

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.02.010

深圳坪山河流域土地利用变化对 流域非点源污染负荷的影响

李 杨^{1,2}, 马晓明^{1,2}

(1. 北京大学深圳研究生院环境与能源学院 广东 深圳 518055 ; 2. 北京大学环境科学与工程学院 北京 100871)

摘要 采用 GIS 空间分析技术,对坪山河流域 1990 和 2000 年的土地利用结构变化进行分析,并结合土壤普查资料和降雨数据,利用长周期水文影响评价模型(L-THIA),以 TP、TN 为评价指标,对非点源污染负荷进行分析。结果表明,由 1990 年到 2000 年,耕地、园地有向建设用地转化的趋势,其中耕地和园地所占比例分别由原来的 7.8% 和 12.4% 减少到 3.2% 和 8.7%,建设用地和水域所占比例分别由原来的 1.8% 和 1.9% 增加到 7.5% 和 2.4%。同时,非点源污染敏感区不断扩大,平均径流量增加了 9.6%,TN 污染负荷由 1990 年的 483.2 t 增加到 2000 年的 498.4 t,TP 污染负荷从 29.2 t 增加到 36.3 t。

关键词 土地利用变化;非点源污染;L-THIA 模型;深圳市;坪山河流域

中图分类号 X322 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2012)02-0042-04

Impacts of land-use change on non-point source pollution load in Pingshan River Watershed in Shenzhen City

LI Yang^{1,2}, MA Xiao-ming^{1,2}

(1. School of Environment and Energy, Shenzhen Graduate School of Peking University, Shenzhen 518055, China ;
2. College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract : The structural changes of land use in the Pingshan River Watershed in Shenzhen City in 1990 and 2000 were analyzed using GIS spatial analysis technology. Based on the soil survey map and precipitation data, the L-THIA model was used to estimate the non-point source pollution load with TN and TP being the estimation indices. The results show that, from 1990 to 2000, the area of farmland and garden plots decreased from 7.8% and 12.4% to 3.2% and 8.7%, respectively, and the construction area and water area increased from 1.8% and 1.9% to 7.5% and 2.4%, respectively, indicating a trend of transformation from farmland and garden plots into construction land. In addition, the areas sensitive to non-point source pollution were expanding. The average runoff volume increased by 9.6%, and the loads of TN and TP increased from 483.2 t and 29.2 t in 1990 to 498.4 t and 36.3 t in 2000, respectively.

Key words : land-use change ; non-point source pollution ; L-THIA model ; Shenzhen City ; Pingshan River Watershed

关于土地利用变化的研究,从 20 世纪 90 年代开始就引起了学术界的广泛关注^[1-2]。因为土地利用变化不仅改变自然景观,更重要的是会影响到区域气候、土壤、水量、水质等,带来诸多环境问题。在诸多环境问题中,水资源问题已成为许多国家和地区社会、经济发展的重要制约因素,尤其是非点源污染的问题,土地利用变化对非点源污染的影响已成

为该领域的重要研究课题。

很多学者运用模型的方法研究土地利用变化和非点源的关系,涉及的模型主要包括 SWAT^[3]、AVGWLF^[4]、SWIM^[5]等,但这些模型所需数据较多,在数据缺乏地区应用十分有限。Harbor^[3-5]于 1994 年开发的长周期水文模型 L-THIA (long-term hydrologic impacts assessment of land use changes) 弥补

了这一缺憾,中国学者运用 L-THIA 先后在浏阳河^[6]、舒城县^[7]、长沙市^[8]、太湖流域^[9]、密云水库^[10]等多地对非点源污染负荷进行了研究,但在模型的运用过程中,很多学者没有根据当地实际情况进行模型的参数修正。而且,深圳地区尚未有运用 L-THIA 模型进行的非点源污染负荷研究。所以,笔者选取具有典型土地利用变化的深圳坪山河流域,运用修正后的 L-THIA 模型进行这方面研究。这不仅对改善该流域河流水质、保障水环境安全具有积极意义,而且对处于相似土地利用变化过程的其他地区具有借鉴意义。

1 研究区概况

坪山河位于深圳市东北部的龙岗区,是淡水河一级支流,发源于三洲田梅沙尖,流经坪山街道,在兔岗岭下游流入惠州市境内,是一条跨界河流(图1)。流域总面积 181 km²,深圳境内 130 km²,河长 33.61 km。坪山河地貌以丘陵、台地为主,地形西南高、东北低。多年平均气温 22℃,多年平均雨水日约 140 d,多年平均相对湿度为 79%,多年平均蒸发量为 1345.7 mm,多年平均降雨量为 1 900 mm,属亚热带海洋性季风气候。土壤类型主要有赤红壤、红壤、黄壤等,其中以赤红壤分布最广。

2 数据的来源、初步处理和研究方法

2.1 数据的来源

基础数据主要包括研究区典型年份土地利用、土壤及降雨数据。其中深圳市土地利用变更调查数据包括 1990 年和 2000 年 2 期;土壤数据来源于 1985 年版的《深圳市自然资源与经济开发图集》^[11];降雨数据为 1973—2000 年三洲田雨量站逐日降雨数据。

2.2 数据的初步处理

a. 土地利用数据。研究区的土地利用数据是由对深圳市土地利用图进行 GIS 裁剪、拼接等操作处理后再通过数据提取得到的。考虑到本研究的目的以及数据的可获取性,将土地利用分为 6 类:耕地、园地、林地、建设用地、水域和其他用地。

b. 土壤数据。根据土壤水文特性,美国土壤保持局将土壤分为 A、B、C、D 4 类^[12](表 1)。对坪山河流域的土壤进行归类,得到 B 和 C 两种土壤水文类型。

表 1 美国土壤保持局土壤水文类型

土壤水文类型	含义	最小下渗率/(mm·h ⁻¹)
A	易产生高渗透、低径流的土壤(沙、砾石)	7.26~11.43
B	易产生中等渗透、少径流的土壤(粉砂壤土)	3.81~7.26
C	易产生少渗透、中等径流的土壤(砂土)	1.27~3.81
D	易产生低渗透、高径流的土壤(黏土)	0~1.27

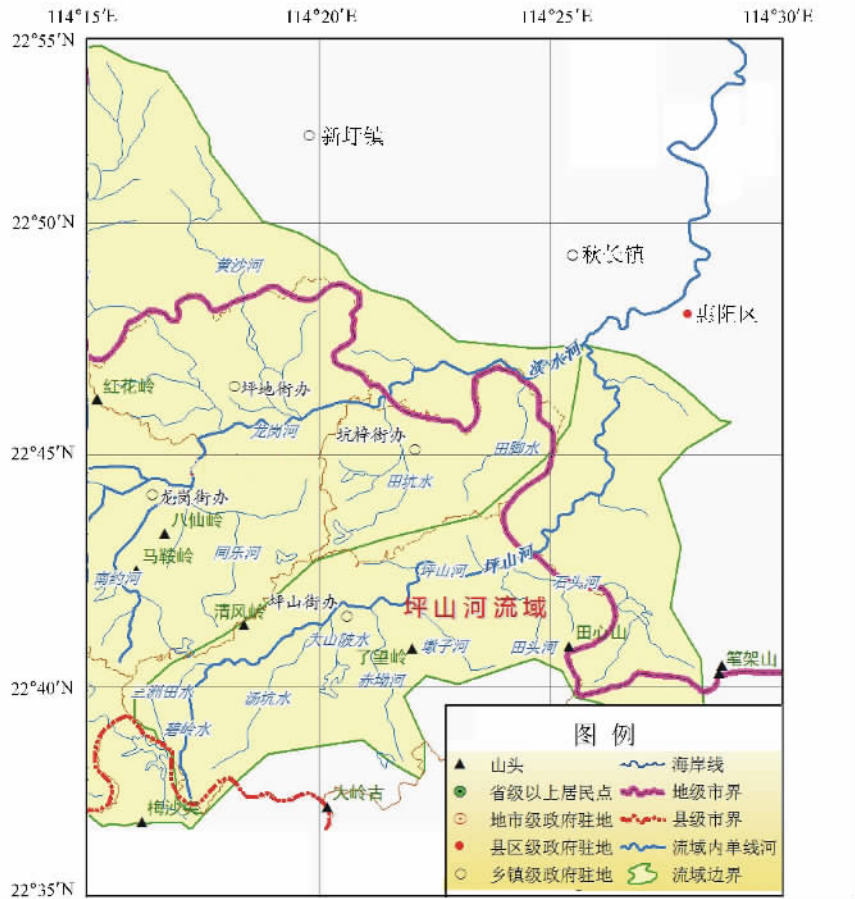


图 1 坪山河流域概况

c. 降雨数据。降雨数据来自位于流域内三洲田水库的三洲田雨量监测站,数据形式为 1973—2000 年共计 28 a 的日降雨数据。对数据单位进行调整,得到符合研究需要的数据格式。

2.3 研究方法

2.3.1 基本原理

Harbor^[3-5]于 1994 年开发的长周期水文模型——L-THIA 模型,是以 Arcview 为平台,利用长期的土壤、气候和土地利用数据在不考虑管网收集的前提下对径流量和非点源污染进行模拟。该模型的运算核心是由美国土壤保持局的经验数据建立起来的降雨、土地利用参数与径流深之间关系的 SCS-CN 法。该模型估算的是流域径流的直接径流部分,不包括土壤渗漏后形成的底流部分。L-THIA 模型以长时间序列的日降雨数据的平均状况来推算一般年份的降雨情形,得到具有典型意义的年径流量,而不是极端降雨条件下的径流量。

2.3.2 参数校正

a. CN 值校正。CN 值是 L-THIA 模型的主要参数之一,是用于描述降雨—径流关系的参数,是基于美国大量观测数据得出的经验值,因此必须进行校正。参考已有的研究案例,再结合深圳市的研究成果^[12-13],得到了坪山河流域的 CN 值(表 2)。

表 2 坪山河流域 CN 值

用地类型	CN 值		用地类型	CN 值	
	B	C		B	C
耕地	82	89	建设用地	92	94
园地	65	76	水体 ^①	98	98
林地	55	70			

注 ①考虑到水体与降雨径流的关系,将水体 CN 值规定为 98。

b. EMC 校正。L-THIA 模型采用事件平均浓度(event mean concentration, EMC)的方法计算非点源污染负荷。模型认为,非点源污染负荷是土地利用、土壤和降雨径流的综合函数,单位面积的特定土地利用类型产生的污染物种类和数量都是固定的,这种比例关系被称作事件平均浓度,也叫输出系数^[14]。模型内设的 EMC 来自美国 Texas 州的监测资料,与我国的实际情况有一定出入。由于研究区与深圳西丽水库在土壤、气候、水文以及土地利用结构、产业结构等方面具有很大相似性,所以笔者采用西丽水库的实测数据,见表 3。

表 3 坪山河流域 EMC 值 mg/L

用地类型	$\rho(TN)$	$\rho(TP)$	用地类型	$\rho(TN)$	$\rho(TP)$
耕地	33.5	1.9	建设用地	17.1	1.9
园地	17.6	0.7	水域	3.1	0.1
林地	3.1	0.1			

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

借助 GIS 工具,分析得到 1990 年、2000 年坪山河流域的土地利用变化情况(表 4)。耕地、园地、林地面积都有所下降,分别由 1990 年的 7.8%、12.4% 和 74.4% 下降为 3.2%、8.7% 和 73.4%;建设用地和水域面积有所增加,分别由 1990 年的 1.8% 和 1.9% 上升为 7.5% 和 2.4%。

表 4 1990—2000 坪山河流域土地利用变化情况

用地类型	1990 年		2000 年		变化率/%
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	
耕地	10.1	7.8	4.1	3.2	-59.4
园地	16.2	12.4	11.3	8.7	-30.2
林地	96.7	74.4	95.5	73.4	-1.2
建设用地	2.4	1.8	9.7	7.5	304.1
水域	2.5	1.9	3.2	2.4	28.0
其他用地	3.9	1.7	6.2	4.8	58.9

3.2 土地利用对径流量的影响

在 30 a 的长时间序列降雨数据支持下,L-THIA 模拟出了各土地利用类型年径流量(表 5)。

表 5 1990—2000 年坪山河各用地类型径流量 万 m³

用地类型	径流量		用地类型	径流量	
	1990 年	2000 年		1990 年	2000 年
耕地	768.9	287.2	水域	439.6	560.1
园地	642.3	462.9	其他用地	112.0	331.5
林地	3 201.1	3 131.2	合计	5 452.1	5 977.0
建设用地	288.2	1 204.1			

由表 5 可知,由于土地利用变化引起的下垫面改变,导致高产流区面积不断扩大,年均径流量由 1990 年的 5 452.1 万 m³ 变为了 2000 年的 5 977.0 万 m³,增长了 9.6%。对比各用地类型的径流变化来看,建设用地是径流量增加最多的用地类型,从 1990 年到 2000 年,增加了 3.2 倍,而耕地、园地均有不同程度的下降,林地基本无变化。从分析可知,建设用地的扩张是导致径流量增加的主要原因。

3.3 土地利用变化对非点源污染负荷的影响

笔者选取 TN、TP 两个污染物指标进行流域非点源污染负荷的模拟,各用地类型的污染负荷见表 6。分析表 6 可知:

表 6 1990—2000 年坪山河非点源污染负荷 t

用地类型	1990 年污染负荷		用地类型	2000 年污染负荷	
	TN	TP		TN	TP
耕地	207.59	14.38	耕地	96.22	5.37
园地	112.86	4.37	园地	81.34	3.15
林地	99.87	4.48	林地	97.69	4.38
建设用地	49.29	5.45	建设用地	205.90	22.76
水域	13.54	0.53	水域	17.25	0.67

a. 由于土地利用变化所造成的非点源污染从1990年到2000年呈上升趋势,非点源TN污染增长了3.2%,TP增长了24.4%;

b. 1990年和2000年的数据对比分析表明,耕地对TN的贡献率由42.9%下降为19.3%,园地对TN的贡献率由23.4%下降为16.3%,林地对TN的贡献率由20.7%下降为19.6%,建设用地对TN的贡献率由10.2%上升为41.3%,水域对TN的贡献率由2.8%上升为3.5%。土地利用对TP的贡献率也发生了类似变化,耕地对TP的贡献率由49.2%下降为14.8%,园地对TP的贡献率由15.0%下降为8.7%,林地对TP的贡献率由15.3%下降为12.1%,建设用地对TP的贡献率由18.7%上升为62.7%,水域用地对TP的贡献基本无变化。

c. 耕地、园地面积减少,建设用地面积增加,造成各用地类型的非点源污染所占比例发生变化,建设地产污在非点源污染中比例逐渐增大,且由1990年的耕地、园地产污为主逐渐变为2000年的建设地产污为主。

d. TN负荷变化。1990—2000年,TN负荷由483.2t增加到498.4t,增长了3.2%。就单一土地利用类型来说,建设用地的TN负荷变化幅度最大,增加幅度达3.2倍。耕地、园地、林地始终都有较大的负荷量,可见对于TN来说,农业非点源污染是一个不容忽视的事实。到了2000年,建设用地的TN负荷超过了耕地,成为了TN增长的主要来源。

e. TP负荷变化。TP负荷总量呈上升趋势,TP从1990年的29.2t增加到2000年的36.3t,增长了24.4%。1990—2000年,园地和林地相对较为稳定,一直是流域TP负荷的一个重要来源,耕地的TP负荷减少了62.7%,建设用地TP负荷增加了3.1倍。可见,相对于传统的农业非点源污染,以建设用地为代表的城市型非点源污染的影响作用日益凸显,超越农业非点源的影响,成为TP的主要来源。

4 结 论

a. 深圳坪山河流域土地利用变化较为明显,总体表现为耕地、园地面积减少,建设用地、水域面积有所增加,林地面积基本保持不变。耕地和园地分别由原来的10.1 km²和16.2 km²减少到4.1 km²和11.3 km²,建设用地和水域分别由原来的2.4 km²和2.5 km²增加到9.7 km²和3.2 km²。

b. 用L-THIA模型模拟土地利用变化对流域的水文效应以及TN、TP的长期平均输出负荷,可知从1990—2000年,耕地、园地以及建设用地对土地利用变化最为敏感。整个流域的污染负荷高值范围在不

断扩大,径流量增长了9.6%,TN、TP负荷分别增长了3.2%和24.4%。

c. 由于耕地减少、建设用地增加等原因,坪山河流域各用地类型的非点源污染所占比例发生变化,由1990年的以耕地、园地产污(66.3% TN, 64.2% TP)为主,逐渐变化为2000年以建设地产污(41.3% TN, 62.7% TP)为主。

参考文献:

- [1] 于兴修,杨桂山,王瑶.土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向[J].地理科学,2004,24(5):627-633.
- [2] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1999,18(1):81-87.
- [3] 荣琨,陈兴伟,刘梅冰.晋江西溪流域土地利用变化对非点源污染影响的SWAT模拟[J].农业环境科学学报,2009,28(7):1488-1493.
- [4] TU J. Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts, USA [J]. Journal of Hydrology, 2009, 379(3/4):268-283.
- [5] HUANG S, HESSE C, KRYSANOVA V, et al. From meso-to macro-scale dynamic water quality modelling for the assessment of land use change scenarios [J]. Ecological Modelling, 2009, 220(19):2543-2558.
- [6] 张棋,李忠武,曾光明,等.浏阳河土地利用变化对非点源污染负荷的影响[J].环境工程学报,2009,3(2):377-380.
- [7] 顾成军,张海林,戴雪荣,等.舒城县土地利用面源污染输出评价[J].江西农业大学学报,2009,31(4):772-777.
- [8] 袁清水,张棋.长沙市土地利用变化对非点源污染分布的影响研究[J].安徽农业科学,2008,36(17):7372-7375.
- [9] 金洋,李恒鹏,李金莲.太湖流域土地利用变化对非点源污染负荷量的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(4):1214-1218.
- [10] 沈涛,刘良云,马金峰,等.基于L-THIA模型的密云水库地区非点源污染空间分布特征[J].农业工程学报,2007,23(5):62-68.
- [11] 广州地理研究所.深圳市自然资源与经济开发图集[M].北京:科学出版社,1985.
- [12] 郑盘,袁艺,冯文利,等.土地利用变化对地表径流深度影响的模拟研究:以深圳地区为例[J].自然灾害学报,2005,14(6):77-82.
- [13] 史培军,袁艺,陈晋.深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J].生态学报,2001,21(7):1041-1049.
- [14] WANG Y, CHOI W, DEAL B M. Long-term impacts of land-use change on non-point source pollutant loads for the St. Louis metropolitan area, USA [J]. Environmental Management, 2005, 35(2):194-205.

(收稿日期:2011-12-17 编辑:徐娟)