

与水
应用
技术
监测

考虑非点源影响的水源地水库水质预测研究

朱磊, 李怀恩, 李家科, 秦耀民

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 联合应用流域非点源 AnnAGNPS 模型和水库水质 CE-QUAL-W₂ 模型, 研究了非点源污染对陕西省金盆水库水质影响。利用 AnnAGNPS 模型输出黑河流域非点源污染负荷, 将其转化为金盆水库入库浓度作为 CE-QUAL-W₂ 模型的输入, 对黑河金盆水质进行预测。结果表明: (1) 非点源污染在洪水期时对金盆水库水质有较大影响, 而在非洪水期时非点源污染对水库水质影响不显著; (2) 非点源污染对水库纵向和垂向水质的影响存在差异性; (3) 林地对流域非点源污染的削减起到很大作用; (4) 在对水库水质进行预测时, 应对洪水期和非洪水期的非点源污染区别对待。

关键词: AnnAGNPS 模型; CE-QUAL-W₂ 模型; 非点源污染; 水质预测研究

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)03-0111-05

中图分类号: X524

Prediction of Reservoir Water Quality Considering the Impacts of Non-point Source Pollution

ZHU Lei, LI Huai-en, LI Jia-ke, QIN Yao-min

(Key Laboratory of Water Resources, Environment and Ecology in Northwest China of the Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: The watershed non-point pollution model AnnAGNPS and water quality model CE-QUAL-W₂ were integrated to apply. Outputting the non-point source pollution loads based on AnnAGNPS model and converting the loads as the inputs of CE-QUAL-W₂ model, this paper attempts to predict the water quality of Jinpen reservoir and study the impacts of the non-point source pollutions on water quality. Results show that: (1) non-point source pollutions have greater impacts on water quality of Jinpen reservoir in the flood period than in the non-flood period; (2) the impacts of non-point source pollutions on water quality make a great difference between longitudinal and vertical water qualities; (3) forests play a significant role in the reduction of non-point source pollution in the watershed; (4) when predicting the water quality of reservoir, non-point source pollutions should be treated differently in the flood and non-flood periods.

Keywords: AnnAGNPS model; CE-QUAL-W₂ model; non-point source pollution; water quality prediction research

随着经济的发展,水源地水污染问题日益严重,城市用水安全受到极大威胁。黑河金盆水库是西安市的主要水源地,是以城市供水为主,兼顾灌溉、发电、防洪等综合利用的大型水利工程。因此,对金盆水库水源地水质变化及其影响因素进行分析具有极其重要的意义。水污染问题通常包括点源污染和非点源污染。与点源污染相比,非点源污染在空间和时间上具有分布广泛与变化剧烈等特点,非点源污染对水库水质的影响主要集中在丰水期和暴雨洪水过程中,故在进行水库水质预测时,要考虑非点源污染的

这些特点。典型的流域水文模型,如 SWAT^[1], HSPF^[2] 和 MIKE SHE^[3],能够模拟大尺度流域长时间的水文过程及点源和非点源污染演进过程,但不适合如湖泊、水库等较大水体的水质预测。另一方面,如 CE-QUAL-W₂^[4], WASP^[5] 和 EPD-RIV1^[6] 等水质模型主要解决较大水体的水动力学及水质问题,但无法解决流域中出现的水文问题。考虑到没有单一的模型可以同时模拟流域和较大水体的各种水动力和水质变量^[7],所以连接流域模型和水体水质模型是不可缺少的工作。因此,本文联合应用流域非点源模

收稿日期:2011-05-13

修回日期:2011-09-06

资助项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项“渭河关中段生态基流保障与水质改善多目标调控研究”(2009ZX07212-002-003-004);国家自然科学基金资助项目“考虑非点源影响的河流水污染控制规划研究”(50909080);陕西省自然科学基金项目“渭河干流关中段非点源污染特征及控制研究”(2009JQ7008)

作者简介:朱磊(1981—),男(汉族),吉林省吉林市人,博士研究生,研究方向为环境水文及水资源保护。E-mail:woulda@163.com。

型 AnnAGNP 与水库水质模型 CE-QUAL-W₂ 对金盆水库的垂向和纵向水质进行预测研究,提出可行的非点源污染控制措施。

1 研究区域概况

黑河为渭河右岸较大支流,属黄河二级支流,地理坐标为东经 107°43′—108°24′,北纬 33°42′—34°13′,发源于秦岭太白山北麓,由西南流向东北,至周至县马召镇附近的武家庄出峪后由东北的石马村入渭河。全流域面积 2 258 km²,干流总长 125.8 km,河道比降 8.77‰。黑河流域山川地形界限分明,黑峪口以上为峪谷山区,峪口以上集水面积 1 481 km²,占全流域 65%,干流总长 91.2 km,河道平均比降 14.7‰,河系呈羽毛状,流域平均宽度为 16.2 km,支流多集中于右岸,右岸集水面积为左岸的 3 倍。河流出峪后基本为平川地区,河床比降约为 1/240~1/1 280。黑峪口以上流域平均高程为海拔 1 850 m,分水线平均高程为海拔 2 400 m,其中太白山主峰高达 3 767 m。流域内为峰岭错列,山崖陡峻,支流密布的山区,岩石外露,地表覆盖有 25—50 cm 的黄褐色砂土和黑色腐殖质,属岩石风化土类。

1.1 工程概况

黑河金盆水利枢纽工程位于西安市周至县城南金盆干流峪口以上 1.5 km 处,东距西安市约 86 km,北距周至县城 14 km,坝址以上流域面积 1 481 km²,控制全流域面积的 65.6%,多年平均径流量为 6.67×10⁸ m³。最大坝高 128.9 m,正常蓄水位 594 m,总库容 2.00×10⁸ m³,有效库容为 1.77×10⁸ m³,多年平均调节水量 4.28×10⁸ m³,其中给西安市城市供水 3.05×10⁸ m³,日平均供水量为 7.60×10⁵ t,供水保证率 95%;农用灌溉年供水量为 1.23×10⁸ m³,灌溉面积 2.47×10⁴ hm²,坝后电站装机容量为 2.00×10⁴ kW,多年平均发电量为 7.31×10⁷ kW·h。金盆水利枢纽工程是西安市金盆引水工程的主要水源工程,是一项以城市供水为主,兼顾灌溉、发电、防洪等综合利用的大型水利工程。

1.2 水源区污染源分析

水源区是指为保护水源而划定的区域,本文所讲的水源区是指金盆水库坝址以上流域面积所包含的范围。水源区染源包括点源污染和非点源污染,其中点源污染包括库区汇流范围内的各县的工业污染源和城镇生活污染源;非点源污染主要是农业及水土流失等所形成的污染。

1.2.1 点源污染来源 经普查,水源区内基本上没有规模型工业生产,乡镇企业不仅数量少,而且只限

于加工业。因此,水源区内点源类污染只有人口相对聚居的乡镇生活污染和矿产资源开发 2 种基本类型。

1.2.2 非点源污染来源

(1) 农业及天然有机质污染。坡耕地肥力充足的表层土壤极易被暴雨侵蚀,氮磷、农药等污染物随地表径流进入河流,最终汇入水库。另一方面,由于流域良好的植被覆盖,地表被大量死亡的植物和落叶形成的腐殖物质所覆盖,加之地表坡度很大,暴雨径流携带大量固态、胶态和少量溶解态的腐殖物质进入河流,并最终汇入水库,以固态、胶态形式存在的有机与无机污染物大部分沉积库底,成为水库污染沉积物的主要来源。

(2) 旅游污染。研究区域良好的植被和山水风光是城市居民休闲度假、旅游的好去处。旅游业的发展带来了旅游污染,其污染物随人群活动呈无序状态,构成了水源区非点源类污染。

(3) 交通污染。水源区内有 2 条国道(G108 和 G210)穿过,2 条国道每日车流量均在 3 000 辆以上。随着旅游业和经济建设的发展,将会有越来越多的车辆、人群进入水源区,车辆排放的尾气、车辆部件磨损以及液体化学品泄漏等也会导致水源区水体非点源类污染。

2 研究方法

2.1 AnnAGNPS 模型简介

AnnAGNPS(annualized agricultural non-point source pollution model)^[8-10]是新一代的 AGNPS 模型,该模型以日为基础连续模拟一个时段(月,年)内每天及累计的径流、泥沙、养分和杀虫剂的输出结果,可用于评价流域内非点源污染的长期作用以及实施不同水保措施的效果。与 AGNPS 类似,AnnAGNPS 模型的基本思路仍是将流域划分成一定的分室(cell),所不同的是它按流域水文特征,即集水区来划分单元而不是按固定网格划分。AnnAGNPS 的另一个改进是采用 RUSLE 而不是 USLE 来预测各分室的土壤侵蚀。另外,AnnAGNPS 模型还包括一些特殊的模块,可计算点源、畜牧养殖场产生的污染物,评估沟谷、水坝集水坑对径流、泥沙、营养盐和农药产生的影响^[11-13]。李家科等^[11]以陕西黑河流域为研究区,借助 GIS 和相关资料提取参数,建立 AnnAGNPS 模型数据库。采用 1991—1998 年黑峪口断面月径流量、泥沙和无机氮、总磷监测数据率定和验证模型,分析 AnnAGNPS 模型在西北半干旱地区典型流域的适用性,结果表明,AnnAGNPS 可用于该流域非点源污染长期模拟^[14]。

2.2 CE-QUAL-W₂ 模型简介

CE-QUAL-W₂ 模型是横向平均二维(纵向和垂向)水动力和水质模型,由 USACE(美国陆军工程兵团水道实验站)开发,是由水动力模型和水质输移模型耦合而成。该模型假设横向是平均的,对于水库、河流、湖泊以及河口等不同条件下多种污染物的迁移转化规律均适宜,尤其对相对狭长的湖泊和分层水库的水质模拟极佳,可以预测水平和垂直速度、温度、DO 值、BOD 值、pH 值、营养物、有机物、大肠杆菌、藻类、溶解和悬浮物等 21 种水质变量浓度变化^[4]。作者应用 CE-QUAL-W₂ 模型建立了陕西金盆水库二维水质模型,根据库区水文、气象及总磷、总氮等实测水质数据率定 CE-QUAL-W₂ 模型参数,率定模型后,预测了金盆水库总磷和总氮浓度,将预测结果与实测水质数据对比。

结果表明,预测结果和实测水质数据基本相符,

因此,该模型在预测金盆水库的水质状况方面具有较好的推广和应用前景。

2.3 研究思路

(1) 通过 AnnAGNPS 模型计算 2003 年(丰水年)和 2008 年(枯水年)黑河流域的总磷、总氮非点源负荷,并将总磷、总氮非点源污染负荷转化为 CE-QUAL-W₂ 模型水库入流浓度输入,应用率定后的 CE-QUAL-W₂ 模型,对黑河金盆水库在 2 种情景、4 种计算方案下的水质进行预测研究。金盆水库入库点源污染主要来自于相对聚集的乡镇生活和矿产资源开发污染,且点源负荷量相对稳定,因此,假设各月点源污染负荷恒定不变,将 2008 年冬季实测总磷、总氮的均值作为“只考虑点源”情况下入库水质数据输入,分析水库水质情况,点源总磷浓度为 0.010 mg/L,点源总氮浓度为 1.055 mg/L。2008 年陈河乡来流量如表 1 所示。

表 1 2008 年陈河乡来流量

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
来流量/10 ⁴ m ³	561.19	489.30	863.69	2 793.33	1 257.20	1 785.29	7 109.50	5 821.48	7 882.47	7 020.14	1 708.70	945.20

2008 年 11 月和 12 月总磷点源负荷分别为 0.11 和 0.07 t,均值 0.09 t 取为 2003 和 2008 年总磷点源月负荷,总磷 2003 年和 2008 年点源负荷 1.08 t。2008 年 11 月和 12 月总氮点源负荷分别为 11.6 t 和 7.46 t,均值 9.53 t 取为 2003 年和 2008 年总氮点源月负荷,总氮 2003 年和 2008 年点源负荷 114.37 t。

(2) 应用 AnnAGNPS 模型计算得,2003 年(丰水年)现状条件下总磷的非点源负荷量为 4.56 t,总氮非点源负荷量为 234.85 t;2008 年(枯水年)现状条件下总磷的非点源负荷量为 1.72 t,总氮的非点源负荷量为 87.81 t。

2003 年总磷负荷 5.64 t,其中点源负荷占 19.15%,非点源负荷占 80.85%;总氮负荷 349.22 t,点源负荷占 32.75%,非点源负荷占 67.25%。2008 年总磷负荷 2.80 t,点源负荷占 38.57%,非点源负荷占 61.43%;总氮负荷 202.18 t,点源负荷占 56.57%,非点源负荷占 43.43%(表 2)。

表 2 金盆水库总磷和总氮的年负荷量 t

年份	总磷年负荷量		总氮年负荷量	
	非点源污染	总污染	非点源污染	总污染
2003	4.56	5.64	234.85	349.22
2008	1.72	2.80	87.81	202.18

(3) 应用 AnnAGNPS 模型,评价其环境效果。根据所选择的控制措施,调整相关输入参数,生成模型的输入文件,运行模型估算各项措施的年均污染负荷,对比无控制措施时的计算值评价该项措施的有效性。考虑到 CN 值对径流、泥沙和氮磷污染物输出影响最大,在统筹该流域非点源污染管理措施时,以 2000 年土地利用现状为基础,设计了 2 种情景。① 黑河流域位于秦岭山区,山高坡陡,假设未来响应国家水源保护政策,将山区人口搬离,全部退耕还林,流域土地利用只有林地。② 在 2000 年土地利用现状基础上,大于 15°坡还林,15°以下坡地中未利用地和工矿用地全部还林,15°以下耕地不变。

将 2003 年和 2008 年点源月负荷、非点源月负荷量、情景 1 和情景 2 下非点源月负荷转化为月入库平均浓度,非点源月负荷按照月径流量比重对非点源年负荷量进行分配计算。具体计算方案的水质输入(即入库浓度)如下:计算方案①:点源;计算方案②:点源+非点源;计算方案③:点源+情景 1 非点源;计算方案④:点源浓度+情景 2 非点源。利用 CE-QUAL-W₂ 水质模型计算金盆水库 2003 年(丰水年)和 2008 年(枯水年)垂向和纵向总磷、总氮浓度分布。

3 结果与讨论

按上述 4 种计算方案进行计算,得到 2003 年(丰

水年)和 2008 年(枯水年)洪水期和非洪水期,金盆水库上游、中游和坝前不同深度的月平均总磷、总氮浓

度分布,由于篇幅有限,本文仅列出以下计算结果(如图 1 所示)。

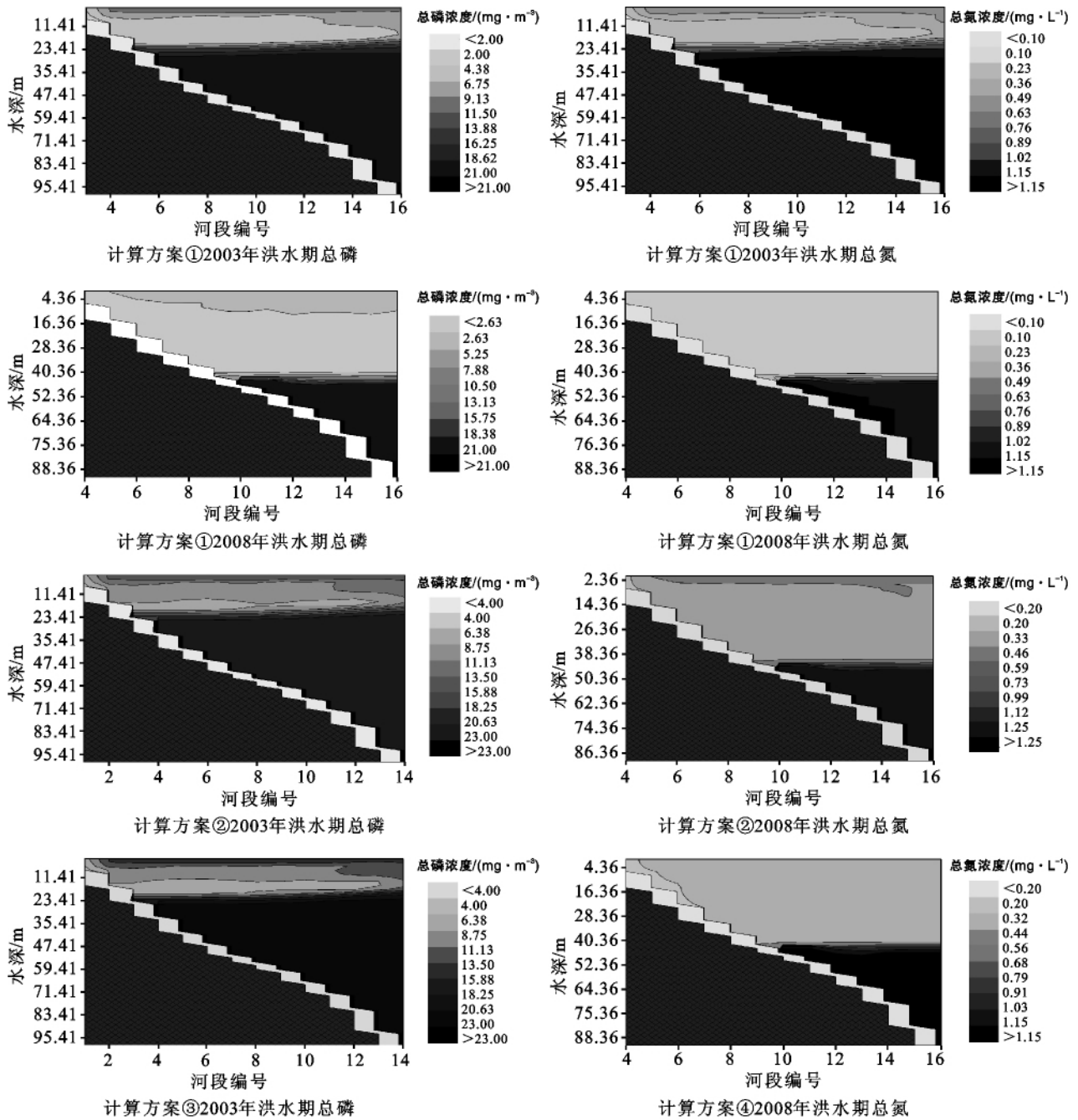


图 1 金盆水库总磷和总氮浓度分布

(1) 2003 年和 2008 年洪水期时,计算方案②,③,④得到的水库总磷、总氮浓度均大于计算方案①水库中对应位置的总磷、总氮浓度,这表明非点源污染在洪水期时对金盆水库水质有较大影响。2003 和 2008 年非洪水期时,计算方案②,③,④得到的总磷、总氮浓度与计算方案①的总磷、总氮浓度相比差异不大,这表明非点源污染在非洪水期时对金盆水库水质影响不显著。

(2) 非点源污染对水库纵向(水流方向)水质的影响。水库坝前、库区中游和库区上游河道水质均受到非点源污染的影响,而且非点源污染对水库纵向水质变化的影响大体相同。2003 年洪水期,计算方案②与计算方案①相比,水库坝前、库区中游和库区上游河道的表层总磷浓度分别增加 4.75,4.70 和 4.64 mg/m³;计算方案②与计算方案①相比,水库坝前、库区中游和库区上游河道的表层总氮浓度分别增加 0.26,0.26

和 0.26 mg/L,其他方案不同河段不同深度总磷浓度变化与这个规律相符合。

(3) 非点源污染对水库垂向(水深方向)水质的影响。水库表层水质对非点源污染较为敏感,而库底水质受到非点源污染的影响较小。2008年洪水期,计算方案②与计算方案①相比,坝前水深 0,10,20,30,40,50,60 和 70 m 总磷浓度分别增加 4.81,4.44,4.06,4.08,4.07,1.14,1.14 和 1.14 mg/m³;计算方案②与计算方案①相比,坝前水深 0,10,20,30,40,50,60 和 70 m 总氮浓度分别增加 0.27,0.25,0.23,0.23,0.23,0.04,0.04 和 0.04 mg/L,其他方案不同深度总磷浓度变化均符合这个规律。

(4) 考虑非点源污染的影响,方案③水库中对应位置的总磷、总氮浓度<方案④水库中对应位置总磷、总氮浓度<方案②水库中对应位置总磷、总氮浓度。如 2003 年洪水期,方案②,③和④与计算方案①相比,计算库区上游河道表层总磷浓度分别为 14.198,13.921 和 13.948 mg/m³;方案②,③和④与计算方案①相比,计算库区上游河道表层总氮浓度分别为 0.819,0.747 和 0.776 mg/L。说明林地对流域非点源污染削减起到很大作用,应尽量增加林地面积,植树造林,减少耕地面积,这将有利于减少进入水库非点源污染负荷。

4 结论

本文联合应用流域非点源模型 AnnAGNPS 和水库水质模型 CE-QUAL-W₂,对黑河金盆水质进行预测,研究流域非点源污染对水库水质的影响,提出了可行的水库非点源污染控制措施。在对水库水质进行预测时,应对洪水期和非洪水期的非点源污染区别对待。非点源污染在洪水期时对金盆水库水质有较大影响,而在非洪水期时非点源污染对金盆水库水质影响不显著。非点源污染对金盆水库纵向(水流方向)和垂向(水深方向)水质的影响是有差异的。水库坝前、库区中游和库区上游河道的水质均受到非点源污染的影响,而且这种影响大体相同;水库表层水质对非点源污染较为敏感,而库底水质受到非点源污染的影响较小。林地对流域非点源污染削减起到很大作用,应尽量增加林地面积,植树造林,减少耕地面积,这将有利于减少进入金盆水库非点源污染负荷。

[参 考 文 献]

[1] Neitsch S L, Arnold J G, Kiniry J R, et al. Soil and water assessment tool (SWAT) user's manual version 2000[M]. Grassland Soil and Water Research Laborato-

ry. Temple, TX: ARS. 2000.

- [2] Donigan A S, Jr Imhoff J C, Bicknell B, et al. Application guide for hydrological simulation program—Fortran (HSPF): U. S. Environmental Protection Agency[M]. Environmental Research Laboratory, Athens, GA, EPA, 1984:177.
- [3] Refsgaard J C. Parameterization, calibration and validation of distributed hydrological models[J]. Journal of Hydrology, 1997,198(1/4):69-97.
- [4] Cole T M, Wells S A. CE-QUAL-W₂: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.1 user's manual[M]. Washington, DC: US Army Corps of Engineers, 2003.
- [5] Woll T A, Ambrose R B, Martin J L, Comer E A. Water Quality Analysis and Simulation Program (WASP) version 6.0, Draft User's manual[M]. Atlanta, GA: US Environmental Protection Agency, 2003.
- [6] Martin J L, Wool T A. A dynamic one-dimensional model of hydrodynamics and water quality (EPD-RIV1), version 1.0. Model Documentation and User Manual[M]. Atlanta, GA: Georgia Environmental Protection Division, 2002.
- [7] Shanahan P, Harleman D. Linked hydrodynamic and biogeochemical models of water quality in shallow lakes [R]. Technical Report 268, R. M. Parson Laboratory. Cambridge, MA: MIT, 1982.
- [8] Baginska B, Milne-Home W, Cornish P S. Modeling nutrient transport in Currency Creek, NSW with AnnAGNPS and PEST [J]. Environmental Modeling & Software, 2003,18(8/9):801-808.
- [9] Polyakov V, Fares A, Kubo D, et al. Evaluation of a non-point source pollution model, AnnAGNPS, in a tropical watershed [J]. Environmental Modeling & Software, 2007,11:1617-1627.
- [10] 郑粉莉,高学田,李靖. 农业非点源污染模型(AGNPS)用户指南与操作手册[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2008:1210.
- [11] 李家科,李怀恩,李亚娇. AnnAGNPS 模型研究及应用进展 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2009, 37(2):225-234.
- [12] Zhao Qian, Ma Jian, Wen Qing-chun, et al. Modeling pollutant load and management alternatives in headwater of Chai River watershed with AnnAGNPS [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(2): 344-351.
- [13] 赵倩,马建,问青春,等. 应用 AnnAGNPS 模型模拟柴河上游农业非点源污染 [J]. 农业环境科学学报, 2010,29(2):344-351.
- [14] 李家科,李怀恩,李亚娇,等. 基于 AnnAGNPS 模型的陕西黑河流域非点源污染模拟 [J]. 水土保持学报, 2008,22(6):81-88.