



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110760497 B

(45) 授权公告日 2023.03.21

(21) 申请号 201910417452.2

JP 2008104359 A,2008.05.08

(22) 申请日 2019.05.07

US 2003100636 A1,2003.05.29

US 2010209968 A1,2010.08.19

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110760497 A

审查员 李丹阳

(43) 申请公布日 2020.02.07

(73) 专利权人 宁波大学

地址 315211 浙江省宁波市江北区风华路
818号宁波大学材化学院

(72) 发明人 吴嘉沁 张瑞丰 李艳 肖通虎
龙能兵

(51) Int.Cl.

C12N 11/10 (2006.01)

C12N 11/089 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 101818139 A,2010.09.01

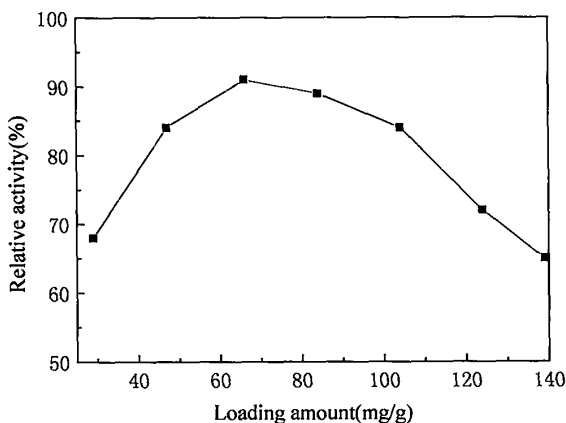
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

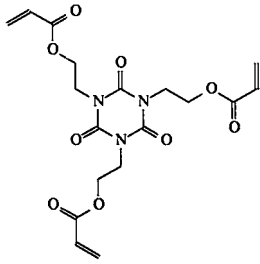
一种氯过氧化物酶的共交联固定化方法

(57) 摘要

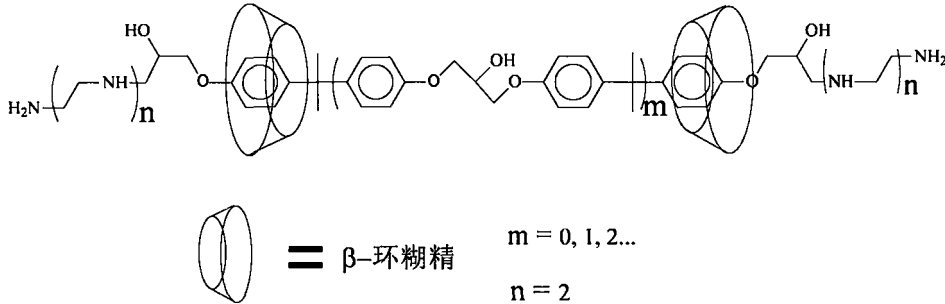
本发明是关于一种氯过氧化物酶的共交联固定化方法。使用油溶性的异氰脲酸三丙烯酸酯作为交联剂,水相中的反应物为含有氨基的氯过氧化物酶以及胺化环氧树脂与β-环糊精形成的超分子复合物,利用双键与氨基的迈克尔加成反应,在较低的温度下发生共交联聚合反应,制备出不同负载量的固定化氯过氧化物酶。通过控制交联程度,提高分散性,改善其内部的传质微环境,该固定化酶具有较高的催化活性,负载量在66mg酶/g载体时具有最高的比活性,达到游离酶的91%。



1. 一种氯过氧化物酶共交联固定化方法,其特征在于使用水/油两相反应体系,油相是作为交联剂的异氰脲酸三丙烯酸酯,其结构如下:



水相中的反应物为氯过氧化物酶及结构如下的分子复合物:



所述的氯过氧化物酶共交联固定化方法,按以下步骤操作:

1) 将数均分子量为392的双酚A环氧树脂、甲醇和二乙烯三胺三种组分按照2:2:1的质量比混合,在25~35℃范围内搅拌反应4~5小时,将混合物倒入水中,沉淀物用水反复洗涤除去甲醇和少量的胺,然后放入真空烘箱中常温干燥,得到环氧树脂胺化物;

2) 将环氧树脂胺化物与β-环糊精按照1:2.1~1:2.3的摩尔比加入到水中,加热搅拌至环氧树脂胺化物全部转化为分子复合物而溶解在水中,保持该水溶液的总质量浓度在5~6wt.%范围;

3) 将氯过氧化物酶溶解在pH=7.5的磷酸钠缓冲溶液中,酶的浓度保持在1.0~7.0mg/mL范围,将不同浓度的氯过氧化物酶溶液与上述分子复合物水溶液按照60mL:20mL的比例混合;

4) 在搅拌下将1.2g异氰脲酸三丙烯酸酯加入到上述混合水溶液中,反应温度保持在25~30℃范围,10~15分钟后有白色凝胶颗粒形成,停止搅拌使反应体系放置5~6小时,过滤后即得到不同负载量的氯过氧化物酶固定化产物。

一种氯过氧化物酶的共交联固定化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及固定化酶生物催化技术领域,尤其是一种氯过氧化物酶的共交联固定化方法,该新型固定化氯过氧化物酶可专门用于有机化合物的高效制备。

背景技术

[0002] 氯过氧化物酶(EC 1.11.1.10),是由Hager等人首次于上世纪60年代从海洋真菌中分离出来的一种血红素糖蛋白酶(等电点为3.5)。在过氧化物酶家族中,它是应用最广泛的酶之一,并且兼具过氧化物酶、过氧化氢酶和细胞色素的催化活性。纯的氯过氧化物酶呈红褐色,其分子量大约42kDa,呈酸性,由299个氨基酸组成,其中含有9个 α -螺旋和2个 β -折叠。 α -螺旋和 β -折叠分别占整个氨基酸总量的34%和1.34%。氯过氧化物酶大约含20%~30%的糖类化合物,还有大约30%的非蛋白成分。

[0003] 氯过氧化物酶是用 H_2O_2 等过氧化物作电子受体,催化各类底物发生氧化反应。氯过氧化物酶因其独特的活性位点结构而具有多种催化性能,在生物转化方面具有高选择性,高催化活性,常温下使用等特点。同时氯过氧化物酶具有广泛的催化性能,它能催化杂原子氧化(S-氧化和N-氧化)、环氧化、碳氢键氧化、醇氧化和吡啶氧化;引人关注的是氯过氧化物酶对烯烃的卤化、环氧化、羟基化和有机硫化合物的磺化氧化等反应的催化作用。又因底物适应性广泛和较高的立体选择性,它已逐渐成为有机合成、制药工业和工业催化中极具前景的绿色催化剂。

[0004] 固定化酶就是通过化学手段将水溶性的游离酶变成不溶性的固体酶,固定化有很多优点:例如固定化的氯过氧化物酶可重复使用,使酶的使用效率提高、使用成本降低;固定化的氯过氧化物酶极易与反应体系分离,简化了操作工艺;固定化的氯过氧化物酶其储存稳定性和热稳定性都得到了提高;固定化酶的催化反应过程更易控制;固定化酶具有一定的机械强度,可以用搅拌或装柱的方式作用于底物溶液,便于酶催化反应的连续化和自动化操作。酶的交联是一种非常有效的固定化方法,其所形成的产物称为交联酶聚集体。最常用的交联剂为水溶性的戊二醛,它反应活性高,用量难以控制,很容易造成酶的过度交联,使酶的活性有很大的损失,此外,传统的交联法往往须要在交联之前使酶分子沉淀聚集,这样既会造成酶的浪费,又会阻断传质通道,无法充分发挥酶的催化效率。

[0005] 本发明专利提供一种共交联的方法用于氯过氧化物酶的固定,利用氯过氧化物酶分子上的氨基与丙烯酸酯类交联剂发生迈克尔加成反应,同时还引入含有 β -环糊精的结构单元,这样既能为催化反应提供空间,降低传质阻力,同时还能增加亲水性,提高酶的活性。使用这种共交联方法,酶的负载量和催化活性高,稳定性好,固定化酶呈颗粒状,催化反应容易操作。

发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是提供一种氯过氧化物酶的固定化方法,这种方法是基于氯过氧化物酶与另一种含有机胺的分子复合物的共交联反应,交联反应的基础是丙烯

酸酯与氨基的迈克尔加成,该反应在常温下就能快速发生,因而不会对酶的整体结构造成破坏,共交联法负载效率高,稳定性好,同时还能调节固定化酶的微环境,使其保持高的催化活性。

[0007] 1、本发明解决技术问题所采用的技术方案为:一种水/油两相的交联反应,油相为交联剂异氰脲酸三丙烯酸酯,其结构如图1所示,水相中的反应物为氯过氧化物酶及 β -环糊精与胺化环氧树脂的超分子复合物,固定化酶的负载量是通过氯过氧化物酶的浓度来调节。

[0008] 非常有益的是,通过多相反应可以控制交联程度,避免酶的过度交联,同时交联剂含有多个双键,使交联产物形成支化结构,更大限度地阻止酶的聚集,增强酶的活力;

[0009] 非常有益的是, β -环糊精与胺化环氧树脂的分子复合物与酶分子产生强的亲和力,导致交联反应能使氯过氧化物酶能以接近100%的利用率被固定化,交联反应发生后,液相中几乎没有残留的氯过氧化物酶;

[0010] 非常有益的是, β -环糊精与胺化环氧树脂的分子复合物具有弯曲的刚性结构,它带来了充足的自由体积,为生物大分子与底物相互作用提供传质通道,同时为生物大分子的构象提供稳定性,从而提高了固定化酶的催化活性。

[0011] 2、本发明解决另一个技术问题所采用的技术方案为:一种上述固定化酶的制备方法,其特征步骤为:1)将双酚A环氧树脂(牌号为E-51,环氧值为0.51,数均分子量为392)、甲醇和二乙烯三胺三种组分按照2:2:1的质量比混合,在25~35℃范围内搅拌反应4~5小时,将混合物倒入水中,沉淀物用水反复洗涤除去甲醇和少量的胺,然后放入真空烘箱中常温干燥,得到环氧树脂胺化物;2)将环氧树脂胺化物与 β -环糊精按照1:2.1~1:2.3的摩尔比加入到水中,加热搅拌至环氧树脂胺化物全部转化为分子复合物而溶解在水中,保持该水溶液的总质量浓度在5~6wt.%范围;3)将氯过氧化物酶溶解在pH=7.5的磷酸钠缓冲溶液中,酶的浓度保持在1.0~7.0mg/mL范围;4)分别将浓度为1.0mg/mL、2.0mg/mL、3.0mg/mL、4.0mg/mL、5.0mg/mL、6.0mg/mL、7.0mg/mL的氯过氧化物酶溶液与上述分子复合物水溶液按照60mL:20mL的比例混合,通过改变酶溶液的浓度来调节固定化酶的负载量;5)在搅拌下将1.2g异氰脲酸三丙烯酸酯加入到上述混合水溶液中,反应温度保持在25~30℃范围,10~15分钟后有白色凝胶颗粒形成,停止搅拌使反应体系放置5~6小时,过滤后即得到不同负载量的固定化氯过氧化物酶的产物。

[0012] 非常有益的是,交联剂中的一个双键首先与分子复合物上的氨基发生反应,形成具有乳化作用的产物,油相在反应启动后会很快分散直至消失,氯过氧化物酶首先通过吸附方式进入聚合物中,然后交联剂上的双键与酶上的氨基进行缓慢的反应,最终变成共交联的固定化酶产物;

[0013] 非常有益的是,利用 β -环糊精与疏水苯环的相互作用引入亲水基团,避免使用化学键,并通过交联反应使 β -环糊精无法脱离聚合物,使固定化酶的制备简化;

[0014] 非常有益的是,整个聚合过程中不加入其它有机溶剂,不需要更高的温度。

[0015] 本发明的优点在于:1)利用水/油双相反应实现酶的交联,降低了酶的交联程度;2)引入 β -环糊精分子复合物改善了固定化氯过氧化物酶的微环境,提高了酶的催化反应活性;3)共交联固定法能使氯过氧化物酶以极高的效率被固定化;4)采用多官能度的交联剂能使固定化产物形成支化结构,阻止酶的聚集,提高酶的催化性能。

具体实施方式

[0016] 酶的固定化

[0017] 1) 将双酚A环氧树脂(牌号为E-51,环氧值为0.51,数均分子量为392)、甲醇和二乙烯三胺三种组分按照2:2:1的质量比混合,在25~35℃范围内搅拌反应4~5小时,将混合物倒入水中,沉淀物用水反复洗涤除去甲醇和少量的胺,然后放入真空烘箱中常温干燥,得到环氧树脂胺化物;

[0018] 2) 将环氧树脂胺化物与β-环糊精按照1:2.1~1:2.3的摩尔比加入到水中,加热搅拌至环氧树脂胺化物全部转化为分子复合物而溶解在水中,保持该水溶液的总质量浓度在5~6wt.%范围;

[0019] 3) 将氯过氧化物酶溶解在pH=7.5的磷酸钠缓冲溶液中,酶的浓度保持在1.0~7.0mg/mL范围;

[0020] 4) 分别将浓度为1.0mg/mL、2.0mg/mL、3.0mg/mL、4.0mg/mL、5.0mg/mL、6.0mg/mL、7.0mg/mL的氯过氧化物酶溶液与上述分子复合物水溶液按照60mL:20mL的比例混合,通过改变酶溶液的浓度来调节固定化酶的负载量;

[0021] 5) 在搅拌下将1.2g异氰脲酸三丙烯酸酯加入到上述混合水溶液中,反应温度保持在25~30℃范围10~15分钟后有白色凝胶颗粒形成,同时油相消失,停止搅拌使反应体系放置5~6小时,过滤后即得到不同负载量的固定化氯过氧化物酶的产物。

[0022] 固定化酶的负载量测定:

[0023] 由于共交联法固定氯过氧化物酶后,反应残留液中测不到氯过氧化物酶的活性,说明经过交联后氯过氧化物酶全部进入到固体颗粒中,所以负载量的计算用以下公式:

$$[0024] \text{负载量 (mg/g)} = \frac{C \times V}{m - C \times V \times 0.001}$$

[0025] 其中:C为共交联酶溶液的浓度(mg/mL);V为共交联酶溶液的体积(mL);m为固定化酶干态质量(g)。

[0026] 酶活力测定:

[0027] (1) 游离酶活力测定:用氯过氧化物酶(CPO)催化2-氯-5,5-二甲基-1,3-环己二酮(MCD)生成2,2-二氯-5,5-二甲-1,3-环己二酮(DCD)的氯化反应来检测CPO的活性。在总体积为3mL的石英比色皿中加入0.1M的磷酸钾缓冲液(pH=2.75),包含20mM的氯化钾溶液,0.1mM的MCD,2mM H₂O₂及其适量的CPO使得溶液终体积达到3mL。加好反应物,摇匀,在278nm处读出ΔA_{278nm}值,为t=0时的读数。立即加入H₂O₂于比色皿中,即可混匀并计时。室温下在ΔA_{278nm}处检测MCD吸光度的减少值,每隔20秒读数一次,共3~5min,至底物基本反应完全。将所测样品的ΔA_{278nm}作出时间-吸光度关系曲线。在反应开始阶段为直线形,用直线部分求出1min内的ΔA_{278nm}。

[0028] (2) 固定化酶活力测定:将10mg固定化酶置于比色皿中,加入3mL含0.1M的磷酸钾缓冲液(pH=2.75)在25℃下反应,在紫外可见分光光度计上测定反应体系5min内在278nm处的吸光度变化,计算出固定化酶活力。每个值都是三次数字的平均值。结果的标准偏差不超过5%。

[0029] 1个活性单位U定义为在25℃时,1min内催化产的1μmol的MCD($\epsilon = 12.2 \text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$)转化为DCD所需的酶量(即在278nm处的吸收消失)。

[0030] 相对活性:

[0031] 将固定化酶的活性与游离酶的活性之比定义为相对活性。

[0032] 实验结果:

[0033] 实验一共得到7个不同负载量的固定化氯过氧化物酶的样品,分别测定它们的活力,计算得到它们的相对活性。图2是相对活性与负载量的关系,当负载量为66mg酶/g载体时其相对活性达到最大值,其比活力是游离酶的91%,这个结果说明氯过氧化物酶在这个范围处于非常适合催化的状态。当负载量小于66mg酶/g载体时,固定化酶的活性逐渐随负载量的增加而增大,这主要是因为,酶的含量较低时,聚合物结构比较紧密,酶的催化活性不容易发挥出来,随着酶含量增加,聚合物的结构变的松散,酶与底物的接触机会增大,其相对活性也随之提高。当负载量大于66mg酶/g载体时,固定化酶的活性逐渐随负载量的增加而变小。一般来说交联反应都会使酶的构象变得僵硬,从而活性降低,本发明专利的共交联固定法能使酶的微环境得到改善,这与引入环糊精超分子结构单元有关,它使固定化酶的结构变的松散,同时还改善了内部的亲水性,此外支化程度高的交联剂还能提高酶的分散性,避免了酶的聚集,从而提高其催化活性。但是当负载量过大时,酶的聚集变得不可避免,所以其活性又会变小。

[0034] 我们以负载量为66mg酶/g载体的样品为研究对象,测定固定化酶与游离酶溶液的储存稳定性,其结果如图3所示,以时间为零的起始状态的活性为100%,在4℃,pH=7.0条件下经过28天的储存,游离酶溶液只残留47%的活性,固定化酶能残留78%的活性,所以在储存稳定性方面,固定化酶要明显优于游离酶。

附图说明

[0035] 图1交联剂的化学结构。

[0036] 图2固定化的氯过氧化物酶催化活性与其负载量的依赖关系。

[0037] 图3固定化与游离的氯过氧化物酶储存稳定性比较。

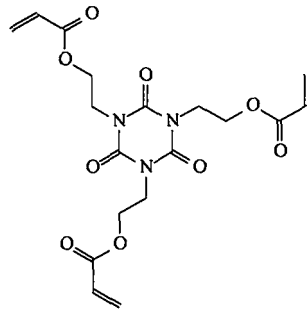


图1

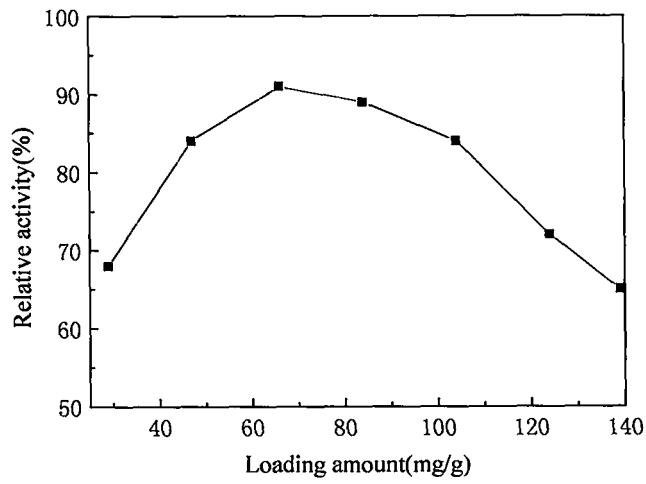


图2

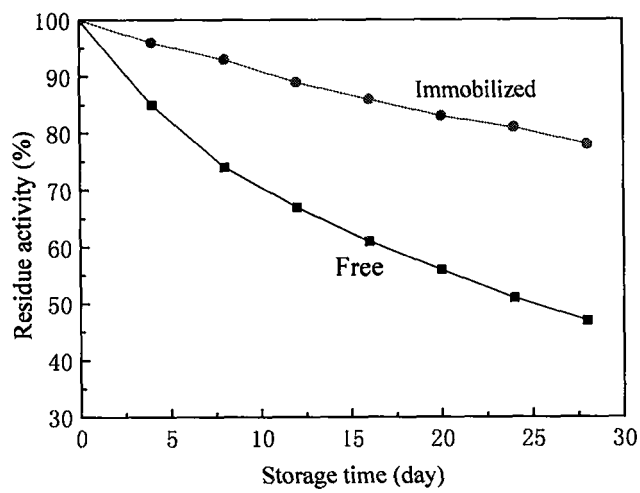


图3