اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و اسیدیته محلول غذایی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و تولید ریزغده سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

احسان کشمیری[۱]، محمد کافی*[۲]، مهدی پارسا[۳]، جعفر نباتی[۴]و محمد زارع مهرجردی[۵]

۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
۲) استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
۳) دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
۴) استایار پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
۵) استادیار مجتمع آموزش عالی شیروان، شیروان، ایران.

*** نویسنده مسئول: m.kafi@um.ac.ir**

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می باشد.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۰۴ **تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۰۳**

چکیده

به‌منظور بهینه‌سازی شرایط و هم‌چنین افزایش تولید ریزغده سیب‌زمینی در رقم آگریا، اثرات مقادیر مختلف نیتروژن و اسیدیته محلول غذایی در دو آزمایش جداگانه در سال ۱۳۹۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محیط آب‌کشت در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. در یک آزمایش سطوح مختلف نیتروژن (صفر میلی‌گرم + محلول هوگلند (شاهد)، ۵۰ میلی‌گرم + محلول هوگلند و ۱۰۰میلی‌گرم + محلول هوگلند) به‌صورت نیترات آمونیوم و در آزمایش دیگر اسیدیته محلول غذایی هوگلند در سه سطح (۳، ۴ و ۵/۶) بود. سه نوبت بعد از انتقال گیاه‌چه‌ها به بستر کاشت (۳۰، ۳۵ و۴۰ روزپس از کاشت) تیمارهای اسیدیته به‌مدت ۱۰ ساعت بر روی گیاهان اعمال شد و سپس آبشویی صورت گرفت. نتایج نشان داد که افزایش میزان نیتروژن موجب افزایش و کاهش اسیدیته باعث کاهش فتوسنتز، تعرق و غلظت کلروفیل‌های a و b نسبت به شاهد شد. افزایش نیتروژن از صفر به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کاهش موقت اسیدیته از ۵/۶ به سه سبب افزایش میانگین وزن، قطر و تعداد ریزغده‌ها شد. افزایش مقدار نیتروژن سبب افزایش و کاهش اسیدیته محلول غذایی سبب کاهش سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی شد. تعداد ریزغده‌ها با افزایش نیتروژن از سطح ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری پیدا نکرد که نشان‌دهنده این است که افزایش مصرف نیتروژن تعداد غده را تا حد معینی افزایش می‌دهد ولی از آن به بعد تغییر معنی‌داری در عملکرد ایجاد نمی‌کند و حتی ممکن است دارای اثرات منفی نیز باشد. درمجموع به‌نظر می‌رسد مدیریت مصرف و کاربرد مقدار مناسب کود نیتروژن و کاهش کوتاه‌مدت اسیدیته محلول غذایی به‌صورت متناوب می‌تواند نقش مهمی در افزایش تولید ریزغده و عملکرد در این گیاه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آگریا، تعرق، سطح برگ، فتوسنتز و کلروفیل.

مقدمه

در بین گیاهان زراعی مختلف تأمین‌کننده منابع غذایی انسان، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از پانزده محصول مهمی است که ۹۰ درصد نیازمندی‌های غذایی مردم جهان را تأمین می‌نماید. سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی در ایران است و ایران دوازدهمین تولیدکننده سیب‌زمینی در جهان و سومین تولیدکننده در آسیا بعد از چین و هند به شمار می‌رود (FAO, 2008). ازجمله مشکلاتی که در مسیر تولید سیب‌زمینی در دنیا وجود دارد، کمبود بذر سالم و عاری از بیماری است (Velikova *et al.*, 1997). سیب‌زمینی بیش ازحد انتظار، در معرض بیماری‌های باکتریایی، قارچی، میکروپلاسمی و ویروسی قرار دارد. وجود این عوامل موجب افت شدید عملکرد در واحد سطح در مناطق آلوده به این عوامل می‌شود (Zobayed *et al.*, 2001). سیب‌زمینی گیاهی است که به تکنیک‌های کشت بافت[1] پاسخ داده و ریز ازدیادی[2] و ریز غده‌دهی[3] روش‌هایی سریع برای تکثیر واریته‌های تولیدکننده بذر و حفاظت از ژرم‌پلاسم آن است (Donnelly *et al.*, 2003). یکی از راهکارهای مؤثر در این زمینه تولید گیاه‌چه‌های عاری از عوامل بیماری‌زا با استفاده از تکنیک کشت بافت است. در گیاه سیب‌زمینی، آغاز غده‌دهی یکی از مراحل مهم فنولوژی به‌شمار می‌آید که عملکرد نهایی به‌طور قابل‌توجهی به آن وابسته است (Ghassan *et al.*, 2001). تعداد غده به رقم، سن فیزیولوژیکی بذر، درجه حرارت، رطوبت، میزان مواد غذایی خاک، طول روز، شدت تشعشع محیط، میزان تنظیم‌کننده‌های رشد، اسیدیته محیط رشد و شدت ابتلا به بیماری‌های گیاهی بستگی دارد (Ghassan *et al.*, 2001). از عوامل مهمی که نقش زیادی در افزایش یا کاهش عملکرد ریزغده سیب‌زمینی دارند، مدیریت مصرف کودهای نیتروژنه و اسیدیته مناسب محلول غذایی است. نیتروژن ضروری‌ترین عنصر غذایی در گیاه محسوب می‌شود که مصرف بهینه آن در اوایل فصل رشد، رشد اندام‌های هوایی سیب‌زمینی را به‌طور مطلوبی تحریک نموده و سبب افزایش سطح برگ، افزایش تولید ماده خشک، افزایش تعداد و وزن غده و درنهایت منجر به افزایش عملکرد ریزغده در سیب‌زمینی بذری می‌شود (Halitligil *et al.*, 2002). سیب زمینی گیاهی است که پاسخ مثبتی به سطوح بالای کود از خود نشان می دهد (Meena *et al.*, 2013). فراهمی نیتروژن کمیت و عملکرد سیب زمینی را تحت اثر قرار می‌دهد و می‌تواند باعث تغییر در ترکیبات شیمیایی و کیفیت غده شود (Kolodziejczyk., 2014). کمبود نیتروژن نیز در اوایل فصل رشد ممکن است با اثر سوء بر غده‌بندی، عملکرد را کاهش دهد (Sohrabi *et al.*, 2013). نتایج Maidl و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که کاربرد مرحله‌ای نیتروژن نسبت به کاربرد تک مرحله‌ای آن در عملکرد سیب‌زمینی مؤثرتر بوده و افزایش مصرف آن سبب انگیزش غده‌زایی و درنتیجه افزایش تعداد

[1] Tissue culture technique
[2] Micro propagation
[3] Micro-tuberization

غده در بوته سیب زمینی شیرین می‌شود. کاربرد مقادیر بیش‌تری از نیتروژن باعث افزایش سایز و تعداد غده‌ها می شود که در نهایت باعث بهبود عملکرد گیاه می‌شود (kumar *et al.*, 2007). ولی با این حال مدیریت مصرف نیتروژن برای به‌دست آوردن عملکرد بالا بسیار ضروری می باشد (badr *et al.*, 2012). اسیدیته مناسب محلول غذایی باعث جذب بهینه عناصر غذایی و افزایش کارایی سیستم فتوسنتزی و درنهایت حداکثر رشد گیاه می‌شود (Hamlin and Barker, 2006). اسیدیته محلول غذایی بر خصوصیات فتوسنتزی و کلروفیل گیاه مؤثر است (Chen and Chen, 1993). با کاهش اسیدیته در محلول غذایی میزان حلالیت برخی از عناصر غذایی در آب افزایش و دسترسی گیاه به این عناصر افزایش می‌یابد (Waylen *et al.*, 1994). اسیدیته خاک اثر مستقیمی روی وزن خشک سیب‌زمینی در هکتار دارد (Kellock, 1995). در محیط آب‌کشت اسیدیته محلول‌های غذایی و درنتیجه اسیدیته ریزوسفر گیاه از دو جنبه اهمیت دارد، اول این‌که بر تعادل اکسایش-کاهش، حلالیت و شکل یونی عناصر اثر دارد. دوم اینکه از طریق اثر یون‌های H^+ و OH^- بر ریشه گیاه به‌ویژه غشای سلول‌های انتقال‌دهنده یون بر جذب یون‌ها اثر می‌گذارد (Epstein and Bloom, 2005). با کاهش موقت و متناوب اسیدیته محلول غذایی سرعت و میزان تولید غده در گیاه سیب‌زمینی در مقایسه با اسیدیته شاهد (۵/۵) افزایش پیدا کرد (Waylen *et al.*, 1994). از این رو استفاده متناوب از محلول غذایی با اسیدیته پایین در تولید ریزغده می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به اهمیت عوامل ذکر شده در تولید ریز غده سیب‌زمینی، هدف از این پژوهش مطالعه افزایش تعداد ریزه غده و درنهایت افزایش بهره‌وری تولید ریزه غده سیب‌زمینی با تغییر در سطوح نیتروژن و اسیدیته محلول غذایی در بستر کاشت در شرایط گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در پاییز سال ۱۳۹۲ به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دو آزمایش جداگانه در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح نیتروژن خالص (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر علاوه بر مقدار استاندارد نیتروژن در محلول غذایی هوگلند) و اسیدیته محلول غذایی در سه سطح (۳، ۴ و ۵/۶ اسیدیته استاندارد در محلول غذایی هوگلند) و رقم سیب‌زمینی مورد استفاده، آگریا بود. سطوح نیتروژن خالص به‌صورت کود نیترات آمونیوم (NH_4NO_3) هم‌زمان با محلول غذایی در اختیار گیاه‌چه‌های سیب‌زمینی قرار گرفت. برای کاهش اسیدیته در تیمارهای مورد نظر از اسید سولفوریک (H_2SO_4) و برای افزایش آن از هیدروکسید پتاسیم (KOH) استفاده شد. مواد گیاهی اولیه شامل گیاه‌چه‌های استریل درون شیشه‌ای از پژوهشکده بیوتکنولوژی منطقه مرکزی کشور- اصفهان تهیه شد. ابتدا از طریق کشت بافت، گره‌های دارای جوانه جانبی سیب‌زمینی رقم آگریا در محیط کشت (Murashige and Skoog, 1962) و شرایط درون شیشه‌ای رشد یافتند. تهیه محیط کشت MS بر اساس غلظت-

های نمک‌های میکرو، ماکرو و ویتامین‌های MS صورت گرفت. گیاهان عاری از ویروس در محیط کشت MS با ۳۰ گرم ساکارز در لیتر و pH حدود ۵/۸ بدون هورمون کشت شدند و در اتاقک رشد با فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار گرفتند. شدت نور تعیین شده ۴۵ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود و محیط کشت به مدت چهار هفته در این شرایط قرار گرفت. گیاهچه‌ها پس از ۲۱ روز نگهداری در شرایط درون شیشه‌ای از محیط خارج و در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و در بستر پرلیت، کوکوپیت، ماسه به نسبت حجمی (۱:۱:۱) کشت شدند. در هر گلدان دو گیاهچه کشت شد و بعد از استقرار کامل گیاه در بستر کشت، فقط یک گیاهچه در گلدان حفظ شد. نیمی از بستر در زمان نشاء و نیم دیگر آن در دومین و چهارمین هفته پس از انتقال گیاهچه به گلدان اضافه شد. در طول دوره آزمایش گیاهچه‌های سیب‌زمینی با محلول غذایی هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) اصلاح شده تغذیه شدند. محلول‌دهی هفته‌ای یکبار انجام گرفت و در هر مرحله ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول به هر گلدان اضافه شد. به غیر از محلول‌دهی، هفته‌ای دو بار نیز گیاهچه‌ها با آب مقطر و به مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر با فاصله دو روز یک‌بار و توسط بشر مدرج آبیاری شدند. هر دو هفته یک‌بار به‌منظور جلوگیری از تجمع املاح، آبشویی با حجمی معادل ۴۰۰ میلی‌لیتر آب به ازای هر گلدان انجام شد. تیمارهای کود نیتروژن بعد از انتقال گیاهچه‌ها در سه نوبت بلافاصله پس از کاشت، ۴۵ روز پس از کاشت و ۶۰ روز پس از کاشت همراه با محلول غذایی هوگلند به بستر کاشت اضافه شد. در آزمایش تغییر اسیدیته، برای اعمال تیمارهای اسیدیته بعد از انتقال گیاهچه‌ها در ۳۰، ۳۵ و ۴۰ روز پس از کاشت در سه نوبت اسیدیته محلول غذایی بر اساس تیمارها به سطح مورد نظر رسید و به بستر کاشت گیاهان اضافه شد و گیاهان به‌مدت ۱۰ ساعت در معرض هر تیمار قرار گرفتند و بعد از این مدت مجدداً توسط آب مقطر آبشویی شدند. برای اعمال اسیدیته سطح سه چندین نوبت آبیاری با اسیدیته مورد نظر صورت گرفت تا خروجی زهکش برابر با سطح اسیدیته مرد نظر شد. دمای روز و شب گلخانه به‌ترتیب ۲۴ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد تنظیم شده بود. برای مبارزه با آفات شته و مگس سفید از حشره‌کش کنفیدور (Imidacloprid) (به نسبت ۰/۵ در هزار)، دیازینون (Diazinon) (به نسبت ۱/۵ در هزار) و متاسیستوکس (Oxydemeton-methyl) (به نسبت یک در هزار) و بیماری‌های قارچی از قارچ‌کش مانکوزب (Mancozeb) (به نسبت یک در هزار) استفاده شد. در پایان هفته ششم هم‌زمان با آغاز مرحله غده‌دهی، اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیک انجام شد. برای اندازه‌گیری فتوسنتز از هر بوته، دو برگ جوان کاملاً توسعه‌یافته انتخاب و عوامل فتوسنتزی برگ شامل فتوسنتز خالص بر حسب میکرو مول دی اکسید کربن تثبیت شده برمترمربع در ثانیه، تعرق بر حسب میلی‌مول آب بر مترمربع در ثانیه و دی‌اکسید کربن زیر اتاقک روزنه‌ای برحسب میکرومول دی‌اکسید کربن بر مول با دستگاه IRGA (مدل LCi Consol) تعیین شد. اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها توسط روش Dere و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد. برای این

منظور ۱۰۰ میلی‌گرم برگ تازه از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته جدا و استخراج رنگ‌دانه‌ها با استفاده از اتانول ۹۶ درصد انجام شد. میزان جذب در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۸ و ۶۶۴ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (Jenway UV-Visible Model 6305) انجام شد. محتوای نسبی کلروفیل چهار برگ فوقانی توسعه‌یافته هر گیاه‌چه توسط دستگاه کلروفیل‌متر (Konica Minolta-SPAD 502) ثبت و میانگین آن منظور شد. برای اندازه‌گیری غلظت کربوهیدرات‌های محلول مقدار متناسبی از بخش میانی برگ‌های انتقال یافته به آزمایشگاه توزین شد. سپس با افزودن نیتروژن مایع توسط هموژنایزر نمونه‌ها به‌طور کامل پودر شد و مقدار متناسبی اتانول ۹۶ درصد اضافه شد. پس از نگهداری نمونه‌ها در یخچال به‌مدت ۲۴ ساعت و دمای چهار درجه سانتی‌گراد، نمونه‌ها مجدد هم‌زده و با شتاب ۳۰۰۰ جی به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. جهت تعیین غلظت کربوهیدرات محلول از استاندارد گلوکز استفاده شد (Dubois *et al.*, 1956). به‌منظور برداشت ریزغده ۹۰ روز پس از کاشت، بوته‌ها از سطح بستر برداشت و سطح برگ آن‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل (LI-cor) تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از سربرداری گیاه، غده‌های هر بوته شمارش و جداگانه وزن شدند. داده‌ها توسط نرم‌افزار Minitab 16 تجزیه آماری و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

فتوسنتز

اثر تغییرات اسیدیته محلول غذایی و میزان نیتروژن مصرفی بر میزان فتوسنتز گیاه سیب‌زمینی معنی‌دار ($P\leq۰/۰۵$) بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که با کاهش اسیدیته محلول غذایی از ۵/۶ به ۳، میزان فتوسنتز روند کاهشی نشان داد، با این وجود تیمار اسیدیته چهار نسبت به ۵/۶ اختلاف معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) نشان نداد. هم‌چنین با افزایش میزان نیتروژن از سطح صفر به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان فتوسنتز ۳۰ درصد افزایش یافت (جدول ۲). اسیدیته مطلوب در محلول غذایی می‌تواند با اثر بر جذب بهینه عناصر غذایی باعث حداکثر فتوسنتز و رشد گیاه شود (Hamlin and Barker, 2006).کاهش اسیدیته از چهار به سه در گیاه اکالیپتوس (Yang *et al.*, 2015) و از ۵/۶ به ۱/۸ در گیاه لوبیا (Velikova *et al.*, 1997). موجب کاهش میزان فتوسنتز شد. در اثر اسیدیته پایین در خاک میزان کوتیکول برگ تحت اثر قرار می‌گیرد و فعالیت‌های روزنه در سطح برگ نیز دچار اختلال می‌شود که تمامی این تغییرات باعث تغییر در جذب دی‌اکسیدکربن می‌شود. از طرف دیگر زمانی که میزان اسیدیته کلروپلاست افزایش یابد فتوسیستم II و چرخه کالوین

دچار اختلال می‌شوند و درنهایت میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد (Loboda and Wolejko, 2006). در این مطالعه نیز کاهش اسیدیته تا سطح سه نسبت به سایر سطوح اسیدیته اثر زیادی بر کاهش میزان فعالیت فتوسنتزی و تثبیت کربن در گیاه سیب‌زمینی داشت. نیتروژن یکی از منابع مهم در سنتز پروتئین‌ها و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در گیاهان بوده و محرومیت گیاه از نیتروژن کاهش فعالیت فتوسنتزی را به همراه خواهد داشت (Toth *et al.*, 2002).

تعرق

افزایش میزان نیتروژن و کاهش اسیدیته باعث افزایش میزان تعرق در گیاه شد (جدول ۲). میزان تعرق در اسیدیته سه نسبت به اسیدیته ۵/۶ به میزان ۱۴ درصد از خود کاهش نشان داد. با افزایش مقدار کاربرد نیتروژن میزان تعرق افزایش یافت به‌نحوی‌که میزان تعرق در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به تیمار بدون کاربرد نیتروژن ۱۶ درصد افزایش نشان داد اما بین سطوح نیتروژن ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری در میزان تعرق مشاهده نشد. در گیاه لوبیا با کاهش اسیدیته ۵/۶ به ۱/۸ میزان تعرق چهار درصد کاهش یافت که این امر می‌تواند به دلیل کاهش پتانسیل فشاری برگ‌ها باشد (Velikova *et al.*, 1997). به نظر می‌رسد که افزایش کود نیتروژن موجب گسترش و حجیم شدن ریشه‌ها و جذب بیشتر رطوبت از خاک می‌شود و علاوه‌بر آن افزایش نیتروژن باعث تسریع رشد سبزینه‌ای، افزایش حجم بخش هوایی گیاه و افزایش تبخیر و تعرق در گیاه می‌شود. مطالعه اثر کود نیتروژن در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) نشان داد که افزایش نیتروژن باعث افزایش تعرق در این گیاهان شد (Cechin and Fumis, 2004). بررسی ضرایب همبستگی (جدول‌های ۴ و ۵) نشان داد که گیاهان تحت اثر مقادیر مختلف اسیدیته و کود نیتروژن از نظر فتوسنتز و تعرق همبستگی مثبت و معنی‌داری (به‌ترتیب*r=۰/۷۵ و *r=۰/۶۹) دارند. گیاه برای انجام فتوسنتز بیش‌تر و تولید، نیازمند باز شدن روزنه‌ها برای ورود دی‌اکسیدکربن است، که این باز شدن باعث خروج مقادیر بیش‌تر آب به‌صورت تعرق خواهد شد.

هدایت روزنه‌ای

در اثر کاهش اسیدیته ابتدا هدایت روزنه‌ای تا حدی افزایش یافت که البته این افزایش نسبت به شاهد معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) نبود، ولی با کاهش بیشتر اسیدیته در تیمار اسیدیته سه، میزان هدایت روزنه‌ای کاهش معنی‌داری ($P\leq۰/۰۵$) با اسیدیته چهار نشان داد (جدول ۲). میزان هدایت روزنه‌ای با افزایش میزان نیتروژن و در سطح ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد افزایش یافت. اما با افزایش میزان کاربرد نیتروژن به سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان هدایت روزنه‌ای مجدد کاهش یافت که هیچ‌یک از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۱: منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات اثر سطوح مختلف اسیدیته و نیتروژن در بستر کاشت بر صفات مورد بررسی گیاه سیب‌زمینی در شرایط گلخانه

صفات	منبع تغییرات (S.O.V.)		ضریب تغییرات(C.V.) (درصد)	منبع تغییرات (S.O.V.)		ضریب تغییرات(C.V.) (درصد)
	اسیدیته محلول غذایی	خطای آزمایشی		میزان نیتروژن محلول غذایی	خطای آزمایشی	
میزان فتوسنتز	۲/۷۹*	۰/۵۵	۲۱/۸	۱/۶۳*	۰/۲۷	۱۵/۴
میزان تعرق	۰/۰۲۱**	۰/۰۰۰۴	۳/۱	۰/۰۱*	۰/۰۰۲	۶/۸۳
هدایت روزنه‌ای	۸۵۵/۸*	۱۱۵/۹	۲۶/۶	۳۰۵/۱ ns	۱۶۶/۳	۲۶/۳
غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه	۱۸۶۱/۳ns	۸۸۳/۶	۱۲/۶۸	۵۰۵۳۴**	۲۵۰۳	۱۵/۶
کلروفیلa	۰/۳۳**	۰/۰۰۹	۷/۴۴	۵/۱۷*	۰/۶۵	۳۰/۴
کلروفیلb	۰/۴۷**	۰/۰۰۷	۱۲/۵۳	۴/۶۴**	۰/۱۷	۱۳/۵
نسبت کلروفیل a/b	۱/۷۲*	۰/۲۲	۲۲/۱	۰/۰۲ ns	۰/۰۷	۳۰/۴
غلظت کاروتنوئیدها	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۷	۲۹/۹	۰/۲۴**	۰/۰۰۲	۷/۷۵
غلظت کل رنگ‌دانه‌ها	۱/۶۴**	۰/۰۳	۶/۸	۲۳/۹۹**	۱/۰۳	۱۶/۳
محتوی نسبی کلروفیل	۸/۲۱ ns	۵۳/۰۹	۲۱/۶	۴۶/۶۶*	۷/۳۲	۶/۳۹
غلظت کربوهیدرات‌های محلول	۹۶/۱۳ ns	۳۲/۸۴	۱۹/۹	۳۲۸/۹۶**	۴/۵۴	۹/۱
ارتفاع بوته	۱۳۱/۴۲**	۲/۰۳	۳/۱۶	۱۲۱/۶۲ ns	۵۱/۰۱	۱۳/۸۷
سطح برگ	۲۵۵۳۵**	۲۰۴۱	۲۰/۸	۱۸۱۴۳*	۲۲۸	۱۴/۶
وزن خشک اندام هوایی در بوته	۲/۲۳*	۰/۳۳	۲۳/۱	۱/۴۳*	۰/۱۸	۱۲/۳۸
تعداد استولن در بوته	۲۶/۳۳*	۳/۵۶	۲۴/۶	۶/۷۸ ns	۳/۴۴	۲۱/۹
تعداد ریز غده	۸/۷۸**	۰/۳۳	۱۵/۳	۵/۴۴*	۰/۷۸	۱۴/۲
میانگین وزن ریز غده‌ها	۵/۹۸ ns	۲/۹۷	۲۲/۴	۹/۹۵**	۰/۷۴	۱۵/۵
قطر ریزغده	۵/۷۸ ns	۳/۶۴	۱۴	۱۲/۰۹*	۱/۱۵	۱۰/۱۲
درجه آزادی	۲	۶	-	۲	۶	-

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد.

جدول ۲: اثر سطوح مختلف اسیدیته و نیتروژن در بستر کاشت بر صفات مورد بررسی گیاه سیب‌زمینی در شرایط گلخانه

صفات	اسیدیته محلول غذایی			میزان نیتروژن محلول غذایی (میلی‌گرم در لیتر)		
	۳	۴	۵/۶	۰	۵۰	۱۰۰
میزان فتوسنتز ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$)	۲/۵^{b}	۳/۴^{ab}	۴/۴^{a}	۲/۹۴^{b}	۲/۹۴^{b}	۴/۲۲^{a}
میزان تعرق ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$)	۰/۶^{b}	۰/۷^{a}	۰/۷^{a}	۰/۶۴^{b}	۰/۶۹^{ab}	۰/۷۶^{a}
هدایت روزنه‌ای ($mol.m^{-2}.s^{-1}$)	۲۱/۱^{b}	۵۲/۲^{a}	۴۷/۹^{ab}	۴۵/۹^{a}	۶۰/۲^{a}	۴۰/۷^{a}
غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه (ppm)	۲۳۸^{a}	۲۰۷^{a}	۲۵۷^{a}	۴۶۲^{a}	۲۸۶^{b}	۲۰۸^{b}
کلروفیل a ($mg.gfw^{-1}$)	۱/۱^{b}	۱/۱^{b}	۱/۶^{a}	۱/۳^{b}	۲/۵^{ab}	۳/۹^{a}
کلروفیل b ($mg.gfw^{-1}$)	۰/۵^{b}	۰/۴^{b}	۱/۱^{a}	۱/۷۵^{c}	۳/۲۱^{b}	۴/۲۳^{a}
نسبت کلروفیل a/b	۲/۰^{ab}	۲/۹^{a}	۱/۴^{b}	۰/۷۸^{a}	۰/۸۲^{a}	۰/۹۴^{a}
غلظت کاروتنوئیدها ($mg.gfw^{-1}$)	۰/۳^{a}	۰/۳^{a}	۰/۳^{a}	۰/۲۶^{c}	۰/۴۶^{b}	۰/۸۱^{a}
غلظت کل رنگ‌دانه‌ها ($mg.gfw^{-1}$)	۱/۸^{b}	۱/۸^{b}	۳/۱^{a}	۳/۳۷^{c}	۶/۲۴^{b}	۹/۰۳^{a}
محتوی نسبی کلروفیل (SPAD)	۳۲/۱^{a}	۳۳/۵^{a}	۳۵/۴^{a}	۳۸/۲^{b}	۴۲/۷^{ab}	۴۶/۱^{a}
غلظت کربوهیدرات‌های محلول ($mg.gfw^{-1}$)	۲۳/۱^{a}	۲۸/۸^{a}	۳۴/۴^{a}	۱۳/۹^{c}	۲۱/۸^{b}	۳۴/۷^{a}

حروف مشابه در هر صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

در مطالعه حاضر میزان هدایت روزنه‌ای در تیمار اسیدیته سه نسبت به اسیدیته ۵/۶ به میزان ۵۶ درصد کاهش یافت (جدول ۲). پژوهشگران کاهش اسیدیته محلول غذایی را عامل مؤثر در کاهش هدایت روزنه‌ای در گیاه دانسته‌اند، به‌طوری‌که کاهش ۲۰ درصدی هدایت روزنه‌ای با کاهش اسیدیته از ۵/۶ به ۱/۸ در لوبیا گزارش شده است کاهش هدایت روزنه‌ای در اثر کاهش اسیدیته می‌تواند به‌علت کاهش پتانسیل فشاری برگ‌ها باشد (Velikova *et al.*, 1997). از طرف دیگر، کاربرد اسیدیته هدایت روزنه‌ای همبستگی مثبت و معنی‌داری با سرعت تعرق (r=۰/۶۷*) از خود نشان داد (جدول ۴). در واقع هدایت روزنه‌ای بیش‌تر با تعرق بالاتر ارتباط تنگاتنگی دارد و به‌تبع آن سرعت فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد زیرا انجام فتوسنتز به جریان دی‌اکسید کربن نیازمند است و گیاه برای جذب دی‌اکسید کربن بایستی روزنه‌های خود را باز نگه دارد که این امر موجب هدایت روزنه‌ای بالاتر و جذب دی‌اکسید کربن و تعرق بیشتر خواهد بود. مصرف کود نیتروژنه می‌تواند از طریق اثر بر خصوصیات روزنـه‌ای و با افزایش دوام سطح سبز و طول دوره رشد گیاه، روزنه‌ها را تحت اثر قرار دهد، به‌طوری‌که در ذرت (*Zea mays* L.) میزان هدایت روزنه‌ای در سطح ۶۴۰ کیلوگرم در هکتار اوره نسبت به سطح صفر کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (Zhang *et al.*, 2012). با این وجود در مطالعه حاضر افزایش میزان کاربرد کود نیتروژن در سیب‌زمینی نتوانست اثر معنی‌داری روی هدایت روزنه‌ای داشته باشد.

غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه

غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه تحت اثر اسیدیته محلول غذایی قرار نگرفت (جدول ۲). در آزمایش کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن با افزایش کاربرد نیتروژن از صفر به ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در محلول غذایی غلظت دی‌اکسید

کربن زیر روزنه به‌ترتیب ۳۸ و ۵۵ درصد کاهش یافت (جدول ۲). در واکنش به افزایش سطح مصرف نیتروژن در کدوی تخم کاغذی (آقایی و احسان‌زاده، ۱۳۹۰) و گندم (Yang *et al.*, 2007) غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه کاهش یافت.

رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی

نتایج نشان داد که با افزایش اسیدیته محیط میزان کلروفیل a و b در برگ گیاهان سیب‌زمینی کاهش پیدا کرد و تفاوت بین شاهد و اسیدیته چهار معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بود، اما با کاهش بیش‌تر اسیدیته تفاوت معنی‌داری بین سطوح اسیدیته چهار و سه مشاهده نشد (جدول ۲). هم‌چنین افزایش سطح نیتروژن در محلول غذایی سبب افزایش میزان کلروفیل a و b در برگ گیاه سیب‌زمینی شد (جدول ۲). محتوی کلروفیل در برگ‌ها شاخص مهمی در تعیین میزان فتوسنتز است (Koca *et al.*, 2007). توافق کلی بر این است که اسیدیته تأثیر مستقیمی بر تغییر رنگ سبز در طی تبدیل کلروفیل به فئوفتین‌ها دارد (Koca *et al.*, 2007). زمانی که گیاهان در شرایط اسیدی قرار می‌گیرند میزان کلروفیل برگ‌ها تا حدی کاهش می‌یابد به‌طوری‌که رنگ آن‌ها به سمت زرد گرایش پیدا می‌کند و این خود نشان‌دهنده‌ی کاهش میزان کلروفیل در این شرایط است (Mohammadi and Samadi, 2012). گزارش‌هایی مبنی بر سرعت تخریب ۲/۵ برابری کلروفیل a، نسبت به کلروفیل b تحت شرایط اسیدیته پایین وجود دارد (Gunawan and Barringer, 2000). اما در این مطالعه سرعت تخریب کلروفیل a گیاه سیب‌زمینی ۱/۸ برابر کم‌تر از کلروفیل b بود (جدول ۲). به همین دلیل نسبت کلروفیل a به کلروفیل b با کاهش اسیدیته محلول غذایی از ۵/۶ به اسیدیته چهار و سه افزایش پیدا کرد (جدول ۲). با افزایش میزان کود نیتروژن، غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش و منجر به تقویت فتوسیستم‌های I و II متشکل از رنگیزه‌های مختلف ازجمله کلروفیل می‌شود (Dordas and Sioulas, 2008). مطالعات نشان داد که افزایش کاربرد نیتروژن موجب افزایش غلظت کلروفیل برگ در سیب‌زمینی شد (Singh and Lal, 2012). در تیمارهای تغییر اسیدیته و کاربرد کود نیتروژن، بین کلروفیل a با سرعت فتوسنتز رابطه مثبت و معنی‌داری به‌ترتیب $r=۰/۷۷^*$ و $r=۰/۶۸^*$ مشاهده شد (جدول‌های ۴ و ۵) که این نشان‌دهنده‌ی حفظ کارایی کلروفیل در شرایط اسیدی و هم‌چنین افزایش میزان و کارایی کلروفیل با حضور نیتروژن که از عناصر تشکیل دهنده کلروفیل است می‌باشد. هم‌چنین در تیمارهای تغییر اسیدیته و کاربرد کود نیتروژن همبستگی مثبت و معنی‌داری (به‌ترتیب $r=۰/۷۸^*$ و $r=۰/۶۸^*$) بین کلروفیل a و تعرق وجود داشت (جدول‌های ۴ و ۵). به‌عبارت‌دیگر با افزایش میزان کلروفیل هدایت روزنه‌ای افزایش می‌یابد و میزان تعرق نیز در اثر هدایت روزنه‌ای بالا تحت اثر قرار می‌گیرد. کاهش میزان اسیدیته از ۵/۶ به سه اثر معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) بر غلظت کاروتنوئیدها در برگ گیاه سیب‌زمینی نداشت (جدول ۲). غلظت کل رنگ‌دانه‌ها با کاهش اسیدیته تفاوت معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) از خود نشان داد (جدول ۲). با این وجود بین تیمارهای اسیدیته سه و چهار تفاوت معنی‌داری

(P>۰/۰۵) از این نظر مشاهده نشد (جدول ۲). با افزایش اسیدیته از ۵/۶ به سه میزان کل رنگ‌دانه‌ها ۴۲ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۲). در آزمایش بررسی اسیدیته‌های مختلف همبستگی مثبتی بین غلظت کل رنگیزه‌ها با سرعت فتوسنتز (r=۰/۷۸*) و سرعت تعرق (r=۰/۶۷*) مشاهده شد (جدول ۴). هرچه میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی بیش‌تر باشد سرعت فتوسنتز در مقابل افزایش می‌یابد و هم‌چنین با باز شدن بیش‌تر روزنه‌ها به‌منظور جذب دی‌اکسید کربن، سرعت تعرق گیاه نیز افزایش می‌یابد. غلظت کاروتنوئیدها در تیمار ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد به‌ترتیب ۴۳ و ۶۸ درصد افزایش یافت که این تفاوت‌ها معنی‌دار بود. غلظت کل رنگ‌دانه‌ها نیز با افزایش میزان نیتروژن، از صفر به ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب با ۴۶ و ۶۳ درصد افزایش تفاوت معنی‌داری (P≤۰/۰۵) نشان داد (جدول ۲). رابطه مثبت و معنی‌داری بین کل رنگیزه‌ها و سرعت تعرق (r=۰/۷۶*) مشاهده شد. بالا بودن غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی باعث می‌شود تا میزان فتوسنتز افزایش یابد و هم‌چنین میزان تعرق گیاه نیز تحت اثر قرار گیرد (جدول ۵).

اسپد

از لحاظ محتوی نسبی کلروفیل مشاهده شد که با تغییر اسیدیته میزان عدد اسپد کاهش پیدا کرد ولی تفاوت معنی‌داری (P≤۰/۰۵) بین سطوح مختلف اسیدیته از نظر محتوی نسبی کلروفیل مشاهده نشد (جدول ۲). نتایج آزمایش کاربرد نیتروژن در محلول غذایی نشان داد که محتوی نسبی کلروفیل با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب ۱۱ و ۱۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد با کاهش اسیدیته نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل و آنتوسیانین به کلروفیل تا حدی افزایش می‌یابد که این نشان‌دهنده‌ی این است که گیاهان تلاش می‌کنند در مقابل کاهش اسیدیته تنظیم فیزیولوژیکی انجام دهند و از محتوی کلروفیل خود از طریق افزایش کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها محافظت کنند (Im, 2010).

کربوهیدارت‌های محلول

میزان کربوهیدرات‌های محلول در گیاه‌چه‌های سیب‌زمینی در اثر تغییر اسیدیته از ۵/۶ به سه به میزان ۳۳ درصد کاهش یافت ولی این تفاوت معنی‌داری (P>۰/۰۵) نبود (جدول ۲). درصورتی‌که در آزمایش کاربرد نیتروژن، افزایش نیتروژن محلول غذایی سبب افزایش غلظت کربوهیدارت‌های محلول شد و بین شاهد و سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاربرد نیتروژن تفاوت معنی‌داری (P≤۰/۰۵) وجود داشت (جدول ۲). در آزمایش تغییر اسیدیته بستر کاشت، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربوهیدرات‌های محلول با سرعت فتوسنتز (r=۰/۷۹*) و سرعت تعرق (r=۰/۷۳*) مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۳: مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت اثر سطوح مختلف اسیدیته و نیتروژن در سیب‌زمینی

صفات	اسیدیته محلول غذایی			میزان نیتروژن محلول غذایی (میلی‌گرم در لیتر)		
	۳	۴	۵/۶	۰	۵۰	۱۰۰
ارتفاع بوته (cm)	۳۹/۰ ^{c}	۴۴/۲ ^{b}	۵۲/۲ ^{a}	۴۷/۰ ^{a}	۴۸/۶ ^{a}	۵۸/۷ ^{a}
سطح برگ در بوته(cm2)	۱۵۶ ^{b}	۱۷۱ ^{b}	۳۲۲ ^{a}	۳۰۹ ^{b}	۲۶۰ ^{b}	۴۱۲ ^{a}
وزن خشک اندام هوایی در بوته (g)	۱/۷ ^{b}	۲/۳ ^{ab}	۳/۴ ^{a}	۴/۰۴ ^{b}	۴/۱۴ ^{b}	۵/۲۸ ^{a}
تعداد استولن در بوته	۱۱/۰^{a}	۶/۷ ^{ab}	۵/۳ ^{b}	۷/۰^{a}	۸/۳^{a}	۱۰/۰^{a}
میانگین وزن ریز غده‌ها (g)	۸/۹ ^{a}	۸/۱ ^{a}	۶/۱ ^{a}	۳/۹۷ ^{b}	۵/۰۲ ^{b}	۷/۵^{a}
بیشترین قطر ریزغده (mm)	۱۵/۲ ^{a}	۱۲/۷ ^{a}	۱۲/۸ ^{a}	۹/۷ ^{b}	۱۱/۸ ^{ab}	۱۳/۷^{a}

حروف مشابه در هر صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

درصورتی‌که این همبستگی‌ها در آزمایش کاربرد کود نیتروژنه علی‌رغم مثبت بودن معنی‌دار نبود (جدول ۵). قندها به دو شیوه از سلول محافظت می‌کنند، نخست، گروه‌های هیدروکسیل قندها ممکن است به‌منظور حفظ و ادامه واکنش‌های آب‌دوست در غشاها و نیز پروتئین‌های موجود در گیاه در طی دهیدراسیون جایگزین آب شوند. از این‌رو قندها، از طریق پیوندهای هیدروژنی با پروتئین‌ها و غشاها واکنش نشان داده و از این طریق از تغییر پروتئین‌ها جلوگیری می‌کنند. دوم، قندها نقش اساسی در کریستاله کردن ایفا می‌کنند (Zhang *et al.*, 2006).

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که در اثر تغییر اسیدیته از ۵/۶ به سه، ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری ($P\leq۰/۰۵$) کاهش پیدا کرد، به‌طوری‌که اسیدیته سه نسبت به اسیدیته ۵/۶، حدود ۲۵ درصد کاهش ارتفاع داشته است. در آزمایش کاربرد غلظت‌های مختلف نیتروژن در محلول غذایی در اثر افزایش میزان نیتروژن ارتفاع گیاه افزایش یافت ولی افزایش معنی‌داری نبود (جدول ۳). فراهم بودن کلروفیل در اندام‌های فتوسنتز کننده، سرعت فتوسنتز را افزایش داده و درنتیجه رشد گیاه و ارتفاع بوته افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش‌های پیشین روی گیاه سیب‌زمینی حاکی از افزایش ارتفاع گیاه با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی است (Negero., 2017).

سطح برگ

سطح برگ در اثر افزایش اسیدیته کاهش یافت و تفاوت معنی‌داری ($P\leq۰/۰۵$) بین تیمار ۵/۶ با تیمارهای اسیدیته چهار و سه مشاهده شد. با کاهش اسیدیته از چهار به سه سطح برگ کاهش یافت ولی تفاوت معنی‌دار ($P\leq۰/۰۵$) نبود (جدول ۲). سطح برگ با افزایش نیتروژن از صفر به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت و تفاوت معنی‌داری ($P\leq۰/۰۵$) بین سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با شاهد مشاهده شد (جدول ۳). سطح برگ میزان نور ورودی به کانوپی را کنترل می‌کند و هم‌چنین روی تبادلات گازی بین گیاه و اتمسفر اثرگذار است، بنابراین میزان تولید اولیه، میزان فتوسنتز و هم‌چنین میزان تعرق همبستگی مثبتی با سطح برگ دارد (Swank *et al.*, 1988). بررسی همبستگی بین صفات مورد مطالعه با

سطح برگ در آزمایش تغییر اسیدیته بستر کاشت نشان داد با وجود همبستگی مثبت بین فتوسنتز و تعرق برگ با سطح برگ اما این همبستگی‌ها معنی‌دار نبود، با این وجود همبستگی مثبتی بین سطح برگ با کلروفیل a (r=۰/۹۴**)، کلروفیل b (r=۰/۸۴**) و کل رنگیزه‌ها (r=۰/۹۳**) مشاهده شد (جدول ۴). برخلاف آزمایش حاضر، گزارش شده است که در گیاه سیب‌زمینی میزان سطح برگ، وزن ریشه و وزن کل این گیاه کاهش می‌یابد (Lommen, 1995). یکی از عوامل مؤثر بر توسعه سطح برگ هر بوته میزان نیتروژن است که با اثر بر اندازه و طول عمر برگ موجب افزایش سطح برگ می‌شود (Muchow and Davis, 1988). با افزایش سطح برگ در گیاه میزان جذب نور افزایش یافته و در مقابل میزان فتوسنتز در گیاه افزایش می‌یابد. در این مطالعه با کاربرد کود نیتروژنه، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سطح برگ با میزان فتوسنتز و کربوهیدارت‌های محلول وجود داشت (جدول ۵). نتایج حاصل از پژوهش ساجدی و اردکانی (۱۳۸۷) نشان داد که شاخص‌های فیزیولوژیک مانند سطح برگ، سرعت رشد گیاه و جذب خالص تحت اثر کود نیتروژن قرار می‌گیرند.

وزن خشک اندام هوایی

با کاهش اسیدیته از ۵/۶ به چهار و سه وزن خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که وزن خشک اندام هوایی در بوته در اسیدیته سه نسبت به اسیدیته ۵/۶ به میزان ۵۰ درصد کاهش یافت (جدول ۳). محققان کاهش اسیدیته را عامل مؤثری در کاهش وزن خشک اندام هوایی دانسته‌اند، به‌طوری‌که در سیب‌زمینی با کاهش اسیدیته از پنج به سه وزن خشک کل گیاه در سیب‌زمینی از ۱۲ گرم به شش گرم در بوته کاهش یافت (Lommen, 1995; Barnard and Combrink, 2004) که احتمالاً این کاهش وزن خشک به‌دلیل اختلال در جذب عناصر غذایی بوده است. با افزایش میزان نیتروژن در محلول غذایی وزن خشک اندام‌های هوایی در بوته افزایش یافت، وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد افزایش ۳۰ درصدی نشان داد.

کود نیتروژن باعث افزایش سطح برگ در گیاه می‌شود که به‌نوبه خود باعث افزایش جذب نور خورشید و متعاقباً افزایش ارتفاع گیاه و وزن خشک اندام‌های هوایی می‌شود (Al-Moshileh *et al.*, 2005). مطالعه ارقام سیب‌زمینی نشان داد که تحت اثر کود نیتروژن رقم آگریا نسبت به رقم مارفونا وزن خشک بیش‌تری را از خود نشان داد (Vaezzadeh and Naderidarbaghshahi, 2012). وزن خشک اندام هوایی در بوته رابطه مثبت و معنی‌داری با سرعت فتوسنتز، کلروفیل a و کل رنگیزه‌ها از خود نشان داد (جدول‌های ۴ و ۵). هم‌چنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته و وزن خشک در هر دو آزمایش مشاهده شد (جدول‌های ۴ و ۵).

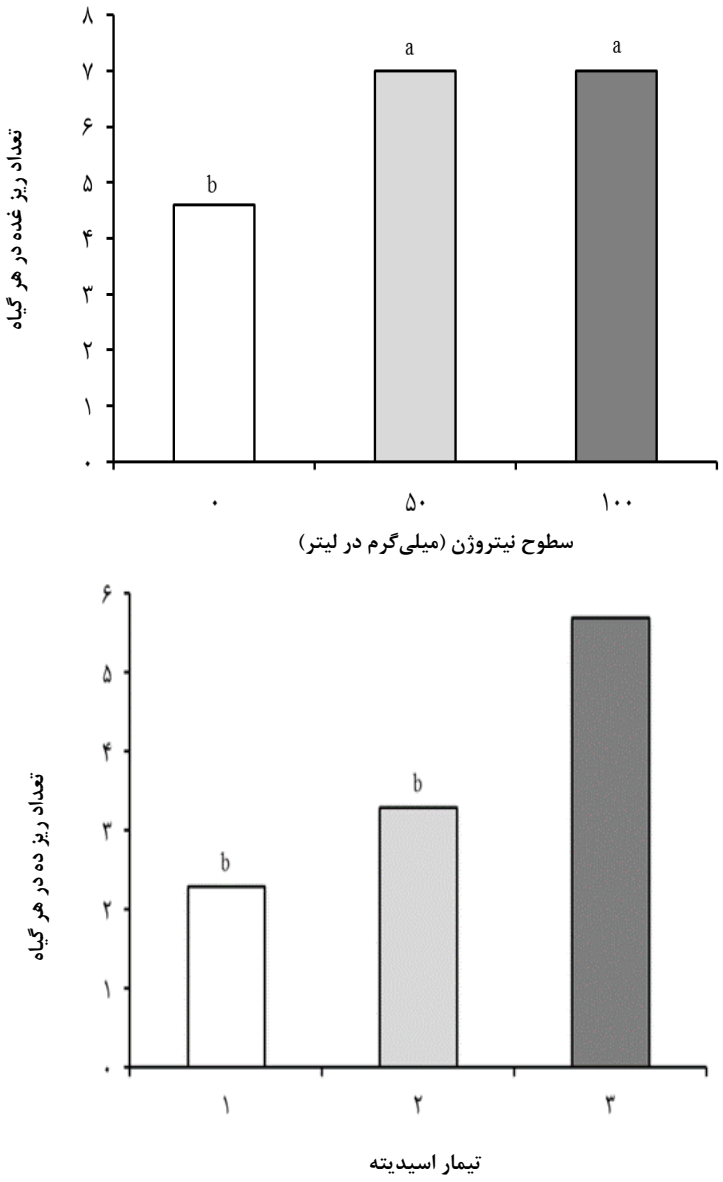
تعداد استولن

تعداد استولن در بوته تحت اثر اسیدیته محلول غذایی قرار گرفت به‌طوری‌که با کاهش اسیدیته تعداد استولن در بوته به میزان ۱۰۷ درصد افزایش یافت و تفاوت معنی‌داری ($P\leq۰/۰۵$) بین اسیدیته سه با ۵/۶ مشاهده شد. بین سطوح کاربر نیتروژن در محلول غذایی از نظر تعداد استولن در بوته تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۳). تعداد استولن در بوته با تعداد ریزغده تولیدی در شرایط تغییر اسیدیته همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۹۰^{**}$) نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد کاهش اسیدیته با اثر بر جذب عناصر غذایی پرمصرف به‌خصوص کاهش جذب نیتروژن موجب افزایش استولن‌زایی و درنهایت تولید غده می‌شود (Waylen *et al.*, 1994). از این‌رو تعداد استولن در بوته می‌تواند به‌طور مستقیم بر تعداد ریزغده اثرگذار باشد. نیتروژن از طریق اثر بر بیوسنتز و فعالیت فیتوهورمون‌ها و اعتدال آن‌ها به‌خصوص سطوح اسید جیبرلیک، آبسیزیک اسید و سیتوکینین بر تشکیل استولن‌ها اثر می‌گذارد (Amzallag *et al*, 1992).

تعداد ریزغده

کاهش اسیدیته موجب افزایش تعداد ریزغده در بوته شد به نحوی‌که در تیمار اسیدیته سه تعداد ریزغده نسبت به تیمار ۵/۶ افزایش ۴۱ درصدی نشان داد (شکل ۱). با افزایش میزان نیتروژن نیز تعداد غده افزایش یافت و تفاوت معنی‌داری ($P\leq۰/۰۵$) بین شاهد و سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن مصرفی مشاهده شد، اما بین سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن تفاوت معنی‌داری در تعداد ریز غده‌ها وجود نداشت (شکل ۱). مطالعات نشان داد است قرار گرفتن بوته سیب‌زمینی در معرض اسیدیته پایین و اسیدی به مدت چند ساعت باعث بهبود تعداد استولن‌ها و غده‌زایی می‌شود (Wan *et al.*, 1994; Barnard and Combrink, 2004). در اسیدیته‌های پایین تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه اولویت یافته و رشد اندام هوایی تا حدی محدود می‌شود و عناصر غذایی مستقیماً برای گسترش استولن‌ها و آغازش غده‌ها مورد استفاده قرار گرفته و درنتیجه تعداد غده در بوته افزایش می‌یابد.

در آزمایش تغییر اسیدیته بستر بین تعداد ریزغده و وزن خشک بوته همبستگی منفی و معنی‌داری ($r=-۰/۶۹^{*}$) وجود داشت. با توجه به این‌که رشد رویشی بیش ازحد از تولید ریزغده در گیاه جلوگیری می‌کند. این همبستگی منفی قابل توجیه است. هم‌چنین بین تعداد ریزغده با ارتفاع بوته ($r=-۰/۸۵^{*}$) همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴)، درصورتی‌که در تیمار کاربرد کود نیتروژن در محلول غذایی این همبستگی‌ها معنی‌دار نبودند (جدول ۵).



شکل ۱: اثر تیمار اسیدیته (۳، ۴، ۵/۶) و کود نیتروژن (صفر+ محلول هوگلند، ۵۰+ محلول هوگلند و ۱۰۰+ محلول هوگلند) بر تعداد ریزغده در سیب‌زمینی

میانگین وزن ریزغده

میانگین وزن ریزغده در اثر افزایش اسیدیته و میزان نیتروژن افزایش یافت (جدول ۳). اما این افزایش در تیمارهای اسیدسیته معنی‌دار نبود، با این وجود با افزایش اسیدیته از ۵/۶ به اسیدیته سه میانگین وزن ریزغده ۲/۸ گرم افزایش یافت که از نظر زراعی در تولید ریزغده سیب‌زمینی این افزایش وزن بسیار زیاد و مناسب است. سیب‌زمینی گیاهی است که در خاک‌هایی با شرایط اسیدی تطابق دارد و هم‌چنین این شرایط می‌تواند باعث رسیدگی زودتر و افزایش تولید ریزغده بیش-

تری در این گیاه شود. زمانی که pH خاک کاهش پیدا می‌کند فراهمی عناصری از قبیل منیزیم و بر در محیط ریشه تا حدی افزایش می‌یابد و این احتمال وجود دارد که این عناصر باعث افزایش کمی در وزن و قطر غده‌ها شده‌اند (MacLean *et al.*, 1967). میانگین وزن ریزغده در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن نسبت به تیمار شاهد به میزان ۸۹ درصد افزایش یافت (جدول ۳). افزایش متوسط وزن ریزغده در پاسخ به مصرف کود نیتروژن می‌تواند با رشد بیش‌تر گیاه، شاخ و برگ بیش‌تر و سطح برگ بیش‌تر و هم‌چنین فتوسنتز بیش‌تر مرتبط باشد که می‌تواند منجر به افزایش وزن ریزغده‌ها گردد (Negero., 2017). یکی از علل افزایش میانگین وزن غده‌ها در کاربرد نیتروژن می‌تواند طولانی بودن دوره رشد گیاه باشد که باعث می‌شود مواد فتوسنتزی بیش‌تری به غده اختصاص یابد. در آزمایش کاربرد نیتروژن در محلول غذایی، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میانگین وزن ریز غده‌ها با کلروفیل a ($r=۰/۸۱^{**}$)، کلروفیل b ($r=۰/۸۹^{**}$) و سطح برگ ($r=۰/۷۳^{*}$) مشاهده شد (جدول ۵). فراهمی کلروفیل در برگ‌ها و وجود سطح برگ کافی برای فتوسنتز باعث تولید مواد فتوسنتزی بیش‌تر و افزایش میانگین وزن ریزغده‌ها می‌شود.

قطر ریزغده

قطر ریزغده در تیمار اسیدیته سه نسبت به اسیدیته ۵/۶ به میزان ۱۹ درصد بیش‌تر بود ولی این تفاوت معنی‌دار ($P>۰/۰۵$) نبود (جدول ۳). قطر ریزغده‌ها با افزایش میزان نیتروژن افزایش یافت و تفاوت معنی‌داری ($P\leq۰/۰۵$) بین سطوح شاهد و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن مصرفی مشاهده شد (جدول ۳). با افزایش میزان نیتروژن از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم تفاوت معنی‌داری در قطر ریزغده‌ها مشاهده نشد. در کاربرد نیتروژن، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین قطر ریزغده و میزان فتوسنتز ($r=۰/۶۹^{*}$) مشاهده شد (جدول ۵). اندازه ریزغده از طول دوره رشد سیب‌زمینی، زمان تشکیل غده و سطوح نیتروژن اثر می‌پذیرد (Ankumah *et al.*, 2003). مصرف کافی نیتروژن در اوایل فصل رشد از طریق افزایش سطح برگ، افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی بیش‌تر به غده‌ها سبب افزایش اندازه و وزن ریزغده‌ها و درنتیجه افزایش عملکرد می‌شود درصورتی‌که مصرف بیش‌ازحد آن سبب کاهش وزن غده‌ها شده و عملکرد را کاهش می‌دهد (Jamaati *et al.*, 2009).

جدول ۴: ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در آزمایش تغییر اسیدیته بستر کاشت

	صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱	سرعت فتوسنتز	۱																	
۲	سرعت تعرق	۰/۷۵*	۱																
۳	CO_2 زیر روزنه	۰/۱۷ns	۰/۱۵ns	۱															
۴	هدایت روزنه‌ای	۰/۳۳ns	۰/۶۷*	-۰/۲۲ns	۱														
۵	کلروفیلa	۰/۷۷*	۰/۷۸*	۰/۳۴ns	۰/۵۱ns	۱													
۶	کلروفیل b	۰/۶۸*	۰/۵۶ns	۰/۴۳ns	۰/۱۸ns	۰/۸۶**	۱												
۷	کلروفیل a/b	-۰/۴۴ns	-۰/۱۲ns	-۰/۳۵ns	۰/۳۰ns	-۰/۴۳ns	-۰/۸۲**	۱											
۸	کاروتنوئیدها	۰/۵۶ns	۰/۱۵ns	۰/۳۵ns	-۰/۱۶ns	۰/۲۶ns	۰/۴۲ns	-۰/۵۴ns	۱										
۹	کل رنگ‌دانه‌ها	۰/۷۸*	۰/۶۷*	۰/۴۲ns	۰/۳۱ns	۰/۹۴**	۰/۹۷**	-۰/۷۰*	۰/۴۶ns	۱									
۱۰	اسپد	۰/۳۱ns	۰/۱۰ns	-۰/۰۸ns	۰/۱۵ns	۰/۴۰ns	۰/۱۳ns	۰/۱۷ns	-۰/۰۲ns	۰/۲۵ns	۱								
۱۱	کربوهیدرات‌های محلول	۰/۷۹*	۰/۷۳*	۰/۱۹ns	۰/۱۴ns	۰/۶۵ns	۰/۵۳ns	-۰/۲۵ns	۰/۳۸ns	۰/۶۲ns	۰/۴۵ns	۱							
۱۲	ارتفاع بوته	۰/۶۶ns	۰/۸۶**	۰/۲۷ns	۰/۶۸*	۰/۹۷**	۰/۷۹*	-۰/۳۴ns	۰/۱۵ns	۰/۸۷**	۰/۲۵ns	۰/۶۰ns	۱						
۱۳	شاخص سطح برگ	۰/۶۶ns	۰/۵۹ns	۰/۳۱ns	۰/۴۲ns	۰/۹۴**	۰/۸۴**	-۰/۵۰ns	۰/۳۸ns	۰/۹۳**	۰/۴۵ns	۰/۵۵ns	۰/۸۶**	۱					
۱۴	وزن خشک	۰/۷۳*	۰/۶۵ns	۰/۲۰ns	۰/۵۸ns	۰/۸۶**	۰/۷۲*	-۰/۳۰ns	۰/۲۳ns	۰/۸۰**	۰/۶۰ns	۰/۶۰ns	۰/۸۴**	۰/۸۴**	۱				
۱۵	تعداد استولن	-۰/۴۷ns	-۰/۸۷**	-۰/۱۲ns	-۰/۵۹ns	-۰/۶۸*	-۰/۳۹ns	-۰/۱۲ns	۰/۲۱ns	-۰/۴۹ns	-۰/۲۹ns	-۰/۷۰*	-۰/۷۸*	-۰/۵۰ns	-۰/۵۶ns	۱			
۱۶	تعداد غده	-۰/۷۶*	-۰/۹۸**	-۰/۱۲ns	-۰/۶۵ns	-۰/۸۰*	-۰/۵۵ns	۰/۰۸ns	-۰/۰۲ns	-۰/۶۶ns	-۰/۲۱ns	-۰/۷۳*	-۰/۸۵**	-۰/۵۸ns	-۰/۶۹*	۰/۹۰**	۱		
۱۷	میانگین وزن غده	-۰/۲۸ns	-۰/۶۳ns	-۰/۵۴ns	-۰/۳۳ns	-۰/۴۳ns	-۰/۵۳ns	۰/۳۵ns	-۰/۲۲ns	-۰/۵۰ns	۰/۴۶ns	-۰/۲۹ns	-۰/۶۲ns	-۰/۳۳ns	-۰/۲۸ns	۰/۴۹ns	۰/۵۱ns	۱	
۱۸	قطر غده	-۰/۵۱ns	-۰/۶۴ns	-۰/۱۷ns	-۰/۲۸ns	-۰/۲۴ns	-۰/۲۲ns	۰/۱۵ns	-۰/۵۳ns	-۰/۲۹ns	۰/۴۹ns	-۰/۴۲ns	-۰/۳۴ns	-۰/۱۲ns	-۰/۰۵ns	۰/۳۲ns	۰/۵۰ns	۰/۶۶ns	۱

*و** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج درصد و در سطح یک درصد. ns در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ۵: ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در کاربرد سطوح مختلف نیتروژن در محلول غذایی

	صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱	سرعت فتوسنتز	۱																	
۲	سرعت تعرق	۰/۶۹*	۱																
۳	CO_2 زیر روزنه	-۰/۴۳ns	-۰/۷۷*	۱															
۴	هدایت روزنه‌ای	-۰/۰۸ ns	-۰/۳۸ ns	۰/۲۳ ns	۱														
۵	کلروفیلa	۰/۶۸*	۰/۶۸*	۰/۶۴ ns	-۰/۱ ns	۱													
۶	کلروفیل b	۰/۵۲ ns	۰/۷۷*	-۰/۹۰**	-۰/۲۳ ns	۰/۸۵**	۱												
۷	کلروفیل a/b	۰/۵۳ ns	۰/۲۲ ns	۰/۰۱ ns	۰/۲۱ ns	۰/۶۹*	۰/۲۱ ns	۱											
۸	کاروتنوئیدها	۰/۷۳*	۰/۷۸*	-۰/۸۶**	-۰/۲۹ ns	۰/۸۵**	۰/۹۵**	۰/۲۸ ns	۱										
۹	کل رنگ‌دانه‌ها	۰/۶۵ ns	۰/۷۶*	-۰/۸۰**	-۰/۱۹ ns	۰/۹۶**	۰/۹۶**	۰/۴۶ ns	۰/۹۴**	۱									
۱۰	اسپد	۰/۷۱*	۰/۵۰ ns	-۰/۶۲ ns	۰/۳۲ ns	۰/۷۷*	۰/۷۲*	۰/۴۸ ns	۰/۷۷*	۰/۷۸*	۱								
۱۱	کربوهیدرات‌های	۰/۵۶ ns	۰/۲۳ ns	-۰/۴۳ ns	۰/۲۶ ns	۰/۵۴ ns	۰/۶۰ ns	۰/۱۶ ns	۰/۶۶ ns	۰/۶۰ ns	۰/۸۲**	۱							
۱۲	ارتفاع بوته	۰/۷۵*	۰/۲۴ ns	-۰/۳۶ ns	۰/۳۵ ns	۰/۵۶ ns	۰/۴۶ ns	۰/۴۳ ns	۰/۶۳ ns	۰/۵۵ ns	۰/۸۸**	۰/۸۵**	۱						
۱۳	شاخص سطح برگ	۰/۷۱*	۰/۳۸ ns	-۰/۳۳ ns	-۰/۱۸ ns	۰/۵۰ ns	۰/۴۷ ns	۰/۲۵ ns	۰/۶۳ ns	۰/۵۲ ns	۰/۶۸*	۰/۷۰*	۰/۷۱*	۱					
۱۴	وزن خشک	۰/۹۰**	۰/۶۴ ns	-۰/۵۰ ns	۰/۰۳ ns	۰/۷۴*	۰/۶۷ ns	۰/۴۴ ns	۰/۷۹*	۰/۷۴*	۰/۸۵**	۰/۷۷*	۰/۸۰*	۰/۸۶**	۱				
۱۵	تعداد استولن	۰/۴۵ ns	۰/۴۸ ns	-۰/۶۴ ns	۰/۰۱ ns	۰/۲۵ ns	۰/۵۷ ns	-۰/۳۱ ns	۰/۶۲ ns	۰/۴۳ ns	۰/۶۳ ns	۰/۶۵ ns	۰/۵۸ ns	۰/۶۳ ns	۰/۶۳ ns	۱			
۱۶	تعداد غده	۰/۳۰ ns	۰/۴۴ ns	-۰/۶۹*	-۰/۱۷ ns	۰/۵۹ ns	۰/۷۸*	-۰/۰۸ ns	۰/۷۰*	۰/۷۱*	۰/۶۸ ns	۰/۵۹ ns	۰/۵۵ ns	۰/۱۸ ns	۰/۴۲ ns	۰/۶۱ ns	۱		
۱۷	میانگین وزن غده	۰/۶۲ ns	۰/۶۹*	-۰/۷۸*	-۰/۲۷ ns	۰/۸۱**	۰/۸۹**	۰/۲۶ ns	۰/۹۰**	۰/۸۹**	۰/۷۵*	۰/۶۹*	۰/۵۳ ns	۰/۷۳*	۰/۸۲**	۰/۵۶ ns	۰/۴۹ ns	۱	
۱۸	قطر غده	۰/۷۰*	۰/۶۵ ns	-۰/۸**	۰/۱۱ ns	۰/۶۵ ns	۰/۷۸*	۰/۱۷ ns	۰/۸۳**	۰/۷۵*	۰/۹۲**	۰/۷۵*	۰/۷۷*	۰/۷۱*	۰/۸۳**	۰/۸۲**	۰/۶۳ ns	۰/۸۲*	۱

*و** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج درصد و در سطح یک درصد. ns در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش حاکی از این است که گیاه‌چه‌های سیب‌زمینی به کاربرد نیتروژن و کاهش کوتاه مدت اسیدیته محلول غذایی واکنش نشان می‌دهند. افزایش کوتاه مدت اسیدیته محلول غذایی از طریق تخصیص مواد غذایی بیش‌تر به غده‌ها باعث تحریک غده‌زایی می‌شود. در اثر کاهش اسیدیته میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها تا حدی کاهش یافتند ولی بین اسیدیته ۴ و ۳ تفاوت معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد که می‌توان نتیجه گرفت که در اثر کاهش کوتاه مدت pH گیاه سعی می‌کند تا از نظر خصوصیات فتوسنتزی و میزان کلروفیل از خود در برابر تغییرات اسیدیته محافظت کند. بالا رفتن سطوح نیتروژن در محلول غذایی باعث افزایش میزان نسبی کلروفیل، فتوسنتز برگ، تعداد استولن در بوته، میانگین وزن ریزغده‌ها و قطر ریزغده‌ها شد. عدم افزایش تعداد ریزغده‌ها با افزایش نیتروژن از سطح ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نشان‌دهنده این است که افزایش مصرف نیتروژن تعداد ریزغده را تا حد معینی افزایش می‌دهد ولی بیش‌تر از آن تغییر معنی‌داری در عملکرد ایجاد نمی‌کند و حتی ممکن است رشد رویشی اندام‌های هوایی را تحریک نموده و تشکیل غده‌ها و دوره پر شدن غده‌ها را به تأخیر انداخته و منجر به دیررسی محصول گردد و اثر منفی بر عملکرد داشته باشد.

منابع

آقایی، ا. و احسان زاده، پ.۱۳۹۰. اثر رژیم آبیاری و نیتروژن بر عملکرد و برخی پارامترهای فیزیولوژیک گیاه دارویی کدوی تخم کاغذی. علوم باغبانی. جلد چهل و دو شماره سه، ص ۲۹۱-۲۹۹.

ساجدی، ن. ع. و اردکانی، م. ر. ۱۳۸۷. اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن، روی وآهن بر شاخص های فیزیولوژیک ذرت علوفه‌ای در استان مرکزی. مجله پژوهش های زراعی ایران. جلد شش شماره یک، ص ۱۱۰-۹۹.

Al-Moshileh, A. M., Errbhi, M. A. and Motawei, M. I. 2005. Effect of Various Potassium and Nitrogen Rates and Splitting Methods on Potato under Sandy and Arid Environment Conditions. Emir Journal of Agricultural Sciences, 17 (1): 1-9.

Amzallag, G. N., Lerner, H. R., and Poljakoff-Mayber, A. 1992. Interaction between mineral nutrients, cytokinin and gibberellic acid during growth of Sorghum at high NaCI salinity. Journal of Experimental Botany, 43 (1): 81-87.

Ankumah, R. O., Khan. V., Mwarnba, K. and Kpomblekou, k. 2003.The influence of source and timing of nitrogen fertilizers on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars. Agriculture, Ecosystem and Environment, 100: 201 – 207.

Badr, M. A., El-Tohamy, W. A. and Zaghloul, A. M. 2012. Yield and water use efficiency of potato grown under different irrigation and nitrogen levels in an arid region. Agricultural Water Management, 110: 9-15.

Barnard, R., and Combrink, N. 2004. Potato mini tuber production affected by a short-term calcium deficiency, South African. Journal of Plant and Soil, 21: 200-202.

Cechin, I., and Fumis, T. D. F. 2004. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. Plant Science, 166 (5): 1379-1385.

Chen, B. H., and Chen, Y. Y. 1993. Stability of chlorophylls and carotenoids in sweet potato leaves during microwave cooking. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 41:1315–1320.

Dere, S., Gines, T. and Sivaci, R. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll - a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Turkish Journal of Botany, 22: 13-17.

Donnelly, D. J., Coleman, W. K. and Coleman, S. E. 2003. Potato micro-tuber production and performance: A review. American Journal of Potato Research., 80: 103-115.

Dordas, C. and Sioulas, S. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis and waterefficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Crop Production, 27: 78-85.

Dubois, M, Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. and Smith, F. 1956. Colorimetricmethod for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, 28: 350-356.

Duchovskis, P., Brazaityte, A., Juknys, R., Januskaitiene, I., Sliesaravicius, A., Ramaskeviciene, A., Burbulis, N., Siksnianienė1, J. B., Baranauskis, K., Duchovskiene, L., Stanys, V. and Bobinas, C. 2006. Changes of physiological and genetic indices of *Lycopersicone sculentum* Mill. by cadmium under different acidicity and nutrition. Journal of Environmental Studies, 15: 235-242.

Epstein, E. and Bloom, A. J. 2005. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives* (2nd ed). Sinauer Associates, Inc., USA.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2008. International year of the potato. www.Potatozoox.org.

Ghassan, A. S., Sully, R. and opkinson, H. 2001. Ways to increase tuber number. South Australian Research and Development Institute.

Gunawan, M. I. and Barringer, S. A. 2000. Green colour degradation of blanched broccoli (*Brassica oleracea*) due to acid and microbial growth. Journal of Food Processing and Preservation, 24: 253–263.

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

Hamlin, R. L. and Barker, V. A. 2006. Influence of ammonium and nitrate nutrition on plant growth and zinc accumulation by Indian mustard. Plant nutrition, 29: 1523-1541.

Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular, 347: 1-32.

Im, K. H. 2010. Effects of Acid treatments on chlorophyll, carotenoid and anthocyanin contents in arabidopsis. Research in Plant Disease, 16: 81-85.

Jamaati - Somarih, Sh., Tobeh, A., Hassanzadeh, M., Hokmalipour, S. and Zabihi Mahmoodabad, R. 2009. Effects of plant density and nitrogen fertilizer on nitrogen uptake from soil and nitrate pollution in potato tuber. *Research of Journal Environmental Science*, 3: 122 126.

Kellock, T. 1995. Factor affecting dry matter.Customer service@dpi.vic.gov.au.

Koca, N., Karadeniz, F. and Burdurlu, H. S. 2007. Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. Food Chemistry, 100: 609-615.

Kolodziejczyk, M. 2014. Effect of nitrogen fertilization and microbial populations on potato yielding. Plant Soil and Environment, 60: 379-386.

Kumar, P., Pandey, S. K., Singh, B. P., Singh, S. V. and Kumar, D. 2007. Effect of nitrogen rate on growth, yield, economics and crisps quality of Indian potato processing cultivars. Potato Research, 50: 143-155.

Loboda, T. and Wolejko, E. 2006. Effect of pH and Al 3 concentration on growth of spring brewer's barley. Agronomy Research, 4 (2): 517-529.

Lommen, W. J. M. 1995. Basic studies on the production and performance of potato minitubers. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 181 pp.

MacLean, A. J., Jasmin J. J. and Halstead. R. L. 1967. Effect of lime on potato crops and on properties of a sphagnum peat soil. Canadian Journal of Soil Science, 47: 89–94.

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

Meena, B. P., Kumar, A., Meena, S. R., Dhar, S., Rana, D. S. and Rana, K. S. 2013. Effect of sources and nutrients on growth and yield behaviour of pop corn (Zea mays) and potato (Solanum tuberosum) sequence. Indian Journal of Agronomy, 58: 474-479.

Mohammadi Ghehsareh, A. and Samadi, N. 2012. Effect of soil acidification on growth indices and microelements uptake by greenhouse cucumber. African Journal of Agricultural Research, 7: 1659-1665.

Muchow, R. C. and Davis, R. 1988. Effect of nitorogen supply on the comparative productivity of maize and sorgum ina semi-arid tropical enveroment.II Radiation interception and biomass accumulation. Field Crops Research, 18 (1): 17-30.

Murashige, T. and Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum, 15: 473–497.

Negero, F. W., 2017. Yield and yield components of potato (Solanum tuberosum L.) as influenced by planting density and rate of nitrogen application at Holeta, West Oromia region of Ethiopia. African Journal of Agricultural Research, 12(26), pp.2242-2254.

Singh, S. K. and Lal, S. S. 2012. Effect of potassium nutrition on potato yield, quality and nutrient use efficiency under varied levels of nitrogen application. Potato Journal, 39 (2).

Sohrabi Yourtchi, M., Hadi, M. H. S. and Darzi, M. T. 2013. Effect of nitrogen fertilizer and vermicompost on vegetative growth, yield and NPK uptake by tuber of potato (Agria CV.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5 (18): 20-33.

Swank, W. T., Swift, L. W. and Douglass, J. E. 1988. *Stream flow changes associated with forest cutting, species conversions and natural disturbances. In: Swank W.T. and Crossley D.A.Jr.*, (eds), Forest Ecology and Hydrologyat Coweeta. Ecol.Stud., Vol. 66.Springer, New York, (pp. 297 –312).

Toth, V. R., Meszkaros, I., Veres, S. and Nagy, J. 2002. Effects of the availablenitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle poolof maize in field. Journal of plant physiology, 159: 627–634.

Vaezzadeh, M. and Naderidarbaghshahi, M. 2012. The effect of various nitrogen fertilizer amounts on yield and nitrate accumulation in tubers of two potato cultivars in cold regions of Isfahan (Iran). International Journal of Agriculture Crop Science, 4 (22): 1688-1691.

Velikova, V., Yordanov, I., Kurteva, M. and Tsonev, T. 1997. Effects of simulated acid rain on the photosynthetic characteristics of *Phaseolus vulgaris* L. Photosynthetica, 34 (4): 523-535.

Wan, W. Y., Cao, W. and Tibbitts, T. W. 1994. Tuber initiation in hydroponically grown potatoes by alteration of solution pH. Horticulture Science, 29: 621-623.

Waylen, Y., Weixing Cao, W. and Tibbitts, W. T. 1994. Tuber initiation in hydroponically grown potatoes by alteration of solution pH. Hortscience, 29: 621-623.

Yang, M., Tan, L. Xu, Y., Zhao, Y., Cheng, F. and Ye, S. 2015. Effect of low pH and aluminum toxicity on the photosynthetic characteristics of different fast-growing eucalyptus vegetative lypropagated clones. PLOS One, 10 (6).

Yang, X., Chen, X., Ge, Q., Li, B., Tong, Y., Li, Z. and Kuang, T. 2007. Characterization ofphotosynthesis of flag leaves in a wheat hybrid and its parents under field condition. Journal of Plantphysiology, 164: 318-326.

Zhang, Z. J., Zhou, W. J., Li, H. Z., Zhang, G. Q., Subrahmaniyan, **K. and Yu, J. Q. 2006.** Effect of jasmonic acid on in vitro explant growth and microtuberization in potato. Biologia Plantarum, 50: 453-456.

Zobayed, M., Armstrong, J. and Armstrong, W. 2001. Micro propagation of potato: Evaluation of closed, diffusive and forced ventilation on growth and tuberization. Annals of botany, 87: 53-59.