第 12 卷 第 1 期
2001 年 3 月

水 科 学 进 展
ADVANCES IN WATER SCIENCE

Vol. 12, No. 1
Mar., 2001

文章编号: 1001-6791(2001)01-0051-05

水库水文情势与浮游植物群落结构°

邬红娟[1], 郭生练[2]

(1. 华中科技大学环境科学与工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 武汉水利电力大学, 湖北 武汉 430072)

摘要: 综述和讨论了当前水库水文情势对浮游植物群落的影响研究, 主要是水文情势对浮游植物数量、种类组成、物种多样性和群落的空间格局包括垂直和水平分布以及群落演替的影响。

关 键 词: 水库; 水文情势; 浮游植物; 群落

中图分类号: P 512; S 968.41 **文献标识码**: A

浮游植物是水库中的主要初级生产者 (primary producers, photoautotrophic), 作为滤食性鱼类的饵料, 是渔业生产的基础。同时, 浮游植物的丰度和种类组成又是水体富营养化和水质污染的重要指标, 如内陆水体的水华和沿海赤潮的形成就是某些浮游植物过度生长的结果。

水文情势变化大, 且人为可调控是水库的重要特征之一, 它对浮游植物群落结构及其演替有很大的影响。因此, 研究水文情势对浮游植物群落结构的影响对水库湖沼学和水质管理具有重要的理论和实践意义。

1 水文情势以及浮游植物在水库初级生产和环境中的地位

1.1 水文情势的形式

水库水文情势包括库水量的吞吐 (水交换), 库水位的变化和水团的运动, 即水体在湖盆边界约束下运动的规律, 它们受气候和水库运行的影响, 并引起对流、剪切力、扩散、弥散、混合和沉淀等一系列的运动[1]。正是各种形式的运动引起生命和非生命的物质各种途径的传输、迁移和分布, 塑造和改变着水环境, 影响着生物群落的演替。

1.2 浮游植物在水库初级生产和环境中的地位

和湖泊、河流一样, 水库初级生产者包括 4 个范畴: 浮游藻类或浮游植物 (planktonic algae, phytoplankton); (2) 浮游光细菌 (Planktonic phototrophic bacteria); (3) 附着藻类 (attached algae, Periphyton); (4) 水生维管束植物 (rooted macrophytes)。

水生植物指除藻类以外, 生理上依附于水环境或至少部分生殖周期发生在水中或水表的植物类群, 其初级生产力水平相当高。其中挺水植物生产量是地球上最高的, 达 40 000～75 000

° 收稿日期: 1999-12-17; 修订日期: 2000-05-18
基金项目: 国家自然科学基金资助 (59779008)。
作者简介: 邬红娟 (1960-), 女, 浙江绍兴人, 水库渔业研究所副研究员, 博士, 主要从事淡水生态学研究。

gDW m^{-2}a^{-1}，沉水植物为 100～700 gDW m^{-2}a^{-1}，浮叶植物居其间[1]。水生植物对水生生态系统物质循环的影响是通过其对矿质营养的代谢来实现的，对矿质营养的同化量与其生产水平、生长速度和水体营养物水平成正比。此外，水生植物还有过量吸收元素的能力，具有减缓生态系统物质循环速度的功能，是除水层和底质外第三个重要的矿质营养库。

由于沉水植物生长速度较低，其组织中有不同来源的营养储备，能从底质中获取丰富的营养，因此其生长不易受营养限制，在以上类群中占有营养竞争优势。

藻类依其生活介质分浮游藻类（或浮游植物）和固着藻类。它们与沉水植物生产力水平相当，为 100～700 gDW m^{-2}a^{-1}。在上述类群中，浮游藻类个体最小，生产力和周转率最高，其生长速度是沉水植物的 10～100 倍，对营养的吸收能力最强，其对氮磷的需要量是沉水植物的 30～50 倍，生长极易受到营养的限制。因此，浮游植物的种群数量反映了水体的营养状态。

与浮游藻类类似，固着藻类的营养限制也易发生。因为它们的营养也主要来源于水层，而从着生的植株上得到的营养仅为其营养需求的 3%～9%。

光细菌主要分布在水深不超过 20 m 湖泊底泥表层，或分布在深水湖泊夏季分层期的厌氧区上层，在水表和跃温层以上，光细菌的生产量仅占总生产量的 1.93%～4.98%。在整个光合作用产物中，细菌的光合作用占 3%～13%[3]。

然而，水库是人们通过径流调节发挥其各项功能的，非生物的混浊（由悬浮颗粒和水土流失引起）以及大的水位波动（由防洪或发电引起）使附着藻类和水生植物赖以生存的沿岸带环境时存时亡，从而限制了水库附着藻类和水生维管束植物群落的发展，加大了浮游生产者对总初级生产的贡献[4]。尽管光细菌可能在稳定分层的水库中生存，但主要分布在深层，与浮游植物比较，其贡献可以说相当小。因此浮游植物是水库生态系统的主要初级生产者，在水库物质循环和能流中起主导作用。

2 水文情势对浮游植物群落结构的影响

浮游植物是那些在敞水区自由悬浮不能自主游动的有机颗粒。它既不同于鱼类及其他哺乳类动物在水中自由游泳，又不同于无生命的颗粒，简单地漂浮于水中。除少数浮游植物群体及具有油滴或伪空泡的藻体能漂浮于水中外，大多数比重均比水大。它们能适应悬浮生活，易在风和水流的作用下随波逐流，被动运动[5]。因此，与水的运动比细胞的形态和生理适应对浮游植物的悬浮更有重要意义，这就注定水文情势对其群落结构及其演替起决定作用。

2.1 水文情势对浮游植物生物量的影响

水量的吞吐反映了水在库区的滞留和水交换情况。水滞留时间为真正的自变量，不受外界影响，若干重要的湖沼学变量如分层、沉淀、磷等有机物的滞留、浮游植物生产力和透明度均与其有定量关系[6]。水滞留时间的长短对浮游植物生物量和生产力、种类组成、多样性及其时间和空间分布有很大影响。

湖泊、河流和水库的水滞留时间对浮游植物生物量和生产力有很大影响[6]。当流速超过浮游植物繁殖速率，生物量的积累和生产力就会流失。Soballe 和 Kimmel (1987) 比较了湖泊、河流和水库每单位磷的藻类丰度在水滞留时间相似时，没有明显差异[7]。认为水滞留时间对于湖泊、河流和水库具有相似的生态学意义，水滞留时间是有效的系统水平指数。

宋立荣等 (1998) 认为蓝藻水华的物化因子包括水滞留时间和水的垂直混合程度[8]。由于蓝藻生长相对较慢, 故较长时间的物理稳定 (包括稳定的气候和水文条件) 往往是蓝藻种群发育的先决条件。雷宝玲和李开国 (1995) 认为水库浮游植物生物量与库容成负相关[9]。

2.2　水文情势对浮游植物种类组成的影响

水滞留时间对浮游植物种类组成的影响取决于藻类的自身的浮力[10]。混合层 (Zm) 越浅, 藻类沉降得越快, 或者说, 比重较大的藻类如硅藻沉降快, 需要高的流速支持其悬浮于水中, 而静水则适合于大型的和有鞭毛的藻类。Brook (1994) 认为长时间洪水泛滥的湖泊主要为蓝绿藻的种类, 而短时的洪水泛滥的湖泊则主要为硅藻种类[11]。Sommer (1981) 从个体的生存方式, 提出藻类 r- K 生存对策[12], 认为当水的扰动大于浮游植物繁殖时间, 环境更适合于内禀增长率高的藻类, 它们是先驱者, 能在扰动间隙迅速建立种群, 这些藻类个体通常很小, 通过繁殖率高来抵御高的死亡率; 而低扰动, 由于环境稳定, 则更适合于 k- 策略者, 那些个体大、竞争力强的后来者种群达到高峰。与 r- K 平行, Reynolds (1997) 提出 C- S- R[13]。C 为入侵者, 是那些个体小, 能迅速吸收和同化营养, 在水文情报势变化大时出现; S 为获得性生存种类, 通常个体较大, 形成群体和生长较慢, 但能调节浮力适应紊流; 而 R 则是那些偶而出现的种类 (ruderals), 特别适合物理扰动大的环境。

史为良等 (1985) 和邬红娟等 (1985) 认为, 水位是另一个影响浮游植物群落结构的水文因子, 它直接或间接地通过食物链影响浮游植物的种类组成, 物种的多样性和生产力[14~15]。当水位高时, 有利于沿岸带沉水植物的生长, 为鱼类提供了广阔的繁殖和索饵场所, 使鱼类种群规模增加, 强化了对浮游动物的摄取, 减轻了对浮游植物的摄食压力, 大型浮游植物种类迅速生长, 而当水位低时, 浮游植物种类小型化。

2.3　水文情势对浮游植物多样性的影响

水滞留时间对浮游植物种类多样性的影响表现在其水交换的频率。比较著名的有 Connell (1978) 和 Padisak (1993) 提出的轻度干扰时物种多样性最大假说 (简称 IDH)[16~17], 即如果干扰处于中等强度, 就会给先驱种 (r) 再次重建的机会而不至于被竞争排挤掉, 后来种 (k) 不需要完全征服先驱种也能抵抗干扰而生存下来, 从而导致多样性高峰。

Brink *et al* (1994) 认为水位高时, 由于沿岸带沉水植物的生长, 使浮游植物栖息地复杂化, 浮游植物物种也表现为多样性。[18]

2.4　水文情势对空间分布格局的影响

水量的吞吐流是水体动能和势能的主要来源, 它直接影响水体的混合层 (Zm) 和有光层 (Zp), 从而决定了水体的热分层和浮游植物的垂直分层。

Kimmel 和 Groeger (1984) 认为有光层 (Zp) 与混合层 (Zm) 决定浮游植物的垂直分布[19]。无论营养是否有效, 浮游植物的光合作用只能发生在有光层, 这部分足以支持浮游植物光合作用大于呼吸作用, 在有光层的低限为光的补偿点 (光合作用 (P) = 呼吸作用 (R)), 所以, 浮游植物的垂直分布与光有关。而水库有光层和混合层则由水在库区滞留时间来决定的。

Naseli- flores (1998) 对 21 座水库 17 个环境因子进行典型相关分析[20], 其中 Zm/Zp 是环境变量中对浮游植物影响最大的因子 ($r = -0.81$)。分析表明: 在贫营养型或库容变化较小的水库营养起主要作用, 相反, 在库容变化大的水库, 则 Zm/Zp 起主导作用, 而 Zm/Zp 又受水文条件如水位波动和水交换量的影响。

水体中浮游植物对营养的利用取决于内外源性营养的负荷、沉降、水流，混合和出流，其中，水流的形式以及含有营养的入流水与水库水团的混合最为重要。通常情况下，对流或入流对营养和浮游植物生物量的梯度变化起主导作用，水体的密度扩散作用很小，这种梯度变化与水的滞留时间和流态有关。最大的梯度变化发生在水滞留时间长，沉降率高以及对流为主的水体，而水滞留时间短，沉降率低以及扩散流为主的水体则梯度变化小。

由于流域形态、流速、水的滞留时间、悬浮物、有效光和营养的经向变化，使水库浮游植物生产力和生物量有明显的空间异质性。Kimmel (1987) 据此将其分为三段[21]，即河流带、过渡带和湖泊带。河流带位于水库上游，具有流速大、水滞留时间短、有效营养和悬浮固体含量高和光照低等环境特征。非生物的浑浊度常限制了光的透射，从而减少了有光层，在有光层单位体积生物量和生产力较高，但 Zm 常超过 Zp，所以，单位面积内初级生产力常受光的限制。

过渡带生产力和生物量较高，随着河床加宽，流速减慢，水滞留时间延长，泥沙沉淀，光透射增大，光和营养均适合浮游植物的光合作用，所以，这一带是水库最肥沃的区域；湖泊带位于水库下游，这一带水的滞留时间更长，营养减少，水的透明度较高，有光层更深，但有光层的生产力常因营养限制而降低，其营养靠内源性循环获得。

这种分带没有确定性的界限，每个带的长短取决于水的滞留时间，或扩展或收缩。水的滞留时间长，湖泊带相对长一些，而水的滞留时间短，水滞留时间越长，浮游植物生产力和生物量梯度变化越大[2]。

2.5 水文情势对浮游植物演替的影响

自然界中，浮游植物群落存在强烈的种的季节演替，但这种季节演替不能确定是内源性因子引起的，还是外源性因子引起的。通过对种群季节变化的大量分析得出控制群落多样性和季节演替的主要环境因子是营养和水体的稳定性[5]。

Maria Moustaka & Gouris 认为，通常情况下每年的季节演替是相似的，即种类的演替从早期的 r- 选择（机会种）到夏季的 k- 选择（稳定类型），再到混合型[22]。但如果有大风或洪水，就会使演替回到早期阶段。

参考文献

[1] 叶守泽，夏 军，郭生练，等. 水库水环境模拟预测与评价[M]. 北京：中国水利水电出版社，1997

[2] Wetzel R G. Limnology[M]. 2nd Edit. Philadephia, Saunders, 1983

[3] 倪乐意. 大型水生植物[A]. 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京：科学出版社，1999. 224- 240

[4] Margalef R. Typology of reservoirs[J]. Veh Int Verein Limonl. 1975, (19): 1841- 1848.

[5] Moss B, Brooker I, *et al*. Phytoplankton distribution in a temperate floodplain lake and river system 1. Hydrology, nutrient sources and phytoplankton biomass[J]. J Plankton Res. 1989(11): 813- 838.

[6] Reynolds C S, Padisak J. Intermediate disturbance in the ecology of phytoplankton and the maintenance of species diversity: a synthesis[J]. Hydrobiologia. 1993, 249: 183- 188.

[7] Soballe, Kimmel. A large-scale comparison of factors influencing phytoplankton Abundance in rivers, lakes, and impoundments[J]. Ecology. 1987, 68: 1943- 1954.

[8] 宋立荣. 浮游植物[A]. 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京：科学出版社，1999. 176- 198.

[9] 金相灿，等. 中国湖泊环境(第三册)[M]. 北京：海洋出版社，1995, 405- 434

[10] Harris G P. Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology: Mechanisms, methods, and

management[J]. Can J Fish Aqua Sci. 1980, 37: 877- 900.

[11] Brook, Woodward. Some observations on the effects of the water inflow and outflow on the plankton of small lakes[J]. J Am Ecol. 1956, 25: 22- 35.

[12] Sommer U. The role of r-and K-selection in the succession of phytoplankton in Lake Constance[J]. Acta Ecologia 1981, 2: 327- 342.

[13] Reynolds C S. Vegetative processes in the Pelagic: A model for ecosystem theory [M]. Excellence in Ecology 9. Ecology Institute. Nordbunte 1997. 23, D21385, Oldendorf/Luhe. Soballe.

[14] 史为良, 等. 清河水库夏季水位降低引起的水质恶化[J]. 水产科学, 1984

[15] 邬红娟, 胡传林. 黑龙滩水库夏季不同水位对鱼产量和浮游生物群落结构的影响[J]. 水生生物学报, 1995, 19(4): 360- 367.

[16] Connell J. Diversity in tropical rain forests and coral reefs[J]. Science. 1978, 199: 1304- 1310.

[17] J Padisak. The influence of different disturbance frequencies on the species richness, diversity and equitability of phytoplankton in shallow lakes[J]. Hydrobiologia. 1993, 249: 134 - 156.

[18] Van den Brink *et al*. Impact of hydrology on phyto- and zooplankton community composition in floodplain lakes along Lower Rhine and Meuse[J]. J Plankton Research. 1994, 16(4): 351- 373.

[19] Kimmel B L, A W Groeger. Phytoplankton production in lakes and reservoirs: A perspective[M]. 1984, 277281 in Lake and reservoir management. EPA 440/5/84-001. Environment Protection Agency, Washington, DC.

[20] Naseli-Flores L. Phytoplankton assemblages in reservoirs: Is it chemical of physical constraints which regulate their structure? [C]. Proceedings of the 3rd International Conference on Reservoir Limnology and Water Quality. Ceske Budejovica, Czech Republic, Augest 11-15, International Review of Hydrobiology, special issue. 1998, 83: 351- 360.

[21] Kent W Thornton *et al*. Reservoir Limnology[M]. John Wiley & Sons. Inc. 1989.

[22] Mario O Garcia de Emliani. Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a river- floodplain lake system [J]. Hydrobiologia. 1997, 357: 1- 15, 17.

The Effect of Hydrological Regime on Phytoplankton Community*

WU Hong-juan[1], GUO Sheng-lian[2]

(1. *Environmental Science and Engineer College, Huazhong University of Science and Techonlogy, Wuhan* 430074, *China*; 2. *Wuhan University of Hydraulic & Electrical Engineering, Wuhan*, 430072, *China*)

Abstract: Phytoplankton is an important one of primary production and the indicator of the environment in the ecosystem of reservoir. The effect of hydrological regime on phytoplankton community was regarded as necessary for management of water quality. This study is, at present, mainly the effect of water retention, water level on the species component, standing crop, spatial pattern (including vertical and horizontal distribution) and succession of phytoplankton community.

Key words: reservoir; hydrological regime; phytoplankton community

* The Project is Supported by National Natural Science Fund of China (No. 59779008).