



齐义鹏 编著

纤维素酶 及其应用

四川人民出版社

51
5

纤维素酶及其应用

齐义鹏

四川人民出版社

四川人民出版社出版 重庆印制一厂印刷
四川省新华书店重庆发行所发行

开本787×1092毫米1/32 印张7.875 字数144千
1980年4月第1版 1980年4月第1次印刷
印数：1—2 350册

书号：16118·50

定价：0.55 元

内 容 提 要

纤维素酶是分解纤维素的一种生物催化剂，其用途非常广泛。在酿造、食品加工、医药、饲料等方面，利用其催化作用，来提高产品质量和数量，节约工业和饲料用粮，变废为利等都取得了很大成绩；特别是用废纤维物质生产单细胞蛋白和糖，为人类提供新的食物来源，已显露出美好的前景。

本书是关于纤维素酶的基本知识和应用的科技读物，除简明通俗地介绍了纤维素酶的作用原理、实用意义外，着重介绍了纤维素酶的生产和在酿造、食品加工、饲料等方面的应用知识，对指导生产有一定作用，适于酿造、发酵、制糖、医药、食品加工等工业技术人员，养猪场和社队的饲养员阅读。

前 言

研究纤维素酶对于提供人类新的食物来源，防止污染、保护环境有重大的理论和实际意义，特别是在工 农 医 等 部门，其应用更为广泛，因此，它普遍受到世界各国的高度重视。

我国纤维素酶的研究工作，已取得了较大的成绩，尤其在轻工业和畜牧业方面的应用已普遍开花，具有一定的水平，四川是全国应用得较好的几个省分之一。在实践中，广大工人、农民、技术人员提出了不少问题，经常来访、来信，要求提供菌种，索取资料并希望能有一本介绍纤维素酶生产应用知识的书籍。为了响应党中央、华国锋同志关于极大的提高整个中华民族的科学文化水平的号召，加速实现四个现代化，并满足工人农民的要求，我结合个人在科研和生产实践中的经验，编写了这本科技读物，供试验和应用纤维素酶的人员参考。

由于我个人知识有限，缺点错误一定在所难免，请同志们提出批评指正。

本书应用部份的某些素材取自中国科学院成都生物研究所纤维素酶组其他同志作的一些试验以及国内其他单位的一

些材料，我没有参与的试验，都注明了资料的来源和出处。

在本书的编写过程中，得到中国科学院成都分院、中国科学院成都生物研究所和酶学研究室各级领导同志的关怀和支持，得到组内和其他同志的大力协助，一并在此致谢。

齐 义 鹏

一九七九年元月

目 录

第一章 向纤维素要粮	(1)
第一节 牛羊为什么能吃草?	(1)
第二节 神通广大的纤维素酶	(4)
第二章 有关纤维素酶的几个基本问题	(9)
第一节 纤维素酶菌种的来源	(9)
一、菌种选择	(9)
二、菌种的分离与筛选	(12)
三、木霉的形态特征	(18)
第二节 培菌与保种	(20)
一、纤维分解菌的营养	(20)
二、培养的环境条件	(25)
三、菌种保藏	(30)
第三节 纤维素酶的作用原理	(33)
一、纤维素酶是复合酶	(33)
二、纤维素酶是蛋白质	(36)
三、纤维素酶是诱导酶	(38)
第四节 反应条件	(40)
一、温度	(41)

二、pH值	(43)
三、酶浓度	(44)
四、底物浓度	(45)
五、抑制	(48)
六、激活	(50)
第三章 纤维素酶的生产	(51)
第一节 生产类型	(51)
第二节 高产措施	(53)
一、有机酸	(53)
二、刺激剂	(55)
三、表面活性剂	(57)
四、消泡剂	(59)
第三节 液体制曲	(61)
一、分批发酵	(61)
二、连续发酵	(68)
第四节 固体制曲	(69)
一、混合曲	(69)
二、单一曲	(81)
三、与固体制曲酶活性有关的几个因素	(87)
第五节 酶的提取	(90)
一、盐析法	(91)
二、乙醇提取法	(94)
三、单宁提取法	(95)

第四章 纤维素酶在工业生产中的应用…………… (96)

第一节 人造蛋白…………… (96)

一、一步法…………… (97)

二、酶解法…………… (103)

第二节 纤维素酶酿酒…………… (121)

一、白酒和酒精的酿造…………… (123)

二、纤维素酶提高出酒率的原因…………… (135)

第三节 纤维素酶酿造酱油…………… (139)

一、固态无盐制酱油…………… (141)

二、固态低盐制酱油…………… (145)

三、工艺流程…………… (145)

四、鉴定…………… (146)

第四节 纤维素酶提高水果出汁率…………… (149)

第五节 纤维素酶回收淀粉提取蛋白和琼脂… (151)

一、回收淀粉…………… (152)

二、提取蛋白…………… (156)

三、提取琼脂…………… (156)

第六节 纤维素酶用于食品加工…………… (157)

一、果实和蔬菜加工…………… (157)

二、罐头加工…………… (158)

三、处理茶叶…………… (159)

第五章 纤维素酶在饲料生产中的应用…………… (161)

第一节 纤曲酶解饲料好处多…………… (161)

一、什么是纤维酶解饲料·····	(161)
二、纤维酶解饲料的好处·····	(163)
第二节 稻草酶解饲料·····	(164)
一、制曲·····	(165)
二、酶解·····	(165)
三、饲养·····	(169)
四、工艺流程·····	(174)
第三节 蔗髓糖化蛋白饲料·····	(175)
第四节 青贮饲料及饲料添加剂·····	(179)
一、饲料添加剂·····	(179)
二、青贮饲料·····	(180)
第六章 纤维素制糖及其展望·····	(181)
第一节 底物的选择和预处理·····	(182)
一、底物预处理的重要性·····	(182)
二、底物预处理的方法·····	(185)
第二节 纤维素制糖的几种方式·····	(192)
一、分批酶解糖化·····	(192)
二、连续酶解糖化·····	(194)
三、吸附酶解糖化·····	(198)
四、固相酶连续酶解糖化·····	(199)
第三节 酶解产物及其利用·····	(199)
第四节 酶解工厂的设计·····	(202)

附 录

附录 I	试验与应用培养基配方·····	(204)
附录 II	酶活性的分析测定·····	(210)
附录 III	中间分析和成品分析·····	(222)
附录 IV	常用药品配制·····	(237)

第一章 向纤维素要粮

第一节 牛羊为什么能吃草？

牛羊为什么能吃草？大概会有人认为这不是一个问题。其实，这是一个值得弄明白的问题。

牛羊能吃草，只是牛羊生命活动的表面现象，透过现象研究本质，牛羊以草为食料并不是牛羊固有的本领，而是它们肠胃中居住着的许许多多微生物生命活动的结果。这些微生物通过它们产生的一种特殊化学物质——纤维素酶，将纤维素变成糖，于是，既满足了自己的要求，也供应了牛羊的需要。同时，微生物也从牛羊的肠胃中得到其他营养。它们互利互助、“和睦”相处，这种方式叫“共生”。没有微生物的活动，牛羊是不能吃草长膘、维持生命的。所以，牛羊能吃草吗？表面上看，能；本质上看，不能。与其说牛羊吃草，还不如说微生物“吃草”，牛羊吃糖更为确切。

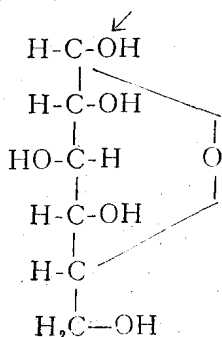
那么，什么是纤维素酶呢？

我们知道，凡是能加速化学反应的物质叫催化剂。工业上，经常要使用各种无机催化剂。酶，是由生物产生的一种蛋白质，它能加速体内的各种生物化学反应，因而被称为生

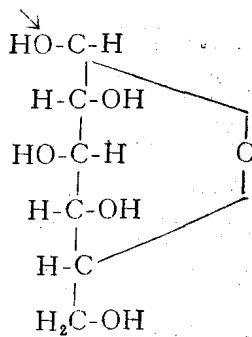
物催化剂。纤维素酶就是由生物产生的、使不溶性纤维素水解成可溶性糖的生物催化剂，它的化学本质是蛋白质。

人们从牛羊等反刍动物肠胃中，微生物“吃草”，牛羊吃糖得到启示，勾画出了用废纤维素生产糖的美好远景。

纤维素和淀粉不一样，这是尽人皆知的。说也奇怪，在化学本质上，他们又是那样的维妙维肖。它们都是由数百、数千个葡萄糖单位组成的多糖，所不同的仅仅在葡萄糖第一个碳原子(C)上羟基(OH)的位置。纤维素的这个羟基在左边，称为 β -型；淀粉的在右边，称为 α -型。



α -型葡萄糖



β -型葡萄糖

(箭头指示羟基的位置)

葡萄糖一个接一个的连接起来成为一条长链，就构成了纤维素和淀粉的大分子。仅因一个羟基在左，一个羟基在右，便带来天壤之别，淀粉溶于热水，是我们赖以生存的食物；纤维素不溶于水，绝大部分是污染我们环境的废物。

纤维素酶有将纤维素长链上的环节切开成为单个葡萄糖

的惊人本领。当然，硫酸、盐酸也有这种本领。用酸将纤维素变成糖的过程叫酸水解，酸，起到了无机催化剂的作用；用酶将纤维素变成糖的过程叫酶水解，酶，起着生物催化剂的作用。既然如此，为什么人们要“弃酸求酶”呢？

早在本世纪初，美国和德国的一些科研人员就曾将木屑用酸法糖化生产葡萄糖。由于纤维素的结晶构造^①对酸十分稳定，因而需要浓酸、高温、高压和耐腐蚀的设备。但即使这样，糖的收率也很低，仅为使用纤维素的5%左右。而且水解出来的糖又可能受到浓酸的再次分解，影响了产品质量。因此，此法生产的葡萄糖成本昂贵。许多人，为用酸将废纤维素变成糖，奋斗了几十年，实践证明：此路难通。

纤维素酶具有酶的一般特点：

(1) 酶的专一性强，就象一把钥匙开一把锁一样。纤维素酶除了水解纤维素以外，不能作用于其他任何物质，不必担心葡萄糖的再次分解，保证了产品质量。

(2) 酶的效率、速度快。纤维素的理论转糖率可达100%。在50℃执行程度相等的水解作用，要求的酸比酶多十万倍。从分子水平看，一个酶分子完成的水解作用接近于 10^8 个盐酸分子。

① 生物大分子的结构可分为若干级，如蛋白质和核酸都有一、二、三级结构。由无数个相同的组成单位（小分子物质），按一定方式，结合成规整的大分子链，即为一级结构。由两条以上的这样的链，按卷曲、折叠等方式组成有规律的、晶格排列的大分子结构，称该物质的结晶构造。

(3) 酶水解设备简单, 操作方便。纤维素酶可在常温常压和中等酸碱度下进行工作。

总之, 纤维素酶真可谓“神通广大”, 比酸水解具有巨大的优越性。

第二节 神通广大的纤维素酶

纤维素是地球上最丰富的有机物质, 是植物体的主要成分, 一株植物的纤维素约占总重量的 $2/3$ 。据估计, 植物借助光合作用, 在全世界一年生产的纤维素有1,000亿吨之多。随着植物的繁殖和更新, 每年都可得到补充, 真是取之不尽, 用之不竭。然而, 在这庞大的数量之中, 人类仅能在建筑、造纸、纺织、燃料、饲料等方面利用其中极少的一部分。因此, 如何利用纤维素资源, 是一个迫切要求解决的问题。研究纤维素酶是解决这一问题的关键, 其意义在于:

(1) 废纤维制糖: 近十年来, 随着世界人口的增长, 对粮食的要求日益增多, 因此利用废纤维资源开辟食品新来源, 受到普遍重视。纤维素酶是由废纤维制糖的主要工具。美国有一个隶属陆军的纳狄克 (Natick) 研究所, 集中了一批著名的科学家专门干这件事。据说, 目前已建立了小型试验工厂, 废纤维转糖率达到90%以上, 糖的浓度达到12—14%。其所得葡萄糖可直接作食品, 或用来生产单细胞蛋白作食品或饲料, 实现粮食生产工业化, 摆脱人类几千年来依

靠农业生产粮食的老传统。美国科学家预言,到公元两千年,纤维素将主要用作人的食物。通过这一令人鼓舞的设想,使我们看到了研究纤维素酶的美好远景和重大意义。

葡萄糖还可用来生产酒精、丙酮、丁醇、氨基酸、抗菌素、维生素等各种医药、化工产品。以不可食用的碳水化合物(废纤维)代替可食用的碳水化合物(粮食)作为发酵工业的原料,为国家节约数以千万斤计的工业用粮,使整个发酵工业发生革命性的转变。

(2) 废纤维生产单细胞蛋白:用单细胞蛋白作为食物和饲料,是目前世界上解决人类蛋白不足的重要途径,是六十年代发展起来的一个新的工业部门。

生产单细胞蛋白的原料有石油副产物、天然气。制成的产品分别称为石油蛋白和天然气蛋白。由于原料有毒,石油蛋白的发展受到了限制。许多国家不得不寻找新的廉价而又无毒的原料,这就是废纤维素。除了由废纤维素变成糖,再由糖生产单细胞蛋白的间接途径以外,还可直接由纤维素生产。美国进行了许多试验工作,用废纸、废纤维生产单细胞蛋白的大型工厂也正在设计之中。由于纤维素蛋白原料来源广泛,无毒性,它将会逐渐成为生产单细胞蛋白的主要原料。

(3) 节约工业用粮:纤维素酶是酿造、发酵、食品等许多轻工业部门提高产量、改进品质的技术革新“能手”。在基本上不改变原有工艺的条件下,添加少量的纤维素酶,

可以使酒精、酱油、淀粉、蛋白、琼脂、药物、油脂、水果汁等等的产量大幅度提高，为国家节约大批工业用粮。这是研究纤维素酶最具有现实意义的项目。

(4) 制作酶解饲料：大家都知道，猪是不能吃稻草的。但是，经过纤维素酶的简单处理，稻草（或其他农作物稿秆）就变成了烂软、香甜的酶解饲料。所以纤维素酶对于广开饲料来源，提高粗饲料的营养价值，从而为大力发展畜牧事业作用很大。特别是目前，在大办沼气的群众运动中，提出了原料不直接下池，先制成酶解饲料喂猪，猪粪下池制沼气，残渣出池作肥料。通过纤维素酶实现了稿秆——沼气——肥料——粮食一条龙。成都生物所沼气组在成都附近农村推广，效果很好，深受社员群众欢迎。

(5) 促进有机质分解，加速堆肥腐熟：当稿秆还田以后，必需通过各种各样微生物的大兵团作战，将纤维素有机物发酵、分解，成为简单的物质，作为肥料，再供植物吸收，组成了物质的大循环。如果没有这些微生物，特别是产生纤维素酶的微生物的活动，地球上必将会为废纤维素所盖满，以致找不到人们插足的余地。堆肥的腐熟是一个由许多微生物分解有机质的复杂过程，其中高温分解纤维素的微生物占有重要地位，对加速堆肥的腐熟起主要作用。因此，研究纤维素酶可以加速有机质的转化，提高土壤肥力，对农业生产，意义也是很大的。

(6) 保护环境、防止污染：城市垃圾，其中约有一半