

张志杰 编著

冶金工业出版社



环境生物监测

环境生物监测

张志杰 编著

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书比较系统地阐述了环境生物监测的基本理论和研究方法。全书共分七章，主要内容包括生物学基本知识，生物研究常用仪器和方法，水污染的生物监测，大气污染的生物监测，土壤污染的生物监测，生物残毒量的分析和环境生态学评价方法等。

本书可供从事环境保护、环境生物监测与环境影响评价专业的科技工作者、污水厂分析化验人员和有关院校师生和科研人员参考。

环境生物监测

张志杰 编著

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街莱佛士北街39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 14 3/8 字数 380 千字

1990年8月第一版 1990年8月第一次印刷

印数00,001~2,000册

ISBN 7-5024-0645-X

X·21 定价10.05元

目 录

序言.....	1
第一章 生物学基本知识.....	3
第一节 生物的基本属性.....	3
第二节 地球上的生物类群.....	5
第三节 微生物.....	8
第四节 植物.....	17
第五节 动物.....	20
第六节 生物的生理特性.....	23
第七节 生态系统.....	33
第二章 生物研究常用仪器和方法.....	41
第一节 显微镜.....	41
第二节 分析天平.....	46
第三节 微生物实验常规设备与观察方法.....	48
第四节 植物制片技术.....	51
第五节 植物组织化学测试方法.....	64
第六节 微量定积检压技术.....	81
第七节 叶绿素的测定.....	87
第八节 植物光合作用强度的测定.....	90
第三章 水污染的生物监测.....	101
第一节 水的细菌学检验.....	101
第二节 浮游生物的检验.....	132
第三节 底栖大型无脊椎动物的检验.....	152
第四节 水生高等植物的检验.....	160
第五节 水污染的生物测试.....	169
第六节 废水生物处理工程中的生物监测与评价.....	194

第七节	生化需氧量 (BOD) 的测定	201
第八节	水体污染的生物学评价	207
第四章	大气污染的生物监测	225
第一节	大气污染的生物净化	225
第二节	大气污染对植物的影响	229
第三节	大气污染的指示生物	233
第四节	大气污染的植物监测方法	238
第五节	大气污染的细菌总数测定	251
第五章	土壤污染的生物监测	259
第一节	土壤污染的特点	259
第二节	土壤微生物的采样与培养基制备	263
第三节	土壤微生物的分离与计数	269
第四节	土壤微生物的观测	276
第五节	土壤生化性能的测定	279
第六节	土壤酶活性的测定	289
第六章	生物残毒量的分析	293
第一节	植物样品的采集与制备	293
第二节	植物样品中金属化合物的测定	296
第三节	植物样品非金属化合物的测定	315
第四节	植物样品中有机化合物的测定	339
第五节	植物中有机氯农药 (六六六、滴滴涕) 的测定气相色谱法	357
第七章	环境生态学评价方法	362
第一节	水生生物评价调查法	362
第二节	陆生植物评价调查法	367
第三节	陆生动物评价调查法	371
附录		377
附图一	水中常见藻类	377
附图二	水中常见原生动物与轮虫	381
附图三	水中常见枝角类动物	389

附图四	水中常见线虫、扁虫和环节动物·····	390
附图五	水中常见昆虫类·····	392
附图六	水中常见高等维管束植物·····	396
附表一	主要水生植物检索表·····	400
附表二	我国重要或名贵的水生动物和植物 重点保护对象·····	425
附表三	我国第一批珍稀濒危保护植物名录·····	426
附表四	国家保护动物名单·····	441
附表五	稀释法测数统计表·····	442
附表六	标准筛孔对照表·····	445
附表七	常用消毒剂的配制·····	446
附表八	呼吸作用抑制剂及其主要性质·····	446
附表九	常用的生物染料及其主要性质·····	448
主要参考文献·····		451

序 言

生物监测 (biological monitoring) 是指利用生物对环境污染或变化所产生的反应来阐明环境污染状况的一门科学, 从生物学的角度为环境质量的监测和评价提供科学依据, 是环境科学最基本的研究手段之一。

环境生物监测是随着环境生物学的发展而产生的一门新兴学科, 与其它学科一样, 同样经历了一个比较漫长的发展过程。生物监测工作从20世纪初就在一些国家开展起来, 1909年科尔克威茨 (Kolkwitz) 和马森 (Marson) 提出了污水生物系统, 为运用指示生物评价水体污染和水体自净状况奠定了基础, 而且污水生物系统至今仍在欧洲大陆各国和其他国家应用。随后又经利布曼 (Liebmann) (1951年)、津田松苗 (1964年) 等人的广泛研究而得到了发展。70年代以来, 以水污染和水生生物之间的关系为重点, 广泛深入地展开调查研究, 使水污染的环境生物监测成为一个活跃的研究领域。1977年美国试验和材料学会 (ASTM) 就利用各类水生生物进行监测和生物测试技术方面的研究, 专门出版了《水和废水质量的生物监测会议论文集》, 概括了这方面的研究成就和进展。国外还在污染室内试验, 自动生物监测以及大气污染生物监测方面进行了许多研究, 特别是通过对植物与大气污染的研究, 筛选出一批敏感的指示植物和抗性强的耐污植物, 对利用植物监测大气污染具有重要的理论与实践意义。

自70年代起, 我国环境污染的评价研究工作也是十分活跃的。在环境污染调查中, 开展了生物监测工作, 并取得了不少研究成果。但这些研究多偏重于运用藻类、原生动物、底栖无脊椎动物等指示生物对水体污染状况指示的研究; 有的结合水体污染的理化数据, 综合了指示生物和群落结构等研究方法, 探讨了污染对水生生物的影响及其在水体自净中的净化与指示作用; 也有的通过生理生化指标测定、残毒量分析和生物数学模式等手段监测和评价水体污染状况。在大气污染与植物生态、利用植物监测

大气污染方面,从70年代起我国进行了大量的研究工作,取得了一定的成果。湖北省水生生物研究所1978年编写的《环境保护生物监测与治理资料汇编》,中国科学院水生生物研究所1984年编写的《全国水生态及环境微生物学术会议论文集》、中国科学院水生生物研究所1981年编写的《环境污染与生态学文集》和余淑文等1981年编写的《大气污染伤害植物症状图谱》等,集中地反映了我国有关环境污染生态与生物监测方面的研究成果,并为我国开展环境生物监测打下了较好的基础。

对环境生物监测虽然做了不少研究,取得了许多研究成果,但资料比较分散,到目前为止,国内还未见到比较完整系统的资料,这在一定程度上给环境生物科研、教学 and 实际工作带来了不便。本书是笔者根据多年来工作实践,广泛收集国内外有关资料编写而成的。

本书在内容上注重科学性、实用性;力争既反映生物监测、测试的现代技术应用,也注重介绍有关常用技术方法;同时既阐述了专门的生物监测与技术,又为适应非生物专业工作者的需要介绍一些有关的生物学基本知识。在编写中注意了逻辑性和完整性,力求文字深入浅出、层次清晰。

人们对环境生物监测的意义、概念和内容的理解还不完全一致,这些都需要通过实践加以不断地完善。由于本书专业性较强、内容比较广泛,目前又无成书可循,加之笔者水平有限,因而在编写体系、内容处理和层次安排上难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

西北大学生物系张维经教授审阅了全书。在本书编写过程中曾得到北京市环境保护研究所潘南鹏高级工程师和我院张希衡教授的大力支持、指导和帮助,在此一并表示深切的感谢。

作 者

于西安冶金建筑学院

第一章 生物学基本知识

第一节 生物的基本属性

一、生命的特点

自然界的物质可分为两大类，一类是无生命的物质，一类是有生命的物质。通常将具有生命的物质称为生物。

生命是物质运动的一种形式，它的物质基础是原生质，生命活动的基本单位是细胞。从生命起源来说，生命是物质长期发展变化的结果，是在一定条件下形成的。生命起源大体经历了四个阶段的化学过程：

第一阶段 由无机小分子物质生成有机小分子物质；

第二阶段 由有机小分子物质形成生物大分子物质（例如：蛋白质、核酸、多糖等等）；

第三阶段 由生物大分子物质构成多分子体系；

第四阶段 由多分子体系演变成原始生命。

因此，地球上最原始生命只是一些没有细胞结构的蛋白质体，它经历了漫长的历史发展过程才出现了具有细胞形态的生命。

自然界里生活着各种各样的生物，但作为这样众多的生物来说，它们都有着共同的共性和特点，即生命都具有新陈代谢、繁殖、生长发育、遗传变异等特点。生物通过物质代谢和能量代谢实现生物体的自我更新；经过繁殖、生长发育和遗传变异，使生物种族获得扩大和发展。所有生物在其一生中都有一个生长、发育、繁殖、衰老和死亡的过程，这些生命活动都与内在和外在的环境条件有着密切的关系，而且在长期进化适应环境的过程中，生物已经形成了一套完整、灵敏的自我调节与控制系统。生物的

上述生理机能是区别于非生物的重要标志，也是生物的一种基本属性。

二、新陈代谢

新陈代谢是生物最基本特征之一，简称代谢。其意义有狭义和广义之分。广义的代谢是指生物体与环境不断进行物质交换的过程，即生活有机体不断从环境中摄取养料，在体内进行分解与再合成，同时排除废料，从而实现生物自我更新，这一过程称为新陈代谢。狭义的代谢是指物质在细胞内的合成与分解过程，常称为中间代谢。合成是把简单物质变成复杂物质的过程，称为合成代谢。分解是将复杂物质变为简单物质的过程，称为分解代谢或异化作用。由此可见，代谢是同化与异化作用交互进行的矛盾统一过程。

代谢有以下特点：

第一，代谢过程虽然复杂，但进行得有条不紊。

第二，代谢作用的条件比较温和。

第三，代谢具有灵敏的自动调节。

整个代谢包括物质代谢和能量代谢，前者是研究生物体内的物质转化过程，后者是研究生物物质转化过程中的能量变化。

新陈代谢的整个过程都是在生物酶的催化下进行的。

三、繁殖、遗传与变异

生物具有繁殖的本能，通过繁殖可以使生物种族得以绵延，并将亲代遗传特性传递给子代。所谓遗传，就是生物具有产生与自己相似后代的特性。俗话说：“种瓜得瓜，种豆得豆”、“父子相象”都是典型的遗传现象。繁殖与遗传作用在分子水平上与核酸有着密切的关系。核酸是遗传的物质基础，它和蛋白质的合成密切相关。脱氧核糖核酸(DNA)能把遗传性状象电报密码那样，编在它的核苷酸的序列上。在传递遗传信息的过程中，脱氧核糖核酸类似铸件的模子通过一种聚合酶（或称转录酶）作用，首先模制（转录）出“信使核糖核酸”（mRNA），直接指导蛋白质的合成。“转移核糖核酸”（tRNA）按照信使核糖核酸的密码，

将所带的氨基酸转运到核糖蛋白体（rRNA）内肽链的某一正确位置上，在酶的催化下形成肽链，组成新的蛋白质。

所谓的分子遗传中心法则，是遗传信息只能从DNA传递到mRNA，再由mRNA传递到蛋白质。其中，从DNA的模板合成mRNA的过程称为转录；再以mRNA为直接模板指导蛋白质合成的过程称为翻译。因此从分子水平上可把细胞内蛋白质的生物合成过程表示为复制、转录和翻译三个过程的总和，即：



细胞核染色体中的DNA，通过复制使生物体的基本性状代代相传，此称基因遗传。

变异是生物产生与自己不同程度差异后代的一种生物学特性，它是由于有机体受环境影响和本身遗传物质改变所产生的变异，这种变异有的可以遗传，有的不能遗传。变异的特性可以遗传，从而导致了生物的进化和多种多样。我们强调的防治环境污染，造福人类，其中就有防止污染环境可能对生物和人类子孙后代造成的潜在性危害。目前生物监测上的致畸、致突变试验就是污染物对生物遗传性状影响的实际应用。

第二节 地球上的生物类群

一、生物的多样性

地球上生活着各种各样的生物，这些生物可分为微生物、植物和动物三大类群。有人估计，现在生活在地球上的微生物约有十万种，植物大约54万种，动物150万种，昆虫200万种。迄今为止，已经描述鉴定过的生物有：微生物 37500 种，植物 34.1 万种，动物 135.8 万种，昆虫约 80 万种。这样众多的生物，由于本身的遗传基因差异、环境条件的变化，在长期进化过程中形成了各种各样的生物种类。这些生物不但与社会发展、人类生活有着密切的关系，而且对环境的保护、评价与监测、监视有着重要的

作用。因此了解生物“种”的概念、分类单位、自然界生物如何分类等基本知识对环境生物监测工作者乃是必不可少的。

二、生物“种”及其命名

生物种简称“种”(species)，生物种是具有实际或潜在繁殖能力并通过交配可相互交流遗传信息和产生有正常生育能力后代的生物个体群。一个物种的个体一般不能和其它物种进行生殖结合，即使交配也不能产生有生殖能力的后代，例如马和驴虽然能够交配，但产生的后代骡却没有正常生育能力，称为生殖隔离。作为生物“种”来说，它们都具有一定的形态特征和一定的自然分布区，这是分类学工作者通常判断“种”的重要标准。

地球上如此众多的生物种，如果没有一个统一的命名规约，那就会在命名上引起混乱，直接影响人们对生物知识方面的交流。

目前生物分类中公认的物种正式命名方法是林奈(Linnaeus)创造的双名法。它规定种的名称由两个拉丁单词组成，第一个单词是名词，是该种的属名，第二个单词是种名，多为形容词。属名的第一个字母要大写，种名字母要小写。完整的学名后边还要附上命名人的姓氏，常用缩写。例如：

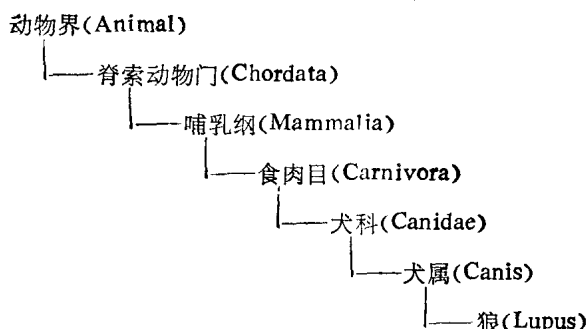
猫 *Felis domestica* L。

其中*Felis*是属名，*domestica*（家养的）是种的本名，L（Linne或Linnaeus）是命名人的姓氏缩写。

亚种(Subspecies)或变种(Variety)是种下的分类单位，是种内由于地理隔离而彼此分化开来的个体群，其命名常用三名法，是在双名种的学名之后，再加上一个作为亚种或变种的拉丁单词即可。

三、生物分类的阶层

生物分类系统，是以生物形态与解剖上的相似程度为基础，按其性状的异同性归纳为大小不同的分类单位等级。分类学的主要分类等级是界、门、纲、目、科、属、种。以狼为例说明如下：



在两个主要分类单位之间还有次要单位，例如亚门、亚纲、亚目、亚科、亚属等等。

四、生物的主要类群

在第一节中已经说过，世界上的物质可分为两大类，一类是生物、一类是非生物。两者的最主要区别在于生物体有新陈代谢作用和自我复制的能力。长期以来，生物学者把生物分为动物界和植物界两大类，一般说来动物能运动，生活方式为异养型，细胞无细胞壁；植物不能运动，生活方式为自养型、细胞有细胞壁。当然也有例外。

目前世界上普遍接受惠特克 (Whittaker) 1969年提出的五界系统，将所有具有细胞结构的生物分为原核生物界（包括细菌和兰藻）、原生生物界（包括大多数藻类和原生动物）、真菌界（包括酵母和霉菌）、植物界和动物界。

近年来，我国学者提出把生物分为六界，这就是：

1) 病毒界：只含脱氧核糖核酸(DNA)或核糖核酸(RNA)中的一种，没有独立的代谢系统，寄生。

2) 原核生物界：单细胞，同时含有DNA和RNA，但没有核膜，也没有线粒体、叶绿体、内质网、高尔基体等胞器，故称原核细胞。

3) 原生生物界：单细胞，有核膜，也有各种胞器，属真菌细胞，所以也称真核原生生物。

4) 真菌界：多细胞、有细胞壁，无叶绿粒。细胞分化简单，由菌丝构成菌体，不进行光合作用，异养生活方式。

5) 植物界：多细胞，真核，有细胞壁和叶绿体，能进行光合作用。

6) 动物界：多细胞，真核，无细胞壁和叶绿体，不能进行光合作用。

虽然理论上可将生物分为六界、但实际上还是把地球上的生物分为微生物、植物和动物三大类。

生物在进化过程中，总是由低等到高等，由简单到复杂，所以原核生物比真核生物原始。两者虽然有许多不同点，但最主要的区别是原核生物的细胞核没有核膜，这种细胞核称为原核。相反，真核生物细胞核有核膜，称为真核。

第三节 微生物

微生物是一类体形微小、结构简单、甚或没有细胞结构的单细胞或多细胞低等生物的统称，一般包括细菌、放线菌、酵母菌、霉菌、病毒、原生动物和单细胞藻类等。

微生物和其它生物一样，都具有生命活动，但是微生物和其它生物也有不同的地方，这就是：

第一，分布广、种类多。高空、地层均有微生物存在。微生物种类繁多，数量很大。有人统计，我国南方的土壤中，1克土壤里含有88万个细菌，76万个放线菌和14万个真菌；在房屋附近或森林中的土壤，微生物数量更多，如同样的一克北京溶黑土（一种土壤名称）中，含有细菌530多万个，放线菌425万个，真菌2.9万个。繁多的微生物种类是我们广泛利用微生物的丰富的资源基础。

第二，新陈代谢能力强。微生物个体细小，因此，相对来说，具有巨大的表面积，这对营养的吸收和吸附，或对代谢产物的排除非常有利，所以，微生物的新陈代谢作用比其它生物快，在比较短的时间内就可以产生较大量的产品。

第三，繁殖快。一般动植物繁殖一代需要一两个月到几年的时间；而有的微生物，例如某些细菌，在条件适合时，20分钟便能够分裂繁殖成一代，一天可以繁殖72代。这是微生物广泛应用于工农业生产极为有利的条件。

第四，微生物容易发生变异而产生更适合于新环境、产量更高的菌株。

一、细菌

细菌是一类单细胞的微生物，它们的大小是以微米为单位来测量的。细菌的特点是它们很小，其直径小到只有0.5微米，而且很少大于10微米。

1. 细菌的结构

细菌细胞的结构见图1-1。最简单的细菌没有芽孢、鞭毛(单根鞭毛)或荚膜物质。

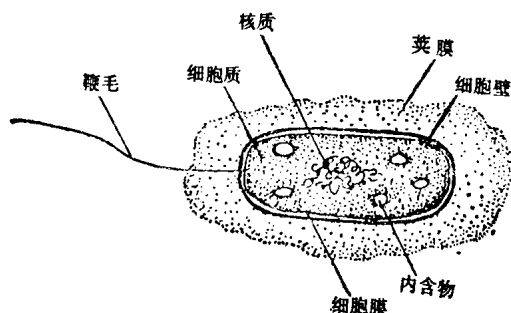


图 1-1 细菌细胞构造的模式图

所有细菌细胞最外面都有一层细胞壁，以此保证细胞形态的完整性。细胞壁的厚度为20~30纳米（200~300埃）。

细胞质膜很薄，它的厚度不超过7.5纳米（75埃）。膜的作用是作为一个半渗透性的屏障，保护细胞内含物，阻止除了营养物以外的所有生态系统的成分进入。膜可使废物从细胞排出，但不让细胞内含物逸出。

细胞的内含物——细胞质（cytoplasm），它含有由RNA和

蛋白质所组成的核糖体DNA，以及细胞代谢过程所需要的酶。细胞贮存营养于具有高度折射的异染性颗粒 (metachromatic granules)。这些颗粒主要是聚 β -羟基丁酸。饥饿的细胞用这些贮存物来维持它的活力。

许多细菌有短的纤丝，称纤毛 (pili)，纤毛附着在细胞壁上。纤毛使细菌附着在自然环境的表面上，这是重要生态功能。

有些细菌在细胞壁外面产生了一层厚的粘层，称为荚膜 (capsule)。荚膜通常是一种多糖体，由细胞不断产生。荚膜增强细胞壁的保护作用。

许多细菌在液体中能很快运动。这种游动 (motility) 是靠长丝状的附属物，即鞭毛 (flagella) 运动的。鞭毛在细菌中很少见，仅板状菌才有。一个细菌可以有許多根鞭毛附着于它的全身。这些鞭毛叫周毛。鞭毛的存在以及它们的形式可以用来区别细菌的属。

某些细菌可形成芽孢 (Spore)，它能使菌体在极端的高温、光辐射、有毒的化学物或饥饿中保持生命。当细胞处于不利条件时，芽孢在细胞质内形成。好氧的芽孢杆菌 (Bacillus) 和厌氧的梭状芽孢杆菌 (Clostridium) 是最普通的芽孢菌。芽孢之所以有抵抗力是因为细胞壁含有一种吡啶二羧酸钙混合物可使细胞内含物脱水。当细胞处在营养培养基中，环境条件有利的时候，芽孢就发芽成营养细胞。芽孢的形状和它在细胞体中的位置可用于细胞分类。

细菌的芽孢如图1-2所示。

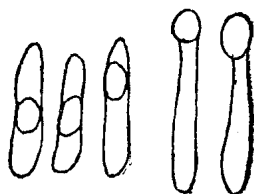


图 1-2 芽孢形状及位置

2. 细菌的分类

(1) 形态学分类。细菌的最简单分类是从形态学上来分，按其形态可分为球菌（图1-3），杆状菌（图1-4）和螺旋菌（图1-5）三大类型。

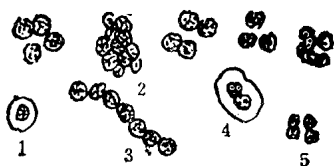


图 1-3 球菌的各种形态

1—单球菌；2—葡萄球菌；3—链球菌；
4—双球菌；5—四联球菌和八叠球菌



图 1-4 杆菌的各种形态

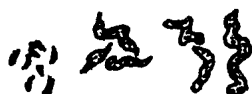


图 1-5 螺旋菌的各种形态

我们还能根据革兰氏染色进行细菌分类，可分成革兰氏阳性或革兰氏阴性两类（表1-1）。在显微镜下革兰氏阳性细菌是紫色的，而革兰氏阴性细菌是红色的。这是一种可靠的试验，它决定于细胞壁的结构。大肠杆菌是革兰氏阴性，而芽孢杆菌是革兰氏阳性的。革兰氏阳性细菌对青霉素是敏感的。革兰氏阴性细菌对青霉素不敏感。

革兰氏阳性细胞的壁形成结晶紫与碘的复合物。此复合物使