

藻类

与

环境保护

林碧琴 姜彬慧 编著



辽宁民族出版社

序 言

面对新的 21 世纪，一个重大课题——环境问题仍然摆在人类面前，困扰着人类，需要人们花大力气去解决。1972 年 6 月 16 日联合国人类环境会议上通过的《人类环境宣言》表明了全人类保护生存环境的决心。

环境保护也是我国的一项基本国策。自 1973 年 8 月中华人民共和国第一次环境保护会议召开以来，我国已制定了一系列环境保护政策法规，并做了大量环境保护工作。

环境保护工作主要分为两个方面：合理利用资源和防止环境污染；在环境受到污染后，做好综合治理。但环境问题是個非常复杂的问题，它涉及到人类自然科学和社会科学的各个领域，因而环境保护工作必然也要综合利用各种手段，“生物监测与净化”就是环境生物学中的重要组成部分，其中利用藻类来监测环境污染与净化环境又是“生物监测与净化”的重要内容。本书编著者长期从事藻类教学与研究工作，深感藻类在环境保护中的作用。藻类虽然为低等植物，但分布极广，对人类有着极其重要的经济价值。近年来，欧美、日本各国对藻类开发利用极为重视，在研究和实用领域里取得了不少成就。我国自 60 年代以来，在藻类研究利用方面也做了不少工作，取得了可喜成绩，但平心而论，与先进国家相比，我们在许多方面尚处于萌芽阶段。为此，我们编写此书的目的，除了系统地阐述藻类的基本理论及其在环境保护中的作用外，也在于介绍藻类研究的技能与手段及其近期发展的动

态，宣传藻类在人类生活中的作用，呼吁人们重视自然赐给我们的这一财富。

本书原型为辽宁大学生物系环境生物学专业学生教材，出版后经过几年社会实践，感到有重新编写的必要。现经过大量补充改写，将《藻类与环境保护》献给广大读者，希望它对大家能有所帮助。

本书编写工作分工如下：

3、4、6、7、8、12、14、15、17 章由东北大学资源与土木工程学院姜彬慧编写；1、2、5、9、10、11、13、16、18、19、20 章由辽宁大学生物系林碧琴编写。本书在编写过程中曾得到许多在环境保护部门及教学岗位上工作的同志的热情支持和帮助，在此谨致谢意。由于编写者水平所限，错误之处在所难免，恳请读者给予批评指正。

编写者

1998. 9 月于沈阳

目 录

序言

1 绪论	(1)
1.1 环境与人类社会发展	(1)
1.2 环境问题与环境科学	(3)
1.3 藻类在环境保护中的作用	(5)
2 藻类植物	(7)
2.1 藻类的基本特征	(9)
2.2 藻类与其他孢子植物的区别	(10)
2.3 藻类的形态、构造及生殖	(11)
一、藻类细胞的结构	(11)
二、藻体类型	(19)
三、藻类繁殖	(20)
四、藻类生活史	(23)
五、藻类与水环境	(24)
3 藻类的生活条件、生态类型及藻类的分类	(26)
3.1 藻类的生活条件	(26)
一、物理条件	(26)
(一) 温度	(26)
(二) 光照	(29)
(三) 水的运动	(33)
二、化学条件	(34)

(一) 溶解盐类和有机物质	(34)
(二) 溶解气体	(40)
(三) 酸碱度 (pH 值)	(44)
3.2 藻类的生态类型	(46)
一、浮游藻类	(46)
二、底栖藻类	(47)
三、气生藻类	(49)
四、土壤藻类	(50)
五、温泉藻类	(52)
六、冰雪藻类	(53)
七、内生藻类	(53)
八、共生藻类	(54)
九、寄生藻类	(54)
3.3 藻类分类	(55)
4 蓝藻门 Cyanophyta	(56)
4.1 细胞结构	(57)
一、形态	(57)
二、细胞壁和鞘	(57)
三、原生质的结构	(58)
四、气胞	(60)
五、色素和光合作用	(61)
六、厚壁孢子	(62)
七、异形胞	(62)
4.2 固氮与代谢	(63)
4.3 蓝藻的繁殖	(64)
4.4 营养类型	(66)
4.5 滑行	(67)
4.6 共生	(67)

4.7	蓝藻的生态学	(69)
4.8	蓝藻的分类	(74)
5	裸藻门 Euglenophyta	(96)
5.1	细胞结构	(96)
5.2	核及核分裂	(99)
5.3	眼点、副鞭隆起部及趋光性	(99)
5.4	产胶体和胞外结构	(100)
5.5	叶绿体和贮藏产物	(101)
5.6	生殖、生长与营养	(101)
5.7	分类	(103)
6	甲藻门 Pyrrophyta	(111)
6.1	细胞结构	(112)
6.2	休眠孢子(或泡囊)	(116)
6.3	生物发光	(116)
6.4	节律(周期性)	(118)
6.5	共生甲藻类	(120)
6.6	分类	(121)
7	隐藻门 Cryptophyta	(128)
7.1	细胞结构	(128)
7.2	共生生物群落	(129)
7.3	分类	(131)
8	金藻门 Chrysophyta	(133)
8.1	细胞结构	(133)
8.2	细胞质突起	(137)
8.3	静孢子(泡囊)	(137)
8.4	营养	(138)
8.5	生态学	(138)

8.6	分类	(140)
9	金鞭藻门 Prymnesiophyta	(145)
9.1	细胞结构	(145)
9.2	鳞片和球石粒	(148)
9.3	生长	(149)
9.4	分类	(149)
10	硅藻门 Bacillariophyta	(151)
10.1	细胞结构	(151)
10.2	硅藻的繁殖	(156)
10.3	运动	(157)
10.4	周期现象	(158)
10.5	硅藻的生态学及其在自然界的分布	(159)
10.6	硅藻分类	(164)
11	黄藻门 Xanthophyta	(193)
11.1	细胞结构	(193)
11.2	无性生殖	(196)
11.3	有性生殖	(198)
11.4	分布	(198)
11.5	分类	(198)
12	褐藻门 Phaeophyta	(206)
12.1	一般特征	(206)
12.2	细胞结构	(207)
12.3	原植体结构	(210)
12.4	生长	(211)
12.5	繁殖	(211)
12.6	分类	(212)
13	红藻门 Rhodophyta	(217)

13.1	细胞结构	(217)
13.2	钙化作用	(220)
13.3	生殖结构	(221)
13.4	附生植物和寄生植物	(221)
13.5	分类	(223)
14	绿藻门 Chlorophyta	(233)
14.1	绿藻门的一般特征	(234)
14.2	绿藻门的分类	(240)
15	轮藻门 Charophyta	(281)
16	藻类与环境保护	(286)
16.1	环境保护与生态平衡	(286)
16.2	藻类在食物链中的地位与作用	(299)
16.3	藻类是人类社会生存与发展的重要自然 资源	(304)
	一、藻类在农业、水产业及畜牧业上的用途	(305)
	二、藻类在工业上的用途	(307)
	三、藻类在医药上的应用	(311)
	四、藻类用作新能源	(313)
	五、藻类作为人类的健康食品和未来的新 食源	(313)
	六、藻类在水的洁净上的意义	(318)
	七、藻类对人类产生直接或间接的危害	(318)
17	藻类与环境污染监测	(322)
17.1	环境异常与环境污染	(322)
17.2	环境污染的类型	(325)
17.3	污染物对藻类的影响	(336)
	一、污染物对单种藻类的影响	(336)

(一) 有机氯毒物对藻类的影响·····	(336)
(二) 洗涤剂 and 石油乳化剂对藻类 的影响·····	(337)
(三) 有机锡对藻类的影响·····	(338)
(四) 溶解石油组分对藻类的影响·····	(338)
(五) 重金属和过渡金属对藻类的 影响·····	(339)
(六) 几种因子综合效应对藻类的 影响·····	(344)
二、污染物对天然浮游藻类群落的影响 ·····	(345)
17.4 藻类在环境污染监测中的作用·····	(347)
一、生物监测概念 ·····	(347)
二、生物监测的重要性 ·····	(348)
三、藻类在监测中的作用 ·····	(349)
四、水体污染的藻类监测手段 ·····	(351)
(一) 利用“指示藻类”来监测·····	(351)
(二) 利用水生藻类群落结构的变化来 监测·····	(352)
(三) 用生物指数和生物种的多样性 指数等来监测·····	(354)
(四) 水污染的生物测试·····	(358)
18 环境污染的藻类监测技术·····	(364)
18.1 采样点布设的原则与方法·····	(364)
18.2 藻类监测项目及频率·····	(369)
18.3 水环境污染的藻类监测方法·····	(369)
一、藻类类群的监测 ·····	(369)
二、生产力的测定 ·····	(388)
(一) 叶绿素 a 的测定·····	(388)

(二) 存在脱镁叶绿素 a 时叶绿素 a 的分 光光度法测定.....	(389)
(三) 黑白瓶测氧法.....	(391)
(四) 三磷酸腺苷 (ATP) 的测定	(392)
(五) 细胞体积的测量.....	(395)
(六) 重量法.....	(395)
19 藻类与环境污染治理	(397)
19.1 藻类与水体污染的关系.....	(397)
一、水体富营养化的特征	(397)
二、富营养化发生的原因	(399)
三、富营养化 (红潮) 造成的危害	(399)
四、水体富营养化的防治措施	(405)
19.2 利用藻类处理污水.....	(406)
19.3 藻类处理污水的方法.....	(408)
20 新世纪、水、藻类与社会环境发展	(415)

1 绪 论

1.1 环境与人类社会发展

什么是环境？环境即是中心事物身边的周边事物。人类生存的环境即指在自然环境基础上经过人类加工改造所形成的外部世界。这个外部世界既包括自然环境，也包括社会环境。自然环境主要由大气、水、土壤、岩石、动植物等物质要素构成，它们是人类赖以生存的物质基础。由于自然环境是一个非常复杂的体系，目前在环境科学中尚没有一个统一的分类原则和方法。如按构成要素分类，可分为大气环境、水环境、土壤环境、生物环境；如按生态系统分类，可分为水生环境和陆生环境，其中，水生环境按化学性质又可分为淡水环境与咸水环境，陆生环境按结构形式又可分为热带环境、寒带环境、草原环境、森林环境等。社会环境是人类物质文明和精神文明发展的结果，是其发展阶段的重要标志。社会环境会因人类文明的不断发展而不断演变，以期达到更高的阶段。社会环境的分类也像自然环境分类一样，是多层次、多结构的。可以按照人类的活动范围分为城市、乡村、工厂、院落、旅游、疗养环境等。

环境的发展可以分为三个阶段：

(1) 地球形成初期。这一时期的主要特点是岩石圈、大气圈、水圈已经演化成型。在地热能、太阳能的作用下，简单的无机物和甲烷等化合成氨基酸、核甙酸等有机物，并逐渐演化为蛋白质等有机物，为生命的产生准备了必要条件。

(2) 生命起源与发展。大约距今 35 亿年前, 厌氧异养原始细菌在水中诞生, 它标志着地球上生命的开始 (南非古沉积岩中已发现了 30 多亿年前的微细胞), 后又逐步演化成自养原核生物——藻菌生态系。在 10~15 亿年前, 出现了单细胞真核植物, 6 亿年前出现动物, 4 亿年前出现陆生蕨类。生物的发生和发展形成了生物圈。

(3) 人类出现。人类社会的发展与环境的关系是极为密切的。自 300 万年前能制造工具的原始人类出现后, 随着社会生产力的不断提高, 人类对环境的作用便日益增强。人类和一切生物不仅是环境发展到一定阶段的产物, 而且它们本身的物质组成也与环境物质组成有着密切的关系。自人类出现后便不断地参与了自然界的物质循环和能量流动过程, 首先, 它通过自己的生产和消费活动, 不断地从自然界获取生存资源, 然后又将经过改造和利用过的自然物和各种废弃物还给自然界, 这样, 人类便改变着自然环境, 不断发展着社会。据估算, 现代人类社会进行的农业生产 (包括利用机械化生产, 施用化肥和农药) 所获得的农产品可供养几十亿人食用。人类在改造自然环境中控制了一些河流的洪水泛滥; 改良了土壤, 驯化了野生动植物, 培养出了优良品种; 发展了各种能源和制造业, 建设了舒适的居住环境; 创造出各种有用物质, 使人类生活质量大大提高。

人类在改造环境过程中, 自然环境仍以自己固有的规律运动着, 并不断地反作用于人类, 再加上人类还给自然界的各种废弃物, 造成了环境的污染, 这便成了环境问题。

1.2 环境问题与环境科学

环境问题主要是指由于人类的生产与消费活动所造成的有害于人类及其他生物生存与发展的环境污染现象。如化学物质、放射性物质、病源体、噪声、废热等对水、大气、土壤的污染, 影

影响到人体健康和生物的正常生命活动。这种环境污染的产生有一个从量变到质变的发展过程。当人类社会处于低级发展阶段，人口数量不多，生产规模不大，人类活动对环境的影响并不大，即使出现环境问题，由于环境的自净功能，也能保持相对的生态平衡。但是在人类社会进入发达时期以后，由于人口激增，社会生产力突飞猛进，人类征服自然界的能力大大增强，环境问题便日益显露出来。

产业革命之后，机器广泛使用，工业生产迅猛发展，为人类创造了不少财富，同时人类排放的污染物也大量增加，一些地区发生的污染事件也层出不穷，如英国伦敦烟雾事件、美国多诺拉镇烟雾事件、日本横滨哮喘病事件、比利时马斯河谷事件、日本水俣病事件、美国纽约州拉夫运河河谷土壤事件等，这些都给人类生活带来过重大危害。

据估计，全世界每年排入环境的固体废物超过 30 亿吨，废水约 6000~7000 亿吨，其中约有 4200 亿吨污水排入江河，造成 5.5 亿立方米水体污染，约占世界淡水的 1/3。废气中仅一氧化碳和二氧化碳就近 4 亿吨。人类向大自然排放的碳氢化物全球年总量约为 0.8 亿吨，碳氢化物本身并不严重污染环境，但它所参加形成的光化学烟雾是能引起危害的。一氧化氮和二氧化氮，它们大部分来源于燃料燃烧以及汽车、内燃机排气，全球排放量约为 0.48 亿吨/年，它们是产生光化学烟雾的主要因素。二氧化硫和三氧化硫，它们主要来源于燃料燃烧和冶金工业排放的烟气以及硫酸制备工业排放的废气，全球每年排入大气中的二氧化硫约有 1.5 亿吨。这些数量越来越大的废弃物，大大超过了环境的自净能力，严重地威胁着人类生存的环境。人类人口的增加和生产活动频繁更加重了这一现实灾难。

全世界每年消耗的矿物燃料，20 世纪初不足 15 亿吨，70 年代便增加到了 80 亿吨。全球由矿物燃料燃烧排出颗粒物量，人工

颗粒物约为 296 亿吨/年，天然排放量约为 25.03 亿吨/年。全球森林面积，1962 年为 55 亿公顷，70 年代末只剩下不到 26 亿公顷。据我国林业部统计，“四五”期间，我国森林面积为 1.2 亿公顷，覆盖率为 10%。1984~1988 年林业部资源调查表明，中国林业用地面积为 2.6743 亿公顷，其中森林面积为 1.2465 亿公顷，森林覆盖率为 12.98%，森林面积虽比过去有所增加，但用材林面积缩小，较“五五”期间减少 285 万公顷，森林蓄积量较上次清查减少 3.1 亿立方米；森林质量进一步下降，成熟、过熟材比重明显降低，幼龄、中龄材面积比重增大，森林资源危机日益加剧，我国森林采伐量和消耗量远远超过林木生长量，目前可采伐的森林蓄积量最多只有 14~15 亿立方米，若按目前平均每年赤字 1.7 亿立方米消耗水平推算，全国可供采伐利用的森林 8 年左右就被采光。我国可利用的草原面积约 2.2434 亿公顷，其中优质草场约占 1.8%，中等草场约占 46%。1980 年以前，我国每年净减少耕地 53.8 万公顷，“六五”期间每年减少 49.1 万公顷，“七五”期间的 1985 年一年的耕地减少数达 159.8 万公顷。土壤由于侵蚀每年全世界损失 240 亿吨，沙漠化土地每年扩大 600 万公顷，这严重威胁着世界粮食生产。由于环境恶化，人类肆意破坏，野生动植物资源下降，濒危物种日益增多。世界上现有 25000 种植物和一半的灵长目物种面临着灭绝的危险。233 种非人类灵长目动物包括黑猩猩、类人猿以及猴子，是地球上受到最大威胁的哺乳动物。森林遭到砍伐使它们失去了在森林里的栖息地，是导致这种状况的主要原因。据《世界观察》杂志报道，在南亚和东南亚地区，90% 的灵长目动物受到威胁或面临灭绝的危险；在非洲的马达加斯加，大约 15 种灵长目动物已经灭绝，余下的 30 种中有 20 种面临着威胁；在日本现有的大约 5 万只猕猴中，每年大约有 5000 只被人类捕获或杀害。我国约有 3 万种高等植物中，也至少有 3000 多种处于受威胁或濒临绝灭境地。

在严峻的形势面前，人类不能不猛醒，不能不奋起保护和改善自然环境，使之更好地适于人类和自然界生物的生存。于是便产生了环境科学。

环境科学是研究人类在认识自然和改造自然中人和环境之间的相互关系的科学。最早提出“环境科学”这一名词的是美国学者。70年代出现了以环境科学为书名的综合性专门著作。1972年英国经济学家B. 沃德和美国微生物学家R. 杜博斯受联合国人类环境会议秘书长的委托，主编出版《只有一个地球》一书，副标题是“对一个小小行星的关怀和维护”。主编者试图不仅从整个地球的前途出发，而且也从社会、经济和政治的角度来探讨环境问题，要求人类明智地管理地球。该书被认为是关于环境科学的一部绪论性质的著作。环境科学是一门新兴的综合性学科，涉及到公共卫生学、地质学、海洋学、水文学、土壤学、气象学、生态学、遗传学以及环境工程等各学科。它的主要任务是：研究世界环境演化的规律，揭示人类活动同自然生态之间的关系，探索环境变化对人类生存的影响，研究环境污染综合防治与管理措施。

1.3 藻类在环境保护中的作用

藻类是世界上最古老的原植体生物。早在前寒武纪便出现在地球上。藻类与人类社会的发展关系极为密切。正像有些生物学家所说：“没有藻类，我们将怀疑人的进化和生存是否可能。”

藻类是具有叶绿素，能进行光合作用、放氧的绿色植物。它在地球上分布极广：从江、河、湖泊、池塘、小溪到冰川、雪地、土壤、岩石，无所不在。特别在占地球面积70%以上的海洋中，藻类更是异常发达。人们通常说：“海洋是藻类的世界”，这话不无道理。那么，历史古老、分布广袤的藻类在人类环境保护中究竟起什么作用呢？

(1) 净化空气。地球的大气圈主要由氮(N_2)、氧(O_2)、水

蒸气、二氧化碳 (CO_2) 及其他微量惰性气体组成。当城市和工矿区向大气排放二氧化硫 (SO_2)、氮氧化物 (NO_x)、碳氢化合物 (HC)、一氧化碳 (CO) 等污染物时, 大气就会受污染, 就会对自然环境和人类造成危害。大气污染的防治除运用减少或防止污染物的排放措施外, 发展植物净化也是重要措施。尤其是在植物界中占有重要地位的藻类的作用更是不可低估的。藻类具有吸收和利用大气中二氧化碳的功能, 又能通过光合作用向大气释放有益于净化空气的氧气。据统计, 大气圈中的氧有 $1/4$ 是海洋的浮游植物 (藻类) 通过光合作用而产生的。因此, 藻类植物一旦遭到严重的损害, 势必影响全球氧含量的平衡。

(2) 清洁水质。除了少数藻类和细菌一样能同化有机物以外, 大多数藻类通过光合作用, 向水体提供氧气, 以达到净化水体的作用。其原理是: 细菌在水体中不断通过新陈代谢分解各种有机污染物质, 使污水达到自净, 同时细菌却释放出二氧化碳和其他产物。而藻类却能利用这些二氧化碳和其他产物在阳光下借助于叶绿素进行光合作用, 释放氧气。细菌再吸收氧气进行新陈代谢。这种不断重复的现象被称做“藻菌共生”现象。

当然, 藻类在水体自净过程中的能力不是无限的, 当排入的污染物质过多, 而含有抑制生物的物质时, 藻类则不仅不能起到自净作用, 反而会破坏水体的自净能力。这也是我们必须看到的。

(3) 肥沃土地。土壤污染主要是来自工业及生活废水、固体废物、农药和化肥、牲畜排泄物、生物残体以及大气沉降物等。土壤污染对植物和人类都会造成巨大伤害, 因此, 土壤污染的防治是保护人类生活环境的重要措施。土壤污染物种类千差万别, 因此, 土壤污染的治理方法也必然是多种多样。藻类由于具有吸附有害物质和通过光合作用释放氧气的功能, 因此, 在治理土壤污染中也必定起着重要作用。有些藻类更具有固氮作用。空气中含有大量的氮素, 约占空气的 78% 以上, 这些都是游离状态的氮素。

植物在生长繁殖过程中需要大量的氮素，但它们只能利用水、土中化合状态的氮素，如硝酸盐、铵盐和一些有机氮，不能直接利用空气中的游离氮素，而固氮蓝藻却能吸收空气中的氮素进行同化，并把游离氮变为含氮的有机化合物，经过分解供给其他植物利用，作为植物的氮肥，可以减少工业化肥的毒害。

(4) 监测污染。水体在受到污染后，不仅水的物理、化学性质会有所变化，而且水中生物种类的组成和数量也会发生变化。以硅藻为例，在未受污染的水体中，其种类多，种群数量大都偏低；而在受到污染的水体中，由于不同种类对污染的反应不同，少数种类的种群数量会增加；在水体严重污染时，种类数和种群数都会降低，甚至于消亡。对藻类的种类和数量进行研究，就能够对水体的污染性质和程度做出评价，这就是藻类污染监测。也可通过筛选对某种污染物敏感的藻类用于监测水体中该种污染物的污染状况。

(5) 用藻类进行废水深度处理。藻类在降低废水中的无机盐含量方面的作用是巨大的，因为藻类在进行光合作用过程中，必须从基质中吸取简单的无机盐类用于合成复杂的有机物，故可在废水中培养藻类进行废水的深度净化处理以降低废水中的氮磷含量，增加溶解氧达到净化废水的目的。

(6) 藻类对农药、重金属的净化作用。藻类对农药有降解作用，如菱形藻可使 DDT 少量降解为 DDE。藻类能吸收并浓缩废水中的有机氯农药，经过生物固定沉淀在水体底部沉淀物中，使水逐渐得到净化。Hill 和 MaCarty (1967) 曾报道过藻类对有机氯农药有相当高的吸附力，以 DDT 作试验，当水中 DDT 为 15 克/米^3 时，7 天后小球藻中 DDT 的积累量为 1084 克/米^3 ，其积累系数达 72 倍。藻类对镉、汞、锌、镉等重金属均有较强的积累能力，常被称为“积累者植物”。例如，褐藻能大量积累镉，羊角月芽藻吸收并富集铅的能力很强，在 PbCl_2 低于 $3.85 \times 10^{-5} \text{ 克/米}^3$