



当代
杰出青年
科学文库

太湖蓝藻的历史发展与水华灾害

——为何2007年在贡湖水厂出现水污染事件？
30年能使太湖摆脱蓝藻威胁吗？

谢 平 著



科学出版社

www.sciencep.com

当代杰出青年科学文库

太湖蓝藻的历史发展与水华灾害

——为何 2007 年在贡湖水厂出现水污染事件？
30 年能使太湖摆脱蓝藻威胁吗？

谢 平 著

科学出版社

北 京

**Historical Development of Cyanobacteria with
Bloom Disaster in Lake Taihu**

—Why did water pollution incident occur in Gonghu
Waterworks in 2007? After 30 years, can we succeed
to rescue Lake Taihu from bloom disaster?

by
Xie Ping

Science Press, Beijing

内 容 简 介

本书是一部从淡水生态学、环境地球化学、遥感、水动力学等视点分析太湖蓝藻的历史发展与水华灾害的专著。全书共分为10章,第一章描述太湖蓝藻的历史演变和空间格局,第二章介绍太湖湖水和水产品中蓝藻的次生代谢产物——微囊藻毒素(MC)的污染现状,第三章描述太湖沉积物中的氮、磷分布格局,第四章介绍氮、磷输入和太湖湖水中TN和TP浓度的历史变化和未来趋势,第五章分析“引江”是否真能“济太”,第六章描述2007年无锡贡湖水厂取水口污染事件,第七章讨论2007年太湖整体水环境是否发生了巨变,第八章描述贡湖湾生态系统的灾变历程,第九章分析侵袭贡湖水厂取水口的污水团为何物、来自何方,第十章讨论拿什么来拯救太湖。本书重点在2007年无锡贡湖水厂出现的水污染事件之谜,试图分析拿什么拯救太湖以及何时能使太湖摆脱蓝藻威胁。

本书可供湖泊学、环境生物学、环境地球化学、水环境工程、藻类学、生态学、生态水文学、水环境遥感、水产学等相关领域的研究人员和管理人员、大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

太湖蓝藻的历史发展与水华灾害/谢平著. —北京:科学出版社,2008
(当代杰出青年科学文库)
ISBN 978-7-03-022291-6

I. 太… II. 谢… III. 太湖-蓝藻纲-藻类水华-研究 IV. Q949.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第084740号

责任编辑:韩学哲 席 慧/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

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>

天时彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年7月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008年7月第一次印刷 印张:13 3/4

印数:1—2 000 字数:258 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

2007年5月底在无锡贡湖水厂发生的水污染事件向世人敲响了警钟,人们忽然感受到环境恶化的后果是如此恐怖。一时间,有关蓝藻的报道铺天盖地而来,记者在全国各地到处捕捉蓝藻的身影,从老百姓、科学家到政治家,蓝藻成为2007年中国人民最难忘的词之一。为了应对太湖的蓝藻危机,主要科技部门启动或正在准备启动各式各样的研究计划,数十亿或更多的资金正在或准备投向太湖!

在过去近一年的时间中,作者有幸参加了若干有关太湖蓝藻的应急项目的立项工作,深切感受到有必要对太湖蓝藻的历史发展及成灾问题进行较为系统的回顾与分析。迄今为止,有关太湖的专著已有不少,如《太湖》(孙顺才和黄漪平主编,1993年,海洋出版社)、《太湖生态环境研究(一)》(蔡启铭主编,1998年,气象出版社)、《太湖水环境及其污染控制》(黄漪平主编,2001年,科学出版社)、《太湖水环境演化过程与机理》(秦伯强等编著,2004年,科学出版社);在一些专著中对太湖的水环境问题也有重点介绍,如《中国湖泊环境》(第二册)(金相灿等著,1995年,海洋出版社)、《中国五大淡水湖》(窦鸿身和姜加虎主编,2003年,中国科学技术大学出版社)、《长江中下游湖泊环境地球化学与富营养化》(范成新和王春霞主编,2007年,科学出版社)。上述专著或章节绝大部分出自中国科学院南京地理与湖泊研究所的科学家之手。本书与上述专著明显不同之处在于聚焦于太湖的蓝藻。

全书共分为10章,第一章介绍太湖蓝藻的历史演变和空间格局,虽然有关太湖蓝藻的生态学方面的研究十分零散,但还是能粗略地勾画出太湖蓝藻自20世纪50年代以来的发展轨迹:1950~1951年,五里湖夏季蓝藻数量最多;1960年,西部湖区夏季蓝藻数量占绝对优势;20世纪80年代,夏秋季藻类生物量中蓝藻、硅藻和隐藻平分秋色;20世纪90年代,梅梁湾藻类生物量夏季蓝藻占据绝对优势;21世纪,夏季蓝藻一统天下。近年遥感方面的研究对准确估算太湖蓝藻的发生面积有了很大的推动,2007年6月,太湖蓝藻的覆盖面积达到979 km²,持续时间也不断延长。为何太湖蓝藻水华的集聚面积自2004年以来急剧增加还不得而知,也许与湖心区TP的急剧上升有关。

第二章简要介绍了太湖的微囊藻毒素(MC)污染情况,这些工作都是近几年才开始的,太湖的蓝藻均产MC,胞内(在蓝藻细胞中)毒素最高可达14 μg/L,远高于世界卫生组织的指导值(1 μg MC-LR/L),胞外(释放到水中)的MC一般不超过1 μg/L;水产品中的MC污染状况令人担忧,在蓝藻水

华暴发的季节，食用太湖的水产品有很大的健康风险。

第三章介绍太湖沉积物中的氮、磷分布格局。有关太湖沉积物 N、P 水平或垂直分布格局的研究结果可谓五花八门，即使在同一湖区，表层沉积物中的 TN 或 TP 含量可相差数倍！不知结果就是如此，还是掺杂了人为或方法上的误差。虽然如此，还是可以领悟出一些大的分布格局：表层（0~10 cm）沉积物中的 TN 和 TP 的变化趋势存在明显区域间差异，北部湖区的 TP 向上快速升高，其他区域变化不明显。早在 1987~1988 年，太湖沉积物 N、P 含量等值图显示，北部湖湾（梅梁湾和贡湖湾）TN 和 TP 含量最高，而占太湖面积大部分的中部和西部湖区含量较低。西部湖区有最大的 P 输入，但为何西部表层沉积物中的 TP 未见大幅上升？显然这里的 TP 被搬运到了其他湖区。

第四章介绍氮、磷输入和湖水中 TN 和 TP 浓度的历史变化和未来趋势。来自河流的 N 和 P 的输入呈现出明显的区域间差异，输入总量西部最高，北部次之，但流域面积较小的北部地区输入强度最高。令人惊叹的是，在 20 年间（1981~2000 年）太湖平均 TN 增加了 3 倍多，TP 的增加则高达 6 倍，P 的滞留率达到 47.6%，但 N 的滞留率明显被低估（仅有 11.0%）！TP 呈现出全湖快速匀质化的趋势，TN 仍然维持较大的区域间浓度梯度，预计湖心区的 TN 和 TP 将会逐渐向西部河流中的 TN 和 TP 水平靠近。

第五章题为“引江”真的能“济太”吗？“引江济太”被水利部门认为是解救太湖的重要举措之一。但是，望虞河工程集泄洪、排污、“引江济太”于一身，在望虞河河水中可检测出 $\text{NH}_3\text{-N}$ 高达 21.3 mg/L，TP 高达 0.63 mg/L，DO 最低几乎接近零（0.24 mg/L）。“引江济太”在缓解 2007 年太湖蓝藻危机中“立了头功”吗？引水始于 5 月 6 日，取水口污染事件始于 5 月 28 日晚，是“引江济太”过程中的一个事件。长江的污染日趋严重，引长江水“释污”未必是长久之计。贡湖湾可能成为“引江济太”最大的受害者。

第六章介绍 2007 年无锡贡湖水厂取水口污染事件。位于梅梁湾和贡湖湾交界之处的贡湖水厂是无锡市的主要供水水源，日供水量为 110 万 t。2007 年 5 月 27 日开始受不明污水团侵袭，水质恶变： $\text{DO} \rightarrow 0$ ， $\text{NH}_3\text{-N} \rightarrow 5$ mg/L， $\text{TN} \rightarrow 11$ mg/L， $\text{TP} \rightarrow 0.5$ mg/L。28 日晚，贡湖水厂供应的自来水恶臭难当，占无锡市供水 70% 的水厂水质都被污染，影响了 200 万人口的生活饮用水。在此次水危机过程中，高 TN 和厌氧状况持续了约 4 天，高 $\text{NH}_3\text{-N}$ 持续了约 2 天。贡湖水厂水源保护区及附近水域以及太湖沿岸，蓝藻堆积之深、腐烂和恶臭程度之严重，让人触目惊心！

第七章题为 2007 年太湖整体水环境发生了巨变吗？中国科学院南京地理与湖泊研究所（2007）认为主要是由于 1~4 月份高水温、低水位和多偏南风所致。温度、水位、风向与蓝藻的关系十分复杂。1~4 月份水温到底是不是太湖夏季蓝藻暴发的决定性因素还缺乏具体证据。水位降低 5 cm 不大可能会导致太湖

Chl-a 浓度的显著上升。遥感影像资料表明, 4 月份太湖蓝藻水华面积可以忽略不计, 而 5 月份蓝藻出现爆发性增长, 5 月份的风向资料可能对揭示当时蓝藻为何在梅梁湾和贡湖湾大量聚集更有意义。2000 年以来, 太湖全湖平均 TP、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和藻类生物量并未发生根本变化。因此, 2007 年贡湖水厂的水污染事件不大可能直接起因于太湖整体水环境的巨变。

第八章讨论贡湖湾生态系统的灾变。2007 年太湖整体的生态环境与往年相比并未发生大变化, 因此, 贡湖水厂的重大水污染事件可能起因于局部环境的灾变。梅梁湾历来都是蓝藻的重灾区, 而贡湖湾则非如此。2005 年, 贡湖水质迅速恶化: $\text{NH}_3\text{-N}$ 最高达 1.42 mg/L , TP 最高达 0.25 mg/L , Chl-a 最高达 $47.6\mu\text{g/L}$, 比 1987~2003 年期间至少上升了 1 倍多。2005 年之后, 沉水植物急速衰退, 岸边的芦苇丛变成了蓝藻的“捕获器”。“引江济太”导致内源负荷的增加, 加上贡湖沿岸带水生植物分布区蓝藻堆积可能是近年水质恶化的重要原因之一。近年水生植物的急剧衰退可能与蓝藻的大量堆积、“引江济太”导致的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 水平大幅上升有关。贡湖湾可能出现恶性循环: 蓝藻堆积带来丰富的营养盐输入, “引江济太”带来污染物沉淀, 蓝藻水华越来越重。

第九章题为侵袭贡湖水厂取水口的污水团为何物、来自何方? 污水团中含有大量的硫醇硫醚类、醛酮类 (如 β -环柠檬醛), 还检出了较高含量的吡啶和酚; 在取水口及临近水域中叶绿素 a 最高可达 $980\mu\text{g/L}$ 。污水团主体可能是蓝藻堆积、腐烂形成的衍生污染物。推测 5 月在盛行 SE 风场作用下, 在贡湖北岸产生了自东向西的沿岸流, 加上“引江济太”吞吐流的推动作用, 将贡湖湾北岸数千米长分布的众多河汊、渔港以及芦苇丛中蓝藻大量堆积和腐烂形成的污水团沿着湖岸缓慢推向贡湖水厂取水口, 并在取水口附近与梅梁湾蔓延过来的大量蓝藻相遇, 可能进一步受跨越梅梁湾口和贡湖湾口的反时针环流的顶托作用, 在二湾交界的贡湖水厂附近出现了污水团移动十分缓慢的现象, 从而引发了这次贡湖水源水污染事件。

第十章题为拿什么来拯救太湖? 从流域层面上来说, 人口是无法调控的, 但是应减少生活污水的排放, 控制肥料施用量, 努力降低施肥强度, 减少农田 N、P 流失。由于太湖大部分地区历史上就很少有水生植物生长, 理论上来说是很难使水生植物大面积在太湖生长的。因此, 想通过水生植物来控制太湖的蓝藻基本不太可能。但通过提高食藻鱼类比例来控制太湖蓝藻的可能性值得探索。太湖水中的 N、P 降到何种水平才可能控制蓝藻灾害——1981 年 TN 为 0.9 mg/L , TP 为 0.02 mg/L 。何时才能使太湖的 TN、TP 降低到 1981 年的水平——理论上讲可能不太可能! 未来 30 年内难以使太湖的 TN、TP 水平回到 1981 年的水平, 因此在这之前难以根除蓝藻的危害。

去年, 为庆祝恩师——刘建康院士九十大寿, 我出版了《论蓝藻水华的发生机制——从生物进化、生物地球化学和生态学视点》(科学出版社), 恰逢太湖出

现震惊中外的饮用水污染事件。面对浩瀚如海“碧波”荡漾的太湖、麦浪滚滚般的资金投入、雪片般飞向灾区的成千上万种治理技术，我深感需要应急出版一本针对太湖蓝藻及其成灾机制的专著，勾画一下太湖蓝藻的过去轨迹和未来趋势，为太湖的未来献上自己的绵薄之力，如果还能对战略科学家们对太湖的治理决策提供点滴参考，将无比荣幸。需要指出的是，在污水截不了的无望情形之下，在如何对付太湖蓝藻的方法中，水利部门倡导的“引江济太”、以清释污被认为是唯一的希望。但长江水质急转直下，这根“救命稻草”也已经满目沧桑！说到底，地球上人口的爆发性增长，几乎达到与自然固氮总量相当的人工固氮，从地壳中开采出来的大量的磷都集中在地球表面周转，并大量地流失到容量极为有限的河流与湖泊（淡水湖泊和河流的储水量不足生物圈中水量的 0.01%！）中，加上城市发达的管网系统将大量污水直接排入河流或湖泊，大大减少了营养物质在陆地生态系统中的滞留，使许多湖泊生态系统的自净功能丧失殆尽，水中 N、P 含量成倍飙升，产毒蓝藻任意肆虐！可以预见，如果我们无计可施的话，这种局势可能会日趋严重！

我十分感谢近些年中国科学院院领导和专业局（资环局、生物局）领导给予我机会能与中国科学院南京地理与湖泊研究所的许多专家一道研究太湖，在这个过程中我学习到了一些物理湖沼学等方面的知识，并且自认为这些知识在我写作本书时派上了用场（不排除我的观点和解释有错误，甚至是根本性的错误）。我对一些作者的观点提出了不同的分析意见，这仅仅是学术上的百家争鸣，也真诚地期待和欢迎各位专家和读者对本书提出批评意见或建议。

谢 平

2008 年 3 月 18 日于武汉

目 录

前言

第一章 太湖蓝藻的历史演变和空间格局	1
一、太湖蓝藻的发展历程	2
二、太湖叶绿素 a (Chl-a) 浓度的变化	17
三、太湖蓝藻水华发生面积的变化	26
四、结语	33
第二章 太湖的微囊藻毒素 (MC) 污染	34
一、太湖水柱中的 MC 含量	35
二、太湖蓝藻藻浆中的 MC 含量	42
三、太湖水产品中的 MC 含量	45
四、结语	57
第三章 太湖沉积物中的氮、磷分布格局	58
一、北部湖区	59
二、多湖区比较	64
三、北部重污染入湖河口	72
四、不同湖区表层 (0~10cm) 沉积物中的 TN 和 TP 含量的变化	72
五、1987~1988 年太湖沉积物 N、P 含量等值图	74
六、结语	76
第四章 氮、磷输入和湖水中 TN 和 TP 浓度的历史变化和未来趋势	77
一、来自河流的 N 和 P 的输入	77
二、N、P 的收支	81
三、湖水中 TN 和 TP 浓度的历史变化、空间格局和未来趋势	85
四、结语	90
第五章 “引江”真的能“济太”吗?	92
一、望虞河工程简介	92
二、望虞河的污水有多污	94
三、2000 年“引江济太”小试牛刀	96
四、2002~2003 年“引江济太”大刀阔斧	98
五、2003 年“引江济太”对藻类的作用	99
六、“引江济太”在缓解 2007 年太湖蓝藻危机中“立了头功”吗	101
七、长江的污染日趋严重	107

八、结语·····	113
第六章 2007 年无锡贡湖水厂取水口污染事件 ·····	114
一、水厂基本概况·····	114
二、水污染事件取水口主要水质变化过程·····	116
三、水污染事件的社会影响·····	119
四、水污染事件中的图片记录·····	121
五、水污染事件一个半月后的现场调查·····	124
六、人工捞藻行动·····	126
七、结语·····	130
第七章 2007 年太湖整体水环境发生了巨变吗? ·····	131
一、为何 2007 年在贡湖水厂发生水污染事件 ·····	131
二、温度、水位、风向与蓝藻的关系·····	132
三、太湖整体环境发生了巨变吗·····	139
四、结语·····	141
第八章 贡湖湾生态系统的灾变 ·····	143
一、贡湖湾水环境的灾变历程·····	144
二、贡湖湾水环境灾变的驱动机制·····	153
三、蓝藻的大量聚集是否一定引起水污染事件? ·····	156
四、结语·····	156
第九章 侵袭贡湖水厂取水口的污水团为何物、来自何方? ·····	158
一、水中异味物质种类繁多·····	159
二、侵袭贡湖水厂取水口的污水团为何物·····	165
三、侵袭贡湖水厂取水口的污水团来自梅梁湾还是贡湖湾·····	167
四、污水团是否来自望虞河·····	172
五、从卫星遥感图看贡湖取水口的蓝藻·····	174
六、污水团很可能来自贡湖湾·····	175
七、结语·····	180
第十章 拿什么来拯救太湖? ·····	181
一、太湖流域上的调控对策·····	182
二、生态系统的调控对策·····	186
三、何时才能控制太湖的蓝藻灾害? ·····	194
四、结语·····	198
参考文献 ·····	199

Contents

Preface

Chapter 1	Historical development in cyanobacteria with their spatial patterns in Lake Taihu	1
	1. Historical development of cyanobacteria in Lake Taihu	2
	2. Changes in Chl-a concentration in Lake Taihu	17
	3. Changes in coverage area of cyanobacterial blooms in Lake Taihu	26
	4. Concluding remarks	33
Chapter 2	Microcystin (MC) contamination in Lake Taihu	34
	1. MC concentration in the water column of Lake Taihu	35
	2. MC content in cyanobacteria of Lake Taihu	42
	3. MC content in fisheries products of Lake Taihu	45
	4. Concluding remarks	57
Chapter 3	Distribution patterns of N and P in sediment of Lake Taihu	58
	1. North area of the lake	59
	2. Comparisons of multi-areas of the lake	64
	3. Inlet of the lake in the heavily-polluted north area	72
	4. Changes in TN and TP contents in the surface sediments (0~10 cm) in various lake areas	72
	5. Contour map for N and P contents in the sediment of Lake Taihu during 1987~1988	74
	6. Concluding remarks	76
Chapter 4	N and P inputs and historical changes and future trends of TN and TP concentrations in the lake water	77
	1. N and P inputs from rivers	77
	2. Budgets of N and P	81
	3. Historical changes, spatial patterns and future trends of TN and TP in the lake water	85
	4. Concluding remarks	90
Chapter 5	Can water diversion from the Yangtze River rescue Lake Taihu?	92

1. Introduction to the Wangyu River Project	92
2. How dirty of the wastewater in Wangyu River	94
3. Water diversion from the Yangtze River to Lake Taihu in 2000	96
4. Vigorous water diversion from the Yangtze River to Lake Taihu in 2002 and 2003	98
5. Effects of water diversion from the Yangtze River on phytoplankton in Lake Taihu	99
6. Did the water diversion from the Yangtze River play the most important role in solving the water crisis?	101
7. Pollution in the Yangtze River is getting more and more serious	107
8. Concluding remarks	113
Chapter 6 The incident of drinking water pollution in the water intake of the Gonghu Waterworks in 2007	114
1. Introduction to the waterworks	114
2. Changes in the major parameters of the water quality during the pollution incident	116
3. Influences of the pollution incident on the publics	119
4. Photo records of the incident	121
5. Field investigation after the incident had been over for one and half month	124
6. Artificial collection of cyanobacteria	126
7. Concluding remarks	130
Chapter 7 Did huge changes occur within the whole ecosystem of Lake Taihu?	131
1. Why did the water pollution incident occur in the Gonghu Waterworks in 2007?	131
2. The relationships between cyanobacteria and water temperature, water level and wind direction	132
3. Did huge changes occurred within the whole ecosystem of Lake Taihu?	139
4. Concluding remarks	141
Chapter 8 The catastrophic changes of the ecosystem in Gonghu Bay	143
1. The process of the catastrophic changes in the ecosystem of Gonghu Bay	144

2. The mechanisms for the catastrophic changes in the ecosystem of Gonghu Bay	153
3. Does massive accumulation of cyanobacteria certainly cause water pollution incident?	156
4. Concluding remarks	156
Chapter 9 Where did the polluted water mass that attacked the water intake of the Gonghu Waterworks flow from?	158
1. Introduction to off-flavor compounds in water	159
2. What was composed of the polluted water mass that attacked the water intake of the Gonghu Waterworks?	165
3. Did the polluted water mass that attacked the water intake of the Gonghu Waterworks flow from Meiliang Bay or Gonghu Bay?	167
4. Did the polluted water mass flow from Wangyu River?	172
5. Cyanobacterial blooms in the water intake of Gonghu Waterworks from satellite imagery	174
6. The polluted water mass most likely flowed from Gonghu Bay	175
7. Concluding remarks	180
Chapter 10 What can rescue Lake Taihu?	181
1. Regulation strategy from the basin	182
2. Regulation strategy from ecology	186
3. When can we succeed to rescue Lake Taihu from bloom disaster?	194
4. Concluding remarks	198
References	199

第一章 太湖蓝藻的历史演变和空间格局

内 容

一、太湖蓝藻的发展历程

1. 1950~1951 年——五里湖夏季蓝藻数量最多，隐藻、硅藻和绿藻次之，其他季节隐藻和硅藻在数量上占绝对优势

2. 1960 年——西部湖区夏季蓝藻数量占绝对优势

3. 20 世纪 80 年代——夏秋季藻类生物量中蓝藻、硅藻和隐藻平分秋色

4. 20 世纪 90 年代——梅梁湾藻类生物量夏季蓝藻（偶尔绿藻）占绝对优势

5. 21 世纪——夏季蓝藻一统天下

二、太湖叶绿素 a (Chl-a) 浓度的变化

1. 梅梁湾 7 个采样点（1995~2003 年）——年均 Chl-a 浓度 1996~1997 年最高（最高 54.2 $\mu\text{g/L}$ ），其他年份在 18~28 $\mu\text{g/L}$ 波动

2. 梅梁湾 4 个采样点（1999~2003 年）——年均 Chl-a 浓度从 58.1 $\mu\text{g/L}$ 下降至 26.2 $\mu\text{g/L}$

3. 全湖 Chl-a 浓度季节变化——多年平均为 27 $\mu\text{g/L}$ ，8 月为全年最高

4. 湖心区 Chl-a 浓度（1998~2006 年）——逐步抬升

5. Chl-a 浓度的空间格局（1999 年 11 月）——高浓度主要在北部湖区、湖心和东部湖区较低

6. 梅梁湾 Chl-a 浓度的空间格局（2004 年 7 月）——在湾口 Chl-a 浓度较低，而在湾内靠近北岸的区域 Chl-a 浓度很高（可达 328 $\mu\text{g/L}$ ）

7. 太湖 Chl-a 浓度的空间格局（2004 年 10 月）——北部湖区较高，最高值出现在梅梁湾，为 53.6 $\mu\text{g/L}$

三、太湖蓝藻水华发生面积的变化

1. 基于直接观察的定性描述——始于 20 世纪 50 年代末，有自北向南、向西、向东蔓延发展的趋势

2. 分布面积图——20 世纪 50、60 年代仅见于五里湖，2006 年蓝藻水华约覆盖太湖总面积的 2/5

3. 卫星遥感——蓝藻水华的聚集面积 2004 年以来急剧增加

4. 卫星遥感——近 20 年来蓝藻水华开始大量聚集的时间逐渐提早

5. 卫星遥感——蓝藻水华的初始暴发地点主要是北部的梅梁湾和竺山湾，近年开始南移

6. 卫星遥感——蓝藻水华空间格局的历史变化有从北部扩展到中部和西南部的趋势

四、结语

关于太湖藻类的生态学研究可追溯至解放初期的 1950~1951 年，当时中国科学院水生生物研究所的科学家对太湖五里湖的浮游植物的种类组成和密度的季节变化进行了研究。但总的来看，半个多世纪以来的研究极为零散，早期仅有密度数据，而缺乏生物量数据。反映浮游植物生物量最重要的指标之一的叶绿素 a(Chl-a) 的数据也十分有限，并且主要集中在富营养化程度最为严重的北部湖区——梅梁湾。近年遥感方面的研究对准确估算太湖蓝藻的发生面积有了很大的推动。

一、太湖蓝藻的发展历程

1. 1950~1951 年——五里湖夏季蓝藻数量最多，隐藻、硅藻和绿藻次之，其他季节隐藻和硅藻在数量上占绝对优势

中国科学院水生生物研究所的科学家在太湖的五里湖设置 4 个采样点（I 站位于五里湖东端，II 站位于五里湖南部、III 站在五里湖中部宝界桥东而靠近北岸，IV 站在五里湖西部近中央地点）（图 1-1），于 1950 年 12 月至 1951 年 11 月

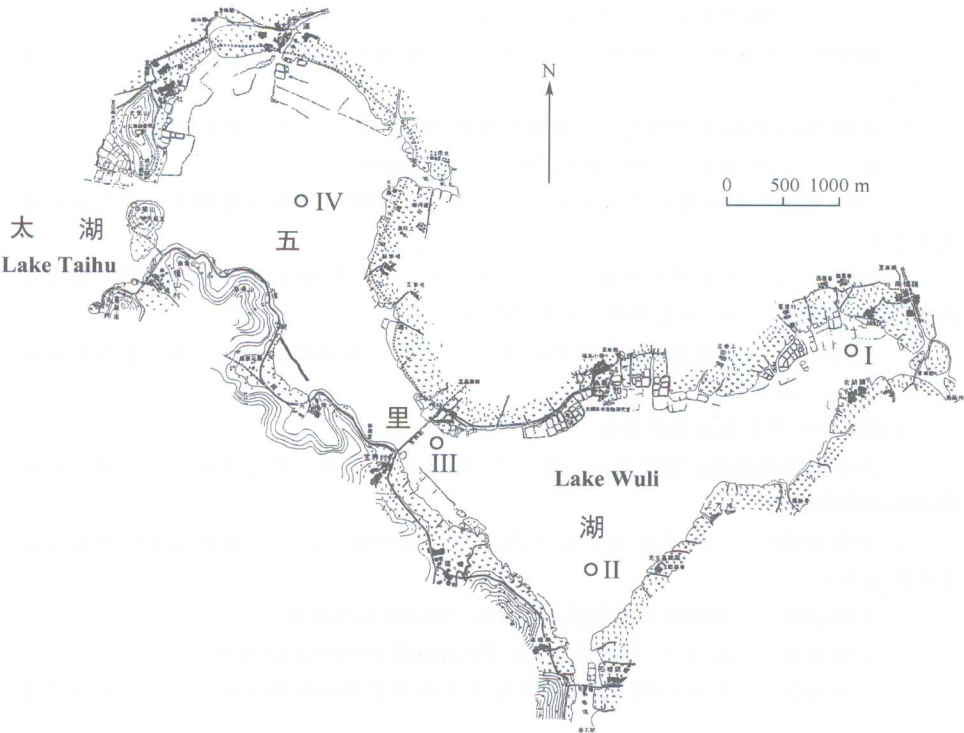


图 1-1 太湖五里湖的采样点（修改自伍献文 1962）

Fig. 1-1 Sampling sites in Lake Wuli of Lake Taihu (Modified from Wu 1962)

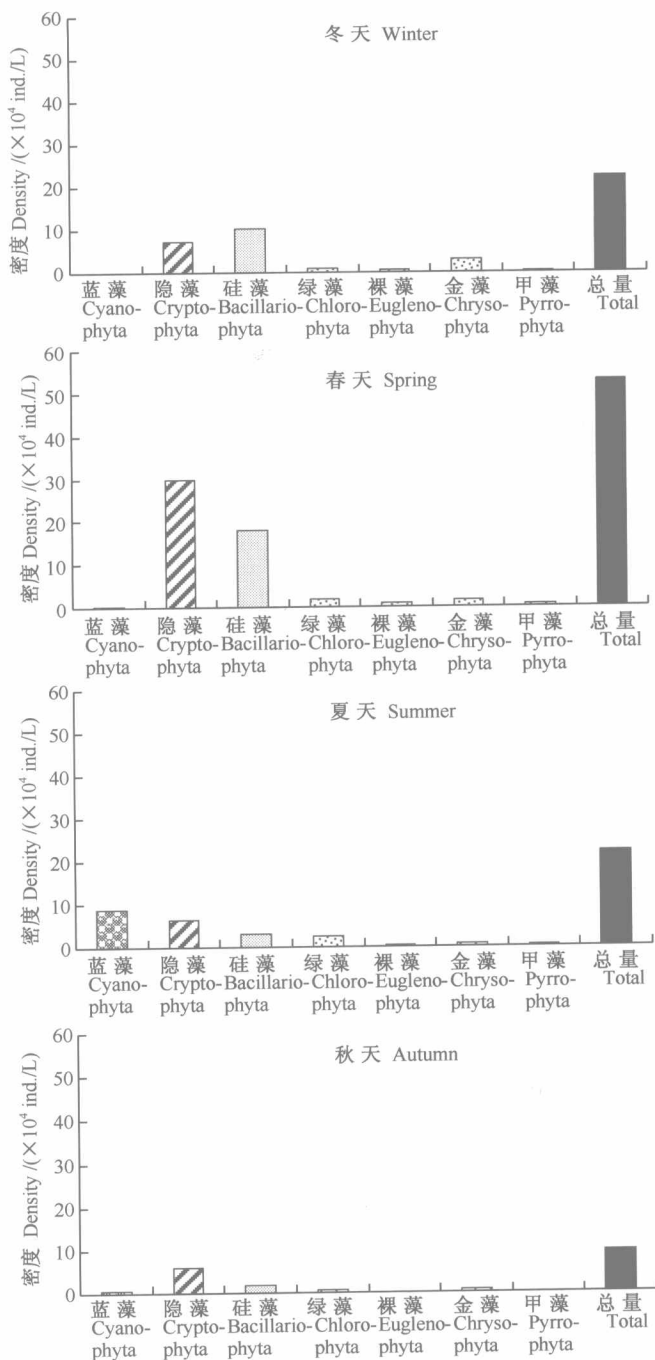


图 1-2 1950 年 12 月至 1951 年 11 月，五里湖不同季节主要浮游植物类群的密度变化 (数据引自饶钦止 1961)

Fig. 1-2 Seasonal changes in density of the major phytoplankton groups in Lake Wuli during December 1950 and November 1951 (Data are cited from Rao 1961)

每月采样两次,研究了浮游植物的种类组成和密度。浮游植物的数量以春季最多,秋季最少(图 1-2);夏季蓝藻数量最多,以色球藻属的 *Chroococcus limneticus* 数量最多,鱼腥藻属的 *Anabaena spiroides* 和 *A. circinalis* 次之,数量尚多的还有颤藻属的 *Oscillatoria tenuis*、*O. limnetica*、*O. brevis* 和 *O. lacustris*,一些常见但数量不多的种类包括蓝纤维藻属的 *Dactylococcopsis raphidioides*、微囊藻属的 *Microcystis aeruginosa* 和 *M. flos-aquae*、隐球藻属的 *Aphanocapsa pulchra*、囊球藻属的 *Coelosphaerium kutzingianum*、平裂藻属的 *Merismopedia elegans* 和 *M. punctata*、拟鱼腥藻属的 *Anabaenopsis arnoldii*、鱼腥藻属的 *Anabaena aphanizomenonoides*、胶鞘藻属的 *Phormidium mucicola* 和鞘丝藻属的 *Lyngbya circumcreta* (饶钦止 1961)。研究期间,4 个站点的物理化学条件基本没有很明显的差异,各站的浮游植物的基本情况,除数量上有差异外,其他的则相似或相同。

因此,20 世纪 50 年代初,五里湖的浮游植物以隐藻和硅藻占优势,夏季虽然蓝藻数量最多,但主要由小型种类(色球藻 *Chroococcus limneticus*)组成,形成水华的微囊藻常见但数量不多。五里湖西部有两个出口与太太湖相通,而 IV 站离两个出口不远,而五里湖 4 个站点的浮游植物的情况基本相似,因此,可以推测五里湖的浮游植物的情况可能基本反映了临近太太湖水域的浮游植物情况。

2. 1960 年——西部湖区夏季蓝藻数量占绝对优势

1960 年夏天,中国科学院南京地理研究所主持,中国科学院水生生物研究所、南京大学生物系、南京师范学院地理系协作,对太湖资源进行了调查。野外(水、陆)调查同时从 6 月 15 日开始,8 月 25 日结束(中国科学院南京地理研究所 1965)。

在全湖设置 177 个采样点采集浮游植物,定量标本在离水面 0.5 m 深处(或表层)采集,镜检,丝状藻类(如 *Anabaena*)以丝状体为单位、无定形群体(如 *Microcystis*)以块为单位,定形群体(如 *Volvox*)以群体为单位,单细胞藻类以细胞为单位计数(陈洪达等 1965)。选取有代表性的部分采样点(西太湖 35 个,东太湖 9 个)进行统计(表 1-1)。很显然,从个体数来看,西太湖蓝藻占绝对优势,占藻类总量的 96.6%,而东太湖以硅藻占绝对优势,占藻类总量的 71.8%,蓝藻占 9.9%。蓝藻的分布几乎遍及全湖,而以西北部的马迹山岛周围、南部新塘港口外与小雷山以北的局部水域中数量较为集中,数量较少的地区为西太湖东部及整个东太湖(定量计数时未见蓝藻)。在蓝藻中以微囊藻(*Microcystis*)和鱼腥藻(*Anabaena*)的数量最多,分布最广。

1960 年的研究仅以个体数计算浮游植物的量,故无法推算蓝藻及其他藻类的生物量,因此也无法与后来的以生物量为基准的研究结果进行比较。但是可以肯定的是,早在 1960 年,在西太湖的部分水域,夏季蓝藻已经占据绝对优势,