

常见细菌系统鉴定手册

东秀珠 蔡妙英 等 编著

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书是在《一般细菌常用鉴定方法》(1978)一书的基础上编写而成的。全书分两大部分:第一部分主要介绍了伯杰(Bergey)系统、常见细菌的检索表、属的提要及种的鉴别等;第二部分介绍了几种鉴定方法,包括常用的传统分类基本方法和目前通用的分子生物学方法及快速鉴定和自动化鉴定系统等。

本书对从事微生物学研究的科技人员、综合性大学生物系、农林医院校的有关师生是一本很实用的工具书。

图书在版编目(CIP)数据

常见细菌系统鉴定手册/东秀珠、蔡妙英等编著.-北京:科学出版社,2001.2

ISBN 7-03-008460-8

I. 常… II. ①东… ②蔡… III. 细菌分类-鉴定-手册
IV. Q939-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 06567 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2001 年 2 月第一次印刷 印张: 27

印数: 1—3 000 字数: 621 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新欣〉)

序

本书是《一般细菌常用鉴定方法》(科学出版社, 1978)的再版, 它实用性强, 已成为细菌工作者不可缺少的工具书。由于近年来细菌系统学和鉴定方法领域发展迅速, 原版中所列内容已不敷使用, 促使此书新版的诞生。本书编写的宗旨在于将细菌分类的最新进展介绍给细菌学领域的科研人员, 除了常见细菌属的描述和传统的鉴定方法外, 还包括近年来发现的新的细菌种群和新的鉴定手段, 是教学和科研上的一本非常实用的手册。应当说明的是: ①书中所涉及的并非所有已描述的细菌, 而是较为常见的种群; ②为了使用方便, 各章节仍按所涉及细菌种群的表观特征, 如形态、生理和营养类型等顺序编排, 但这种编排形式并不表示它们的系统发育关系; ③鉴定方法部分介绍的是普遍用于常见细菌种群的方法, 一些用于某些细菌种群的特殊方法未全包括。

本书分两大部分——细菌鉴定的检索系统和常用的鉴定方法。旨在使读者遵循检索表中关键的鉴定特征, 根据其测定结果和属及种的描述进行核对, 从而达到鉴定的目的。

第一部分, 常见细菌属的描述, 分为 10 章, 分别是光合细菌、产芽孢细菌、好氧或兼性厌氧革兰氏阴性发酵杆菌、好氧或兼性厌氧革兰氏阴性非发酵杆菌、厌氧的革兰氏阴性球菌、厌氧的革兰氏阴性杆菌和弯曲杆菌、好氧或兼性厌氧革兰氏阳性球菌、好氧或兼性厌氧革兰氏阳性杆菌、厌氧的革兰氏阳性杆菌和球菌、古菌。

第二部分, 常用的鉴定方法, 共 7 章, 分别是基本方法; 形态特征鉴定; 培养及生理特征测定; 生化特征测定; 核酸特征测定; 数值分类、多相分类、编码鉴定和自动化鉴定; 菌种保藏。

编者

1999 年 6 月

使用说明

1. 检索系统和细菌译名主要根据以下出版物

- (1) Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Vol. 1~4, 1984~1989.
- (2) Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 9th Edition, 1994.
- (3) The Prokaryotes 2nd Edition, 1991.
- (4) International Journal of Systematic Bacteriology, 1992~1999.
- (5) “细菌名称 (第二版)” 蔡妙英等, 科学出版社, 1996.

2. 鉴定方法

表型特征以《一般细菌常用鉴定方法》(科学出版社, 1978)为基础, 补充目前应用广泛的分子生物学方法、细胞化学分析、数值鉴定方法及快速鉴定方法等。

3. 表格中符号的标准定义

- +, $\geq 90\%$ 菌株为阳性;
 - , $\geq 90\%$ 菌株为阴性;
 - d, $11\% \sim 89\%$ 菌株为阳性;
 - V, 菌株间不稳定的反应 (不同于“d”);
 - D, 在不同分类单位中呈不同的反应 (一个属中的种间或一个科中的属间);
 - NT, 未测定;
 - ND, 未测定;
 - NG, 不生长。
- 其他符号见各表另注。

4. 缩写

《伯杰氏细菌鉴定手册》(Bergey's Manual of Determinative Bacteriology)简称为《伯杰手册》;

《伯杰氏系统细菌学手册》(Bergey's Manual of Systematic Bacteriology)简称为《伯杰系统手册》;

International Journal of Systematic Bacteriology (国际系统细菌学杂志) 缩写为“*I. J. S. B.*”。

目 录

序	
使用说明	
绪论	(1)

第一部分 常见细菌属的特征描述

第一章 光合细菌	(9)
第二章 产芽孢细菌	(43)
第三章 好氧或兼性厌氧发酵型革兰氏阴性杆菌	(66)
第四章 好氧或兼性厌氧非发酵革兰氏阴性杆菌	(128)
第五章 严格厌氧的革兰氏阴性球菌	(192)
第六章 革兰氏阴性、厌氧直杆、弯杆和螺杆菌	(195)
第七章 革兰氏阳性好氧和兼性厌氧球菌	(242)
第八章 好氧和兼性厌氧的革兰氏阳性杆菌	(267)
第九章 厌氧的革兰氏阳性杆菌和球菌	(295)
第十章 古菌	(314)

第二部分 常见细菌的鉴定方法

第十一章 基本方法	(349)
第十二章 形态特征	(353)
第十三章 培养及生理特征	(364)
第十四章 生化特征测定	(370)
第十五章 核酸特征测定	(399)
第十六章 数值鉴定和自动化鉴定	(413)
第十七章 菌种保藏方法	(418)

绪 论

生物进化或生命的系统发育学一直是人们所关注的热点，也是生命科学的中心。但自达尔文的进化论至 20 世纪 70 年代，科学家们一直为细菌进化研究这个“黑洞”所困惑，由于缺少这个生物学多样性极为丰富的群体而使得生命的进化研究不能成为一门完整的学科。直到 1977 年 Woese 的 rRNA 生命树才使得细菌进化研究看到曙光，更重要的是第三生命——古菌的发现首次在进化研究中包括了所有的生命。

一、原核生物系统发育研究的进展

1. 16S rRNA 大分子在进化研究中的应用及古菌的发现

多年来科学家们一直认为地球上的生命由原核生物和真核生物两大类组成，直到 70 年代后期这个概念才受到 Woese 研究的挑战。1977 年，Woese 等在研究了 60 多种不同细菌的 16S rRNA 序列后，发现了一群序列奇特的细菌——产甲烷细菌，他们认为这是地球上的第三生命形式，命名为古细菌（*Archaeobacteria*），后改名为古菌（*Archaea*）。Woese 之所以选择 16S rRNA 作为研究生物进化的大分子，是因为它具有如下特点：①作为蛋白质合成的必要场所，16S rRNA 存在于所有生物的细胞中并执行相同的功能；②具有分子计时器的特点，分子序列变化缓慢，能跨越整个生命进化过程；③分子中含有进化速度不同的区域，可用于进化程度不同的生物之间的系统发育研究。他在比较了 3 大类生物的核糖体小亚基 rRNA 序列后，发现三域生物间的序列相似性都低于 60%，而域内的序列相似性高于 70%，因而认为生命是由细菌域（*Bacteria*）、古菌域（*Archaea*）和真核生物域（*Eucarya*）所构成，并由此构建了一个生命进化总树。之后，人们也将其他序列保守的生命大分子用于生命进化研究中，如 RNA 聚合酶的亚基，延伸因子 EF-Tu，ATPase 等，其研究结果也支持 Woese 的三域生命学说。最近一个产甲烷古菌的全基因组序列分析也证实它们代表了一种特殊的生命形式。

古菌是一群具有独特的基因结构或系统发育生物大分子序列的单细胞生物，通常生活在地球上极端的生境或生命出现初期的自然环境中，营自养和异养生活，具有特殊的生理功能，如在超高温、高酸碱度、高盐及无氧状态。它们具有独特的细胞结构，如细胞壁骨架为蛋白质或假肽聚糖，细胞膜含甘油醚键，以及代谢中的酶作用方式既不同于细菌又不同于真核生物。近年的研究发现，尽管古菌在细胞大小、结构及基因组结构方面与细菌相似，但其在遗传信息的传递和可能标志系统发育的信息物质方面却更类似于真核生物，因而目前普遍认为：古菌是细菌的形式，真核生物的内涵。

根据 Woese 的 RNA 生命树，古菌域由三界组成：

(1) 嗜泉古菌界（*Crenarchaeota*）：包括极端嗜热和超嗜热的元素硫代谢古菌或嗜酸嗜热菌；

(2) 广域古菌界（*Euryarchaeota*）：包括极端嗜热菌；产甲烷菌和嗜盐细菌。

(3) 初生古菌界 (Korarchaeota): 近年来, 在 PCR 调查热泉中的微生物时发现的新的古菌 rRNA 序列, 但目前尚未分离培养出这些新种群, 它们在系统发育中位于比另外两种古菌界更原始的地位。

2. 细菌的系统发育研究

16S rRNA 序列同源性的应用不仅发现了古菌, 同时还揭示了细菌域各群间的系统发育关系, 它不同于传统的细菌分类学体系, 如: ①尽管革兰氏阳性细菌是系统发育关系密切的一群细菌, 但革兰氏阴性菌却包括了 10 个亚群; ②改变了细胞壁结构作为亲源关系划分的标志之一, 如无细胞壁的支原体, 实际是革兰氏阳性的芽孢梭菌的一个后代分支; ③改变了营养类型作为种系发生的特征, 如光合细菌并非是独立于非光合种群的进化分支, 而是每种光合种群都代表了一个高阶元的分类单位, 其后代分支包括非光合细菌。

根据 16S rRNA 序列同源性分析, Woese 在 1987 年将细菌域中可培养的细菌分为 12 个类群, 包括:

- (1) 产液菌目 (Aquificales);
- (2) 栖热袍菌目 (Thermotogales);
- (3) 绿色非硫细菌 (Green Nonsulfur Bacteria);
- (4) 蓝细菌 (Cyanobacteria);
- (5) 低 G+C mol% 革兰氏阳性细菌群;
- (6) 梭杆菌群 (Fusobacteria);
- (7) 高 G+C mol% 革兰氏阳性细菌群;
- (8) 噬纤维菌/屈扰杆菌/拟杆菌群 (Cytophaga/Flexibacteria/Bacteroides);
- (9) 丝状杆菌群 (Fibrobacteria);
- (10) 螺旋体群 (Spirochaetes);
- (11) 浮霉菌/衣原体群 (Planctomyces/Chlamydia);
- (12) 紫色细菌群 (Proteobacteria): 分为 α 、 β 、 γ 、 δ 和 ϵ 亚群。

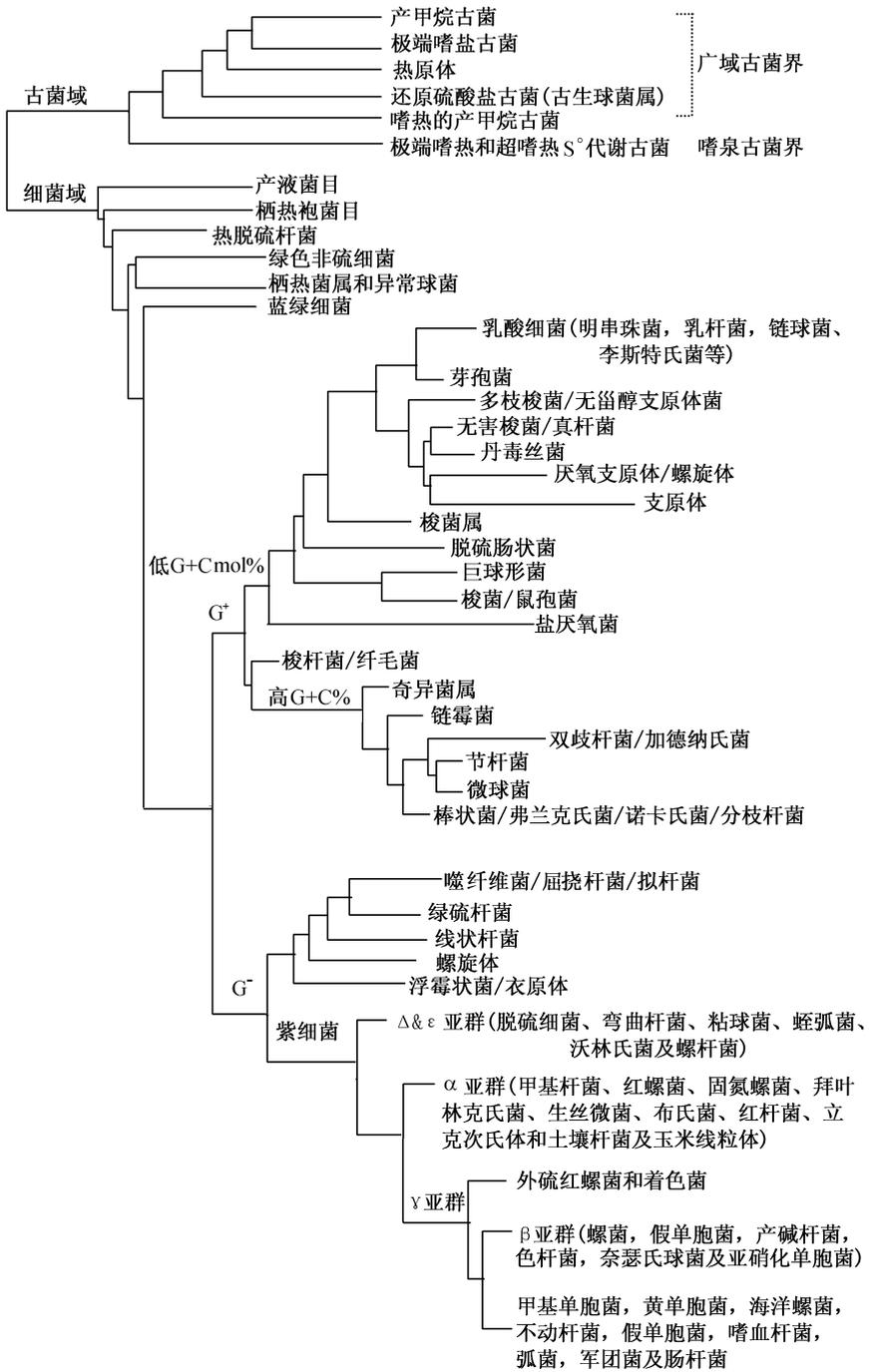
各群的系统发育关系见下面的图示。

1998 年 N. R. Pace 等根据环境中的 16S rRNA 序列的多样性, 认为细菌域可能由 40 多个大群 (或叫做纲) 组成, 其中可培养的细菌群又增加了热脱硫杆菌属 (*Thermodesulfobacterium*)、粪热杆菌属 (*Coprothermobacter*)、网球菌属 (*Dictyoglomus*)、疣微菌属 (*Verrucomicrobia*)、硝化螺菌属 (*Nirospira*)、酸杆菌属 (*Acidobacterium*) 及互养菌属 (*Synergistes*)。由于这些新类群间的系统发育关系尚不清楚, 有的未包括在本章的系统发育树中。

二、现有的细菌分类系统

目前国际上公认和普遍采用的细菌分类系统是伯杰氏分类系统, “原核生物”系统是近年来根据 16S rRNA 序列同源性建立的系统发育体系; 另外一些以应用为目的的分类系统, 如 Peřvot 分类系统以生理特征为依据, 应用于厌氧细菌; 以医学细菌鉴定为

目的的《医学细菌鉴定手册》。



16S rRNA 序列同源性分析的细菌系统发育图, 根据 C. Woese (J. Bacteriol. 176: 1~6, 1994) 的细菌系统发育关系图改编, 图中各个分支只表示各群细菌的进化关系, 分支的长度并不代表各群间真正的进化距离。

1. 伯杰氏细菌分类系统

伯杰氏细菌鉴定手册是本分类系统的综合和标准，由美国细菌学家协会（现在的美国微生物学会）发起编写的，最初指定 David H. Bergey 作为编委会主席，并在 1923 年出版了手册的第一版。随着细菌分类学研究的深入和发展，相继在 1925、1930、1934、1939、1948、1957、1974 和 1994 年出版了第二至九版。经过几十年的修订和补充使得该手册被国际上的细菌学家普遍接受和采用。

1984 年至 1989 年陆续出版的四卷《伯杰氏系统细菌学手册》，在着重于表观特征描述的基础上，结合化学分类、数值分类特别是 DNA 相关性分析，及 16S rRNA 寡核苷酸序列分析在生物种群间的亲缘关系研究中的应用作了详细的阐述，体现了细菌分类的研究从表观向系统发育体系的发展。除此外，还附有每个菌群的生态、分离和保藏及鉴定方法。手册主要依据表型将细菌划分为 35 群，所包括的菌群除了 1980 年发表的《批准的细菌名称目录》（Approved Lists of Bacterial Names）的属外，还包括了目前还未生效的种群，甚至一些没有正式分类命名的如与昆虫共生的不可培养的细菌，目的是激发细菌学家注意研究这些被忽视的种群。该手册将所有细菌归属于原核生物界，并根据 Gibbons 和 Murray 提出的细菌高级分类单位的建议，将细菌分为 4 个门：

(1) 薄壁菌门 (Gracilicutes)：

暗细菌纲 (Scotobacteria)；

不产氧光合细菌纲 (Anoxyphotobacteria)；

产氧光合细菌纲 (Oxyphotobacteria)；

(2) 厚壁菌门 (Firmicutes)：

厚壁菌纲 (Firmibacteria)；

放线菌纲 (Thallobacteria)；

(3) 软壁菌门 (Tenericutes)：

柔膜菌纲 (Mollicutes)；

(4) 疵壁菌门 (Mendosicutes)：

古细菌纲 (Archaeobacteria)。

该手册分 4 卷，第一卷关于一般医学或工业上重要的革兰氏阴性细菌 (11 群)；第二卷关于除放线菌外的革兰氏阳性细菌 (8 群)；第三卷关于古细菌、蓝细菌和其他革兰氏阴性细菌 (8 群)；第四卷关于放线菌 (8 群)。

1994 年出版的《伯杰氏细菌鉴定手册》第九版几乎是《伯杰氏系统细菌学手册》的缩写版，除了对细菌各属关键表观特征的描述外，属内各种的鉴定特征以表格的形式出现。对于鉴定工作十分方便。鉴定手册共包括 35 群细菌，群的划分根据表观特征如形态、生理和营养类型。

据悉将要出版的《伯杰氏系统细菌学手册》第二版将分为 5 卷，其分类体系按 16S rRNA 的系统发育关系进行编排。

2. “原核生物”分类系统

原核生物的概念是 Stanier 和 Van Niel 在 1962 年提出的，表明细菌是一群与其他生

物有明显界限而又有关联的单细胞生物。1981年由 Stanier 等主编的第一版《原核生物》，对原核生物界的全面认识起到了重要作用。

1991年由 Balows 等主编的第二版《原核生物》完全遵照原核生物系统发育的顺序描述了每个分支上细菌的属或更高的分类单元。这个原核生物系统发育是以 Carl Woese 的核糖体 RNA 序列同源性为基础，首次为单细胞的原核生物建立了真正的系统发育树。16S rRNA 不仅建立了原核生物系统发育学，而且还证实了原核生物由古菌和细菌两大群组成，二者间的亲缘关系不比它们之一与真核生物的关系更密切，表明生命是以 3 种形式存在，1990 年 Woese 将 3 种生命形式分别定义为古菌域、细菌域和真核生物域。

原核生物的 16S rRNA 系统发育学在诸多方面与传统分类不一致，但却得到了其他生物大分子系统学研究的支持，如 23S rRNA、延伸因子 Tu 等生物大分子，最近的基因组序列比较也支持 16S rRNA 的三域系统。

第二版《原核生物》在主题编排上与第一版有本质的不同，第二版完全按照系统发育树进行了各章节的编排。当然这也存在某些问题，一是一些表观特征相近而系统发育上无关的菌群将在不同章节中描述；二是一些系统发育不确定的菌群无法归属。为了解决这些矛盾，第二版将所有内容分为 6 部分：

I. 引言：介绍微生物学的广泛性、原核生物的多样性、系统发育、分离鉴定、保藏及应用。

II. 包括如下章节：原核生物的生命周期、习性、厌氧生长、互营作用，并在一系列概要性的章节中介绍了人们所熟悉的表观特征群。

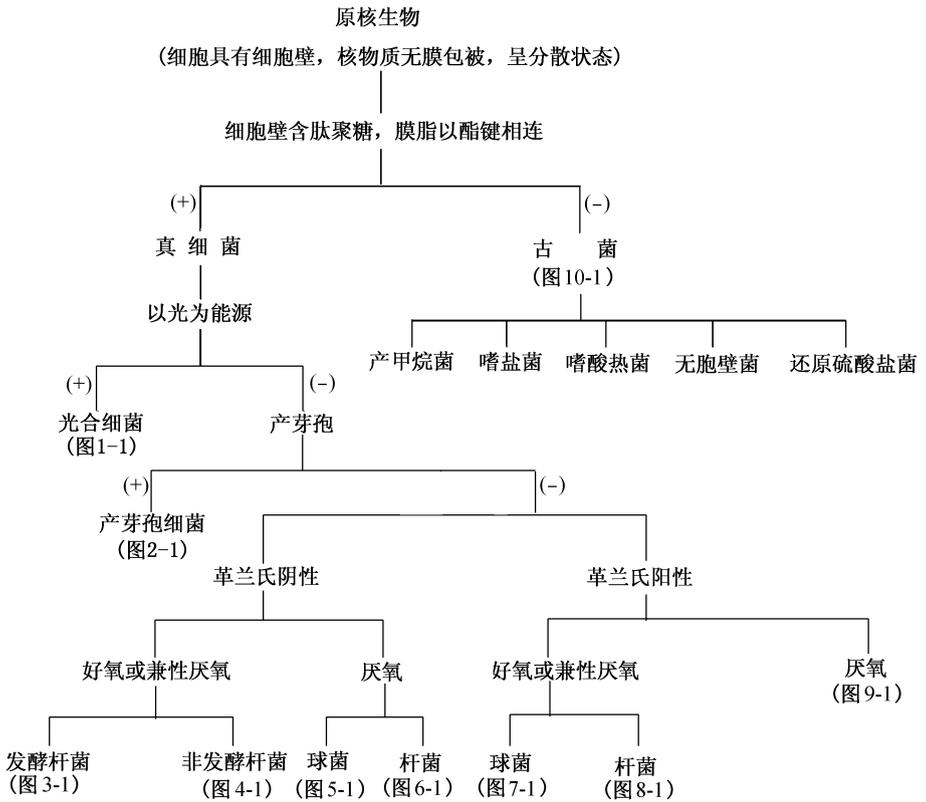
III. 按照系统发育学，介绍古菌有关的目和属。

IV. 按系统发育学，介绍细菌域中的各个分支，是《原核生物》的主要内容。

V. 包括那些已建立了固定的共生作用的微生物。

VI. 包括还未确定系统发育关系的菌群。

常见细菌类群检索总图



第一部分

常见细菌属的特征描述

第一章 光合细菌

目前,所知的光合细菌可分为着色杆菌科、外硫红螺菌科、紫色非硫细菌、绿色硫细菌、多细胞丝状绿细菌、螺旋杆菌科、含细菌叶绿素的专性好氧菌等 7 大类群,现将各大类群的主要特征描述如下。

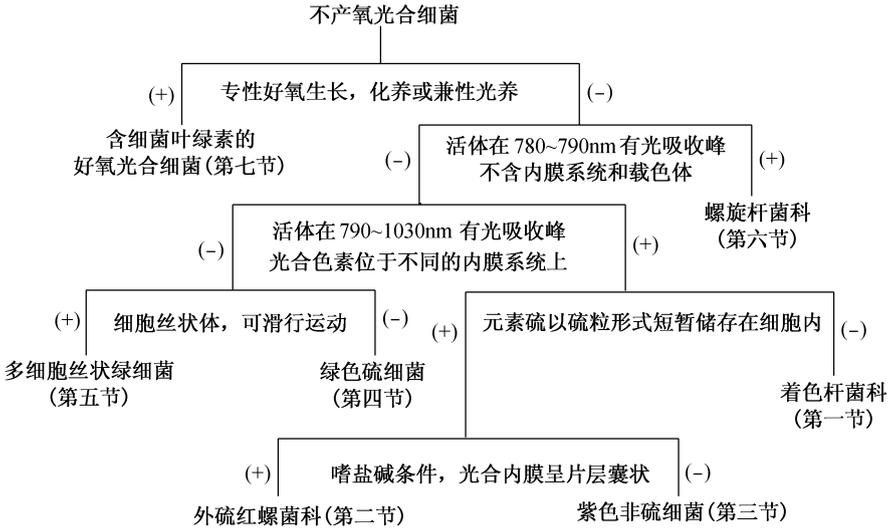


图 1-1 不产氧光合细菌检索

表 1-1 不产氧光合细菌科及群的检索表

- A. 在厌氧条件下,细胞能进行光合自养或光合异养代谢,
- B. 含有细菌叶绿素 a 或 b 和 1~4 群类胡萝卜素;活体在 790~1030nm 有光吸收峰,光合色素位于不同的内膜系统上,内膜系统与细胞质膜相连,内膜片层状、囊泡状、指管状或不明显……………
…………… 紫色非硫细菌 (**purple nonsulfur bacteria**)
- C. 细胞能利用元素硫作电子供体进行光自养生长;硫化氢氧化过程中,元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞内,再进一步氧化成硫酸盐。内膜囊泡状或指管状……………
…………… 着色杆菌科 (**Chromatiaceae**)
- CC. 细胞能利用元素硫作电子供体进行光自养生长;硫化氢氧化过程中,元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞外,再进一步氧化成硫酸盐。生长依赖氯化钠及碱性条件,内膜片囊状…………… 外硫红螺菌科 (**Ectothiorhodospiraceae**)
- CCC. 细胞多数不能利用元素硫作电子供体进行光自养生长;有些种利用硫化氢或硫代硫酸钠作电子供体;如果元素硫作为氧化产物形成,则硫粒积累在细胞外。内膜片层状、囊泡状、指管状或不明显…………… 紫色非硫细菌 (**purple nonsulfur bacteria**)
- BB. 细胞只含有低浓度的细菌叶绿素 a,大多数情况下,细菌叶绿素 c、d 或 e 是主要的细菌叶绿素成分,和第 5 群类胡萝卜素;光合色素位于载染色体上,载染色体在原生质膜之下并与质膜相连。

活体光吸收峰在 700~755nm

- C. 细胞单个存在，能以硫化氢或元素硫作唯一光合电子供体。硫粒储存在细胞外。严格厌氧专性光养，但可在硫化物及光存在下，光同化简单的有机物..... 绿色硫细菌 (green sulfur bacteria)
- CC. 细胞排列成单细胞丝状体，可滑行运动 多细胞丝状绿细菌 (multicellular filamentous green bacteria)
- BBB. 含有细菌叶绿素 g 和类胡萝卜素；活体光吸收峰在 780~790nm；严格厌氧光异养生长，不能利用还原性含硫化合物，不含内膜系统和载色体。细胞壁缺脂多糖 螺旋杆菌科 (Helicobacteraceae)
- AA. 专性好氧生长，光照厌氧条件下不生长。含细菌叶绿素 a。化养或兼性光养 含细菌叶绿素 a 的好氧细菌 (bacteriochlorophylla-containing aerobic bacteria)

表 1-2 不产氧光合细菌 7 大类群的鉴别特征¹⁾

特 征	着色杆菌科	外硫红螺菌科	紫色非硫细菌	螺旋杆菌科	绿色硫细菌	多细胞丝状绿色硫细菌	含细菌叶绿素 a 的好氧光合菌
细胞存在形式：							
单个或聚集成团	+	+	+	+	+	+	+
多细胞丝状体	-	-	-	-	-	+	-
运动：							
鞭毛	+ 或 -	+	+ 或 -	+ 或 -	-	-	+
滑行	-	-	-	+ 或 -	+ 或 -	+	-
活体主要吸收峰：							
790~1030 nm	+	+	+	-	-	-b	+
780~790 nm	-	-	-	+	-	-b	-
700~755 nm	-	-	-	-	+	+b	-
主要的细菌叶绿素：	a 或 b	a 或 b	a 或 b	g	c, d 或 e	c, d 或 e ²⁾	a
类胡萝卜素群：							
群 1~4	+	+	+	- ³⁾	-	-	+
群 5	-	-	-	-	+	+	-
特殊的光合器官：							
片囊状内膜	-	+	-	-	-	-	ND
非片囊状内膜	+	-	+	-	-	-	ND
载色体	-	-	-	-	+	+	-
硫粒：							
细胞内	+	-	-	-	-	-	-
细胞外	-	+	+ 或 -	-	+	+ 或 -	-
硫化氢最终氧化产物：							
硫酸盐	+	+	+ 或 -	-	+	-	-
硫(或不氧化)	-	-	+ 或 -	-	-	+ 或 -	-
光养生长：							
厌氧条件下	+	+	+	+	+	+	-
好氧条件下	-	-	-	-	-	-	+ 或 -
化养生长：							
微好氧条件下	+ 或 -	+ 或 -	+	-	-	+	+
好氧条件下	+ 或 -	+ 或 -	+ 或 -	-	-	+ 或 -	+
生境	水生	盐碱水域	多水生	土壤	水生	温泉	水生

1) 符号见使用说明。

2) 俄尔岗螺丝菌 (*Heliothrix oregonensis*) 没有载色体和细菌叶绿素 c、d 和 e，只有少量的细菌叶绿素 a。

3) 绿螺旋杆菌 (*Heliobacterium chlorum*) 有链孢霉素状的类胡萝卜素。

第一节 着色杆菌科 [Chromatiaceae (Bavendamm 1924) Imhoff, 1984]

这是人们认识最早的一类光合细菌，其中 12 个属中的 8 个属是 19 世纪描述过的。

细胞球形、卵形、杆状、弧形或螺旋形；二分分裂方式繁殖。运动或不运动；有或没有气泡运动类型的细胞，具有极生鞭毛，单根或丛生。光合内膜系统与细胞质膜相连，呈囊泡状，只有一个种 *Thiocapsa pfennigii* 含有管状内膜和细菌叶绿素 b。所有其他种均含有细菌叶绿素 a 和类胡萝卜素的第 1、3、4 群。通常含有类胡萝卜素群 1 菌株的培养物呈现橘棕色到红棕色或粉色，含类胡萝卜素群 3 的呈现紫红色，含胡萝卜素群 4 的菌种呈现紫罗兰色。

厌氧条件下，所有的种都能以硫化物或元素硫作电子供体光能自养生长。元素硫作为硫粒暂时储存在细胞内。硫酸盐是含硫化合物的最终氧化产物。多数种在还原性培养基中能利用分子氢作为电子供体。所有的种都有可能混养生长，即光合同化一些简单的有机物，其中被利用最广泛的是醋酸盐和丙酮酸。某些种可在缺乏硫化物或硫的条件下光合同化有机物质。许多种都是严格厌氧专性光养。但有些种则能在黑暗微好氧或好氧条件下化能自养或化能异养生长。

在已测试的所有种中，CO₂ 自养同化途径均是还原性戊糖途径。贮存物质是多糖、聚 β 羟基丁酸盐及聚磷酸。几个种需要维生素 B₁₂。随着自然环境条件或培养条件的不同，所有的种都可能有两种存在形式，一种是单细胞，另一种是大小及形态各异的不运动的细胞集聚物，并被包裹在粘液层中。改变硫化物的浓度、光强度、pH、盐度、温度及氧分压会影响鞭毛的有无。高硫化物浓度 (2~4 mmol/L)，高光强 (2000~4000 lx) 下，所有生鞭毛的种由于被其形成的黏液层包裹成群而不运动。在光强一定的条件下，各个种都产生鞭毛，但恢复运动性细胞所适合的硫化物浓度不同。在硫化物浓度一定时，使细胞变为能运动所需的光强度和光照方式也不相同。光强度越低，则使某个菌株维持运动阶段的硫化物浓度越高。DNA 的 G+C mol% 为 45~71 (Bd)。

表 1-3 着色杆菌科各属检索表

- A. 细胞没有气泡。
- B. 细胞以极生鞭毛运动
- C. 细胞呈明显的螺旋状、弧状或长杆状
 - D. 细胞呈明显的螺旋状、弧状
 - E. 细胞呈明显的螺旋状，G+C mol% 为 45.5，生长不需 NaCl 3. 硫螺旋菌属 (*Thiospirillum*)
 - EE. 细胞呈明显的弧状，G+C mol% 为 61~63，生长需 NaCl 11. 硫红弧菌属 (*Thiorhodovibrio*)
 - DD. 细胞长杆状或稍有弯曲，G+C mol% 为 60.4 12. 杆状色菌属 (*Rhabdochromatium*)
- CC. 细胞球形，卵形或杆形
 - D. 细胞卵形至杆形 1. 着色菌属 (*Chromatium*)
 - DD. 细胞球形，细胞在分裂前为典型的双球状

- E. 细胞悬浮物颜色为紫色，细胞直径 $2.5\sim 3.0\ \mu\text{m}$ ，不利用乳酸盐、甘醇酸酯、乙醇为碳源 2. 囊硫菌属 (*Thiocystis*)
- EE. 细胞悬浮物颜色为棕黄色，细胞直径 $1.0\sim 2.0\ \mu\text{m}$ ，可利用乳酸盐、甘醇酸酯、乙醇为碳源 10. 硫红球菌 (*Thiorhodococcus*)
- BB. 细胞不运动，细胞球形，分裂前呈典型的双球状；单个细胞时，常被一定厚度的黏液层包围着 4. 荚硫菌属 (*Thiocapsa*)
- AA. 细胞有气泡
- B. 细胞以极生鞭毛运动
- C. 细胞球形 6. 闪囊菌属 (*Lamprocystis*)
- CC. 细胞卵形或杆形 5. 闪杆菌属 (*Lamprobacter*)
- BB. 细胞不运动
- C. 细胞球形至卵圆形，矩形平面排列 9. 板硫菌属 (*Thiopeido*)
- CC. 细胞不呈矩形平面排列
- D. 细胞球形，有黏液性荚膜 8. 可变杆菌属 (*Amoebobacter*)
- DD. 细胞卵形至杆形 7. 网硫菌属 (*Thiodictuon*)

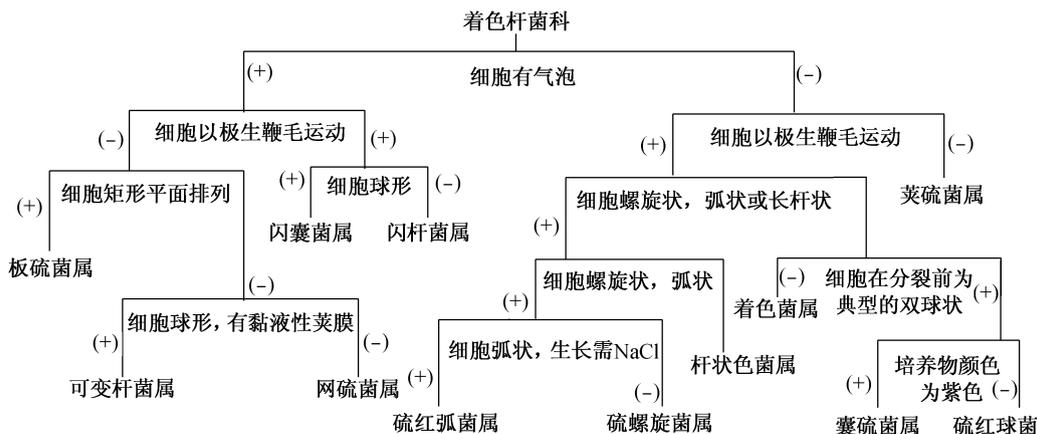


图 1-2 着色杆菌科各属检索

1. 着色菌属 (红硫菌属) (*Chromatium* Parry, 1852)

杆形或卵圆形，直或稍弯曲，末端圆。二分分裂，极生鞭毛单个或多个。单个或成对存在，或者粘连在一起形成块状物。革兰氏阴性。光合色素为细菌叶绿素 a 和 1~4 群类胡萝卜素，位于囊泡状光合内膜上。不含有气泡。

厌氧条件下，所有的种都能以硫化氢或元素硫作电子供体进行光能化能自养生长；元素硫作为中间氧化产物以高折光性硫粒的形式储存在细胞内。硫酸盐是最终氧化产物。分子氢也可能用作电子供体。所有种都可能同化一些简单的有机化合物进行混养生长；醋酸盐或丙酮酸盐使用最广。中温菌，最佳生长温度范围 $20\sim 40^\circ\text{C}$ 。储存物：多糖，聚 β 羟基丁酸盐，聚磷酸盐。

G+C mol%: $48.0\sim 70.4$ (Bd)。

模式种：奥氏着色菌 (*Chromatium okenii*)。

表 1-4 着色杆菌科各属的鉴别特征

特 征	着色菌属	囊硫菌属	硫螺旋菌属	荚硫菌属	闪杆菌属	闪囊菌属	网硫菌属	可变杆菌属	板硫菌属	硫红球菌属	硫红弧菌属	杆状色菌属
极生鞭毛运动	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+
气泡	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
细胞球状	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-
细胞球形至卵圆形,平面排列	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
细胞卵圆形至杆形	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
细胞螺旋形或弧形	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
长杆形长度是宽度的 10~20 倍	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
细胞有粘液性荚膜	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
培养物颜色:												
棕色至玫瑰红								+				
棕黄色												
紫红色		+										
类胡萝卜素:												
奥氏酮(Okenone)		+										
紫菌红素乙(Rhodopinal)		+										
螺菌黄素(Spirilloxanthin)		-								+		
碳源:												
乳酸盐		-								+		
甘油酸酯		-								+		
乙醇		-								+		
G+C mol%			45.5									60.4
需要 NaCl			0								61~63	2%~3%

表 1-5 着色菌属种的鉴别特征

特 征	巴氏着色菌 (<i>C. buderi</i>)	细着色菌 (<i>C. gracile</i>)	小着色菌 (<i>C. minus</i>)	最细着色菌 (<i>C. minutissimum</i>)	奥氏着色菌 (<i>C. okenii</i>)	绯红着色菌 (<i>C. prururatum</i>)	少盐着色菌 (<i>C. salerxigans</i>)	微温着色菌 (<i>C. tepidum</i>)	酒着色菌 (<i>C. vinosum</i>)	转紫着色菌 (<i>C. violasens</i>)	沃氏着色菌 (<i>C. warmiingi</i>)	韦氏着色菌 (<i>C. weissi</i>)	甘醇酸酯着色菌 (<i>C. glycolicum</i>)
细胞直径(μm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.5~6.0	+	—	—	—	+	—	—	—	—	—	+	—	—
3.5~4.5	—	—	—	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—
2.0~2.5	—	—	—	—	—	+	—	—	—	+	—	—	—
1.0~2.0	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
1.0													
培养物颜色, 类胡萝卜素系列:													
奥氏酮 (okenone)	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	+	—
紫菌红素乙 (rhodoppinal)	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	+
螺菌黄素 (spirilloxanthin)	—	+	+	—	—	—	+	+	+	—	—	—	+
维生素 B ₁₂ 需求	+	—	—	—	+	—	—	—	—	—	+	+	—
NaCl 需求(%):													
0~1.5	—	—	+	+	+	—	—	+	+	+	+	+	—
1~5	+	+	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	+
10	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—
最佳温度范围(°C)													
20~28	+	—	—	+	+	+	—	—	—	+	+	+	—
25~35	—	+	+	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
48~50	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—
碳源:													
甘醇酸酯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
G+C mol%	62~63	69~70	62	64	48~50	68~69	64.6	64.7	61~66	62~64	55~60	48~50	66.3

2. 囊硫菌属 (*Thiocystis* Winogradsky, 1888)

圆形或稍呈卵圆形，细胞分裂前呈双球菌；二分分裂；单鞭毛运动。细胞单个或成对或不规则聚集在粘液层中。革兰氏阴性。囊泡状光合内膜含有细菌叶绿素 a 和第 3 或第 4 群类胡萝卜素。不含气泡。

厌氧条件下，所有的种都能以硫化氢或元素硫作电子供体进行光能化能自养生长；硫化氢氧化过程中，元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞内。硫酸盐是最终氧化产物。在微好氧至好氧条件下，可兼性化能自养。

储存物有多糖、聚 β 羟基丁酸盐和聚磷酸盐。生境：淡水，咸水或海洋环境中的水体及其泥样。

G+C mol%：61.3~67.9 (Bd)。

模式种：紫囊硫菌 (*Thiocystis violacea*)。

表 1-6 囊硫菌属种的鉴别特征

特 征	紫囊硫菌 (<i>T. violacea</i>)	胶囊硫菌 (<i>T. gelatinosa</i>)
硫粒分布	随机	细胞周边
培养物颜色	紫色	紫红色
类胡萝卜素	紫菌红素乙	奥氏酮

3. 硫螺旋菌属 (*Thiospirillum* Winogradsky, 1888)

弯曲的杆形或螺旋形 (S 形)，二分分裂，极生鞭毛运动，有时细胞不运动，不规则聚集在粘液层中。革兰氏阴性。囊泡状光合内膜。不含气泡。

专性光养，严格厌氧。能以硫化氢或元素硫作电子供体进行光能化能自养生长；硫化氢氧化过程中，元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞内。硫酸盐是最终氧化产物。

储存物：多糖，聚 β 羟基丁酸盐，聚磷酸盐。

G+C mol%：45.5 (Bd)。

模式种 (唯一种)：耶拿硫螺旋菌 (*Thiospirillum jenense*)。

4. 荚硫菌属 (*Thiocapsa* Winogradsky, 1888)

圆形或稍呈卵圆形，1.2~3.0 μm 宽；二分分裂；不运动。可在两个垂直平面上同时分裂而形成四聚体。在某些不良条件下及很多自然生境下，细胞生长产生不规则的菌块，并包裹在粘液中。革兰氏阴性。囊泡状光合内膜含有细菌叶绿素 a 或 b，及类胡萝卜素。不含气泡。

厌氧条件下，能进行光养生长；黑暗微好氧及好氧条件下，可化能自养或混养生长。能以硫化氢或元素硫作电子供体进行光能化能自养生长；硫化氢氧化过程中，元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞内。硫酸盐是最终氧化产物。

G+C mol%：63.3~69.9 (Bd)。

模式种：桃红荚硫菌 (*Thiocapsa roseopersicina*)。

表 1-7 荚硫菌属种的鉴别特征

特 征	悬挂荚硫菌 (<i>T. pendens</i>)	桃红荚硫菌 (<i>T. roseopersinica</i>)	玫瑰荚硫菌 (<i>T. rosea</i>)
细胞直径(μm)	1.5~2.0	1.0~3.0	2.0~3.0
细菌叶绿素及光吸收峰			
a. 800~900nm	—	+	
b. 1015~1035nm	+	—	
培养物颜色,类胡萝卜素:			
粉色至玫瑰红,螺菌黄素 (spirilloxanthin)	—	+	
黄色或橘棕色,四氢螺菌黄 素(tetrahydrospirilloxanthin)	+	—	
专性光养	+	—	
兼性好氧化养	—	+	
硫代硫酸钠利用	—	+	

5. 闪杆菌属 (*Lamprobacter Gorlenko et al.*, 1979)

杆形或卵圆;二分分裂;不形成典型的聚合物,气泡分布在周质或整个细胞质中,在含硫化氢或硫代硫酸钠的培养基上生长时,积累细胞内硫粒。在其发育的特定阶段靠鞭毛运动。运动细胞通常缺少气泡。革兰氏阴性。囊泡状细胞内膜含有细菌叶绿素 a 和类胡萝卜素。

厌氧条件下,能以还原性硫化物作电子供体进行光能化能自养生长;兼性微好氧化能自养生长。

G+C mol%: 64 (化学分析)。

模式种(惟一种):嗜中盐闪杆菌(*Lamprobacter modesthalophilus*)。

6. 闪囊菌属 (*Lamprocystis Schroeter*, 1886)

细胞圆形至卵圆形,2~3.5 μm 宽;细胞分裂前,双球形。二分分裂;单鞭毛运动。高浓度硫化氢(4~6mmol/L)及高光强度下,细胞形成长而具分支的聚合物。且包裹在粘液中。在适宜的生长条件下,细胞集聚物分成较小的团块,这些细胞团呈现不同程度的球形,可靠其组成细胞的鞭毛运动;最后,单个的运动细胞被释放出来。革兰氏阴性。囊泡状光合内膜含有细菌叶绿素 a 及类胡萝卜素。气泡位于细胞的中央。

专性光养,严格厌氧。能以硫化氢或元素硫作电子供体进行光能化能自养生长;硫化氢氧化过程中,元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞内不含气泡的周质部分。硫酸盐是最终氧化产物。生境:含硫化氢的池塘和湖泊的泥及静止水体中;淡水湖含硫化氢的均温层中最常见的浮游菌。

G+C mol%: 63.8 (Bd)。

模式种(惟一种):桃红色闪囊菌(*Lamprocystis roseopersicina*)。

7. 网硫菌属 (*Thiodictyon Winogradsky*, 1888)

细胞杆形,末端圆,有时呈锭子状。二分分裂;不运动。细胞端部相接可形成不规则的网式结构,但其形状并不恒定,也可形成密实的块状物或分成单个的细胞。革兰氏

阴性。囊泡状光合内膜含有细菌叶绿素 a 及类胡萝卜素。气泡大而不规则，位于细胞的中央。

专性光养，严格厌氧。能以硫化氢或元素硫作电子供体进行光能化能自养生长；硫化氢氧化过程中，元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞内不含气泡的周质部分。硫酸盐是最终氧化产物。生境：含硫化氢的池塘和湖泊的泥及静止水体中；淡水湖含硫化氢的均温层中较常见的浮游菌。

G+C mol%：65.3~66.3 (Bd)。

模式种：美网硫菌 (*Thiodictyon elegans*)。

表 1-8 网硫菌属种的鉴别特征

特 征	美网硫菌 (<i>T. elegans</i>)	杆状网硫菌 (<i>T. bacillosum</i>)
生长形成集聚物	可形成网状的细胞集聚物	以游离的单个细胞的形式生长

8. 可变杆菌属 (*Amoebobacter* Winogradsky, 1888)

圆形，1.5~3 μm 宽；单个细胞有粘液包裹，或者细胞粘连在一起形成不规则的集聚物。二分分裂，不运动。有气泡，位于细胞中央或周质。培养物呈玫瑰红色，只有一个种是紫红色。革兰氏阴性。囊泡状内膜含有细菌叶绿素 a 或 b，及类胡萝卜素。

厌氧条件下，能进行光养生长；黑暗微好氧及好氧条件下，可化养生长。能以硫化

表 1-9 可变杆菌属种的鉴别特征

特 征	玫瑰色可变杆菌 (<i>A. roseus</i>)	悬挂可变杆菌 (<i>A. pendens</i>)	紫红可变杆菌 (<i>A. purpureus</i>)	片状可变杆菌 (<i>A. pediformis</i>)
细胞直径 (μm)				
1.5~2.0	—	+	—	—
2.0~3.0	+	—	+	+
3.0~4.0	—	—	+	—
细胞集聚物的形状：				
细胞单个存在	+	+	+	+
不规则	—	+	+	+
4~32 个细胞的矩形平面	+	—	—	—
气泡位置：				
中央	—	+	+	+
周质	+	—	—	—
培养物颜色：				
粉色，螺菌黄素 (spirilloxanthin)	+	+	—	+
紫红色，奥氏酮 (okenone)	—	—	+	—
最佳生长温度 ($^{\circ}\text{C}$)				
23~25	—	—	+	—
30~37	+	+	—	+
液体培养物明显粘稠	—	+	—	—

氢、硫代硫酸钠、元素硫或氢气作电子供体进行光能化能自养生长；硫化氢氧化过程中，元素硫作为中间氧化产物短暂储存在没有气泡的细胞周质中。硫酸盐是最终氧化产物。

生境：含硫化氢的池塘和湖泊的泥及静止水体中；在含有可降解有机物的废水氧化塘中可与桃红菱硫菌一起成为水华的主体菌。

G+C mol%：64.3~65.3 (Bd)。

模式种：玫瑰色可变杆菌 (*Amoebobacter roseus*)。

9. 板硫菌属 (*Thiopedia* Winogradsky, 1888)

细胞圆形至卵圆形，2.0~3.0 μm 宽；二分分裂。由于细胞在两个垂直平面上的连续分裂，形成了长方形板块结构，可由 4、8、16、32 或更多的细胞规则排列而成（可多达 128 或 256 个细胞）。不运动。革兰氏阴性。细胞的中央有形状不规则的气泡。囊泡状或片层状内膜系统含有细菌叶绿素 a 及类胡萝卜素。

厌氧光养生长。能以硫化氢或元素硫作电子供体进行光能化能自养生长；硫化氢氧化过程中，元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞内不含气泡的周质部分。硫酸盐是最终氧化产物。生境：含硫化氢的池塘和湖泊的泥及静止水体中；淡水湖含硫化氢的均温层中常见的浮游菌。

模式种（惟一种）：玫瑰色板硫菌 (*Thiopedia rosea*)。

10. 硫红球菌 (*Thiorhodococcus* Guyoneaud et al., 1997)

单个细胞球形；二分分裂。极毛运动。革兰氏阴性。囊泡状内膜系统含有细菌叶绿素 a 及类胡萝卜素。

厌氧光养生长。微好氧条件下兼性化养生长。能以硫化氢、硫、硫代硫酸钠或元素硫作电子供体进行光能化能自养生长；硫化氢氧化过程中，元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞内。硫酸盐是最终氧化产物。生境：海洋及湖泊含硫化氢的黑色沉积物表层。

G+C mol%：66.9 (Bd)。

模式种（惟一种）：*Thiorhodococcus minus*。

11. 硫红弧菌 (*Thiorhodovibrio* Overmann, Fischer and Pfennig, 1992)

单个细胞弧形至螺旋形；二分分裂。单极生鞭毛运动。革兰氏阴性。囊泡状内膜系统含有细菌叶绿素 a 及类胡萝卜素。

厌氧光养生长。能兼性化养生长。能以硫化氢或元素硫作电子供体进行光能化能自养生长；硫化氢氧化过程中，元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞内。硫酸盐是最终氧化产物。生境：海洋及湖泊沉积物表层，含硫化氢的微生物集生体。

G+C mol%：61~63 (HPLC)。

模式种（惟一种）：维氏硫红弧菌 (*Thiorhodovibrio winogradskyi*)。

12. 杆状色菌属 (*Rhabdochromatium* Dilling and Pfennig, 1995)

大多数细胞为长而直的杆形，分裂前后 $1.5\sim 1.7\ \mu\text{m}$ 宽， $16\sim 32\ \mu\text{m}$ 长，也可见到稍有弯曲的细胞。末端呈一定程度的圆锥形。二分分裂。细胞双极生鞭毛丛，每丛 $10\sim 20$ 根。革兰氏阴性。细胞悬浮物的颜色是米色或橘黄色。

囊泡状光合内膜含有细菌叶绿素 a 及番茄红素 (lycopene) 类胡萝卜素。

专性光养，严格厌氧。能以硫化氢、元素硫、硫代硫酸钠作电子供体进行光能化能自养生长；硫化氢氧化过程中，元素硫作为中间氧化产物短暂储存在细胞内。硫酸盐是最终氧化产物。不需生长因子。需 NaCl ($1.5\%\sim 5\%$)，低于 1% 或高于 6.5% 的盐度不能生长。

生境：含硫化氢的池塘和湖泊的泥及静止水体中；淡水湖含硫化氢的均温层中较常见的浮游菌。

G+C mol%: 60.4。

模式种 (惟一种)：海洋杆状色菌 (*Rhabdochromatium marinum*)。

第二节 外硫红螺菌科 (*Ectothiorhodospiraceae* Imhoff, 1984)

这群菌最早是由 Pelsh 1937 年发现的，曾经归为着色杆菌科。

细胞螺旋形或杆形，极生鞭毛或双极生鞭毛运动，二分分裂，有或无气泡，革兰氏阴性。依靠细菌叶绿素和类胡萝卜素作光合色素进行厌氧光合作用。利用还原性硫代物作电子供体光下厌氧生长。硫化物被氧化成元素硫，沉积在细胞外并可进一步氧化成硫酸盐。存在于海洋和含有硫化物及中性或高 pH 值的极端盐环境中。

G+C mol% 为 $50.5\sim 69.7$ (Tm)。

表 1-10 外硫红螺菌科属的鉴别特征

特 征	外硫红螺菌属	嗜盐嗜盐红螺菌属
低盐度 ($<10\%$) 生长	+	-
专性光养	-	+
鞭毛	极生丛鞭毛	双极生
脂肪酸类群	I, II, III, IV	V, VI, VII
醌类	MK7, Q7 或 Q8	MK8, Q8

1. 外硫红螺菌属 (*Ectothiorhodospirace* Pelsh, 1936)

细胞卵圆形或杆形至螺旋形， $0.7\sim 1.5\ \mu\text{m}$ 宽，极生丛鞭毛运动；二分分裂，可能含气泡，革兰氏阴性。片层状光合内膜与细胞质膜相连。光合色素是细菌叶绿素 a 或 b 及螺菌黄素类胡萝卜素。

厌氧条件下可以还原性硫化物或氢作电子受体行光自养生长，或者利用有限的几种简单有机化合物行光异养生长。硫化物被氧化成元素硫，储存在细胞外，也可进一步氧化成硫酸盐。有些种能在黑暗条件下微好氧及好氧生长。生长要在盐碱条件下进行。不

需要生长因子，但维生素 B₁₂可刺激某些菌株的生长。储存物：多糖、聚β羟基丁酸盐和聚磷酸盐。

外硫红螺菌属菌生长在 pH 值中性至极端碱性，且含有硫化氢的海洋至极端高盐环境下，如海湾，盐滩，盐湖，苏打湖等，偶尔也能在土壤中发现。

G+C mol%：61.4~65.0 (Tm) 或 62.3~69.9 (Bd)。

模式种：运动外硫红螺菌 (*Ectothiorhodospirace mobilis*)。

表 1-11 外硫红螺菌属种的鉴别特征

特 征	运动外硫 红螺菌 (<i>E. mobilis</i>)	沙氏外硫 红螺菌 (<i>E. shaposhnikovii</i>)	小空泡外硫 红螺菌 (<i>E. vavulata</i>)	死海外硫 红螺菌 (<i>E. marismortii</i>)	海洋外硫 红螺菌 (<i>E. marina</i>)	盐碱外硫 红螺菌 (<i>E. haloalkaliphila</i>)
细胞直径(μm)						
0.5~0.6	—	—	—	—	—	—
0.6~0.9	+	+	—	—	+	+
0.9~1.3	—	—	—	+	+	+
1.3~1.5	—	—	+	—	—	—
G+C mol%	62.2~63.7	62.0	61.4~63.6		62.8(Bd)	63.5
气泡	—	—	+	—	—	—
硝酸盐利用	—	+	—	ND	—	—
最佳盐度	2~10	1~7	1~6	1~6	2~6	5
丙酸盐	+	+	+/-		+	—
丁酸盐	—	+	+/-		—	—
乳酸盐	—	+	+/-		+	—
葡萄糖	—	+	+/-		—	—

2. 嗜盐红螺菌属 (*Halorhodospira* Imhoff and Süling, 1996)

细胞螺旋形，某些条件下也呈现杆形，0.5~1.2 μm 宽，双极生鞭毛运动；二分分裂，革兰氏阴性。片层状光合内膜与细胞质膜相连。光合色素是细菌叶绿素 a 或 b 及类胡萝卜素。

厌氧条件下可以还原性硫化物或氢作电子受体行光自养生长，或者利用有限的几种简单有机化合物行光异养生长。硫化物被氧化成元素硫，储存在细胞外，也可进一步氧化成硫酸盐。

生长要在盐碱条件下进行。所有种都需要 10% 以上的盐浓度，有些种在饱和的盐浓度下生长。不需要生长因子。储存物：多糖、聚β羟基丁酸盐和聚磷酸盐。

嗜盐红螺菌属菌生长在 pH 值中性至极端碱性，且含有硫化氢的高盐至极端盐度环境中，如盐滩、盐湖和苏打湖等。

G+C mol%：50.5~69.7 (Tm)。

模式种：嗜盐嗜盐红螺菌 (*Halorhodospira halophila*)。

表 1-12 嗜盐红螺菌属种的鉴别特征

特 征	嗜盐嗜盐红螺菌 (<i>H. halophila</i>)	盐绿嗜盐红螺菌 (<i>H. halochcoris</i>)	阿氏嗜盐红螺菌 (<i>H. abdelmalekii</i>)
细胞直径(μm)	0.6~0.9	0.5~0.6	0.9~1.2
G+C mol%	67.5~69.7	50.5~52.9	63.3~63.8
最佳盐度	11~32	14~27	12~18
硫代硫酸钠	+	-	-
乳酸盐	+	-	-

第三节 紫色非硫细菌

表 1-13 紫色非硫细菌的检索表

- A. 能在高于 3% NaCl 中生长
- B. 也能在淡水中很好生长, 光照厌氧液体培养物颜色为黄绿色或棕红色 3. 红细菌属 (*Rhodobacter*) (固氮红细菌或类球红细菌)
- BB. 在淡水中不能生长或生长差
- C. 含叶绿素 b, 在 986nm 处有吸收峰 12. 红螺细菌属 (*Rhodospira*)
- CC. 含叶绿素 a, 在 900nm 以上无吸收峰
- D. 光照厌氧液体培养物颜色为黄绿色或棕红色 16. 小红卵菌属 (*Rhodovulum*)
- DD. 光照厌氧液体培养物颜色为粉色或红色
- E. 菌体螺旋形
- F. 光合内膜片层状 14. 红海菌属 (*Rhodothalassium*)
- FF. 光合内膜囊泡状
- J. 最佳生长温度 25~35°C, 能耐受 15% 的盐度 17. 玫瑰螺菌属 (*Rosespira*)
- JJ. 最佳生长温度为 35~42°C, 能耐受 20% 的盐度 15. 红弧菌属 (*Rhodovibrio*)
- EE. 菌体杆形, 光合内膜片层状 4. 红菌属 (*Rhodobium*)
- AA. 不能在 3% NaCl 中生长
- B. 光照厌氧液体培养物颜色为绿色或橄榄绿色, 含叶绿素 b, 在 900nm 以上有光吸收峰 1. 芽生绿菌属 (*Blastochloris*)
- BB. 光照厌氧液体培养物颜色为黄绿色至棕红色、红色或粉色; 含叶绿素 a, 在 900nm 以上无光吸收峰
- C. 好氧化养菌落为粉色, 以丁酸钠为唯一碳源生长时可形成孢囊 ... 5. 红菱菌属 (*Rhodocista*)
- CC. 不形成孢囊
- D. 光照厌氧液体培养物颜色为橘红色至棕色; 有特征性营养生长周期, 周生鞭毛的游动性细胞可形成无鞭毛的丝状体, 丝状体的端部可形成球状外生孢子 8. 红微菌属 (*Rhodomicrobium*)
- DD. 无特征性营养生长周期
- E. 没有明显的光合内膜结构; 菌体弧形或杆形, 细胞直径 0.6~0.9 μm ; 能液化明胶 7. 红育菌属 (*Rhodoferax*)
- EE. 有明显的光合内膜结构
- F. 光合内膜为细胞内膜的指管状内突
- G. 可液化明胶, 桃红色至黄棕色, 产生丰富的粘液, 能利用葡萄糖、果糖和甘露糖 18. 红长命菌属 (*Rubrivivax*)

表 1-14 紫色非硫细菌各属的鉴别性特征^{a)}

	<i>Bla.</i>	<i>Pha.</i>	<i>Rba.</i>	<i>Rbi.</i>	<i>Rci.</i>	<i>Rcy.</i>	<i>Rf.</i>	<i>Rm.</i>	<i>Rpl.</i>	<i>Rpi.</i>	<i>Rps.</i>	<i>Rsa.</i>	<i>Rth.</i>	<i>Rvi.</i>	<i>Rsp.</i>	<i>Rvu.</i>	<i>Ros.</i>	<i>Ru.</i>
最佳生长需 NaCl	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-
厌氧光照培养物颜色	-	-	-	-	-	+-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-
红色	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-
粉色	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-
棕色	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+
绿色	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
细胞形状:																		
螺旋形或弧形	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	-
球形,卵圆形或杆形	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+
半圆形	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
细胞分裂:																		
二分分裂	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
出芽分裂	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
光合色素:																		
叶绿素 a	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
叶绿素 b	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
光合内膜:																		
囊泡状	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
片层状	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
指状内突	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
运动:																		
极生鞭毛	+	+	+/ -	+	+	+/ -	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
周生鞭毛	-	-	-	-	-	-	+/ -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
水解明胶	-	-	-	-	-	-	-w	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
外孢子	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
孢囊	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G+C mol%	66~60	60~64.4	64.4~61.5	61.5~68	68~59.8	64.8~61.8	59.8~61.8	61.8~66	66~66.3	66.3~61.5	61.5~63	63~66.2	66.2~63.8	63.8~62.1	62.1~65	65~70.5	70.5~72.5	72.5
	71	66	70.2	65.7	70	65.3	60.3	63.8	70	71.4	66.0	67.4	66.8	67.7	68	68	68	72.5

a) 属名缩写注释: *Bla.* 芽生绿菌属; *Pha.* 褐红螺菌属; *Rba.* 褐红螺菌属; *Rbi.* 红螺菌属; *Rci.* 红螺菌属; *Rcy.* 红螺菌属; *Rf.* 红螺菌属; *Rm.* 红螺菌属; *Rpl.* 红螺菌属; *Rpi.* 红螺菌属; *Rps.* 红螺菌属; *Rsa.* 红螺菌属; *Rth.* 红螺菌属; *Rvi.* 红螺菌属; *Rsp.* 红螺菌属; *Rvu.* 红螺菌属; *Ros.* 玫瑰螺菌属; *Ru.* 红长命菌属; *Ru.* 红长命菌属

1. 芽生绿菌属 (*Blastochloris* Hiraishe, 1997)

杆形至卵圆形，生长具极性，不对称的出芽分裂。有时可看到玫瑰结形细胞聚合体。依靠亚极生鞭毛运动。革兰氏染色阴性。光异养厌氧生长。也可能进行黑暗微好氧生长。光养生长细胞含有片层状光合内膜，且平行于细胞内膜。光合色素为叶绿素 b 和类胡萝卜素。光培养物的颜色是绿色至橄榄绿。含有 Q-8、Q-10、MK-7、MK-9。G+C mol% 范围为 66~71。16S rRNA 序列在光合菌中与红游动菌属 (*Rhodoplane*) 最近。属 α -2 亚群。

模式种：绿硫芽生绿菌 (*Blastochloris sulfoviridis*)。

表 1-15 芽生绿菌属种的鉴别特征¹⁾

性 状	绿色芽生绿菌 (<i>B. viridis</i>)	绿硫芽生绿菌 (<i>B. sulfoviridis</i>)
颜色	绿色	橄榄绿
出芽类型	分裂管	无柄
硫酸盐同化	+	-
硫化氢作电子供体	-	+
生长因子	b, p-ABA	b, p-ABA, p
碳源:		
丁酸盐	-	+
丙酮酸	+	-
辛酸盐	+	-
果糖	-	+
甘油	-	+
壬酸	+	-
硫代硫酸钠	-	+
G+C mol%	66.3~71.4	67.8~68.4

1) b. 生物素; p-ABA, 对氨基苯甲酸; p. 冷酸。

2. 褐螺菌属 (*Phaeospirillum* Kluver and van Niel, 1936)

细胞弧形至螺旋形，0.5~1.0 μm 宽，极生鞭毛运动，细胞行二分分裂，革兰氏染色阴性。属 α -Proteobacteria。光合内膜片层状。光合色素为细菌叶绿素 a 和螺菌黄素类胡萝卜素。醌类以 Q-9 和 MK-9 为主。淡水菌，生长不需要氯化钠。细胞喜在光照厌氧条件下光异养生长。但可在黑暗条件下行微好氧生长。需生长因子。G+C mol% 为 60~66。该属的已知种有两个，其鉴别特征见表 1-16。

模式种：黄褐螺菌 (*Phaeospirillum fulvum*)。

表 1-16 褐螺菌属种的鉴别特征

性 状	黄褐螺菌 (<i>P. fulvum</i>)	莫氏褐螺菌 (<i>P. molischianum</i>)
细胞直径 (μm)	0.5~0.7	0.7~1.0
生长因子	p-ABA	氨基酸
苯甲酸利用	+	-
G+C mol%	64.3~65.3	60.5~64.8

表 1-17 红细菌属种的鉴别特征¹⁾

性 状	固氮红细菌(<i>R. azotiformans</i>)	芽生红细菌(<i>R. blastica</i>)	荚膜红细菌(<i>R. capsulatus</i>)	类球红细菌(<i>R. sphaeroides</i>)	维氏红细菌(<i>R. veldkampii</i>)
细胞直径(μm)	0.6~1.0	0.6~1.0	0.5~0.8	0.7~1.0	0.6~1.2
运动	+	-	+	+	-
光合内膜	囊泡	片层	囊泡	囊泡	囊泡
产生粘液	+	+	+/-	+	-
3% NaCl 中生长	+	-	-	+	-
硫酸盐同化	+	+	+	+	-
硫化氢氧化产物	S ⁰	-	S ⁰	S ⁰	硫酸盐
电子受体:					
硝酸盐	+	-	-	-/+	-
二甲基亚砷	-	-	+	+	-
N-氧三甲基胺	-	-	+	+	-
生长因子	b, n, t	b, n, t, B ₁₂	t, (b, n)	b, n, t	b, p-ABA, t
碳源:					
半乳糖醇	+	-	-	-	-
甘露醇	+	+	-	+	-
柠檬酸盐	-	-	-	+	-
酒石酸盐	-	-	-	+	-
葡萄糖酸钠	-	-	-	+	-
乙醇	-	-	-	+	-
硫代硫酸钠	-	-	-	-	+
G+C mol%	69.5~70.2	66.3~66.6	65.3~66.8	68.4~69.9	64.4~67.5

1) 符号及缩写: +, 阳性; -, 阴性; +/- 阳性多于阴性; -/+ 阴性多于阳性; S⁰, 元素硫; b, 生物素; n, 尼克酰胺; t, 硫胺素; p-ABA, 对氨基苯甲酸; B₁₂, 维生素 B₁₂。