نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۹۸
۷۳-۸۸
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.14833.2112

بررسی اثرات نمک‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم بر ریزازدیادی و تولید غده‌چه در سیب‌زمینی

زهرا موحدی[۱]، احمد معینی[۲*]

[۱]استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
[۲]دانشیار، گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) مهمترین گیاه مغذی و چهارمین محصول عمدهٔ دنیا به شمار می‌رود. عوامل متعددی تکثیر این گیاه از طریق کشت بافت را تحت تاثیر قرار می‌دهند که از جمله می‌توان به ترکیب و مقدار نمک‌های محیط کشت اشاره کرد. در پژوهش حاضر اثر افزایش نمک‌های ماکرو در محیط کشت بر ریزازدیادی و غده‌چه گیاه سیب‌زمینی، با استفاده از سه رقم اگریا، ساوالان و مارفونا در محیط کشت پایه موراشیگ و اسکوگ (MS) بررسی شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه اثرات نمک‌های کلرید کلسیم ($CaCl_2$)، مونوفسفات پتاسیم (KH_2PO_4) و سولفات منیزیم ($MgSO_4$) با غلظت‌های ۱/۲۵، ۱/۵ و ۱/۷۵ برابر غلظت استاندارد آنها در محیط کشت پایه MS (شاهد)، مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی اثر افزایش غلظت هرکدام از این نمک‌ها مستقل و بصورت یک آزمایش فاکتوریل (اثر نمک × رقم)در قالب طرح کاملاً تصادفی با ده تکرار انجام شد. بعد از ۳۰ روز، صفات مختلفی شامل متوسط طول نوساقه در هر گیاهچه، میانگین طول ریشه در هر گیاهچه، تعداد ریشه در هر گیاهچه، تعداد و اندازه برگ در هر گیاهچه بررسی شدند. سپس، گیاهان نسبت به شرایط برون شیشه‌ای سازگار شده و برای تولید غده‌چه در مزرعه در شهرستان دماوند کشت شدند و صفات میانگین وزن غده‌چه در هر گیاهچه و تعداد غده در هر گیاهچه اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: به‌طورکلی نتایج آزمایش بررسی افزایش نمک کلرید کلسیم در محیط کشت نشان داد که اضافه کردن غلظت این نمک در محیط کشت برخی از صفات مورد مطالعه از جمله طول نوساقه در هر گیاهچه و میانگین طول ریشه در هر گیاهچه را افزایش داد. نتایج بررسی اثر افزایش مونوفسفات پتاسیم در محیط کشت نیز نشان داد که با استفاده از غلظت‌های بیشتر نمک در محیط کشت اکثر صفات مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری بهتر است. همچنین استفاده از غلظت‌های بالای سولفات منیزیم در در محیط کشت به‌طور معنی‌داری باعث بهتر شدن بیشتر صفات مورد مطالعه شده است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که افزایش غلظت هرکدام از این نمک‌ها به تنهایی در محیط کشت، به طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) باعث افزایش تعداد گره، طول ساقه، تعداد ریشه، طول ریشه و اندازه برگ در مقایسه با شاهد شده است که در نهایت منجر به افزایش میزان تکثیر و صرفه‌جویی در نیروی کار و مدت زمان لازم شده است. همچنین افزایش تعداد ریشه در هر گیاهچه در برخی تیمارها باعث شد تا تعداد کمتری گیاه در مرحله سازگار کردن حذف شوند. با این‌حال در اکثر موارد افزایش غلظت نمک‌های پر مصرف تغییری در تعداد غده‌چه و وزن آنها نداشت.

واژه‌های کلیدی: کشت بافت، عناصر ماکرو، *Solanum tuberosum*

*مسئول مکاتبه: moieni_a@modares.ac.ir

مقدمه

سیب‌زمینی مهمترین گیاه مغذی بعد از غلات است و پس از گندم، برنج و ذرت چهارمین محصول عمدهٔ دنیا به‌شمار می‌رود (۱۸). در شرایط طبیعی کشت، حدود ۲۵ ویروس و یک ویروئید سیب‌زمینی را آلوده می‌سازند که از این ویروس‌ها، ویروس‌های A، Y، X و S در آلوده‌سازی سیب‌زمینی اثرات بیشتری دارند. بر اساس مطالعات انجام شده خسارات ویروسی به محصول سیب‌زمینی تا ۴۰ دردص می‌باشد (۱۷). امروزه از تکنیک کشت مریستم به‌طور موفقیت‌آمیزی برای به‌دست آوردن ذخایر گیاهی عاری از ویروس سیب‌زمینی استفاده می‌شود. در روش تولید گیاهچه‌های سالم از طریق کشت مریستم، جداکردن و کشت مریستم کاری بسیار ظریف و حساس است و در مواردی تعداد گیاهان حاصله از کشت مریستم بسیار محدود است. لذا ضرورت دارد که گیاهچه‌های حاصله را بتوان به تعداد مناسب تکثیر کرد و به همین دلیل و به منظور افزایش سرعت تکثیر و تولید گیاهچه‌های بیشتر از هر مریستم، از روش‌های ریزازدیادی استفاده می‌شود (۱۹). زمانی که تعداد زیادی گیاهچه عاری از بیماری در مدت زمان کوتاهی مورد نیاز باشد، اغلب از کشت مریستم و سپس کشت ریزنمونه گره‌ای برای تکثیر سریع استفاده می‌شود. سیب‌زمینی یکی از گیاهان الگو برای انجام آزمایشات کشت بافت می‌باشد که به دلیل توان بالای باززائی نوساقه، تولید گیاهچه این گیاه از طریق کشت بافت در سطح بسیار وسیع صورت می‌گیرد (۵، ۱). عوامل متعددی رشد و تکثیر گیاهچه‌های حاصل از کشت مریستم را تحت تاثیر قرار می‌دهند که از جمله می‌توان به ترکیب محیط کشت، نوع و غلظت منبع هیدرات کربن و هورمون‌های مورد استفاده اشاره کرد (۵،۳). همچنین نمک‌های $CaCl_2$، KH_2PO_4 و $MgSO_4$ محیط کشت نقش بسیار مهمی در روند باززایی درون‌شیشه‌ای گیاه دارند.

از جمله نمک‌های پرمصرف محیط کشت MS، $CaCl_2$ می‌باشد. کلرید کلسیم در محیط کشت MS، تنها منبع کلسیم موجود در محیط کشت است. مقدار آن در این محیط کشت $mg\,l^{-1}$ ۴۴۰ می‌باشد. کلسیم جزیی از دیواره سلولی، غشاها و لیگنین است که دارای فعالیت یونی سیتوپلاسمی و تحرک فیزیولوژیکی کمی است در نتیجه میزان تجمع، تعادل بین سلولی و انتقال آن در آوندهای چوبی پایین می‌باشد. کلسیم نقش مهمی در مورفوژنز داشته و در تشکیل دیواره سلولی و فرایند تقسیم سلولی نیز نقش مهمی دارد (۲). نتایج تحقیقی در گیاه *Dysphania ambrosioides* نشان داد که با افزایش غلظت کلرید کلسیم در محیط کشت، به‌طورکلی اکثر صفات رشدی افزایش یافته است (۴). در پژوهشی در گیاه سیب‌زمینی نتایج نشان داد که افزایش غلظت $CaCl_2$ محیط کشت، بسیاری از فاکتورهای رشدی از جمله طول نوساقه را بهبود بخشیده است (۱۰).

سولفات منیزیم، یکی عناصر غذایی پرمصرف در محیط کشت می‌باشد که از سولفور و منیزیم ساخته شده است. تنها منبع منیزیم در محیط کشت MS همین سولفات منیزیم است که در رشد و نمو گیاه در شرایط درون شیشه‌ای اثر زیادی دارد. منیزیم به خاطر دخالت در سنتز ATP، برای متابولیسم انرژی گیاه ضروری است (۱۳). منیزیم، عنصری مهم برای پدیده فتوسنتز محسوب می‌شود. این عنصر یک عضو ساختمانی کلروفیل بوده و برای حفظ تمامیت ریبوزوم و اسیدهای نوکلئیک و استحکام غشاها ضروری است (۵، ۱۶). کمبود غلظت سولفات منیزیم در محیط کشت، باعث کاهش طول نوساقه شده و وزن خشک گیاه *Dysphania ambrosioides* را کاهش داده است (۴).

KH_2PO_4 دو عنصر ضروری پتاسیم و فسفر را برای رشد گیاهچه‌ها در شرایط درون شیشه‌ای فراهم می‌کند. در محیط کشت MS، میزان این نمک $mg\ l^{-1}$ ۱۷۰۱ وجود دارد. پتاسیم، فراوان‌ترین کاتیون در سلول است، نقش مهمی در کنترل داشته و تعدادی از آنزیم‌های مهم سیتوپلاسم را که برخی از آنها در سنتز پروتئین و گلیکولیز دخالت دارند، فعال می‌کند. پتاسیم سیتوپلاسمی برای افزایش فعالیت فتوسنتزی، کنترل فرآیند انتقال غشایی و تنظیم pH سیتوپلاسمی لازم است (۵، ۹، ۱۴). فسفر جز اساسی ساختمان DNA و RNA محسوب می‌شود. همچنین فسفر جز مهمی از فسفولیپیدهای بیولوژیک محسوب می‌شود. فسفر برای متابولیسم انرژی گیاه که باعث تشکیل استرهای فسفات غنی از انرژی مانند گلوکز ۶-فسفات می‌شوند، بسیار مهم است. این استرهای فسفات برای متابولیسم و بیوسنتز گیاه مهم هستند. در صورتی که به گیاه فسفر داده شود منجر به افزایش تمام اندامک‌های حاوی فسفر می‌شود. فسفر همچنین در تنظیم تولید نشاسته در کلروپلاست نقش دارد. کمبود فسفر می‌تواند مانع سنتز نشاسته شود. همچنین لازم به ذکر است که فسفر در تنظیم بسیاری از آنزیم‌ها دخیل است. کمبود فسفر باعث تاخیر رشد و سبز شدن رنگ برگ‌ها می‌شود زیرا در طی دوره کمبود فسفر، نمو برگ آهسته‌تر از سنتز کلروفیل است و در نتیجه غلظت کلروفیل در برگ‌ها افزایش می‌یابد و باعث تیرگی رنگ برگ‌ها می‌شود (۱۵). نتایج مطالعه‌ای در گیاه سیب‌زمینی نشان داد که افزایش غلظت KH_2PO_4 محیط کشت، باعث افزایش ریزغده در شرایط درون شیشه‌ای شده است (۶). در گیاه موسیر نیز افزایش KH_2PO_4 محیط کشت تاثیر مثبتی بر برخی فاکتورهای رشدی از جمله تعداد نوساقه و ریشه داشته است (۸).

با توجه به مطالب گفته شده نمک‌های $CaCl_2$، KH_2PO_4 و $MgSO_4$ نقش کلیدی در محیط کشت MS دارند، بنابراین در مواردی تغییر در نوع نمک و غلظت آنها می‌تواند منجر به بهینه‌سازی پاسخ گیاهان در شرایط کشت بافت شود. لذا هدف از این تحقیق بررسی اثر غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم، سولفات منیزیم و مونوفسفات پتاسیم روی ریزازدیادی گیاه سیب‌زمینی و نیزتولید غده‌چه در این گیاه است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق روی سه رقم تجاری شامل اگریا، مارفونا و ساوالان انجام شد. در این پژوهش ابتدا کشت مریستم ارقام مذکور انجام شد و سپس گیاهان حاصل از کشت مریستم از طریق ریزازدیادی تکثیر شدند. به منظور بررسی اثرات نمک‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم در ریزازدیادی و ریزغده‌زایی گیاه سیب زمینی آزمایش‌های جداگانه‌ای انجام شد که در هرآزمایش اثر چهار غلظت مختلف هریک از نمک‌های کلرید کلسیم، سولفات منیزیم و مونوفسفات پتاسیم بررسی شد که عبارت بودند از: غلظت پایه نمک مورد مطالعه در محیط کشت MS و ۱/۲۵، ۱/۵ و ۱/۷۵ برابر غلظت مقدار پایه هر کدام از این نمک‌ها در محیط کشت MS. برای کلرید کلسیم غلظت‌ها ۴۴۰، ۵۵۰، ۶۶۰ و ۷۷۰ میلی‌گرم در لیتر، برای سولفات منیزیم غلظت‌ها ۳۷۰، ۴۶۲/۵، ۵۵۵ و ۶۴۷/۵ میلی‌گرم در لیتر و برای مونوفسفات پتاسیم غلظت‌ها ۱۷۰، ۲۱۲/۵، ۲۵۵ و ۲۹۷/۵ میلی‌گرم در لیتر بودند. این آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل (فاکتور اول نمک‌ها و فاکتور دوم رقم سیب‌زمینی) در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۱۰ تکرار انجام شد، هر واحد آزمایشی شامل یک لوله آزمایش (۲ × ۲۰ سانتی‌متر) حاوی ۲۵ میلی‌لیتر محیط کشت بود. در هر لوله آزمایش یک جوانه انتهایی که از گیاهچه‌های درون

شیشه‌ای به‌دست آمده بود، کشت گردید. کشت‌ها در اتاق رشدکنترل شده با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و در شرایط ۸ ساعت تاریکی و ۱۶ ساعت روشنایی (۶۰۰۰ لوکس) نگهداری شدند. بعد از ۳۰ روز، صفات مختلفی شامل متوسط طول ساقه، طول ریشه، تعداد ریشه، تعداد برگ، اندازه برگ در هر گیاهچه بررسی شدند. در مرحله بعد، گیاهان نسبت به شرایط برون شیشه‌ای سازگار شده و سپس برای غده‌زایی به مزرعه‌ای در شهر دماوند، با توجه به این که از نظر شرایط آب و هوایی یکی از مناسب‌ترین مناطق برای کشت سیب‌زمینی در استان تهران است، منتقل شدند و در انتهای دوره رشد، گیاهان از نظر متوسط تعداد و وزن غده‌چه مورد بررسی قرار گرفتند.

تجزیه و تحلیل آماری

برای صفات طول نو ساقه، طول ریشه در هر گیاهچه و میانگین وزن غده‌چه سیب‌زمینی در هر گیاهچه که ماهیت کمی داشته و بر اساس آزمون نرمالیته کلموگروف و اسمیرنوف نرمال بودند، تجزیه واریانس بر اساس آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت و برای مقایسه میانگین آنها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) استفاده شد. برای صفات تعداد ریشه، اندازه برگ، تعداد گره و تعداد غده‌چه سیب زمینی در هر گیاهچه که ماهیت رتبه‌ای داشتند از روش‌های ناپارامتری استفاده گردید. برای این منظور از آزمون کروسکال والیس برای پی بردن به اختلافات بین تمام ترکیبات تیماری و آزمون مان ویتنی برای مشخص کردن اختلافات دو به دو استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS ver.14 انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی اثر کلرید کلسیم: بر اساس نتایج (جدول ۱)، اثر اصلی تیمار (غلظت کلرید کلسیم) در هر سه صفت میانگین طول ساقه و طول ریشه در هر گیاهچه و همچنین میانگین وزن غده‌چه معنی‌دار بود ولی اثر اصلی رقم، فقط برای صفات میانگین طول ریشه و وزن غده‌چه در هر گیاهچه معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمار در رقم برای هیچکدام از صفات معنی‌دار نبود. بر این اساس، تیمار ۳ (غلظت کلرید کلسیم ۱/۵ برابر غلظت آن در محیط کشت MS) دارای بیشترین طول نوساقه در هر گیاهچه، تیمار ۴ (غلظت کلرید کلسیم ۱/۷۵ برابر غلظت آن در محیط کشت MS) دارای بیشترین میانگین طول ریشه در هر گیاهچه و تیمارهای ۱ (تیمار شاهد) و ۳ (غلظت کلرید کلسیم ۱/۵ برابر غلظت آن در محیط کشت MS) بیشترین میانگین وزن غده‌چه را داشتند (جدول ۲). از نظر طول نوساقه، تفاوتی بین سه رقم سیب‌زمینی مورد مطالعه وجود نداشت در حالی که ارقام آگریا و مارفونا دارای بیشترین میانگین طول ریشه در هر گیاهچه بودند (جدول ۳). بیشترین وزن غده‌چه مربوط به رقم آگریا و کمترین مقدار، مربوط به رقم مارفونا بود. بر اساس آماره کای اسکوئر آزمون ناپارامتری کروسکال والیس (جدول ۴)، تفاوت‌های معنی‌داری بین ترکیبات تیماری برای صفات اندازه برگ، تعداد گره و تعداد غده‌چه سیب‌زمینی در هر گیاهچه مشاهده گردید ولی در صفت تعداد ریشه در هر گیاهچه هیچ تفاوت معنی‌داری ملاحظه نگردید (جدول ۴).

مقایسات جفتی با آزمون ناپارامتری مان ویتنی (جدول۵) نشان داد که به‌طور معنی‌داری بیشترین تعداد ریشه در هر گیاهچه در هر سه رقم در تیمار شاهد به‌دست آمده است در حالی که کمترین مقدار توسط رقم ساوالان در تیمارهای ۳ و ۴ (غلظت کلرید کلسیم به‌ترتیب ۱/۵ و ۱/۷۵ برابر غلظت آن در محیط کشت MS) به‌دست آمده است. برای صفت اندازه

برگ‌های گیاهچه، رقم آگریا در تیمار سوم (غلظت کلرید کلسیم ۱/۷۵ برابر محیط کشت MS) به‌طور معنی‌داری برترین ترکیب تیماری بود، در حالی که هر سه رقم در تیمار شاهد کمترین مقدار را برای این صفت داشتند. برای صفت تعداد گره در هر گیاهچه رقم مارفونا در تیمار دوم (غلظت کلرید کلسیم ۱/۲۵ برابر محیط کشت MS) بیشترین میانگین و ارقام آگریا و ساوالان در تیمار شاهد کمترین میانگین‌ها را داشتند. در تحقیقی، بررسی اثر غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم بر روی رشد کالوس گیاه سیب‌زمینی نشان داده است که غلظت‌های بالاتر اثر مثبتی روی رشد کالوس‌ها داشته‌اند (۲۱). در تحقیق حاضر، نیز، بطور کلی اثر مثبت غلظت بالاتر کلرید کلسیم روی رشد گیاهچه‌های درون شیشه‌ای مشاهده گردید. کلسیم یکی از عناصر غذایی کلیدی در رشد سیب‌زمینی است. کلسیم در ساختار و عملکرد دیواره سلولی و غشا نقش دارد. مقدار کمبود کلسیم باعث اختلالات رشدی مانند ایجاد نقطه‌های قهوه‌ای داخلی و توخالی شدن سیب‌زمینی می‌شود. مقدار کافی کلسیم می‌تواند رنگ پوست را بهبود ببخشد. همچنین افزایش کلسیم باعث مقاومت به پوسیدگی در طول ذخیره‌سازی و افزایش عملکرد می‌شود (۲۰).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثرات غلظت کلرید کلسیم و رقم روی صفات طول ساقه، طول ریشه و وزن غده‌چه در هر گیاهچه

Table 1. Analysis of variance for the effect of $CaCl_2$ and cultivar on shoot length, root length and minituber weight per plantlet traits

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات Mean of squares		
		وزن غده‌چه در هر گیاهچه Minituber weight per plantlet	طول ریشه در هر گیاهچه Root length per plantlet	طول ساقه در هر گیاهچه Shoot length per plantlet
غلظت کلرید کلسیم ($CaCl_2$)	3	40.6**	8.6**	54.5**
رقم (Cultivar)	2	431.1**	1.3**	0.5 ns
غلظت کلرید کلسیم × رقم ($CaCl_2$× cultivar)	6	3.2ns	0.2ns	1.0 ns
خطا (Error)	108	1.7	0.2	0.5
ضریب تغییرات (C.V %)	-	14.3	8.3	9.1

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیرمعنی‌دار

ns: non-significant,**: Significant at 0.01 probability level

جدول۲- مقایسه میانگین برای صفات مورد مطالعه در بررسی اثر کلرید کلسیم روی صفات طول ساقه، طول ریشه و وزن غده‌چه در هر گیاهچه

Table 2. Mean comparison of measured traits in the effect of $CaCl_2$ on shoot length, root length and minituber weight per plantlet traits

کلرید کلسیم (میلی گرم در لیتر) $CaCl_2$ (mg^{-1})	وزن غده‌چه در هر گیاهچه (گرم) Minituber weight per plantlet (g)	طول ریشه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Root length per plantlet (cm)	طول ساقه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Shoot length per plantlet (cm)
440	9.2a	4.2c	6.1d
550	8.7b	4.4b	8.2b
660	9.3 a	4.1 d	9.3 a
770	8.1b	4.8a	7.6c

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter (s) are not significantly different at 0.01 level of probability

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در ارقام مختلف در آزمایش بررسی اثر کلرید کلسیم روی صفات طول ساقه، طول ریشه و وزن غده‌چه در هر گیاهچه.

Table 3. Mean comparison of measured traits in the effect of cultivars in the effect of $CaCl_2$ experiment on shoot length, root length and minituber weight per plantlet traits

رقم (Cultivar)	وزن غده‌چه در هر گیاهچه (گرم) Minituber weight per plant (g)	طول ریشه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Root length per plantlet (cm)	طول ساقه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Shoot length per plantlet (cm)
اگریا (Agria)	13.5 a	4.9a	7.9a
مارفونا (Marfona)	7.1c	5.0a	7.8 a
ساوالان (Savalan)	9.1b	4.7b	7.7a

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.01 level of probability

جدول ٤- نتایج آزمون ناپارامتری کروسکال- والیس در آزمایش بررسی اثر کلرید کلسیم روی صفات تعداد ریشه، اندازه برگ، تعداد گره و تعداد غده‌چه در هر گیاهچه.

Table 4- Results of chi-square statistics of Kruskal-Wallis nonparametric test for the effect of $CaCl_2$ experiment on number of roots, leaf size, number of nodes and number of minitubers per plantlet traits

	تعداد غده‌چه در هر گیاهچه Number of minitubers per plantlet	تعداد گره در هر گیاهچه Number of nodes per plantlet	اندازه برگ در هر گیاهچه Leaf size per plantle	تعداد ریشه در هر گیاهچه Number of roots per plantlet
آماره کای اسکوئر (Chi-Square)	102.1^{**}	36.9^{**}	60.3^{**}	17.2^{ns}
درجه آزادی (df)	11	11	11	11

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی‌دار

ns: non-significant,**: Significant at 0.01 probability level

بررسی اثر مونوفسفات پتاسیم: بر اساس نتایج (جدول ۶)، اثر اصلی غلظت‌های مختلف مونوفسفات پتاسیم، در هر سه صفت میانگین طول نو ساقه، طول ریشه در هر گیاهچه و میانگین وزن غده‌چه سیب‌زمینی در هر گیاهچه معنی‌دار بود، ولی اثر اصلی رقم فقط برای صفات میانگین طول ریشه در هر گیاهچه و میانگین وزن غده‌چه در هر گیاهچه معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تیمار در رقم در دو صفت متوسط طول نو ساقه و میانگین طول ریشه در هر گیاهچه معنی‌دار نبوده ولی برای صفت میانگین وزن غده‌چه در هر گیاهچه معنی‌دار بود، لذا برای اثرات اصلی، مقایسه میانگین بر اساس حداقل اختلاف معنی‌دار انجام شد. بر اساس نتایج (جدول ۷)، تیمار ۳ (غلظت منوفسفات پتاسیم: ۱/۵ برابر محیط کشت MS) بیشترین طول نوساقه در هر گیاهچه و تیمار شاهد کمترین ارتفاع نوساقه را داشتند. از نظر میانگین طول ریشه در هر گیاهچه، تیمارهای ۲ و ۳ (غلظت منوفسفات پتاسیم به‌ترتیب ۱/۲۵و ۱/۵ برابر محیط کشت MS) بیشترین میانگین طول ریشه و تیمار شاهد کمترین میانگین طول ریشه در هر گیاهچه را داشتند. همچنین در مورد میانگین وزن غده‌چه در هر گیاهچه (جدول ۷) تیمار شاهد بیشترین و تیمار ۳ (غلظت منوفسفات پتاسیم ۱/۵ برابر محیط کشت MS) کمترین وزن غده‌چه در هر گیاهچه را به خود اختصاص داد.

مقایسه میانگین ارقام (جدول ۸) نیز نشان داد که ارقام اگریا و مارفونا بیشترین میانگین طول ریشه در هر گیاهچه را داشته‌اند. همچنین بیشترین میانگین وزن غده‌چه را رقم اگریا و کمترین میانگین را رقم مارفونا به خود اختصاص داد. برای اثر متقابل رقم در تیمار، نیز، در مورد میانگین وزن غده‌چه (جدول ۹) تیمار شاهد در رقم اگریا بیشترین و تیمار ۲ (غلظت منوفسفات پتاسیم ۱/۲۵ برابر غلظت محیط کشت MS) در رقم مارفونا کمترین مقدار را داشت.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین جفتی با آزمون ناپارامتری مان - ویتنی در آزمایش بررسی اثر کلرید کلسیم روی صفات تعداد ریشه، اندازه برگ، تعداد گره و تعداد غده‌چه در هر گیاهچه

Table 5. Pair mean comparison of the treatments using Mann-Whitney nonparametric test in the effect of $CaCl_2$ experiment on number of roots, leaf size, number of nodes and number of minitubers per plantlet traits

کلرید کلسیم (میلی‌گرم در لیتر) $CaCl_2$ (mg-1)	رقم (Cultivar)	تعداد غده‌چه در هر گیاهچه Number of minitubers per plant		تعداد گره در هر گیاهچه Number of nodes per plantlet		اندازه برگ در هر گیاهچه Leaf size per plantlet		تعداد ریشه در هر گیاهچه Number of roots per plantlet	
		میانگین اصلی Grand (mean	میانگین رتبه Mean (Rank	میانگین اصلی Grand (mean	میانگین رتبه Mean (Rank	میانگین اصلی Gran (dmean	میانگین رتبه Mean (Rank	میانگین اصلی Grand (mean	میانگین رتبه Mean (Rank
440	اگریا (Agria)	3.9c	18.9	4.4e	29.2	1.3c	22.0	4.6a	77.8
	مارفونا (Marfona)	12.3a	103.6	4.6de	37.3	1.4c	25.1	4.7a	80.7
	ساوالان (Savalan)	8.9b	67.2	4.2e	31.9	1.5c	25.5	4.7a	80.2
550	اگریا (Agria)	4.6c	25.7	5.7abc	75.4	2.6b	67.5	3.8b	52.7
	مارفونا (Marfona)	12.2a	101.1	6.1a	86.9	2.8ab	76.3	4.3ab	58.8
	ساوالان (Savalan)	8.4b	59.7	5.7abc	75.4	2.5b	66.1	3.9ab	54.9
660	اگریا (Agria)	4.2c	20.3	5.3abcd	63.2	3.4a	94.1	4ab	56.3
	مارفونا (Marfona)	11.8a	97.6	5.6abc	73.5	2.8ab	76.2	4.1ab	60.4
	ساوالان (Savalan)	8.4b	61.8	5.8ab	77.7	3.1ab	83.3	3.5b	44.9
770	اگریا (Agria)	4.5c	20.4	5.4abcd	65.5	2.5b	72.1	4.2ab	65.9
	مارفونا (Marfona)	11.2a	91.9	4.9cde	51.2	2.4b	60.8	3.7ab	47.5
	ساوالان (Savalan)	8.1b	58.2	5.2abcd	59.1	2.6b	60.5	3.6b	45.5

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.01 level of probability

بر اساس آماره کای اسکوئر آزمون ناپارامتری کروسکال والیس (جدول ۱۰)، تفاوت‌های معنی‌داری بین ترکیبات تیماری برای صفات اندازه برگ‌های گیاهچه، تعداد گره و تعداد غده‌چه در هر گیاهچه مشاهده گردید، ولی در صفت تعداد ریشه در هر گیاهچه هیچ تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. مقایسات جفتی با آزمون ناپارامتری مان ویتنی (جدول ۱۱) نشان داد که در مورد صفت اندازه برگ‌های گیاهچه، رقم اگریا در تیمار ۳ (غلظت منوفسفات پتاسیم ۱/۵ برابر محیط کشت MS) بهتر از سایر ترکیبات تیماری بوده و هر سه رقم در تیمار شاهد پایین‌ترین مقدار را داشتند. در مورد تعداد گره در هر گیاهچه، رقم مارفونا در تیمار ۲ (غلظت منوفسفات پتاسیم ۱/۲۵ برابر محیط کشت MS) بیشترین و رقم ساوالان در تیمار شاهد کمترین تعداد گره را داشتند. در مورد صفت میانگین تعداد غده‌چه در هر گیاهچه، رقم مارفونا در تیمار شاهد و تیمار ۲ (غلظت منوفسفات پتاسیم ۱/۲۵ برابر غلظت محیط کشت MS) بیشترین و رقم اگریا در تیمار شاهد کمترین مقدار را داشتند.

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس اثرات مونوفسفات پتاسیم و رقم روی صفات طول ساقه، طول ریشه و وزن غده‌چه در هر گیاهچه

Table 6. Analysis of variance for the effect of KH_2PO_4 and cultivar on shoot length, root length and minituber weight per plantlet traits

منابع تغییرات ((S.O.V))	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات Mean of squares		
		وزن غده‌چه در هر گیاهچه Minituber weight per plant	طول ریشه در هر گیاهچه Root length per plantlet	طول ساقه در هر گیاهچه Shoot length per plantlet
مونوفسفات پتاسیم (KH_2PO_4)	3	41.1^{**}	6.0^{**}	30.2^{**}
رقم (cultivar)	2	405.1^{**}	1.2^{**}	0.9^{ns}
مونوفسفات پتاسیم × رقم (cultivar×KH_2PO_4)	6	5.9^{**}	0.2^{ns}	1.1^{ns}
خطا (Error)	108	1.6	0.2	0.6
ضریب تغییرات (C.V %)	-	12.9	9.7	10.5

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیرمعنی‌دار

ns: non-significant,**: Significant at 0.01 probability level

جدول ۷- مقایسه میانگین در صفات مورد مطالعه در آزمایش بررسی اثر مونوفسفات پتاسیم محیط کشتروی صفات طول ساقه، طول ریشه و وزن غده‌چه در هر گیاهچه

Table 7. Mean comparison of measured traits in the effect of cultivars in the effect of KH_2PO_4 experiment on shoot length, root length and minituber weight per plantlet traits

مونوفسفات پتاسیم(میلی‌گرم در لیتر) KH2PO4 (mgL^{-1})	وزن غده‌چه در هر گیاهچه (گرم) Minituber weight per plant (g)	طول ریشه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Root length per plantlet (cm)	طول ساقه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Shoot length per plantlet (cm)
170	11.5a	4.2c	6.1 d
212.5	9.4 b	5.2 a	7.9 b
225	8.8 c	5.1 a	8.1 a
297.5	9.8b	4.7b	7.4c

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.01 level of probability

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در ارقام مختلف در آزمایش بررسی اثر مونوفسفات پتاسیم روی صفات طول ساقه، طول ریشه و وزن غده‌چه در هر گیاهچه

Table 8. Mean comparison of measured traits in the effect of different cultivars in the effect of KH_2PO_4 experiment on shoot length, root length and minituber weight per plantlet traits

رقم (cultivar)	وزن غده‌چه در هر گیاهچه (گرم) Minituber weight per plant (g)	طول ریشه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Root length per plantlet (cm)	طول ساقه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Shoot length per plantlet (cm)
اگریا (Agria)	13.3 a	4.8a	13.3a
مارفونا (Marfona)	6.9c	4.9a	6.9a
ساوالان (Savalan)	9.4 b	4.6b	9.4a

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.01 level of probability

جدول ۹- مقایسه میانگین تیمار در رقم در مورد صفت وزن غده‌چه در هر گیاهچه (گرم) درآزمایش بررسی اثر مونوفسفات پتاسیم محیط کشت

Table 9. Mean comparison of treatment × cultivar for minituber weight per plant trait (g) in the effect of of KH_2PO_4 experiment

رقم / مونوفسفات پتاسیم (میلی‌گرم در لیتر) Cultivar/ KH_2PO_4 (mgL^{-1})	297.5	255	212	170
اگریا (Agria)	12.1bc	12.5bc	13.3b	14.6 a
مارفونا (Marfona)	7.1fgh	6.6gh	6.1 h	8.2ef
ساوالان (Savalan)	9.7 d	7.4fg	8.8 de	11.9 c

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.01 level of probability

جدول ۱۰- نتایج آزمون ناپارامتری کروسکال-والیس درآزمایش بررسی اثر مونوفسفات پتاسیم روی صفات تعداد ریشه، اندازه برگ، تعداد گره و تعداد غده‌چه در هر گیاهچه

Table 10. Results of chi-square statistics of Kruskal-Wallis nonparametric test for the effect of KH_2PO_4 experiment on number of root, leaf size, number of node and number of minitubers per plantlet traits

	تعداد غده‌چه در هر گیاهچه Number of minituber per plant	تعداد گره در هر گیاهچه Number of nodes per plantlet	اندازه برگ در هر گیاهچه Leaf size per plantlet	تعداد ریشه در هر گیاهچه Number of roots per plantlet
آماره کای اسکوئر (Chi-Square)	103.7^{**}	38.1^{**}	61.9^{**}	17.6^{ns}
درجه آزادی (df)	11	11	11	11

** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیرمعنی‌دار

ns: non-significant,**: Significant at 0.01 probability level

جدول ۱۱- نتایج مقایسه میانگین جفتی با آزمون ناپارامتری مان – ویتنی در آزمایش بررسی اثر مونوفسفات پتاسیم محیط کشت روی صفات اندازه برگ، تعداد گره و تعداد غده‌چه در هر گیاهچه

Table 11. Pair mean comparison of the treatments using Mann-Whitney nonparametric testin the effect of KH_2PO_4 experiment on leaf size, number of node and number of minitubers per plantlet traits

مونوفسفات پتاسیم (میلی‌گرم در لیتر) KH_2PO_4 (mgL^{-1})	اگریا (Agria)	تعداد غده‌چه در هر گیاهچه Number of minituber per plant		تعداد گره در هر گیاهچه Number of nodes per plantlet		اندازه برگ در هر گیاهچه Leaf size per plantlet	
		میانگین اصلی (Grand mean)	میانگین رتبه (Mean Rank)	میانگین اصلی (Grand mean)	میانگین رتبه (Mean Rank)	میانگین اصلی (Grand mean)	میانگین رتبه (Mean Rank)
170	مارفونا (Marfona)	3.9d	18.9	4.4c	29.2	1.3c	20.0
	ساوالان (Savalan)	12.1a	103.3	4.6bc	37.3	1.4c	23.1
	اگریا (Agria)	8.4c	66.9	4.2c	31.9	1.3c	21.5
212.5	مارفونا (Marfona)	4.5d	21.9	5.3ab	65.4	2.9ab	77.8
	ساوالان (Savalan)	12.1a	103.1	6.3a	87.9	2.7ab	71.3
	اگریا (Agria)	8.7c	56.7	5.4ab	80.3	2.8ab	72.1
255	مارفونا (Marfona)	4.6d	22.6	5.5ab	65.2	3.1a	85.2
	ساوالان (Savalan)	11.6ab	99.8	5.7ab	81.7	2.7ab	71.2
	اگریا (Agria)	8.3c	65.4	5.4ab	69.4	2.9ab	77.3
297.5	مارفونا (Marfona)	4.9d	25.1	5.5ab	82.2	2.7ab	70.1
	ساوالان (Savalan)	10.1b	89.9	4.7bc	50.2	2.9ab	77.8
	اگریا (Agria)	7.7c	54.1	5.5ab	53.9	2.4b	58.5

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.01 level of probability

بررسی اثر سولفات منیزیم: بر اساس نتایج (جدول ۱۲)، اثر اصلی تیمار در هر سه صفت مورد مطالعه (طول نوساقه، میانگین طول ریشه و میانگین وزن غده‌چه سیب‌زمینی) معنی‌دار بود، ولی اثر اصلی رقم فقط برای صفات میانگین طول ریشه در هر گیاهچه و میانگین وزن غده‌چه معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تیمار در رقم در دو صفت طول نوساقه و میانگین طول ریشه در هر گیاهچه معنی‌دار نبوده ولی در صفت میانگین وزن غده‌چه در هر گیاهچه معنی‌دار بود، لذا می‌توان برای اثرات اصلی، مقایسه میانگین بر اساس حداقل اختلاف معنی‌دار را انجام داد. بر این اساس، تیمار ۳ (غلظت سولفات منیزیم ۱/۵ برابر محیط کشت MS) بیشترین و تیمار شاهد کمترین ارتفاع نوساقه در هر گیاهچه را داشتند (جدول ۱۳). از نظر میانگین طول ریشه در هر گیاهچه، تیمارهای ۲ و ۳ (غلظت سولفات منیزیم به ترتیب ۱/۲۵و ۱/۵ برابر محیط کشت MS) بیشترین و تیمار شاهد کمترین میانگین طول ریشه را داشتند (جدول ۱۳). در مورد میانگین وزن غده‌چه در هر گیاهچه، رقم اگریا در تیمار شاهد بیشترین و رقم مارفونا در تیمار ۲ (غلظت سولفات منیزیم ۱/۲۵ برابر محیط کشت MS) کمترین میانگین غده‌چه در هر گیاهچه را داشتند (جدول ۱۶). در مورد مقایسه میانگین ارقام، نتایج (جدول ۱۴) نشان داد که ارقام اگریا و مارفونا بیشترین میانگین طول ریشه در هر گیاهچه را داشتند. بر اساس آماره کای اسکوئر آزمون ناپارامتری کروسکال والیس (جدول ۱۵)، تفاوت‌های معنی‌داری بین ترکیبات تیماری برای صفات اندازه برگ‌های گیاهچه، تعداد گره و تعداد ریشه در هر گیاهچه مشاهده گردید، ولی در صفت تعداد غده‌چه در هر گیاهچه هیچ تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. مقایسات جفتی با آزمون ناپارامتری مان ویتنی (جدول ۱۷) نشان داد که رقم مارفونا در تیمار ۲ (غلظت سولفات منیزیم ۱/۲۵ برابر محیط کشت MS) بهتر از سایر ترکیبات تیماری برای صفت تعداد ریشه در هر گیاهچه بود و رقم اگریا در تیمار شاهد کمترین مقدار را داشت. به‌طورکلی در مورد اندازه برگ‌های گیاهچه، تیمارهای ۲ و ۳ (غلظت سولفات منیزیم به‌ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر محیط کشت MS) بیشترین و تیمار شاهد کمترین اندازه برگ‌های گیاهچه را در هر سه رقم داشتند. در مورد صفت تعداد گره در هر گیاهچه نیز رقم اگریا در تیمار ۳ (غلظت سولفات منیزیم ۱/۵ برابر محیط کشت MS) بیشترین و هر سه رقم در تیمار شاهد کمترین تعداد گره در هر گیاهچه را داشتند (جدول ۱۷). سرعت و کیفیت رشد و پاسخ‌های مورفوژنز به شدت تحت تاثیر نوع و غلظت عناصر غذایی در محیط کشت است که این پاسخ‌ها در هر گیاهی متفاوت می‌باشد (۱۲، ۱۱).

جدول ۱۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات سولفات منیزیم و رقم روی صفات طول ساقه، طول ریشه و وزن غده‌چه در هر گیاهچه

Table 12. Analysis of variance for the effect of $MgSO_4$ and cultivar on shoot length, root length and minituber weight per plantlet traits

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات Mean of squares		
		وزن غده‌چه در هر گیاهچه Minituber weight per plant	طول ریشه در هر گیاهچه Root length per plantlet	طول ساقه در هر گیاهچه Shoot length per plantlet
سولفات منیزیم ($MgSO_4$)	3	36.8^{**}	7.6^{**}	42.8^{**}
رقم (cultivar)	2	342.1^{**}	1.6^{**}	1.4^{ns}
سولفات منیزیم × رقم ($MgSO_4$× cultivar)	6	4.6^{*}	0.2^{ns}	1.1^{ns}
خطا (Error)	108	1.9	0.2	0.5
ضریب تغییرات (C.V %)	-	13.8	8.6	4.2

** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیرمعنی‌دار

ns: non-significant,**: Significant at 0.01 probability level

جدول ۱۳- مقایسه میانگین در صفات مورد مطالعه در آزمایش بررسی اثر سولفات منیزیم روی صفات طول ساقه، طول ریشــه و وزن غده‌چه در هر گیاهچه

Table 13. Mean comparison of measured traits in the effect of $MgSO_4$ experiment on shoot length, root length and minituber weight per plantlet traits

سولفات منیزیم (میلی‌گرم در لیتر) $MgSO_4 (mgL^{-1})$	وزن غده‌چه در هر گیاهچه (گرم) Minituber weight per plant (g)	طول ریشه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Root length per plantlet (cm)	طول ساقه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Shoot length per plantlet (cm)
370	11.5a	4.2c	6.1 d
462.5	8.9c	5.3a	8.1 b
555	9.7 b	5.1 a	8.9 a
647.5	9.6b	4.8 b	7.7 c

میانگین‌ها که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.01 level of probability

جدول ١٤- مقایسه میانگین ارقام مورد مطالعه صفات طول ساقه، طول ریشه و وزن غده‌چه در هر گیاهچه.

Table 14. Mean comparison of in the effect of cultivars in the effect of $MgSO_4$ experiment on shoot length, root length and minituber weight per plantlet traits

رقم (Cultivar)	وزن غده‌چه در هر گیاهچه (گرم) Minituber weight per plant (g)	طول ریشه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Root length per plantlet (cm)	طول ساقه در هر گیاهچه (سانتی‌متر) Shoot length per plantlet (cm)
اگریا (Agria)	13.1a	4.9 a	7.7 a
مارفونا (Marfona)	7.2c	4.9a	7.5ab
ساوالان (Savalan)	9.7b	4.6b	7.7ab

میانگین‌ها که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.01 level of probability

جدول ۱۵- نتایج آزمون ناپارامتری کروسکال- والیس درآزمایش بررسی اثر سولفات منیزیم روی صفات تعداد ریشــه، انــدازه بــرگ، تعداد گره و تعداد غده‌چه در هر گیاهچه

Table 15. Results of chi-square statistics of Kruskal-Wallis nonparametric test for the effect of $MgSO_4$ experiment on number of roots, leaf size, number of nodes and number of minitubers per plantlet traits

	تعداد غده‌چه در هر گیاهچه Number of minituber per plant	تعداد گره در هر گیاهچه Number of node per plantlet	اندازه برگ در هر گیاهچه Leaf size per plantlet	تعداد ریشه در هر گیاهچه Number of root per plantlet
آماره کای‌اسکوئر Chi-Square	11.9^{ns}	67.2^{**}	42.3^{**}	103.2^{**}
درجه آزادی df	11	11	11	11

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیرمعنی‌دار

ns: non-significant,**: Significant at 0.01 probability level

جدول ١٦- مقایسه میانگین تیمار در رقم در مورد صفت وزن غده‌چه در هر گیاهچه (گرم) درآزمایش بررسی اثر سولفات منیزیم.

Table 16. Mean comparison of treatment × cultivar for minituberizati on traits(g) in the effect of cultivars in the effect of $MgSO_4$ experiment minituber weight per plantlet traits

رقم / سولفات منیزیم (میلی‌گرم در لیتر) Cultivar/ $MgSO_4 (mgL^{-1})$	647.5	555	462.5	370
اگریا (Agria)	12.8b	12.3 b	12.5b	14.6 a
مارفونا (Marfona)	7.7 de	6.9 ef	5.9 f	8.2d
ساوالان (Savalan)	8.4d	9.8c	8.7 cd	11.9 c

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.01 level of probability

جدول ۱۷- نتایج مقایسه میانگین جفتی با آزمون ناپارامتری مان - ویتنی در آزمایش بررسی اثر سولفات منیزیم روی صفات تعداد ریشه، اندازه برگ، تعداد گره و تعداد غده‌چه در هر گیاهچه.

Table 17. Pair mean comparison of the treatments using Mann-Whitney nonparametric test in the effect of $MgSO_4$ experiment on number of root, leaf size, number of nodes and number of minituber per plantlet traits

سولفات منیزیم (میلی‌گرم در لیتر) $MgSO_4$ (mgL^{-1})	رقم (cultivar)	تعداد غده‌چه در هر گیاهچه Number of minituber per plant		تعداد گره در هر گیاهچه Number of node per plantlet		اندازه برگ در هر گیاهچه Leaf size per plantlet		تعداد ریشه در هر گیاهچه Number of root per plantlet	
		میانگین اصلی Grand (mean	میانگین رتبه Mean (Rank	میانگین اصلی Grand (mean	میانگین رتبه Mean (Rank	میانگین اصلی Grand (mean	میانگین رتبه Mean (Rank	میانگین اصلی Grand (mean	میانگین رتبه Mean (Rank
370	اگریا (Agria)	4.6 a	72.7	1.3c	18.2	4.4d	27.5	3.9 e	12.8
	مارفونا (Marfona)	4.7a	76.6	1.4c	20.6	4.6cd	34.7	12.3ab	98.1
	ساوالان (Savalan)	4.7a	76.2	1.3c	18.2	4.5d	29.8	8.8c	62.2
462.5	اگریا (Agria)	3.9b	50.7	3.1ab	75.1	5.5ab	63.5	5.4d	27.1
	مارفونا (Marfona)	4.3ab	64.1	3.1ab	75.3	6.2a	83.9	12.9a	101.1
	ساوالان (Savalan)	3.7b	44.1	3.2ab	71.4	6.1a	80.1	8.5c	58.5
555	اگریا (Agria)	4.3ab	62.3	3.5a	89.5	5.9a	76.9	5.1d	23.0
	مارفونا (Marfona)	4.2ab	60.4	3.1ab	72.5	6.1a	80.2	12.3ab	99.8
	ساوالان (Savalan)	3.6b	43.8	3.2ab	78.6	5.8ab	73.3	8.9c	62.9
647.5	اگریا (Agria)	4.1ab	57.4	3.1ab	75.1	5.7ab	70.1	5.2d	23.8
	مارفونا (Marfona)	4.3ab	60.9	3.1ab	75.4	5.1bcd	47.8	11.5b	92.3
	ساوالان (Savalan)	4ab	57.2	2.6b	56.1	5.3abc	57.5	8.4c	57.4

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.01 level of probability

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش غلظت هرکدام از این نمک‌ها به تنهایی در محیط کشت به‌طور معنی‌داری باعث افزایش تعداد گره، طول ساقه، تعداد ریشه، طول ریشه و اندازه برگ در مقایسه با شاهد شده‌اند با اینحال در اکثر موارد افزایش غلظت نمک‌های پر مصرف تغییری در تعداد غده‌چه و متوسط وزن آنها نداشت. همچنین افزایش تعداد ریشه در افزایش غلظت سولفات منیزیم باعث شد تا تعداد گیاهان کمتری در مرحله سازگار کردن حذف شوند. به منظور بررسی اثر افزایش نمک‌های پرمصرف مورد مطالعه در پژوهش حاضر به‌صورت همزمان در محیط کشت، آزمایش‌های جدیدی نیز انجام شد (داده‌ها نشان داده نشده است) و نتایج نشان داد که افزایش توام تمام ترکیبات دو نمک در محیط کشت نه تنها اثر مثبتی بر روی رشد و نمو گیاهچه‌ها نداشت بلکه باعث ضعیف‌تر شدن گیاهچه‌ها در مقایسه با شاهد شدند. بنابراین افزایش هرکدام از نمک‌های پرمصرف مورد مطالعه به تنهایی می‌تواند باعث افزایش نرخ تکثیر و در نتیجه صرفه‌جویی در نیروی کار و مدت زمان مورد نیاز برای ریزازدیادی شود.

منابع

1.Andedrade, L. B., Echeverrigaray, S. E., Fracaro, F., Pauletti, G.F., and Rota. L. 1999. The effect of growth regulators on shoot propagation and rooting of common lavender. Plant Cell Tiss., 56: 79-83.

2.Arruda, S.C.C., Souza, G.M., Almeida, M., and Gonçalves, A.N. 2000. Anatomical and biochemical characterization of the calcium effect on Eucalyptus urophylla callus morphogenesis in vitro. Plant Cell Tiss., 63: 142–154.

3.Christopher, T., and Rajam, M.V. 1996. Effect of genotype, explant and medium on *in vitro* regeneration of red paper. Plant Cell Tiss., 46: 245-250

4.De Carvalho, A.A., Bertolucci, S.K.V., da Silva, G.M., da Cunha, S.H.B., Roza, H.L.H., Aazza, S., and Pinto, J.E.B.P. 2018. Mesos components ($CaCl_2$, $MgSO_4$, KH_2PO_4) induced changes in growth and ascaridole content of *Dysphania ambrosioides* L. *in vitro*. Ind. Crop Prod., 122: 28-36.

5.Edwin, F.G., Hall, M.A., and Klerk, G.J.De. 2008. Plant Propagation by Tissue - Culture. Spinger, Dordrecht, the Netherlands, 479 pp.

6.El-Sharabasy, S.F., El-Sharnouby, M.E., and Zahran, A.A. 2012. Effect of Potassium and Sucrose Concentrations on the Production of Potato Microtubers Through Tissue Culture. Arab J. Nucl. Sci. Appl., 45(2): 561-567.

7.Hagman, J. 1991. Micropropagation of potatoes comparisons of different methods. Plant breed. abstract. 61: 5.

8.Haque, M.S., Wada, T., and Hattori, K. 2003. Effects of sucrose, mannitol and KH_2PO_4on root tip derived shoots and subsequent bulblet formation in garlic. Asian. J. Plant Sci., 2(12): 903-908.

9.Hartz, T.K., Miyao, G., Mullen, R.J., Cahn, M.D., Valencia, J., and Brittan, K.L. 1999. Potassium requirements for maximum yield and fruit quality of processing tomato. J. Am. Soc. Horti. Sci., 124: 199-204.

10.Macwan, S.J., Upadhyay, N.V., Shukla, Y.M., and Vaishnav, P.R. 2017. Effect of Cultivar, growth regulators and CaCl2 on *In Vitro* Culture of potato (*Solanum tuberosum* L.). Int. J. Agric. Environ. Biotechnol., 10(3): 283-288.

11.Nas, M.N. and Read, P.E. 2004. A hypothesis for the development of a defined tissue culture medium of higher plants and micropropagation of hazelnuts. Scientia. Horticulturae. 101: 189-200.

12.Niedz, R.P., and Evens, T.J. 2007. Regulation of plant tissue growth by mineral nutrition. *In vitro* Cell. Dev. Biol. Plant., 43: 370-381.

13.Paula, Y.C.M., Pasqual, M., Pio, L.A.S., Pinho, P.J.d., and Santos, D.N.d. 2015. Micropropagation of banana under

different concentrations of potassium and magnesium. Technol., Cien., Agropecuária., 9: 43–47.
14. Pinto, E., and Ferreira, I.M.P.L.V.O. 2015. Action transporters/channels in plants: tools for nutrient bio fortification. J. Plant Physiol. 179: 64–82.
15. Schachtman, D.P., Reid R.J., and Ayling, S.M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. Plant Physiol., 116: 447–453.
16. Shaul, O. 2002. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. Biometals., 15: 307–321.
17. Siddiqui, S.U., Chaudharay, M.F., and Anwar, R. 1996. *In vitro* preservation of potato (*Solanum tuberosum* L.) germplasm. Pak. J. Bot., 28: 37-40.
18. Spooner, D.M., McLean, K., Ramsay, G., Waugh, R., and Bryan, G.J. 2005. A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102: 14694–99.
19. Struik, P.C. 2007. Above-ground and below-ground plant development. In: D. Vreugdenhil (ed), J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers, D.K.L. Mackerron, M.A. Taylor and H.A. Ross. Potato Biology and Biotechnology Advances and Perspectives. Elsevier Ltd, Oxford, UK. Pp: 219-236.
20. Waterer, D. 2005. Calcium nutrition of potatoes, problems and potential solutions. Manitoba Agri., pp. 1-3.
21. Ulamin, N., Sanga, G., Ara, N., and Shah, SH. 2013. Effect of various concentrations of calcium chloride on callus growth and potassium nutrition of calli culture of potato (*Solanum tuberosum* L.), Pak. J. Bot., 45: 209-214.