اثر شکل نیتروژن و pH محلول غذایی بر تغییرات pH و EC ریزوسفر اسفناج در کشت هیدروپونیک

نصرت اله نجفی* و منصور پارسازاده[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۳)

چکیده

در این مطالعه، تأثیر نسبت نیترات به آمونیوم و pH محلول غذایی بر تغییرات pH و EC ریزوسفر در طول دوره رشد اسفناج در بستر پرلیت و در شرایط گلخانه بررسی گردید. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کامل تصادفی با سه فاکتور شامل pH محلول غذایی در سه سطح (۴/۵، ۶/۵ و ۸)، نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی در پنج سطح (۱۰۰:۰، ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰) و زمان در ۱۰ سطح با چهار تکرار انجام شد. سه عدد نشای گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) رقم سیریوس در هر گلدان کشت و با ۱۵ محلول غذایی مختلف تغذیه شدند. در طول دوره رشد و در زمان‌های مختلف، pH و EC آبشویه گلدان‌های باکشت و بدون کشت اسفناج در تیمارهای مختلف تعیین شد. نتایج نشان داد که تأثیر زمان، نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و pH اولیه محلول غذایی بر pH و EC ریزوسفر اسفناج در سطح احتمال کمتر از ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. با افزایش نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی، pH ریزوسفر اسفناج افزایش و EC ریزوسفر آن کاهش یافت. در پایان دوره رشد، pH ریزوسفر اسفناج در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و دو pH ۴/۵ و ۸/۰ حدود سه واحد از نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ بیشتر بود. در حالی که این تفاوت در pH ۶/۵ کمتر بود. در طول دوره رشد اسفناج، تغییرات pH و EC ریزوسفر در تیمارهای مورد مطالعه متفاوت بود. در نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی ۷۵:۲۵ و pH ۶/۵ ریزوسفر برای رشد گیاه و جذب عناصر غذایی در گستره مطلوب قرار داشت. به استثنای نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و pH ۸/۰ در بقیه تیمارها pH ریزوسفر اسفناج در طول دوره رشد گیاه کاهش یافت. pH اولیه محلول غذایی بر pH ریزوسفر اثر متفاوتی داشت. به‌طوری‌که میانگین pH ریزوسفر در محلول‌های غذایی با pH اولیه ۴/۵، ۶/۵ و ۸/۰ به ترتیب ۵/۹۴، ۶/۵ و ۷/۲۹ بود. نتایج نشان داد که گیاه اسفناج برای سازش با شرایط نامساعد اسیدی یا قلیایی، فعالانه pH ریزوسفر خود را تغییر می‌دهد. هم‌چنین، اثرات نامطلوب pH بر رشد اسفناج در شرایط نامساعد اسیدی یا قلیایی می‌تواند با استفاده از نسبت نیترات به آمونیوم مناسب کاهش یابد. EC ریزوسفر اسفناج نسبت به EC گلدان‌های بدون کشت و EC اولیه محلول‌های غذایی بیشتر بود. با کاهش pH محلول غذایی، EC ریزوسفر اسفناج افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: تغذیه گیاه، ریزوسفر، اسفناج، شوری، هیدروپونیک

---

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

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

مقدمه

ریزوسفر ناحیه‌ای است پیرامون ریشه گیاه، که بر اثر فعالیت ریشه زنده گیاه تغییرات مختلف شیمیایی، زیستی و فیزیکی در آن ایجاد می‌شود. این تغییرات بر قابلیت جذب عناصر غذایی، تغذیهٔ گیاهان و در نتیجه بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر دارند (۱۷، ۲۲ و۲۶). شرایط ریزوسفر و گستره تغییراتی که توسط ریشه‌ها ایجاد می‌شود، تعیین کننده میزان جذب عناصر غذایی به‌وسیله ریشه گیاه می‌باشد (۸). لذا، تغذیهٔ گیاهان تحت تأثیر تغییرات ایجاد شده به‌وسیلهٔ ریشه در ریزوسفر قرار می‌گیرد و شرایط موجود در ریزوسفر در بسیاری موارد با غیرریزوسفر متفاوت است (۲۵). از مهمترین ویژگی‌های ریزوسفر، که بر جذب عناصر غذایی، فعالیت نسبی ریزجانداران، رشد گیاه و کیفیت محصول تأثیر دارد، pH می‌باشد (۲۹). در کشت هیدروپونیک، pH محلول‌های غذایی و در نتیجه pH ریزوسفر گیاه از دو جنبه اهمیت دارد: اول این‌که pH بر تعادل اکسایش-کاهش، حل‌پذیری و شکل یونی عناصر تأثیر دارد. دوم این‌که pH از طریق اثر یون‌های H^+ و OH^- بر ریشه گیاه، به‌ویژه غشای سلول‌های انتقال دهنده یون، بر جذب یون‌ها اثر می‌گذارد (۱۲). رقابت میان H^+ و کاتیون‌ها و OH^- و آنیون‌ها برای تغذیه معدنی گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲۲).

جهت و میزان تغییر pH ریزوسفر گیاه به عوامل مختلفی بستگی دارد از قبیل: ۱- CO_2 حاصل از تنفس ریشه‌ها و ریزجانداران، ۲- ترشح یون‌های H^+ و OH^- یا بی‌کربنات برای خنثی نمودن بار الکتریکی حاصل از جذب اضافی کاتیون‌ها یا آنیون‌ها (۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۲ و ۲۴)، ۳- ترشح اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه به‌وسیله ریشه‌ها و ریزجانداران (۱۸ و ۲۲)، ۴- تغییرات پتانسیل ریداکس، ۵- pH اولیه خاک، ۶- قدرت بافری خاک (۱۸)، ۷- کمبودهای عناصر غذایی در بستر رشد: بسیاری از گیاهان دارای یک تلمبه پروتونی هستند و می‌توانند در پاسخ به کمبود عناصر غذایی، ریزوسفر خود را با تلمبه نمودن پروتون به آن اسیدی نمایند (۹)، ۸- کاربرد کود فسفر: افزایش pH محلول پیرامون ریشه‌ها بر اثر کاربرد کود فسفر به‌وسیله سیلبر و همکاران (۲۹) گزارش شده است و ۹- کاربرد کود نیتروژن: بین عناصر موجود در گیاه که به‌صورت کود به بستر رشد گیاه افزوده می‌شوند، نیتروژن بیشترین مقدار را داشته و به دو شکل نیترات و آمونیوم توسط ریشه گیاه جذب می‌شود. بررسی‌های مختلف نشان می‌دهند که با کاربرد کود آمونیومی، pH ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر کاهش و با کاربرد کود نیتراتی، pH ریزوسفر افزایش می‌یابد (۱۳، ۱۵، ۲۰، ۲۴ و ۳۱). هاملین و بارکر (۱۵) گزارش دادند که pH ریزوسفر گیاه خردل هندی رشد یافته با محلول‌های غذایی با شش نسبت نیترات به آمونیوم (۱۰۰:۰، ۹۰:۱۰، ۸۰:۲۰، ۷۰:۳۰، ۶۰:۴۰ و ۵۰:۵۰)، در طول دوره رشد متفاوت است و با دو نسبت نیترات به آمونیوم ۶۰:۴۰ و ۵۰:۵۰ طی زمان تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌کند.

یکی از مشکلات تولید محصولات کشاورزی با استفاده از سیستم کشت بدون خاک (هیدروپونیک) تغییرات pH ریزوسفر در طول دوره رشد و تأثیر منفی آن بر رشد گیاه و کیفیت محصول است. گزارش شده است که استفاده از هر دو شکل آمونیوم و نیترات با نسبت مناسب باعث کاهش تغییرات pH ریزوسفر در کشت بدون خاک در طول دوره رشد گیاه و افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۲ و ۱۵). جونز (۲۰) از سایر محققین نقل می‌کند که کمترین تغییرات pH پیرامون ریشه‌ها در کشت هیدروپونیک گندم وقتی مشاهده می‌شود که گیاه با محلول غذایی با نسبت نیترات به آمونیوم ۹۰:۱۰ تغذیه می‌شود. pH پیرامون ریشه‌ها در محلول غذایی با نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ بیش از سه واحد از محلول غذایی با نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ کمتر بود.

در مطالعات ریزوسفر، به تغییر هدایت الکتریکی (EC) ریزوسفر کمتر توجه شده است. میزان EC بستر کشت در طول دوره رشد گیاه تغییر می‌کند. اگر آب با سرعتی بیشتر از عناصر غذایی توسط گیاه جذب شود، باعث افزایش EC بستر کشت و اگر عناصر غذایی با سرعتی بیشتر از آب توسط ریشه گیاه جذب شوند، EC بستر کشت کاهش می‌یابد (۲۰). لیکاس و همکاران (۲۱) در بررسی EC ریزوسفر گل رز مشاهده کردند

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

که EC محلول غذایی پیرامون ریشه‌ها پس از هشت روز رشد گیاه دو دسی‌زیمنس بر متر افزایش می‌یابد. این در حالی است که EC محلول غذایی تیمار شاهد (بدون گیاه) ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر افزایش می‌یابد. نجفی و توفیقی (۲۳) گزارش دادند که با کشت یک رقم برنج در چند خاک مختلف (اسیدی تا قلیایی و آهکی)، EC محلول خاک اطراف ریشه برنج نسبت به توده خاک در طی دوره رشد به‌طور کاملاً متفاوت تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، کشت گیاه، EC بستر رشد را به‌طور قابل‌ملاحظه تغییر می‌دهد. به‌طوری که ممکن است EC ریزوسفر در طول دوره رشد گیاه حتی بیشتر از EC اولیه محلول غذایی یا بستر رشد باشد (۲۱ و ۲۳). بنابراین، لازم است EC محلول پیرامون ریشه‌ها در طول دوره رشد گیاه اندازه‌گیری شود تا از افزایش شوری محلول ریزوسفر به بیش از سطح آستانه تحمل گیاه جلوگیری گردد. با توجه به مطالب پیش گفته شده، این تحقیق برای بررسی اثر pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر تغییرات pH و EC ریزوسفر گیاه اسفناج در طول دوره رشد در بستر پرلیت و در شرایط گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در گلخانه تحقیقاتی هیدروپونیک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در تابستان ۱۳۸۶ انجام گرفت. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کامل تصادفی با سه فاکتور شامل زمان نمونه‌برداری در ۱۰ سطح، 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) و با چهار تکرار انجام شد. در این آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی هفت لیتری به قطر ۳۲ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. جهت تهویه و جلوگیری از خروج پرلیت، در کف گلدان‌ها یک لایه شن درشت به وزن 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، بور ۰/۵، مس ۰/۰۲، آهن ۳، منگنز ۰/۵، مولیبدن ۰/۰۱ و روی ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر بود (۳۲). ابتدا محلول‌های غذایی با پنج نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰، ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰ 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 (۳۲). 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 (۱۴) و هنگام تهیه محلول‌های غذایی، عناصر موجود در آب گلخانه نیز در نظر گرفته شد (جدول ۱). گیاهان در طول دوره رشد، هر روز دو بار و هر بار با حدود ۱۸۰ میلی‌لیتر محلول غذایی به صورت دستی آبیاری شدند.

بذرهای گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) هیبرید F1 رقم سیریوس در خزانه کشت و تا یک هفته پس از جوانه‌زدن رطوبت مورد نیاز از طریق آبیاری با آب معمولی (آب شیر) تأمین شد. سپس نشاها به بستر رشد (گلدان‌ها) منتقل گردید. سه عدد نشای گیاه اسفناج در هر گلدان کشت و به مدت دو هفته با استفاده از نصف غلظت محلول غذایی "هوگلند تغییر یافته" با pH ۶/۵ و نیترات خالص محلول‌دهی شدند

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر pH، نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و زمان بر pH ریزوسفر گیاه اسفناج

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
زمان پس از کاشت	۸	۱۰/۹۹***
خطای زمان	۲۷	۰/۰۳۶
pH	۲	۵۶/۳۷***
pH × زمان	۱۶	۱/۱۶***
نسبت نیترات به آمونیوم	۴	۴۹/۲۵***
نسبت نیترات به آمونیوم × زمان	۳۲	۰/۶۶***
نسبت نیترات به آمونیوم × pH	۸	۰/۳۲۵***
نسبت نیترات به آمونیوم × pH × زمان	۶۴	۰/۱۳***
خطای آزمایشی	۳۷۸	۰/۰۳۷
ضریب تغییرات (٪)		۲/۹۱

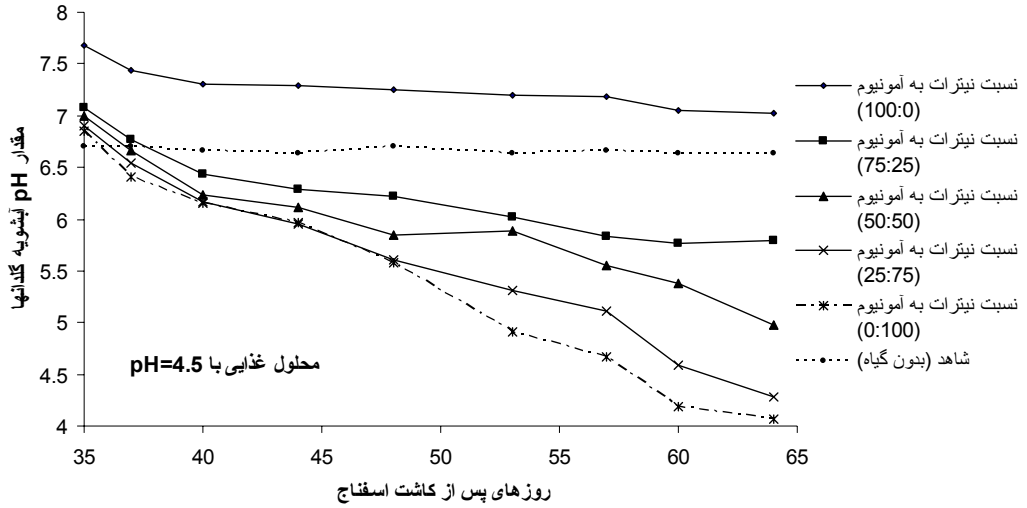
*** معنی‌دار در سطح احتمال کمتر از ۰/۱ درصد

تا گیاهان به‌طور کامل استقرار یابند. سپس به‌مدت پنج هفته با محلول غذایی کامل هر تیمار تغذیه شدند (۳۲). گیاهان به مدت هفت هفته در شرایط گلخانه با نور طبیعی و دمای ۲۴±۳ ºC در روز و ۱۷±۳ ºC در شب و میانگین رطوبت نسبی ۵۵ درصد رشد یافتند. هم‌چنین برای تعیین اثر کشت اسفناج بر تغییرات pH و EC آبشویه بستر رشد، به تعداد تیمارهای مورد مطالعه گلدان‌های بدون کشت در نظر گرفته شد و تمام شرایط اعمال شده به گلدان‌های باکشت هم‌زمان به گلدان‌های بدون کشت نیز اعمال گردید. محلول‌دهی تا آنجا انجام می‌شد که حداقل آبشویه را ایجاد نماید و آبشویه خارج شده دوباره به سطح هر گلدان افزوده می‌شد. پس از استقرار کامل گیاه و رشد کافی ریشه‌ها و بخش هوایی، در طول دوره رشد، در زمان‌های مختلف (هر سه روز یک بار) محلول غذایی به گلدان‌های با و بدون کشت اسفناج طوری داده می‌شد که حدود ۳۰ میلی‌لیتر آبشویه از هر گلدان خارج شود. آبشویه هر گلدان پس از جمع شدن در ظرف مخصوص زیر گلدان، در ظرف پلی‌اتیلنی دیگری ریخته می‌شد و بلافاصله pH و EC آن اندازه‌گیری می‌شد. pH با استفاده از دستگاه pH سنج (pH 209, HANNA) و EC با استفاده از EC سنج (EC 215, HANNA) تعیین می‌گردید. با توجه به این‌که ریشه‌های اسفناج افشان، مویین و فراوان بودند و تمام پرلیت داخل گلدان را احاطه کرده بودند به طوری که حتی جداسازی ریشه‌ها از پرلیت امکان‌پذیر نبود و کلافی از ریشه‌ها در داخل گلدان‌ها ایجاد شده بود، می‌توان گفت که تمام بستر رشد در گلدان‌های با کشت، به‌وسیله ریشه‌ها تحت تأثیر قرار گرفته بود. لذا، تفاوت میان pH و EC آبشویه گلدان‌های باکشت و بدون کشت به عنوان اثر ریزوسفر در نظر گرفته شد (۲۹). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها (با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪) با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

pH ریزوسفر اسفناج

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر اصلی زمان، pH محلول غذایی و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و اثرات متقابل pH محلول غذایی و زمان، pH محلول غذایی و نسبت نیترات به آمونیوم، زمان و نسبت نیترات به آمونیوم

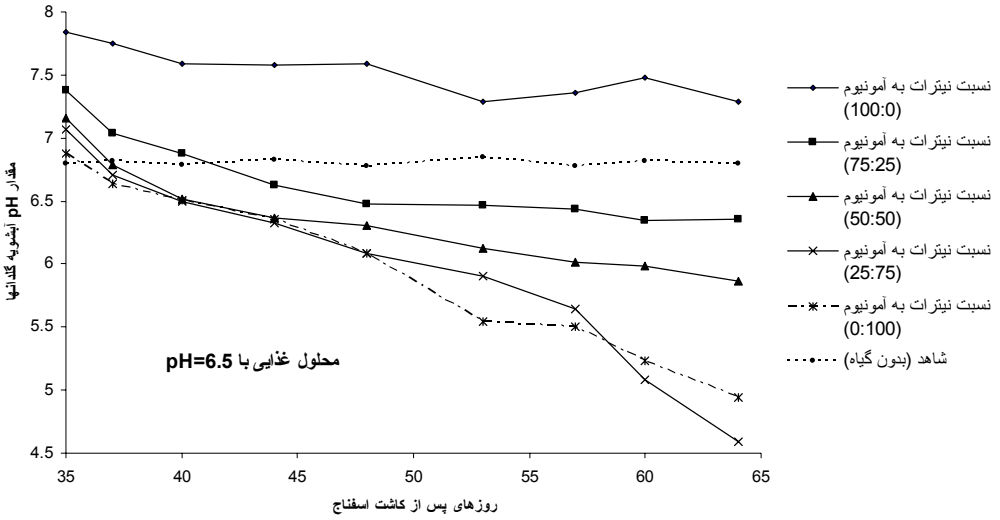


شکل ۱. اثر نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و pH اولیه ۴/۵ بر تغییرات pH آبشویه گلدان‌ها

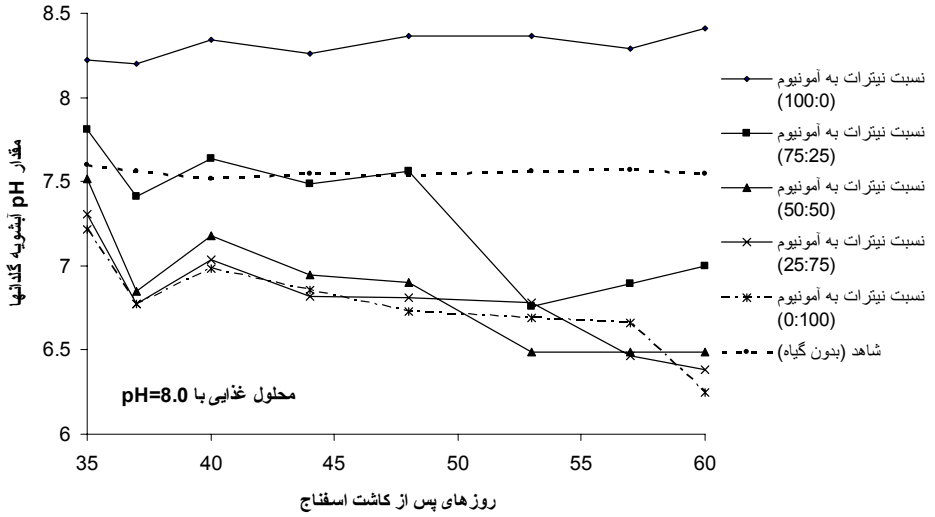
محلول غذایی و pH محلول غذایی و نسبت نیترات به آمونیوم و زمان بر pH آبشویه گلدان‌ها در سطح احتمال کمتر از ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. در طول دوره رشد و در زمان‌های مختلف (هر سه روز یک‌بار)، آبشویه تمامی گلدان‌ها (با و بدون کشت اسفناج) جمع‌آوری و بلافاصله pH آنها اندازه‌گیری شد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). چون تفاوت pH بین نسبت‌های نیترات به آمونیوم مختلف کمتر از ۰/۱ واحد بود، برای رسم منحنی مربوط به شاهد در شکل‌های ۱ تا ۳، از میانگین pH نسبت‌های مختلف نیترات به آمونیوم استفاده گردید.

شکل ۱ اثر نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی با pH اولیه ۴/۵ را بر تغییرات pH آبشویه گلدان‌ها نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود با گذشت زمان در طول دوره رشد گیاه، pH ریزوسفر در نسبت‌های نیترات به آمونیوم مختلف کاهش یافت و این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار بود. در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ هرچند pH ریزوسفر در ابتدای طول دوره رشد کاهش یافت ولی بیشتر از pH آبشویه گلدان‌های بدون کشت (شاهد) بود و در طول دوره رشد تغییرات pH آبشویه گلدان‌های این نسبت کمتر از دیگر نسبت‌های نیترات به آمونیوم بود. با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که با وجود این‌که pH اولیه محلول غذایی ۴/۵ بود ولی در اکثر نسبت‌های نیترات به آمونیوم، pH ریزوسفر اسفناج بیشتر از ۴/۵ بود و تنها در دو نسبت نیترات به آمونیوم ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰ در پایان دوره رشد pH ریزوسفر کمتر از pH اولیه بود.

شکل ۲ نشان می‌دهد که در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰، pH ریزوسفر نسبت به pH اولیه ۶/۵ بیشتر بود و در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ pH ریزوسفر در طول دوره رشد با pH اولیه محلول غذایی تفاوت معنی‌داری نداشت. در واقع، این تیمار بیشترین رشد و عملکرد را نیز داشت (۴). pH ریزوسفر آن حدود نیم واحد کمتر از تیمار شاهد (بدون کشت گیاه) بود. pH ریزوسفر در نسبت‌های نیترات به آمونیوم ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰ در طول دوره رشد کمتر از pH محلول غذایی مورد استفاده و pH تیمار بدون کشت (شاهد) بود. به طوری‌که در دو نسبت نیترات به آمونیوم ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰، pH ریزوسفر اسفناج در پایان دوره رشد به کمتر از ۵ کاهش یافت. شکل ۲ نشان می‌دهد که اگر گیاه اسفناج با دو نوع محلول غذایی، یکی ۱۰۰٪ نیترات و دیگری ۱۰۰٪ آمونیوم و با pH یکسان و برابر ۶/۵ تغذیه شود، pH ریزوسفر گیاه اسفناج پس از حدود ۶۰ روز رشد به حدود ۷/۳ با تغذیه نیترات خالص و به حدود ۴/۶ با تغذیه آمونیوم خالص می‌رسد. یعنی حدود ۲/۷



شکل ۲. اثر نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی با pH اولیه ۶/۵ بر تغییرات pH آبشویه گلدان‌ها



شکل ۳. اثر نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی با pH اولیه ۸ بر تغییرات pH آبشویه گلدان‌ها

واحد تفاوت pH ایجاد می‌شود. همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۳ مشاهده می‌شود این تفاوت در دو pH ۴/۵ و ۸ بیش از ۳ واحد بود.

شکل ۳ نشان می‌دهد که در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ محلول غذایی، pH ریزوسفر نسبت به pH اولیه محلول غذایی افزایش یافت و این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار بود. ولی در سایر نسبت‌های نیترات به آمونیوم محلول غذایی، در طول دوره رشد، pH ریزوسفر به طور معنی‌داری کمتر از pH اولیه محلول غذایی مورد استفاده بود. به‌طوری‌که در نسبت نیترات به آمونیوم ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰، pH ریزوسفر به کمتر از ۶/۵ کاهش یافت. در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ pH ریزوسفر در طول دوره رشد تا حدود ۷/۰ کاهش یافت. رشد و عملکرد در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ حدود ۱۰ برابر بیشتر از نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ بود که بیانگر حساسیت زیاد گیاه اسفناج به pH زیاد ناشی از تغذیه نیتراتی می‌باشد. هم‌چنین شکل ۳ نشان می‌دهد که در پایان دوره

جدول ۳. میانگین EC محلول‌های غذایی مورد استفاده بر حسب دسی‌زیمنس بر متر.

pH	نسبت $NO_3^-:NH_4^+$				
	۱۰۰:۰	۷۵:۲۵	۵۰:۵۰	۲۵:۷۵	۰:۱۰۰
۴/۵	۲/۲۷	۲/۶	۳/۰۳	۳/۴۷	۳/۴۳
۶/۵	۲/۲۸	۲/۵۵	۳/۰۲	۳/۴۳	۳/۴۶
۸/۰	۲/۱۱	۲/۴۶	۲/۸۵	۳/۲۸	۳/۲۶

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر pH، نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی و زمان بر EC ریزوسفر اسفناج

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
زمان پس از کاشت	۹	۱۶/۸۸***
خطای زمان	۳۰	۰/۰۹۹
pH	۲	۳/۲۸***
pH × زمان	۱۸	۰/۰۷ns
نسبت نیترات به آمونیوم	۴	۳۷/۷۵***
نسبت نیترات به آمونیوم × زمان	۳۶	۰/۳۶۷***
نسبت نیترات به آمونیوم × pH	۸	۰/۶۱۹***
نسبت نیترات به آمونیوم × pH × زمان	۷۲	۰/۰۹۱ns
خطای آزمایشی	۴۲۰	۰/۰۷۷
ضریب تغییرات (٪)		۸/۵۷

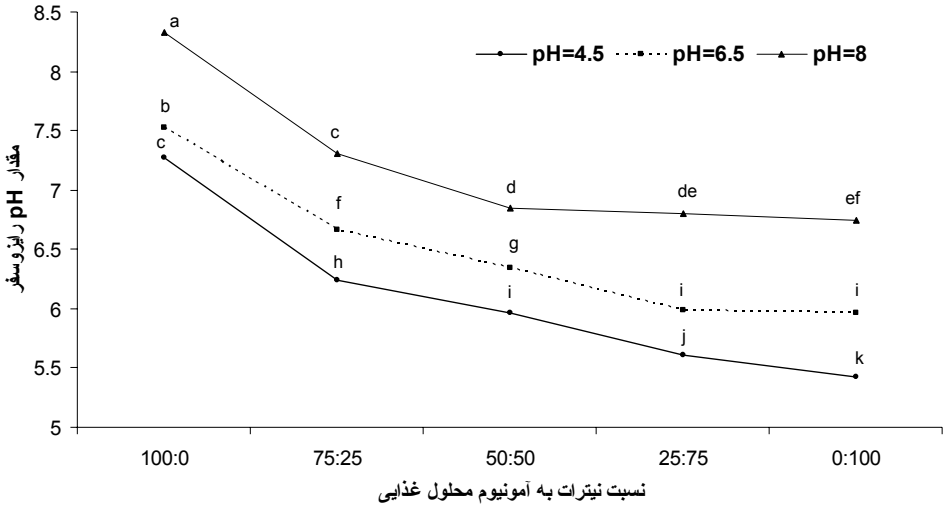
ns و *** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال کمتر از ۰/۱ درصد

رشد، میان pH ریزوسفر اسفناج در دو نسبت ۱۰۰:۰ و ۰:۱۰۰ بیش از ۲/۲ واحد تفاوت وجود داشت. در pH ۴/۵ اکثر نسبت‌های نیترات به آمونیوم pH ریزوسفر بیشتر از ۴/۵ داشتند (شکل ۱) و در pH ۸ اکثر نسبت‌های نیترات به آمونیوم pH ریزوسفر کمتر از ۸ داشتند (شکل ۳).

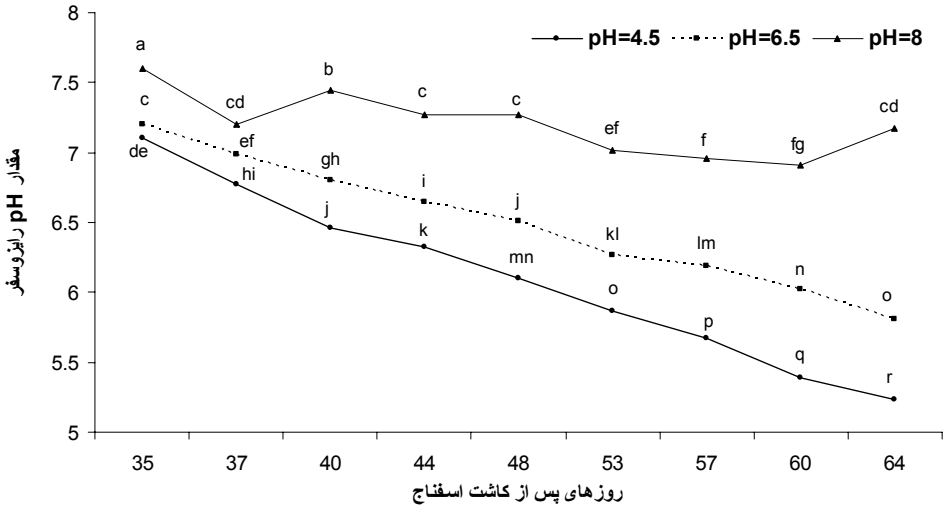
شکل ۴ اثر برهمکنش pH اولیه و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی را بر pH ریزوسفر اسفناج نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش آمونیوم محلول غذایی، pH ریزوسفر اسفناج در هر سه pH مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین pH ریزوسفر در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و pH ۸/۰ و کمترین pH ریزوسفر در نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ و pH ۴/۵ بود (شکل ۴). شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهند که با افزایش pH اولیه محلول غذایی مورد استفاده در کشت هیدروپونیک، pH ریزوسفر اسفناج نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. هم‌چنین با گذشت زمان پس از کشت اسفناج، pH ریزوسفر کاهش یافت (شکل ۵).

EC ریزوسفر اسفناج

با توجه به جدول ۳ محلول‌های غذایی مورد استفاده در این آزمایش EC متفاوتی داشتند که علت آن استفاده از نمک‌های مختلف جهت تهیه محلول‌های غذایی با نسبت نیترات به آمونیوم متفاوت بود. تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر اصلی زمان، pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی، اثر متقابل pH و نسبت نیترات به آمونیوم و اثر متقابل زمان و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر EC ریزوسفر اسفناج در سطح احتمال کمتر از ۰/۱ درصد معنی‌دار بودند، ولی اثر



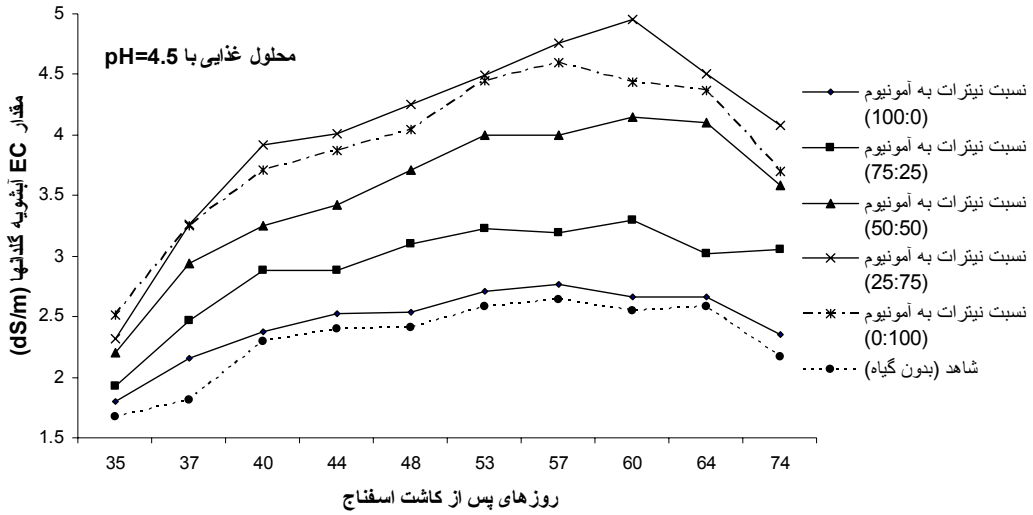
شکل ۴. اثر برهمکنش pH اولیه و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر pH ریزوسفر اسفناج. حروف لاتین متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح احتمال ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد.



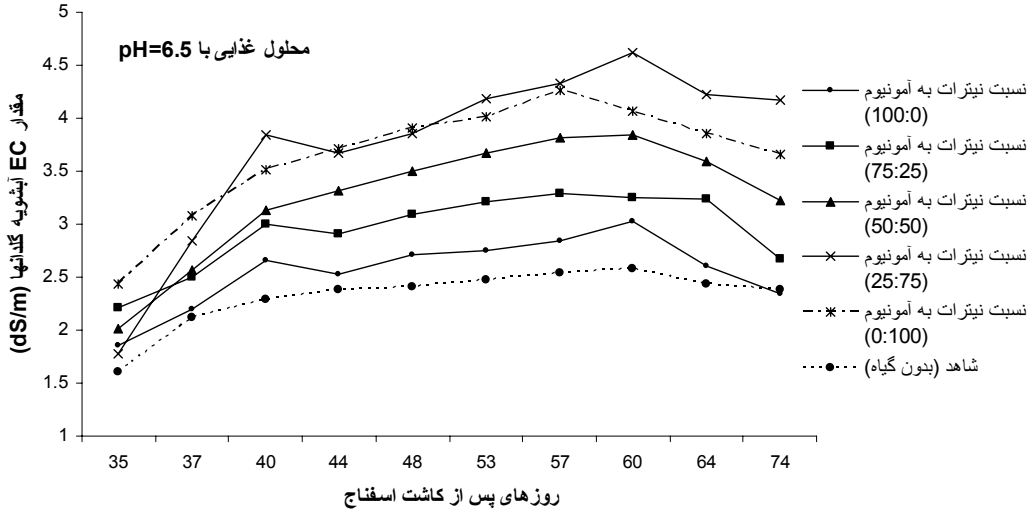
شکل ۵ . اثر pH اولیه محلول غذایی بر تغییرات pH ریزوسفر اسفناج در طول دوره رشد. حروف لاتین متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح احتمال ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد.

متقابل pH محلول غذایی و زمان و اثر متقابل نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی، زمان و pH محلول غذایی بر EC ریزوسفر اسفناج معنی‌دار نبودند.

شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نشان می‌دهند که در طول دوره رشد، با گذشت زمان، EC آبشویه گلدان‌های باکشت و بدون کشت اسفناج افزایش و مجدداً کاهش یافت. هم‌چنین، EC آبشویه گلدان‌های باکشت از گلدان‌های بدون کشت (شاهد) بیشتر بود. به عبارت دیگر، EC محلول پیرامون ریشه‌های گیاه (ریزوسفر) افزایش یافت. یک استثنا در این مورد تغییرات EC ریزوسفر اسفناج در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ و pH ۸ بود. در این تیمار، EC آبشویه گلدان‌های با کشت در زمان‌های ۳۷، ۴۰، ۴۴ و ۴۸ روز پس از کشت اسفناج از EC گلدان‌های بدون کشت (شاهد) کمتر شد، ولی پس از حدود ۵۰ روز در طول دوره رشد از EC گلدان‌های بدون کشت (شاهد) بیشتر بود. شکل ۹ نشان



شکل ۶. اثر نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی با pH اولیه ۴/۵ بر تغییرات EC آبشویه گلدان‌ها

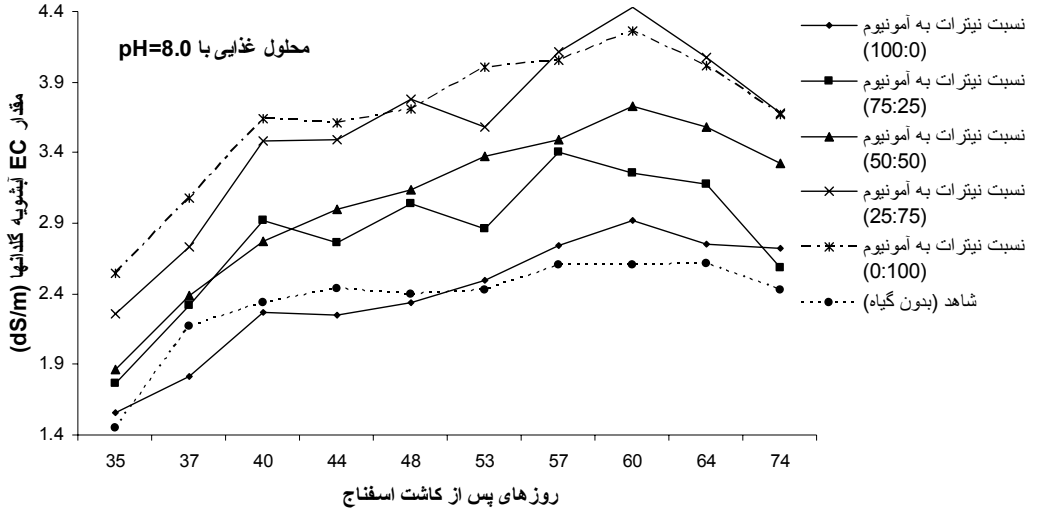


شکل ۷. اثر نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی با pH اولیه ۶/۵ بر تغییرات EC آبشویه گلدان‌ها

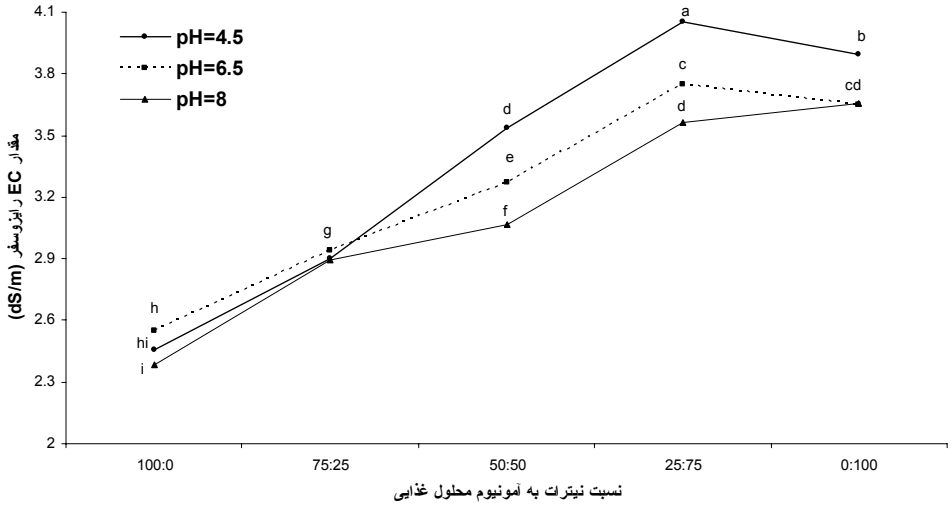
می‌دهد که با افزایش آمونیوم محلول غذایی، EC ریزوسفر اسفناج به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. هم‌چنین، شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان می‌دهند که با افزایش pH محلول غذایی از ۴/۵ به ۸، EC ریزوسفر اسفناج به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سطوح pH محلول غذایی نشان داد که میانگین EC ریزوسفر اسفناج میان هر سه سطح pH از نظر آماری تفاوت معنی‌دار داشت. بیشترین EC ریزوسفر در نسبت نیترات به آمونیوم ۲۵:۷۵ و pH ۴/۵ مشاهده گردید (شکل ۹). هم‌چنین، شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در هر سطح pH با گذشت زمان در طول دوره رشد گیاه اسفناج EC ریزوسفر افزایش و مجدداً کاهش یافت.

بحث

وقتی گلدان‌های بدون کشت گیاه (شاهد) با محلول‌های غذایی با pH اولیه ۴/۵ و ۶/۵ آبیاری شدند، pH آبشویه آنها به بیشتر از مقدار pH اولیه محلول غذایی افزایش یافت (شکل‌های ۱ و ۲). شاید بتوان علت این افزایش را اینگونه بیان کرد که در محلول‌های غذایی، مقدار pH به‌طور عمده با غلظت اولیه

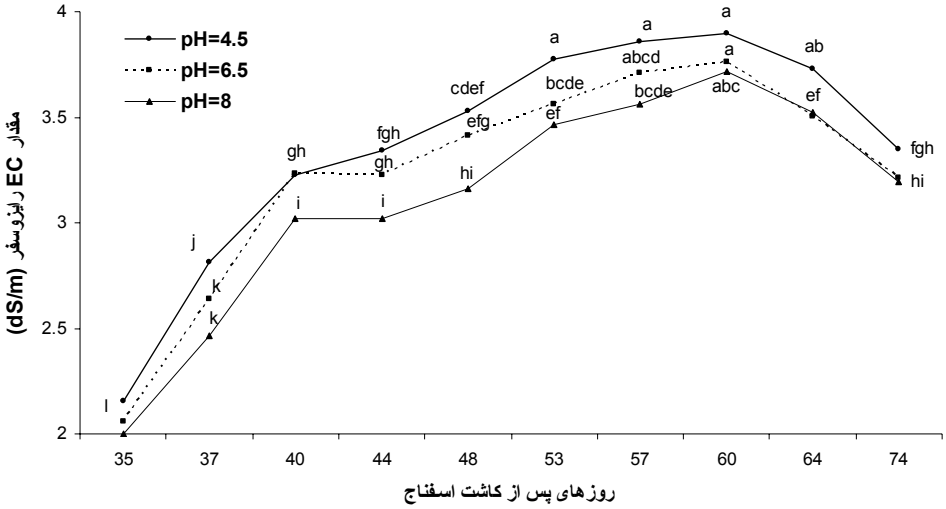


شکل ۸ . اثر نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی با pH اولیه ۸ بر تغییرات EC آبشویه گلدان‌ها



شکل ۹. اثر برهمکنش pH اولیه و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر EC ریزوسفر اسفناج. حروف لاتین متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح احتمال ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد.

$H_2PO^-_4$، HCO^-_3 و NH^+_4 مشخص می‌شود (۱۱ و ۲۷). محلول غذایی که در این تحقیق برای گلدان‌های شاهد استفاده می‌شد، حاوی هر سه یون $H_2PO^-_4$ ، HCO^-_3 و NH^+_4 بود. با توجه به این‌که برای هر یک از نسبت‌های نیترات به آمونیوم، تیمار شاهد در نظر گرفته شده بود و تفاوتی در pH آبشویه گلدان‌های شاهد برای نسبت‌های نیترات به آمونیوم مشاهده نشد، در نتیجه، در این محلول‌ها یون NH^+_4 نمی‌تواند بر pH آبشویه گلدان‌های شاهد اثر داشته باشد. غلظت یون $H_2PO^-_4$ نیز در تمام نسبت‌های نیترات به آمونیوم یکسان بود. پس یون $H_2PO^-_4$ اثر یکسانی بر تغییرات pH آبشویه گلدان‌ها داشته است. تنها یونی که می‌توانست بر pH آبشویه گلدان‌های شاهد اثر بگذارد، یون بی‌کربنات بود. غلظت این یون به میزان CO_2 حل شده در محلول بستگی دارد. هنگامی که به گلدان‌های بدون کشت (شاهد) محلول غذایی داده می‌شود، چون محلول غذایی در تماس با بستر جامد پرلیت قرار می‌گیرد، باعث افزایش خروج CO_2 از محلول غذایی (بر اثر جنبش محلول و کاهش ضخامت آن) می‌شود و غلظت CO_2 در محلول کاهش می‌یابد. در نتیجه واکنش زیر در جهت برگشت (چپ)



شکل ۱۰. اثر pH اولیه محلول غذایی بر تغییرات EC ریزوسفر اسفناج در طول دوره رشد. حروف لاتین متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح احتمال ۵٪ با آزمون دانکن می‌باشد.

انجام می‌گیرد و باعث افزایش pH می‌شود (لیکاس و همکاران، ۲۰۰۶):

$$H_2O + CO_2 \rightleftarrows H_2CO_3 \rightleftarrows HCO^-_3 + H^+ \qquad [۱]$$

وقتی گلدان‌های بدون کشت گیاه (شاهد) با محلول غذایی با pH اولیه ۸/۰ آبیاری شدند، pH آبشویه آنها به کمتر از pH اولیه محلول غذایی، یعنی به حدود ۷/۶، کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد این کاهش pH ناشی از خروج گاز NH_3 از بستر پرلیت است که طبق تعادل زیر چون pH محلول غذایی بالا است، غلظت پروتون کم بوده و تعادل زیر در جهت راست پیش رفته و پس از خارج شدن گاز آمونیاک، پروتون در بستر باقی مانده و سبب کاهش pH محلول غذایی خارج شده از زهکش‌های گلدان‌ها (آبشویه‌ها) گردیده است:

$$NH_4^+ \rightleftarrows NH_3 + H^+ \qquad [۲]$$

با افزایش آمونیوم محلول غذایی pH ریزوسفر اسفناج به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، در حالی که با افزایش نیترات محلول غذایی pH ریزوسفر اسفناج به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که با گزارش‌های وان‌بیسیچن و همکاران (۳۱)، مارشنر (۲۲) و هاملین و بارکر (۱۵) مطابقت داشت. جونز (۲۰) نیز از سایر محققین نقل می‌کند که اگر در سیستم آبکشت، نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بزرگتر از ۹ باشد، با گذشت زمان pH محلول غذایی در تماس با ریشه گندم افزایش و اگر نسبت نیترات به آمونیوم کمتر از ۸ باشد، pH محلول غذایی پیرامون ریشه‌ها کاهش می‌یابد.

pH ریزوسفر گیاه اسفناج در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ در هر سه pH مورد مطالعه در طول دوره رشد گیاه به‌طور معنی‌داری بیشتر از pH اولیه محلول غذایی بود. دلیل افزایش pH ریزوسفر بر اثر تغذیه نیتراتی را اینگونه می‌توان بیان کرد که ریشه گیاه وقتی NO_3^- را از محیط پیرامون خود جذب می‌نماید، یک بار منفی از محیط پیرامون ریشه کم می‌شود. در مقابل، درون سلول‌های ریشه یک بار منفی اضافی ایجاد می‌شود. برای حفظ خنثی بودن بار الکتریکی درون سلول ریشه و هم‌چنین محیط پیرامون آن (ریزوسفر)، ریشه گیاه به ازای جذب یک مول NO_3^-، یک مول OH^- یا بی‌کربنات به ریزوسفر خود آزاد می‌نماید که باعث افزایش pH ریزوسفر می‌گردد (۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۸ و ۲۲). دلیل کاهش pH ریزوسفر بر اثر افزایش آمونیوم محلول غذایی را نیز اینگونه می‌توان بیان کرد که ریشه گیاه به ازای جذب یک مول آمونیوم یک مول پروتون به محیط پیرامون خود ترشح می‌کند تا بار الکتریکی درون و بیرون ریشه خنثی باشد. در نتیجه، pH ریزوسفر کاهش می‌یابد (۲۲). هم‌چنین، با توجه به این‌که تبدیل آمونیوم به نیترات در بستر پرلیت در سیستم هیدروپونیک

به‌وسیله تایسون و همکاران (۳۰) گزارش شده است، طبق واکنش زیر، بر اثر تبدیل یک مول آمونیوم به یک مول نیترات در ریزوسفر، دو مول پروتون تولید می‌شود که باعث افزایش فعالیت پروتون و کاهش pH می‌شود (۵):

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O + Energy \qquad [۳]$$

به‌طور کلی، با افزایش pH اولیه محلول غذایی، pH ریزوسفر اسفناج افزایش می‌یابد. با این حال، میانگین pH ریزوسفر گیاه اسفناج (برای کل داده‌های گلدان‌های باکشت) هنگام تغذیه با محلول‌های غذایی با pH اولیه ۴/۵، ۶/۵ و ۸/۰ به‌ترتیب ۵/۹۴، ۶/۵ و ۷/۲۹ می‌باشد. به عبارت دیگر، در pH ۶/۵، میانگین pH ریزوسفر اسفناج با pH اولیه محلول غذایی تفاوتی ندارد و در محلول غذایی با pH ۸ کمتر از ۸ و در محلول غذایی با pH ۴/۵، بیشتر از ۴/۵ می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که گیاه برای این‌که بتواند شرایط نامساعد pH اسیدی یا قلیایی را تحمل کند، فعالانه pH ریزوسفر خود را تغییر می‌دهد که با گزارش‌های مارشنر (۲۲) و داکورا و فیلیپس (۱۰) مطابقت دارد. زیرا، با تغذیه یک رقم اسفناج با سه محلول غذایی با pH های مختلف pH ریزوسفر به طور کاملاً متفاوت تغییر می‌کند و روند یکسانی ندارد. توفیقی و نجفی (۳) با بررسی تغییرات pH ریزوسفر گیاه برنج در خاک‌های با pH مختلف مشاهده کردند که روند تغییرات pH ریزوسفر، به pH اولیه خاک بستگی دارد. به طوری که با کشت یک رقم برنج در دو خاک مختلف، pH ریزوسفر برنج در خاک اسیدی افزایش ولی در خاک قلیایی کاهش یافت.

هم‌چنین نتایج این بررسی نشان داد که با کاربرد نسبت نیترات به آمونیوم مناسب در محلول غذایی می‌توان اثر مضر pH نامناسب را کاهش داد. به‌طوری که در pH ۴/۵، pH ریزوسفر اسفناج در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ در طول دوره رشد در گستره ۶ تا ۷ تغییر می‌کند، در حالی که در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰ در تمام دوره رشد بیشتر از ۷ و در دو نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰ و ۲۵:۷۵ حتی به کمتر از ۴/۵ نیز می‌رسد (شکل ۱). بیشترین رشد گیاه اسفناج در pH ۴/۵، در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵ مشاهده گردید (۴). این نتایج نشان می‌دهند که در صورت کشت اسفناج در خاک‌های اسیدی، برای کاهش اثر مضر pH باید از نسبت نیترات به آمونیوم بالا یا از کود نیتراتی استفاده کرد. در pH ۸/۰ pH ریزوسفر گیاه اسفناج در نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰، در تمام دوره رشد گیاه بیشتر از ۸/۰ می‌باشد. در حالی که در چهار نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۱۰۰ و ۰:۱۰۰ به کمتر از ۷/۰ می‌رسد (شکل ۳). این نتایج نیز نشان می‌دهد که در صورت کشت اسفناج در خاک‌های قلیایی می‌توان با کاربرد کود نیتروژن با یکی از نسبت‌های نیترات به آمونیوم مذکور pH ریزوسفر را کاهش داده و قابلیت جذب عناصر غذایی را افزایش داد. با در نظر گرفتن قدرت بافری pH خاک و سمی بودن غلظت زیاد آمونیوم برای گیاه، لازم است یک آزمایش در بستر خاک انجام و نسبت مناسب نیترات به آمونیوم برای رشد اسفناج در شرایط مزرعه تعیین شود.

بنابراین، استفاده از هر دو شکل آمونیوم و نیترات با نسبت مناسب باعث کاهش تغییرات pH محلول غذایی پیرامون ریشه‌ها در کشت هیدروپونیک در طول دوره رشد گیاه اسفناج می‌شود. به‌طوری که در نسبت نیترات به آمونیوم ۷۵:۲۵، pH ریزوسفر برای قابلیت جذب بهتر اغلب عناصر غذایی مناسب بوده و در قسمت عمده دوره رشد گیاه در دامنه مناسبی قرار می‌گیرد. در نتیجه رشد گیاه نیز در این نسبت بیشتر می‌باشد. علت کمتر بودن pH ریزوسفر در پایان دوره رشد (شکل ۲) در نسبت نیترات به آمونیوم ۲۵:۷۵ در مقایسه با نسبت نیترات به آمونیوم ۰:۱۰۰، کمتر بودن رشد ریشه‌ها و بخش هوایی گیاه در نسبت ۰:۱۰۰ بر اثر سمیت آمونیوم (۴) و در نتیجه، کاهش ترشح پروتون به محیط ریشه می‌باشد.

با گذشت زمان، EC ریزوسفر در هر پنج نسبت نیترات به آمونیوم و در هر سه pH مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری افزایش و مجدداً کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که قبل از اعمال تیمارها گیاهان با محلول غذایی با EC پایین‌تر، محلول‌دهی می‌شدند، EC تیمارها در روز ۳۵ام دوره رشد کمتر از سایر زمان‌ها بود. علت کاهش مجدد EC تیمارها پس از رسیدن به یک حداکثر

این است که ۶۰ روز پس از کشت اسفناج، بستر رشد گیاه (پرلیت) با یک دوم غلظت محلول غذایی هر تیمار (با همان نسبت نیترات به آمونیوم و همان pH) شستشو داده شد ولی EC تیمارها به‌طور قابل‌ملاحظه کاهش نیافت. لذا، در روز ۶۳ام دوره رشد، بستر رشد با استفاده از آب لوله‌کشی شهر که pH آن طبق pH تیمارها تنظیم شده بود، شستشو داده شد و باعث کاهش EC تیمارها گردید.

به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد عوامل زیر تغییرات EC آبشویه گلدان‌ها را کنترل می‌کنند:

۱. تبخیر آب از سطح گلدان‌ها که EC آبشویه گلدان‌ها را افزایش می‌دهد.
۲. جذب آب و یون‌ها به‌وسیله ریشه گیاه: در این مورد ممکن است چندین پدیده به طور هم‌زمان یا جداگانه انجام شده و هدایت الکتریکی ریزوسفر را تغییر دهند:

الف) اگر یک آنیون و یک کاتیون به طور هم‌زمان جذب شوند، مانند جذب هم‌زمان H^+ و $H_2PO_4^-$ با واسطه ناقل‌های همبر (۲۲)، باعث کاهش EC آبشویه گلدان‌ها می‌شود.

ب) اگر گیاه به ازای جذب یک کاتیون (مثل NH_4^+) از محیط، یک H^+ به ریزوسفر ترشح کند، غلظت H^+ در ریزوسفر افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که یون H^+ بیشترین هدایت اکی‌والانی را در بین یون‌ها دارد (۱)، EC ریزوسفر افزایش می‌یابد.

ج) ریشه گیاه به ازای جذب یک آنیون (NO_3^-)، یک OH^- به بیرون ترشح می‌کند. در نتیجه، pH ریزوسفر افزایش و فعالیت H^+ کاهش یافته و در نتیجه EC آن کاهش می‌یابد (۲۲). به‌طور کلی با تغذیه نیتراتی EC ریزوسفر گیاه کاهش می‌یابد. همان‌طور که شکل‌های ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ نشان می‌دهند کمترین EC ریزوسفر اسفناج در تغذیه با نیترات خالص (نسبت نیترات به آمونیوم ۱۰۰:۰) مشاهده می‌شود که دلیل آن به فرایند (ج) ذکر شده در بالا مربوط است.

ه) اگر آب با سرعتی بیشتر از یون‌ها به‌وسیله گیاه جذب شود، باعث افزایش EC بستر کشت می‌شود ولی اگر یون‌ها با سرعتی بیشتر از آب به‌وسیله ریشه گیاه جذب شوند، EC بستر کشت کاهش می‌یابد (۷ و ۲۰).

EC آبشویه گلدان‌های شاهد (بدون کشت گیاه اسفناج)، حدود ۰/۳ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از EC محلول‌های غذایی مورد استفاده بود که احتمالاً به علت تبخیر آب از سطح گلدان‌های شاهد می‌باشد. افزایش EC ریزوسفر اسفناج (EC آبشویه گلدان‌های با کشت) نسبت به گلدان‌های بدون کشت (شاهد) و هم‌چنین افزایش آن با گذشت زمان در شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۱۰ را می‌توان به کاهش pH ریزوسفر در طول زمان، تبخیر آب از سطح گلدان‌ها و باقی ماندن یون‌ها در بستر رشد و احتمالاً بیشتر بودن سرعت جذب آب نسبت به سرعت جذب یون‌ها نسبت داد. افزایش EC ریزوسفر اسفناج با افزایش آمونیوم محلول غذایی می‌تواند ناشی از عوامل زیر باشد:

۱) افزایش EC اولیه محلول غذایی با افزایش آمونیوم آن (جدول ۳) که بخشی از افزایش EC را توجیه می‌کند نه همه آن را؛ زیرا تفاوت EC ریزوسفر اسفناج میان دو نسبت نیترات به آمونیوم بیشتر از تفاوت EC محلول غذایی اولیه آنها است.

۲) ترشح پروتون به‌وسیله ریشه به ازای جذب آمونیوم (فرایند ب) که باعث افزایش فعالیت پروتون شده و در نتیجه، EC ریزوسفر اسفناج افزایش می‌یابد.

۳) انجام فرایند نیترات‌سازی که طبق واکنش ذکر شده در بالا باعث افزایش فعالیت پروتون و کاهش pH شده (۵) و EC ریزوسفر اسفناج را افزایش می‌دهد. شانون و گریو (۲۸) با جمع‌بندی نتایج بررسی‌های انجام شده در مورد تأثیر شوری بر رشد سبزی‌ها گزارش دادند که کاهش رشد اسفناج کشت شده در محلول غذایی با افزایش EC محلول غذایی تا ۸/۰ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبوده است. با توجه به این‌که EC ریزوسفر اسفناج در تمامی تیمارهای مورد مطالعه از سطح مذکور کمتر است، به‌نظر می‌رسد تغییرات شوری محلول ریزوسفر در تیمارهای مورد مطالعه، بر رشد اسفناج تأثیر قابل ملاحظه‌ای نداشته است.

منابع مورد استفاده

۱. پازنده، ح. ۱۳۷۱. الکتروشیمی برای مهندسین. چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.

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

۳. توفیقی، ح. و ن. نجفی. ۱۳۸۰. بررسی تغییرات pH، Eh و روی محلول در طول دوره غرقاب و رشد برنج در دو خاک شالیزاری مختلف. هفتمین کنگره علوم خاک ایران، ۷-۴ شهریور ماه، دانشگاه شهرکرد.

۴. نجفی، ن.، م. پارسازاده، ج. طباطبایی و ش. اوستان. ۱۳۸۹. تأثیر pH و نسبت نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر ویژگی‌های رشد و عملکرد اسفناج. مجله تحقیقات آب و خاک ایران ۴۱(۲): ۲۷۳-۲۸۲.

5. Addiscott, T.M. 2005. Nitrate, Agriculture and the Environment. CABI Publishing, Oxford, UK, 279 p.
6. Bagayoko, M., S. Alvey, G. Neuman and A. Buerkert. 2000. Root induced increase in soil pH and nutrient availability to field-grown cereals and legumes on acid sandy soils of Sudano-Sahelian West Africa. Plant Soil 225: 117-127.
7. Barber, S.A.1995. Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. 2nd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
8. Chung, J.B. and R.J. Zasoski. 1994. Ammonium-potassium and ammonium-calcium exchange equilibria in bulk and rhizosphere soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1368-1375.
9. Crowley, D.E. and Z. Rengel. 2002. Biology and chemistry of nutrient availability in the rhizosphere. PP. 1-40. *In:* Rengel, Z. (Ed.), Mineral Nutrition of Crops, CBS Publishers, New Delhi, India.
10. Dakora, F.D. and D.A. Phillips. 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. Plant Soil 245: 35-47.
11. De Rijck, G. and E. Schrevens. 1997. pH influenced by the elemental composition of nutrient solutions. Plant Nutr. 20(7-8): 911-923.
12. Epstein, E. and A.J. Bloom. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2nd Edition, Sinauer Associates, Inc., USA, 400 p.
13. Gahoonia, T.S., N. Claassen and A. Jungk. 1992. Mobilization of phosphate in different soils by rye grass supplied with ammonium or nitrate. Plant Soil 140: 241-248.
14. Gupta, P.K. 2000. Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Delhi, India.
15. Hamlin, R. L. and V.A. Barker. 2006. Influence of ammonium and nitrate nutrition on plant growth and zinc accumulation by Indian mustard. Plant Nutr. 29: 1523-1541.
16. Haynes, R.J. 1990. Active ion uptake and maintenance of cation-anion balance: A critical examination of their role in regulating rhizosphere pH. Plant Soil 126: 247-264.
17. Hinsinger, P. 1998. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. Advances in Agron. 64: 225-265.
18. Hinsinger, P., C. Plassard, C. Tang and B. Jaillard. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. Plant Soil 248: 43-59.
19. Jaillard, B., C. Plassard and P. Hinsinger. 2003. Measurement of H^+ fluxes and concentrations in the rhizosphere. PP. 231-266. *In:* Rengel, Z. (Ed.), Handbook of Soil Acidity, Marcel Dekker, Inc., New York, USA.
20. Jones, J.B. Jr. 1997. Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower. St. Lucie Press, London.
21. Lykas, C., N. Katsoulas, P. Giaglaras and C. Kittas. 2006. Electrical conductivity and pH prediction in a recirculated nutrient solution of a greenhouse soilless rose crop. Plant Nutr. 29: 1585-1599.
22. Marschener, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition, Academic Press, London.
23. Najafi, N. and H. Towfighi. 2008. Changes in pH, EC and concentration of phosphorus in soil solution during submergence and rice growth period in some paddy soils of north of Iran. International Meeting on Soil Fertility, Land Management, and Agroclimatology, 29 Oct.-1 Nov., Kusadasi, Turkey.
24. Nye, P.H. 1981. Changes of pH across the rhizosphere induced by roots. Plant Soil 61: 7-26.
25. Romheld, V. 1990. The soil-root interface in relation to mineral nutrition. Symbiosis 9: 19-27.
26. Romheld, V. 2004. The rhizosphere: Definition and perspectives. Rhizosphere International Congress, 12-17 Sept., 2004, Munich, Germany.
27. Savvas, D. and K. Adamidis. 1999. Automate management of nutrition solution based on target electrical conductivity, pH and nutrient concentration ratio. Plant Nutrition, 22(9): 1415-1432.
28. Shannon, M.C. and C.M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. Sci. Hort. 78: 5-38.

29. Silber A., R.G. Neumann and J. Ben-Jacov. 1998. Effects of nutrient addition on growth and rhizosphere pH of Leucadendron "Safari sunset". Plant Soil 199: 205-211.
30. 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. Plant Nutr. 30(6): 901-913.
31. Van Beusichem, M.L., E.A. Kirkby and R. Baas. 1988. Influence of nitrate and ammonium nutrition and the uptake, assimilation, and distribution of nutrients in Ricinus Communis. Plant Physiol. 86: 914-921.
32. 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.). Plant Nutr. 28: 2011-2025.