

北京城市扩展的环境效应模拟与评价

孙强^{1,2}, 蔡运龙¹

(1. 北京大学 城市与环境学院 土地科学中心 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871; 2. 上海市静安区建设和交通委员会, 上海 200042)

摘要:基于 L-THIA GIS 模型,以北京为案例研究区,应用水文土壤类型、土地利用类型以及长期日降水量数据,有效模拟了长时段内以城市扩展为主要特征的土地利用变化对水文过程以及城市非点源污染的宏观影响态势,挖掘出区域内潜在的长期污染问题及其空间分布。结果表明,虽然 1996—2004 年间连续干旱导致年径流量整体减少,但城八区年径流量却呈增加趋势,各分区年径流量变化幅度与耕地向建成区转化的比例具有一致性,说明保护并合理利用耕地对减少城市径流有重要意义;城市建设用地的单位面积产流量远远大于农业用地和生态用地,林地向城市建设用地转变所产生的水文效应敏感性最强,其次依次为:水域、草地、农村居民点和农业用地,林地、水域、草地等生态用地需要特别加强保护;通过 L-THIA 模型和 GIS 平台,实现了区域非点源污染的分布式模拟,结果显示城市扩展对城市非点源污染的影响大于降水变化的影响,根据模拟结果和下垫面(土地利用)对城市非点源污染的影响,初步将北京划分为 4 类城市非点源污染产生的敏感性区域,为土地利用管理和环境规划提供指引。

关键词:城市扩展;环境效应;模拟;L-THIA;GIS;北京

中图分类号:F293.2;TU984.1 文献标识码:A 文章编号:1006-7329(2008)05-0123-07

Environmental Impact Modeling of Urban Sprawl in Beijing, P. R. China

SUN Qiang^{1,2}, CAI Yun-long¹

(1. College of Urban and Environmental Sciences & the Research Center for Land Sciences, Peking University; Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, Beijing 100871, P. R. China; 2. Shanghai Jin'an Construction and Transportation Committee, Shanghai, 200042, P. R. China)

Abstract: City expansion is a major driving force altering local and regional hydrology and increasing non-point source (NPS) pollution. To explore these environmental consequences of urbanization, long-term runoff and NPS pollution were assessed in Beijing, P. R. China. The assessment was based on land-use types, soil hydrology, and long term precipitation data. The environmental impact model L-THIA was used. The outcomes indicate that the area likely would be subjected to impacts from urbanization on runoff and some types of NPS pollution. Urban sprawl will increase runoff volume considerably and significantly increase losses of COD and certain heavy metals such as Pb, Zn in runoff. The results of this study have significant implications for urban planning and decision making efforts to protect and remediate water and habitat quality in the Beijing area. The techniques described herein can be used in other areas.

Key words: urban sprawl; environmental impact; modeling; L-THIA; GIS; Beijing, P. R. China

土地利用的非农化和城市扩展在带来社会和经济利益的同时,常以破坏自然环境、损失生态功能为代价^[1]。透水层到不透水层的转换,会增加地表径流量、减少地下水的补给和底流量,同时会加剧城市区域的非

点源污染,是城市生态系统健康恶化的主要原因之一,因此必须对其进行控制与管理^[2]。有学者研究了农业土地利用结构对非点源污染的影响^[3],但城镇化过程如何影响非点源污染负荷及其空间差异方面的研究较少,

* 收稿日期:2008-05-24

基金项目:国家自然科学基金项目(40571002)

作者简介:孙强(1981-),男,山东省莱芜市人,博士研究生,主要从事土地科学、资源环境管理与区域开发、土地规划与生态保护等领域的研究。
(E-mail) simplytsebest@163.com

蔡运龙(联系人),男,教授,博士生导师。(Tel)010-62758845;(Email) caiyl@urban.pku.edu.cn。

目前多数城市非点源污染控制分区原则相对简单,多以定性描述方法为主^[4],制约了非点源污染控制的针对性和可操作性。与点源污染的技术性控制不同,城市非点源污染的控制主要靠合理布局区域土地利用方式来实现。由于非点源污染的随机性、广泛性、模糊性和滞后性等特点^[5],仅凭定点和短时期的监测难以反映整个区域的趋势,因此,通过选择合适的模型模拟区域非点源污染整体趋势和空间分布显得至关重要。

北京地处海河流域,是城市蔓延、耕地流失问题突出的典型区域^[6-7],是中国的缺水城市之一,人均水资源占有量仅为全国人均水平的 15%。供水不足成为制约北京经济和社会发展的的重要因素,而水污染更进一步加剧了北京缺水的状态^[8-9]。以北京为案例研究区,评价长时间尺度下以城市扩展为主要特征的土地利用对径流和非点源污染的影响,并模拟其趋势,对于城市管理、规划中合理安排用地结构和布局都具有十分重要的现实意义,对发展城市扩展的环境效应模拟研究也有着重要的理论意义。

1 模型与方法

由美国农业部土壤保护局(the United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, USDA_SCS)的经验数据建立起来的 CN(Curve Number)法,是基于土地利用和土壤属性数据的一种水文抽象方法,是降雨、土地利用参数与径流深之间的经验关系数据集。某一土地利用类型(不同土地利用类型的 CN 值不同)的径流深、降水量之间的关系通过以下两个公式来表达:

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

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254$$

其中, R 为径流深/mm; P 为降雨深/mm; S 为最大持水能力(potential maximum retention, mm), CN 为不同土地利用类型的 CN 值。得到径流深后,再与该区域的面积相乘就可以得到某次降雨能够产生的径流量。 CN 是一个无量纲参数,是 SCS 模型的主要参数,用于描述降雨-径流关系,已将前期土壤湿润程度、坡度、土壤类型和土地利用现状等因素综合在一起。 CN 值把流域下垫面条件定量化,用量化的指标来反映下垫面条件对产汇流过程的影响。因此 CN 值不仅仅是 SCS 模型的一个重要参数,而且是反映降雨前流域特征的一个综合指标,可以间接地综合反映人类活动对径流的影响,在水文模型参数确定和土地利用信息之间建立了直接的联系^[10]。

基于 CN 法发展而来的 L-THIA(long_term

hydrological impacts analysis,长期水文影响模型)从一个新的角度来进行径流模型研究,把 GIS 技术引入了城市水文模型研究中,利用 GIS 的空间分析和数据处理功能对下垫面进行模拟,由此建立下垫面、降雨、径流三者之间的关系,综合反映多年平均暴雨径流的变化特征,而不是对极端暴雨事件的模拟,可以更好地确定较长时间段内不同土地利用方式对水文过程的宏观影响态势。该模型的主要突出优点包括:(1)数据要求简单;(2)明晰地显示模型模拟的结果,为决策提供直观的空间数据。应用 L-THIA 模型可以快速地分析出区域规划策略可能导致的水文及水质响应,挖掘区域内潜在的长期污染问题及其空间分布,便于进行城市非点源污染敏感性评价和定量的分区控制,为土地利用格局优化和空间调控提供重要依据^[11]。在连续降雨径流模拟中,往往需要与长期地下水补给进行叠加,但由于 L-THIA 模型设计主要面向规划者和资源管理者,是针对土地利用规划决策的应用,而不是某一流域径流的精确计算,同时模型重点分析长周期尺度暴雨径流平均状况,所以忽略长期地下水分析对应用目标来说是可行的。

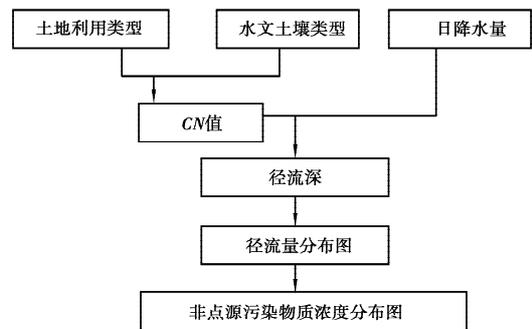


图 1 L-THIA GIS 模拟过程

L-THIA GIS 模型^[12]通过分别调用下垫面资料和长期日雨量记录进行模拟运算,得到流域的 CN 值分布图、多年平均径流深度分布图、径流量分布图和城市非点源污染负荷的步骤如图 1 所示。首先,将预处理好的土地利用分类(Land Use Classification)和土壤分类(Soil Classification)Shapefile 文件调入模型,经过格式转换分别保存为 Grid 格式;其次,进行 CN 值的计算(Calculatethe CN),即 L-THIA GIS 根据这 2 个 Grid 文件计算出研究区每个像元的 CN 值(图 1)。然后,运行 L-THIA GIS,计算研究区的年均径流深(Average annual run off depth),进而模拟研究区的年均径流量(Runoff volume),最后输出城市非点源污染物的浓度分布图(NPS pollutant loading),可根据研究区的实际情况进行污染物输出的选择,实现城市非点源污染敏感性评价。

2 数据

L-THIA 模型所需要的数据包括下垫面资料即水文土壤类型图和土地利用类型图,以及长期的日降水量资料。根据模型的要求,对北京市域的土壤类型图、土地利用现状图、长期日雨量数据分别进行处理,使之符合模型运算的要求。

2.1 水文土壤类型

土壤类型图来自北京市地图集(1994)^[13]。北京的土壤类型以褐土、潮土、山地棕壤为主,此外还包括山地草甸土、沼泽土、水稻土、风沙土等。L-THIA 模型要求输入的是基于 USDA 分类的水文土壤类型,而北京土壤类型图使用的分类标准为中国土壤类型编码。因此,参考 USDA 分类系统与中国土壤类型编码的对应关系^[14],将栅格化的北京土壤类型(分辨率:100 m(100 m))按 L-THIA 水文土壤分类标准重新分为 A、B、C、D 共 4 类。由于土壤性质在较短历史时期内不会发生本质变化,所以整个研究过程采用相同的土壤类型分布。

2.2 土地利用类型

最新版本的 L-THIA (Version 2.3) 模型要求按照不透水面积所占比例将土地利用分为以下 8 类:水域、商业用地、农业用地、高密度居住地、低密度居住地、草地、林地和工业用地(表)。但由于这种划分标准是根据美国的土地利用方式制定的,应用到北京案例时,会出现与当地实际情况不符的现象,所以,本文结合北京的实际情况,根据不透水面积所占比例,对上述土地利用方式的划分进行了一些修正,将栅格化的 1996 和 2004 年土地利用现状图(分辨率:100 m(100 m))重新划分为以下 8 类:水域(包括河流、苇地、水库水面等)、城市用地、农业用地(包括耕地、园地、其它农用地、未利用的沙地和裸土地等)、建制镇用地、农村居民点用地、草地(牧草地、未利用地中的荒草地等)、林地和工矿用地(包括独立工业用地、交通用地和特殊用地等),然后再转成 shipfile 文件。

2.3 长期日降水量

本研究使用的日降水量数据来自北京市气象局提供的北京 54511 站 1951~2004 年长期(54 年)日降水量数据。输入模型以前,需要将该其存储为模型要求的数据格式^[12]。

3 模拟结果评价与分析

3.1 模型有效性检验

选取多年平均径流深度作为指标,与实际观测的多年平均径流深度进行比较,以此验证模型的有效性。

L-THIA 模型模拟北京市域各地块 1996 年以及 2004 年多年平均径流深度,以及不同土地利用类型所占面积比例,对各地块的年均径流深度进行加权平均,计算得知 1996 年和 2004 年北京市域多年平均径流深度分别为 76.5 mm 和 73.5 mm。根据中国自然地理图集(1998)^[15],由 1951~1980 年气象水文数据得到北京多年平均径流深在 100 mm 以上,略高于海河流域的 91 mm;1980 年以后北京的降水量较之 1980 年以前则有明显降低的趋势,特别是近 8 年来出现连续干旱,2001、2002 和 2005 年的平均径流深^[16-17]分别仅为 46.3 mm、36.5 mm、45.1 mm。不单是北京,整个海河流域的水资源量也在降低,根据 2005 年海河流域水资源公报^[17]推算,目前海河流域多年平均径流深已不再是 91 mm,而是 67.7 mm。根据上述趋势,北京目前的多年平均径流深估计在 70 mm~100 mm 之间,可见 L-THIA 模型模拟得到的北京多年径流深基本符合北京的实际,由此证明模型应用于北京是有效的。

3.2 土地利用变化对地表径流的影响

根据模拟结果,分别统计 1996 和 2004 年北京市不同土地利用分布对长期径流量的影响。统计结果表明,北京市域 1996 年长周期年径流量为 12.46 亿 m³,2004 年长周期年径流量为 11.96 亿 m³,这与近些年降水量的减少、连续干旱有密切关系。尽管如此,若按照城八区(东城、西城、宣武、崇文、朝阳、海淀、丰台、石景山)、远郊平原区(顺义、通州、大兴)、远郊半山区(昌平、平谷、房山)和远郊山区(门头沟、密云、怀柔、延庆)分别统计,则可以发现,虽然远郊平原区、远郊半山区和远郊山区与整个市域的趋势一样,1996—2004 年间长周期年径流量是减少的(分别减少 0.13、0.05 和 0.32 亿 m³),但城八区却是增加的(增加 0.02 亿 m³),发生城市洪水的概率因此增加,这与城市近郊区的耕地流失强度最大、城市扩展程度最高^[7]的特点相对应,可见城市扩展和耕地流失对城市长周期径流量有较大影响。通过进一步分析发现,1996—2004 年各分区长周期径流量的相对变化率与耕地向建成区转化的比例^[7]具有一致性,即城八区的变化率最大,其次为远郊半山区、远郊平原区、远郊山区,由此可见耕地向建成区(主要为商业用地和高密度住宅区)的转化带来的不透水层增加是导致城市径流量变化的重要原因,这一转化的比例越高,径流量增加的幅度就越大或者减少的幅度就越小。

3.3 不同土地利用类型及城市扩展类型的水文敏感性分析

不同类型的土地利用方式因下垫面特征的差异导致产流量有所不同,由低产流量的土地利用类型转变

为高产流量的土地利用类型产生的水文效应就明显，反之，水文效应就小。由于研究区土地利用类型主要表现为向建设用地转变，因此可以通过不同土地利用类型的产流量及转变为城镇用地增加的产流量来分析其水文效应敏感性。

根据土地利用类型与径流模拟结果的对应关系，

统计单位面积不同土地利用类型产生的径流量，以反映不同土地利用类型水文效应的敏感性。结果表明，城市用地、建制镇用地、工矿用地的单位面积产流量远远大于农业用地、农村居民点用地、草地和林地，草地和林地的单位面积产流量最小(图 2)，说明城市用地、建制镇用地和工矿用地水文效应的敏感性强于其他用地。

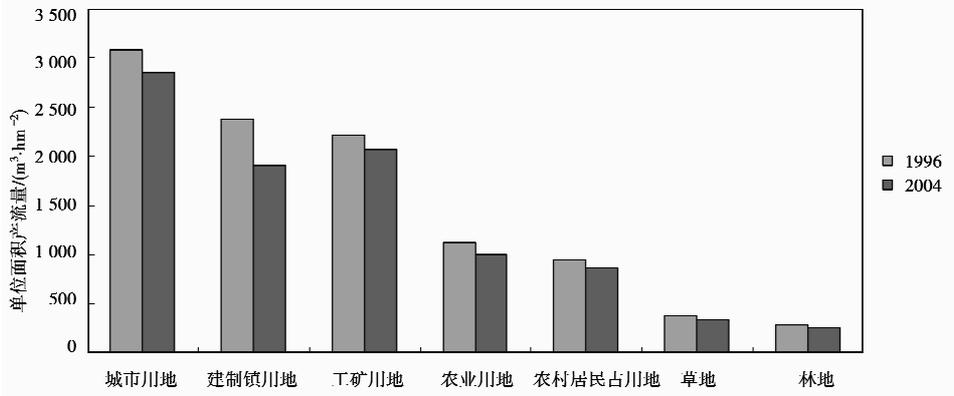


图 2 北京市域不同土地利用类型的单位面积产流量

在 ArcGIS9.1 支持下，将城市、建制镇和工矿用地合并为城市建设用地，并分别提取其 1996 和 2004 年的图斑进行叠加分析，得到城市建设用地扩展图斑，然后与 1996 年土地利用类型图叠加即得到城市建设用地扩展的不同类型，分别为水域-城市建设用地(表示城市建设用地向水域扩展，以此类推)、农业用地-城市建设用地、农村居民点用地-城市建设用地、草地-城市建设用地及林地-城市建设用地 5 种类型。然后，将 5 种不同的城市建设用地扩展类型分别与 1996 年和 2004 年的多年平均径流量模拟结果进行叠加，即得到 1996—2004 年间各种土地利用类型向城市建设用地

转变增加径流量的情况。结果表明，林地向城市建设用地转变增加径流量最大，所产生的水文效应敏感性最强，其次依次为：水域、草地、农村居民点和农业用地(图 3)。根据以上分析，理论上我们可以认为林地、水域、草地对城市扩展的水文效应敏感性强的用地类型需要特别加强保护，城市建设应鼓励向水文效应敏感性较弱的用地类型扩展，比如通过农村居民点的合并腾出土地来满足城市扩展的需求，但是，鉴于农业用地复合功能的特殊性，其用途转化并不能单从水文效应的敏感性角度来考虑，最关键的则是要寻求农地保护与满足建设用地需求之间的平衡点。

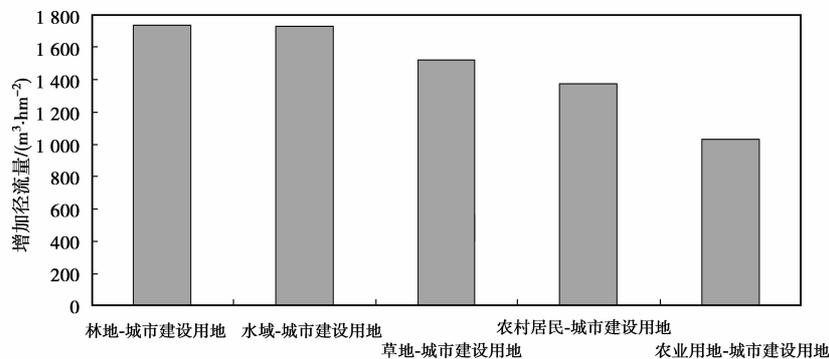


图 3 1996~2004 年北京城市建设用地扩展类型对增加径流量的影响

3.4 城市扩展对非点源污染负荷的影响

参考北京城市非点源污染的相关研究^[8,18-19]，选取 TP、TN、COD、SS、Pb、Zn 共 6 种污染物进行非点源污染负荷模拟。通过 L-THIA 模型模拟输出选择的污染物浓度分布后，将其分级，分别得到非点源污染敏感性分类图(图 4、图 5)，按非点源污染负荷值从小到大的顺序可依次分为非点源污染不敏感区、轻度敏

感区、中度敏感区和高度敏感区。从模拟结果图的直观对比可以看出，平原地区较之山区是非点源污染的主要“贡献者”；从土地利用类型和单位面积的非点源污染负荷的对应关系，可以看出城市建设用地是 COD、Pb、Zn 等非点源污染的主要“贡献者”，而农业用地则是 TP、TN 的主要“贡献者”(图 6)；从非点源污染总量的分区差异来看，城八区是 COD、Pb、Zn 的最

大“贡献者”;远郊平原区是 TP、TN 以及 SS 的最大“贡献者”;2004 年与 1996 年相比,COD、Pb、Zn 非点源污染的总量是增加的,而 TP、TN、SS 非点源污染的总量是减少的(表 1)。

表 1 1996~2004 非点源污染模拟负荷变化率/%

	TP	TN	COD	SS	Pb	Zn
城八区	-29	-24	+24	-13	+17	+18
远郊平原区	-21	-18	+31	-14	+29	+39
远郊半山区	-47	-42	+71	-36	+43	+48
远郊山区	-26	-22	+17	-22	+2	+12
全市域	-29	-26	+34	-21	+22	+29

区域非点源污染负荷空间分布与土地利用类型、土地利用变化有着密切的关系,北京的非点源污染主

要受农业土地利用(不包括林、草)和城市地表径流的影响。城八区是城市建设用地最集中的地区,也是城市化程度最高的地区,城市化过程带来的 COD、Pb、Zn 等非点源污染应是其治理的重点;远郊平原地区集中了全市最大面积的优质农田,承载着最大的农业非点源污染负荷,有效的途径是通过发展生态农业最大程度地减小 TP、TN 等主要农业非点源污染的潜在威胁;值得关注的是,该地区包含的通州、顺义、大兴 3 区承载着北京未来 3 个重点新城的建设,应在建设之初就做好土地利用优化布局的规划和设计,尽量避免 COD、Pb、Zn 等其它非点源污染问题的加重。

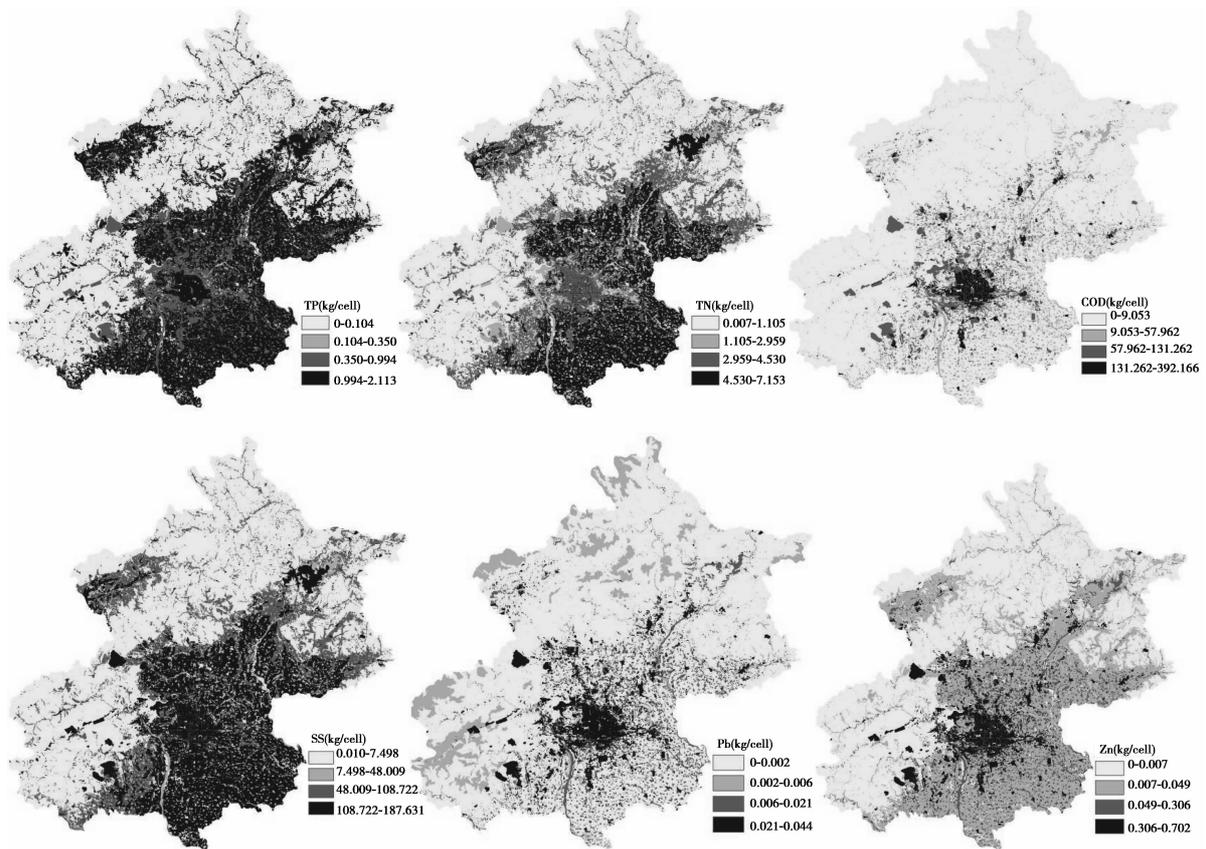


图 4 北京市域非点源污染负荷空间分布模拟结果(1996)

农地非农化过程使得由于农业土地利用引起的 TP、TN 非点源污染负荷有减少的趋势,当然,这与 1996~2004 年间北京气候的持续干旱造成径流量的减少也有一定的关系;但在 TP、TN 呈减少趋势的同时, COD、Pb、Zn 等其它非点源污染的负荷却呈增加的趋势,反映出城市扩展对非点源污染的影响大于降水变化的影响。

4 结论与讨论

利用 L-THIA 模型和 GIS 能较好地模拟以城市扩展为主要特征的土地利用变化的长周期水文效应和

对非点源污染负荷的影响,其在研究区北京的应用被证明是有效的。

1)水文效应结果表明,长周期径流量的相对变化率与耕地向建成区转化的比例具有一致性,耕地向建成区(主要为商业用地和高密度住宅区)的转化带来的不透水层增加是导致城市径流量变化的重要原因,可见保护耕地的重要意义绝不仅仅是为了保障食物安全;城市用地、建制镇用地、工矿用地的单位面积产流量远远大于农业用地、农村居民点用地、草地和林地,草地和林地的单位面积产流量最小,说明城市用地、建制镇用地和工矿用地水文效应的敏感性强于其他用地;林地向城

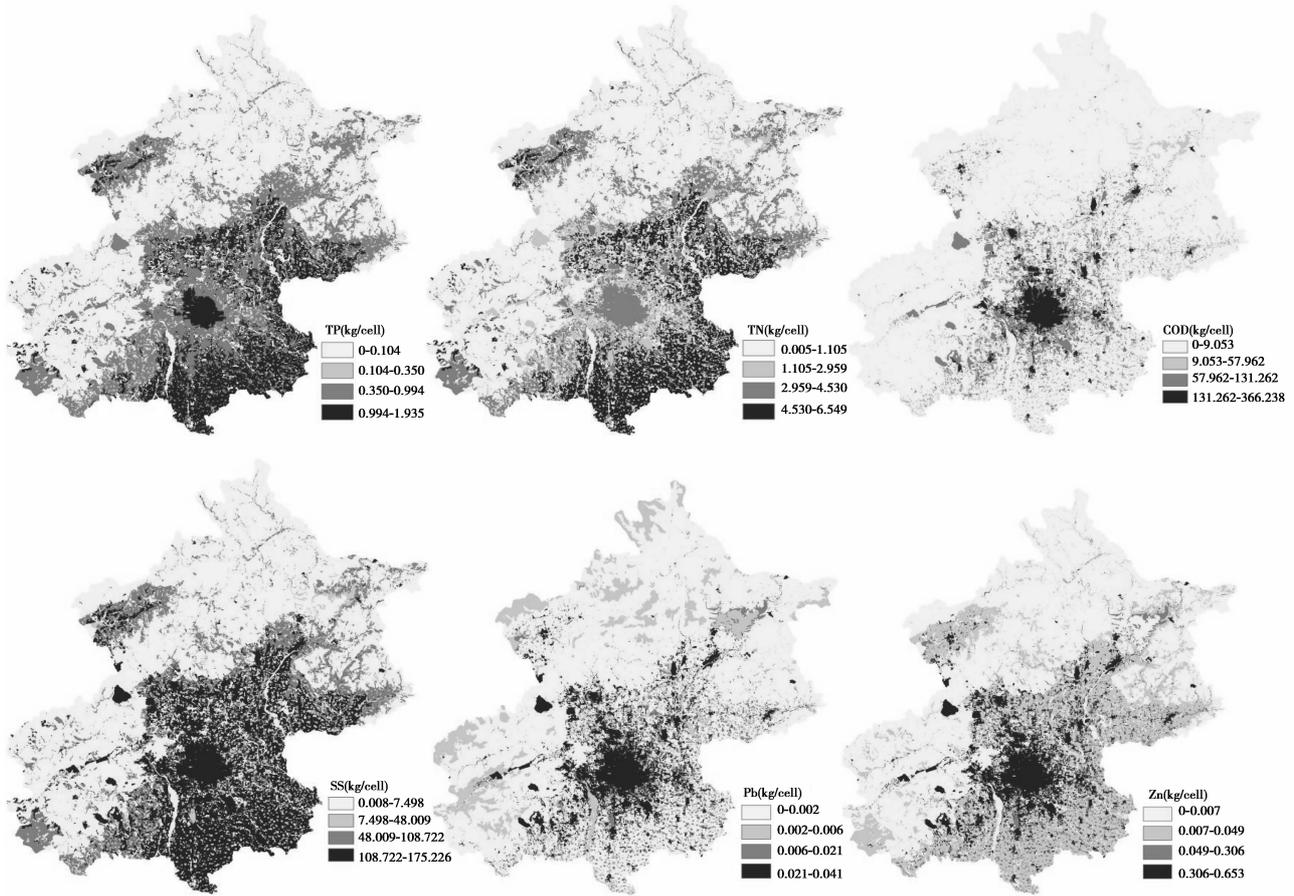


图 5 北京市域非点源污染负荷空间分布模拟结果(2004)

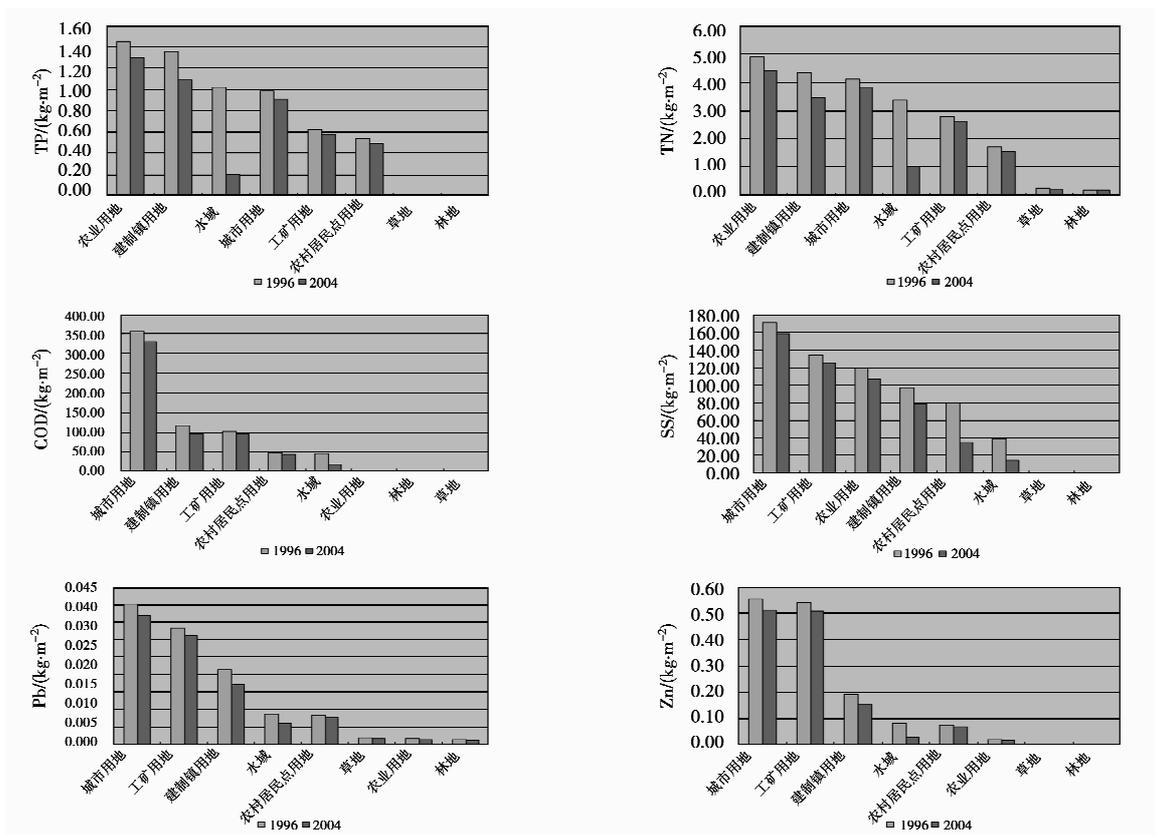


图 6 不同土地利用类型对非点源污染负荷的影响(1996、2004)

市建设用地转变增加径流量最大,所产生的水文效应敏感性最强,其次依次为:水域、草地、农村居民点和农业用地,林地、水域、草地等对城市扩展的水文效应敏感性强的生态用地类型需要特别加强保护;

2)非点源污染负荷模拟结果较好地解释了非点源污染来源与贡献,发挥了L-THIA模型所需模型参数少、效率较高的优点,通过GIS的栅格数据空间分析功能实现了区域非点源污染的分布式模拟,识别了非点源污染的关键源区。作为经验模型,L-THIA无法体现污染物的迁移转化过程,但空间分布差异显著的模拟结果为区域非点源污染控制分区与土地利用管理提供了定量和直观的依据。根据模拟结果和下垫面(土地利用)对城市非点源污染的影响,可初步将北京划分为4类城市非点源污染控制区:(1)城市非点源污染产生的不敏感区,土地利用主要以水体和透水性好的林地、草地为主,基本与远郊山区的范围相对应,对产生非点源污染的“贡献”很小,应采取环境和生态工程措施保护水体、林地、草地等生态用地,控制污染物向水体的排入;(2)城市非点源污染发生的轻度敏感区,下垫面主要是较易透水的农业用地、农村居民地,以及少量不透水的城市居民地和工业用地,基本与远郊平原区相对应,主要有产生农药径流污染的倾向,应采取渗透、过滤措施,在居民地增加植被覆盖;要减少除草剂、农药和化肥的施用量,积极发展生态农业和有机农业;此外,作为未来北京新城的重点发展区,应未雨绸缪地做好基于生态安全的土地利用格局规划和城市设计;(3)城市非点源污染发生的中度敏感区,下垫面主要是透水性较差的低密度工业用地和城市居民地,基本上与城镇近郊区(城乡结合部)相对应,较易产生Pb、Zn等重金属以及大肠杆菌等病菌径流污染,应通过生态重建途径,如增加沉积塘、人工湿地、渗透地面等,减缓径流流速、吸收径流流量;(4)城市非点源污染发生的高度敏感区,下垫面主要是强不透水的高密度商业用地和住宅区,基本上与主城区范围相对应,极易产生暴雨径流,产生高浓度的固体悬浮物、营养物质以及重金属径流污染,应主要采取渗透措施、改善城市排水系统,应用多孔路面渗透雨水和吸附、沉积污染物,同时要通过生态措施增加城市河道的绿色缓冲带,逐步恢复河道的自然补给系统和水循环系统;

3)定量的和空间明晰化的城市扩展环境效应研究,为快速城市化地区土地利用格局优化提供了新的思路,进一步的研究需要把综合的土地利用变化情景模型和L-THIA模型相结合,将不同土地利用情景下产生的环境效应进行对比,以确定适合未来经济社会

发展的土地利用结构和生态安全格局。

参考文献:

- [1] TANGA Z, ENGELA B A, PIJANOWSKI B C, et al. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale [J]. *Journal of Environmental Management*, 2005, 76: 35-45.
- [2] 杨柳, 马克明, 郭青海, 等. 汉阳非点源污染控制区划[J]. *环境科学*, 2006, 27(1): 31-36.
YANG Liu, MA Ke-ming, GUO Qing-hai, et al. Zoning planning in non-point source pollution control in Hanyang District. *Environmental Science*, 2006, 27(1): 31-36.
- [3] 李俊然, 陈利顶, 郭旭东, 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.
LI Jun-ran, CHEN Li-ding, GUO Xu-dong, et al. Effects of land use structure on non-point source pollution [J]. *China Environmental Science*, 2000, 20(6): 506-510.
- [4] 卓慕宁, 吴志峰, 王继增, 等. 珠海非点源污染控制区划[J]. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(1): 28-30.
ZHUO Mu-ning, WU Zhi-feng, WANG Ji-zeng, et al. Divisions of non-point sources pollution control in Zhuhai City [J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2003, 16(1): 28-30.
- [5] 贺缠生, 傅伯杰, 陈利顶. 非点源污染的管理与控制[J]. *环境科学*, 1998, 19: 87-91.
HE Chan-sheng, FU Bo-jie, CHEN Li-ding. Non-point source pollution control and management [J]. *Environmental Science*, 1998, 19: 87-91.
- [6] 蒋芳, 刘盛和, 袁弘. 北京城市蔓延的测度与分析[J]. *地理学报*, 2007, 62(6): 649-658.
JIANG Fang, LIU Sheng-he, YUAN Hong. Measuring Urban Sprawl in Beijing with Geo-spatial Indices [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(6): 649-658.
- [7] 孙强, 蔡运龙, 王乐. 北京耕地流失的时空特征与驱动机制[J]. *资源科学*, 2007, 29(4): 158-163.
SUN Qiang, CAI Yun-long, WANG Le. Study on temporal-spatial processes of farmland conversion and its drive mechanisms in Beijing, China, 1996 ~ 2004 [J]. *Resources Science*, 2007, 29(4): 158-163.
- [8] 张丽萍, 李亚光, 王昭艳. 北京地区非点源污染现状分析与防治对策探讨[J]. *水资源与水工程学报*, 2005, 16(4): 20-23.
ZHANG Li-ping, LI Ya-guang, WANG Zhao-yan. Study on current status and countermeasure of non-point sources Pollution in Beijing area [J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2005, 16(4): 20-23.

(下转第 134 页)

- [2] 黄农,姚金宝,瞿伟. 确定住宅建筑日照间距的棒影图综合分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2001, 24(2):217-221.
HUANG Nong, YAO Jin-bao, QU Wei. General analytical method to get the residential buildings insolation interval by using stick sunlight shadow chart[J]. Journal of Hefei University of Technology (natural science edition), 2001, 24(2): 217-221.
- [3] 王建平. 住宅单元日照环境的研究[J]. 建筑科学, 2005, 21(5):30-36.
WANG Jian-ping. Study on sunshine environment of residence unit[J]. Building Science, 2007, 23(3): 23-25.
- [4] 木村建一. 空气调节的科学基础[M]. 单寄平译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981.
- [5] 付祥钊. 夏热冬冷地区建筑节能技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
FU Xiang-zhao. Building energy-saving techniques for the areas hot in summer and cold in winter [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002.
- [6] F 凯尔别克. 太阳辐射对桥梁结构的影响[M]. 刘兴法译.
北京: 中国铁道出版社, 1981.
- [7] 孙国晨, 关荣财, 姜英民, 等. 钢-混凝土叠合梁横截面日照温度分布研究[J]. 工程力学, 2006, 23(11):122-127.
SUN Guo-chen, GUAN Rong-cai, JIANG Ying-min, et al. Sunshine-induced temperature distribution on cross section of steel-concrete composite beams [J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(11): 122-127.
- [8] 陈衡治, 谢旭. 混凝土箱梁温度场和应力场研究[C]. 2004年全国桥梁学术会议. 北京: 人民交通出版社, 2004: 706-713.
CHEN Heng-zhi, XIE Xu. Research on temperature field and thermal stress field of concrete box girder [C]. Proceedings of the National Conference on the Academy of Bridge Engineering(2004). Beijing: China Communications Press, 2004: 706-713.
- [9] 苗永宽. 球面天文学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- (编辑 王秀玲)
-
- (上接第 129 页)
- [9] 北京市水务局. 北京市水资源公报 [EB/OL]. 2005. <http://www.bjwater.gov.cn/Portals/flfg/files/szygb.pdf>.
Beijing Water Authority. Beijing Water Resources Report [EB/OL]. 2005. <http://www.bjwater.gov.cn/Portals/flfg/files/szygb.pdf>.
- [10] 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):1 041-1 049.
SHI Pei-Jun, YUAN Yi, CHEN Jin. The effect of land use on run off in Shenzhen City of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(7):1041-1049.
- [11] 李恒鹏, 杨桂山, 刘晓玫, 等. 流域土地利用变化的长周期水文效应及管理策略——以太湖上游地区蠡河流域为例[J]. 长江流域与环境, 2005, 14(4):450-455.
LI Heng-peng, YANG Gui-shan, LIU Xiao-mei, et al. The long-term hydrologic impacts of land use change and management strategy for the watershed of Taihu Basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(4):450-455.
- [12] BERNARD ENGEL. Long-Term Hydrologic Impact Assessment and Non Point Source Pollutant Model (manual) [EB/OL]. <http://www.ecn.purdue.edu/runoff>.
- [13] 北京市测绘院编制. 北京地图集[M]. 北京: 测绘出版社, 1994. 226-227.
- [14] 张时煌, 彭公炳, 黄枚. 基于地理信息系统技术的土壤质地分类特征提取与数据融合[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(1):65-79.
ZHANG Shi-huang, PENG Gong-bing, HUANG Mei. The feature extraction and data fusion of regional soil textures based on GIS techniques [J]. Climatic and Environmental Research, 2004, 9(1):65-79.
- [15] 中国地图出版社. 中国自然地理图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 1998.
- [16] 水利部. 中国水资源公报[EB/OL]. 2001, 2002. http://www.chinawater.net.cn/database_center/index.asp.
- [17] 水利部海河水利委员会. 海河流域水资源公报[EB/OL]. 2005. <http://www.hwcc.com.cn/haiwei/static/szygb.asp>.
- [18] 车武, 刘燕, 李俊奇. 北京城区面源污染特征及其控制对策[J]. 北京建筑工程学院学报, 2002, 18(4):5-9.
CHE Wu, LIU Yan, LI Jun-qi. Characteristics of urban non-point pollution and control strategies in Beijing [J]. Journal of Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, 2002, 18(4):5-9.
- [19] 韩冰, 王效科, 欧阳志云. 北京市城市非点源污染特征的研究[J]. 中国环境监测, 2005, 21(6):63-65.
HAN Bing, WANG Xiao-ke, OU'YANG Zhi-yun. Study on characterization of urban runoff pollution in Beijing [J]. Environmental Monitoring in China. 2005, 21(6):63-65.
- (编辑 王秀玲)