

水净化微生物学

М. Н. 罗特米斯特罗夫

[苏] П. И. 格沃兹佳克 著

С. С. 斯塔夫斯卡娅

沈 韞 芬 译

谭 渝 云 校



中国建筑工业出版社

水净化微生物学

М.Н.罗特米斯特罗夫
[苏] П.И.格沃兹佳克 著
С.С.斯塔夫斯卡娅

沈 韞 芬 译
谭 淪 云 校

中国建筑工业出版社

本书主要介绍污水中细菌、真菌、藻类和原生动物的形态、生殖、生理与分类等基本知识；论述了它们各自在水净化过程中的功能；着重分析了微生物在降解各类有机物过程中的机理；介绍了细菌酶类、固定化酶和固定微生物细胞在污水净化过程中的应用；提出了去除处理后水中微生物的有特色的电阻拦方法。它概括了国际上近三十年来在研究水微生物降解各类毒物方面的成就，列出了专性降解各类毒物的微生物种类表，为读者进行深入工作提供了资料。本书可供环境保护、给水排水、污染微生物学等专业人员参考。

本书翻译过程中，对一些专业性很强的内容曾请教中国科学院水生生物研究所、微生物研究所和南京地质古生物研究所的有关同志。全稿请北京市环境保护科学研究所曹维勤同志审阅。

* * *

**МИКРОБИОЛОГИЯ
ОЧИСТКИ
ВОДЫ**

М.Н. РОТМИСТРОВ П.И. ГВОЗДЯК С.С. СТАВСКАЯ
« НАУКОВА ДУМКА », КИЕВ, 1978

* * *

水 净 化 微 生 物 学
沈 槁 芬 译
谭 渝 云 校

*
中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

*
开本：787×1092毫米 1/32 印张：10 字数：224千字

1983年6月第一版 1983年6月第一次印刷

印数：1—8,100册 定价：1.55元

统一书号：15040·4482

前 言

为了子孙后代的正常生活，人类社会面临着一个非常重要而严峻的任务：保护自然界，其中也包括保护水源。编写本书的目的和任务，在于希望在创建水净化微生物学基础方面有所裨益，并能以此促进保护周围环境免受污染。

本专著内容的安排和选择，一方面是力求为从事工业污水生物净化工程的工程技术人员（微生物工作者和生化工作者）提供第一部微生物学方面的参考资料；另一方面作者希望本书能作为高等院校讲授生态微生物学基础课使用。生态微生物学的方向是保护自然界免使工业化学废物排入水渠和土壤中去，以及保护周围环境，使其免受因人类经济活动产生的农药和洗涤剂的污染。因此，我们认为必须有专门的篇章阐述微生物的一般知识（第一章）。同时，作者不可能在本书中包罗工业净化工程中室内微生物管理机构和研究部门、大专院校中研究水净化微生物学的机构所需要的全部条规。要作到这一点，必须要有微生物技术方面的资料手册。

在大部分的教科书和直接涉及水净化微生物学的专著中只提到过被活性污泥（即复合的生物群落）所引起的生化过程、净化动力学以及按化学指标管理的工作方法，并展示出技术图表和其工程模型。

在本书中叙述了微生物的总论、文献评述、以及我们个人的研究结果，它包括微生物的分类，生化降解的可能性，以及微生物生态学和生物学的特性。并在书中也指出了哪些

方面可以采用生化降解的途径。第二章中扼要报导了曝气池构造和生物净化技术。

乌克兰加盟共和国科学院胶体化学和水化学研究所水净化微生物学研究室揭示了一种称之为各级分散度颗粒的电阻拦的新现象。这个现象已应用于将水和微生物及其代谢产物分离，以便在生产安培注射液时取得所必须的无热源水。此外，还研究将这种现象应用于胺的固化已有充分根据，认为在不久的将来会把电阻拦现象更广泛地应用于去除微生物细胞的水净化工艺中。这个问题列于第四章。第四章还叙述了本研究所详细研究的水净化的试剂法。

前言、引言、第一章和结论部分由М.Н.罗特米斯特罗夫 (Ротмистров) 编写；第四章由П.И.格沃兹佳克 (Гвоздяк) 编写；第二章由С.С.斯塔夫斯卡娅 (Ставская) 编写；第三章由П.И.格沃兹佳克和С.С.斯塔夫斯卡娅合编。

引 言

在生产力高度发展的工业化国家中，工业废水的净化作为保护自然的一项措施，具有十分重要的意义。在已经应用的工业废水净化方法中，生物净化是最便宜而又最可行的，并在实践上常常是唯一可能的方法。

废水生物净化工艺学的基础是运用活性污泥或生物膜。活性污泥或生物膜是由许多很小的、用显微镜才能看清的、活的和死的有机体聚集而成。因为在自然界中，由于生态过程的共同性而密切生活在一起的有机体，可以建立复杂的相互关系——从共生关系到对抗关系，因而不论是活性污泥还是生物膜都不能看作简单的有机体的聚集，他们的种类组成受生态条件所制约。

对于所有具有废水和生物净化装置的工业部门来说，活性污泥或生物膜的成分至今未获研究。不过，在每种活性污泥和每种生物膜中作用的原理和引起生化降解过程的是微生物，尤其是细菌，这已是不容争辩的。不管工业生产的特点或者工业部门的特点如何不同，对于活性污泥来说，首先应是异养菌，而对于生物膜来说，除细菌外，起主要作用的还有小霉菌。

关于水的生物净化的科学概念，在它形成的最初阶段被作为单纯的工艺学。当然，它的效能以生物工艺学的形式出现是毫无疑问的。可是在大多数涉及水生物净化的刊物中都没有把微生物——生化过程的激发者作为基础。如果在这些

出版物中提到它，在某种程度上也只是供工程师之用。在微生物学以及其他生物科学中不断地萌芽出新的领域和新的分支学科。于是，几十年来产生了技术真菌学；抗菌素学；微生物遗传学和育种学；分子生物学，以及地质微生物学等。由于整个大陆水域和全世界海洋污染的威胁已降临于人类，以及因科学技术进程的影响而引起淡水的缺乏，激励着科学工作者们去集中精力研究以微生物过程为基础的工业废水的生物净化。

必须对定期出版刊物的论文中，有关已应用于工业废水净化的、或者有潜在作用的各种微生物分解者加以分类和整理，同时也须总结我们在研究去除水中的合成有机化合物及微生物方面的工作。在用细菌纯培养及其复合体净化废水时，要求从水中去除微生物细胞，因为在纯培养中，它们不会象活性污泥那样生成沉淀。同时，我们认为不仅应当整理出能在水中促进有机物分解和转化，即在净化装置中起作用的那些微生物分类和生化特点，而且也应当收集在土壤中或是在实验室条件下起作用的微生物分解者，这才是合理的。

有了微生物分类单元的生理、生化性能方面的详细特点，首先就可以将有分解能力的微生物进行纯培养，以供应工厂的实验室、科学研究所各部门以及各工业部门之用，其次可作为工业废水生物净化微生物学基础的论据，以说明哪些种类能够完成哪种降解机能。必须建立微生物分类单元和生化反应之间的联系，这就要求对各工业部门作具体的介绍。在建立以细菌纯培养或其复合体作为生物净化的工艺方案时，就可以引入这种培养物，或甚至是从工厂净化装置中分离出这些培养物。于是以活性污泥方法作为废水净化的装

置时，可以引入一定的细菌培养使活性污泥富集细菌。

作者试图综合各种文献和我们的研究成果，涉及到在外界环境或实验室试验的条件下，相当多的微生物能对各种农药、表面活性剂（ ΠAB ）以及工业各部门的废物具有降解作用，这些废物污染了自然界并且是难以分解的一类有机物质。

在净化装置和生活污水中常遇到无数的有生命的生物。活性污泥、生物膜和污水中的微型生物世界，不能单纯地看作微生物的世界。微生物的概念在微生物学上有具体的内容。属于微生物的有：细菌、真菌——丝状的小霉菌和酵母，在一定条件下还有病毒。但是在一些微生物学和土壤微生物学的教科书中，除了典型的微型有机体外还有原生动物（Protozoa）和藻类（金藻门Cyanophyta、绿藻门Chlorophyta、硅藻门Bacillariophyta、硅藻类Diatomeae），虽然其中原生动物是动物学的对象，藻类是藻类学的对象。工业废水净化的微生物学特殊性要求我们在本书中也这样仿效，因为在糖厂和淀粉厂工业废水净化中广泛采用藻类，此外它还能破坏一些化合物并增加水中氧气，从而能间接或直接地影响池塘和其它水体中水的净化。在物质交换过程中原生动物不会参与污染废水中的合成有机物质，但是在活性污泥的功能中，它作为营养链中吞食细菌的一个环节。在活性污泥和生物膜中常能遇到其它的动物区系代表者：蠕虫、节足动物、双翅目幼虫，对这些我们就不去提它，因为它们无论对微生物学或是对水净化都没有任何关系。

与其它微生物类群相比，在水净化中起主要作用的是细菌。因此，在第一章中将以细菌为主。本书有助于在工业部门工作的微生物学家以及其它有关人员，例如水化学家、工

艺师等去熟悉微生物的作用和种类组成。微生物是人类为保护水体而斗争的助手，是卫生员。本书还有助于解决在科学技术进展中对人类提出的一些问题，其中不可避免地涉及到需要大量的淡水，因为它具有工程上的原料意义。因此，合理地管理水的经营，动员各科学部门为保障社会经济和工业有优质的水而开展研究工作是时代的根本要求。

目 录

前言

引言

第一章 微生物总论	1
I、细菌（原核生物）的构造、组成和繁殖	1
II、细菌（原核生物）的分类	50
III、真菌、绿藻和原生动物的构造、繁殖和分类	73
IV、微生物的生理特点	90
V、细菌的变异性和遗传性	107
第二章 污水净化中的微生物	128
I、净化工程及其在运转中的管理方法	128
II、污水生物净化中的微生物区系	138
第三章 某些合成有机物的微生物降解作用	163
I、研究合成有机物质微生物降解作用的途径	163
II、表面活性剂的降解作用	172
III、污水净化中固定化微生物细胞和酶系统的应用	200
第四章 水和微生物的分离	211
I、试剂法	214
II、非试剂法	224
III、用极化物质阻拦微生物	238
结论	263
参考文献	270
附录	292

第一章 微生物总论

I. 细菌（原核生物）的构造、组成和繁殖

在工业污水中生活着无数的微生物，其中大多数是细菌。如果考虑到为了使工业废水的生物净化更为有效，常常加入富有天然有机物质（水溶性的蛋白质和碳水化合物）的生活污水，那么在这样的废水中显然能繁殖几乎是现在已知的全部异养菌，以及一些（可能也是全部）新陈代谢为化学自养型的细菌。除了真正的细菌（真细菌эубактерия）外，在工业废水中还有粘细菌、放线菌、蓝藻、原质菌及其它微生物，如病毒、真菌、绿藻和动物界的代表——原生动物。细菌细胞的特点是有最完全的酶系统，能控制千变万化的化学反应，这些反应有利于国民经济，并能保护周围环境，避免由于受到工业生产而积累的化学物质引起死亡或局部中毒的威胁。微生物是地球的良好卫生员！许多微生物被利用在工业和农业经济中制造酒精、酸类、生物活性剂和抗菌素。在农业经济中常常应用固氮菌和昆虫病原性微生物。但是，除此之外，许多微生物不仅无益，而且十分有害，它可以寄生在人、动物、植物的体内，形成毒素，即病原性的（致病的）或植物病原性的微生物，它能引起人类、家畜、农作物、森林的病害。对人类经济带来最大危险的是生活于食品、饲料、经济商品上的腐生菌，它能危害并降低商品质量。对人类有坏作用的还有上述微生物各个类群的代表，也有病毒和

立克次体，它们属于既不能营腐生生活，也不能在高等生物的活细胞外生存的寄生者。

1. 细菌的形态学 细菌的细胞构造近于有较高级组织的结构（真核生物）。大多数细菌属于单细胞生物，因此它们在形态上的多样性就可能受到限制，特别是它们的大小往往还不到一微米。在本世纪40年代前，也即在电子显微镜运用于实验室之前，所描述的大多数细菌根据细胞形状可分为三种几何图形——球形、圆柱形和螺旋形，当然，几何图形不可能准确地反映活的细菌，更何况形状上还有不小的偏离。有些细菌是属于从这一图形向另一图形的过渡型，还有些是球形、圆柱形的细胞体联成链状。

球状、卵状或有时不十分规则的但接近球形的细菌称之为球菌（coccus——希腊语“颗粒”之意）（图1）。分裂后成单个细胞的，名为微球菌（Микрококки）。分裂后成对地连接的，名为双球菌（Диплококки, diplos——希腊语“双”之意）。双球菌有时由荚状细胞组成，有时细胞加长，尤如光焰或柳叶刀刃。在一个方向分裂时球菌连接成长链状，名为链球菌（Стрептококки, streptos——希腊语“链带”之意）。在两个互相垂直的方向分裂时，形成四个细胞的形状，称为四球菌（Тетракокки）。还有一些球菌能在三个互相垂直的方向分裂，形成由许多四球菌互相粘合的叠包状，称为八叠球菌（Сарцины, 拉丁文Sarcina——“束、捆包”之意）。八叠球菌在空气、水、土壤上均可遇见。还有一类球菌象葡萄串，称为葡萄球菌（Стафилококки, Staphylos——希腊语“葡萄串”之意），这类细菌常常在人和动物的皮肤上，是引起化脓的病原菌。微球菌、双球菌、链球菌、八叠球菌、葡萄球菌等是细菌的特定属。

在各种形状细菌中，球菌的大小最为一致，其直径为0.5~1.0微米，有时达2.5微米。

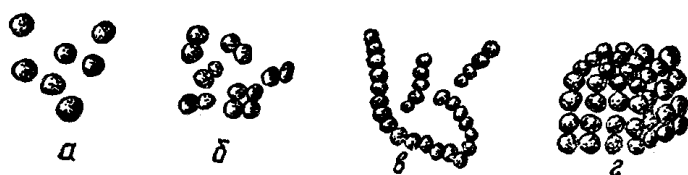


图 1 球菌

a—细球菌；b—双球菌；c—链球菌；d—八叠球菌

杆状或圆柱状细胞的细菌常有不同长度：从几乎象球菌或是球状杆菌一样十分短的（1~1.5微米）到长的；有时直有时弯曲或扭曲的杆菌；甚至线状体（10~18微米或更多）。杆形细菌广布于自然界，它比球状的细菌大三倍。认为圆柱状要比球状有较为适宜的质量和面积的比值。许多杆形细菌能活动，是依靠鞭毛而动的。在杆形细菌中有相当多的种类能形成孢子。孢子总是在细胞内形成，称内孢子。能形成孢子的杆形的、革兰氏阳性的、需氧的类型都称之为杆菌（Бациллы），归于芽孢杆菌属（*Bacillus*）。孢子的、革兰氏阳性的、不需空气能生活的厌氧类型归于芽孢梭菌属 *Clostridium*。无孢子的、革兰氏阴性的、杆形的、到处能分布的类型归于杆菌属 *Bacterium*。水中和土壤中占优势的、革兰氏阴性杆状类型、能形成黄色或绿黄色素，归于假单孢菌属 *Pseudomonas*。假单孢菌属的细胞不同于杆菌属 *Bacterium* 的细胞在于其行动器官鞭毛的极性位置（单极或双极位置）。

圆柱形状的细菌和球菌一样，细胞在分裂后有成对地连接成双细菌（Диплобактерии）和双杆菌（Диплобацилл-

лы)的, 也有长杆状地连接成链细菌 (Стрептобактерии) 或链杆菌 (Стрептобациллы) 的, 象一串松果 (图 2)。杆菌的长度从1~2微米到10~20微米。

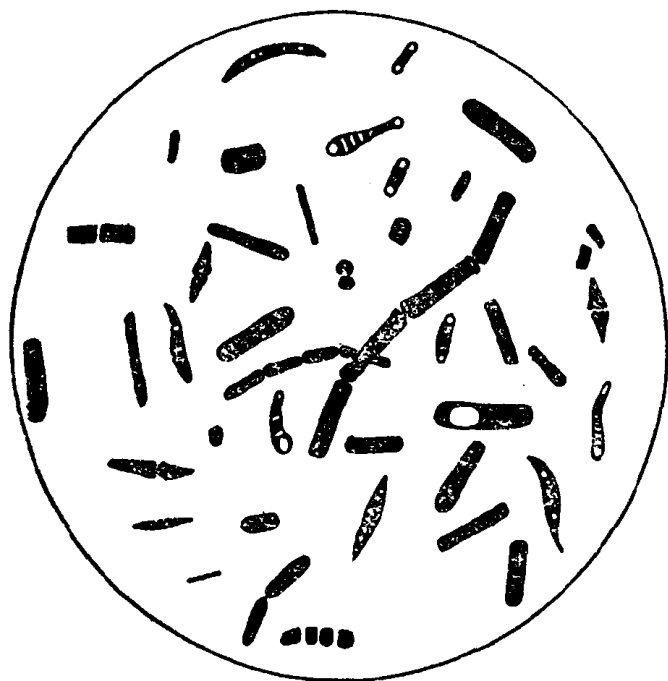


图 2 杆菌

假单孢菌属Pseudomonas、杆菌属Bacterium、芽孢杆菌属Bacillus和芽孢梭菌属Clostridium细胞的杆状类型有各种各样的形态：一类是细胞在整个长度内的厚度都是均匀一致的；而另一类是细胞中间加厚，尤如煤油灯的玻璃罩（如孢子形成阶段时的芽孢梭菌属Clostridium）；还有第三类则在孢子形成前在杆细胞末端变厚，尤如打鼓棍或网球拍。最后，还有一类细胞末端是尖的，尤如织布的梭子。在

杆菌中和放线菌亲缘的分枝杆菌（*Микобактерии*）、棒状细菌（*Коринебактерии*），其细胞的形状常因厚度、弯曲、扭曲而变得不规则，以至几乎难以确定它是“杆状”的。

某些杆状的乳酸细菌和丁酸细菌在发酵的碳水化合物液体环境中常呈不规则的或局部的线状。枯草杆菌在液体培养基中形成菌苔时常呈现特有的、由数十个杆状细胞联成的线体状，其它种类的杆菌也有此特性（图3）。

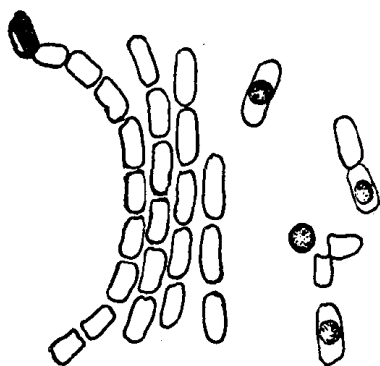


图3 枯草芽孢杆菌
*Bacillus subtilis*细胞

线菌或鞘杆菌（*Хламидобактерии*）是分类上独立的类群，它由无数链状排列的杆菌形成长线条，并覆盖有管状的鞘或壁（图4）。线条长达1000微米，有时达数毫米，厚度为1~2微米。在净化装置的曝气池、沉淀池、池塘以及各种淡水水体中总是有线菌。

螺旋状细菌或是盘绕状细菌不属于彼此近缘的同一类型的微生物。它们在细胞长度和厚度，螺旋的圈数和直径，旋转的方向，以及许多生物学特点方面都有不同的差别。根据总的特性可以把螺旋菌分为三类：弧菌（*Вибрионы*）、螺旋菌（*Спириллы*）和螺旋体（*Спирохеты*）（图5）。弧菌是弯曲的杆状，约旋转1/4螺旋周，有时几个弧菌细胞形成螺旋。弧菌是由拉丁文颤动vibrare而得名。有些弧菌有扭转的末端，呈肾形或菜豆形，例如掠食性的寄生在革兰氏阴性菌上的蛭弧菌*Bdellovibrio*（图6），大小为 1.0×0.5 微米。螺旋菌是指细菌的身体有完整的螺旋圈，有时甚至有二

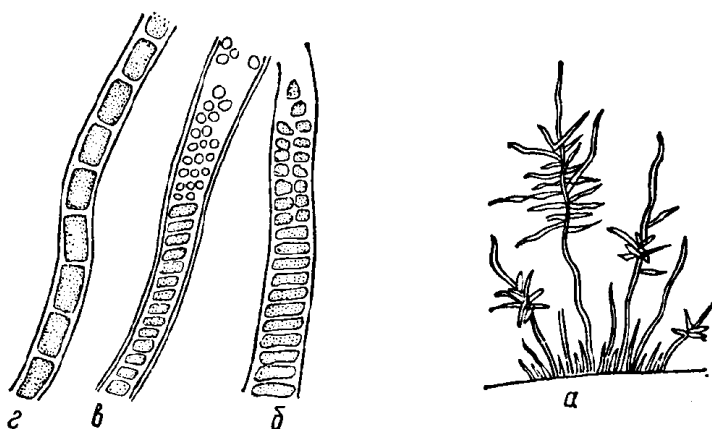


图 4 线菌——多孢铁细菌 *Crenothrix polyspora*

a—着生线菌的菌苔；*b*—有大分生孢子的部分线菌；*c*—有小分生孢子的部分线菌；*d*—年幼的、快速生长的线菌

圈。这是典型的腐生性的水生有机体，例如迂回螺菌 *Spirillum volutans*，是巨大的细菌，大小为 $30 \sim 70 \times 1 \sim 2$ 微米。弧菌和螺旋菌均属真细菌，它们的细胞构造是典型的原核生物构造，覆盖着充实的液状或硬质膜，以保护细胞维持其形状。以前曾把弧菌和螺旋菌作为分类关系上相近的类群而归于同一科——螺菌科 *Spirillaceae*。在第八版的 *Bergey*^[299] 一书中螺旋菌放在第六章的微量好气性菌中，而弧菌放在弧菌科 *Vibrionaceae* 中，列于第八章和肠道菌一起随意地作为厌气菌。这样，造成弧菌和螺旋菌根据形态特点在细胞形状上属于同一类群；而在分类关系上却安放在不同的分类范畴内，成为两个远缘的类群。

螺旋体原是有圈数很多的微细螺旋形状。细胞的大小为 $5 \sim 300$ 微米长， $0.2 \sim 0.75$ 微米宽。螺旋体无硬质膜，细

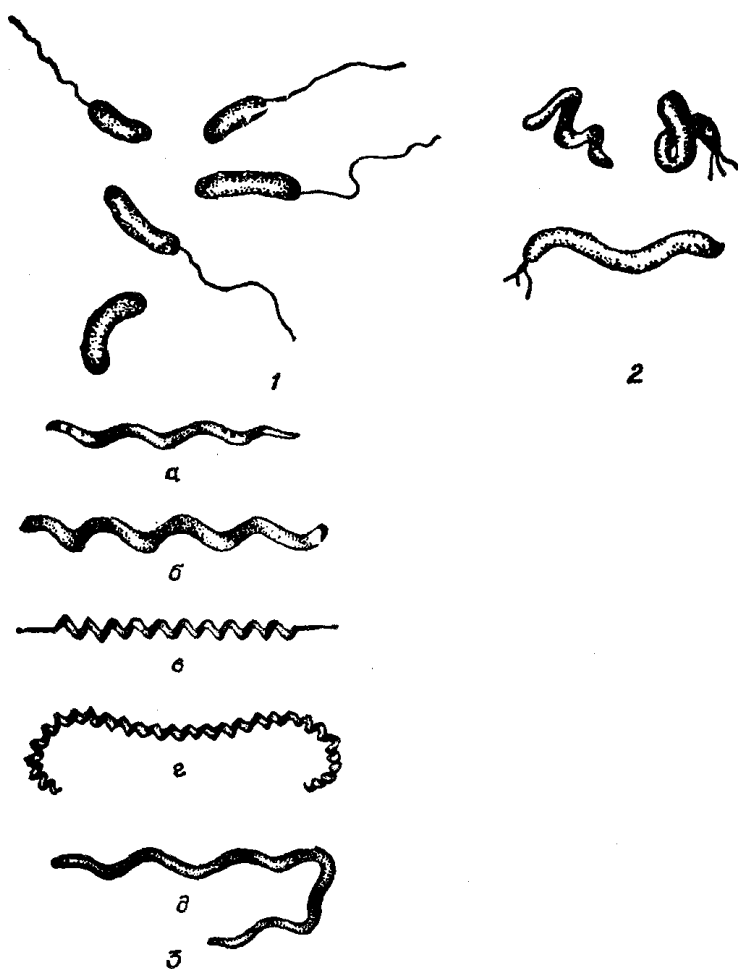


图 5 螺旋菌

1—弧菌；2—螺旋菌；3—螺旋体（ α —螺旋体属 *Spirochaeta*，
 β —脊螺旋体属 *Cristispira*， γ —密螺旋体属 *Treponema*， δ —钩
 端螺旋体属 *Leptospira*， θ —疏螺旋体属 *Borrelia*）