

# 微生物发酵生产多糖的研究进展

郭敏 张宝善\* 金晓辉

(陕西师范大学食品工程与营养科学学院 西安 710062)

**摘要:** 微生物是一种能生产多糖的可再生资源, 微生物多糖因独特的生理活性和广阔的应用前景而备受人们的关注。本文阐述了微生物多糖的产生菌和发酵培养条件等方面的研究进展, 以期对微生物多糖的深入研究和广泛应用有一定的指导意义。

**关键词:** 发酵, 微生物多糖

## Research Progress on Fermentation of Microbial Polysaccharide

GUO Min ZHANG Bao-Shan\* JIN Xiao-Hui

(College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062)

**Abstract:** Microbial is a renewable resource which can produce polysaccharide. Its unique physiological activities and broad applications are attracting increasing attention. In this article, the source and the fermentation conditions of microbial polysaccharide was reviewed, with a view to provide a scientific basis for the production of the microbial polysaccharide.

**Keywords:** Fermentation, Microbial polysaccharide

多糖是指由 20 个以上单糖组成的糖类化合物, 根据糖类组成不同, 可分为同多糖和杂多糖; 根据来源不同, 又可分为植物多糖、动物多糖和微生物多糖。微生物多糖是细菌、真菌和蓝藻等微生物在代谢过程中产生的对微生物有保护作用的生物高聚物, 根据在细胞内不同的存在形式, 通常被分为 3 种类型: 构成微生物细胞成分的胞内多糖; 黏附在细胞表面上的胞壁多糖; 分泌到培养基中的胞外多糖, 包括微荚膜、荚膜、黏液层和菌胶团。

微生物多糖除了对细菌自身具有生物学意义外, 更重要的是由于它具有安全无毒、理化性质独特、用途广泛、易与菌体分离及可通过深层发酵实现工业化生产等优良特性而倍受关注。与植物多糖相比,

微生物多糖的生产周期短, 不受季节、地域和病虫害条件的限制, 具有较强的市场竞争力和广阔的发展前景, 越来越受到人们的关注, 据估计, 全世界微生物多糖年工业产值可达 50 亿~100 亿美元<sup>[1]</sup>。本文围绕微生物多糖, 总结了国内外学者有关发酵产微生物多糖的研究成果, 阐述了微生物多糖的产生菌及发酵条件, 希望推动对微生物多糖的深入研究和广泛应用。

### 1 微生物多糖产生菌

#### 1.1 细菌

细菌是微生物多糖生产的来源之一。近年来, 随着人们对细菌产微生物多糖的生物学活性与免疫

\* 通讯作者: ✉ baoshan2@snnu.edu.cn

收稿日期: 2007-11-28; 接受日期: 2008-01-21

功能的认知, 开发和利用细菌生产各种微生物多糖的研究已成为热点。如今对细菌胞外多糖的理论研究主要集中在产生菌的资源开发、活性多糖的代谢与调控机理、分子结构与功能的关系、多糖在生物相互作用与信息传递作用等方面, 对于揭示生命活动的奥秘有着重要而深远的意义。

**1.1.1 乳酸菌:** 乳酸菌胞外多糖是细菌产微生物多糖中研究较多的一类。乳酸菌(lactic acid bacteria, LAB)胞外多糖(extracellular polysaccharide, EPS)是乳酸菌在生长代谢过程中分泌到细胞壁外, 常渗透与培养基中的荚膜多糖和粘液多糖的总称。乳酸菌胞外多糖根据其所在位置, 可分为荚膜多糖和粘液多糖。与细胞壁相结合的胞外多糖称为荚膜多糖(capsular polysaccharide), 释放到培养基中的多糖称为粘液多糖(mucus polysaccharide); 按合成位点和合成模式不同, 可分为同源多糖与异源多糖。同源多糖(homopolysaccharide)是由 $\alpha, \beta$ -D-吡喃葡聚糖残基组成的、带有支链的长链分子。异源多糖(heteropolysaccharide)由嗜温和嗜热链球乳酸菌所产生, 重复单元主要含有 D-葡萄糖、D-半乳糖、L-鼠李糖、甘露糖等, 有些含有 N-乙酰葡糖胺、N-乙酰半乳糖胺或者葡糖醛酸。

大多数产胞外多糖的乳酸菌来自于乳制品, 也能从发酵肉制品中分离得到。常见的乳品工业生产菌如德氏乳杆菌保加利亚亚种(*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*)、瑞士乳杆菌(*Lac. helveticum*)、干酪乳杆菌干酪亚种(*Lac. casei* subsp. *casei*)、酒样乳杆菌(*Lac. kefiranofaciens*)、嗜酸乳杆菌(*Lac. acidophilus*)、嗜热链球菌(*Streptococcus*

*thermo-philus*)、乳酸乳球菌乳脂亚种(*Lac. lactis* subsp. *cremoris*)、乳酸乳球菌(*Lac. lactis*)、肠膜明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*)等均能产胞外多糖。

如何从大量上述产微生物胞外多糖的乳酸菌中提取和纯化胞外多糖是专家学者进行研究的首要问题。王静颖<sup>[2]</sup>从保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌的牛乳培养基中提取胞外多糖, 并进行纯化, 得到胞外多糖纯品。顾笑梅等<sup>[3]</sup>对一株产胞外多糖的乳酸菌 Z<sub>222</sub> 菌株的培养条件进行了优化, 得到一种纤维状白色固体胞外多糖。

提取和纯化条件的研究为乳酸菌胞外多糖的进一步研究开发奠定了基础。在此研究基础上, 选用适当的发酵条件, 提高其生物合成量, 逐渐成为研究热点。乳酸菌胞外多糖的生物合成量在很大方面取决于培养基的化学组成及菌株的生长条件, 即温度、pH 值和培养时间等。在表 1 中我们可以清楚地了解到不同的乳酸菌在不同的发酵条件下, 合成胞外多糖能力的大小。

近年来, 关于乳酸菌产胞外多糖主要集中于对其生理活性及其应用的研究。目前对乳杆菌属(*Lactobacillus*)、链球菌属(*Streptococcus*)、明串珠菌属(*Leuconostoc*)和乳球菌属(*Lactococcus*)等几个属的乳酸菌胞外多糖研究较多。由肠膜明串珠菌生产的右旋糖酐是最早被开发利用的乳酸菌胞外多糖, 也是 FDA 批准的第一种可用于食品的微生物胞外多糖。Kitazawa 等从保加利亚乳杆菌 OLL1073R21 中分离出来的胞外脂多糖具有增加巨噬细胞的作用。Alan D Welman 等<sup>[4]</sup>发现乳酸菌多糖具有抗肿瘤活性。

表 1 不同乳酸菌胞外多糖的生物合成量  
Table 1 The biosynthesis of different exopolysaccharides by LAB

菌种 Strain	温度( ) Temperature	pH	合成量(mg/L) Biosynthesis
干酪乳杆菌 CRL87 ( <i>Lac. casei</i> CRL87)	30	6	448
德氏乳杆菌保加利亚亚种 ( <i>Lac. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> )	38	5	354
乳酸乳球菌乳脂亚种 LC330 ( <i>Lac. lactis</i> subsp. <i>cremoris</i> LC330)	20		55
开菲尔粒(Kefir Grains)	30	6.8	300~400
唾液链球菌嗜热亚种 ( <i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> )	30	6	114
乳酸乳球菌乳脂亚种 ( <i>Lac. lactis</i> subsp. <i>cremoris</i> )	18	6.8	500
米酒乳杆菌 BXR-5-3 ( <i>Lac. sake</i> BXR-5-3)	35	7	155.39

随着人们对乳酸菌胞外多糖生物活性与生理功能的认知,今后对乳酸菌胞外多糖的理论研究主要集中在:1)结构与功能的关系。微生物多糖的结构与生理功能之间的关系,目前尚不清楚。2)乳酸菌胞外多糖合成的途径。目前的研究成果主要集中在其合成条件,合成途径方面还尚待研究。3)如何提高胞外多糖的产量。4)乳酸菌胞外多糖的遗传学特性。

**1.1.2 黄原胶:**黄原胶(xanthan gum),是另外一种细菌产微生物胞外多糖。其主链与纤维素相同,是由 $\alpha$ -1, 4-糖苷键连接的葡萄糖,每隔一个葡萄糖有一个侧链相连接,侧链由甘露糖、葡萄糖醛酸和甘露糖组成,连接主链的甘露糖被乙酰化,在末端的甘露糖的羟基与丙酮酸的羰基形成缩醛。它属于水溶性胶,具有良好的水溶性、增黏性、假塑性和耐酸碱、耐盐、耐酶解的能力。现代工业生产上发酵黄原胶的菌种一般采用野油菜黄单胞菌(亦名甘蓝黑腐病黄单胞菌)(*Xanthomonas campestris*)、菜豆黄单胞菌(*X. phaseoli*)、锦葵黄单胞菌(*X. malvacearum*)和胡萝卜黄单胞菌(*X. carotae*)。表 2<sup>[5]</sup>简要介绍了发

酵黄原胶的菌株和主要成分。

**1.1.3 结冷胶:**结冷胶(gellan gum)是继黄原胶之后能广泛应用于食品工业的细菌产微生物多糖。Kang等1982年首次报道了实验室规模通过假单胞菌成功生产结冷胶。结冷胶及结冷胶类多糖的商业规模生产是Kelco公司进行的。1988年日本成功地完成了结冷胶的毒理实验并准许结冷胶在食品中应用。1992年,美国食品与药物管理局(FDA)批准结冷胶作为稳定剂和粘结剂在食品中广泛使用。结冷胶是由葡萄糖、鼠李糖和葡萄糖醛酸,按组成比例大约为2:1:1组合而成<sup>[6]</sup>。

最初能产生结冷胶的微生物是革兰氏阴性菌——伊乐藻假单胞杆菌(*Pseudomonas elodea*)从水百合上分离获得,在有氧条件下可产生胞外多糖,后确认为少动鞘脂单胞菌(*Sphingomonas paucimobilis*)。Pollock等指出少动假单胞菌可以从土壤(可以降解木质素和聚氯二苯基)、植物体中(莴苣、生菜致病菌)和医院临床标本和水样中得到。现代在工业上发酵生产结冷胶的菌种主要使用少动鞘脂单胞菌。

表 2 发酵黄原胶的菌株及主要成分  
Table 2 Composition of xanthan preparations

菌种(Strain)	近似的摩尔率(Approximate molar ratio)				
	葡萄糖 Glucose	甘露糖 Mannose	葡萄糖醛酸 Glucuronic acid	醋酸盐 Acetate	丙酮酸酯 Pyruvate
野油菜黄单胞菌 ( <i>X. campestris</i> )	2.0	1.8	1.0	1.0	0.7
菜豆黄单胞菌 556 ( <i>X. phaseoli</i> 556)	2.0	1.9	1.0	0.1	0.7
菜豆黄单胞菌 1128 ( <i>X. phaseoli</i> 1128)	2.0	1.9	1.0	1.0	0.1
唐菖蒲细菌叶斑病黄单胞菌 2182 ( <i>X. gummysudans</i> 2182)	2.0	1.9	1.0	1.5	0.7
稻白叶枯黄杆菌 PX061 ( <i>X. oryzae</i> PX061)	2.0	1.9	1.0	2.0	0.0
野油菜黄单胞菌 <i>X. campestris</i> BD9A	2.0	0.8	0.8	0.2	0.1
突变体 Mutant	2.0	1.0	1.0	1.0	0.0
突变体 Mutant	2.0	1.0	1.0	0.0	0.0
突变体 Mutant	2.0	1.0	1.0	1.0	0.0
突变体 Mutant	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0

## 1.2 真菌

真菌含有丰富的营养物质,如多种氨基酸、维生素、矿物质和多糖等。各种食(药)用真菌的活性成分主要在于其中的真菌多糖。它具有调节免疫机体、降低血脂、抗血凝、抗血栓等生物活性,特别是作为免疫增强剂可以提高肿瘤患者的获得性非特异性免疫能力,而且通过细胞介导效应,将抗原刺

激的信息传递给免疫活性T细胞和B细胞,促进特异性免疫反应的产生,从而具有很强的抗肿瘤活性,且毒性很小<sup>[7]</sup>。因此从真菌中寻找抗癌药物以及提高人体免疫力的功能因子已为世界瞩目,这是一个亟待开发的自然宝库。但是由于许多真菌野生资源稀少、人工在栽培难度大、价格昂贵等因素都限制的真菌类产品的研究与开发。而采用发酵法生产的

真菌提取多糖具有周期短、成本低、产量大、易于大规模生产的优点,是一种大量获得真菌多糖的有效途径,对真菌多糖在生命科学、医药科学的研究与开发有重要意义。

**1.2.1 食用菌:** 国内外有关食用菌多糖的研究报道很多,主要集中于食用菌培养、多糖提取、结构分析和功能等方面。常见的可产生多糖的食用菌种类见表 3。

表 3 食用菌多糖的来源及特性<sup>[7-13]</sup>  
Table 3 The source and characteristic of domestic fungus polysaccharide

名称 Nomenclature	来源 Source	结构 Structure	分子量 Molecular weights	生理活性 Physiological activity
香菇多糖 Lentinan	香菇	$\beta$ -(1-6)分枝的 $\beta$ -(1-3)葡聚糖	500000	抗肿瘤,增强免疫活性等
云芝多糖 Krestin Polysaccharide	云芝菌丝	$\beta$ -(1-4) 葡聚糖(6位分枝) 含少量肽	50000~100000	增强免疫活性、降血压
灵芝多糖 Ganoderma lucidum polysaccharide	灵芝	$\beta$ 和 $\alpha$ (1-4), $\beta$ -(1-6)和(1-3)阿拉伯木葡聚糖	40000	免疫调节和抗癌活性
木耳多糖 Auricularia auricula-judae polysaccharide	黑木耳	2,6 分枝的 $\alpha$ -(1-3)甘露聚糖(分枝葡萄糖酸和木糖)	370000	降血压、抗溃疡、抗衰老、增强及机体免疫力
茯苓多糖 Poria coccus Polysaccharide	茯苓	$\beta$ -(1-3)葡聚糖	500000	抗肿瘤、抗病毒、免疫调节
裂皱多糖 Schizophyllum commune Polysaccharide	裂皱菌	6 位分枝 $\beta$ -(1-3)葡聚糖	400000	抗肿瘤
桑黄多糖 Phellinus igniarius polysaccharide	桑黄	$\beta$ -(1 3)-D-葡萄糖为主链, $\beta$ -(1 6)-D-葡萄糖为侧链 的蛋白杂多糖。	1500000	抗肿瘤、增强免疫、抗纤维化、抗氧化、降血糖
猴头菌多糖 Heridium erinaceus polysaccharide	猴头菌属 子实体、菌丝体	葡萄糖、半乳糖、岩藻糖按 1.00 2.110 0.423 组成	50000	抗肿瘤增强免疫力、抗衰老、抗突变
冬虫夏草多糖 Cordyceps sinensis Polysaccharide	冬虫夏草菌丝体	葡萄糖、半乳糖、甘露糖按 1.00 2.21 0.36 组成	450000	免疫调节、降血糖、抗肿瘤等
银耳多糖 Tremella Polysaccharide	银耳	鼠李糖、木糖、果糖、葡萄糖按 0.29 1.00 1.01 1.78 组成	1300000~1500000	抗肿瘤、抗辐射等

**1.2.2 短梗霉多糖:** 短梗霉多糖(pullulan), 又称茁霉多糖或卜多糖, 是半知菌纲真菌出芽短梗霉, 又称出芽侧茁霉(*Aureobasidium pullulan* 或 *Pullularia pullulans*) 次级代谢得到的一种胞外多糖, 现通称为短梗霉多糖。其结构基本上为 $\alpha$ -1,4-糖苷键连接的麦芽三糖重复单位经 $\alpha$ -1,6-糖苷键聚合而成的直链状多糖。其中,  $\alpha$ -1,4-糖苷键同 $\alpha$ -1,6-糖苷键的比例为2:1。目前生产短梗霉多糖的微生物有出芽短梗孢霉菌属(*Aureobasidium pullulans*), 如出芽茁霉, 一种具有酵母型和菌丝型形态的多形真菌, 菌落最初黏稠, 灰白色, 很快转变为淡绿色, 最终为黑色。菌落质地由黏稠状到坚硬和革状, 菌落边缘呈明显的根状。无性繁殖方式多样, 主要类似于酵母菌的多边芽殖形式到形成明显的真菌丝。常具有节孢子、厚垣孢子、芽分生孢子。幼龄营养细胞椭圆形至柠檬

形,代谢为氧化型。另外还有发酵茁霉(*P. fermentans*)、发酵茁霉暗色变种(*P. fermentans* var. *fusca*)、出芽暗色孢霉(*Dematium pullulans*)和产气杆菌(*Aerobacteraerogenes*)等。

## 2 微生物多糖生产的主要发酵条件

### 2.1 细菌

碳源(carbon source)是提供微生物营养所需的碳元素的营养源。除水分之外, 碳源是微生物需要量最大的营养物, 碳源也决定微生物所产多糖的质量和数量。不同碳源及其组合对微生物的生长和微生物多糖的合成有一定的影响。对于乳酸菌和产结冷胶的细菌而言, 葡萄糖、乳糖或葡萄糖和乳糖的组合都可以作为最佳碳源之一。Cerning等<sup>[14]</sup>研究了半乳糖、葡萄糖、乳糖、蔗糖、麦芽糖和蜜二糖对

干酪乳杆菌CG11 产胞外多糖的影响,发现该菌的最佳碳源为葡萄糖。白丽娟等<sup>[15]</sup>研究发现在乳酸菌的生长的胞外多糖合成的液体培养基中,单独添加葡萄糖/麦芽糖或葡萄糖和乳糖的组合作为碳源,均有助于细菌生长和胞外多糖的产生。Gancel F等对唾液链球菌嗜热亚种发酵生产胞外多糖的研究发现用乳糖时胞外多糖生成量最大。Mozzi F等对干酪乳杆菌胞外多糖生物合成研究发现,在合成培养基中加入半乳糖,更有利于胞外多糖生物合成。Arsnio M等比较了葡萄糖、乳糖和新鲜的干酪乳清等碳源对 *S. paucimobilis* ATCC31461 发酵生产结冷胶的影响,发现最佳碳源为葡萄糖。但葡萄糖和乳糖相比,其合成的结冷胶聚合物的乙酰化程度要低。而对于其它细菌而言,蔗糖为最佳碳源。如唾液链球菌,只有在含有蔗糖的培养基中才能产生左旋糖酐,同时也能产生其他荚膜多糖。

凡能提供微生物生长繁殖所需氮元素的营养源,称为氮源(nitrogen source)。氮是构成重要生命物质蛋白质和核酸等的主要元素,氮占细菌干重的12%~15%,故与碳源相似,氮源也是微生物的主要营养物。在微生物培养基成分中,最常用的有机氮源是:牛肉膏、酵母膏、植物的饼粕粉以及由动、植物蛋白质经酶消化后的各种蛋白胨。然而,对于不同的微生物,其最适氮源也有所区别。Chandra PP等<sup>[16]</sup>研究发现酵母膏是菌丝体多糖和胞内多糖最适的氮源。刘红英等<sup>[17]</sup>从海带浸泡液中分离得到 *Klebsiella oxytoca* XCH-1 菌,研究了 *Klebsiella oxytoca* XCH-1 菌产胞外多糖的摇瓶发酵情况,发现其培养基的最适氮源为硫酸铵。West等通过实验发现用大豆油胨、玉米浆或玉米粉、蛋白胨等有机氮源代替培养基中的  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,都能使结冷胶的产量提高,其中以大豆油胨为最好。由上述实验结果可知,对于细菌类产多糖微生物而言,氮源的选择较为广泛,对于不同的细菌而言都有其最适的氮源,但总体而言,有机氮源的效果要好一些。

不同种类的微生物有其最适生长的pH值,即使同一种微生物在其不同的生长阶段和不同的生理、生化过程,也有不同的最适pH要求。因此微生物多糖的产量在一定程度上受发酵液起始pH的影响。绝大多数乳酸菌产胞外多糖的最适pH在 6.5~7.0 之间。白丽娟等<sup>[15]</sup>利用对米酒乳杆菌BXR-5-3 产胞

外多糖的发酵条件进行研究,发现该菌生物合成胞外多糖的适宜pH为 7.0。黄原胶是一种酸性多糖,发酵生产过程随着黄原胶的合成,pH 位会逐渐降低,如pH值降至 5.0 以下时,黄原胶的生物合成则减慢甚至停止,发酵过程最适pH为 7.0。结冷胶种子培育的最适初始pH为 7.0。West研究发现用 *S. paucimobilis* ATCC31461 生产结冷胶的最佳 pH 在 6.8~7.4 之间。但少数也有例外,如Van DB等研究了温度和pH 对清酒乳杆菌 0-1 产胞外多糖的影响,发现该菌产胞外多糖的最适pH为 5.8。Kimmel等研究发现,德氏乳杆菌保加利亚亚种在半限制培养基上生长产胞外多糖的最适pH为 5.0。

由于微生物的生命活动多是由一系列的生物化学反应组成的,而这些反应受温度影响又极其明显,故温度成了影响微生物多糖合成的关键因子,一般发酵产生菌的最适温度也是微生物多糖形成的最适温度。Mozzi<sup>[18]</sup>等研究发现在 30 时德氏乳杆菌保加利亚嗜酸乳杆菌和嗜热乳杆菌产胞外多糖的量达到最大。黄原胶生物合成的最适温度为 30 ~31 。West研究了温度对 *S. paucimobilis* ATCC31461 发酵生产结冷胶的影响,结果表明,生产结冷胶的最佳培养温度为 30 ~31 ,尤其对温度比较敏感,若温度下降到 28 以下或升高到 33 以上时,结冷胶的产量比最适温度下的产量大约降低 50%。

## 2.2 真菌

对于真菌产微生物多糖,蔗糖和葡萄糖都可以作为最佳碳源。孙红斌等<sup>[19]</sup>研究了适于液态发酵猴头菌多糖的各常用碳源和氮源。结果表明,猴头菌多糖生物合成的最适碳源为葡萄糖。郭霞等<sup>[20]</sup>分别添加蔗糖、葡萄糖、乳糖、甘露糖、果糖、酵母膏 3010 为碳源,研究发现桑黄菌可以利用多种碳源,不同碳源对菌丝和胞外多糖产量有一定的影响,其中蔗糖作为碳源,菌丝和胞外多糖产量较高。李朔对桑黄的液体发酵培养进行了研究,其配方中黄豆粉、可溶性淀粉、C/N 为 1:1。刘大岭用液体深层培养假密环菌,生产菌丝体复合多糖的发酵条件,使用酵母泥培养基的多糖质量浓度则最高达 1.27 g/L,比马铃薯培养基高出 22.83%。且平均培养时间比马铃薯培养基缩短 12 h。Christian B 用 3 种酶水解淀粉来发酵,发现麦芽糖做底物比蔗糖更适合产短梗霉多糖。Reeslev M 研究短梗霉氮源与碳

源比例时发现,当发酵液为氮源限制时,酵母状细胞:菌丝体=40:60,多糖产量在比较高的一个水平;当发酵液为碳源限制时,菌丝体占细胞总量的85%~90%,并且没有多糖产出。Bradley S 通过用NaNO<sub>3</sub>研究出芽短梗霉发酵条件,表明氮源浓度为0.065 g/L~0.126 g/L时,发酵效果较好,而且发现并不是氮源耗尽才开始多糖合成,这一点与以前的研究不同。Badr-Eldin等<sup>[21]</sup>比较了8种碳源对出芽短梗霉NRL6200合成短梗霉多糖的影响,发现10%蔗糖是合成短梗霉多糖的最佳碳源,其次是果糖和麦芽糖。蔗糖成为最佳碳源可能是由于蔗糖被利用时,首先被水解为葡萄糖和果糖,这一水解作用能激活短梗霉多糖合成酶系,再加之果糖异构化的刺激作用,能提高多糖产量。

有文献报道真菌最适pH是4.0~4.5。可是实际研究表明,其最适pH要大于这个值。Qing HF 研究灵芝多糖的发酵生产时认为,pH在3.5~7.0时对细胞的成长和合成灵芝多糖有明显作用,当pH 6.5时,生物合成量最大。Xiao JH 等<sup>[22]</sup>研究发现冬虫夏草菌丝体胞内多糖的最适菌丝体生长的液体发酵起始pH为7。

发酵温度也是影响真菌产微生物多糖的一个重要因素。Xiao JH等<sup>[23]</sup>研究发现冬虫夏草菌丝体胞内多糖的最适菌丝体生长的液体发酵温度为28℃。曾晓希等发现灵芝多糖液体发酵的最佳发酵温度为28℃。王长海通过对出芽短梗霉发酵条件研究发现低于15℃和高于37℃对菌体生长和多糖的产量都有很大影响,在种子培养时可适当将温度调高到29℃左右,有利于菌体生长,而在发酵时,考虑到多糖产量和耗能可将发酵温度控制在28℃左右。由此可见,真菌产微生物多糖的最适发酵温度大部分在28~29℃。

除此之外,生长因子也对真菌多糖的产量有一定的影响。生长因子(growth factor)是一类对微生物正常代谢必不可少且不能利用简单的碳源或氮源自身合成的有机物。它在微生物多糖的发酵过程中需要量一般很少。广义的生长因子除维生素外,还包括碱基、甾醇、胺类、以及需要量较大的氨基酸;狭义的生长因子一般仅指维生素。孙红斌等<sup>[24]</sup>研究发现维生素B<sub>1</sub>可以大幅度提高液态发酵猴头菌多糖的产量。

### 3 结语

微生物多糖是微生物发酵工业的新产品,它比动物多糖、植物多糖有更广泛的应用,而且它的生产受地理环境、气候、自然灾害等因素的影响较小,生产周期短,产量及质量都很稳定,性价比较高,其各方面的性能不仅优良而且有着其它多糖不具备的特殊功用。它在很大程度上能满足人们对天然无公害食品的需求。随着生产技术的不断提高,微生物多糖在工业中的应用范围将不断拓宽。

### 参 考 文 献

- [1] 刘清泉. 几种极具商业价值的新型微生物多糖的功能及应用. 中国食品添加剂, 2004, 6: 7-13.
- [2] 王静颖. 乳酸菌胞外多糖的提取与纯化. 聊城大学学报(自然科学版), 2006, 19(4): 46-48.
- [3] 顾笑梅, 孔 健, 王富生, 等. 一株乳酸菌所产胞外多糖对荷瘤小鼠机体免疫功能影响的研究. 微生物学报, 2003, 43(4): 251-255.
- [4] Welman AD, Maddox IS. Exopolysaccharides from *lactic acid bacteria*: perspectives and challenges. *J Trends in Biotechnology*, 2003, 21(6): 269-274.
- [5] Sutherland IW. Microbial polysaccharides from Gram-negative bacteria. *J International Dairy*, 2001, 11(9): 663-674.
- [6] Doner LW. Rapid purification of commercial gellan gum to highly soluble and gellable monovalent cation salts. *J Carbohydrate Polymers*, 1997, 32: 245-247.
- [7] 方积年. 多糖研究现状. 药学学报, 1986, 21(1): 944-950.
- [8] Kupfahl C, Geginat G, Hof H. Lentinan has a stimulatory effect on innate and adaptive immunity against murine *Listeria monocytogenes* infection. *J International Immunopharmacology*, 2006, 6(4): 686-696.
- [9] Markovaa N, Kussovskia V, Drandarskab I, et al. Protective activity of lentinan in experimental tuberculosis. *J International Immunopharmacology*, 2003, 3(10-11): 1557-1562.
- [10] Zhaojing W, Dianhui L, Zhongyan L. Structure of polysaccharides from the fruiting body of *Hericium erinaceus* Pers. *J Carbohydrate Polymers*, 2004, 57(3): 241-247.
- [11] Kim JM, Chang UJ, et al. Antifatigue and antistress effect of the hot-water extract from mycelia of *Cordyceps sinensis*. *J Biology Pharmacy Bull*, 2003, 26(5): 691-694.
- [12] Cho EJ, Oh JY, Chang HY, et al. Production of exopolysaccharides by submerged mycelial culture of a mushroom *Tremella fuciformis*. *J Journal of*

- Tremella fuciformis*. *J Journal of Biotechnology*, 2006, **127**(1): 129-140.
- [13] 颜 军, 郭晓强, 邹晓勇, 等. 非衍生化 HPLC 法分析银耳多糖中单糖组成的初步研究. *食品科学*, 2007, **28**(7): 446-449.
- [14] Cerning J, Renard CMGC, Thibault JF. Carbon source requirements for exopolysaccharides production by *Lactobacillus casei* CG11 and partial structure analysis of the polymer. *J Application and Environment Microbial*, 1994, **60**(11): 3914-3919.
- [15] 白丽娟, 殷文政, 钱建伟. 乳酸菌胞外多糖生物合成条件的研究. *畜牧与饲料科学*, 2006, **1**: 22-24.
- [16] Pokhrel CP, Ohga S. Submerged culture conditions for mycelial yield and polysaccharides production by *Lycopodium decastes*. *J Food Chemistry*, 2007, **105**(2): 641-646.
- [17] 刘红英, 薛长湖, 王 琦, 等. *Klebsiella oxytoca* XCH-1 菌产胞外粗多糖发酵. *无锡轻工大学学报*, 2004, **23**(5): 16-20.
- [18] Gassem MA, Schmidt KA, Frank JF. Exopolysaccharide production in different media by lactic acid bacteria. *J Cultured Dairy Products*, 1995, **30**(3): 18-21.
- [19] 孙红斌, 刘梅森, 陈海晏. 液态发酵猴头菌多糖工艺优化研究(I)—碳、氮源对得率的影响. *食品与发酵工业*, 2001, **27**(9): 30-33.
- [20] 郭 霞, 邹 祥, 孙 敏. 发酵法生产桑黄胞外多糖条件的研究. *食品与发酵工业*, 2007, **33**(2): 85-88.
- [21] Badr-Eldin SM, ElTayeb OM, ElMasry H, et al. Polysaccharide production by *Aureobasidium pullulans*: factors affecting polysaccharide fermentation. *J World Journal Microbiology biotechnology*, 1994, **10**(4): 423-426.
- [22] Xiao JH, Chen DX, Xiao Y, et al. Optimization of submerged culture conditions for mycelial polysaccharide production in *Cordyceps pruinosa*. *J Process Biochemistry*, 2004, **39**(12): 2241-2247.
- [23] Xiao JH, Chen DX, Wan WH, et al. Enhanced simultaneous production of mycelia and intracellular polysaccharide in submerged cultivation of *Cordyceps jiangxiensis* using desirability functions. *J Process Biochemistry*, 2006, **41**(8): 1887-1893.
- [24] 孙红斌, 刘梅森, 陈海晏. 液态发酵猴头菌多糖工艺优化研究( )—促生长剂、pH 值、装液量、菌龄及菌种稳定性对多糖产量的影响. *食品与发酵工业*, 2001, **27**(11): 30-32.

## 稿件书写规范

### 专论与综述论文的撰写要点

专论与综述是本刊重要栏目之一, 主要反映国内外微生物学各分支学科研究最新成果和进展, 其内容要求新颖丰富, 观点明确, 论述恰当, 应包含作者自己的工作内容和见解。因此, 作者在动笔之前必须明确选题, 一般原则上应选择在理论和实践中具有重要意义的学科专题进行论述。围绕专题所涉及的各个方面, 在综合分析和评价已有资料基础上提出其演变规律和趋势, 即掌握其内在的精髓, 深入到专题研究的本质, 论述其发展前景。作者通过回顾、观察和展望, 提出合乎逻辑并具有启迪性的看法和建议。另外, 作者也可以采用以汇集文献资料为主的写作方法, 辅以注释, 客观而有少量评述, 使读者对该专题的过去、现在和将来有一个全面、足够的认识。

需要特别说明的是: 在专论与综述中引用的文献应该主要是近 5 年国内外正式发表的研究论文, 引用文献数量不限。