

阳宗海和滇池中紫色非硫细菌数量和种群结构的比较

郭 秒^{1,2}, 王政昆¹, 彭昌亚³, 陈金全¹, 韩俊燕², 慕跃林¹, 黄遵锡^{1*}

(1. 云南师范大学生命科学学院, 昆明 650092; 2. 首都医科大学宣武医院老年医学研究所, 北京 100053; 3. 无锡大学科技园, 无锡 210028)

摘要: 在 2002 年平水期对高原湖泊阳宗海和滇池中的紫色非硫细菌 (PNSB) 数量和种群结构进行了比较研究。对两湖中的各因子进行 *t* 检验, 发现各因子和 PNSB 数量都有极显著差异, 富营养化湖泊滇池中的 PNSB 数量远远多于贫营养化湖泊阳宗海; 两湖中 PNSB 的优势种是红假单胞菌属, 也有少数的红螺菌属。两湖种群结构的区别是滇池有红微菌, 而阳宗海有大量红细菌。

关键词: 阳宗海; 滇池; 紫色非硫细菌; 独立样本 *t* 检验; 种群结构

文章编号: 1000-0933(2005)06-1337-04 **中图分类号:** Q178, Q938 **文献标识码:** A

The abundance and structure comparison of purple nonsulfer bacteria between Yangzonghai Lake and Dianchi Lake

GUO Miao^{1, 2}, WANG Zheng-Kun¹, PENG Chang-Ya³, CHEN Jin-Quan¹, HAN Jun-Yan², MO Yue-Lin¹, HUANG Zun-Xi^{1*} (1. *Department of Life Science, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China*; 2. *Beijing Institute of Geriatrics, Xuanwu Hospital, Capital University of Medical Science, Beijing 100053, China*; 3. *Wuxi Science Park of University, Wuxi 210028, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1337~1340.

Abstract: Yangzonghai Lake and Dianchi Lake are two fault lakes among the nine plateau lakes in Yunnan Province, China. The former is a deep water and oligotrophicated lake, while the later is a shallow water and eutrophicated lake. The ecological factors, and the amount and structure of purple nonsulfer bacteria (PNSB) of these two lakes were studied in the even water season in 2002. The ecological factors included DO (dissolved oxygen), SD (Secchi disc), TN (total nitrogen), TP (total phosphorus), COD (chemical oxygen demand), BOD (biological oxygen demand) and Chl-a (chlorophyll-a). The results showed that (1) the levels of DO, TN, TP, COD, BOD and Chl-a were significantly higher in Dianchi Lake than in Yangzonghai Lake (*t*-test, $p < 0.01$); (2) the number of PNSB in Dianchi Lake was 76.9 ± 6.94 cells/ml (mean $\pm$ SE), 6.0 ± 0.18 cells/ml in Yangzonghai Lake; (3) *Rhodopseudomonas* was the dominant PNSB genus in Yangzonghai Lake and Dianchi Lake, 59.2% and 62.2% respectively, *Rhodospirillum* was 4.2% and 10.8%, respectively. The major difference in PNSB structure was that *Rhodobacter* (36.6%) was only found in Yangzonghai Lake, whereas *Rhodomicrobium* (27.0%) was only in Dianchi Lake. These data suggested that ecological factors are strongly associated with the abundance and structure of PNSB in Yangzonghai Lake and Dianchi Lake.

Key words: Yangzonghai Lake; Dianchi Lake; PNSB; independent *t*-test; composition

光合细菌中的紫色非硫细菌科 (PNSB) 是一类广泛分布于水生态系统中的重要微生物类群, 大量生存于富营养化的湖泊中。由于其可以利用多种小分子有机物, 并且在光照厌氧和黑暗好氧的条件下都可以生长, 即使在贫营养型的深水湖泊中也有分布。在水生态系统中, 光合细菌作为初级生产者, 不仅在食物链上占有一定地位, 还在水生态系统的物质循环、能量转化和水体净化中有着起着重要的作用^[1]。

基金项目: 国家“863”资助项目 (2002AA213031); 国家自然科学基金资助项目 (30260021)

收稿日期: 2004-02-05; **修订日期:** 2004-10-09

作者简介: 郭秒 (1979~), 女, 北京人, 硕士, 主要从事微生物生态学和微生物工程研究。E-mail: emilymiao@yahoo.com.cn

* **通讯作者** Author for correspondence.

Foundation item: Supported by National “863” Program (No. 2002AA213031); National Natural Science Foundation of China (No. 30260021)

Received date: 2004-02-05; **Accepted date:** 2004-10-09

Biography: GUO Miao, Master, mainly engaged in microbial ecology and bioengineering. E-mail: emilymiao@yahoo.com.cn

阳宗海和滇池是相距不到 30km 的高原湖泊,但是两湖的生态和地理条件却截然不同。阳宗海是深水贫营养型湖泊,而滇池是典型的浅水富营养型湖泊。不同生境中的同种微生物的种群数量和结构有很大差异。本文运用统计学方法,对上述两个与高原人民生活息息相关的湖泊中的光合细菌进行比较和研究,并对种群数量和结构差异的原因作了初步分析。

1 材料与方法

(1)采样地点 在阳宗海中选择北部(Ⅰ站)、中部(Ⅱ站)和南部(Ⅲ站)3个位点(与宜良环境监测中心采样位点一致)。其中,北部位点靠近阳宗海电厂,中部位点是宜良地区水域,南部位点是澄江地区水域;在滇池中,选择草海中(Ⅰ站)、灰湾中(Ⅱ站)和滇池南(Ⅲ站)3个位点(从昆明环境监测中心常年监测的10个位点中挑选的3个有代表性位点)。其中草海中是滇池的高度污染程度的水域,灰湾中是中度污染水域,滇池南是轻度污染水域,样点示意图见图1和图2。



图1 滇池采样位点图
Fig.1 Sampling stations in Dianchi Lake

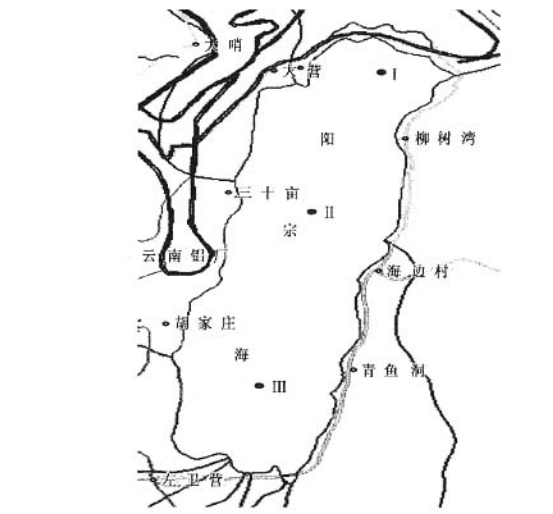


图2 阳宗海采样位点图
Fig.2 Sampling stations in Yangzonghai Lake

(2)采样时间和方法 在2002年的平水期采样。阳宗海每个水平位点垂直分9层采集水样,水层深度分别为9.0、9.5、10.0、10.5、11.0、13.0、15.0、17.0和19.0m;滇池每个水平位点垂直分5层采集水样,水层深度分别为1.0、1.5、2.0、2.5和3.0m。每个水层用深水采水器采集水样2L,分两个采水瓶,1份现场固定,用来测定溶解氧;1份用来分离和计数。

(3)测定和计数方法 光合细菌计数采用平板菌落计数;各种水环境因子测定方法参照国标进行[2]。

(4)计数培养基 NH₄Cl 1g, KH₂PO₄ 1g, 丁二酸钠 1g, MgSO₄ · 7H₂O 0.2g, Na₂CO₃ 0.2g, 酵母膏 0.1g, 无机盐溶液 1ml, 维生素溶液 1ml, 水 1000ml, pH 为 7.0。

(5)数据分析方法 使用 SPSS12 统计学软件相关命令。

(6)分离、纯化和鉴定方法 见参考文献[3]。

2 结果

2.1 阳宗海和滇池理化因子比较由表1给出。

2.2 独立样本的t检验

对于阳宗海和滇池两个没有配对关系的独立样本,比较其差异的显著性,使用 SPSS 12 软件中的 Independent T-test 命令进行分析,结果见表2。由表2可以看出,滇池和阳宗海各理化因子和 PNSB 数量的比较结果差异都极显著。

2.2.1 溶解氧(DO)含量 阳宗海比滇池溶解氧含量稍高,这可能有二个原因:一是由于两个湖泊的地理位置不同造成二者水温有1~2℃的差异,温度和溶解氧含量呈负相关,所以温度低的阳宗海就比滇池的溶解氧含量高;二是两个湖泊中营

表1 阳宗海和滇池理化因子的比较
Table 1 Comparison of the physical and chemical factors between Yangzonghai Lake and Dianchi Lake

项目 Item	阳宗海	滇池
水系 River system	南盘江 Nanpan River	金沙江 Jinsha River
面积 Area(km ²)	31.9	297.5
平均水深 Average depth(m)	20.0	3.9
最大水深 Maximum depth(m)	29.7	5.7
透明度 Secchi disc(cm)	330~450	20~90
矿化度 Salinity(mg/L)	235.08	236.02
水型 Water type	C _{II} ^{Mg, Ca}	C _I ^{Ca}
pH	8.58	8.62
营养类型 Nutrition type	贫营养型 Oligotrophication	富营养型 Eutrophication
θ Temperature(℃)	15.7	17.6
BOD(mg/L)	1.130	4.134
COD(mg/L)	1.550	5.490
TN Total nitrogen(mg/L)	0.438	1.754
TP Total phosphorus(mg/L)	0.019	0.172
Chl-a Chlorophyll-a(mg/L)	0.004	0.085

养物质含量差异极显著,水生生物代谢有机质所消耗的氧气就有所不同,但是富营养化水体中浮游植物也生长旺盛,在水生生物大量耗氧的同时,浮游植物又大量放氧,这就使得滇池中溶解氧含量充足。

表 2 阳宗海和滇池各因子 *t* 检验结果
Table 2 Result of the factors by *t*-test in Yangzonghai Lake and Dianchi Lake

项目 Item	湖泊 Lake	观测量数目 Number	平均值 Mean	自由度 Degree of freedom	<i>t</i>	<i>p</i> (双尾) Two-tailed
<i>n</i> (PNSB)(cells/ml)	1 滇池 Dianchi Lake	15	76.9±6.94	40	13.834	0.000
	2 阳宗海 Yangzonghai Lake	27	6.0±0.18			
DO(mg/L)	1 滇池 Dianchi Lake	15	6.3±0.37	40	12.015	0.000
	2 阳宗海 Yangzonghai Lake	27	6.5±0.05			
SD(cm)	1 滇池 Dianchi Lake	15	50.0±3.60	40	-28.120	0.000
	2 阳宗海 Yangzonghai Lake	27	346.7±7.57			
TN(mg/L)	1 滇池 Dianchi Lake	15	4.0±0.86	40	5.379	0.000
	2 阳宗海 Yangzonghai Lake	27	0.6±0.01			
TP(mg/L)	1 滇池 Dianchi Lake	15	0.3±0.08	40	5.119	0.000
	2 阳宗海 Yangzonghai Lake	27	0.019±0.0001			
COD(mg/L)	1 滇池 Dianchi Lake	15	7.2±0.56	40	14.430	0.000
	2 阳宗海 Yangzonghai Lake	27	1.0±0.03			
BOD(mg/L)	1 滇池 Dianchi Lake	15	6.9±0.56	40	8.599	0.000
	2 阳宗海 Yangzonghai Lake	27	0.8±0.06			
Chla(mg/L)	1 滇池 Dianchi Lake	15	0.171±0.0341	40	6.683	0.000
	2 阳宗海 Yangzonghai Lake	27	0.002±0.0001			

n (PNSB) PNSB 数量 Number of PNSB;DO 溶解氧 Dissolved oxygen;SD 透明度 Secchi disc;TN 总氮 Total nitrogen;TP 总磷 Total phosphorus;COD 化学需氧量 Chemical oxygen demand;BOD 生物需氧量 Biological oxygen demand;Chl-a 叶绿素 a Chlorophyll-a

2.2.2 透明度(SD) 透明度是表征湖水对光的透射、散射和吸收特征的参数,大小与湖水化学成分、含沙量和浮游生物类型和数量等因素密切相关,是一个反映湖泊综合性特征的指标。造成阳宗海透明度远远高于滇池的原因主要是水体性质和湖泊深度的不同。滇池是一个富营养化湖泊,丰富的营养和充足的光照促进浮游植物尤其是藻类的旺盛生长,水生生物代谢的杂质必然使水体光吸收性质变化;而阳宗海是一个深水湖泊,平均水深 20.0m,湖面的大风不易使湖底的泥沙卷起,而只有 3.9m 的滇池相对就容易受到风向和风速的影响,适宜的风向和高的风速会使底泥卷起,使水体中悬浮物含量增加,从而引起透明度的下降,这也是滇池水样呈黄绿色的原因。

2.2.3 总氮(TN)和总磷(TP)含量 湖水中氮的来源主要是有机物在微生物作用下释放和含氮污水排放,而磷的来源就相对广泛,除微生物作用下释放城市和工业含磷废水的排放,还与湖泊周围地质结构(如是否有磷矿)有关。阳宗海和滇池都是氮、磷控制型湖泊,但是磷是主要促进因素。氮磷比值常用来衡量水质状况,低的氮磷比(10:1 左右)特别有利于蓝藻的大量繁殖。滇池的氮磷比落在 10:1 附近,其总氮和总磷指标远远高于国际公认富营养化指标(TN>0.2mg/L,TP>0.02 mg/L),且滇池湖盆较浅特别有利于底泥中氮和磷的释放,这标志滇池已经是一个富营养化程度严重的湖泊。

阳宗海总氮的含量虽然有所超标,但是总磷含量控制在范围内。高的氮磷比(>10:1)使底泥中的氮和磷不易释放,藻类生长不如滇池旺盛,所以基本上保持水体贫营养化。由此看出,如果磷含量控制的不得当,阳宗海就有向富营养化湖泊发展的趋势。在 1996 年 3、4 月份阳宗海湖面曾出现大面积水华,就是当时湖泊总磷含量超过 0.025mg/L 所引起的,这就提示人们在阳宗海的环境保护中一定要控制磷的入湖,稍有不当就会造成严重的后果。

2.2.4 化学需氧量(COD)和生物需氧量(BOD) COD 和 BOD 是用来度量水样中有机污染物浓度的指标。COD 一般表示水样中有机污染物重量的 98%,BOD 反映的是微生物能够降解的那部分有机物的数量,一般 BOD<COD。滇池的 COD 和 BOD 大约是阳宗海的 7 倍,这说明滇池比阳宗海的水质质量相差很多。环境监测中心检测阳宗海水质符合地面水质 I、II 类标准,而滇池属于 IV 类,污染严重的水域如草海只符合 V 类标准。

2.2.5 叶绿素 a(Chl-a) 叶绿素 a 是普遍存在于所有浮游植物体内的一种主要光合色素,近几十年来已被广泛用作衡量浮游植物生物量的一种重要指标。Seirgensew^[4]根据叶绿素 a 含量对湖泊的营养类型进行划分,含量在 0.0003~0.003mg/L 之间的属于贫营养化湖泊,0.003~0.015mg/L 间的是中营养化湖泊,而 0.015~0.5mg/L 之间的属于富营养化湖泊。从统计结果分析,阳宗海叶绿素含量 0.002mg/L,是贫营养化湖泊,而滇池为 0.171mg/L,是富营养化湖泊。叶绿素 a 含量受到种群密度影响大,而这种影响又受到其它生物的(如种类组成)和非生物的(如营养水平、光照强度、水温等)因素的制约。阳宗海中浮游植物种群密度和营养水平都比较低,即使光照强度和水温与滇池相差不大,但其叶绿素 a 含量还是很低。而滇池有适宜的环境(光照、

温度等)和丰富的营养,其浮游藻类种类和数量都丰富,有 129 种,而阳宗海只有 47 种,其它高原湖泊如洱海 103 种、抚仙湖 42 种也不及滇池种类多。在滇池中占优势的是绿藻、蓝藻和硅藻,而阳宗海中主要是鱼类最喜欢的食料——绿藻和硅藻占优。

2.2.6 PNSB 数量和分布 滇池中的 PNSB 数量(76.9 ± 6.94 cells/ml)比阳宗海(6.0 ± 0.18 cells/ml)多 10 倍以上,可以初步得出如下结论:PNSB 在富营养化湖泊中数量要远远多于贫营养型湖泊(图 3);在同一湖泊中,温度高的水域比温度低的水域 PNSB 数量多,污染程度高的比污染程度低的水域 PNSB 分布多,溶解氧含量低的水层比含量高的水层中 PNSB 数量多。

2.3 阳宗海和滇池中 PNSB 种群结构的差异

2002 年度平水期在对阳宗海和滇池 PNSB 进行调查研究时,从阳宗海分离、纯化并鉴定 PNSB71 株,而从滇池中分离到 37 株。阳宗海中的 PNSB 中红假单胞菌属(*Rhodopseudomonas* sp.)和红细菌属(*Rhodobacter* sp.)是优势种,分别占总数的 59.2%和 36.6%,也有少数的红螺菌属(*Rhodospirillum* sp.),占 4.2%;滇池中除红假单胞菌属占 62.2%外,还有 27.0%的红微菌属(*Rhodomicrobium* sp.)PNSB 和 10.8%的红螺菌属。

红假单胞菌是自然界中分布最广泛的 PNSB,一般在暴露于光的泥和水中都有其存在,在阳宗海和滇池中也不例外广泛分布,是优势种;红螺菌是淡水菌种,但是由于其生长需要生长因子,所以在湖泊中数量就相对少;阳宗海和滇池中不同的是红细菌和红微菌。从属的特征看来,两者最大的区别在于形态和是否有特征性的生长周期,在见光的泥和水中都应该有分布。而从我们的结果看来,红细菌只在阳宗海中分布而红微菌只在滇池分

布,可能是因为两个湖泊的营养化程度不同,红细菌可以利用更广泛的有机质但可能耐污性能不强,而红微菌生长需要丰富的营养且可以耐受一定的污染。具体原因还有待以后进一步的研究。

3 讨论

(1)高原湖泊由于保存着大量的古深海大洋地质、生物遗迹和冰川、造山运动遗迹和广泛的冰川及冻土地貌发育,展示着最集中的第 3 期冰川地质遗迹,近年来越来越被世界所关注。高原湖泊的特点是海拔高,光照充足,湖区气候温暖干燥,年降水量不大,湖水冬季不结冰,湖泊水位年变化幅度小。滇池和阳宗海是两个典型的高原湖泊,虽然地处同一纬度,有着相似的气候条件和海拔,但因为所属水系和人为破坏程度的差异,两湖各理化因子截然不同,其中分布的各生物种群也有着显著差异。实验证明,PNSB 类群的数量与湖泊营养化程度呈一定相关性,其反映水质状况与化学监测结果一致,研究水体中的 PNSB 对环境监测和开发高原湖泊中新的微生物资源都有深刻的意义。

(2)滇池和阳宗海中的浮游动物、生物量等因子也有显著差异。据报道^[5],滇池中浮游植物生物量为 98.8 mg/L,阳宗海仅有 1.51 mg/L;滇池中共有 109 种浮游动物,底栖动物主要为摇蚊幼虫和水蚯蚓(此两种生物为评价富营养化程度的指示物),腹足类和瓣鳃类也占有一定比例,而阳宗海中介壳生物腹足类和瓣鳃类十分罕见,比抚仙湖的种类还少;滇池共有鱼类 27 种,阳宗海中鱼类资源贫乏,且近年来湖中鱼类结构不合理,土著鱼类金线鱼、宜良白鱼、阳宗白鱼和云南青鱼已经很少见到了。表明阳宗海水质有恶化的趋势,应以滇池为鉴,及时制订合理的对策来防止其快速营养化,保存高原湖泊中不多的几方“净土”。

(3)运用统计学方法,借助计算机,可以迅速处理实验数据,结果清晰可靠,是研究微生物生态的一种好方法。

References:

- [1] Madigan M T, Martinko J M, Parker J. *Brock Biology of Microorganisms*, 8th ed. Beijing: Science Press, 2001. 1~30.
- [2] No. 2 Edit Office. *Water Quality Analysis*. Beijing: Standards Press of China, 2001. 1~65.
- [3] Liu R L. *Photosynthesis Bacteria and Their Applications*. Beijing: Chinese Agriculture Science and Technology Press, 1991. 34~70.
- [4] Liu J K. *Ecological Study of Donghu Lake(Two)*. Beijing: Science Press, 1995. 422~458.
- [5] Nanjing Institute of Geography and Limnology, Lanzhou Institute of Geology, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, et al. *Fault Lakes in Yunnan Province and Its Sediment*. Beijing: Science Press, 1989. 46~118.

参考文献:

- [1] 马迪根 M T, 马丁克 J M, 帕克 J. 微生物生物学(第 8 版). 北京: 科学出版社, 2001. 1~30.
- [2] 中国标准出版社第二编辑室. 水质分析方法. 北京: 中国标准出版社, 2001. 1~65.
- [3] 刘如林. 光合细菌及其应用. 北京: 中国农业科技出版社, 1991. 34~70.
- [4] 刘建康. 东湖生态学研究(二). 北京: 科学出版社, 1995. 422~458.
- [5] 南京地理与湖泊研究所, 兰州地质研究所, 南京地质古生物研究所等. 云南断陷湖泊与沉积. 北京: 科学出版社, 1989. 46~118.

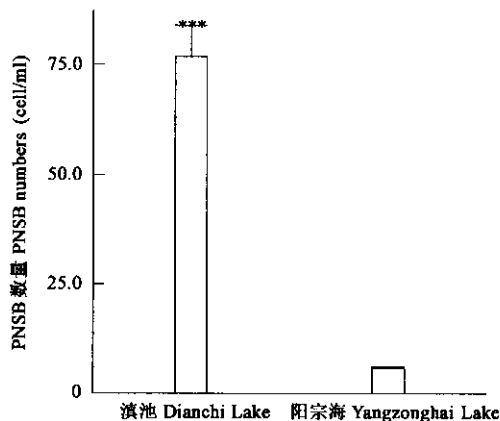


图 3 阳宗海和滇池中 PNSB 数量的差异

Fig. 3 Variations of PNSB between Yangzonghai Lake and Dianchi Lake