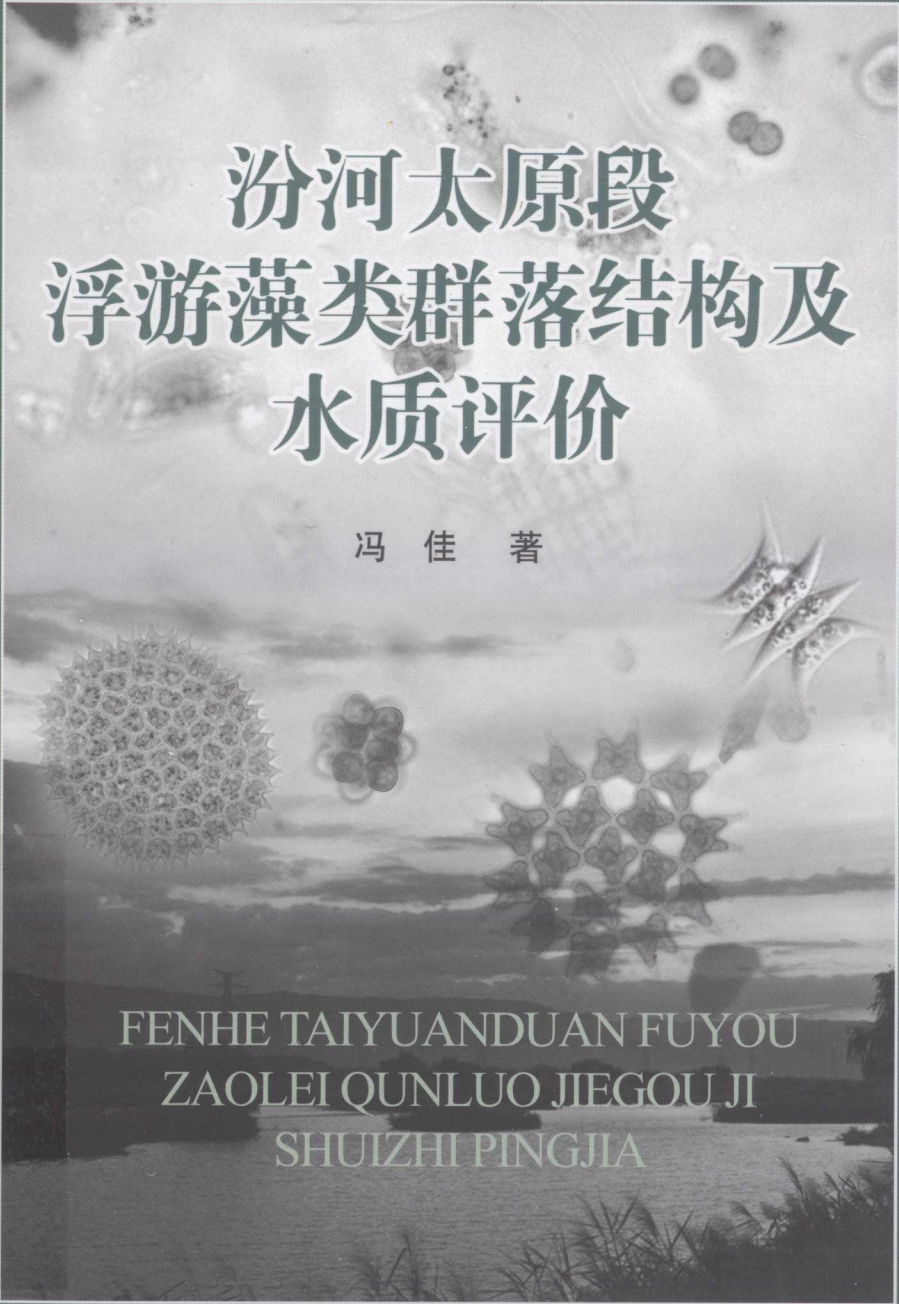




汾河太原段 浮游藻类群落结构及 水质评价

冯 佳 著

FENHE TAIYUANDUAN FUYOU
ZAOLEI QUNLUO JIEGOU JI
SHUIZHI PINGJIA



海洋出版社

汾河太原段浮游藻类群落 结构及水质评价

冯 佳 著

海洋出版社

2011 年 · 北京

图书在版编目(CIP)数据

汾河太原段浮游藻类群落结构及水质评价/冯佳著.

—北京:海洋出版社,2011.8

ISBN 978-7-5027-8081-4

I. ①汾… II. ①冯… III. ①汾河-海洋浮游植物-藻类-植物群落-构造-太原市 ②汾河-水质分析-太原市
IV. ①Q948.885.3②X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 157207 号

责任编辑:张晓蕾

责任印制:刘志恒

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店经销

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

开本:880mm×1230mm 1/32 印张:9.125

字数:230 千字 定价:25.00 元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

汾河是三晋母亲河,山西最大的河流,也是黄河第二大支流。发源于宁武县东寨镇管涔山脉楼子山水母洞,流经6个地市、34个县市,在河津市汇入黄河,全长716千米,流域面积39 741平方千米,约占全省总面积的1/4。汾河太原段全长188千米,自北向南穿太原城而过。作者于2009年3月至12月对汾河太原段进行了4次采样。共设6个采样点,分别位于上兰桥、汾河铁桥、胜利桥、迎泽桥、南内环桥和小店桥。

汾河太原段浮游藻类共计有224种,隶属于8门89属。其中蓝藻门(Cyanophyta)有23属103种,占浮游藻类种类总数的46%;绿藻门(Chlorophyta)有37属75种,占浮游藻类种类总数的34%;硅藻门(Bacillariophyta)有19属36种,占浮游藻类种类总数的16%;其他各门种类数较少。浮游藻类从数量生物量来看,以蓝藻门为主,其次是绿藻门和硅藻门。蓝藻门的月平均数量为29 776.8万个/L,绿藻门和硅藻门的月平均数量分别为890.71万个/L和868.69万个/L,其他各门浮游藻类的数量较低。浮游藻类的数量以9月份为最高,平均达到115 070.60万个/L,6月份次之,为20 028.00万个/L。汾河太原段的优势种主要有蓝藻门的小席藻(*Phormidium tenue*)、银灰平裂藻(*Merismopedia glance*)、细小隐球藻(*Aphanocapsa elachista*)、窝形席藻(*Phormidium faveolarum*)、两栖颤藻(*Oscillatoria amphibia*)、浮丝藻(*Planktothrix sp.*)、平裂藻(*Planktothrix sp.*)、螺旋鞘丝藻

(*Lyngbya contorta*)、小颤藻(*Oscillatoria tenuis*)、大螺旋藻(*Spirulina major*)；绿藻门的小球藻(*Chlorella vulgaris*)；硅藻门的尖针杆藻(*Synedra acus*)。

利用浮游藻类种类组成、数量生物量、优势种、Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 多样性指数和 Pielou 均匀度指数等生物指标对汾河太原段浮游藻类群落结构组成和季节变化等方面进行监测和研究,同时对汾河太原段进行了理化指标监测,包括水温、电导率、流速、化学需氧量、总硬度、总磷、氨氮、溶氧量、pH、镉、铬、锌、铅,并结合生物指标和理化指标对汾河太原段水质进行了综合评价,为水质监测、评价及今后的环境综合治理提供一定的理论依据。

本书中所记载的藻类植物标本保存于山西大学生命科学学院标本室,标本采集得到了山西大学生命科学学院藻类植物系统进化与资源利用课题组谢树莲教授、陈乐博士、沈红梅硕士、贺继峰硕士、李超硕士、于方磊硕士等的帮助和支持。谢树莲教授对本书进行过多次修改,并提出了许多宝贵意见。感谢谢树莲教授无私的关心和精心的指导,为本书的编撰提供了巨大的支持和帮助。在此对山西大学生命科学学院藻类植物系统进化与资源利用课题组所有同志表示衷心感谢。

国内外的藻类学术文献浩如烟海,本书疏漏遗误之处在所难免,祈望读者不吝赐教。

目 次

第一章 绪 论	(1)
1.1 浮游藻类植物定义	(1)
1.2 浮游藻类研究的意义	(3)
1.2.1 浮游藻类在淡水生态系统中的作用	(3)
1.2.2 浮游藻类研究的实践意义	(5)
1.3 浮游藻类在水质监测及评价中的生态学意义	(6)
1.4 浮游藻类监测的国内外研究现状	(7)
1.5 藻类评价水体营养水平的常用方法	(11)
1.5.1 指示生物法	(11)
1.5.2 藻类生物指数	(13)
1.5.3 多样性指数	(14)
1.5.4 生物量和生物密度	(16)
1.6 汾河太原段水环境现状	(17)
1.7 汾河太原段浮游藻类和水质评价的目的和意义	(17)
1.8 研究区域及样点设置	(18)
第二章 汾河太原段浮游藻类研究及评价方法	(20)
2.1 理化指标测定方法	(20)
2.1.1 COD 的测定	(20)
2.1.2 总硬度的测定	(20)

2.1.3	总磷的测定	(20)
2.1.4	氨氮的测定	(21)
2.1.5	重金属的测定	(22)
2.2	理化指标评价方法	(22)
2.3	浮游藻类研究方法	(22)
2.3.1	浮游藻类采集时间	(22)
2.3.2	浮游藻类采集方法	(23)
2.3.3	浮游藻类鉴定方法	(23)
2.4	浮游藻类评价方法	(24)
2.4.1	浮游藻类生物量评价	(24)
2.4.2	浮游藻类优势种评价	(24)
2.4.3	物种多样性指数评价	(25)
第三章	汾河太原段理化因子测定	(26)
3.1	汾河太原段部分理化指标在各采样点的变化 ...	(26)
3.2	汾河太原段部分理化指标季节变化	(32)
3.3	汾河太原段理化指标评价结果	(35)
第四章	汾河太原段浮游藻类植物分类	(38)
4.1	蓝藻门 Cyanophyta	(38)
4.1.1	蓝藻纲 Cyanophyceae	(38)
4.2	红藻门 Rhodophyta	(66)
4.2.1	红藻纲 Florideophyceae	(66)
4.3	金藻门 Chrysophyta	(67)
4.3.1	金藻纲 Chrysophyceae	(67)
4.4	硅藻门 Bacillariophyta	(68)

4.4.1 中心纲 Centriceae	(68)
4.4.2 羽纹纲 Pennatae	(75)
4.5 隐藻门 Cryptophyta	(148)
4.5.1 隐藻纲 Cryptophyceae	(148)
4.6 甲藻门 Dinophyta	(149)
4.6.1 甲藻纲 Dinophyceae	(149)
4.7 裸藻门 Euglenophyta	(153)
4.7.1 裸藻纲 Euglenophyceae	(153)
4.8 绿藻门 Chlorophyta	(154)
4.8.1 绿藻纲 Chlorophyceae	(154)
4.8.2 双星藻纲 Zygnematophyceae	(211)
第五章 汾河太原段浮游藻类研究及评价	(225)
5.1 汾河太原段浮游藻类种类组成及群落结构	(225)
5.1.1 汾河太原段浮游藻类种类组成	(225)
5.2 汾河太原段浮游藻类种类组成时空变化	(239)
5.2.1 汾河太原段浮游藻类种类组成在各样点的变化	(239)
5.2.2 汾河太原段浮游藻类种类组成季节变化	(242)
5.2.3 汾河太原段浮游藻类数量分布时空变化	(242)
5.2.4 浮游藻类种类组成多样性	(245)
5.3 汾河太原段水质评价结果	(248)
5.3.1 生物量评价结果	(248)

5.3.2 优势种评价结果	(248)
5.3.3 多样性指数评价结果	(248)
第六章 汾河太原段浮游藻类与理化因子相关性	(251)
6.1 研究方法	(251)
6.2 研究结果	(251)
6.2.1 汾河太原段浮游藻类生物量与理化因子相关性分析	(251)
6.2.2 汾河太原段各样点理化指标主成分(PCA)分析	(252)
6.3 汾河太原段水质变化情况分析	(261)
6.4 汾河太原段管理方法探讨	(262)
参考文献	(264)
拉丁名称对照索引	(270)

第一章 绪 论

1.1 浮游藻类植物定义

浮游藻类(phytoplankton)是一类具有叶绿素,营自养生活,没有根茎叶分化,通过细胞的营养性分裂,或借助于单细胞的孢子、合子进行生殖的悬浮生活在水中的水生植物。它们或者完全没有游动能力,或者游动能力微弱,不能作远距离的移动,也不足以抗拒水的流动力,因此只能被动地“随波逐流”(章宗涉等,1991)。

浮游藻类形态结构非常简单,整个有机体都能吸收营养制造有机物,不需要像高等植物那样消耗相当多的能量在支持器官上。除此之外,其繁殖方式简单,通常以细胞分裂为主,当环境条件适宜、营养物质丰富时,藻类个体数的增长非常快。而且,浮游藻类分布十分广泛,在淡水和海洋中都较为丰富。我国的江河、湖海面积大,浮游藻类种类繁多,产量丰富。

浮游藻类按其营浮游性生活方式的性质或程度又可分为真性浮游藻类(euphytoplankton)、假性浮游藻类(pseudophytoplankton)和阶段性浮游藻类(merophytoplankton)。真性浮游藻类又称终生浮游藻类(holophytoplankton),它们的整个生活史都是在水中以悬浮方式完成的。阶段性浮游藻类,又称兼性浮游藻类(facultative phytoplankton),它们在生活史的某个阶段不是营浮游生活方式的,如某些藻类在某个季节在水底部休眠或者有性生殖形成的合子沉在水底。假性浮游藻类,或称偶然性浮游藻类(tychophytoplankton),它们不是真正的浮游藻类,而是着

生、底生甚至陆生藻类,因水、风或其他因素被吹冲脱落到水层中,而混杂在浮游藻类中被采到。

浮游藻类虽然体形都很小,但还是有一定范围的大小差别。所以按照浮游藻类大小来划分为不同等级。划分等级的标准和名称不尽相同。最初只分为两级:微型浮游藻类(nannophytoplankton 或 nanophytoplankton)和网采浮游藻类(net phytoplankton)。以后等级分得更细,提出超微型浮游藻类(ultraphytoplankton 或 u-phytoplankton)、小型浮游藻类(microphytoplankton)、中型浮游藻类(mesophytoplankton)、大型浮游藻类(macrophytoplankton)和巨型浮游藻类(megaphytoplankton 或 megalophytoplankton),各种名称有时也相互混用。

网采浮游藻类是指浮游生物网捞取到的,而可从网目中通过的则为微型浮游藻类。但因使用的浮游生物网目直径不一样,划分的标准也就不同。国外较多用 20 微米,但有人认为是 10 微米,有人认为是 30 微米或 35 微米,还有 50 微米、64 微米、80 或 110 微米等。如以我国常用的 25 号网为划分标准,大于 50 微米的是网采浮游藻类。

此外,还可以根据浮游藻类的生活水体划分为湖泊浮游藻类(limnophytoplankton)、池塘浮游藻类(heleophytoplankton)和河流浮游藻类(potamophytoplankton)。

浮游藻类为低等植物,在大小和体积上差别显著,绝大多数浮游藻类是肉眼看不到的,要用显微镜或电镜才能观察清楚。根据浮游藻类所含色素、植物体的形态构造以及群体中的排列方式、细胞数目、细胞间的相互关系等重要分类依据,我国将其分为 11 个门类:蓝藻门(Cyanophyta)、红藻门(Rhodophyta)、隐藻门(Cryptophyta)、甲藻门(Pyrrophyta)、金藻门(Chrysophyta)、黄藻门(Xanthophyta)、硅藻门(Bacillariophyta)、褐藻门(Phaeophyta)、裸藻门(Euglenophyta)、绿藻门(Chlorophyta)和轮藻门(Charophyta),褐藻门、红藻门和轮藻门主要是大型藻类(刘建

康,2002)。

据统计,全世界藻类约有 40 000 种,其中淡水藻类有 25 000 种左右,而中国已发现的(包括已报道的和已鉴定但未报道的)淡水藻类约 9 000 种。

1.2 浮游藻类研究的意义

1.2.1 浮游藻类在淡水生态系统中的作用

水体是地球上生命的发源地,是各种水生生物生活和繁殖的重要场所,与人类的生产、生活有着极为密切的关系。几乎所有水体中都有种类繁多的生物生存。在全世界现有的 33 纲藻类中,水生的就有 18 个纲的种类。与其他生态类群的水生生物相比,浮游藻类虽身体微小,但数量却极多,代谢活动强烈,因此在生态系统中起着极重要的作用(章宗涉等,1991)。

浮游藻类是河流水生生物的主要组成部分之一,是水体生态系统的主要生产者,也是许多鱼类的重要饵料。它与水生高等植物一样具有叶绿素,利用光能进行光合作用制造有机物质,同时放出氧气,故属营自养的生物。它与水生高等植物共同组成河流中的初级生产者,在某些缺少水生高等植物的河流中,它则是唯一的初级生产者,而且是维持河流中一些动物和微生物食物的主要来源和基础。浮游藻类通过光合作用固定太阳能,制造其他生物所需要的有机物质,因此被称为生产者(producer)。这个生产过程为水生态系统运转提供能源,是生态系统整个生产过程的最初和基础环节,因此被称为初级生产过程。在大多数水体中,浮游藻类是主要的生产性生物。因此,一个水体生物生产力的大小往往决定于浮游藻类和其他水生动物的食物多寡,它们位于水体食物链的第一环节,是浮游动物和其他水生动物的食物,它们的种类和数量变动与吞食它们的生物的种群

数量以及一些环境要素的变化都有着密切的关系。所以在研究生态系统的结构和功能时,浮游藻类是必不可少的一个基本环节。

大量研究表明,藻类群落的结构、组成和水体环境密切相关(边归国,2003)。藻类与水污染有着密切关系,可以利用浮游藻类群落进行富营养化监测,评价水质。由于水体流动缓慢甚至不流动以及城市生活污水和工业废水大量流入,水体中的氮、磷增加,使藻类大量生长繁殖,水的感官性状恶化,变黑变臭,严重影响水环境(陈桂珠,1990)。

藻类对水质的变化比较敏感,当水体受到严重污染,藻类的生长就会受到影响,甚至会消失。反之,随着污染物的减少和性质的变化,水质改善,各种藻类就会繁殖生长(高玉荣,1992;洪松等,2002;曾丽璇等,2003;刘静等,2004)。但不同藻类的抗污能力不同,有些种类抗污能力强一些,有些种类则弱一些。根据有关研究资料和实践认为:硅藻门的大多数种类属轻污染的指示藻类;绿、黄藻门的大多数种类属中等耐污种类;蓝藻门、隐藻门、裸藻门多数种类属较耐污种类。不同的浮游藻类对水质污染程度的适应性和对氮、磷等营养盐类要求有所不同(陈桂珠等,1992)。

浮游藻类在水环境中具有适应性、周期性与指示性特点,是水环境不可或缺的重要组成部分。可以通过研究浮游藻类的种类组成及群落结构来评价水质。在一定条件下,浮游藻类群落和水环境之间互相联系、互相制约,形成一个自然的、暂时的相对平衡且非常复杂的生态系统。当水体受到污染和破坏时,必然影响浮游藻类的组成、数量及群落结构,影响物种及其多样性、稳定性、生产力以及生理状况,影响生态系统的正常循环,使得有些浮游藻类的生长受到影响,逐渐消亡;而另一些水生生物则能继续生存下去,个体和种群的数量逐渐增加,这些变化与水环境受污染的种类和程度的变化相辅相成(张海波,1998)。

1.2.2 浮游藻类研究的实践意义

浮游藻类调查从一开始就具有明显的生产实践目的。随着工农业生产的发展以及保护资源和人类环境的需要,浮游藻类研究的应用目的性也越来越强。概括起来,其实践意义有以下几个方面。

1.2.2.1 渔业方面

1) 浮游藻类资源的直接利用

某些浮游藻类,如螺旋藻营养丰富,富含氨基酸、蛋白质、维生素以及其他对人体有特殊疗效的生物活性物质,如 PSP 等。在非洲,螺旋藻是当地居民的食品。而我国也将螺旋藻广泛应用于食品、保健品、化妆品、医药、饲料等行业。单细胞藻类如栅藻等可作为未来的蛋白质来源。

2) 水体生产性能和潜力的评价

长期以来,浮游藻类的种类、数量、生产量是评价水体营养型和生产潜力的重要指标。我国池塘养殖水体的“肥、瘦”主要也是根据浮游藻类的种、量来判断的。

3) 放养指标的确定

在湖泊、水库和池塘进行人工放养时,根据我国以放养滤食浮游藻类为主的鱼的特点,在按照浮游藻类的种、量来确定放养什么鱼类、放养的数量和比例等方面,进行了大量工作,并收到了很好的效果。

通过施肥等方法,提高浮游藻类数量,或者通过人工培养浮游藻类,来为鱼类或其他生物提供更多的适口食料。

1.2.2.2 水污染防治方面

1) 水质评价

由于藻类的群落结构及其生长量受水体生态环境的直接影

响,它们对水体环境的变化极为敏感,其种类和数量的变化与吞食它们的生物的种类和数量及一些环境要素的变化都有着密切的关系。因此,浮游藻类被广泛地应用于评价和监测水质,例如各种指示藻类,指数,群落结构和功能,分泌的毒素等。如在河流的有机物污染方面,早已提出了各种污染的指示生物。在富营养化评价时,浮游藻类的调查占有重要的地位,对“水华”或“赤潮”的观察和研究已有长远的历史。对重金属、农药和其他污染,不少浮游藻类都较敏感,可用于评价。

2) 生物测试

由于浮游藻类对一些污染物的敏感性以及它们在水生态系统中的重要性,在了解污染物对水环境的影响,制定水质标准或污水排放标准时,常常选择浮游藻类中的一些种类作为生物测试的材料。

3) 污水处理

污水生化处理中,根据活性污泥或滤膜上的浮游藻类种类和数量来判断活性污泥或滤膜的活性和处理效果,应用相当广泛,也比较简便和有效。

浮游藻类在污水处理中也能发挥作用。如氧化塘就是利用藻-菌共生系统净化污水。一些浮游藻类能大量浓缩累积某些污染物质,也可应用于污染治理。

1.2.2.3 其他方面

在给水处理、水利工程的环境影响等方面,浮游藻类的调查研究起着不小的作用。在古湖沼学的沉积研究等方面,也常需要浮游藻类的调查资料。甚至在法医检查死因、侦破案件中,有时也要借助对浮游藻类的调查。

1.3 浮游藻类在水质监测及评价中的生态学意义

浮游藻类监测与评价是利用水体污染物对浮游藻类的影响

而产生的各种反应来测试并评价水体的污染状况。浮游藻类在不同的水体中具有特定种类组成,它们的数量和种类的变化,反映了环境中水质的变化。浮游藻类与其水体环境的统一性是水生生物监测的生物学基础,因为浮游藻类群落与水体水质变化进程关系密切,它们的种群组成、群落结构等的变化直接或间接地反映着水体状况及其发展趋势。它所反映的环境质量内容是理化监测无法替代的。通过对浮游藻类种类和数量组成以及对它们的生理生化和对毒物的积累特点等进行研究,可以对水体的污染性质和程度做出一个更加全面、正确的评价,进而为水资源保护及治理提供一定的理论依据(张土乔等,2004)。由此人们把它作为水质监测和评价的重要参数。

由于藻类分布广,种类多,一年四季都易采得,在水体生物监测和生物评价中,具有不可比拟的优点;并且生物学评价指标也是河流水质评价的一项重要内容。浮游藻类作为水体中广泛存在的植物体,其生态特征对水体有重要的影响,因此对水质状况具有重要的监测作用。

浮游藻类监测和评价的最终目的是通过对浮游藻种类组成、种群结构和群落因水体环境变化而产生物种组成及其多样性、稳定性、生产力以及生理状况变化情况的监测,全面及时掌握水环境质量的动态变化特征,为水资源保护、水环境管理以及水污染防治和决策提供可靠依据。

1.4 浮游藻类监测的国内外研究现状

浮游藻类是主要的初级生产者,因而能直接地反映水体的营养状况。浮游藻类受自然因素如阳光、水温、氮、磷、pH 值及水体中其他生物的影响,这些因素的变化直接影响到浮游藻类的数量及种类变化以及各种指数的关系,每种指数所反映的只是一种水体的大致情况,有时甚至会得出背离实际情况的结果,

但如果把几种指数结合起来分析研究,利用浮游藻类指数与各种理化因子进行相关性分析,综合地进行判断,就会客观地反映水体的状况,对浮游藻类进行个体或群落生态学方面的研究,并以此评价水质有机污染程度则更具有价值。

19 世纪初,就有人用细孔网采取水中的微小生物进行观察。1887 年,德国学者汉逊(V. Hensen)专门设计了一种网具,对海洋中的微小生物进行定量的观察,并提出了“浮游生物”这一名词,开创了浮游生物调查研究的新阶段,被认为是浮游生物学研究的奠基者。以后,各国组织了许多考察队,建立了不少定位工作站,对各种类型水体的浮游生物进行了大量区系分类,特别是生态方面的工作,出版了许多专门著作、报告和论文。

近几十年,由于科学的发展、实践的需要,世界各国对浮游生物的研究更为广泛和深入。国际性的合作研究——国际生物学研究规划(IBP),对全球水体进行了综合性的研究,特别在方法学上取得许多成果,并出版了一套方法手册,其中包括有关浮游生物的调查手册。其后“人与生物圈”(MAB)研究规划开始实施,主要任务是如何合理利用和管理资源以及保护人类的环境,对水体浮游藻类学的研究也起了很大促进作用(章宗涉等,1991)。

随着研究的不断深入,对浮游藻类的研究已经从单一地对浮游藻类的统计和鉴定发展到结合理化因素研究浮游藻类组成与环境的关系。浮游藻类群落受不同环境因子(pH、光照、温度)的影响(Buzzi,2002),氮、硅对浮游藻类群落的结构、生长、光合作用效率有限制作用(Christopher et al,2006)。除此之外,浮游藻类是食物链的初级生产者,影响生态平衡,某些特殊种类可用来反映水质(Kitner et al,2003;Rey et al,2004)。这一研究的开展,为进一步寻找治理河流水体污染的途径奠定了基础。

淡水浮游藻类的调查研究自我国从 20 世纪 20 年代起开展一些工作,新中国成立后更有蓬勃地发展。尤其近 30 多年来,