

# 东南沿海中小流域非点源污染估算研究与分析

刘星才, 许有鹏, 李嘉俊

(南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 近年来, 东南沿海地区中小城镇迅速崛起, 大大促进了该区域经济的发展, 但随之带来的环境恶化问题已明显影响到该区域经济的持续发展, 威胁到人类生存环境。为此, 运用长期水文影响模型中的非点源污染负荷计算模块(L-THIA NPS), 结合 GIS 技术对东南沿海地区溪口流域的溶解态氮(TIN)污染负荷进行估算和空间分布模拟, 将模拟结果和土地利用/覆盖图可视化显示并进行分析, 从而使污染负荷的模拟结果可以更好地为流域非点源污染防治和环境管理措施的制定提供决策依据。

**关键词:** 非点源污染; 空间分布模拟; 长期水文影响模型; 东南沿海

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)05-0041-04

中图分类号: X24

## Studies on Non-point Source Pollution in Middle and Small Basins of Southeast China

LIU Xing-cai, XU You-peng, LI Jia-jun

(School of Geographical and Marine Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

**Abstract:** In recent years, many middle/small cities grow up rapidly, which greatly spurs the economy development in Southeast China. However, the deterioration of environment it causes has had obvious impacts on the economy to continue to grow, and a threat to survival surrounding of people in the area. Therefore, the TIN pollution load in the Xikou basin of Southeast China is estimated using the L-THIA (Long-term Hydrological Impact Analysis) model and integrated GIS technique. The spatial distribution of the TIN pollution load is simulated and displayed. The result is visualized so that the simulating is easier to understand and is more helpful in the prevention of pollution and making control measures for the basin.

**Keywords:** non-point source pollution; spatial distribution simulation; L-THIA; Southeast China

近年来, 东南沿海地区经济发展迅速, 城市化进程明显加快, 已发展成为我国最具经济活力和竞争力的区域。由于城市用地大大增加, 对土地资源的高强度开发, 已人为地改变了区域土地覆被的格局, 由此带来了严重的环境污染问题, 尤其是非点源污染。近年来, 该区域每年进入水环境的氮素(包括田间排水与地表径流)约  $4.0 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5$  t。化肥、农药及不合理灌溉引起的污染也对农产品品质产生了严重危害。环境污染和资源过度消耗最终导致了地表系统水、土、气、生之间的不协调<sup>[1-2]</sup>。

在城市化和经济发展过程中, 城市生活污水和工业废气、废水、废物都大大地增加了非点源污染的污

染物来源。而农业集约化生产中农药和化肥的大量使用, 产生了严重的农业污染。在点源污染逐渐得到控制的今天, 非点源已成为环境污染的主要或首要污染源。从来源及形成过程可知, 流域非点源污染与流域的城市化程度、人口及人类活动状况、土地利用/覆盖类型以及气候水文特征密切相关<sup>[3-5]</sup>。Peierls 等从大尺度上对河流水质和人口因素进行了研究, 并得出两者的相关关系。还有不少研究者通过研究总氮与化肥的相关性来分析人类的农业活动对河流水质的影响<sup>[6]</sup>。Mander 等和 Gburek 等人研究表明, 非点源污染的来源及河流水质、水量与土地利用/覆盖类型有着紧密的关系<sup>[7-8]</sup>。李俊然等对非点源和

收稿日期: 2006-11-24

修回日期: 2007-03-09

基金项目: 本文得到国家自然科学基金(40571025); 高校博士点基金(20060284019)支持

作者简介: 刘星才(1984—), 男(汉族), 江西省吉安县人, 硕士研究生, 主要研究方向为水资源与水环境。E-mail: solitarymun@126.com。

土地利用结构的关系进行了研究,认为耕地比重大的土地利用结构其非点源污染程度也较高<sup>[9]</sup>。于兴修等通过对太湖上游流域研究,认为影响研究区域水质的主要因素是土地利用变化所带来的面源污染<sup>[10]</sup>。

本文通过对研究流域的非点源污染年平均 TIN 污染负荷的估算,并对其空间分布进行模拟,模拟的结果以可视化显示。并分析了该流域的 TIN 污染状况及其影响因素;同时,还对该地区的污染负荷进行预测,其研究结果可为该流域的城市发展与生态环境保护提供决策依据。

## 1 非点源污染估算模型

在非点源污染研究中,常用的方法是采用模型对污染负荷进行模拟。非点源污染估算模型由降雨径流模型和污染负荷物模型组成。国外的研究机构提出了不少可用于非点源污染模拟的模型,应用较广泛的有 CREAMS, EPIC, AnnAGNPS 及 SWAT 等。但由于这些模型是根据国外数据资料建构,且对原始数据要求较高,在我国的应用中经常会有所需资料难以获取或模型参数不准确等问题。因此,针对东南沿海某些相关资料较少的地区,对非点源进行模拟时选择适当的模型是很关键的。

长期水文影响模型(Long-term Hydrological Impact Analysis, L-THIA)在 SCS-CN 模型的基础

上整合了 GIS 技术,可以对中小流域非点源污染进行模拟并可视化显示,从而对流域的水文特征变化进行评估,还可进一步对污染负荷进行预测。根据研究区域资料情况,本文选用了 L-THIA 模型来进行 TIN 污染负荷的模拟。L-THIA 模型降雨径流模型采用 SCS-CN 模型。该模型基于降雨地区实际入渗量与实际径流量之比等于次降雨最大滞留量与潜在径流量之比的假定基础上,建立降雨和径流的关系:

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (P \geq 0.2S) \quad (1)$$

式中:  $R$ ——实际径流量(mm);  $P$ ——降雨量(mm);  $S$ ——次降雨最大滞留量(mm)。其中

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2)$$

对单位面积为  $A_i$  的年均 TIN 污染负荷计算公式为:

$$L_{TIN,i} = 0.001 \times C_{TIN,i} \times T_{TIN,i} \times Q_{surf,i} \times A_i \quad (3)$$

式中:  $L_{TIN,i}$ ——单位面积年均 TIN 污染负荷(kg),  $C_{TIN,i}$ ——TIN 浓度( $\text{mg}/\text{m}^3$ );  $T_{TIN,i}$ ——迁移系数(本文取值为 1,即得到 TIN 污染空间分布);  $Q_{surf,i}$ ——地表径流量( $\text{m}^3$ )。

本文使用基于 ArcView 的 L-THIA 模型软件(ArcView GIS L-THIA)来计算,该软件界面和具体功能如图 1 所示。

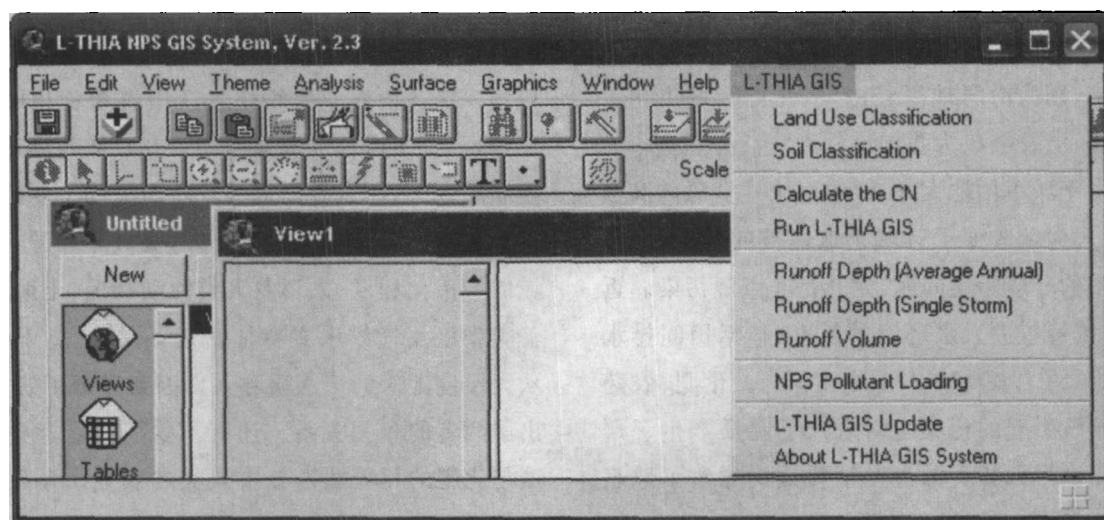


图 1 L-THIA 模型的 ArcView 界面及其功能菜单

## 2 污染负荷估算及空间分布模拟

### 2.1 研究区域概况

溪口流域位于浙江省东部沿海,杭州湾以南奉化市界内,121°04'—121°06',北纬 29°32'—29°44',距宁

波市 28 km,距省会杭州市 136 km,为浙东丘陵与宁绍平原的一部分。流域东北与宁波鄞州区相邻,东南临象山港与象山县隔港相望,南接宁海,西北连余姚市。全流域东西长 23.3 km,南北宽 22.6 km,流域面积约 304.67  $\text{km}^2$ 。

2.2 年均污染负荷计算与结果分析

根据溪口流域 1997—2000 年流域水质监测资料(见表 1),本文利用 SCS 水文模型和溶解态污染物负荷模型,计算溪口流域 1997—2000 年 TIN 污染负荷量。L-THIA 软件内预定义了 8 种土地利用类型下的 16 种污染指标的期望平均浓度(Expected Mean Concentration, EMC),根据这些 EMC 值可对研究区的非点源污染进行模拟与空间分布分析。用计算得到的年均污染物浓度替换 L-THIA 程序中默认的 EMC 值,这样便可以模拟出年均污染负荷并显示其空间分布,还可进一步根据流域某一年的降雨量进行污染负荷预测,从而为该流域的土地利用规划等提供决策支持。本文在对应年份的土地利用图基础上估算了 1997—2001 年的各年平均 TIN 污染负荷,并模拟了其空间分布。该流域在 1997—2001 年间的土地利用变化较小(见附图 3),限于篇幅这里只给出 2001 年土地利用图作为比较。

表 1 1997—2000 年非点源氮污染年均监测值 mg/L

监测年	氨氮	亚硝酸盐氮	硝酸盐氮
1997	0.17	0.032	0.57
1998	0.16	0.010	0.36
1999	0.14	0.018	0.56
2000	0.09	0.007	0.78
平均	0.14	0.067	0.57

从附图 3—4 可以看出 TIN 污染负荷和土地利用的关系。TIN 污染负荷的空间分布和土地利用类型有很大的相关性,整个流域的 TIN 高负荷区都是分布在河流两岸的工商业用地、居住区和农业用地区,其中居住区的 TIN 负荷最高。占总面积不过 2.47%的城市用地(包括工业用地、商业用地和居住用地)产生了 57.41%的 TIN 污染物;加上 14.72%的农用地总共产生了 72.48%的 TIN 污染物。而占流域总面积将近 80%的草地和林地 TIN 负荷只占整个流域 TIN 负荷的 27.52%。因此,可知工商业、居住区等单位面积的污染负荷比较高。

利用各土地利用类型的污染负荷除以其相应的面积,可得到各土地利用类型的单位面积污染负荷。其中工业用地单位面积污染负荷最高,林地最低(如图 2 所示)。通过分析各土地利用类型的单位面积产流量和单位面积污染负荷的关系,我们发现两者的相关性很高(图 3)。另外,该流域的农业用地虽然单位

面积污染负荷不是很高,但由于面积较大,因此农业用地的总污染负荷还是比较高,这对流域的水质影响是不可忽略的,这有必要引起注意。

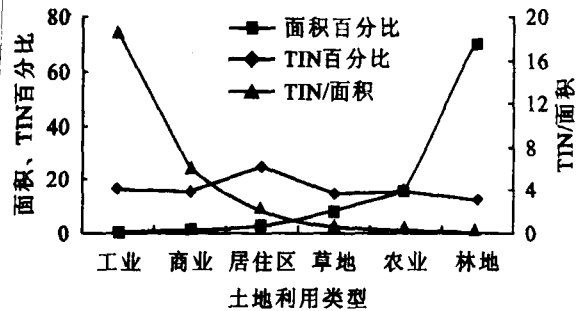


图 2 土地利用类型与产污量的关系

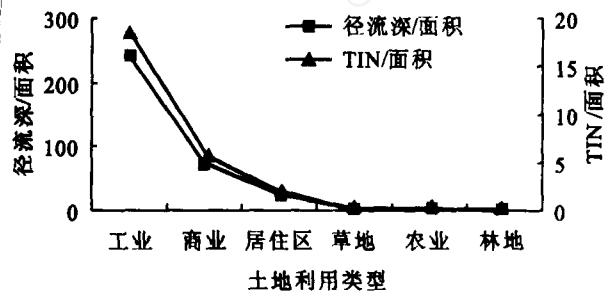


图 3 单位面积产污量与单位面积产流量的关系

2.3 污染负荷验证与预测分析

利用 2005 年的降雨量数据在前面的基础上预测该年份的 TIN 污染负荷。为了对实测值和预测值之间进行比较,按照预测的 2005 年 TIN 污染负荷中各地类负荷占预测总负荷的比例,将实测 TIN 浓度计算得到的流域 TIN 污染负荷值进行转换分配到各土地利用类型(见附图 5)。经比较得到各土地利用类型的实际与预测的最大相对误差为 8.63%。整个流域预测的 TIN 污染负荷为 4 794.80 kg,而根据实测资料计算得到的 TIN 污染负荷为 4 540.81 kg,相对误差为 5.6%。可以认为该预测结果比较可靠(详见图 4)。

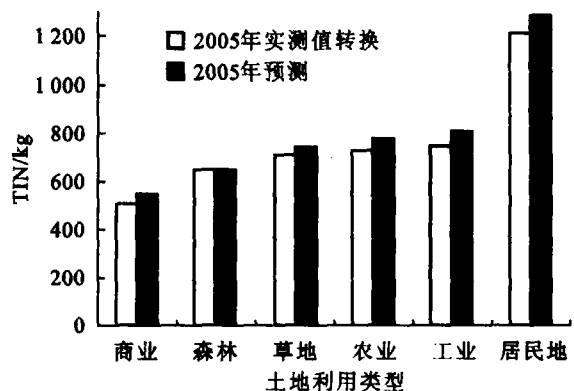


图 4 2005 年实际计算与预测 TIN 污染负荷

溪口流域当前城市化程度相对较低,工商业占地面积较少,但对非点源污染负荷贡献已经比较明显。而今后随着溪口城镇规划的展开和其周边地区经济发展的影响,必定会大大加快城镇化进程,这无疑会加重该流域的非点源污染。所以如何控制日益严重的非点源污染是该流域在今后城镇化进程中的关键问题之一。据该流域城镇化速度,假设该流域工、商业用地和居民地各增加 1%,则可计算得到流域的 TIN 污染负荷值为 12 705.37 kg,增加了近 3 倍。可见城市化发展对 TIN 污染负荷的增加有显著影响。

### 3 结语

非点源污染模型建立的目的是识别流域非点源污染的负荷量及其空间分布,从而为相应流域管理措施的制定提供依据。因此,污染负荷模拟结果是否可以可视化表达是影响其实际应用的一个很重要的因素。一个清楚明了的可视化表达可以对决策的制定起到很好的支持作用。

本文中使用的 L-THIA 对 TIN 污染负荷分布的模拟,可以为流域非点源污染的防治和环境保护措施的制定提供较好的决策依据。在水环境污染日益严重而经济发展迅速的东南沿海地区是有较大的实际应用价值的。通过对流域非点源污染的预测,可为流域城镇化进程中的环境保护与污染防治决策提供宏观上的把握与控制。

### [参 考 文 献]

- [1] 赵其国. 解决我国东南沿海经济快速发展地区资源与环境质量问题刻不容缓[J]. 土壤, 2001 (3): 113—118.
- [2] 刘彦随. 东南沿海地区土地利用转换态势与机制分析[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 333—339.
- [3] 谢红彬, 虞孝感, 张运林. 太湖流域水环境演变与人类活动耦合关系[J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(5): 393—400.
- [4] 李嘉峻, 许有鹏, 桑银江, 等. GIS 支持下的土壤侵蚀动态变化研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2005, 41(3): 297—303.
- [5] 周慧平, 许有鹏, 葛小平. GIS 支持下非点源污染模型应用分析. 水土保持通报[J], 2003, 23 (3): 60—63.
- [6] Peierls B L, et al. Human influence on river nitrogen[J]. Nature, 1991. 350: 386—387.
- [7] Mander U, Kull A, Tamm V, et al. Impact of climatic fluctuations and land use change on runoff and nutrient losses in rural landscape[J]. Landscape and Urban Planning, 1998, 41: 229—238.
- [8] Gburek W J, Folmar G J. Flow and chemical contributions to streamflow in an upland basin: a baseflow survey[J]. Journal of Hydrology, 1999, 217: 1—18.
- [9] 李俊然, 郭旭东, 陈利顶, 等. 土地利用结构对非点源污染的影响[J]. 中国环境科学, 2000, 20(6): 506—510.
- [10] 于兴修, 杨桂山. 典型流域土地利用/覆被变化及对水质的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(3): 211—217.