



"مقاله پژوهشی"

تأثیر تراریزش و تیمارهای هورمونی روی کالوس‌زایی و باززایی کارآمد ارقام سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

سیمین مگوئی^۱، فرهاد نظریان فیروزآبادی^۲، احمد اسماعیلی^۳ و میترا خادمی^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد (نویسنده مسؤل: Nazarian.f@lu.ac.ir)

۳- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۴- دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۲۴

صفحه: ۳۹ تا ۴۶

چکیده

بهینه‌سازی کشت بافت گیاهی پس از تراریزش برای تولید گیاهچه‌های بیشتر، یکی از اولین اقدامات مهم برای تولید گیاهان تراریخت است. برای بررسی اثر فاکتورهای مختلف بر روی صفات کالوس‌زایی دو رقم سیب‌زمینی (آگریا و مارفونا)، دو نوع ریزنمونه (برگ و میانگره)، دو نوع غلظت آنتی‌بیوتیک کانامایسین (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و پنج نوع محیط کشت (A, B, C, D1 و D2) در آزمایشی به صورت فاکتوریل با چهار تکرار در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا گردید. ریزنمونه‌ها توسط ناقل pBIN19 حاوی ژن *nptII* تراریزش شدند. آزمایش‌های مولکولی نشان داد که ژن *nptII* به‌درستی در ژنوم هر دو رقم سیب‌زمینی درج شده است. میزان کارایی تراریزش به ژنوتیپ ریزنمونه وابسته نبود و کارایی تراریزش در حدود ۳/۶ درصد محاسبه گردید. تجزیه واریانس صفت درصد کالوس‌زایی نشان داد که محیط D2، ریزنمونه برگ، رقم مارفونا با غلظت آنتی‌بیوتیک ۵۰ میکروگرم در لیتر با مقدار ۱۰۰ درصد شناخته شد. کمترین درصد کالوس‌زایی در محیط C با ریزنمونه‌های میانگره مشاهده گردید. در بررسی تأثیر هورمون‌ها بر روی صفت کالوس‌زایی، در صورتی که هورمون زآتین به‌تنهایی استفاده شود، کالوس‌زایی بیشتری در مقایسه با سایر هورمون‌ها مشاهده شد. همچنین ریزنمونه برگ بهتر از ریزنمونه میانگره و رقم مارفونا نیز با حدود ۹ درصد کالوس‌دهی بیشتر، بهتر از آگریا بود. نتایج نشان داد که کالوس‌های حاصل از ریزنمونه‌های میانگره بهتر از کالوس‌های ریزنمونه‌های برگ می‌توانستند گیاهچه تولید کنند. به‌طور کلی، ریزنمونه‌های برگ رقم مارفونا سیب‌زمینی در حضور هورمون زآتین کالوس بیشتری تولید کردند.

واژه‌های کلیدی: باززایی، تراریزش، سیب‌زمینی، کالوس‌زایی، میانگره

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با تولید سالانه نزدیک به ۴۰۳ میلیون تن محصول به‌همراه گندم، برنج و ذرت یکی از چهار محصول پر مصرف در دنیاست (۳). چون روش‌های معمول و کلاسیک اصلاح زمان بر و در مورد ژنوم سیب‌زمینی به‌دلیل طبیعت تتراپلوئیدی ($2n=4x=28$) مشکل می‌باشد. لذا مهندسی ژنتیک آن نسبت به سایر گیاهان زودتر و بیشتر مورد توجه بوده است. سیب‌زمینی به‌دلیل داشتن مزایای همچون سهولت تکثیر، تولید محصول و ماده‌ی خشک بالا، سادگی ایجاد تراریزش^۱، دسترسی به توالی کامل ژنوم، قابلیت نگهداری و همچنین جایگاه این گیاه در مبحث زراعت مولکولی سبب شده است جایگاه ویژه‌ای برای بیان پروتئین‌های نو ترکیب پیدا کند (۱،۱۶،۷،۵،۳).

اغلب هدف نهایی هر نوع کشت سلولی، باززایی گیاهان مورد نظر است. برخی گیاهان به‌خوبی در شرایط درون‌شیشه‌ای باززایی می‌شوند و برخی دیگر مشکل دارند (۱۲،۲۲) درصد باززایی در گیاهان بسته به گونه گیاه، شرایط محیط و ترکیبات هورمونی متفاوت است (۲،۴،۱۵،۲۰). در همین راستا، تحقیقات متعددی در مورد بهینه‌سازی کشت بافت سیب‌زمینی به‌منظور انتقال ژن و تولید گیاهان تراریخت با استفاده از ریزنمونه‌های میانگره، برگ و ریزغده‌ها صورت گرفته است (۲۰،۴،۱۵،۲). جنین‌زایی سوماتیکی و یا باززایی مستقیم گیاه از قطعات مختلف ریزنمونه، از جمله مهم‌ترین

روش‌های باززایی پس از تراریزش گیاه سیب‌زمینی است (۶). در روند تولید جنین‌های سوماتیکی و باززایی گیاه سیب‌زمینی، از قطعات ریزنمونه‌ی متفاوتی مانند کالوس‌های برگ، دیسک‌های ریزغده، گرهک‌های ساقه‌ای گیاهان حاصل از کشت در شرایط درون‌شیشه‌ای، قطعات میانگره ساقه‌ای و جنین‌های زیگوتی استفاده شده است. با این‌وجود، هر یک از این روش‌ها دارای محدودیت‌هایی در مراحل مختلف کشت بافت، نظیر فراوانی پایین تراریزش، مقدار کم باززایی، وقوع تنوع سوماکلونال (به‌ویژه در بحث تغییر سطح پلوئیدی) می‌باشند. از این‌رو، بهینه‌سازی کشت‌بافت از قطعات ریزنمونه‌ی مناسب از جمله برگ، میانگره و ریزغده‌ی سیب‌زمینی برای دستیابی به میزان بالایی از باززایی جهت اهدافی مانند انتقال ژن، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. اگرچه انجام تراریزش در اکثر ارقام مهم تجاری سیب‌زمینی امری متداول است، اما هنوز هم برخی ژنوتیپ‌ها وجود دارند که پاسخ خوبی به تراریزش نمی‌دهند (۸،۲) و مطالعات نشان می‌دهند که کارایی تراریزش در این گیاه به‌شدت به نوع ژنوتیپ وابسته است (۹). میزان باززایی در سیب‌زمینی به عوامل متفاوتی مانند نوع و غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد (هورمون‌ها)، ژنوتیپ گیاه، نوع و منشأ قطعات ریزنمونه بستگی دارد (۹،۱۰). انتقال ژن به سیب‌زمینی برای مقاصد مختلف از جمله تولید سیب‌زمینی‌های تراریخت مقاوم به آفات و بیماری‌ها، از جمله اهداف استراتژیک برنامه‌های به‌نژادی در

۳۷ درجه سانتی‌گراد کشت و غربال شدند. استخراج پلاسمید از کلونی‌های منتخب با استفاده از کیت (شرکت Thermo Fisher) و تایید همسانه‌سازی با استفاده از واکنش زنجیره‌ای پلیمرز (PCR) توسط آغازگرهای اختصاصی مربوط به ژن-*nptII* (Forward: 5'-GTAAAACGACGGCCAG-3'، Reverse: 5'-GGATAACAATTTTCACACAGG-3') انجام شد.

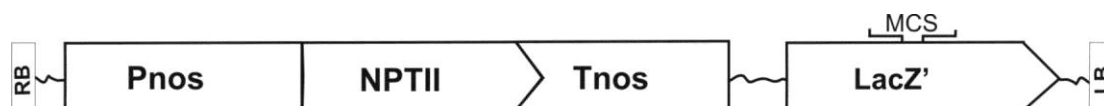
واکنش زنجیره‌ای پلیمرز با یک چرخه واسرشت‌سازی اولیه یک‌بار در ۹۴ درجه سانتی‌گراد برای ۳ دقیقه، ۳۵ چرخه شامل واسرشت‌سازی در دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد برای ۱ دقیقه، مرحله اتصال آغازگر در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و برای ۵۰ ثانیه، تکثیر DNA الگو در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد برای ۳ دقیقه و یک چرخه تکثیر نهایی در ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه صورت گرفت.

کشور است. از آنجایی که انتقال ژن باید به ارقام مهم زراعی صورت گیرد و ارقام آگریا و مارفونا از جمله ارقام مهم زراعی کشور هستند، این تحقیق برای بررسی تأثیر عوامل متعددی مانند نوع ریزنمونه، رقم، غلظت آنتی‌بیوتیک و محیط‌هایی با غلظت هورمونی متفاوت در گیاه سیب‌زمینی پس از تراریزش با آگروباکتری حاوی ژن مقاومت به کانامایسین صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

انتقال پلاسمید حاوی ژن به آگروباکتری

پلاسمید pBIN19 حامل ژن *nptII* از باکتری *E. coli* استخراج و به‌روش انجماد و ذوب به *A. tumefaciens* سویه LBA4404 انتقال داده شد (شکل ۱). باکتری‌های ترانسفورم شده روی محیط کشت LB واجد آنتی‌بیوتیک گزینش‌گر و نکومایسین ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر به‌صورت شبانه و در دمای

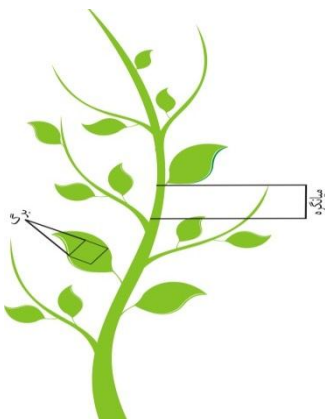


شکل ۱- شماتیک تصویر سازه ژنی برای تراریزش ریزنمونه‌های سیب‌زمینی، RB: مرز راست؛ LB: مرز چپ؛ Pnos: پروموتور ژن نوپالین سنتتاز؛ *nptII* ژن کدکنندهی نوامایسین فسفوترانسفراز؛ حاوی ژن مقاومت به کانامایسین، Tnos: خاتمه‌دهنده نوپالین سنتتاز، LacZ': قسمت پایانه‌ی N (۱۴۶ اسید آمینه) ژن بتاگالاکتوزیداز؛ MCS: جایگاه همسانه‌سازی چندگانه

Figure 1. Schematic representation of the gene construct used for potato transformation. RB: Right border; LB: Left border; Pnos: Nopaline synthetase gene promoter; *nptII*: Neomycin phosphotransferase gene; Tnos: Nopaline Synthetase; LacZ': N terminus (146 amino acids) beta-galactosidase gene; MCS: Multiple site

پس از گذشت پنج تا شش روز از واکنش، گیاهچه‌ها شروع به ریشه‌زایی و رشد در محیط MS نمودند. از گیاهچه‌های چهار هفته‌ای دارای تک‌گره‌های مناسب برای تهیه ریزنمونه میانگرمه و برگ استفاده شد (شکل ۲). ریزنمونه مورد نظر به‌روش نظریان فیروزآبادی و همکاران (۱۴) در مایع تلقیح حاوی آگروباکتری حاوی سامانه ژنی به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه قرار داده شدند. ریزنمونه‌ها روی محیط هم‌کشتی MS^۱ در تاریکی و در دمای دمای ۲۳±۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سه روز پس از تراریختی زیرنمونه‌ها از محیط هم‌کشتی به محیط گزینشگر انتقال داده شدند.

مواد گیاهی: در این تحقیق از دو رقم سیب‌زمینی تجاری به نام‌های آگریا و مارفونا استفاده شد. این ارقام به‌صورت گیاهچه‌های کوچک درون شیشه‌ای داخل محیط MS از پژوهشکدهی بیوتکنولوژی مرکزی اصفهان در نجف‌آباد دریافت شد. به تعداد کافی گیاهچه‌های دارای میانگرمه به‌همراه حداقل یک برگ از هر دو رقم آگریا و مارفونا در محیط کشت پایه MS (۱۳) حاوی سه درصد ساکارز و ۰/۸ درصد آگار (pH= ۵/۷)، تحت شرایط فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی در دمای ۲۳±۲ درجه سانتی‌گراد تکثیر شدند.



شکل ۲- شماتیک یک گیاهچه سیب‌زمینی با تعیین محل ریزنمونه‌ها
Figure 2. Schematic representation of a potato seedling showing the location of explants

میانگره)، دو غلظت آنتی بیوتیک کانامایسین (۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) با یک طرح آزمایشی فاکتوریل با چهار تکرار و هر تکرار شامل ده قطعه‌ی ریزنمونه به صورت کاملاً تصادفی روی صفات کالوس‌زایی مورد مقایسه قرار گرفتند. ریزنمونه‌ها در شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی در دمای 23 ± 2 درجه‌ی سانتی‌گراد در اتاق کشت نگهداری شدند. همچنین میزان درصد کالوس‌زایی بر حسب تعداد ریزنمونه که کالوس تولید کرده است به کل ریزنمونه بدست آمده است. به‌علاوه، میزان باززایی از کالوس‌ها نیز مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج این تحقیق پس از بررسی آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از برنامه آماری MSTAT-C تجزیه و تحلیل شدند.

استخراج DNA ژنومی و تایید تراژنی

به‌منظور تایید تراژیختی گیاهچه‌ها DNA ژنومی از گیاهچه به‌روش CTAB استخراج شد. واکنش PCR با آغازگرهای اختصاصی ژن *nptII* اجرا و گیاهچه‌های تراژیخت‌گزینش شدند (۵).

نتایج و بحث

به‌منظور غربالگری گیاهان به ظاهر تراژیخت، DNA ژنومی از این گیاهان تراژیخت و شاهد جداسازی شد و کمیت و کیفیت آن با استفاده از الکتروفورز روی ژل آگار ۱ درصد بررسی گردید. سپس با آزمون PCR به کمک آغازگرهای اختصاصی ژن *nptII* روی گیاهان به ظاهر تراژیخت نشان داد که ژن *nptII* با موفقیت در ژنوم گیاهان تراژیخت وارد شده است (شکل ۳). یک قطعه به طول تقریبی ۸۰۰ bp در گیاهان تراژیخت مشاهده شد که نشان می‌دهد ژن مورد نظر در ژنوم سیب‌زمینی وارد شده است. هیچ قطعه‌ای در گیاه غیر تراژیخت مشاهده نشد (شکل ۳).

روش انجام تیمارهای آزمایشی:

در ادامه پس از تراژیختی با آگروباکتري از پنج محیط کشت با ترکیبات متفاوتی به شرح زیر استفاده شد.

محیط A (محیط باززایی مستقیم): در این محیط از محیط پایه MS، سه درصد ساکارز و ۰/۸ درصد آگار استفاده شد. در این محیط از ترکیب هورمونی ۰/۱۸۶ میلی‌گرم بر لیتر هورمون NAA و ۲/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر هورمون BAP به مدت پنج هفته استفاده شد، سپس ریزنمونه‌ها برای سه هفته به محیط جدید حاوی ۲/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر هورمون BAP و ۵ میلی‌گرم بر لیتر هورمون GA3 منتقل شدند.

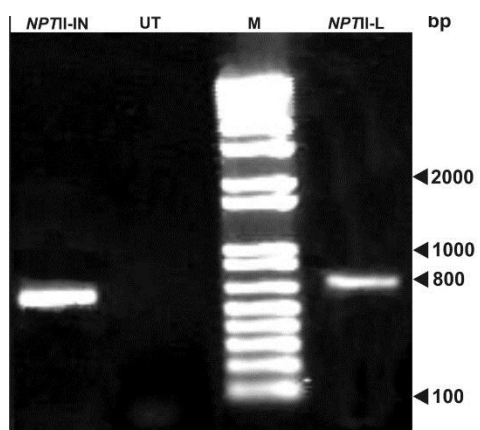
محیط B: در این محیط نیز از محیط پایه MS، سه درصد ساکارز و ۰/۸ درصد آگار استفاده شد. در این محیط از ۳ میلی‌گرم بر لیتر هورمون 2, 4- D و ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر هورمون کینتین به مدت چهار هفته و ۰/۱۸۶ میلی‌گرم بر لیتر هورمون NAA و ۲/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر هورمون BAP تا زمان تشکیل کالوس‌ها و شروع باززایی استفاده شد.

محیط C: این محیط محتوای نمک‌های MS، ویتامین‌های B5، ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر آدنین سولفات، ۲۰ گرم بر لیتر گلوکز، ۲۰ گرم بر لیتر مانیتول، ۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر هورمون NAA، ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر هورمون GA3، ۲ میلی‌گرم بر لیتر زاتین و ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از ۲-اتان سولفونیک اسید (MES) بود. همچنین در این محیط جای ساکارز، از گلوکز به‌عنوان منبع کربن و از مانیتول به‌عنوان یک ماده‌ی اسموتیک استفاده شد.

محیط D۱: در این محیط از ساکارز دو درصد به همراه ۱ میلی‌گرم بر لیتر هورمون زاتین استفاده شد.

محیط D۲: ترکیبات این محیط دقیقاً مشابه محیط D۱ بود با این تفاوت که از غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر زاتین استفاده شد.

همچنین در محیط‌های پنجگانه‌ی فوق، عکس‌العمل دو رقم سیب‌زمینی (آگریا و مارفونا)، دو نوع ریزنمونه (برگ و



شکل ۳- آزمون PCR روی ژن *nptII* به کمک آغازگرهای اختصاصی برای گیاهچه‌های تراژیخت حاصل از کالوس برگ (*nptII-L*) و کالوس میانگره (CinnaGen co) 1Kb، نشانگر اندازه‌ی Ut: گیاهچه‌ی غیرتراژیخت

Figure 3. PCR analysis of transgenic seedlings derived from leaf (*nptII-L*) and internode callus (*nptII-IN*) by using *nptII* gene specific primers. M: 1Kb marker; Ut: non-transgenic seedling.

از ۵ تیمار محیط کشت مورد بررسی، تنها سه محیط (D۱، D۲ و C) باقیمانده ماند و نتایج آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفت درصد کالوس‌زایی ریزنمونه‌ها

Table 1. Analysis of variance of callus formation of explants

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی DF	میانگین مربعات (MS)
محیط	۲	۳۱۷/۴*
غلظت آنتی‌بیوتیک	۱	۰/۵۱۰ ^{ns}
محیط × غلظت آنتی‌بیوتیک	۲	۰/۳۲۳ ^{ns}
رقم	۱	۴/۵۹*
رقم × محیط	۲	۰۰۰۹۳ ^{ns}
رقم × غلظت آنتی‌بیوتیک	۱	۰/۱۲۶ ^{ns}
رقم × غلظت آنتی‌بیوتیک × محیط	۲	۰/۰۷۳ ^{ns}
ریزنمونه	۱	۱۸۴/۲۶*
ریزنمونه × محیط	۲	۹۵/۰۱۰*
ریزنمونه × غلظت آنتی‌بیوتیک	۱	۰/۰۱۰ ^{ns}
ریزنمونه × غلظت آنتی‌بیوتیک × محیط	۲	۰/۹۴۸*
ریزنمونه × رقم	۱	۰/۰۱۰ ^{ns}
ریزنمونه × رقم × محیط	۲	۰/۱۷۶*
ریزنمونه × رقم × غلظت آنتی‌بیوتیک	۱	۰/۰۱۰ ^{ns}
ریزنمونه × رقم × غلظت آنتی‌بیوتیک × محیط	۲	۰/۰۷۳ ^{ns}
خطا	۷۲	۰/۷۴۷ ^{ns}
کل	۹۵	۱۰۷۲/۹۰۶

ns، *، **: به ترتیب بی‌معنی، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل چهارگانه محیط × دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد بر روی صفت غلظت آنتی‌بیوتیک × رقم × ریزنمونه با استفاده از آزمون چند کالوس‌زایی انجام شد (جدول ۲).

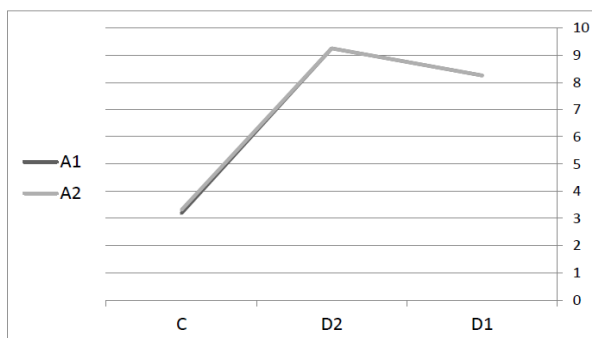
جدول ۲- مقایسه میانگین تاثیر اثر متقابل ریزنمونه × غلظت آنتی‌بیوتیک × محیط × رقم بر درصد کال‌زایی. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. میانگین‌ها در سطح ۵ درصد با هم مقایسه شده‌اند.

Table 2. Mean comparison of explant × medium × antibiotic × cultivar concentration interaction effects on callus formation. Means with at least one common letter are not significantly different (P ≤ 0.05).

محیط	رقم	ریزنمونه	درصد کالوس‌زایی
D1	اگریا	برگ	bcd۸۵
D1	اگریا	میانگره ساقه	۷۲/۵efg
D1	مارفونا	برگ	۹۰abc
D1	مارفونا	میانگره ساقه	۸۲/۵bcde
D1	اگریا	برگ	۸۵bcde
D1	اگریا	میانگره ساقه	۷۷/۵defg
D1	مارفونا	برگ	۸۷/۵abce
D1	مارفونا	میانگره ساقه	۸۲/۵bcde
D2	اگریا	برگ	۹۵ab
D2	اگریا	میانگره ساقه	۸۵bcde
D2	مارفونا	برگ	۱۰۰ a
D2	مارفونا	میانگره ساقه	۹۰abc
D2	اگریا	برگ	۹۵ab
D2	اگریا	میانگره ساقه	۸۷/۵bcde
D2	مارفونا	برگ	۹۵ab
D2	مارفونا	میانگره ساقه	۹۲/۵abc
C	اگریا	برگ	۶۰g
C	اگریا	میانگره ساقه	h
C	مارفونا	برگ	۶۷/۵fg
C	مارفونا	میانگره ساقه	h
C	اگریا	برگ	۶۷/۵fg
C	اگریا	میانگره ساقه	h
C	مارفونا	برگ	fg۶۵
C	مارفونا	میانگره ساقه	h

آنتی‌بیوتیک مشاهده نمی‌شود. همانطور که شکل ۴ دیده می‌شود، به نظر می‌رسد که چه در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و چه در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر آنتی‌بیوتیک کانامایسین تقریباً اثر یکسانی بر درصد کالوس‌دهی روی محیط‌های مورد استفاده داشته‌اند (شکل ۴).

بر اساس نتایج حاصل، بهترین تیمار با صد در صد کالوس‌زایی عبارت است از محیط D2، ریزنمونه برگ، رقم مارفونا و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود و کمترین مقدار کالوس‌زایی در این آزمایش مربوط به محیط C مشاهده شد به طوری که در ریزنمونه میانگره این درصد به صفر رسیده است. در این محیط‌ها تفاوت معنی‌داری در سطوح

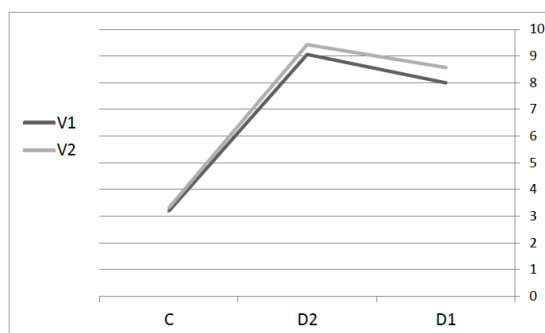


شکل ۴- اثر سطوح مختلف محیط در سطوح مشخص آنتی بیوتیک: D1، D2 و C، انواع سطوح محیط. A1 و A2 به ترتیب غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر آنتی بیوتیک

Figure 4: Effect of different levels of the media on specific levels of antibiotics: D1, D2 and C, types of media levels. A1 and A2 are concentrations of 50 and 100 mg/l of antibiotics, respectively

در این آزمایش رقم مارفونا کالوس‌زایی بیشتری نسبت به رقم آگریا برای هر دو ریزنمونه برگ و میانگره ساقه از خود نشان داد (شکل ۵). رهنما و همکاران (۱۴) نیز میزان کالوس‌زایی هر دو ریزنمونه برگ و ساقه مارفونا را بیشتر از رقم آگریا گزارش کرده‌اند (۱۴). علی‌رغم تولید کالوس بیشتر، میزان باززایی از کالوس‌های میانگره (۷۳٪) به‌طور معنی‌داری

پس از آنتی‌بیوتیک‌ها، در این آزمایش رقم مارفونا کالوس‌زایی بیشتری نسبت به رقم آگریا برای هر دو ریزنمونه برگ و میانگره ساقه از خود نشان داد (شکل ۵). رهنما و همکاران (۱۴) نیز میزان کالوس‌زایی هر دو ریزنمونه برگ و ساقه مارفونا را بیشتر از رقم آگریا گزارش کرده‌اند (۱۴). علی‌رغم تولید کالوس بیشتر، میزان باززایی از کالوس‌های میانگره (۷۳٪) به‌طور معنی‌داری



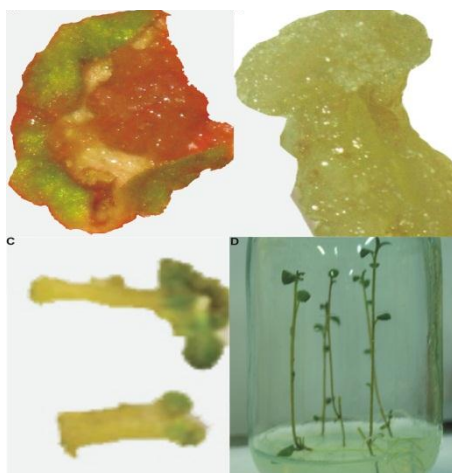
شکل ۵- اثر سطوح مختلف محیط در سطوح مشخص ریزنمونه: D1، D2 و C، انواع سطوح محیط. E1 و E2 به ترتیب ریزنمونه‌ی برگ و میانگره

Figure 5. The effect of different levels of the media on specific levels of the sample: D1, D2 and C, types of levels of the media. E1 and E2 are leaf and internode explants, respectively

همچنین نتایج نشان داد که ریزنمونه برگ خیلی زودتر از ریزنمونه میانگره به محیط کالوس‌زایی جواب می‌دهد که با نتایج رهنما و همکاران مغایرت زیادی دارد. همچنین این نتایج در تقابل با نتایج شاه پیری و همکاران (۱۹) است. با این حال، تیمارهای این مطالعه تفاوت‌های فاحشی با مطالعه‌ی شاه پیری و همکاران (۱۹) داشتند. ترازیش با ناقل دوگانه‌ی

پس از آنتی‌بیوتیک‌ها، در این آزمایش رقم مارفونا کالوس‌زایی بیشتری نسبت به رقم آگریا برای هر دو ریزنمونه برگ و میانگره ساقه از خود نشان داد (شکل ۵). رهنما و همکاران (۱۴) نیز میزان کالوس‌زایی هر دو ریزنمونه برگ و ساقه مارفونا را بیشتر از رقم آگریا گزارش کرده‌اند (۱۴). علی‌رغم تولید کالوس بیشتر، میزان باززایی از کالوس‌های میانگره (۷۳٪) به‌طور معنی‌داری

پس از آنتی‌بیوتیک‌ها، در این آزمایش رقم مارفونا کالوس‌زایی بیشتری نسبت به رقم آگریا برای هر دو ریزنمونه برگ و میانگره ساقه از خود نشان داد (شکل ۵). رهنما و همکاران (۱۴) نیز میزان کالوس‌زایی هر دو ریزنمونه برگ و ساقه مارفونا را بیشتر از رقم آگریا گزارش کرده‌اند (۱۴). علی‌رغم تولید کالوس بیشتر، میزان باززایی از کالوس‌های میانگره (۷۳٪) به‌طور معنی‌داری



شکل ۶- کالوس‌زایی در ریزنمونه‌ها مختلف سیب‌زمینی، (A) ریزنمونه‌ی برگ رقم مارفونا در محیط D2، (B) ریزنمونه‌ی میانگره رقم مارفونا در محیط D2، (C) باززایی و تولید گیاهچه از ریزنمونه‌ی میانگره رقم مارفونا (D) گیاهچه‌های چهار هفته‌ای رقم مارفونا
Figure 6. Callogenesis in different potato explants, (A) Marfona leaf explants in D2 medium (B) Marifona cultivar internode explants in D2 medium. (C) Plant regeneration from Marfona cultivar. (D) Four-week-old Marfona

به‌طور کلی با مقایسه میانگین کل داده‌ها می‌توان دریافت که محیط D2، رقم مارفونا، ریزنمونه برگ و غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر آنتی‌بیوتیک کانامایسین بالاترین درصد کالوس‌زایی را نشان می‌دهد و از آن می‌توان به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار در بین سایر تیمارها برای تولید کالوس در دو رقم آگریا و مارفونای گیاه سیب‌زمینی استفاده کرد. همچنین مشاهدات این آزمایش نشان‌داد که ریزنمونه برگ خیلی زودتر از ریزنمونه میانگره به محیط کالوس‌زا جواب می‌دهد و هر چه برگ‌ها جوان‌تر و به قسمت راس ساقه نزدیک‌تر باشند، زمان کالوس‌زایی زودتر و حجم کالوس نیز بزرگتر خواهند بود (شکل ۶). نتایج مطالعه‌ی حاضر از جنبه‌ی تولید تعلیقی نیز می‌تواند حائز اهمیت باشد. در این چنین مواردی، هر چقدر حجم و میزان کالوس بیشتر باشد، کارایی تولید ترکیبات و از آن جمله متابولیت‌ها نیز بیشتر می‌شود. با این‌حال، میزان باززایی و تولید گیاهچه از کالوس‌های حاصل از ریزنمونه‌های میانگره بیشتر بود (داده‌ها نشان داده نشده است). لذا پیشنهاد می‌شود تا برای تولید گیاهچه از ریزنمونه‌ی میانگره استفاده شود. تاکنون هیچ توضیحی در خصوص علت پاسخ بهتر کالوس حاصل از میانگره در مقایسه با کالوس مربوط به برگ ارائه نشده است.

در مجموع بر اساس نتایج حاصل، محیط D2 (۹۲/۵ درصد کالوس‌زایی) با غلظت هورمون زآتین ۲ میلی‌گرم بر لیتر از محیط D1 (۸۲/۸۱ درصد کالوس‌زایی) با غلظت هورمون زآتین ۱ میلی‌گرم بر لیتر کالوس‌زایی بیشتری نشان داد (شکل ۵). ثباتی و همکاران (۱۸) به نتایج مشابهی روی رقم آگریا رسیدند (۱۸). زآتین از جمله سیتوکینین‌هایی است که اثر بالایی روی میزان کالوس‌زایی دارد، با این‌حال، محققان تأثیر مثبت آن را همراه با یک اکسین گزارش کرده‌اند (۱۱). همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که میزان کالوس‌زایی محیط D1 حدوداً ۲/۵ برابر محیط C بود. بهبود میزان کالوس‌زایی پس از تراریزش را می‌توان به افزایش میزان هورمون زآتین نسبت داد. این در حالی است که محیط C با دارا بودن ۲ میلی‌گرم بر لیتر زآتین روی صفت کالوس‌زایی تأثیر بازدارنده‌ای داشت. این تأثیر منفی را شاید بتوان به اثر متقابل هورمون‌های NAA و GA3 و یا منبع غذایی گلوکز متناسب دانست. اگرچه نتایج مطالعه حاضر با نتایج رهنما و همکاران (۱۷) تا حدودی مغایرت داشت اما رهنما و همکاران (۱۷) این محیط را بهترین محیط برای کالوس‌زایی معرفی کرده‌اند، غلظت بالای اکسین NAA و جیبرلین GA3 از جمله عوامل بازدارنده‌ی کالوس‌زایی است (۱۷).

منابع

1. Arsenault, W.J. and B.R. Christie. 2004. Effect of whole seed tuber size and pre-plant storage conditions on yield and tuber size distribution of russet burbank. *American Journal of Potato Research*, 81: 371-376.
2. Ashrafzadeh, S. and D.W. Leung. 2015. Microtuber formation in potato callus. *Scienceasia*, 41: 1-4.
3. Banerjee, A., S. Prat and A. Hannapel. 2006. Efficient production of transgenic potato (*Solanum tuberosum* L. ssp *andigena*) plant via agrobacterium mediated transformation. *Plant Science*, 170: 1732-8.
4. Bakhsh, A. 2020. Development of efficient, reproducible and stable agrobacterium-mediated genetic transformation of five potato cultivars. *Food Technology & Biotechnology*, ISSN 1330-9862.
5. Beaujean, A., R. Sangwan, A. Lecardonnel and B. Sangwan-Norreel. 1998. Agrobacterium-mediated transformation of three economically important potato cultivars using sliced internodal explants: an efficient protocol of transformation. *Journal of Experimental Botany*, 49: 1589-1595.
6. Bolar, J.P., J.L. Norelli, K.W. Wong, C.K. Hayes, G.E. Harman and H.S. Aldwinckle. 2000. Expression of endochitinase from *Trichoderma harzianum* in transgenic apple increases resistance to apple scab and reduces vigor. *Phytopathology*, 90: 72-77.
7. De García, E. and S. Martínez. 1995. Somatic embryogenesis in *Solanum tuberosum* L. cv. desiree from stem nodal sections. *Journal of Plant Physiology*, 145: 526-530.
8. Gebru, H., A. Mohammed, N. Dechassa and D. Belew. 2017. Assessment of production practices of smallholder potato (*Solanum tuberosum* L.) farmers in wolaita zone, southern ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 6(1): 31.
9. Gustafson, V., S. Mallubhotla, J. MacDonnell, M. Sanyal-Bagchi, B. Chakravarty, G. Wang-Pruski, C. Rothwell, P. Audy, D. De Koeper and M. Siahbazi. 2006. Transformation and plant regeneration from leaf explants of *Solanum tuberosum* L. cv. 'shepody'. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 85: 361-366.
10. Jiménez, V.M. and C. Thomas. 2006. Participation of plant hormones in determination and progression of somatic embryogenesis. *Springer*, 103-118.
11. Komamine, A., R. Kawahara, M. Matsumoto, S. Sunabori, T. Toya, A. Fujiwara, M. Tsukahara, J. Smith, M. Ito and H. Fukuda. 1992. Mechanisms of somatic embryogenesis in cell cultures: physiology, biochemistry and molecular biology. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 28: 11-14.
12. Lam, S.-L. 1977. Regeneration of plantlets from single cells in potatoes. *American Potato Journal*, 54: 575-580.
13. Mazaheri Kohanestani, H., F. Nazarian-Firozabadi, A. Ismaili and M. Khademi. 2018. Adventitious shoot production using petiole explants through direct regeneration in sugae beet. *Journal of Crop Breeding*, 24(9): 179-189.
14. Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15: 473-497.
15. Nazarian-Firouzabadi, F., J.P. Vincken, Q. Ji, L.C. Suurs, A. Buléon and R.G. Visser. 2007. Accumulation of multiple-repeat starch-binding domains (SBD2-SBD5) does not reduce amylose content of potato starch granules. *Planta*, 225: 919-933.
16. Newell, C., R. Rozman, M. Hinchee, E. Lawson, L. Haley, P. Sanders, W. Kaniewski, N. Tumer, R. Horsch and R. Fraley. 1991. Agrobacterium-mediated transformation of *Solanum tuberosum* L. cv. 'Russet Burbank'. *Plant Cell Reports*, 10: 30-34.
17. Pazhouhandeh, M., G. Karvan, and R. Atefeh-Sadat. 2017. A review on potato genetic engineering researches yet. *Genetic Engineering and Biosafety Journal*, 6(1): 175-188.
18. Rahnema, H., S. Montaser Kohsari, H. Naderi and H. Fahimi. 2012. High frequency plant regeneration from leaf, internode and microtuber explants of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Iranian Journal of Biology*, 25: 120-129.
19. Sabeti, M. 2013. Effects of explants and growth regulators on callogenesis and somatic embryogenesis of agria potato cultivar. *International Journal of Agricultural Science*, 3: 213-221.
20. Shahpiri, A., M. Omid, P. Ahmadian Tehrani and D. Davoodi. 2004. A study of tissue culture and somaclonal variation in potato. *Iranian Journal Agricultural Science*, 35: 323-335.
21. Visser, R., E. Jacobsen, B. Witholt and W. Feenstra. 1989. Efficient transformation of potato (*Solanum tuberosum* L.) using a binary vector in agrobacterium rhizogenes. *Theoretical and Applied Genetics*, 78: 594-600.
22. Zhang, Y., J. Zhou, T. Wu and J. Cao. 2008. Shoot regeneration and the relationship between organogenic capacity and endogenous hormonal contents in pumpkin. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 93: 323-331.
23. Zamanifar, M., F. Nazarian Firouzabadi and A. Ismaili. 2016. Comparative study of two different cytokinins on direct regeneration of different sugar beet explants in tissue culture condition. *Journal of Crop Breeding*, 19(8): 203-208.

The Effect of Transformation and Hormones Treatments on Callogenesis and Regeneration in Potato (*Solanum tuberosum* L.)

Simin Mogoei¹, Farhad Nazarian Firoozabadi², Ahmad Esmaili³ and Mitra Khademi⁴

1- Graduated M.Sc. Student, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad

2- Professor, Production Engineering and Plant Genetics Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad (Corresponding author: Nazarian.f@lu.ac.ir)

3- Professor, Production Engineering and Plant Genetics Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad

4- PhD Student, Production Engineering and Plant Genetics Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad

Received: April 19, 2020 Accepted: November 14, 2020

Abstract

To obtain a higher percentage of callogenesis and consequently the maximum number of plantlets, plant tissue culture conditions must be optimized prior to any transformation protocol. To this end, a factorial experiment using completely randomized design (CRD) with four replications was carried out to assess the effect of cultivar (Marfona and Agria), type of explants (leaf and internode), Kanamycin concentration (50 mg/l and 100 mg/l) and medium (A, B, C, D1, D2) on callogenesis. Explants were transformed with pBIN19 construct harboring *nptII*. Analysis of variance of percentage of callogenesis trait showed that effect of tissue culture medium, type of explants, cultivar, type of explants × cultivar, type of explants × medium × kanamycin concentration and type of explants × cultivar × tissue culture medium were significant ($P \leq 0.05$). Results of this study suggested that D2 tissue culture medium containing 2 mg/l zeatin produced a higher amount of callus (92.5 percent). The lowest percentage of callus formation was observed in medium C with internode explants. When zeatin was the only growth hormone regulator, a higher percentage of callogenesis was observed. Moreover, leaf explants exhibited superiority over internode and marfona cultivar over agria counterparts, respectively. Results of these experiments showed that callus tissues from internode explants responded better to shoot regeneration in comparison to leaf driven calli. In conclusion, results of this study suggest, marfona leaf explants in the pretense of zeatin can be used for callus induction.

Keywords: Callogenesis, Internodes, Potato, Regeneration, Transformation