

城市河流的微生物生态研究*

赵 荫 薇

(中国科学院南京地理研究所, 南京)

蔡妙英 钱 兵** 王大帮

(中国科学院微生物研究所, 北京)

水域的有机物质和水温对微生物的数量和种群分布有着密切的相关性。有机污染物数量愈多, 细菌数量也多; 对水温影响也很明显, 一般夏季比冬季细菌要高十至几万倍。微生物区系也随污染的程度发生变化, 例如在严重污染带 (BOD 在 $10-50\text{mg/L}$ 以上), 细菌以芽孢菌、肠杆菌科和假单胞菌等种群为主; 真菌以地霉、黄曲霉、棕曲霉、毛霉、青霉等为主。而在寡污染带 (BOD 在 $2.5-1.0\text{mg/L}$ 以下), 细菌以对有机物质分解能力强的假单胞菌(特别是施氏假单胞菌)和无色杆菌等氧化菌群为主; 真菌以青霉、毛霉和曲霉为主。

关键词 微生物区系; 污染程度; 微生物生态

近年来, 对某市及其外围水系河流中微生物生态作了初步探讨和研究。结果表明, 微生物在各河段中的生态变化特征与其所生存的水环境污染程度有密切关系。某些工业废水和生活污水, 未经任何处理直接排入河道, 城市河流尤其是内城河几乎成了油污塘, 并严重威胁到城市饮用水源, 危及外围地区水体。目前, 水体中重金属污染虽有逐年减轻的趋势, 但有机污染却逐年上升。本研究主要调查以有机营养废水污染为主要成分的城市河流微生物生态分布。从生态学观点出发, 为综合防治城市水污染提供基本资料, 有利于增进健康和发展旅游事业。

1982—1983 年, 在该市开展了两次调查, 分析了该市内城河及外围水体中细菌(本文指异养细菌)、真菌的数量分布和种群组成, 所得结果与同步分析的水环境诸因子 (BOD、水温、DO、pH、SS 等) 间的关系运用统计学方法进行相关分析, 找出了水中微生物的时空分布规律。

材料和方法

(一) 样品的采集

两次调查分别在 1982 年 9 月和 1983 年 2 月进行。调查范围以某市为中心, 行程约 12,000 公里, 被调查与监测河道总长度约 200 公里, 折合水面积约 30 平方公里, 占所研究地区水面的 $1/4$ 左右。设置采样点 51 个。

取水面下 25cm 处的水样, 按常规方法无菌操作, 并在 6 小时内送实验室立即分离和培养微生物。

用于 BOD 等理化因子的分析样品与微生物试样同时采集和测试。

(二) 微生物的计数、分离和鉴定

1. 样品中细菌和真菌的计数方法均采用平皿倾注菌落计数法, 取平行样品的平均值。大肠杆菌群采用多管发酵法, MPN 法^[1]。

2. 分离细菌系用营养肉汤琼脂培养基的平板法, 挑取优势菌落, 以烧针划线法连续分离 3

本文于 1985 年 1 月 22 日收到。

* 陈丽清同志参加此项工作, 特此致谢。

** 浙江省微生物研究所进修人员。

次，挑取单菌落，作为鉴定的纯培养物。分离真菌系用马铃薯蔗糖琼脂培养基。

3. 按《一般细菌常用鉴定方法》^[1]鉴定细菌，根据 Bergey 系统定名^[3,4]。根据《芽孢杆菌属》^[1]鉴定芽孢菌并定名。按《常见与常用真菌》^[6]中的方法鉴定真菌。

(三) BOD 和其他理化因子

均按常规方法，水温、pH 和透明度等试验在采样现场进行。

(四) 统计分析

将调查所得的微生物数量和 BOD 资料进行相关分析。

结 果

(一) 微生物数量的时间分布, 以及与水中 BOD 含量的关系

1. 微生物分布与 BOD 的相关性: 有

表 1 BOD 对微生物数量分布的回归分布

Table 1 Analysis of regression of BOD to distribution of the amount of microorganisms

	n (组 群) Number of group	r (相关系数) Correlations coefficient	α
BOD 对细菌数 BOD to the amount of bacteria	25	0.921	>0.01
BOD 对大肠菌数 BOD to the amount of enterobacteria	25	0.656	>0.01
BOD 对真菌数 BOD to the amount of fungi	25	0.681	>0.01

注: 当自由度 $= n - 2 = 23$ 时, $r_{0.01} = 0.505$ 。

表 2 重污染带水域细菌数量的季节差异(细菌数 $10^4/\text{ml}$)

Table 2 Seasonal difference of bacterial amount in seriously polluted water
(bacterial number $10^4/\text{ml}$)

季节 Season	采样点 Sampling place										
	43	44	45	46	47	48	49	41	42	30	6
冬季 Winter	1.7	410.0	160.0	144.0	170.0	27.0	22.0	56.0	0.96	23.0	0.99
夏季 Summer	26,000.0	1,500.0	40,000.0	330.0	15,000.0	22,000.0	260.0	500.0	3,100.0	230.0	930.0
数量级差 Difference in amount (in log)	4	1	2	0.23	2	3	1	1	4	1	3

机污染物含量愈高,则微生物数量也愈多。对结果进行了回归分析, r 在 $\alpha > 0.01$ 水平,相关系数十分显著,从生物统计学的观点看都有意义(表 1)。

2. 微生物数量的时间分布: 当营养因子基本相似条件下,冬季 ($5-8^{\circ}\text{C}$) 和夏季 ($28-30^{\circ}\text{C}$) 细菌数量出现明显的季节差异 (表 2)。除个别点在同一数量级内,其它采样点夏季大约比冬季要高 1—4 个数量级。

(二) 微生物种群、数量的空间分布

以 BOD 来划分污水生物带,将城市河流内、外水系各采样点进行归类观察,结果表明: 微生物的种群分布与水体 BOD、微生物数量分布完全吻合(见表 3、4)。

表 3 水中细菌的分布
Table 3 Distribution of bacteria in water

不同程度的污水带 Rank of pollution	严重污染 Serious pollution	α -中等污染 α -Moderate pollution	β -中等污染 β -Moderate pollution	轻污染 Less pollution
BOD (mg/L)	10.0—>50.0	5.0—10.0	2.5—5.0	<1.0—2.5
细菌年平均值 (万/ml) Bacteria, year average (10 ⁴ /ml)	141—20,080	10.3—43	1.1—5.8	0.026—0.126
种群组成 Microbial composition	蜡状芽孢杆菌 (<i>B. cereus</i>) 巨大芽孢杆菌 (<i>B. megaterium</i>) 勒氏假单胞菌 (<i>Pseudomonas lemoignei</i>) 类产碱假单胞菌 (<i>Ps. pseudoalcalgenes</i>) 棒状杆菌 (<i>Corynebacterium</i> sp.) 变形杆菌 (<i>Proteus</i> sp.) 气单胞菌 (<i>Aeromonas</i> sp.) 欧文氏菌 (<i>Erwinia</i> sp.) 沙门氏菌 (<i>Salmonella</i> sp.)	蜡状芽孢杆菌 (<i>B. cereus</i>) 枯草芽孢杆菌 (<i>B. subtilis</i>) 短小芽孢杆菌 (<i>B. pumilus</i>) 勒氏假单胞菌 (<i>Ps. lemoignei</i>) 变形菌 (<i>Proteus</i> sp.) 欧文氏菌 (<i>Erwinia</i> sp.) 沙门氏菌 (<i>Salmonella</i> sp.)	枯草芽孢杆菌 (<i>B. subtilis</i>) 假单胞菌 (<i>Pseudomonas</i> sp.) 棒状杆菌 (<i>Corynebacterium</i> sp.) 微杆菌 (<i>Microbacterium</i> sp.) 施氏假单胞菌 (<i>Ps. stutzeri</i>) 无色杆菌 (<i>Achromobacter</i> sp.) 沙门氏菌 (<i>Salmonella</i> sp.) 欧文氏菌 (<i>Erwinia</i> sp.)	假单胞菌 (<i>Pseudomonas</i> sp.) 无色杆菌 (<i>Achromobacter</i> sp.) 微球菌 (<i>Micrococcus</i> sp.)
大肠菌群超环境标准率(%) % of coli form bacteria more than the environment standard	100	100	50	0
沙门氏菌检出率(%) Detection ratio of <i>Salmonella</i>	82	51.5	25	0
分布水域 Distribution in water	82% 分布在内城河道, 12% 分布在水围水系河道 82% is distributed in rivers in the city 12% is distributed in rivers around the city	分布在外围水系河道 distributed in the surrounding water system	分布在距离城区较近的进水河道 distributed in the rivers farther from the city reservoir	对照水域 as control water

表4 水中真菌的分布

Table 4 Distribution of fungi in water rank of pollution

不同程度的污水带 Rank of pollution	严重污染 Serious pollution	α -中等污染 α -Moderate pollution	β -中等污染 β -Moderate pollution	轻污染 Less pollution
BOD (mg/L)	10.0—>50.0	5.0—10.0	2.5—5.0	<1.0—2.5
真菌年平均值 (个/ml) Fungi, year average, (10°/ml)	30—>40	20—30	10—20	0—<10
种群组成 Microbial composition	地霉 (<i>Geotrichum</i> sp.) 青霉 (<i>Penicillium</i> sp.) 毒青霉 (<i>P. toxicarum</i>) 冰岛青霉 (<i>P. islandicum</i>) 黄曲霉 (<i>Aspergillus flavus</i>) 杂曲霉 (<i>Asp. versicolor</i>) 黑曲霉 (<i>Asp. niger</i>) 烟曲霉 (<i>Asp. fumigatus</i>) 棕曲霉 (<i>Asp. ochraceus</i>) 棒曲霉 (<i>Asp. clavatus</i>) 绿色木霉 (<i>Trichoderma viride</i>) 毛霉 (<i>Mucor</i> sp.)	毛霉 (<i>Mucor</i> sp.) 高大毛霉 (<i>M. mucedo</i>) 绿色木霉 (<i>T. viride</i>) 青霉 (<i>Penicillium</i> sp.) 黄曲霉 (<i>Aspergillus flavus</i>) 棕曲霉 (<i>Asp. ochraceus</i>) 地霉 (<i>Geotrichum</i> sp.)	青霉 (<i>Penicillium</i> sp.) 黑曲霉 (<i>Asp. niger</i>) 棕曲霉 (<i>Asp. ochraceus</i>) 绿色木霉 (<i>T. viride</i>)	青霉 (<i>Penicillium</i> sp.) 毛霉 (<i>Mucor</i> sp.) 曲霉 (<i>Aspergillus</i> sp.)
分布水域 Distribution in water	同表 3 same as the table 3			

讨 论

1. 总的看来,城市河流受有机污染后含有大量有机物质,对微生物的数量与种群分布有明显的影响。细菌和真菌的数量一般以人口密集的内城河最高,内城河的上游水系中微生物较下游少,离岸愈远的大水面中的微生物也愈少。从种群组成看,在内城河道的严重污染区,真菌有地

霉、青霉和曲霉,细菌有芽孢菌、大肠菌群、假单胞菌等;而在距城较远的轻污染区和对照的水域区中,细菌以假单胞菌、无色杆菌和微球菌等为主。这些菌对有机物分解能力强,有的可利用 40—50 种有机物质,对河流的净化能起一定的作用。由于经常进行着自净作用,有机物被分解,水中细菌数量和种群也大量减少,没有检出肠道致病菌。而大部分被污染的城市河流,致病

菌的检出率相当高。

2. 从生态角度看,水中正常菌群包括细菌、真菌、原生动物及其他微生物,它们之间保持着动态平衡。受污染水体,微生物生态也相应变化(表 3、4)。污染程度重的水体种群复杂,出现大量大肠菌群和某些致病菌,这类特异菌群的存在,给人类健康带来很大威胁,使水质卫生水平下降。大肠菌群在城市内城河及大部分外围水系中得以存活并大量繁殖,表示这些水体近期受阴沟中有机物质严重污染,它们与肠道致病菌出现的机率有明显的相关性。据报道,1升水中当大肠菌群在1万—10万个时,沙门氏菌出现机率为29%,在10万个以上则沙门氏菌出现机率为40%,本文研究结果与此基本相似。微生物分布情况表明,有机污染引起河流微生物污染是十分严重的。其主要原因是卫生设施不配套,现有设施储存居民粪便量十分有限。若遇雨天,农忙,农船不能进城,大量粪水直接排入河中,造成水源严重污染。

3. 分离出的几种优势真菌菌群为地霉属(*Geotrichum*)、黄曲霉(*Aspergillus flavus*)、棕曲霉(*Asp. ochraceus*)、烟曲霉(*Asp. fumigatus*)、冰岛青霉(*Penicillium islandicum*)、绿色木霉(*Trichoderma viride*)、

毛霉属(*Mucor*)、青霉属(*Penicillium*)等。这类菌都是引起有机物腐败的因素,其中有的菌已知对人类有害,少数种群(如*Geotrichum*、*Asp. flavus*等)还能产生毒素。虽然还没有证明它们与人类疾病的直接关系,但它们的检出,在评价水质方面有重要意义。

4. 关于微生物种群分布的结果与已发表的资料基本相符^[7]。但由于缺乏历史资料 and 同类型水体对比资料,以及所研究的河流污染范围广,所采集的对照点样品都不够理想,给研究工作带来一定困难,有待今后进一步积累资料,深入研究。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院林业土壤研究所:《土壤微生物分析方法手册》,科学出版社,北京,1960。
- [2] 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》,科学出版社,北京,1978。
- [3] Buchanan, R. E. and N. E. Gibbons: *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 8th ed., Baltimore, 1974.
- [4] Breed, R. S. et al.: *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 7th ed., London, 1957.
- [5] Gordon, R. E. et al. (蔡妙英等译):《芽孢杆菌属》,农业出版社,北京,1983。
- [6] 中国科学院微生物研究所《常见与常用真菌》编写组:《常见与常用真菌》,科学出版社,北京,1973。
- [7] 马文漪等:南京大学学报,第4期,第905页,1982。

A PRELIMINARY STUDY ON MICROBIAL ECOLOGY OF THE RIVER IN CITY

Zhao Yinwei

(Nanjing Institute of Geography, Academia Sinica Nanjing)

Cai Miaoying Qian Bing Wang Dasi

(Institute of Microbiology, Academia Sinica, Beijing)

The number of microorganisms and variation of microbial flora are tightly influenced by the amount of the organic material in the river and temperature of the water. The more pollution of the water is, the more microorganisms exist in it. The influence of temperature of water on the variation of amount of microorganisms is obvious also. In general speaking, the bacteria number is 10^4 to 10^6 folds higher in Summer than that in Winter. In the seriously polluted water body (BOD more than 10—50 mg/L), members of *Bacillus*, Enterobacteriaceae and *Pseudomonas* are the predominate bacteria, and *Aspergillus flavus*, *A. och-*

raceus and some species of *Geotrichum*, *Mucor* and *Penicillium* are the main members in fungal flora. In slightly polluted water body (BOD lower than 2.5—1.0 mg/L), *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas* spp. and *Achromobacter* spp., which are oxidative bacteria with strong ability degrading organic material, are predominate bacteria and *Penicillium* spp., *Mucor* spp. and *Aspergillus* spp. are the main members in fungal flora.

Key words

Microbial flora; Intensity of pollution; Microbial ecology