

خالص سازی آنزیم پلی گالاکتوروناز جدایه (IKO6) قارچ *Ascochyta rabiei*: عامل بیماری برق زدگی در نخود

حسین فلاحی^۱، مصطفی مطلبی^۲ و محمدرضا زمانی^۲

چکیده

بیماری برق زدگی (*Ascochyta blight*) در نخود (*Cicer arietinum*) یکی از مهم ترین بیماری های این گیاه می باشد که توسط قارچ *Ascochyta rabiei* ایجاد می گردد و خسارات زیادی را به این محصول وارد میسازد. آنزیم پلی گالاکتوروناز یکی از عوامل مهم در بیماریزایی این قارچ محسوب می شود که با تخریب ترکیبات ساختمانی دیواره سلولی گیاه باعث سست شدن و نفوذ پذیر شدن آن نسبت به پاتوژن می گردد. در این تحقیق جهت بررسی خصوصیات آنزیم پلی گالاکتوروناز تولید شده توسط جدایه IKO6 قارچ *A. rabiei* اقدام به خالص سازی این آنزیم با استفاده از ستون تعویض یونی بر روی بستر (Carboxy Methyl Sepharose) گردید. مناسب ترین pH جهت اتصال آنزیم مذکور به بستر ستون برابر ۵/۵ تعیین گردید. پس از اتصال پروتئین، شستشوی ستون و اعمال شیب غلظت نمک NaCl یک مولار، نتایج نشان داد در فراکسیون های ۸۱ تا ۹۶ در ناحیه غلظت نمکی بین ۰/۳ تا ۰/۴ مولار یک قله فعالیت آنزیمی مشاهده می گردد. پس از رسوب دهی پروتئین های فراکسیون های فوق و با استفاده از SDS-PAGE یک باند پروتئینی با جرم ملکولی حدود ۲۷ کیلودالتون به دست آمد. مطالعه زایموگرام مربوط به این باند پروتئینی نشان داد که این پروتئین دارای فعالیت آنزیم پلی گالاکتورونازی می باشد. بررسی pH مناسب برای فعالیت آنزیمی نشان داد که پروتئین خالص شده، در pH برابر ۷/۵ بالاترین فعالیت آنزیمی را از خود نشان می دهد.

واژه های کلیدی: آنزیم پلی گالاکتوروناز، خالص سازی، بیماری برق زدگی و نخود

مقدمه

توسط این قارچ در بعضی از مزارع حتی تا صد در صد نیز گزارش شده است (۱۹ و ۲۳). این بیماری اولین بار توسط باتلر در سال ۱۹۱۱ در ایالت مرزی شمال غربی پاکستان گزارش و توصیف گردید (۵). از آن زمان، این بیماری در بیش

یکی از مهم ترین بیماری ها در نخود (*Cicer arietinum*) بیماری برق زدگی می باشد که عامل آن قارچ *Ascochyta rabiei* بوده و میزان خسارت وارده به گیاه نخود

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد علوم سلولی ملکولی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۲. استادان ژنتیک مولکولی و بیولوژی مولکولی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران

از ۳۲ کشور جهان گزارش شده است (۲۳ و ۲۴). بیماری برق زدگی نخود برای اولین بار در ایران توسط زالپور گزارش گردیده (۳۵) و تاکنون این بیماری در مناطق مختلفی از ایران مانند استان‌های آذربایجان، مازندران، مرکزی، خوزستان، خراسان، ایلام، همدان و کرمانشاه مشاهده شده است (۱ و ۳۴). ماهیت مخرب قارچ *A. rabiei* آن را به عنوان یک فاکتور اصلی محدود کننده تولید نخود و به عنوان مهم‌ترین عامل بیماری نخود معرفی نموده است (۳۱).

جهت ورود پاتوژن‌ها از محیط خارج به داخل گیاه و همچنین نفوذ در بافت‌های مختلف، برخی از آنها قادرند آنزیم‌هایی تولید نمایند که ترکیبات دیواره سلولی گیاه را تخریب نموده یا استحکام آن را کاهش دهند (۳). دیواره‌های سلولی گیاه ساختمان‌های منظم و پیچیده‌ای هستند که به عنوان اولین سد فیزیکی در برابر حمله پاتوژن ایستادگی می‌کنند و نفوذ در این سد جهت آلوده شدن گیاه توسط پاتوژن لازم است. هر گونه آسیب به تیغه میانی دیواره سلولی، مخصوصاً در بافت‌های سطحی، می‌تواند منجر به از بین رفتن اتصالات بین سلولی شود که در نهایت زمینه نفوذ بیشتر را در بافت‌های عمقی‌تر فراهم می‌آورد. این گونه آسیب‌ها در بیماری‌هایی مانند پژمردگی (Damping-off)، پوسیدگی نرم و خشک ریشه‌ها (Soft and dry root rot)، ضایعات برگ و ساقه (Leaf and stem lesions) مشاهده شده است (۹). در طبیعت یکی از اولین واکنش‌های ملکولی بین پاتوژن و میزبان، اثر آنزیم‌های تولید شده توسط پاتوژن بر دیواره سلولی میزبان می‌باشد. در این فرایند پلی ساکاریدهای دیواره سلولی (بخصوص پکتین) توسط این آنزیم‌ها تخریب می‌گردد (۱۰). این آنزیم‌ها معمولاً ترش‌حی بوده و دارای وزن ملکولی پایین و پایداری نسبتاً بالایی هستند. آنزیم‌های مذکور به صورت ایزوآنزیم‌های مختلفی تولید می‌شوند که از نظر اندازه، بار الکتریکی، پایداری و توانایی برای تخریب دیواره‌های سلول مختلف هستند (۱۰). این آنزیم‌ها نه تنها باعث تخریب دیواره سلولی می‌گردند، بلکه ممکن است پروتوپلاست را نیز از بین ببرند.

جداسازی و تخلیص آنزیم با هدف عمده به دست آوردن آنزیم خالص جهت مطالعه خصوصیات آنزیمی انجام می‌شود. اطلاعات موجود نشان می‌دهد که روش‌های مختلفی جهت خالص‌سازی و نیز تعیین خصوصیات آنزیم پلی گالاکتوروناز قارچ‌های مختلف از جمله *Fusarium oxysporum*، *Botrytis cinerea*، *Thermomyces lanuginosus* مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱، ۲۲، ۲۹، ۳۰ و ۳۳). با توجه به اهمیت نقش آنزیم پلی گالاکتوروناز در بیماری‌زایی قارچ *F. oxysporum* در گیاه نخود (*Cicer arietinum*)، در این تحقیق برای به دست آوردن آنزیم خالص جهت مطالعه خصوصیات ملکولی، از ستون تعویض یونی (CM-Sepharose Fast Flow) استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

جدایه قارچ و محیط‌های کشت

جدایه قارچ (*Ascochyta rabiei* (IK06) که در طول این تحقیق مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت از منطقه ماهیدشت در استان کرمانشاه جمع آوری و خالص سازی گردیده است (۳۶).

برای نگهداری قارچ از محیط کشت Potato Dextrose Agar (PDA) استفاده گردید. برای فراهم نمودن شرایط مناسب جهت تولید آنزیم‌های پکتینی توسط قارچ *A. rabiei* از محیط کشت تغییر یافته زایموگرم (Pectic Zymogram medium, PZ) استفاده گردید (۳۷). بدین منظور ده گرم پکتین (Citrus pectin, Merck) در ۱۰۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شده و ۲/۶۴ گرم سولفات آمونیوم، ۰/۳۴ گرم دی پتاسیم هیدروژن فسفات و ۰/۱۴ گرم سولفات منیزیم اضافه شد. pH محیط فوق برابر ۴/۵ تنظیم گردید.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز

فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز با استفاده از روش کالمر (۸) همراه با تغییراتی، به شرح زیر اندازه‌گیری گردید. ۴۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی با ۲۱۰ میکرولیتر محلول ذخیره

بافر استات پتاسیم ۵۰ میلی مولار (pH برابر ۵/۵) دیالیز گردیده بود به آرامی و با دقت روی ستون بار شد. سپس خروجی ستون باز شده تا نمونه وارد بستر شود. ورودی و خروجی ستون را به دستگاه سیرکولاتور متصل، خروجی ستون را باز کرده تا کلیه پروتئین‌های موجود در بستر با چرخش درون ستون، فرصت اتصال به بستر را پیدا کنند.

پس از ۱۲ ساعت، ستون را با ۲۰۰ میلی لیتر بافر متعادل کننده به صورت یک مرحله‌ای با سرعت جریان ۱ میلی لیتر در دقیقه شستشو داده و زمان کافی را در نظر گرفته تا شستشوی پروتئین‌هایی که در لابه‌لای بستر مانده و متصل نشده‌اند نیز انجام گیرد. محلول خروجی ستون، مربوط به شستشو در نمونه‌های ۲/۵ میلی لیتری توسط دستگاه نمونه گیر (Fraction collector) جمع آوری و مقدار جذب نوری پروتئین‌های متصل نشده در ۲۸۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. بعد از این که مقدار جذب نوری پروتئین‌های متصل نشده به ستون در نمونه‌های جمع آوری شده به صفر رسید، برای جداسازی پروتئین‌های متصل شده به گروه‌های عمل کننده بستر، از دستگاه گرادیان ساز استفاده شد که در ظرف اول آن ۱۰۰ میلی لیتر بافر شستشو دهنده و در ظرف دوم ۱۰۰ میلی لیتر بافر جدا کننده (IM NaCl) ریخته شد و به کمک همزن مغناطیسی (با ایجاد گرایان خطی بافر جدا کننده (۰-۱ M NaCl) پروتئین‌های متصل شده به ستون جدا شدند. سرعت جریان بافر ۱ میلی لیتر در دقیقه و حجم نمونه‌های جمع آوری شده به میزان ۲/۵ میلی لیتر تنظیم گردید. سپس نمونه‌های حاوی بیشترین فعالیت آنزیمی جمع آوری و مخلوط شده و پس از افزودن حجم برابر از استون سرد (۲۰- درجه سانتی‌گراد)، به وسیله سانتریفوژ در ۱۴۰۰۰ rpm رسوب داده شدند.

بررسی الگوی پروتئینی

جهت بررسی پروتئین‌های ترشحی و رسوب‌دهی آنها از دو روش استفاده گردید: استفاده از استن و نمک‌های معدنی. در

سویسترا حاوی ۰/۳ درصد (w/v) پلی گالاکتورونیک اسید در لوله اپندورف مخلوط شده و برای ۲۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شود. واکنش با اضافه کردن ۲۵۰ میکرولیتر معرف مس [۰/۱ (w/v) سدیم پتاسیم تارتارات، ۰/۲ (w/v) کربنات سدیم، ۰/۳ (w/v) سدیم هیدروژن کربنات و ۰/۱۴ (w/v) سولفات سدیم] و نیز قرار دادن در حمام آب جوش به مدت ۱۰ دقیقه متوقف شد. پس از سرد شدن ۵۰۰ میکرولیتر معرف آرسنومولیدات [۰/۵ (w/v) آمونیم مولیدات، ۰/۰۶ (w/v) دی سدیم هیدروژن آرسنات و ۰/۴۲ (v/v) اسید سولفوریک ۹۶٪] به مخلوط اضافه و سانتریفوژ شده (۱۲۰۰۰ rpm) و میزان جذب در طول موج ۵۰۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر خوانده شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم برای هر جدایه در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش از دی- گالاکتورونیک اسید (D-Galacturonic acid sodium salt, Fluka) به عنوان استاندارد استفاده شد. در این شرایط یک واحد آنزیم در مدت ۲۰ دقیقه تشکیل یک میکرومول دی گالاکتورونیک اسید را می‌دهد.

کروماتوگرافی تعویض یونی بر روی بستر (CM-Sepharose Fast Flow)

جهت خالص کردن آنزیم یک ستون کروماتوگرافی به ابعاد ۲۵×۲۵ سانتی‌متر (ارتفاع × قطر) انتخاب گردید. مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از بستر CM-Sepharose Fast Flow که به صورت تجاری و به فرم سوسپانسیون می‌باشد (Pharmacia)، درون بشر ریخته و بر روی آن بافر متعادل کننده (استات پتاسیم ۵۰ میلی مولار با pH برابر ۵/۵) اضافه گردید. پس از چند بار تعویض بافر، بستر به کمک یک میله شیشه‌ای به‌طور یک‌نواخت و همگن با زاویه ۶۰ درجه به ستون اضافه شده و به سردخانه منتقل گردید. ستون به مدت یک شبانه روز به همان حالت باقی مانده، تا بستر به صورت فشرده در آید. ۳ میلی لیتر از محلول آنزیمی تغلیظ شده که توسط کیسه دیالیز با cut off برابر ۱۰-۱۲ کیلودالتون به مدت ۱۲ ساعت در مقابل

با ۱۰ میلی لیتر بافر استات پتاسیم (۵۰ میلی مولار) با هر یک از pH های مورد مطالعه اضافه گردید. برای به تعادل رساندن بستر، بافر مذکور ۵ بار تعویض گردید. سپس به هر لوله مقادیر مساوی از محلول پروتئینی مورد مطالعه اضافه شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری گردید. مقدار جذب محلول رویی در ۲۸۰ نانومتر و نیز فعالیت آنزیمی آنها اندازه گیری شد.

پس از خالص سازی آنزیم به منظور مطالعه مناسب ترین pH برای فعالیت آنزیم، محلول های Substrate stock solution با pH های ۲/۵ تا ۸ با فواصل ۰/۵ تهیه گردید. فعالیت آنزیمی در هر pH مورد بررسی قرار گرفت.

Test plate

به منظور تشخیص وجود فعالیت آنزیم های پکتینی از روش Test Plate استفاده گردید. برای تشخیص فعالیت آنزیم پلی گالاتوروناز به ۵ میلی لیتر از محلول A (بافر یک مولار استات پتاسیم با pH برابر ۴/۵)، ۵ میلی لیتر از محلول B (EDTA ۱۰۰ میلی مولار با pH برابر ۸) و ۴۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه گردید. ۵۰ میلی گرم پلی گالاتورونیک اسید و ۰/۵ گرم آگارز به آن افزوده شد. سپس محلول جوشانده شده و پس از حل شدن کامل مواد، بین پلیت ها تقسیم گردید. مقدار ۵ μl از هر نمونه روی پلیت نقطه گذاری و به مدت یک و نیم ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد نگهداری گردید. سپس پلیت ها ۱۵ دقیقه با رنگ اختصاصی (Ruthenium red) (۰/۰۵ درصد) رنگ آمیزی شدند. پس از شستشو، نمونه های دارای فعالیت آنزیمی به صورت لکه هایی روشن بر روی پلیت مشاهده می شدند.

Activity staining

جهت بازیابی فعالیت آنزیم پلی گالاتوروناز در فراکسیون های جمع آوری شده از نمونه های حاصل از کروماتوگرافی، از تکنیک Zymogram به روش زمانی و همکاران (۳۷) استفاده شد.

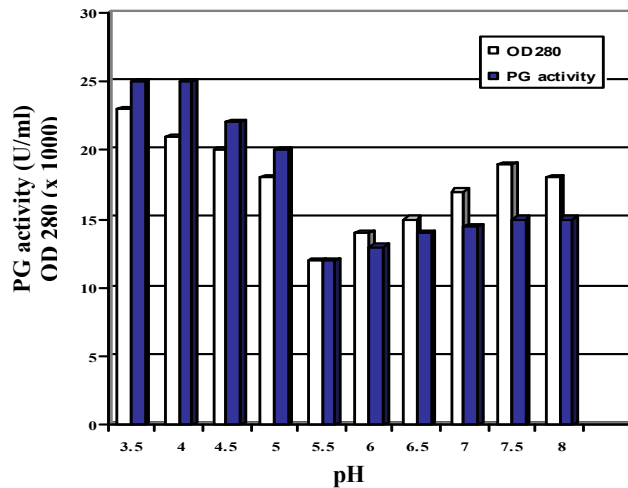
روش رسوب دهی با استفاده از استن، محلول حاوی پروتئین ترشچی با حجمی برابر از استن سرد (۲۰- درجه سانتی گراد) به آرامی مخلوط گردید و حدود ۱۲ ساعت در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس مخلوط فوق با سرعت ۱۴۰۰۰ rpm و بمدت ۳۰ دقیقه سانتریفوژ گردید. رسوب حاصله در کمترین حجم آب مقطر دو بار تقطیر، حل شده و در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد نگهداری گردید. در روش رسوب دهی با نمک های معدنی از سولفات آمونیوم ۷۰٪ استفاده گردید. در این روش مقدار ۷۰ گرم سولفات آمونیوم در ۱۰۰ میلی لیتر محلول حاوی پروتئین ترشچی به آرامی حل گردید. محلول اشیاع حاصل حدود ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی گراد قرار داده شد. آنگاه پس از ۳۰ دقیقه سانتریفوژ با سرعت ۱۴۰۰۰ rpm، رسوب به دست آمده در یک میلی لیتر آب مقطر دو بار تقطیر کاملاً حل شده و پس از انتقال به لوله های اپندورف، در ۲۰- درجه سانتی گراد نگهداری شد.

برای اندازه گیری مقدار پروتئین از روش Bradford (۴) استفاده شد که در آن از پروتئین (BSA) Bovine Serum Albomin به عنوان استاندارد استفاده گردید. برای مشخص کردن خلوص پروتئین از SDS-PAGE استفاده گردید (۲۸). الکتروفورز در سیستم ناپیوسته (Stacking) (برابر ۵٪ و Resolving برابر ۱۲٪ انجام شد. رنگ آمیزی ژل ها با استفاده از رنگ آمیزی نقره (Silver staining) انجام گردید (۲۸).

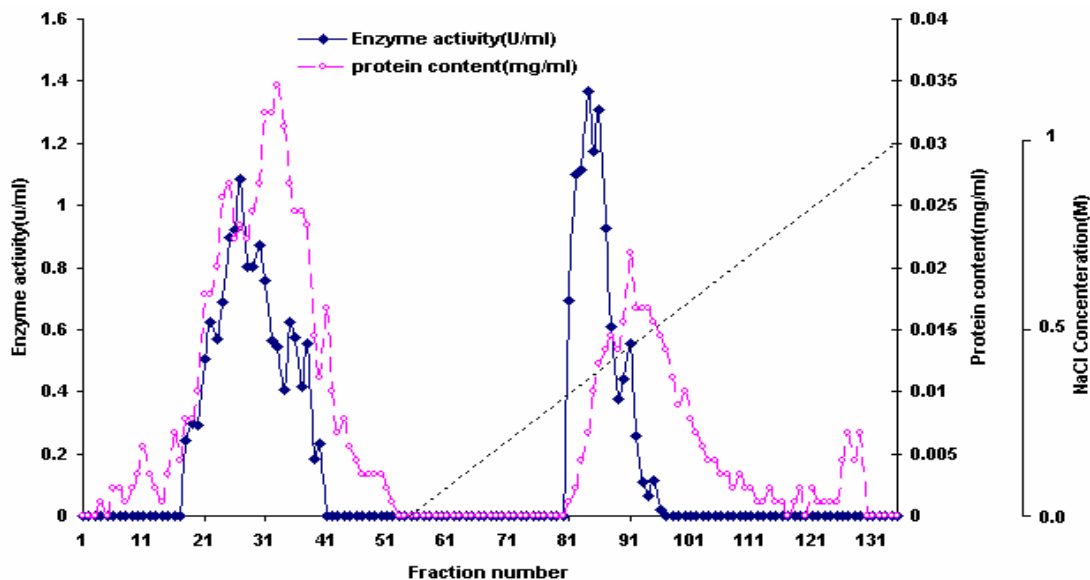
برای تخمین وزن ملکولی، از مارک های وزن ملکولی استاندارد ساخت شرکت Pharmacia و برنامه نرم افزاری UVIDoc استفاده گردید.

تعیین pH مناسب برای اتصال پروتئین به بستر و فعالیت آنزیمی

به منظور تعیین pH مناسب برای اتصال پروتئین های موجود در محیط کشت به ستون، دامنه pH از ۴ تا ۸/۵ با فواصل ۰/۵ در نظر گرفته شد. به هر لوله یک میلی لیتر از بستر مورد نظر همراه



شکل ۱. میزان فعالیت آنزیمی و مقدار پروتئین (OD₂₈₀) محلول روی بستر مورد استفاده در ستون کروماتوگرافی تعویض یونی در pH های مختلف. کمترین میزان جذب به بستر در pH برابر ۵/۵ مشاهده می شود.

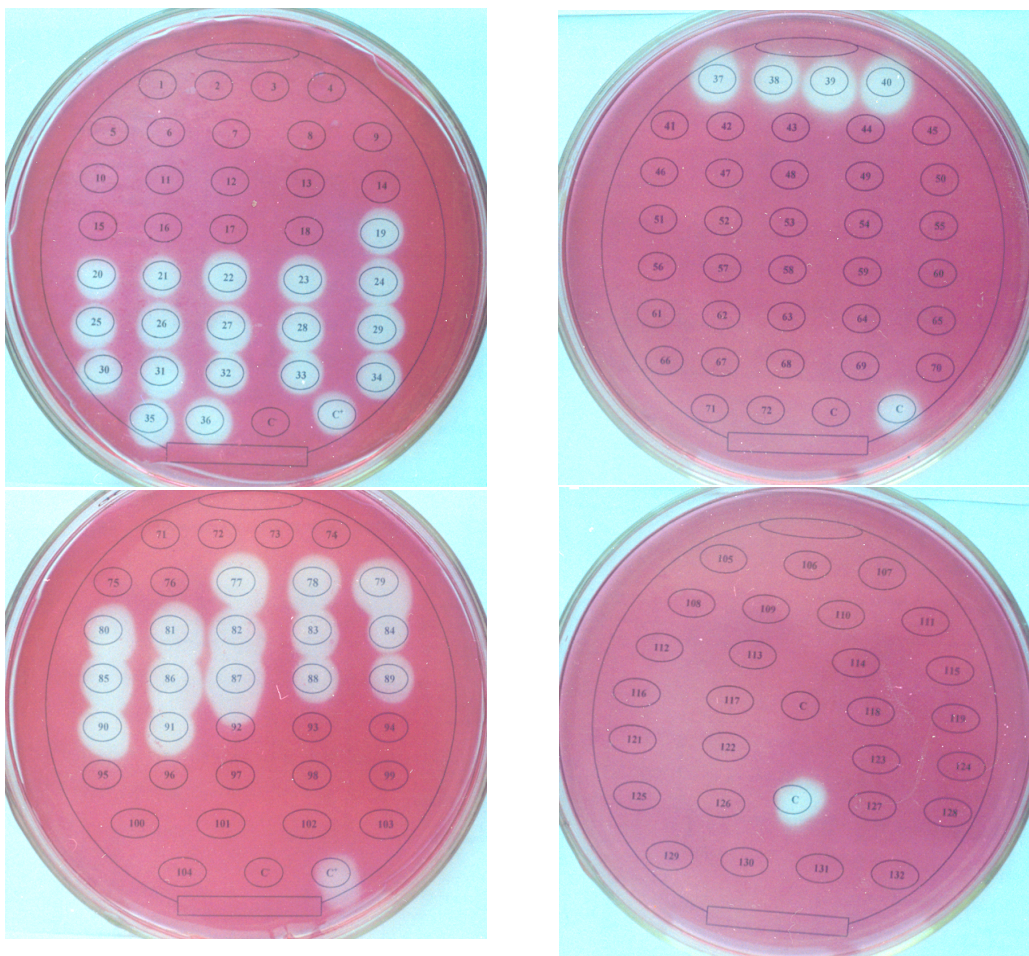


شکل ۲. مقدار پروتئین و میزان فعالیت آنزیمی فراکسیون های مختلف جمع آوری شده از ستون کروماتوگرافی CM-Sepharose

از آنجا که قبل از انجام خالص سازی لازم است شرایط مناسب برای اتصال آنزیم به بستر ستون مورد استفاده، مورد مطالعه قرار گیرد، در این تحقیق ابتدا تأثیر pH های مختلف بین ۳/۵ تا ۸ با فاصله های ۰/۵ در اتصال آنزیم به بستر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی میزان آنزیم پلی گالاکتوروناز متصل نشده به ستون نشان داد که مناسب ترین pH جهت انجام خالص سازی توسط کروماتوگرافی تعویض یونی ۵/۵ می باشد (شکل ۱). آنزیم پلی گالاکتوروناز به دست آمده از جدایه IKO6 که در

نتایج

با توجه به این که اولین واکنش ملکولی بین پاتوژن از جمله قارچ *A. rabiei* و میزبان گیاهی، اثر آنزیم های تخریب کننده دیواره سلولی از جمله آنزیم پلی گالاکتوروناز روی سلول های میزبان می باشد، بنابراین جهت دستیابی به فرم خالص این آنزیم برای بررسی و مطالعه خصوصیات ملکولی آن، در این تحقیق اقدام به خالص سازی آنزیم پلی گالاکتوروناز قارچ *A. rabiei* عامل ایجاد برق زدگی نخود گردید.



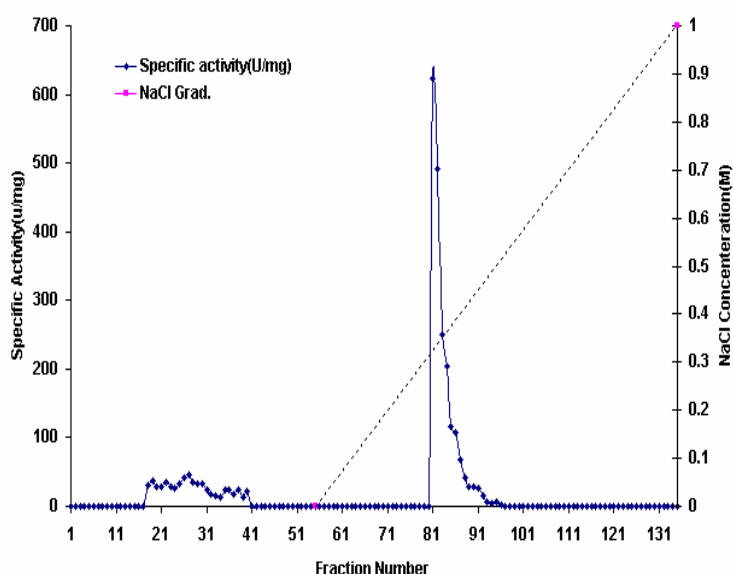
شکل ۳. بررسی فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز به روش test plate :

شماره‌های ۱ الی ۱۳۲ شماره فراکسیون‌های جمع آوری شده از ستون می‌باشد. فراکسیون‌هایی که دارای فعالیت آنزیمی بودند توسط هاله‌های شفاف مشخص می‌باشند. C = نمونه قبل از خالص سازی (شاهد).

فراکسیون‌های شماره ۴ تا ۵۵ حاوی پروتئین بوده در حالی که فعالیت آنزیمی فقط در فراکسیون‌های ۱۸ تا ۴۰ مشاهده می‌گردد (شکل ۲). جهت تشخیص حضور آنزیم پلی گالاکتوروناز در فراکسیون‌های مختلف از روش تست پلیت استفاده شد (شکل ۳).

برای جدا کردن پروتئین‌های متصل شده به ستون از فراکسیون ۵۶ به بعد، از شیب غلظت نمکی صفر تا یک مولار NaCl استفاده گردید. اندازه‌گیری مقدار پروتئین، فعالیت آنزیمی و فعالیت ویژه آنزیمی هر یک از فراکسیون‌های شماره ۵۶ تا ۱۳۵

محیط مایع PZ کشت داده شده بود پس از رسوب دهی با سولفات آمونیوم و انجام دیالیز جهت خالص سازی مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا ستون با استفاده از بافر استات پتاسیم به تعادل رسید. سپس مقدار ۳ میلی لیتر از محلول نمونه پروتئینی به ستون اضافه گردید. در این مرحله ستون با بافر اولیه تا هنگامی شستشو داده شد که تمام پروتئین‌هایی که به ستون متصل نشده بودند از ستون خارج شدند. در مرحله شستشو تعداد ۵۵ فراکسیون ۲/۵ میلی لیتری جمع آوری گردید. اندازه‌گیری مقدار پروتئین این فراکسیون‌ها نشان داد که

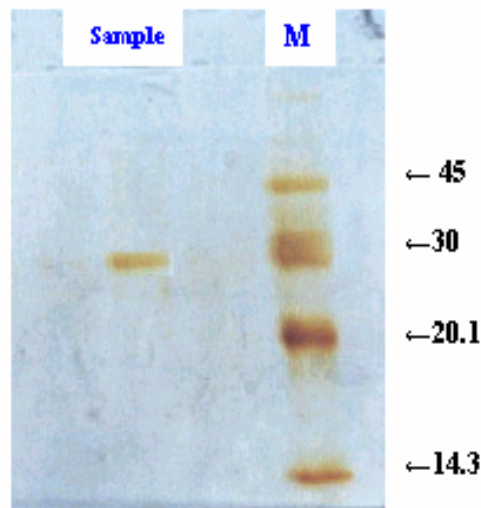


شکل ۴. میزان فعالیت ویژه آنزیمی فراکسیون‌های مختلف جمع آوری شده از ستون کروماتوگرافی

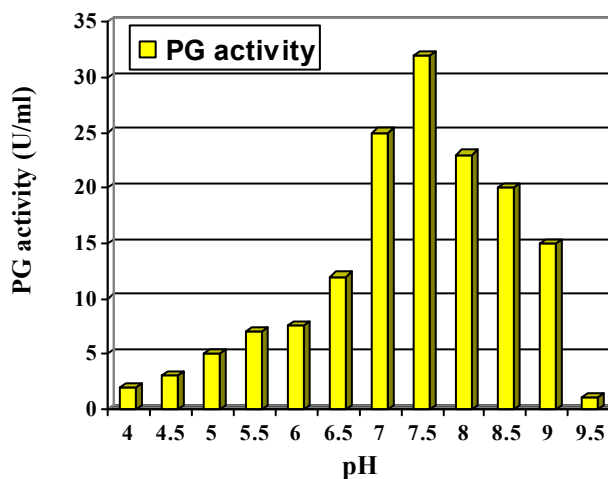
ملکولی حدود ۲۷ کیلودالتون خالص شده است (شکل ۵). با توجه به این که pH مناسب جهت فعالیت آنزیم‌های پلی گالاکتورونازی مختلف دارای دامنه تغییرات زیادی می‌باشد، در این تحقیق برای به دست آوردن pH مطلوب جهت فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز خالص سازی شده، از سوبستراهایی با pH بین ۴ تا ۹/۵ با فاصله‌های ۰/۵ استفاده گردید. مقایسه میزان فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز در pHهای مورد مطالعه نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیمی در pH=۷/۵ می‌باشد (شکل ۶). از آنجا که لازم است فعالیت آنزیمی پلی گالاکتوروناز پس از خالص سازی مورد بررسی قرار گیرد، در این مرحله با استفاده از روش Activity staining فعالیت آنزیمی آن مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه پروتئینی بعد از خالص سازی در ژل حاوی سوبسترا الکتروفورز شد. وجود تنها یک باند با فعالیت آنزیم پلی گالاکتورونازی نشان می‌دهد که پروتئین خالص شده در این تحقیق آنزیم پلی گالاکتوروناز می‌باشد (شکل ۷).

نشان داد که فراکسیون‌های ۸۱ تا ۱۳۰ حاوی مقادیر مختلف پروتئینی بوده در حالی که فقط فراکسیون‌های شماره ۸۱ تا ۹۶ فعالیت آنزیم پلی گالاکتورونازی از خود نشان می‌دادند (شکل ۲). این فراکسیون‌ها (۸۱ تا ۹۶) در ناحیه غلظت نمکی بین ۰/۳ تا ۰/۴ میلی مولار از ستون خارج شده‌اند. بررسی فعالیت ویژه آنزیمی فراکسیون‌های مختلف نشان داد که فراکسیون‌های ۱۸ تا ۴۱ (مرحله شستشو) دارای فعالیت ویژه‌ای برابر U/mg ۴۲/۰-۶۲۲/۵ بوده و فراکسیون‌های ۸۱ تا ۸۸ (مرحله اعمال شیب نمکی) دارای فعالیت ویژه‌ای برابر U/mg ۴۲/۰-۶۲۲/۵ می‌باشند. فراکسیون‌های ۸۹ تا ۹۶ دارای فعالیت ویژه آنزیمی قابل ملاحظه‌ای نبودند (شکل ۴).

برای مشاهده میزان خلوص آنزیم از SDS-PAGE استفاده گردید. به این منظور فراکسیون‌های شماره ۸۱ تا ۸۸ که دارای بیشترین مقدار فعالیت ویژه آنزیمی بودند با یکدیگر مخلوط و پروتئین‌های موجود در نمونه‌های مخلوط شده پس از رسوبدهی با استون سرد مورد مطالعه قرار گرفتند. الگوی پروتئینی به دست آمده نشان داد که یک باند پروتئینی با وزن



شکل ۵. باند پروتئینی خالص شده آنزیم پلی گالاکتوروناز (فراکسیون‌های ۸۸-۸۱) از جدایه IK06 قارچ *A. rabiei*. M= مارکر پروتئینی، sample= نمونه خالص سازی شده

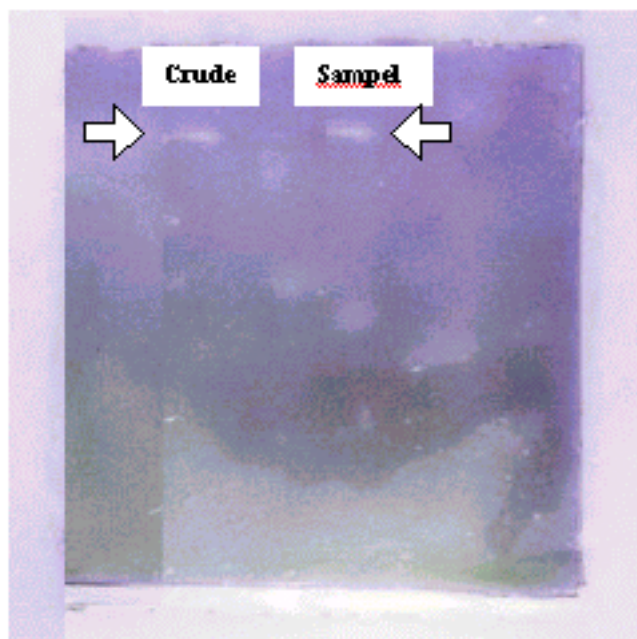


شکل ۶. میزان فعالیت آنزیم پلی گالاکتوروناز خالص شده در pH های مختلف

بحث

گسترده‌ای قرار می‌گیرد. لئون و همکاران (۱۷) PG با جرم ملکولی ۲۳ کیلو دالتون را از قارچ *Botrytis cinerea* خالص سازی نموده‌اند. پولیزل و همکاران (۲۵) جرم ملکولی آنزیم PG خالص شده از قارچ *Neurospora crassa* را ۳۷ کیلودالتون گزارش نمودند. هم چنین پلی گالاکتورونازهایی با وزن ملکولی ۳۴ و ۳۷ کیلودالتون از قارچ *Rhizoctonia solani* (۲۰)، ۳۶ کیلودالتون از قارچ *Rhizoctonia fragariae* (۶)، ۳۸ و ۴۰ کیلودالتون از *Fusarium oxysporum* (۲)، ۴۲ کیلودالتون

توانایی پاتوژن‌های گیاهی برای تولید آنزیم‌های تجزیه کننده پلی ساکاریدهای پیچیده دیواره سلولی گیاهان احتمالاً اولین مرحله در فرایند بیماری‌زایی می‌باشد (۲۵، ۲۷ و ۳۰). گزارش‌های موجود نشان می‌دهند که آنزیم‌های تجزیه کننده پکتین دیواره سلولی گیاهان از جمله آنزیم پلی گالاکتوروناز معمولاً ترش‌حی می‌باشند (۱۲ و ۱۴). جرم ملکولی فرم‌های مختلف آنزیم پلی گالاکتوروناز قارچ‌ها و باکتری‌ها در دامنه



شکل ۷. فعالیت آنزیمی (zymogram) مربوط به پروتئین خالص سازی شده (Sample) و نمونه اولیه (Crude).

به کار رفته است. در این تحقیق جهت خالص سازی آنزیم پلی گالاکتوروناز از ستون کروماتوگرافی تعویض یونی Carboxy Methyl Sepharose استفاده گردید که این آنزیم به صورت یک قله مشخص استخراج و وزن ملکولی آن به کمک SDS-PAGE حدود ۲۷ کیلو دالتون تعیین گردید.

برای بررسی فعالیت آنزیمی باند پروتئینی خالص شده ابتدا با خارج کردن SDS از داخل ژل، به renature کردن پروتئین اقدام گردید لیکن پروتئین مذکور فعال نشده و فعالیت آنزیمی از خود بروز نداد. در ادامه از تکنیک زایموگرام جهت بازیابی فعالیت آنزیم استفاده شد. وجود یک باند با فعالیت پلی گالاکتورونازی در ژل مورد تایید قرار گرفت که نشان دهنده وجود تنها یک فرم از آنزیم در پروتئین خالص شده می باشد.

گزارش ها نشان می دهند که pH مناسب برای فعالیت آنزیم های پلی گالاکتوروناز به دست آمده از قارچ ها و باکتری ها دارای دامنه نسبتاً وسیعی می باشد. برخی از این آنزیم ها در دامنه وسیعی از pH های اسیدی (۷ و ۱۳) فعالیت دارند در حالی که بعضی دیگر در pH های در حدود ۸ تا ۱۲ فعالیت می نمایند (۱۵ و ۱۶). در این تحقیق pH مناسب برای فعالیت

از قارچ های *Sclerotinia sclerotiorum* (۲۱) و *Saccharomyces cervisiae* (۱۳)، ۶۶ و ۷۰ کیلودالتون از *Bacillus* (۱۶) گزارش شده است. آنزیم های پلی گالاکتورونازی از اولین آنزیم هایی هستند که در مراحل اولیه ایجاد بیماری توسط بسیاری از قارچ ها از جمله قارچ *Ascochyta rabiei* ترشح می شوند (۲۴ و ۳۲).

خالص سازی و تعیین خصوصیات آنزیم های پلی گالاکتورونازی می تواند جهت بررسی دقیق تر عملکرد آنها در شرایط *in vitro* و یافتن پروتئین مهارکننده آنها (Polygalacturonase inhibiting protein, PGIP) در گیاهان مقاوم به عامل بیماری، مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به تنوع آنزیم های پلی گالاکتورونازی در قارچ های مختلف، در این تحقیق از جدایه بیماریزای (IK06) قارچ *A. rabiei* که از مزارع نخود آلوده در استان کرمانشاه جمع آوری گردیده بود (۳۶) اقدام به خالص سازی این آنزیم گردید.

برای خالص سازی آنزیم PG از میکروارگانیسم های مختلف هر دو نوع ستون تعویض کننده کاتیونی (۱۸) و آنیونی (۱۳)

آنزیم پلی گالاکتوروناز خالص شده از جدایه مورد مطالعه برابر به خوبی خالص نمود تا در مرحله مطالعه اثر متقابل این آنزیم با PGIP مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین آنزیم پلی گالاکتوروناز قارچ *A. rabiei* را می توان توسط روش مورد استفاده در این تحقیق

منابع مورد استفاده

۱. اخوت، م. ۱۳۷۵. مطالعه در مورد چند روش مبارزه علیه قارچ *Ascochyta rabiei* عامل برق زدگی نخود. مجله علوم کشاورزی ایران ۴: ۱۲-۱.
2. Alani B., M. Motallebi and M.R. Zamani. 2004. Purification and partial characterization of polygalacturonase from highly virulent (HV) isolate of *Fusarium oxysporum* (F23). Iranian J. Biol. 16(4) : 1-11.
3. Bateman, D. F. and H. G. Bashman. 1976. Degradation of Plant Cell Walls and Membranes by Microbial Enzyme. PP. 316-355, In: R. Heiteffus and P. H. Williams (Eds.), Encyclopedia of Plant Physiology New Series, Pysiological Plant Pathology, Springer verlag, Berlin.
4. Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochem. 72: 248-254.
5. Butler E.J. 1918. Fungi and Diseases in Plants. Thaker, Sprink and Co., Calcutta, India.
6. Cervone, F., R. castoria, F. Lechie, G. De Lorenzo 1997. Perception of fungal elicitors and signal transduction. PP. 153-177. In: P.Aducci (Ed.), Signal Transduction in Plants. Birkauser Verlag, Basel, Switzerland,
7. Clausen, C. A. and F.Green 1996. Characterization of polygalacturonase from the brown-rot fungus *postia placenta*. Appl. Microbiol. Biotech. 45: 750-754.
8. Collmer, A., J. L. Ried and M. S. Mount. 1988. Assay method for pectic enzymes. Method in Enzymol. 161: 329 - 335.
9. Cooper , R. M. 1984. The Role of cell Wall-degredation Enzyme in Infection and Damage and Loss. Black-Well scientific Pub., Londen.
10. Cooper, R. M. 1983. The mechanisms and significance of enzyme degradation of host cell walls by parasites. Biochemical Plant Pathology, Wiley & Sons, Chichester, England.
11. Doneche, B. and C. Cabanne. 2002. Purification and characterization of two izozymes of polygalacturonase from *Botrytis cinerea*. Effects of calcium ions on polygalacturonase activity. Mycobiol. Res. 157: 1-7.
12. Gacto, M., J.V. Solar and C. Pardo. 1992. Production and characterization of pectic enzyme from Yeasts. In: Profiles on Biotechnology. Sevicio de Pub., Universidade de Santiago, Spain.
13. Gainvors, N., S. Nedjaoum and M. Muzart 2000. Purification and characterization of acidic endopolygalacturonases encoded by the PGL1-1 gene from *Saccharomyces cerevisiae*. FEMS Microbiol. Letters 183(1): 131-135.
14. Jones, T. M., A. J. Anderson and P. Albersheim 1972. Host pathogen interactions. Studies on the polysaccharide-degrading enzymes secreted by *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*. Physiol. Plant Pathol. 2: 153-166.
15. Kapoor, M., Q. Khalil Beg and B. Bhushan. 2000. Production and partial purification and characterization of a thermo-alkali stable polygalacturonase from *Bacillus*. Process Biochem. 36 (5): 467-473.
16. Kobayashi, T., N. Higaki, A.Suzumatsu and K. Sawada. 2001. Purification and properties of a high- molecular-weight, alkaline exopolygalacturonase from a strain of *Bacillus*. Enzyme and Microbial Technol. 29 (1) : 70-75.
17. Leone., G., E. A. M. Schoffemeer and J. V. D. Heuvel. 1990. Purification and characterization of a constitutive polygalacturonase associated with the infection process of French bean leaves by *Botrytis cinerea*. Can. J. Botany 68: 1921-1928.
18. Maceria, G., P. Pietro and I. Roncero. 1997. Purification and characterization of a novel exopolygalacturonase from *Fusarium oxysporum*. FEMS Microbiol. Letters 154: (1) 37-43.
19. Maden, S., D. Mathur and Neergaard, S. B. 1975. Detection and Location of Seed Born Inouulum of *Ascochyta rabiei* and its transmission in Chick-pea (*Cicer arietinum* L.). Seed Sci. and Technol. 3: 667-681.
20. Marqus., L., I. Barash. B. Sneh, Y. Koltin and A. Finkler. 1986. Purification and Characterization of a pectolytic enzymes produced by virulent and hypovirulent isolates of *Rhizoctonia solani*. Physiological and Molecular Plant Pathol. 29: 325-336.
21. Martel, M., R. Letoublon and M. Fevre. 1998. Purification and characterization of two endopolygalacturonases secreted during the early stages of the sporophytic growth of *Sclerotinia sclerotiorum*. FEMS Microbiol. Letters 158(1): 133-138.

22. Martinez, M. J., M. T. Alconada F. Guillen C. Vazquez and F. Reyes. 1991. Pectic activities from *Fusarium oxysporum f.sp Melonis*: Purification and Characterization of an exopolygalacturonase. FEMS Microbiol. Letters 81: 145-150.
23. Mmbaga, M.T. 1997. Pathogenic variability of *Ascochyta rabiei* and *Ascochyta* blight resistance in chickpea, PP. 23-37, In: DNA markers and breeding for resistance to *Ascochyta* blight in chickpea, proceeding of the symposium on application of DNA fingerprinting for crop improvement, 11-12 April, Aleppo, ICARDA, Syria.
24. Nene, Y. L. and M. V. Reddy. 1987. Chickpea diseases and their control. PP. 233-270. In: M. C. Chickpea, K. B. Saxena and Singh (Eds.), CAB International Oxon, UK.
25. Polizeli, M., J. Jorge and H. Terenzi. 1991. Pectinase production by *Neurospora crassa*: purification and biochemical characterization of extracellular polygalacturonase activity. J. Gen. Microbiol. 137: 1815-1823.
26. Rha, E., H. Park, M. Kim, and Y. Chung, 2001. Expression of exopolygalacturonase in *Botrytis cinerea*. FEMS Microbiol. Letters 201(1): 105-109.
27. Roncero, G., M. Isabel and A. D. Pietro. 1997. Purification and characterization of a novel exopolygalacturonase from *Fusarium oxysporum f.sp lycopersici*. FEMS Microbiology Letters 154: 37-43.
28. Sambrook, J., D.W. Russell. 2000. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. Cold Spring Harbor Press, New York, NY.
29. Sanwal, G. G. and N. Pathek. 1998. Multiple forms of polygalacturonase from banana fruits. Phytochem. 48: 249-255.
30. Sathish, K. S. and P. Palanivelu. 1999. Purification and characterization of an extracellular polygalacturonase from the thermophilic fungus, *Thermomyces lanuginosus*. World J. Microbiol. & Biotechnol. 15: 643-646.
31. Singh, K.B. 1997. Experience with pyramiding of *Ascochyta rabiei* resistance genes in Kabuli in chickpea. In: "DNA markers and breeding for resistance to *Ascochyta rabiei* in chickpea" (S.M. Udupa and F. Weigand, eds). ICARDA, Aleppo, Syria.
32. Thenhaken, R. and W. Barz. 1991. Characterization of Pectic Enzymes from the Chickpea Pathogen *Ascochyta rabiei*. Z. Naturforsch. 46c: 51-57.
33. Wakabayashi, K. and D. Huber. 2001. Purification and catalytic properties of polygalacturonase isoforms from ripe avocado (*Persea americana*) fruit mesocarp. Physiologia-Plantarum 113: 210-216.
34. Younessi, H., M. Okhovat and M.R. Zamani. 1998. Study of chickpea blight in Kermanshah province. The 13th Iranian Plant Protection Congress. 23-27 August, Karaj, Iran.
35. Zalpoor, N. 1963. *Ascochyta rabiei* Lab. (*Mycosphaella rabiei*, Kovachevski) Ent. Phytopathol. Appl. 21: 10-12.
36. Zamani, M.R., M. Motallebi and A. Hosseinzadeh Colagar. 1998. Virulence and polymorphic DNA relationships of *Ascochyta rabiei* to geographical regions. Iranian J. Biol. 7: 1-17.
37. Zamani, M.R., M. Motallebi and M.J. Harighi. 2001. Pectic enzyme patterns of *Fusarium oxysporum* isolates from chickpea in Iran. J. Sci. Islamic Republic of Iran 12 (1): 17-21.