

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Improving the Growth Characteristics of *Peperomia argyreia* Plant by Adding Different Concentrations of Potassium Silicate Silica and Hormonal Regulators Under *in vitro* Culture Conditions

Ghasemi Omran^{1*}, V. O. and Darvishi², S. M.

1. Assistant Professor, Citrus and Medicinal Plants Department, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Sabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2. Master's Degree in Agricultural Biotechnology, Biotechnology Department, Faculty of Agricultural Sciences, Sana Institute of Higher Education, Sari, Iran.

*: Corresponding Author Email: ghasemiomran@gmail.com

Received: 2024/11/16

Accepted: 2025/04/23

Introduction

Silicon is one of the most abundant mineral elements in the soil, which is widely used in various biological and non-biological fields. Due to its positive effect on the growth of plants and their tolerance to various stresses, this element has received attention in recent years in the production of plants in field cultivation and *in vitro* culture. One of the most famous silicates in the plant field research is potassium silicate. The present study was designed to investigate the effect of different concentrations of potassium silicate and plant growth regulators on the growth and direct regeneration parameters of watermelon *Pepromia* plant under *in vitro* culture conditions.

Materials and Methods

The leaf parts of one-year-old *Peperomia argyreia* mother plant were cultured after disinfection on MS culture medium containing 1 mgL⁻¹ of Benzyladenine (BA) and 0.5 mgL⁻¹ of Naphthalene acetic acid (NAA). Three months after cultivation, the regenerated shoots were cultivated in MS culture medium containing 0.5 mgL⁻¹ of IBA for rooting to produce sterile seedlings. In order to conduct the experiment, nodule explants from *in vitro* grown seedlings cultured on MS culture medium containing potassium silicate at three levels of zero, 100 and 1000 micromolar along with different concentrations of plant growth regulators BA and NAA at three levels of zero, 1 mgL⁻¹ BA + 0.5 mgL⁻¹ NAA and 3 mgL⁻¹ BA + 1.5 mgL⁻¹ NAA and the culture dishes were placed in the growth chamber under lighting conditions of 16/8 light/dark provided by fluorescent lamps with light intensity of 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and temperature of 24°C. Three months after applying the appropriate treatment and regeneration of the plants, the morphological and physiological indicators of the plants such as the number of stems, the number of leaves, the number of nodes, the height of the stem, the fresh weight and the dry weight of the plant and the amount of photosynthetic pigments were evaluated.

The experiment was conducted as a factorial in a completely randomized design. The factors included potassium silicate at three levels and different concentrations of plant growth regulators at three levels. Each treatment had three replicates and four explants in each replicate. The data obtained from the examination of each experiment was analyzed using the statistical software Infostat and the comparison of the average data was done by the LSD test. EXCEL software was used to draw graphs and record each data.

Results and Discussion

The highest rate of shoot regeneration was observed in all culture media containing plant growth regulators at the rate of 1 mgL⁻¹ BA + 0.5 mgL⁻¹ NAA. However, the addition of 100 and 1000 micromolar potassium silicate caused a significant increase in the number of regenerated shoots. The height of regenerated shoots in media with plant growth regulators was not affected by potassium silicate, however, the addition of potassium silicate to the MS culture medium without growth regulators had a significant effect on the height of regenerated stems, in such a way that the addition of 1000 micromolar potassium silicate to the MS culture medium resulted in the growth of regenerated shoots about 4 times. The highest number of nodes was also found in the regenerated shoots cultivated in the culture medium containing 100 micromolar potassium silicate along with plant growth regulators at the rate of 1 mgL⁻¹ BA + 0.5 mgL⁻¹ NAA with an average number of 7 nodes. Although the plants in the MS culture medium had a high amount of photosynthetic pigments, the increasing effect of potassium silicate cannot be ignored. It should be noted that the

Ghasemi Omran and Darvishi: Improving the Growth Characteristics of ...

highest amount of fresh weight was observed in the regenerated plants cultivated in the culture medium containing 1000 micromolar potassium silicate along with plant growth regulators at the rate of 1 mg^l⁻¹ BA + 5/ 0 mg^l⁻¹ NAA and 100 μM potassium silicate along with plant growth regulators at the rate of 3 mg^l⁻¹ BA + 1.5 mg^l⁻¹ NAA with an average weight of 0.33 grams.

Conclusion

In sum, the results of the present study showed that the use of potassium silicate in the culture medium of *Peperomia* plant has a positive effect on the regeneration and in vitro growth of this plant.

Keywords: Benzyladenine, Naphthalene acetic acid, Silicon

Citations Ghasemi Omran, V. O. and Darvishi, S. M. (2025). Improving the Growth Characteristics of *Peperomia argyreia* Plant by Adding Different Concentrations of Potassium Silicate Silica and Hormonal Regulators Under *in vitro* Culture Conditions, *Plant Production Technology*, 25(1), 55-67. <https://doi.org/10.22084/ppt.2025.30146.2142>

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Online ISSN: 2476-5651

Print ISSN: 2476-6321

بهبود شاخص‌های رشد گیاه پیرومیا هندوانه‌ای (*Peperomia argyreia*) با افزودن غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم و تنظیم‌کننده‌های هورمونی در شرایط کشت درون‌شیشه‌ای

Improving the Growth Characteristics of *Peperomia argyreia* Plant by Adding Different Concentrations of Potassium Silicate Silica and Hormonal Regulators Under *in vitro* Culture Conditions

ولی‌اله قاسمی عمران^{۱*} و سیده معصومه درویشی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳

(مقاله پژوهشی)

چکیده:

سیلیسیم یکی از فراوان‌ترین عناصر معدنی موجود در خاک است که به‌طور گسترده در زمینه‌های مختلف زیستی و غیرزیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از معروف‌ترین سیلیکات‌ها در زمینه پژوهش‌های گیاهی سیلیکات پتاسیم می‌باشد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های رشدی و باززایی مستقیم گیاه پیرومیا هندوانه‌ای در شرایط کشت درون‌شیشه‌ای طراحی گردید. بدین منظور ریزنمونه‌های گره از گیاهچه‌های سترون روی محیط کشت‌های MS حاوی سیلیکات پتاسیم در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار به‌همراه غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بنزیل آدنین (BA) و نفتالین استیک اسید (NAA) در سه سطح صفر، یک میلی‌گرم در لیتر BA + نیم میلی‌گرم در لیتر NAA و سه میلی‌گرم در لیتر BA + یک و نیم میلی‌گرم در لیتر NAA کشت شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان باززایی ساقه در نمونه‌های کشت شده در تمام محیط کشت‌های حاوی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به میزان یک میلی‌گرم در لیتر BA + نیم میلی‌گرم در لیتر NAA بود. با این حال افزودن سیلیکات پتاسیم به‌میزان ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار افزایش معنی‌داری در تعداد ساقه‌های باززایی شده را سبب شد. همچنین افزودن سیلیکات پتاسیم به‌میزان ۱۰۰۰ میکرومولار به محیط کشت پایه، در حدود چهار برابر رشد ساقه‌های باززایی شده را به‌دنبال داشت. در مجموع نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از سیلیکات پتاسیم در محیط کشت گیاه پیرومیا تأثیر مثبتی بر تکثیر و رشد این گیاه در شرایط کشت درون‌شیشه‌ای دارد.

واژه‌های کلیدی: بنزیل آدنین، نفتالین استیک اسید، سیلیسیم

ارجاع به مقاله: قاسمی عمران، و. و درویشی، س.م. (۱۴۰۴). بهبود شاخص‌های رشد گیاه پیرومیا هندوانه‌ای (*Peperomia argyreia*) با افزودن غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم و تنظیم‌کننده‌های هورمونی در شرایط کشت درون‌شیشه‌ای، *مجله فناوری تولیدات گیاهی*، ۲۵(۱)، ۵۵-۶۷. <https://doi.org/10.22084/ppt.2025.30146.2142>

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License

Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در

سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



شاپا چاپی: ۶۳۲۱-۲۴۷۶

شاپا الکترونیکی: ۵۶۵۱-۲۴۷۶

۱. استادیار، گروه مرکبات و گیاهان دارویی، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران
۲. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، رشته بیوتکنولوژی در کشاورزی، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم زراعی، مؤسسه آموزش عالی سنا، ساری، ایران

Email: ghasemiomran@gmail.com

*: نویسنده مسئول

۱. مقدمه

جنس *Peperomia* متعلق به خانواده Piperaceae بوده و تقریباً ۱۶۰۰ گونه عمدتاً گرمسیری را شامل می‌شود (Wanke et al., 2006). گونه‌های پیرومیا به عنوان گیاهان زینتی دارای ارزش اقتصادی قابل توجهی می‌باشند و برای مدت طولانی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Yunker, 1958). آنها به دلیل شاخ و برگ‌های زینتی و گل‌آذین‌های جذاب خود مورد توجه قرار دارند. همچنین، برخی از گونه‌ها دارای خواص دارویی هستند (Perry and Metzger, 1980). بسیاری از گونه‌های پیرومیا در جنگل‌های ابری در ارتفاعات بالاتر در مناطق گرمسیری رشد می‌کنند (Tebbs, 1993) و برخی هم پانتروپیکال^۱ (همه‌ی مناطق استوایی) هستند. آنها معمولاً به صورت اپیفیت‌ها، لیتوفیت‌ها یا گیاهان زمینی یافت می‌شوند و اغلب گیاهان کوچک یکساله یا چند ساله هستند (Suwanphakdee, 2012). برخی از گونه‌های این گیاه به صورت درختچه‌های کوچک و برخی دارای ساقه‌های بالارونده می‌باشند. بیشتر گیاهان این جنس فشرده و کم حجم هستند. از جمله گونه‌های پیرومیا که اغلب به عنوان گیاهان زینتی استفاده می‌شوند می‌توان به *Peperomia obtusifolia* (L.) Dielr و *Peperomia sandesii* اشاره کرد. *Peperomia argyreia* (Miq.) E.Morren یکی از جالب‌ترین گونه‌ها است که به دلیل داشتن برگ‌های راه راه سبز و سفید مانند هندوانه به 'پیرومیا هندوانه‌ای' معروف می‌باشد. پیرومیا هندوانه‌ای بومی شمال آمریکای جنوبی از جمله بولیوی، برزیل، اکوادور، و ونزوئلا است (Frenzke et al., 2015). این گیاه را می‌توان از طریق قلمه‌های ساقه، دمبرگ و برگ تکثیر کرد. تکثیر سنتی از طریق قلمه‌زنی به دلیل کند بودن و عدم توانایی در پاسخگویی به میزان تقاضا، ناکافی است. به همین دلیل، به نظر می‌رسد که ریزازدیادی بهترین روش برای حل این مشکل باشد (Sreekumar et al., 2001).

تکثیر تجاری توسط بذر گیاه نیز مشکل است زیرا بذرهای بسیار کوچک بوده و مرگ‌ومیر بالایی دارند. همچنین، گیاهانی که از بذرهای رشد می‌کنند دارای قیمت بسیار بالایی هستند (Ali et al., 2007). کشت بافت یک روش پایه‌ای و یک ابزار محوری بسیار عالی می‌باشد که برای کشت و تولید سلول‌های گیاهی، بافت‌های گیاهی و گیاهان کامل تحت شرایط محیطی

کنترل‌شده و مواد مغذی تعریف شده استفاده می‌شود. محیط‌کشت بافت گیاهی حاوی مواد مغذی معدنی و آلی است که رشد گیاه را حفظ می‌کند. برای بهبود رشد و تولید گیاه مورد نظر در شرایط آزمایشگاهی، محیط‌کشت اغلب بهینه می‌شود. البته میزان اصلاح محیط‌کشت تا حد زیادی توسط گونه‌های مورد استفاده تعیین می‌شود (Asmar et al., 2013). ترکیب نامناسب مواد مغذی ممکن است باعث اختلالات فیزیولوژیکی شود مانند شیشه‌ای شدن زیاد، نکروزه شدن انتهای ساقه و پیچ خوردگی به سمت بالای برگ‌ها که معمولاً در اثر غلظت نامناسب مواد مغذی معدنی در محیط‌کشت ناشی می‌شود (Reed et al., 2013). سیلیسیم یک شبه فلز چهار ظرفیتی و دومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن در خاک است که تقریباً ۱۸ درصد از پوسته خارجی زمین را شامل می‌شود. با این وجود، بیشتر منابع سیلیسیم در خاک به صورت آلومینوسیلیکات‌های متبلور است که نامحلول بوده و به طور مستقیم قابل استفاده برای گیاه نیست. این عنصر در گیاهان یک عامل فعال‌کننده است. در واقع ممکن است به عنوان علامتی برای فعال کردن پاسخ‌های دفاعی در برابر بیماری‌های گیاهی عمل کند (Ružić and Lazić, 2006). سیلیسیم در گیاهان موجب افزایش جذب مواد غذایی و فعالیت فتوسنتزی می‌باشد و خصوصیات مورفولوژیکی، آناتومی و فیزیولوژیکی گیاهان را بهبود می‌بخشد (Balakhnina and Borkowska, 2013).

تیمار سیلیسیم ماندگاری کالوس و اندام‌ها را بیشتر نموده و توانمندی باززایی را در گیاه افزایش می‌دهد. افزودن سیلیس به محیط‌کشت بافت تحمل به دمای پایین و سمیت فلزات سنگین و شوری را افزایش می‌دهد و مقاومت گیاهان به تنش‌های مختلف را با تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، ظرفیت اتصال کاتیونی دیواره‌های سلولی، سطح هورمون‌های درون‌زای گیاهی، افزایش تولید کیتیناز، گلوکان، لیگنین، فنولیک‌ها و فیتوالکسین‌ها، جذب مواد غذایی، بهبود کشسانی سلول و گیاه، حفظ ساختار روزنه، محتوای آب نسبی و کاهش جذب فلزات سنگین را بهبود می‌بخشد (Zhu and Gong, 2014). تأثیر این عنصر بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد که از این طریق توانایی گیاه برای استفاده مؤثر از نور را بالا می‌برد. سیلیسیم با ته‌نشین شدن در

۲. مواد و روش‌ها

گیاه مادری پیرومیا هندوانه‌ای یک‌ساله تهیه شده از گلخانه لوتوس شهرستان ساری برای بررسی و انجام آزمایش‌های مورد نظر به آزمایشگاه منتقل گردید. برگ گیاه پیرومیا هندوانه‌ای با مایع شوینده و آب شسته شد و پس از آبشویی، به مدت ۲۰ دقیقه توسط الکل اتیلیک ۷۰ درصد و هیپوکلریت سدیم دو درصد ضدعفونی گردید. سپس، قطعات برگ‌ی روی محیط‌کشت Murashige and Skoog (MS) حاوی یک میلی‌گرم در لیتر بنزیل آدنین (BA) و نیم میلی‌گرم در لیتر نفتالین استیک اسید (NAA) کشت شد (Murashige and Skoog, 1962). ظرف‌های کشت در اتاقک رشد تحت شرایط ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی که توسط لامپ‌های فلورسنت با شدت نور $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ تامین می‌شد و دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

نمونه‌های استریل هر ماه یکبار در محیط‌کشت مشابه واکشت شدند. سه ماه پس از کشت، ساقه‌های باززایی شده در محیط‌کشت MS حاوی نیم میلی‌گرم در لیتر IBA برای ریشه‌زایی واکشت شدند تا گیاهچه‌ی سترون تولید گردد.

برای اعمال تیمار، از گیاهچه‌ها ریزنمونه‌های گره به طول حدود نیم سانتی‌متر تهیه شد. سپس، ریزنمونه‌ها روی محیط کشت‌های MS حاوی سیلیکات پتاسیم در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار به همراه غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی BA و NAA در سه سطح صفر، یک میلی‌گرم در لیتر BA + نیم میلی‌گرم در لیتر NAA و سه میلی‌گرم در لیتر BA + یک و نیم میلی‌گرم در لیتر NAA کشت شدند. واکشت نمونه‌ها در محیط‌کشت مشابه هر ماه یکبار صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که به منظور تأمین قند محیط‌کشت، ۳۰ گرم در لیتر شکر به آن اضافه گردید و pH محیط‌کشت ۵/۸ تنظیم گردید.

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک نظیر تعداد ساقه، تعداد برگ، تعداد گره، ارتفاع ساقه، وزن تر و وزن خشک گیاه و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی سه ماه پس از اعمال تیمار از نمونه‌ها داده‌برداری صورت گرفت.

جهت اندازه‌گیری تغییرات میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، به ۰/۲ گرم از پودر نمونه ۱۸۰۰ میکرولیتر متانول خالص اضافه

دیواره سلولی آوندهای چوبی از فرو ریختن آنها در شرایط تعرق زیاد جلوگیری می‌کند و با استحکام بخشیدن به ساقه موجب کاهش خوابیدگی بوته می‌شود (Cherf, 1994). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تیمار سیلیسیم رشد و عملکرد محصول را در شرایط تنش غیرزیستی و زنده بهبود می‌بخشد (Artyszak et al., 2016). امروزه در ژاپن، سیلیسیم به عنوان یک عنصر ضروری زراعی در نظر گرفته می‌شود، زیرا اثرات مفید این عنصر از جمله افزایش رشد و کیفیت، تحریک فتوسنتز، کاهش تعرق و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های غیرزیستی و زیستی در چندین محصول کشاورزی به خوبی اثبات شده است (Ma and Takahashi, 2002). سیلیکات پتاسیم منبع غنی پتاسیم و سیلیسیم بوده و در تولیدات کشاورزی به عنوان یک اصلاح‌کننده سیلیس مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماده به بهبود عملکرد درخت، افزایش اندازه میوه، افزایش مواد جامد محلول، بهبود رنگ میوه، افزایش سطح اسید اسکوربیک، طولانی شدن ماندگاری و ارتقاء کیفیت حمل و نقل کمک می‌کند (Kanai et al., 2007). باتوجه به اینکه این ماده هیچ ترکیب آلی فراری در خود ندارد استفاده از آن موجب تولید محصولات جانبی خطرناک یا مضر برای محیط زیست نمی‌شود (Romero-Aranda et al., 2006). همچنین، به دلیل توانایی در افزایش مقاومت گیاه از طریق افزایش مکانیسم دفاعی، می‌تواند رشد و نمو گیاه را به ویژه در طول تنش‌های غیرزیستی (اسیدیته، شوری، خشکی و غیره) بهبود بخشد. علاوه بر این، گیاهانی که با سیلیکات پتاسیم تیمار می‌شوند دارای ساختاری مقاوم‌تر نسبت به سایر گیاهان هستند. این ویژگی منجر به افزایش رشد، بهبود زنده ماندن و تقویت توانایی تولید مثل آنها می‌شود (Fauteux et al., 2005). بهینه‌سازی کشت بافت گیاهان زینتی مختلف معمولاً با استفاده از تغییر در ترکیب محیط‌کشت یا تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی صورت می‌پذیرد. با توجه به اهمیت ترکیبات محیط کشت در باززایی گیاهان مختلف و نیاز به استفاده از عناصر و ترکیبات جدید با کارایی بیشتر و هزینه‌های کمتر، این تحقیق انجام شد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم و تنظیم‌کننده‌های رشد BA و NAA بر روی باززایی گیاه پیرومیا هندوانه‌ای در شرایط کشت درون-شیشه‌ای بود.

شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر و در تاریکی قرار گرفتند. پس از سانتریفیوژ (سه دقیقه با دور ۵۰۰۰ g) و برداشت مایع رویی، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cambridge, UK ثبت گردید و از معادلات زیر جهت برآورد میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید استفاده شد (Lichtenthaler, 1987).

$$\begin{aligned} \text{Chlorophylla } (\mu\text{gml}^{-1}) &= 16.72 A_{665.2} - 9.16 A_{652.4} \\ \text{Chlorophyllb } (\mu\text{gml}^{-1}) &= 34.09 A_{652.4} - 15.28 A_{665.2} \\ \text{Carotenoid } (\mu\text{gml}^{-1}) &= (1000 A_{470} - 1.63 \text{ Chla} - 104.96 \text{ Chlb}) / 221 \end{aligned}$$

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. فاکتورها شامل سیلیکات پتاسیم در سه سطح و غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سه سطح بود. هر تیمار دارای سه تکرار و چهار ریزنمونه در هر تکرار در نظر گرفته شد. داده‌های حاصل از بررسی هر آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری Infostat بررسی و مقایسه میانگین داده‌ها به وسیله آزمون LSD انجام شد. جهت رسم نمودارها و ثبت هر داده از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سیلیکات پتاسیم، تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل محیط کشت‌های حاوی سیلیکات پتاسیم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر ارتفاع گیاه، تعداد گره، تعداد برگ و وزن تر در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود. اثر سیلیکات پتاسیم و اثر متقابل محیط‌کشت‌های حاوی سیلیکات پتاسیم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر وزن برگ بازاریابی شده از ریزنمونه معنی‌دار نشد. اثر متقابل محیط‌کشت‌های حاوی سیلیکات پتاسیم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی صرفاً بر وزن خشک گیاه تفاوت معنی‌دار نشان داد. هیچ یک از اثرات اصلی محیط کشت‌های حاوی سیلیکات پتاسیم و محیط کشت‌های تنظیم‌کننده رشد گیاهی بر وزن خشک گیاه تأثیر معنی‌دار نداشتند (جدول ۱).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اضافه‌نمودن تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به محیط‌کشت به میزان یک

میلی‌گرم در لیتر BA + نیم میلی‌گرم در لیتر NAA منجر به افزایش تعداد ساقه‌های تولیدی و در نهایت پرآوری بهتر گیاه *Peperomia argyreia* می‌گردد. افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های هورمونی به میزان سه میلی‌گرم در لیتر BA + یک و نیم میلی‌گرم در لیتر NAA اثر افزایش‌دهی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی را خنثی نموده و در نتیجه غلظت بهینه برای القا ساقه همان میزان کمتر استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بود. با این حال، استفاده از سیلیکات پتاسیم نقش هم‌افزایی را در القا بازاریابی مستقیم داشت به گونه‌ای که افزودن ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار سیلیکات پتاسیم با سبب افزایش تعداد ساقه گردید (شکل ۲). پژوهش‌ها نشان دادند که افزودن سیلیس به محلول غذایی بسترهای بدون خاک خصوصیات رشدی، عملکرد و کیفیت چندین محصول زراعی را افزایش داد (Voogt and Sonneveld, 2001). در تحقیقی اثر سیلیسیوم بر روی افزایش تحمل شوری توسط تغییر آنزیم آنتی‌اکسیدان *Ajuga multiflora* Bunge مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد بعد از اعمال تنش شوری استفاده از سیلیکات‌ها موجب افزایش درصد شاخه‌های بازاریابی شده گردید (Sivanesan and Jeong, 2014).

استفاده از سیلیکات پتاسیم تأثیر به سزایی در رشد ساقه‌های بازاریابی شده داشت به گونه‌ای که افزودن ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار سیلیکات پتاسیم سبب افزایش ارتفاع ساقه‌ها گردید. اگرچه غلظت بالاتر سیلیکات پتاسیم به میزان ۱۰۰۰ میکرومولار بیشترین تأثیر را در ارتفاع ساقه‌ها داشت، نمی‌توان تأثیر غلظت پایین‌تر این ماده را نادیده گرفت. قابل توجه است که افزودن تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به محیط‌کشت سبب کاهش اثر افزایش‌دهنده سیلیکات پتاسیم شد. در نتیجه، بهترین محیط‌کشت برای افزایش ارتفاع ساقه‌های گیاه پیرومیا هندوانه‌ای محیط کشت‌های حاوی سیلیکات پتاسیم بدون استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بود. نتایج نشان داد که استفاده از سیلیکات پتاسیم به میزان ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار منجر به افزایش تعداد گره در ساقه‌های تولیدی می‌گردد.

Table 1: Variance analysis of the effects of plant growth regulators, Potassium silicate and their interaction on morphological traits of *Peperomia argyreia*

Sources of variance	df	Mean of Squares					
		Dry weight of shoot (mg)	Fresh weight of shoot (g)	Number of nodes	Number of leaves	Height of stems (cm)	Number of stems
Potassium silicate	2	27.55 ^{ns}	0.01*	11.03**	0.66 ^{ns}	96.51**	0.03 ^{ns}
PGRs	2	7.69 ^{ns}	0.02**	12.25**	27.18**	170.87**	15.61**
Potassium silicate × PGRs	4	25.80*	0.02**	7.92**	2.9 ^{ns}	67.92**	1.66 ^{ns}
Error	11	10	10	18	16	16	20
CV%		16.88	10.27	20.66	16.77	10.55	21.45

*, ** significant difference at 5% and 1%, respectively, ^{ns}: no significant difference

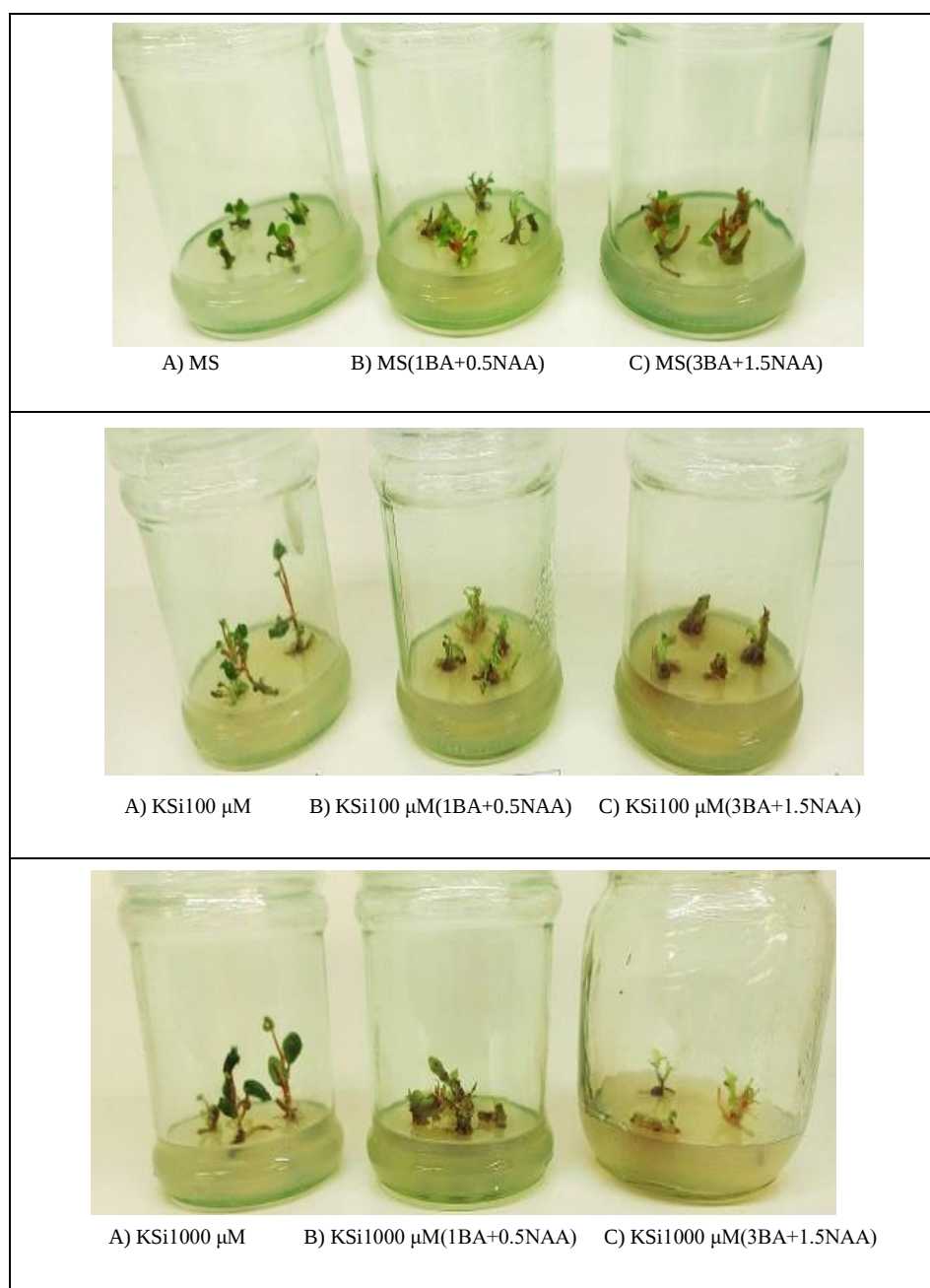


Fig. 1: *Peperomia argyreia* shoots regenerated from node explants two months after treatment in culture media containing different concentrations of potassium silicate (0, 100 and 1000 μM) and different concentrations of plant growth regulators (0, 1mgL⁻¹ BA +0.5mgL⁻¹ NAA and 3mgL⁻¹ BA+1.5mgL⁻¹ NAA).

قابل ذکر است که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به میزان یک میلی گرم در لیتر BA + نیم میلی گرم در لیتر NAA به محیط کشت اثر مثبتی در تأثیر سیلیکات‌ها بر تعداد گره‌های ایجاد شده در ساقه‌ها داشت به صورتی که اضافه نمودن تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به میزان یک میلی گرم در لیتر BA + نیم میلی گرم در لیتر NAA به محیط کشت حاوی پتاسیم سیلیکات ۱۰۰ میکرومولار منجر به تولید بیشترین تعداد گره در نمونه‌های تحت آزمایش شد. همچنین، اضافه نمودن تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به محیط کشت به میزان یک میلی گرم در لیتر BA + نیم میلی گرم در لیتر NAA منجر به افزایش تعداد برگ‌های تولیدی گیاه پیرومیا می‌گردد. افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های هورمونی به میزان سه میلی گرم در لیتر BA + یک و نیم میلی گرم در لیتر NAA اثر افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی را خنثی نموده و در نتیجه غلظت بهینه برای القا برگ همان میزان کمتر استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بود. با این حال، استفاده از سیلیکات پتاسیم نقش هم‌افزایی را در القا برگ‌زایی داشت به گونه‌ای که افزودن ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار سیلیکات پتاسیم سبب افزایش تعداد برگ گردید. قابل توجه است که اضافه نمودن سیلیکات پتاسیم به تنهایی و بدون حضور تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به محیط کشت نیز اثر مطلوبی بر تعداد برگ‌های تولیدی از نمونه‌ها داشت (شکل ۲). تفاوت در اثر منابع سیلیکات بر ارتفاع گیاه و تعداد گره مهم است. گزارش شده است که افزودن پنج میلی گرم در لیتر K₂SiO₃ و ۲۰ میلی گرم در لیتر Na₂SiO₃ به محیط Knudson C اصلاح شده باعث افزایش طول ساقه و تعداد شاخساره در گیاهان ارکیده شد (Soares et al., 2011). در پژوهشی دیگر نتایج حاصل از بررسی اثر سه سیلیکات پتاسیم، کلسیم و سدیم در غلظت‌های صفر، نیم، یک و دو میلی گرم در لیتر بر خصوصیات رشدی سیب‌زمینی شیرین نشان داد که بلندترین طول اندام هوایی (۴/۰۲ سانتی‌متر) در گیاهان کشت‌شده در محیط‌های حاوی یک میلی گرم در لیتر سیلیکات سدیم و بیشترین وزن تر گیاه در محیط‌های حاوی سیلیکات پتاسیم و کلسیم (به ترتیب ۰/۲۶۳ و ۰/۲۸۴ گرم) بود (Rodrigues et al., 2017).

نتایج تجزیه واریانس پژوهش حاضر نشان داد که سیلیکات پتاسیم، تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل محیط

کشت‌های حاوی سیلیکات پتاسیم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود. محیط کشت‌های حاوی سیلیکات پتاسیم و محیط کشت‌های حاوی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی هر کدام به تنهایی بر میزان کلروفیل a ریزنمونه‌ها اثر معنی‌دار داشتند؛ اما اثر متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل a ریزنمونه‌ها اثر معنی‌دار نداشت. همچنین، سیلیکات پتاسیم به تنهایی بر میزان کارتنوئید گیاهان اثر معنی‌داری نداشت. با این حال، اثر محیط کشت‌های حاوی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و اثر متقابل محیط کشت‌های حاوی سیلیکات پتاسیم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر میزان کارتنوئید گیاهان در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج نشان داد که اضافه نمودن تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به محیط کشت حاوی سیلیکات پتاسیم منجر به افزایش میزان وزن تر گیاه پیرومیا گردید به صورتی که بیشترین میزان وزن تر در گیاهان باززایی شده در محیط کشت‌های حاوی سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰ میکرومولار به همراه تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به میزان یک میلی گرم در لیتر BA + نیم میلی گرم در لیتر NAA و سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ میکرومولار به همراه تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به میزان سه میلی گرم در لیتر BA + یک و نیم میلی گرم در لیتر NAA مشاهده شد (شکل ۳). همچنین، اضافه نمودن تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به محیط کشت به میزان سه میلی گرم در لیتر BA + یک و نیم میلی گرم در لیتر NAA منجر به افزایش میزان وزن خشک در گیاهان باززایی شده می‌گردد و کاهش غلظت تنظیم‌کننده‌های هورمونی به میزان یک میلی گرم در لیتر BA + نیم میلی گرم در لیتر NAA اثر افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی را خنثی می‌نماید. قابل ذکر است که استفاده از سیلیکات پتاسیم نقش موثری در افزایش وزن خشک گیاهان داشت به صورتی که افزودن سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ میکرومولار به محیط کشت به میزان سه میلی گرم در لیتر BA + یک و نیم میلی گرم در لیتر NAA سبب افزایش میزان وزن گیاهان گردید. در حالی که غلظت بیشتر سیلیکات پتاسیم به میزان ۱۰۰۰ میکرومولار در ترکیب با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر وزن خشک گیاهان اثر منفی داشته و صرفاً به تنهایی موجب افزایش وزن خشک گیاهان می‌گردد (شکل ۳).

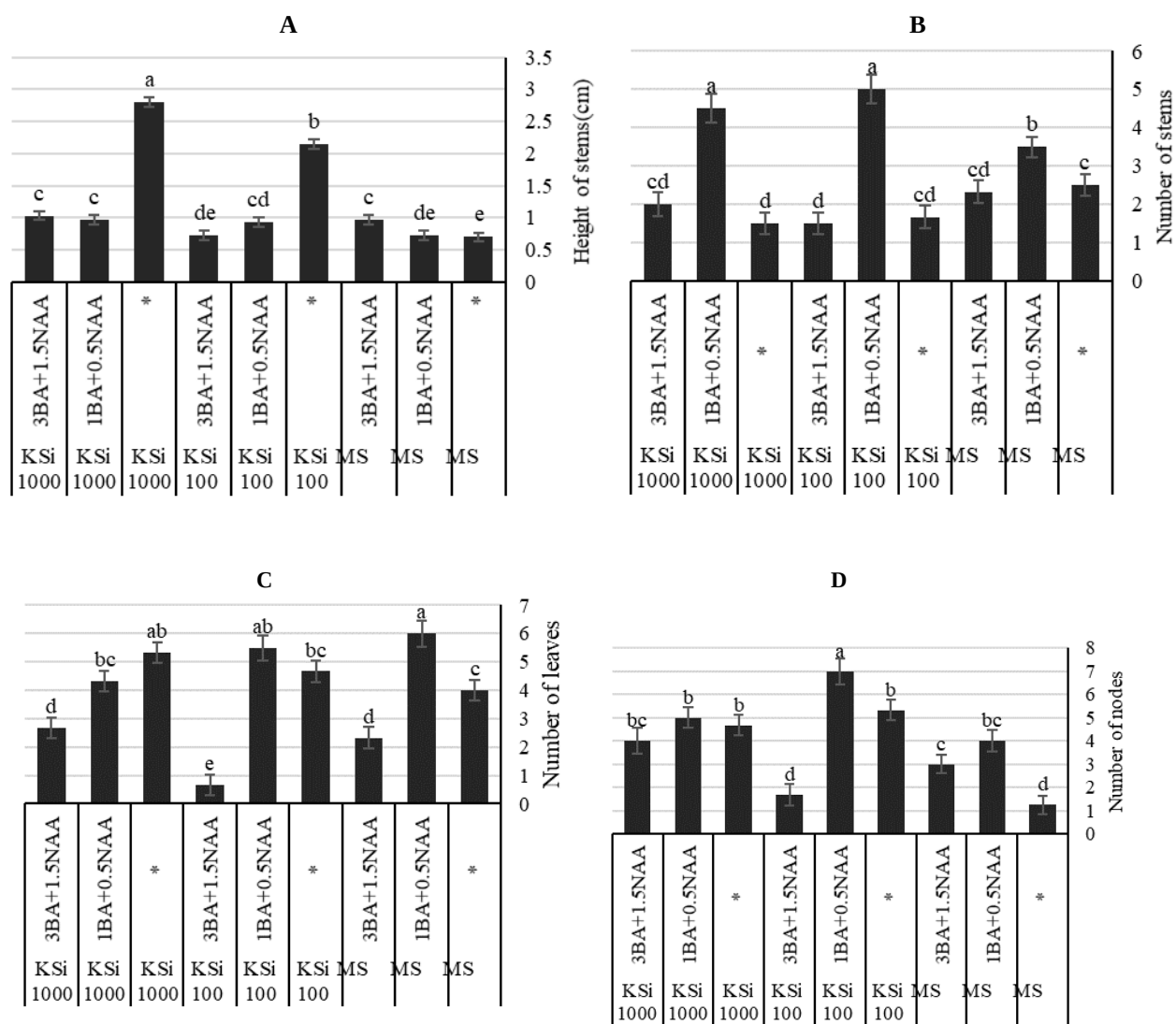


Fig. 2: Mean comparison of interaction effect of culture medium containing different concentrations of KSi (0, 100 and 1000 μM) and different concentrations of plant growth regulators (0, 1 mgL⁻¹ BA + 0.5 mgL⁻¹ NAA and 3 mgL⁻¹ BA+1.5 mgL⁻¹ NAA) on A) Height of stems B) the number of stems C) Number of leaves and D) Number of nodes induced from *Peperomia argyreia* explants in *In vitro* conditions after three months

غنچه در هر ساقه افزایش یافت (Abbasi et al., 2019). مطالعات آزمایشگاهی در مورد بررسی اثرات سیلیکات پتاسیم بر ویژگی‌های رشدی گیاه بگونیا سمپرفلورنس و گیاه پانسی (*Viola × wittrockiana*) نشان داده است که سیلیسیم به‌طور قابل توجهی وزن تر، محتوای کلروفیل و سطح برگ بگونیا و پانسی را افزایش داده است (Lim et al., 2012). در پژوهشی اثر غلظت‌های مختلف منابع سیلیسیم بر رشد و باردهی توت-فرنگی در کشت هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفت. پوهشگران بیان کردند که استفاده از سیلیکات پتاسیم به‌همراه سیلیکات سدیم در بهبود شاخص‌های رشدی و باردهی گیاه مؤثر است (Ghasemi et al., 2020).

پتاسیم نقش مهمی در تغذیه گیاه ایفا می‌کند و می‌تواند جابه‌جایی مواد جذب شده و سنتز پروتئین را افزایش دهد (Abd El-Gawad et al., 2017). همچنین، چندین فرآیند متابولیک گیاه را تنظیم می‌کند؛ بنابراین، در بزرگ شدن و تقسیم سلولی و افزایش تحمل به تنش گیاه شرکت می‌کند (Bidari and Hebsur, 2011). به‌علاوه، به‌دلیل نقش کلیدی‌ای که در تولید نشاسته و پروتئین ایجاد می‌کند منجر به افزایش وزن خشک گیاه می‌شود (Shabala, 2003). در این راستا پوهشگران اثر پتاسیم و نانوپتاسیم بر گیاه لیلیوم را بررسی کردند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در اثر استفاده از پتاسیم و نانوپتاسیم وزن خشک، رنگیزه‌های فتوسنتزی و تعداد

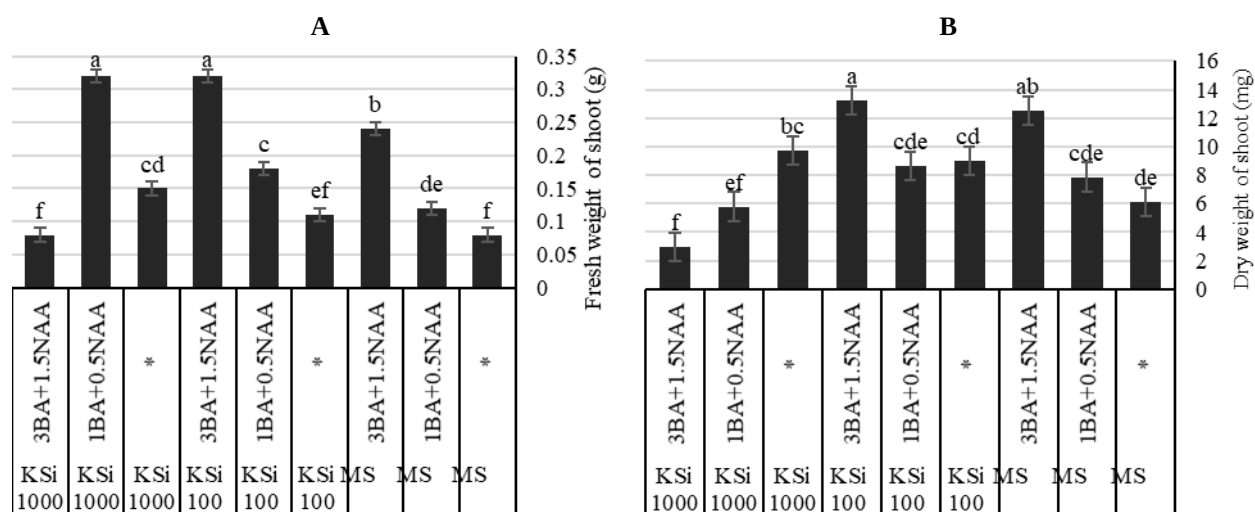


Fig. 3: Mean comparison of interaction effect of culture medium containing different concentrations of KSi (0, 100 and 1000 μM) and different concentrations of plant growth regulators (0, 1 mgL^{-1} BA + 0.5 mgL^{-1} NAA and 3 mgL^{-1} BA+1.5 mgL^{-1} NAA) on A) Fresh weight B) Dry weight of shoot of *Peperomia argyrea* explants in *In vitro* conditions after three months.

Table 2: Variance analysis of the effect of plant growth regulators, Potassium silicate and their interaction on *Peperomia argyrea* photosynthetic pigments

Sources of variance	df	Mean of Squares			
		Carotenoid (mg/gfw)	Total chlorophyll (mg/gfw)	Chlorophyll b (mg/gfw)	Chlorophyll a (mg/gfw)
Potassium silicate	2	0.03 ^{ns}	14.24**	3.54**	2.2**
PGRs	2	5.98**	517.05**	48.14**	225.79**
Potassium silicate $\times$ PGRs	4	0.10**	4.28**	0.88**	1 ^{ns}
Error	10	10	10	10	10
CV%		4.08	1.26	4.21	4.57

*, ** significant difference at 5% and 1%, respectively, ^{ns}: no significant difference.

بخشد. در نتیجه، نور خورشید به سطح بیشتری از برگ برخورد کرده و کارایی فتوسنتزی و محتوای کلروفیل را افزایش می‌یابد (Ahmad et al., 2013). کاربرد سیلیسیم محلول جهت تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بیوفسفات کربوکسیلاز در برگ لازم است. این آنزیم سوخت و ساز دی-اکسیدکربن را تنظیم کرده و در نتیجه کارایی تثبیت دی-اکسیدکربن توسط گیاهان را افزایش می‌دهد و در نهایت منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه می‌شود (Adatia and Besford, 1986). در پژوهشی، بررسی اثرات منابع مختلف سیلیسیم مانند Na_2SiO_3 ، K_2SiO_3 و CaSiO_3 بر خصوصیات تشریحی و رشد نهال توت فرنگی (*Fragaria $\times$ ananassa*) نشان داد که افزودن سیلیکات باعث افزایش سطح کلروفیل شد (Braga et al., 2009). پژوهشگران دریافتند که فعالیت فتوسنتزی و جذب مواد مغذی گیاهان به‌طور قابل ملاحظه‌ای با

اضافه نمودن تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به محیط‌کشت به‌میزان یک میلی‌گرم در لیتر BA + نیم میلی‌گرم در لیتر NAA و سه میلی‌گرم در لیتر BA + یک و نیم میلی‌گرم در لیتر NAA منجر به کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه پیرومیا هندوانه‌ای می‌گردد. اگرچه گیاهان در محیط‌کشت پایه از میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی بالایی برخوردار بودند، نمی‌توان اثر افزایش سیلیکات پتاسیم را نادیده گرفت. قابل توجه است که افزودن سیلیکات پتاسیم به‌میزان ۱۰۰۰ میکرومولار به محیط-کشت پایه اثر افزایش بیشتری نسبت به غلظت پایین‌ترین ماده داشت به‌صورتی که بیشترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی را می‌توان به‌ترتیب در گیاهان کشت شده در محیط‌کشت حاوی سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰ میکرومولار، محیط‌کشت پایه و محیط‌کشت حاوی سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ میکرومولار مشاهده کرد (شکل ۴). سیلیکات پتاسیم ایستادگی برگ‌ها را بهبود می-

برگ گیاه گزارش شده است که تعرق را تعدیل می‌کند و منجر به کاهش اتلاف آب می‌شود (Mitani and Ma, 2005).

افزودن سیلیسیم افزایش یافت. نشان داده شده است که سیلیسیم با تغییر فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی، تحمل به تنش را افزایش می‌دهد. در این رابطه، سیلیسیم رسوب شده در اپیدرم

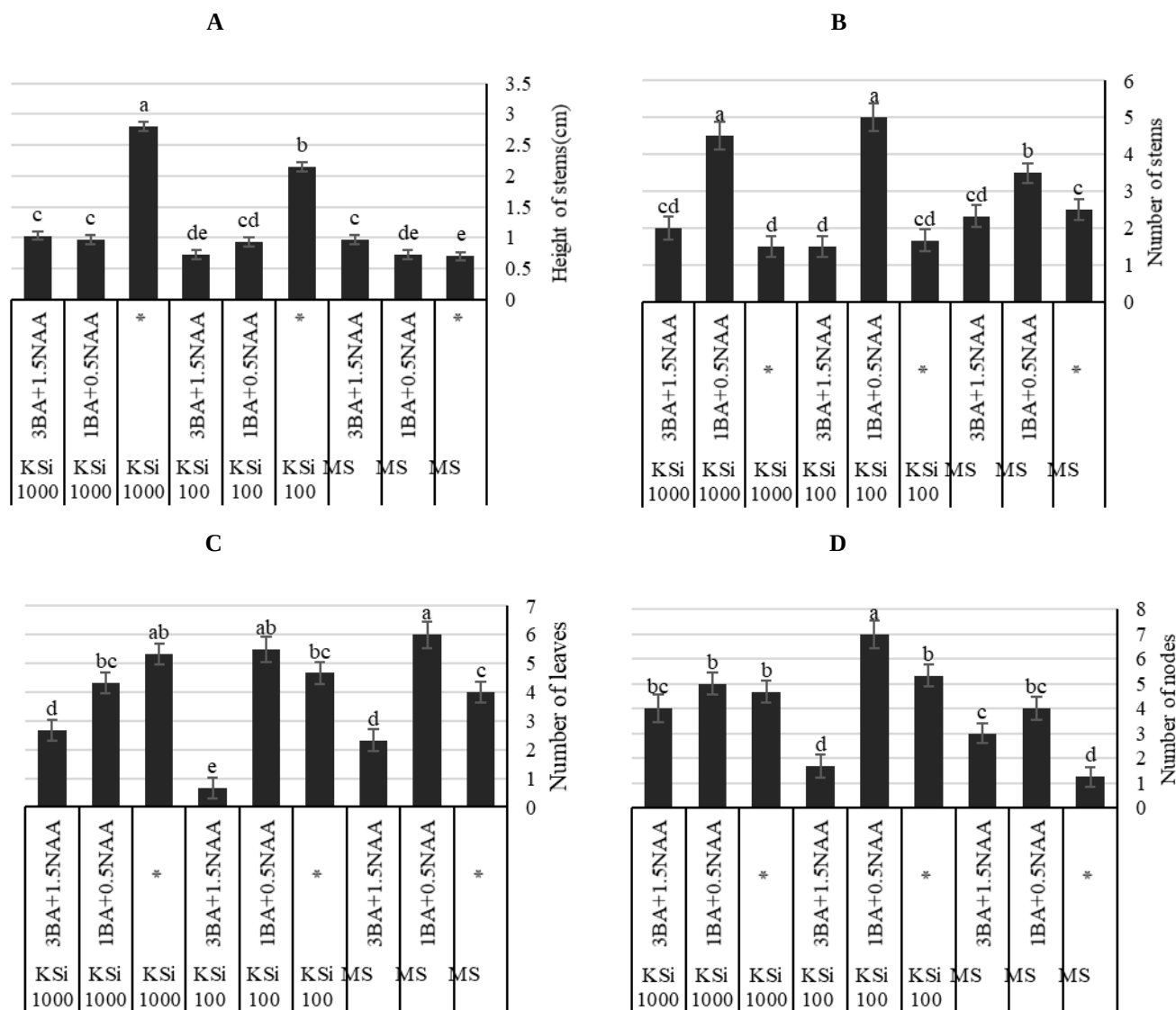


Fig. 4: Mean comparison of interaction effect of culture medium containing different concentrations of KSi (0, 100 and 1000 μM) and different concentrations of plant growth regulators (0, 1 mgL^{-1} BA + 0.5 mgL^{-1} NAA and 3 mgL^{-1} BA + 1.5 mgL^{-1} NAA) on A) Chlorophyll a B) Chlorophyll b C) Total chlorophyll D) Carotenoid of *Peperomia argyrea* explants in *In vitro* conditions after three months.

۴. نتیجه‌گیری کلی

محیط‌کشت برای القا برگ‌زایی و همچنین افزایش تعداد گره پیشنهاد می‌گردد. محیط‌کشت حاوی سیلیکات پتاسیم فاقد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در بهبود شاخص‌هایی همچون ارتفاع ساقه و رنگیزه‌های فتوسنتزی نسبت به سایر محیط‌های کشت مؤثرتر بود. همچنین بایستی به این نکته توجه کرد که کشت در محیط‌کشت حاوی سیلیکات پتاسیم به همراه

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از سیلیکات پتاسیم تأثیر به‌سزایی در بهبود شاخص‌های رشدی گیاه پیرومیا هندوانه‌ای دارد. اگر هدف تکثیر گیاه پیرومیا هندوانه‌ای باشد کشت در محیط‌کشت حاوی سیلیکات پتاسیم به همراه تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی یک میلی‌گرم در لیتر BA + نیم میلی‌گرم در لیتر NAA پیشنهاد می‌گردد. این ترکیب

۵. سیاست‌گذاری تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی موجب افزایش وزن تر و خشک گیاهان نیز می‌گردد.

پژوهش حاضر براساس گرت شماره GABIT-01/D/PI291 در پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. از حمایت این مجموعه در فراهم آوردن امکانات لازم جهت انجام این پژوهش، تشکر می‌شود.

۶. منابع

- Abbasi, F., Khaleghi, A. and Khadivi, A. (2019). The effect of potassium and nano-potassium on some physiological and biochemical traits of Asiatic Liliun hybrid cv. Tresor. *Plant Productions*, 42(2): 253-264. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.24505.1553>
- Abd El-Gawad, H., El-Azm, N. A. and Hikal, M. (2017). Effect of potassium silicate on tuber yield and biochemical constituents of potato plants grown under drought stress conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 6(3): 718-731. <https://www.researchgate.net/publication/348845226>
- Adatia, M. and Besford, R. (1986). The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of botany*, 58(3): 343-351. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087212>
- Ahmad, A., Afzal, M., Ahmad, A. and Tahir, M. (2013). Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.). <https://doi.org/10.2478/v10298-012-0089-3>
- Ali, A., Munawar, A. and Naz, S. (2007). An in vitro study on micropropagation of *Caladium bicolor*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9(5): 731-735. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20073271241>
- Artyszak, A., Gozdowski, D. and Kucińska, K. (2016). The effect of calcium and silicon foliar fertilization in sugar beet. *Sugar Tech*, 18:109-114. <https://doi.org/10.1007/s12355-015-0371-4>
- Asmar, S. A., Pasqual, M., de Araujo, A. G., Silva, R. A. L., Rodrigues, F. A. and Pio, L. A. S. (2013). Características morfofisiológicas de bananeiras 'Grande Naine' aclimatizadas em resposta a utilização de silício in vitro. *Semina : Ciências Agrárias*, 34(1): 73-81. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n1p73>
- Balakhnina, T. and Borkowska, A. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses. *International Agrophysics*, 27(2). <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0089-4>
- Bidari, B. and Hebsur, N. (2011). Potassium in relation to yield and quality of selected vegetable crops. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24(1). <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=108348e6b41f12f4837a9d8d40b91fb413caef19>
- Braga, F. T., Nunes, C. F., Favero, A. C., Pasqual, M., Carvalho, J. G. d. and Castro, E. M. d. (2009). Anatomical characteristics of the strawberry seedlings micropropagated using different sources of silicon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44: 128-132. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000200003>
- Cherf, W. J. (1994). What's in a name? The Gerontii of the Later Roman Empire. *Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik*, 145-174. <http://www.jstor.org/stable/20189021>
- Fauteux, F., Rémus-Borel, W., Menzies, J. G. and Bélanger, R. R. (2005). Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology letters*, 249(1):1-6. <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2005.06.034>
- Frenze, L., Scheiris, E., Pino, G., Symmank, L., Goetghebeur, P., Neinhuis, C., Wanke, S. and Samain, M. S. (2015). A revised infrageneric classification of the genus *Peperomia* (Piperaceae). *Taxon*, 64(3):424-444. <https://doi.org/10.12705/643.4>
- Ghasemi, K., Ghajar Sepanlou, M. and Hadadinejad, M. (2020). Effect of silicon nutrition on strawberry cv. camerosa yield and growth in outdoor hydroponic system. *Plant Productions*, 43(1):93-106. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.26611.1634>
- Kanai, S., Ohkura, K., Adu-Gyamfi, J., Mohapatra, P., Nguyen, N., Saneoka, H. and Fujita, K. (2007). Depression of sink activity precedes the inhibition of biomass production in tomato plants subjected to potassium deficiency stress. *Journal of experimental botany*, 58(11): 2917-2928. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm149>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll fluorescence signatures of leaves during the autumnal chlorophyll breakdown. *Journal of plant physiology*, 131(1-2): 101-110. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(87\)80271-7](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(87)80271-7)
- Lim, M. Y., Lee, E. J., Jana, S., Sivanesan, I. and Jeong, B. R. (2012). Effect of potassium silicate on growth and leaf epidermal characteristics of begonia and pansy grown in vitro. *Horticultural Science and Technology*, 30(5):579-585. <https://doi.org/10.7235/hort.2012.12062>
- Ma, J. F. and Takahashi, E. (2002). *Soil fertilizer, and plant silicon research in Japan*, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51166-9.X5000-3>

- Mitani, N. and Ma, J. F. (2005). Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of experimental botany*, 56(414): 1255-1261. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri121>
- Murashige, T. and Skoog, F. (1962). A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 15 (3): 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Perry, L. M. and Metzger, J. (1980). *Medicinal plants of East and Southeast Asia: attributed properties and uses*, 34:361. <https://doi.org/10.1007/BF02858311>
- Reed, B. M., Wada, S., DeNoma, J. and Niedz, R. P. (2013). Mineral nutrition influences physiological responses of pear in vitro. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 49: 699-709. <https://doi.org/10.1007/s11627-013-9556-2>
- Rodrigues, F. A., Alves Lara Silva Rezende, R., Rodrigues Soares, J. D., Pasqual, M. and de Oliveira e Silva, S. (2017). Application of silicon sources in yam (*Dioscorea* spp.) micropropagation. *Australian Journal of Crop Science*, 11(11):1469-1473. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.11.pne685>
- Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. and Cuartero, J. (2006). Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of plant physiology*, 163(8): 847-855. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.05.010>
- Ružić, D. and Lazić, T. (2006). Micropropagation as means of rapid multiplication of newly developed blackberry and black currant cultivars. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 71(4): 149-153. <https://acs.agr.hr/acs/index.php/acs/rt/context/138/0/163>
- Sahebi, M., Hanafi, M. M. and Azizi, P. (2016). Application of silicon in plant tissue culture. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 52: 226-232. <https://doi.org/10.1007/s11627-016-9757-6>
- Shabala, S. (2003). Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level. *Annals of botany*, 92(5): 627-634. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg191>
- Sivanesan, I. and Jeong, B. R. (2014). Silicon promotes adventitious shoot regeneration and enhances salinity tolerance of *Ajuga multiflora* Bunge by altering activity of antioxidant enzyme. *The Scientific World Journal*, 1:521703. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/521703>
- Soares, J. D. R., Pasqual, M., Rodrigues, F. A., Villa, F. and Araujo, A. d. (2011). Silicon sources in the micropropagation of the *Cattleya* group orchid. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33: 503-507. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i3.6281>
- Sreekumar, S., Mukunthakumar, S. and Seeni, S. (2001). Morphogenetic responses of six *Philodendron* cultivars in vitro. *Indian Journal of Experimental Biology*, 39:1280-1287. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/24084>
- Suwanphakdee, C. (2012). Systematics and utilization of the family Piperaceae in Thailand. PhD dissertation, Graduate School, Khon Kaen University, Thailand. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/ThaiForestBulletin/article/view/166885>
- Tebbs, M. (1993). Piperaceae. In *Flowering Plants: Dicotyledons: Magnoliid, Hamamelid and Caryophyllid Families*. Springer, 516-520. https://doi.org/10.1007/978-3-662-02899-5_60
- Voogt, W. and Sonneveld, C. (2001). Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In *Studies in Plant Science*, Elsevier, 8, 115-131. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80010-0](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80010-0)
- Wanke, S., Samain, M.-S., Vanderschaeve, L., Mathieu, G., Goetghebeur, P. and Neinhuis, C. (2006). Phylogeny of the genus *Peperomia* (Piperaceae) inferred from the trnK/matK region (cpDNA). *Plant Biology*, 8(01): 93-102. <https://doi.org/10.1055/s-2005-873060>
- Yuncker, T. G. (1958). The Piperaceae-A family profile. *Brittonia*, 1-7. <https://doi.org/10.2307/2804687>
- Zhu, Y. and Gong, H. (2014). Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for sustainable development*, 34:455-472. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0194-1>