

晋江西流域土地利用变化对非点源污染影响的 SWAT 模拟

荣 琨¹, 陈兴伟², 刘梅冰², 林文娇², 高 杨²

(1.福建师范大学化学与材料学院, 福建 福州 350007; 2.福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘 要:运用 SWAT 模型,对晋江西流域土地利用变化的非点源污染响应进行了研究。结果表明,土地利用变化造成的非点源总氮、总磷污染总量分别从 20 世纪 70 年代的年均 1 530 t、266 t,上升为 2001 年的 2 641 t、542 t;单位面积非点源污染最严重的区域越来越集中于流域中部地区;就非点源污染总量而言,除坑仔口溪区的污染总量仍较小外,其余 4 个水系区中的分布趋于均衡;由于耕地减少、园地猛增等原因,非点源污染由 20 世纪 70 年代的以耕地产污为主变为 2001 年的以园地产污为主,园地成为非点源污染重点治理的用地类型。

关键词:土地利用/覆被变化(LUCC);非点源污染;SWAT 模型;晋江西溪

中图分类号:X144 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)07-1488-06

Simulation of the Effect of Land Use/Cover Change on Non-Point Source Pollution Load in Xixi Watershed of the Jinjiang Basin with SWAT Model

RONG Kun¹, CHEN Xing-wei², LIU Mei-bing², LIN Wen-jiao², GAO Yang²

(1. College of Chemistry and Materials Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The nitrogen and phosphorous transport in Xixi watershed of the Jinjiang basin was modeled using the SWAT model. The model was calibrated by comparing the observed ammonia-nitrogen and mineral phosphorous with the simulated one, and the Ens of ammonia-nitrogen and mineral phosphorous was 0.69 and 0.79 with the minimum relative error 5.3% and 1.4%, respectively. The results indicated that SWAT model was appropriate for Xixi watershed. Then the effect of land use/cover change on non-point source (NPS) pollution loadings in the watershed was simulated with the mode, and the spatial and temporal variations of loadings were analyzed. The results showed that the total nitrogen and total phosphorous load increased from 1 530 tons and 266 tons in 1970s to 2 641 tons and 542 tons in 2001, because of the land use change. The most serious region of unit area NPS pollution was located at the central watershed. The total pollution load in the Kengzikou tributary was still smaller, and it was changed and became almost the same in the other four tributaries. Due to the reduction of the area of farm and the increase of orchard, the most important land use catalog for the production of NPS pollution was the orchard in 2001 instead of the farm in 1970s.

Keywords: land use/cover change (LUCC); non-point source pollution; SWAT model; Xixi watershed of Jinjiang basin

在影响非点源污染的众多因素中如降雨、地形、土壤等,土地利用方式是与人类生产生活密切相关的、人类可以改变的因素之一,而其他很多因素都是

自然形成、人类无法改变的,因此土地利用方式是影响非点源污染的最关键因素之一^[1]。随着计算机技术的发展,应用模型对不同土地利用方式下的非点源污染进行时空模拟成为 LUCC 研究的重要方向。国内外许多学者运用 SWAT 模型在美国^[2]、韩国^[3]、印度^[4]以及中国的湖北茅坪河流域^[5]、太湖流域^[6]、三峡库区大宁河流域^[7]、密云水库流域^[8]等区域成功地进行了非点源污染研究;同时也有学者^[9-12]运用 SWAT 模型研

收稿日期:2008-10-30

基金项目:浙江工业大学重中之重学科开放基金资助项目(2008)

作者简介:荣 琨(1983—),男,山东滨州人,在读硕士,主要从事水环境方面的研究。E-mail:rongkun_007@163.com

通讯作者:陈兴伟 E-mail:cwchen215@163.com

究了LUCC的产流产沙效应,李庆航等^[13]运用SWAT模型研究了土地利用变化前后区域非点源污染的变化,SWAT模型的有效性得到了广泛证明。

晋江流域所在的泉州市是我国东南沿海经济社会最发达的区域之一,晋江流域也是福建省内水土流失最严重的流域,年均侵蚀模数为 $835\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ ^[14]。安溪位于晋江西溪上游,据2000年遥感调查,全县水土流失面积 633.38 km^2 ^[15],比1985年增加了22.2%,是晋江流域水土流失的主要来源,非点源污染严重,但目前有关晋江流域土地利用变化对非点源污染影响的研究尚未见报道。本文将SWAT模型应用于晋江西溪流域,模拟1985年与2001年两期土地利用方式下的非点源污染响应,旨在定量评估LUCC变化对非点源污染的影响。

1 研究区概况

晋江西溪流域(如图1)位于福建省东南部的泉州市境内,为晋江水系的正源,由西北流向东南,与晋江东溪汇合,经泉州湾入海。本文选择西溪流域安溪水文站($23^{\circ}03'\text{N}$, $118^{\circ}10'\text{E}$)控制以上区域为研究区,研究区内的西溪流程全长105 km,面积为 $2\,451\text{ km}^2$,海拔范围50~1 500 m,地貌以山地丘陵为主,平原较少。西溪流域月平均气温 $22\sim 29^{\circ}\text{C}$,多年平均降水量1 715 mm,属亚热带海洋性季风气候。4~9月为汛期,径流量占全年径流总量的77%,流域多年平均径流量为26.3亿 m^3 ,属于晋江流域高径流区。土壤类型以红壤(44.8%)、水稻土(30.2%)和黄红壤(17.1%)等3类土壤为主,约占92%^[16]。

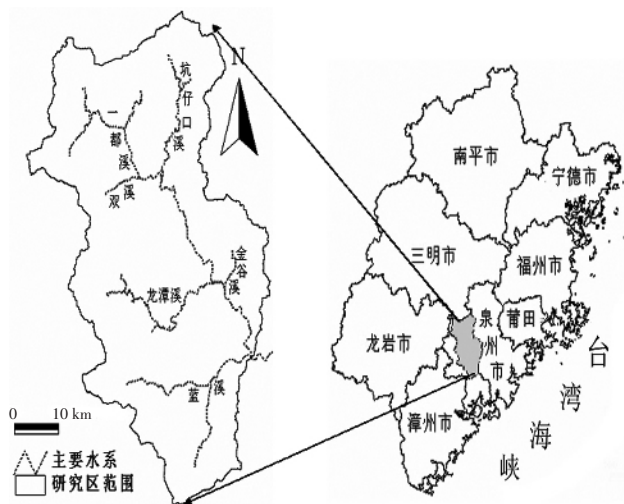


图1 西溪流域位置及水系图

Figure 1 Location and river network of Xixi watershed

2 模型参数率定与验证

SWAT是美国农业部开发的流域尺度分布式模型,可用于模拟预测长期土地管理措施对大面积复杂流域的水文、泥沙和营养物的影响。运用模型所需的气象数据、地形数据、土壤和土地利用数据、农业管理数据,对研究区内1972—1979年产流^[17]、产沙^[18]、非点源污染^[19]进行模拟,同时选取相对误差 RE 、效率系数 Ens 和决定系数 R^2 3个指标用于模型适用性评价。结果表明,径流模拟的校准期(1972—1975年)月模拟 Ens 为0.91, R^2 为0.92;径流模拟的验证期(1976—1979年)月模拟 Ens 为0.85, R^2 为0.90。产沙模拟中以1972年为预热期,1973—1979年的产沙月模拟 Ens 为0.63, R^2 为0.65,7 a平均 RE 为-14.1%。非点源污染模拟中以1972年为预热期,1973—1979年的氨氮年模拟 Ens 为0.69, R^2 为0.95,7 a平均 RE 为-18.6%;同期矿物磷年模拟 Ens 为0.79, R^2 为0.85,7 a平均 RE 为-1.5%。

总体上看,率定和验证后的SWAT模型在晋江西溪流域有较好的适应性,产流、产沙及非点源污染模拟精度均较高,可以应用构建的模型进一步研究1985和2001年土地利用方式下非点源污染的特征。

3 两期土地利用状况对比

本研究中1985与2001年的研究区土地利用资料来源于中国科学院南京土壤研究所提供的1:10万福建省土地利用/覆被遥感解译数据^[20]。研究中使用研究区2001年的土地利用数据代替1985年的土地利用数据,其余的资料如DEM、降雨、土壤图、农业管理资料、率定的参数等均保持不变。研究区1985和2001年的土地利用状况如图2所示,可以看出自1985年到2001年研究区土地利用有明显变化,林地、耕地、草

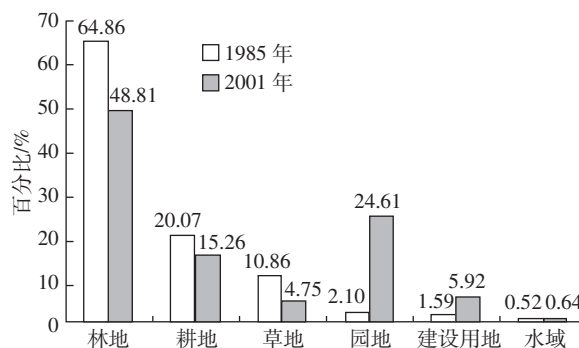


图2 研究区1985与2001年土地利用对比表

Figure 2 Comparison of land uses between 1985 and 2001

地均有所减少,而园地和建设用地均有增加,尤其是园地比例从 1985 年的 2.1% 猛增至 2001 年的 24.6%,水域面积变化不大。

4 结果与分析

4.1 各土地利用类型非点源污染变化

研究区 1985 与 2001 年两期土地利用状况下各用地类型的非点源污染负荷如表 1 所示。可以看出,从 20 世纪 70 年代到 2001 年,由土地利用变化所造成的各用地类型非点源污染的变化不平衡。受林地、耕地和草地面积减少的影响,3 种用地的非点源总氮污染分别减少了 33.65%、27.45%、60.03%,总磷污染分别减少了 67.98%、35.55%、60.12%;由于水域面积较小,在模型土地利用概化时被略掉,因而其无污染产出;由于园地面积比例从 1985 年的 2.1% 猛增至 2001 年的 24.6%,园地的非点源总氮和总磷污染分别净增 1 499 t 和 354 t,分别增长了约 19 倍和 17 倍;建设用地的非点源污染增长幅度也较大,但由于建设用地面积较小,其非点源污染变化绝对值相对园地较小。以上分析表明,研究区非点源污染的增加,主要是由园地面积猛增造成的。

表 1 晋江西溪流域各类型用地非点源污染负荷

Table 1 Non-point source pollution loadings of different land uses

土地利用	1985 年 总氮/t	2001 年 总氮/t	总氮增 长率/%	1985 年 总磷/t	2001 年 总磷/t	总磷增 长率/%
林地	337.92	224.21	-33.65	9.49	3.04	-67.98
耕地	1 006.41	730.19	-27.45	219.93	141.74	-35.55
草地	107.69	43.05	-60.03	14.83	5.91	-60.12
园地	78.28	1 576.85	1 914.47	21.07	375.42	1 681.7
建设用地	1.53	66.55	4 244.45	0.40	16.38	4 010.12
水域	0	0	0	0	0	0
流域总计	1 531.82	2 640.85	72.4	265.71	542.43	104.15

注:总氮、总磷数值是依据 1985 年或 2001 年土地利用图模拟的结果,下同。

表 1 还表明,西溪流域由土地利用变化所造成的非点源总氮污染从 20 世纪 70 年代的 1 532 t 增加到 2001 年的 2 641 t,增长率为 72.4%;由土地利用变化所造成的总磷污染变化与总氮污染变化类似,从 20 世纪 70 年代的 266 t 增加到 2001 年的 542 t,增长率为 104%。究其原因,尽管研究区非点源污染的重要来源耕地的面积有所减少,但另一重要来源园地的面积却大幅增加,且其面积增加量远大于耕地面积减少量。由于部分坡地果园的建园标准低,未采取水土保持措施,经营粗放^[21],且果园的地形坡度通

常比耕地大,在降雨量较大时比耕地更易发生严重的水土流失,导致以泥沙为载体的吸附态氮磷流失严重,加上农业化肥的大量使用,使得果园的非点源氮、磷流失大于耕地和林地,因而流域内非点源氮磷污染均有所增加。

从 1985 年到 2001 年研究区的土地利用有较大变动,各类型用地的非点源污染所占比例也相应有所变化,两期土地利用状况下各类型用地的非点源总氮、总磷污染所占比例分别如图 3、图 4 所示。可以看出,研究区非点源总氮、总磷污染产出均由 20 世纪 70 年代的以耕地产污为主变为 2001 年的以园地产污为主,如 20 世纪 70 年代非点源总氮污染中耕地产出了 66%,园地仅产出了 5.1%,而到 2001 年耕地产出了 27.7%,园地猛增至 60%;非点源总磷污染中,20 世纪 70 年代耕地、园地分别产出了 83%、8%,而到 2001 年分别为 26%、69%。此种现象的出现,与园地面积猛增、耕地面积减少有密切关系。此外,各种用地单位面积非点源污染负荷分析表明,2001 年园地的非点源总氮、总磷污染负荷均为最高。以上分析表明,在非点源污染总量和单位面积非点源污染负荷上,目前西溪流域园地的非点源污染较严重,是今后重点治理的用地类型。

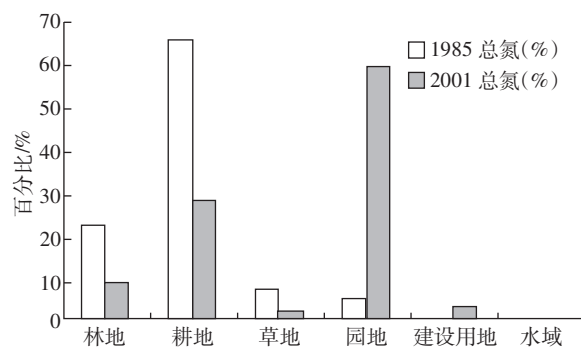


图 3 两期土地利用各用地产生总氮总量比例

Figure 3 Percentages of TN loading of two periods

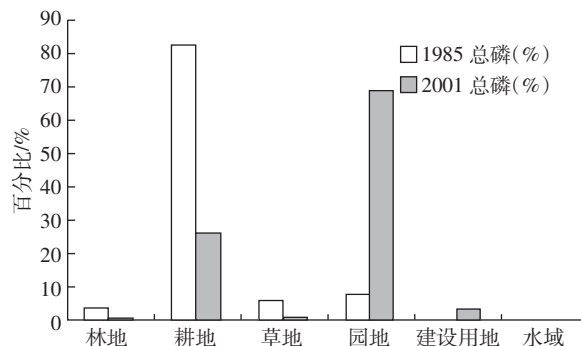


图 4 两期土地利用各用地产生总磷总量比例

Figure 4 Percentages of TP loadings of two periods

4.2 各亚流域非点源污染变化分析

研究区的土地利用状况从1985年变为2001年之后,单位面积非点源污染负荷从 $6.3 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 $1.1 \text{ kg P} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 $10.8 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 $2.2 \text{ kg P} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。为了研究两期土地利用方式下非点源污染的空间分布变化,根据SWAT模型的输出结果,得出1985年与2001年土地利用下研究区22个亚流域的单位面积非点源总氮、总磷污染负荷分别如图5、图6、图7、图8所示。

图5~图8表明,从1985年的土地利用变为2001年之后,各亚流域单位面积非点源污染绝对值均有所增加,但非点源污染的空间分布有一定的变化,如在

图5和图6中并非污染最严重一类的11号、13号、14号亚流域,在图7和图8中均成为污染最严重的一类,究其原因,在1985年土地利用中11号、13号、14号亚流域的耕地园地面积比例和仅位于第8位、第9位、第13位,而在2001年土地利用中3个亚流域分别上升到第5位、第7位、第3位,而耕地和园地的面积比例越大,则非点源污染越严重^[22];同理,在2001年土地利用中15号、18号、20号3个亚流域的耕地园地面积比例和的位次均有所下降,因而这3个亚流域由图5和图6中污染最严重的一类变为图7和图8中并非污染最严重一类。

图5~图8还表明,西溪流域非点源污染最严重

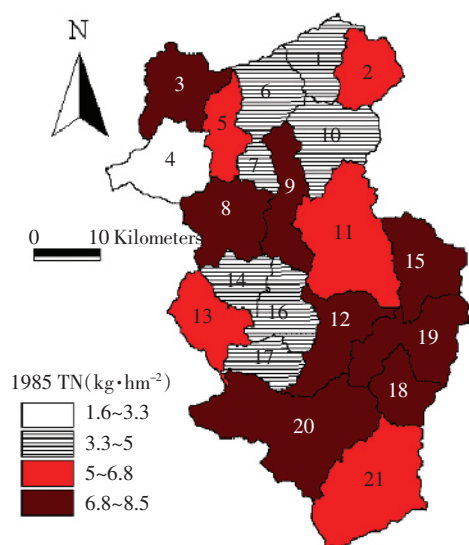


图5 1985年土地利用方式下各亚流域非点源总氮污染

Figure 5 Distribution of TN loading in 1985

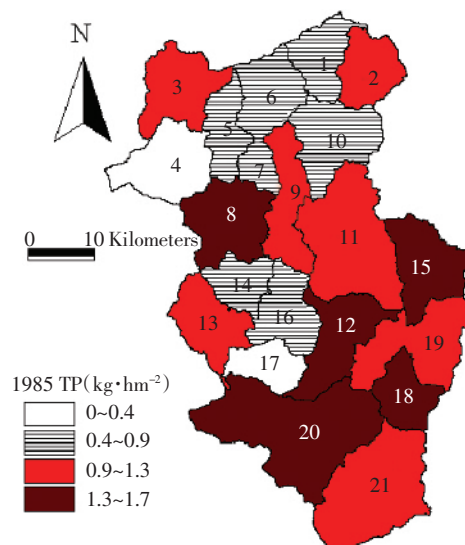


图6 1985年土地利用方式下各亚流域非点源总磷污染

Figure 6 Distribution of TP loading in 1985

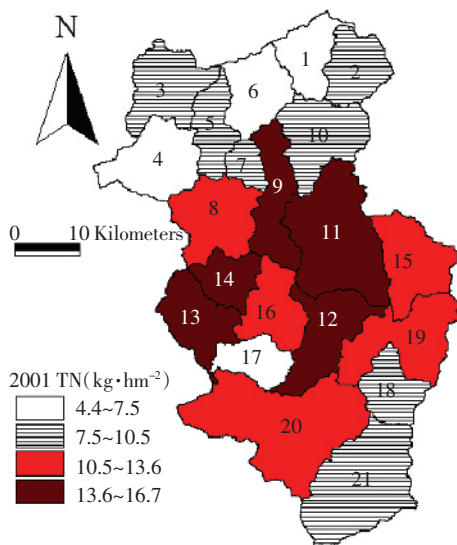


图7 2001年土地利用方式下各亚流域非点源总氮污染

Figure 7 Distribution of TN loading in 2001

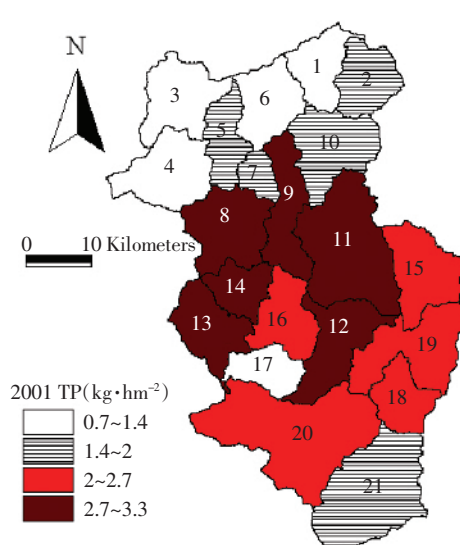


图8 2001年土地利用方式下各亚流域非点源总磷污染

Figure 8 Distribution of TP loading in 2001

的区域越来越集中于流域中部地区,如图 5 和图 6 中污染最严重的区域在流域上游的 3 号亚流域与流域下游的 18 号亚流域均有分布,而在图 7 与图 8 中仅集中分布于流域中部的 9 号、11 号、12 号、13 号、14 号亚流域,这与流域中部各亚流域的耕地园地面积增幅更大有一定关系。

4.3 各水系区非点源污染变化分析

根据流域各水系所处位置(如图 1),西溪流域可划分为 5 个水系区,分别为坑仔口溪区、一都溪和双溪区、龙潭溪区、蓝溪区、金谷溪和干流区,各水系区在 1985 与 2001 年两期土地利用方式下产生的非点源总氮污染总量、总磷污染总量占全流域产污量的比例分别如图 9、图 10 所示。

图 9 表明,在 1985 年土地利用状况下,坑仔区产生的非点源总氮污染量远小于其他 4 个水系区,在其他 4 个水系区中蓝溪区的产污量最大;而在 2001 年

的土地利用状况下,坑仔区产生的总氮污染仍较小,但其他 4 个区的产污量对比却有所变化,蓝溪区的总氮污染量不再是最大,4 个水系区的非点源总氮污染量变得较为均衡,4 个区的总氮污染百分比均在 21.9%~24.7%之间;图 10 表明,两期土地利用状况下研究区非点源总磷污染也有类似变化。

究其原因,在 1985 年土地利用中,一都、龙潭、蓝溪、金谷 4 个区中各区的耕地园地面积和均在 85~151 km²之间,面积极值比为 1.8,面积差别较大;而在 2001 年土地利用中,这 4 个区中各区的耕地园地面积和均在 203~243 km²之间,面积极值比变为 1.2,面积差别变小,由于园地与耕地是非点源污染最重要的来源,在 2001 年土地利用状况下,研究区非点源污染总量在这 4 个区中的分布变得较为均衡。在两期土地利用中坑仔区的耕地园地面积和均较小,且此区地处流域上游,水量较小,因而该区两期的非点源污染均较小。

5 结论

(1)由于耕地减少、园地猛增等原因,晋江西溪流域各用地类型的非点源污染所占比例发生变化,由 20 世纪 70 年代的以耕地产污为主(66%总氮、83%总磷),变化为 2001 年的以园地产污为主(60%总氮、69%总磷)。目前西溪流域园地的非点源污染较严重,是今后重点治理的用地类型。

(2)晋江西溪流域由于土地利用变化所造成的非点源污染从 20 世纪 70 年代到 2001 年呈上升趋势;由于园地面积猛增等原因,非点源污染由 20 世纪 70 年代的年均 1 530 t N(6.3 kg N·hm⁻²)与 266 t P(1.1 kg P·hm⁻²)上升到 2001 年的 2 641 t N(10.8 kg N·hm⁻²)与 542 t P(2.2 kg P·hm⁻²);非点源总氮、总磷污染分别增长了 72%、104%。

(3)从 20 世纪 70 年代到 2001 年,由于土地利用变化造成的单位面积非点源污染空间分布有一定的变化,单位面积非点源污染最严重的区域越来越集中于流域中部地区。

(4)由于园地和耕地在各水系区中的总量分布更加均衡,非点源污染总量在各水系区中的分布由 20 世纪 70 年代的蓝溪区污染总量最多,变化为 2001 年的除坑仔区仍较小外,在其他 4 个区中的分布较为均衡。

参考文献:

- [1] 刘瑞民,杨志峰,丁晓雯,等.土地利用/覆盖变化对长江上游非点源污染影响研究[J].环境科学,2006,27(12):2407-2414.
LIU Rui-min, YANG Zhi-feng, DING Xiao-wen, et al. Effect of land use/

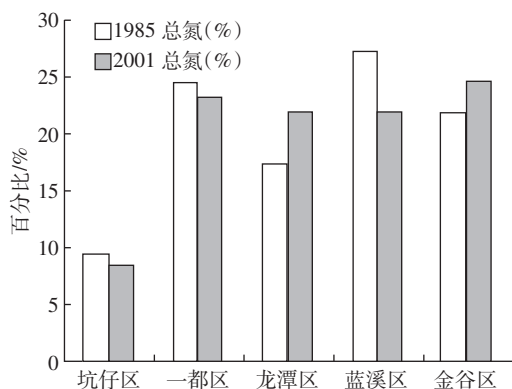


图 9 两期土地利用方式下西溪流域各水系区非点源总氮污染比例图

Figure 9 Comparison of TN loadings from subbasins between 1985 and 2001

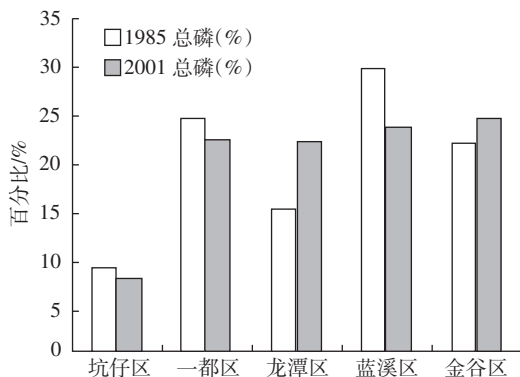


图 10 两期土地利用方式下西溪流域各水系区非点源总磷污染比例图

Figure 10 Comparison of TP loadings from subbasins between 1985 and 2001

- cover change on pollution load of non-point source in upper reach of Yangtze river basin[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(12):2407-2414.
- [2] Santhi C, Arnold J, G Williams, J R, et al. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and non-point sources[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2001, 37(5):1169-1188.
- [3] Kang M S, Park S W, Lee J J, et al. Applying SWAT for TMDL programs to a small watershed containing rice paddy fields[J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 79(1):72-92.
- [4] Behera S, Panda R K. Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process based model[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2006, 113(1-4):62-72.
- [5] 许其功, 刘鸿亮, 沈珍瑶, 等. 茅坪河流域非点源污染负荷模拟[J]. 环境科学, 2006, 27(11):2176-2181.
- XU Qi-gong, LIU Hong-liang, SHEN Zhen-yao, et al. Simulation of non-point source pollution load in Maoping river watershed[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(11):2176-2181.
- [6] 赖格英, 于 革. 太湖流域营养物质输移的模拟评估研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2007, 35(2):140-144.
- LAI Ge-ying, YU Ge. Simulation assessment on nutrient transport in Taihu Lake basin[J]. *Journal of Hohai University(Natural Science)*, 2007, 35(2):140-144.
- [7] 许其功, 席北斗, 何连生, 等. 三峡库区大宁河流域非点源污染研究[J]. 环境工程学报, 2008, 2(3):299-303.
- XU Qi-gong, XI Bei-dou, HE Lian-sheng, et al. Research on non-point pollution source in Daning river watershed of the Three Georges Reservoir[J]. *Chinese Journal of Environment Engineering*, 2008, 2(3):299-303.
- [8] 王晓燕, 秦福来, 欧 洋, 等. 基于 SWAT 模型的流域非点源污染模拟——以密云水库北部流域为例 [J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3):1098-1105.
- WANG Xiao-yan, QIN Fu-lai, OU Yang, et al. SWAT-based simulation on non-point source pollution in the northern watershed of Miyun reservoir[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(3):1098-1105.
- [9] 郝芳华, 陈立群, 刘昌明, 等. 土地利用变化对产流和产沙的影响分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3):5-8.
- HAO Fang-hua, CHEN Li-qun, LIU Chang-ming, et al. Impact of land use change on runoff and sediment yield[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(3):5-8.
- [10] 陈军锋, 李秀彬. 土地覆被变化的水文响应模拟研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(5):833-836.
- CHEN Jun-feng, LI Xu-bin. Simulation of hydrological response to land-cover change[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(5):833-836.
- [11] 代俊峰, 陈家宙, 崔远来, 等. 不同林草系统对集水区水量平衡的影响研究[J]. 水科学进展, 2006, 17(4):435-443.
- DAI Jun-feng, CHEN Jia-zhou, CUI Yuan-lai, et al. Impact of forest and grass ecosystems on the water budget of the catchments[J]. *Advances in Water Science*, 2006, 17(4):435-443.
- [12] 宋艳华, 马金辉. SWAT 模型辅助下的生态恢复水文响应——以陇西黄土高原华家岭南河流域为例[J]. 生态学报, 2008, 28(2):636-644.
- SONG Yan-hua, MA Jin-hui. SWAT-aided research on hydrological responses to ecological restoration: a case study of the Nanhe river basin in Huajialing of Longxi loess plateau[J]. *ACTA Ecologica Sinica*, 2008, 28(2):636-644.
- [13] 李庆航, 董增川, 刘 薇, 等. 土地利用方式对丘陵地区水量水质影响研究[J]. 水电能源科学, 2008, 26(1):14-17.
- LI Qing-hang, DONG Zeng-chuan, LIU Wei, et al. Study on impact to water quantity and quality in hilly area by different land use way[J]. *Water Resources and Power*, 2008, 26(1):14-17.
- [14] 王 新, 郑本暖, 林桂志, 等. 关于晋江流域水土流失类型划分的探讨[J]. 福建水土保持, 2002, 14(4):32-36.
- WANG Xin, ZHENG Ben-nuan, LIN Gui-zhi, et al. Discussion on the plotting of soil erosion types in Jinjiang watershed[J]. *Fujian Soil and Water Conservation*, 2002, 14(4):32-36.
- [15] 林敬兰, 陈明华, 杨学震, 等. 闽南地区土壤侵蚀时空变化规律分析[J]. 福建农业学报, 2002, 17(2):81-85.
- LIN Jing-lan, CHEN Ming-hua, YANG Xue-zhen, et al. Spatio-temporal variation of soil erosion in south Fujian[J]. *Fujian Journal of Agricultural Science*, 2002, 17(2):81-85.
- [16] 安溪志志编纂委员会. 安溪志志[M]. 北京: 新华出版社, 1994:106-122.
- Editorial Committee on Anxi country annals. Anxi country annals[M]. Beijing: Xinhua Press, 1994:106-174.
- [17] 王 林, 张明旭, 陈兴伟. 基于 SWAT 模型的晋江西溪流域径流模拟[J]. 亚热带资源与环境学报, 2007, 2(1):28-33.
- WANG Lin, ZHANG Ming-xu, CHEN Xing-wei. Runoff simulation in Xixi watershed of the Jinjiang basin based on SWAT model[J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2007, 2(1):28-33.
- [18] 王 林, 陈兴伟. 基于 SWAT 模型的晋江西溪流域产沙模拟[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2008, 24(3):93-97.
- WANG Lin, CHEN Xing-wei. Sediment simulation in Xixi watershed of the Jinjiang basin based on SWAT model [J]. *Journal of Fujian Normal University(Natural Science Edition)*, 2008, 24(3):93-97.
- [19] 荣 琨, 陈兴伟, 林文娇. 晋江西溪流域非点源污染的 SWAT 模型模拟[J]. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(4):37-43.
- RONG Kun, CHEN Xing-wei, LIN Wen-jiao. Non-point source pollution simulation in Xixi watershed with SWAT Model[J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2008, 3(4):37-43.
- [20] 陈志强. 区域多尺度 LUCC 及空间数据库研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2006:25-29.
- CHEN Zhi-qiang. Study on regional multi-scale LUCC and spatial database[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2006:25-29.
- [21] 陈松林. 基于 GIS 的土壤侵蚀与土地利用关系研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2000, 16(1):106-109.
- CHEN Song-lin. Study on the relationship between soil erosion and land use based on GIS[J]. *Journal of Fujian Normal University(Natural Science Edition)*, 2000, 16(1):106-109.
- [22] 张运生. GIS 和遥感辅助下的江西潦水河流域化学径流计算机模拟探讨[D]. 南京: 南京师范大学, 2003:40-41.
- ZHANG Yun-sheng. Chemical runoff computer simulation of Lianshui basin, Jiangxi Province supported by GIS and remote sensing technology[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2003:40-41.