

به کارگیری عصاره مخمر به عنوان یک راهکار به منظور افزایش محتوای فلاونولیگنان‌ها در کشت تعلیقی سلولی گیاه خارمریم از طریق مکانیزم تحریک

سمیرا رحیمی آشتیانی^۱، طاهره حسنلو^{۲*}، محمدرضا بی‌همتا^۳

۱- کارشناس ارشد، بخش فیزیولوژی و مولکولی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی، کرج و عضو باشگاه

پژوهشگران دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج

۲- استادیار، بخش فیزیولوژی و مولکولی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی، کرج

۳- استاد، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج

*آدرس مکاتبه: کرج، ابتدای جاده ماهدشت، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی، کرج

تلفن: ۲۷۰۲۸۹۳ (۰۲۶۱)، نمابر: ۲۷۰۴۵۳۹ (۰۲۶۱)

پست الکترونیک: thasanloo@abrii.ac.ir

تاریخ تصویب: ۸۸/۵/۴

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۱۴

چکیده

مقدمه: خار مریم^۱ گیاهی دارویی است. عصاره بذر گیاه خارمریم با نام سیلی مارین شناخته می‌شود و سیلی مارین شامل مجموعه‌ای از فلاونوئیدها، فلاونولیگنان‌ها و ترکیبات متعدد دیگر است که دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بوده و در درمان بیماری‌های کبدی (سیروز و مسمومیت‌های کبدی) و پیشگیری و یا درمان سرطان استفاده می‌شود. کشت سلولی گیاه خار مریم منبع خوبی جهت تامین سیلی مارین می‌باشد. راهکارهای متعددی شامل استفاده از عوامل محرک برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در شرایط کشت بافت و سلول اتخاذ شده است. این عوامل با تاثیر بر مسیرهای انتقال سیگنال، منجر به تغییرات در تنظیم بیان ژن و در نهایت تولید متابولیت‌هایی در برابر تنش ایجاد شده می‌شوند.

هدف: استفاده از عصاره مخمر به عنوان محرک زنده به منظور افزایش تولید سیلی مارین در کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم و بررسی اثر آن بر روند رشد سلول‌ها و میزان تولید سیلی مارین و معرفی بهترین غلظت محرک در مناسب‌ترین زمان جهت حداکثر تولید فلاونولیگنان‌ها.

روش بررسی: در این پژوهش پس از ایجاد کشت‌های سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم، تاثیر غلظت‌های مختلف عصاره مخمر (۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی گرم بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت) بر میزان تولید فلاونولیگنان‌ها با استفاده از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا بررسی شد. نمونه‌برداری در ۶ زمان مختلف (۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۴۴ و ۲۱۶ ساعت) پس از اعمال تیمار انجام شد.

نتایج: مطالعه کمی و کیفی ترکیبات فلاونولیگنانی تولید شده از این آزمایش‌ها بیانگر تولید سیلی کریستین، سیلی دیانین، سیلی بین و ایزوسیلیبین و ماده‌ای به نام تاکسی فولین که پیش‌ساز فلاونولیگنان‌های ذکر شده است، می‌باشد. تیماردهی با عصاره مخمر باعث افزایش محتوای سیلی مارین در محیط‌های کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم شد. حداکثر تولید سیلی مارین در محیط تیمار شده با ۶ میلی گرم عصاره مخمر بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت در پایان ۷۲ ساعت بود (۱۴/۵۱۶ میکروگرم بر گرم) که میزان آن در گروه شاهد در همین زمان ۲/۹ میکروگرم بر گرم بود. سرعت رشد کلیه محیط‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف عصاره مخمر نسبت به گروه شاهد بیشتر بود، به گونه‌ای که در تمام غلظت‌های اعمال شده از لحظه اعمال تیمار تا ۲۱۶ ساعت پس از آن، همواره سرعت رشد سلول‌ها و وزن خشک آنها نسبت به گروه شاهد در همان زمان‌ها بیشتر بود و در محیط‌های تیمار شده با ۴ میلی گرم عصاره مخمر بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت در پایان ۲۴ ساعت به بالاترین میزان خود رسید (۵/۸۲ گرم) که میزان آن در گروه شاهد در همین زمان ۳/۲۳ گرم بود.

نتیجه‌گیری: در این آزمایش مشاهده شد که کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم بسیار مستعد تحریک با عصاره مخمر می‌باشد و همچنین این ترکیب برای افزایش قابلیت تولید در شرایط کشت سوسپانسیون سلولی بسیار سودمند می‌باشد. گل‌واژگان: خارمریم، کشت سلول، عصاره مخمر، سیلی مارین

¹ *Silybum marianum*



مقدمه

خارمریم، گیاهی است یک یا دو ساله با نام علمی *Silybum marianum* از خانواده کاسنی است که منشای آن شرق مدیترانه گزارش شده است [۱]. گیاه خارمریم از گذشته‌های دور در درمان تعدادی از بیماری‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفته است و مردم برای مداوای بیماری‌های صفراوی از برگ‌های خارمریم استفاده می‌کردند و علاوه بر این مواد موثره میوه‌های رسیده این گیاه که تحت عنوان سیلی‌مارین نامیده می‌شوند برای معالجه بیماری‌های کبدی استفاده می‌شود. سیلی‌مارین، به علت دارا بودن خاصیت آنتی‌اکسیدانی، یک داروی محافظ کبدی است [۲]. علی‌رغم پیشرفت‌ها در زمینه شیمی، مصنوعات ما هنوز به گیاهان به عنوان منابع بیولوژیک برای تولید تعدادی از متابولیت‌های ثانویه از جمله مواد دارویی نیازمندند [۳]. بسیاری از متابولیت‌های ثانویه که توسط گیاهان تولید می‌شوند، توسط کشت‌های کالوس و سلول نیز ساخته شده و به عنوان منبع مهمی برای تهیه ترکیبات با ارزش اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴، ۵، ۶]. بیکر^۱ و همکاران (۱۹۷۷) موفق به تولید فلاونوئیدها در شرایط کشت بافت و سلول گیاه خارمریم شدند [۷]. تومووا و همکاران (۲۰۰۴) به مطالعه کشت‌های کالوس و سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم پرداختند [۸]. از آنجایی که پتانسیل و سرعت تولید این مواد در شرایط طبیعی بسیار محدود می‌باشد، از طریق کشت سلول‌های گیاهی به روش‌های مختلفی از جمله استفاده از تکنیک انگیزش با استفاده از محرک‌ها^۲ می‌توان میزان تولید متابولیت‌های ثانویه را افزایش داد [۹]. محرک ماده‌ای است که وقتی در مقادیر کم در سیستم سلولی به کار می‌رود باعث القا یا توسعه تولید ترکیبات خاص می‌شود. محرک‌ها سیگنال‌هایی تولید می‌کند که باعث تحریک تشکیل متابولیت‌های ثانویه می‌شوند تحریک موجب سنتز یا افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه به وسیله گیاه به منظور بقاء، مقاومت و رقابت می‌شود [۱۰]. برای مثال در مطالعه‌ای که بر روی کشت ریشه‌های موئین گیاه *Brugmansia candida* انجام شده است

مشخص شد که اضافه کردن نیترات نقره، سالیسیلیک اسید، عصاره مخمر و کلرید کبالت باعث افزایش تولید متابولیت ثانویه اسکوپال آمین می‌شود [۱۱]. افزودن نیترات نقره، کلرید کبالت، سولفات والدیم و فنیل آلانین به عنوان محرک‌های شیمیایی و همچنین استفاده از محرک‌های استخراج شده از قارچ *Rhizopus stolonifer* در کشت سوسپانسیون سلولی درخت سرخدار، میزان تاکسول تولید شده را نسبت به حالتی که هیچ محرکی اضافه نشده بود، چندین برابر افزایش داد [۱۲]. سانچز سامپدرو^۱ و همکاران (۲۰۰۵) با مطالعه‌ای بر روی کشت سوسپانسیون سلولی گیاه *Silybum marianum* دریافتند که حذف یون کلسیم از محیط کشت می‌تواند به افزایش تولید سیلی‌مارین کمک کند [۱۳]. نتایج پژوهش‌های شمس اردکانی و همکاران (۲۰۰۵)، درباره تاثیر الیستورها (Ag^+ و Pb^{2-} ، Cd^{2+}) بر بیوسنتز پدوفیلوتوکسین در سوسپانسیون‌های سلولی *Linum album* مشخص کرد که نقره به طور معنی‌داری قادر به تحریک تولید پدوفیلوتوکسین در محیط‌های کشت شد که این اثر احتمالاً مربوط به نقش نقره روی تولید اتیلن بود [۱۴]. عوامل متعددی در تحریک کشت‌های سوسپانسیون سلولی موثر می‌باشند که شامل غلظت عامل محرک، طول زمان تحریک، سن کشت و نوع محیط کشت می‌باشد [۱۵]. بنابراین در این بررسی اثرات عصاره مخمر^۲ در کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم پرداختیم و تاثیر آن بر روند رشد سلول‌ها و میزان تولید سیلی‌مارین بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد گیاهی

جهت انجام این تحقیق دانه‌های خشک شده گیاه خارمریم با منشا مجاری از پژوهشکده گیاهان دارویی تهیه شدند.

¹ Sanchez- Sampedro

² Yeast extract

¹ Becker

² Elicitors



نمونه‌برداری در ۶ زمان مختلف (۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۴۴ و ۲۱۶ ساعت) انجام شد [۱۱، ۲۱].

استخراج و اندازه‌گیری سیلی‌مارین در سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم

سلول‌های کشت شده در زمان‌های موردنظر به وسیله کاغذ صافی از محیط جدا شدند و در دستگاه فریز درایر در دمای ۶۰- درجه به مدت ۲ ساعت خشک شدند. پس از خشک شدن کامل نمونه‌ها وزن خشک آنها اندازه‌گیری و یادداشت شد. استخراج سیلی‌مارین به روش حسنلو و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد [۲۲]. جهت بررسی دقیق کمی ترکیبات از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا^۱ استفاده شد. اندازه‌گیری سیلی‌مارین توسط دستگاه HPLC (Knauer) شامل پمپ K1001 دتکتور UV (۲۸۰ نانومتر)، ستون C18، حلال‌های آب و استونیتریل (۶۰:۴۰) و نرم افزار کروماتوگرافیک^۲ انجام شد [۲۳]. زمان آشکارسازی ۱۰ دقیقه و حجم عصاره تزریق شده به ستون ۱۰ میکرولیتر بود. اندازه‌گیری سیلی‌مارین کل بر اساس مقایسه با استانداردهای سیلی‌بین، سیلی‌کریستین، سیلی‌دیانین و تاکسی فولین محاسبه شد.

طرح و آنالیزهای آماری

از آزمایش پایه فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار استفاده شده است و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ مقایسه شدند. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری به وسیله برنامه کامپیوتری SAS (ورژن ۶/۲) تحلیل شد.

نتایج

دوره زمانی رشد سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم و تولید سیلی‌مارین

از ابتدای کشت تا روز سوم پس از کشت رشد به کندی صورت گرفت و از روز ۳ تا روز ۹ رشد سلولی بسیار قابل

سترون‌سازی دانه‌ها و تهیه قطعات جدا کشت

جهت ضدعفونی دانه‌های گیاه خارمریم و آماده‌سازی آنها برای ایجاد دانه رست و تهیه قطعه جدا کشت، از روش حسنلو و همکاران (۲۰۰۵) استفاده شد. به این منظور ابتدا دانه‌های گیاه خارمریم به مدت ۳ دقیقه با محلول اتانول (۷۰ V/V درصد) به صورت سطحی ضدعفونی شدند، سپس از محلول هیپوکلریت سدیم (۲ V/V درصد) و توئین ۲۰ (۰/۱ V/V درصد) به مدت ۱۳ دقیقه استفاده شد و در پایان ۳ بار عمل آبشویی با آب مقطر استریل انجام شد. دانه‌های ضدعفونی شده جهت جوانه‌زنی و ایجاد دانه رست به محیط کشت جامد آب - آگار (۰/۷ V/V) بدون هورمون منتقل شدند (۱۶).

تهیه محیط‌های کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم

برای ایجاد کشت‌های سوسپانسیون سلولی از کالوس‌های ۳ ماهه و محیط کشت مایع موراشیچ و اسکوک (MS)^۱ و هورمون‌های ۳ میلی‌گرم در لیتر پیکلورام و ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر کایتین استفاده شد [۱۷، ۱۸، ۱۹]. ۰/۵ گرم کالوس برای کشت به ارلن‌های حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محیط کشت منتقل و در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد درون شیکر انکوباتور (چرخشی) با دور ۱۵۰ دور در دقیقه در تاریکی نگهداری شدند این محیط‌ها پس از ۱۵ روز واکشت شدند. به منظور واکشت مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از هر محیط به ارلن حاوی ۴۰ میلی‌لیتر محیط کشت تازه اضافه شد. این ارلن‌ها در شرایط ذکر شده به منظور مطالعه تولید سیلی‌مارین نگهداری شدند. پس از ۳ بار واکشت که هر ۱۵ روز یک بار صورت گرفت محیط‌های کشت سوسپانسیون سلولی جهت بررسی اثر عصاره مخمر مورد استفاده قرار گرفتند [۱۳، ۲۰].

اضافه کردن عصاره مخمر به محیط‌های کشت

پس از انجام سومین واکشت در روز سوم پس از واکشت، عصاره مخمر با غلظت‌های مختلف (۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌گرم بر ۵۰ میلی‌لیتر محیط کشت) اضافه شدند و

^۱ High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

^۲ Chromgate

^۱ Murashig and skog



ترتیب به ۸/۴۲ و ۱۴/۵۱۶ میکروگرم بر گرم رسید (شکل شماره ۳، C و D). حداکثر تولید سیلی مارین در محیط تیمار شده با ۶ میلی گرم عصاره مخمر بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت در پایان ۷۲ ساعت (۱۴/۵۱۶) بود که میزان آن در گروه شاهد در همین زمان ۲/۹ میکروگرم بر گرم بود (شکل شماره ۳، D). در محیط تیمار شده با ۸ میلی گرم بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت عصاره مخمر، از ۲۴ ساعت پس از اعمال تیمار تا پایان ۷۲ ساعت میزان تولید سیلی مارین به حداکثر خود (۶/۷۱۶ میکروگرم بر گرم) رسید در حالی که میزان آن در گروه شاهد ۲/۸۴ میکروگرم بر گرم بود (شکل شماره ۳، E). لازم به ذکر است که میزان سیلی مارین بعد از ۱۴۴ ساعت در محیط های تیمار شده با ۴ و ۸ میلی گرم بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت عصاره مخمر افزایش یافت.

تجزیه واریانس

یکی از شرایط لازم برای تجزیه واریانس، شرط برخورداری داده ها از توزیع نرمال می باشد. که در این پژوهش تمام داده ها از توزیع نرمال برخوردار بودند. به منظور بررسی اثرات زمان ها، سطوح مختلف غلظت تیمار های عصاره مخمر و اثرات متقابل زمان ها و سطوح مختلف هر تیمار، تجزیه واریانس طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی با ۶ تیمار و ۶ زمان در سه تکرار برای هر تیمار به صورت جداگانه انجام شد. جدول ۱ تجزیه واریانس تیمارها، زمان ها و اثرات متقابل تیمار ها و زمان های مختلف بر روی مقدار تولید وزن خشک، تاکسیفولین، سیلی کریستین، سیلی دیانین، سیلی بین، ایزوسیلی بین و سیلی مارین کل در کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خار مریم را نشان می دهد. بر اساس محاسبات آماری انجام شده، مشخص شد که بین زمان ها فقط در میزان وزن خشک، بین غلظت های مختلف تیمار در میزان وزن خشک، سیلی دیانین، سیلی بین و ایزوسیلی بین و در بین اثرات متقابل زمان و تیمار فقط در سیلی دیانین اختلاف معنی داری وجود دارد.

ملاحظه بود. در این مرحله رشد سلول ها سریع تر شد و حداکثر وزن خشک و تولید سیلی مارین ۵/۴۳ گرم و ۴/۷۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود (شکل شماره ۱).

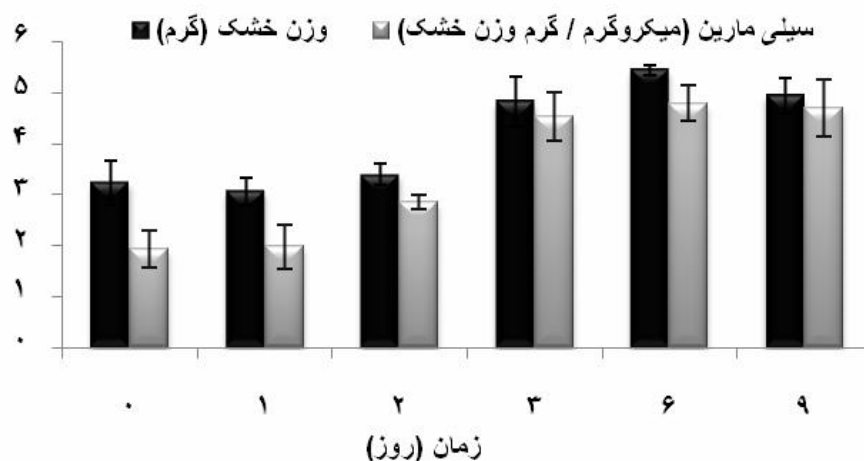
اثرات تیماردهی با عصاره مخمر در زمان ها و غلظت های مختلف بر روی رشد سلول های گیاه خارمریم

سرعت رشد کلیه محیط های تیمار شده با غلظت های مختلف عصاره مخمر نسبت به گروه شاهد بیشتر بود. به گونه ای که در تمام غلظت های اعمال شده از لحظه اعمال تیمار تا ۲۱۶ ساعت پس از آن، همواره سرعت رشد سلول ها و وزن خشک آنها نسبت به گروه شاهد در همان زمان ها بیشتر بود (شکل شماره ۲، A، B، C، D و E). در این دوره زمانی خصوصاً در ۲۴ ساعت پس از اعمال تیمار، سرعت رشد سلول ها و وزن خشک آنها به حداکثر خود رسید. حداکثر رشد سلول ها مربوط به محیط های تیمار شده با ۴ میلی گرم عصاره مخمر بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت بود که میزان آن به ۵/۸۲ گرم بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت رسید در حالی که میزان آن در همین زمان در گروه شاهد ۳/۲۳ گرم بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت بود (شکل شماره ۲، C).

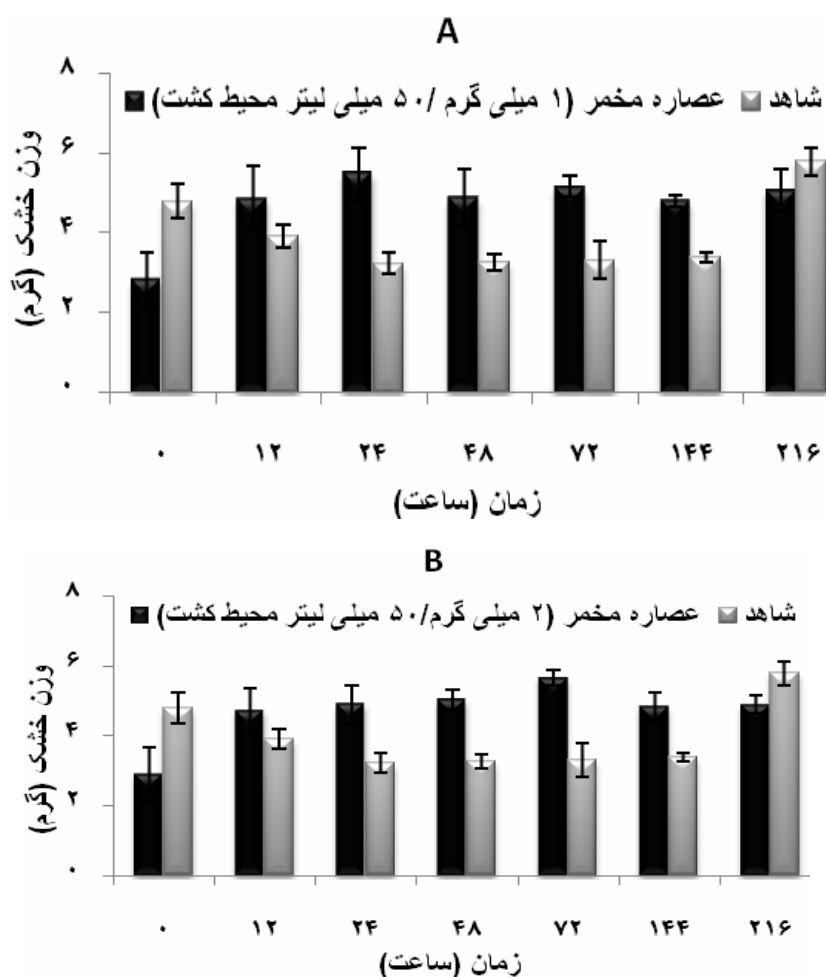
اثرات تیماردهی با عصاره مخمر در زمان ها و غلظت های مختلف بر روی میزان تولید سیلی مارین

در سلول های گیاه خارمریم تیماردهی با عصاره مخمر باعث افزایش محتوای سیلی مارین در محیط های کشت سوسپانسیون سلولی شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت از اعمال تیمار، میزان سیلی مارین در محیط های تیمار شده با ۱ و ۲ میلی گرم عصاره مخمر بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت به ترتیب به ۶/۹۴ و ۷/۲۴ میکروگرم بر گرم رسید در حالی که در همین زمان محتوای سیلی مارین گروه شاهد ۲/۸۴ میکروگرم بر گرم بود (شکل شماره ۳، A و B). ۷۲ ساعت بعد از تیماردهی محیط کشت میزان سیلی مارین در محیط های تیمار شده با ۴ و ۶ میلی گرم عصاره مخمر بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت به



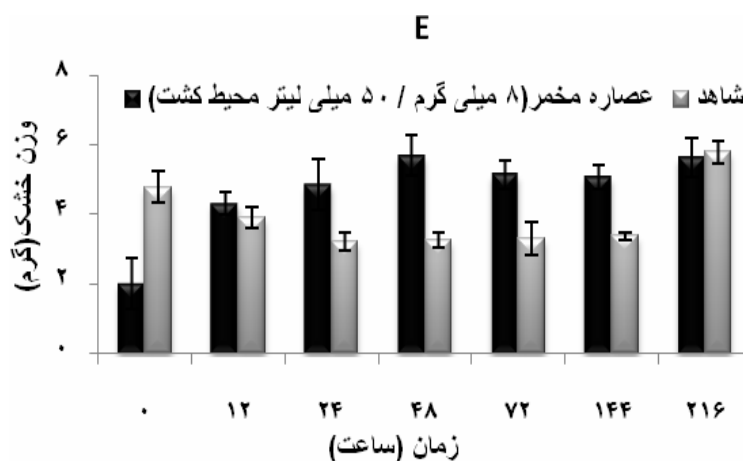
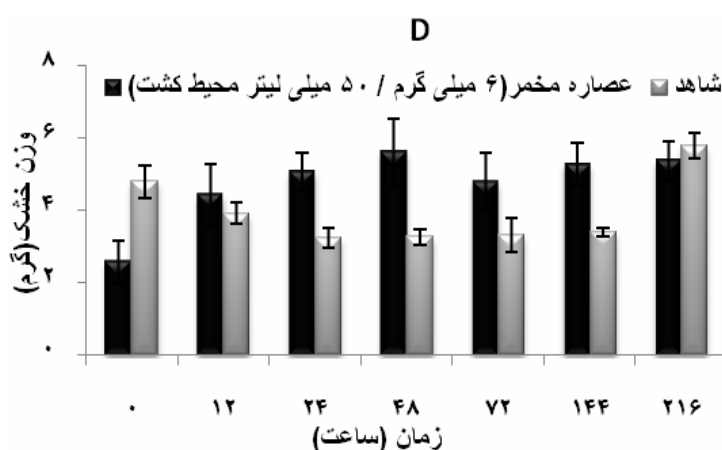
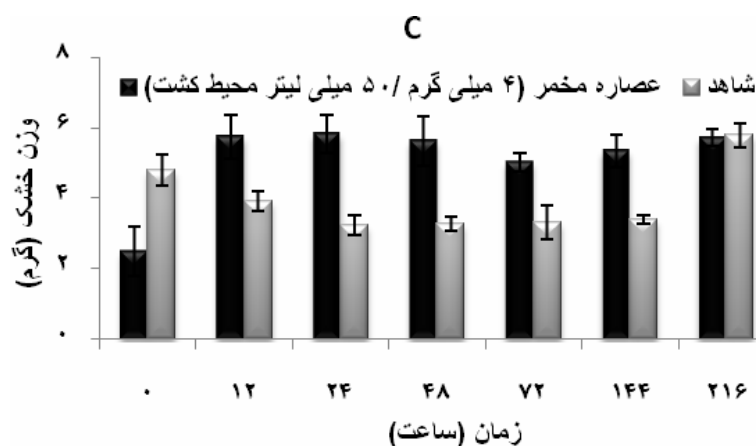


شکل شماره ۱ - دوره زمانی رشد سلولی و تولید سبلی مارین در کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم



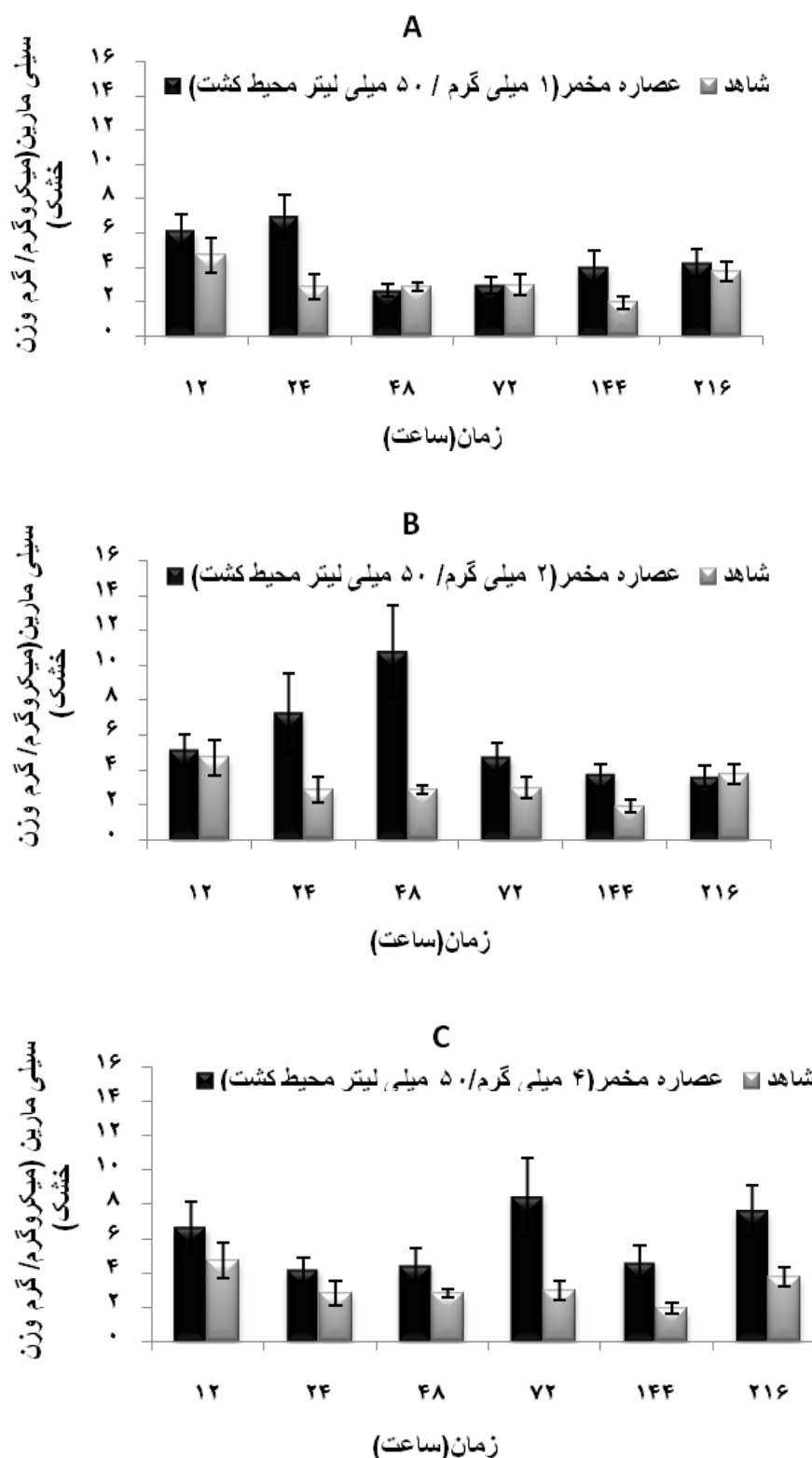
شکل شماره ۲ - مقایسه دوره زمانی رشد سلولی در کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم تیمار شده در زمان‌های متفاوت (۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۴۴ و ۲۱۶ ساعت) با غلظت‌های مختلف عصاره مخمر (۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی گرم بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت) نسبت به گروه شاهد





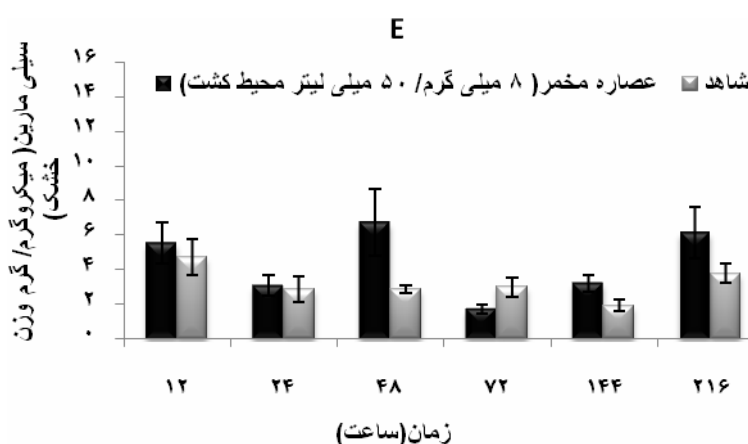
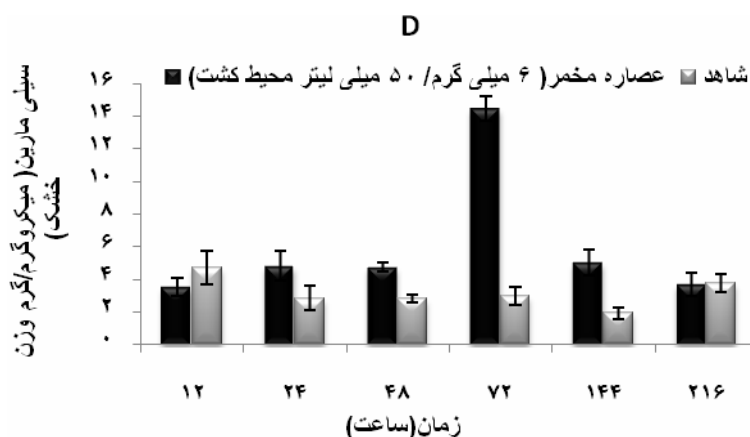
ادامه شکل شماره ۲- مقایسه دوره زمانی رشد سلولی در کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم تیمار شده در زمان‌های متفاوت (۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۴۴ و ۲۱۶ ساعت) با غلظت‌های مختلف عصاره مخمر (۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی گرم بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت) نسبت به گروه شاهد





شکل شماره ۳- مقایسه میزان سبیلی مارین در کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم تیمار شده در زمان‌های متفاوت (۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۴۴ و ۲۱۶ ساعت) با غلظت‌های مختلف عصاره مخمر (۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی گرم بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت) نسبت به گروه شاهد





ادامه شکل شماره ۳- مقایسه میزان سیلی مارین در کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم تیمار شده در زمان‌های متفاوت (۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۴۴ و ۲۱۶ ساعت) با غلظت‌های مختلف عصاره مخمر (۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی گرم بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت) نسبت به گروه شاهد

بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت می‌باشد که گروه a را به خود اختصاص داده‌اند (جدول شماره‌های ۲ و ۳).

بحث

بهینه‌سازی القاء کالوس و تکثیر سلول‌ها در محیط کشت سوسپانسیون اولین قدم به سوی پایه‌گذاری تولید ترکیبات موثر در مقادیر زیاد می‌باشد. در این مطالعه با بررسی مقدار تجمع فلاونوئیدها نشان داده شد که رشد و تولید سیلی مارین در محیط کشت سوسپانسیون سلولی با به کار بردن عصاره مخمر

مقایسه میانگین‌ها

همچنین با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس (جدول شماره ۱) که نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در اثرات زمان‌ها و اثرات غلظت‌های مختلف عصاره مخمر بر روی رشد سلول‌های گیاه خارمریم می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها به منظور بررسی دقیق‌تر از طریق آزمون دانکن صورت گرفت و مشخص شد با اعمال تیمار عصاره مخمر، بهترین مدت زمان اعمال تیمار برای تولید حداکثر وزن خشک، ۲۱۶ ساعت و بهترین غلظت تیمار، ۴ میلی گرم عصاره مخمر



جدول شماره ۱- تجزیه واریانس تیمارها، زمانها و اثرات متقابل تیمارها و زمانهای مختلف بر روی مقدار تولید وزن خشک، تاکسی فولین، سیلی کریستین، سیلی دیانین، سیلی بین، ایزوسیلی بین و سیلی مارین کل در کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم تیمار شده با عصاره مخمر

صفت	میانگین مربعات زمانها	میانگین مربعات تیمارها	میانگین مربعات زمانها × تیمارها
وزن خشک	۱/۲۲ ^(*)	۶/۰۷ ^(**)	۰/۷۸ ^{ns}
تاکسیفولین	۱/۱۸ ^{ns}	۲/۴۹ ^{ns}	۱/۵۳ ^{ns}
سیلی کریستین	۹/۷۳ ^{ns}	۱۲/۲۰ ^{ns}	۱۲/۲۷ ^{ns}
سیلی دیانین	۱/۳۰ ^{ns}	۳/۸۴ ^(**)	۱/۹۷ ^(**)
سیلی بین	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۷ ^(*)	۰/۰۴ ^{ns}
ایزوسیلی بین	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۶ ^(**)	۰/۰۱ ^{ns}
سیلی مارین	۱۰/۲۷ ^{ns}	۲۲/۰۱ ^{ns}	۲۱/۴۳ ^{ns}

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار. *: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد. **: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول شماره ۲- مقایسه میانگین میزان وزن خشک در اثر مدت زمان

اعمال تیمار عصاره مخمر با استفاده از آزمون دانکن

زمان (ساعت)	میانگین
۲۱۶	۵/۴۱ ^a
۴۸	۵/۰۱ ^{ab}
۲۴	۴/۹۰ ^b
۷۲	۴/۸۵ ^b
۱۴۴	۴/۷۹ ^b
۱۲	۴/۶۶ ^b

* میانگینهای با حروف مختلف بر اساس روش دانکن دارای

اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد است.

جدول شماره ۳- مقایسه میانگین میزان وزن خشک در اثر مقادیر مختلف تیمار عصاره مخمر با استفاده از آزمون دانکن

مقدار (میلی گرم عصاره مخمر بر ۵۰ میلی لیتر محیط کشت)	میانگین
۴	۵/۵۵ ^a
۸	۵/۱۲ ^{ab}
۶	۵/۰۹ ^{ab}
۱	۵/۰۴ ^{ab}
۲	۵/۰۱ ^b
۰	۳/۸۲ ^c

* میانگینهای با حروف مختلف بر اساس روش دانکن دارای اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد است



پلاسمایی مکانیزم تحریک را به راه بیندازند [۲۶]. قطع واکنش‌های اکسایشی یک رویداد قابل توجه در پاسخ‌های دفاعی هنگامی که سلول‌های گیاهی در معرض تنش‌های غیرزیستی و زیستی مانند تیماردهی با محرک‌ها قرار می‌گیرند، می‌باشد. اکسیژن فعال^۱ که منجر به تولید آنیون سوپراکسید (O_2^-) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به عنوان ترکیبات سمی می‌شود. ROS ها در هنگام بروز تنش ایجاد می‌شوند و در بسیاری از سیستم‌های گیاهی تولید ROS مشاهده شده است. افزایش Ca^{2+} آزاد سیتوسلولی در بسیاری از سلول‌های تیمار شده با محرک برای فعال شدن مراحل تولید ROS، یک پیش نیاز است. اینکه ROS ها چگونه باعث القاء و تولید متابولیت‌های ثانویه می‌شوند هنوز به درستی مشخص نیست اما این واضح است که ROS ها باعث القاء بیان بسیاری از ژن‌های دفاعی و ژن‌های بیوستزکننده متابولیت‌های ثانویه می‌شود [۲۷]. اعتقاد بر این است که در نهایت تمامی مسیرهای انتقال سیگنال بر TFS اثر می‌گذارد و اغلب تمام ژن‌های مسیر بیوستز متابولیت ثانویه به وسیله TFS ویژه تنظیم می‌شود. بنابراین تنظیم بیوستز، فعال‌سازی یا غیرفعال‌سازی TFS باعث ایجاد شبکه‌ای برای تنظیم متابولیت‌های ثانویه گیاهی شده است [۲۴]. در این تحقیق اثرات مثبت عصاره مخمر بر روی رشد و خصوصاً تولید سیلی‌مارین، این تیمار را به عنوان یک کاندیدای مورد قبول برای بهبود بهره‌وری و مطالعه مسیرهای بیوشیمیایی سنتز سیلی‌مارین معرفی می‌نماید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بهینه‌سازی شرایط محیط کشت به منظور افزایش قابلیت تولید در مقادیر بالا بسیار سودمند می‌باشد.

افزایش می‌یابد. در این آزمایش همچنین مشاهده شد که کشت سوسپانسیون سلولی گیاه خارمریم بسیار مستعد تحریک با محرک‌ها می‌باشد و عصاره مخمر تولید سیلی‌مارین را بعد از ۷۲ ساعت افزایش می‌دهد و همچنین برای افزایش قابلیت تولید در مقادیر بالا بسیار سودمند می‌باشد. مکانیسم عمل هیچ کدام از کشت‌های سوسپانسیون سلولی هنوز به درستی مشخص نیست. به هر حال بسیاری از مطالعات پیشنهاد می‌کنند که سیگنالی که توسط محرک فرستاده می‌شود به وسیله گیرنده‌های موجود در سطح غشاء پلاسمایی دریافت شده و یک سیگنال هدایت شبکه ایجاد می‌کند که بیان ژن‌های درگیر بیوستز متابولیت‌های ثانویه گیاهی و به علاوه آنزیم‌های کلیدی که بیوستز متابولیت‌های ثانویه هدف را کاتالیز می‌کنند تنظیم می‌کند [۲۴، ۲۵]. دلیل ممکن برای تولید سیلی‌مارین و ترکیبات مشابه دیگر از طریق عصاره مخمر می‌تواند مربوط به ترکیبات برخی از کاتیون‌ها از قبیل Zn، Ca و Co باشد که می‌توانند به عنوان محرک غیرزنده عمل کنند. عصاره مخمر نیز ترکیبی از ترکیبات مختلف، آمینواسیدها، ویتامین‌ها و ترکیبات معدنی می‌باشد. همچنین اثر عصاره مخمر به عنوان محرک می‌تواند ناشی از ترکیبات دیگری باشد که هنوز به درستی شناسایی نشده‌اند [۱۱]. عصاره مخمر همچنین باعث افزایش تولید سیرینجین در سوسپانسیون سلولی گیاه *Saussurea medusa* شده است [۲۱]. نتایج مشابه در تولید بتائین در کشت ریشه‌های موئین گیاه چغندر قند نیز به دست آمده است ولی مکانیزم سلولی این پدیده هنوز به طور کامل مشخص نیست. به هر حال مطالعات بسیاری پیشنهاد می‌کنند که سیگنال‌های محرک ساخت الیگو ساکاریدها و پلی ساکاریدها ممکن است از طریق گیرنده‌های موجود در سطح غشاء

¹ Reactive Oxygen Source (ROS)

منابع

1. Caitlin B. Silybum marianum. St. 3th Nature conservancy, California: 785 Market floor. Sanfrancisco. 1985, pp: 120 - 5.

2. Sonnebbichler J, Scaleram F, Sonnebbichler I, Weyhenmeyer R. Stimulatory effects of silibinin and silichristin form the Milk thistle *Silybum*



marianum kidney cells. *The j pharmacol and Expe Therapeu.* 1999; 290 (3): 1375 - 83.

3. Pezzuto JM. Natural product cancer chemoprotective agents In: Arnason JT, Mata R, Romeo JT, editors. Recent advances in *phytochemistry*. Phytochemistry of medicinal plants. New York: Plenum press. 1995, pp: 29: 19 - 45.

4. Alfermann AW, Petersen M. Natural products formation by plant cell biotechnology. *Plant Cell, Tissue and Org Culture.* 1995; 199 - 205.

5. Dornenburg H, Knorr D. Production of the phenolic flavour compounds with cultured cells and tissue of *Vanilla planifolia* species. *Food Biotechnol.* 1996; 10: 75 - 92.

6. Ravishankar GA, Bhyalakshmi N, Ramachandra Rao S. Production of food additives. *Biotechnology: secondary metabolites*. New Delhi: Oxford IBH. 1999, 89 - 110.

7. Becker H, Schrall R. Callus und Suspensionskulturen von *Silybum marianum*. *Planta Med.* 1977; 31: 185 - 92.

8. Tumova L, Gallova K, Rimakova J. *Silybum marianum*. In vitro. *Ceska slov farm.* 2004; 53 (3): 135 - 40.

9. Ramachandra Rao S, Ravishankar GA. Plant cell culture: Chemical factories of secondary metabolites. *Biotechnol. advances* 2002; 20: 101 - 53.

10. Radman R, Saez T, Bucke C, Keshavarz T. Elicitation of plant and microbial systems. *Biotechnol Appl Biochem.* 2003; 37: 91 - 102.

11. Sandra I. Pitta-Alvarez, Tatiana C. spollansky, Ana M. Giulietti. The influence of different biotic and abiotic elicitors on the production and profile of tropan alkaloids in hairy root cultures of *Brugmansia candida*. *Enzyme and Microbial Technol.* 2000; 26: 252 - 8.

12. Yari Khosroshahi A. Evaluation of tissue culture of *Taxus baccata* and *In vitro* taxol production. MSc in biotechnology. Tabriz University. 2004, pp: 87, 91.

13. Sanchez- Sampedro MA, Fernandez- Tarrago J, Crchete P. Enhanced silymaril accumulation is related to calcium deprivation in cell suspension cultures of *silybum marianum* L. Gaerth. *Plant Physiology.* 2005; 162: 1177 - 82.

14. Shams- Ardakani MR, Hemmati S, Mohagheghzadeh A. Effect of elicitors on the enhancement of podophylotyping biosynthesis in suspension cultures of *Linum album*. *Daru.* 2005; 13: 56 - 60.

15. Ganapathi G, Karji F. Recent advances in indole alkaloid production by *Catharanthus roseus* (Periwinkle). *J. Exptl. Bot.* 1990; 41: 259 - 67.

16. Hasanloo T, Khavari-Nejad RA, Majidi E, Shams- Ardakani MR. Analysis of flavonolignans in dried fruits of *Silybum marianum* (L.) Gaertn from Iran. *Pakistan J. Biol. Sci.* 2005; 8: 1778 - 2.

17. Murashig T, Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant.* 1962; 15: 473 - 97.

18. Cacho M, Moran M, Crchete P, Fernandez-Tarrago J. Influence of medium composition on the accumulation of flavonolignans in cultured cells of *Silbym marianum* (L.) gaertn. *Plant science.* 1999; 144: 63 - 8.

19. Hasanloo T, Ramazan A, Khavari-Nejad RA, Majidi E. Media optimization for flavonolignans accumulation and growth index of callus culture of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. *J. of Plant Sci. Res.* 2007; 1: 7 - 12.

20. Hasanloo T, Khavari-Nejad RA, Majidi E, Shams- Ardakani MR. Flavonolignan production in cell suspension culture of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. *Pharmaceutical Biol.* 2008; 46: 876 - 82.

21. Chunming Xu, Bing Zhao, Yuan Ou, Xiaodong Wang, Xiaofan Yuan, Yuchun Wang, Elicitor- enhanced syringing production in suspension cultures of *Saussurea medusa*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2007; 23: 965 - 70.

22. Hasanloo T, Sepehri R. Evaluation of silymarin extraction from *Silybum marianum* (L.)



Gaertn seeds by water. *Quarterly Jon Plant Sci. Res.* 2008; 1: 1 - 8.

23. Hasanloo T, Khavari-Nejad RA, Majidi E, Ziai SA, Shams- Ardakani MR. Determination of flavonolignan of dried fruits of *Silybum marianum* L. Gaertn collected from different areas of Iran by spectrophotometer, TLC and HPLC. *J. Medicinal Plants* 2004; 4 (1): 25 - 32.

24. Cheong JJ, Hahn MG. A specific, high affinity binding site for the hepta-glucoside elicitor exists in soybean memberanes. *Plant Cell.* 1991; 3: 137 - 47.

25. Hanania U, Avni A. High affinity binding site for ethylene-inducing xylanase elicitor on

Nicotiana tabacum membranes. *Plant J.* 1997; 12: 113 - 20.

26. Savitha BC, Thimmaraju R, Bhagyalakshmi N, Ravishankar GA. Different biotic and abiotic elicitors influence betalain production in hairy root cultures of *Beta vulgaris* in shake-flask and bioreactor. *Process Biochem.* 2006; 41: 50 - 60.

27. Fahrendorf T, Ni W, Shorroosh BS, Dixon RA. Stress responses in alfalfa (*Medicago sativa* L.). XIX. Transcriptional activation of oxidative pentose phosphate pathway genes at the onset of the isoflavanoid phytoalexin response. *Plant Mol Biol.* 1995; 28: 885 - 900.

