

تأثیر غلظت‌های مختلف عناصر غذایی محیط کشت بر بهینه‌سازی القای

ریشه‌های موین خرفه

Effect of different concentrations of medium nutrients on optimization of hairy root induction in purslane

Mehdi Mohebodini*, Roghayeh Fathi

مهدی محب‌الدینی*، رقیه فتحی

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

Department of Horticultural science, Faculty of Agriculture and Natural resources,

University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mohebodini@uma.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۹۹/۹/۱۸ - تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۶)

چکیده

واژه‌های کلیدی

پتاسیم نیترات،

ژن *rolB*

محیط کشت،

هم‌کشتی

القای ریشه‌های موین به‌وسیله *Agrobacterium rhizogenes* روش موثری برای افزایش ترکیبات دارویی گیاه خرفه است. ریشه‌های موین علاوه بر میزان رشد زیاد، از پایداری ژنتیکی و بیوشیمیایی برخوردارند. خرفه (*Portulaca oleracea* L.) یکی از گیاهان دارویی ارزشمند می‌باشد و دارای متابولیت‌های ثانویه ارزشمندی از جمله دوپامین و نورآدرنالین است. در این پژوهش ریشه‌های موین خرفه با استفاده از *Agrobacterium rhizogenes* سویه A4 القا شد. همچنین تأثیر غلظت‌های مختلف عناصر غذایی ماکرو محیط کشت (۰/۵x، ۱x، ۱/۵x، ۲x و ۲/۵x برابر غلظت عناصر در محیط کشت MS پایه) بر درصد القای ریشه‌های موین و میزان فنول و فلاونوئید کل در ریشه‌ها بررسی شد. به‌منظور تأیید تراریختی ریشه‌های موین، وجود ژن *rolB* در ریشه‌های موین، از روش PCR و پرایمرهای ژن *rolB* استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین درصد القای ریشه‌های موین در غلظت ۰/۵x پتاسیم نیترات (۸۰ درصد) مشاهده شد. غلظت ۰/۵x پتاسیم نیترات بیشترین میزان فنول کل (۴/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) را داشت. بیشترین میزان فلاونوئید کل (۱۸/۲ و ۱۷/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) به ترتیب مربوط به غلظت ۰/۵x و ۱x پتاسیم نیترات بود. تأیید مولکولی ریشه‌های موین تراریخته توسط واکنش PCR انجام شد.

مقدمه

در انتهای ساقه گیاه تشکیل می‌گردند (شکل ۱-۱). گیاه خرفه در زبان انگلیسی با نام‌های *pigweed*, *hogweed* و *purslane* نیز نامیده می‌شود (Aamirul-Alam et al. 2015). ترکیب‌های شیمیایی متفاوتی از جمله پتاسیم، مس، کلسیم، آهن، فسفر، منگنز، سلنیوم و همچنین مواد لعابی، کربوهیدرات، سازه‌های پروتئینی، آب، آنتی‌اکسیدان، اسدی چرب غیراشباع و قندهایی مانند پکتین در این گیاه وجود دارد. همچنین این گیاه منبع وسیعی از متابولیت‌های ثانویه مفیدی چون دوپامین، امگا-۳ و انتقال‌دهنده‌های عصبی مانند نورآدرنالین است (Pirian and Piri, 2012). گیاه خرفه می‌تواند نقش قابل‌توجهی در تغییرات ایجادشده در هومئوستازی بدن ایجاد کند. آزمایش‌های فیتوشیمیایی صورت گرفته بر روی عصاره خرفه نشان داده است که این گیاه حاوی ویتامین‌های A و B، گروهی از اسیدهای آلی مانند سیتریک، سینامیک، کافئیک، اگزالیک، سیتریک، مالیک و آلفا لینولئیک اسید و دیگر ترکیباتی چون آلکالوئید کوئرستین، گلیکوزیدهای قلبی آنتراکینونی، فلاوونوئیدها و کومارین می‌باشد (Ahmadi-Moghadam et al. 2013). خرفه در کاهش دردهای ناحیه سر و دردهای میگرنی، دردهای گوارشی بخصوص معده، احساس درد و سوزش در مجاری ادراری، بهبود اسهال و افزایش شیر مادران شیرده مؤثر است. خواص درمانی خرفه برای التیام سوختگی، جای نیش حشرات، انواع التهابات، درد گوش، مسائل پوستی از جمله جراحی، خارش و اگرما، زخم معده و آبه نیز کاربرد دارد. این گیاه همچنین مانع فعالیت باکتری‌ها و قارچ‌ها و دیگر عوامل بیماری‌زا می‌شود و می‌تواند در کاستن ناگهانی تب‌های بالا، از بین بردن یبوست مؤثر باشد (Mahipal et al. 2015). نورآدرنالین، دوپامین و امگا-۳ موجود در کرک‌های ریشه این گیاه، به‌عنوان تعدیل‌کننده سیستم ایمنی در زمان شوک استفاده می‌شوند (Ghorbani et al. 2015).

با توجه به این که محیط کشت و ویژگی‌ها و ترکیبات موجود در آن برای کشت ریشه‌های موین اهمیت زیادی دارد و پژوهش‌های زیادی با هدف بهینه‌کردن این فرآیند انجام شده است اما مطالعات زیادی در زمینه تأثیر ترکیبات محیط‌کشت بر القای ریشه‌های موین گیاه خرفه انجام نشده است. نتایج پژوهش Ahmadi-Moghadam et al. (2013) با هدف بررسی تأثیر

گیاهان دارویی به‌منظور دفاع در برابر عوامل بیماری‌زا و شکارچیان، حفاظت از آسیب نور و جذب حشرات گرده‌افشان و غیره منبع طیف وسیعی از متابولیت ثانویه تولید می‌کنند (Ramachandra and Ravishancar, 2002). اغلب متابولیت‌های ثانویه به دلیل ساختار پیچیده و آرایش خاصی که دارند از گیاهان وحشی یا کشت شده استخراج می‌شوند، زیرا تولید شیمیایی آن‌ها خیلی مشکل و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست (Rates, 2001). تولید ترکیبات دارویی از عصاره‌های گیاهان وحشی یا کشت شده با مشکلات گوناگون از جمله کشت دشوار برخی گیاهان، خطر انقراض برای گیاهان در اثر بهره‌برداری بی‌رویه و مشکلات جغرافیایی و تغییرات آب و هوایی و سایر عوامل همراه است (Verporte et al. 2002). استفاده از کشت درون شیشه‌ای برای تقویت تولید این متابولیت‌ها می‌تواند بر این مشکلات غلبه کند. توسعه کشت بافت‌های گیاهی تغییر ژنتیکی داده شده و کشت ریشه‌های موین تراریخته به وسیله *Agrobacterium rhizogene* گام مهمی در استفاده از کشت درون شیشه‌ای در تولید متابولیت ثانویه می‌باشد (Kim et al. 2002). چند ویژگی مهم که سیستم کشت ریشه‌های موین را به راهکاری ارزشمند و مفید برای تولید ترکیبات دارویی تبدیل می‌کند عبارتند از سرعت رشد زیاد، بازده و پایداری ژنتیک بالا، تولید ترکیبات دارویی کوتاه‌ترین زمان ممکن و بی‌نیاز به تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی. شیوه عملکرد باکتری خاکزی *A. rhizogenes* به این صورت است که هنگام ورد به سلول گیاهی، از طریق درج قسمتی از ژن‌های خود موسوم به ناحیه T-DNA در ژنوم گیاهی می‌گردد بخش T-DNA شامل ژن‌هایی است که آنزیم‌های سنتز هورمون‌های اکسین و سایتوکینین را رمز می‌کنند (Baskaran and Jayabalan, 2009).

خرفه گیاهی یک‌ساله از تیره *Portulacaceae* می‌باشد که برگ‌های ضخیم و دایره‌ای شکل و ساقه‌ی گوشتی به رنگ قرمز ارغوانی و همچنین بذره‌های سیاه ریز دارد. که ارتفاع این گیاه اغلب به ۴۰ سانتی‌متر می‌رسد و دارای گل‌هایی به رنگ زرد که

پس از چند مرحله آبکشی با آب مقطر، بذرها در محیط کشت MS حاوی ۳ درصد ساکارز و ۷ گرم در لیتر آگار کشت شد. دمای اتاق رشد روی $25 \pm 2^\circ\text{C}$ تنظیم شد. برای تأمین نور مورد نیاز از منبع نوری با روشنایی ۳۰۰۰ لوکس به مدت ۱۶ ساعت استفاده شد. از ریزنمونه‌های گیاهچه کامل جهت تلقیح با باکتری استفاده شد.

به‌منظور القای ریشه‌های موین، از سویه‌ی A4 و ریزنمونه‌ی گیاهچه‌ی کامل استفاده شد. برای تهیه‌ی سوسپانسیون باکتری، یک کلونی از این باکتری در ۱۵ میلی لیتر محیط کشت LB (Luria-Bertani) که دارای ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آنتی‌بیوتیک ریفامپسین بود کشت شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت درون انکوباتور چرخشی در دمای ۲۶ درجه‌ی سانتیگراد و با ۱۲۰ دور در دقیقه نگهداری شد. سوسپانسیون حاوی باکتری با استفاده از سرنگ به نقاط مختلف ریزنمونه‌های گیاهی تزریق شد. از کاغذ صافی برای خشک کردن ریزنمونه‌های تلقیح شده جهت جداسازی باکترهای اضافه از روی آن‌ها استفاده کرد. سپس این ریزنمونه‌ها روی محیط کشت MS جامد حاوی نیترات پتاسیم (KNO_3)، نیترات آمونیوم (NH_4NO_3)، پتاسیم فسفات (KH_2PO_4)، منیزیم سولفات (MgSO_4) و کلسیم کلرید (CaCl_2) در غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر میزان آن‌ها در محیط کشت MS انتقال داده شدند و به مدت ۷۲ ساعت در تاریکی و دمای $25 \pm 2^\circ\text{C}$ قرار داده شدند. ریزنمونه‌های تلقیح‌نشده به عنوان شاهد در شرایط مشابه کشت شدند. سپس بعد از اتمام زمان هم‌کشتی، ریز نمونه‌ها در آب سترون که حاوی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر سفوتاکسیم بود شستشو و پس از استفاده از کاغذ صافی جهت خشک کردن به شکل نسبی، به محیط کشت MS جامد انتقال داده شدند. در این محیط کشت فاقد تنظیم‌کننده‌های رشد بود و همچنین ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر آنتی‌بیوتیک سفوتاکسیم به آن اضافه شده بود. درصد القای ریشه‌ها و میانگین تعداد ریشه‌ها و میزان فنول و فلاونوئید کل را چهار هفته پس از ریشه‌زایی اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش، برای تشخیص ریشه‌های موین علاوه بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی ریشه‌ها مانند زمان القا، محل خروج ریشه از ریزنمونه، میزان رشد آن‌ها، از تایید مولکولی نیز با

سویه‌ی ATCC15834 برالقای ریشه‌های موین در قطعه‌های ساقه و کوتیلدون خرفه (در ابعاد سه میلی‌متری) حاکی از این بود که کوتیلدون‌ها بالاترین میزان ریشه‌دهی را نشان دادند و ریشه‌های حاصل از آن‌ها بالاترین سطح دوپامین را داشتند. همچنین طی پژوهشی (Pirian and Piri, 2012) اثر متیل‌جاسمونات و سالیسیلیک‌اسید را برای رسیدن به سطح بیشینه‌ی دوپامین در ریشه‌های موین خرفه بررسی کردند و دریافتند میزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر متیل‌جاسمونات و ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک سطح متابولیت دومین را به بالاترین حد می‌رسانند. میزان القا و رشد ریشه‌های موین تابعی تحت تاثیر عوامل مختلف از ترکیبات محیط کشت است. در مطالعه‌ای روی زرین گیاه انجام شد، یافته‌ها حاکی از این بود که محیط کشت MS فاقد KNO_3 ، KH_2PO_4 و CaCl_2 موجب افزایش راندمان القای ریشه‌های موین در این گیاه می‌شود (Sharafi et al. 2014). به طور ویژه‌تر، وقتی که محیط کشت MS فاقد CaCl_2 بود، ستنز ریشه‌های موین را در گیاه *Hevea brasiliensis* افزایش داد (Montoro et al. 2000). تاثیر مثبت حذف ترکیبات معدنی از محیط کشت به‌منظور افزایش کارایی *A. rhizogenes* در تراریخته‌سازی گیاه *Ginkgo biloba* نیز گزارش شده است (Dupre et al. 2000). با توجه به عدم بررسی اثر غلظت عناصر محیط کشت در القای ریشه‌های خرفه، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف عناصر غذایی ماکرو محیط کشت در بهینه‌سازی القا و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاه خرفه انجام شد.

مواد و روش‌ها

بذرهای گیاه خرفه از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. به منظور تهیه‌ی گیاهچه‌های استریل، بذرها پس از آبکشی با آب مقطر به داخل هود لامینار برده شد و با هیپوکلریت سدیم با غلظت ۲/۵ درصد به مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی شد. سپس، چند مرحله آبکشی انجام شد. آخرین مرحله ضدعفونی به وسیله‌ی الکل ۷۰٪ به مدت یک دقیقه و نیم ثانیه انجام شد. در نهایت،

منحنی استاندارد گالیک اسید استفاده شد. برای سنجش فلاونوئید کل، ۰/۲۵ میلی لیتر عصاره پلی فنلی، ۷۵ میکرولیتر سدیم نترات ۵ درصد، ۷۵ میکرولیتر محلول آلومینیوم کلراید ۱۰ درصد و ۰/۵ میلی لیتر سدیم هیدروکساید ۱ مولار با هم مخلوط شدند. در نهایت با اضافه کردن آب دو بار تقطیر شده حجم نهایی محلول به ۲/۵ میلی لیتر رسید. میزان جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر ثبت شد و از منحنی استاندارد کوئرستین برای محاسبه مقدار فلاونوئید کل استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد قبل از آنالیزهای آماری، آزمون تست نرمال بودن داده‌ها انجام و مقایسه‌ی میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن محاسبه و نمودارها توسط نرم افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

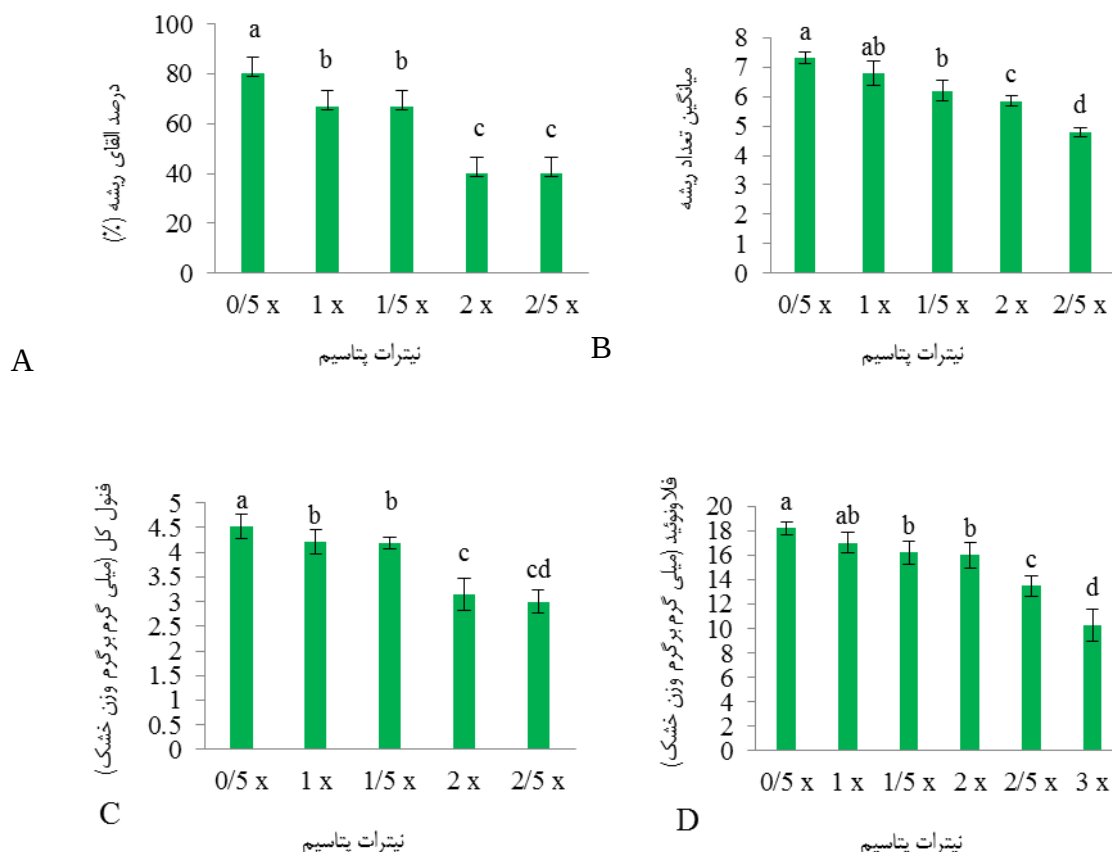
تأثیر سطوح مختلف نترات پتاسیم بر القای ریشه‌های موین
اولین ریشه‌های موین پس از گذشت ۷ روز در ریزنمونه‌ها مشاهده شد. ریزنمونه‌های تراریخته برخلاف ریزنمونه‌های غیر تراریخته ریشه‌های طولی با انشعابات زیاد تولید کردند در حالی که ریزنمونه‌های غیر تراریخته درصد ریشه‌دهی پایین داشته و ریشه‌ها با تاخیر ظاهر شدند. شکل ۱ تأثیر غلظت‌های مختلف پتاسیم نترات بر میزان القای ریشه‌های موین، میانگین تعداد ریشه‌ها، میزان فنول و فلاونوئید کل را نشان می‌دهد. محیط کشت حاوی ۰/۵x پتاسیم نترات دارای بیشترین درصد القای ریشه‌های موین (۸۰ درصد) و میزان فنول کل (۴/۵۲ میلی گرم بر گرم وزن خشک) بود (شکل ۱ A و C). علاوه بر این، محیط کشت حاوی ۰/۵x و ۱x پتاسیم نترات بیشترین میانگین تعداد ریشه (۷/۳ و ۶/۸) و فلاونوئید کل (۱۸/۲ و ۱۷/۰۲ میلی گرم بر گرم وزن خشک) را داشت (شکل ۱ B و D). احتمالاً استفاده از غلظت پایین پتاسیم نترات (۰/۵x) موجب افزایش توانایی باکتری در درج و بیان ژن‌های خود در سلول‌های محل زخم گیاه و در نتیجه منجر به افزایش تراریختگی توسط باکتری شده است، با افزایش

استفاده از پرایمرهای اختصاصی ژن *roIB* استفاده شد. از روش CTAB (Khan et al., 2007) برای استخراج DNA از ریشه‌های موین ریزنمونه‌های تلقیح یافته و همچنین ریشه‌های نابجای ریزنمونه‌های تلقیح نیافته به عنوان شاهد استفاده شد. پلاسمید سویه A4 نیز به عنوان کنترل مثبت به کار گرفته شد. از ترموسایکلر ساخت Qantarus برای واکنش زنجیره‌ای پلی مرز به کمک آغازگرهای اختصاصی ژن *roIB* که از سایت NCBI گرفته شده بود استفاده شد. توالی آغازگرها به این شکل بود: 5'-ATGGATCCCAAATTGCTATTCCCCACGA-3' (آغازگر مستقیم) و 5'-TAGGCTTCTTTTCATTCGGTTTACTGCAGC-3' (آغازگر غیرمستقیم). برنامه RCR شامل یک چرخه واسرشتگی اولیه در دمای ۹۴ °C مدت ۵ دقیقه و سپس ۳۵ چرخه به مدت ۲ دقیقه، اتصال آغازگرها در دمای ۵۵ درجه‌ی سانتی گراد به مدت ۴۵ ثانیه، بسط در دمای ۷۲ درجه‌ی سانتی گراد به مدت ۱/۵ دقیقه و یک چرخه بسط نهایی در دمای ۷۲ درجه‌ی سانتی گراد به مدت ۷ دقیقه بود. واکنش زنجیره‌ای پلیمرز برای هر واکنش در حجم نهایی ۲۵ میکرولیتر شامل: ۰/۸ میکرولیتر منیزیم کلرید (۵۰ mM)، ۰/۵ میکرولیتر dNTPs (۱۰ mM)، ۲/۵ میکرولیتر بافر PCR (۱۰ X)، ۰/۲ میکرولیتر DNA پلیمرز تک، ۱ میکرولیتر از هر پرایمر (۰/۱ mM) و ۱۸ میکرولیتر آب دیونیزه استریل انجام شد. سپس محصولات PCR توسط الکتروفورز ژل آگارز ۰/۸ درصد از هم جدا شد و در دستگاه ژل داک مدل ATP SN: G089301، عکس برداری شد.

روش Sonald and Laima (2001) و Heimler et al. (2009) به ترتیب برای اندازه‌گیری میزان فنل و فلاونوئید کل ریشه‌ها استفاده شد. برای این منظور ابتدا مقدار ۲ گرم از بافت ریشه‌های موین در ۳۰ میلی لیتر اتانول ۷۰ درصد و فرمیک اسید به نسبت ۹۹:۱ سائیده شد و میزان فنول و فلاونوئید در عصاره‌ی حاصل محاسبه شد. بعد از ترکیب ۵۰۰ میکرولیتر عصاره پلی فنلی و ۰/۵ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد، میزان ۲۵۰ میکرولیتر معرف فولین ۱۰ برابر رقیق شده و ۵۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم به آن اضافه شد. پس از افزودن ۳ میلی لیتر آب سترون به محلول و نگهداری آن مدت ۹۰ دقیقه در تاریک، میزان جذب در طول موج ۷۲۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای سنجش فنول کل از

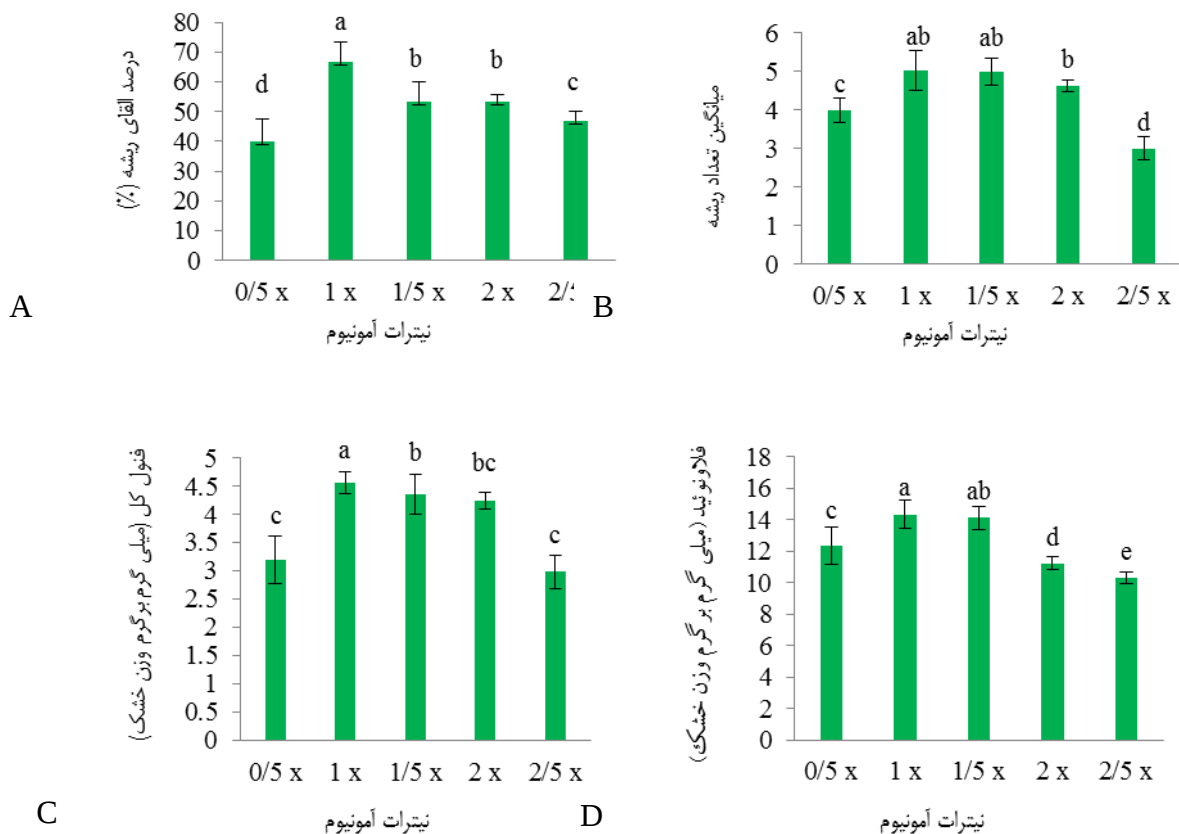
(*Saraca asoca*) در محیط کشت حاوی عناصر ماکرو به غلظت یک چهارم میزان آن در محیط کشت MS پایه قابل مشاهده است. همچنین Tabone *et al.* (1986) بیشترین تولید شاخه در سطوح پایین نیتروژن را در گیاه *Prosopis alba* گزارش دادند. همچنین Fathi *et al.* (2019) گزارش کردند که در محیط کشت فقیر از نظر نیتروژن، بعضی از سویه‌های *A. rhizogenes* از جمله A4 جهت مهندسی ژنتیک این گیاه کاسنی عملکرد مطلوب‌تری دارند و در محیط‌های فقیر از نظر محتوای فسفری، سویه‌هایی مانند ATCC15834 بهترین عملکرد تراسته‌سازی گیاه داشت. این تفاوت در عملکرد را می‌توان به تفاوت‌های ساختاری و عملکردی هر یک از سویه‌ها نسبت داد.

میزان پتاسیم نترات درصد القای ریشه‌های موین کاهش یافت. می‌توان نتیجه گرفت که یک اثر مهارکنندگی بر القای ریشه‌های موین و تولید متابولیت‌های ثانویه در ریشه‌های موین گیاه توسط نترات پتاسیم وجود دارد (Young-Am *et al.* 2000). گیاهان برای رشد بهینه به نیتروژن نیاز دارند. این عنصر در طبیعت به دو شکل آمونیوم و نترات یافت می‌شود که گیاه تنها از نترات می‌تواند استفاده کند. جذب آن از طریق سلول‌های ریشه گیاه است و بر فرآیندهای مختلف مربوط به رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (Shanjani, 2003). در این پژوهش کاهش میزان نترات پتاسیم در محیط کشت باعث افزایش القای ریشه‌های موین گردید که با نتایج پژوهش Shirin *et al.* (2015) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش نمودند که بیشترین میانگین تعداد شاخساره در گیاه آکاسیا



شکل ۱- تأثیر غلظت‌های مختلف نترات پتاسیم بر صفات ریشه‌های موین

Fig 1. The effects of different concentration of KNO_3 on hairy root characteristics



شکل ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف نیتрат آمونیوم بر صفات ریشه‌های موئین

Fig 2. The effects of different concentration of NH_4NO_3 on hairy root characteristics

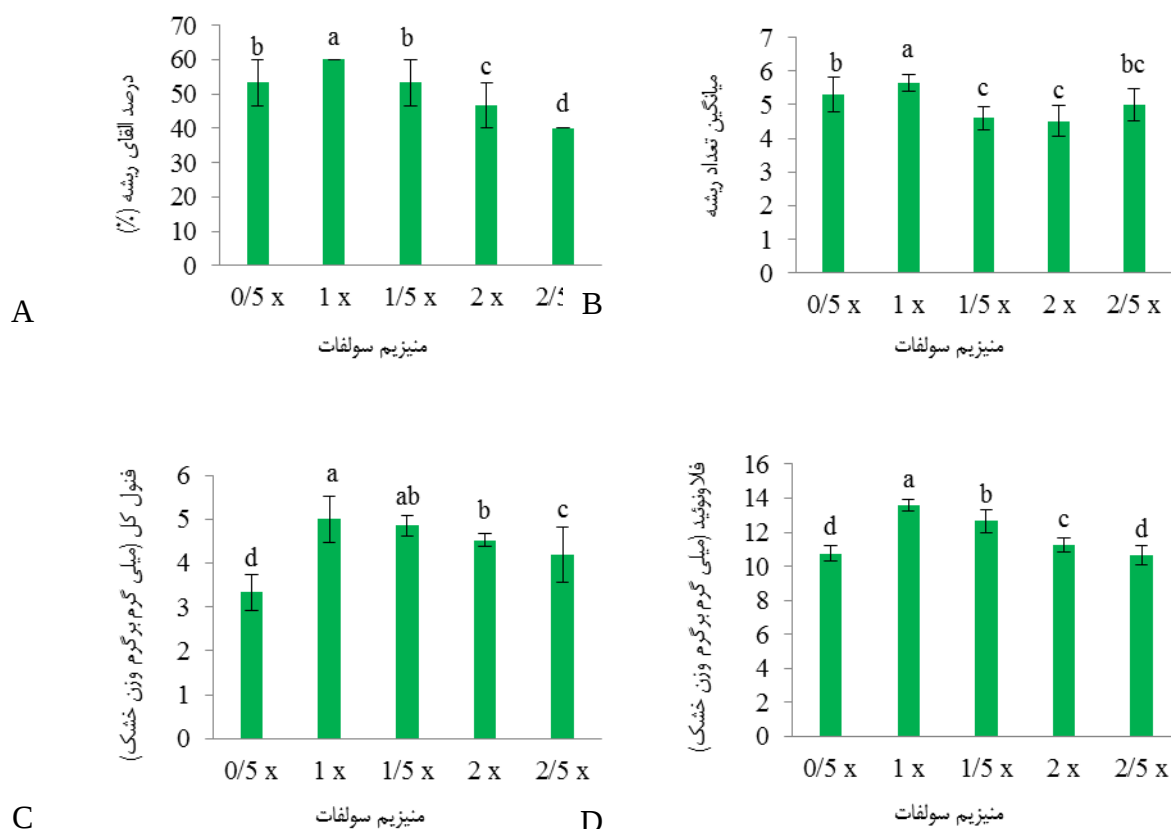
افزایش یافت. اما نتایج متناقض دیگری در ارتباط با پژوهش ما هم گزارش شده است، به عنوان تأثیر مثبت غلظت‌های پایین نیترات آمونیوم در افزایش تولید جنسینوزید در گیاه جینسنگ گزارش شده است (Zhong and Wang, 1998).

تأثیر سطوح مختلف منیزیم سولفات بر القای ریشه‌های موئین
تأثیر سطوح مختلف منیزیم سولفات محیط کشت بر میزان القای ریشه‌های موئین، میانگین تعداد ریشه‌ها، میزان فنول کل و فلاونوئید کل در شکل ۳ نشان داده شده است. بیش‌ترین درصد القای ریشه‌های موئین (۶۰ درصد)، میانگین تعداد ریشه (۵/۶۵ عدد)، میزان فنول (۵ میلی گرم بر گرم وزن خشک) و میزان فلاونوئید (۱۳/۶ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار حاوی ۱x منیزیم سولفات دیده شد (شکل ۳ A, B, C و D). می‌توان نتیجه گرفت که برای بهینه‌سازی القای ریشه‌های موئین و تولید متابولیت‌های ثانویه محیط کشت‌های حاوی غلظت‌های ۱x منیزیم سولفات مناسب است. تا به حال پژوهش‌های اندکی در مورد اثر غلظت‌های مختلف این نمک بر سطح القای ریشه‌های موئین و

تأثیر سطوح مختلف نیترات آمونیوم بر القای ریشه‌های موئین
غلظت‌های مختلف نیترات آمونیوم (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر میزان آن‌ها در محیط کشت) تأثیر مستقیم بر القای ریشه‌های موئین داشت. محیط کشت حاوی ۱x نیترات آمونیوم دارای بیشترین میزان القای ریشه‌های موئین (۶۶/۶۶ درصد) و فنول (۴/۵۶ میلی گرم بر گرم وزن خشک) بود. بیشترین میانگین تعداد ریشه (۵/۰۳ و ۵ عدد) بود و میزان فلاونوئید کل (۱۴/۳۲ و ۱۴/۱۲ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار محیط کشت حاوی نیترات آمونیوم ۱x و ۱/۵x مشاهده شد (شکل ۲ A, B, C و D). از دیگر منابع نیتروژن مورد نیاز گیاهان برای رشد، نیترات آمونیوم است که نقش مثبت آن در بهبود سنتز پلی آمین‌ها (Chen et al. 2011)، متابولیت‌های ثانویه و مواد آنتی اکسیدانی قابل توجه است (Shehata et al. 2014). همچنین اثبات شده است که سطوح بالای آمونیوم در اندام زایی و زنده‌مانی بافت‌های گیاهی نقش دارد (Alturki et al. 2010). (Fan et al. 1998) گزارش کردند که سنتز شیکمیک اسید در اثر افزایش کاربرد آمونیوم

زیست‌توده و تولید متابولیت‌های ثانویه به دست آمد (Abdoli et al. 2013). در مطالعه‌ای روی تنباکوی هندی، بیشترین میزان متابولیت لوپلین و بیوماس به ترتیب در محیط کشت ۷۵ میلی گرم در لیتر کلسیم کلرید (۳۹ میلی گرم بر گرم وزن خشک) و حاوی یک گرم در لیتر منیزیم سولفات دیده شد. آن‌ها در نهایت محیط کشت B5 پایه به همراه ۱۰۰۰ میلی گرم منیزیم سولفات را بهترین ترکیب برای تولید لوپلین معرفی کردند (Balvanyos et al. 2003).

رشد ریشه‌ها و تولید متابولیت‌های ثانویه انجام شده است. (Hank et al. 2003) روی سطح تولید هیوسیامین و اسکوپولامین در ریشه‌های موین گیاه شایبزرگ پژوهشی انجام دادند و گزارش کردند که بالاترین سطح اسکوپولامین و هیوسیامین به ترتیب در ۱۰۰۰ و ۱۲۵ میلی گرم منیزیم سولفات مشاهده شد و افزایش سطح آن با افزایش وزن تر ریشه‌ها رابطه مستقیمی داشت. همچنین نتایج پژوهشی مرتبط روی گیاه سرخارگل نشان دادند در غلظت ۱۶۰۰ میلی گرم منیزیم سولفات بالاترین تجمع



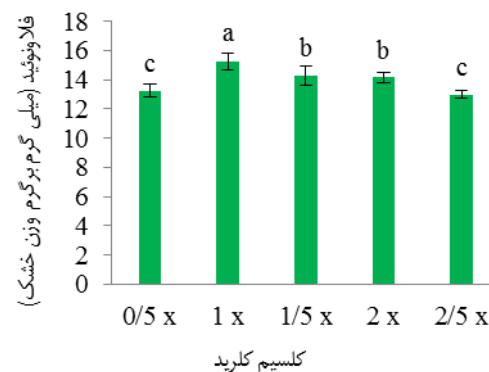
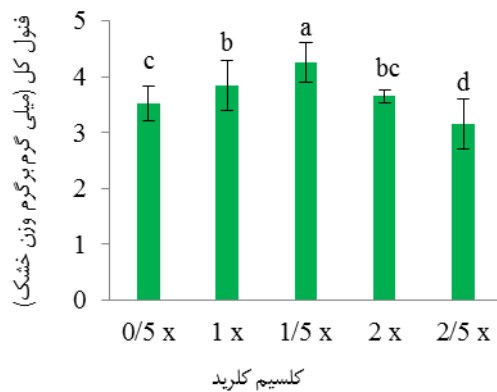
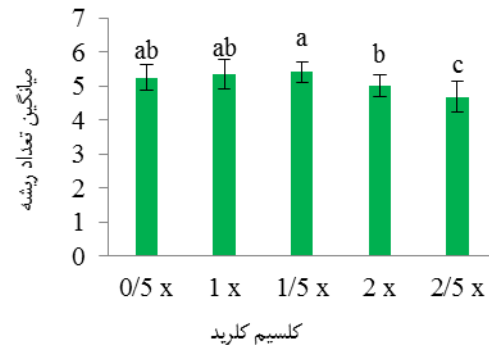
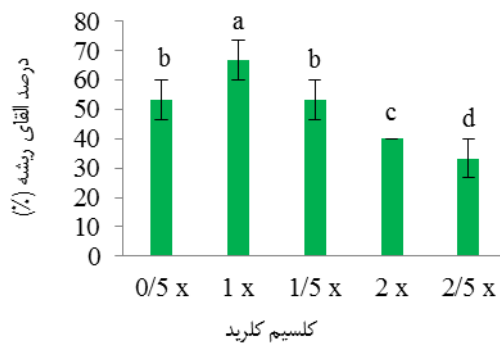
شکل ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف منیزیم سولفات بر صفات ریشه‌های موین
Fig 3. The effects of different concentration of MgSO₄ on hairy root characteristics

(شکل B و C). سه تیمار با غلظت پایین‌تر کلسیم کلرید (۰/۵x)، ۱x و ۱/۵x دارای میزان القای ریشه‌های موین و میانگین تعداد ریشه بیشتری نسبت به غلظت‌های بالای کلسیم کلرید (۲x و ۲/۵x) بودند که این امر می‌تواند نشان‌دهنده اثرات منفی (سمیت) غلظت‌های بالای این نمک و احتمالاً یون‌های کلر باشد. میزان تولید متابولیت‌های ثانویه در محیط کشت حاوی سطوح بالای کلسیم کلرید نیز کم بود؛ احتمالاً افزایش آنزیم پراکسیداز در اثر

تأثیر سطوح مختلف کلسیم کلرید بر القای ریشه‌های موین تأثیر غلظت‌های مختلف کلسیم کلرید در محیط کشت بر القای ریشه‌های موین خرفه نشان داد که غلظت ۱x بیشترین تأثیر را در افزایش درصد القای ریشه‌های موین (۶۶/۶۶) و فلاونوئید کل (۱۵/۲۲) میلی گرم بر گرم وزن خشک ریشه داشت (شکل A و D). بیشترین میانگین تعداد ریشه (۵/۴۲ عدد) و فنول کل (۴/۲۶ میلی گرم بر گرم وزن خشک ریشه) در تیمار ۱/۵x مشاهده شد

موجب کاهش رشد و زرد شدن بافت گیاه پروانش گردیده است (Siddiqui and Mujib, 2012). نتیجه مشابهی نیز با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم کلرید در محیط کشت گیاه *Brugmansia candida* گزارش شده است (Pitta Alvarez et al. 2000).

افزایش غلظت کلسیم کلرید در محیط کشت در گیاه موجب تجزیه‌ی متابولیت‌های ثانویه می‌گردد (Ajungla et al. 2009)، نتایج مشابهی نیز توسط (Abdoli et al. 2013) در رشد ریشه‌های موین گیاه سرخارگل مشاهده شد. همچنین گزارش شده است که مقادیر بالای کلسیم کلرید در شرایط کشت درون‌شیشه‌ای



شکل ۴- تأثیر غلظت‌های مختلف کلسیم کلرید بر صفات ریشه‌های موین

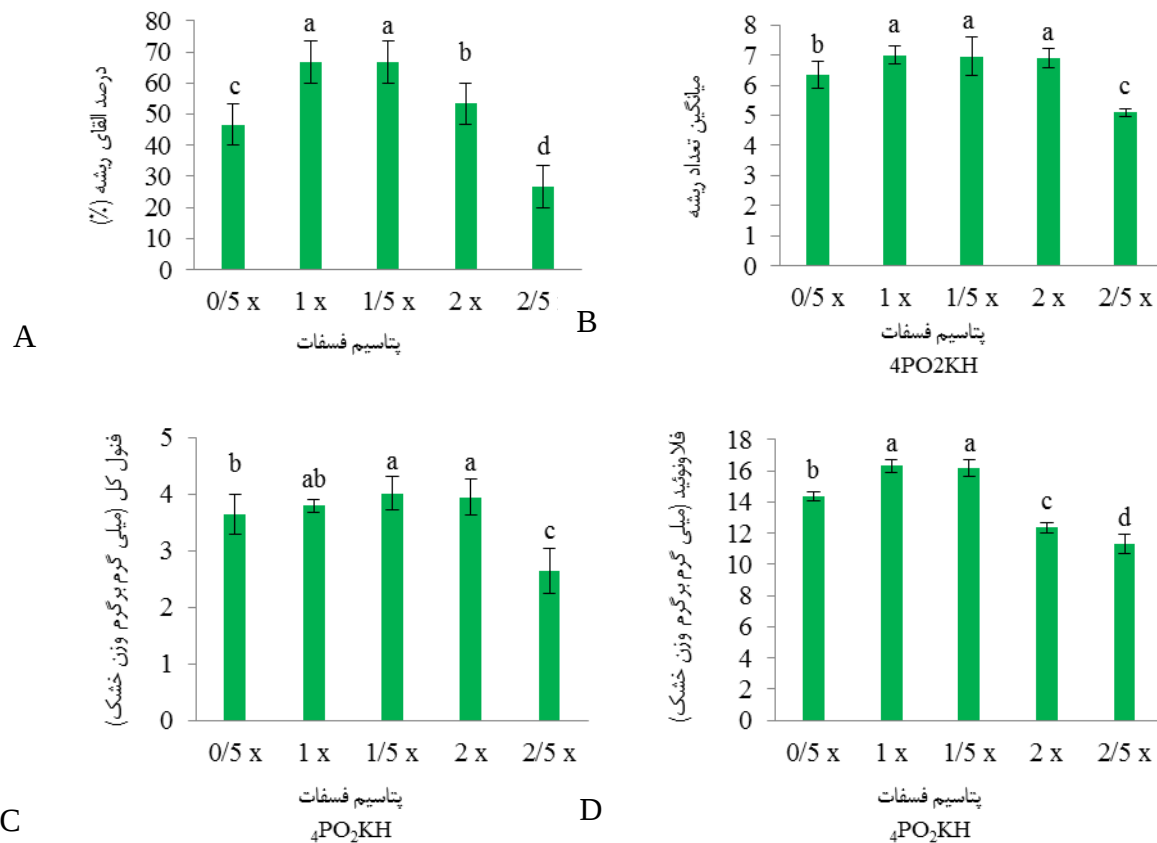
Fig 4. The effects of different concentration of CaCl_2 on hairy root characteristics

نیز در محیط کشت حاوی ۲/۵x پتاسیم فسفات مشاهده شد (شکل ۵ A, B, C و D)، این امر نیز نشان‌دهنده ایجاد سمیت فسفات همانند سایر عناصر در کاربرد با غلظت بالا می‌باشد. فسفر دارای نقش مؤثری در بسیاری از فرآیندهای گیاهی از جمله فتوسنتز، ذخیره‌ی انرژی و تقسیم سلول‌های گیاهی می‌باشد (Azadi et al. 2010). در پژوهشی گزارش شده است که کاهش میزان فسفات از محیط کشت موجب افزایش توانایی *rhizogenes* در اتصال به گیاه میزبان و انتقال ناحیه‌ی موسوم به T-DNA از باکتری به ژنوم گیاه می‌شود (Danhorn et al. 2004). همچنین (Khahrizi et al. 2017) نیز گزارش کردند افزایش

تأثیر سطوح مختلف پتاسیم فسفات بر القای ریشه‌های موین بیش‌ترین میزان القای ریشه‌های موین (۶۶/۶۶ درصد) در محیط کشت حاوی ۰/۵x و ۱x پتاسیم فسفات مشاهده شد، بیشترین میانگین تعداد ریشه (۷ عدد)، میزان فلاونوئید کل (۱۶/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در محیط کشت حاوی ۱x پتاسیم فسفات مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان فنول کل (۴/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در محیط کشت حاوی ۱/۵x پتاسیم فسفات مشاهده شد. کمترین درصد القای ریشه‌های موین (۲۶/۶۶)، میانگین تعداد ریشه (۵/۱ عدد)، میزان فنول کل و فلاونوئید (به ترتیب ۲/۶۵ و ۱۱/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)

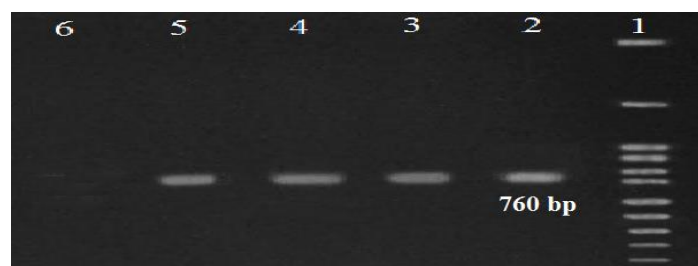
می‌کند. قطعه مورد نظر در باکتری به‌عنوان کنترل مثبت تکثیر شد، اما ریشه‌ی شاهد به‌عنوان کنترل منفی تکثیری نشد. همچنین عدم وجود آلودگی سطحی *A. rhizogenes* در سطح ریشه‌ها به دلیل تکثیر نشدن پرایمر *virD* مشاهده شد (شکل ۶).

ربادیوزید در گیاه استویا می‌تواند به علت کاربرد سطوح بالای پتاسیم فسفات در محیط کشت این گیاه باشد. واکنش زنجیره‌ای پلیمرز با استفاده از آغازگرهای ژن *rolB* برای تأیید تراریختی ریشه‌های مویین استفاده شد. با توجه به این که می‌باشد، تکثیر قطعه‌ای توالی تکثیرشونده با آغازگر با طول ۷۶۰ bp در این گیاهان تراریخت حضور حداقل یک نسخه از ژن را در آن‌ها تأیید



شکل ۵- تأثیر غلظت‌های مختلف پتاسیم فسفات بر صفات ریشه‌های مویین

Fig 5. The effects of different concentration of KH₂PO₄ on hairy root characteristics



شکل ۶- تکثیر قطعه‌ی DNA به اندازه‌ی ۷۶۰ bp در واکنش PCR با آغازگرهای اختصاصی ژن *rolB* بر روی DNA ریشه‌های مویین. ۱: نشانگر اندازه‌ی DNA ۱۰۰ جفت بازی، ۲: پلاسمید باکتری *A. rhizogenes* به‌عنوان شاهد مثبت، ۳-۵: ریشه‌های مویین، ۶: ریشه‌های شاهد حاصل از ریزنمونه‌های غیرتراریخت به عنوان شاهد منفی

Fig 6. PCR amplified DNA fragments (760 bp) using specific primers for *rolB* gene of *A. rhizogenes* on hairy root DNA. 1: 100 bp DNA Ladder, 2: *A. rhizogenes* plasmid as positive control 3-5: hairy roots, 6: Adventitious root raised from non-transformed explant as negative control.

نتیجه‌گیری

از نتایج این پژوهش می‌توان دریافت که بیش‌ترین درصد القای ریشه‌های موئین در غلظت ۰/۵x پتاسیم نیترات مشاهده شد (۸۰ درصد) که می‌توان دلیل آن را اثر بازدارندگی این عناصر در انتقال و درج ژنوم *A. rhizogenes* دانست و کاهش مقدار پتاسیم نیترات در محیط کشت منجر به افزایش تراریختگی توسط باکتری شد. در مورد سایر نمک‌ها نیز غلظت ۱x بیش‌ترین درصد القای ریشه‌های موئین را نشان داد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که القای ریشه‌های موئین و تولید متابولیت‌های ثانویه در خرفه تحت تأثیر ترکیبات محیط کشت قرار دارد. بیش‌ترین میزان فنول کل در هر تیمار، در غلظت ۰/۵x پتاسیم نیترات، ۱x نیترات آمونیوم، ۱x

منیزیم سولفات، ۱/۵x کلسیم کلرید و ۱/۵x پتاسیم فسفات مشاهده شد. همچنین غلظت‌های ۰/۵x پتاسیم نیترات، ۱x نیترات آمونیوم، ۱x منیزیم سولفات، ۱x کلسیم کلرید و ۱x پتاسیم فسفات بیش‌ترین میزان فلاونوئید را نشان دادند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان بیان نمود که سیستم کشت ریشه‌های موئین یک رهیافت مفید و کارآمد برای بهینه‌سازی تولید ترکیبات دارویی گیاهان در سطح وسیع می‌باشد و استفاده از آن‌ها در صنایع داروسازی و سلامت باید مورد توجه بیش‌تری قرار گیرد.

منابع

- Aamirul-Alam M, Juridimi A, Rafii A. 2014. Genetic improvement of purslane (*Portulaca oleracea* L.) and its future prospects. *Molecular biology reports* 41: 7395-7411.
- Abdoli M, Moieni A, Naghdi Badi H. 2013. Influence of KNO₃, CaCl₂ and MgSO₄ concentrations on growth and cichoric acid accumulation in hairy root culture of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.). *Journal of Medicinal Plants* 12: 75-84.
- Ahmadi-Moghadam Y, Piri K, Bahramnejad B, Habibi P. 2013. Methyl jasmonate and salicylic acid effects on the dopamine production in hairy cultures of *Portulaca oleracea* (Purslane). *BEPLS* 2: 89-94.
- Ajungla L, Patil P, Barmukh R, Nikam T. 2009. Influence of biotic and abiotic elicitors on accumulation of hyoscyamine and scopolamine in root cultures of *Datura metel* L. *Indian Journal of Biotechnology* 8: 317-322.
- Al-Turki S, Shahba MA, Stushnoff C. 2010. Diversity of antioxidant properties and phenolic content of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits as affected by cultivar and location. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 8: 253-260.
- Azadi P, Chin DP, Kuroda K. 2010. Macro elements in inoculation and co-culture medium strongly affect the efficiency of *Agrobacterium*-mediated transformation in *Lilium*. *J. Plant Cell Tissue Organ Cult* 101(2): 201-209.
- Balvanyos I, Szoke E, Kursinszki L. 2003. Effect of macroelements on the growth and lobeline production of *Lobelia inflata* L. hairy root cultures. *Acta Horticult* 597: 245-251.
- Baskaran P, Jayabalan N. 2009. Psoraleh production in hairy roots and adventitious roots culture of *Psoralea coryfolia*. *Biotechnol Lett* 31: 1037-1077.
- Chen L, Liu QQ, Gai JY, Zhu YL. 2011. Effects of nitrogen forms on the growth and polyamine contents in developing seeds of vegetable soybean. *Journal of Plant Nutrition* 34: 504-521.
- Danhorn T, Hentzer M, Givskov M. 2004. Phosphorus limitation enhances biofilm formation of the plant pathogen *Agrobacterium tumefaciens* through the PhoR-PhoB regulatory system. *J. Bacteriol* 186: 4492-4501.
- Dupre P, Lacoux Y, Neutelings G. 2000. Genetic transformation of *Ginkgo biloba* by *Agrobacterium tumefaciens*. *Physiol Plant* 108: 413-419.
- Fan Y, Wang Y, Tan R, Zhang Z. 1998. Seasonal and sexual variety of *Ginkgo flavonol glycosides* in the leaves of *Ginkgo biloba* L. *Journal of Traditional Chinese Medicine* 23: 267-269.
- Fathi R, Mohebodini M, Chamani E. 2019. High-efficiency *Agrobacterium rhizogenes*-mediated genetic transformation in *Cichorium intybus* L. via removing macronutrients. *Industrial Crops and Products* 128: 572-580.
- Ghorbani M, Ghorbani M, Omid S, Hashemi M. 2015. Response surface modelling of noradrenaline production in hairy root culture of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 3(6): 349-443.
- Hank H, Laszlo I, Balvanyos I, Toth E. 2003. Effect of magnesium on the growth and alkaloid production of hairy root cultures. *Acta Horticulturae* 597: 271-274.
- Heimler D, Isolani L, Vignolini P, Romani A. 2009. Polyphenol content and antiradical activity of *Cichorium intybus* L. from biodynamic and conventional farming. *Food Chemistry* 114: 765-770.
- Henzelyova J, Cellarova E. 2018. Modulation of naphthodianthrone biosynthesis in hairy root-derived *Hypericum tomentosum* regenerants. *Acta Physiologiae Plantarum* 40(5): 82.

- Kahrizi D, Ghari S, Ghaheri M. 2017.** Effect of KH_2PO_4 on gene expression, morphological and biochemical characteristics of *Stevia rebaudiana* Bertonii under in vitro conditions. *Cellular and Molecular Biology* 63: 107-111.
- Khan S, Irfan QM, Kamaluddin AT, Abdin MZ. 2007.** Protocol for isolation of genomic DNA from dry and fresh roots of medicinal plants suitable for RAPD and restriction digestion. *Afr J Biotechnol* 6: 175-178.
- Kim Y, Wysolouzil B, Weathers PJ. 2002.** Secondary metabolism of hairy root cultures bioreactore. *In Vitro Cell Dev Biol Plant* 38: 1-10.
- Mahipal SSH, Kanan N, Manokari M. 2015.** Propagation of *Portulaca oleracea* L. in liquid medium: implications of plant growth regulators in culture. *Journal of microbiology and biotechnology and food sciences* 4(4): 332 -335.
- Montoro P, Teinseree N, Rattana W. 2000.** Effect of exogenous calcium on *Agrobacterium tumefaciens*-mediated gene transfer in *Hevea brasiliensis* (rubber tree) friable calli. *Plant Cell Rep* 19: 851-855.
- Pirian LK, Piri K. 2012.** Effect of methyl jasmonate and salicylic acid on noradrenalin accumulation in hairy roots. *Portulaca oleracea*, *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 3(1): 213-218.
- Pitta-Alvarez SI, Spollansky TC, Giulietti AM, 2000.** The influence of different biotic and abiotic elicitors on the production and profile of tropane alkaloids in hairy root cultures of *Brugmansia candida*. *Enzyme and Microbial Technology* 26: 252-258.
- Ramachandra RS, Ravishancar GA. 2002.** Plant cell culture: Chemical factories of secondary metabolites. *Biotechnol Adv* 20: 101-153.
- Rates SMK. 2001.** Plant as sources of drugs. *Toxicon* 39: 603-613.
- Shanjani PS. 2003.** Nitrogen effect on callus induction and plant regeneration of *Juniperus excelsa*. *International Journal of Agriculture and Biology* 5: 419-422.
- Sharafi A, Sohi HH, Azadi P, Sharafi AA. 2014.** Hairy root induction and plant regeneration of medicinal plant *Dracocephalum kotschyi*. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 20(2): 257-262.
- Shehata WF, Aldaej MI, Alturki SM, Ghazzawy HS. 2014.** Effect of ammonium nitrate on antioxidants production of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) in vitro. *Biotechnology* 13: 116-125.
- Shirin F, Parihar NS, Shah SN. 2015.** Effect of nutrient media and KNO_3 on in vitro plant regeneration in *Saraca asoca* (Roxb.) Willd. *American Journal of Plant Sciences* 6: 3282.
- Siddiqui ZH, Mujib A. 2012.** Accumulation of vincristine in calcium chloride elicited *Catharanthus roseus* cultures. *The Natural Products Journal* 2: 307-315.
- Sonald SF, Laima SK. 2001.** Phenolics and cold tolerance of *Brassica napus*, *Plant Agriculture* 1: 1-5.
- Tabone T, Felker P, Bingham R. 1986.** Techniques in the shoot multiplication of the leguminous tree *Prosopis alba* clone B2V50. *Forest Ecology and Management* 16: 191-200.
- Verpoorte R, Memelin J. 2002.** Engineering secondary metabolite production in plants, *Curr Opin Biotechnol* 13: 181-187.
- Young-Am C, Yu HS, Song JS, Chun HK, Park SU. 2000.** Indigo production in hairy root cultures of *Polygonum tinctorium* Lour. *Biotechnology letters* 22(19): 1527-1530.
- Zhong JJ, Wang SJ. 1998.** Effects of nitrogen source on the production of ginseng saponin and polysaccharide by cell cultures of *Panax quinquefolium*. *Process Biochemistry* 33: 671-675.

Genetic Engineering and Biosafety Journal
Volume 9, Number 2
2021

Effect of different concentrations of medium nutrients on optimization of hairy root induction in purslane

Mehdi Mohebodini*, Roghayeh Fathi

Department of Horticultural science, Faculty of Agriculture and Natural resources, University of Mohaghegh
Ardabili, Ardabil, Iran.

*Corresponding Author, Email: mohebodini@uma.ac.ir

Abstract

Hairy root induction by *Agrobacterium rhizogenes* is a reliable method to increase *P. oleracea* medicinal compounds. The hairy roots in addition to high growth rates are genetically and biochemically stable. Purslane (*Portulaca oleracea* L.) is one of the valuable medicinal plants and has important secondary metabolites such as dopamine and noradrenaline. In this study, hairy roots of Purslane were produced by using *Agrobacterium rhizogenes* strain A₄ and different concentrations of macro elements (0.5x, 1x, 1.5x, 2x and 2.5x concentrations of MS base medium) were investigated. For confirming hairy roots transformation, the presence of the *rolB* gene in the hairy roots was performed by PCR and using *rolB* gene's specific primers. The results show that maximum hairy root induction was observed by using 0.5x KNO₃ (80 percentage). The highest phenolic content was obtained by using 0.5x KNO₃ (4.52 mg/g DW) and also maximum flavonoid content, (18.2 and 17.02 mg/g DW respectively) was belonged to 0.5x and 1x KNO₃. Molecular confirmation of transgenic hairy roots was done with PCR reaction.

Keywords: Co-culture, KNO₃, *RolB* gene, Medium.