

洞庭湖流域水体污染物变化趋势及风险分析

卢宏伟, 曾光明, 何理

(湖南大学 环境科学与工程系, 湖南 长沙 410082)

摘要: 通过对洞庭湖流域 1989, 1997, 1999 年水质监测数据进行分析, 结果表明: (1) 洞庭湖流域磷污染十分严重而重金属浓度较低, 除 Cu 外, 其它重金属多年最高浓度均低于国家 II 类水质标准; (2) 水体污染情况有逐年上升趋势, 除 TN 外, 其它各污染物数量的增长速度都非常大; (3) 点源污染对洞庭湖流域水污染贡献较大, 枯水期各污染物浓度均较丰, 平水期高, 结合国外研究得到的重金属毒性系数, 引入外推法得到 TN, TP 的毒性危害系数, 将之应用到洞庭湖流域水体污染物的风险分析中, 得出 TP 风险仍是对洞庭湖流域的污染风险贡献率最大的污染物, 而 TN, Zn 的污染风险相对较小; 君山处的污染风险较大, 已对其周边生态系统产生了潜在的生态风险, 而流域内其它各监测点的风险值偏低。

关键词: 污染; 风险; 毒性危害系数

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X (2004) 02—0012—05

中图分类号: X524

Changing Tendency and Risk of Water Contamination in Dongting Lake Watershed

LU Hongwei, ZENG Guangming, HE Li

(Department of Science and Environment Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan Province, China)

Abstract: By the analysis of water quality monitoring data of Dongting Lake watershed in 1989, 1997 and 1999, it indicated that phosphorus pollution was particularly heavy, but the highest concentration of the heavy metals except Cu in each year was all lower than state water quality standard grade II; water pollution levels increase year after year at a high rate, except contamination TN; point sources make a greater contribution to the pollution of Dongting Lake watershed and concentrations of the contaminants are higher in low water season than in high water season and tap water season. Due to the shortage of research on toxicity harmfulness coefficients of TN and TP, their values are obtained through an extrapolation approach using toxicity coefficients of heavy metals determined abroad. The coefficients are applied furthermore to risk analysis of pollution in Dongting Lake watershed. The research results show that TP contributes most to the pollution risk in Dongting Lake watershed, while TN and Zn contribute relatively less. Additionally, the risk coefficient value at Junshan monitoring site is relatively high, which poses potential ecological risk for its circumference ecosystem. The risk values at other monitoring sites are lower and the potential ecological harm is minimal.

Keywords: pollution; risk; toxicity harmfulness coefficients

洞庭湖为湖南省第一大湖, 位居全国五大淡水湖的第二位, 有调节江河径流、沟通航运、繁衍水产和改善生态环境等多种功能, 是重要的国土资源。随着国民经济的迅速发展、人口的增长、泥沙的淤积和围湖筑垸, 以及大量污染物排入湖内等自然和人为因素的影响, 湖泊本身已面临着诸多水环境问题。长期以来, 由于洞庭湖洪患的肆虐, 洞庭湖水利工程的重要性人所共知, 同时也考虑到洪水灾难性的影响, 因此众多

专家学者在对洞庭湖进行研究的過程中更多地考虑了水利方面的因素, 而较少考虑生态方面的问题。事实上, 洞庭湖目前的水质状况也同样令人担忧。

本文根据 1984, 1997, 1999 年洞庭湖流域污染物的变化过程, 分析了该流域污染物产生原因, 并对流域内各监测点的污染风险进行了评价, 从而可为提高洞庭湖流域及其周边地区生态系统的环境质量提供科学依据。

收稿日期: 2003-09-10

修回日期: 2003-12-05

资助项目: 国家自然科学基金资助项目 (70171055, 50179011); 高等学校优秀青年教师科研奖励计划项目

作者简介: 卢宏伟 (1980—), 女 (汉族), 吉林延边人, 硕士研究生, 主要从事水域生态学研究。电话 (0731) 8714720, E-mail: hongwei_lu@hotmail.com。

1 研究区域与资料来源

洞庭湖位于东经 111°40'—113°10', 北纬 28°30'—29°31', 总面积 19 780 km², 其中湖南省 15 200 km², 占 80.9%。湖南境内的洞庭湖区行政上跨常德、益阳、岳阳、长沙、湘潭、株洲 6 个地级市。洞庭湖主要由湘、资、沅、澧四水汇聚而成, 天然湖泊面积 2 697 km², 洪道面积 1 013 km², 多年平均径流量为 3.02 × 10¹¹ m³, 总汇水面积 1.29 × 10⁶ km², 是我国最大的淡水湖和最重要的调蓄湖泊之一。

本研究所依据的资料为: (1) 洞庭湖环境保护监测站编制的洞庭湖环境监测科研论文集(1989 年)。(2) 湖南省山河库湖综合治理与开发规划办公室编制的湖南省山河库湖综合治理与开发规划(2001 年)。(3) 水利部长江水利委员会编制的洞庭湖区综合治理近期规划报告(1997 年)等, 并引用了部分相关论文有关数据, 本文所有数据均为原始监测值。

2 水质状况现状分析

2.1 污染物期度变化趋势分析

根据 1997 年水质监测数据, 对洞庭湖流域各水文站点的水质进行分析以研究流域的整体污染情况。

2.1.1 总氮度变化趋势分析 洞庭湖流域总氮的年均值在 0.752~1.639 mg/L 之间, 浓度最低的为目平湖, 最高的为万子湖, 超过国家地表水环境质量标准 II 类标准(1.00 mg/L)的为万子湖、茅草街、君山、城陵矶及磊石 5 点(见图 1, 图中横坐标即为国家地表水环境质量标准 II 类标准值, 下同)。

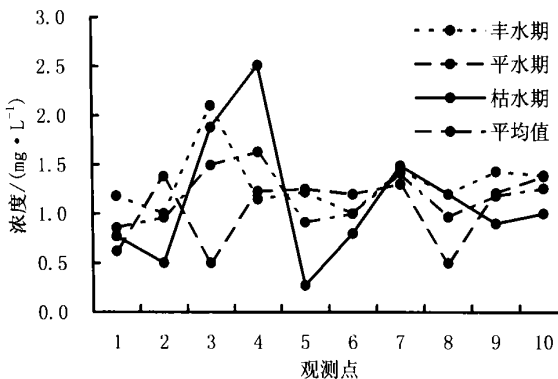


图 1 总氮变化趋势图

丰水期、平水期、枯水期的总氮浓度分别在茅草街、小河咀及万子湖段达到峰值, 横岭湖、茅草街和刘家湖段达到谷值。枯水期 TN 最大值与最小值相差 11.33 倍, 而丰水期相差 2.05 倍。

由于枯水期(低流量状态下)水质主要反映点源的污染情况, 而丰水期(高流量状态下)水质主要受面

源污染的影响, 是点源和面源综合作用的结果^[1], 因此可知, 洞庭湖流域的氮污染主要来源于点源污染, 且万子湖和刘家湖段分别为该流域内点源污染的最强及最弱点。

2.1.2 总磷度变化趋势分析 洞庭湖流域总磷的年均值在 0.069~0.270 mg/L 之间, 浓度最低的为小河咀, 最高的为君山, 10 个监测点的监测值均超过国家地表水环境质量标准 II 类标准(0.05 mg/L), 磷污染较为严重(见图 2)。

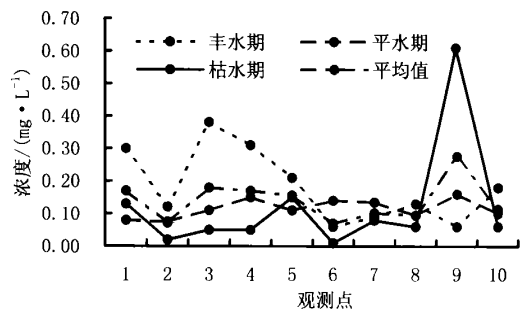


图 2 总磷变化趋势图

丰水期的总磷浓度在茅草街处达到峰值, 而平水期、枯水期的总磷浓度均在君山处达到峰值; 丰水期的总磷浓度在君山处达到谷值, 而平水期、枯水期则都是在小河咀处达到谷值。说明君山处的点源污染非常大, 而小河咀处的点源污染最小。枯水期总磷最大值与最小值相差 26.48 倍, 而丰水期相差 5.09 倍, 说明枯水期各点的污染物浓度差异较大, 因此洞庭湖区的磷污染应是以点源污染为主。

2.1.3 重金属类期度变化趋势分析 根据洞庭湖流域的污染现状, 分别对 Cd, Pb, Zn, Cu, Cr 这 5 种元素的变化趋势进行分析(详见图 3—7)。由图 3—7 来看, 除 Cu 元素以外, 其它物种重金属的浓度均低于国家规定的地表水环境质量标准 II 类标准。由此可见, 洞庭湖流域的重金属元素污染程度较低。

洞庭湖流域 Cd 的年均值在 0.0005~0.0018 mg/L 之间, 丰水期、平水期、枯水期浓度峰值分别出现在万子湖、茅草街及君山处, 说明君山处的点源污染中含有大量的 Cd, 枯水期茅草街浓度也较高, 说明排入该段的点源污染物中含有较高浓度的 Cd, 应与附近排入的大量冶炼废水有关。Zn 的年均值在 0.0123~0.0278 mg/L 之间, 峰值出现在磊石处, 而 Pb 与 Cu 年度最高值均出现在君山点, 特别是在枯水期君山处浓度非常高, 说明该处的点源污染十分严重, 应予以重视。

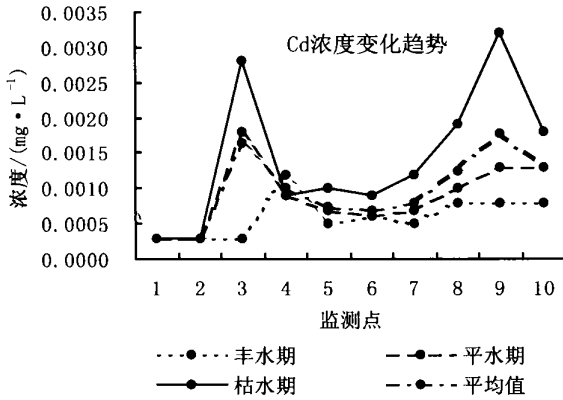


图 3 洞庭湖流域 Cd 变化趋势

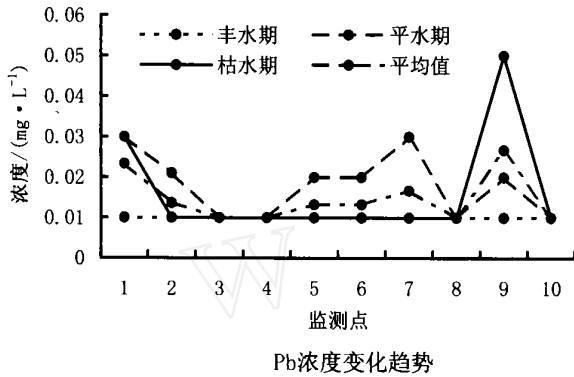


图 4 洞庭湖流域 Pb 变化趋势

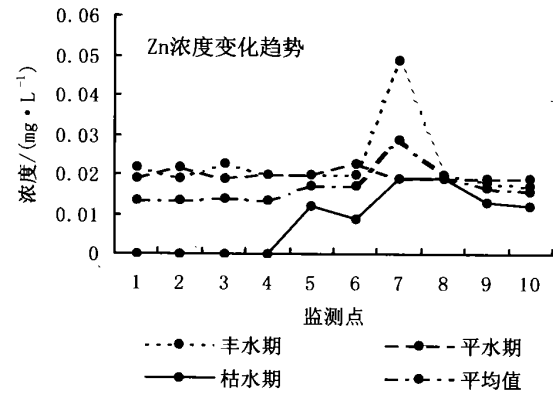


图 5 洞庭湖流域 Zn 变化趋势

Cr 的浓度只列出丰水期(其余数据均因 0.0004mg/L 而未给出), 总体来看变化不大, 均在 $0.010\sim 0.025\text{mg/L}$ 之间, 且均低于国家地表水环境质量标准 II 类标准。

总体来看, 枯水期的各种污染物浓度除 TP 外较之平水期与丰水期均有较大的提高, 丰水期除个别监测点外浓度均较低, 说明洞庭湖区工业废水和生活污

水的排放(即点源污染)仍是其污染的主要原因, 总磷在丰水期含量高, 而在平水期含量较低, 主要是由于在丰水期湖水中的泥沙含量大, 夹带有大量的磷, 这在茅草街这一三口交汇入湖口的表现尤为明显, 且由于丰水期的水温高, 引起了底泥磷的释放。

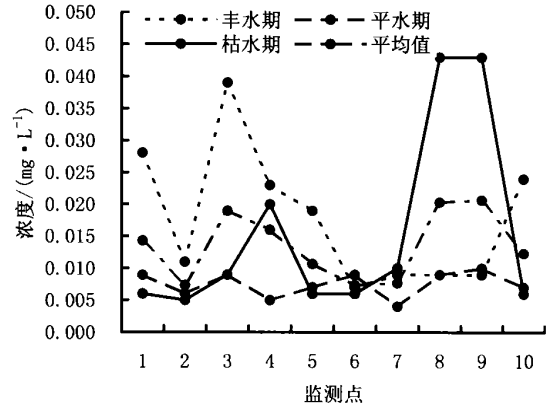


图 6 洞庭湖流域 Cu 变化趋势

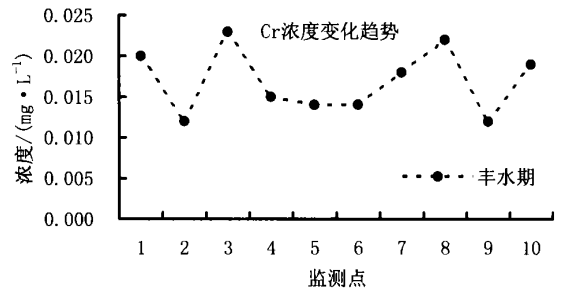


图 7 洞庭湖流域 Cr 变化趋势

2.2 污染物年际变化趋势分析

将 1984 年, 1997 年, 1999 年各污染物浓度取对数后绘至图 8。

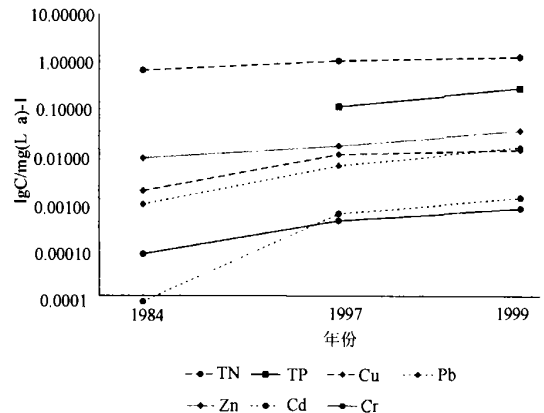


图 8 洞庭湖流域各污染物浓度年际变化

由图 8 可知, 各污染物浓度均逐年上升, 除全氮外, 其余各污染物浓度上升幅度较大。Cd 浓度在 1984 年仅为 0.000 01 mg/L, 而到 1997 年则激增至 0.001 mg/L, 增长了 100 倍, 至 1999 年已达到 0.001 5 mg/L, 2 a 之内又增长了 1.5 倍; 全磷浓度增长速度十分迅猛, 2 a 时间即从 1997 年的 0.120 mg/L 增至 1999 年的 0.291 mg/L, 增长了 2.43 倍; 其它各污染物浓度的增长速度也十分惊人, Cu, Pb, Zn, Cr 2 a 的增长分别达到 1.25, 2.43, 2.11 和 1.80 倍; 增长速率最低的全氮, 也由 1997 年的 1.078 mg/L 增至 1999 年的 1.29 mg/L, 增长速率也达到了 0.106 mg/(L · a)。

3 洞庭湖流域污染物风险分析

区域风险评价是指受一个或多个胁迫因素影响后, 对不利的后果出现的可能性进行的评估^[2]。由于区域性风险问题多为多个因素交互作用而共同引起, 同时其作用所影响的范围也都较大, 作用时间及其产生的后果也很难预测, 因此对区域风险进行评价至关重要。

3.1 污染风险值的确定

污染风险值 P 可定义为:

$$P = \sum_{i=1}^n K_i C_i / C_{i0} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: C_i ——第 i 种污染物的实测浓度; C_{i0} ——第 i 种污染物的标准浓度; K_i ——第 i 种污染物的毒性危害系数; n ——污染物种类。

3.1.1 重金属类污染风险值的确定 根据美国国家环保局公布的重金属毒性危害系数(表 1)可得出各监测点的各种重金属污染风险值^[3-4]。

表 1 美国国家环保局公布的部分重金属毒性危害系数

重金属元素	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr
毒性危害系数	30	30	22	12	20	30

3.1.2 氮、磷污染风险值的确定 由于氮、磷污染是洞庭湖主要的污染物, 其毒性也相当大, 但目前对于氮、磷毒性系数的研究主要集中在对其衍生物的研究, 对总氮、总磷危害系数研究较少, 参考目前国内外对该类问题的处理方法^[5-9], 我们考虑由于危害系数的值是根据其毒性大小来制定的, 其毒性又可根据水质标准来判定。一般说来, 危害系数越大, 其毒性越大, 而水环境质量标准浓度越小。在外推中考虑一个安全系数, 因此可得下式:

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i \times C_{0i}) / n}{C_{0j}} \times S_F \quad (2)$$

式中: K ——污染物外推的毒性系数; C_0 ——污染物的地面水环境质量标准; K_i ——已知的污染物毒性系数; C_i ——重金属污染物的地面水环境质量标准; S_F ——安全系数, 文中取 1.5。

由此即可确定氮、磷毒性系数分别为 1.4 和 27, 再由式(4)可分别得出氮、磷的污染风险值。

3.2 风险评价

表 2 列出了洞庭湖 10 个监测点的污染风险值, 由横向比较, 全磷污染对于风险指数的贡献率最大, 各监测点的平均值为 58.2%, 说明目前洞庭湖流域的磷污染较大。其次即为 Cu, 贡献率为 21.65%, 而 N, Zn 贡献率较低, 分别为 1.27 和 1.54, 说明这 2 种污染物对洞庭湖流域内生态系统的风险较小。

表 2 洞庭湖流域风险值

序号	TN	TP	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	小计
1	1.05	89.64	3.00	8.80	1.70	29.4	12.00	145.59
2	1.33	37.26	3.00	5.72	1.62	16.0	7.20	72.13
3	2.03	89.10	9.60	4.40	1.70	38.0	13.20	158.30
4	2.29	86.94	5.40	4.40	1.48	32.0	7.80	140.31
5	1.30	77.22	4.20	5.72	1.80	22.0	7.20	119.44
6	1.36	39.96	3.60	5.72	1.76	14.0	7.20	73.60
7	1.93	52.92	4.80	7.48	3.34	16.0	10.20	96.67
8	1.29	50.76	6.00	4.40	2.16	40.0	12.60	117.21
9	1.65	145.80	10.80	11.88	1.94	40.0	7.20	219.27
10	1.70	60.48	7.80	4.40	1.80	24.0	10.80	110.98
均值	1.59	73.00	5.82	6.29	1.93	27.14	9.54	125.35

纵向来看, 全 N, Zn, Cr 风险分别以万子湖、磊石、茅草街处最高, 全 P, Cd, Pb, Cu 风险均以君山处最高。而茅草街和君山二监测点的总风险指数最高, 风险指数已经超过 150^[11-12](表 3), 已对周边生态系统造成了潜在风险, 特别是君山点的磷污染, 尤其风险指数已经对周边生态系统性城墙的生态危害, 应给予高度重视。

表 3 P_i, P 与污染程度的关系

指数类型	所处范围	污染程度
潜在生态危害指数	$P_i < 40$	轻微的生态危害
	40 $P_i < 80$	中等的生态危害
	80 $P_i < 160$	强的生态危害
	160 $P_i < 320$	很强的生态危害
	$P_i \geq 320$	极强的生态危害
中等的生态危害指数	$P < 150$	轻微的生态危害
	150 $P < 300$	潜在风险
	300 $P < 600$	强的生态危害
	$P \geq 600$	很强的生态危害

其它各点的风险值均低于 150, 说明目前的污染对生态系统影响不大, 只存在轻微的生态危害, 特别是小河咀和横岭湖二点, 风险指数较低, 但主要源于这两点磷指数偏低所致, 其它污染风险值也偏高, 因此对这两点的污染控制仍十分必要。

4 小 结

(1) 对比 1989 年, 1997 年, 1999 年数据, 得出洞庭湖流域水体污染现象严重, 特别是磷污染严重, 除 Cu 外其它重金属多年最高浓度均低于国家地表水环境质量标准 II 类标准。点源污染对洞庭湖流域水污染贡献较大, 枯水期各污染物浓度均较丰, 平水期高。污染物浓度有急剧增大的趋势, 除全氮外其余各污染物的增长速度都非常大。

(2) 由于目前国内外对除重金属外的其它污染物毒性危害系数研究不多, 因此本文在对洞庭湖流域进行风险评价是采用外推法确定了 N, P 的毒性危害系数, 并为今后其它类污染物的毒性危害系数的确定提供了一条新途径。

(3) 根据 10 个监测点的风险分析结果可知, 全磷风险仍是对洞庭湖流域风险贡献率最大的污染物, 而全氮, Zn 的污染风险较小; 君山处的污染风险较大, 已对其周边生态系统产生了潜在的生态风险, 而流域内其它各监测点的风险指数偏低, 只存在轻微的生态危害。

[参 考 文 献]

- [1] 赵沛伦, 申献辰, 夏军, 等. 泥沙对黄河水质影响及重点河段水污染控制[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998
- [2] Migo. Effect of PH and calcium ions on the destabilization of melanoidin [J]. Journal of Fermentation and Bioengineering, 1993, 76(1): 29—32
- [3] 汪晶, 和德科, 汪尧衢编译. 环境评价数据手册——有毒物质鉴定值[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988
- [4] 甘居利, 贾小平, 林钦, 等. 近岸海域底质重金属生态风险评价初步研究[J]. 水产学报, 2000, 24(6): 533—538
- [5] Hanson Mark L, Solomon Keith R. New technique for estimating thresholds of toxicity in ecological risk assessment [J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(15): 3257—3254
- [6] Muir W M, Howard R D, Otto Sarah P. Fitness components and ecological risk of transgenic release: A Model Using Japanese Medaka [J]. American Naturalist, 2001, 158(1): 1—16
- [7] Angela M. Obery, Wayne G. Landis. A regional multiple stressor risk assessment of the codorus creek watershed applying the relative risk model [J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2002, 8(2): 405—428
- [8] McCarty Lynn S, Mackay Donald. Enhancing ecotoxicological modeling and assessment [J]. Environmental Science & Technology, 1993, 27(9): 1719—1728
- [9] Power M, McCarthy L S. Fallacies in ecological risk assessment practices [J]. Environmental Science & Technology, 1997, 31(8): 370—375
- [10] 贾振邦, 梁涛, 林健枝, 等. 香港河流重金属污染及潜在生态危害研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1997, 33(4): 485—492
- [11] 廖自基. 环境中微量重金属元素的污染危害与迁移转化[M]. 北京: 科学出版社, 1989
- [12] 赵沛伦, 申献辰, 夏军, 等. 泥沙对黄河水质影响及重点河段水污染控制[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998
- [13] 廖自基. 环境中微量重金属元素的污染危害与迁移转化[M]. 北京: 科学出版社, 1989

(上接第 7 页)

- [3] De Roo A P J, Wesseling C G, Ritsen C J. L ISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I Theory, input and output [J]. Hydrological Processes, 1996, 10(8): 1107—1118
- [4] 江忠善, 王志强, 刘志. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 1—9
- [5] 蔡强国, 陆兆熊, 王贵平. 黄土丘陵区典型小流域侵蚀产沙过程模拟[J]. 地理学报, 1996, 51(2): 108—117
- [6] 汤立群, 陈国祥, 蔡名扬. 黄土丘陵区小流域产沙数学模型[J]. 河海大学学报, 1990, 18(6): 10—16
- [7] 陈永宗, 景可, 蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988
- [8] 张科利, 秋吉康宏. 坡面细沟侵蚀发生的临界水力条件研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 41—46
- [9] 郑粉莉, 高学田. 黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000. 59—62
- [10] Jetten V. L ISEM: Limburg Soil Erosion Model user manual, version 2 x[R]. Netherlands: Utrecht University, 2002
- [11] 张科利. 陕北黄土丘陵沟壑区坡耕地浅沟侵蚀及其防治途径[D]. 陕西杨凌: 中国科学院水利部水土保持研究所, 1988. 20—23
- [12] 吴普特. 地表坡度对雨滴溅蚀的影响[J]. 水土保持通报, 1991, 11(3): 8—13, 28
- [13] Foster G R, Huggins L F, Meyer L D. A laboratory study of rill hydraulics: I velocity relationship [J]. Trans of ASAE, 1984, 27(3): 790—796