DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

خصوصیات و کاربردهای پراکسیدازهای گیاهی و نانوزیم‌های شبه پراکسیداز

فهیمه بهرام نژاد[۱] و علی ریاحی مدوار[۲*]

[۱] **ایران، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، گروه بیوتکنولوژی**

[۲] **ایران، بجنورد، دانشگاه کوثر بجنورد، دانشکده علوم پایه، گروه زیست‌شناسی سلولی و مولکولی**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱

چکیده

پراکسیدازها یکی از کاربردی‌ترین آنزیم‌ها در حوزه‌های صنعتی، پزشکی و بیوتکنولوژی می‌باشند. در این مطالعه با استفاده از مقالات متعدد، در ارتباط با مزایا، معایب و کاربردهای پراکسیدازهای گیاهی و نانوزیم‌ها (با خاصیت شبه پراکسیدازی)، اطلاعاتی جامع به صورت طبقه‌بندی آورده شده است. پراکسیدازها آنزیم‌هایی متعلق به گروه اکسیدوردوکتازها هستند که در تمامی موجودات زنده یافت می‌شوند و به کلاس‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند که یکی از کاربردی‌ترین آنها پراکسیدازهای گیاهی می‌باشند. با این وجود، عواملی از قبیل هزینه بالا تخلیص، پایداری کم و تجزیه توسط پروتئازها سبب محدودیت استفاده از پراکسیدازها می‌شود. امروزه، بمنظور غلبه بر این مشکلات، مواد یا ترکیبات غیرپروتئینی که خاصیت شبه پراکسیدازی دارند مثل نانوزیم‌ها، مورد توجه قرار گرفته‌اند. جهت استفاده‌های صنعتی از پراکسیدازها، می‌توان آنها را از منابع مختلف تهیه و خالص-سازی نمود و همچنین می‌توان فعالیت کاتالیتیکی و پایداری آنها را با استفاده از روش‌های مختلف مهندسی محیط و مهندسی پروتئین بهینه‌سازی نمود، ولی بطور معمول این روش‌ها هزینه‌بر و زمانبر می‌باشند. نانوزیم‌های شبه‌پراکسیدازی را می‌توان از مواد مختلف تهیه و با تغییر اندازه، شکل و ترکیب آنها با سایر مواد، فعالیت کاتالیتیکی و پایداری آنها را بهینه‌سازی نمود، که بطور معمول دستیابی به آنها نسبت به آنزیم‌ها، راحتر، سریعتر و ارزانتر می‌باشد. در عین حال، مشکلاتی از قبیل ذخیره‌سازی و تجزیه توسط پروتئازها که برای آنزیم‌ها یک چالش می‌باشد در ارتباط با نانوزیم‌ها مطرح نمی‌باشد. در مجموع بنظر می‌رسد که در کاربردهای صنعتی و پزشکی، نانوزیم‌ها می‌توانند جایگزین پراکسیدازها گیاهی شوند.

واژه های کلیدی: پراکسیداز، شبه پراکسیداز، نانوزیم.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۸۳۲۲۶۲۸۶۳ ، پست الکترونیکی: Riahi.ali@gmail.com

مقدمه

پراکسیدازها آنزیم‌هایی متعلق به گروه اکسیدوردوکتازها (Oxidoreductase) می‌باشند [۱۷]. این آنزیم‌ها در تمامی سلول‌های بدن موجودات زنده از قبیل باکتری‌ها، قارچها، جلبک‌ها، جانوران و گیاهان یافت می‌شوند [۷۰]. پراکسیدازها دومین کلاس بزرگ آنزیمی می‌باشند که در فرایندهای بیوتکنولوژی کاربردهای فراوان دارند، و برای کاتالیز کردن واکنش‌های مختلف اکسیداتیو، از هیدروژن پراکسید (H_2O_2) به عنوان شروع کننده واکنش و از سایر سوبستراها به عنوان دهنده الکترون استفاده می‌کنند [۸۶].

برخی از سوبستراهای پراکسیدازها که بمنظور سنجش کمی و نیمه کمی مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل او فنیلن دی آمین (O-phenylenediamine; OPD)، ۲،۲-آزینو بیس(۳-اتیل بنزوتیازولین-۶-سلفونیک اسید) (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid; ABTS) و ۳،۳،۵،۵- تترا متیل بنزیدین (3,3,5,5-tetramethylbenzidine; TMB) می‌باشند. از بین این مواد TMB به دلیل غیرسمی بودن، متداول‌ترین سوبسترا مورد سنجش می‌باشد. فرایند اکسیداسیون این سوبستراها یک واکنش اکسیداسیون

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

غیرقابل برگشت بوده و محصول رنگی حاصل از آنها (رنگ زرد حاصل از OPD، رنگ آبی حاصل از TMB و رنگ سبز حاصل ABTS می‌باشد) یک رادیکال کاتیونی می‌باشد که به عنوان پروب آنالیتیکی برای حسگرهای کالریمتریک، برپایه عمل پراکسیدازها و شبه پراکسیدازها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۶].

طبقه‌بندی پراکسیدازها: پراکسیدازها براساس وجود یا عدم وجود هم در ساختارشان، به دو دسته پراکسیدازهای هم‌دار (Heme peroxidase) و غیر هم‌دار (Non-heme peroxidase) دسته‌بندی می‌شوند. برطبق پایگاه داده پراکسیدازها، ۸۰ درصد از ژن‌های آنها، پراکسیدازهای هم-دار را کد می‌کنند و پراکسیدازهای غیر هم‌دار حدود ۲۰ درصد از پراکسیدازها را به خود اختصاص می‌دهند [۷۰]. پراکسیدازهای هم‌دار به ابرخانواده‌های سیکلواکسیژناز پراکسیداز (Peroxidase-cyclooxygenase)، کاتالاز پراکسیداز (Peroxidase catalase)، پراکسیداز پراکسیژناز (Peroxidase-peroxygenase)، پراکسیداز کلرایت دیسموتاز (Peroxidase-chlorite dismutase) و پراکسیدازهای رنگزد (Dye-decolorizing peroxidase) تقسیم‌بندی می‌شوند [۲۰].

ابرخانواده سیکلواکسیژناز پراکسیداز (PCOXS) شامل پراکسیدازهای حیوانی می‌باشند که در ایمنی ذاتی و پاسخ-های دفاعی نقش دارند. میلو پراکسیداز (Myeloperoxidase; MPO)، ائوزینوفیل پراکسیداز (Eosinophil peroxidase; EPO)، لاکتوپراکسیداز (Lacto peroxidase; LPO)، تیروئید پراکسیداز (Thyroid peroxidase; TPO) متعلق به این خانواده می‌باشند. در این ابرخانواده گروه پروستتیک هم به طور کوالانسی به آپوپروتئین متصل است [۷۰،۸۷].

ابرخانواده کاتالاز پراکسیداز (PCATS)، پراکسیدازهای هم-دار غیرحیوانی می‌باشند که بیشترین مطالعه بر روی این ابرخانواده صورت گرفته است. در ابتدا، این سوپرخانواده براساس منشا پراکسیدازی، به عنوان ابر خانواده پراکسیدازهای هم‌دار گیاهی، قارچی و باکتریایی، نامگذاری شدند. بعدها، پراکسیدازهای این ابرخانواده به کلاس I، II و III تقسیم‌بندی شدند [۷۰].

پراکسیدازها کلاسI شامل پراکسیدازها پروکاریوتی و یوکاریوتی می‌باشند که به منشا غیرحیوانی پراکسیدازها تعلق دارند. این پراکسیدازها فاقد پیوندهای دی سولفیدی، کلسیم و توالی سیگنال شبکه آندوپلاسمی در ساختارشان می‌باشند. این پراکسیدازها نقش اصلی در کاهش استرس اکسیداتیو شامل سم‌زدایی از گونه‌های فعال اکسیژن (Reactive oxygene species; ROS) مثل H_2O_2 را بر عهده دارند. سیتوکروم c پراکسیداز ، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز پراکسیداز به این کلاس تعلق دارند [۷۲،۷۸،۷۹]. ساختار سیتوکروم C پراکسیداز (CCP) از دو دومین تشکیل شده است که در هر دومین یک هم وجود دارد. هر دو هم موجود در این پروتئین در اتصال به H_2O_2 و احیا آن نقش دارند [۱۰۱]. کاتالاز پراکسیداز (CP) عمدتاً در باکتری‌ها مشاهده می‌شود. آنها آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، با دو عملکرد کاتالازی و پراکسیدازی می‌باشند که به علت ظرفیت کاتالیتیکی منحصر به فردی که دارند قادر به تجزیه H_2O_2 می‌باشند [۷۰]. آسکوربات پراکسیداز (APX) نسبت به کاتالاز پراکسیدازها، میل ترکیبی بیشتری به H_2O_2 دارد و از آسکوربات به عنوان دهنده الکترون برای احیای H_2O_2 در اندامک‌هایی مانند کلروپلاست، سیتوزول، میتوکندری و پراکسی‌زوم استفاده می‌کند [۴].

پراکسیدازهای کلاسII منحصراً شامل پراکسیدازهای قارچی هستند که نقش اصلی در تخریب بیولوژیکی، لیگنین را دارند. لیگنین پراکسیدازها، منگنز پراکسیدازها و پراکسیدازهای همه کاره (Versatile peroxidases) در این کلاس قرار می‌گیرند. برخلاف پراکسیدازهای کلاس I این پراکسیدازها دارای چهار پیوند دی سولفیدی حفاظت شده، سیگنال پپتیدی در انتهای N ترمینال و کلسیم در ساختار خود هستند که به دلیل داشتن سیگنال پپتیدی، پروتئین‌ها ترشحی محسوب می‌شوند [۷۰]. این آنزیم‌ها در قارچ‌های پوسیدگی سفید (White rot fungal) وجود دارند که در

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

تجزیه لیگنین چوب نقش ایفا می‌کنند [۳۸]. از این آنزیم‌ها می‌توان در تخریب بیولوژیکی پسماندهای کشاورزی استفاده کرد [۶۶]. منگنز پراکسیدازها قادر به اکسید کردن ساختارهای فنلی لیگنین هستند، در حالی که لیگنین پراکسیدازها ترکیبات غیرفنلی را هدف قرار می‌دهند و پراکسیدازهای همه‌کاره قادر به اکسید کردن هم ساختارهای فنلی و هم غیرفنلی می‌باشند [۹،۲۸].

پراکسیدازهای کلاس III گلیکوپروتئینی‌هایی هستند که بیشتردر گیاهان عالی یافت می‌شوند. این پراکسیدازها از یک پلی‌پپتید منحصر به فرد با ۳۵۰ – ۳۰۰ آمینواسید تشکیل شده‌اند. با بررسی ساختارکریستالوگرافی آنها مشخص شده که این کلاس از پراکسیدازها از ده تا دوازده مارپیچ آلفا حفاظت شده با یک گروه پروستتیکی تعبیه شده در آن، چهار پیوند دی سولفیدی که به وسیله هشت رزیدو سیستئین به هم متصل شده‌اند، دو رشته کوتاه بتا و کلسیم در جایگاه اتصال، تشکیل شده‌اند. به دلیل وجود سیگنال پپتید در انتهای N، توانایی ترشح شدن به فضای خارج سلولی و هم واکوئل را دارند و به دلیل وجود سیگنال پپتید در انتهای C، می‌توانند فقط به واکوئل ترشح شوند [۵۴]. پراکسیداز ترب‌کوهی (Horseradish peroxidase) یا HRP، پراکسیداز بادام زمینی، پراکسیداز سویا و پراکسیداز ازمک (*Lepidium draba*) یا LDP [۳۰] در این کلاس قرار دارند. گروه III پراکسیدازهای گیاهی به عنوان پراکسیدازهای کلاسیک مشهور می‌باشند و بیشتر از همه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. پراکسیدازهای طبقه‌بندی شده در این کلاس، نقش‌های حیاتی در چرخه زندگی گیاهان از جمله متابولیسم دیواره سلولی، ایجاد بافت چوب پنبه‌ایی، چوب شدگی، متابولیسم اکسین، ترمیم زخم، رشد و رسیدن میوه، حذف گونه‌های فعال اکسیژن و ... دارند [۷۰].

پراکسیداز ترب‌کوهی (HRP) که به عنوان شاخص پراکسیدازهای کلاسیک شناخته می‌شوند دارای ایزوآنزیم-های متعددی می‌باشد. در سال ۱۹۵۸، Paul پنج فرم متفاوت از پراکسیداز را از ریشه ترب کوهی با استفاده از کروماتوگرافی تعویض یونی بر روی کربوکسی متیل سلولز جداسازی کرد و آن‌ها را با حروف بزرگ A، B، C، D و E نامگذاری کرد.

اخیراً ژن یک آنزیم پراکسیداز از گیاه ازمک بومی ایران (از مناطق حومه شهر کرمان) شناسایی و کلون شده است. این گیاه، هم خانواده ترب‌کوهی و از خانواده براسیکاسه می‌باشد. مطالعات بیوانفورماتیک نشان دهنده تشابه بالای این آنزیم با پراکسیداز معروف HRP می‌باشد. به‌طوری که توالی پروتئینی آن بیش از ۸۷ درصد با HRP همسانی دارد. با توجه به فعالیت کاتالیتیکی و بازده عملکرد این آنزیم، به عنوان یک همولوگ پراکسیداز HRP برای کاربردهای پزشکی و بیوتکنولوژی معرفی شده است [۳۰]. در جدول ۱ به خصوصیات سینتیکی LDP در مقایسه با HRP پرداخته شده است. علاوه بر این، این گیاه علاوه بر منبع پراکسیداز، دارای ترکیباتی مثل گلوکوزینولات‌ها (Glucosinolate) می‌باشد که خاصیت ضد سرطانی دارند [۲۰، ۸۲].

ابرخانواده پراکسیژناز پراکسیداز (Peroxidase–peroxygenase superfamily) هنوز به طور کامل شناخته نشده‌اند. مدت‌ها است که کلروپراکسیداز، از *Caldariomyces fumago* تنها آنزیم شناخته شده این ابرخانواده می‌باشد [۳]. ابرخانواده کلرایت دیسموتاز پراکسیداز (Peroxidase–chlorite dismutase superfamily) شامل دو خانواده کلرایت دیسموتاز و پروتئین‌های شبه کلرایت دیسموتاز می‌باشد [۳].

جدول ۱- مقایسه خصوصیات سینتیکی LDP و HRP

پارامترها	T_m (°C)	دما بهینه(°C)	pH بهینه	K_m (M) [H_2O_2]	K_m (M) [TMB]	منبع
LDP	۶۳	۲۵	۶،۵	۰/۸۴×$^{-۳}$۱۰	۰/۵۲×$^{-۴}$۱۰	[۲۹]
HRP	۵۰	۳۷	۷	۰/۶۱± ۰/۰۴۲	۰/۱۵± ۰/۰۱۸	[۹۱]

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

اخیراً ابرخانواده رنگزدا پراکسیداز (Dye-decolorizing peroxidase) در باکتری‌ها و قارچ‌ها شناسایی شده‌اند که قادر به تجزیه لیگنین می‌باشند [۱۸].

کاربردهای پراکسیدازها: پراکسیدازها بر اساس توانایی-شان در کاتالیز واکنش‌های اکسایش–کاهش سوبستراهای فنلی و غیرفنلی، از اهمیت فراوانی در صنعت برخوردار می‌باشند. از مهم‌ترین کاربردهای این آنزیم‌ها در صنعت می‌توان به قابلیت استفاده آنها در سیستم‌های تشخیصی اسپکتروفتومتریک (شامل فلورسنت و لومینسنت) [۶] ، حسگرهای زیستی [۸۰]، حذف پراکسیدها از مواد غذایی و زباله‌های صنعتی [۷]، استفاده در اعمال سفیدکنندگی در صنایع پارچه‌بافی و کاغذسازی، در فرایندهای ازنیزاسیون (Ozonation) آب و هوا و نیز محصولات غذایی [۶۸] ، سیستم‌های گزارشگر [۶] در تکنیک‌های ایمنی سنجی (مثل الایزا، وسترن بلات) و ایمونوهیستوشیمی *Immunohistochemistry* [۷۴] و همچنین درمان سرطان [۳۲] اشاره نمود.

بطور کلی پراکسیدازها در حفظ محیط زیست، در بخش درمان و تشخیص و همچنین صنایع آرایشی کاربردهای گسترده‌ای دارند. امروزه یکی از اصلی‌ترین چالش‌های محیط زیست که جهان با آن روبه‌رو است آلودگی آب، خاک و هوا می‌باشد که توسط مواد شیمیایی سمی صورت می‌گیرد [۵۲]. پراکسیدازها با تبدیل آلاینده‌ها به مواد دیگر، سمیت آنها را با انجام تغییراتی از جمله، از بین بردن فعالیت بیولوژیکی، کاهش دسترسی زیستی، حذف از محیط آبی کاهش می‌دهند [۷].

رنگ‌های فنول و آزو (Azo) مواد آلوده‌کننده خطرناکی هستند که حاصل پساب‌های صنایع نساجی، چرم‌سازی، غذایی، آرایشی و پتروشیمیایی می‌باشند و تهدید جدی برای محیط‌زیست محسوب می‌شوند [۵۲]. گزارش شده که پراکسیدازهای سویا، کلروپراکسیدازها، لاکتوپراکسیدازها نقش موثری در تجزیه رنگ‌های آزو مثل تریپان بلو (Trypan blue) دارند [۳]. لیگنین پراکسیدازها و منگنز پراکسیدازها در تجزیه رنگ‌هایی مثل اورنج II که نوعی رنگ آزو می‌باشد نقش دارند [۷۰]. گزارش شده است که در تجزیه فنول، HRP، لاکتوپراکسیداز، کلروپراکسیداز، پراکسیدازهای سویا [۳،۷۳] و LDP [۱،۷۳] نقش دارند. دسته دیگری از پراکسیدازها به نام پراکسیدازهای رنگزدا (DyPs) در تجزیه رنگ‌هایی از جمله مالاشیت گرین (Malachite green)، متیلن ویوله (Methyl violet) و ری‌اکتیو بلک ۵ (Reactive black 5) نقش دارند [۲۰].

آفت‌کش‌ها که در کنترل حشرات، قارچ‌ها، علف‌ها نقش دارند یکی از آلاینده‌کننده‌های محیط زیست محسوب می-شوند و برای سلامتی انسان مشکلات حادی از جمله آسیب‌های عصبی، سرطان، مشکلات تنفسی، اختلال در حافظه، و... ایجاد می‌کنند [۷]. آفت‌کش‌های بی‌فنیل پلی کلره(Polychlorinated Biphenyl) (PCB) از ترکیبات نفت خام، زغال و کرئوزوت (Creosote) ساخته شده‌اند که پراکسیدازهای بعضی از گونه‌های قارچی از جمله لیگنین پراکسیدازها و منگنز پراکسیدازها در حذف آنها نقش دارند [۲].

داروها و متابولیت‌های آنها که در آب‌های سطحی، زیرمینی، و آشامیدنی یافت می‌شوند یکی دیگر از آلاینده-کننده‌های محیط‌زیست محسوب می‌شوند. به طور مثال، برخی از آنتی‌بیوتیک‌ها در نمونه‌های آب فاضلاب بیمارستان‌ها، فاضلاب شهری، فاضلاب حاصل از کارخانه-های تولید آنتی بیوتیک و.. یافت می‌شود که بر سیستم غدد درون ریز موجودات حاضر در اکوسیستم تاثیر منفی می-گذارند. پراکسیدازهایی مثل لیگنین و منگنز پراکسیدازها، در اکسیداسیون داروهایی از قبیل آنتی‌بیوتیک‌ها، داروهای ضدالتهاب، ضد افسردگی و آرام‌بخش نقش دارند و قادر به پاکسازی این مواد از محیط زیست می‌باشند [۲].

علاوه بر محیط‌زیست، پراکسیدازها در بخش تشخیصی و درمان کابردهای محتلفی دارند. پراکسیدازها یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده کیت‌های تشخیصی اسیداوریک،

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

کلسترول، سرطان مثانه، سرطان پروستات، دیابت ملیتیوس (Diabetes mellitus) و... می‌باشند. در بین پراکسیدازها، پراکسیداز ترب کوهی، بیشتر بمنظور اهداف تحلیلی مورد استفاده قرار گرفته است [۷۰]. HRP به دلیل اختصاصیت، انعطاف‌پذیری در سنجش، پایداری، حساسیت تشخیص و در دسترس بودن در زمینه کاربردهای تحلیلی نسبت به سایر آنزیم‌ها بیشتر استفاده شده است. تثبیت آنزیم پراکسیداز و استفاده از آن در ساخت بیوسنسورها به دلیل به صرفه بودن و در دسترس بودن، و همچنین در سنجش ایمونواسی و الایزا بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۲۱].

از طرف دیگر، فعال شدن پیش داروها در سلول‌های سرطانی به واسطه آنزیم‌ها یک روش درمانی جذاب برای درمان سرطان می‌باشد. پراکسیداز و پیش داروی ایندول استیک اسید (Indole-3-acetic acid) به عنوان یک ترکیب نویدبخش (پیش دارو – آنزیم) جهت درمان سرطان مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است [۵۷].

علاوه بر موارد اشاره شده، پراکسیدازها در صنایع آرایشی نیز کاربرد دارند به طور سنتی رنگ مو از طریق پلیمریزاسیون اکسیداتیو مواد اولیه رنگ‌هایی، مثل فنول، آمینوفنول و جفت کننده‌ها ستنز می‌شود. برای این فرایند از پراکسید هیدروژن ۳ درصد جهت آغاز پلیمریزاسیون استفاده می‌شود، اما به مرور زمان این غلظت از پراکسید هیدروژن باعث از بین رفتن رنگدانه ملانین مو، و آسیب به مو می‌شود که برای رسیدن به رنگ‌آمیزی و فرایند اکسیداسیون ملایم‌تر می‌توان از آنزیم‌هایی مانند پراکسیدازها و اکسیدازها به عنوان گزینه‌های بهتر در این زمینه استفاده نمود [۷۰].

شبه پراکسیدازها: همانطور که گفته شد پراکسیداز ها از جمله HRP به دلیل کارایی و اختصاصیت بالا، دارای کاربردهای فراوانی در حوزه صنعت، پزشکی، بیوسنسورها و غیره هستند. اما متاسفانه دارای نواقص ذاتی متعددی نیز می‌باشند. از جمله این موارد می‌توان به هزینه بالا آماده سازی، تخلیص و ذخیره کردن و دناتوره شدن در شرایط نامناسب دمایی و pH، تجزیه توسط پروتئازها و پایداری کم اشاره نمود. این نواقص ذاتی ذکر شده به طور جدی بر روی کاربرد طبیعی آنزیم‌ها اثر می‌گذارند و برای خاتمه دادن به این نواقص استفاده از کمپلکس‌های شبه پراکسیدازی از جمله همین (Hemin)، هماتین (Hematin)، پورفیرین(Porphyrin) و نانوزیم‌ها (Nanozymes) گسترش یافته است [۵۹،۴۴].

نانوزیم‌ها: نانوزیم‌ها نوعی از مواد در مقیاس نانو (nm ۱۰۰– ۱)، با خاصیت کاتالیتیکی آنزیمی هستند و فعالیت آنزیم را تقلید می‌کنند که با دستکاری مواردی مثل اندازه، شکل، مورفولوژی و اصلاح سطح ترکیب می‌توان فعالیت کاتالیتیکی نانوزیم‌ها را تنظیم نمود. چون فعالیت کاتالیزوری معمولاً در سطح نانوزیم‌ها صورت می‌گیرد تغییرات پوشش سطح و اندازه نانوزیم‌ها از اهمیت بیشتری بمنظور تغییر فعالیت کاتالیتیکی نانوزیم برخوردار می‌باشد. نانوزیم‌ها، نویدبخش جایگزین آنزیم‌های طبیعی در زمینه-های مختلف از جمله در زمینه‌های پزشکی، صنعتی و زیستی می‌باشند [۴۴،۶۱،۱۰۲]. ثابت شده است که مورفولوژی سطح نانوذرات نقش مهمی در تنظیم فعالیت کاتالیزوری آنها دارد، بنابراین تنظیم فعالیت شبه آنزیمی نانوزیم‌های فلزی می‌تواند با تنظیم وجوه سطح، کنترل شود [۳۴]. قبل از استفاده از نانوزیم‌ها به عنوان آنزیم‌های مصنوعی، مواد مختلفی از جمله سیکلودکسترین‌ها (Cyclodextrins)، پورفیرین‌ها، فولرن‌ها (Fullerenes)، دندریمرها (Dendrimers) و... به عنوان آنزیم‌های مصنوعی مورد استفاده قرار گرفتند تا این که در سال ۲۰۰۷ نانوذرات Fe_3O_4 با خاصیت پراکسیدازی کشف شدند. از آن زمان تاکنون مطالعات بسیاری در مورد آنزیم‌های مصنوعی مبتنی بر نانو مواد، به نام نانوزیم ها انجام شده است [۴۴]. نانوزیم‌ها در چند گروه شامل نانوزیم‌های فلزی (مثل Fe، Ag، Au، Cuو....)، نانوزیم بر پایه اکسیدهای فلزی (مثل ZnO، CuO، NiO، CeO_2 و...) و نانوزیم های بر

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

پایه ساختارهای کربنی (مثل GO، CNT، C60) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند [۵].

بر اساس مطالعات انجام شده، مزایا و معایب نانوزیم‌ها در مقایسه با آنزیم مشهور HRP جمع‌بندی و در جدول ۲ آورده شده است. همچنین کاربردهای مربوط به نانوزیم‌ها در صنایع مختلف، در جدول ۴ نشان داده است.

جدول ۲- مقایسه مزایا و معایب آنزیم‌های پراکسیداز (HRP) نسبت به نانوزیم‌ها با خاصیت شبه پراکسیدازی.

	HRP و سایر پراکسیدازها	رفرنس	نانوزیم‌ها با فعالیت شبه پراکسیدازی	منبع
مزایا	- خاصیت کاتالیتیکی بالا، توانایی تقویت سیگنال‌های ضعیف از طریق واکنش‌های آبشاری	[۲۶]	- پایداری بالا در برابر تغییرات pH و دما، هزینه کم، تمایل بالا به سوبسترا، قابلیت تنظیم بالا، دارای کاربردهای چند منظوره، سازگاری با مکانیسم-های میکائیلیس منتن و پینگ پونگ	[۵]
معایب	- به شرایط محیطی حساس هستند و به راحتی با تغییر دما و pH دناتوره می‌شوند، توسط آنزیم‌های پروتئاز هضم می شوند، آماده سازی و تخلیص آنها پیچیده و هزینه‌بر می‌باشد.	[۴۶]	- فاقد جایگاه فعال برای سوبسترا می‌باشند، دارای برهمکنش‌های غیر منتظره هستند، فعالیت کاتالیتیکی اندکی دارند.	[۵]

جدول ۳- عوامل تاثیرگذار بر فعالیت شبه پراکسیدازی نانوزیم‌ها فلزی و اکسید فلزی.

عوامل تاثیر گذار بر فعالیت شبه پراکسیدازی نانوزیم‌ها	نوع نانوزیم	نانو ماده	توضیحات	رفرنس
شکل	اکسید فلزی	نانوذره سریم اکساید	در بین چهار شکل سنتز شده از نانوذره سریم اکساید (کروی، هشت ضلعی، بامبو، شش وجهی)، شکل بامبو این نانوذره خاصیت شبه پراکسیدازی بهتری از خود نشان می‌دهد.	[۱۰۲]
	اکسید فلزی	نانوذره اکسید آهن	نانوذره اکسید آهن هشت ضلعی، از خاصیت شبه پراکسیدازی بیشتری نسبت به نانوذره اکسید آهن کروی، برخوردار می‌باشد.	[۹۳]
pH و دما	فلزی	نانوذره طلا	pH اسیدی باعث افزایش فعالیت شبه پراکسیدازی نانوزیم طلا می‌شود.	[۷۷]
	فلزی	نانوگل پلاتینیوم	نانوگل پلاتینیوم در pH اسیدی، فعالیت شبه پراکسیدازی بالایی از خود نشان می‌دهد. همچنین در دماهای بالاتر از ۶۰ درجه سانتی گراد بیش از ۸۰ درصد فعالیت شبه پراکسیدازی آن حفظ می‌شود.	[۹۷]

	اکسید فلزی	نانوذره اکسید آهن	فعالیت کاتالیتیکی نانوذره اکسید آهن وابسته به pH می‌باشد. به طوری که در pH سه این نانوزیم خاصیت شبه پراکسیدازی و در pH خنثی خاصیت کاتالازی دارد.	[۹۳]
تشکیل کمپلکس یا هیبرید	فلزی	نانو ذره پالادیوم	هیبرید نانوذره پالادیوم بهمراه نانوذره طلا، نقره، پلاتینیوم باعث افزایش پایداری نانوذره پالادیوم می‌شود.	[۷۶]
	فلزی	نانوکامپوزیت پلاتینیوم	نانوکامپوزیت $Pt_{48}Pd_{52}$-Fe_3O_4 فعالیت شبه پراکسیدازی ویژه‌ایی نسبت به نانومواد PtPd و Fe_3O_4 از خود نشان می‌دهد.	[۵۸]
	فلزی	نانوذره طلا	در اثر هیبرید شدن نانوذره و نانوکلاستر طلا با گرافن اکساید خاصیت شبه پراکسیدازی این نانوذره افزایش می‌یابد.	[۸۱،۷۶]
پوشش و اصلاح سطح	فلزی	نانوکلاستر طلا	افزایش فعالیت شبه پراکسیداز نانوکلاستر طلا در حضور آلبومین سرم گاوی مشاهده شد.	[۱۴]
	فلزی	نانوذره طلا	پورین، ATP، هپارین، یون مس از جمله مواردی هستند که با اصلاح پوشش سطح نانوزیم طلا باعث افزایش فعالیت شبه پراکسیدازی آن می‌شوند. با اضافه شدن کازئین به سطح این نانوذره فعالیت شبه پراکسیدازی کاهش یافت.	[۷۵،۹۴،۴۱،۶۲] [۶۵]
	فلزی	نانوذره نقره	نانوذرات نقره با کیتوزان (Chitosan) پایدار می‌شوند و این امر سبب افزایش فعالیت شبه پراکسیدازی آن‌ها می‌شود. نقاط کربنی (Carbon dots) در پایداری نانوذرات نقره نقش دارند.	[۳۶] [۴۷]
	فلزی	نانوذره پالادیوم	فعالیت شبه پراکسیدازی نانوذره پالادیوم در حضور هیستدین افزایش می‌یابد.	[۱۰۵]
	فلزی	نانوذره پلاتینیوم	آپوفریتین بهمراه نانوذره پلاتینیوم در پایداری این نانوذره نقش دارد.	[۵]
	فلزی	نانوذره مس	نانوذره مس توسط هومیک اسید پایدار می‌شود که در حفظ خاصیت شبه پراکسیدازی این نانوذره برای مدت طولانی نقش دارد.	[۶۱]
	فلزی	نانوکلاستر مس	پپسین و آلبومین سرم گاوی، از عواملی هستند که در افزایش فعالیت شبه پراکسیدازی نانوکلاستر مس نقش دارند.	[۶۴]
	اکسید فلزی	نانوذره اکسید آهن	آمینواسید هیستیدین باعث بیست برابر شدن خاصیت شبه پراکسیدازی نانوذره اکسید آهن می‌شود.	[۱۶]

مکانیسم پراکسیدازی نانوذرات فلزی بدین صورت است که فعالیت کاتالیزوری اکسیداتیو مشابه به پراکسیدازها را از خود نشان می‌دهند. در این استراتژی یون‌های فلزی در معرض سطح، به عنوان حدواسط محل اتصال رادیکال‌های هیدروکسیل عمل می‌کنند و باعث اکسید شدن سوبسترا می‌شوند [۸۲]. همانطور که گفته شد عواملی از قبیل شکل، اصلاح پوشش و سطح نانوذره، دما، pH و... بر روی فعالیت شبه پراکسیدازی نانوزیم‌ها اثرگذار هستند، در جدول ۳ به عوامل تاثیرگذار بر فعالیت شبه پراکسیدازی نانوزیم‌های فلزی و اکسیدهای فلزی پرداخته شده است.

نانوزیم‌های بر پایه کربن: نانوزیم‌های بر پایه کربن شامل ترکیبات بر پایه گرافن اکساید (GO) و نانولوله‌های کربنی

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

(Carbon nanotube; CNT) می‌باشند. برای اولین بار، خاصیت شبه پراکسیدازی گرافن اکساید توسط Qu و همکارانش در سال ۲۰۱۰ کشف شد [۲۲]. تلفیق گرافن اکساید با Fe_3O_4 (GO-Fe_3O_4) به شکل نانوکامپوزیت اخیراً به عنوان یکی از داغ‌ترین مسائل برای محققان تبدیل شده است. ثابت شده است که فعالیت شبه پراکسیدازی این دو با هم، افزایش می‌یابد و یا یک عملکرد جدیدی را از خود نشان می‌دهند که برای هر کدام از این دو به تنهایی چنین عملکردی را نمی‌توان مشاهده کرد [۹۶]. یکی دیگر از نانوکامپوزیت‌هایی که اخیراً بر پایه نانوکامپوزیت گرافن اکساید سنتز شده، نانوذره نیکل سولفید است که بر سطح مونت مریلینت/ گرافن اکساید (Montmorillonite/graphene oxide) سنتز شده است (NiS/MMT/GO).

جدول ۴- کاربرد نانوزیم‌ها

موارد استفاده	نانوزیم	ساختار	تشخیص براساس	توضیحات	منبع
محیط زیست	طلا	نانوذره	کموسنسور کالریمتریک	شناسایی آفت کش ارگانوفسفر (Organophosphorus) مثل دی-متیوات (Dimethoate) که برای دفع حشرات در کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد.	[۴۱]
	Co-g-C3N	نانوکامپوزیت	کالریمتریک	تصفیه فاضلاب ها	[۶۷]
	طلا	نانوذره	کالریمتریک	شناسایی اوره، اوره آز و بازدارنده اوره آز	[۱۹]
	پالادیوم	نانوذره	کالریمتریک	شناسایی سارکوزین ادرار برای تشخیص سرطان پروستات	[۵۵]
	پلاتین	نانوگل	-	شناسایی بیومارکر DHEA، DHEAs سرطان غده فوق کلیوی	[۹۷]
درمانی و تشخیصی	طلا	نانوکلاستر	کالریمتریک	شناسایی هپارین و هپاریناز	[۴۱]
	CeO_2	نانوذره	-	کاهش ROS و التهاب	[۳۹]
	CeO_2	نانوذره	-	کاهش H_2O_2 و پروکسی نیتریت (Peroxynitrite) در بیماری آلزایمر	[۲۴]
	پلاتین بهمراه نانوذره متخلخل	نانوذره	کالریمتریک	شناسایی DNA	[۹۲]
ایمونواسی	Au @ Ag	نانومیله	لومینسانس الکتروشیمیایی	شناسایی آنتی ژن کارسینوامبریونیک (Carcinoembryonic antigen)	[۱۰۶]
	Au @ Pd	نانومیله	لومینسانس الکتروشیمیایی	شناسایی آنتی ژن کارسینوامبریونیک	[۱۰۷]
ضد باکتریایی و ویروسی	پالادیوم	نانوکریستال	-	خاصیت ضد باکتریایی برعلیه باکتری-های گرم مثبت و گرم منفی	[۴۵]
	Ag-@TiO2 SAN	نانوکامپوزیت	-	خاصیت ضدویروسی بر علیه کووید ۱۹	[۸۸]

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

جدول ۵- مقایسه خصوصیات فیزیکوشیمایی و سینتیکی شبه پراکسیدازها

شبه پراکسیدازها	pH بهینه	دما بهینه (°C)	حفظ فعالیت در محدوده pH	حفظ فعالیت در محدوده دما (°C)	غلظت بهینه H_2O_2	منبع
نانوکلاستر طلا همراه با آپوفریتین	۴	۴۵	۲-۱۲	۸۵-۴	-	[۴۹]
نانوگل پلاتینیوم	۴	۴۰	۱۰-۲	۱۰۰-۳۰	-	[۹۷]
نانوذره مس	۳	۳۵	-	-	$M۱/۳۲ \times ۱۰^{-۷}$	[۹۰]
نانوکلاستر مس بهمراه پپسین	۷	۳۵	۹-۵	۵۰-۲۷	-	[۶۴]
نانوذره اکسید مس	۴	۴۰	۱۲-۳	۹۰-۴	۱/۵ M	[۱۵]
نانو کامپوزیت PDI-CuO	۴	۵۵	-	۶۵-۲۰	-	[۱۱]
نانو کامپوزیت Co_3o_4/rGO	۳,۵	۳۰	۱/۵ – ۱۱/۵	۶۰-۲۰	۱×۱۰^{-۱} Mol	[۹۵]
نانوذره گرافن اکساید	۴	۳۵	-	-	۱۵۰ mM	[۸۳]
نانوکامپوزیت GO-Fe_3O_4	۴	۴۰	-	-	۵۰mM	[۲۳]
نانوکامپوزیت (NiS/MMT/GO)	۴	۵۵	۸-۲	۷۰-۳۰	-	[۱۳]
نانولوله‌های کربنی تک دیواره	۴	۴۰	۱۲-۱	۶۰-۲۰	۱۲۵ mM	[۸۴]
فیسین	۴	۳۵	۱۴-۳	۷۰-۰	۰/۸۰ mM	[۹۱]

جدول ۶- انواع نانوزیم‌هایی که در تشخیص گلوکز کاربرد دارند.

نانوزیم	نوع نانوزیم	سوبسترا	حد تشخیص برحسب میکرومتر	منبع
نانوذرات طلا با بار مثبت	فلزی	TMB	۴	[۵۳]
آپوفریتین همراه با نانوکلاستر طلا	فلزی	TMB	–	[۹۰]
نانوذرات مس	فلزی	TMB	۰/۶۸۶	[۹۰]
نانوکلاستر مس	فلزی	TMB	۱۰۰	[۴۲]
نانوکلاستر پلاتین	فلزی	ABTS	۰/۲۸	[۵۱]
نانومیله Au@Ag	دو فلزی	TMB	۲۵	[۳۷]
نانوکمربند Au/Ag	دو فلزی	TMB	۸۵	[۸]
نانوذرات Co_3O_4	اکسید فلزی	TMB	۵	[۴۸]
نانوذرات اکسید مسCuO	اکسید فلزی	TMB	۱	[۴۰]
نانوذرات CeO_2	اکسید فلزی	TMB	۳	[۵۰]
نانوفیبرVo_2	اکسید فلزی	TMB	۹	[۸۵]
C60-carboxyfullerene	کربنی	TMB	۰/۵	[۵۶]
گرافن اکساید اصلاح شده با کربوکسیل	کربنی	TMB	۱	[۸۳]
نانوذرات سولفید مس	سولفید فلزی	TMB	۰/۱۲	[۲۵]

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1

این نانوکامپوزیت برای شناسایی گلوتاتیون به روش کالریمتریک استفاده شده است. گلوتاتیون در عملکردهای زیستی نقش دارد و به دو فرم وجود دارد که در بیماری-هایی از قبیل آلزایمر، ویروس نقص ایمنی بدن (HIV) و افزایش سن، میزان آن افزایش می‌یابد [۱۳]. نانوذرات دو فلزی آهن و پلاتین، که بر روی صفحه گرافن اکساید پراکنده شده‌اند (FePt/GO) دارای خاصیت شبه پراکسیدازی می‌باشند. FePt/GO دارای مزایایی از قبیل هزینه کم، تهیه ساده و حساسیت بالا می‌باشد که کاندید مناسبی برای فعالیت‌های شبه پراکسیدازی و در مواردی از قبیل آنالیزهای بیوشیمیایی، تشخیص‌های پزشکی و کشاورزی کاربرد دارد [۱۲].

خاصیت شبه پراکسیدازی نانولوله‌های کربنی تک دیواره (Single- walled carbon nanotubes; SWNTs)، اولین بار در سال ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شده است که عواملی از قبیل، pH، دما و غلظت H_2O_2 بر فعالیت شبه پراکسیدازی این نانولوله کربن تاثیر می‌گذارند [۹۶]. از نانوکامپوزیت نانولوله‌های کربنی حامل Fe_2O_3 (Fe_2O_3/CNT) بمنظور شناسایی دوپامین به روش کالریمتریک استفاده شده است [۹۹]. همچنین از نانوکامپوزیت ذرات مغناطیسی بر پایه نانولوله کربنی با چندین دیواره (Multi-walled carbon nanotube; MWNTsMWNTs) می‌باشد. که بمنظور حذف فنول از فاضلاب مورد استفاده قرار گرفت [۱۰۴]. C60 – کربوکسی فلورن‌ها (C60-carboxy fullerene) دارای خاصیت شبه پراکسیدازی می‌باشند که میل ترکیبی بیشتری نسبت به HRP به TMB دارند و در طراحی بیوسنسور بمنظور تشخیص گلوکز سرم خون مورد استفاده قرار گرفته است [۶۹]. نوع نانوزیم و برخی ویژگی‌ها و کاربردهای نانوزیم‌ها بر پایه کربن در جدول ۷ آورده شده است.

علاوه بر مواردی که تا کنون اشاره گردید، برخی مواد که خاصیت شبه پراکسیدازی دارند شامل چارچوب آلی-فلزی(Metal-organic frameworks; MOF)، سولفیدهای فلزی (سولفید روی، سولفید مس و نانومیله‌های سولفید مس)، برخی یون‌ها، نانوذرات پروشین بلو (PB NPs) و یک سولفوهیدریل پروتئاز بنام فیسین می‌باشد.

MOFها ساختارهایی با منفذهای متعدد می‌باشند که به عنوان نانوزیم به طور گسترده در زیست پزشکی کاربرد دارند. آنها از مزایای متعددی همچون قیمت پایین، ساختار پایدار، ذخیره راحت و فعالیت قابل تنظیم، نسبت به آنزیم طبیعی برخوردار هستند. این چارچوب‌ها از یک یون یا کلاستر فلزی (مثل Cu و Fe) بهمراه یک لیگاند آلی (مثل ترفتالیک اسید، ۱،۳،۵ اسید بنزن تری کربوکسیلیک (Terephthalic acid, 1,3,5-benzenetricarboxylic acid)) با خاصیت شبه پراکسیدازی قابل تنظیم، ساخته می‌شوند [۸۹].

نانوذرات سولفید روی (ZnS) دارای خاصیت شبه پراکسیدازی می‌باشند و از آن می‌توان برای تشخیص گلوکز استفاده کرد [۱۰۳]. پورفیرین بهمراه نانوذرات ZnS باعث افزایش خاصیت شبه پراکسیدازی می‌شود بطوریکه در مقایسه با نانوذرات ZnS از خاصیت شبه پراکسیدازی بالاتری برخوردار می‌باشد، در واقع Porphyrin-ZnS دارای میل ترکیبی بیشتری به TMB نسبت به نانوذره ZnS خالص و HRP است [۶۰]. نانوذرات سولفید مس (CuS) که به روش سبز تهیه شدند، دارای فعالیت شبه پراکسیدازی می‌باشند و نسبت به HRP دارای چندین مزیت از جمله فعالیت کاتالیتیکی بالا، پایداری بالاتر و دارای قابلیت پراکندگی می‌باشند [۲۵]. نانومیله‌های سولفید مس (Copper sulfide nanorods) نیز دارای خاصیت شبه پراکسیدازی هستند و دارای مزایایی از جمله مقرون به صرفه، تهیه آسان و پایداری بالا نسبت به آنزیم طبیعی پراکسیداز می‌باشند [۳۵].

ثابت شده است که یون فریک (Fe_3^+) نیز دارای خاصیت شبه پراکسیدازی می‌باشد و حتی خاصیت شبه پراکسیدازی آن از Fe_3O_4 بیشتر می‌باشد.

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

جدول ۷- انواع نانوزیم‌ها بر پایه کربن و مقایسه برخی ویژگی‌ها و کاربردها.

نانوزیم‌های بر پایه کربن	نوع نانوزیم	ویژگی‌ها یا کاربردها	منبع
گرافن اکساید	نانوذره گرافن اکساید	گرافن اکساید اصلاح شده با گروه کربوکسیل (GO-COOH)، فعالیت کاتالیتیکی بالاتری نسبت به HRP دارد.	[۴۷ ،۲۲]
	نانوکامپوزیت گرافن اکساید	نانوکامپوزیت $GO-Fe_3O_4$ جهت شناسایی گلوکز ادرار، نانوکامپوزیت گرافن اکساید سنتز شده، نانوکامپوزیت NiS/MMT/GO جهت شناسایی گلوتاتیون.	[۹۶ ،۱۳]
	نانوصفحه گرافن اکساید	FePt/GO دارای مزایایی از قبیل هزینه کم، تهیه ساده و حساسیت بالا می‌باشد.	[۱۲]
	نانولوله‌های کربنی تک دیواره(SWNTs)	شناسایی پلی مورفیسم تک نوکلئوتیدی (Single nucleotide polymorphism; SNP).	[۹۶]
نانولوله‌های کربنی	نانوکامپوزیت CNT	نانوکامپوزیت Fe_2O_3/CNT بمنظور شناسایی دوپامین، نانوکامپوزیت ذرات مغناطیسی بر پایه نانولوله کربنی با چندین دیواره بمنظور حذف فنول	[۱۰۴ ،۹۹]
	C60 – کربوکسی فلورن‌ها	تشخیص گلوکز سرم خون	[۶۹]

از خاصیت شبه پراکسیدازی این یون می‌توان در شناسایی سیستئین به روش کالریمتریک اشاره کرد، همچنین در شناسایی تیوگلیکولیک اسید (Thioglycolic acid) به روش کالریمتریک نقش دارد [۴۳].

پروشین بلو یا Fe4[Fe(CN)6]3 رنگدانه‌هایی حاوی آهن می‌باشند، این نانوساختار دارای رفتار شبه پراکسیدازی می‌باشد و در احیا H_2O_2 نقش دارد [۲۷]. اخیراً از PB NPs بمنظور افزایش فعالیت شبه پراکسیدازی نانو ذرات مغناطیسی γ-Fe_2O_3 استفاده شده است و این نانوذره با تغییر فریتین باعث افزایش خاصیت شبه پراکسیدازی آن می‌شود که در تشخیص‌های زیستی کاربرد دارد [۲۷]. از این نانوذره همچنین جهت شناسایی گلوکز و H_2O_2 استفاده شده است [۱۰]. فیسین یک سولفوهیدریل پروتئاز می‌باشد که از شیره درختان انجیر جداسازی می‌شود و دارای فعالیت شبه پراکسیدازی می‌باشد. جایگاه فعال خاصیت شبه پراکسیدازی فیسین با جایگاه‌های فعال پروتئازی آن متفاوت می‌باشد. فعالیت شبه پراکسیدازی فیسین به عوامل مختلفی از جمله pH، غلظت H_2O_2، دما و زمان انکوباسیون وابسته است، از خاصیت شبه پراکسیدازی فیسین در شناسایی گلوکز، اوریک اسید و سیستئین استفاده شده است [۴۵،۶۹،۷۱،۱۰۰].

همانطور که در متن اشاره گردید، نانوآنزیم‌ها با فرم‌های مختلف و ویژگی‌های متنوع از طیف وسیعی از مواد و ترکیبات قابل تولید می‌باشند. مشابه آنچه که در ارتباط با

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

پراکسیدازهای گیاهی ثابت شده است، نانوزیم‌ها با خاصیت شبه پراکسیدازی کابردهای بسیار متنوعی دارند. با توجه به تهیه سریعتر و ارزان‌تر و متنوع‌تر نانوزیم‌ها شبه پراکسیدازی، آنها می‌توانند در برخی کاربردهای صنعتی و پزشکی، جایگزین پراکسیدازها گیاهی شوند.

منابع

۱- ریاحی مدوار، ع، قاضی زاده احسایی، م، جدید بنیاد، ف، نصیری فر، ا. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر نانوذره و بالک اکسید روی بر بیان ژن های پراکسیداز و دلتا ۱-پرولین- ۵کربوکسیلات سنتتاز و فعالیت آنزیم پراکسیداز و محتوای پرولین در گیاهچه‌های ازمک. مجله سلول و بافت(علمی - پژوهشی)، جلد ۱۰، شماره ۲.

2- Agarwal S, Gupta KK, Chaturvedi VK, Kushwaha A, Chaurasia PK, Singh M. The potential application of peroxidase enzyme for the treatment of industry wastes. Research Advancements in Pharmaceutical, Nutritional, and Industrial Enzymology: IGI Global; 2018. p. 278-93.

3- Alneyadi AH, Rauf MA, Ashraf SS. Oxidoreductases for the remediation of organic pollutants in water–a critical review. Critical reviews in biotechnology. 2018;38(7):971-88.

4- Anjum NA, Sharma P, Gill SS, Hasanuzzaman M, Khan EA, Kachhap K, et al. Catalase and ascorbate peroxidase—representative H_2O_2-detoxifying heme enzymes in plants. Environmental science and pollution research. 2016;23(19):19002-29.

5- Attar F, Shahpar MG, Rasti B, Sharifi M, Saboury AA, Rezayat SM, et al. Nanozymes with intrinsic peroxidase-like activities. Journal of Molecular Liquids. 2019;278:130-44.

6- Azevedo AM, Martins VC, Prazeres DM, Vojinovic V, Cabral JM, Fonseca LP. Horseradish peroxidase: a valuable tool in biotechnology. Biotechnology annual review. 2003;9(3):1387-2656.

7- Bansal N, Kanwar SS. Peroxidase (s) in environment protection. The Scientific World Journal. 2013;2013.

8- Boujakhrout A, Díez P, Martínez-Ruíz P, Sánchez A, Parrado C, Povedano E, et al. Gold nanoparticles/silver-bipyridine hybrid nanobelts with tuned peroxidase-like activity. RSC advances. 2016;6(78):74957-60.

9- Cagide C, Castro-Sowinski S. Technological and biochemical features of lignin-degrading enzymes: a brief review. Environmental Sustainability. 2020:1-19.

10- Chen J, Wang Q, Huang L, Zhang H, Rong K, Zhang H, et al. Prussian blue with intrinsic heme-like structure as peroxidase mimic. Nano Research. 2018;11(9):4905-13.

11- Chen M, Ding Y, Gao Y, Zhu X, Wang P, Shi Z, et al. N, N′-di-caboxy methyl perylene diimide (PDI) functionalized CuO nanocomposites with enhanced peroxidase-like activity and their application in visual biosensing of H_2O_2 and glucose. RSC advances. 2017;7(41):25220-8.

12- Chen M, Yang B, Zhu J, Liu H, Zhang X, Zheng X, et al. FePt nanoparticles-decorated graphene oxide nanosheets as enhanced peroxidase mimics for sensitive response to H_2O_2. Materials Science and Engineering: C. 2018;90:610-20.

13- Chen M, Zhu J, Yang B, Yao X, Zhu X, Liu Q, et al. Novel synthesis of NiS/MMT/GO nanocomposites with enhanced peroxidase-like activity for sensitive colorimetric detection of glutathione in solution. Advanced Composites and Hybrid Materials. 2018;1(3):612-23.

14- Chen Q, Gao R, Jia L. Enhancement of the peroxidase-like activity of aptamers modified gold nanoclusters by bacteria for colorimetric detection of Salmonella typhimurium. Talanta. 2021;221:121476.

15- Chen W, Chen J, Liu AL, Wang LM, Li GW, Lin XH. Peroxidase□like activity of cupric oxide nanoparticle. ChemCatChem. 2011;3(7):1151-4.

16- Cheon H, Nguyen Q, Kim M. Highly Sensitive Fluorescent Detection of Acetylcholine Based on the Enhanced Peroxidase-Like Activity of Histidine Coated Magnetic Nanoparticles. Nanomaterials 2021, 11, 1207. s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published …; 2021.

17- Clark RA. Peroxidases: A historical overview of Milestones in Research on Myeloperoxidase. The Peroxidase Multigene Family of Enzymes: Springer; 2000. p. 1-10.

18- Datta R, Kelkar A, Baraniya D, Molaei A, Moulick A, Meena RS, et al. Enzymatic degradation of lignin in soil: a review. Sustainability. 2017;9(7):1163.

19- Deng H-H, Hong G-L, Lin F-L, Liu A-L, Xia X-H, Chen W. Colorimetric detection of urea, urease, and urease inhibitor based on the peroxidase-like activity of gold nanoparticles. Analytica Chimica Acta. 2016;915:74-80.

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

20- Dhankhar P, Dalal V, Mahto JK, Gurjar BR, Tomar S, Sharma AK, et al. Characterization of dye-decolorizing peroxidase from Bacillus subtilis. Archives of Biochemistry and Biophysics. 2020;693:108590.

21- Dhruvaraj M. Role of peroxidase in clinical assays: A short review. Journal of Clinical Nutrition. 2017;3(2):14.

22- Dick GJ, Podell S, Johnson HA, Rivera-Espinoza Y, Bernier-Latmani R, McCarthy JK, et al. Genomic insights into Mn (II) oxidation by the marine alphaproteobacterium Aurantimonas sp. strain SI85-9A1. Applied and environmental microbiology. 2008;74(9):2646-58.

23- Dong Y-l, Zhang H-g, Rahman ZU, Su L, Chen X-j, Hu J, et al. Graphene oxide–Fe_3 O_4 magnetic nanocomposites with peroxidase-like activity for colorimetric detection of glucose. Nanoscale. 2012;4(13):3969-76.

24- Dowding J, Song W, Bossy K, Karakoti A, Kumar A, Kim A, et al. Cerium oxide nanoparticles protect against A β-induced mitochondrial fragmentation and neuronal cell death. Cell Death & Differentiation. 2014;21(10):1622-32.

25- Dutta AK, Das S, Samanta S, Samanta PK, Adhikary B, Biswas P. CuS nanoparticles as a mimic peroxidase for colorimetric estimation of human blood glucose level. Talanta. 2013;107:361-7.

26- El-Sayed R, Ye F, Asem H, Ashour R, Zheng W, Muhammed M, et al. Importance of the surface chemistry of nanoparticles on peroxidase-like activity. Biochemical and Biophysical Research Communications. 2017;491(1):15-8.

27- Estelrich J, Busquets MA. Prussian Blue: A Nanozyme with Versatile Catalytic Properties. International Journal of Molecular Sciences. 2021;22(11):5993.

28- Falade AO, Nwodo UU, Iweriebor BC, Green E, Mabinya LV, Okoh AI. Lignin peroxidase functionalities and prospective applications. MicrobiologyOpen. 2017;6(1):e00394.

29- Farhadi S, Riahi-Madvar A, Sargazi G, Mortazavi M. Immobilization of Lepidium draba peroxidase on a novel Zn-MOF nanostructure. International Journal of Biological Macromolecules. 2021;173:366-78.

30- Fattahian Y, Riahi-Madvar A, Mirzaee R, Torkzadeh-Mahani M, Asadikaram G. Heterologous expression, purification and characterization of a peroxidase isolated from Lepidium draba. The protein journal. 2017;36(6):461-71.

31- Fattahian Y, Riahi-Madvar A, Mirzaee R, Torkzadeh-Mahani M, Asadikaram G, Sargazi G. Optimization of in vitro refolding conditions of recombinant Lepidium draba peroxidase using design of experiments. International journal of biological macromolecules. 2018;118:1369-76.

32- Folkes LK, Greco O, Dachs GU, Stratford MR, Wardman P. 5-Fluoroindole-3-acetic acid: a prodrug activated by a peroxidase with potential for use in targeted cancer therapy. Biochemical pharmacology. 2002;63(2):265-72.

33- Gao L, Zhuang J, Nie L, Zhang J, Zhang Y, Gu N, et al. Intrinsic peroxidase-like activity of ferromagnetic nanoparticles. Nature nanotechnology. 2007;2(9):577-83.

34- Gilroy KD, Ruditskiy A, Peng H-C, Qin D, Xia Y. Bimetallic nanocrystals: syntheses, properties, and applications. Chemical reviews. 2016;116(18):10414-72.

35- Guan J, Peng J, Jin X. Synthesis of copper sulfide nanorods as peroxidase mimics for the colorimetric detection of hydrogen peroxide. Analytical Methods. 2015;7(13):5454-61.

36- Gul U, Kanwal S, Tabassum S, Gilani MA, Rahim A. Microwave-assisted synthesis of carbon dots as reductant and stabilizer for silver nanoparticles with enhanced-peroxidase like activity for colorimetric determination of hydrogen peroxide and glucose. Microchimica Acta. 2020;187(2):1-8.

37- Han L, Li C, Zhang T, Lang Q, Liu A. Au@ Ag heterogeneous nanorods as nanozyme interfaces with peroxidase-like activity and their application for one-pot analysis of glucose at nearly neutral pH. ACS applied materials & interfaces. 2015;7(26):14463-70.

38- Hildén K, Mäkelä MR. Role of fungi in wood decay. Reference Module in Life Sciences: Elsevier; 2018.

39- Hirst SM, Karakoti AS, Tyler RD, Sriranganathan N, Seal S, Reilly CM. Anti□inflammatory properties of cerium oxide nanoparticles. Small. 2009;5(24):2848-56.

40- Hu A-L, Liu Y-H, Deng H-H, Hong G-L, Liu A-L, Lin X-H, et al. Fluorescent hydrogen peroxide sensor based on cupric oxide nanoparticles and its application for glucose and l-lactate detection. Biosensors and Bioelectronics. 2014;61:374-8.

41- Hu L, Liao H, Feng L, Wang M, Fu W. Accelerating the peroxidase-like activity of gold nanoclusters at neutral pH for colorimetric detection of heparin and heparinase activity. Analytical chemistry. 2018;90(10):6247-52.

42- Hu L, Yuan Y, Zhang L, Zhao J, Majeed S, Xu G. Copper nanoclusters as peroxidase mimetics and their applications to H_2O_2 and glucose detection. Analytica chimica acta. 2013;762:83-6.

DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷

43- Huang Y, Lin T, Hou L, Ye F, Zhao S. Colorimetric detection of thioglycolic acid based on the enhanced Fe^{3+} ions Fenton reaction. Microchemical Journal. 2019;144:190-4.

44- Huang Y, Ren J, Qu X. Nanozymes: classification, catalytic mechanisms, activity regulation, and applications. Chemical reviews. 2019;119(6):4357-412.

45- Huang Z, Yang Y, Long Y, Zheng H. A colorimetric method for cysteine determination based on the peroxidase-like activity of ficin. Analytical Methods. 2018;10(23):2676-80.

46- Jangi ARH, Jangi MRH, Jangi SRH. Detection Mechanism and Classification of Design Principles of Peroxidase mimic Based Colorimetric Sensors: a Brief Overview. Chinese Journal of Chemical Engineering. 2020.

47- Jeevanandam J, Patel P, Ponnuchamy K, Manchala S, Acquah C, Danquah MK. Biocatalytic nanomaterials as an alternative to peroxidase enzymes. Nanomaterials for Biocatalysis: Elsevier; 2022. p. 513-42.

48- Jia H, Yang D, Han X, Cai J, Liu H, He W. Peroxidase-like activity of the Co_3O_4 nanoparticles used for biodetection and evaluation of antioxidant behavior. Nanoscale. 2016;8(11):5938-45.

49- Jiang X, Sun C, Guo Y, Nie G, Xu L. Peroxidase-like activity of apoferritin paired gold clusters for glucose detection. Biosensors and Bioelectronics. 2015;64:165-70.

50- Jiao X, Song H, Zhao H, Bai W, Zhang L, Lv Y. Well-redispersed ceria nanoparticles: promising peroxidase mimetics for H_2O_2 and glucose detection. Analytical Methods. 2012;4(10):3261-7.

51- Jin L, Meng Z, Zhang Y, Cai S, Zhang Z, Li C, et al. Ultrasmall Pt nanoclusters as robust peroxidase mimics for colorimetric detection of glucose in human serum. ACS applied materials & interfaces. 2017;9(11):10027-33.

52- Joel EB, Mafulul SG, Adamu HE, Goje LJ, Tijjani H, Igunnu A, et al. Peroxidase from waste cabbage (Brassica oleracea capitata L.) exhibits the potential to biodegrade phenol and synthetic dyes from wastewater. Scientific African. 2020;10:e00608.

53- Jv Y, Li B, Cao R. Positively-charged gold nanoparticles as peroxidiase mimic and their application in hydrogen peroxide and glucose detection. Chemical communications. 2010;46(42):8017-9.

54- Kidwai M, Ahmad IZ, Chakrabarty D. Class III peroxidase: an indispensable enzyme for biotic/abiotic stress tolerance and a potent candidate for crop improvement. Plant Cell Reports. 2020:1-13.

55- Lan J, Xu W, Wan Q, Zhang X, Lin J, Chen J, et al. Colorimetric determination of sarcosine in urine samples of prostatic carcinoma by mimic enzyme palladium nanoparticles. Analytica chimica acta. 2014;825:63-8.

56- Li R, Zhen M, Guan M, Chen D, Zhang G, Ge J, et al. A novel glucose colorimetric sensor based on intrinsic peroxidase-like activity of C60-carboxyfullerenes. Biosensors and Bioelectronics. 2013;47:502-7.

57- Liang Q, Xi J, Gao XJ, Zhang R, Yang Y, Gao X, et al. A metal-free nanozyme-activated prodrug strategy for targeted tumor catalytic therapy. Nano Today. 2020;35:100935.

58- Liu L, Deng D, Sun W, Yang X, Yang S, He S. Electrochemical biosensors with electrocatalysts based on metallic nanomaterials as signal labels. Int J Electrochem Sci. 2018;13:10496-513.

59- Liu L, Shi Y, Yang Y, Li M, Long Y, Huang Y, et al. Fluorescein as an artificial enzyme to mimic peroxidase. Chemical Communications. 2016;52(96):13912-5.

60- Liu Q, Chen P, Xu Z, Chen M, Ding Y, Yue K, et al. A facile strategy to prepare porphyrin functionalized ZnS nanoparticles and their peroxidase-like catalytic activity for colorimetric sensor of hydrogen peroxide and glucose. Sensors and Actuators B: Chemical. 2017;251:339-48.

61- Liu X, Huang D, Lai C, Qin L, Zeng G, Xu P, et al. Peroxidase□Like Activity of Smart Nanomaterials and Their Advanced Application in Colorimetric Glucose Biosensors. Small. 2019;15(17):1900133.

62- Ma S, Wang J, Yang G, Yang J, Ding D, Zhang M. Copper (II) ions enhance the peroxidase-like activity and stability of keratin-capped gold nanoclusters for the colorimetric detection of glucose. Microchimica Acta. 2019;186(5):1-7.

63- Maity S, Bain D, Chakraborty S, Kolay S, Patra A. Copper Nanocluster (Cu23 NC)-Based Biomimetic System with Peroxidase Activity. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2020;8(49):18335-44.

64- Maity S, Bain D, Chakraborty S, Kolay S, Patra A. Copper Nanocluster (Cu23 NC)-Based Biomimetic System with Peroxidase Activity. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2020.

65- McVey C, Logan N, Thanh NT, Elliott C, Cao C. Unusual switchable peroxidase-mimicking nanozyme for the determination of proteolytic biomarker. Nano Research. 2019;12(3):509-16.

66- Meysami P. Feasibility study of fungal bioremediation of a flare pit soil using white rot fungi: University of Calgary; 2001.

67- Mu J, Li J, Zhao X, Yang E-C, Zhao X-J. Cobalt-doped graphitic carbon nitride with enhanced

peroxidase-like activity for wastewater treatment. RSC advances. 2016;6(42):35568-76.

68- Mulchandani A, Rudolph DC. Amperometric determination of lipid hydroperoxides. Analytical biochemistry. 1995;225(2):277-82.

69- Pan Y, Yang Y, Pang Y, Shi Y, Long Y, Zheng H. Enhancing the peroxidase-like activity of ficin via heme binding and colorimetric detection for uric acid. Talanta. 2018;185:433-8.

70- Pandey V, Awasthi M, Singh S, Tiwari S, Dwivedi U. A comprehensive review on function and application of plant peroxidases. Biochem Anal Biochem. 2017;6(1):2161-1009.1000308.

71- Pang Y, Huang Z, Yang Y, Long Y, Zheng H. Colorimetric detection of glucose based on ficin with peroxidase-like activity. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2018;189:510-5.

72- Passardi F, Bakalovic N, Teixeira FK, Margis-Pinheiro M, Penel C, Dunand C. Prokaryotic origins of the non-animal peroxidase superfamily and organelle-mediated transmission to eukaryotes. Genomics. 2007;89(5):567-79.

73- Sarvandi-Dehghanpoor E, Riahi-Madvar A, Lotfi S, Torkzadeh-Mahani M. Improvement of kinetic properties and thermostability of recombinant Lepidium draba peroxidase (LDP) upon exposed to osmolytes. International journal of biological macromolecules. 2018;119:1036-41.

74- Schachner M, Ruberg M, Carnow T. Histological localization of nervous-system antigens in the cerebellum by immunoperoxidase labeling. Brain research bulletin. 1976;1(4):367-77.

75- Shah J, Singh S. Unveiling the role of ATP in amplification of intrinsic peroxidase-like activity of gold nanoparticles. 3 Biotech. 2018;8(1):1-12.

76- Shang Y, Liu F, Wang Y, Li N, Ding B. Enzyme mimic nanomaterials and their biomedical applications. ChemBioChem. 2020;21(17):2408-18.

77- Sharifi M, Faryabi K, Talaei AJ, Shekha MS, Ale-Ebrahim M, Salihi A, et al. Antioxidant properties of gold nanozyme: a review. Journal of Molecular Liquids. 2020;297:112004.

78- Shigeoka S, Ishikawa T, Tamoi M, Miyagawa Y, Takeda T, Yabuta Y, et al. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. Journal of experimental botany. 2002;53(372):1305-19.

79- Skulachev VP. Cytochrome c in the apoptotic and antioxidant cascades. FEBS letters. 1998;423(3):275-80.

80- Somasundrum M, Kirtikara K, Tanticharoen M. Amperometric determination of hydrogen peroxide by direct and catalytic reduction at a copper electrode. Analytica chimica acta. 1996;319(1-2):59-70.

81- Song D, Yang Y, Zhou T, Liu Y, Song S, Zhang J, et al. Hybrid hydrogels based on insitu interpenetrating networks graphene oxide (GO) and Au nanoparticles, and its application as peroxidase mimetics for glucose detection. ChemistrySelect. 2018;3(36):10259-64.

82- Song W, Zhao B, Wang C, Ozaki Y, Lu X. Functional nanomaterials with unique enzyme-like characteristics for sensing applications. Journal of Materials Chemistry B. 2019;7(6):850-75.

83- Song Y, Qu K, Zhao C, Ren J, Qu X. Graphene oxide: intrinsic peroxidase catalytic activity and its application to glucose detection. Advanced Materials. 2010;22(19):2206-10.

84- Song Y, Wang X, Zhao C, Qu K, Ren J, Qu X. Label□free colorimetric detection of single nucleotide polymorphism by using single□walled carbon nanotube intrinsic peroxidase□like activity. Chemistry–A European Journal. 2010;16(12):3617-21.

85- Tian R, Sun J, Qi Y, Zhang B, Guo S, Zhao M. Influence of VO_2 nanoparticle morphology on the colorimetric assay of H2O2 and glucose. Nanomaterials. 2017;7(11):347.

86- Twala PP, Mitema A, Baburam C, Feto NA. Breakthroughs in the discovery and use of different peroxidase isoforms of microbial origin. AIMS microbiology. 2020;6(3):330.

87- Valadez-Cosmes P, Raftopoulou S, Mihalic ZN, Marsche G, Kargl J. Myeloperoxidase: Growing importance in cancer pathogenesis and potential drug target. Pharmacology & therapeutics. 2021:108052.

88- Wang D, Zhang B, Ding H, Liu D, Xiang J, Gao XJ, et al. TiO_2 supported single Ag atoms nanozyme for elimination of SARS-CoV2. Nano today. 2021;40:101243.

89- Wang J, Hu Y, Zhou Q, Hu L, Fu W, Wang Y. Peroxidase-like Activity of Metal–Organic Framework [Cu (PDA)(DMF)] and Its Application for Colorimetric Detection of Dopamine. ACS Applied Materials & Interfaces. 2019;11(47):44466-73.

90- Wang N, Li B, Qiao F, Sun J, Fan H, Ai S. Humic acid-assisted synthesis of stable copper nanoparticles as a peroxidase mimetic and their application in glucose detection. Journal of materials chemistry B. 2015;3(39):7718-23.

91- Wang S, Deng W, Yang L, Tan Y, Xie Q, Yao S. Copper-based metal–organic framework nanoparticles with peroxidase-like activity for sensitive colorimetric detection of Staphylococcus

aureus. ACS applied materials & interfaces. 2017;9(29):24440-5.

92- Wang Z, Yang X, Feng J, Tang Y, Jiang Y, He N. Label-free detection of DNA by combining gated mesoporous silica and catalytic signal amplification of platinum nanoparticles. Analyst. 2014;139(23):6088-91.

93- Wang Z, Zhang R, Yan X, Fan K. Structure and activity of nanozymes: Inspirations for de novo design of nanozymes. Materials Today. 2020;41:81-119.

94- Wu Y, Chen Y, Li Y, Huang J, Yu H, Wang Z. Accelerating peroxidase-like activity of gold nanozymes using purine derivatives and its application for monitoring of occult blood in urine. Sensors and Actuators B: Chemical. 2018;270:443-51.

95- Xie J, Cao H, Jiang H, Chen Y, Shi W, Zheng H, et al. Co_3O_4-reduced graphene oxide nanocomposite as an effective peroxidase mimetic and its application in visual biosensing of glucose. Analytica Chimica Acta. 2013;796:92-100.

96- Xu M, Xing S, Zhao Y, Zhao C. Peptide nucleic acid-assisted colorimetric detection of single-nucleotide polymorphisms based on the intrinsic peroxidase-like activity of hemin-carbon nanotube nanocomposites. Talanta. 2021;232:122420.

97- Yang H, He Q, Chen Y, Shen D, Xiao H, Eremin SA, et al. Platinum nanoflowers with peroxidase-like property in a dual immunoassay for dehydroepiandrosterone. Microchimica Acta. 2020;187(11):1-12.

98- Yang Y, Li T, Qin Y, Zhang L, Chen Y. Construct of Carbon Nanotube-Supported Fe2O3 Hybrid Nanozyme by Atomic Layer Deposition for Highly Efficient Dopamine Sensing. Frontiers in Chemistry. 2020:876.

99- Yang Y, Li T, Zhang L, Chen Y. Construct of Carbon Nanotube-Supported Fe2O3 Hybrid Nanozyme by Atomic Layer Deposition for Highly Efficient Dopamine Sensing. Frontiers in Chemistry. 2020;8:876.

100- Yang Y, Shen D, Long Y, Xie Z, Zheng H. Intrinsic peroxidase-like activity of ficin. Scientific reports. 2017;7(1):1-8.

101- Zapata C, Paillavil B, Chávez R, Álamos P, Levicán G. Cytochrome c peroxidase (CcP) is a molecular determinant of the oxidative stress response in the extreme acidophilic Leptospirillum sp. CF-1. FEMS microbiology ecology. 2017;93(3).

102- Zhang B, Huyan Y, Wang J, Wang W, Zhang Q, Zhang H. Synthesis of CeO2 nanoparticles with different morphologies and their properties as peroxidase mimic. Journal of the American Ceramic Society. 2019;102(4):2218-27.

103- Zhang Q, Kang Y, Sun H, Liang Y, Su Z, Dan J, et al. Supplementary Materials: Natural Products Self-Assembled Nanozyme for Cascade Detection of Glucose and Bacterial Viability in Food.

104- Zhang S, Hu Y. Nanozymes in Environmental Protection. Nanozymes for Environmental Engineering: Springer; 2021. p. 213-41.

105- Zhang W, Niu X, Meng S, Li X, He Y, Pan J, et al. Histidine-mediated tunable peroxidase-like activity of nanosized Pd for photometric sensing of Ag+. Sensors and Actuators B: Chemical. 2018;273:400-7.

106- Zhang Y, Lu F, Yan Z, Wu D, Ma H, Du B, et al. Electrochemiluminescence immunosensing strategy based on the use of Au@ Ag nanorods as a peroxidase mimic and NH4 CoPO4 as a supercapacitive supporter: application to the determination of carcinoembryonic antigen. Microchimica Acta. 2015;182(7-8):1421-9.

107- Zhang Y, Pang X, Wu D, Ma H, Yan Z, Zhang J, et al. A robust electrochemiluminescence immunoassay for carcinoembryonic antigen detection based on a microtiter plate as a bridge and Au@ Pd nanorods as a peroxidase mimic. Analyst. 2016;141(1):337-45.

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱۳-۲۹۷ DOR: 20.1001.1.23832738.1402.36.3.6.1

Characterization and applications of plant peroxidase and nanoenzyme like-peroxidase

Bahramnejad F.[1] and Riahi-Madvar A.[2]

[1]Dept. of Biotechnology, Institute of Science and High technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, I.R. of Iran.

[2] Dept. of Molecular and Cell Biology, Faculty of Basic Sciences, Kosar University of Bojnord, Bojnord, I.R. of Iran.

Abstract

Peroxidases are one of the most applicable enzyem in the fields of industry, medicine and biotechnology. In this study, comprehensive information on the advantages and disadvantages and also applications of plant peroxidases and nanozymes (with peroxidase-like properties), are provided in a categorized manner using of numerous articles. Peroxidase enzymes are belong to the oxidoreductases group which are found in all living organisms and are classified into different classes, one of the most applicable of which is plant peroxidases. However, applications of peroxidases limit by the some factors such as high cost of purification, low stability and degradation by proteases. Todays, in order to overcome these problems, non protein substances or compounds with peroxidase-like properties, such as nanozymes, have been considered. For industrial applications, peroxidases can be provided by purification from various sources, and also their catalytic activities and stabilities can be optimized using various methods such as environmental engineering and protein engineering, whilest these methods are costly and time consuming. Peroxidase-like nanozymes can be prepared from various materials which their catalytic activities and stabilities can be optimized throuth changing of their size, shape and combination with other materials that are usually easy, fast and cheape. At the same time, problems such as storage and degradation by proteases, which are a challenge for enzymes, are not associated with the nanozymes. Overall, it seems in industrial and medical applications, plant peroxidases can replace by nanozymes.

Keywords: Nanozyme, Peroxidase, Peroxidase like.