

河流水质生物监测 理论与实践

刘广纯 王英刚 苏宝玲 张富韬 编著



東北大學出版社
Northeastern University Press

河流水质生物监测理论与实践

刘广纯 王英刚 苏宝玲 张富韬 编著

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 刘广纯 等 2008

图书在版编目 (CIP) 数据

河流水质生物监测理论与实践 / 刘广纯等编著. — 沈阳: 东北大学出版社,
2008.11

ISBN 978-7-81102-619-1

I. 河… II. 刘… III. 河流—水质分析—生物监测 IV. X832

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 172152 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm×228mm

印 张: 16.125

字 数: 307 千字

出版时间: 2008 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 11 月第 1 次印刷

责任编辑: 牛连功 向 荣

责任校对: 郎 坤

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-619-1

定 价: 30.00 元

前 言

河流水质监测是河流管理必不可少的组成部分，通过对河流中污染物及污染因素进行监测，评价污染物产生的原因及污染途径，对水污染问题进行鉴别和评估，为防治污染提供技术支持。目前，我国河流水质依然处于不断恶化之中，相应的监测任务越发艰巨。

生物监测是理化监测的重要补充，对于评价环境质量状况有着十分重要的作用。理化监测一般只考虑瞬时污染状况，要做到长期连续监测，在经济上往往是不合适的。要了解污染的累积效应，采用生物监测更为合适。同时，仅利用污染物质的浓度值来反映污染程度及危害也是不全面的，这是因为，某些污染物质在环境中的含量极小不等于毒性微小，反之亦然。用生物监测进行配合，充分利用指示生物对污染物毒性反应的敏感性，能较准确地反映真实的污染状况。生物监测在欧洲和北美开展较早，并已得到良好应用。我国近几年也开始从事这方面的研究，但无论从深度还是广度上都亟待加强。

本书运用生态学的观点分析生物在河流中发生、发展的规律，论述水质变化对生物产生的影响，阐述运用生物指数监测河流污染的原理和方法。全书共有九章：第1章河流生态系统，介绍河流生态系统的特点及生物与环境之间的关系；第2章河流水质，论述了河流水质的基本特性及引起水质变化的物理、化学和生物因素；第3章生物对水质变化的反应，主要阐述生物对水质变化产生的各种反应；第4章指示生物与生物指数，介绍了适于生物监测的主要指

示生物及目前常用的生物指数；第5章水质监测策略，介绍水质监测的基本原则和方法；第6章水质监测设计，介绍生物监测方法的实施方案和技术路线；第7章野外调查与采样，介绍监测样品的采集方法；第8章生物原位监测与采样，介绍生物监测中的野外工作流程；第9章数据处理与分析，运用生物统计学原理，阐述结果的分析方法。

本书涉及不同专业领域的理论和技术方法，是由具有不同专业背景的学者共同完成的。这些作者是：刘广纯(第1, 4章)，王英刚(第2, 3, 5章)，苏宝玲(第6, 7, 8章)，张富韬(第9章)。本书在编写过程中得到了沈阳大学生物与环境工程学院教师和研究生的热情帮助，朱威、王君芳和陈娟娟老师对文稿进行了认真校对，研究生王宝亮、张瑞玲和沈姣姣为本书绘制了部分插图，并参与了学名翻译工作。本书出版由辽宁省自然科学基金和沈阳大学学科建设基金提供资助。作者谨向他们表示诚挚谢忱。

受理论水平和实践经验局限，书中难免有疏误和缺陷，诚恳希望读者批评指正。

本书可作为高等院校生物科学专业、环境科学专业和环境工程专业师生的教学参考书，也可供环境监测、环境工程等领域的技术人员及相关专业师生参考。

作 者

2008年5月于沈阳

目 录

第 1 章 河流生态系统	1
1.1 河流的形成及其生态系统与组成特性	1
1.2 河流分类	3
1.3 河流的营养关系	7
1.4 河流物种的分布	9
1.5 生态平衡	12
1.6 群落结构	13
1.7 静止的和流动的水体	14
1.8 生物生产力	15
本章参考文献	16
第 2 章 河流水质	17
2.1 水体特征	17
2.2 有关水质的定义	22
2.3 人为因素对水质的影响	24
2.4 污染源和污染途径	26
2.5 时空变化	31
2.6 经济发展及水质	33
本章参考文献	34
第 3 章 生物对水质变化的反应	36
3.1 物理因素对生物的影响	36
3.2 余热的效应	41
3.3 pH 值变化的影响	51
3.4 有机物富集带来的影响	58
3.5 富营养化污染的实例分析	79
本章参考文献	83

第 4 章 指示生物与生物指数	85
4.1 指示生物的概念	85
4.2 指示生物的选择	88
4.3 生物的耐污能力	92
4.4 生物指数	93
本章参考文献	113
第 5 章 水质监测策略	116
5.1 水质监测过程	116
5.2 典型的水质监测方案	121
5.3 评价方案的设计	123
5.4 水环境质量评价方案的实施	129
5.5 数据处理	132
5.6 数据质量控制	133
5.7 数据的解释和传播	136
本章参考文献	137
第 6 章 水质监测设计	139
6.1 水质监测目标	139
6.2 监测区域的描述	140
6.3 采样点的选择	143
6.4 采样站的选择	146
6.5 采样频率和时间	149
本章参考文献	150
第 7 章 野外调查与采样	151
7.1 样品容器	151
7.2 采样的设备和方法	153
7.3 人工采样过程	159
7.4 野外观测记录	162
7.5 样品保存	163
7.6 样品运输和贮存	166
本章参考文献	167

第 8 章 生物原位监测与采样	169
8.1 采样方法	169
8.2 采样策略和方案	184
本章参考文献.....	188
第 9 章 数据处理与分析	192
9.1 水质数据的处理、存储和检索	192
9.2 数据特征	198
9.3 基本统计分析	203
9.4 基本绘图方法	224
9.5 数据分析和说明方法	231
9.6 高级数据分析与处理技巧	242
9.7 数据分析应用实例	246
本章参考文献.....	250

第 1 章 河流生态系统

1.1 河流的形成及其生态系统与组成特性

1.1.1 河流的形成

河流是指落在地表或涌出地面的水由于重力的作用沿着沟槽向下逐渐汇集而成的流动水体。地面水流(或称地表径流)自高处往低处在沟槽中流动或由各方向集合,水愈聚愈多而形成一条小溪,许多小溪又逐渐汇聚,形成一条源远流长的河流,最后汇入海洋。

河流如同人生,其发育过程分为青年期、壮年期和老年期三个阶段。大地上某个区域地壳上升,山脉隆起,随之河流诞生,开始发育。地壳上升得越快,河流切割得越深,这时的河流激流澎湃,河谷呈 V 字型,正处于青年期。随着河谷的深切,两岸崖壁岩石发生的风化和在重力作用下的坍塌和滑坡,使河谷开始变得开阔、坡度变得较缓,这时的河流处于壮年期。当地壳上升变得缓慢或终止时,河谷将变得越来越开阔和平坦,最终地壳隆起被夷平,河谷变成准平原,河流进入老年期,最后河流死亡。然而,河流的寿命是非常非常长的,长到以百万年、千万年计。

1.1.2 河流生态系统与组成特性

河流生态系统即一般俗称的河流环境。广义的河流环境可分为外在环境和内在环境,外在环境指河道外的陆域环境,内在环境指河道内的水域环境。狭义的河流环境通常指河流中影响生物生存和生活方式的水域环境。

在结构上,河流生态系统由河流生物和生物环境所组成。前者称为生命系统,由植物、动物和微生物等多种不同生物群落组成;后者称为生命支持系统,包括河流生物赖以生存的阳光、空气、水体、岩土等物理环境,以及构成生命组织的必要元素(如钙、镁)和化合物(如氨基酸)等化学环境(见图 1.1)。

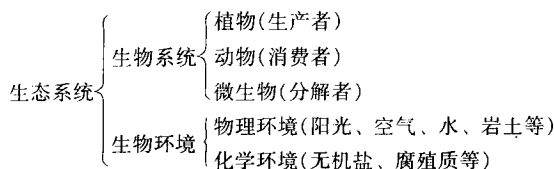


图 1.1 河流生态系统的基本结构

河流生物通常指生活在河流水域的生物，其与周围理化环境一起构成了河流生态系统。在河流环境中，有许多生物(如水生昆虫、两栖类)一生中有部分阶段直接地在河流水体生育栖息，也有的生物(如水鸟)间接地利用河流资源作为食物或栖息地。因此，广义的河流生物群落，由栖息或生长于河流流域水体的水生生物、集水区中的河滨亲水生物，以及游走于河流与海洋两界的一些回游性水生动物和生长在河口潮间带的水生植物所共同组成。

按其在系统中的作用，河流生物可分为生产者(producer)、消费者(consumer)和分解者(decomposer)。所谓“生产者”，指绿色植物和一部分细菌，它们可以通过光合作用将无机物合成碳水化合物，再进一步合成脂肪和蛋白质。这些可以作为异养生物(heterotroph)的食物来源。“消费者”本身没有合成有机物的能力，需要依靠生产者提供的有机物生存，它们被称为异养生物。消费者又可分为三类：以植物为食的食草动物，称为初级消费者；以食草动物为食的食肉动物，为次级消费者；以次级消费者为食的动物，为高级消费者。消费者在生态系统中有重要作用：一方面，对初级生产物进行加工和再生产；另一方面，促进其他生物的生存和繁衍。“分解者”指细菌、真菌、放线菌、土壤原生动物等，它们的作用是将复杂的有机物分解成简单的无机物，回归自然界。在自然系统中，生产者、消费者和分解者的作用构成自然界的良性循环，保持着系统的相对稳定。

河流的物理环境主要指河流的河道形态与流水形式，包括河流的纵剖面、横剖面及河道形态等。河流的物理环境特性与水流量有密切关系。水流量的大小会影响河水的流速，而河水流速的快慢、河水的深度，以及河床落差与基质(如底石、树干)的分布，往往交互衍生出浅流、浅滩、深流、深潭等不同的水型。河流是由这些多种形态的流水所串联组成的。河流水流量与集水区的地理特性有关，因此河流的物理环境主要是由集水区的地质地理与降水特性，以及流水冲刷过程决定的。

河流的化学环境主要是对河流水体的品质(水质)而言的，由陆域及水域环境中各种化学的、物理的以及生物的现象和作用决定。每条河流都会携带一些无机岩屑、矿物质或有机物质。河水是一个普遍的溶剂，稀释与溶解河流生物

必需的营养盐,同时将有机物或废弃物往下游输送,并在不同地区形成不同的水质状况。然而,一条河流流域的化学环境特性是由自然环境形成的,但并非由上而下自始至终,而是随周围环境状况而变化,因此有季节性的天然差异。当河流环境中有人类活动时,就会影响到有机物质、营养盐及光能等进入河水中的方式及数量,进而改变河流的水质。换句话说,河流水质的状况往往受集水区的气候、岩土构造与成分、海拔高度、植被与水文影响,并与动物群聚行为和人类开发活动有密切关系。

任何生态系统的运行都需要能量。从营养结构来说,河流生态系统有两个能量来源:其一,大自然中的阳光,在此系统中,可为水生植物所捕捉,进入水域生态系统中;其二,源自外在环境中天然的有机物质,或人为所导入的有机废弃物等。

对于河流来说,水体是河流生态系统中不可或缺的主要成分及动力。流水可将生态系统中的大颗粒有机物质通过物理摩擦破碎,或是经由化学溶解,同时将其携带到下游处沉降,或是被生物所利用与分解。能量是生态系统的原动力。能量经由水域食物网中生产者、消费者及分解者的层层传递,方能供养生物,继续河流的生命力。

1.2 河流分类

河流分类是根据河流相似性或它们的关系对不同的河流进行分组或排序,它是进行河流研究及治理的重要手段之一。

1.2.1 河流分级

河流由大小不同的河道构成。划分河流级别是表达它们之间差异的方法。河流分级不仅可以用于区别河流的大小和流域的规模,而且还可用来确定某一水系产生径流量多少的近似指标。Horton 提出了河流的分级方法^[1], Strahler 对此方法进行了改进^[2]。此方法将各河道按自上而下分为 1 级, 2 级, 3 级……主流向河源延伸的顶端不再分支的部分为第 1 级河流, 两条 1 级河流汇合后所形成的河流为第 2 级河流, 汇合两条 2 级河流的为第 3 级河流, 依此类推。不同级别的河流汇合时, 不增加汇合后河流的级别。级别最高的河流指靠近河口的一段河流(见图 1.2)。

Vannote 等人将河流级别分为三大类: ① 初级河段(如河流上游区); ② 中级河段(如大小适中的中游区); ③ 高级河段(如出海口等宽度较大的下游区)^[3]。在初级河段中, 具有森林冠层遮荫, 且其粗颗粒有机碎屑(coarse

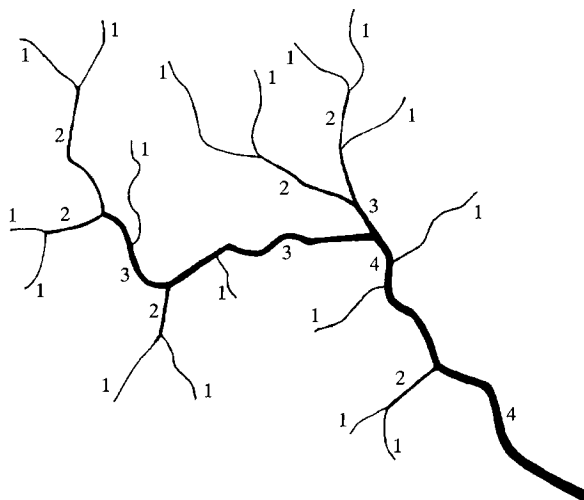


图 1.2 河流序级示意图

particulate matter, CPOM)提供无脊椎动物的食物来源。在中级河段中,能量的输入随着河道变宽而改变。随着森林冠层的减少及上游区域水流的作用,中级河段中细颗粒有机碎屑(fine particulate matter, FPOM)出现,使其林冠层的遮荫作用与粗大基质微粒的贡献也随之减少。没有了林冠层的遮荫,充足的日照使附生藻类大量产生。高级河段河道变宽、流速减缓、河流基质的颗粒变得较小,大型水生植物也更加丰富^[4]。Kaplan 和 Newbold 的研究证实水中有机碎屑以藻类和落叶为主^[5]。藻类分解的有机碎屑颗粒品质较高,营养成分较易让无脊椎动物吸收;落叶有机碎屑颗粒品质较差,营养成分较难让无脊椎动物吸收。

Vannote 等人于 1980 年提出了河流连续体概念(River Continuum Concept)(见图 1.3)。图中, P/R (Production/Reipiration)即产量/呼吸量。他们认为,由源头集水区的第 1 级河流起,以下流经的各级河流流域,形成一个连续的、流动的、独特而完整的系统,称为河流连续体。它在整个流域景观上呈狭长网络状,基本属于异养型系统,其能量、有机物质主要来源于相邻陆地生态系统产生的枯枝落叶和动物残肢以及地表水、地下水输入过程中所带的各种养分。

河流连续体是描述河流结构和功能的一种方法。它应用生态学原理,把河流网络看做是一个连续的整体系统,强调河流生态系统的结构与功能和流域的统一性。这种由上游的诸多小溪直至下游河口组成的河流系统的连续性,不仅指地理空间上的连续,更重要的是指生态系统中生物学过程及其物理环境的连续。按照河流连续体理论,从河流源头到下游,河流系统内的宽度、深度、流

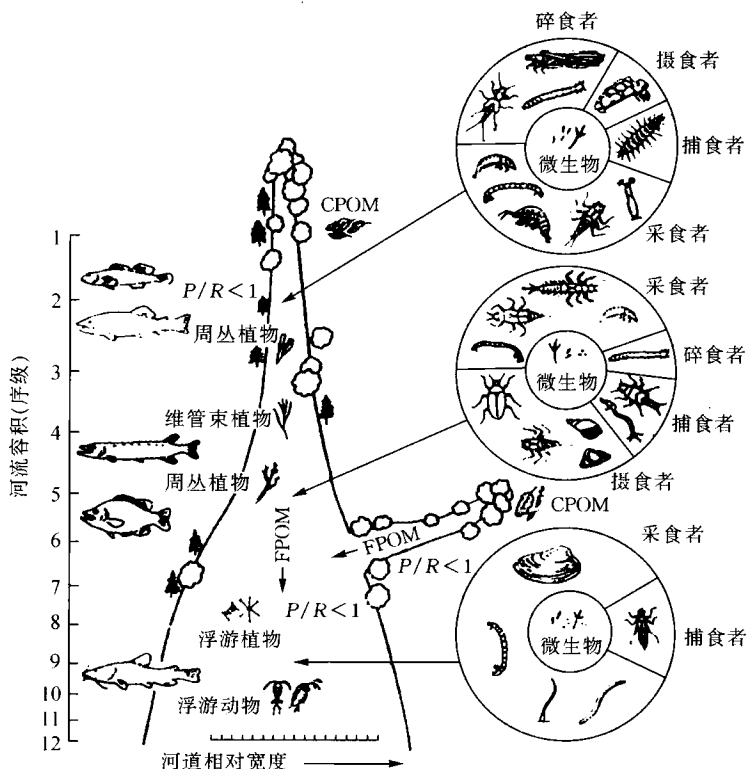


图 1.3 河流连续体示意图

速、流量、水温等物理变量具有连续变化特征，生物体在结构和功能方面与物理体系的能量耗散模式保持一致，生物群落的结构和功能会随着动态的能量耗散模式作出实时调整。所以，下游河流中的生态系统过程同上游河流有直接联系，也就是说，上游生态系统过程直接影响下游生态系统的结构和功能。这一理论还概括了沿河流纵向有机物的数量和时空分布的变化，以及生物群落的结构状况，使得有可能对于河流生态系统的特征及变化进行预测。

1.2.2 河流四维模型

在河流连续体概念的基础上，Ward 等人将河流生态系统描述为四维系统，即具有纵向、横向、竖向和时间尺度的生态系统^[6]。

纵向上，河流是一个线性系统，从河源到河口均发生物理、化学和生物变化。生物物种和群落随上中下游河道物理条件的连续变化而不断地进行调整和适应。河流不仅是一个流动的物理系统，更是一个动态的生态系统。因此，尽

可能保持河流上中下游的连续性应成为河流生态修复的一个重点,应特别注意因人类活动造成的连续性的中断。例如,由于过量取水减少了河道水流,造成河流干涸及断流;筑坝破坏了河流纵向的连续性,对鱼类和无脊椎动物的洄游与迁移形成障碍。另外,自然河流中大量营养物质吸附在泥沙颗粒表面,随水流运动而转移扩散,可为水生动植物提供丰富的营养。河流是水域生态系统物质循环的主要通道,一旦河流被大坝拦截,粗沙在水库中淤积,清水下泄,加剧对大坝下游河床的冲刷,就会改变营养物质运移规律,有可能破坏原有的河流生态系统结构。

横向上,河流与其周围区域的横向流通也很重要。河流与周围的河滩、湿地、死水区、河汊等形成了复杂的系统,河流与横向区域之间存在着能量流、物质流等多种联系,共同构成了小范围的生态系统。在自然状态的水文循环中产生的洪水漫溢与回落过程,是一个脉冲式的水文过程,也是一个促进宝贵的营养物质迁移扩散和水生动物繁殖的过程。但是,人们出于防洪的需要,沿河两岸筑起堤防,把河流约束在两条堤防范围内,使洪水不能危害人类生存。但是堤防也有其负面效应。堤防妨碍了汛期主流与周围河滩、湿地、死水区、河汊之间的流通,阻止了水流的横向扩展,形成了一种侧向的水流非连续性。洪水携带的大量营养物质无法扩散到洪泛区,泥沙和营养物质被限制在堤防以内的河道内,使岸边地带和洪泛区的栖息地特性发生改变,使两岸植被面积减少,无脊椎动物物种减少。另外,鱼类无法在洪水期内进入滩地产卵和觅食,也失去了躲避洪水风险的避难所,鱼类、无脊椎动物等生物群落会减少,最终有可能导致河流周围区域的生态功能退化。

竖向上,与河流发生相互作用的垂直范围不仅包括地下水对河流水文要素和化学成分的影响,而且还包括生活在下层土壤中的有机体与河流的相互作用。在这方面,人类活动的影响主要是不透水材料衬砌的负面作用。如果对自然河流进行人工渠道化改造,采用不透水的混凝土或浆砌块石材料作为护坡材料或河床底部材料,将基本割断地表水与地下水间的通道,也割断了物质流。

在时间尺度上,河流四维模型强调在河流修复中重视河流演进历史和特征。每一个河流生态系统都有它自己的历史。需要对历史资料进行收集、整理,以掌握长时间尺度的河流变化过程与生态现状的关系。河流系统的演进是一个动态过程。水域生态系统是随着降雨、水文变化及潮流等条件在时间与空间中扩展或收缩的动态系统。水域生境的易变性、流动性和随机性表现为流量、水位和水量的水文周期变化和随机变化,也表现为河流淤积与河流形态的变化,泥沙淤积与侵蚀的交替变化造成河势的摆动。这些变化决定了生物种群的基本生存条件。

生态系统的成长是一个过程,从较长的时间尺度看,自然生态系统的进化需要数百万年时间。进化的趋势是结构复杂性、生物群落多样性、系统有序性及内部稳定性都有所增强和提高,同时对外界干扰的抵抗力有所增强。从较短的时间尺度看,生态系统的演替,即一种类型的生态系统被另一种生态系统所代替也需要若干年的时间。自然河流生态系统的改变也需要很长时间。即使筑坝等人类活动对于水域生态系统的影响,也需要几十年的时间才能显现出来。同样,河流生态修复也需要时间逐步恢复其结构和功能。有研究指出,湿地重建或修复需要大约15~20年的时间。因此对于河流生态修复项目要有长期准备,同时进行长期的监测和管理。期望河流修复能够短期奏效往往是不现实的。

1.3 河流的营养关系

1.3.1 食物链与营养金字塔

河流生态系统的基本能量源于阳光(太阳能),植物中的叶绿体在阳光的作用下进行一系列复杂的化学反应,获得能量,将二氧化碳、水和简单的无机元素合成碳水化合物、脂肪和蛋白质。植物和一些细菌能够通过这种方式利用光能合成自身生长发育的成分,这类生物称为自养生物,又称为初级生产者。

另一些生物是异养的,它们依赖其他生物供给营养,或者直接取食这些生物,或者以被分解的剩余物为食。最小的植物(藻类和细菌)为最小的动物(原生动物)提供营养。原生动物、藻类和比较高等的植物,又成为其他比较大的无脊椎动物的食物。这些较大型无脊椎动物群体,又是较大的动物(尤其是鱼类)的食物。这些鱼被其他更大型的鱼、食鱼鸟或哺乳动物吃掉。这种不同生物间通过食物关系而形成的链索式单向联系称食物链(food chain)。食物链构成了生态系统能量的渠道。一个生态系统内存在多条食物链,彼此交错连接,形成网状结构,称为食物网(food web)。生态系统中各生物间通过食物网发生直接和间接联系,保持生态系统结构和功能的稳定。

在食物链的各个环节中,生物处于不同的营养级(trophic level)。一个营养级指食物链某一环节上所有生物的总和,如生产者称为第一营养级,食草动物为第二营养级,食肉动物为第三营养级,依此类推。

生态系统中的能量流动是单向的,植物将接受的小部分太阳能固定为化学能,能量沿着食物链流动,最后以热能形式返回到环境中或贮存在生态系统中。通过食物链各营养级的能量逐渐减少,减少的原因包括:①各营养级不能

百分之百利用上一营养级的能量，上一级生物大部分会自然死亡；②各营养级同化率也不是百分之百，总有一部分排泄物留在环境中；③各营养级生物维持自身的生命活动要消耗部分能量。由于能量通过营养级逐级减少，所以，如果把各营养级的能量由高到低排列，就形成了营养金字塔 (trophic pyramid) (见图 1.4)。

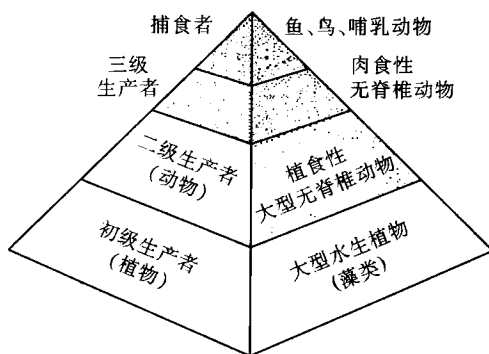


图 1.4 河流生物营养金字塔示意图

营养金字塔在污染生物学上具有重大意义。环境中的污染物，比如重金属或低浓度的杀虫剂可能被初级生产者所吸收，尽管在特定的营养级，污染物不是有毒的，但是由于它们向上传递，传递到上一个和再上一个营养级，致使这些有毒物被有效地生物富集。这种富集产物存贮于活组织中，可能造成占据金字塔塔尖位置的动物死亡或者受损害。

1.3.2 功能群

Vannote 等人根据取食特点将无脊椎动物分为四大功能群 (functional groups)：碎食者 (shredders)、采食者 (collectors)、刮食者 (scrapers) 和捕食者 (predators)^[3]。碎食者直接以粗颗粒有机碎屑为食物来源，借消化及排泄作用将落枝残叶变成细颗粒有机碎屑。常见的碎食者包括石蝇 (*Pteronarcys* sp.)、大蚊科 (Tipulidae) 及石蚕蛾 (沼石蛾科) (*Limnephilidae*) 的幼虫。采食者在不同河流序级位置中，以细颗粒有机碎屑为主要食物。采食者又可分为两大类：滤食采食者 (filtering-collectors)，通过不同方式从水体中滤食细颗粒有机碎屑；拾集采食者 (gathering-collectors)，在河川底部不同位置采食碎屑颗粒。常见的采食者有四节蜉蝣 (*Baetis* spp.) 及小蜉蝣 (*Ephemerebella* spp.)。刮食者有刮食岩石上附生藻类的特化口器构造。常见的刮食者有石蚕蛾 (*Glossosoma* and *Dicosmoecus*) 及蜉蝣 (*Stenonema*)。捕食者主要以捕食其他生物为食物，基本上也是肉食动物，甲虫 (*Coleoptera*) 幼虫即为捕食者。图 1.5 所示为功能群与营养的关系^[7]。图中，DOM (Dissolved Organic Matter) 即溶解有机物；FPOM (Fine Particulate Organic Matter) 细粒有机质；CPOM (Coarse Particulate Organic Matter) 粗粒有机质。

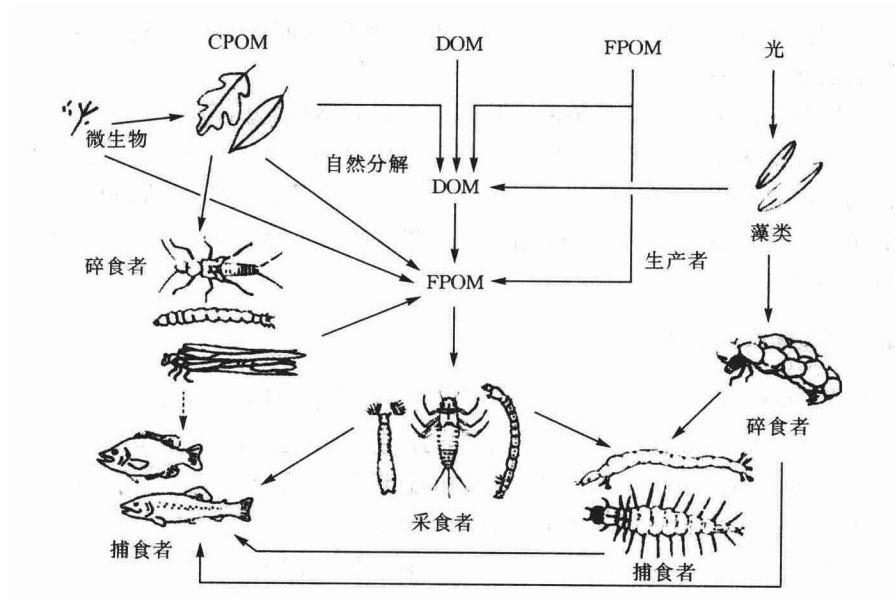


图 1.5 功能群与营养的关系

1.4 河流物种的分布

物种在自然界的分布不是均匀的，也不是一成不变的。环境的差异造成物种分布的不同。如果某些区域的主要环境条件超出了生物的忍耐限度，生物就会减少或消失。而在适合生存需要的环境，物种就会茂盛生长。通常，生物环境质量和多样性影响生物分布格局。

1.4.1 生物对环境因素的忍耐限度

影响河流生物分布的因素很多，主要有流速和水深(洪水和干旱)、光和温度、基底状况和稳定性、溶解氧和水质(酸度、硬度、营养元素浓度和含盐量)等。植物需要光进行光合作用，因此它们的分布将受到沿河流岸边树荫的范围或河的深度和浊度等特征的影响。遇到污水，光的传播就会减弱，如果河流很深，即使水很清澈，所穿过光也不一定能满足水底植物群的需要。另外，各因子间是相互关联的，比如水的流速和基底状况与稳定性是相关的：在流速快的水体，河床上往往会有一些大的卵石或圆石，然而即使这些石块很重，也可能被猛烈的洪水冲走；而在平静的水体中积聚的泥沙，即使内部很容易被破坏，也是相对稳定的。除了物理化学因素之外，食物也是非常重要的特征。但