

研究简报

杭州西湖水体中微生物生理群生态分布的初步研究*

吴根福 宣晓冬** 汪富三

(浙江大学生命科学学院 杭州 310012)

Q 938.15-
Q 938.2

摘要 1995-04~1996-04对杭州西湖水体中微生物生理群生态分布的研究结果表明:①好气性异养型细菌平均达 2.06×10^3 个/ml,放线菌、霉菌、酵母菌的量较少,分别为35个/ml、24个/ml和2个/ml,②从大肠菌群指数来看,西湖水体还受着生活污水的污染,其中岳湖和西里湖污染程度还相当严重,③纤维素分解菌平均为25个/ml,氮氧化细菌为453个/ml,亚硝酸氧化细菌585个/ml,硝酸还原菌 3.2×10^3 个/ml,脱氮菌43个/ml,有机磷分解菌8个/ml,④纤维素分解菌、氮化细菌、氮氧化细菌、硝酸还原菌在夏季较少,冬季反而较多,它们与温度的相关系数分别为 -0.5467^{**} , -0.4506^{**} , -0.4368^{**} 和 -0.4502^{**} ,而亚硝酸氧化菌和脱氮菌与温度的相关关系不明显,⑤自养型的硝化细菌在水质较好的小南湖、北里湖分布广泛,而异养型微生物在富营养化严重的岳湖、西里湖密度较大,⑥假单胞菌属(*Pseudomonas*)、芽胞杆菌属(*Bacillus*)、肠细菌科(*Enterobacteriaceae*)是西湖水体中的优势菌群。

关键词 杭州西湖,微生物,种群,分布。

POPULATION DISTRIBUTION OF MICROORGANISMS
IN THE WATER BODY OF WEST LAKE, HANGZHOU

WU Gen-Fu XUAN Xiao-Dong WANG Fu-San

(College of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou, 310012, China)

Abstract The population distribution of microorganisms in the water body of West Lake was studied from Apr. 1995 to Apr. 1996. Results showed that: (1) The density of heterotrophic bacteria were 2.06×10^3 /ml on the average. Actinomycetes, molds and yeasts were 35/ml, 24/ml and 2/ml respectively. (2) The coliform index in the Xili and Yuehu L. were 23 800/L, and those in the other sub-lakes were lower. (3) Various physiological groups of microbes were found in West Lake, including cellulose decomposing bacteria (25/ml), organic phosphorus decomposing bacteria (8/ml) and N-utilizing bacteria, such as nitrite bacteria (453/ml), nitrate bacteria (585/ml), nitrate-reducer (3.2×10^3 /ml), and denitrifier (43/ml). (4) Cellulose decomposing bacteria, ammonifiers, nitrite bacteria and nitrate reducer had the negative correlation with the temperature. (5) Autotrophic bacteria, such as nitrifiers, were popular in Xiaonan L. and Beili L., Where the water

* 中日合作课题,浙江省自然科学基金资助课题 H-9515106。

* * 现在浙江省科委工作。

收稿日期:1996-12-04,修改稿收到日期:1997-06-03。

quality was relatively good, while heterotrophic bacteria were more common in the two hypotrophic lakes, Yuehu L. And Xili L. (6) The dominant groups in West Lake were *Pseudomonas*, *Bacillus* and *Enterobacteriaceae*.

Key words West Lake, Hangzhou, microorganisms, population, distribution.

杭州西湖是我国著名的风景旅游湖泊。由于工农业生产的发展和人们物质文化水平的提高,富营养化程度严重^[1]。湖水的 COD_{Mn} 、 BOD_5 平均分别达 7.87mg/L 和 5.12mg/L , TN 、 TP 分别为 2.266mg/L 和 0.129mg/L , 平均透明度仅为 50.3cm 。尽管有关部门采取了多种措施,但水质并未根本改善。为此国家自然科学基金委员会,浙江省自然科学基金委员会和日本财团联合进行了以“保护城市内湖泊的生态和历史景观”为目的的合作研究。

微生物的群落结构与功能是微生物生态学的研究主题之一。水体中微生物与区域环境有着密切的联系,还在物质循环与能量流动中起着非常重要的作用^[2];其数量及种群分布与水的类型、有机物含量、微生物的拮抗作用等多种因素密切相关。对它的研究将有助于了解西湖的富营养现状及水域中 C、N、P 循环方式,并可为西湖的整体治理方案提供依据。本文报道杭州西湖水体中微生物的组成及分布。

1 自然概况和研究方法

1.1 自然概况

杭州西湖位于杭州市西侧,一面濒临市区,三面环山,有水面积 5.66km^2 , 平均水深仅 1.56m , 全湖被苏堤、白堤分割成5个子湖区(图1)。各湖区的水体藉堤上的桥洞相互沟通。西湖流域面积 21.22km^2 , 年平均降水量约 1400mm , 蒸发量约 1260mm 。湖水原靠天然雨水补给, 1986年后钱塘江引水工程建立, 每年人为引水平均约 2400万 m^3 ; 水位靠位于湖区东北角的少年宫闸人为调节, 常水位保持在黄海标高 7.15m 。

1.2 研究方法

1.2.1 采样点 根据西湖湖区分布特点, 在全湖设5处采样点, 北里湖、岳湖、西里湖、小南湖、外湖各1处(见图1)。于1995年4月~1996年4月按季采集5次水样。由于杭州西湖平均水深仅 1.56m , 湖水一年四季都不发生分层现象, 因此只调查微生物在湖泊中的水平分布, 采样点仅设水面下 50cm 处深度。

1.2.2 微生物培养与计数 异养性细菌的测定用肉膏蛋白胨培养基, 稀释涂平板法培养^[3]。大肠菌群指数按文献^[4]进行测定。纤维素分解菌、好气性分解菌用 Dubos 培养基, MPN 法(最大或然数法)培养计数, 厌气性分解菌用 Omeliansky 培养基, 液体石蜡封管法计数^[5]。氨氧化细菌用氨氧化细菌计数用培养基, 亚硝酸氧化细菌用亚硝酸氧化细菌计数用培养基, 硝酸还原菌和脱氮菌用 Giltay 培养基, 有机磷分解菌用蒙吉娜培养基, 以上微生物用 MPN 法培养计数^[6]。无机磷分解菌用无机磷培养基, 稀释涂平板法计数^[7]。

1.3 细菌鉴定

从各湖随机挑取共78个菌落, 经纯化后, 进行形态观察和生理、生化特性试验, 并参照文献^[8,9]进行鉴定。

2 结果与讨论

2.1 杭州西湖水体中微生物的数量及分布

1995年4月~1996年4月按季对异养细菌的数量及分布进行了调查, 结果见图2。平均达 2.06×10^3 个/ml, 其中以岳湖和西里湖较多, 各为 3.97×10^3 个/ml 和 2.70×10^3 个/ml; 北里湖次之, 为 1.32×10^3 个/ml, 湖心和小南湖较少, 分别为 1.18×10^3 个/ml 和 1.15×10^3 个/ml。按照日本湖泊分类标准, 从微生物角度看这些湖区都应视为中营养型的, 然而, 从理化及其它生物指标来看, 西湖应属于富营养甚至超富营养型的湖泊; 此外, 异养型细菌数量随季节变化的规律与有关文献^[10]的报道不很一致, 冬季数量反而较多, 平均达 5.18×10^3 个/ml; 春季次之, 达 2.38×10^3 个/ml; 夏秋季反而较少, 平均各为 1.49×10^3 个/ml 和 4.19×10^2 个/ml。这可能与杭州西湖的特殊性有关, 杭州西湖水体中营养盐浓度较高, 夏秋季藻类生长十分旺盛, 据有关部门测定^[10]秋季藻类数量可达 1.79×10^5 个/ml, 使得湖水透明度只有 38.6cm 。这些藻类的生长可能会分

泌某些物质来抑制细菌的生长,当然也可能是这些藻类的生长吸收了周围环境中的营养盐类,使细菌可利用的 N、P 等物质的含量下降所致;而且夏秋季浮游动物的生物量较高,达 3.0mg/l,它们的活动十分活跃,吞噬的细菌也会较多。此外,按文献^[3]对水体中放线菌、霉菌、酵母菌的量进行了分析,发现这三类微生物较少,平均仅为 35 个/ml、24 个/ml 和 2 个/ml。表 1 反映了近 15 年来杭州西湖水体中异养细菌数量的变化,在 1979~1980 年间,由于西湖综合治理工程尚未建立,周围工厂、居民区的废水大量排入湖内,使得湖内异养细菌数量高达 10^4 个/ml;1986 年后,环湖的截污工程基本完成,再加上钱塘江引水工程的建立,使西湖得到了大量清洁的水源,异养细菌数量大幅度减少,但是,近年来由于钱塘江上流地区工农业生产的发展,钱塘江水也日益受到污染,西湖中的异养细菌数量也有增加的趋势。

2.2 西湖水体中的大肠菌群

大肠菌群是评价水质好坏的一个重要的卫生指标,也是反映水体被生活污水污染的一项重要监测项目。据认为:大肠菌群指数如果小于 1000,水还可算是清洁的;在 1000~10000 之间,水就被污染了;大于 10000,水就被严重污染了。表 2 显示了 5 个湖区中的大肠菌群指数,从中可知,西湖中,特别是岳湖和西里湖两个子湖区仍然被生活污水污染着,进一步加强环境中的污水管理仍是一项十分必要的工作。

2.3 西湖水体中纤维素分解菌的数量及分布

纤维素是西湖水体中含碳物质的主体。藻类残骸,旅游垃圾是湖泊纤维素的主要来源。因此了解水体中纤维素分解菌的数量及分布,对搞清整个湖泊生态系统的碳素循环具有积极的意义。但是能分解纤维素的微生物种类繁多。既有真菌,也有细菌;既有好气性的,又有厌气性的。从 1995 年 4 月的实验结果看,DoBus 培养基中生长的纤维素分解菌以好气性的细菌为主(平均为 29 个/ml),厌气性细菌很少(平均仅为 9 个/ml),真菌更少。为此以后仅对各湖区的好气性纤维素分解菌进行了计数,结果见图 3。从与图 2 的对比中可以得出,这种纤维素分解菌数量的变化与细菌总量的变化之间有较好的相关

表 1 1979~1996 年西湖水体中异养细菌数量的比较 (个/ml)

Table 1 Comparison of heterotrophic bacteria in 1979~1996

湖区 Subarea	1979~1980	1988~1989	1995~1996
岳湖 Yuehu L.	29 000	—	3 970
北里湖 Beili L.	23 000	—	1 320
外湖 Outer L.	14 000	1 296	1 180
少年宫 Youth Palace	8 000	1 575	—
西里湖 Xili L.	—	1 521	2 700
平均 Average	18 500	1 464	2 293
评价 Evaluation	富营养 ^①	中营养 ^②	中营养 ^③

①:eco-trophic;②:mid-trophic

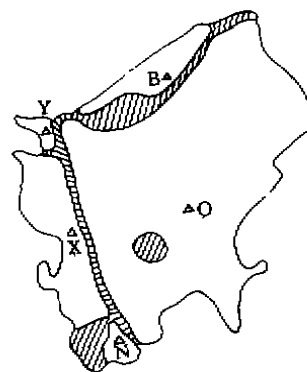


图 1 西湖采样位点示意图

Fig. 1 Schematic diagram of samples

B:北里湖(Beili L.) Y:岳湖(Yuehu L.) X:西里湖(Xili L.) N:小南湖(Xiaonan L.) O:外湖(Outer L.)

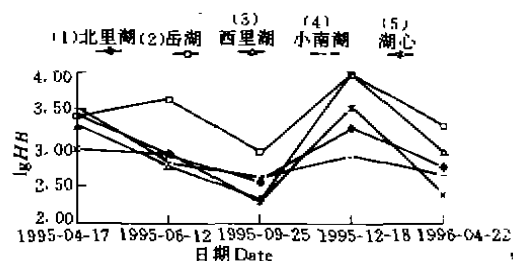


图 2 西湖水体中的异养细菌(HB)的数量和分布

Fig. 2 Distribution of heterotrophic bacteria (HB) in West Lake

(1)Beili L.;(2)岳湖 Yuehu L.;(3)西里湖 Xili L.;(4)小南湖 Xiaonan L.;(5)湖心 Outer L.

表2 西湖水体中的大肠菌群指数(个/升)

Table 2 Coliform index in sub-lakes

湖区 Subarea	1995-06	1995-09	1995-12	1996-04	评价 Evaluation
北里湖 Beili L.	2 300	2 300	9 600	9 600	污染 Polluted
岳湖 Yuehu L.	>23 800	23 800	>23 800	>23 800	严重污染 Severely polluted
西里湖 Xili L.	23 800	>23 800	23 800	23 800	严重污染 Severely polluted
小南湖 Xiaonan L.	1 800	1 800	2 300	2 300	污染 Polluted
外湖 Outer L.	920	9 600	2 300	2 300	污染 Polluted

性,相关系数达0.6698^{**}。从湖区分布来看,岳湖(47个/ml)>北里湖、西里湖(26个/ml)>小南湖(18个/ml)>湖心(8个/ml);从季节变化来看,冬季(80个/ml)>春季(29个/ml)>夏季(9个/ml)>秋季(5个/ml)。

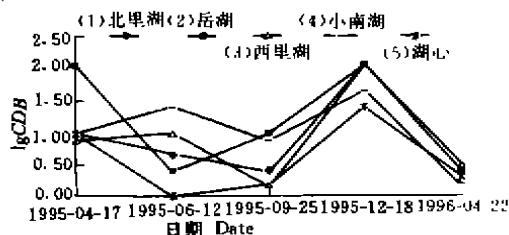


图3 西湖水体中纤维素分解菌(CDB)的分布

Fig. 3 Distribution of cellulose decomposing bacteria (CDB) in the West Lake

(1) Beili L., (2) Yuehu L., (3) Xili L., (4) Xiaonan L., (5) Outer L.

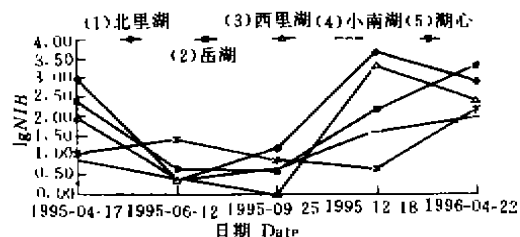


图4 西湖水体中亚硝酸盐细菌(NIB)的分布

Fig. 4 Distribution of nitrite bacteria (NIB) in the West Lake

(1) Beili L., (2) Yuehu L., (3) Xili L., (4) Xiaonan L., (5) Outer L.

2.4 西湖水体中氮素利用菌的数量及分布

微生物在氮素循环中占有十分重要的地位。无论是固氮作用、氨化作用,还是硝化作用、硝酸还原作用、反硝化作用,都需要微生物的参与。除了固氮菌外,对这些能利用氮素的微生物的生态分布进行了调查。由于氨化细菌一般认为是那些能在肉汤蛋白胨培养基中生长的细菌,因此其生态分布可参考图2。参与硝化作用的微生物包括了把氨盐氧化成亚硝酸盐的氨氧化细菌(亚硝酸细菌)和把亚硝酸盐氧化成硝酸盐的亚硝酸氧化细菌(硝酸细菌),它们的数量及分布见图4和图5。参与硝酸盐还原作用的硝酸还原菌及脱氮菌的数量及分布见图6与表3。

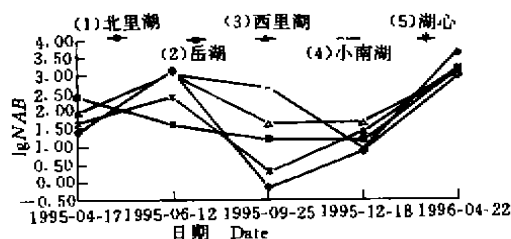


图5 西湖水体中亚硝酸氧化菌(NAB)的分布

Fig. 5 Distribution of nitrate bacteria (NAB) in the West Lake

(1) Beili L., (2) Yuehu L., (3) Xili L., (4) Xiaonan L., (5) Outer L.

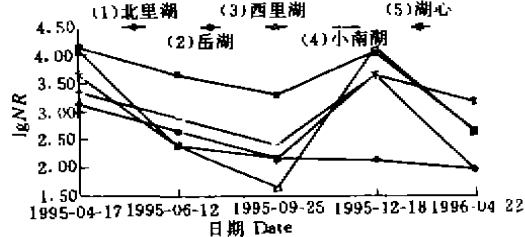


图6 西湖水体中硝酸还原菌(NR)的分布

Fig. 6 Distribution of nitrate reducer (NR) in the West Lake

(1) Beili L., (2) Yuehu L., (3) Xili L., (4) Xiaonan L., (5) Outer L.

表3 西湖水体中的脱氮菌的分布(个/L)

Table 3 Distribution of Denitrifier in the water body of West Lake

湖区 Subarea	1995/4/17	1995/6/12	1995/9/25	1995/12/18	1996/4/22	总计 Total	平均数 Average
北里湖 Beili L.	16	7	3	0	85	111	22
岳湖 Yuchu L.	35	250	7	1	150	442	88
西里湖 Xili L.	40	20	1	0	45	106	21
小南湖 Xiaonan L.	250	6	2	0	5	263	53
外湖 Outer L.	20	0	1	3	140	164	33
总计 Total	361	283	13	4	425	1085	217
平均数 Average	72	57	3	1	85	217	43

由这些图表可以看出,氮利用菌的变化比较复杂,但从总的趋势看,氨氧化细菌、硝酸还原菌数量变化的规律与氨化细菌比较一致(相关系数分别为0.2311和0.7102**),都是冬季较多,春季次之,夏秋季较少;而亚硝酸氧化细菌和脱氮菌则不同。这些不同的变化可能与湖泊整个生态系统中物质含量有关。冬季氨化细菌数量较多(见图2),它们能缓慢地将有机氮化物转化成氨,造成水中氨氮积累,这样就有利于氨氧化细菌的生长和繁殖。同时冬季藻类生长繁殖受抑制,吸收的 NO_3^- 较少,致使水体中 NO_3^- 积累较多;另外光合作用释放的 O_2 也少,造成水中溶氧偏低。结果一方面使利用 NO_3^- 的厌氧微生物硝酸还原菌的数量增高,另一方面使生成 NO_3^- 的好氧微生物亚硝酸氧化菌的生长受到抑制。多种因素的共同作用使水体中氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮含量维持平衡。当然,水体中的微生物并不是独立存在的,它们还要受到周围环境中物理的,化学以及生物的因素制约,因此要全面解释这种变化趋势,还值得进一步深入研究。从湖区变化来看,自养型的硝化细菌在富营养化程度较轻的小南湖、北里湖的含量比较高,而异养型的氨氧化细菌、硝酸盐还原细菌在富营养化程度较高的岳湖、西里湖含量比较高,可见微生物的类型与湖泊水质的营养状况关系密切。

2.5 西湖水体中的磷分解菌

水体中的磷可以以有机磷、可溶性磷酸盐和不溶性磷酸盐的形式存在。微生物在有机磷的分解和不溶性磷酸盐的溶解方面具有一定作用。但从1996年5月的试验看,有机磷分解菌在水体中存在的量极少,平均仅为8个/ml。其中北里湖和小南湖有15个/ml,岳湖、西里湖、湖心只有2~3个/ml。用无机磷培养基,以稀释涂平板法测定,发现透明圈一般不明显,说明这些微生物在平板中好氧培养时溶解无机磷的能力不强。

2.6 西湖水体中异养细菌的种类组成

对1995、1996年春季所得共216个异养细菌菌株进行了形态观察,发现水体中以革兰氏阴性的无芽胞杆菌为主,而且产色素菌的含量较高,达15.2%。此外对1996年4月分离所得的78个菌株进行生理生化试验,并按文献[8,9]进行初步鉴定,发现假单胞菌属(*Pseudomonas*)细菌较多,占30.8%,芽胞杆菌属(*Bacillus*)占10.4%,肠细菌科(*Enterobacteriaceae*)占17.9%,此外还有不动细菌属(*Acinetobacter*)、产碱杆菌属(*Alcaligenes*)、无色细菌属(*Achromobacter*)、微球菌属(*Micrococcus*)、微杆菌属(*Microbacterium*)、色杆菌属(*Chromobacterium*)、黄杆菌属(*Flavobacterium*)和黄单胞菌属(*Xanthomonas*)的细菌。

2.7 西湖水体与沉积物中微生物数量的比较

由于杭州西湖是一个浅水富营养型湖泊,湖底沉积物较厚,平均厚度达1.06m,再加上旅游人次较多,游船及风浪的扰动很容易使沉积物中的微生物泛入水中。表4对水体及沉积物中几大类微生物生理群的数量(1995~1996年度平均值)进行了比较。可见水中微生物与沉积物中微生物数量间有较好的相关性,回归方程为 $y = ax + b$,其中 y 表示沉积物中的微生物数量(个/g干泥), x 表示水体中的微生物数量(个/ml), $a = 40.8$, $b = 52404.3$, $r = 0.4474$ 。说明象西湖这样一个浅水型的旅游湖泊,水体与表层沉积物之间的交换还是比较频繁的,水体中的微生物一方面受水体中的营养盐浓度,生物拮抗和捕食等因素的影响,另一方面还可从沉积物中得到补充。

表4 水体及沉积物中几大类微生物生理群的数量比较(1995~1996年度平均值)

Table 4 Comparison of the abundance of microorganisms between the sediment and the water body (1995~1995 average)

微生物生理群 Microbe group	沉积物中(个/g干泥) In the sediment	水体中(个/ml) In the water body
异养细菌 Heterotrophic bacteria	2.02×10^5	2.06×10^3
纤维素分解菌 Cellulose decomposing bacteria	1.88×10^3	25
氨氧化细菌 Amonium oxidizing bacteria	2.76×10^5	4.53×10^2
亚硝酸氧化细菌 Nitrate bacteria	1.81×10^4	5.85×10^2
硝酸盐还原菌 Nitrate reducer	1.23×10^5	3.19×10^3
脱氮菌 Denitrifier	3.14×10^3	43
有机磷分解菌 Organic phosphorus decomposing bacteria	2.38×10^3	8

对沉积物中随机挑选的117株异养细菌的初步鉴定结果也表明,水体与沉积物中的细菌种群是一致的,只不过沉积物中芽胞杆菌属的细菌占优势(达50.4%)。汪富三^[4]于1979~1981年对西湖水体中的异养细菌的调查也发现了相似的种属,其优势菌群与本次采样所得的结果一致,说明十几年来西湖水体中的细菌类群没有发生显著的变化。

参 考 文 献

- 1 李梅姿. 中国湖泊水库环境调查研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 158~161
- 2 Lilian E H, Alan H L. *Microorganisms: function, form and environment* (2nd ed.). London: Bulter & Tanner Ltd, 1979. 262~274
- 3 陈绍铭, 郑福寿. 水生生物学实验法. 北京: 海洋出版社, 1985
- 4 汪富三, 陈士怡. 杭州西湖水体异养细菌的调查研究. 杭州大学学报, 1983, 10(supp): 65~74
- 5 沃尔克编, 中国科学院南京土壤研究所微生物室译. 土壤微生物学. 北京: 科学出版社, 1981
- 6 Alexander M, Clark F E. *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Wisconsin: American Society of Agronomy Inc., 1965. 1477~1484
- 7 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986. 131~133
- 8 中国科学院微生物研究所细菌分类组. 一般细菌常用鉴定方法. 北京: 科学出版社, 1978
- 9 John G Holt *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (1~4). Baltimore: the Williams & Wilkins Company, 1984
- 10 许光辉, 李振高. 微生物生态学. 南京: 东南大学出版社, 1991. 149~189
- 11 陆开宏, 姚礼一, 周少勤, 等. 杭州西湖引流冲污前后浮游藻类变化及防止富营养化效果评价. 应用生态学报, 1992, 3(3): 266~272