

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.03.009

重庆市乡镇饮用水水源地安全评价与控制对策

张大元,刘兰玉

(重庆市环境科学研究院,重庆 401147)

摘要 采用水质单项指数法和综合指数法,分别选取一般污染物和有毒有害污染物,对重庆市 851 个乡镇饮用水源地的 1019 个断面水质进行分析。结果表明:一般污染物单项指数范围为 0.01~5.93,水质综合指数为 0.50~5.93,饮用水水源地水质安全的监测断面占 88.7%;有毒有害污染物单项指数范围为 0.01~5.51,水质综合指数为 0.10~5.51,水质安全的监测断面占 98.6%。重庆乡镇饮用水源地水质状况总体较好,水质安全的监测断面占 86.8%,不达标项目有高锰酸盐指数、生化需氧量、氨氮和石油类。在分析乡镇饮用水水源地存在问题的基础上,提出了进一步改善乡镇饮用水水源地水质、确保饮水安全的措施和对策。

关键词 饮用水 水源地 安全评价 乡镇 水质 重庆市

中图分类号 X824 **文献标识码** B **文章编号** 1004-6933(2011)03-0038-04

Safety assessment of drinking water sources in villages and towns of Chongqing and its control countermeasures

ZHANG Da-yuan, LIU Lan-yu

(Chongqing Academy of Environmental Science, Chongqing 401147, China)

Abstract: Employing the water single quality index method and the synthetic quality index method, and selecting common pollutants and toxic pollutants as the targets, the water quality of 851 drinking water sources of 1019 sections in villages and towns of Chongqing were analyzed. The results showed that the range of the single quality index of common pollutants was from 0.01 to 5.93, the synthetic quality index ranged from 0.50 to 5.93, and the percentage of the safety section of water quality was 88.7%. The range of the single quality index of toxic pollutants was from 0.01 to 5.51, the synthetic quality index ranged from 0.10 to 5.51, and the percentage of the safety section of water quality was 98.6%. The water quality of drinking water sources in villages and towns of Chongqing was general good, and the percentage of the safety section of water quality was 86.8%. There were four indexes, COD_{Mn} , BOD_5 , $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and oil exceeding the standard. Meanwhile, the measures and countermeasures to improve the water quality of drinking water sources and to ensure the safety of drinking water in villages and towns were proposed.

Key words: drinking water; water source; safety evaluation; villages and towns; water quality; Chongqing City

三峡工程举世瞩目,库区饮用水水源地水环境安全备受世人关注。地处三峡库区的重庆市,始终加强水环境保护工作,特别是把饮用水水源地保护作为一项关系到人民群众生命健康安全^[1]、事关经济发展与社会稳定大局、构建环境友好型社会的重要工作来抓,以确保饮用水源安全^[2],取得了较好的成效,全市城镇集中式饮用水水源地水质良好^[3],但

乡镇饮用水水源地水质仍不容乐观。

1 水质安全状况

1.1 评价资料与方法

评价资料采用 2008 年重庆市 39 个区县环境监测站对辖区内 851 个乡镇饮用水水源地 1019 个断面水质监测结果。监测项目为水温、pH、DO、

COD_{Mn}、BOD₅、SO₄²⁻、NH₃-N、**氯化物**、Cu、Zn、Fe、Mn、NO₃-N、**氟化物**、As、Hg、Cd、Cr、Pb、**氰化物**、挥发酚、Se 和石油类等 23 个。

评价方法采用水质指数法^[4]。水质指数法包括一般污染物水质指数、有毒有害污染物水质指数,分为 6 个等级,分别以水质指数 1、2、3、4、5、6 表达。

1.2 评价项目与标准

参照卫生部 2001 年制定的《生活饮用水卫生规范》中常规项目分类,结合水源地水质现状监测指标,将评价项目分为一般污染物和有毒有害污染物两类。一般污染物水质指数选择 NH₃-N、COD_{Mn}、BOD₅、硫酸盐、Cl⁻、Cu、Zn、Fe、Mn 和 Se 计 10 个指标进行评价。有毒有害污染物水质指数选择 NO₃-N、氟化物、As、Hg、Cd、Cr、Pb、氰化物、挥发酚和石油类计 10 个指标进行评价。

水质指数评价标准参照 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》^[5] 制定,见表 1 和表 2。

表 1 一般污染物评价项目、标准及指数 mg/L

项目	水质指数				
	1	2	3	4	5
COD _{Mn}	≤2	≤4	≤6	≤10	≤15
BOD ₅	≤3	≤3	≤4	≤6	≤10
NH ₃ -N	≤0.15	≤0.5	≤1.0	≤1.5	≤2.0
Cu	≤0.01	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0
Zn	≤0.05	≤1.0	≤1.0	≤2.0	≤2.0
SO ₄ ²⁻	≤250	≤250	≤250	> 250	> 250
Fe	≤0.3	≤0.3	≤0.3	> 0.3	> 0.3
Mn	≤0.1	≤0.1	≤0.1	> 0.1	> 0.1
Se	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.02	≤0.02
Cl ⁻	≤250	≤250	≤250	> 250	> 250

表 2 有毒有害污染物项目、标准及指数 mg/L

项目	指数				
	1	2	3	4	5
挥发酚	≤0.002	≤0.002	≤0.005	≤0.01	≤0.1
石油类	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.5	≤1.0
NO ₃ -N	≤10	≤10	≤10	> 10	> 10
氟化物	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.5	≤1.5
As	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.1	≤0.1
Hg	≤0.00005	≤0.00005	≤0.0001	≤0.001	≤0.001
Cd	≤0.001	≤0.005	≤0.005	≤0.005	≤0.01
Cr	≤0.01	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.1
Pb	≤0.01	≤0.01	≤0.05	≤0.05	≤0.1
氰化物	≤0.005	≤0.05	≤0.2	≤0.2	≤0.2

1.3 污染物项目指数计算

- 污染物项目指数计算的具体步骤如下：
- a. 计算项目的浓度均值。将项目的各次监测浓度按断面进行平均。
 - b. 计算单项指标指数。当评价项目 i 的实测浓度 ρ_i 处于评价标准分级值 $\rho_{i,k}$ 和 $\rho_{i,k+1}$ 之间时,该

评价指标的单项指数 I_i 为：

$$I_i = \frac{\rho_i - \rho_{i,k}}{\rho_{i,k+1} - \rho_{i,k}} + I_{i,k}$$

当评价项目 i 的实测浓度 ρ_i 大于评价标准 5 级值 $\rho_{i,5}$ 时,该评价指标的单项指数 I_i 为：

$$I_i = \frac{\rho_i - \rho_{i,5}}{\rho_{i,5}} + 5$$

式中： ρ_i 为第 i 项指标的实测浓度， $\rho_{i,k}$ 为第 i 项指标第 k 级标准浓度， $\rho_{i,k+1}$ 为 i 项指标 $k+1$ 级标准， $I_{i,k}$ 为 i 指标的 k 级标准指数值。

c. 计算水质综合指数 (W_{QI})。取各单项指数最大值为综合指数(最差项目赋全权)，即：

$$W_{QI} = \max(I_1, I_2, \cdots, I_n)$$

d. 确定评价类别和状况。当水质类别为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类时,水质为安全类别,也称为达标;当水质类别超过Ⅲ类时,水质已经影响到饮用功能和人体健康,确定为不安全的水源地,即未达标(表 3)。

表 3 水质评价类别及状况分类

指标	$W_{QI} \leq 1$	$1 < W_{QI} \leq 2$	$2 < W_{QI} \leq 3$	$3 < W_{QI} \leq 4$	$4 < W_{QI} \leq 5$	$W_{QI} > 5$
水质指数	1	2	3	4	5	6
水质类别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	劣Ⅴ
水质状况	优	优	良	轻污染	中度污染	重度污染

1.4 评价结果

1.4.1 综合评价结果

1 019 个饮用水水源地断面水质综合指数为 0.50~5.93,水质类别分别为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类的断面分别有 215 个、380 个、289 个、108 个、10 个、17 个,占总数的 21.1%、37.3%、28.4%、10.6%、1.0%、1.7%。水质安全(优良)的断面比例达到 86.8%。见表 4。

表 4 重庆市乡镇饮用水源地水质总体状况

水质类别	综合评价		一般污染物评价		有毒有害污染物评价	
	断面/个	比例/%	断面/个	比例/%	断面/个	比例/%
Ⅰ类	215	21.1	290	28.5	635	62.3
Ⅱ类	380	37.3	430	42.2	148	14.5
Ⅲ类	289	28.4	183	18.0	209	20.5
Ⅳ类	108	10.6	96	9.4	20	2.0
Ⅴ类	10	1.0	8	0.8	2	0.2
劣Ⅴ类	17	1.7	12	1.2	5	0.5

从各区县统计数据得知:饮用水水源地断面水质均安全的有 20 个区县,占 46.2% ;断面水质安全的比例大于 85% 的有 27 个区县,占 69.2% ;占 70% ~ 80% 的有 5 个区县,占 60% ~ 70% 的有 1 个区县,长寿区、大足县、沙坪坝区、九龙坡区、荣昌县断面水质安全的比例低于 60%。

从各区县饮用水源地水质未达标项目个数统计

看 39 个区县中有 20 个区县所测项目全部达标,出现 1 个项目和 2 个项目未达标的区县各有 6 个,出现 3 个项目未达标的区县有垫江县、长寿区、九龙坡区和江北区 4 个区县,出现 4 个项目未达标的区县有沙坪坝区、武隆县和大足县,荣昌县和沙坪坝分别有 6 个和 5 个项目未达标。

1.4.2 一般污染物评价总体结果分析

1019 个饮用水水源地断面一般污染物单项指数范围为 0.01~5.93,水质综合指数为 0.50~5.93,水质为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类的断面分别有 290 个、430 个、183 个、96 个、8 个和 12 个,占总数的 28.5%、42.2%、18.0%、9.4%、0.8% 和 1.2%。水质安全的断面比例达到 88.7%。

各区县统计结果看 :饮用水水源地断面水质均安全的区县占 51.3%,断面水质安全的比例大于 85%的区县占 64.1%,占 70%~80% 的有大足县、南川区、垫江县和江北区,占 60%~70% 的有长寿区和涪陵区,但沙坪坝区、九龙坡区、荣昌县断面水质安全比例的比例低于 60%。

1.4.3 有毒有害污染物评价总体结果

1019 个饮用水水源地断面有毒有害污染物单项指数范围为 0.01~5.51,水质综合指数为 0.10~5.51 水质为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类的断面分别有 635 个、148 个、209 个、20 个、2 个、5 个,占总数的 62.3%、14.5%、20.5%、2.0%、0.2%、0.5%。水质安全的断面比例达到 97.3%。

各区县统计结果看 :饮用水水源地断面水质均安全的区县占 82.1%,断面水质安全的比例在 90%~100% 的有铜梁县、巴南区和长寿区,低于 90% 的区县有黔江区、大足县、沙坪坝、九龙坡,分别为 77.8%、72.7%、70.0%、40.0%。

1.4.4 一般污染物单项评价结果分析

一般污染物单项评价统计见表 5。由表 5 看出 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 Se 3 个项目在所有断面的单项指数均低于 1,全部为优 ;其次是 Cu,水质单项指数为均满足 2,全部为优 ;其余项目均存在断面未达标(即超标)。COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、Mn、Fe、Zn 未达标的断面比例分别占 6.7%、6.1%、1.5%、0.8%、0.7%、0.4%,分别有 12 个、11 个、8 个、4 个、3 个、1 个区县出现超标,水质为劣Ⅴ类的项目有 Mn、Fe、Zn 和 NH₃-N,分别占 0.8%、0.7%、0.3% 和 0.3%。

从未达标项目的区域分布统计看,COD_{Mn} 在 12 个区县出现超标,主要出现在荣昌县、涪陵区、长寿区、垫江县和九龙坡区,超标断面数占超标总数的 80.9%,分别占各区县监测断面的 54.2%、22.0%、33.3%、60.0% 和 26.1%。BOD₅ 在 11 个区县出现

超标,主要出现在涪陵区、南川区、荣昌县和垫江县,超标断面数占超标总数的 72.5%,分别占各区县监测断面的 18.0%、25.8%、25.0% 和 26.1%。NH₃-N 在 8 个区县出现超标,主要出现在九龙坡、璧山县和长寿区,超标断面数占超标总数的 66.7%,分别占各区县监测断面的 40.0%、15.4%、6.7% 和 26.1%。Zn 在武隆县出现超标,超标断面数占监测断面的 3.3%。Fe 在武隆县、江北区和荣昌县出现超标,超标断面数分别占各区县监测断面的 6.7%、20.0% 和 4.2%。Mn 在武隆县、沙坪坝、荣昌县和永川区出现超标,超标断面数分别占各区县监测断面的 6.7%、20.0%、4.2% 和 2.0%。

表 5 一般污染物单项评价

项目	水质类别比例/%						单项指数
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	劣Ⅴ	
COD _{Mn}	46.9	30.9	15.5	6.2	0.5		0.10~4.40
BOD ₅	86.8		7.1	5.5	0.6		0.10~4.30
NH ₃ -N	43.7	44.8	10.0	1.1	0.1	0.3	0.07~5.48
Cu	87.2	12.8					0.00~1.05
Zn	92.5	7.1		0.1		0.3	0.01~5.80
SO ₄ ²⁻	100						0.01~0.97
Cl ⁻	100						0.01~0.25
Fe	99.3					0.7	0.03~5.83
Mn	99.2					0.8	0.01~5.93
Se	100						0.01~0.60

1.4.5 有毒有害污染物单项评价结果分析

有毒有害污染物单项指数类别断面统计见表 6。由表 6 看出 :仅 As 一个项目在所有断面的单项指数低于 1,水质为优 ;其次是 Hg、氰化物、Pb,水质单项指数均低于 3,其中水质为优的断面分别占 97.5%、99.7% 和 100% ;其余项目均有断面未达标。石油类、Cd、氰化物、挥发酚、NO₃-N、Cr 水质未达标的断面比例分别占 1.3%、0.7%、0.5%、0.3%、0.2%、0.1%,分别有 4 个、1 个、1 个、2 个、1 个、1 个区县出现超标。水质为劣Ⅴ类的项目有氰化物,占 0.5%。

表 6 有毒有害污染物单项评价结果

项目	水质类别比例/%						单项指数
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	劣Ⅴ	
NO ₃ -N	99.0		0.8		0.2		0.01~4.29
挥发酚	96.8		2.9	0.3			0.15~3.80
氰化物	94.8	4.9	0.3				0.20~2.15
As	100						0.01~0.14
Hg	97.5		2.5				0.06~3.00
Cr	90.0	9.8			0.1		0.10~4.04
石油类	98.7			1.3			0.10~3.40
Pb	76.7		23.3				0.03~2.95
Cd	71.9	27.4		0.7			0.03~3.60
氰化物	99.5					0.5	0.01~5.51

从未达标项目的区域分布统计看,Mn 和 F⁻ 都

在黔江区出现超标,超标断面数分别占 3.7% 和 18.5%。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在 8 个区县出现超标,主要出现在九龙坡、璧山县和长寿区,超标断面数占超标总数的 66.7%,分别占各区县监测断面的 40.0%、15.4%、6.7% 和 26.1%。挥发酚在铜梁县和巴南区出现超标,超标断面数分别占各区县监测断面的 8.0% 和 9.1%。石油类在九龙坡、沙坪坝、长寿区和荣昌县出现超标,超标断面数分别占各区县监测断面的 60.0%、30.0%、10.0% 和 4.2%。 Cr 在大足县出现超标,超标断面数占 4.5%。

2 乡镇饮用水水源地水质存在问题分析

监测数据表明,重庆市乡镇饮用水源地水质状况整体较好,但部分区县水质较差,水质达标率较低,未达标项目较多,存在水质安全问题。主要原因有以下几方面:

a. 面源污染。①农村人畜污物和生活污水未经任何处理直接排入河流和塘库;②农业生产和农村生活垃圾没有统一收集处理,乱堆乱放,对水体造成污染^[6];③大量使用化肥,或未科学施肥由地表径流带入水体^[7];④部分水源地周围有农户在塘堰、农田发展水产肥水养殖,导致饮用水水源地水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 、 BOD_5 等超标,如九龙坡区、荣昌县、长寿区和垫江县等。

b. 城镇污水和工业污染。部分乡镇饮用水源是河流,沿河集镇生活污水大多直接排放^[8]。沿河工业企业虽然大部分能按环保要求达标排放,但因河流本身流量小,自净能力差,即使偶尔超标排放,也加重了水质污染,这种情况尤其在有电镀行业的沙坪坝区、大足县等比较明显。

c. 本底值较高,部分区县土壤中的 F^- 本底值较高^[9](如黔江区),导致乡镇饮用水源中 F^- 较高而未达标。

d. 少数乡镇饮用水源处于三峡库区一级支流回水区。随着三峡工程蓄水水位升高或下降,水文条件发生变化,支流回水区水流变缓、水体自净能力降低,在适宜的条件下易发生‘水华’现象,导致水源地水质变差,特别是‘水华’发生时藻毒素将极大地威胁饮用水水源地水质安全。

3 乡镇饮用水水源地水质控制对策

a. 进一步加强环境监管,建立健全环保、市政、卫生、水利等相关部门的饮用水源地保护与管理联席会议制度,强化部门协调管理。将查处环境违法与促进饮用水水源地的规范管理相结合,将典型案例查处与区域、流域环境综合整治相结合,建立长效

管理机制。

b. 加强对饮用水水源地保护区的规范化管理,严格落实饮用水源地保护区的各项管理制度,加大饮用水水源保护区污染源清理力度。在饮用水源一级保护区内,要禁止一切排污行为和可能污染水体的行为。对水源地存在污染隐患的企业应采取强制性措施实施关停、搬迁。

c. 加强对次级河流流域水环境综合整治。为保障次级河流水源供水安全,要加快实施《三峡库区及上游水污染防治规划》,加快集镇污水的建设并加强管理,完善除磷脱氮工艺^[10],并确保科学稳定运行。实施工业废水污染防治、集镇垃圾处理设施建设削减垃圾污染负荷、划分养殖禁养区、限养区和适养区,一、二级保护区内禁止一切养殖活动、整治河岸防护及河道等综合措施。

d. 实施饮用水水源地生态保护示范工程^[11]。对于水库型饮用水源,在水库的入库支流两岸种植适宜的陆生植物,形成经果林生态防护带净化入库水质,削减面源污染。针对水污染、富营养化较重的水库,可采取工程措施,建设生态浮床,充分利用植物对营养物的吸收净化水质。此外还可对水库周边沿岸 100 m 范围内的村民实施搬迁,以减少对饮用水源的影响。

e. 合理规划新建、扩建水源地,尽早关闭因三峡工程蓄水影响的支流饮用水水源地,重新选择饮用水水源地。新建水源地应选在水质、水量均有保障、没有环境风险的水域。同时优化取水方式,在水深条件允许的水源地,应采取江心取水方式,如不具备江心取水的条件,可以选择傍河挖井间接取水,以有效防止水质风险和富营养化风险。

f. 加强宣传教育,提高全民饮用水源保护意识^[12],采取多种形式,宣传饮用水水源地保护的紧迫性和重要性,宣传饮用水水源地保护区的各项管理规定,同时建立有奖举报制度,鼓励群众及时反映企业或个人污染水环境的行为,把保护饮用水水源地成为人民群众的自觉行动。

参考文献:

- [1] 郑丙辉,付青,刘琰.中国城市饮用水源地环境问题与对策[J].环境保护,2007(10A):59-61.
- [2] 王丽红,王开章,刘锋范.饮用水水源地安全的内涵、现状及对策[J].山东农业科学,2007(5):94-100.
- [3] 重庆市环境保护局.重庆市环境质量报告书(2008)[R].重庆:重庆市环境保护局,2009.
- [4] 王晓杰,韦忠.常州市城市饮用水源地安全评价及保护对策[J].人民长江,2009,40(11):37-38.

(下转第 74 页)

对比结果如图 4 所示。

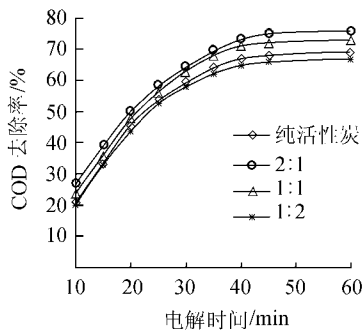


图 4 活性炭与玻璃珠体积比对 COD 去除率的影响

由图 4 可见,加入少许玻璃珠会对电解效果有积极影响,但玻璃珠的比例过大会降低电解效果。这主要是因为纯粹的活性炭粒子会在电解槽底部聚积,形成短路电流,从而降低了电流效率。玻璃珠是绝缘体,可阻碍短路电流的形成,从而提高了电流效率。但由于玻璃珠与活性炭密度差别较大,随着电解时间的增加会形成分层,从而降低玻璃珠阻碍电解电流形成的效果,故可考虑使用密度与活性炭相近的绝缘体作为共同填料。

3.5 pH 值

在一般情况下,pH 值是电解去除 COD 的重要影响因素之一。但作为焦化污水的三级处理工艺,在电解处理环节调节 pH 值显然存在成本问题;又因为进水 pH 值变化不大,电解法去除 COD 的效果没有显著的下降,所以暂不对 pH 值对 COD 去除率的影响进行研究。

4 结 论

a. 从实验结果可见,电解电压和电解时间是影响 COD 去除率的主要影响因素。电解电压的增大,粒子电极表面产生 HO·必然有所增大,粒子电极表面的直接氧化作用更加显著,COD 去除率将增大,然而随着电流的进一步增大,水的电解反应加剧,将析出氢气和氧气,导致 COD 去除效率降低,得到最佳条件:电解电压 12 V,电解时间 40 min。

b. 在活性炭与玻璃珠体积比为 2:1 的条件下,实验效果最佳。活性炭的比例越大,其活性表面将越大,吸附有机物的效果将越好,越有利于在其表面发生的有机物氧化反应,进而 COD 的去除效果将更佳。然而若活性炭积聚在电解槽底部,导致在底部形成短路,使电解槽的效率下降,所以应加入少许绝缘体阻断短路电流,并进行机械搅拌或曝气搅拌。

参考文献:

[1] 史晓燕,肖波,杨家宽,等.焦化废水处理技术的进展[J].

环境技术,2003,23(6):44-48.

[2] 汪群慧,张海霞,马军,等.三维电极处理生物难降解有机废水[J].现代化工,2004,10(24):56-58.
[3] 尹承龙,单忠健,曾锦之.焦化废水处理存在的问题及其解决对策[J].给水排水,2000,6(26):35-37.
[4] TISSOT P,FRAGNIERE M. Anodic oxidation of cyanide on a reticulated three-dimensional electrode[J]. Journal of Applied Electrochemistry,1994,24(6):509-512.
[5] 周集体,杨松,艾尼瓦尔,等.复极性固定床电解槽中粒子电极感应电位研究[J].环境科学与技术,2004(6):27-29.

(收稿日期 2010-04-16 编辑 高渭文)

(上接第 41 页)

[5] GB3822—2002 地表水环境质量标准[S].
[6] 何锦峰,舒兰,刘邵权,等.雅安市水资源开发利用与保护对策探讨[J].水利经济,2009,27(3):12-15.
[7] 朱喜,张扬文.五里湖水污染治理现状及继续治理对策[J].水资源保护,2009,25(1):86-89.
[8] 韩梅,郑丙辉,李子成,等.主要城市饮用水水源地水质状况评价与对策建议[J].环境科学研究,2000,13(5):31-34.
[9] 徐光宏.黔江区乡镇集中式饮用水源水质现状及保护对策[J].三峡环境与生态,2009,2(3):36-38.
[10] 李嘉熹,陈志良.流域水资源开发与饮用水源地保护实例分析[J].上海环境科学,2004,23(3):122-126.
[11] 李海燕,黄延,吴根.昆明湖水水质变化分析及污染控制对策[J].水资源保护,2007,23(5):18-20.
[12] 陈臣,谢伶俐,严向东,等.宜昌市饮用水源地保护问题及对策[J].环境科学与管理,2009,34(7):14-17.

(收稿日期 2010-03-04 编辑 高渭文)

(上接第 71 页)

[7] 吴建强,黄沈发,丁玲.水生植物水体修复机理及其影响因素[J].水资源保护,2007,23(4):18-22.
[8] 吴晓辉.常见眼子菜科沉水植物对浮游藻类的化感作用研究[D].武汉:中国科学院水生生物研究所,2005.
[9] 李锋民,胡洪营,种云霄,等.2-甲基乙酐乙酸乙酯对藻细胞膜和亚显微结构的影响[J].环境科学,2007,27(7):1534-8.
[10] 洪喻,胡洪营.水生植物化感抑藻作用研究与应用[J].科学通报,2009,54(3):287-293.
[11] 李锋民,胡洪营,门玉洁,等.化感物质对小球藻抗氧化体系酶活性的影响[J].环境科学,2006,27(10):2091-2094.
[12] 胡洪营,门玉洁,李锋民.植物化感作用抑制藻类生长的研究进展[J].生态环境,2006,15(1):153-157.
[13] 花铭,陈良燕,尹大强.邻苯三酚和咖啡酸对铜绿微囊藻的化感作用及其机理[J].环境化学,2008,27(3):331-334.

(收稿日期 2010-10-07 编辑 高渭文)