

## روش ساده اسپکتروفتومتری برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پکتین‌استراز پوست پرتقال

دردی قوجق<sup>۱</sup> و سید احسان موسوی<sup>۲</sup>

## چکیده

هدف از این پژوهش استفاده از روشی ساده برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پکتین‌استراز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. پرتقال رسیده در فصل زمستان از فروشگاه‌های محلی تهیه شد. پنج گرم پوست پرتقال در محلول ۱۰ درصد سدیم کلراید و بافر فسفات ۰/۵ مولار همونیزه گردید. مخلوط همونیزه با ۳۵۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شده، محلول رویی جمع‌آوری، و توسط سود ۰/۱ مولار، pH آن به ۷/۲۵ رسانده شد. جذب هر یک از نمونه‌ها در طول موج ۴۸۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت گردید. فعالیت آنزیم پکتین‌استراز برحسب میکرومول متانل تولید شده در هر دقیقه در میلی‌لیتر محاسبه شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم پکتین‌استراز تا حدود ۰/۰۵ واحد آنزیمی قابل اندازه‌گیری است. در مقایسه با دیگر روش‌های استفاده شده، روش به کار رفته در این پژوهش روشی ساده، ارزان و حساس است. از این روش می‌توان در صنایع غذایی و صنایع تبدیلی، برای هدف‌های آنالیز پکتین و پکتین‌استراز استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: پکتین، فعالیت پکتین‌استراز، روش اسپکتروفتومتری

## مقدمه

استرهای پکتین را هیدرولیز می‌نماید. این آنزیم پکتین‌های حاوی هیدروکسیل را به پکتین‌های با هیدروکسیل کم و متانل تبدیل می‌کند. پکتین‌استراز علاوه بر گونه‌های گیاهی، توسط برخی از باکتری‌ها و قارچ‌های بیماری‌زا نیز تولید می‌شود. آنزیم پکتین‌استراز گیاهی در تبدیل پروتوپکتین غیرمحلول به پکتین محلول و پکتات نقش مهمی دارد (۲). آنزیم پکتین‌استراز بر پکتین اثر کرده و گروه‌های کربوکسیل آزاد را بلوکه می‌نماید،

پکتین از مونومرهای اسید گالاکتورونیک و گالاکتورونیک متیل استر با اتصال آلفا ۱،۴ تشکیل می‌شود. هم‌چنین، پکتین با فعالیت آنزیم‌های گروه پکتیناز هیدرولیز می‌گردد. تجزیه پکتین در بیماری‌های گیاهی، کامل شدن و رسیدن میوه، تغذیه و پایداری محصولات غذایی نقش بسیار مهمی دارد (۱). آنزیم پکتین‌استراز (پکتین، پکتیل هیدرولاز و EC.۳.۱.۱.۱۱) متیل

۱. به ترتیب دانشیار بیوشیمی و مربی میکروبیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بابل

پکتین استراز طراحی شد، بدین ترتیب که روش اسپکتروفتومتری برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پکتین استراز مورد استفاده قرار گرفت و متانل آزاد شده در نتیجه فعالیت آنزیم پکتین استراز اندازه‌گیری شد.

## مواد و روش‌ها

### مواد شیمیایی

پرتقال از فروشگاه‌های محلی مازندران در فصل زمستان تهیه شد. نمک طعام، فسفات پتاسیم، سود، پکتین، پکتین استراز، الکل اکسیداز، پراکسیداز، ۴-آمینوآنتی‌پیرین و ام-هیدروکسی بنزویک اسید از شرکت سیگما تهیه گردید. دیگر مواد شیمیایی و محلول‌ها در حد آزمایشگاهی بوده و از شرکت مرک تهیه شد.

### روش آزمایش

پوست پرتقال گرفته شد و پنج گرم آن در بافر فسفات ۰/۵ مولار و محلول نمک طعام ۱۰٪ (W/V)، در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد هموژنیزه گردید. سپس هموژن تهیه شده در ۳۵۰×g به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شد. محلول رویی حاصل به یک لوله آزمایش دیگر انتقال یافت و pH آن با افزایش سود ۰/۱ مولار به ۷/۲۵ رسانده شد. پس از آن مقدار پنج میکروگرم پکتین، ۰/۶ واحد از الکل اکسیداز، ۰/۴ واحد از پراکسیداز، ۰/۸ میلی‌مول در لیتر از معروف ۴-آمینوآنتی‌پیرین، ۰/۲ میلی‌لیتر از ام-هیدروکسی بنزویک اسید پنج میلی‌مول در لیتر و ۱۰ واحد از پراکسیداز برای انجام هر آزمایش به هر میلی‌لیتر محلول رویی حاصل افزوده شد و محلول نهایی به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۵ درجه سانتی‌گراد گرماگذاری گردید.

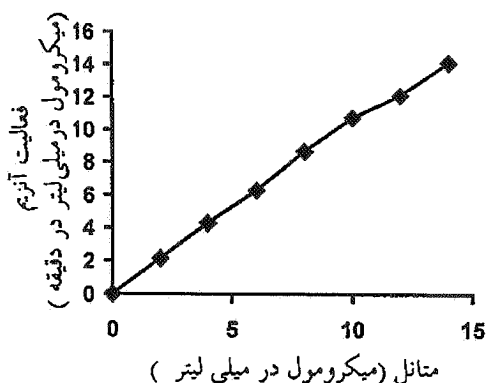
در این آزمایش، پکتین توسط پکتین استراز به متانل و پکتات تبدیل شد و متانل حاصل توسط الکل اکسیداز به فرم آلدید و آب اکسیژنه تبدیل گردید و توسط آنزیم پراکسیداز در حضور معرف ۴-آمینوآنتی‌پیرین متیل بنزویک اسید به کینون‌ایمین تبدیل شد. در طول موج ۴۸۵ نانومتر، جذب هر

و پکتین استراز پوست پرتقال محل گروه‌های متیل استر موجود در جوار گروه‌های کربوکسیل را هیدرولیز می‌کند (۳). پکتین استراز (پکتین، پکتیل هیدرولاز) مولکول پکتین را استریفیه می‌کند و مولکول‌های متانل و اسید پکتیک را آزاد می‌سازد (۴).

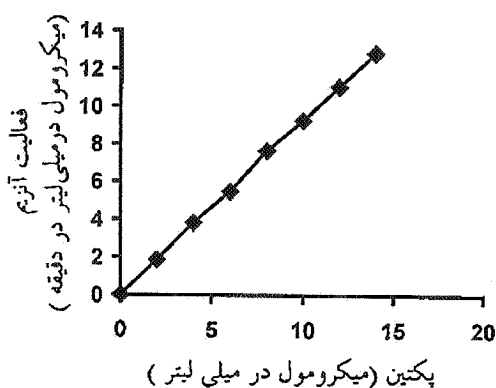
آنزیم پکتین استراز از میوه (موز، پرتقال و گوجه‌فرنگی)، قارچ‌ها و باکتری‌ها استخراج و خالص‌سازی شده است. وزن مولکولی این آنزیم با روش الکتروفورز با ژل پلی‌آکریل‌امید حدود ۲۷۸۰۰ تا ۲۸۴۰۰ دالتون و با روش ژل کروماتوگرافی در حدود ۲۷۶۰۰ تا ۲۸۱۰۰ دالتون به دست آمده است. نقطه ایزوالکتریک آن برابر ۶/۸ است و مقدار Km آن در دمای ۳۰ درجه برابر با ۶۰۰۰ گرم در دسی‌لیتر و pH بهینه آن برابر با ۷ می‌باشد. مهارکننده این آنزیم سدیم پلی‌پکتات است (۵).

آنزیم پکتین استراز از مرکبات و پوست میوه‌های دیگر، از طریق رسوب دادن توسط آمونیوم سولفات و با استفاده از روش‌های کروماتوگرافی استخراج شده است (۶). پکتین متیل استراز آنزیمی است که پکتین متیل هیدروکسیله را در دیواره سلول گیاهی استریفیه می‌کند (۷). روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری محصول آنزیم پکتین هیدرولاز و فعالیت آنزیم پکتین استراز استفاده شده است. برای مثال، در یک روش متانول تولید شده توسط کروماتوگرافی و کالریمتری اندازه‌گیری شده است (۲). در روشی دیگر، اسید تولید شده از طریق تیتراسیون با استفاده از pH متر اندازه گرفته شده است. در یک روش دیگر هیدرولیز، پارانیتروفنیل استات توسط استراز با روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شده است. روش کروماتوگرافی برای اندازه‌گیری متانل بسیار حساس است، ولی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم معمول نمی‌باشد. برای انجام روش کالریمتری و تیتراسیون برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پکتین استراز، حجم‌های وسیع مواد اولیه مورد نیاز است و انجام آزمایش‌ها زمان زیادی طول می‌کشد.

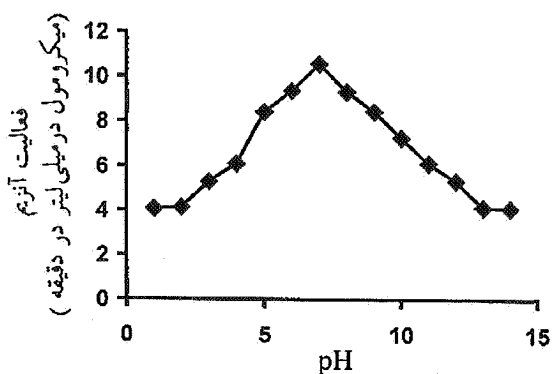
در این پژوهش با توجه به محدودیت‌های ذکر شده، روش ساده‌تر و حساس‌تری برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم



نمودار ۱. منحنی کالیبراسیون فعالیت آنزیم در غلظت‌های مختلف محصول واکنش (هر یک از نقاط به صورت  $Mean \pm SD$  ارائه شده و حاصل شش بار تکرار آزمایش است).



نمودار ۲. منحنی کالیبراسیون فعالیت آنزیم (هر یک از نقاط به صورت  $Mean \pm SD$  ارائه شده و حاصل شش بار تکرار آزمایش است).



نمودار ۳. فعالیت آنزیم در pH های مختلف (هر یک از نقاط به صورت  $Mean \pm SD$  ارائه شده و حاصل شش بار تکرار آزمایش است).

یک از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (۸). برای تهیه نمونه استاندارد پکتین، مقدار ۱۰ میکروگرم از پکتین به محلول گرماگذاری فوق اضافه و پس از آن مقدار ۵۰ میکرولیتر از پکتین‌استراز استاندارد افزوده شد. پس از ۱۰ دقیقه گرماگذاری، میزان جذب هر نمونه تهیه شده همانند نمونه‌های دیگر خوانده شد. فعالیت آنزیم پکتین‌استراز برحسب میکرومول متانل تولید شده در هر دقیقه در هر میلی‌لیتر محلول هموژنیزه محاسبه گردید.

## نتایج

در این پژوهش، روشی حساس برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پکتین‌استراز طراحی شد، به طوری که پیوندهای استری پکتین توسط آنزیم پکتین‌استراز هیدرولیز و متانل و پکتات تولید گردید. متانل تولید شده توسط الکل‌اکسیداز به فرم آلدید و آب اکسیژنه تبدیل شد. آب اکسیژنه تولید شده با استفاده از معرف ۴-آمینوآنتی‌پیرین به کینون تبدیل و با روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری گردید. منحنی کالیبراسیون فعالیت آنزیم پکتین‌استراز پوست پرتقال، بر حسب تغییرات غلظت متانل در نمودار ۱ نشان داده شده است. همان گونه که در این نمودار دیده می‌شود، تا حدود ۱۰ میکرومول در میلی‌لیتر، منحنی به صورت خطی است، که در حدود غلظت نمونه‌های تهیه شده است و حداکثر تا ۱۶ میکرومول در میلی‌لیتر نیز می‌توان از این نمودار استفاده کرد.

فعالیت آنزیم پکتین‌استراز پوست پرتقال بر حسب غلظت سوبسترا در نمودار ۲ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم پکتین‌استراز را در غلظت‌های بسیار کم سوبسترا می‌توان اندازه‌گیری نمود. به طوری که در حدود میکروگرم سوبسترا فعالیت آنزیم پکتین‌استراز قابل اندازه‌گیری است.

فعالیت آنزیم پکتین‌استراز بر حسب تغییرات pH در نمودار ۳ نشان داده شده است. این نمودار بیانگر این است که مناسب‌ترین pH برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پکتین‌استراز در حدود ۶-۸ است. مقادیر فعالیت آنزیم پکتین‌استراز پوست

جدول ۱. فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول متانول تولید شده در میلی لیتر در دقیقه، در نمونه‌های مختلف تهیه شده از پوست پرتقال

شماره آزمایش	حجم نمونه (میلی لیتر)	فعالیت آنزیم (میکرومول در میلی لیتر در دقیقه)
۱	۰/۱	۰/۰۵±۰/۰۲
۲	۱	۱/۹۶±۰/۱۴
۳	۲	۲/۷۴±۰/۱۵
۴	۳	۴/۸۳±۰/۱۲
۵	۴	۶/۵۲±۰/۱۴
۶	۵	۸/۴۹±۰/۱۳

روش حاضر در مقایسه با روش‌های دیگر (۳ و ۲) مراحل آزمایش کمتری دارد و زمان و هزینه کمتری صرف می‌شود. هم‌چنین، معرف ۴-آمینوآنتی‌پیرین و ام-هیدروکسی بنزویک اسید در حضور آنزیم پراکسیداز و تبدیل آب اکسیژنه به ترکیب رنگی کینون، در این پژوهش برای اولین بار در اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پکتین‌استراز پوست پرتقال مورد استفاده قرار گرفت. روش اسپکتروفتومتری استفاده شده در این آزمایش، مقادیر متانل آزاد شده در طی واکنش انجام شده را از مقدار ۰/۱ تا ۱۰ میکرومول در لیتر اندازه‌گیری می‌کند و منحنی کالیبراسیون تا مقدار ۱۰ میکرومول در میلی لیتر به صورت خطی است (منحنی ۱)، و می‌توان تا حدود ۱۶ میکرومول در میلی لیتر از این نمودار استفاده کرد. در روش‌هایی که اندازه‌گیری pH و تغییرات غلظت یون هیدروژن مورد بررسی قرار می‌گیرد، حجم محلول زیاد (حداقل یک میلی لیتر) و مقدار سوبسترای زیاد (حداقل ۱۰۰ میکروگرم) لازم است (۱۱)، در حالی که در روش حاضر مقدار سوبسترای لازم خیلی کم و در حد میکروگرم است (منحنی ۲). بنابراین، با روش به کار گرفته شده در این پژوهش، می‌توان مقادیر کم پکتین را در نمونه اندازه‌گیری نمود (جدول ۱).

در این روش محلول‌هایی از پکتین پوست پرتقال از صفر تا ۱۰ میکروگرم در میلی لیتر استفاده گردید و فعالیت آنزیم پکتین‌استراز پوست پرتقال اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده با گزارش پژوهشگران دیگر (۹ و ۱۰) هم‌خوانی دارد. روش

پرتقال در نمونه‌های مختلف هموژنیزه پوست پرتقال در جدول ۱ نشان داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که با حجم نمونه در حدود ۰/۱ میلی لیتر می‌توان فعالیت آنزیم پکتین‌استراز را اندازه‌گیری نمود. در صورتی که در روش‌های دیگر (۲، ۳ و ۱۱) حداقل پنج میلی لیتر از نمونه لازم است.

#### بحث

در صنعت، تبدیل پروتوپکتین غیر محلول میوه‌ها توسط آنزیم پکتین‌استراز به پکتین و پکتات محلول اهمیت زیادی دارد. برای سنجش مقدار فعالیت آنزیم مورد نیاز، با توجه به دقت و سادگی، روش اندازه‌گیری متانل آزاد شده توسط اسپکتروفتومتری بسیار مناسب است. تا به حال، فعالیت آنزیم پکتین‌استراز از طریق تیتراسیون گروه‌های کربوکسیل آزاد شده در طول آنکوباسیون نمونه‌های حاوی پکتین در حضور آنزیم پکتین‌استراز و یا از طریق اندازه‌گیری متانل آزاد شده صورت می‌گرفت (۱). در روش شرح داده شده در این پژوهش، پیوندهای استری پکتین توسط آنزیم پکتین‌استراز هیدرولیز گردید و متانل، اسید و پکتات تولید شد. متانل تولید شده با استفاده از الکل اکسیداز به فرم آلدید و آب اکسیژنه درآمد. آب اکسیژنه تولید شده با استفاده از واکنش با معرف ۴-آمینوآنتی‌پیرین و ام-هیدروکسی بنزویک اسید، در حضور پراکسیداز به کینون و آب تبدیل گردید. میزان جذب محلول‌های تهیه شده توسط اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد.

ندارد، زیرا اسپکتروفتومتر در همه آزمایشگاه‌ها موجود است (۱۱، ۱۲ و ۱۳). از روش استفاده شده در این پژوهش می‌توان برای اندازه‌گیری فعالیت دیگر آنزیم‌های دسته استراز استفاده کرد.

اسپکتروفتومتری یاد شده روشی ساده برای اجرا است و به حجم سوسترای کم (۰/۱ میلی‌لیتر) نیاز دارد. این روش نسبت به روش‌های دیگر حساس، دقیق (۰/۰۵-۸/۴۹ میکرومول در میلی‌لیتر در دقیقه)، و از نظر اقتصادی، با توجه به مراحل کم و زمان کمتر، بسیار مناسب است و به تجهیزات پرهزینه نیاز

#### منابع مورد استفاده

1. Hagerman, A. E. and P. J. Austin. 1986. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *J. Agric. Food Chem.* 34: 440-447.
2. Mangos, T. J. and M. J. Hass. 1997. A spectrophotometric assay for the enzymatic demethoxylation of pectins and the determination of pectinesterase activity. *Anal. Biochem.* 244: 357-366.
3. Lee, M. and J. D. Macmillan. 1970. Mode of action of pectic enzymes. III. Site of initial action of tomato pectinesterase on highly esterified pectin. *Biochem.* 9: 1930-1934.
4. Forster, H. 1988. Pectinesterase from *Phytophthora infestans*. *Methods in Enzymol.* 38: 355-361.
5. Schejter, A. and L. Marcus. 1988. Isoenzyme of pectinesterase and polygalacturonase from *Botrytis cinerea* Pers. *Methods in Enzymol.* 40: 366-373.
6. Christensen, I. M., J. E. Nielsen, J. D. Kreiberg, P. Rasmussen and J. D. Mikkelsen. 1998. Pectin methyl esterase from orange fruit. Characterization and localization by in-situ hybridization and immunohistochemistry. *Planta* 206(4): 493-503.
7. Gaffe, J., M. E. Lizardo and A. K. Handa. 1997. Characterization and functional expression of a ubiquitously expressed tomato pectin methyl esterase. *Plant Physiol.* 114(4): 1547-1556.
8. Trinder, P. 1969. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor. *Anal. Clin. Biochem.* 6(2): 101-105.
9. Downie, B., L. M. Dirk, K. A. Hadfield, A. B. Bennett and K. J. Bradford. 1998. A gel diffusion assay for quantification of pectin methyl esterase activity. *Anal. Biochem.* 264(2): 149-157.
10. Catoire, L., M. Pierron, C. Morvan, C. H. Penhoat and R. Goldberg. 1998. Investigation of the action patterns of pectin methyl esterase isoforms through kinetic analyses and NMR spectroscopy. Implications in cell wall expansion. *J. Biol. Chem.* 273(50): 33150-33156.
11. Wood, P. J. and I. R. Siddiqui. 1971. Determination of methanol and its application measurement of pectin ester content and pectin methyl esterase activity. *Anal. Biochem.* 39: 418-428.
12. Zimmerman, R. E. 1978. A rapid assay for pectinesterase activity which can be used as a prescreen for pectinesterase inhibitors. *Anal. Biochem.* 85: 219-223.
13. Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248-254.