



博士后文库

中国博士后科学基金资助出版

微囊藻群体的环境生态学特征 及其资源化利用

毕相东 著



科学出版社



博士后文库

中国博士后科学基金资助出版

微囊藻群体的环境生态学特征 及其资源化利用

毕相东 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

全书在概述微囊藻水华危害、微囊藻群体形态及其演变规律的基础上,首先系统总结了微囊藻群体细胞的计数及产毒微囊藻丰度监测等的方法,随后详细阐述了微囊藻群体在促生长、抗逆、抗病、抵御浮游动物及滤食性鱼类牧食方面的种群竞争优势,然后重点剖析了浮游动物诱发微囊藻群体形成及营养盐、光照强度、金属离子等环境因子和微囊藻毒素在微囊藻群体形成中的作用机制,最后概述了微囊藻群体资源化利用现状、问题及发展前景。

本书可供水域生态学、湖泊学、环境科学及环境工程等专业从事教学、科研、管理工作的人员借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

微囊藻群体的环境生态学特征及其资源化利用/毕相东著. —北京:科学出版社, 2018.1

(博士后文库)

ISBN 978-7-03-054836-8

I. ①微… II. ①毕… III. ①蓝藻纲-藻类水华-研究 IV. ①Q949.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 254999 号

责任编辑: 朱 瑾 田明霞 / 责任校对: 彭珍珍

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 刘新新

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2018 年 1 月第一次印刷 印张: 7 3/4

字数: 142 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《博士后文库》编委会名单

主 任 陈宜瑜

副主任 詹文龙 李 扬

秘书长 邱春雷

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

付小兵 傅伯杰 郭坤宇 胡 滨 贾国柱 刘 伟

卢秉恒 毛大立 权良柱 任南琪 万国华 王光谦

吴硕贤 杨宝峰 印遇龙 喻树迅 张文栋 赵 路

赵晓哲 钟登华 周宪梁

《博士后文库》序言

1985年，在李政道先生的倡议和邓小平同志的亲自关怀下，我国建立了博士后制度，同时设立了博士后科学基金。30多年来，在党和国家的高度重视下，在社会各方面的关心和支持下，博士后制度为我国培养了一大批青年高层次创新人才。在这一过程中，博士后科学基金发挥了不可替代的独特作用。

博士后科学基金是中国特色博士后制度的重要组成部分，专门用于资助博士后研究人员开展创新探索。博士后科学基金的资助，对正处于独立科研生涯起步阶段的博士后研究人员来说，适逢其时，有利于培养他们独立的科研人格、在选题方面的竞争意识以及负责的精神，是他们独立从事科研工作的“第一桶金”。尽管博士后科学基金资助金额不大，但对博士后青年创新人才的培养和激励作用不可估量。四两拨千斤，博士后科学基金有效地推动了博士后研究人员迅速成长为高水平的研究人才，“小基金发挥了大作用”。

在博士后科学基金的资助下，博士后研究人员的优秀学术成果不断涌现。2013年，为提高博士后科学基金的资助效益，中国博士后科学基金会联合科学出版社开展了博士后优秀学术专著出版资助工作，通过专家评审遴选出优秀的博士后学术著作，收入《博士后文库》，由博士后科学基金资助、科学出版社出版。我们希望，借此打造专属于博士后学术创新的旗舰图书品牌，激励博士后研究人员潜心科研，扎实治学，提升博士后优秀学术成果的社会影响力。

2015年，国务院办公厅印发了《关于改革完善博士后制度的意见》（国办发〔2015〕87号），将“实施自然科学、人文社会科学优秀博士后论著出版支持计划”作为“十三五”期间博士后工作的重要内容和提升博士后研究人员培养质量的重要手段，这更加凸显了出版资助工作的意义。我相信，我们提供的这个出版资助平台将对博士后研究人员激发创新智慧、凝聚创新力量发挥独特的作用，促使博士后研究人员的创新成果更好地服务于创新驱动发展战略和创新型国家的建设。

祝愿广大博士后研究人员在博士后科学基金的资助下早日成长为栋梁之才，为实现中华民族伟大复兴的中国梦做出更大的贡献。



中国博士后科学基金会理事长

前 言

微囊藻 (*Microcystis* sp.) 是全球广布性的水华蓝藻种类, 也是我国富营养化水体中最常见的蓝藻水华主要构成种类。自然环境中微囊藻以胞外多糖 (exopolysaccharide, EPS) 黏着聚集而成、大量肉眼可见的微囊藻群体 (colonial, aggregates) 形式存在, 且群体的形成、增大和形态的持久维持是微囊藻获得种群优势进而形成水华并维持优势的前提之一。相对于单细胞微囊藻, 群体形态的微囊藻在营养物质利用、抗逆及抵御动物牧食等方面具有较高的竞争优势, 具体如下: ①在营养不足的情况下, 微囊藻群体对磷、碳和铁等营养物质具有竞争利用优势; ②微囊藻群体对强光和化学污染物胁迫具有更高的耐受性; ③微囊藻群体外的胶被可有效防止细菌及病毒侵害藻细胞; ④微囊藻群体体积较大且外被结实的胶被, 可有效抵御浮游动物的牧食及滤食性鱼类的消化, 进而保障其在水体中的种群竞争优势; ⑤微囊藻群体在形成时由于胞外多糖的黏着作用形成大量的细胞间空隙, 可增加藻细胞浮力, 群体形态的微囊藻细胞光合作用增强, 进而促进其复苏及生长。明确微囊藻群体的形成机制将对揭示蓝藻水华暴发机理具有非常重要的意义, 同时可为蓝藻水华的预警及控制提供科学的参考依据。已有的研究表明, 微囊藻群体的形成可能是在藻细胞快速生长的基础上, 浮游动物的牧食压力、微囊藻毒素及金属离子等环境因子协同作用的结果。

微囊藻群体细胞中含有丰富的蛋白质、糖类、脂质及氮、磷、钾等营养成分, 但同时含有微囊藻毒素及重金属等毒性成分, 加强微囊藻群体的资源化利用将对减少由微囊藻水华诱发的生态灾害等具有重要意义, 同时, 资源化微囊藻群体不但可减少化学肥料的使用, 减轻农业面源污染, 还可增加农业经济效益, 具有良好的环境效益、经济效益和社会效益。

本书是在国家自然科学基金面上项目“养殖池塘中产毒微囊藻 SNP 基因型组成与其种群竞争力及产毒特征的关联性分析与应用”(31772857)、国家自然科学基金青年项目“重金属离子在微囊藻群体形成中的作用机制”(31300393)、中国博士后科学基金特别资助项目“产毒微囊藻在自然水体中微囊藻群体形成中的作用机制”(2015T80212)、国家自然科学基金应急管理项目“丝氨酸/苏氨酸激酶系统在微囊藻超补偿生长中的作用及其机制研究”(31640009)、中国博士后科学基金面上项目“多环芳烃对微囊藻产毒的影响及其分子机理的研究”(2014M551013)、天津市科技支撑计划重点项目“海河水华蓝藻资源化利用关键技术的研发与转化”(15ZCZDNC00230)、天津市自然科学基金面上项目“小檗碱

作用下养殖池塘中微囊藻毒素时空分布特征及其与重要环境因子间相关性研究”(17JCYBJC29500)、天津市水产技术推广体系(ITTFRS2017015)等项目研究成果的基础上归纳总结,同时借鉴和引用前人的部分研究成果系统集成的。本书在概述可形成群体状态的微囊藻群体种类及相应的群体形态基础上,系统总结了微囊藻群体细胞的监测技术,随后重点剖析了自然水体中微囊藻群体的种群竞争优势及形成机制,最后系统阐述了微囊藻群体资源化利用现状、问题及发展前景。

全书共分为五章,第一章概述了微囊藻水华的危害与微囊藻群体形态及演变规律;第二章系统总结了微囊藻群体细胞的计数及产毒微囊藻丰度监测等方法;第三章系统阐述了微囊藻群体在促生长、抗逆、抗病、抵御浮游动物及滤食性鱼类牧食方面的种群竞争优势;第四章重点剖析了浮游动物诱发微囊藻群体形成,以及营养盐、光照强度、金属离子等环境因子和微囊藻毒素在微囊藻群体形成中的作用机制;第五章概述了微囊藻群体资源化利用现状、问题及发展前景。

本书在撰写过程中得到了南开大学周启星教授、中国科学院水生生物研究所李仁辉研究员、暨南大学韩博平教授、天津农学院张树林教授及戴伟副教授等专家、学者的悉心指导和热情支持,笔者表示衷心的感谢;同时,得到了南开大学、天津农学院及天津市现代水产生态健康养殖团队等单位及相关人员的大力支持,科学出版社为本书提出了建设性的意见,在此一并表示感谢。

尽管笔者在本书的科学性、创新性、系统性、前瞻性和实用性方面作出了较大的努力,但受笔者自身水平和学识所限,书中欠妥之处在所难免;同时在引用前人研究成果过程中可能存在标注不清或有疏漏之处,敬请各位专家、学者给予谅解和指导,更加欢迎大家参与到微囊藻群体的竞争优势及形成机制的研究工作中来,并对此提供支持,以不断完善这一研究。

毕相东

2017年9月

目 录

《博士后文库》序言

前言

第一章 微囊藻水华危害及微囊藻群体形态	1
第一节 微囊藻水华的生态学危害	1
第二节 微囊藻群体的形态及演变	2
一、不同种类微囊藻群体的形态	2
二、微囊藻群体种类及大小的演变规律	9
参考文献	12
第二章 微囊藻群体细胞数目的监测	14
第一节 微囊藻群体总细胞数目的监测	14
一、分散计数法	14
二、直接计数法	26
第二节 微囊藻群体中产毒微囊藻与非产毒微囊藻细胞数目的监测	35
一、荧光定量 PCR 检测技术	36
二、荧光原位杂交技术结合流式细胞仪定量检测技术	38
三、酶联夹心杂交定量检测技术	41
参考文献	42
第三章 微囊藻群体的种群竞争优势	45
第一节 微囊藻群体对营养物质的竞争利用优势	45
一、微囊藻群体对磷的竞争利用优势	45
二、微囊藻群体对无机碳的竞争利用优势	47
三、微囊藻群体对铁的竞争利用优势	48
第二节 微囊藻群体具有较高的胁迫耐受性	50
一、耐受强光照胁迫	50
二、耐受强化学污染物胁迫	52
第三节 微囊藻群体具有较高的抵御病害微生物侵害的能力	53

一、抵御细菌侵害	53
二、抵御病毒侵害	54
第四节 微囊藻群体可有效抵御水生动物的牧食及消化	55
一、抵御浮游动物的牧食	55
二、抵御滤食性鱼类的消化	57
第五节 微囊藻群体可调节自身浮力以获得足够的光照	58
参考文献	60
第四章 微囊藻群体的形成机制	62
第一节 环境因子诱发微囊藻群体形成机制	62
一、营养盐条件	62
二、光照强度	63
三、金属离子	66
第二节 浮游动物诱发微囊藻群体形成机制	81
一、诱发微囊藻群体形成的浮游动物种类	82
二、诱发微囊藻群体形成的方式	86
三、诱发微囊藻群体形成的机制	87
第三节 微囊藻毒素在微囊藻群体形成中的作用机制	88
第四节 问题及展望	96
参考文献	96
第五章 微囊藻群体的资源化利用	100
第一节 制备堆肥	101
第二节 制备沼肥	102
第三节 作为饲料原料	106
第四节 作为生物新能源	106
第五节 其他利用途径	107
第六节 问题及展望	107
参考文献	109
编后记	113

第一章 微囊藻水华危害及微囊藻群体形态

第一节 微囊藻水华的生态学危害

微囊藻(*Microcystis* sp.)是蓝藻中的重要类群之一,隶属于蓝藻门(Cyanophyta)色球藻目(Chroococcales)微囊藻科(Microcystaceae),是全球广布性的水华蓝藻种类,也是我国富营养化水体中最常见的蓝藻水华主要构成种类。随着我国工农业经济的快速发展,我国自然水体富营养化程度亦随之不断加剧,导致湖泊、河流等自然水体以微囊藻为主的蓝藻水华频繁发生。以微囊藻为主的蓝藻水华严重危害水体生态系统健康,进而威胁人类的身体健康。总体来说,微囊藻水华对水体生态系统的危害主要体现在以下4个方面。

首先,微囊藻为具有光合自养能力的原核生物,增殖周期短、抗逆性强(毕相东等, 2011; Bi et al., 2013),在养殖生态系统的种群竞争中能够迅速占据绝对优势,导致水体生态系统浮游生物多样性大幅降低,严重破坏了水体生态系统的平衡性(Deng et al., 2014)。

其次,白天微囊藻在二氧化碳浓度不断降低的情况下可利用碳酸氢盐,导致水体中碳酸盐浓度升高,促使水体酸碱度快速上升(pH可达9.5~10),夜间由于微囊藻的呼吸作用,溶解氧含量大幅降低并释放出大量二氧化碳,导致水体酸碱度又快速下降,溶解氧含量的快速降低及酸碱度的大幅波动均可严重威胁水生动物的存活(支彦丽, 2008)。

再次,微囊藻水华发生时以肉眼可见的微囊藻群体状态积聚于水体表层(Wang et al., 2013),降低水体的透明度,导致其他藻类光合作用受阻,水体溶解氧含量大幅降低,池塘底部包括衰亡蓝藻细胞在内的有机质厌氧分解产生大量羟胺及硫化氢等有毒物质,可不同程度地毒害水生动物(孙小静等, 2007)。

最后,微囊藻包括产毒微囊藻与非产毒微囊藻两种基因型,两者在水体生态系统中共存。产毒微囊藻可产生一类化学性质稳定的原发性肝癌毒素——微囊藻毒素(microcystin, MC)。因MC水溶性好及耐热性高,世界卫生组织规定饮用水中MC-LR(一种最为常见MC异构体)含量限定为1 μ g/L以下(World Health Organization, 2003)。通过抑制蛋白磷酸酶1和蛋白磷酸酶2A的活性,MC会对水生动物生长、发育及繁殖产生强烈的毒害作用(Ernst et al., 2001),并可随食物链在水生动物体内积累(Deblois et al., 2008; 贾军梅等, 2014),进而威胁人

类身体健康 (Meneely and Elliott, 2013)。

第二节 微囊藻群体的形态及演变

微囊藻水华发生时的表现形式是以大量肉眼可见的微囊藻群体 (藻华) (colonial, aggregates) 漂浮于自然水体表面, 微囊藻群体细胞数目一般少则几十上百个, 多则成千上万个, 可以说微囊藻群体是微囊藻水华危害的主要执行者。迄今为止, 全球范围内先后共报道 50 余种微囊藻, 而中国陆续记录报道共有 22 种。目前我国常见的微囊藻种类主要为: 铜绿微囊藻 (*M. aeruginosa*)、放射微囊藻 (*M. botrys*)、坚实微囊藻 (*M. firma*)、水华微囊藻 (*M. flos-aquae*)、鱼害微囊藻 (*M. ichthyoblabe*)、挪氏微囊藻 (*M. novacekii*)、假丝微囊藻 (*M. pseudofilamentosa*)、史密斯微囊藻 (*M. smithii*)、绿色微囊藻 (*M. viridis*)、惠氏微囊藻 (*M. wesenbergii*) 和片状微囊藻 (*M. panniformis*) 等。

微囊藻群体形态多为球形、椭圆形、不规则分叶状或长带状, 部分种类为不规则树枝状。微囊藻群体的组成形式多为由单细胞聚集组成或由单细胞聚集成亚群体后再组成较大的大群体。藻细胞或松散、或紧密地排列在同一个群体的胶被中, 排列方式规则或不规则。胶被大多无色、透明, 少数种类具有颜色, 坚固或仅具模糊的薄层, 轮廓模糊或清楚。胶被紧贴或不紧贴细胞。有的种类表面有明显的折光。群体内单个细胞球形或近球形, 没有胶被, 内含气囊 (gas vesicle)。繁殖时群体瓦解为小的细胞群或独立的单个细胞 (虞功亮等, 2007)。不同种类微囊藻在群体形状、群体内细胞的间距及排列方式、胶被形态及胶鞘离细胞群体边缘的距离等方面具有非常鲜明的自身特点, 因此其群体形态特征已经成为微囊藻重要的分类学特征之一。

一、不同种类微囊藻群体的形态

(一) 铜绿微囊藻 (*M. aeruginosa*) 群体

群体团块较大, 一般肉眼可见。群体形态变化较大, 发育早期多为球形或椭圆形, 中间密实, 为青绿色或黑绿色。

随着发育过程群体不断增大, 最终易形成不规则形状, 胶被的某些区域也常破裂或穿孔, 使群体成为树枝状或似窗格的网状体; 群体胶被质地均匀, 无色或微黄绿色, 不明显, 无折光, 无分层; 胶被不密贴细胞, 距离 $2\mu\text{m}$ 以上。胶被内细胞呈球形, 排列较紧密; 细胞原生质体深蓝绿色或黑绿色, 有气囊 (图 1-1) (虞功亮等, 2007)。

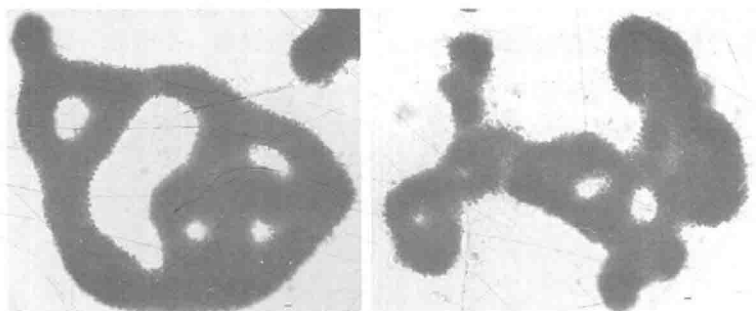


图 1-1 铜绿微囊藻 (*M. aeruginosa*) 群体形态

标尺为 $10\mu\text{m}$

(引自虞功亮等, 2007)

(二) 放射微囊藻 (*M. botrys*) 群体

群体外形为球形或近球形, 自由漂浮。群体直径一般在 $50\sim 200\mu\text{m}$ 甚至以上; 群体通过胶被连接, 堆积成更大的球体或不规则的群体, 不形成穿孔或树枝状; 胶被无色或微黄绿色, 明显但边界模糊, 无折光, 易溶解; 胶被不密贴细胞, 距离 $2\mu\text{m}$ 以上; 胶被内细胞排列较紧密, 呈放射状, 外层有少数细胞独立且稍远离群体; 细胞球形, 其大小介于水华微囊藻与铜绿微囊藻之间; 细胞原生质体蓝绿色或浅棕黄色, 有气囊 (图 1-2) (虞功亮等, 2007; 虞功亮和李仁辉, 2007)。

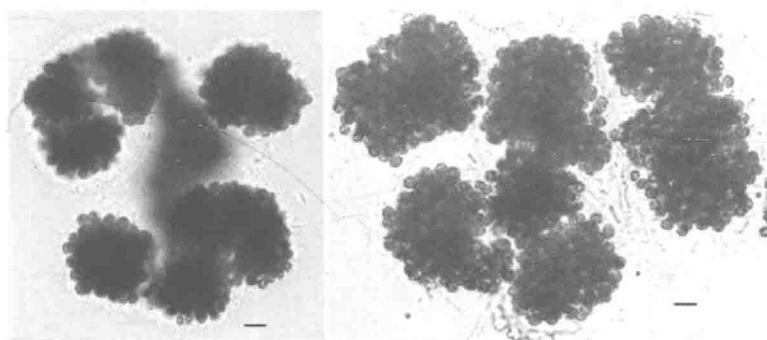


图 1-2 放射微囊藻 (*M. botrys*) 群体形态

标尺为 $10\mu\text{m}$

(引自虞功亮等, 2007)

(三) 坚实微囊藻 (*M. firma*) 群体

群体团块较小, 结实, 质地较致密, 有时肉眼可见, 自由漂浮; 棕褐色, 扁平状, 不形成穿孔或树枝状; 胶被坚硬, 无色, 不明显, 无折光; 胶被稍贴细胞

群体边缘，但不密贴；胶被内细胞球形，排列密集，透光性弱；细胞原生质体棕色，有气囊（图 1-3）（虞功亮等，2007）。

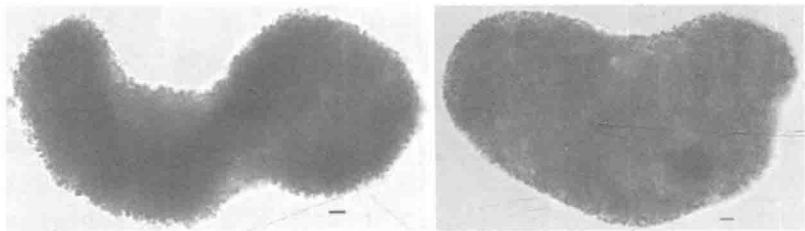


图 1-3 坚实微囊藻 (*M. firma*) 群体形态
标尺为 10μm
(引自虞功亮等，2007)

（四）水华微囊藻 (*M. flos-aquae*) 群体

群体团块较小，较结实，自由漂浮。橄榄绿色或棕色，多为球形、椭圆形或不规则形，不形成穿孔和树枝状；在成熟群体中偶尔也有不明显的小孔；群体有时大型，肉眼可见。胶被无色透明，不明显，无折光，易溶解；胶被密贴细胞群体边缘，胶被内细胞排列较密集；细胞球形，细胞原生质体蓝绿色或棕黄色，有气囊（图 1-4）（虞功亮等，2007）。

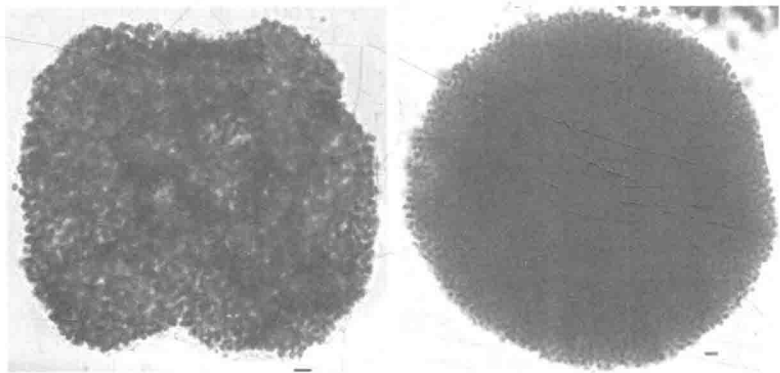


图 1-4 水华微囊藻 (*M. flos-aquae*) 群体形态
标尺为 10μm
(引自虞功亮等，2007)

（五）鱼害微囊藻 (*M. ichthyoblabe*) 群体

群体自由漂浮，蓝绿色或棕黄色，不定形、海绵状，肉眼可见；不形成叶状，但有时在少数成熟的群体中可见不明显穿孔；胶被透明、易溶解，不明显，无色

或微黄绿色，无折光；胶被密贴细胞群体边缘，胶被内细胞排列不紧密，常聚集为多个小细胞群；细胞小，球形，细胞原生质体蓝绿色或棕黄色，有气囊（图 1-5）（虞功亮等，2007）。

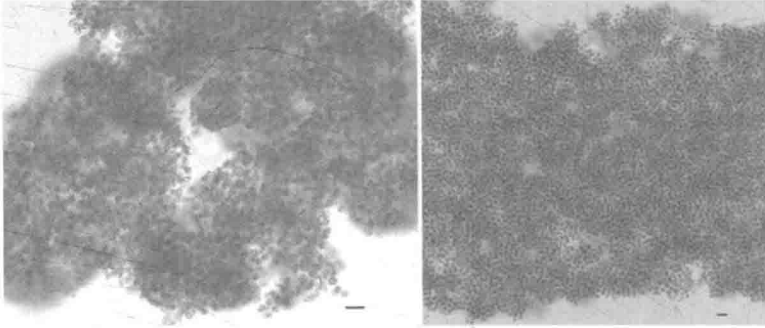


图 1-5 鱼害微囊藻 (*M. ichthyoblabe*) 群体形态

标尺为 10 μ m

（引自虞功亮等，2007）

（六）挪氏微囊藻 (*M. novacekii*) 群体

群体球形或不规则球形，团块较小，直径一般在 50~300 μ m，自由漂浮。群体之间通过胶被连接，堆积成更大的球体或不规则的群体，一般为 3~5 个小群体连接成环状，但群体内不形成穿孔或树枝状；胶被无色或微黄绿色，明显但边界模糊，易溶解，无折光；胶被离细胞边缘远，距离 5 μ m 以上；胶被内细胞排列不十分紧密，外层细胞呈放射状排列，少数细胞散离群体；细胞球形，其大小介于水华微囊藻与铜绿微囊藻之间，细胞原生质体黄绿色，有气囊（图 1-6）（虞功亮等，2007；虞功亮和李仁辉，2007）。

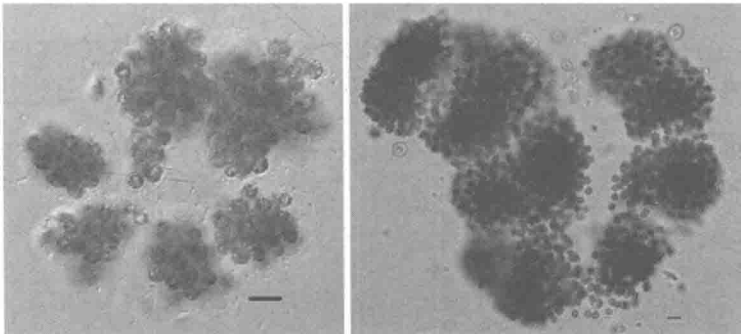


图 1-6 挪氏微囊藻 (*M. novacekii*) 群体形态

标尺为 10 μ m

（引自虞功亮等，2007）

(七) 假丝微囊藻 (*M. pseudofilamentosa*) 群体

群体窄长，带状，自由漂浮；藻体每隔一段有一个收缢和一个相对膨大的部分，膨大处的细胞较收缢处相对密集，收缢和膨大使整个藻体形成类似分节的串联体；藻体通常由 2~20 个以上这样的亚群体组成，当串联到一定长度和规模时，藻体局部常扩大或断裂成网状或树枝状；群体一般宽 17~35 μm ，长可达 1000 μm ；群体胶被无色透明，不明显，易溶解，无折光；细胞充满胶被，随机密集排列；细胞较大，球形，细胞原生质体蓝绿色或茶青色，有气囊（图 1-7）（虞功亮等，2007）。

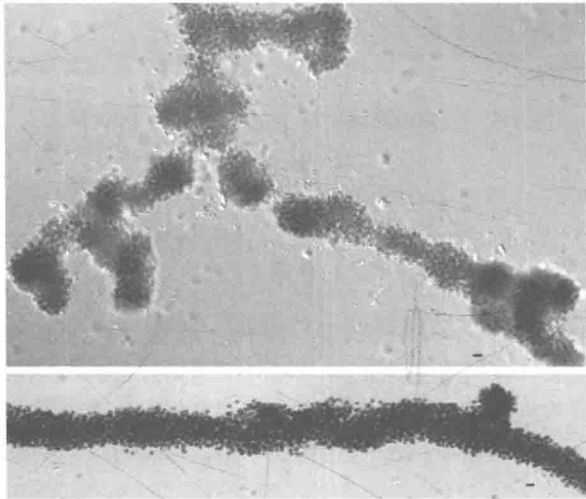


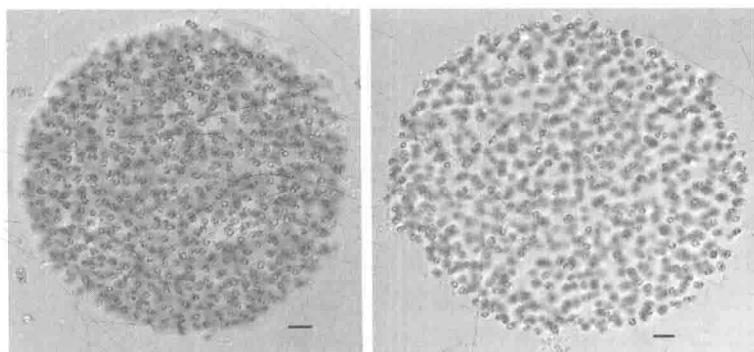
图 1-7 假丝微囊藻 (*M. pseudofilamentosa*) 群体形态

标尺为 10 μm

（引自虞功亮等，2007）

(八) 史密斯微囊藻 (*M. smithii*) 群体

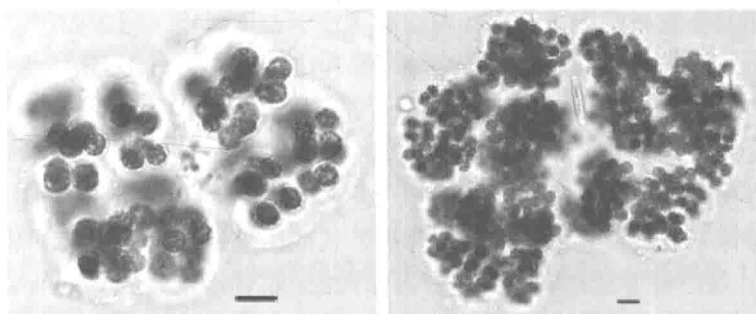
群体团块较小，自由漂浮；球形或近球形，不形成穿孔或树枝状，直径一般在 30 μm 以上，有的可以超过 1000 μm ；胶被无色或微黄绿色，易见但边界模糊，无折光，易溶解；胶被离细胞边缘远，距离 5 μm 以上；胶被内细胞围绕胶被稀疏而有规律地排列，细胞单个或成对出现；细胞间隙较大，一般远大于其细胞直径；细胞球形，大小介于水华微囊藻与铜绿微囊藻之间，大于坚实微囊藻；细胞原生质体蓝绿色或茶青色，有气囊（图 1-8）（虞功亮等，2007；虞功亮和李仁辉，2007）。

图 1-8 史密斯微囊藻 (*M. smithii*) 群体形态标尺为 10 μ m

(引自虞功亮等, 2007)

(九) 绿色微囊藻 (*M. viridis*) 群体

自由漂浮, 群体绿色或棕褐色, 通常由上下两层 8 个细胞对称排列组成小型立方体亚单位, 再由 4 个亚单位组成 32 个细胞的规则方形小群体单位; 每个小群体单位及其亚单位都有各自的胶被, 但亚单位的胶被通常与群体单位的胶被融合在一起, 胶被将各亚单位以及各群体分隔开; 以小群体单位为基础, 通过胶被连接和组合, 群体可形成大型团块, 肉眼可见, 不形成穿孔或树枝状, 大群体中各小群体的排列时常无规律、不整齐; 各小群体间的间距远大于小群体内各亚单位的间距。绿色微囊藻群体胶被无色, 易见, 边界模糊, 无折光, 易溶解。胶被离细胞边缘远, 距离 5~10 μ m 甚至以上; 群体中细胞成对出现, 分布不密贴, 排列规则; 细胞间隙较大, 一般远大于细胞直径; 细胞较大, 球形或近球形, 细胞原生质蓝绿色或棕色, 有气囊 (图 1-9) (虞功亮等, 2007)。

图 1-9 绿色微囊藻 (*M. viridis*) 群体形态标尺为 10 μ m

(引自虞功亮等, 2007)

(十) 惠氏微囊藻 (*M. wessenbergii*) 群体

群体自由漂浮，形态变化最多，有球形、椭圆形、卵形、肾形、圆筒状、叶瓣状或不规则形，常通过胶被串联成树枝状或网状，集成成更大的群体，为肉眼可见；群体胶被明显，边界明确，无色透亮，坚固不易溶解，分层且有明显折光；胶被离细胞边缘远，距离 5~10 μm 甚至以上；群体内细胞较少，细胞一般沿胶被单层随机排列，形成中空的群体；细胞较少密集排列，但有时细胞排列很整齐、有规律，有时也充满整个胶被；细胞较大，球形或近球形，细胞原生质体深蓝绿色或深褐色，有气囊（图 1-10）（虞功亮等，2007）。

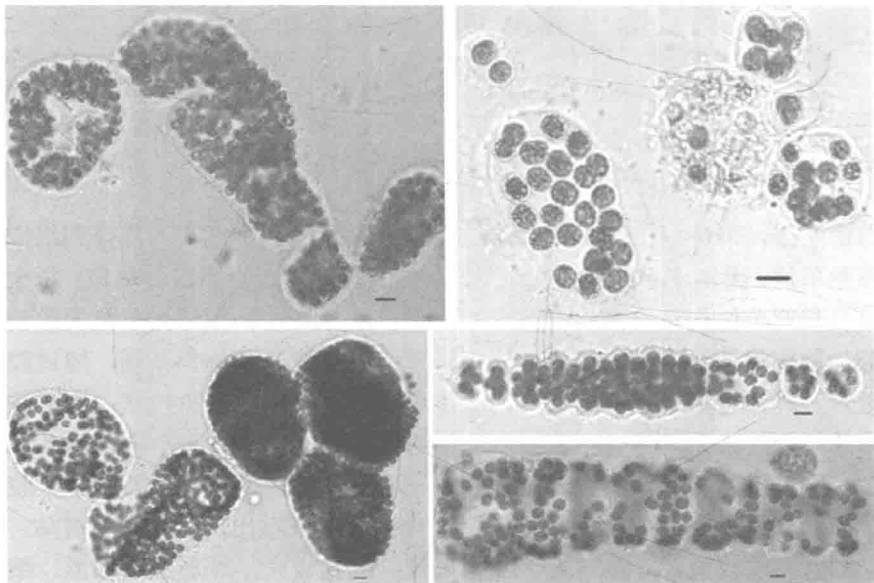


图 1-10 惠氏微囊藻 (*M. wessenbergii*) 群体形态

标尺为 10 μm

（引自虞功亮等，2007）

(十一) 片状微囊藻 (*M. panniformis*) 群体

群体自由漂浮，肉眼可见，浅绿色，常见群体大小为 1~2cm，个别群体差异较大；幼藻体不规则，紧密聚合呈立体簇，长成后呈扁平状（片状、席状和不规则扁平状）；显微镜下观察成熟群体多为棕褐色，群体不规则扁平到单层，不明显穿孔或具明显穿孔（老群体），群体边缘不规则，无明显边缘或重叠细胞，胶质不明显；细胞球形，均匀排列，直径 4.7 μm (2.6~6.8 μm)，具气囊（图 1-11）（张军毅等，2012）。