

(OPEN ACCESS)

The effect of Prohexadione-calcium and carbon source on *in vitro* microtuberization of Potato (*Solanum tuberosum*) cv. Agria

Saber Lotfi¹, Alireza Motallebi-Azar^{*2}, Fariborz Zare Nahandi³, Bahram Dehdar⁴, Amin Jahanian⁵, Fatemeh Shariat⁶

1. M.Sc. Graduate of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: saberlotfi3@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: motallebi@tabrizu.ac.ir
3. Professor, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: fzaare@gmail.com
4. Academic Staffs, Research Center of Agriculture and Natural Resources of Ardabil Province, Ardabil, Iran. E-mail: bahram_dehdar@yahoo.com
5. Ph.D. Graduate of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: amin.jahanian68@gmail.com
6. Laboratory of Expert, Dept. of Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: f.shariat20@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 05.27.2025
Revised: 07.12.2025
Accepted: 08.19.2025

Keywords:
Culture medium,
Explant,
Gibberellin,
Growth retarder

ABSTRACT

Background and Objectives: Prohexadione-calcium (ProCa) is a chemical inhibitor compound and an inhibitor of gibberellin hormone biosynthesis, which has low toxicity and limited stability. In the conditions of potato tissue culture, the carbon source is necessary for the induction of microtuberization and the development of the microtuber. The use of plant growth retarders in the stage of tuber formation reduces stem growth and transfers photosynthetic materials to the tuber and increases tuber growth. A number of plant growth regulators have been used to delay stem growth and start tuber formation. Prohexadione-calcium is classified as a plant growth inhibitor. In general, the mode of action of this growth inhibitor is to prevent the conversion of the inactive form of GA₂₀ into its active form GA₁. Prohexadione-calcium is registered in the United States under the brand name Apogee and in Europe under the brand name Regalis.

Materials and Methods: In this experiment, the carbon source (80 g/L sucrose and mannitol) and prohexadione calcium (at concentrations of 0, 3, 6 and 9 mg/L) in the MS base culture medium as a factorial experiment in the form of a completely randomized design with 8 treatments and 4 replications was executed. Also, 5 single nodule micro-samples were cultured in each test unit. In the test of microtuber, the explants were kept under dark conditions and at a temperature of 18±2 degrees Celsius and notes were taken every 15 days. After 3 months, the effects of these substances on the number of microtubers, the percent of microtuber dormancy, the number of eyes, the average weight of the tubers, the length and width of the microtubers, and the yield were investigated.

Results: The results showed that the treatments of 3 and 6 mg/L prohexadione calcium produced the highest number of microtuber with 2.4 and 2.83 number of microtuber and did not show any significant difference from each other. Also, control and prohexadione calcium treatments at a concentration of 9 mg/liter produced the lowest number of microtuber with 1.17 microtuber. Also, in all concentrations of prohexadione calcium, sucrose produced more microtuber with length and width than mannitol. The treatment of 3 mg/L prohexadione calcium with 80 g/L sucrose produced the highest number of eyes with 5.66 eyes and showed a significant difference with the other treatments. The treatment of 3 mg/L prohexadione calcium along with 80 g/L sucrose with 2.66 g of microtuber in the treatment produced the highest yield among the treatments. With a general look at the results of this research, it can be concluded that the carbon source of sucrose is better for microtuberization than mannitol, and among the concentrations of prohexadione calcium, the concentration of 3 mg/liter showed better results than the higher concentrations, and this concentration of prohexadione calcium together with 80 gr per liter of sucrose showed positive and better results for microtuber production.

Conclusion: Generally, it can be concluded that the carbon source of sucrose is better for microtuberization than mannitol, and among the concentrations of prohexadione calcium, the concentration of 3 mg/liter showed better results than the higher concentrations, and this concentration of prohexadione calcium together with 80 gr per liter of sucrose showed positive and better results for the production of microtubers and with the assumption that the growth retarder plays a role in the induction of potato microtubers. Prohexadione calcium has played a role in the induction of microtuberization by preventing the production of gibberellin hormone and it has performed the mechanism of microtuberization induction by preventing the production of gibberellin hormone.

Cite this article: Lotfi, Saber, Motallebi-Azar, Alireza, Zare Nahandi, Fariborz, Dehdar, Bahram, Jahanian, Amin, Shariat, Fatemeh. 2026. The effect of Prohexadione-calcium and carbon source on *in vitro* microtuberization of Potato (*Solanum tuberosum*) cv. Agria. *Journal of Plant Production Research*, 33 (2), 73-91.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2025.23214.3228

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر پروهگزادیون-کلسیم و منبع کربن (ساکارز و مانیتول) روی ریزغده‌زایی سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم آگريا

صابر لطفی^۱، علیرضا مطلبی‌آذر^{۲*}، فربرز زارع نهندی^۳، بهرام دهدار^۴، امین جهانیان^۵، فاطمه شریعت^۶

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران. رایانامه: saberlotfi3@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران. رایانامه: motallebi@tabrizu.ac.ir

۳. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران. رایانامه: fzaare@gmail.com

۴. هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی، اردبیل، ایران. رایانامه: bahram_dehdar@yahoo.com

۵. دانش‌آموخته دکتری علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران. رایانامه: amin.jahanian68@gmail.com

۶. کارشناس آزمایشگاه، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران. رایانامه: f.shariat20@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: پروهگزادیون-کلسیم (ProCa) به عنوان ترکیب بازدارنده شیمیایی و یک مهارکننده بیوستنز هورمون جیبرلین است که سمیت کم و پایداری محدود دارد. در شرایط کشت بافت سیب‌زمینی، منبع کربن برای القاء غده‌زایی و تکامل ریزغده ضروری می‌باشد. استفاده از روش کشت بافت موجب افزایش محصول سیب‌زمینی، کاهش هزینه تولید، کاهش ابتلا به بیماری‌ها و کاربرد سموم می‌شود، تولید ریزغده از گیاهچه در شرایط درون‌شیشه‌ای این امکان را فراهم می‌کند تا ضریب تکثیر افزایش یافته و غده‌های عاری از ویروس تولید شود. این پژوهش با هدف بررسی ریزغده‌زایی درون شیشه‌ای سیب‌زمینی (رقم آگريا) در واکنش به اثر پروهگزادیون کلسیم و منبع کربن ساکارز و مانیتول انجام گرفت.
واژه‌های کلیدی: جیبرلین، ریز نمونه، کندکننده رشد، محیط کشت	مواد و روش‌ها: در این آزمایش منبع کربن (۸۰ گرم بر لیتر ساکارز و مانیتول) و پروهگزادیون کلسیم (در غلظت‌های ۰، ۳، ۶ و ۹ میلی‌گرم بر لیتر) در محیط کشت پایه MS به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار و ۴ تکرار اجرا شد. پس از سه ماه از تاریخ کشت ریزنمونه‌ها، یادداشت‌برداری نهایی صفات انجام گرفت. در مرحله ریزغده‌زایی صفات وزن کل ریزغده یا همان عملکرد (گرم بر تعداد کل ریزغده هر تیمار)، تعداد ریزغده، درصد دورمانسی ریزغده، تعداد ریزغده ثانویه، تعدادساقه روی ریزغده بدون دورمانسی، طول ساقه روی ریزغده بدون دورمانسی، طول و عرض ریزغده‌ها (میلی‌متر)، تعداد ریشه روی ریزغده و میانگین وزن‌تر ریزغده از صفات مورد نظر بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد تیمارهای ۳ و ۶ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم به ترتیب با ۴ و ۲/۸۳ عدد ریزغده بیش‌ترین تعداد ریزغده را تولید کردند و اختلاف معنی‌داری را از یکدیگر نداشتند. هم‌چنین تیمارهای شاهد و پروهگزادیون کلسیم در غلظت ۹ میلی گرم در لیتر با ۱/۱۷ عدد ریزغده کم‌ترین تعداد ریزغده را تولید کرد. هم‌چنین در تمامی غلظت‌های پروهگزادیون کلسیم، ساکارز نسبت به مانیتول ریزغده‌های با طول و عرض بیش‌تر تولید کرد. تیمار ۳ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با ساکارز ۸۰ گرم بر لیتر با ۵/۶۶ عدد چشم بیش‌ترین تعداد چشم را تولید کرد و با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار را نشان داد. تیمار ۳ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با ساکارز ۸۰ گرم در لیتر با ۲/۶۶ گرم ریزغده در تیمار بیش‌ترین عملکرد را در بین تیمارها تولید نمود.

نتیجه‌گیری: با نگاه کلی به نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که منبع کربن ساکارز برای ریزغده‌زایی نسبت به مانیتول بهتر است و در میان غلظت‌های پروهگزادیون کلسیم نیز غلظت ۳ میلی گرم در لیتر نسبت به غلظت‌های بالاتر نتایج بهتری را نشان داد و این غلظت پروهگزادیون کلسیم همراه با ۸۰ گرم در لیتر ساکارز برای تولید ریزغده نتایج مثبت و بهتری را نشان داد.

استناد: لطفی، صابر، مطلبی‌آذر، علیرضا، زارع نهندی، فریبرز، دهدار، بهرام، جهانیان، امین، شریعت، فاطمه (۱۴۰۵). اثر پروهگزادیون-کلسیم و منبع کربن (ساکارز و مانیتول) روی ریزغده‌زایی سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم آگria. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۳ (۲)، ۹۱-۷۳.

DOI: 10.22069/jopp.2025.23214.3228



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

سیبزمینی (*Solanum tuberosum*) یک محصول تجاری مهم در سطح جهان است که از نظر میزان تولید محصولات گیاهی در جایگاه چهارم دنیا قرار دارد. غده سیبزمینی منبع غنی از انواع کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و ویتامین‌ها است و به دلیل ظرفیت بالای تولید و هم‌چنین سازگاری با اقلیم‌های متفاوت در بین تولیدکنندگان محصولات کشاورزی از اهمیت خاصی برخوردار است (۱، ۲). از مهم‌ترین عواملی که منجر به بهره‌وری پایین تولید سیبزمینی می‌شود، استفاده از غده‌های آلوده به ویروس هستند (۳). استفاده از روش کشت بافت موجب افزایش محصول سیبزمینی، کاهش هزینه تولید، کاهش ابتلا به بیماری‌ها و کاربرد سموم می‌شود، تولید ریزغده از گیاهچه در شرایط درون شیشه‌ای این امکان را فراهم می‌کند تا ضریب تکثیر افزایش یافته و غده‌های عاری از ویروس تولید شود (۴، ۵). در شرایط محیط بیرون^۱، گیاه برای تامین کربن مورد نیاز خود، انرژی نورانی خورشید را توسط فرآیند فتوسنتز به انرژی شیمیایی قابل استفاده در اندام‌های خود تبدیل می‌کند، ولی در شرایط درون شیشه‌ای^۲ نیاز به یک منبع کربن می‌باشد تا گیاه بدون نیاز به نور خورشید و فتوسنتز از آن استفاده کند. در شرایط درون شیشه‌ای اضافه کردن ساکارز در سطوح بالا به محیط کشت الزامی است تا ریزغده‌زایی صورت بگیرد (۶، ۷). ساکارز به عنوان یک منبع کربن مناسب به آسانی به وسیله گیاهچه جذب و تبدیل به نشاسته می‌شود (۸، ۹). پاسخ به ریزغده‌زایی اساساً به غلظت ساکارز بستگی دارد (۱۰، ۱۱، ۱۲). در بیش‌تر مطالعات ریزغده‌زایی تاکید شده است که غلظت معمول ساکارز برای ریزغده‌زایی شش تا هشت درصد مناسب است. ساکارز در غلظت

هشت درصد یک اسمولاریته مناسب برای نمو ریزغده تامین می‌کند (۸، ۱۳). مانیتول یک قند الکلی^۳ کربنه است که در ذخیره انرژی و بازسازی نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید فسفات (NADPH) نقش دارد. علاوه بر نقش تامین کربن گیاهان درون شیشه‌ای به عنوان یک محافظ از استرس‌های محیطی در محیط کشت بافت گیاهی محسوب می‌شود (۱۴).

استفاده از کندکننده‌های رشد گیاهی در مرحله تشکیل غده باعث کاهش رشد ساقه و انتقال مواد فتوسنتزی به طرف غده‌ها و افزایش رشد غده می‌شود. تعدادی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای به تأخیر انداختن رشد ساقه و شروع تشکیل غده استفاده شده‌اند. جلوگیری از رشد ساقه با استفاده از تأخیر اندازه‌ای رشد گیاهی صورت گرفته است (۱۵، ۱۶). بررسی‌هایی که تا کنون در ارتباط با ریزغده‌زایی سیبزمینی صورت گرفته است، غالباً با کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی بوده است (۱۷). به احتمال زیاد برقراری تعادل هورمونی فرآیندهای مرتبط با ریزغده‌زایی را کنترل می‌کند (۱۸). سنزانو و همکاران در سال ۲۰۰۷ در آزمایشی عنوان کردند که برای شروع استولون‌زایی و طویل شدن آن‌ها سطح کم سیتوکینین‌ها ضروری می‌باشد اما برای شروع غده‌زایی، کاهش نسبت جیبرلین به اتیلن و یا افزایش سطح سیتوکینین‌ها به تناسب خروج جاسمونیک اسید از برگ‌ها لازم است. پروهگزادیون-کلسیم^۳ (ProCa) از دیگر ترکیبات بازدارنده شیمیایی و یک مهارکننده بیوسنتز جیبرلین است که سمیت کم و پایداری محدود دارد (۱۹). پروهگزادیون-کلسیم جزء بازدارنده‌های رشد گیاهی^۴ طبقه‌بندی شده است (۲۰). به‌طور کلی نحوه عمل این بازدارنده رشد جلوگیری از تبدیل فرم غیرفعال GA_{20} به فرم فعال GA_1 آن است.

3- 3-oxido-4-propionyl-5-oxo-3-cyclohexene-carboxylate

4- Acylcyclohexanetriones

1- In vivo

2- In vitro

پروهگزادیون-کلسیم در ایالت متحده آمریکا با نام تجاری آپوجی (Apogee) و در اروپا با نام تجاری ریگالیز (Regalis) ثبت شده است و برای کاهش رشد ساقه در درخت سیب استفاده می‌شود. همچنین توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده به عنوان یک ترکیب کم خطر طبقه‌بندی شده است (۲۱). این ماده، با کاهش محتوای جیبرلین و اتیلن سبب کاهش رشد رویشی و افزایش کیفیت و عملکرد می‌شود و مقاومت درختان میوه و سایر گونه‌های گیاهی را در برابر بیماری‌ها افزایش می‌دهد. پروهگزادیون-کلسیم بیوستنز جیبرلین را مهار می‌کند، بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد و به طور بالقوه بر غده‌زایی تأثیر می‌گذارد. همچنین این ماده در گیاه سیب‌زمینی، می‌تواند توزیع اندازه غده را تغییر دهد، محتوای نشاسته را افزایش دهد و به طور بالقوه طول ساقه را کاهش دهد و به توزیع مواد فتوسنتزی به غده‌ها کمک کند. کلسیم نقش مهمی در ساختار دیواره سلولی، طول ریشه و تحمل به تنش دارد و حضور آن به طور بالقوه اثرات Pro-Ca را در تولید ریزغده افزایش می‌دهد. (۲۲). محققان متعددی هدف از کاربرد پروهگزادیون-کلسیم را کاهش رشد رویشی در درختان میوه بیان نموده‌اند ولی در محصولات غده‌ای مانند سیب زمینی نیز به طور گسترده به کار برده شده است. در تحقیقی با استفاده از یک، دو و سه مرتبه محلول‌پاشی برگی Pro-Ca با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ گرم در هکتار در دو رقم سیب‌زمینی مشاهده شد که مقدار ۱۰۰ گرم در هکتار پروهگزادیون کلسیم سه بار بین مراحل شروع غده و حجیم شدن غده باعث کوتاه شدن طول بوته برای مدت طولانی می‌شود. پروهگزادیون-کلسیم (Pro-Ca) یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که در درجه اول بیوستنز جیبرلین را مهار می‌کند و بر رشد و نمو گیاهان، از جمله تشکیل ریزغده، تأثیر می‌گذارد. این ماده با مهار بیوستنز

جیبرلین، که نقش مهمی در طویل شدن ساقه و سایر فرآیندهای رشد دارد، رشد رویشی را کاهش می‌دهد. پروهگزادیون-کلسیم همچنین بر سایر فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند بیوستنز اتیلن و متابولیسم فلاونوئیدها تأثیر می‌گذارد و بر پاسخ گیاه به استرس نقش دارد و بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژی گیاه، از جمله رشد ریزغده، تأثیر می‌گذارد. (۲۳). کاهش رشد رویشی با جلوگیری از سنتز جیبرلین می‌باشد که این عمل در بازدارنده رشد پروهگزادیون-کلسیم توسط بازداری از آنزیم‌های ۲ و ۳ بتاهیدروکسیلاز^۱ در طی مسیر بیوستنز جیبرلین نقش ایفا می‌کند (۲۴).

با توجه به این‌که عوامل و ترکیبات ضد جیبرلین برای شروع و نمو ریزغده‌زایی سیب‌زمینی ضروری است و تحقیقاتی قبلی ما با استفاده از ترکیبات پاکلوبوترازول و یونیکونازول (۲۵) تأییدی بر این فرضیه بود و برای درک بهتر و افزایش یافته‌ها در زمینه ریزغده‌زایی، تحقیقی با استفاده از پروهگزادیون کلسیم (بازدارنده رشد جیبرلین) در چهار غلظت صفر، ۳، ۶ و ۹ میلی‌گرم در لیتر در دو منبع کربن ساکارز و مانیتول انجام گرفت تا علاوه بر درک بهتر بهترین غلظت پروهگزادیون کلسیم و منبع کربن مناسب با این ترکیب، بتوان در زمینه بازدارنده‌های رشد در ریزغده‌زایی سیب‌زمینی اطلاعات جامع و وسیعی را ارائه نموده تا راندمان ریزغده‌زایی افزایش پیدا نماید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط کشت: این پژوهش، در آزمایشگاه کشت بافت گیاهی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شده است. در این بررسی از گیاهچه‌های درون شیشه‌ای عاری از ویروس سیب‌زمینی رقم آگریای موجود در آزمایشگاه کشت بافت گیاهی گروه علوم باغبانی دانشگاه تبریز

در هر تکرار ۵ ریز نمونه کشت شده بود، انجام گرفت. فاکتور اول پروهگزادیون-کلسیم (در غلظت‌های صفر، ۳، ۶ و ۹ میلی گرم بر لیتر) و فاکتور دوم منبع کربن (۸۰ گرم بر لیتر ساکارز و مانیتول) در محیط کشت پایه MS اجرا گردید. تجزیه آماری به وسیله نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همه نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Office Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

تعداد ریزغده: نتایج تجزیه واریانس در صفت تعداد ریزغده مشخص نمود که اثر متقابل منبع کربن و پروهگزادیون کلسیم معنی‌دار نبود و فقط پروهگزادیون کلسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمارهای ۳ و ۶ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم به ترتیب با ۴ و ۲/۸۳ عدد ریزغده بیش‌ترین تعداد ریزغده را تولید کردند و اختلاف معنی‌داری را از یکدیگر نشان ندادند. هم‌چنین تیمارهای شاهد و پروهگزادیون کلسیم در غلظت ۹ میلی گرم در لیتر با ۱/۱۷ عدد ریزغده کم‌ترین تعداد ریزغده را تولید کرد (شکل ۱). در تحقیقی که به بررسی غلظت‌های مختلف ساکارز (۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ گرم در لیتر) و مانیتول (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۸۰ گرم در لیتر) بر ریزغده‌زایی سیب‌زمینی رقم آگria انجام شد غلظت ۸۰ گرم در لیتر ساکارز نتایج بهتری را نسبت به سایر غلظت‌ها و منبع مانیتول نشان داد (۷).

طول و عرض ریزغده: نتایج جدول تجزیه واریانس برای صفات طول و عرض ریزغده مشخص نمود که اثر متقابل منبع کربن و پروهگزادیون کلسیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین طول ریزغده نشان داد که در تمامی غلظت‌ها، ساکارز نسبت به مانیتول ریزغده‌های با

استفاده شد. برای تهیه محیط‌کشت، مواد لازم به‌صورت هفت محلول ذخیره (استوک) شامل نمک‌های عناصر پرمصرف، نمک‌های عناصر کم‌مصرف، KI و CaCl_2 ، نمک آهن، نمک مس و مولیبدن و ویتامین‌ها تهیه و برای یک لیتر محیط کشت MS استفاده گردید. pH محلول با استفاده از NaOH یا HCl یک نرمال روی ۵/۸ تنظیم گردید. برای تهیه محیط نیمه جامد، ۸ گرم آگار به محیط اضافه شد. پس از حل شدن کامل آگار، در داخل هر ظرف شیشه‌ای، ۳۰ میلی‌لیتر محیط کشت با استفاده از استوانه مدرج ریخته شد و محیط‌های کشت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شدند. پس از اتمام فرآیند کشت، شیشه‌های حاوی ریزنمونه‌ها به درون دستگاه ژرمیناتور با شرایط تاریکی مطلق و در دمای 18 ± 2 درجه‌ی سانتی‌گراد منتقل شدند. کشت‌ها به مدت ۳ ماه در این شرایط نگهداری شدند.

یادداشت‌برداری صفات: پس از سه ماه از تاریخ کشت ریز نمونه‌ها، یادداشت‌برداری نهایی صفات انجام گرفت. در مرحله ریزغده‌زایی صفات وزن کل ریزغده یا همان عملکرد (گرم بر تعداد کل ریزغده هر تیمار)، تعداد ریزغده، درصد دورمانسی ریزغده، تعداد ریزغده ثانویه، تعدادساقه روی ریزغده بدون دورمانسی، طول ساقه روی ریزغده بدون دورمانسی، طول و عرض ریزغده‌ها (میلی‌متر)، تعداد ریشه روی ریزغده و میانگین وزن‌تر ریزغده از صفات موردنظر بودند. برای اندازه‌گیری صفات وزنی از ترازوی حساس (شرکت اوهاس مدل DV215CD ساخت شرکت سوئیس با دقت ۰/۰۰۱ گرم)، برای اندازه‌گیری طول و عرض ریزغده از کولیس و برای مشاهده تعداد چشم از لوپ دوچشمی Olympus ساخت کشور ژاپن استفاده شد.

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار در ۴ تکرار اجرا شد که

تیمار بدون پروهگزادیون کلسیم در هر دو منبع کربن ساکارز و مانیتول مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری نیز با یکدیگر نداشتند (شکل B ۲). در پژوهشی مشخص شد که غلظت بهینه ساکارز برای ریزغده‌زایی ۶۰ تا ۸۰ گرم بر لیتر مناسب است. غلظت‌های خیلی بالا یا خیلی کم‌تر از ۸۰ گرم بر لیتر ساکارز، منجر به ریزغده‌زایی کندتر و کم‌تر و تولید ریزغده‌های کوچک‌تر را موجب می‌شود. در برخی موارد، کل غلظت ساکارز به کار برده شده در محیط کشت یا بخشی از آن توسط منبع کربن دیگر جایگزین می‌شود (۸، ۲۶). ساکارز به عنوان قند اصلی برای جابجایی مواد در محیط کشت بافت گیاهی است. این قند با تجمع مواد مورد نیاز سلول‌ها، افزایش تقسیم سلولی میتوز، حفظ پتانسیل اسمزی و هیدرولیز سریع به مونوساکاریدها موجب تسریع فرآیند رشد شده و به عنوان بهترین منبع کربن برای کشت بافت گیاهی کاربرد دارد.

طول بیش‌تر تولید کرد و در بین تیمارها، ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم با ۸۰ گرم در لیتر ساکارز با ۶/۱۹ میلی‌متر بیش‌ترین طول ریزغده را ایجاد نمود و تیمار بدون پروهگزادیون کلسیم همراه با ۸۰ گرم در لیتر مانیتول با داشتن ۱ میلی‌متر طول، کم‌ترین طول ریزغده را تولید نمود (شکل A ۲). با بررسی منبع کربن در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم مشخص شد که ساکارز نسبت به مانیتول ۶۵ درصد طول ریزغده را افزایش داد. با نتایج به دست آمده استفاده از غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با ۸۰ گرم در لیتر ساکارز، ریزغده‌های طولی‌تر تولید نمود که با توجه با قیمت ارزان ساکارز و در دسترس بودن آن، ساکارز برای تولید ریزغده توصیه می‌شود. هم‌چنین در تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با ۸۰ گرم در لیتر مانیتول عرض غده ۴/۶۳ میلی‌متر ثبت شد که در ساکارز ۸۰ گرم در لیتر عرض ریزغده به ۵/۴۱ میلی‌متر افزایش پیدا کرد. کمترین عرض ریزغده در

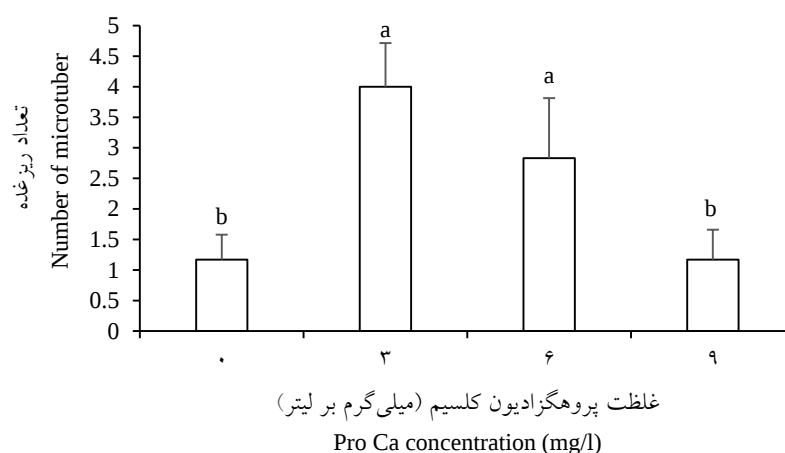
جدول ۱- جدول تجزیه واریانس صفات ریزغده‌زایی سیب‌زمینی تحت شرایط منبع کربن و پروهگزادیون- کلسیم.

Table 1. ANOVA (mean squares) measurement traits in potato microtuberization under conditions of carbon source and prohexadione-calcium.

میانگین مربعات صفات Mean squares											
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	تعداد ریزغده N. of Microtuber	طول ریزغده Microtuber length	عرض ریزغده Microtuber width	تعداد چشم N. of eye	درصد دورمانسی ریزغده Dormancy percent of microtuber	تعداد ریزغده ثانویه N. of secondary microtuber	طول ساقه روی ریزغده Stem length on microtuber	عملکرد کل ریزغده Microtuber yield	تعداد ریشه تولید شده روی ریزغده N. of root on microtuber	میانگین وزن ریزغده Mean of microtuber weight
Pro Ca	3	11.48**	17.90**	17.43**	18.33**	10.05**	1.59**	1991.63**	1.12**	11.37**	0.57**
carbon source	1	1.04 ^{ns}	9.07**	372.**	4.16**	4.16*	0.04 ^{ns}	31.39 ^{ns}	0.10*	2.04*	0.27**
Pro Ca × Carbon Source	3	0.04 ^{ns}	0.29*	0.38*	1.61**	0.27 ^{ns}	0.26 ^{ns}	2761.25**	0.03*	0.48 ^{ns}	0.06**
Error	16	0.95	0.10	0.14	0.33	0.54	0.25	196.38	0.01	0.37	0.04
% CV		14.33	17.96	10.20	9.23	13.88	14.25	11.14	15.63	12.40	13.70

^{ns}، *، ** بیانگر عدم معنی‌دار بودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

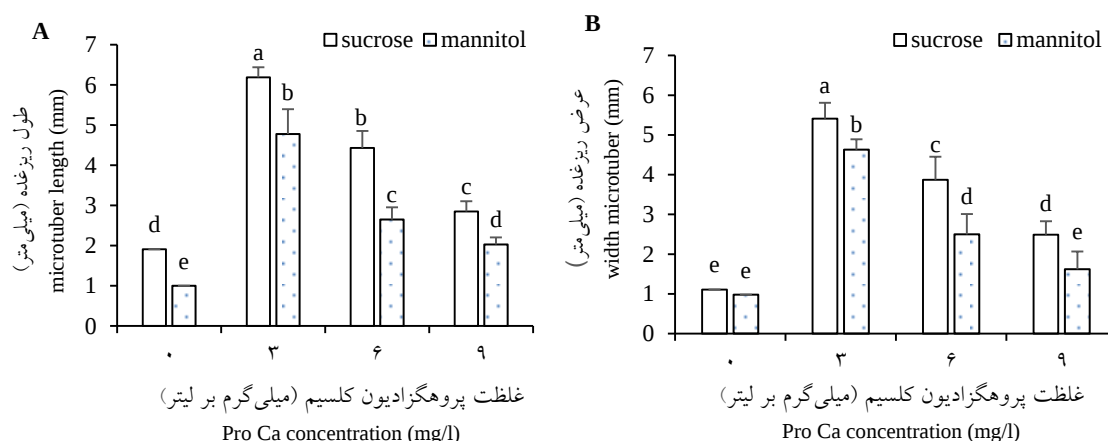
^{ns}, * and ** non-significant, significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively



شکل ۱- تعداد ریزغده تولید شده در غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم

(حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

Fig. 1. The number of microtuber in different concentration of Pro Ca
(The same letters on the columns indicate no significant difference at the 5% probability level).



شکل ۲- طول (A) و عرض (B) ریزغده تولید شده در دو منبع کربن و غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم

(حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

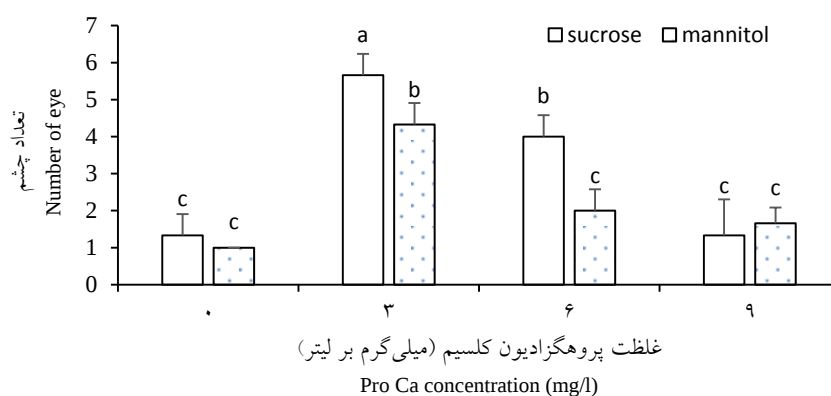
Fig. 2. The length (A) and width (B) microtuber produced in two carbon source and different concentration of Pro Ca
(The same letters on the columns indicate no significant difference at the 5% probability level).

در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با مانیتول ۸۰ گرم در لیتر و ۶ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با ساکارز ۸۰ گرم در لیتر به ترتیب با میانگین ۴/۳۳ و ۴ عدد چشم تولید شد که این دو تیمار با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. بقیه تیمارهای آزمایش تعداد چشم کم‌تر از ۲ عدد را تولید نمودند و با یکدیگر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳). با توجه به این‌که بین اندازه ریزغده و تعداد چشم معمولاً

تعداد چشم: اثر متقابل منبع کربن و پروهگزادیون کلسیم در تجزیه واریانس صفت تعداد چشم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). میانگین تعداد چشم نشان داد که تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با ساکارز ۸۰ گرم در لیتر با ۵/۶۶ عدد چشم بیش‌ترین تعداد چشم را تولید کرد و با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار را داشت. در جایگاه دوم بیش‌ترین تعداد چشم تیمارهای ۳ میلی‌گرم

ساکارز ۸۰ گرم در لیتر علاوه بر افزایش اندازه ریزغده از جمله طول و عرض ریزغده در کنار آن تعداد چشم ریزغده نیز افزایش را نشان داده است.

ارتباط مستقیمی وجود دارد نتایج این بخش از تحقیق نیز در ارتباط با سایر صفات نشان داد که در تیمار ۳ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با

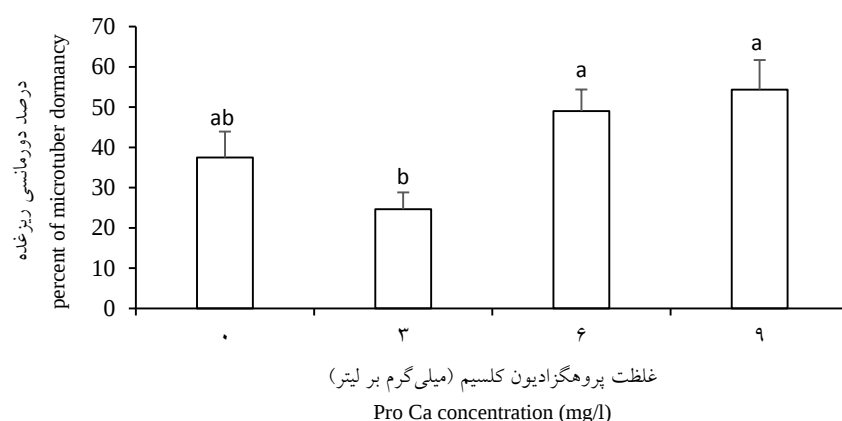


شکل ۳- تعداد چشم در ریزغده تولید شده در دو منبع کربن و غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

Fig. 3. The number of eye in microtuber produced in two carbon source and Pro Ca
(The same letters on the columns indicate no significant difference at the 5% probability level).

نمود که در تیمار با غلظت بالاتر پروهگزادیون کلسیم علاوه بر جلوگیری از تولید جیبرلین شاید تحریک در تولید داخلی هورمون آبسزیک اسید نیز در این غلظت انجام شده است و باعث تولید ریزغده‌های دارای دورمانسی شده است. اما شاید در مواردی که نیاز به انبارداری ریزغده وجود ندارد و بلافاصله بعد از تولید ریزغده نیاز به تولید مینی تیوبر وجود دارد ریزغده‌های بدون دورمانسی برای انجام این مرحله از کار ضروری است و در غلظت ۳ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم علاوه بر افزایش کارایی تولید ریزغده، ریزغده‌های بدون دورمانسی نیز تولید شد و برای مواردی که بدون وقته نیاز به تولید مینی تیوبر است غلظت ۳ میلی گرم در لیتر مناسب است و نتایج این تحقیق می‌تواند در کاربرد غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم کمک شایانی نماید.

درصد درمانسی ریزغده: نتایج نشان داد که اثر متقابل منبع کربن و پروهگزادیون کلسیم برای صفت تعداد ریزغده بدون درمانسی در جدول تجزیه واریانس معنی‌دار نبود و اثر ساده پروهگزادیون کلسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین صفت تعداد ریزغده بدون درمانسی نشان داد که تیمار ۹ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم با ۵۴ درصد دورمانسی ریزغده بیش‌ترین درصد را ثبت نمود و در مقابل تیمار ۳ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم با ۲۴ درصد دورمانسی ریزغده کم‌ترین مقدار را نشان داد. تیمارهای شاهد و ۶ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم به ترتیب با میانگین ۳۷ و ۴۹ درصد دورمانسی ریزغده با یکدیگر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با بررسی و تحلیل میانگین‌های دورمانسی ریزغده می‌توان چنین فرض

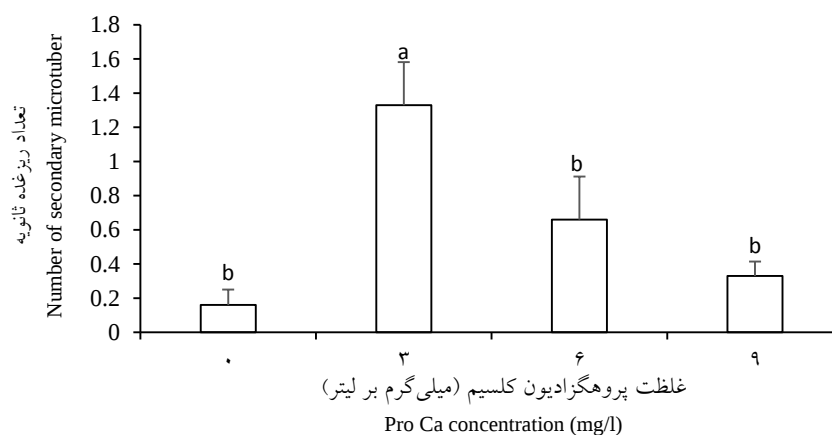


شکل ۴- درصد دورمانسی ریزغده تولید شده در غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

Fig. 4. The percent of microtuber dormancy produced in different concentration of Pro Ca (The same letters on the columns indicate no significant difference at the 5% probability level).

کارایی تولید ریزغده افزایش خواهد داشت. به طور معمول از هر ریزنمونه گره سیب‌زمینی معمولاً یک ریزغده تولید می‌شود ولی با استفاده از تیمارهای هورمونی می‌توان تولید ریزغده ثانویه را نیز تولید کرد که باعث افزایش ضریب تولید ریزغده شود. در این مطالعه با کاربرد ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تعداد ریزغده ثانویه افزایش پیدا نمود که شاید بتوان چنین فرض نمود که در این غلظت علاوه بر جلوگیری از تولید جیبرلین، میزان سیگنال‌دهی برای القاء تولید ریزغده بیش‌تر بوده است و تعادل هورمون‌های داخلی ریزنمونه در جهت تولید ریزغده تا مراحل آخر ادامه داشته است.

تعداد ریزغده ثانویه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل منبع کربن و پروهگزادیون کلسیم برای صفت تعداد ریزغده ثانویه معنی‌دار نبود و فقط اثر پروهگزادیون کلسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین تعداد ریزغده ثانویه در تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم با میانگین ۱/۳۳ عدد تولید شد و با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود داشت. تیمارهای ۶، ۹ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم و بدون پروهگزادیون کلسیم تعداد ریزغده ثانویه کم‌تر از یک عدد تولید شد و با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند (شکل ۵). در تولید ریزغده سب‌زمینی یکی از موارد تولید بیش‌تر افزایش تعداد ریزغده ثانویه است که



شکل ۵- تعداد ریزغده ثانویه تولید شده در غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم

(حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

Fig. 5. The number of secondary microtuber produced in different concentrations of Pro Ca (The same letters on the columns indicate no significant difference at the 5% probability level).

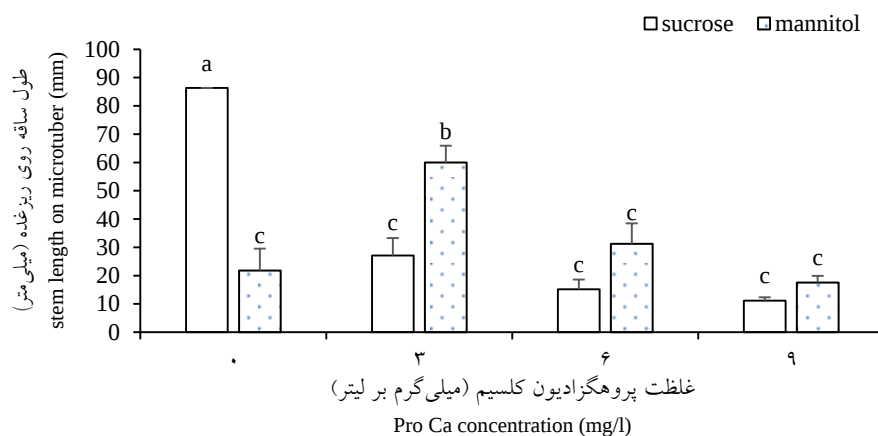


شکل ۶- تولید ریزغده ثانویه در تیمار ۳ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم.

Fig. 6. Secondary microtuber production in the treatment of 3 mg/L of Pro Ca.

نشان می‌دهد. در بررسی مقایسه میانگین مشخص شد که به غیر از تیمار بدون پروهگزادیون کلسیم بر بقیه غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم طول ساقه در منبع مانیتول بیش‌تر از ساکارز بود. در تیمار ۸۰ گرم در لیتر ساکارز بدون پروهگزادیون کلسیم با ۸۶/۳۲ میلی‌متر بیش‌ترین طول ساقه روی ریزغده تولید شد و با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داد (شکل ۷).

طول ساقه روی ریزغده: اثر متقابل منبع کربن و پروهگزادیون کلسیم در طول ساقه روی ریزغده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). ساقه تولید شده روی ریزغده سیب‌زمینی نشان‌دهنده این است که ریزغده فاقد دورمانسی است و به طور معمول بعد از تولید ریزغده و عدم وجود درمانسی بر روی ریزغده ساقه رشد می‌کند که یکی از صفاتی است که معمولاً در تیمارهای مختلف نتایج مختلفی را



شکل ۷- طول ساقه روی ریزغده تولید شده در دو منبع کربن و غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

Fig. 7. The stem length on microtuber produced in two source carbon and different concentration of Pro Ca (The same letters on the columns indicate no significant difference at the 5% probability level).



شکل ۸- ساقه تولید شده روی ریزغده سیب‌زمینی.

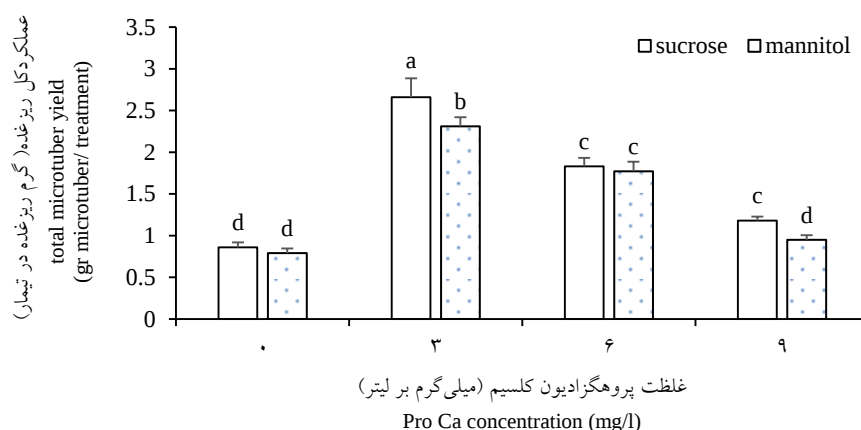
Fig. 8. Stem produced on potato microtuber.

ریزغده در تیمار بیش‌ترین عملکرد را در بین تیمارها تولید کرد و بعد از آن تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با مانیتول ۸۰ گرم در لیتر با ۲/۳۱ گرم کل ریزغده در تیمار تولید کرد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. تیمارهای ۶ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با ساکارز و مانیتول

عملکرد کل ریزغده: نتایج تجزیه واریانس عملکرد کل ریزغده مشخص کرد که اثر متقابل منبع کربن و پروهگزادیون کلسیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با ۸۰ گرم در لیتر ساکارز با ۲/۶۶ گرم کل

۸۰ گرم در لیتر به ترتیب با ۱/۸۳ و ۱/۷۷ گرم کل ریزغده در تیمار با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نداشتند. تیمارهای بدون کاربرد پروهگزادیون کلسیم در هر دو منبع کربن و ۹ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم همراه با ۸۰ گرم در لیتر مانیتول عملکرد کم‌تر از یک گرم کل ریزغده در تیمار را ثبت نمودند و با یکدیگر نیز اختلاف معنی‌داری را نداشتند (شکل ۹). با توجه به این‌که در تحقیقات مربوط به تولید ریزغده یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در نگاه اول به آن توجه می‌شود عملکرد نهایی و کل ریزغده است به‌طور کلی نتایج مربوط به این صفت نیز از توجه خاصی برخوردار است و در این مطالعه مشخص شد که تیمارهایی که از منبع کربن ساکارز استفاده شده بود عملکرد بهتری را داشتند و در کنار آن استفاده از غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم برای تولید ریزغده سیب‌زمینی مناسب بود. با توجه به این‌که در تحقیقاتی که برای اولین بار در یک محصول صورت گرفته است دانستن و یافتن غلظت مناسب از اولویت‌های آن تحقیق است بنابراین در این تحقیق بررسی چهار غلظت ۰، ۳، ۶ و ۹ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم برای دستیابی به غلظت بهینه و ایجاد یک پروتکل مناسب برای یک هورمون بازدارنده رشد با مکانسیم جلوگیری از تولید هورمون جیبرلین انجام گرفت و نتایج قابل اتکا و کاربردی برای تولیدکنندگان ریزغده سیب‌زمینی داشت. علاوه بر شرایط محیطی ویژه، همانند دوره نوری کوتاه، شدت نور زیاد و سطوح پایین نیتروژن، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نیز نقش برجسته‌ای در کنترل غده‌زایی

سیب‌زمینی دارند. از جمله تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مؤثر در غده‌زایی سیب زمینی می‌توان از جیبرلین، سیتوکینین، جاسمونات، اسید تیوبرونیک و اسید آبسزیک نام برد، اما تاکنون عامل غده‌زایی مشخصی شناسایی نشده است اما این فاکتور که هر ماده یا تنظیم‌کننده رشد که مانع تولید جیبرلین شود باعث افزایش ریزغده‌زایی می‌شود (۲۵). تولید ماده خشک و انتقال آن به اندام‌های مختلف از عامل‌های مهم و تأثیرگذار روی عملکرد ریزغده سیب‌زمینی است. استفاده از کندکننده‌های رشد گیاهی در مرحله تشکیل غده باعث کاهش رشد ساقه و انتقال مواد فتوسنتزی به طرف غده‌ها و افزایش رشد غده می‌شود. تعدادی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای به تأخیر انداختن رشد ساقه و شروع تشکیل غده استفاده شده‌اند. جلوگیری از رشد ساقه با استفاده از تأخیر اندازه‌ای رشد گیاهی صورت گرفته است (۲۶). در بررسی قدیمی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تریازول، پاکلوبوترازول و یونی‌کونازول در پنج غلظت تاکید شد که استفاده از ترکیبات آنتی جیبرلینی در ریزغده‌زایی نقش موثری را ایفا می‌کند. به‌طور کلی استفاده از ترکیبات ضد جیبرلینی در بخش ریزغده‌زایی سیب‌زمینی به عنوان یک راهکار مؤثر مورد استفاده قرار می‌گیرد و ترکیب پروهگزادیون کلسیم علاوه بر نقش ضد جیبرلینی با دارا بودن کلسیم در ترکیب خود باعث استحکام و یکنواختی ریزغده می‌شود که پس از انتقال به گلخانه برای تولید مینی تیوبر از آسیب‌های احتمالی جلوگیری نماید.

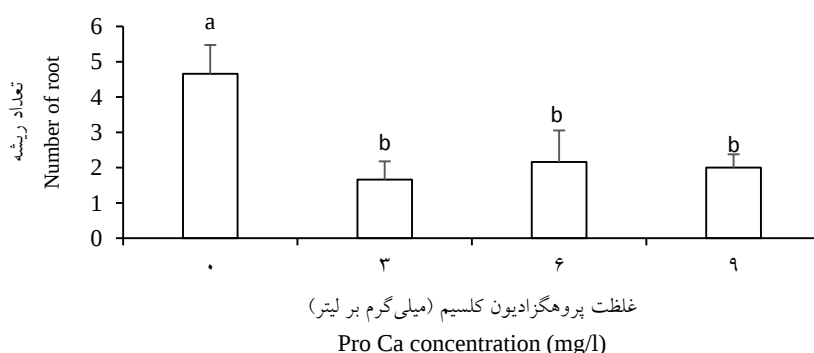


شکل ۹- عملکرد کل ریزغده تولید شده در دو منبع کربن و غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

Fig. 9. Total microtuber yield produced in two source carbon and different concentration of Pro Ca
(The same letters on the columns indicate no significant difference at the 5% probability level).

(شکل ۱۰). با توجه به این‌که در تولید ریزغده سیب‌زمینی تولید ریشه از ریزنمونه تأثیر منفی بر تولید ریزغده دارد و ایجاد رقابت بین ریشه و ریزغده شکل می‌گیرد که از رشد ریزغده تولید شده جلوگیری می‌کند و هر چقدر تیماری بتواند در جهت تولید ریزغده و کاهش ریشه باشد در کل نتایج بهتری را در مرحله ریزغده‌زایی ایجاد می‌کند که در بین تیمارهای این تحقیق غلظت‌های پروهگزادیون کلسیم در جهت کاهش تولید ریشه بودند و این می‌تواند به عنوان یک اثر مثبت در جهت تولید ریزغده ملاحظه گردد.

تعداد ریشه: نتایج نشان داد که اثر متقابل منبع کربن و پروهگزادیون کلسیم برای صفت تعداد ریشه در تجزیه واریانس معنی‌دار نبود و اثر ساده پروهگزادیون کلسیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که تیمار بدون پروهگزادیون کلسیم با ۴/۶۶ عدد ریشه بیش‌ترین تعداد ریشه را تولید نمود و با بقیه غلظت‌های پروهگزادیون کلسیم اختلاف معنی‌دار داشت. تیمارهای پروهگزادیون کلسیم در هر سه غلظت ۳، ۶ و ۹ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشتند و به ترتیب ۱/۶۶، ۲/۱۶ و ۲ عدد ریشه را تولید نمودند.



شکل ۱۰- تعداد ریشه تولید شده در غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

Fig. 10. The number of root in different concentration of Pro Ca
(The same letters on the columns indicate no significant difference at the 5% probability level).

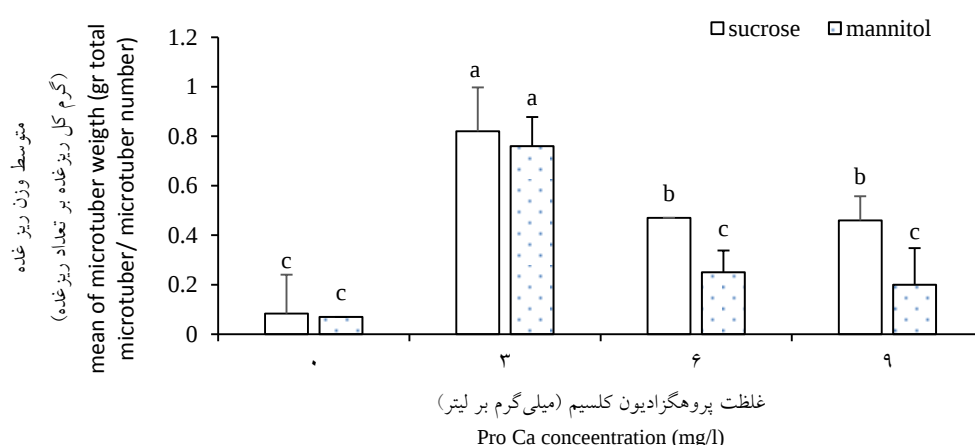


شکل ۱۱- ریشه‌های تولید شده در ریزنمونه‌های تک گره سیب‌زمینی در مرحله ریزغده‌زایی.

Fig. 11. Roots produced in single-node potato explants at the microtuberization stage.

معنی‌دار نداشتند. در تیمارهای ۶ و ۹ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم بین منبع کربن ساکارز و مانیتول اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و منبع ساکارز در هر دو غلظت پروهگزادیون کلسیم متویط ریزغده بیش‌تری تولید نمودند و به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۴۶ گرم ریزغده بر تعداد ریزغده ثبت شد که با یکدیگر نیز اختلاف معنی‌داری نداشتند. در تیمارهای بدون کاربرد پروهگزادیون کلسیم در هر دو منبع کربن متوسط وزن ریزغده کم‌تر از ۰/۱ تولید شد و کم‌ترین متوسط وزن ریزغده را تولید نمودند (شکل ۱۲).

متوسط وزن ریزغده: نتایج تجزیه واریانس برای صفت متوسط وزن ریزغده نشان داد که اثر متقابل منبع کربن و پروهگزادیون کلسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین مشخص نمود که تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم در هر دو منبع کربن بیش‌ترین متوسط وزن ریزغده را تولید نمودند و در منبع ساکارز متوسط وزن ریزغده ۰/۸۲ و در منبع مانیتول ۰/۷۶ گرم ریزغده بر تعداد ریزغده تولید کرد که این دو منبع کربن در این غلظت با یکدیگر اختلاف



شکل ۱۲- متوسط وزن ریزغده در دو منبع کربن و غلظت‌های مختلف پروهگزادیون کلسیم

(حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

Fig. 12. The mean of microtuber weight in two source of carbon and different concentration Pro Ca (The same letters on the columns indicate no significant difference at the 5% probability level).



شکل ۱۳- سه ریزغده تولید شده از پنج ریزنمونه کشت شده سیبزمینی در تیمار ۳ میلی گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم و ساکارز ۸۰ گرم در لیتر.

Fig. 13. Three microtuber produced from five potato explant in treatment of 3 mg/l Pro Ca and 80 Gr/l sucrose.

نتیجه گیری

داشت و با این فرض که عامل کندکننده رشد در القاء ریزغده زایی سیبزمینی نقش مثبت و پر رنگی را ایفا می کند پروهگزادیون کلسیم با جلوگیری از تولید هورمون جیبرلین در القاء ریزغده زایی نقش ایفا نموده است و مکانیسم القای ریزغده زایی را با جلوگیری از تولید هورمون جیبرلین انجام داده است.

با نگاه کلی به نتایج این تحقیق می توان نتیجه گرفت که منبع کربن ساکارز برای ریزغده زایی نسبت به مانیتول بهتر بود و در میان غلظت های پروهگزادیون کلسیم نیز غلظت ۳ میلی گرم در لیتر نسبت به غلظت های بالاتر نتایج بهتری را نشان داد و این غلظت پروهگزادیون کلسیم همراه با ۸۰ گرم در لیتر ساکارز برای تولید ریزغده نتایج مثبت و بهتری

منابع

1. Mahmodi Soreh, S., Motallebi Azar, A., Panahandeh, J., Gohari, G., & Jahanian, A. (2023). Effect of Glycine Betaine Nanocomposite Coated with Chitosan and Moderate Salinity Stress on *In vitro* Microtuberization of Potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Agria. *Journal Of Horticultural Science*, 37(2), 437-451. <https://doi.org/10.22067/jhs.2022.76343.1165>.
2. Kim, J., Soh, S. Y., Bae, H., & Nam, S. Y. (2019). Antioxidant and phenolic contents in potatoes (*Solanum tuberosum* L.) and micropropagated potatoes. *Applied Biological Chemistry*, 62(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0422-8>.
3. Dobránszki, J., Magyar-Tábori, K., & Hudák, I. (2008). In vitro tuberization in hormone-free systems on solidified medium and dormancy of potato microtubers. *Fruit, vegetable and cereal science and Biotechnology*, 2(1), 82-94.
4. Gami, R. A., Parmar, S. K., Patel, P. T., Tank, C. J., Chauhan, R. M., Bhadauria, H. S., & Solanki, S. D. (2013). Microtuberization, minitubers formation and in vitro shoot regeneration from bud sprout of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivar K. badshah. *African Journal of Biotechnology*, 12(38).
5. Cenzano, A., Abdala, G., & Hause, B. (2007). Cytochemical immuno-localization of allene oxide cyclase, a jasmonic acid biosynthetic enzyme, in developing potato stolons. *Journal of plant physiology*, 164(11), 1449-1456.
6. Jafari, F., Panahandeh, J., Motallebi-azar, A. R., & Torabie-Giglou, M. (2019). Response of potato's cultivars and

- promising clones to osmotic and temperature stress under in vitro conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), 633-648. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.257388.1447>.
7. Motallebi-Azar, A., & Kazemiani, S. (2015). The study of carbon sources efficiency on in vitro potato. *Horticulture, Biology and Environment South Western Journal of*, 4(1), 66-81.
8. Yu, W. C., Joyce, P. J., Cameron, D. C., & McCown, B. H. (2000). Sucrose utilization during potato microtuber growth in bioreactors. *Plant Cell Reports*, 19(4), 407-413.
9. Askari, N. (2024). Evaluation of Sucrose Benefits to Tuberization in 'Sante' Potato Cultivar in vitro. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 11(4), 437-444.
10. Garner, N., & Blake, J. (1989). The induction and development of potato microtubers in vitro on media free of growth regulating substances. *Annals of Botany*, 63(6), 663-674.
11. Sharma, S., Chanemougasoundharam, A., Sarkar, D., & Pandey, S. K. (2004). Carboxylic acids affect induction, development and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) microtubers grown in vitro from single-node explants. *Plant Growth Regulation*, 44(3), 219-229.
12. Meng, L., Zhang, T., Chen, Y., Zhang, Y., Wang, X., Qin, J., & Meng, M. (2020). The influence of endogenous sugar on potato tuberization in in vivo conditions. *American Journal of Potato Research*, 97, 297-307.
13. Belguendouz, A., Kaide Harche, M., & Benmahioul, B. (2021). Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown in vitro. *Journal of Plant Nutrition*, 44(14), 2123-2137.
14. Leva, A., Sadeghi, H., & Petrucci, R. (2013). Carbohydrates modulate the in vitro growth of olive microshoots. I. The analysis of shoot growth and Branching patterns. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32, 53-60.
15. Ghasemi, R., Motallebi-azar, A., Panahirad, S., & Jahanian, A. (2024). Effect of proline nanocomposite coated with chitosan and moderate salinity stress on in vitro microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Agria. *Plant Productions*, 47(1), 117-130. <https://doi.org/10.22055/ppd.2023.43532.2097>.
16. Motallebi-azar, A., Abbaspour khajeh, M., Panahandeh, J., Tarinejad, A., Jahanian, A., & Kahnemoui, A. (2023). The Effect of Graphene Oxide and Putrescine on In Vitro Microtuberization of Potato (*Solanum tuberosum*) cv. Agria at Nitrogen (NH₄NO₃) Deficiency Stress. *Agricultural Biotechnology Journal*, 15(3), 77-96. <https://doi.org/10.22103/jab.2023.19279.1394>.
17. Gopal, J., Chamail, A., & Sarkar, D. (2004). In vitro production of microtubers for conservation of potato germplasm: effect of genotype, abscisic acid, and sucrose. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 40(5), 485-490.
18. Borna, R. S., Hoque, M., & Sarker, R. (2019). In vitro Microtuber Induction and Regeneration of Plantlets from Microtuber Discs of Cultivated Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 29(1), 63-72. <https://doi.org/10.3329/ptcb.v29i1.41979>.
19. Feng, N., Yu, M., Li, Y., Jin, D., & Zheng, D. (2021). Prohexadione-calcium alleviates saline-alkali stress in soybean seedlings by improving the photosynthesis and up-regulating antioxidant defense. *Ecotoxicology and environmental safety*, 220, 112369.
20. Deng, R., Li, Y., Feng, N. J., Zheng, D. F., Du, Y. W., Khan, A., Xue, Y. B., Zhang, J. Q., & Feng, Y. N. (2024). Integrative Analyses Reveal the Physiological and Molecular Role of Prohexadione Calcium in Regulating

- Salt Tolerance in Rice. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(16), 9124.
21. Altintas, S. (2011). Effects of prohexadione-calcium with three rates of phosphorus and chlormequat chloride on vegetative and generative growth of tomato. *African Journal of Biotechnology*, 10(75), 17142-17151.
 22. Kang, S. M., Kim, J. T., Hamayun, M., Hwang, I. C., Khan, A. L., Kim, Y. H., Lee, J. H., & Lee, I. J. (2010). Influence of prohexadione-calcium on growth and gibberellins content of Chinese cabbage grown in alpine region of South Korea. *Scientia Horticulturae*, 125(2), 88-92.
 23. Oliveira, L. S. de, Fernandes, A. M., Soratto, R. P., Han, D., & Silva, R. M. D. (2021). Shoot growth, tuber yield and quality of two potato cultivars as affected by prohexadione-calcium application. *Revista Ceres*, 68, 411-419.
 24. Mungai, S. W., Cornelius M. W., & Mwashasha R. M. (2023). Effect of *in vitro* calcium fortification on regeneration and microtuberization of three selected irish potato varieties. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 10(4), 433-444.
 25. Ghadimi-Garkeroodi, P., Zaare-Nahandi, F., Motalebi Azar, A., & Dadpour, M. R. (2016). Optimization of *in vitro* microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Agria) using paclobutrazole and uniconazol. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(2), 213-220. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2016.58521>.
 26. Yagiz, A. K., Yavuz, C., Tarim, C., Demirel, U., & Caliskan, M. E. (2020). Effects of Growth Regulators, Media and Explant Types on Microtuberization of Potato. *American Journal of Potato Research*, 97(5), 523-530. <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09801-4>.

