نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۸، شماره۳ ، مرداد - شهریور ۱۳۸۹، ص ۴۵۴-۴۴۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 8, No. 3, July – Aug. 2010, p. 444-454

ارتباط خصوصیات مورفولوژیک ریشه با کارآیی مصرف نیتروژن در شش رقم سیب‌زمینی

متین جامی معینی[۱]- سیدعلی‌محمد مدرس‌ثانوی[۲*]- پیمان کشاورز[۳]- علی سروش‌زاده[٤]- علی گنجعلی[٥]

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۲۰

چکیده

طی دو آزمایش مزرعه‌ای و گلخانه‌ای، کارآیی مصرف نیتروژن و مورفولوژی ریشه ارقام مختلف سیب‌زمینی مورد مقایسه قرار گرفت و واکنش مورفولوژی ریشه به غلظت نیتروژن بررسی گردید. تیمارهای مورد مطالعه در آزمایش مزرعه‌ای شامل چهار مقدار نیتروژن (صفر، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و شش رقم سیب‌زمینی (فونتانه، کوراس، آگریا، میریام، کاسموس و پیکاسو) بودند. آزمایش گلخانه‌ای به روش کشت در ماسه اجراء شد و اثر غلظت‌های مختلف نیتروژن (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه ارقام سیب‌زمینی مورد بررسی قرار گرفت. مصرف نیتروژن عملکرد کل غده و کارآیی نیتروژن ارقام سیب‌زمینی را تحت تأثیر قرار داد. بیشترین عملکرد غده در تیمار ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد. تفاوت معنی‌داری بین سطوح کودی ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از نظر عملکرد غده مشاهده نشد. کارآیی مصرف و کارآیی زراعی نیتروژن با افزایش مقدار کاربرد نیتروژن کاهش یافت. در بین ارقام سیب‌زمینی، کاسموس، کوراس و پیکاسو بالاترین مقادیر عملکرد، کارآیی مصرف و کارآیی زراعی نیتروژن را دارا بودند. غلظت‌های مختلف نیتروژن بر کلیه صفات مورفولوژیک ریشه به استثنای قطر ریشه، اثر معنی‌داری داشت. با افزایش غلظت نیتروژن، حجم، وزن تر، وزن خشک، مجموع سطح و مجموع طول ریشه و همچنین وزن خشک اندام‌های هوایی در کلیه ارقام سیب‌زمینی افزایش و نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن ویژه ریشه کاهش یافت. تفاوت معنی‌داری بین ارقام سیب‌زمینی از نظر خصوصیات مورفولوژیک ریشه وجود داشت و ارقام با کارآیی بالاتر نیتروژن، در کلیه غلظت‌های نیتروژن سیستم ریشه قوی‌تر و گسترده‌تری را تولید نمودند.

واژه های کلیدی: سیب‌زمینی، کارآیی مصرف نیتروژن، کارآیی زراعی نیتروژن، مورفولوژی ریشه

مقدمه

نیتروژن مهمترین عنصر غذایی برای تولید محصولات زراعی در بسیاری از مناطق کشاورزی جهان بوده و مصرف کارآمد آن برای پایداری اقتصادی سیستم‌های زراعی مهم می‌باشد (۶ و ۸). کارآیی مصرف کودهای نیتروژنه توسط گیاهان به عوامل متعددی از جمله شرایط خاک، آب و هوا و مدیریت بستگی داشته و متغیر می‌باشد. بازیافت نیتروژن در گیاهان زراعی معمولاً کمتر از ۵۰ درصد در سرتاسر جهان است. بازیافت پایین نیتروژن در محصولات یکساله، با تلفات آن بوسیلهٔ عمل تصعید، آبشویی، رواناب سطحی، دنیتریفیکاسیون و پوشش گیاهی در ارتباط است (۶ و ۷).

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از جمله محصولاتی است که مدیریت نیتروژن در آن هم از نقطه نظر تولید و هم از نظر محیطی با اهمیت است (۴). بطور معمول، تولید محصول سیب‌زمینی در خاک‌های سبک و با مصرف مقادیر بالای کود نیتروژن و انجام آبیاری‌های مکرر انجام می‌شود. سیستم محدود ریشه و رشد کند این گیاه در مراحل اولیه رشد در ترکیب با عوامل فوق منجر به افزایش تلفات نیتروژن در مزارع سیب‌زمینی می‌گردد (۱۱ و ۱۴). مجموعهٔ این عوامل گیاهی، خاکی و مدیریتی، همراه با بارندگی‌های غیرقابل پیش‌بینی در طی فصل رشد، منجر به کارآیی پایین مصرف نیتروژن توسط محصول و تلفات بالای آبشویی نیترات می‌شود (۱۸).

در حال حاضر دو روش کاربردی برای افزایش کارآیی نیتروژن وجود دارد: ۱- اصلاح عملیات کشاورزی برای به حداقل رساندن تلفات نیتروژن و ۲- استفاده از ارقام کارآمد در مصرف نیتروژن. گزینش برای ارقام کارآمد در مصرف نیتروژن، به عنوان روشی مؤثر

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: modarresa@yahoo.com)
۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
۵- استادیار پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد

برای به حداقل رساندن نهاده و تلفات کودهای نیتروژنه در زمین‌های زراعی مورد توجه است (۱۷). ژنوتیپ‌های زراعی با مصرف کارآمد نیتروژن، تولید را افزایش، هزینه‌ها و ریسک تولید را کاهش و اثرات منفی نیتروژن بر محیط را به حداقل می‌رسانند (۱۵). اربهی و همکاران (۵) تفاوت‌های معنی‌داری در خصوص کارآیی مصرف نیتروژن در بین ارقام مختلف سیب‌زمینی مشاهده نمودند. چنین اختلافات ژنوتیپی ممکن است به علت تفاوت در کارآیی بهره‌وری نیتروژن و یا تفاوت در کارآیی جذب نیتروژن توسط ریشه‌ها ایجاد شود، که به نظر می‌رسد کارآیی جذب نیتروژن عامل مهمتری باشد. جذب بالای نیتروژن می‌تواند نتیجه اندازه سیستم ریشه یا فعالیت ریشه باشد. تحت شرایط مزرعه‌ای، سهم فعالیت ریشه نسبتاً کم است. بنابراین تحت چنین شرایطی، اندازه سیستم ریشه مهمترین عامل تعیین‌کننده جذب نیتروژن می‌باشد (۱۳). وانگ و همکاران (۱۷)، همبستگی‌های ممکن بین کارآیی جذب نیتروژن و پارامترهای مختلف مورفولوژی ریشه را در ۵ لاین اینبرد ذرت که از کارآیی جذب نیتروژن متفاوتی برخوردار بودند، مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که واریته‌های کارآمد در مصرف نیتروژن نسبت به سایر واریته‌ها به ویژه در شرایط فراهمی پایین نیتروژن، وزن اندام‌های هوایی و ریشه بالاتری داشتند و نیتروژن بیشتری را جذب کردند. ساتل‌ماچر و همکاران (۱۳) تفاوت‌های موجود در کارآیی جذب نیتروژن دو رقم سیب‌زمینی را به تفاوت در مورفولوژی ریشه آنها نسبت دادند. نتایج این تحقیق بر اهمیت طول و سطح ریشه برای جذب نیتروژن از خاک تأکید دارد. شریفی و همکاران (۱) در مطالعه اثر غلظت نیترات محلول غذایی بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه گیاهچه‌های حاصل از کشت بافت پنج رقم سیب‌زمینی دریافتند که غلظت نیترات تأثیر معنی‌داری بر مورفولوژی ریشه دارد.

در محصولات دارای تکثیر غیرجنسی نظیر سیب‌زمینی، مطالعات متعددی در رابطه با اصلاح مدیریت نیتروژن جهت به حداقل رساندن تلفات آن صورت گرفته است، اما تعداد تحقیقات انجام شده در رابطه با بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی موجود در بین ارقام به منظور بهبود کارآیی مصرف نیتروژن محدود می‌باشد. در رابطه با اثر افزایش فراهمی نیتروژن بر رشد ریشه نیز مطالعات زیادی انجام شده است، اما تنها در تعداد کمی از این مطالعات ارقامی با کارآیی متفاوت نیتروژن به کار برده شده‌اند.

در تحقیق حاضر، علاوه بر مقایسه ارقام سیب‌زمینی از نظر مورفولوژی ریشه و کارآیی نیتروژن، واکنش‌های مورفولوژیکی ریشه سیب‌زمینی به غلظت نیتروژن نیز مورد بررسی قرار گرفته و ارتباط موجود بین خصوصیات مورفولوژیک ریشه با کارآیی مصرف و کارآیی زراعی نیتروژن ارزیابی شده است.

مواد و روش ها

به منظور بررسی رابطه خصوصیات مورفولوژیک ریشه با کارآیی مصرف و کارآیی زراعی نیتروژن در ارقام مختلف سیب‌زمینی، یک آزمایش دو ساله مزرعه‌ای و یک آزمایش گلخانه‌ای در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی- مشهد (′۱۶ °۳۶ عرض شمالی و ′۳۶ °۵۹ طول شرقی) اجراء گردید.

آزمایش مزرعه‌ای

آزمایش در سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۸۴ و ۸۶-۱۳۸۵ بصورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجراء شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل چهار مقدار نیتروژن صفر (شاهد)، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار و شش رقم سیب‌زمینی فونتانه، کوراس، آگریا، میریام، کاسموس و پیکاسو بودند. مقادیر نیتروژن به کرتهای اصلی و ارقام سیب‌زمینی به کرتهای فرعی اختصاص یافتند.

قبل از اجرای آزمایش، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری به عمل آمد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول ۱). براساس نتایج تجزیه خاک، در هر دو سال انجام آزمایش مقادیر توصیه شده فسفر، پتاسیم، روی و منگنز بصورت کودهای سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ و ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در سال‌های اول و دوم)، سولفات پتاسیم (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)، سولفات روی (۲۵ کیلوگرم در هکتار) و سولفات منگنز (۲۵ کیلوگرم در هکتار) به خاک اضافه و با آن مخلوط شد. پس از آماده‌سازی بستر کاشت و فراهم شدن شرایط محیطی، در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ۱۳۸۵ و ۵ خرداد ۱۳۸۶ اقدام به کاشت غده‌های کامل سیب‌زمینی از پیش جوانه‌زده و ضدعفونی شده گردید. در این آزمایش‌ها هر کرت فرعی متشکل از ۴ ردیف کاشت به طول ۶ متر و فاصله بین و روی ردیف ۷۵ و ۲۵ سانتی‌متر بود. منبع نیتروژن مورد استفاده، کود اوره (۴۶٪ نیتروژن) بود. تیمارهای کودی نیتروژن به سه قسمت مساوی تقسیم و در سه مرحله کاشت، سبز شدن و خاک‌دهی پای بوته‌ها در بین ردیف‌های کاشت توزیع و با خاک مخلوط گردیدند. پس از اتمام کاشت غده‌ها و کاربرد اولین مرحله تیمار کود نیتروژنه در کرتهای مورد نظر، مزرعه بلافاصله آبیاری شد. آبیاری با استفاده از سیستم هیدروفیکس و با توجه به نیاز آبی سیب‌زمینی در مراحل رشدی مختلف و بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک انجام گردید. در طی فصل رشد، علفهای هرز بصورت دستی کنترل شدند، و برای کنترل آفت تریپس و بیماری آلترناریا به ترتیب از سموم شیمیایی متاسیستوکس و زینب استفاده به عمل آمد.

در زمان رسیدگی محصول، ۱/۵ متر مربع از دو ردیف وسطی هر کرت فرعی برداشت و پس از تعیین عملکرد غده در تیمارهای

مختلف، کارآیی زراعی و کارآیی مصرف نیتروژن به ترتیب از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (۲ و ۱۲).

$$1\text{- Agronomic N-efficiency} = \frac{(Y_N - Y_0)}{F_N} \quad (\text{kg tuber kg}^{-1}\text{ N})$$

$$2\text{- N use efficiency} = \frac{Y_N}{F_N} \quad (\text{kg tuber kg}^{-1}\text{ N})$$

در این فرمول‌ها، Y_N و Y_0 به ترتیب عملکرد محصول با کاربرد و بدون کاربرد نیتروژن و F_N میزان نیتروژن مصرفی می باشد.

آزمایش گلخانه‌ای

جهت مقایسه خصوصیات مورفولوژیک ریشه در ارقام سیب‌زمینی و همچنین مطالعهٔ اثر سطوح مختلف غلظت نیتروژن بر مورفولوژی ریشه، آزمایشی گلخانه‌ای بصورت فاکتوریل، در قالب طرح پایه بلوکهای کامل تصادفی با چهار تکرار و به روش کشت در ماسه اجراء گردید. تیمارهای مورد مطالعه شامل سه غلظت نیتروژن ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شش رقم سیب‌زمینی فونتانه، کوراس، آگریا، میریام، کاسموس و پیکاسو بودند.

محلول غذایی مورد استفاده در این تحقیق، محلول پایه هوگلند با غلظت نیتروژن ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. به منظور تهیه محلول‌های غذایی با غلظت نیتروژن ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، تغییراتی در محلول پایه هوگلند ایجاد و pH آن تنظیم شد.

در این آزمایش برای کاشت غده‌های بذری سیب‌زمینی از گلدان‌های پلی‌اتیلنی ۲ لیتری استفاده شد. محیط کشت مورد استفاده در گلدان‌ها، مخلوط ماسه و پرلیت به نسبت ۲:۱ بود. به منظور پرهیز از وجود ترکیبات آهکی در بستر کاشت، ماسه‌ها قبل از استفاده، با محلول ۰/۱ مولار اسید کلریدریک و سپس با آب معمولی شستشو شدند. پس از آماده‌سازی گلدان‌ها، غده‌های بذری یکسان جوانه‌دار و ضدعفونی شده به تعداد یک عدد در هر گلدان کشت گردید. پس از اتمام عملیات کاشت، گلدان‌ها توسط محلول‌های غذایی با غلظت‌های مختلف نیتروژن آبیاری شدند. تکرار عمل آبیاری روزانه به گونه‌ای بود که رطوبت گلدان‌ها همیشه در محدوده رطوبت سهل‌الوصول قرار داشت. با آغاز جوانه‌زنی و شروع رشد اندام‌های هوایی، میزان مصرف محلول غذایی روزانه افزایش یافت و به ۲۵۰ تا ۵۰۰ سانتی‌متر مکعب در روز برای هر گلدان رسید. میانگین دمای روزانه و شبانه گلخانه در طی دوره رشد به ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. ۴۰ روز پس از کاشت و هنگامی که بوته‌های سیب‌زمینی به رشد کافی رسیدند، خصوصیات مورفولوژیک ریشه و وزن خشک اندامهای هوایی آنها مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی این صفات، ابتدا بوته‌های سیب‌زمینی بطول کامل از گلدان خارج شده و به دو بخش ریشه و ساقه تفکیک شدند. ریشه‌ها را با دقت شسته تا ذرات ماسه و پرلیت بطور کامل حذف شوند، سپس ریشه‌های کاملاً تمیز برای بررسی خصوصیات مورفولوژیک به آزمایشگاه منتقل گردیدند. در آزمایشگاه، ابتدا وزن تر ریشه‌ها تعیین گردید، سپس حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج و پس از قرارگرفتن ریشه در حجم مشخصی از آب اندازه گیری شد. جهت اندازه‌گیری صفاتی مانند مجموع سطح ریشه، متوسط قطر ریشه و مجموع طول ریشه، ریشه‌ها ابتدا با قرار گرفتن در محلول متیل بنفش رنگ‌آمیزی و سپس توسط سیستم آنالیز ریشه (Delta-T SCAN Image Analysis System, Delta-T Devices Ltd, U.K.) اسکن گردیدند (۹، ۱۶). پس از بررسی صفات مذکور، برای تعیین وزن خشک ریشه و وزن خشک اندامهای هوایی، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل گردیدند. پس از اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی، نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی و همچنین از طریق تقسیم وزن خشک ریشه (میلی‌گرم) به طول ریشه (سانتی‌متر)، وزن ویژه ریشه محاسبه گردید.

پس از جمع‌آوری داده‌ها و انجام آزمون بارتلت، عمل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مطابق با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

آزمایش مزرعه‌ای

نتایج حاصل از تجزیه مرکب مشاهدات، تفاوت معنی‌داری بین سال‌های آزمایش از نظر عملکرد کل غده نشان داد (جدول ۲). بیشترین عملکرد کل غده (۴۵/۵۳ تن در هکتار) در سال اول آزمایش بدست آمد (جدول ۳). علت برتری عملکرد غده در سال اول آزمایش را می‌توان به تفاوت در طول دوره رشد محصول و مساعدتر بودن شرایط اقلیمی سال اول برای تولید سیب‌زمینی نسبت داد. در سال اول، عمل کاشت به موقع و در تاریخ مناسب انجام گرفت، اما به دلیل شرایط نامساعد جوی در سال ۱۳۸۶، عمل کاشت با ۱۵ روز تأخیر انجام شد. از طرف دیگر به دلیل وجود سرماهای زودهنگام پاییزه، تاریخ برداشت محصول در هر دو سال انجام تحقیق یکسان بود که این امر باعث کاهش دوره رشد ارقام سیب‌زمینی در سال دوم آزمایش شد.

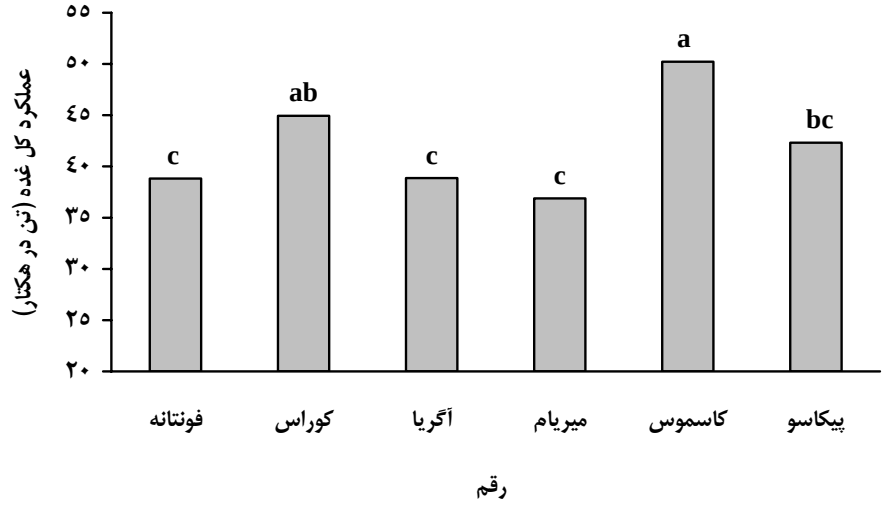
مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد غده تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). با افزایش مصرف نیتروژن، عملکرد غده افزایش یافت. بیشترین و کمترین عملکرد غده به ترتیب در تیمار کودی ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تیمار شاهد بدست آمد. تفاوت معنی‌داری بین سطوح کودی ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از نظر عملکرد غده مشاهده نشد (جدول ۳). بین ارقام سیب‌زمینی از نظر عملکرد غده تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). رقم کاسموس با ۵۰/۲۲ تن در هکتار بیشترین و رقم میریام با ۳۶/۸۹ تن در هکتار،

کمترین عملکرد غده را بـه خـود اختصـاص دادنـد. ارقـام کـوراس و پیکاسو رتبه دوم و سوم عملکرد غده را کسب نمودند (شکل ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری محل انجام آزمایش مزرعه‌ای

سال زراعی	pH	هدایت الکتریکی dS/m	بافت	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
				درصد		میلی‌گرم در کیلوگرم*					
۱۳۸۴-۸۵	۷/۹	۱/۳۹	لوم شنی	۰/۳۹	۰/۰۴۶	۱۰/۸	۱۴۶/۸	۳/۵	۶/۹۶	۰/۴	۰/۹۸
۱۳۸۵-۸۶	۷/۷	۰/۷۳	لوم شنی	۰/۵۲	۰/۰۱۱	۵/۴۹	۱۴۰	۳/۴۶	۹/۷۲	۱	۱/۲۲

* عناصر غذایی قابل دسترس



شکل ۱- مقایسه ارقام سیب‌زمینی از نظر عملکرد کل غده

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد کل غده

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات عملکرد کل غده
سال	۱	۱۷۸۳/۸۶۶*
تکرار در سال	۴	۱۰۹/۵۴۱
نیتروژن	۳	۵۴۲۵/۹۶۸**
نیتروژن × سال	۳	۵/۸۷۴
خطای a	۱۲	۶۵/۵۶
رقم	۵	۵۸۷/۱۶۸**
نیتروژن × رقم	۱۵	۷۸/۷۸۰
رقم × سال	۵	۱۰/۳۷۵
نیتروژن × رقم × سال	۱۵	۳۹/۲۹۰
خطای b	۸۰	۸۴/۶۴۷

*،** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

نیتروژن تأثیر معنـی‌داری بـر کـارآیی زراعـی و کـارآیی مصـرف نیتروژن در سال‌های انجـام آزمـایش داشـت (جـدول ۴). بـا افـزایش مصرف نیتروژن، کارآیی زراعی و کارآیی مصـرف نیتـروژن در هـر دو سال انجام آزمایش کاهش یافت (شکل ۲).

جدول ۳- اثر سال و مقدار کاربرد نیتروژن بر عملکرد کل غده

تیمار	میانگین عملکرد کل غده (تن در هکتار)
سال	
۱۳۸۵	۴۵/۵۳ a*
۱۳۸۶	۳۸/۴۹ b
مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	
۰	۲۵/۰۴ c
۹۰	۴۱/۲۲ b
۱۸۰	۴۹/۱۱ a
۲۷۰	۵۲/۶۵ a

* میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\leq ۰/۰۵$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

ارقام سیب‌زمینی از نظر کارآیی زراعی و کارآیی مصرف نیتروژن با یکدیگر متفاوت بودند (جدول ۴). در سال ۱۳۸۵، ارقام پیکاسو، کاسموس و کوراس به ترتیب بالاترین کارآیی زراعی نیتروژن را دارا بودند، اما تفاوت معنی‌داری بین آنها وجود نداشت. رقم فونتانه از کمترین کارآیی زراعی نیتروژن برخوردار بود. بالاترین مقادیر کارآیی زراعی نیتروژن در سال ۱۳۸۶، به ترتیب به ارقام کاسموس، پیکاسو و کوراس اختصاص یافت و رقم فونتانه کمترین کارآیی زراعی نیتروژن را دارا بود (جدول ۵). در سال ۱۳۸۶، اثر متقابل مقدار نیتروژن و رقم بر کارآیی زراعی نیتروژن معنی‌دار شد و ارقام سیب‌زمینی واکنش‌های متفاوتی نسبت به مقادیر مصرف نیتروژن نشان دادند. به عنوان مثال، بیشترین کارآیی زراعی نیتروژن در ارقام فونتانه، آگریا، میریام و کاسموس در تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، اما در ارقام کوراس و پیکاسو در تیمار ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد (جدول ۶).

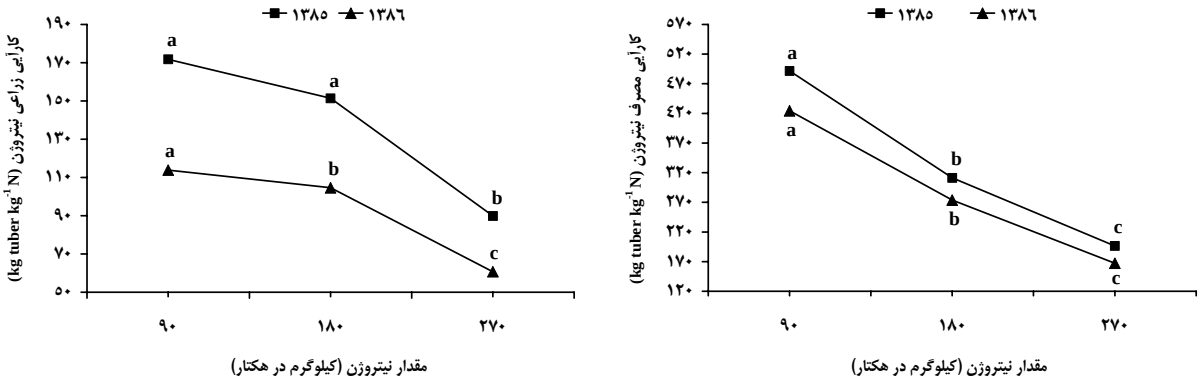
بالاترین مقادیر کارآیی مصرف نیتروژن در سال‌های انجام آزمایش به ترتیب به ارقام کاسموس، کوراس و پیکاسو اختصاص یافت. رقم میریام از کمترین کارآیی مصرف نیتروژن در هر دو سال انجام آزمایش برخوردار بود (جدول ۵). در رابطه با کارآیی مصرف نیتروژن، واکنش ارقام سیب‌زمینی نسبت به مقادیر نیتروژن در سال دوم آزمایش متفاوت بود. با افزایش مقدار مصرف نیتروژن، کاهش کارآیی مصرف نیتروژن در مورد ارقام کارآمدتر بیشتر بود، بطوریکه در تیمار ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار هیچ اختلاف معنی‌داری بین ارقام سیب‌زمینی در این رابطه مشاهده نشد (جدول ۶).

در حالیکه عقیده بر این است که کاربرد مقادیر بالای نیتروژن، بازده خالص را از طریق خنثی کردن اثرات منفی کیفیت خاک بر عملکرد محصول به حداکثر می‌رساند، برخی تحقیقات نشان می‌دهد که مصرف مقادیر بالای نیتروژن، باعث کاهش عملکرد غده، کارآیی مصرف و بازیافت نیتروژن، افزایش وقوع بیماری‌های غده و بالاخره افزایش آبشویی نیترات در نواحی کشت سیب‌زمینی می‌شود (۱۰). نتایج تحقیقات انجام شده توسط هالیت‌لیجیل و همکاران (۷) و همچنین درویش و همکاران (۳) حاکی از کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در مقادیر بیش از حد بالای نیتروژن و همچنین کاهش کارآیی مصرف و بازیافت نیتروژن سیب‌زمینی با افزایش مصرف نیتروژن می‌باشد.

جدول ٤- تجزیه واریانس کارآیی زراعی و کارآیی مصرف نیتروژن در سال‌های انجام آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کارآیی زراعی نیتروژن		کارآیی مصرف نیتروژن	
		۱۳۸۵	۱۳۸٦	۱۳۸۵	۱۳۸٦
تکرار	۲	۴۱۷/۱۹	۲۶۷/۳۰	۴۶۳/۸۸	۱۶۵۵/۶۶
نیتروژن	۲	۳۲۷۱۱/۶۵**	۱۴۴۹۲/۹۴**	۳۹۸۳۳۰/۶۸**	۳۰۰۳۴۵/۴۱**
خطای a	۴	۵۲۱/۱۴	۴۹/۰۶	۶۵۴/۶۱	۹۳۳/۷۲
رقم	۵	۱۴۷۳/۸۵**	۱۴۱۴۸/۹۸**	۸۷۰۶/۱۵**	۲۵۴۴۰/۶۲**
نیتروژن × رقم	۱۰	۵۱۸/۴۳	۲۷۷۰/۲۱**	۱۱۰۳/۳۲	۵۲۵۵/۵۴*
خطای b	۳۰	۳۶۳/۳۴	۳۵۲/۷۶	۹۰۳/۴۱	۲۲۹۰/۴۱

*،** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۲- اثر مقدار نیتروژن بر کارآیی زراعی و کارآیی مصرف نیتروژن در سال‌های انجام آزمایش

جدول ۵- مقایسه کارآیی زراعی و کارآیی مصرف نیتروژن ارقام سیب‌زمینی در سال‌های انجام آزمایش

رقم	میانگین			
	کارآیی زراعی نیتروژن (kg tuber kg^{-1} N)		کارآیی مصرف نیتروژن (kg tuber kg^{-1} N)	
	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۵	۱۳۸۶
فونتانه	۱۱۹/۲۳ c*	۴۶/۵۸ d	۳۱۴/۲۸ c	۲۶۶/۹۱ bc
کوراس	۱۴۳/۲۷ ab	۱۰۱/۲۶ bc	۳۵۵/۳۹ ab	۳۱۳/۸۳ b
آگریا	۱۲۸/۰۳ bc	۵۸/۰۱ d	۳۰۵/۶۹ c	۲۵۲/۵۷ c
میریام	۱۳۶/۱۳ abc	۸۳/۵۸ c	۳۰۵/۱۷ c	۲۲۱/۱۴ c
کاسموس	۱۴۴/۱۶ ab	۱۵۵/۵۷ a	۳۸۲/۵۷ a	۳۷۱/۷۸ a
پیکاسو	۱۵۵/۲۸ a	۱۱۳/۲۴ b	۳۳۵/۷۱ bc	۳۰۴/۷۲ b

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن (P≤۰/۰۵) تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ٦- اثر متقابل رقم و مقدار نیتروژن بر کارآیی زراعی و کارآیی مصرف نیتروژن در سال ۱۳۸٦

مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	رقم	میانگین	
		کارآیی زراعی نیتروژن (kg tuber kg^{-1} N)	کارآیی مصرف نیتروژن (kg tuber kg^{-1} N)
۹۰	فونتانه	۷۷/۶۹ def*	۳۸۵/۱۸ cd
	کوراس	۱۰۶/۴۲ d	۴۸۶/۲۵ ab
	آگریا	۷۹/۱۸ def	۳۶۳/۶۲ cd
	میریام	۱۰۳/۷۳ d	۳۰۸/۶۴ de
	کاسموس	۲۰۷/۹۰ a	۵۲۴/۸۹ a
	پیکاسو	۱۰۸/۰۶ d	۴۷۷/۸۵ ab
۱۸۰	فونتانه	۱۷/۹۴ g	۲۵۳/۴۱ efg
	کوراس	۱۳۹/۹۲ c	۲۷۷/۲۸ ef
	آگریا	۴۴/۴۵ fg	۲۳۷/۲۸efgh
	میریام	۹۶/۱۳ d	۲۰۱/۸۱ fgh
	کاسموس	۱۷۷/۷۸ ab	۴۰۲/۹۶ bc
	پیکاسو	۱۵۱/۲۷ bc	۲۶۹/۷۱ ef
۲۷۰	فونتانه	۴۴/۱۱ fg	۱۶۲/۱۴ h
	کوراس	۵۷/۴۵ ef	۱۷۷/۹۴ gh
	آگریا	۵۰/۴۳ efg	۱۵۶/۸۲ h
	میریام	۵۰/۸۸ efg	۱۵۲/۹۷ h
	کاسموس	۸۱/۰۴ de	۱۸۷/۴۹ fgh
	پیکاسو	۸۰/۳۸ de	۱۶۶/۵۸ gh

* میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن (P≤۰/۰۵) تفاوت معنی‌داری ندارند.

علت این موضوع، تشدید اتلاف نیتروژن بویژه بصورت آبشویی نیترات و تخصیص بیشتر نیتروژن جذب شده به اندام‌های هوایی است. با وجود اینکه تا کنون در مورد تفاوت کارآیی نیتروژن ارقام مورد استفاده در تحقیق حاضر مطالعه‌ای صورت نگرفته است، ولی تحقیقات انجام شده توسط ساتل‌ماچر و همکاران (۱۳)، اربهی و همکاران (۵) و شریفی و همکاران (۱۴) نیز نشان می‌دهد که بین ارقام مختلف سیب‌زمینی در رابطه با عملکرد و کارآیی نیتروژن اختلاف وجود دارد. نتایج آزمایش مزرعه‌ای نشان داد که ارقام کاسموس، کوراس و پیکاسو از نظر عملکرد غده، کارآیی مصرف نیتروژن و کارآیی زراعی نیتروژن نسبت به ارقام آگریا، فونتانه و میریام برتر هستند که این حاکی از وجود تنوع ژنوتیپی بین ارقام سیب‌زمینی در رابطه با صفات مذکور می‌باشد.

آزمایش گلخانه‌ای

همبستگی مثبتی بین وزن خشک اندام‌های هوایی و غلظت نیتروژن محلول غذایی وجود داشت، بطوری‌که بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی در غلظت نیتروژن ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن در غلظت نیتروژن ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل گردید. ارقام سیب‌زمینی نیز از نظر وزن خشک اندام‌های هوایی با یکدیگر متفاوت بودند. ارقام کاسموس و میریام به ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک اندام‌های هوایی را دارا بودند (جدول ۸).

غلظت نیتروژن محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه داشت (جدول ۷). با افزایش غلظت نیتروژن، وزن تر ریشه نیز افزایش یافت و بیشترین وزن تر ریشه در غلظت نیتروژن ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر تولید گردید (جدول ۸). بین ارقام سیب‌زمینی نیز در رابطه با وزن تر ریشه اختلافات معنی‌داری وجود داشت (جدول ۷). ارقام کوراس، پیکاسو و کاسموس که از عملکرد و کارآیی نیتروژن بالایی در شرایط مزرعه برخوردار بودند، مقادیر بالای وزن تر ریشه را به خود اختصاص دادند (جدول ۸).

نتایج حاصل از اندازه‌گیری حجم ریشه نشان داد که همبستگی بسیار بالایی (r=۰/۹۹) بین حجم ریشه و وزن تر ریشه وجود دارد، بطوری‌که حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب) را می‌توان برابر با وزن تر ریشه (گرم) در نظر گرفت. بنابراین روند تغییرات حجم ریشه در بین غلظت‌های مختلف نیتروژن و ارقام سیب‌زمینی کاملاً مشابه با روند تغییرات وزن تر ریشه بود.

با افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی، وزن خشک ریشه افزایش یافت، اما نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی (R/S) بطور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳). کاهش نسبت R/S علی‌رغم افزایش وزن خشک ریشه با افزایش غلظت نیتروژن، بیانگر تأثیر بیشتر غلظت نیتروژن بر رشد اندام‌های هوایی در مقایسه با رشد ریشه می‌باشد. اختلاف بین ارقام سیب‌زمینی از نظر وزن خشک ریشه و نسبت R/S معنی‌دار گردید (جدول ۷) و ارقام کوراس، کاسموس و پیکاسو بیشترین مقادیر وزن خشک ریشه و نسبت R/S را کسب نمودند (شکل ۴).

در رابطه با متوسط قطر ریشه تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف غلظت نیتروژن مشاهده نشد (جدول ۷). با این وجود، متوسط قطر ریشه ارقام سیب‌زمینی با یکدیگر متفاوت بود. ارقام کوراس و پیکاسو بیشترین قطر ریشه و رقم آگریا کمترین قطر ریشه را دارا بودند (جدول ۸).

غلظت نیتروژن محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر مجموع سطح و مجموع طول ریشه داشت (جدول ۷). بیشترین سطح و طول ریشه در غلظت نیتروژن ۳۰۰ و کمترین آن در غلظت نیتروژن ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید. در رابطه با مجموع طول ریشه، اختلاف بین سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن معنی‌دار نگردید (شکل ۵). ارقام سیب‌زمینی نیز از نظر مجموع سطح و مجموع طول ریشه با یکدیگر متفاوت بودند. ارقام کوراس و میریام به ترتیب بیشترین و کمترین مجموع سطح و مجموع طول ریشه را به خود اختصاص دادند. ارقام پیکاسو و کاسموس در رتبه‌های دوم و سوم از نظر مجموع سطح و مجموع طول ریشه قرار گرفتند (شکل ۶). اثر متقابل غلظت نیتروژن محلول غذایی و رقم بر مجموع طول ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۷) و ارقام سیب‌زمینی واکنش‌های متفاوتی را نسبت به غلظت‌های مختلف نیتروژن نشان دادند. ارقام آگریا و کاسموس بیشترین طول ریشه را در غلظت نیتروژن ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ولی سایر ارقام بیشترین طول ریشه را در غلظت نیتروژن ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارا بودند (شکل ۷).

افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی باعث کاهش وزن ویژه ریشه گردید، بطوری‌که بیشترین وزن ویژه ریشه در غلظت نیتروژن ۱۰۰ و کمترین آن در غلظت نیتروژن ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد. از نظر آماری تفاوت بین سطوح نیتروژن ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر معنی‌دار نشد (جدول ۸). بین ارقام سیب‌زمینی تفاوت معنی‌داری در رابطه با وزن ویژه ریشه مشاهده نگردید (جدول ۷). کاهش وزن ویژه ریشه با افزایش غلظت نیتروژن نشان می‌دهد که تأثیر افزایش غلظت نیتروژن بر طول ریشه بیش از تأثیر آن بر وزن خشک ریشه بوده است.

جدول ۷- تجزیه واریانس وزن تر ریشه (RFW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن خشک اندام‌های هوایی (SDW)، نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی (R/S)، مجموع سطح ریشه (TRA)، متوسط قطر ریشه (RAD)، مجموع طول ریشه (TRL) و سطح ویژه ریشه (SRW)

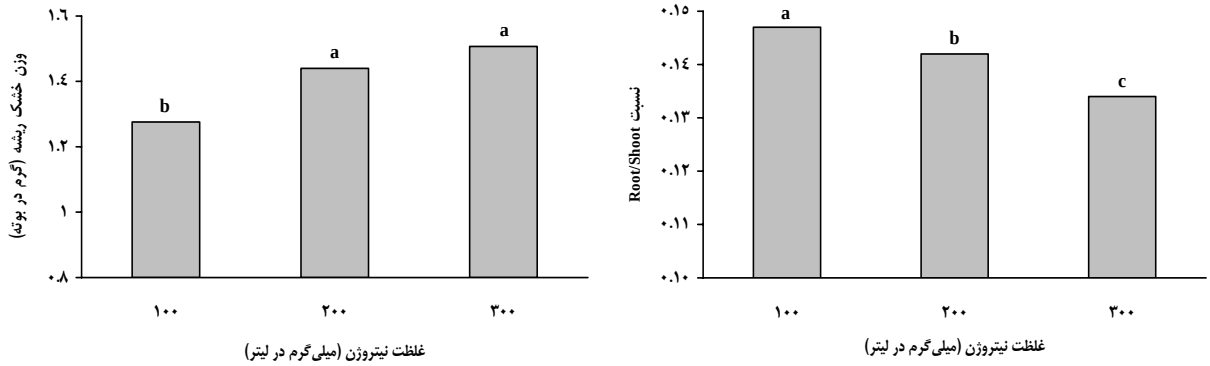
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		RFW	RDW	SDW	R/S ratio	TRA	RAD	TRL	SRW
بلوک	۳	۴۵/۴۷	۰/۰۳۱	۳/۱۱	۰/۰۰۰۲	۴۵۴۴/۹۲	۰/۰۱۷۸	۱۴۴/۷۹	۰/۰۰۰۱
غلظت نیتروژن (A)	۲	۴۴۲/۱**	۰/۳۳**	۳۷/۵۳**	۰/۰۰۱**	۱۸۰۵۴۷**	۰/۰۰۹۱	۳۳۳۲/۴**	۰/۰۰۵۹*
رقم (B)	۵	۷۸۵/۲**	۱/۲۴**	۱۱/۱۶**	۰/۰۰۷**	۳۴۸۲۵۴**	۰/۰۳۶**	۳۸۴۱/۶**	۰/۰۰۲۴
AB	۱۰	۱۹/۹۱	۰/۰۱	۰/۹۸	۰/۰۰۰۱	۱۰۲۹۹	۰/۰۰۷۹	۶۰۲/۵**	۰/۰۰۲۵
خطای آزمایشی	۵۱	۱۹/۱۱	۰/۰۲	۱/۴۱	۰/۰۰۰۰۶	۹۱۹۰/۶۹	۰/۰۱۰۵	۲۱۹/۲۲	۰/۰۰۱۷

*،** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

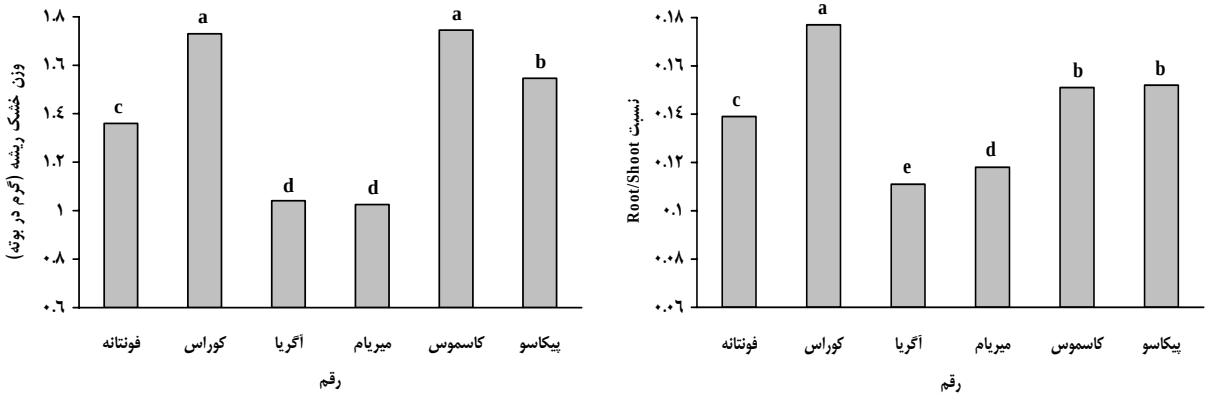
جدول ۸- اثر غلظت نیتروژن و رقم بر وزن خشک اندام‌های هوایی، وزن تر، وزن ویژه و متوسط قطر ریشه

تیمار	میانگین			
	وزن خشک اندام‌های هوایی (گرم در بوته)	وزن تر ریشه (گرم در بوته)	وزن ویژه ریشه (میلی‌گرم بر سانتی‌متر)	متوسط قطر ریشه (میلی‌متر)
غلظت نیتروژن (میلی‌گرم در لیتر)				
۱۰۰	۸/۶۴ c*	۳۴/۱۴ c	۰/۲۲۰ a	۰/۹۸ a
۲۰۰	۱۰/۰۵ b	۳۹/۲۴ b	۰/۱۹۴ b	۰/۹۵ a
۳۰۰	۱۱/۱۴ a	۴۲/۶۷ a	۰/۱۹۲ b	۰/۹۴ a
رقم				
فونتانه	۹/۸۴ b	۳۳/۶۵ c	۰/۲۲۱ a	۰/۹۸۲ ab
کوراس	۹/۸۵ b	۴۹/۳۹ a	۰/۱۸۷ a	۱/۰۲۴ a
آگریا	۹/۴۴ bc	۳۲/۵۳ cd	۰/۱۸۳ a	۰/۸۸۹ c
میریام	۸/۶۹ c	۲۹/۲۷ d	۰/۲۰۴ a	۰/۸۹۸ bc
کاسموس	۱۱/۵۸ a	۴۳/۳۵ b	۰/۲۰۶ a	۰/۹۵۲ abc
پیکاسو	۱۰/۲۷ b	۴۳/۹۲ b	۰/۲۱۰ a	۰۰/۰۰۱ a

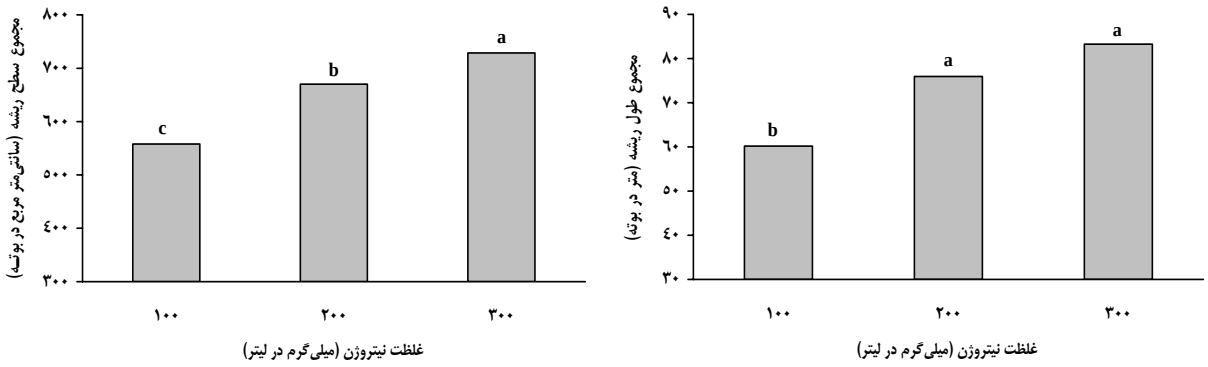
* میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\leq ۰/۰۵$) تفاوت معنی‌داری ندارند.



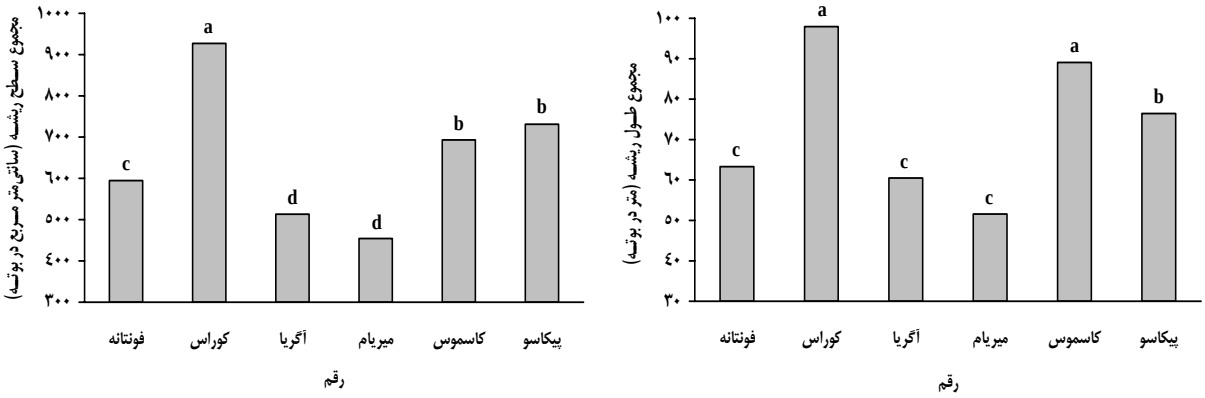
شکل ۳- اثر غلظت نیتروژن بر وزن خشک ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی



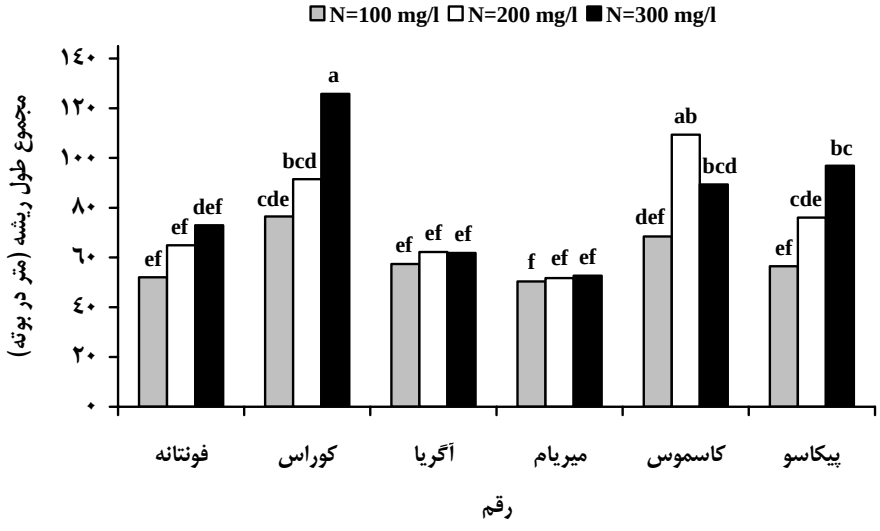
شکل ٤- مقایسه وزن خشک ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی در ارقام سیب‌زمینی



شکل ۵- اثر غلظت نیتروژن بر مجموع سطح و مجموع طول ریشه



شکل ٦- مقایسه مجموع سطح و مجموع طول ریشه در ارقام سیب‌زمینی



شکل ۷- اثر متقابل رقم و غلظت نیتروژن محلول غذایی بر مجموع طول ریشه

بررسی نتایج حاصل از تجزیه داده‌ها نشان داد که غلظت نیتروژن محلول غذایی بر تمامی صفات مورد بررسی به استثنای متوسط قطر

ریشه تأثیر معنی‌دار داشت. در این رابطه افزایش غلظت نیتروژن باعث افزایش وزن تر ریشه، حجم ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام‌های هوایی، مجموع سطح ریشه و مجموع طول ریشه شد، اما نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی و همچنین وزن ویژه ریشه را کاهش داد. بین ارقام سیب‌زمینی نیز در رابطه با کلیه صفات مورد بررسی به استثنای وزن ویژه ریشه اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. ارقام کوراس، پیکاسو و کاسموس در مقایسه با ارقام فونتانه، آگریا و میریام سیستم ریشه قوی‌تر (شکل ۸) و وزن خشک اندام‌های هوایی بیشتری را دارا بودند. با توجه به اینکه ارقام کوراس، پیکاسو و کاسموس بالاترین مقادیر عملکرد، کارآیی زراعی و کارآیی مصرف نیتروژن را در مزرعه به خود اختصاص دادند، می‌توان نتیجه گرفت که خصوصیاتی نظیر وزن، حجم، مجموع سطح و مجموع طول ریشه و همچنین نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی نقش مهمی در حصول عملکرد و کارآیی نیتروژن ارقام سیب‌زمینی دارند.

هم‌راستا با این تحقیق، افراد دیگری نیز مورفولوژی ریشه ارقامی با کارآیی‌های متفاوت نیتروژن را مطالعه نموده و اثرات غلظت نیتروژن یا نیترات بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه را مورد بررسی قرار داده‌اند که تقریباً در همه موارد نتایج مشابه‌ای حاصل شده است. وانگ و همکاران (۱۷) اثرات سطوح مختلف غلظت نیترات بر مورفولوژی ریشه ۵ لاین اینبرد ذرت با کارآیی‌های متفاوت نیتروژن را بررسی نمودند که واریته‌های کارآمد در مصرف نیتروژن به ویژه تحت شرایط عرضه پایین نیتروژن، وزن اندام‌های هوایی و ریشه بالاتری داشتند و نیتروژن بیشتری را نسبت به ارقام ناکارآمد جذب نمودند. مجموع طول ریشه با افزایش غلظت نیترات افزایش یافت. تحقیقات انجام شده توسط شریفی و همکاران (۱)، ساتل‌ماچر و همکاران (۱۳) و شریفی و همکاران (۱۴) که روی ارقام مختلف سیب‌زمینی انجام شده‌اند نیز حاکی از اثر غلظت نیتروژن و نیترات بر مورفولوژی ریشه و وجود سیستم ریشه بزرگتر در ارقام کارآمد در مصرف نیتروژن می‌باشند.

نتیجه‌گیری نهایی

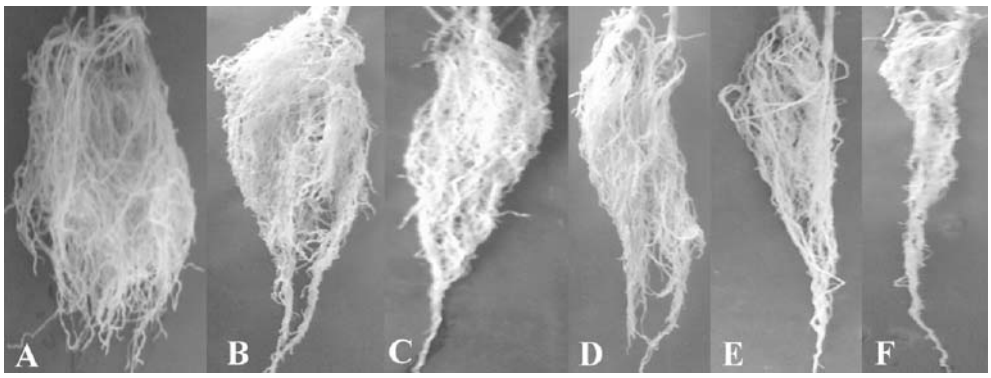
دو برابر شدن تولیدات کشاورزی جهان طی دو دهه گذشته، با افزایش هفت برابری مصرف کودهای نیتروژنه همراه بوده است. این موضوع بر اهمیت استفاده از ارقام کارآمد در مصرف نیتروژن جهت کاهش نهاده‌های کشاورزی و آلودگی‌های زیست‌محیطی تأکید می‌کند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ارقام سیب‌زمینی از نظر کارآیی زراعی و کارآیی مصرف نیتروژن متفاوت بوده و ارقام کارآمدتر در مصرف نیتروژن (کاسموس، پیکاسو و کوراس) در کلیه مقادیر نیتروژن عملکرد بالاتری را نیز دارا می‌باشند. از سوی دیگر مشاهده گردید که تفاوت موجود در کارآیی مصرف نیتروژن ارقام سیب‌زمینی، تحت شرایط عرضه پایین نیتروژن مشهودتر بوده (جدول ۶) و با افزایش مصرف نیتروژن تفاوت‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که ارقام کارآمد در مصرف نیتروژن، از اهمیت قابل ملاحظه‌ای تحت شرایط عرضه محدود نیتروژن و مخصوصاً در کشاورزی پایدار برخوردار هستند.

ارقام سیب‌زمینی در خصوصیات مورفولوژیک ریشه نیز متفاوت بوده، ارقام دارای عملکرد و کارآیی مصرف نیتروژن بالاتر، در کلیه غلظت‌های نیتروژن سیستم ریشه بزرگتر و قوی‌تری نسبت به سایر ارقام سیب‌زمینی تولید نمودند. بنابراین، اندازه سیستم ریشه نه تنها در جذب عناصر غذایی کم‌تحرک در خاک نظیر فسفر و پتاسیم از اهمیت زیادی برخوردار است، بلکه در رابطه با کارآیی مصرف عنصر متحرکی نظیر نیتروژن نیز حائز اهمیت می‌باشد. ارقام کارآمد در مصرف نیتروژن به دلیل دارا بودن سیستم ریشه گسترده و تولید عملکرد قابل قبول با مقادیر پایین نیتروژن، علاوه بر خاک‌های دچار فقر نیتروژن و سیستم‌های کشاورزی با عرضه محدود نیتروژن، برای مناطقی که احتمال تلفات آبشویی نیتروژن در آنها بالا است نیز قابل توصیه می‌باشند.

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که نیتروژن علاوه بر تحریک رشد اندام‌های هوایی، بر رشد ریشه نیز اثر تحریک‌کننده دارد و باعث افزایش رشد ریشه می‌شود.

قدردانی

این مقاله قسمتی از نتایج رساله دوره دکتری نگارنده را ارائه می‌نماید که بدینوسیله از کلیه مسئولین و کارکنان محترم بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، همچنین آقایان مهندس عباسپور، مهندس پاسبان، مهندس مهدوی و مهندس شجاعی که همکاری صمیمانه‌ای در طی انجام مراحل تحقیق داشته‌اند تشکر و سپاسگزاری می‌شود.



شکل ۸- سیستم ریشه ارقام سیب‌زمینی در غلظت نیتروژن ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر

A: کوراس، B: پیکاسو، C: کاسموس، D: فونتانه، E: آگریا و F: میریام

منابع

۱- شریفی، م.، ب. زیبارت، م. کلباسی، م. کولمن و م. حاج عباسی. ۱۳۸۲. مطالعه خصوصیات مورفولوژیکی ریشه به عنوان شاخص گزینش ارقام سیب‌زمینی در جذب نیتروژن. خلاصه مقالات سومین همایش ملی توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی، کرج، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ص ۲۱۸-۲۱۷.

2- Akintoye, H.A., J.G. Kling, and E.O. Lucas. 1999. N-use efficiency of single, double and synthetic maize lines grown at four N levels in three ecological zones of West Africa. Field Crops Research, 60: 189-199.

3- Darwish, T. M., T. W. Atallah, S. Hajhasan, and A. Haidar. 2006. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. Agricultural Water Management, 85: 95-104.

4- Errebhi, M., C.J. Rosen, S.C. Gupta, and D.E. Birong. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. Agronomy Journal, 90: 10-15.

5- Errebhi, M., C.J. Rosen, F.I. Lauer, M.W. Martin, and J.B. Bamberg. 1999. Evaluation of tuber-bearing Solanum species for nitrogen use efficiency and biomass partitioning. American Journal of Potato Research, 76: 143-151.

6- Fageria, N.K., and V.C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in Agronomy, 88: 97-185.

7- Halitligil, M.B., A. Akin, and A. Ylbeyi. 2002. Nitrogen balance of nitrogen-15 applied as ammonium sulphate to irrigated potato in sandy textured soil. Biology and Fertility of Soils, 35: 369-378.

8- Hofman, G., and O. Van Cleemput. 2004. Soil and plant nitrogen. International fertilizer industry association, pp. 29-32. Paris, France.

9- Johnson, H.A. and M.E. Biondini. 2001. Root morphological plasticity and nitrogen uptake of 59 plant species from the Great Plains grasslands, U.S.A. Basic and Applied Ecology, 2: 127-143.

10- Li, H., L. E. Parent, A. Karam, and C. Tremblay. 2003. Efficiency of soil and fertilizer nitrogen of a sod-potato system in the humid, acid and cool environment. Plant and Soil, 251: 23-36.

11- Maidl, F.X., H. Brunner, and E. Sticksel. 2002. Potato uptake and recovery of nitrogen ^{15}N-enriched ammonium nitrate. Geoderma, 105: 167-177.

12- Rathke, G. W., T. Behrens, and W. Diepenbrock. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. Agriculture, Ecosystems and Environment, 117: 80-108.

13- Sattelmacher, B., F. Klotz, and H. Marschner. 1990. Influence of the nitrogen level on root growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition. Plant and Soil, 123: 131-137.

14- Sharifi, M., B.J. Zebarth, M.A. Hajabbasi, and M. Kalbasi. 2005. Dry matter and nitrogen accumulation and root morphological characteristics of two clonal selections of Russet Norkotah potato as affected by nitrogen fertilization. Journal of Plant Nutrition, 28: 2243-2253.

15- Sinebo, W., R. Gretzmacher, and A. Edelbauer. 2004. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley. Field Crops Research, 85: 43-60.

16- Tsakaldimi, M.N., and P.P. Ganatsas. 2006. Effect of chemical root pruning on stem growth, root morphology and field performance of the Mediterranean pine Pinus halepensis Mill. Scientia Horticulturae, 109: 183-189.

17- Wang, Y., G. Mi, F. Chen, J. Zhang, and F. Zhang. 2004. Response of root morphology to nitrate supply and its contribution to nitrogen accumulation in maize. Journal of Plant Nutrition, 27: 2189-2202.

18- Zvomuya, F., C.J. Rosen, M.P. Russelle, and S.C. Gupta. 2003. Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea of potato. Journal of Environmental Quality, 32: 480-489.