

ISO-BMWP底栖动物监测法在中国河流有机污染评价中的修正及应用^{*}

刘 玉¹, VERMAAT J E², RUYTER E D de², KRUIJF H A M de²

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州510275;

2. 国际水利与环境工程研究院, Delft, 荷兰)

摘 要: 河流有机污染是我国目前特别严重的环境污染问题之一。可以采用化学或生物监测的方法进行评价。首次采用大型底栖动物 BMWP (Biological Monitoring Working Party) 系统方法, 对广州珠江前航道、西航道和流溪河下游段共3个河段进行有机污染生物监测评价。结果显示: 底栖动物在3河段间分布确有显著性差异, 根据修正的 BMWP 分数可以判断流溪河水质相对较好, 水质级别相应于中国地表水环境质量标准 IV~V 级, 西航道和前航道水质级别均为 V 级。通过测试这一方法能成功地应用在珠江及流溪河, 且修正后的 ISO-BMWP 法可以较好地匹配于我国地表水5级评价系统, 因此, 初步认为修正后的 ISO-BMWP 系统可以成为一个和化学监测互补的好方法, 从而应用于中国河流的生物监测评价。

关键词: 大型底栖动物; ISO-BMWP 系统; 修正; 有机污染; 水质评价; 河流

中图分类号: X826 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 04-0102-04

1 引 言

1.1 大型底栖动物生物监测理论和 ISO-BMWP 系统

水质评价有两类方法: 化学监测和生物监测。化学评价的主要不足是不能提供污染对生物体质量或水体生态系统健康直观的信息。因此, 为了获取水域较完整的水质状况评估, 生物监测是必须的。其主要特点如下: ①生物群落一般整合了较长时段的环境条件, 需要的采样频率可以较低, 而化学监测一般是采样时刻的静态快照, 需要较高的采样频率; ②地表水中实际存在的物质种类远远超出实际可以测出的物质种类, 且对于多种(毒性)物质, 还没有相应的化学分析方法或者是环境中的浓度低于检测限而漏检, 因此化学监测一般是低估了水质真实污染状况; ③涉及到美学、娱乐和生态特性的水质目标和使用性质只能用生物监测的方法获得满意的结果。水质的化学和生物评价经常是用作不同的目的, 所以两种方法经常被认为是互补的而不是相互排斥的。

对于生物监测, 大型底栖动物经常被认为在水质评价中是一类很好的生物监测者, 特别是在河流等流动水体生态系统中, 理由是: 相比于可用于水生生物群落监测的其它生物类群, 如微生物、原生动物、浮游藻类、浮游动物、底栖植物、中型底栖

动物、游泳生物等, 大型底栖动物具有显著的优点: ①在溪流和河流中具有类群和生境的多样性, 总是数量和种类组成中较丰富的, 因此可以预测可获得较多的代表性指示生物和代表性生境, 可以最确定地指示采样断面的污染状况; ②在底层生存, 也即在河床上有较固定的位置, 每日 24 h 内都会受到水流影响, 本身对环境变化(如水体溶解氧)反映敏感, 因此实际上它们是非常好的水质综合监测生物; ③世代时间较长(一般多于几星期和少于一年), 因此可以指示一段时间的环境综合影响, 成为非常好的水质综合监测生物; ④较易采样、固定和分类分析, 具有较好的实验可能性。因此, 大型底栖动物是一类, 特别是在流动水体中, 非常有用的生物监测者和指示生物类群。在 100 多种现有的生物评价方法中, 2 b 是基于大型底栖动物的生物监测评价^[1-9]。

早在 1902 年, 第一个化学和生物监测系统相结合的评价方法出现在欧洲。此后, 发展了许多生物评价系统, 被应用于许多国家的多种水体^[3,4]。1978 年, 大型底栖动物的 BMWP 分数系统首次在英国提出并得到发展, 随后, 1979 年修正的 BMWP 分数系统获得 ISO 通过^[10], 成为应用大型底栖动物评价水质的 ISO 生物监测方法。

BMWP 是 Biological Monitoring Working Party 的缩

* 收稿日期: 2003-09-24

基金项目: 世界银行基金 JJ/WBGSP (1999-2000) 资助项目

作者简介: 刘玉 (1963 年生), 女, 副教授; E-mail: eeslyu@zsu.edu.cn

写, 这一系统的特点是采用科级水平的分类和计分系统进行鉴定分析。根据大型底栖动物的特性, 不同的科级生物都给予 1—10 之间的分数。最敏感的种类, 如蜉蝣若虫给 10 分; 中等敏感的种类, 如软体动物给 3 分; 最不敏感的种类, 如蠕虫给 1 分。BMWP 分数即是将样品中每一科的得分相加^[10, 11]。出现的种类类群数代表着群落的多样性, 有机体出现的所有的科的敏感性即称之为 ASPT 分数 (the average score per taxon), 即由 BMWP 分数除以有机体出现的科数^[3]。

BMWP 系统的显著优点是: ①相比于其它生物类群, BMWP 系统可以特别好地以整合的方式反映有机污染水平; ②相比于其它生物指数和生物计分法, BMWP 计分系统可以较好地与化学评价方法相互补; ③只需科级水平的鉴定, 因此更易为非专家所应用, 同时省时省力, 并且又可获得满意的结果; ④这一系统已得到许多国家的研究和成功应用, 特别是在欧洲多个国家; ⑤ 1979 年 BMWP 系统成为 ISO 生物监测方法。

1.2 目的

由于 BMWP 方法是评价河流有机污染的 ISO 标准方法, 在中国河流有机污染几乎又是最严重的环境污染问题, 而我们国家到目前尚未见有学者进行过这一研究。因此, 本研究的主要目的是首次引入 BMWP 系统来评价中国河流的水质污染状况。这是首次在中国南方的河流来验证及应用这一评价系统, 研究中并根据中国的情况对该系统提出了相应的修正, 使之与中国地表水环境质量标准 (EQSSW) 相匹配。因此, 有鉴于此, 它将带来一个全新的河流污染评价的生物监测方法并希望最终可能对中国的生物监测的方法带来进步。

2 研究方法

2.1 研究水域

自 20 世纪 80 年代开始珠江广州河段就已受到污染, 有机污染问题在最近的 20 多年日趋严重^①。流溪河是个相对较小的河流, 是广州市的饮用水源保护区。由于珠江广州河段和流溪河在不同的河段污染水平不一^[12], 因此, 我们的研究水域也划分成 3 个不同的河段。

河段 I (1—4 号), 为流溪河的最下游段, 代表了相对清洁的河流段; 河段 II (5—8 号), 从鸦岗到黄沙河段, 为珠江西航道, 中等污染河段; 河

段 III (9—12 号), 从黄沙到员村河段, 为通过广州市区的珠江前航道, 为重污染河段。从 1—12 号长约 38 km (见图 1)。

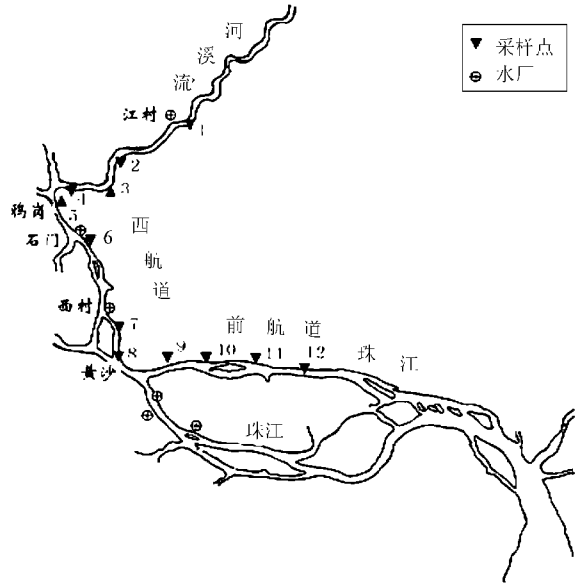


图 1 珠江和流溪河三河段的划分和采样点图示

Fig 1 Illustrations of three river sections and sampling points in the Pearl River and the Liuxi River

2.2 采样时间和方法

每河段 4 个样点用采泥器采样底栖动物, 每点都重复采 4 个样品以减小自然微生境的影响^[12]。采样时间为 2000 年 1 月, 共采 48 个样品。

2.3 BMWP 系统方法和计算

根据 BMWP 方法及图谱^[10, 11]来鉴定每样品的底栖动物, 并打分和统计 BMWP 分数和 ASPT 分数。

2.4 BMWP 评价系统修正

原 BMWP 系统为一个 11 级水质评价表, 适用于欧洲的“定性”水质评价。本文作者认为我们中国在水环境工作中比欧洲等国家的一大优点是水质均进行了级别划分, 因此不仅在水化学方面较易进行“定量”比较, 而且与生物监测也较易匹配进行定量分析与比较。因此为使这一系统可匹配于我国地表水环境质量标准 (EQSSW), 提出了一个修正的 BMWP 系统, 即 BMWP 系统五级水质评价表, 即将原表进行简化及定量化, 并应用于本研究 (如表 1)。

2.5 数据处理和分析

为了比较大型底栖动物和 BMWP 评价方法在 3 河段的显著性差异分布, 采用了单因子的方差分析 (Anova) 并 *t* 检验的方法。

①广东环境保护局. 广东环境质量报告. 广东环境保护局, 1991—1999.
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

表 1 原 BMWP 表和匹配于中国地表水环境质量标准（EQSSW）的修正的 BMWP 系统表¹⁾

Tah 1 Fomer BMWP table and modified BMWP system table that corresponds with EQSSW

原 BMWP 系统							修正的 BMWP 系统			
原 BMWP		原 ASPT		水质判断			BMWP		ASPT	
分数	分级	分数	分级	分级平均	指数	水质等级	分数	分级	分数	分级
121 ⁺	7	5.0 ⁺	7	6 ⁺	A ⁺⁺	优	81~100 ⁺	I	4.1~4.4 ⁺	I
101~120	6	4.5~4.9	6	5.5	A ⁺	优	51~80	II	3.6~4.0	II
81~100	5	4.1~4.4	5	5	A	优	25~50	III	3.1~3.5	III
51~80	4	3.6~4.0	4	4.5	B	良好	10~24	IV	2.1~3.0	IV
25~50	3	3.1~3.5	3	4	C	良好	0~9	V	0~2.0	V
10~24	2	2.1~3.0	2	3.5	D	中等				
0~9	1	0~2.0	1	3	E	中等				
				2.5	F	差				
				2	G	差				
				1.5	H	很差				
				1	I	很差				

1) EQSSW: 地表水环境质量标准

3 结果与讨论

3.1 生物特征

流溪河第一个样点（1 号），只有中等 BMWP 分数（>2）的软体动物出现，平均密度为 545 个/m²。在 2 号和 4 号，也有软体动物存在，但数量降低。除 1 号无低 BMWP 分数（≤2）的颤蚓类出现，在流溪河 2 号以下河段均发现有低 BMWP 分数的颤蚓类、红色和非红色摇蚊幼虫存在。在西航道，颤蚓类密度提高到最大为 3 196 个/m²（7 号），西航道 6 号站，其中有软体动物 75 个/m²。可能由于前航道的高污染和低氧可获性，大型底栖动物均由低 BMWP 分数的耐低氧的颤蚓类为优势，密度在 136~1 045 个/m²。由于底质或污染太剧的原因，9 号中无底栖动物存在。前航道完全没有中等 BMWP 分数的底栖动物存在（见表 2）。

表 2 珠江和流溪河底栖动物平均密度分布

Tah 2 Average densities of macrofauna in

the Pearl River and the Liuxi River

个·m⁻²

BMWP 分数	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号
≤2	0	348	30	197	2000	681
>2	545	105	0	30	0	90
BMWP 分数	7 号	8 号	9 号	10 号	11 号	12 号
≤2	3196	1431	0	136	610	1045
>2	0	0	0	0	0	0

利用 Anova 及多重比较及检验法比较与 t 流溪河、西航道和前航道 3 河道的总数 17.7±7.0^a, 121.7±34.16, 26.3±159^c（P=0.014），证明 3 河段底栖动物密度确有显著性差异。

3.2 水质评价与比较

3.2.1 水化学与大型底栖动物评价结果 以溶解氧(DO)、氨氮(NH₄⁺-N)、亚硝氮(NO₂⁻-N)、硝氮(NO₃⁻-N)、磷酸盐(PO₄³⁻-P)、五日生化需氧量(BOD₅)、高锰酸盐指数(COD_{Mn}) 7 项常用水质指标，采用 EQSSW 法对水质进行评价，同时用 BMWP 系统法对 3 个河段水质进行评价，结果见表 3。

从水化学 EQSSW 评价可以看出，流溪河、西航道 NH₄⁺-N 污染均在 EQSSW 的 V 级以上，前航道 NH₄⁺-N、BOD₅ 超 V 级以上污染；BMWP 评价结果，特别是 ASPT 分数，以及从生物组成上看，流溪河水质相对好一些，水质级别可划为 IV—V 级，西航道和前航道水质级别都可定为 V 级。

3.2.2 评价结果与比较 通过对 BMWP 评价结果与化学评价结果相比较，可以看出化学评价结果较散，水质级别从 II—V，以及 V 级以上，这是由于不同的水质指标得到的结论不一。BMWP 评价结果与化学评价结果总体来说较一致，不会出现大偏差。说明 BMWP 系统，特别是 ASPT，可以成功地在珠江和流溪河中应用。因此 BMWP 系统分数方法是可行的并且修正后的 BMWP 系统和我国的地表水环境质量标准很好地吻合。

4 结论与建议

河流有机污染可用化学监测或生物监测方法来评价，在珠江和流溪河中两种方法都是可接受的。对于生物监测，BMWP 分数系统确可用于珠江和流溪河的生态评价。因此可以说，ISO-BMWP 系统法在我国也是可以得到很好的应用的，这一生物监测方法不仅需要而且在水质判断上也会起着重要作用。它可在非常短的时间内（20 min）即刻在采样

表 3 用水质 EQSSW 法和修正的 BMWP 系统法得出的水质级别评价

Tab 3 Water quality classes evaluation by water chemical factors EQSSW method and BMWP system method

河流断面	水化学 EQSSW 评价	BMWP		ASPT ¹⁾		水质、生物综合 EQSSW 评价
		分数	EQSSW	分数	EQSSW	
流溪河	II—III—IV—V (COD _{Mn}), > V (NH ₄ ⁺ —N)	5.38	V	2.41	IV	IV—V
西航道	II—III—IV—V (COD _{Mn}), > V (NH ₄ ⁺ —N)	3	V	1.31	V	V
前航道	II—III—IV—V (COD _{Mn}), >>V (NH ₄ ⁺ —N, BOD ₅)	1	V	1	V	V

1) ASPT 显示断面差异在 $P<0.05$ 。

位置上判断该处水体的水质状况,从而可以快速地处理和解决水污染问题。建议同行专家在不同的水体做进一步的研究和修正,以使 BMWP 系统在其它水体,如湖泊或水库等静水水体中也能得到很好地推广和应用。

参考文献:

[1] ABEL, P D. Water pollution biology[M]. Chichester: Ellis Horwood Limited, 1989.

[2] ADMIRAAL W, van der VELDE G, SMIT H et al. The rivers Rhine and Meuse in the Netherlands: Present state and signs of ecological recovery[M]. Hydrobiologia, 1990, 265: 97—128.

[3] ARMITAGE P D, MOSS D, WRIGHT J K, et al. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites[J]. Water Res. 1983, 17: 333—347.

[4] FRIEDRICH G, MULLER D RHINE. WHITON B A. Ecology of European Rivers[M]. Oxford: Blackwell Sci Pub, 1984.

[5] GREEN R H, VASCATTO G L. A method for the analysis of environmental factors controlling patterns of species composition in aquatic communities[J]. Water Res. 1978,

12: 583—590.

[6] HELLAWELL J M. Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management // MELLANBY K. Pollution Monitoring Series[C]. London: Elsevier Applied Sciences Publishers, 1986.

[7] KRUIJF H A M, de ZWART D de, VISWANATHAN P N R, et al. Manual on Aquatic Ecotoxicology [M]. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988.

[8] WALLEY W J, HAWKES H A. A computer-based reappraisal of the biological monitoring working party scores using data from the 1990 river quality survey of England and Wales[J]. Water Res. 1996, 30 (9): 2086—2094.

[9] 杞桑, 林美心, 黎康汉. 用大型底栖动物评价珠江广州市河断水污染[J]. 中国环境科学, 1992, 2(3): 181—189.

[10] ISO-BMWP. Assessment of the Biological Quality of Rivers by a Macroinvertebrate Score. ISO/TC 147/SC 5/ WG 6/N 5. Geneva: International Organisation for Standardisation, ISO, 1979.

[11] CHAPMAN D. Water Quality Assessment: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring[M]. London: Chapman & Hall, 1992.

[12] 张志杰. 环境有机体的生物监测[M]. 北京: 煤矿工业出版社, 1990.

Modification and Application of Biomonitoring ISO-BMWP Method of Macrofauna in River Pollution Evaluation in China

LIU Yu¹, VERMAAT J E², RUYTER E D de², KRUIJF H A M de²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. IHE, Delft, The Netherlands)

Abstract: River pollution is one of the most serious environmental problems in China nowadays. It can be evaluated by chemical monitoring or by biomonitoring. For biological evaluations based on macrofauna, BMWP system method was first used in the Front and the West Channels of the Pearl River of Guangzhou and the lower part of the Liuxi River. The results show that three river sections are different in the distribution of macrofauna. According to the modified BMWP score, the Liuxi River has relatively good water quality and belongs to Class IV to V in EQSSW (the environmental quality standards for surface water of China), and the Front and the West channels belong to Class V. This work has shown that modified ISO-BMWP method can successfully be used in river pollution evaluation and it is in good correspondence with EQSSW. It could be concluded that the modified BMWP system could become a good integrated method with chemical monitoring, and could be used in river biological monitoring in China.

Key words: macrofauna; ISO-BMWP system; modified; organic pollution; water quality evaluation; rivers