

学术前沿研究

发酵工程技术

张庆芳 迟乃玉◎主 编



NLIC 2970757120

AJIAOGONGCHENGJISHU



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

学术前沿研究

辽宁省教育厅高校科技专著出版基金资助

发酵工程技术

张庆芳 迟乃玉◎主 编



NLIC2970757120



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

发酵工程技术 / 张庆芳, 迟乃玉主编. — 北京: 北京师范大学出版社, 2012.3

(学术前沿研究)

ISBN 978-7-303-14122-7

I. ①发… II. ①张…②迟… III. ①发酵工程
IV. ①TQ92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 019130 号

营销中心电话 010-58802181 58805532
北师大出版社高等教育分社网 <http://gaojiao.bnup.com.cn>
电子信箱 beishida168@126.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 北京京师印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 155 mm × 235 mm

印 张: 17.25

字 数: 273 千字

版 次: 2012 年 3 月第 1 版

印 次: 2012 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

策划编辑: 姚斯研

责任编辑: 姚斯研

美术编辑: 毛 佳

装帧设计: 天之赋设计室

责任校对: 李 茵

责任印制: 李 啸

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

主要编写人员名单

主 编 张庆芳 迟乃玉

副主编 窦少华 王晓辉

编 委(以姓氏笔画为序)

于 爽 马 莉 王春雨

王贵鹏 王晓辉 石淑钰

冯旭明 迟乃玉 张庆芳

陆继臣 袁慎亮 崔爱萍

奥 杰 窦少华

前言

恩格斯指出：“马克思的整个世界观不是教义，而是方法。它提供的不是现成的教条，而是进一步研究的出发点和供这种研究使用的方法”。正确、科学的方法是宝贵的财富。

据预测，生命科学是 21 世纪的带头学科，生物工程是 21 世纪的主流产业。生物工程主要包括：基因工程、酶工程、蛋白质工程、发酵工程、生化工程等工程，虽然生物工程以基因工程为主导和核心，但最终离不开发酵工程技术手段加以实施——即产品化。因此，发酵工程技术已经成为工业生物技术的核心，是生物技术应用领域理论联系实际、实践操作以及解决问题等综合能力的体现。

无论是巍峨的大厦，还是壮丽的大桥，任何一项宏伟工程，都要有总设计蓝图和现场施工技术，发酵工程也是这样。比如我们今天看到的蚕吃桑叶，吐的是蚕丝；鸡吃米谷，而生出的是鸡蛋。我们设想从发酵罐中获取蚕丝和不带壳的鸡蛋，就是发酵工程的总设计蓝图，而现代发酵技术与基因工程、蛋白质工程、酶工程、固定化酶等技术的有机结合就是现场施工技术。因此，人们可以按设想的蓝图对微生物菌种进行细胞水平、分子水平不同层次的改造设计，构建出自然界中原来没有的、具有特殊功能的“超级菌”和“工程菌”，再通过发酵工程技术生产出新的有用物质。

针对发酵工程在生物技术领域的广泛应用，以及发酵工程领域取得的显著成果，为促进发酵工程技术的系统性、科学性和先进性的快速发展，编者总结该领域多年来的优秀案例，并结合编者多年教学与科研实践经验，完善了具有代表性的发酵工程技术，意在为从事生物技术相关

研究、生产的技术人员提供理论和实践指导。本书主要涉及内容包括菌种复壮与选育、发酵工艺条件控制、发酵动力学检测、发酵产物分离与纯化、产品性能及应用等实践内容。为了使读者直观、准确、全面地掌握发酵工程技术内涵,本书涵盖了生物技术领域涉及的具有代表性的发酵工程生产技术:固态发酵(红曲发酵、酒精发酵)、液体静止发酵(啤酒发酵)、液体深层发酵(谷氨酸发酵)、生物活性物质发酵以及生物制药(固、液应用综合发酵)等具体生产实践内容。

由于编写时间仓促,内容还有待完善,书中难免也还有错误,希望广大读者提出宝贵意见,在此致以诚挚的谢意。

编 者

2011年9月26日于大连大黑山

目 录

第 1 篇 固态发酵

第 1 章 红曲发酵	(1)
1.1 前言	(1)
1.2 红曲发酵概述	(1)
1.3 红曲发酵	(9)
第 2 章 秸秆酒精发酵	(21)
2.1 前言	(21)
2.2 秸秆酒精发酵概述	(21)
2.3 秸秆酒精发酵	(28)

第 2 篇 液态发酵

第 3 章 啤酒发酵	(45)
3.1 前言	(45)
3.2 啤酒发酵概述	(45)
3.3 啤酒发酵	(64)
第 4 章 谷氨酸发酵	(93)
4.1 前言	(93)
4.2 谷氨酸发酵概述	(93)
4.3 谷氨酸发酵生产	(126)

第 3 篇 生物活性物质发酵

第 5 章 鸡腿菇胞外多糖发酵	(142)
5.1 前言	(142)

5.2	鸡腿菇胞外多糖发酵概述	(143)
5.3	鸡腿菇胞外多糖发酵	(149)
第6章	灵芝生物活性物质深层发酵	(159)
6.1	前言	(159)
6.2	灵芝生物活性物质深层发酵概述	(159)
6.3	灵芝生物活性物质深层发酵	(166)
第4篇 生物制药		
第7章	纳他霉素发酵	(174)
7.1	前言	(174)
7.2	纳他霉素发酵概述	(174)
7.3	纳他霉素发酵	(184)
第8章	新型抗真菌抗生素发酵	(194)
8.1	前言	(194)
8.2	抗生素发酵概述	(194)
8.3	新型抗真菌抗生素发酵	(208)
第9章	青霉素发酵	(220)
9.1	前言	(220)
9.2	青霉素发酵概述	(221)
9.3	青霉素发酵	(231)
第10章	右旋糖酐发酵	(237)
10.1	前言	(237)
10.2	右旋糖酐发酵概述	(237)
10.3	右旋糖酐发酵	(255)
主要参考文献		(264)

第1篇 固态发酵

第1章

红曲发酵

1.1 前言

红曲起源于我国，古时称为丹曲。传统红曲是以大米或其他粮食作物为原料，接种红曲霉经固态发酵而成。1590年李时珍在《本草纲目》第25卷记载红曲具有“消食活血、健脾燥胃”等药效。红曲菌发酵产生的醇、酸、酯、多种水解产物及多种次级代谢产物可广泛应用于食品、医药、保健、生物催化等行业。

1.2 红曲发酵概述

1.2.1 红曲霉简介

1. 分类

红曲霉(*Monascus*)是小型丝状腐生真菌，属真菌界(Eumycophyta)、子囊菌亚门(Ascomycotina)、不整子囊菌纲(Plectomycetes)、散囊菌目(Eurotiales)、红曲菌科(Monascaceae)。在该科下仅红曲霉一个属，由法国学者(Van Tieghem)于1884年建立。

2. 形态及分布

红曲霉广泛存在于新鲜的牧草、泥土、橡胶、鱼干、河川表面沉淀物及松树根组织中。该菌具有霉菌的典型特征：菌丝多分枝，有横隔，细胞多核，幼时常含颗粒，老后出现空泡及油滴。菌丝体常出现联结现象(anastomosis)，即两条菌丝碰在一起时，接触处细胞壁消失，膜融

合，使二菌丝互相沟通。

3. 繁殖方式

(1) 无性繁殖

无性繁殖即分生孢子繁殖。由菌丝生出分生孢子梗，其顶部产生分生孢子，单生或以向基式生出 2~6 个链。分生孢子大多为梨形，多核，萌发后又可形成菌丝。

(2) 有性繁殖

有性繁殖即子囊孢子繁殖。繁殖时先在菌丝顶端或侧枝顶端形成一个单细胞多核的雄器(Antheridium)，然后在雄器下面的细胞以单轴方式又生出一个细胞，这个细胞就是原始的雌器，即产囊器(Ascogonium)的前身。由于雌性器官的生长和发育，将雄器向下推压，使雄器与柄把呈一定角度。这时雌性器官在顶部又生一隔膜，分成两细胞，顶端的细胞为受精丝，另一细胞即产囊器。当受精丝尖端与雄器接触后，接触点的细胞壁解体产生一孔。雄器内的核和细胞质经受精丝进入产囊器。此时只进行质配，而细胞核则成对排列，并不结合。在此同时，在两性器官下面的细胞生出许多菌丝将其包围，形成初期的被子器。被子器内产囊器膨大，并长出许多产囊丝。每个产囊丝形成许多双核细胞，核配于此时发生，经过核配的细胞即子囊母细胞。每个子囊细胞中的核经过 3 次分裂，形成 8 个子囊孢子，这时被子器已发育成熟，其中子囊消解，把子囊孢子成堆地留在被子器内。被子器外壳破后，散出子囊孢子，子囊孢子萌发后又形成多核菌丝(见图 1-1)。

4. 培养特征

该菌多用麦汁琼脂培养基。菌落初呈白色，毛毯状，3 天后呈灰白色，具褶皱，镜检菌丝分枝、分隔、多核，直径 3~9 μm 。菌丝含油滴，5 天后培养出大量被子器，呈球形，大小为 6~10 μm 。分生孢子梨形或圆形，单生或呈链状，大小为 5~10 μm 。在麦芽汁或合成液体培养基中能产生少量色素，在玉米淀粉培养基中能产生大量的红曲霉红素和红曲霉黄素。若菌丝体老熟后呈红紫色或葡萄酱紫色，菌落背面呈紫红色，则为紫色红曲霉(*Monascus purpureus*)；若菌丝体老熟后变为灰黑色，菌落背面为红褐色，则为烟色红曲霉(*Monascus fuliginosus*)，因种而异。

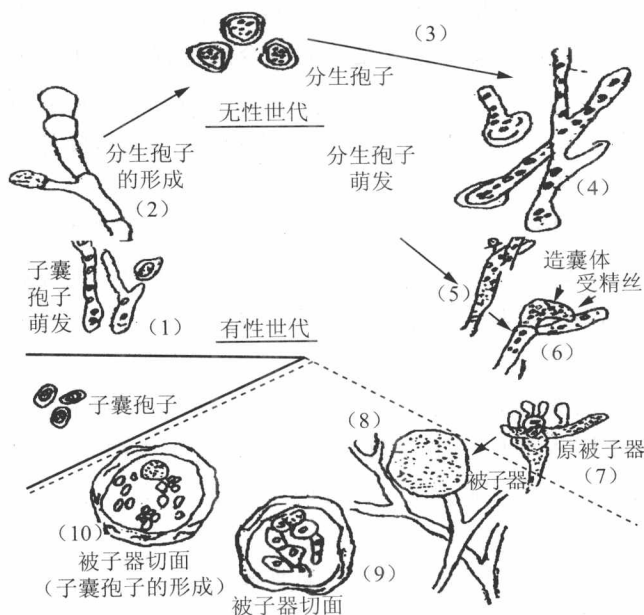


图 1-1 红曲霉生活史

5. 红曲霉主要次级代谢产物

红曲霉能产生醇、酯、酸等多种芳香物质(初级代谢产物)和淀粉酶、蛋白酶、半乳糖酶、核糖核酸酶等多种水解酶,使发酵食品产生优质香气和甘甜味,也是绝佳酿酒菌种。另外该菌在生长过程中可产生色素、抑菌物质、酶类、胆固醇生物合成抑制剂、麦角固醇、橘霉素等多种次级代谢产物。

(1) 红曲色素

红曲色素是红曲霉在生长代谢过程中产生的天然色素,与其他天然食用色素相比,具有着色力强、色调柔和、pH 稳定等优点,具有较强的耐光、耐盐碱、耐氧化还原的特性,几乎不受金属离子的影响,尤其是耐 100~140 °C 高温,使其在食品烹饪、糕点焙烤时有更广泛的应用;经急慢性毒性实验及致畸、突变实验都证明其无毒,安全性高,故红曲色素已广泛应用于各种食品和化妆品中。

红曲色素是多种色素成分的混合物,以颜色不同分为红、黄、橘黄 3 类;以溶解性不同分为水溶性色素和脂溶性色素 2 类。

(2) Monacolin 类化合物

Monacolin 是一组能抑制胆固醇合成的物质,其中对 Monacolin K

(又叫 *lavostatin*) 研究得最清楚。其机理是竞争性地抑制 HMG-CoA(羧甲基戊二酰 CoA) 还原酶, 该酶是胆固醇合成过程中的关键酶。只要其浓度达到 $0.001 \sim 0.005 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 胆固醇合成就会受阻, 因此每天摄入 $10 \sim 30 \text{ mg}$ Monacolin K 可使血脂中胆固醇含量明显降低。

(3) 麦角固醇

麦角固醇是维生素 D_2 的前体, 当它受到紫外线照射后即转化为维生素 D_2 。维生素 D_2 是一种重要的药品, 能防治婴幼儿佝偻病, 促进孕妇和老年人钙磷的吸收。普通食品中维生素 D_2 的含量有限, 因此, 需要适当补充。

过去麦角固醇的生产仅限于酵母菌, 目前研究发现红曲霉属中的许多菌株都能不同程度地产生麦角固醇。所产麦角固醇主要存在于菌体内, 可采用碱性甲醇回流皂化, 乙醚振荡抽提。

(4) 橘霉素

我们祖先早就利用红曲霉防止食品腐败。在《天工开物》下卷中有这样记载: “世间的鱼肉是最容易腐败的, 但薄涂红曲, 即使在盛夏也不变质, 近十天疽蝇不近, 色味不减, 盖奇药也。”说明红曲有杀菌和抑菌作用。1977 年, 确定了红曲代谢产物中一种抗菌活性物质的化学结构, 命名为 Monascidin A, 后经质谱、核磁共振、紫外及荧光分析等进行结构测定和定性分析, 发现 Monascidin A 实质为橘霉素(citrinin)。

橘霉素是一种真菌毒素(mycotoxin), 具有肾毒性, 也称为肾毒素(nephrotoxin), 毒性比较明显, 可引起实验动物的肾脏肿大、尿量增多、肾小管扩张和上皮细胞变性坏死等症状。

红曲是我国传统发酵产品, 毒理学实验已证明了红曲产品的食用安全性, 并在长期的应用实践中未发现明显的毒副作用, 我国红曲的生产和应用行业都在密切关注橘霉素问题。因此, 筛选低产或不产橘霉素的红曲霉菌种, 对于我国红曲及其产品的生产和应用都将具有特别重要的意义。

(5) 其他代谢产物

红曲菌发酵是个比较复杂的过程, 发酵基质不同则产生的代谢产物各异, 红曲菌在发酵过程中除了产生酶类、有机酸、红曲色素、莫纳可林 K、GABA(γ -氨基丁酸)等代谢产物外, 还产生许多目前未知结构的化合物。随着对红曲菌研究的深入, 越来越多的代谢产物将被分离和表征。

1.2.2 红曲制作

红曲是红曲霉生长在蒸煮过的米粒上形成的发酵食品。

1. 工艺流程

大米→洗涤→浸泡→沥干→蒸煮→冷却→接种→培养→烘干→成品。

沥干：含水量 25%~30%。

蒸煮：饭粒呈玉色，粒粒疏松，不结团块。蒸饭不能熟透。

冷却：30℃左右即可接种。

培养温度一般为 30℃，空气相对湿度 RH 大于等于 85%，培养一周后即可。

2. 培养条件对菌体生长及红曲产量影响

影响菌体生长和红曲产量的因素很多，如培养基成分、pH 等。

(1) pH

最适 pH 为 3.0~5.0，pH 3.0 以下生长缓慢，pH 5.0 以上不利于产生色素。

(2) 碳源

葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、半乳糖、淀粉和麦芽糖醇等大多数糖类都可被红曲霉利用；而乳糖、木糖、果糖和甘油等则属于较差的基质。然而，葡萄糖浓度过大也会导致菌体生长缓慢、色素和酒精产量减少，适量的甘油则有助于色素和其他次级代谢产物的生产。

(3) 氮源

红曲霉对有机氮的利用要优于无机氮。不同氮源对红曲色素产量的影响很大：以 NH_4^+ 为氮源时，易产橘色素；硝酸盐、谷氨酸钠或酵母提取物作氮源时则产较多的红色素；氯化铵和蛋白胨的混合氮源较 NO_3^- 产更多的色素。

(4) 装液量

红曲液态发酵是好氧发酵，因此溶氧水平直接影响发酵产物，尤其是次级代谢产物色素的产量。250 mL 三角瓶装液量为 100 mL、125 mL 时，菌丝体生长量多，红曲霉生产的红曲色素的色价高。装液量为 150 mL 时，菌丝体生长量多，红曲霉生产的红曲色素的色价较高。装液量为 175 mL 时，菌丝体生长量较多，生产的红曲色素色价较高。装液量为 75 mL 时，菌丝体生长量较多，生产的红曲色素色价低。

(5)含水量

发酵时起始水分含量低,红曲色素易生成,水分含量高,会抑制色素生成,一般来讲含水量以25%~30%为宜。

3. 影响红曲发酵的因素

影响红曲发酵的因素很多,如菌种、原料、补水、RH、温度、通气等。

(1)菌种

选择生长快、适应性强、产红色素高的菌株。

(2)原料

原料选用淀粉含量高、营养丰富且可吸收适量水分的优质大米。

(3)补水

红曲霉生长繁殖过程中,需要补充适量水分,尤其在生长旺盛期补水更重要。

(4)RH

RH关系到水分的蒸发,对发酵影响也很大,一般将RH控制在85%以上。

(5)温度

适宜生长温度为20~37℃,通常采用30℃发酵。

(6)通气

红曲霉是一种好气性微生物,培养要注意保持良好的通气。

4. 红曲发酵

见实验部分。

1.2.3 红曲霉应用

1. 在食品工业中的应用

因为红曲色素具有天然、营养、多功能等特点,除用于肉制品防腐着色外,现已广泛应用于调味品、面制品、酒业等食品工业中。

(1)用作食品添加剂

红曲色素具有良好的着色性能和较强的抑菌作用,可替代亚硝酸盐作为肉制品着色剂。红曲色素与亚硝酸盐的着色原理完全不同:亚硝酸盐是与肌红蛋白形成亚硝基肌红蛋白,而红曲色素是直接染色。两者都能赋予肉制品特有的“肉红色”和风味,抑制有害微生物的生长,延长保存期,但红曲色素的应用安全性更高。

德国肉类研究中心对此进行了研究和探讨,结果表明,在腌制类产

品中添加红曲色素后,完全可以将亚硝酸盐量减少60%,而其感官特性和可贮性不受影响,颜色稳定性也远优于原产品。王也等研究了红曲色素在腊肉中代替亚硝酸钠发色作用的应用效果,结果显示红曲色素可以注射形式添加到腊肉中,添加量为肉质量的0.001%。从色泽、水分含量、质构角度分析,均能达到类似亚硝酸钠的水平,进而得出,腊肉无硝发色剂的尝试基本是可行的。

以普通食品和饮料为载体,添加具有防病抗病功能因子的功能食品已成为近年来世界食品工业新的增长点。目前,国内添加红曲的功能性食品种类繁多,如红曲酸奶、红曲面包、红曲椰果、红曲保健酒等。

(2) 用于调味品的生产

食醋、酱油生产中加入红曲霉,可抑制杂菌生长、降低食盐用量、增进色泽、提高风味;豆腐乳生产中加入红曲菌,可使成品风味显著提高。例如,在酱油酿造中使用复合红曲菌种糖化增香曲(酱油专用),可使原料全氮利用率和酱油出品率明显提高,同时酱油鲜艳红润、清香明显、鲜而后甜,质量优于普通工艺酱油。

(3) 在酿酒工业方面的应用

红曲霉应用于酒类生产中,可改变酒的色泽和风味。例如,丹溪红曲酒是采取压滤工艺生产的,保留了发酵过程中的粗蛋白、醋液、矿物质及少量的醛、酯等物质,具有香气浓郁、酒味甘醇、风味独特、营养丰富等特点。另外还有我国乌衣红曲黄酒、日本红曲清酒等。

(4) 在腌制蔬菜中的应用

在传统腌菜生产中常使用酱油作为着色剂加工蔬菜,使酱腌菜的色泽更诱人。红曲色素可以作为腌制蔬菜中的外加色素,通过物理吸附作用渗入蔬菜内部。蔬菜细胞在腌制加工过程中,细胞膜变成全透性膜,因此能吸附其他辅料中的色素而改变原来的颜色。

(5) 在面制品生产中的应用

红曲色素在面制品生产中的应用,如生产红曲饼干、红曲面包、红曲糕点、红曲面条等。在面包生产中,添加红曲水浸提液时,其添加量的不同对红曲面包的色、香、味及口感影响不是很大,仅仅是随添加量的增加,其颜色有所加深变红。与直接添加红曲粉相比,各方面均有较大改观,尤其在香味方面,与不加红曲提取液制成的面包相比,更加清新独特。

2. 在医药领域的应用

《本草纲目》记载:红曲菌具有消食活血、健脾壮胃以及治跌打损伤、夜尿、轻微气喘和血气痛等的疗效。现代医学研究证明,红曲霉主

要具有以下医疗功效。

(1) 防治心脑血管疾病

Monacolin K 及构造类似物都具有抑制胆固醇合成的功能，是医学界公认最理想的降低人体血液中胆固醇的药剂。目前世界上很多公司都对 Monacolin K 进行研究，主要研究方法为化学修饰法。此外，已有研究证实，红曲色素苏氨酸衍生物也可以降低小鼠体内的胆固醇水平，但仅局限于血脂，不包括肝脏中的胆固醇。

Chia-Feng Kuo 等人对 *M. pilosus* 的发酵产物进行了研究。实验表明，*M. pilosus* 发酵产物能够降低动物的脂蛋白水平，同时提高肝脏的抗氧化酶的含量。因此，红曲产物不仅能有效降低体内总胆固醇以及甘油三酯、低密度脂蛋白水平，而且能提高高密度脂蛋白水平，从而具有显著的降胆固醇及降血脂的作用。

(2) 抗癌抗氧化

红曲产物 Monacolin K 会阻止各种信号蛋白质(例如，Ras Phos)添加 15 碳或 20 碳的作用，能抑制致癌基因 Ras 蛋白添加 15 碳的作用，故可用来治疗蛋白质所诱导的固型瘤病变。另外，Monacolin K 的闭环型会提高癌细胞内的周期蛋白依赖激酶抑制因子(Cyclin-dependent Kinase inhibitors, CKLS)的含量，也具有抑制癌细胞生长的功效。

Mee Young Hong 等人发现，与单一的 Monacolin K 相比，红曲的发酵产物更有助于抑制癌细胞扩散、促使癌细胞凋亡。研究表明，这是 Monacolin K 与红曲色素共同作用的结果。与传统的化学疗法相比，红曲具有无痛苦、无毒副作用、安全等特点，因此，将其应用于癌症的治疗有十分重要的意义，是未来红曲研究的一大热点问题。2000 年，日本人从 *M. anka* 中分离得到抗氧化剂 Dimerumic acid，能清除 1,1-二苯-2-苦肼基(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)，减轻 CCl₄ 引起的肝损害，保护肝脏。红曲发酵产物中的二丁基羟甲苯(BHT)和鞣酸酯(gallate)等酚类物质，能清除自由基、与铁离子螯合，有很好的抗氧化、抗诱变的作用，是最主要的抗氧化剂。

(3) 抑制致病菌

古籍《天工开物》中有炎夏时用红曲煮肉，十日不腐的记载，说明红曲中有抗菌物质存在。现代研究表明，红曲发酵过程产生的某些产物能抑制某些致病菌的生长，起到抗菌抑菌的作用。根据最近的研究，抗菌活性物质包括橘霉素、红曲色素(红曲玉红素、红斑红曲胺)和糖肽类物质。目前，日本已开始对鱼、肉的保鲜上大量应用红曲并已取得许多专利。

(4) 其他应用

红曲菌属中的许多菌株能不同程度地产生麦角固醇, 麦角固醇是维生素 D_2 的前体, 经紫外线照射后, 即转化为维生素 D_2 , 可防治小儿佝偻病, 对促进孕妇和老年人钙、磷的吸收有明显的生理作用, 是一种重要的药品。

红曲发酵产物 Monacolin K 的酯构型弱碱化后会形成它的碱金属盐、土族金属盐等, 分别有预防和治疗胆结石、前列腺肥大的作用, 能使胆结石形成指数下降, 改善前列腺肥大程度, 使排尿正常。此外, Monacolin K 还具有明显的抑制肾小球系膜细胞的增生和细胞外基质分泌的作用, 所以具有保护肾脏的功能。此外, 最新的研究表明, 红曲还具有抗炎作用, 对临床治疗类风湿性关节炎有十分重要的意义。

3. 生物催化作用

催化剂在现代化学工业中占有极其重要的地位, 现在几乎有半数以上的化工产品, 在生产过程中都采用催化剂。随着人们对环保的日益重视, 寻找符合时代要求的绿色催化剂显得尤为重要。生物催化剂能够将传统的化学化工原理与现代生物技术完美地融为一体, 具有条件温和、高效专一、环境友好等明显特征, 符合“绿色化工”的要求。

红曲中含有葡萄糖淀粉酶, 能将淀粉几乎百分之百地水解成葡萄糖。工业上利用红曲这一特性代替了酸水解法生产葡萄糖, 具有水解率高、节约粮食、降低成本、提高产品质量等优点。此外, 红曲霉某些菌种能分泌直接催化己酸和乙醇合成己酸乙酯的胞外酶, 例如从烟色红曲菌中可筛选得到酯化酶活性较强的酯化红曲, 有效提高了红曲的糖化力、发酵力和酯化力。

最新研究发现, 除红曲产生的酶之外, 红曲菌也可以作为促进某些反应进行的生物催化剂。此外, 将红曲菌用琼脂或琼脂糖固定后, 其催化效率没有明显下降, 且由于固定化后的红曲可重复使用, 因此可以认为是一种绿色催化剂。

1.3 红曲发酵

1.3.1 红曲菌分离纯化

1. 原理

红曲菌广泛分布于自然界, 可以从自然界中分离纯化。也可以直接