

乌鲁木齐市地表水饮用水源地水体有机氯农药健康风险评价

郑江^{1,2}, 王灵², 刘宁², 蒋平安¹

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

2. 乌鲁木齐市环境监测中心站, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 为了解乌鲁木齐市地表饮用水源地水体中有机氯农药 (OCPs) 对人体产生的潜在健康危害风险, 从一号冰川、英雄桥、乌拉泊水库的 9 个采样点采集水样, 采用液液萃取-气相色谱/质谱法对其中的有机氯农药残留状况进行了测定, 水样中 9 种有机氯化物的总质量浓度为 15.1 ng/L~41.2 ng/L。应用美国国家环保局 (USEPA) 推荐的健康风险评价方法, 对乌鲁木齐市地表饮用水源地水体中有机氯农药通过食用途径进入人体的危害进行了风险计算和初步评价。结果表明, 各监测断面的致癌风险和非致癌风险低于 ICRP 和 USEPA 推荐的最大可接受风险水平, 初步认为目前乌鲁木齐市地表饮用水源地水体中有机氯农药不会对人体产生明显的健康危害。

关键词: 乌鲁木齐市; 饮用水源地; 有机氯农药; 健康风险评价

中图分类号: X32 021 文献标识码: C 文章编号: 1006-2009(2010)05-0026-05

Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Water of Urumqi Drinking Water Sources

ZHENG Jiang¹, WANG Ling¹, LIU Ning², JIANG Ping-an¹

(1. College of Pratacultural and Enviromental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830000 China; 2 Urumqi Enviromental Monitoring Center, Urumqi, Xinjiang 830000 China)

Abstract Organochlorine pesticides (OCPs) in water of Urumqi drinking water sources were determined by GC/MS with liquid-liquid extraction from 9 sampling sites which were located in Glacier No. 1, Yingxiong Bridge and Wulabai Reservoir to evaluate human beings health risk caused by OCPs pollution. Concentrations of OCPs in surface water samples ranged between 15.1 ng/L and 41.2 ng/L. Health risk from which OCPs entered the human body through Urumqi surface drinking water source was calculated for assessment using a method recommended by USEPA. Results showed that neither non-carcinogenic risk index nor carcinogenic risk index of the samples exceeded acceptable standard by ICRP and USEPA. OCPs in water of Urumqi drinking water sources did not cause obvious health hazards to human beings.

Key words Urumqi Drinking water source; Organochlorine pesticides; Health risked assessment

有机氯农药 (Organochlorine pesticides, 简称 OCPs) 是一类典型的由人类活动引起的在环境中常见的持久性有机污染物, 具有生物累积性、生物放大和“三致” (致癌、致畸、致突变) 作用^[1]。OCPs 在使用过程中, 通过各种途径进入环境, 使一些地区的水体、土壤等受到污染, 因此受到人们的普遍关注, 已被列入我国 68 种环境优先控制污染物黑名单之中, 更被《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》列为首批控制的 12 种化合物。我

国已从 1983 年停止生产和使用 OCPs, 有机氯农药的污染大幅度减少, 但近年的研究发现, 滴滴涕 (DDT)、六六六 (BHC) 在大多数农田土壤、水体、底泥、粮食、蔬菜、经济作物、果品、肉类、动植物以

收稿日期: 2010-04-08 修订日期: 2010-06-29

基金项目: 土壤学新疆维吾尔自治区重点学科和新疆维吾尔自治区
高校科学研究计划基金资助项目

作者简介: 郑江 (1976-), 男, 湖北通城人, 工程师, 在读硕士, 主要从事环境监测与评价工作。

及人体内均有检出^[2-5], 有机氯农药残留对生态系统及人体健康仍存在潜在的威胁^[6]。

健康风险评价 (Health Risked Assessment HRA) 是 20 世纪 80 年代以后兴起的狭义环境风险评价的重点, 它是以风险度作为评价指标, 把环境污染与人体健康联系起来, 定量描述污染对人体产生健康危害的风险^[7]。我国的健康风险评价工作开始于 20 世纪 90 年代初, 最初主要应用于核工业等领域^[8]。随着水污染越来越严重, 关于水环境的健康风险评价也越来越多, 主要集中于对地表水或污水回用的评价, 除了少量有关微生物所致健康危害的风险评价报道以外, 评价的污染物主要是化学污染物^[9]。近几年已有不少研究者开展了针对大气、土壤、食品中污染物的健康风险评价^[10-12]。

饮用水源地水体水质状况对人类的健康具有直接的影响, 对水源地水中有机氯农药污染状况的研究及健康风险评价具有重要意义。现以乌鲁木齐市唯一的地表水饮用水源地乌拉泊水源地为研究对象, 调查其水中的有机氯含量, 并应用美国国家环保局 (US EPA) 的健康风险评价方法对其进行健康风险的初步评价。

1 研究方法

1.1 研究区概况

乌鲁木齐市位于天山北坡中段、准噶尔盆地南缘, 地理位置为东经 $86^{\circ}37' - 88^{\circ}58'$, 北纬 $42^{\circ}45' - 44^{\circ}08'$, 年平均气温 7.6°C , 多年平均降水量 236 mm 。乌拉泊水库位于乌鲁木齐市河中游, 是乌鲁木齐河的拦河水库, 距乌鲁木齐市南约 13 km , 总库容量 $7 \times 10^7\text{ m}^3$, 是乌鲁木齐市的唯一一个水库型地表饮用水水源地, 1961 年建成并投入运行, 目前供水人口近 100 万, 占乌市总人口数 45% 以上^[13]。乌拉泊水库所在区域被定为一级水源保护区, 在该区域内主要有 5 条洼地和深沟通向水库, 在沟底和洼地低处有泉水溢出汇集流向水库。青年渠和乌鲁木齐河上游除一级保护区外到源头的部分为二级水源保护区, 乌拉泊水库的上游地区分布有众多的工矿企业, 工业废水排放量大, 是水库的主要污染源。另外, 乌拉泊水库周围区域村民、牧民生产 (种植和养殖业) 和生活, 这些都严重威胁到乌拉泊水源地水质安全。

1.2 样品采集与处理

2008 年 7 月于乌拉泊水源地设 9 个采样点,

分别位于一号冰川 (采样点 2 个)、英雄桥 (采样点 2 个) 和乌拉泊水库 (采样点 5 个, 分别位于进水区、出水区、浅水区、深水区及库心区)。各取样点水深 $1.5\text{ m} \sim 5\text{ m}$, 采集的水样用干净的棕色玻璃容器盛装, 加入少量 0.5% 的甲醇 (抑止微生物活性, 保持目标化合物呈溶解状态)。样品采集后即放入冷藏室保存, 以备后处理和分析。

取 1 L 水样于分液漏斗中, 加入 30 mL 二氯甲烷, 振荡约 2 min 静置分层, 下层有机相通过无水硫酸钠干燥过滤后收集至浓缩管中。重复 2 次, 合并提取液。提取液吹氮浓缩至 $2\text{ mL} \sim 3\text{ mL}$, 加入 10 mL 正己烷以转换溶剂, 继续浓缩至 1.0 mL , 待分析。

1.3 样品分析与质量控制

有机氯农药测定参照美国 EPA 8081A 方法^[14]。使用安捷伦公司的 GC 7890A/MSD 5975C inert 自动进样器进样 (Agilent 7683B); 色谱柱为 Agilent $30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$ HP-5MS; 使用高纯氦气为载气, 恒压模式, 0.9 mL/min 进样体积 $1\text{ }\mu\text{L}$, 分流比 10:1; 程序升温: 70°C (2 min), 20°C/min 到 110°C , 70°C/min 到 250°C (6 min); 进样口温度为 250°C ; 离子源: EI 离子源温度: 230°C ; 传输线温度: 280°C 。定性分析采用全扫描 (SCAN) 模式, 扫描的质量范围为 $45\text{ a} \sim 500\text{ a}$ 定量分析采用选择离子 (SIM) 模式。

有机氯农药标准品含 17 种有机氯农药: α -BHC, γ -BHC、七氯、艾氏剂、 β -BHC、 δ -BHC、环氧七氯、硫丹 I_p, p'-DDE、狄氏剂、异狄氏剂、 β p'-DDD、硫丹 II_p, p'-DDT、异狄氏剂醛、硫丹硫酸酯、甲氧滴滴涕。有机氯农药的回收率指示物为十氯联苯, 示踪物的回收率控制范围为 90% ~ 110%。

在分析有机氯农药之前, 先用 DDT 降解标样检查 GC 进样口是否引起了 DDT 的降解, 降解率 < 15% 时, 仪器方能用于样品的测定。每 10 个样品或每批样品分析时增加全分析过程空白, 并且进行平行样的测定, $\text{RSD} < 15\%$ ^[15]。

1.4 评价模型及参数的取值

对于饮用水源地水体中污染物进行健康风险评价, 有多种方法和模型, 采用 US EPA 的暴露计算方法对乌拉泊水源地水体中有机氯农药所引起的人体健康风险进行初步评价^[16]。

1.4.1 风险值计算

水环境健康风险评价主要是针对水环境中对

人体有害的污染物进行评价, 这些物质一般可分为致癌物和非致癌物 2 类, 但事实上致癌物同样具有非致癌物的危险效应。在计算每种污染物的健康风险时, 采用 US EPA 已经公布的同类参考剂量或致癌斜率因子, 见表 1。

表 1 健康风险评价模型参数 q_i 和 RfD_i 值^[17]

Table 1 Model parameter (q_i) and (RfD_i) value of appraisal of the health risk

名称	α -BHC	七氯	环氧七氯	狄氏剂	硫丹 I
致癌斜率因子 $q_i /$	6.3	4.5	9.1	16	
$[mg \cdot (kg \cdot d)^{-1}]$					
非致癌参考剂量 $RfD /$	8.0	0.5	0.013	0.5	6
$[\mu g \cdot (kg \cdot d)^{-1}]$					

(1) 致癌风险

致癌风险采用风险值 P_i^a 表示, 可用以下公式计算。

$$P_i^a = \frac{1 - \exp(-D_i \times q_i)}{72} \quad (1)$$

式中: P_i^a ——致癌物 i 经食入途径产生的平均个人致癌年风险, a^{-1} ;

D_i ——致癌物 i 经食入途径的单位体重日均暴露剂量, $mg/(kg \cdot d)$;

q_i ——致癌物 i 经食入途径致癌斜率因子, $mg/(kg \cdot d)$;

72——乌鲁木齐人群平均寿命^[18], a

(2) 非致癌风险

非致癌风险采用风险指数 P_i^b 表示, 可用以下公式计算。

$$P_i^b = \frac{D_i \times 10^{-6}}{PAD_i \times 72} \quad (2)$$

式中: P_i^b ——非致癌物 i 经食入途径产生的平均个人非致癌年风险, a^{-1} ;

D_i ——非致癌物 i 经食入途径的单位体重日均暴露剂量, $mg/(kg \cdot d)$;

PAD_i ——非化学致癌物 i 经食入途径的调整剂量, $mg/(kg \cdot d)$;

72——乌鲁木齐人群平均寿命, a

调整剂量 (PAD_i) 可按下式计算。

$$PAD_i = \frac{RfD_i}{\text{安全因子}} \quad (3)$$

式中: RfD_i ——非致癌污染物 i 的食入途径参考剂量, $mg/(kg \cdot d)$, 安全因子取值 10。

(3) 总风险值

研究表明^[19-20] 饮用水中有机氯农药对人体健康的毒性作用呈相加关系, 而不是协同或拮抗关系, 则各个有毒物质则总的健康危害风险 HI 为:

$$HI = \sum P_i \quad (4)$$

(4) 长期日摄入量的计算

通过饮水途径暴露的单位体质量日均暴露剂量 (D_i) 可按下式进行计算。

$$D_i = \frac{2.2 \times C_i}{70} \quad (5)$$

式中: 2.2——成人每日平均饮水体积, L;

C_i ——污染物 i 质量浓度值, mg/L ;

70——成人人均质量, kg

1.4.2 风险评价标准

表 2 列出了部分机构推荐的对社会公众成员最大可接受风险水平和可忽略风险水平。化学污染物最大可接受风险水平在 $1 \times 10^{-6} a^{-1}$, 可忽略风险水平在 $1 \times 10^{-8} a^{-1} \sim 1 \times 10^{-7} a^{-1}$ 内。

表 2 部分机构推荐的最大可接受风险水平和可忽略风险水平^[21]

Table 2 The maximal acceptant level and neglectable level from some organizations

机构	最大可接受风险	可忽略风险	备注
	水平 / $10^{-6} a^{-1}$	水平 / $10^{-7} a^{-1}$	
瑞典环保局	1		化学污染物
荷兰建设和环境部	1	0.1	化学污染物
英国皇家协会	1	1	

2 结果分析

2.1 水体中有机氯农药的浓度

对乌鲁木齐市地表水饮用水源地水体中 17 种有机氯农药进行了分析, 分析结果见表 3。

从表 3 可以看出, 乌鲁木齐市地表水饮用水源地水体中检出有机氯农药组分 9 种, 包括 α -BHC、 δ -BHC、七氯、七氯环氧、硫丹 I 艾氏剂、异狄氏剂醛、甲氧滴滴涕和硫丹硫酸酯, 这 9 种有机氯化物的总质量浓度范围为 $15.1 ng/L \sim 41.2 ng/L$, 其中列入美国 EPA 水中 129 种优先控制污染物黑名单的污染物有 α -BHC、 δ -BHC、硫丹硫酸酯、七氯、环氧七氯、异狄氏剂醛和艾氏剂; 列入中国水中 68 种优先控制污染物黑名单的污染物有 α -BHC、 δ -BHC; 列入《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) 的污染物有环氧七氯, 乌

表 3 乌鲁木齐市地表水饮用水源地水体中有机氯含量

化合物名称	μg/L			
	一号冰川	英雄桥	乌拉泊水库	检出限
α-BHC	0.003 9	0.005 0	0.004 0	0.002 4
δ-BHC	0.002 1	0.003 0	—	0.001 0
七氯	0.004 6	0.007 7	—	0.004 5
环氧七氯	0.000 60	0.004 10	—	0.000 52
狄氏剂	0.000 76	—	—	0.000 53
硫丹硫酸酯	0.005 6	0.011	0.007 1	0.004 0
异狄氏剂醛	0.003 8	0.006 1	0.004 0	0.001 3
硫丹 I	0.001 5	—	—	0.001 2
甲氧滴滴涕	0.003 3	0.004 3	—	0.001 7
ΣOCPs	0.026 16	0.041 2	0.015 1	

木齐河一号冰川和乌鲁木齐河英雄桥断面有环氧七氯检出,但其含量均低于标准限值(0.2 μg/L)。

2.2 健康风险评价

应用表 3 的数据结果,根据健康风险评价模型和模型参数,可以计算出乌鲁木齐市地表水饮用水源地水体中有机氯通过饮水途径所引起的平均个人年风险,计算结果见表 4 表 5。

从表 4 可以看出,由有机氯通过饮水途径所引起的致癌平均个人年健康风险值为 $1.10 \times 10^{-8} a^{-1} \sim 4.51 \times 10^{-8} a^{-1}$, 低于表 2 中所有机构推荐的标准,在可忽略风险水平 $1 \times 10^{-8} a^{-1} \sim 1 \times 10^{-7} a^{-1}$ 内,因此可以认为这些有机氯农药不会对人体产生致癌危害。

表 4 水体中有机氯农药的饮水途径致癌危害的平均个人年风险

监测断面	平均个人年风险					总风险
	α-BHC	七氯	环氧七氯	狄氏剂	硫丹 I	
一号冰川	1.07	0.90	0.24	0.53	—	2.74
英雄桥	1.37	1.51	1.63	—	—	4.51
乌拉泊水库	1.10	—	—	—	—	1.10

表 5 水体中有机氯农药的饮水途径非致癌危害的平均个人年风险

监测断面	平均个人年风险					总风险
	α-BHC	七氯	环氧七氯	狄氏剂	硫丹 I	
一号冰川	0.02	0.40	2.01	0.07	0.01	2.51
英雄桥	0.03	0.67	13.77	—	—	14.47
乌拉泊水库	0.02	—	—	—	—	0.02

由表 5 可见,一号冰川、英雄桥、乌拉泊水库有机氯农药的非致癌风险分别为 $2.51 \times 10^{-7} a^{-1}$, $14.47 \times 10^{-7} a^{-1}$, $0.02 \times 10^{-7} a^{-1}$, 其中一号冰川、乌拉泊水库监测断面的非致癌风险低于表 2 中所有机构推荐的标准;英雄桥监测断面的非致癌风险大于表 2 部分机构推荐的 $1 \times 10^{-6} a^{-1}$ 的水平,这与英雄桥监测断面周边的工业企业排放大量的工业废水有关^[13,22];乌拉泊水库水源除乌鲁木齐河上游(包括英雄桥)来水外,还有以泉水为主要水源的 5 条洼地和深沟通向水库。

4 结论

(1)乌鲁木齐市地表水饮用水源地水体中检出有机氯农药组分 9 种,这 9 种有机氯化物的总质量浓度为 15.1 ng/L~41.2 ng/L,其中 7 种列入美国 EPA 水中 129 种优先控制污染物黑名单,两种列入中国水中 68 种优先控制污染物黑名单;乌鲁木齐河一号冰川和乌鲁木齐河英雄桥断面有环氧七氯检出,但其含量均低于《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)标准限值。

(2)由有机氯通过饮水途径所引起的致癌平均个人年健康风险值为 $1.10 \times 10^{-8} a^{-1} \sim 4.51 \times 10^{-8} a^{-1}$, 低于表 2 中所有机构推荐的标准,在可忽略风险水平 $1 \times 10^{-8} a^{-1} \sim 1 \times 10^{-7} a^{-1}$ 内。因此可以认为这些有机氯农药不会对人体产生致癌危害。

(3)一号冰川、英雄桥、乌拉泊水库监测断面有机氯农药的非致癌风险分别为 $2.51 \times 10^{-7} a^{-1}$, $14.47 \times 10^{-7} a^{-1}$, $0.02 \times 10^{-7} a^{-1}$, 其中一号冰川、乌拉泊水库监测断面的非致癌风险低于表 2 中所有机构推荐的标准。

文章仅沿用了有机氯农药通过饮水暴露途径对人体健康风险的评价方法,没有考虑其他有毒物质和暴露途径。

[参考文献]

- [1] XUE N D, WANG H B, XU X B. Progress in study on endocrine disrupting pesticides (EDPs) in aquatic environment [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(20): 2257-2266
- [2] 杨清书, 雷亚平, 欧素英, 等. 珠江虎门河口水体有机氯农药的垂向分布及二次污染初步研究 [J]. 地理科学, 2008, 28(6): 820-825.
- [3] 吕爱华, 杨瑞强, 江桂斌, 等. 乌鲁木齐市水磨河底泥及灌溉区土壤中有机氯农药的分布 [J]. 环境化学, 2006, 25(4): 508-510

- [4] 周颖, 陆荣南. 南通鳊鱼及其养殖水体中有机氯农药调查 [J]. 环境监测管理与技术, 1996, 8(3): 25- 26
- [5] 李延红, 郭常义, 汪国全, 等. 上海地区人乳中六六六、滴滴涕蓄积水平的动态研究 [J]. 环境与职业医学, 2003, 20(3): 181- 183.
- [6] YANG N Q, MATSUDA M, KAWANOM, et al PCBs and organochlorine pesticides (OCPs) in edible fish and shellfish from China [J]. *Chemosphere*, 2006, 63(8): 1342- 1352
- [7] 曾光明, 卓利, 钟政林, 等. 水环境健康风险评估模型 [J]. 水科学进展, 1998, 9(3): 212- 217
- [8] 胡二邦. 环境风险评估实用技术和方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000: 163- 174.
- [9] 王东红, 原盛广, 马梅, 等. 饮用水中有毒污染物的筛查和健康风险评估 [J]. 环境科学学报, 2007, 27(12): 1937- 1943
- [10] 刘宜, 黄成敏. 土壤残留滴滴涕、六六六的人群健康风险评估-以江苏省无锡市为例 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(4): 17- 22
- [11] 吴鹏章, 高杨, 陈辉. 室内空气污染的健康风险评估 [J]. 上海环境科学, 2009, 28(2): 56- 65.
- [12] 王远征, 朱永官, 黄益宗. 灵芝中重金属的检测及其健康风险评估 [J]. 生态毒理学报, 2006, 1(4): 316- 321
- [13] 李晓娜, 焦黎, 孙桂丽. 浅谈乌鲁木齐河流域水环境问题及保护对策 [J]. 新疆师范大学学报, 2007, 26(3): 228- 231
- [14] EPA 8081A, Organochlorine pesticides by cap column GC [S].
- [15] 史双昕, 卢婉云, 邵丁丁, 等. 太湖、洞庭湖野生青虾肌肉中有机氯农药的气相色谱-质谱法测定 [J]. 湖泊科学, 2009, 21(5): 631- 636
- [16] US EPA. Guidelines for exposure assessment [R]. FRL4129-5. Washington DC: Office of Health and Environmental Assessment US EPA, 1992
- [17] US EPA. Risk-Based concentration table [R]. US EPA Region III, Philadelphia, Pennsylvania, 2004
- [18] 乌鲁木齐市统计局. 乌鲁木齐统计年鉴 - 2008 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [19] 覃忠书, 黎明强. 某农村饮用水水源地健康风险评估 [J]. 现代预防医学, 2008, 35(8): 1416- 1418
- [20] MICHAEL C, MICHAEL A. Fundamentals of Ecotoxicology [M]. Press Lewis Publishers, 2003
- [21] 孙超, 陈振楼, 张翠, 等. 上海市主要饮用水源地水重金属健康风险初步评价 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(1): 60- 65.
- [22] 万译文, 康天放, 周忠亮, 等. 北京官厅水库水体中挥发性有机物健康风险评估 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(2): 150- 154

本栏目责任编辑 薛光璞 李文峻

(上接第 22 页)

[参考文献]

- [1] DE PAUW N, GABRIELSW, GOETHALS P L M. River monitoring and assessment methods based on macroinvertebrates [M]. West Sussex Chichester, 2006: 113- 134
- [2] 宗良纲, 王良梅, 占新华. 南京秦淮河水环境质量现状评价 [J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(S1): 81- 83.
- [3] 周灵辉. 外秦淮河底泥释放对上覆水水质的影响 [J]. 环境监测管理与技术, 2003, 15(5): 41- 42
- [4] 魏玉香, 周宁晖, 方孝华. 南京市内秦淮河环境综合整治中水质变化趋势回顾 [J]. 环境监测管理与技术, 2004, 16(6): 42- 43
- [5] 罗玉兰, 徐颖, 曹忠. 秦淮河底泥及间隙水氮磷垂直分布及相关性分析 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1245- 1249
- [6] 王备新, 杨莲芳. 用河流生物指数评价秦淮河上游水质的研究 [J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2082- 2091
- [7] 国家环境保护局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 3 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [8] 王备新. 大型底栖无脊椎动物水质生物评价研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2003.
- [9] 黄玉瑶, 滕德兴, 赵忠宪. 应用大型无脊椎动物群落结构特征及其多样性指数监测运河污染 [J]. 动物学集刊, 1982(2): 133- 146.
- [10] 王备新, 徐东炯, 杨莲芳, 等. 常州地区太湖流域上游水系大型底栖无脊椎动物群落结构特征及其与环境的关系 [J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 47- 51
- [11] CHUTTER F M. An empirical biotic index of the quality of the water in South African streams and rivers [J]. *Water Resources* 1972(6): 19- 30
- [12] 苏华武, 江晶, 温芳妮, 等. 湖北清江流域叹气沟河底栖动物群落结构与水质生物学评价 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(4): 403- 411
- [13] 江晶, 温芳妮, 顾鹏, 等. 湖北清江流域胡家溪大型底栖动物群落结构及水质评价 [J]. 湖泊科学, 2009, 21(4): 547- 555.
- [14] BRINKHURST R O. Future directions in freshwater biomonitoring [M]. New York, USA: Chapman and Hall, 1993: 442- 460.
- [15] DE PAUW N, GHETTIPPE, MANZINIDP, et al Biological assessment methods for running water. In *River Water Quality-Assessment and Control* [M]. Brussels Belgium: Commission of the European Communities, 1992: 217- 248
- [16] 谢志才, 张君倩, 陈静, 等. 东洞庭湖保护区大型底栖动物空间分布格局及水质评价 [J]. 湖泊科学, 2007, 19(3): 289- 298
- [17] 吴东浩, 汪军涛, 张咏, 等. 连云港主要河流大型底栖无脊椎动物水质生物评价 [J]. 环境监测管理与技术, 2010, 22(1): 29- 32