

松辽流域非点源污染 TN 时空变化特征研究*

王秀娟, 刘瑞民, 何孟常

(北京师范大学 环境学院 环境模拟与污染控制国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 非点源污染可以看成由土地利用和非土地利用两者共同作用产生的, 分析土地利用和非土地利用能够体现两者对于非点源污染的贡献率, 可以更深入的揭示非点源污染的来源及变化规律, 从而提出更有针对性的管理措施。利用输出系数模型, 结合 ArcGIS 软件, 对松辽流域 20 世纪 80 年代至 2000 年的非点源污染负荷 TN 进行了空间模拟和变化趋势分析, 并揭示了土地利用和非土地利用对松辽流域非点源污染的影响。结果表明: 近 15 a 间, 松辽流域农业非点源污染 TN 负荷呈逐年增长的趋势, 从 80 年代的 129.3 万 t 上升到 1995 年的 141.7 万 t 和 2000 年的约 144.5 万 t。其中, 由土地利用所造成的非点源污染占有很大的比例, 具体到省份来说, 黑龙江省和内蒙古自治区所占的比例最高, 两者均为 83%; 从 20 世纪 80 年代至 2000 年, 流域内由非土地利用所造成的非点源污染比例日益增加, 其中吉林省年均变化率最大, 为 4.5%, 这反映了这一地区农业生产方式的转变, 在今后, 应重点加强这几个地区的管理, 完善施肥措施, 加强农村生活污水, 禽畜养殖粪便等的管理, 从而使流域内的非点源污染得到控制。

关键词: 松辽流域; 非点源污染; 输出系数模型; 总氮; 土地利用; 非土地利用

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)04-0192-05

Spatial-temporal Characteristic of Non-point Source Pollution (NPS) Nitrogen in Songliao Basin

WANG Xiu-juan, LIU Rui-min, HE Meng-chang

(State Key Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Non-point source pollution (NPS) was mainly caused by land-use and non-land use, so it was important to analyze the interaction between the land-use NPS and non-land use NPS in order to put forward the more effective management measures. In this paper, temporal-spatial changes and changing tendency of non-point source pollution in Songliao basin over the last 15 years was studied based on the simulation of nitrogen load by export coefficient model. The results indicated that the NPS TN load caused by land use and non-land use increased year by year. It increased from 1.29×10^6 tons in 1986 to 1.44×10^6 tons in 2000. The TN load caused by land use occupied quite a few proportions, Heilongjiang Province and Inner Mongolia Autonomous Region are the most important two contributors, with an average annual contribution ratio of 83%. From 1986 to 2000, the TN load proportion caused by non-land use increased, and the region of Jilin Province had the highest change proportion, with an average annual contribution ratio of 38.5%. These areas should be paid more attention in the future.

Key words: Songliao basin; non-point source pollution; export coefficient modeling approach; TN; land use; non-land use

1 引言

目前, 在非点源污染过程中, 农业活动是最大的

污染源^[1]。农业非点源污染的来源主要可分为两类: 第一是由土地利用/覆盖变化所造成的化肥等营养物的流失以及农药污染, 第二是由禽畜养殖以及

* 收稿日期: 2008-12-02

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2004CB418502)

作者简介: 王秀娟(1984-), 女, 山东人, 硕士研究生, 研究方向为水资源与水环境, E-mail: qfwangxiujuan@163.com

通信作者: 刘瑞民(1975-), 男, 山东人, 讲师, 研究方向为环境空间信息系统, E-mail: liurm@bnu.edu.cn

农村生活等非土地利用方式所造成的非点源污染^[2]。其中,以土地利用所造成的非点源污染贡献最大^[3]。松辽流域作为我国重要的商品基地,由于人类长时间的农业活动以及不合理的土地管理方式,流域内水土流失相当严重,目前流域共有耕地面积 390 万 hm^2 , 化肥年施用量约 203.8 万 t/a , 平均化肥施用量为 523.5 kg/hm^2 , 远超过全国平均水平 (277.5 kg/hm^2) 和世界平均水平 (94.5 kg/hm^2)^[4], 除少部分被农作物吸收外, 大部分随灌溉排水及降雨地表径流进入水体, 由土地利用所造成的非点源污染已经成为流域内非点源污染最主要的来源。此外, 随着人们生活水平的日益提高, 人们对肉类消费需求大增, 近 20 a 间, 松辽流域禽畜养殖业迅速发展, 城乡畜牧业规模不断扩大, 大部分的禽畜粪便以及农村生活污水和生活垃圾未经处理而直接排入水体, 对流域的水质产生了重要的影响。由土地利用和非土地利用共同造成的非点源污染使松辽流域水质日益降低。

目前, 针对松辽流域日益严重的非点源污染, 已有部分学者展开了研究, 金春久等对松花江流域非点源污染调查方法进行了初步探讨^[5]; 岳勇, 程红光等曾经利用二元结构模型对 2000 年松花江流域非点源污染负荷进行过计算^[6]。但是, 目前大部分的研究多集中在总量分析上, 但由于总量分析不能很好的反映土地利用和非土地利用两者对于非点源污

染的贡献率, 从而不能更深入的揭示非点源污染的来源及变化规律。因此深入认识和研究流域内由土地利用和非土地利用所产生的非点源污染并进行两者的时空变化分析, 对于全面了解流域内非点源污染的现状、来源、变化趋势, 并在此基础上提出有效的控制措施具有积极的意义。

本文拟采用适用于大尺度模拟计算的输出系数模型, 对松辽流域 1986 年, 1990 年及 2000 年 3 个时间段的非点源污染负荷进行估算, 并从土地利用和非土地利用的角度进行了分析, 在此基础上对流域的非点源污染状况做出了评价。

2 研究区概况

松辽流域地处我国东北地区, 在行政区划上包括辽宁、吉林、黑龙江三省和内蒙古自治区东部的四盟(市)(图 1), 主要分为松花江流域和辽河流域(图 2)。流域总面积 77 万 km^2 , 农村人口 2000 多万。流域西、北、东三面环山, 南部濒临渤海和黄海, 中、南部形成宽阔的辽河平原、松嫩平原, 东北部为三江平原^[4]。从 1986-2000 年间, 流域内土地利用变化较大, 表现为耕地面积增加, 而林地和草地都呈现下降趋势^[7], 并且通过统计年鉴可以得到, 在此期间, 流域内养殖业持续稳定发展, 日益成为农业和农村经济的支柱产业。流域内日益加剧的非点源污染, 严重影响了当地经济的可持续发展。

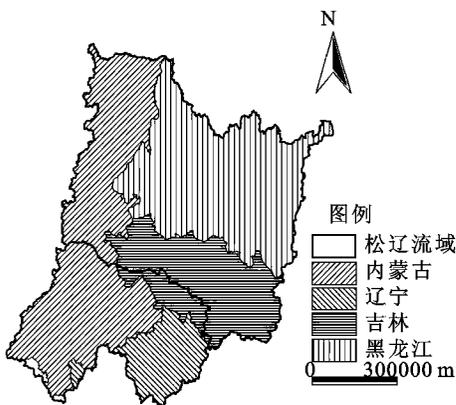


图 1 松辽流域行政区划图

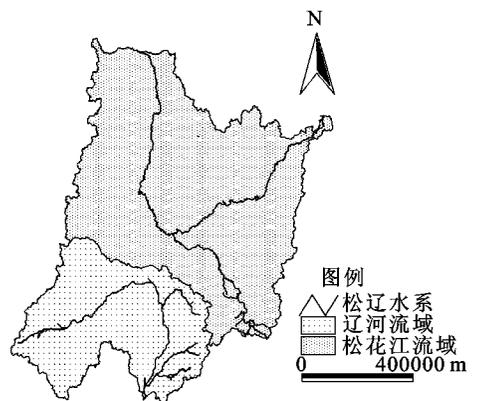


图 2 松辽流域水系图

3 模型与方法

目前, 应用模型对非点源污染进行时空模拟是非点源污染研究的重要方向^[8], 但现有的模型往往只是对小区域的精细模拟, 很难适用于大尺度区域的负荷估算^[9]。20 世纪 70 年代, Johns 等提出了输出系数模型, 该模型避开了非点源污染发生的复杂过程, 所需参数少, 操作简便, 具有一定的精度, 在大尺度流域的非点源污染负荷研究中表现出独特的优越性^[10]。

3.1 模型介绍

早期的模型假定所有土地利用类型的输出系数固定不变^[10], 这种假设和现实状况差异很大, Johns 等人对模型进行了不断的改进, 使其得到了进一步的完善和广泛应用。在该模型中, 他们对种植作物不同的耕地采用了不同的输出系数; 对不同种类牲畜根据其数量和分布采用了不同的输出系数; 对人口的输出系数则主要根据生活污水的排放和处理状况来选定。在总氮输入方面还考虑了植物的固氮、

氮的空气沉降等因素,很大程度上丰富了输出系数法模型的内容,提高了模型对土地利用状况发生改变的灵敏性^[11-13]。模型方程如式(1)^[10]。

$$L = \sum_{i=1}^n E_i A_i + P \quad (1)$$

式中: L ——营养物流失量; E_i ——第 i 种营养源输出系数; A_i ——第 i 类土地利用类型面积或第 i 种牲畜数量、人口数量; P ——降雨输入的营养物数量。

3.2 输出系数的选取

在输出系数模型中,最重要的就是输出系数的选取,在参考国内外相关研究的基础上,结合当地地形特征及化肥施用量等因素,采用基于水文水质资料的非点源输出系数模型参数确定方法确定了松辽流域不同非点源污染源的输出系数(表 1)^[8]。从表 1 可以看出,在非土地利用所产生的非点源污染中,大牲畜的输出系数最大,家禽的输出系数最小。在土地利用类型中,耕地最大,而林地和草地比较小,这和耕地化肥施用量最多、土质松软以及草地、耕地对水土流失具有一定的滞留作用密切相关^[15]。通过选取典型小流域作为验证对象,验证结果表明,模拟值与监测值的相对误差水平介于 - 5.45% ~ 15.47% 之间,对于松辽流域这样大尺度范围的研究区域来说,模拟精度在可接受范围之内。因此,所选输出系数具有一定的合理性。

3.3 数据来源及处理

该研究需要收集的基础数据主要包括流域地形图、土地利用图、行政区划、农业人口及农村禽畜养殖等,数据的来源及尺度如表 2 所示。首先利用 Arcview 软件通过 DEM 图生成松辽流域轮廓图及水系图,然后分别将土地利用图和水系图与数字化得到的流域行政区图叠加,此过程假设十几年来行政边界没有发生明显的变化,最后通过计算输出流域的非点源 TN 负荷,按省份及水系对松辽流域的

非点源污染状况进行分析。

表 1 松辽流域 N 输出系数表^[14-15]

N 源		N 输出系数
农村生活/(10 ⁴ t · ca ⁻¹ · a ⁻¹)	农村人口	19.547
	大牲畜	113.715
禽畜养殖/(10 ⁴ t · ca ⁻¹ · a ⁻¹)	猪	26.667
	羊	15.134
	家禽	0.459
	耕地	2.900
土地利用/[t · km ⁻² · a ⁻¹]	森林	0.238
	草地	1.000
	城镇	1.100
	未利用地	1.490

表 2 基础数据来源及说明

数据类型	空间尺度	来源
DEM	1: 250000	国家基础地理信息中心
土地利用	1: 100000	遥感解译
行政区划	1: 1000000	国家基础地理信息中心
农业人口	行政区	各省统计年鉴
禽畜养殖	行政区	各省统计年鉴

4 结果分析

4.1 TN 空间分布特征及总量变化分析

在 Arcview 软件的支持下,根据选定的输出系数,结合松辽流域 1986 年、1995 年、2000 年的土地利用图以及该时期农村人口数量及禽畜养殖量,可以得出松辽流域非点源污染负荷 TN 的空间分布图(图 3)。从图中可以看出,从 20 世纪 80 年代至 2000 年,松辽流域农业非点源污染 TN 分布状况没有发生明显的改变,高负荷区主要集中在黑龙江、吉林、辽宁三省,最主要的原因是由于这三省农业活动比较集中,土地利用率高,并且农村人口数量较大,禽畜养殖业日趋发展所致。

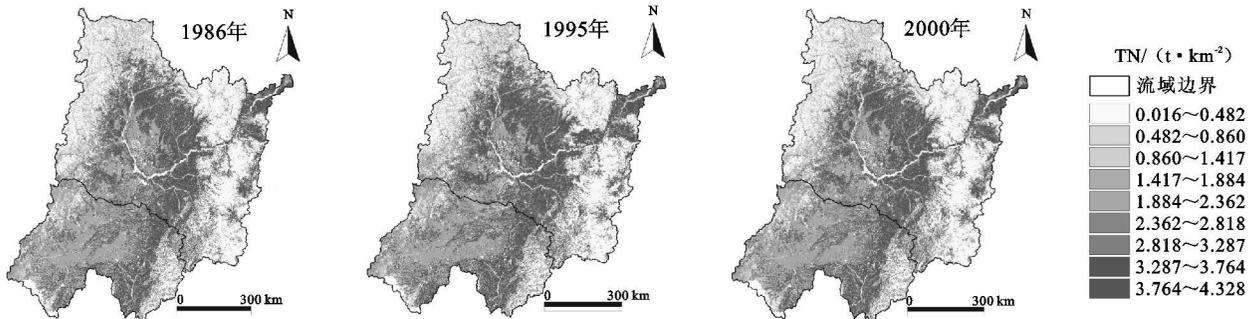


图 3 松辽流域农业非点源污染 TN 负荷空间分布

从整个流域来讲,从 20 世纪 80 年代至 2000 年,松辽流域农业非点源污染总量从 20 世纪 80 年代的 129.3 万 t 上升到 1995 年的 141.7 万 t,2000

年又上升到 144.5 万 t。就省份而言,黑龙江、内蒙古两省对流域的非点源污染负荷贡献率较大,这主要是由于这两省在流域内所占的面积比例较大,且

流域内农业活动比较频繁, 化肥施用量较高所致。具体到污染负荷强度来说, 吉林省的污染负荷强度

最高, 黑龙江和辽宁省次之(图 4)。

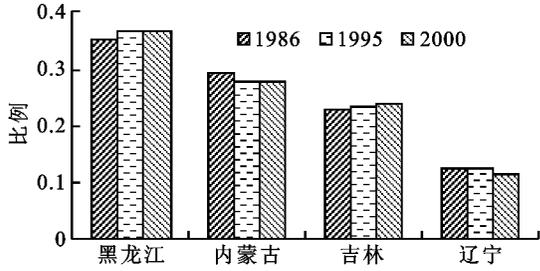
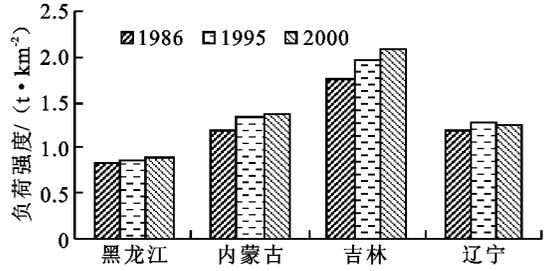


图 4 松辽流域非点源污染 TN 比例及负荷强度



4.2 基于土地利用和非土地用的 TN 负荷量变化分析

松辽流域内农业非点源污染主要由土地利用和禽畜养殖、生活污水等非土地利用两种方式产生的, 为了比较两者对于流域内非点源污染的贡献率, 本研究分别对流域各省份内由土地利用和非土地利用所产生的污染物总量进行了计算以及空间分析, 在

结果分析中, 两者所产生的非点源污染 TN 负荷按百分比给出, 负荷总量为 1。

4.2.1 不同省份内 TN 负荷量变化分析 松辽流域面积有 77 万 km², 流域内各个省份之间土地利用方式及农业发展状况相差很大, 需要进一步分析各个省份内由土地利用和非土地利用所产生的非点源污染负荷的时空变化特征, 分析结果见图 5。

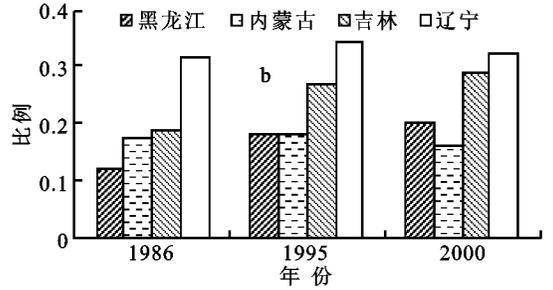
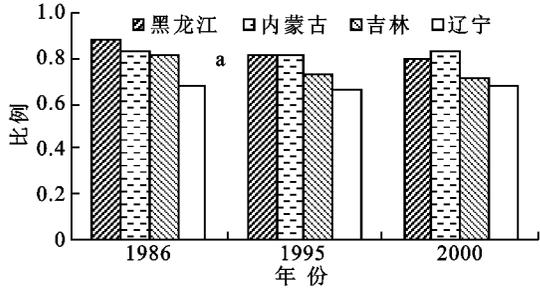


图 5 由土地利用(a)和非土地利用(b)所产生的非点源污染 TN 在不同省份的比例

从图 5 分析得到, 流域内各个省份中由土地利用所产生的非点源 TN 均占有很大的比例, 尤其是在黑龙江省和内蒙古自治区, 平均比例高达 80%。由此可以说明, 土地利用尤其是化肥的施用仍然是流域内非点源污染最主要的影响因素。但在辽宁省, 近几年由于养殖业的日益发展, 由非土地利用所产生的非点源污染比例逐渐增加, 2000 年已经增加到接近 40%, 这一变化趋势反应了该省内农业生产方式的转变^[16]。

益提高, 本研究分析了 1986-1995 年、1995-2000 年这两个时期内松辽流域不同省份间由土地利用和非土地利用所产生的非点源污染的年均变化率。

图 5 中各个省份内由土地利用所产生的非点源污染负荷比例基本呈逐渐下降趋势, 而非土地利用所产生的非点源污染比例日趋增加, 这说明农村生活、禽畜养殖等因素对非点源污染 TN 负荷的影响越来越显著。

4.3.1 流域范围内非点源污染变化分析 1986-1995 年、1995-2000 年这两个时期内松辽流域由土地利用和非土地利用所产生的非点源污染的变化率如图 6 所示。从变化趋势来看, 整个流域内由非土地利用所产生的非点源污染的变化率超过了土地利用所产生的非点源污染的变化率, 尤其是在 1986-1995 年这 10 a 间, 流域内非土地利用产生的非点源污染变化率接近 4%, 远远超过了土地利用所产生的 1% 的变化率。由此可以看出, 这期间流域内经济活动呈现出种植业和养殖业多元发展的趋势^[4]。

4.3 基于土地利用和非土地利用的非点源污染 TN 变化率分析

从 20 世纪 80 年代至 2000 年, 松辽流域在农业生产取得成绩的同时, 农村农业生产和群众生活已成为非点源污染的重要影响因素, 流域内由禽畜养殖等非土地利用所造成的非点源污染所占的比例日

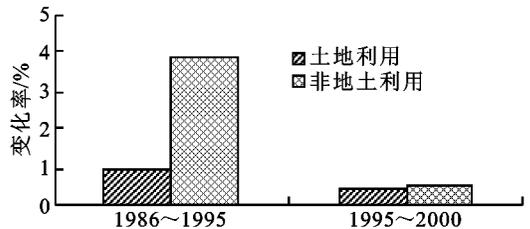
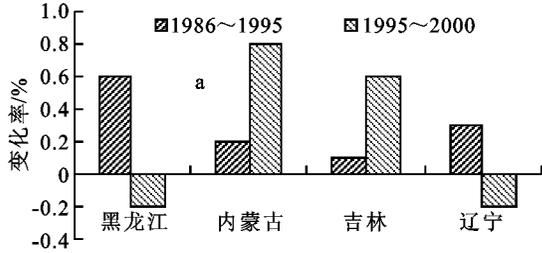


图 6 土地利用和非土地利用所造成的非点源污染 TN 变化率

4.3.2 不同省份内非点源污染变化分析 松辽流域涉及东北三省以及内蒙古自治区东部的四(盟)市,由于流域内各省种植结构和经济发展水平各不相同,因此不同省份内土地利用和非土地利用所产生的非点源污染的变化率也不相同,本文对此进行了相关分析,分析结果见图 7。

从图 7 可以看出,除内蒙古自治区外,流域内其他各省由土地利用所造成的非点源污染年均变化率相差不大,变化率处于 -0.2~ -1 之间。但由非土地利用所造成的非点源污染变化率差别很大。1986



- 1995 年期间,黑龙江省和吉林省由非土地利用所产生的非点源污染年均变化率较大,(年均变化率超过 6%)。但在 1995- 2000 年期间,内蒙古和辽宁省由非土地利用所造成的非点源污染变化率呈现负增长,这主要是由于这两个省在此期间禽畜养殖量有所减少有关,尤其是内蒙古自治区,对非点源污染贡献较大的大牲畜的数量由 1995 年的 463.9 万头减少到 2000 年的 375.2 万头^[17],但由于土地利用所造成的非点源污染年均变化率较大,因此,在此期间,内蒙古自治区的非点源污染仍然呈日益加重趋势^[18]。

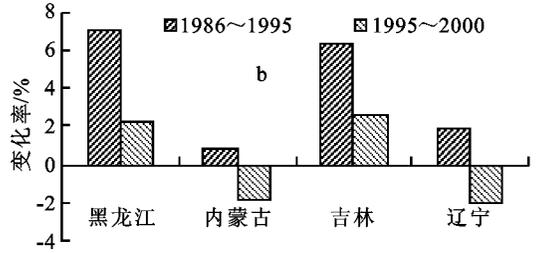


图 7 在不同省份内土地利用(a)和非土地利用(b)所造成的非点源污染 TN 变化率

5 结论

研究利用选定的输出系数,结合 GIS 技术,对松辽流域 1986- 2000 年间由土地利用和非土地利用所产生的非点源污染负荷 TN 进行了空间模拟及时空变化趋势分析,在此基础上得出以下结论。

(1) 松辽流域由土地利用和非土地利用所造成的非点源污染 TN 负荷成日益增加趋势,从 20 世纪 80 年代的 129.3 万 t 增加到 1995 年的 141.7 万 t,2000 年又增加到 144.5 万 t。其中贡献最大的为松辽平原东南部地区,该地区农业生产发达,伴随化肥和农药施用量的逐渐增加及水土流失等原因使该区域大量未被吸收利用的氮、磷流失严重,造成此区域 TN 高负荷分布^[6]。

(2) 流域内由土地利用所产生的非点源污染在农业非点源污染中占有绝对的比重,具体到省份来说,黑龙江省和内蒙古自治区占的比例最高,两者均为 83%,就水系来说,松花水系所占的比例最高,多年平均为 82%。今后应重点加强这几个地区的治理,转变耕作方式,完善施肥管理措施^[19]。

(3) 虽然流域内由土地利用所产生的非点源污染负荷占有很高的比例,但从 20 世纪 80 年代到 2000 年,流域内由非土地利用所产生的非点源污染负荷成日益增加趋势,其中以吉林省年均变化率最大,多年平均变化率为 4.5%。这反应了这一地区农业生产方式的转变,规模化畜禽养殖业已成为吉林省农业非点源污染主要的污染源^[20]。

通过这一结论可以得出,流域内非点源污染主要是由土地利用产生,在今后应加强耕作方式的改变,实行保护性耕作,加强营养物管理,以减少流域内的非点源污染^[21]。但也不能忽视由非土地利用所产生的非点源污染日益增长的趋势,今后应加强农村生活污水,禽畜养殖粪便等的管理,从而使流域内的非点源污染得到控制。

参考文献:

[1] 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 and Environment, 2006, 113: 62-72.

[2] 朱铁群. 我国水环境农业非点源污染防治研究简述 [J]. 农村生态环境, 2000, 16(3): 55-57.

[3] Xiao Huaguo, Ji Wei. Relating landscape characteristics to non point source pollution in mine waste located watersheds using geospatial techniques [J]. Journal of Environmental Management, 2007, 82: 111-119.

[4] 李云生. 松辽流域“十一五”水污染防治规划研究报告 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 14-16.

[5] 金春久, 李环, 蔡宇. 松花江流域面源污染调查方法初探 [J]. 东北水利水电, 2004, 239(22): 54-60.

[6] 岳勇, 程红光, 杨胜天, 等. 松花江流域非点源污染负荷估算与评价 [J]. 地理科学, 2007, 27(2): 231-236.

[7] 黄方, 刘湘南, 刘权. 辽河中下游流域土地利用变化及其生态环境效应 [J]. 水土保持通报, 2004, 24(6): 18-21.

模拟研究。

(2) 基于 SWAT 模型的模拟分析结果表明, 降雨和土地利用变化对径流、泥沙和水质都产生了较大的影响。年内降雨较多的月份, 产生的径流和泥沙量也较大, 反之年内降雨量较少的月份, 产生的径流和泥沙量也较小。森林植被的增加则直接导致径流量的减少、泥沙量的减少和养分流量的减少。

(3) 通过建立情景模型, 针对不同降雨水平、不同的森林植被覆盖和不同的水土保持措施对水文响应的影响进行了情景分析。结果表明: 降雨因子对径流的影响略大于对泥沙的影响; 森林植被具有明显的减水减沙的生态水文功能, 尤其对泥沙的影响更大于对径流的影响; 水保措施的利用所带来的水文变化则不及降雨和植被覆盖对其的影响。

5.2 讨论

(1) 由于数据限制, 部分参数难于查找, 对最终模拟结果的精度有一定的影响。

(2) 对于参数众多的分布式水文模型而言, 参数校准过程耗时甚多, 因此开发更优化的自动参数优化程序, 是今后分布式水文模型参数率定方法研究的方向之一。

(3) 论文在进行实验流域水文响应情景模拟时, 仅设立了耕作方式的水保措施, 尚需进行更为细致深入的情景分析, 以寻求更好的水保措施建设。

参考文献:

[1] 郭生练, 熊立华. 分布式流域水文物理模型的研究现状与进展[M]//刘昌明. 黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理研究和进展, 郑州: 黄河水利出版社, 2001: 51-57.

[2] 郭生练, 熊立华, 杨井, 等. 基于 DEM 的分布式流域水文物理模型[J]. 武汉水利电力大学学报, 2000, 33(6): 1-5.

[3] 郝芳华. 流域非点源污染分布式模拟研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003.

[4] 侯喜禄. 陕北黄土丘陵沟壑区植被减沙效益研究[J]. 水土保持通报, 1990, 10(2): 33-40.

[5] 万洪涛, 周成虎, 万庆, 等. 地理信息系统与水文模型集成研究述评[J]. 水科学进展, 2001, 12(4): 560-568.

[6] 吴东国. 密云水库流域土地利用变化水文响应初步研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003.

[7] 余新晓, 程根伟, 赵玉涛, 等. 森林流域分布式水文模型研究[J]. 中国水土保持科学, 2003, 3(1): 35-40.

(上接第 196 页)

[8] 丁晓雯, 沈珍瑶, 刘瑞民. 基于水文水质资料的非点源输出系数模型参数确定方法及其应用[J]. 北京师范大学学报, 2006, 42(5): 534-538.

[9] Worrall F, Burt T P. The impact of land-use change on water quality at the catchment scale: the use of export coefficient and structural models [J]. J. Hydrol. 1999, 221: 75-79.

[10] Johns P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modeling approach [J]. J. Hydrol. 1996, 183: 323-349.

[11] Johns P J, O' Sullivan P E. The natural history of Slapton Ley Nature Research (N): Nitrogen and phosphorus losses from the catchment-an export coefficient approach [J]. Field Studies, 1989, 7: 285-309.

[12] Johns P J. An investigation of the effects of land use upon water quality in the windrush catchment [D]. Oxford: Uni. Oxford, 1990.

[13] Heathwaite A L, Burt T P, Trudgill S T. The effect of land use on nitrogen, phosphorus and suspended sediment delivery to streams in a small catchment in Southwest England [C]//Thornes J B. Vegetation

and Erosion: Processes and Environments, Wiley: Chichester, 1990: 161-178.

[14] 丁晓雯, 沈珍瑶, 刘瑞民. 长江上游非点源氮素负荷时空变化特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(3): 836-841.

[15] 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): 2408-2414.

[16] 辽宁统计局. 2001 年辽宁省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001.

[17] 内蒙古统计局. 2001 年内蒙古统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001.

[18] 王波, 张天柱. 辽河流域非点源污染负荷估算[J]. 重庆环境科学, 2003, 12(25): 132-135.

[19] 杨海军, 沈波. 东北黑土区水土流失研究与治理[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2005.

[20] 沈万斌, 杨育红, 金国华. 吉林省农业非点源氮磷污染环境影响评价[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(4): 574-576.

[21] Jonathan D K, Richard E H. An information-theoretical analysis of budget-constrained nonpoint source pollution control [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2003, 46: 106-130.