



药用真菌桑黄

YAOYONG ZHENJUN SANGHUANG
SHENGWUXUE YU KAIFA LIYONG

生物学与开发利用

主编 郭霞 孙敏 邹祥



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位



药用真菌桑黄 生物学与开发利用

YAOYONG ZHENJUN SANGHUANG
SHENGWUXUE YU KAIFA LIYONG

主 编 郭 霞 孙 敏 邹 祥



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

药用真菌桑黄生物学与开发利用/郭霞,孙敏,邹祥主编.--重庆:西南师范大学出版社,2012.3
ISBN 978-7-5621-5658-1

I. ①药… II. ①郭… ②孙… ③邹… III. ①药用菌类:真菌—生物学性状②药用菌类:真菌—资源开发
IV. ①Q949.32②S567.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 008441 号

药用真菌桑黄生物学与开发利用

主 编:郭霞 孙敏 邹祥

责任编辑:杜珍辉

特邀编辑:杨炜蓉

书籍设计:周 娟 廖明媛

出版发行:西南师范大学出版社

(重庆·北碚 邮编:400715

网址:www.xscbs.com)

印 刷:重庆东南印务有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:10

字 数:180 千

版 次:2012 年 7 月第 1 版

印 次:2012 年 7 月第 1 次

书 号:ISBN 978-7-5621-5658-1

定 价:40.00 元

本书由

①三峡库区生态环境与生物资源省部共建国家重点实验室培育
基地开放课题基金项目

②面向三峡库区生态安全211工程建设项目

③教育部生物科学特色专业建设和教师教育创新平台建设项目

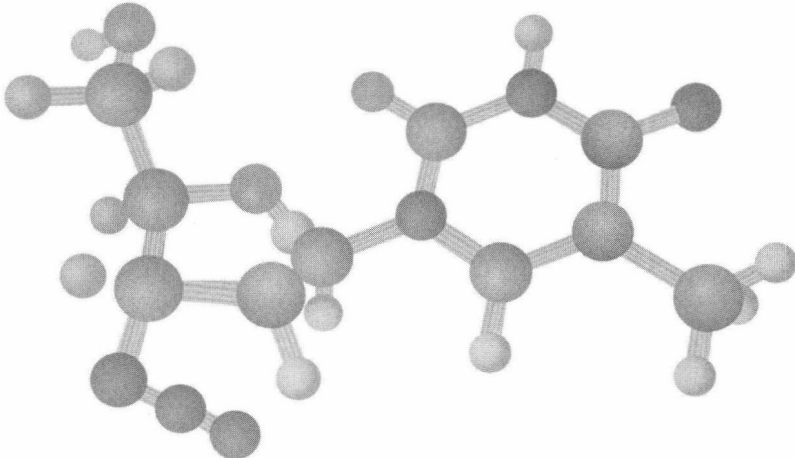
联合资助

编委会 *Editorial Board*

主 编 郭 霞 孙 敏 邹 祥

参编人员 罗正伟 孙一铭 张显强

湛金吾 吕翠萍 王凤英



前言

桑黄属于担子菌门(Basidiomycota),层菌纲(Hymenomycetes),非褶菌目(Aphylliphorales),锈革孔菌科(Hymenochaetaceae),针层孔菌属(*Phellinus*),是一种名贵的药用真菌。近十年来,随着桑黄真菌药用价值的研究开发,其显著的抗肿瘤且无毒副作用的药理价值越来越受到人们的关注,桑黄的相关研究频频被报道。编者所在的实验室长期从事桑黄菌丝液体培养,多糖的代谢调控及其分离、纯化、结构鉴定。虽然,非常勤奋努力地开展研究工作,获得了一定的研究成果,但是与国内和国外的桑黄研究成果相比,如沧海一粟。出于对桑黄真菌研究的热忱,编者萌生了将目前有关桑黄的研究成果整理成一本理论与实践相结合的实用书籍。主要目的是为从事桑黄真菌研究的工作者及其他类似药用真菌研究者提供参考。

本书系统地介绍了珍稀药用真菌桑黄的基础理论和相关实践操作技术。全书共九章,包括药用真菌概述、桑黄的生物学特性、人工培植、菌丝深层发酵、多糖生物合成代谢调控、活性成分、药理活性、加工与产品开发、试验设计。本书在注重科学性、系统性、通俗性的基础上,向广大读者介绍了有关桑黄的研究成果。其中,重点介绍了生物学特性、生态学特征、活性成分、人工栽培及深层发酵等多方面的知识,并在大量收集、整理了国内外相关资料的基础上,结合自己的研究成果撰写而成。作为药用菌的专项著作,对有关药用菌的研究者肯定有所帮助。

编者在开展桑黄研究中,遇到很多困难,承蒙西南大学生命科学学院和药学院、四川川仪九厂、重庆大新药业股份有限公司等相关专家和技师的大力支持,才得以顺利完成。书在撰写中,引用了大量桑黄研究的相关文献,此处一

并致谢。此外,还要感谢全国食用菌先进工作者、重庆食用菌协会顾问、西南大学生命科学院彭洪光老师在本书完稿时的审阅。

本书兼顾了桑黄研究的基础理论、实践操作、国内外同仁对桑黄研究的进展及发展方向,使本书具有了基础性、实用性和前沿性的特点,适于有关院校师生,生物、医药及农林科研工作者,食用菌研究及生产者阅读参考。因时间仓促,编者水平有限,实际经验不足,故书中错误和不妥之处在所难免。恳请专家、兄弟院校同行和使用者批评指正。

编 者

2012 年 6 月

目 录

第一章 概述	001
一、药用真菌的培养	002
二、药用真菌的加工	010
三、药用真菌的活性成分	011
四、药用真菌的药理活性	015
五、多糖的生物合成	018
 第二章 桑黄的生物学特性	028
一、民间对桑黄的认识	028
二、桑黄的形态特征	029
三、桑黄的自然分布	035
四、桑黄的鉴定	036
五、桑黄的生理学特性	040
 第三章 桑黄的人工培植	047
一、桑黄生长条件	047
二、菌种分离、生产、保藏与复壮	049
三、桑黄高产菌株筛选	056
四、桑黄人工袋料栽培	061
五、病害预防	064
六、常用的消毒剂	067

第四章 桑黄的深层发酵	070
一、种子液对发酵的影响	071
二、培养基的优化	073
三、发酵条件优化	076
第五章 桑黄多糖生物合成代谢的调控	084
一、微生物代谢调控理论	084
二、桑黄菌丝生长及多糖合成的代谢调控	086
第六章 桑黄活性成分	098
一、多糖	098
二、黄酮	118
第七章 桑黄药理活性	122
一、抗肿瘤作用	122
二、免疫调节作用	124
三、抗氧化	126
四、抗突变	126
五、降血糖	127
六、降血脂	128
第八章 桑黄加工与产品开发	131
一、桑黄初级加工	132
二、桑黄精细加工	133
三、桑黄深度加工	134
四、保健医药加工产品	135

第九章 试验设计在桑黄研究中的应用	139
一、试验设计的意义	139
二、正交试验设计	142
三、均匀实验设计	145
四、响应面实验设计	148

第一章 概述

药用真菌是一类作为药物用以治疗疾病的真菌。它们在生长、发育的代谢活动中，能于菌丝体、菌核或子实体内产生酶、蛋白质、脂肪酸、氨基酸、肽类、多糖、生物碱、甾醇、萜类、苷类以及维生素等具有药理活性或对人体疾病有抑制或治疗作用的物质，可以直接用菌丝体、菌核、子实体，或者它们的提取物入药。

我国使用药用真菌历史悠久，现有的约 1 万种中药中，药用真菌约有 20 余种，大多以子实体、菌核等入药。约十几种真菌药物用于现代固体或液体发酵工程生产，品种不多，但治疗效果较好。目前已开发利用的品种主要有：灵芝、猴头、银耳、茯苓、猪苓、麦角菌、安络小皮伞、亮菌、蜜环菌、竹红菌、雷丸、马勃、冬虫夏草等。药用菌中含有多种生理活性物质，例如多糖、多肽、生物碱、萜类化合物、酶、核酸、氨基酸、维生素以及植物激素等，它们对人的心血管、肝脏、神经、消化系统的多种疾病有较好的预防和治疗作用。随着药用菌的药用成分和药理作用逐步被揭示，药用菌更加广泛地应用于医药和食品行业。例如，茯苓具有健脾、保肾、利尿、安神等功能，它除了直接应用于中药处方外，还开发出了系列保健食品，如：茯苓糕、茯苓粥、茯苓饼、茯苓面包、茯苓保健酸奶等，药品有桂枝茯苓丸、桂枝茯苓胶囊、桂枝茯苓粥等；猴头具有很好的助消化作用，对慢性胃炎、十二指肠溃疡、胃溃疡、癌症等均有良好疗效，畅销中外的“猴菇片”就是利用猴头等提炼的一种抗癌药品，还有猴头菇茶、猴头菇菌片、猴头菇菌粉等产品。药用真菌的开发不仅能够丰富药材市场和攻克重大疑难病症，还能促进地方产业发展和开创农村剩余劳动力就业扶贫新路子，具有重大的意义和可观的前景。

一、药用真菌的培养

(一)人工栽培法

药用真菌的人工栽培一般包括:栽培原料处理,栽培场所设置、装料、灭菌、接种、培养、排场、出菇管理和采收与干制等工序。近年来,随着国内人士对菌类保健功能的认识逐渐加深,菌类产品消费上升已呈必然趋势。大多数药用真菌作为传统的中药和延年益寿滋补品,内销市场开拓潜力巨大,只要普及药用真菌的保健作用知识,发展药用真菌生产前景广阔。但是,野生资源不仅稀少,也不易采集,且受生态环境及季节等自然条件的限制,有些种类如冬虫夏草、麦角等的野生产量已满足不了市场的需求。黄年来提出了中国最有开发前景的主要药用真菌包括:茯苓、猪苓、竹苓、赤芝、银耳、松杉灵芝、紫芝、树舌、云芝、隐孔菌、裂褶菌、灰树花、红密孔菌、桦褐孔菌、桑黄、巴西蘑菇、虎奶菇、虎乳灵芝、乌灵参、蛹虫草、猴头菌和樟芝。这些品种虽然已经实现了人工栽培,但是市场价格昂贵。例如,虎乳灵芝是香港特区国药商店出售的一种药用真菌,有治疗肝炎、肝热、肝癌、胃病的功效,但价格昂贵(0.8 ~2.67HKD/g)。

(二)液体发酵法

药用菌子实体栽培投入少,见效快,风险低,效益高,前景较好,开发潜力大,但是全国从业人员较少,专业技术水平低下。同时,子实体栽培周期较长,一般在三个月以上才能出菇,并且容易受到自然气候和原料等因素限制,加之有些种类如冬虫夏草,人工栽培技术尚不成熟,不能大规模生产。液体深层培养药用菌菌丝,劳动强度小,占地少,产物易纯化提取,对设备和技术要求较高,适宜工厂和研究机构生产高附加值产品。采用液体深层发酵技术,通过菌丝培养获得有效成分,就能充分利用药用真菌资源。同时,菌丝培养周期较短,一般在一周到半个月,对濒危药用真菌和珍稀药用真菌的抢救和开发利

用起着积极的作用。其中,蛹虫草、灰树花、灵芝和裂褶菌报道较多,对桑黄、雷丸、虎奶菇、虎乳灵芝等一些珍稀濒危菌种报道得较少。重庆大新药业股份有限公司生产的云星胶囊就是通过云芝菌丝的深层发酵获得具有提高人体免疫力作用的胞内糖肽。浙江佐利药业股份有限公司生产的乌灵胶囊也是通过乌灵菌(属于子囊菌科,炭角菌属)的菌丝液体培养,深加工,获得有效成分,促进人体睡眠,治疗神经衰弱、精神抑郁的纯中药制剂。要使得菌丝体高产或代谢产物合成丰富,需要对培养基和发酵条件进行选择,以满足菌体最适合的生长环境,提高生产效率,降低生产成本。

1. 碳源

碳源是在微生物生长过程中为微生物提供碳素来源的物质。碳源物质在细胞内经过一系列复杂的化学变化后,成为微生物自身的细胞物质(如糖类、脂、蛋白质等)和代谢产物,碳元素一般可以占细胞干重的一半。同时,绝大部分碳源物质在细胞内生化的过程中还能为机体提供维持生命所需的能源,因此碳源物质通常也是能源物质。但是有些以二氧化碳为唯一或主要碳源的微生物生长所需的能源则并非来自碳源物质。

微生物对碳源的利用具有选择性,微生物对不同糖类的利用也有差别,例如,在以葡萄糖和半乳糖为碳源的培养基中,大肠杆菌首先利用葡萄糖,然后利用半乳糖,前者称为大肠杆菌的速效碳源,后者称为迟效碳源。微生物的生长及多糖的产量均受碳源种类和加入量的影响。不同种类的糖会影响胞外多糖合成产量和化学组成。例如,以葡萄糖、果糖、乳糖、蔗糖、麦芽糖、乳清粉为碳源,用于乳酸杆菌 FML02-8 的培养。经红外光谱分析和气相色谱法对其产生的多糖分析,结果表明碳源不仅影响胞外多糖合成的产量(其中以葡萄糖为碳源时胞外多糖产量最大),而且影响胞外多糖的结构,包括相对分子量、单糖组成及摩尔比等。不同种类微生物利用碳源物质的能力也有差别。有的微生物能广泛利用各种类型的碳源物质,而有些微生物可利用的碳源物质则比较少,例如,假单胞菌属中的某些种可以利用多达 90 种以上的碳源物质,而一些甲基营养型微生物只能利用甲醇或甲烷等一碳化合物作为碳源物质。研究不同碳源及其不同添加浓度对微生物胞外多糖产量的影响是国内外科研人员研究的重点之一。常见的碳源,例如葡萄糖、果糖、乳糖、蔗糖、麦芽糖、乳清粉等药用真菌均能生长良好。

2. 氮源

氮源物质为微生物提供氮素来源,这类物质主要用来合成细胞中的含氮物质,一般不作为能源,只有少数自养微生物能利用铵盐、硝酸盐同时作为氮源与能源。在碳源物质缺乏的情况下,某些厌氧微生物在厌氧条件下可以利用某些氨基酸作为能源物质。能够被微生物利用的氮源物质包括蛋白质及其不同程度的降解产物(胨、肽、氨基酸等)、铵盐、硝酸盐、分子氮、嘌呤、嘧啶、脲、胺、酰胺和氰化物等。常用的蛋白质类氮源包括蛋白胨、鱼粉、蚕蛹粉、黄豆饼粉、花生饼粉、玉米浆、牛肉膏和酵母浸膏等。微生物对氮源的利用同碳源一样,具有选择性,例如:土霉素产生菌利用玉米浆比利用黄豆饼粉和花生饼粉的速度快,这是因为玉米浆中的氮源物质主要以较易吸收的蛋白质降解产物形式存在,氨基酸等降解产物的氮可以通过转氨作用直接被机体利用,而黄豆饼粉和花生饼粉中的氮主要以大分子蛋白质形式存在,需要进一步降解成小分子的肽和氨基酸后才能被微生物吸收利用,速度较慢。因此玉米浆为速效氮源,黄豆饼粉和花生饼粉为迟效氮源,前者有利于菌体生长,后者有利于代谢产物的形成。在发酵生产土霉素的过程中,往往将两者按一定比例制成混合氮源,以控制菌体生长时期与代谢产物形成时期的协调,达到提高土霉素产量的目的。

微生物吸收利用铵盐和硝酸盐的能力较强,铵根能被细胞吸收后直接利用,因而铵盐一般被称为速效氮源,而硝酸根被吸收后需进一步还原成铵根后被微生物利用。许多腐生性细菌、肠道菌、动植物致病菌等可利用铵盐或硝酸盐作为氮源,例如,大肠杆菌、产气肠杆菌、枯草芽孢杆菌、铜绿假单胞菌等均可利用硫酸铵和硝酸铵作为氮源,放线菌可以利用硝酸钾作为氮源,霉菌可以利用硝酸钠作为氮源。铵盐作为氮源时,由于铵根被吸收,会导致培养基 pH 下降,因而将其称为生理酸性盐;以硝酸盐为氮源培养微生物时,硝酸根被吸收,会导致培养基 pH 升高,因而将其称为生理碱性盐。为避免培养基 pH 变化对微生物生长造成不利影响,需要在培养基中加入缓冲物质。

3. 无机盐

无机盐是微生物生命活动所不可缺少的物质。其主要功能是构成菌丝体成分、作为酶的组成部分、酶的激活剂或抑制剂、调节培养渗透压、调节 pH 和氧化还原电位等。微

生物生长所需的无机盐一般有磷酸盐、硫酸盐、氯化物以及含有钠、钾、钙、镁、铁等金属元素的化合物。

在微生物的生长过程中还需要一些微量元素,微量元素是指那些在微生物生长过程中起重要作用,而机体对其需要量极其微小的元素,通常需要量在 $10^{-8} \sim 10^{-6} \text{ mol/L}$ (培养基中含量)。微量元素一般参与酶的组成或使酶活化。

如果微生物在生长过程中缺乏微量元素,会导致细胞生理活性降低甚至停止生长。由于不同微生物对营养物质的需求不尽相同,微量元素这个概念也是相对的。微量元素通常混杂在天然有机营养物、无机化合物、自来水、蒸馏水等中,如果没有特殊原因,在配制培养基时没有必要另外加入微量元素。值得注意的是,许多微量元素是重金属,如果它们过量,就会对机体产生毒害作用,而且单独一种微量元素过量产生的毒害作用更大,因此有必要将培养基中微量元素的量控制在正常范围内,并注意各种微量元素之间保持恰当比例。

4. pH

pH 也是一项重要的参数,发酵液 pH 影响微生物细胞原生质的电荷,引起各种酶活力的改变,从而影响菌丝体对底物的利用速度和细胞的结构,并抑制菌丝体的生长和产物的合成。培养基的 pH 必须控制在一定的范围内,以满足不同类型的生长繁殖或产生代谢产物。各类微生物生长繁殖或产生代谢产物的最适 pH 条件各不相同,一般情况下,霉菌和酵母菌比较适于生长在微酸性环境,放线菌和细菌适于中性或微碱性环境。值得注意的是,在微生物生长繁殖和代谢过程中,由于营养物质被分解利用和代谢产物的形成与积累,会导致培养基 pH 发生变化,若不对培养基 pH 条件进行控制,往往导致微生物生长速度或代谢产物产量降低。因此,为了维持培养基 pH 的相对恒定,通常在培养基中加入 pH 缓冲剂,常用的缓冲剂为一氢和二氢磷酸盐组成的混合物。 K_2HPO_4 呈碱性, KH_2PO_4 呈酸性,两种物质的等摩尔混合溶液的 pH 为 6.58。当培养基中 OH^- 浓度增加, OH^- 则与弱磷酸盐结合形成弱碱性化合物,培养基 pH 也不会过度升高。但磷酸缓冲系统对 pH 的调节作用有一定的范围(pH 6.4~7.2)。有些微生物,如乳酸菌能大量产酸,上述缓冲系统就难以起到缓冲作用,此时可在培养基中添加难溶的碳酸盐(如碳酸

药用真菌桑黄生物学与开发利用

006

钙)来进行调节,碳酸钙难溶于水,不会使培养基 pH 过度升高,但它可以不断中和微生物产生的酸,释放出二氧化碳,将培养基 pH 控制在一定范围内。在培养基中还存在一些天然的缓冲系统,如氨基酸、肽、蛋白质都属于两性电解质,也可以产生缓冲作用。

细菌合成多糖的 pH 一般是 6.0~7.5,而利于真菌合成多糖的 pH 则为 4.0~5.5。细胞生长过程的最适 pH 和多糖合成的最适 pH 常常是不一样的。对桑黄(*P. linteus*)的研究发现,pH 在 6.5 时最适菌丝体生长,4.5~5.5 时胞外多糖产量最高。于是采用两步法培养菌丝,在前 48 h 控制 pH 在 6.5 以促进菌丝生长,然后将 pH 控制在 4.5~5.5 以促进胞外多糖的合成,使菌丝和胞外多糖产量都明显提高了。在 pH 响应曲线有较宽的平稳段,可以通过调节培养基成分将 pH 局限在很窄的范围内,许多成功的工业发酵已非常有效地应用培养基的缓冲能力控制 pH,而不是用更准确的电子仪器反馈控制的方法。不过,虽然生长的最适 pH 范围可能较宽,但在此范围内 pH 的突然变化可能会引起代谢的暂时干扰。微生物需要调节其自身的代谢活动以适应氢离子浓度的改变,如果这种改变太快,那么微生物的响应便会滞后或过头。在许多复杂的传统发酵中,微生物的不同 pH 范围已得到应用。这些发酵需要一系列的菌种相继占主导地位以完成发酵过程,比如酱油发酵的生态环境便是高度复杂和精确的,此过程依赖于耐盐的片球菌在曲子和盐水混合物中进行的发酵,这样可以有效地降低 pH 以利于酵母生长。

5. 温度

微生物细胞内温度必须与所处的环境温度相同,而且就任何化学反应而论,微生物所有的活动对环境温度都是敏感的。已经证明嗜冷微生物、嗜温微生物、嗜热微生物的细胞组成有明显的不同,而且,已经证明嗜温微生物在从生长温度范围的低限转向高限的过程中发生的适应性变化,同时迹象表明某些细胞要素对最高温度和最低温度的确定是很重要的。

温度对细胞的影响主要表现在以下几个方面:若要细胞膜发挥功能,其磷脂双分子层必须具有相对的流动性。具有不饱和脂肪酸的膜磷脂的熔点低于具有饱和脂肪酸的膜磷脂。因此,调节膜的组成,可以使细胞在生长范围内的温度下,维持合适的膜流动性。这个过程叫做恒黏适应。实验证明嗜温菌大肠杆菌和枯草杆菌中,磷脂中的不饱和

脂肪酸的比例随生长温度的降低而增加。嗜冷菌的磷脂比嗜温菌的不饱和脂酰基含量高。此外,后者具有更高比例的长链饱和的或异位分支的脂肪酸。极端的嗜酸嗜热菌,它们是古细菌中的成员,具有含醚键的磷脂和一定比例的贯穿膜的脂质分子,这一特殊结构可能会提高膜的热稳定性。提高生长温度往往会使占细胞群体一定比例的细胞的质粒丢失,这一过程称为自愈,变形菌中天然存在的质粒 pRts1 和 pR401 具有由质粒编码的对温度敏感的复制功能,因此自生长过程中温度由 25 °C 升到 42 °C 将导致细胞的迅速自愈。当温度降低时, RNA 对蛋白质的比率就会上升,这种变化是蛋白质合成效率下降的反映。作为蛋白质合成效率下降的补偿,细胞中形成更多的核糖体,同时细胞体积增大以适应这些变化。温度升高,蛋白质的变性率通常也会升高。变性率随温度的变化遵从 Arrhenius 定律,在某些情况下,热变性是可逆的。蛋白质热失活的必然结果是微生物代谢随温度而变化。许多微生物在温度高于最适温度时会表现出特定的生长需求,这种现象暗示特定的酶合成或者酶本身对温度是敏感的。在过程优化中,温度对细胞生长和产物合成的影响是不同的。一般,发酵温度升高,酶反应速率增大,生长代谢加快,生产期提前。但酶本身很容易因为过热而失去活性,表现为菌丝体容易衰老,发酵周期缩短,影响最终产量。

彭志英等的研究表明,少动鞘脂单胞菌在培养温度从 21 °C 到 33 °C 时,发现随温度升高,发酵液中生物量产量增加,菌丝体在较高温度下生长良好,但温度为 25 °C 时,产胶量最大。温度除了会影响胞外多糖产量外,还会影响多糖性质。温度的变化会引起纤维素分子量长度及其水结合能力的改变,在 25 °C 及 35 °C 培养条件下合成的纤维素进行对比,30 °C 条件下合成的纤维素具有较低的分子长度(约 10000)和较高的亲水能力(约 164%)。

微生物培养对温度变化的响应既取决于变化幅度的大小又取决于这一变化的速率。将细菌培养物的温度迅速提高约 10 °C,细菌的生长通常会有几小时的滞后,在这段时间里细胞合成 RNA(主要是 rRNA)和蛋白质。相比之下,细菌细胞对于 1 °C~2 °C 的小幅度的升温,或者在长时间内完成的较大幅度的升温,都能很快适应。这是因为在给定温度下生长的培养物的生长能力(生物大分子、酶的活性、呼吸活性和输送能力)会有轻微

的过剩。对降温的响应一般不是上述的滞后现象,而是在有限长度时间里,通过细胞成分的周转和分解,减少生长能力的积存量,以响应降温条件下细胞的较低需求。温度对由基质向菌体细胞转化的效率的影响非常重要。温度可能影响基质的利用率,因为温度可改变溶解度,温度可提高生成基质和化学复合物的化学反应的速率。多聚体基质如淀粉和纤维素在较高温度下可能更容易降解,因为在较高温度下一些特定的酶的活力较高或某些嗜热的酶受到诱导。最适于生长的温度对产物形成不一定是合适的,特别是产物形成不与生长相偶联的发酵中,比如在许多次级代谢产物发酵中。另外,不同的生产菌株会有不同的适于生长和生产的最适温度,因此在任何选育突变株的方案中,为每一菌株选配各自生长和产物形成的最适温度通常是必需的。

总之,在大多数微生物中,没有一种因素是唯一决定最高和最低温度的,但是膜的组成改变、DNA 表达、蛋白质合成及蛋白质稳定性等因素的相互作用就有可能使生长在一定温度下停下来。

6. 溶氧

溶氧是需氧微生物生长所必需的。氧在水中的溶解度很低,在 28℃ 向发酵液中通入空气,氧的饱和溶解度只是 7 mg/L 左右,比糖的溶解度小 7000 倍。在对数生长期即使发酵液中的溶氧能达到 100% 空气饱和度,若此时停止供氧,发酵液中溶解氧可在几分钟之内耗尽。

一般来说,多糖的合成需氧量较大。凝胶多糖的生产中高度需氧,因此充足的供氧是生产过程中的一个关键因素。要使胞外多糖的产量达到最高就需要很高的溶氧浓度。其原因是凝胶多糖在水中不溶,发酵液黏度相对较低,氧气从气相转移到液相阻力较小。但是,细胞周围一层不溶性胞外高聚物对氧气从液相中转移到细胞内造成了障碍。一些资料表明同等情况下在固体培养基中比在液体培养基中能产生更多的胞外多糖,这可能也是因为在氧气充分的条件下有利于生物合成胞外多糖。有挡板的三角瓶在发酵过程中溶氧量比无挡板的大得多,而这更有利于该菌种生长和产糖。唐明等在两组 500 mL 的三角瓶中,分别装入等量的 125 mL 发酵培养基,其中一组三角瓶具有一块玻璃挡板,通过 96 h 的摇瓶培养,结果显示有挡板的三角瓶多糖含量为 13.48 mg/mL,而无挡板的三角瓶多糖含量为