

微生物在工业上的应用

国外研究近况

中国科学院微生物研究所編

科学出版社

微生物在工业上的应用

(国外研究近况)

中国科学院微生物研究所編

科 学 出 版 社

1970

内 容 简 介

本书根据部分国外资料编写而成。基本内容包括:微生物资源的利用(重点论述细菌、放线菌、真菌、酵母在工业上已经应用和将来能够应用的种类及其用途),微生物的酶及其应用,抗菌素的研究和生产,氨基酸的发酵,核苷和核苷酸的发酵,甾体化合物的微生物转换作用,微生物在矿业上的应用,石油发酵,以及霉腐微生物及其防治等。

微生物在工业上的应用

(国外研究近况)

中国科学院微生物研究所编

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

北京市书刊出版业营业许可出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1970 年 8 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1970 年 8 月第一次印刷 印张: 6

印数: 0001—9,000 字数: 155,000

统一书号: 13031·2388

本社书号: 3614·13—9

定价: 0.65 元

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

对于外国文化，排外主义的方针是錯誤的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借鏡；盲目搬用的方针也是錯誤的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

“无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。”随着斗、批、改的深入发展，一个工农业生产的新高潮正在到来，我们伟大的社会主义祖国以豪迈的战斗步伐跨进了伟大的七十年代。

在伟大领袖毛主席**“备战、备荒、为人民”**和**“独立自主、自力更生”**的伟大方针指引下，微生物在工农业生产上应用的群众性技术革新运动，正在全国各地蓬勃地开展。工人阶级和贫下中农登上上层建筑斗、批、改的政治舞台，工人、贫下中农，科学技术和革命干部三结合，以无限的智慧和创造力，在微生物学领域内创造出了光辉灿烂的新篇章。

为了适应我国微生物工业的发展，遵循伟大领袖毛主席**“洋为中用”**的教导，以我所斗、批、改运动中革命群众翻阅的部分参考资料为基础，编写了这本书。微生物在工业上的应用很广泛，工业微生物学发展也很迅速，本书搜集的资料仅限于微生物在工业上应用的几个方面，仅供参考。

毛主席教导我们：**“……应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。”**对于外国的科学技术必须进行科学地分析，**“去粗取精、去伪存真”**，把学习同独创结合起来，把引进新技术同钻研结合起来。资本主义国家的科学技术，算数，也不算数。它有一点科学，算数；但是没有什么了不起，我们能够赶上和超过它，无产阶级文化大革命中许多重要的科技成果不是已经赶上和超过了么，所以它又不算数了。我们靠战无不胜的毛泽东思想，在不远的将来，一定能够走出自己的道路，对人类作出较大的贡献。

本书在编写中，注意了理论与实际的结合，把微生物资源利用

与系统分类,发酵条件与代谢控制联系起来作了尝试。同时,剔除了一些宣扬资产阶级名利思想的糟粕。

由于我们水平不高,又缺乏经验,书中不可避免地会出现缺点和错误,希望同志们批评指正。

編 者

1970年3月

目 录

微生物资源的利用	1
一、细菌	2
二、放线菌	12
三、真菌	19
四、酵母菌	36
主要参考资料	46
微生物的酶及其应用	49
一、引言	49
二、主要酶种的研究和应用	53
三、进展和展望	71
主要参考资料	80
抗菌素的研究和生产	82
一、新抗菌素筛选的动向	82
二、新抗菌素研究的进展	84
三、国外新抗菌素的生产简况	88
主要参考资料	89
氨基酸的发酵	90
一、引言	90
二、氨基酸发酵研究的现状	91
三、氨基酸的生产	100
四、氨基酸的应用	102
五、展望	103
主要参考资料	104
嘌呤类核苷和核苷酸的发酵	105
一、引言	106
二、枯草杆菌和产氨短杆菌嘌呤核苷酸生物合成的 途径及其调节机制	106

三、嘌呤核苷和核苷酸产生菌株的选育	110
四、嘌呤核苷酸生物合成代谢的人工控制及其在生 产上应用的可能性	114
五、展望	116
主要参考资料	118
甾体化合物的微生物转换作用	119
一、[11 α]-羟化	121
二、[11 β]-羟化	121
三、[16 α]-羟化	122
四、[19]-羟化	123
五、A 环上 [C ₁] 及 [C ₂] 的脱氢 (形成双键)	124
六、甾醇侧链的降解和 A 环的芳香化	125
七、展望	126
主要参考资料	128
微生物在矿业上的应用	129
一、引言	129
二、湿法冶金	130
三、石油的勘探	134
四、二次采油	136
主要参考资料	141
石油发酵	143
一、石油的微生物精炼	145
二、石油微生物的菌体利用	146
三、烃类的微生物氧化	150
四、石油微生物的发酵产物	153
主要参考资料	156
霉腐微生物及其防治	157
一、引言	157
二、基础研究	158
三、材料的防霉腐措施	171
四、研究动向	180
主要参考资料	182

微生物资源的利用

目 次

一、细菌

- (一)氨基酸
- (二)有机酸
- (三)糖类
- (四)核苷酸类物质
- (五)维生素
- (六)抗菌素类
- (七)碳氢化合物的利用
- (八)甾体化合物的转化
- (九)酶
- (十)生物防治
- (十一)细菌浸矿
- (十二)制取标记化合物和其他
一些有用化合物
- (十三)其他方面的应用

二、放线菌

- (一)氨基酸
- (二)核苷酸类物质
- (三)维生素
- (四)甾体转化
- (五)酶
- (六)其他资源

三、真菌

- (一)酶
- (二)有机酸
- (三)氨基酸
- (四)核酸及其有关物质
- (五)抗菌素
- (六)维生素
- (七)促生素
- (八)多糖
- (九)生物碱类
- (十)橡胶物质
- (十一)代食品和代饲料
- (十二)生物测定
- (十三)甾体及其他有机化合物的转化

四、酵母菌

- (一)菌体的综合利用
- (二)代谢产物: 1.乙醇和多醇
类; 2.有机酸; 3.油脂;
4.酶; 5.维生素
- (三)石油发酵

主要参考资料

微生物资源非常丰富, 广布于土壤、水和空气等自然界中, 尤以土壤中最。有的微生物从自然界中分离出来就能够被利用,

有的需要对分离到的野生菌株进行诱变,得到突变体才能被利用。

微生物在工业上的用途很广,有的可以直接利用它的菌体,制备重要化工医药物质、化工和生化等科研试剂,以及人造蛋白质、脂肪和糖类;有的可以利用它的代谢产物,例如:乙醇、柠檬酸、抗菌素、甘油、氨基酸等;有的可以利用它的酶,催化化学反应,或制成酶制剂,用以加工某些产品。

目前,人们对微生物特性的认识还是十分不够的,已经初步研究的不超过自然界中微生物总数的 10% 左右。微生物的代谢产物在 1961 年统计已超过一千三百种,而大量生产的总计不过百种,目前还未看到有关的统计数字。微生物酶有近千种,而已在工业上利用的不过四五十种。可见,微生物资源不仅十分丰富,而且可挖掘的潜力还很大。

本文仅简单介绍一下近年来国外对细菌、放线菌、真菌以及酵母资源的利用情况。酵母菌也是一种真菌,这里从资源利用的角度把酵母菌与真菌分开来叙述。

一、细 菌

细菌资源异常丰富,利用范围也日益扩大,除去一、二十年前已建立起来的乳酸、醋酸、丙酸、丙酮、丁醇及食品方面的一些利用细菌的工业外,最近发展起来的有下列几方面。

(一) 氨 基 酸

利用微生物来制造核苷酸和氨基酸,是近十多年来微生物工业中的重要发展之一。目前不仅象以往那样可以取得微生物糖代谢的中间产物,而且可以取得氮代谢的中间产物,甚至象核苷酸和氨基酸这类对生物关系重大的物质,也可以设法取得。利用微生物制造氨基酸首先成功的是谷氨酸。近年来,全世界用发酵法年产谷氨酸达十几万吨。现在能用细菌发酵法产生的氨基酸已有十几种,计有谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸、异亮氨酸、脯氨酸、苏氨酸、缬

氨酸、丙氨酸、瓜氨酸、同型丝氨酸 (homoserine)、鸟氨酸、丝氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、酪氨酸等。据日本 1969 年统计,以上前 7 种^[1]均已成吨生产。发酵法制取氨基酸除由微生物从基质合成之外,还利用微生物酶促反应,将结构类似的化合物转化为所需氨基酸,如将 α 羟基有机酸转化为相应的氨基酸。用这一方法可制取亮氨酸、异亮氨酸、色氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸等。也有利用微生物的酶促作用将消旋丝氨酸中的 D 型丝氨酸转化成 L 型丝氨酸。制造氨基酸所利用的细菌种类也很多,计有小球菌属 (*Micrococcus*), 短杆菌属 (*Brevibacterium*), 节杆菌属 (*Arthrobacter*), 棒状杆菌属 (*Corynebacterium*), 小杆菌属 (*Microbacterium*), 赛氏杆菌属 (*Serratia*), 高夫克氏菌属 (*Gaffkya*), 变形杆菌属 (*Proteus*), 假单胞菌属 (*Pseudomonas*), 产气杆菌属 (*Aerobacter*), 自生固氮菌属 (*Azotobacter*), 黄单胞杆菌属 (*Xanthomonas*), 无色杆菌属 (*Achromobacter*), 好气芽孢杆菌属 (*Bacillus*) 和埃希氏大肠杆菌属 (*Escherichia coli*) 等。生产氨基酸的细菌也大都都是营养缺陷型变异株。近来生产氨基酸所用原料也开始向碳氢化合物发展。已报导有利用碳氢化合物产生谷氨酸、赖氨酸、甲硫氨酸、鸟氨酸和缬氨酸的菌株,产量还不低。如用一株精氨酸缺陷型的棒状杆菌,在 10% 的正十四烷培养基中产生鸟氨酸 9 克/升^[2]。

(二) 有 机 酸

在生产各种有机酸的细菌中,假单胞菌属中的许多种是非常活跃的。它们可转化油酸为 10-羟基十八酸,转化醌醇、苯邻二酚等为 β 氧化己二酸,转化 D-木糖为 α -酮-D-木质酸,转化山梨醇为直接制造维生素丙的 2-酮-L-古龙酸,转化萘为水杨酸和龙胆酸 (gentisic acid),转化对异丙基苯甲烷为对异丙基苯甲酸(一种制法复杂的有机合成原料)等。 α -酮戊二酸的制造,过去使用假单胞菌,最近有人用一株粘质赛氏杆菌 (*Serratia marcescens*) 制造 α -酮戊二酸^[3],其产率超过假单胞菌,可达理论产率的 95—100%。苹果酸一般用霉菌制造,最近有人用一株短杆菌制造苹果酸。短杆菌、

棒状杆菌、小球菌、好气芽孢杆菌可制造乳清酸 (orotic acid)。枯草芽孢杆菌可制造生物合成赖氨酸的前体二氨基庚二酸, 每毫升培养液可达 42 毫克。日本有人^[4]试验: 大肠杆菌、产气杆菌、产碱杆菌、土壤杆菌、棒状杆菌、八迭球菌、芽孢杆菌和假单胞杆菌等, 能利用庚二酸(pimelic acid) 合成生物素, 并认为庚二酸是生物素的前体。生芽孢梭状芽孢杆菌 (*Clostridium sporogenes*) 或瑞士杆菌 (*Lactobacillus helveticus*) 可将含有至少三个双键的未饱和脂肪酸部分氧化而得十八烷二烯酸(octadecane-11, 15-dienoic acid)。此酸具奶油香味, 可作食品调味料。根瘤菌 (*Rhizobium*) 可产生聚 β 羟基丁酸。这种酸与苯基丙酮脲或 1, 8 二氰辛烷可制成一种有伸缩性的塑料。日本有人报导用德氏乳酸菌 (*Lactobacillus delbrückii*) 氧化甘油醛以次甲基蓝作受体则生成乳酸及丙二酸。最近利用细菌从碳氢化合物制造脂肪酸发现氧化碳链为偶数 (C_{12} — C_{18}) 的烃, 可得碳链为偶数的脂肪酸; 氧化碳链为奇数 (C_{11} — C_{17}) 的烃, 则可得碳链为偶数和奇数的两种脂肪酸。

(三) 糖 类

利用细菌制取糖类主要为制取多糖聚合物。早已用于工业生产的是用明串珠菌 (*Leuconostoc*) 生产聚葡萄糖。现在则有聚果糖、聚甘露糖等聚多糖。这类细菌聚多糖在工业上可代替植物性水溶性的胶质, 有的性能还超过天然水溶性胶质。天然水溶性胶过去都用于食品和医药工业, 现在已扩展到纺织、制纸、钻探等工业, 可作为乳化剂、悬浮剂、粘稠剂、稳定剂、冻胶剂等。美国每年约需九千万磅, 约值五千万美元, 其中 90% 进口。制细菌聚多糖的细菌主要有假单胞菌、黄单胞菌 (*Flavobacterium*)、节杆菌和八迭球菌 (*Sarcina*) 等。有一株节杆菌所产生的聚多糖对热和盐水稳定, 宜于在钻泥中作为悬浮剂用。还有人从航空汽油中分离到一株假单胞菌, 能利用 C_6 — C_{16} 的正烷产生葡萄糖聚合物, 却不能利用碳水化合物产生聚多糖。最近有人用一株埃希氏大肠杆菌赖氨酸缺陷型菌株, 制取脂多糖, 可作为非特异性抗原用, 有减热退烧的作

用。据说对动物肿瘤有抑制作用。

利用微生物制取单糖和寡糖最近报导有以下几种。用产气气杆菌 (*Aerobacter aerogenes*) 产生的酶 (pullulanase) 水解麦芽三糖聚合物 (pullulan) 以取得麦芽三糖。弱氧化醋杆菌 (*Acetobacter suboxydans*) 可氧化甘露醇为果糖, 巨大芽孢杆菌 (*Bacillus megaterium*) 和果糖芽孢杆菌 (*Bac. fructosus*) 以及假单胞菌能将山梨醇转化为果糖。果糖芽孢杆菌的转化率可达 85%, 从 750 克山梨醇可取得 420 克果糖结晶, 果糖大约比葡萄糖甜一倍, 常应用于糖果制造工业。醋酸杆菌属 (*Acetobacter*) 的细菌还可把果糖氧化为 5-酮果糖。这是一种强还原剂, 还可用来合成其他物质, 也有一些杀菌作用。利用碳水化合物通过微生物的作用也可产生一些糖, 如葡萄糖、果糖、阿拉伯糖、核糖、海藻糖等。在第七届国际生化会议上, 有人报导石蜡节杆菌 (*Arthrobacter paraffines* nov. sp.), 在含正烷烃的培养基中积累海藻糖和葡萄糖, 其中海藻糖可达 8 克/升。

(四) 核苷酸类物质

利用微生物来制造核苷酸类物质是 60 年代才出现的事情。在味精中掺入 5—10% 的 5'-单磷酸核苷酸, 特别是 5'-肌苷酸和 5'-鸟苷酸, 可以把味精的鲜味提高几十倍。因此生产味精的主要国家日本, 出于商业竞争的需要, 利用微生物制造核苷酸类物质的研究工作发展最早。目前日本已可用微生物制造各种 5'-单磷酸核苷酸, 并已成为商品。此外还可制造其他一些核酸类物质, 如各种核苷、磷酸核糖和核苷酸等。最初是用微生物酶水解核酸的方法制取 5'-单核苷酸。现在已转向使微生物在培养过程中分泌核苷酸或利用微生物的酶, 主要是磷酸转移酶 (phosphotransferase) 的作用, 把近似于目的物的物质转化为目的物^[5], 在这两种方法中使用的主要微生物是细菌, 在直接生成核苷酸的方法中, 几乎都是利用细菌, 并且绝大部分是营养缺陷型变异株。在制造核苷酸类物质中所涉及的细菌种类很广, 计有短杆菌属, 小球菌属, 棒状杆菌属,

好气芽孢杆菌属,气杆菌属,假单胞菌属,赛氏杆菌属,欧氏杆菌属(*Erwinia*),黄杆菌属,无色杆菌属,葡萄球菌属(*Staphylococcus*),节杆菌属,产碱杆菌属(*Alcaligenes*),变形杆菌属和沙门氏杆菌属(*Salmonella*)等。最近有人开始利用碳氢化合物来制造核苷酸,如利用嗜石油棒状杆菌(*Corynebacterium petrophilum*)的腺嘌呤缺陷型菌株,从正十六烷产生肌苷酸,可达1.49克/升。

(五) 维 生 素

细菌产生的维生素已大量生产的有 B_{12} ,是用丙酸细菌(*Propionibacterium*)或好气芽孢杆菌产生的。从丙酮丁醇发酵液中取得 B_2 也是早已众所周知的。最近有用产氨短杆菌(*Brevibacterium ammoniagenes*)产生 B_2 的报导。也有用碳氢化合物培养分枝杆菌取得 B_6 和烟碱酸,用假单胞菌取得生物素的报导。以往利用醋酸菌来完成人工合成维生素丙中的第一个反应,现已转向完全用假单胞菌或醋酸菌来全合成维生素丙了。

(六) 抗 菌 素 类

与放线菌相比,细菌所产生的抗菌素是比较少的。实际大量使用的不过二三种,如多粘菌素和杆菌肽等。虽然如此,也还不断发现细菌产的新抗菌素。肠炎散(colisan)是短芽孢杆菌(*Bac. brevis*)产生的一种新抗菌素。这种抗菌素对革兰氏阳性细菌和原生动物有作用,对刺激肠道平滑肌的物质有对抗作用,可用于治疗肠道变形虫病和慢性肠炎。枯草杆菌则产生一种名为Iturine的环状多肽抗菌素,有抗真菌的作用。枯草杆菌或藤黄八选球菌(*Sarcina lutea*)还产生一种未命名的抗真菌抗菌素,这种抗菌素可用于农业。一株名为解葡萄球菌葡萄球菌(*Staphylococcus staphylolyticus*)的细菌产生能溶解葡萄球菌细胞壁的物质。细菌也能以各种形式抑制肿瘤。保加利亚乳杆菌(*L. bulgaricus* var. *tumoronecroticans*)、瑞士乳杆菌(*L. helveticus* var. *tumor*)和嗜酸乳杆菌(*L. acidophilum* var. *tumor*)三个菌和变种细菌细胞提取物有抗

癌作用。溶血性链球菌 (*Streptococcus hemolyticus*) 细胞经加热处理后, 也有抑制肿瘤生长的作用。丁酸梭状芽孢杆菌 (*Cl. butylicum*) 和其他某些梭状芽孢杆菌的芽孢悬浮液, 注入长有肿瘤的动物体内, 则聚集于肿瘤部位, 导致肿瘤坏死和溶解, 而对正常细胞无害。另外, 还有利用节杆菌或无色杆菌的作用, 制取能制造青霉素 G 的 6-氨基青霉酸 (6-aminopenicillanic acid) 的报导。最近有人将绿脓假单胞菌 (*Pseudomonas pyocyanea*) 制成疫苗来防治该菌对烧烫伤病人的感染。

(七) 碳氢化合物的利用

近来微生物对碳氢化合物的作用日益引起人们的注意, 其意义有以下四方面。第一, 以碳氢化合物为碳源, 代替碳水化合物培养细菌, 而取得蛋白质糖类等各种产品。第二, 利用微生物的作用把碳氢化合物加工成新产品。如用假单胞菌制取环氧化合物, 转化 1-辛烯为 1, 2-环氧辛烷。又如用假单胞菌、好气芽孢杆菌、分枝杆菌等微生物把对异丙基苯甲烷氧化成对异丙基苯甲酸或醛 (可作香料用)。又如用假单胞菌把酮基环烷还原为羟基环烷, 如把对称的环烷-1, 3-二酮还原为不对称的 1-羟基环烷-3-酮。第三, 利用微生物在油井中分解石油的作用, 进行二次采油。第四, 属于为害方面的, 由于微生物污染石油产品, 而造成石油中形成残渣, 腐蚀油罐油箱等。这方面的细菌有气杆菌、假单胞菌、好气芽孢杆菌、双球菌等细菌。

(八) 甾体化合物的转化

虽然把微生物的转化作用和有机合成结合起来始于 30 年代应用醋酸杆菌的氧化作用于维生素丙的人工合成, 但成为微生物工业的一个方面还是自 50 年代应用微生物的转化作用于甾体化合物的合成开始。与真菌比较起来, 细菌在甾体化合物的合成中的应用范围比较少一些。主要用于 A 环脱氢, 9 位、11 位、14 位、15 位羟化, 脱乙酰, 氧化酮基和氧化羟基等作用。使用最普遍的是

A 环脱氢作用。用于甾体化合物转化的细菌有棒状杆菌属、分枝杆菌属 (*Mycobacterium*)、黄杆菌属、好气芽孢杆菌属、色杆菌属 (*Chromobacterium*)、小球菌属、假单胞菌属、赛氏杆菌属等。

(九) 酶

在利用微生物制取的酶制剂中,最重要的是 α -淀粉酶和蛋白酶。这两种酶都是由好气芽孢杆菌产生的,最近见到有利用其他细菌产生蛋白酶的报导,如节杆菌属、假单胞菌属、赛氏杆菌属、纤维粘菌属 (*Cytophaga*) 等。

此外还有利用细菌制造其他酶的报导。如利用好气芽孢杆菌制造凝乳酶,这种酶不分解牛乳,可用于制干酪,成品中没有苦味。虽说酵母和霉菌是生产脂肪酶的主要用菌,但也有利用假单胞菌和黄单胞菌产生脂肪酸的报导。埃希氏大肠杆菌和蜡质芽孢杆菌 (*Bacillus cereus*) 所产生的青霉素裂解酶在青霉素纯度检查时和食品工业中是必要的。能产生溶解细菌细胞的酶的细菌有纤维粘菌、黄杆菌和短杆菌中的某个种或菌株。纤维粘菌能产生多种酶,包括蛋白酶、角蛋白酶、弹性硬蛋白酶 (elastase)、脂肪酶、几丁质酶、昆布糖酶,还有溶解致病真菌,如深红发癣霉 (*Trichophyton rubrum*) 的作用。溶组织梭状芽孢杆菌 (*Clostridium histolyticum*) 可用来制取胶原酶 (collagenase) 和其他蛋白酶。

梭状芽孢杆菌属的另几个种和莱脱氏丁酸杆菌 (*Butyribacterium rettgeri*)、解乳酸小球菌 (*Micrococcus lactilyticus*) 等嫌气性细菌细胞自溶液,用具有有机胺的阴离子树脂处理,可制取一种催化亚硝酸根 (NO_2^-) 为氨 (NH_3) 的酶,名 ferredoxin。

埃希氏大肠杆菌产生的 L-门冬酰胺酶 (L-asparaginase) 的抗癌作用,在第九届国际肿瘤会议上引起了重视,被认为是抗癌药物中的重要发现。这是治疗人类肿瘤的第一个酶制剂,它对白血病有较好的疗效,它只对癌细胞有作用,而对正常细胞无害。1968 年的报导,每毫克酶蛋白可具有酶活 620 国际单位^[6]。

另外,以烃类为碳源培养细菌,如假单胞菌、节杆菌、分枝杆菌

等,也可制取一些酶,如蛋白酶、辅酶 A、辅酶 Q 等。

(十) 生物防治

苏云金杆菌防治鳞翅目害虫是已经使用的一种生物防治方法。*Bacillus popilliae* 和 *Bacillus lentimorbus* 是日本甲虫 (*Popillia japonica*) 的两种致病菌,现已可以人工培养,故有可能实际应用。也有人工培养蜡质芽孢杆菌的一个变种 (*Bacillus cereus* var. *gal-leriae*) 作为杀虫剂的报导。蜡质芽孢杆菌的另一个变种 (*Bacillus cereus* var. *juroi*) 是一种对蚊幼虫有毒害的细菌。莫瑞塔芽孢杆菌 (*Bacillus morita*) 对蝇幼虫有毒。这两种芽孢杆菌都不生伴孢晶体,幼虫吞入细菌后或不形成蛹,或不能羽化为成虫。这两种细菌对人、牛、鸡、鱼、鼠均无毒。生孢芽孢杆菌 (*Bacillus pulvifaciens*) 的细胞对烟草甲虫 (*Lasioderma serricorne*) 和果蝇的幼虫有毒害作用,有可能用于防治为害烟叶的烟草甲虫幼虫。

除好气芽孢杆菌外,粘质赛氏杆菌和某些假单胞菌也可能是有潜力的杀虫用的细菌。最近发现粘质赛氏杆菌是棉铃虫、天蛾科幼虫和一种松树害虫的致病菌或毒剂。假单胞菌不仅可使天蛾科幼虫致病,而且还有杀死线虫的作用。气杆菌和无色杆菌也有这种作用。

(十一) 细菌浸矿

细菌浸矿主要用于提取贫铜矿,也可用于提取钼、锌、铬、钛。还有用于提取金的报导。美国金涅克特铜矿公司于 1958 年大规模使用。1961 年用此法生产铜 9,438 吨,1962 年为 16,678 吨,以后每年预计年产 72,000 吨^[7]。参与浸矿细菌主要是氧化硫硫杆菌 (*Thiobacillus thiooxidans*)、氧化铁硫杆菌 (*Thiobacillus ferrooxidans*) 和氧化铁铁杆菌 (*Ferrobacillus ferrooxidans*)。有人用上述几种细菌和去磺弧菌 (*Desulfovibrio desulfuricans*) 一起来活化吸附硫化氢的铁矾土催化剂。处理后显著地减低催化剂的硫含量,并大大增加了催化剂的表面积,如将 9.8 平方米/克的表面积增加为