



[10.61186/gebsj.12.2.195](https://doi.org/10.61186/gebsj.12.2.195)

Research Article

Genetic Engineering and Biosafety
Journal 2024

Volume 12, Number 2, Pages: 195-202

<http://gebsj.ir/>

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

بهینه‌سازی شاخه زایی ارقام تجاری پنبه با استفاده از مریستم انتهایی

Regeneration Optimization of Cotton commercial cultivars using meristem apex culture

رسمیه حمید^{۱*}، زهرا قربان‌زاده^۲، حسن مرعشی^۳، سعید ملک‌زاده شفارودی^۴

Hamid Rasmieh^{*1}, Zahra Ghorbanzadeh², Hassan Marashi³, Saeed Malekzadeh – shafaroudi⁴

۱- استادیار بخش به‌نژادی، موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان.
۲- بخش زیست‌شناسی سامانه‌ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ۳ و ۴- بخش بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

1. Department of Plant Breeding, Cotton Research Institute of Iran (CRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
2. Department of Systems Biology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
- 3,4. Department of Biotechnology and Plant Breeding, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

*Corresponding Author, Email: پست الکترونیکی: Rasihamid@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۵ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۷)

Received: 2023/05/26 | Accepted: 2023/08/29 | Published: 2024/03/14

چکیده

واژه‌های کلیدی

پنبه،
شاخه‌زایی،
ریشه‌زایی،
مریستم انتهایی

پنبه (*Gossypium hirsutum* L) یکی از مهمترین محصولات اقتصادی جهان است که به عنوان غنی‌ترین منبع فیبری و پایه اصلی روغن خوراکی محسوب می‌شود. ارقام‌های پنبه در مقایسه با دیگر گیاهان نسبت به پروتکل‌های مختلف باززایی، گیاهان سرسختی هستند. بنابراین تهیه پروتکلی با بازدهی بالا برای باززایی ارقام تجاری پنبه کشور ضروری است. در این پژوهش بذره‌های ارقام ساحل، ورامین، خورشید، گلستان، لطیف، کاشمر و ارمغان مورد استفاده قرار گرفته است. مریستم‌های جداسازی شده در بر روی محیط اندام‌زایی شامل محیط تشکیل شده از نمک‌های MS و ویتامین‌های B5 و هورمون قراردادده شدند. شاخساره‌های تولید شده جهت پرآوری به محیط شاخه‌زایی منتقل شدند. در بین محیط‌های بررسی شده با توجه به اندازه‌گیری تعداد شاخساره و طول شاخساره مناسب‌ترین محیط برای شاخه‌زایی محیط حاوی BAP^۲ mg/l و kin^۲ mg/l بود. بیش‌ترین درصد شاخه‌زایی ۹۲ بوده و در ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری نشان نداد. شاخساره‌های حاصل به منظور ریشه‌زایی به پنج نوع محیط ریشه‌زایی مختلف منتقل شدند. براساس نتایج حاصل از تجزیه آماری با اندازه‌گیری طول ریشه بهترین محیط برای ریشه‌زایی محیط حاوی نمک‌های MS و ویتامین‌های B5 به همراه IBA^۱ mg/l بوده است که ۹۵ درصد ریشه‌زایی داشته است. تحقیق حاضر روشی سریع، پربازده و مستقل از ژنوتیپ جهت اندام‌زایی و شاخه‌زایی از مریستم انتهایی بهینه‌سازی شد. افزایش نرخ ریشه‌زایی و آرایه روشی مستقل از ژنوتیپ برای ریشه‌زایی از دیگر دستاوردهای این پژوهش است.

Hamid R, Ghorbanzadeh Z, Marashi H, Malekzadeh Shafaroudi S. Regeneration Optimization of Cotton commercial cultivars using meristem apex culture. Genetic Engineering and Biosafety Journal 2023; 12 (2): 195-202. Doi: [10.61186/gebsj.12.2.195](https://doi.org/10.61186/gebsj.12.2.195)
URL: <http://gebsj.ir/article-1-460-fa.html>

Genetic Engineering and Biosafety Journal
Volume 12, Number 2, 2024

Abstract

Cotton (*Gossypium hirsutum*. L) is an important economic crop worldwide, valued for its rich fibres and its role as a major source of edible oil. However, the resistance of cotton to conventional regeneration protocols is a challenge. Therefore, the development of efficient plant regeneration protocols for recalcitrant species such as cotton, especially from meristem apex explants, is crucial for the advancement of functional genomics and selective breeding using transformation technologies. In this study, we used seeds of Sahil, Varamin, Khurshid, Golestan, Latif, Kashmer and Armaghan varieties. The meristems isolated from these cultivars were cultured on a medium containing MS salts, B5 vitamins and hormones to induce organogenesis. The shoots were then transferred to a branching medium. Optimal branching was observed with a medium enriched with 2 mg/l BAP and 2 mg/l Kin, with no significant differences between varieties and a maximum branching level of 92. In addition, the shoots were transferred to five different rooting media. Statistical analysis showed that a medium containing MS salts, B5 vitamins and 1 mg/l IBA gave the highest rooting rate of 95%. Our study optimised a fast, productive and genotype-independent method for organogenesis and branching from the shoot tip in cotton. The improved rooting rate and the provision of a genotype-independent rooting method are further results of this research that promise significant advances in cotton regeneration protocols.

Keywords: Cotton, Direct regeneration, Shoot apex, Rooting

مقدمه

پنبه یکی از مهمترین محصولات اقتصادی جهان است که به عنوان غنی‌ترین منبع فیبری و پایه اصلی صنعت نساجی محسوب می‌شود (Hamid et al., 2018). بعلاوه، دانه پنبه برای استخراج روغن و نیز کنجاله پنبه‌دانه در تغذیه حیوانات استفاده می‌شود (Hamid et al., 2020a). پنبه زراعی متعلق به خانواده Malvaceae و جنس *Gossypium* بوده و گونه‌ای آمفی‌دیپلوئید است. پنبه مانند دیگر گیاهان زراعی، متأثر از تنش‌های زیستی و غیرزیستی است. میزان خسارت سالیانه وارده به پنبه در اثر تنش‌های زیستی نسبت به دیگر گیاهان زراعی بیشتر بوده و حدود ۸۵-۷۶٪ است (Oerke., 2006). هر چند موفقیت‌های چشمگیری با استفاده از روش‌های اصلاح نباتات سنتی در مبارزه با تنش‌های غیرزیستی، افزایش عملکرد، بهبود کیفیت الباف، نرغیمی سیتوپلاسمی و تحمل به تنش گرما و غذایی تا حدی حاصل شده است (Hamid et al., 2019). اما دستاوردهای محدودی در رابطه با تنش‌های زیستی خصوصاً مقابله با آفات و بیماری‌ها گزارش شده است (Dutt et al., 2004). این امر می‌تواند ناشی از عدم دسترسی به ژن‌های مطلوب در ژرم‌پلاسم و

دوره طولانی اصلاحی باشد. تکنیک‌های مهندسی ژنتیک به عنوان راه حلی مناسب جهت رفع این محدودیت‌ها هستند (Hamid et al., 2020b). از زمان رهاسازی اولین پنبه تراریخته کوکر ۲۱۰، و کوکر ۳۱۲ در سال ۱۹۸۷ چندین گزارش در مورد اصلاح صفات مختلف در سراسر جهان منتشر شده است (Noman et al., 2016) با وجود این دستاوردهای ارزشمند هنوز محدودیت‌های جدی در بدست آوردن پنبه تراریخته وجود دارد که عمده‌ترین این محدودیت‌ها عدم وجود تکنیک‌های مناسب جهت تکثیر درون‌شیشه‌ای گیاه است. اصلاح این گیاه با استفاده از تکنیک‌های نوین انتقال ژن از قبیل تغنگ ژنی و ترانسفورماسیون به وسیله اگروباکتریوم نیاز به روش باززایی مستقل از ژنوتیپ با کارایی بالا و بدون ایجاد تنوع سوماکلونال دارد. متأسفانه هیچکدام از ارقام ایرانی پتانسیل کافی برای توسعه پنبه تراریخته را ندارند. دلیل این امر عدم وجود پروتکل‌های کارآمد جهت باززایی است (Tohidfar et al., 1387). بنابراین تهیه پروتکل کارآمد برای اندام زایی مستقیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دو روش اصلی برای باززایی پنبه شامل اندام‌زایی و جنین‌زایی سوماتیکی هستند (Michel et al., 2008). مطالعات جنین‌زایی سوماتیکی در پنبه نشان داده است که عوامل بسیاری کارایی جنین‌زایی سوماتیکی را

سپس در محلول ۲۰ درصد هیپوکریت سدیم به مدت ۴۰ دقیقه ضدعفونی شدند. پس از ضدعفونی سطحی بذور ۳-۵ بار با آب مقطر استریل شستشو شدند. پس از خشک شدن سه تا چهار بذر در لوله آزمایشی حاوی محیط یک دوم MS و در محیط تاریکی با دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

جداسازی مریستم و تهیه محیط‌های اندام‌زایی:

جداسازی مریستم از گیاهچه‌های ۴-۳ روزه مطابق روش زاپاتا و همکاران (Zapata et al., 1999) صورت گرفت. در این روش پس از حذف برگ‌های کوتیلدونی به کمک سوزن‌های باریک دو برگ اولیه جدا شدند و مریستم که بین این دو برگ بود خارج شد. مریستم‌های جدا سازی شده در محیط اندام‌زایی حاوی محیط پایه MS و ویتامین‌های B5 و هورمون‌های ویژه (MS+ B5 vit+ 0.1 mg/l NAA+ 0.1 mg/l BAP+ 30 g/l glucose + 3g/l charcoal + 2.5 g/l phytagel) قرار داده شدند. کشت‌ها در اتاقک کشت با دمای 28 ± 2 و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شدند. نمونه‌ها هر دو هفته یکبار به محیط جدید واکشت شدند.

شاخه‌زایی:

شاخساره‌های تولید شده پس از رسیدن به رشد کافی (دو هفته)، جهت القاء پرآوری شاخساره به محیط MS با ویتامین‌های B5 که شامل سه درصد گلوکز، ۰/۳ درصد زغال فعال و غلظت‌های متفاوت KIN (۰/۰-۲/۰) میلی‌گرم در لیتر و BAP (۰/۰-۲/۰) میلی‌گرم در لیتر و منتقل شدند (جدول ۱). کشت‌ها در اتاقک رشد با دمای 25 ± 2 و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند.

ریشه‌زایی:

شاخساره‌های به طول ۲-۲/۵ سانتی‌متری برای ریشه‌زایی به دو نوع محیط ریشه‌زایی MS و 1/2MS به همراه هورمون IBA غلظت‌های ذکر شده در جدول شماره ۲ منتقل شدند و پس از ۳-۲ هفته صفات طول ریشه و درصد ریشه‌زایی اندازه‌گیری شدند. پس از ریشه‌زایی گیاهچه‌هایی که سیستم ریشه‌ای آن‌ها به خوبی توسعه یافته بود به گلدان‌های کوچک حاوی نسبت یک به یک

در مطالعات کشت بافت پنبه و دیگر گیاهان سرسخت تحت تاثیر قرار می‌دهند ژنوتیپ (Ishii et al., 1998)، والد دهنده ریزنمونه (Liu et al., 2011; Zhang et al., 2010)، انواع تنظیم‌کننده‌های رشدی (Jin et al., 20116)، محیط کشت (Kumar et al., 2015; Juturo et al., 2015)، زمان واکشت، تعداد نمونه‌های موجود در پتری دیش، نور و دما (Michel et al., 2008) و حتی عامل ژل‌کننده محیط (Zimmerman & Robacher., 1998) از جمله عواملی هستند که کارایی باززایی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. اگر چه کارایی از طریق جنین‌زایی سوماتیکی به طور قابل توجهی در سال‌های اخیر بهبود یافته است، برخی از مشکلات همچنان باقی است. تنها تعداد محدودی رقم می‌توانند منجر به تولید جنین‌های سوماتیک و گیاهان باززا شوند، پاسخگوترین لاین‌ها انواع لاین‌های کوکراند، که دیگر زیر کشت نمی‌روند (Juturo et al., 2015). اندام‌زایی مستقیم بدون داشتن فاز کالوس از راهکارهای قابل توجه برای تکثیر درون شیشه‌ای سریع جهت بهره‌گیری در انتقال ژن و همچنین تولید مقیاس بالای گیاهان به لحاظ داشتن مزایایی چون صرفه جویی در زمان، سادگی، ثبات ژنتیکی و پایین بودن تنوعات سوماکلونی است (Muchke et al., 2012).

براساس بررسی منابع انجام شده تاکنون مطالعات اندکی در مورد شاخه‌زایی با کارایی بالا ارقام ایرانی پنبه انجام شده است. لذا در این مطالعه پتانسیل اندام‌زایی، شاخه‌زایی و ریشه‌زایی هفت رقم تجاری پنبه با استفاده از ریزنمونه مریستم انتهایی در غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این مطالعه معرفی یک روش کارآمد، سریع، مستقل از ژنوتیپ جهت اندام‌زایی مستقیم و شاخه‌زایی از مریستم انتهایی پنبه است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و ضدعفونی و استقرار ریزنمونه:

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ انجام شد. در این پژوهش بذورهای ارقام ساحل، ورامین، خورشید، گلستان، لطیف، کاشمر و ارمغان از موسسه تحقیقات پنبه گرگان تهیه شدند. کرک‌زدایی بذور با استفاده از اسید سولفوریک ۹۶ درصد به مدت ۲۰ تا ۳۰ ثانیه انجام شد. پس از کرک‌زدایی بذور به مدت ۴۰ دقیقه آب‌شویی شدند سپس بذور ابتدا با الکل ۷۵ درصد به مدت یک دقیقه و

نتایج حاصل از کاربرد BAP و KIN بر روی میزان شاخه‌زایی مریستم‌های هر هفت رقم معنی‌دار بود (در سطح ۵٪). در این مطالعه اثر رقم بر میزان شاخه‌زایی معنی‌دار نبود و ارقام مختلف در ترکیبات هورمونی مختلف از نظر میزان شاخه زایی مشابه بودند (جدول ۱) به طور کلی در میانگین ارقام بین محیط کشت‌های مختلف از نظر صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. فراوانی تشکیل شاخساره‌ها تحت تاثیر غلظت و نوع فیتوهورمون‌های به کاررفته قرارگرفت نتایج در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. بیشترین میزان شاخه‌زایی در غلظت هورمونی 2 mg/l KIN , 2 mg/l BAP مشاهده شد (جدول ۱ و ۲). BAP به تنهایی به عنوان محرک تولید شاخه‌های جانبی از بافت‌های مریستمی شناخته شده است (Hagio., 2002) غلظت‌های کم BAP و KIN منجر به کاهش تعداد شاخه‌های ایجاد شده از گیاهچه می‌شود. زمانی که BAP به تنهایی در غلظت‌های پایین (1mg/l) به محیط اضافه شود منجر به افزایش یک شاخه به ازای هر ریز نمونه می‌شود در حالی که در غلظت‌های بالاتر (2mg/l) بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۲) ایجاد می‌شود (جدول ۲). به طور مشابه کاربرد KIN در غلظت‌های کم (1mg/l) منجر به کاهش تعداد شاخه جانبی می‌شود، در حالی که غلظت‌های بیشتر میزان شاخه‌زایی را افزایش داد. تحت تیمار هورمونی KIN و BAP در غلظت‌های پایین (1mg/l) حداکثر (۴-۵) شاخه به ازای هر ریزنمونه تولید شد (جدول ۲). بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۲) در ترکیب هورمونی BAP 2 mg/l و KIN 2 mg/l حاصل شد. در این ترکیب هورمونی شروع شاخه‌زایی در زمان کمتری رخ داد، و شاخه‌های ایجاد شده سالم و طبیعی بودند. سیتوکینین‌ها به ویژه BAP نقش اصلی در ایجاد شاخه‌های فرعی دارند. در نخود (*Vigna unguiculata*) و خیار (*Cucumis sativus*) شاخه‌های متعدد از ناحیه انتهایی ریز نمونه هیپوکوتیل در رژیم هورمونی مشابه ایجاد شد که نشان می‌دهد این پدیده در در دولپه‌ای‌ها پدیده‌ای معمول است (Barar et al., 1999; Muhiudin et al., 1997). راف و همکاران (۲۰۰۴) و اوزایگست و همکاران (۲۰۰۸) در پنبه (رقم Coker 310FR) ریزنمونه‌های هیپوکوتیل و کوتیلدن را برای اندام‌زایی و القای شاخه‌زایی به کار بردند (Rauf et al., 2008; Ozygit et al., 2004; عبدالطیف و همکاران

شن و ورموکولیت منتقل شدند. هر کدام از گلدان‌ها با استفاده از یک کیسه پلاستیکی که رطوبت بالا را برای گیاهان حفظ می‌کند پوشانده شدند. به منظور سازگار کردن گیاهچه‌ها هر ۵ روز یکبار منفذهایی در کیسه پلاستیکی ایجاد شد، پس از دوهفته گیاهچه‌هایی که سیستم ریشه‌ای آن‌ها به خوبی توسعه و سازگاری یافته بود به گلدان حاوی نسبت‌های مساوی پیت ماس، شن و ورمی کولیت منتقل شدند.

آنالیز آماری:

صفات مورد اندازه‌گیری در این مطالعه شامل شروع شاخه‌زایی، درصد گیاهچه‌های نرمال، طول گیاهچه‌ها، تعداد شاخه‌های جانبی، طول ریشه‌چه و درصد ریشه‌زایی بودند. تیمارها دارای چهار تکرار آزمایشی بودند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام و مقایسه میانگین براساس آزمون FLSD صورت گرفت. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزارهای EXCEL و SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

تهیه یک پروتکل کارآمد برای باززایی و شاخه‌زایی مستقل از ژنوتیپ گیاهان زراعی ضروری است. با وجود گزارشات متعدد از اندام‌زایی ریزنمونه‌های مختلف (هیپوکوتیل، کوتیلدن و مریستم) رقم کوکر پنبه از طریق جنین‌زایی سوماتیکی، (Khan et al., 2010) گزارشات بسیار نادری از شاخه‌زایی ارقام تجاری وجود دارد (Obembe., 2011). در این مطالعه روشی با کارایی بسیار بالا برای شاخه‌زایی ارقام تجاری کشور بهینه‌سازی شد. این واریته‌ها به لحاظ سازگاری با شرایط جوی کشور، میزان تولید و کیفیت الیاف اهمیت تجاری بسیار بالایی دارند. در این مطالعه مریستم‌ها در شرایط کاملاً استریل از گیاهچه‌های ۳-۴ روزه جداسازی شدند (شکل ۱ A-B). مریستم‌های ۲-۳ میلی‌متری به صورت عمودی بر روی محیط اندام‌زایی (که در مطالعه قبل بهینه سازی شده بود) قرار داده شدند (شکل ۱-C) حدوداً پس از دو هفته (۱۰ روز) مریستم‌ها ساقه‌چه و برگ تولید کردند. گیاهچه‌های حاصل به محیط شاخه‌زایی منتقل شدند. ایجاد ساختارهای ساقه‌مانند و برگی شکل از کنار جوانه انتهایی گیاهچه‌ها پس از ۱۰ روز شروع به ظهور کردند (شکل ۱-D).

منتقل شدند. اثر اکسین بر میزان ریشه‌زایی در جدول (۳-۴) نشان داده شده است. سطح قابل توجهی از ریشه‌زایی در محیط MS و $MS + \frac{1}{2}$ مشاهده شد میزان ریشه‌زایی در این دو محیط مشابه و ۹۰ درصد بود، اما بیشترین طول ریشه $\frac{8}{3}$ سانتی‌متر بود که در محیط ($MS + 1\text{mg/l IBA}$) مشاهده شد. ریشه‌زایی معمولاً ۱۵-۱۰ روز بعد از انتقال گیاهچه‌ها به محیط ریشه‌زایی رخ داد. ریشه‌زایی پنبه یکی از مشکلات کشت بافت این گیاه است، و گیاهچه‌های حاصل از کشت بافت یا ریشه‌دار نمی‌شوند یا نرخ ریشه‌زایی بسیار پایین است بنابراین روش‌های مختلفی همچون تنش غذایی، استفاده از غلظت بیشتر عامل ژل کننده، اضافه کردن غلظت‌های کم اکسین و اضافه کردن زغال فعال برای القای ریشه‌زایی در این گیاه به کار رفته است (Juturu et al., 2015). سپس گیاهچه‌های ریشه‌دار شده وارد مرحله سازگاری با محیط شدند (شکل ۲).

(۲۰۰۸) با کاربرد غلظت‌های مساوی از KIN و BAP در شاخه‌زایی از گره کوتیلدنی را به ازای هر ریز نمونه ایجاد ۵-۶ شاخساره را گزارش کردند (Abdollah et al., 2008). اگر اول و همکاران (۱۹۹۷) گزارش مشابهی از به کار بردن KIN و BAP در شاخه‌زایی ریز نمونه‌های گره کوتیلدنی ارائه کردند (Agrawal et al., 1997). هزرا و همکاران (۲۰۰۱) با به کار بردن BAP به تنهایی تولید ۳/۵ تا ۵/۱ شاخساره به ازای هر ریز نمونه را گزارش دادند (Hazra et al., 2001). موشکه و همکاران (۲۰۱۲) از غلظت‌های پایین BAP برای القای شاخه‌زایی استفاده کردند (Mushke et al., 2012). شاخه‌های ایجاد شده به مدت دو هفته جداسازی و به محیط رشد طولی ($1-2.5\text{mg/l GA}_3 + \text{MS}$) منتقل شدند (شکل ۱-۲)، بهترین غلظت برای رشد طولی غلظت 2mg/l بود.

گیاهچه‌هایی که به خوبی توسعه یافته بودند، به ۶ نوع محیط مختلف ریشه‌زایی که شامل غلظت‌های مختلف IBA بودند،

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات شاخه‌زایی در بررسی تأثیر رقم و تنظیم‌کننده رشد (BAP و kin) در مرستم انتهایی پنبه

Table 1. ANOVA Results of branching traits in assesment of cultivar and phytohormone (BAP and kin) in terminal meristems of cotton

Sources of variation	df	branching
Block	3	0.13 ^{ns}
Cultivar	6	۰.۱۳ ^{ns}
BAP	2	0.41*
kin	2	0.25*
kin *BAP	4	0.58*
BAP* Cultivar	12	0.56 ^{2s}
kin* Cultivar	12	0.31 ^{ns}
kin * BAP * Cultivar	24	0.59 ^{ns}
Experimental error	21	0.21 ^{ns}
CV (%)		0.38

توجه: ns و * به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

Note: ns, * and **: Not significant, significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

جدول ۲- اثر فیتوهورمون های BAP و KIN بر شاخه زایی مریستم های انتهایی پنبه

Table 2. The effect of phytohormones BAP and KIN on the branching of terminal meristems of cotton

Treatment	BAP (mg/l)	kin (mg/l)	N.m of branch	seedling Length (cm)	Seedling response to branching (%)
1	0	0	0.00f	0.00 ±0.0f	00
2	0	1	2±0.7ef	2.1 ±0.8e	60.1
3	0	2	3.7±0.7cd	2.6 ±0.5e	59.8
4	1	0	2.5±0.5e	3.5±0.7d	67.5
5	1	1	3.2±1.7d	4.5±0.9c	66.5
6	1	2	2.0±0.7ef	2.1±0.6b	60.1
7	1.5	0	4.5±1.1c	3.7±0.7d	65.5
8	1.5	1	3.1±0.9d	2.1±0.8e	58.4
9	1.5	2	8.0±1.3b	5.5±1.1ab	62.7
10	2	0	3.7±0.8cd	5.5±0.7ab	75.4
11	2	1	2.6±1.4e	3.7±0.7d	67.2
12	2	2	9.2±1.7a	6.2±1.0a	92.5

*توجه: در هر ستون حروف مشابه، عدم تفاوت معنی دار تیمارها را در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد.

*Note: In each column, similar letters indicate the lack of significant difference between treatments at the 1% probability level of Duncan's multiple range test.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات ریشه‌زایی در بررسی تأثیر رقم و محیط و تنظیم‌کننده رشد (IBA) در گیاهچه‌های پنبه

Table 3. ANOVA results of rooting traits in assesment of cultivar, media and phytohormone (IBA) in cotton seedlings

Sources of variation	df	Rooting
Block	3	0.18 ^{ns}
Cultivar	6	0.21 ^{ns}
IBA	5	0.65 ^{**}
IBA *Cultivar	29	0.23 ^{ns}
Media	1	0.44 [*]
IBA *Media	5	0.58 ^{**}
Cultivar * IBA *Media	30	0.30 ^{ns}
Experimental error	21	0.32 ^{ns}
CV (%)		0.56

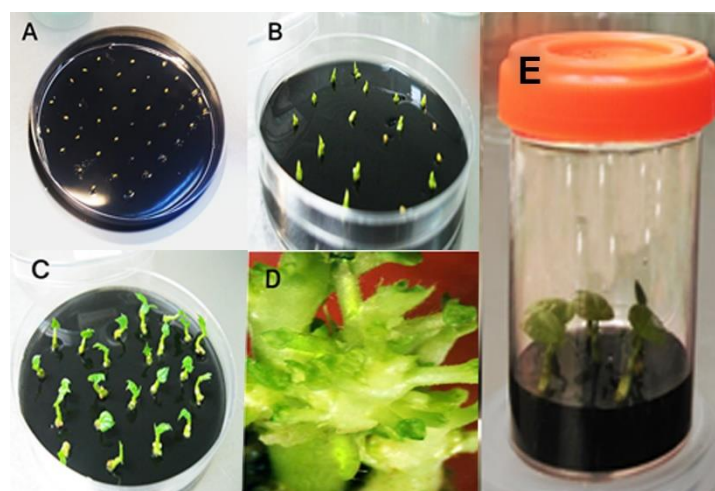
جدول ۴- اثر اکسین در ریشه‌زایی گیاهچه‌های پنبه

Table 4. Effect of auxin in rooting of cotton seedlings

Treatment	Culture	IBA (mg/l)	Rooting%	Root length (cm)
1	1/2MS	0.0	90	5.1±0.4b
2	1/2MS	1.0	90	7.3±1.5ab
3	MS	0.5	90	5.5±1.2b
4	MS	1	95	8.3±0.7a
5	MS	1.5	40	3.5±1.3c
6	MS	2	5	1.0±0.5d

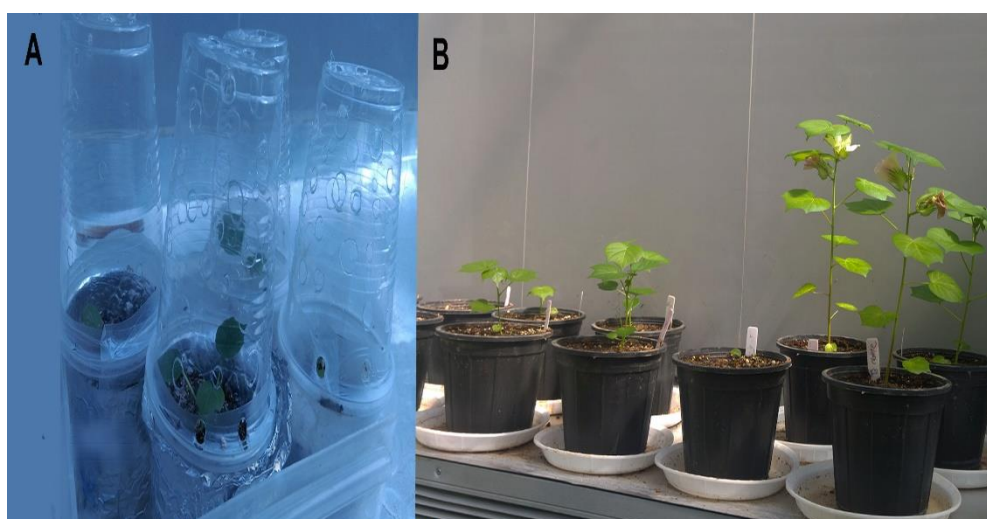
*توجه: در هر ستون حروف مشابه، عدم تفاوت معنی دار تیمارها را در سطح احتمال ۱٪ براساس آزمون چند دامنه ای دانکن نشان می‌دهد.

*Note: In each column, similar letters indicate the lack of significant difference between treatments at the 1% probability level of Duncan's multiple range test.



شکل ۱- مراحل مختلف کشت مرستم انتهایی پنبه (A-B): جداسازی مرستم‌ها (C): کشت مرستم‌ها در محیط اندام‌زایی (D) شاخه‌زایی (E) کشت گیاهچه‌ها در محیط طول‌شدن

Figure 1. Different stages of cotton terminal meristem culture (A-B): Isolation of meristems (C): Cultivation of meristems in organogenesis medium (D) Branching (E) Seedlings cultured in elongation medium



شکل ۲- سازگاری با محیط (A-B): انتقال گیاهچه‌های ریشه دار به گلدان

Figure 2. Adaptation to the environment (A-B): transferring the rooted seedlings to the pot

باززایی تا ۱۰۰ و نرخ ریشه‌زایی تا ۹۰ درصد است. همچنین قابل توجه است که پاسخ سایر ارقام به شاخه‌زایی مشابه بود.

سپاسگزاری

از ریاست محترم پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی (ABRII) برای فراهم کردن هزینه و امکانات این پژوهش سپاسگزاری می‌شود. از آقای دکتر زنگی عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات پنبه گرگان به خاطر فراهم کردن بذر این تحقیق قدردانی می‌شود.

در این مطالعه یک روش با کارایی بسیار بالا برای شاخه‌زایی (۱۱) شاخه با ازای هر ریزنمونه) و ریشه‌زایی (۹۰ درصد) ارقام تجاری پنبه کشور با استفاده از ریز نمونه مرستم انتهایی توسعه یافت. در این روش مدت زمان گرفتن ریزنمونه تا انتقال گیاهچه‌ها به گل خانه ۸-۹ هفته بود که این مدت زمان در مقایسه با گزارشات قبلی استفاده از جنین‌زایی سوماتیکی و حتی ریز نمونه مرستم بسیار کوتاه‌تر است. بهترین نتیجه حاصل از این تحقیق کوتاه‌تر کردن دوره کشت بافت به حدود ۸ هفته و همچنین افزایش نرخ

منابع

- Abdellatef, E., & Khalafalla, M. M. (2008). Ethylene inhibitors promote in vitro regeneration of medium staple cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivar Barac B-67. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 2(3), 178-184. DOI: 850053cd32b8aa498ed630fc8c24c377907368a6
- Agrawal, D. C., Banerjee, A. K., Kolala, R. R., Dhage, A. B., Kulkarni, A. V., Nalawade, S. M., ... & Krishnamurthy, K. V. (1997). In vitro induction of multiple shoots and plant regeneration in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Cell Reports*, 16, 647-652. DOI: 10.1007/BF01275508
- Brar, M. S., Moore, M. J., Al-Khayri, J. M., Morelock, T. E., & Anderson, E. J. (1999). Ethylene inhibitors promote in vitro regeneration of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 35, 222-225. DOI: 10.1007/s11627-999-0082-1
- Dutt, Y., Wang, X. D., Zhu, Y. G., & Li, Y. Y. (2004). Breeding for high yield and fibre quality in coloured cotton. *Plant Breeding*, 123(2), 145-151. DOI: 10.1046/j.1439-0523.
- Ganesan, M., & Jayabalan, N. (2005). Carbon source dependent somatic embryogenesis and plant regeneration in cotton, *Gossypium hirsutum* L. cv. SVPR2 through suspension cultures. DOI: 10.1007/BF16235728
- Hagio, T. (2002). Adventitious shoot regeneration from immature embryos of sorghum. *Plant cell, Tissue and organ culture*, 68, 65-72. DOI: 10.1023/A:1012918316140
- Hamid, R., Jacob, F., Marashi, H., Rathod, V., & Tomar, R. S. (2020). Uncloaking lncRNA-mediated gene expression as a potential regulator of CMS in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Genomics*, 112(5), 3354-3364. DOI: 10.1016/j.ygeno.2020.06.027
- Hamid, R., Marashi, H., Tohidfar, M., & Malekzadeh, S. S. (2018). Optimization of regeneration and parameters affecting Agrobacterium-mediated transformation of commercial cultivar of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Genetic novin*, 12(4), 606-597. DOI: 20.1001.1.20084439.1396.12.4.11.7
- Hamid, R., Marashi, H., Tohidfar, M., & Malekzadeh, S. S. (2020). Transgenic cotton expressing synthesized antifungal NaD1 gene confers enhanced resistance to fusarium wilt and verticillium wilt. *Genetic novin*, 297-308. DOI: 20.1001.1.20084439.1398.14.4.5.5
- Hamid, R., Marashi, H., Tomar, R. S., Malekzadeh Shafaroudi, S., & Sabara, P. H. (2019). Transcriptome analysis identified aberrant gene expression in pollen developmental pathways leading to CGMS in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *PloS one*, 14(6), e0218381. DOI: 10.1371/journal.pone.0218381
- Hamid, R., Tomar, R. S., Marashi, H., Shafaroudi, S. M., Golakiya, B. A., & Mohsenpour, M. (2018). Transcriptome profiling and cataloging differential gene expression in floral buds of fertile and sterile lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Gene*, 660, 80-91. DOI: 10.1016/j.gene.2018.03.070
- Hazra, S., Agrawal, D. C., Banerjee, A. K., Krishnamurthy, K. V., & Nalawade, S. M. (2001). Induction of multiple shoots and plant regeneration from 'accessory buds' of nodal Segments from field-grown mature cotton plants (*Gossypium hirsutum* L.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 37, 830-834. DOI: 10.1007/s11627-001-0138-3
- Ishii, Y., Takamura, T., Goi, M., & Tanaka, M. (1998). Callus induction and somatic embryogenesis of *Phalaenopsis*. *Plant Cell Reports*, 17, 446-450. DOI: 10.1007/s002990050423.
- Jin, S., Zhang, X., Nie, Y., Guo, X., Liang, S., & Zhu, H. (2006). Identification of a novel elite genotype for in vitro culture and genetic transformation of cotton. *Biologia Plantarum*, 50, 519-524. DOI: 10.1007/s10535-006-0082-5
- Juturu, V. N., Mekala, G. K., & Kirti, P. B. (2015). Current status of tissue culture and genetic transformation research in cotton (*Gossypium* spp.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 120, 813-839. DOI: 10.1007/s11240-015-0723-5
- Khan, T., Reddy, V. S., & Leelavathi, S. (2010). High-frequency regeneration via somatic embryogenesis of an elite recalcitrant cotton genotype (*Gossypium hirsutum* L.) and efficient Agrobacterium-mediated transformation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 101, 323-330. DOI: 10.1007/s11240-010-9691-y
- Kumar, G. P., Subiramani, S., Govindarajan, S., Sadasivam, V., Manickam, V., Mogilicherla, K., ... & Narayanasamy, J. (2015). Evaluation of different carbon sources for high frequency callus culture with reduced phenolic secretion in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cv. SVPR-2. *Biotechnology Reports*, 7, 72-80. DOI: 10.1016/j.btre.2015.05.005
- Liu, J. F., Wang, X. F., Li, Q. L., Li, X., Zhang, G. Y., Li, M. G., & Ma, Z. Y. (2011). Biolistic transformation of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) with the phyA gene from *Aspergillus ficuum*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 106, 207-214. DOI: 10.1007/s11240-010-9908-0
- Michel, Z., Hilaire, K. T., Mongomaké, K., Georges, A. N., & Justin, K. Y. (2008). Effect of genotype,

- explants, growth regulators and sugars on callus induction in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 2(1), 1-9. DOI: 10.1007/s1347247-010-9908-0.
- Mohiuddin, A. K. M., Chowdhury, M. K. U., Abdullah, Z. C., & Napis, S. (1997). Influence of silver nitrate (ethylene inhibitor) on cucumber in vitro shoot regeneration. *Plant cell, tissue and organ culture*, 51, 75-78. DOI: 10.3923/rjb.2006.110.117
- Mushke, R., Sultana, T., & Pindi, P. K. (2012). High frequency regeneration and multiple shoot induction in indian cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivar. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 3(5), 1109-1112.
- Obembe, O. O., Khan, T., & Popoola, J. O. (2011). High frequency multiple shoots induction and plant regeneration in six elite Indian cotton cultivars. *Can J Pure Appl Sci*, 5(1), 1385-1389. ISSN 1715-9997
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of agricultural science*, 144(1), 31-43. DOI: 10.1017/S0021859605005708
- Rauf, S., Usman, M., Fatima, B., Khan, I. A., & Khan, I. A. (2004). In vitro regeneration and multiple shoot induction in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Int. J. Agric. Biol.*, 4, 704-7. DOI:98e38229ba9246ed8a2ef1608851890c73
- Touhidfar, M., Gharahyazi, B., Mousavi, M., Yazdani, S., & Golabchian, R. (2008). Agrobacterium-mediated transformation of cotton (*Gossypium hirsutum*) using a synthetic cry1Ab gene for enhanced resistance against *Heliothis armigera*. *Iran. J. Biotechnol*, 6(3), 164-173
- Tripathy, S., & Reddy, G. M. (2002). A study on the influence of genotype, medium and additives on the induction of multiple shoots in Indian cotton cultivars. *Asian Jr of Microbiol Biotech Env Sc*, 4(4), 515-519. DOI:
- Zapata, C., Park, S. H., El-Zik, K. M., & Smith, R. H. (1999). Transformation of a Texas cotton cultivar by using Agrobacterium and the shoot apex. *Theoretical and Applied Genetics*, 98, 252-256. DOI: 10.1007/s001220051065
- Zhang, Q., Wang, J. E., Lin, J., Yan, S. F., Wu, D. P., Qin, L., ... & Zhu, S. J. (2010). Effects of different gelling agents on the somatic embryogenesis and plant regeneration in upland cotton. *MianHua XueBao (Cotton Science)*, 22(1), 3-9. DOI: 10.1023/A:1006488119200
- Zimmerman, T. W., & Robacker, C. D. (1988). Media and gelling agent effect on cotton callus initiation from excised seed hypocotyls. *Plant cell, tissue and organ culture*, 15, 269-274. DOI: 10.1007/BF00033650