غذایی از صفر به ۲۵ درصد، مقدار نیتروژن کل بخش هوایی صنوبر افزایش و با افزایش آمونیوم از ۲۵ درصد به ۷۵ درصد مقدار نیتروژن کل به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین بیشترین مقدار نیتروژن کل در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه اینکه بیشترین وزن تر اسفناج، بیشترین مقدار فسفر و نیتروژن کل در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ مشاهده گردید و در این نسبت غلظت نیترات اسفناج در pH ۶/۵ به طور معنی‌داری از دو pH ۴/۵ و ۸/۰ کمتر بود. توصیه می‌شود برای تولید اسفناج در سامانه هیدروپونیک از نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ و pH ۶/۵ استفاده گردد. در ضمن چون غلظت فسفر کل بخش هوایی اسفناج در این تیمار و برخی تیمارهای دیگر کمتر از سطح بحرانی بود توصیه می‌شود غلظت فسفر محلول غذایی افزایش داده شود. در این مورد شایسته است که با انجام یک آزمایش با سطوح مختلف فسفر و نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ و pH ۶/۵ غلظت مناسب فسفر در محلول غذایی مورد استفاده برای کشت گیاه اسفناج در سامانه هیدروپونیک تعیین گردد.

منابع مورد استفاده

۱. پیوست، غ. و ر. برزگر. ۱۳۸۵. پرورش سبزی‌های گلخانه‌ای در کشت خاکی و بدون خاک (ترجمه). انتشارات دانش‌پذیر، رشت.

۲. جوانپور هروی، ر.، م. بابالار، ع. کاشی، م. میرعبدالباقی، و م.ع. عسگری. ۱۳۸۴. اثر چند نوع محلول غذایی و بستر کاشت در سیستم آبکشت بر خصوصیات کمی و کیفی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم "حمراء". مجله علوم کشاورزی ۳۶(۴): ۹۳۹-۹۴۶.

۳. دلشاد، م.، م. بابالار، و ع. کاشی. ۱۳۷۹. اثر شاخص نیتروژن محلول‌های غذایی در تغذیه معدنی ارقام گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت هیدروپونیک. مجله علوم کشاورزی ۳۱(۳): ۶۱۳-۶۲۵.

۴. سلطانی، ف.، ع. کاشی، و م. بابالار. ۱۳۸۵. اثر محلول‌های غذایی مختلف روی فاکتورهای رشد و درصد عناصر برگ دو رقم خیار گلخانه‌ای در بستر پرلیت. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۷(۳): ۳۸۱-۳۸۷.

۵. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۹. کنترل غلظت نیترات در سیب‌زمینی، پیاز و سبزی‌ها، ضرورتی انکارناپذیر در حفظ سلامتی جامعه. مجله خاک و آب، ویژه‌نامه کشاورزی پایدار ۱۲(۹): ۱-۵.

6. Addiscott, T. M. 2005. Nitrate, Agriculture and the Environment. CABI Publishing, Oxford, UK., 279 P.
7. Assimakopoulou, A. 2006. Effect of iron supply and nitrogen form on growth, nutritional status and ferric reducing activity of spinach in nutrient solution culture. Sci. Hort. 110: 21-29.
8. Barker, A. V. and D. J. Pilbeam. 2007. Handbook of Plant Nutrition. Taylor & Francis Group, LLC., Boca Raton.
9. Ben, U. and A. Kafkafi. 2002. Melons, cucumber and pepper fruit quality as affected by timing, duration and concentration of phosphate and nitrogen source in recycle hydroponic system. Department of Field Crop, Rehovot, 76100, Israel.
10. Cataldo, D. A., M. Haroon, L. E. Schrader and V. L. Youngs. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Commun. Soil Sci. and Plant Analysis 6(1): 71-80.
11. Dyśko, J., W. Kowalczyk and S. Kaniszewski. 2009. The influence of pH of nutrient solution on yield and nutritional status of tomato plants grown in soilless culture system. Vegetable Crops Research Bulletin, 70: 59-69.
12. Elia, A., P. Santamaria and F. Serio. 1998. Nitrogen nutrition, yield and quality of spinach. Journal of the Science of Food and Agriculture, 76(3): 341–346.
13. Gupta, P. K. 2000. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Delhi, India.
14. Hartman, P. L., A. M. Harry and B. J. Jones. 1986. The influence of nitrate:ammonium ratios on growth, fruit development and element concentration in "Floradel" tomato plant. J. Am. Soc. Hort. Sci. 111: 487-490.
15. Hoagland, D. R. and D. S. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agric. Exp. Stat. Circ. 374: 1-32.
16. Islam, A. K. M. S., D. G. Edwards and C. J. Asher. 1980. pH optima for crop growth "results of a flowing solution culture experiment with six species". Plant Soil, 54: 339-357.
17. Jose, R. M. and G. E. Wilcox. 1984. Growth, free amino acids, and mineral composition of tomato plant in relation to nitrogen form and growing media. J. Amer. Hort. Sci. 109(3): 406-411.
18. Kawazu, Y., M. Okimura, Y. Ishii and S. Yui. 2003. Varietal and seasonal differences in oxalate content of spinach. Scientia Horticulturae, 97: 203-210.

19. Kim, T., H. A. Mills and H. Y. Wetzstein. 2002. Studies on effects of nitrogen form on growth, development, and nutrient uptake in pecan. J. Plant Nutr. 25(3): 497-506.
20. Kotsiras, A., C. M. Olympios, J. Drosopoulos and H. C. Passam. 2002. Effect of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruit. Scientia Horticulturae, 95: 175-183.
21. Kowalczyk, W. and S. Kaniszewski. 2005. The effect of pH of the nutrient solution on phosphorus availability and nutritional status of tomato grown in rockwool. Vegetable Crops Research Bulletin, 63: 87-99.
22. Lasa, B., S. Frechilla, C. Lamsfus and P. M. A. Tejo. 2001. The sensitivity to ammonium nutrition is related to nitrogen accumulation. Sci. Hortic. 91: 143-152.
23. L'hirondel, J. and J. L. L'hirondel. 2002. Nitrate and Man: Toxic, Harmless or Beneficial? CABI Publishing, Oxford, UK. 168 P.
24. Marschener, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edition, Academic Press, London.
25. Maynard, D. N., A. V. Barker, P. L. Minoti and N. H. Peck. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. Advances in Agronomy, 28: 71-118.
26. Michael, G., H. Schumacher and H. Marschner. 1965. Uptake of ammonium and nitrate nitrogen from labelled ammonium nitrate and their distribution in the plant. Z. Pflanzenernahr. Dung. Bodenkd. 110: 225-238.
27. Norisada, M. and K. Kojima. 2005. Nitrogen form preference of six dipterocarp species. For. Ecol. Manag. 216: 175–186.
28. Pressman, A. H. and S. Buff. 1997. Vitamins and Minerals. Alfa Books, Macmillan Company, NY, USA.
29. Ramachandran, A., W. Hrycan, J. Bantle and D. Waterer. 2005. Seasonal changes in tissue nitrate levels in fall-planted spinach (*Spinacia oleracea* L.). University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
30. Rao, K. P. and D. W. Rains. 1976. Nitrate absorption by barley. I. Kinetics and energetics. Plant Physiology, 57: 55-58.
31. Rebecca, L. and G. W. Stutte. 2001. Nitrate concentration effects on NO_3^- uptake and reduction, growth and fruit yield in strawberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126(5): 125-131.
32. Rosen, C. J. and R. Eliason. 2005. Nutrient Management for Commercial Fruit & Vegetable Crops in Minnesota. University of Minnesota Extension Service, USA, 40 pages.
33. Rothstein, D. E. and B. M. Cregg. 2005. Effects of nitrogen form on nutrient uptake and physiology of Fraser fir (*Abies fraseri*). Forest Ecology Management, 219: 69–80.
34. Serna, M. D., R. Borras, F. Legaz and E. P. Millo. 1992. The influence of nitrogen concentration and ammonium/nitrate ratio on N-uptake, mineral composition and yield of citrus. Plant Soil 147: 13-23.
35. Simone, E. H., H. A. Mills and D. Smitte. 1992. Ammonium reduces growth, fruit yield and fruit quality of watermelon. J. Plant Nutr., 15(12): 2727-2741.
36. Tyson, R. V., E. H. Simonne, M. Davis, E. M. Lamb, J. M. White and D. D. Treadwell. 2007. Effect of nutrient solution, nitrate-nitrogen concentration, and pH on nitrification rate in perlite medium. of Plant Nutr., 30(6): 901- 913.
37. Valentine, A. J., B. A. Osborne and D. T. Mitchell. 2002. Form of inorganic nitrogen influences mycorrhizal colonization and photosynthesis of cucumber. Sci. Hort. 92: 229-239.
38. Waling, I., W. V. Vark, V. J. G. Houba and J. J. Van der Lee. 1989. Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi. Part 7, Plant Analysis Procedures., Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
39. Zhang, Y., X. Lin, Y. Zhang, S. J. Zhang and S. Du. 2005. Effects of nitrogen levels and nitrate/ammonium ratio on oxalate concentration of different forms in edible parts of spinach (*Spinacia oleracea* L.). J. Plant Nutr. 28: 2011-2025.