مقاله علمی پژوهشی
مجله دوفصل نامه
مهندسی ژنتیک و ایمنی زیستی
ISSN 2588-5073 چاپی
ISSN 2588-5081 الکترونیکی online
دوره ۱۳، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳
صفحه ۲۱۲-۲۰۴

Research Article
Genetic Engineering and Biosafety Journal 2025
Volume 13, Number 2, Pages: 204-212

http://gebsj.ir/

https://ecc.isc.ac/showJournal/23064

10.61882/gebsj.13.2.5

بررسی وابستگی ژنوتیپی باززایی درون‌شیشه‌ای گیاه بنفشه آفریقایی

Investigating the Genotype Dependency of *in vitro* Regeneration of African Violet

محمد احمدآبادی*[۱]، مریم باقری بهل[۲]، لیلا داوروش[۲]

Mohammad Ahmadabadi*[1], Maryam Bagheri Bohl[2], Leyla Davarvash[2]

۱ -دانشیار و ۲- دانشجوی سابق، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

1. Associate professor and 2. former MSc student, Department of Biotechnology, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

Corresponding Author, Email: نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی

m.ahmadabadi@azaruniv.ac.ir ؛ ahmadabadiir@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱- تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵)

Received: 2025/01/14 | Accepted: 2025/03/01 | Published: 2025/03/15

چکیده

Abstract

African violet is one of the popular ornamental plants with high diversity, that is propagated through asexual methods due to the lack of a proper sexual reproduction method. Despite the great genotypic diversity in this plant, no study has been reported on the genotype dependency of its *in vitro* regeneration. In this research, to evaluate *in vitro* regeneration potential, fifteen different African violet ecotypes with prominent phenotypic differences were cultured on the optimized regeneration medium. The results showed that all the studied genotypes have the ability to regenerate on this medium and, except for two ecotypes, the rest were placed in three statistical groups close to each other. These results prove the conservation of major factors involved in regeneration potential in different genotypes of African violets over time. This conservation can be related to the need of this plant for alternative reproduction methods due to the lack of an accurate sexual reproduction system. However, the number of regenerated seedlings from each explant was highly different in various ecotypes, which could be due to the interaction of other environmental conditions in addition to hormones in the activation of genetic and epigenetic factors necessary to prime cell fate towards plant regeneration through one of the mechanisms of somatic embryogenesis or organogenesis. In general, it can be concluded that in the African violet plant, regeneration mechanisms have been preserved in all genotypes, however, their activation in different genotypes to increase the number of regenerants per explant is dependent on optimizing environmental factors.

Keywords: African violet, genotype dependence, *in vitro* propagation, regeneration potential

رفرانس دهی این مقاله Citation

Ahmadabadi M, Bagheri Bohl M, Davarvash L. (2025). Investigating the genotype dependency of in vitro regeneration of African violet. Genetic Engineering and Biosafety Journal, 13 (2) : 204-212. Doi: 10.61882/gebsj.13.2.5
URL: http://gebsj.ir/article-1-511-en.html

احمدآبادی محمد، باقری بهل مریم، داوروش لیلا. ۱۴۰۳. بررسی وابستگی ژنوتیپی باززایی درون‌شیشه‌ای گیاه بنفشه آفریقایی. مهندسی ژنتیک و ایمنی زیستی. ۱۳ (۲): ۲۰۴- ۲۱۲

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.2.5]

Genetic Engineering and Biosafety Journal
Volume 13, Number 2, 2025

خلاصه

بنفشه آفریقایی یکی از گیاهان زینتی محبوب با تنوع بسیار بالا می‌باشد، که به‌دلیل عدم وجود سیستم تولیدمثل جنسی مناسب، تکثیر و تولید آن از روش‌های غیرجنسی انجام می‌شود. با وجود تنوع زیاد ژنوتیپی در این گیاه، مطالعه‌ای بر روی وابستگی باززایی آن در شرایط درون-شیشه‌ای به ژنوتیپ گزارش نشده است. در این پژوهش، پانزده اکوتیپ مختلف با تفاوت‌های برجسته ظاهری از نظر پتانسیل باززایی درون-شیشه‌ای روی محیط کشت بهینه، کشت شدند. نتایج نشان داد که همه ژنوتیپ‌های مورد بررسی قابلیت باززایی روی این محیط کشت را دارند که به جز دو اکوتیپ، بقیه در سه گروه نزدیک به هم قرار گرفتند. این نتایج حفظ شدن عوامل اصلی دخیل در پتانسیل باززایی را در ژنوتیپ‌های مختلف بنفشه آفریقایی در طول زمان اثبات می‌کند. این حفاظت می‌تواند به نیاز این گیاه به روش‌های تکثیر جایگزین به دلیل عدم وجود سیستم تولید مثل جنسی مناسب مرتبط باشد. با این حال، تعداد گیاهچه‌های باززا شده از هر ریزنمونه در اکوتیپ‌های مختلف به شدت متفاوت بود، که می‌تواند به اثر متقابل سایر شرایط محیطی علاوه بر هورمونها در فعال‌سازی عوامل ژنتیکی و اپی‌ژنتیکی لازم برای هدایت سرنوشت سلول‌ها به سمت باززایی گیاه از طریق یکی از مکانیسم‌های جنین‌زایی سوماتیکی یا اندام‌زایی مربوط باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت در گیاه بنفشه آفریقایی مکانیسم‌های باززایی گیاه در تمام ژنوتیپ‌ها حفظ شده است، با این حال، فعال‌سازی آنها در ژنوتیپ-های مختلف برای افزایش تعداد گیاهچه‌ها در واحد سطح ریزنمونه به بهینه‌سازی عوامل محیطی وابسته است.

کلیدواژه‌ها: بنفشه آفریقایی، پتانسیل باززایی، تکثیر درون‌شیشه‌ای، وابستگی به ژنوتیپ

مقدمه

Introduction

بنفشه آفریقایی با نام علمی *Saintpaulia ionantha* Wendl. یک گیاه زینتی مهم از نظر اقتصادی است که اکوتیپ‌های مختلفی با رنگ‌ها و اشکال مختلف دارد. رایج‌ترین روش سنتی برای تکثیر بنفشه آفریقایی استفاده از قلمه برگ است که بسیار زمان‌بر است و تنها تعداد محدودی گیاه از این طریق تولید می‌شود. بنابراین، توسعه روشی برای تکثیر سریع این گیاه، باعث پیشرفت اقتصادی زیادی در صنعت گیاهان زینتی خواهد شد. فناوری کشت بافت یا کشت درون‌شیشه‌ای یکی از روش‌هایی است که امکان تکثیر سریع گیاه را در زمان کوتاه و فضای محدود فراهم می‌کند. باززایی گیاه در کشت بافت به دو روش جنین‌زایی سوماتیکی و اندام‌زایی اتفاق می‌افتد (Hicks, 1994; Jia *et al*., 2009). در فرآیند جنین‌زایی، ساختارهای دوقطبی که شبیه جنین‌های زیگوتی هستند، از سلول-های سوماتیکی ایجاد می‌شوند. در اندام‌زایی، ابتدا پریموردیای تک قطبی تشکیل می‌شود که متعاقباً اندام ساقه یا ریشه از آن منشا می-گیرد. بطور کلی، باززایی درون‌شیشه‌ای فرآیندی پیچیده است که تحت تأثیر چندین عامل درون‌زا و خارجی با اثرات تجمعی قرار می‌گیرد. پتانسیل جنین‌زایی/اندام‌زایی تنها در سلول‌هایی از ریزنمونه رخ می‌دهد که «شایستگی» پاسخ به جنین‌زایی یا اندام-زایی را کسب کرده باشند (Elhiti & Stasolla, 2011). ژنوتیپ به-عنوان مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده کسب پتانسیل باززایی شناخته می‌شود که به راحتی با تنوع در پاسخ باززایی در بین ژنوتیپ‌های مختلف یک گونه قابل مشاهده است (Akasaka-Kennedy *et al*., 2005; Shumilina *et al*., 2020; Thengane *et al*., 1994; Vijayan *et al*., 2000). با توسعه ابزارهای مولکولی، تحقیقات گسترده‌ای برای شناسایی مکانیسم‌های ژنتیکی پاسخ به کشت بافت انجام شده است. با این وجود، در حال حاضر، پیش‌بینی محیط رشد و پروتکل دقیق باززایی گیاه از یک ریزنمونه خاص عملا غیرممکن است. در پژوهش حاضر، برای بررسی اثر ژنوتیپ روی پتانسیل باززایی گیاه بنفشه آفریقایی، اکوتیپ‌های مختلفی که از نظر فنوتیپی تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای از هم داشتند، در محیط باززایی

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.2.5]

بهینه‌شده کشت شده و از نظر پتانسیل باززایی و تعداد گیاهچه‌های باززا شده ارزیابی شدند.

باززایی درون‌شیشه‌ای گیاهان یک ابزار مهم برای تکثیر تجاری گیاهان و اصلاح مولکولی آنها است. با این حال، فرآیند باززایی گیاه کامل از یک سلول سوماتیکی که شامل جنین‌زایی سوماتیکی و یا اندام‌زایی ریشه و ساقه می‌شود، به عوامل متعددی از قبیل شرایط رشد گیاه مادری، ترکیب محیط و شرایط کشت و ژنوتیپ بستگی دارد (Yan *et al*., 2023). در این میان، به نظر می‌رسد ژنوتیپ عامل مهم‌تری برای کارایی کشت درون‌شیشه‌ای باشد. برای مثال در کشت بساک گیاه آفتابگردان، ژنوتیپ تاثیر بسیار معنی‌داری در قابلیت جنین‌زایی سوماتیکی و باززایی گیاهچه از جنین‌های القاء شده نشان داده است (Thengane *et al*., 1994). در گیاه توت درختی نیز، تفاوت معنی‌داری در پاسخ به باززایی گیاه از قطعات برگ ژنوتیپ‌های مختلف مشاهده شد (Vijayan *et al*., 2000). در بررسی باززایی از قطعات برگ ٤٨ ژنوتیپ گیاه کلزا، تنوع بسیار زیادی در قابلیت باززایی ساقه (بین ۰ تا ۱۰۰٪) و تعداد جوانه شاخسار در هر ریزنمونه (از ۰ تا ۷/۵ عدد) مشاهده شد (Akasaka-Kennedy *et al*., 2005). در یک مطالعه دیگر روی تاثیر ژنوتیپ در قابلیت جنین‌زایی و باززایی گیاه از میکروسپورهای کلزا، نتایج مشابهی بدست آمد (Shumilina *et al*., 2020) که نشان‌دهنده اثر معنی‌دار ژنوتیپ بر روی نرخ باززایی از ریزنمونه‌های مختلف در یک گیاه می‌باشد. اثر ژنوتیپ روی قابلیت باززایی می‌تواند ناشی از حضور یا عدم حضور ژن‌های کنترل‌کننده این فرآیند در ژنوم، و یا کنترل بیان این ژنها و تغییر آنها در جهت فعال‌سازی مسیرهای سیگنال‌دهی باززایی باشد (Bull & Michelmore, 2022). در آزمایش‌های کشت بافت معمولا اضافه کردن اکسین و سیتوکینین نقش عمده‌ای در تنظیم این مسیرها در مراحل اولیه باززایی ایفا می‌کنند که با تغییر بیان ژنها در ژنوم همراه هستند. اینکه در یک گیاه بافت‌های مختلف به یک محیط کشت مشابه پاسخ متفاوتی می‌دهند نیز ناشی از تفاوت آنها در نقشه بیان ژن می‌باشد که در نتیجه، باعث تفاوت در مسیرهای سیگنال‌دهی ایجاد شده توسط عوامل تنظیم‌کننده رشد استفاده شده در محیط کشت می‌شود (Lardon & Geelen, 2020). در اکثر سیستم‌های باززایی، مواد برگی به دلایل مختلف از قبیل سهولت تهیه از گیاهچه‌های سترون حاصل از جوانه‌زنی بذر در زمان کوتاه، به‌عنوان منبع ریزنمونه ترجیح داده می‌شود. تاکنون، باززایی موفق گیاه از قسمت‌های مختلف بنفشه آفریقایی از جمله بافت زیر اپیدرمی (Bilkey & Cocking, 1981)، بساک (Weatherhead *et al*., 1982)، پروتوپلاست (Hoshino *et al*., 1995; Winkelmann & Grunewaldt, 1995)، دمبرگ (Mithila *et al*., 2003; Saltveit & Hepler, 2004; Sunpui & Kanchanapoom, 2002) و جوانه های گل (Daud & Taha, 2008; Molgaard *et al*., 1991) گزارش شده است. مطالعات زیادی نیز روی باززایی گیاه بنفشه آفریقایی از ریزنمونه برگی (Cooke, 1977; Daud *et al*., 2008; Mithila *et al*., 2003; Shukla *et al*., 2013; Smith & Norris, 1983; Start & Cumming, 1976; Sunpui & Kanchanapoom, 2002) انجام شده است. با این وجود، تا کنون مطالعه‌ای روی میزان تنوع پاسخ‌دهی ژنوتیپ‌های مختلف بنفشه آفریقایی به باززایی درون‌شیشه‌ای گزارش نشده است. در این تحقیق، پاسخ ۱۵ ژنوتیپ بنفشه آفریقایی به باززایی از ریزنمونه برگی روی محیط بهینه شده (Ghorbanzade & Ahmadabadi, 2014) ارزیابی گردید.

مواد و روش‌ها

Materials and Methods

تهیه اکوتیپ‌ها و ایجاد کشت‌های سترون

پانزده اکوتیپ مختلف بنفشه آفریقایی با شکل و رنگ بوته و گل‌های متفاوت از استان‌های گیلان و آذربایجان‌شرقی جمع‌آوری و برای آزمایش‌ها استفاده شدند. برای ضدعفونی سطحی، ابتدا مواد گیاهی (قطعات برگ و دمبرگ) زیر آب جاری شسته شده و با اتانول ۷۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه تیمار شدند. پس از شستشو با آب مقطر استریل، نمونه‌ها در هیپوکلریت سدیم ۵ درصد (تجاری) به مدت ۱۵ دقیقه غوطه‌ور شدند. در نهایت قطعات گیاهی سه مرتبه با آب مقطر استریل شستشو داده شده و برای تهیه گیاهان مادری استریل روی محیط MS (Murashige & Skoog, 1962) پایه کشت داده شدند.

تهیه ریزنمونه‌های برگی و کشت آنها در محیط باززایی

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.2.5]

نمونه‌های برگی جوان با موقعیت مشابه از گیاهچه‌های استریل ٤ هفته‌ای جدا شده و بر روی پتری‌دیش حاوی کاغذ صافی مرطوب استریل به قطعات ۵×۵ میلی‌متری برش داده شدند. سپس قطعات برگ به‌صورت تصادفی بر روی محیط کشت بهینه‌شده برای باززایی بنفشه آفریقایی(Ghorbanzade & Ahmadabadi, 2014) (LS (Linsmaier & Skoog, 1965) حاوی ۳۰ گرم در لیتر ساکارز و mg/l ۱ تیدیازورون) کشت شدند. مقدار pH محیط کشت روی ۵/۸ تنظیم گردید و محیط کشت‌ها با افزودن ۷ گرم در لیتر آگار- آگار (HIMEDIA-India) جامد شدند. محلول ذخیره تیدیازورون با گذراندن از فیلترهای سرسرنگی با قطر منافذ ۰/۲ میکرومتر (Whatman, UK) استریل شده، و پس از اتوکلاو به محیط اضافه شد.

نگهداری کشت‌ها در اتاق رشد

نمونه‌های کشت شده در اتاق رشد با چرخه روزانه ١٦ ساعت نور ۲۵ $\mu E/m^2.s$ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و سپس یک دوره تاریکی ۸ ساعته در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

یادداشت‌برداری و آنالیز داده‌ها

پس از ٤-٦ هفته (بدون واکشت) باززایی گیاهچه از ریزنمونه‌های برگی ارزیابی و داده‌ها ثبت شدند. طرح آزمایشی به صورت کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. مقایسه آماری به روش آنالیز واریانس یک طرفه توسط نرم افزار SPSS نسخه ۱۹/۰ انجام شده و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن ($P<0.05$) مقایسه شدند.

نتایج و بحث

Results and Discussion

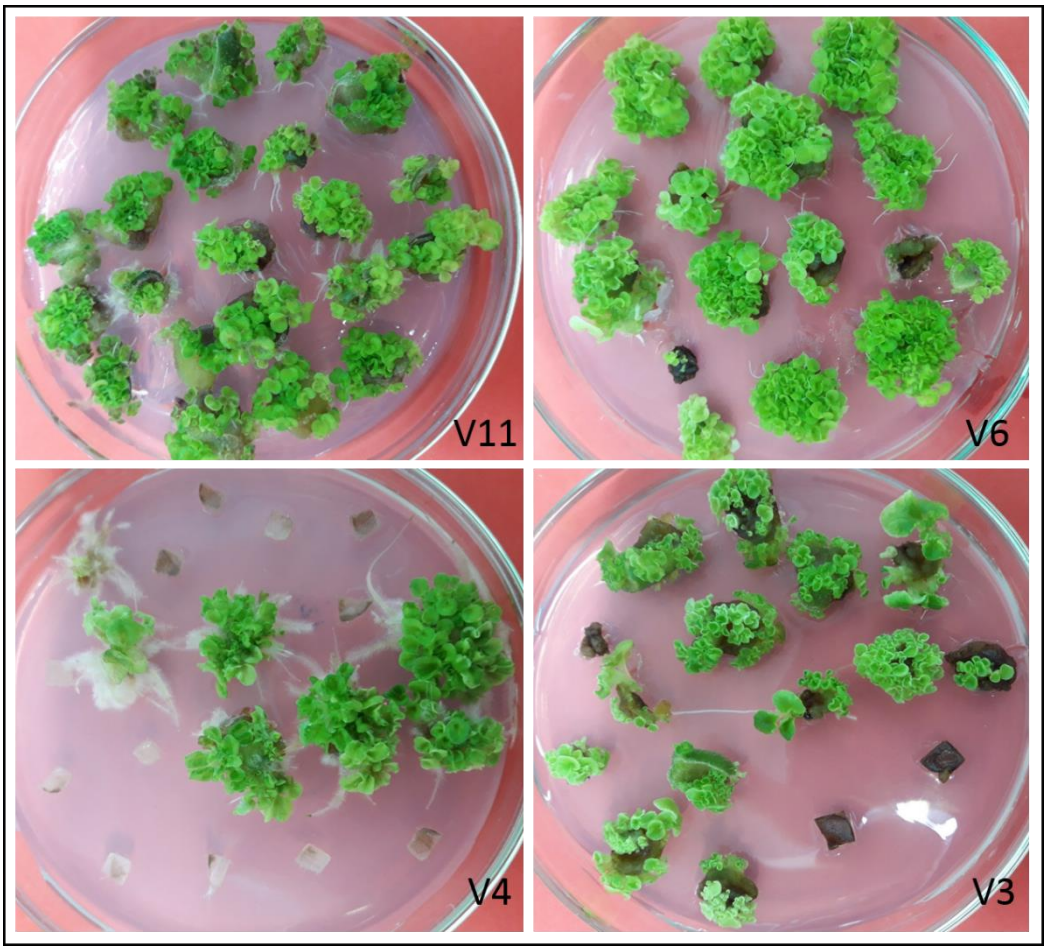
نتایج حاصل از بررسی باززایی ساقه از ریزنمونه برگی نشان داد که اکثر اکوتیپ‌ها دارای قابلیت بسیار بالایی برای باززایی هستند (شکل ۱ و ۲). به غیر از یک اکوتیپ که حدود ۳۰ درصد باززایی نشان داد، میانگین باززایی ساقه در سایر اکوتیپ‌ها در محدوده ۷۵ تا ۱۰۰ درصد قرار گرفت (شکل ۲-الف). این نشان می‌دهد که دستورالعمل استفاده‌شده، برای باززایی اکثر اکوتیپ‌های بنفشه آفریقایی مناسب است و در واقع، اکوتیپ‌های مختلف بنفشه آفریقایی پتانسیل باززایی خود را تا حدود زیادی حفظ کرده‌اند.

بررسی میانگین تعداد گیاهچه‌های باززا شده از هر ریزنمونه، که از ١٤ تا ۲ گیاهچه متفاوت بود، نشان داد که اکوتیپ‌ها در این ویژگی تفاوت بیشتری با هم دارند (شکل ۲-ب). این نشان می‌دهد که با وجود حفظ پتانسیل باززایی در اکوتیپ‌های مختلف بنفشه آفریقایی، مکانیسم‌های کنترل تعداد گیاهچه‌های باززا شده در طول زمان دستخوش تغییرات بیشتری شده‌اند.

بررسی گیاهچه‌های باززا شده از قطعات برگ در اکوتیپ‌های مختلف نشان داد که هر دو مکانیسم جنین‌زایی سوماتیکی و اندام-زایی در باززایی گیاهچه‌ها دخیل هستند (شکل ۳). با این حال، از فراوانی جنین‌های سوماتیکی در اکوتیپ‌های مختلف چنین به نظر می‌رسد که جنین‌زایی سوماتیکی مکانیسم غالب در باززایی اکثر اکوتیپ‌های بنفشه آفریقایی می‌باشد.

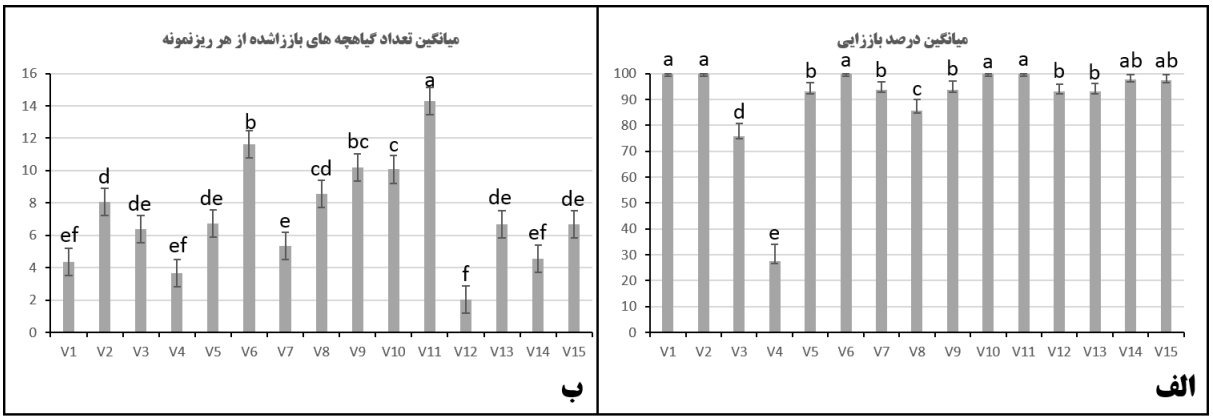
بنفشه آفریقایی به دلیل تنوع در رنگ، شکل و سازگاری سریع آن به محیط مصنوعی، به یکی از گیاهان زینتی محبوب با تقاضای روزافزون تبدیل شده است. تولید مثل این گیاه در طبیعت بیشتر به دلیل عدم وجود سیستم مناسب گرده‌افشانی، ناموفق شناخته شده است (Kolehmainen J, 2006). حتی بنفشه‌های آفریقایی که گرده‌افشانی می‌شوند، معمولاً گل‌ها یا میوه‌های بارور شده خود را سقط می‌کنند (Kolehmainen J, 2006)، که باعث کاهش بسیار شدید تولید بنفشه آفریقایی در طبیعت می‌شود. با این حال، این گیاه در محیط آزمایشگاهی به‌راحتی قابل تکثیر است که نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری بسیار بالای سلول‌های این گیاه برای تمایزدایی و تبدیل به سلول‌های مریستمی، انجام تقسیم سلولی و تمایز مجدد به گیاه کامل است. احتمال دارد که این پتانسیل به عنوان مکانیسمی برای جلوگیری از انقراض این گیاه به دلیل عدم وجود سیستم مناسب تولید مثل از طریق بذر ایجاد شده باشد. با دارا بودن این ویژگی، تکثیر این گیاه بصورت سنتی به‌راحتی از قلمه‌های برگ انجام می‌شود.

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.13.2.5]



شکل ۱- تصویر باززایی تعدادی از اکوتیپ‌های (که با v نمایش داده شده‌اند) بنفشه آفریقایی از قطعات برگی پس از ٤ هفته کشت.

Figure 1. Regeneration of a number of African violet ecotypes from leaf fragments after 4 weeks of *in vitro* culture.

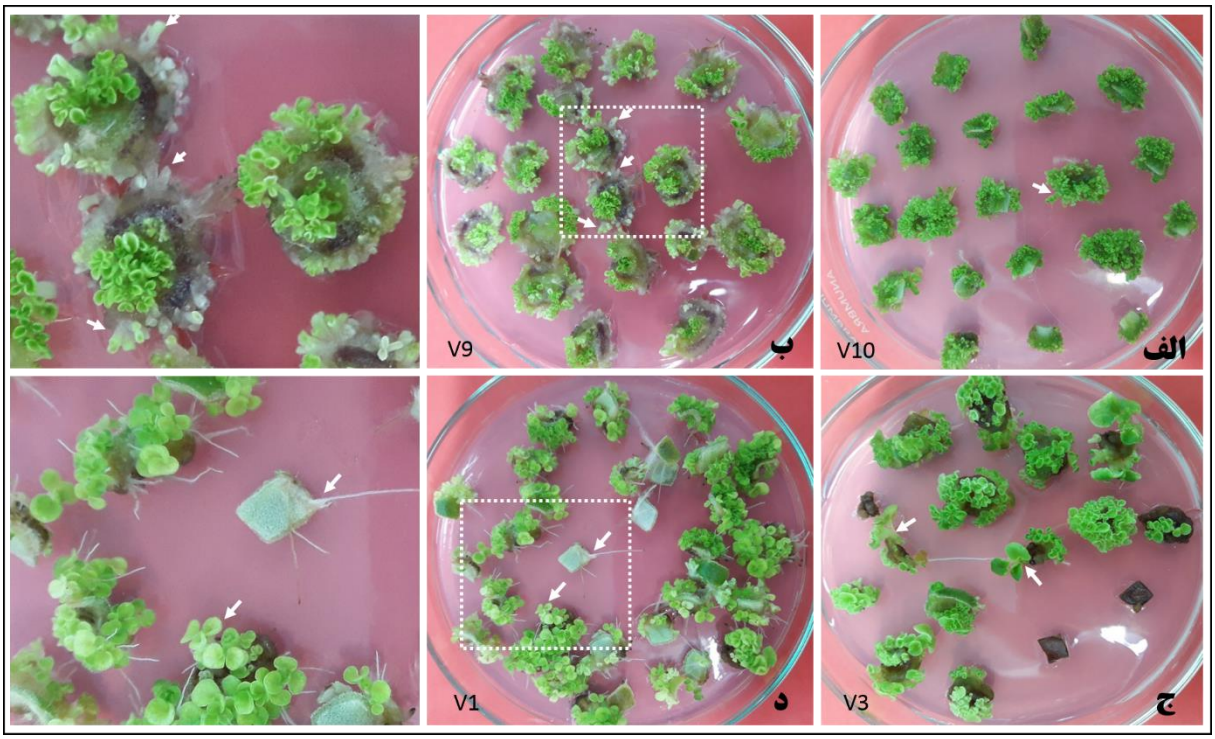


شکل ۲- نمودار میانگین درصد باززایی (الف) و تعداد گیاهچه‌های باززا شده از هر ریزنمونه (ب) در اکوتیپ‌های مختلف گیاه بنفشه آفریقایی. حروف متفاوت بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار اکوتیپ‌ها در صفت مورد بررسی می‌باشد.

Figure 2. Graph of the average percentage of regeneration (a) and the number of regenerated seedlings from each explant (b) in different ecotypes of African violet. Different letters above the columns indicate significant differences between ecotypes in the studied trait.

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.2.5]



شکل ۳- تصویر نمونه‌هایی از باززایی از طریق جنین‌زایی سوماتیکی (الف و ب) و اندام‌زایی ساقه و ریشه (ج و د). برای مشاهده بهتر، بزرگ‌نمایی از قسمت نشان‌داده شده در کادر سفید در سمت چپ هر کدام از شکل‌ها نمایش داده شده است.

Figure 3. Examples of regeneration through somatic embryogenesis (a and b) and stem and root organogenesis (c and d). For better illustration, a magnification of the area indicated in the white box is shown on the left side of each figure.

همچنین، این گیاه در محیط درون‌شیشه‌ای نیز از ریزنمونه‌های مختلف از جمله برگ به‌راحتی تکثیر می‌شود که در تولید تجاری این گیاه زینتی عامه‌پسند نقش بسیار زیادی دارد. با وجود تنوع زیاد اکوتیپ‌های بنفشه آفریقایی و علی‌رغم توسعه دستورالعمل‌های متعدد برای باززایی این گیاه از ریزنمونه‌های مختلف، تا به‌حال گزارشی در زمینه تاثیر ژنوتیپ روی باززایی آن در یک محیط بهینه‌شده چاپ نشده است. در این تحقیق، باززایی چندین اکوتیپ بنفشه‌آفریقایی از قطعات برگی برای بررسی اثر ژنوتیپ روی میزان باززایی ارزیابی گردید. اکثر اکوتیپ‌های بررسی شده، پتانسیل باززایی مناسبی روی محیط بهینه نشان دادند که نشان‌دهنده حفظ پتانسیل باززایی در طول زمان است. بطور کلی، اکثر گیاهان توانایی قابل‌توجهی برای باززایی بافت‌ها از اندام‌های تمایزیافته دارند که نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری بالای گیاهان برای بازسازی همه اندام‌ها از طریق تمایززدایی سلول‌ها و برنامه‌ریزی مجدد سرنوشت آنها می‌باشد (Long *et al.*, 2022; Perez-Garcia & Moreno-Risueno, 2018).

تعداد گیاهچه‌های باززا شده از هر ریزنمونه ویژگی مهمی برای تکثیر سریع درون‌شیشه‌ای گیاهان زینتی در سطح تجاری است. تنوع بالای این ویژگی در بین اکوتیپ‌ها می‌تواند نشان‌دهنده ایجاد تغییرات ساختاری یا بیانی زیاد در ژن‌های کنترل‌کننده این صفت باشد. باززایی گیاه در محیط درون‌شیشه‌ای از طریق دو نوع مکانیسم جنین‌زایی سوماتیکی و اندام‌زایی صورت می‌گیرد (Long *et al.*, 2022). در آزمایش‌های ما، باززایی گیاه بنفشه آفریقایی از هر دو نوع مکانیسم قابل مشاهده بود، با این حال، جنین‌زایی سوماتیکی مکانیسم غالب برای اکثر اکوتیپ‌ها بود.

در اکثر آزمایش‌های کشت بافت، باززایی بیشتر در محل زخم اتفاق می‌افتد، که نشان‌دهنده اهمیت تنش زخم برای راه‌اندازی مسیر سیگنالینگ باززایی است که بیشتر شامل تاثیر روی سنتز و فعالیت هورمون‌ها به‌ویژه اکسین و سیتوکنین است (Ikeuchi *et al.*, 2019;

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.13.2.5]

Momoko Ikeuchi *et al*., 2016). پاسخ‌های اولیه زخم شامل موارد متعددی از قبیل افزایش سریع Ca^{2+}، دپلاریزاسیون غشای پلاسمایی، اختلال در ارتباطات سلولی، افزایش گونه‌های فعال اکسیژن و تجمع اسید جاسمونیک است؛ اگرچه اینکه چگونه این موارد به امواج رونویسی گسترده تبدیل می‌شوند، به خوبی درک نشده است (Ikeuchi *et al*., 2019).

یکی از عواملی که کنترل آن برای ارزیابی وابستگی ژنوتیپی گیاهان سخت است، منبع ریزنمونه می‌باشد. با توجه به انعطاف‌پذیری مورفولوژی گیاه و خطاهای نمونه‌برداری، اطمینان از اینکه همه متغیرهای جمعیت ریزنمونه از قبیل سن و شرایط فیزیولوژیکی کاملاً یکنواخت هستند، غیرممکن است. با این حال، ریزنمونه‌های جوان یکنواختی بیشتری نسبت به اندام‌های بالغ دارند و برای این مطالعات مناسب‌تر هستند (Ikeuchi *et al*., 2019). با این حال، انعطاف‌پذیری متفاوت ریزنمونه‌ها می‌تواند تا حدی در تغییرات پاسخ‌دهی به محیط کشت موثر باشد (Momoko Ikeuchi *et al*., 2016).

مطالعات نشان داده‌اند که غلظت داخلی هورمون‌ها در بافت‌های مشابه اکوتیپ‌های مختلف متفاوت است (Chatfield & Raizada, 2008; Lee *et al*., 2018). این عامل می‌تواند تا حدود زیادی تفاوت در میزان پاسخ‌دهی اکوتیپ‌های مختلف روی محیط کشت حاوی هورمون‌های خارجی به میزان مشابه را توجیه کند، چراکه تعادل هورمونی نقش کلیدی در هدایت سلول در مسیرهای تقسیم سلولی و باززایی دارد (Momoko Ikeuchi *et al*., 2016; Radhakrishnan *et al*., 2018). از طرف دیگر، تفاوت در ساختار مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریزنمونه در ژنوتیپ‌های مختلف نیز می‌تواند منشاء تنوع در قدرت باززایی باشد. برای مثال، در توت درختی، ژنوتیپ‌هایی که دارای برگ ضخیم‌تر و موم بیشتر بودند، قدرت باززایی کمتری نشان دادند (Vijayan *et al*., 2000)، که می‌تواند ناشی از تفاوت در قدرت جذب و انتقال مواد و تنظیم‌کننده‌های رشد، و یا دسترسی هورمون‌های موجود در محیط کشت به گیرنده‌های سطحی سلول‌های اپیدرمی، به‌عنوان منشاء سلولی اصلی برای باززایی (M. Ikeuchi *et al*., 2016)، باشد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که هورمون‌های گیاهی از طریق تاثیر روی چندین عامل کلیدی رونویسی، سرنوشت سلول را به سمت باززایی از یکی از مسیرها هدایت می‌کنند (Xu & Huang, 2014). عوامل ژنتیکی تنظیم‌کننده باززایی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: (۱) تنظیم‌کننده‌های اصلی که بدون آن‌ها باززایی امکان‌پذیر نیست (از قبیل WUSCHEL و ژن‌های هومئوباکس مرتبط)، و (۲) تنظیم‌کننده‌های شرطی که نقش نسبی آنها به ریزنمونه و تنظیمات شرایط کشت بستگی دارد (Lardon & Geelen, 2020). با این حال، انتقال موفق سرنوشت سلول به یکی از مسیرهای باززایی، مستلزم تغییرات گسترده بیان ژن در ژنوم است که شامل تغییرات اپی‌ژنتیکی نیز می‌شود. به‌طور کلی، اثرات متقابل بین سیگنال‌دهی هورمونی، فاکتورهای رونویسی و عوامل اپی‌ژنتیکی در هدایت سلول به انواع مختلف مسیرهای باززایی گیاه دخیل است، که نشان می‌دهد مکانیسم‌های بسیار ظریف و پیچیده‌ای نوع باززایی در گیاهان را تحت شرایط مختلف کنترل می‌کنند.

نتایج ما نشان داد که اکثر ژنوتیپ‌های بنفشه آفریقایی پتانسیل باززایی از سلول‌های سوماتیکی را در طول زمان حفظ کرده‌اند، که می‌تواند ناشی از ضرورت تکثیر رویشی این گیاه به‌دلیل عدم وجود سیستم‌های کارآمد برای تکثیر جنسی از طریق بذر باشد. با این حال، قابلیت تولید جوانه‌های شاخسار در هر ریزنمونه برگی بسیار متفاوت بود. احتمال می‌رود این تفاوت به تاثیر عوامل محیطی در سازگاری ژنتیکی اکوتیپ‌های مختلف برای فعال کردن مکانیسم‌های باززایی خود در شرایط خاص مرتبط باشد. از این رو، بهینه‌سازی شرایط کشت از قبیل غلظت هورمون‌ها و محرک‌های رشد می‌تواند نقش مهمی در افزایش قابلیت تولید شاخسارها داشته باشد. اعتقاد بر این است که پتانسیل باززایی در گیاهان به‌صورت غالب به ارث می‌رسد، با این حال، مشخص نیست که چه تعداد ژن در این فرآیند درگیر هستند (Lardon & Geelen, 2020). آنچه مسلم است، فعال شدن این ژن‌ها و مکانیسم‌های ترمیم و باززایی در گیاهان تا حدود زیادی به شرایط محیطی و تنش‌های اطراف از جمله زخمی شدن گیاه بستگی دارد. شاید به همین دلیل نیز در اکثر آزمایش‌های کشت بافت، همانند آزمایش‌های ما، باززایی در نواحی زخم بیشتر دیده می‌شود، و بنابراین، شناسایی دقیق سیگنال‌های مرتبط با زخم می‌تواند یک هدف مهم برای تحقیقات آینده باشد.

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.13.2.5]

منابع

References

Akasaka-Kennedy, Y., Yoshida, H., & Takahata, Y. (2005). Efficient plant regeneration from leaves of rapeseed (*Brassica napus* L.): the influence of AgNO3 and genotype. *Plant Cell Rep*, *24*(11), 649-654. https://doi.org/10.1007/s00299-005-0010-8

Bilkey, P. C., & Cocking, E. C. (1981). Increased plant vigor by in vitro propagation of *Saintpaulia ionantha* Wendl., from subepidermal tissue. *Hort Science*, *16*, 643-644. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.16.5.643

Bull, T., & Michelmore, R. (2022). Molecular Determinants of in vitro Plant Regeneration: Prospects for Enhanced Manipulation of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) [Review]. *Frontiers in Plant Science*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.888425

Chatfield, S. P., & Raizada, M. N. (2008). Ethylene and shoot regeneration: hookless1 modulates de novo shoot organogenesis in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Rep*, *27*(4), 655-666. https://doi.org/10.1007/s00299-007-0496-3

Cooke, R. C. (1977). Tissue culture propagation of African Violet. Hort Science 12(6), 549. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.12.6.549

Daud, N., & Taha, R. M. (2008). Plant regeneration and floral bud formation from intact floral parts of African violet (*Saintpaulia ionantha* H. Wendl.) cultured in vitro [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Pak J Biol Sci*, *11*(7), 1055-1058. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18810979

Daud, N., Taha, R. M., & Hasbullah, N. A. (2008). Studies on plant regeneration and somaclonal variation in *Saintpaulia ionantha* Wendl. (African violet) [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Pak J Biol Sci*, *11*(9), 1240-1245. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18819532

Elhiti, M., & Stasolla, C. (2011). The use of zygotic embryos as explants for *in vitro* propagation: An overview. In T. A. Thorpe & E. C. Yeung (Eds.), *Plant embryo culture: methods and protocols* (pp. 229-255). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-61737-988-8_17

Ghorbanzade, Z., & Ahmadabadi, M. (2014). An improved system for rapid *in vitro* regeneration of *Saintpaulia ionantha*. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, *24*, 37-45. https://doi.org/10.3329/ptcb.v24i1.19194

Hicks, G. S. (1994). Shoot induction and organogenesis *in vitro*: a developmental perspective. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, *30*, 10-15. https://doi.org/10.1007/BF02632113

Hoshino, Y., Nakano, M., & Mii, M. (1995). Plant regeneration from cell suspension-derived protoplasts of *Saintpaulia ionantha* Wendl. *Plant Cell Reports*, *14*, 341-344. https://doi.org/10.1007/BF00238593

Ikeuchi, M., Favero, D. S., Sakamoto, Y., Iwase, A., Coleman, D., Rymen, B., & Sugimoto, K. (2019). Molecular mechanisms of plant regeneration. *Annual review of plant biology*, *70*, 377-406. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100434

Ikeuchi, M., Ogawa, Y., Iwase, A., & Sugimoto, K. (2016). Plant regeneration: cellular origins and molecular mechanisms. *Development*, *143*(9), 1442-1451. https://doi.org/10.1242/dev.134668

Jia, H., Yu, J., Yi, D., Cheng, Y., Xu, W., Zhang, L., & Ma, Z. (2009). Chromosomal intervals responsible for tissue culture response of wheat immature embryos. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, *97*, 159-165. https://doi.org/10.1007/s11240-009-9510-5

Kolehmainen J, M. P. (2006). Population stage structure, survival and recruitment in the endangered East African forest herb Saintpaulia. *Plant Ecology*, *192*(1), 85-95. https://doi.org/10.1007/s11258-006-9228-y

Lardon, R., & Geelen, D. (2020). Natural variation in plant pluripotency and regeneration. *Plants (Basel)*, *9*(10). https://doi.org/10.3390/plants9101261

Lee, S., L, I. S., & Vreugdenhil, D. (2018). Natural variation of hormone levels in Arabidopsis roots and correlations with complex root architecture. *J Integr Plant Biol*, *60*(4), 292-309. https://doi.org/10.1111/jipb.12617

Linsmaier, E. M., & Skoog, F. (1965). Organic growth factor requirements of tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, *18*, 100-127. http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1965.tb06874.x

Long, Y., Yang, Y., Pan, G., & Shen, Y. (2022). New insights into tissue culture plant-regeneration mechanisms [Review]. *Frontiers in Plant Science*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.926752

Mithila, J., Hall, J. C., Victor, J. M., & Saxena, P. K. (2003). Thidiazuron induces shoot organogenesis at low concentrations and somatic embryogenesis at high concentrations on leaf and petiole explants of African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl) [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Plant Cell Rep*, *21*(5), 408-414. https://doi.org/10.1007/s00299-002-0544-y

Molgaard, J. P., Roulund, N., Deichmann, V., Irgens-Moller, L., Andersen, S. B., & Farestveit, B. (1991). *In vitro* multiplication of *Saintpaulia ionantha* Wendl. by homogenization of tissue cultures. *Scientia Horticulturae*, *48*, 285-292. https://doi.org/10.1016/0304-4238(91)90137-N

Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant*, *15*, 473-497. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Perez-Garcia, P., & Moreno-Risueno, M. A. (2018). Stem cells and plant regeneration. *Developmental Biology*, *442*(1), 3-12. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2018.06.021

Radhakrishnan, D., Kareem, A., Durgaprasad, K., Sreeraj, E., Sugimoto, K., & Prasad, K. (2018). Shoot regeneration: a journey from acquisition of competence to completion. *Curr Opin Plant Biol*, *41*, 23-31. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.08.001

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.2.5]

Saltveit, M. E., & Hepler, P. K. (2004). Effect of heat shock on the chilling sensitivity of trichomes and petioles of African violet (*Saintpaulia ionantha*). *Physiol Plant*, *121*(1), 35-43. https://doi.org/10.1111/j.0031-9317.2004.00288.x

Shukla, M., Sullivan, J. A., Jain, S. M., Murch, S. J., & Saxena, P. K. (2013). Micropropagation of African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Methods Mol Biol*, *11013*, 279-289. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-074-8_22

Shumilina, D., Kornyukhin, D., Domblides, E., Soldatenko, A., & Artemyeva, A. (2020). Effects of genotype and culture conditions on microspore embryogenesis and plant regeneration in *Brassica rapa* ssp. Rapa L. *Plants (Basel)*, *9*(2). https://doi.org/10.3390/plants9020278

Smith, R. H., & Norris, R. E. (1983). *In vitro* propagation of African Violet chimeras. *Hort Science*, *18*(4), 436-437. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.18.4.436

Start, N. D., & Cumming, B. G. (1976). In vitro propagation of *Saintpaulia ionantha* Wendl. *Hort-Science*, *11*(3), 204-206. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.11.3.204

Sunpui, W., & Kanchanapoom, K. (2002). Plant regeneration from petiole and leaf of African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) cultured *in vitro*. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, *24*(3), 357-364. DOI: http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2008.1055.1058

Thengane, S. R., Joshi, M. S., Khuspe, S. S., & Mascarenhas, A. F. (1994). Anther culture in *Helianthus annuus* L., influence of genotype and culture conditions on embryo induction and plant regeneration. *Plant Cell Rep*, *13*(3-4), 222-226. https://doi.org/10.1007/BF00239897

Vijayan, K., Chakraborti, S. P., & Roy, B. N. (2000). Plant regeneration from leaf explants of mulberry: influence of sugar, genotype and 6-benzyladenine. *Indian J Exp Biol*, *38*(5), 504-508. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11272418

Weatherhead, M. A., Grout, B. W. W., & Short, K. C. (1982). Increased haploid production in *Saintpaulia ionantha* Wendl., by anther culture. *Scientia Horticulturae*, *17*, 137-144. https://doi.org/10.1016/0304-4238(82)90006-1

Winkelmann, T., & Grunewaldt, J. (1995). Genotypic variability for protoplast regeneration in *Saintpaulia ionantha* (H. Wendl.). *Plant Cell Reports*, *14*, 704-707. https://doi.org/10.1007/BF00232651

Xu, L., & Huang, H. (2014). Genetic and epigenetic controls of plant regeneration. *Current topics in developmental biology*, *108*, 1-33. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391498-9.00009-7

Yan, T., Hou, Q., Wei, X., Qi, Y., Pu, A., Wu, S., An, X., & Wan, X. (2023). Promoting genotype-independent plant transformation by manipulating developmental regulatory genes and/or using nanoparticles. *Plant Cell Reports*. https://doi.org/10.1007/s00299-023-03037-2

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.2.5]