

汉阳非点源污染控制区划

杨柳¹, 马克明^{1*}, 郭青海¹, 赵景柱¹, 罗永峰²

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 吉林省民政厅防灾减灾中心, 长春 130062)

摘要: 城市非点源污染控制区划是控制和管理非点源污染、实现城市可持续发展的重要前提。在探讨城市非点源污染控制区划的原则与方法的基础上, 结合城市可持续发展原则、非点源污染敏感性优先原则、非点源污染控制方向相似原则, 以武汉市汉阳区为例, 尝试了基于 L-THIA 模型, 以 GIS 空间分析技术为平台, 城市非点源污染敏感性评价为核心的定量区划方法。将汉阳划分出 4 个非点源污染控制区, 分区结果可为区域非点源污染控制决策提供科学依据。

关键词: 城市非点源污染; L-THIA 模型; 非点源污染敏感性评价; 区划

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)01-0031-06

Zoning Planning in Non-Point Source Pollution Control in Hanyang District

YANG Liu¹, MA Ke-ming¹, GUO Qing-hai¹, ZHAO Jing-zhu¹, LUO Yong-feng²

(1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Research Center for Avoidance and Mitigation Disaster, Civil Administration Bureau of Jilin Province, Changchun 130062, China)

Abstract: It is most important for managing urban non-point source (NPS) pollution, actualizing the urban sustainable development as well, that zoning planning of urban NPS pollution control is studied. A case study on principles and methods of zoning planning in urban NPS pollution is carried out. Principles of urban sustainable development, priority of urban NPS pollution sensitivity, similarity of urban NPS control direction and region conjugate are put forward. Besides, it is for the first time that a more quantitative method is presented, in the case of Hanyang district, Wuhan city, which is based on L-THIA model and spatial analysis technique in GIS. Assessment of NPS pollution status quo, as well as analysis of NPS sensitivity, is the kernel component of the quantitative method. Hanyang might be divided into four NPS pollution control zones. It is helpful for decision-making of regional NPS pollution control.

Key words: urban non-point source pollution; L-THIA model; assessment of non-point source pollution sensitivity; zoning planning

我国城市社会经济的增长, 常以破坏自然生态环境, 不断损失生态功能为代价。土地利用方式越来越多地受到人类活动的强烈干扰。城市土地利用类型的变化导致非透水下垫面面积的增加, 从而改变了城市生态系统的水文特征, 加剧了城市水体的非点源污染, 进而导致生态环境不断恶化, 反过来又阻碍城市的社会经济增长^[1]。狭义的城市非点源污染是指城市地表径流污染, 即在降雨过程中, 雨水及所形成的径流流经城镇地面, 如商业区、街道、停车场等, 聚集一系列的污染物如原油、盐分、氮、磷、有毒物质及杂物, 随之进入河流或湖泊, 污染地表水或地下水体^[2]。目前, 我国城市生态系统健康失衡日渐加重。土地利用方式的不合理, 导致大多数城市均出现了不同程度的水体恶化等环境污染问题。非点源污染是城市水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^[3, 4]。

汉阳区位于湖北省武汉市西南, 地理位置为 114°3′ ~ 114°17′ E, 30°25′ ~ 30°36′ N, 土地总面积 108.41 km², 汉阳区属北亚热带季风性湿润气候, 年平均降水量为 1 150 ~ 1 450 mm, 降水集中于每年 6

~ 8 月, 约占全年降水量的 40%。全区人口总数为 389 045 人, 人口密度约为 3 589 人/km²。汉阳区湖泊水环境质量恶化现象十分严重, 除三角湖水水质为 V 类外, 龙阳湖、墨水湖、南太子湖等湖泊均为劣 V 类水质, 不仅恶化了城市的生态环境质量, 也渐渐危及饮用水的供给。随着点源污染控制治理力度的加大, 城市非点源污染成为了湖泊水质恶化的主要原因之一, 已经受到当地政府及广大学者的普遍重视。进行汉阳区城市非点源污染控制区划研究, 明确城市非点源污染发生的敏感区, 为合理制定该区的最佳管理措施提供科学依据, 改善城市湖泊生态系统健康状况, 进而才能实现整个城市的可持续发展。

目前, 我国城市非点源污染控制区划的相关研究并不多见, 理论与实践尚未形成体系。仅对乌鲁木齐^[5]、滇池流域^[6]和珠海^[7] 3 个地区进行过水体非点源污染控制区划的相关研究。但研究中仍旧存在控制区划原则相对简单, 区划方法以定性描述为主

收稿日期: 2005-01-07; 修订日期: 2005-03-14

基金项目: 国家“十五”重大科技项目(2002AA601022)

作者简介: 杨柳(1978~), 女, 博士研究生, 主要从事景观生态学研究。

* 通讯联系人, mkm@cees.ac.cn

的缺陷.非点源污染的区划原则与方法是其控制区划能否科学合理的关键所在,因此,本文在前人研究的基础上,以武汉市汉阳区为例,尝试了一种基于长期水文影响评价模型(L-THIA),以城市非点源污染敏感性评价为核心的定量区划方法.

1 城市非点源污染控制区划原则及对象

1.1 城市非点源污染控制区划原则

非点源污染具有污染源分散,随机性强,排放不固定等特点,是一个多学科交叉的现象,因此其控制区划的原则也应表现为多元化,即生态学、地理学、环境科学、社会经济学等多学科相结合.本研究结合生态区划的原则^[8]、生态功能区划的原则^[9,10]以及不同学者的研究成果,拟定了城市非点源污染控制区划的原则.

(1)城市可持续发展原则 城市非点源污染控制区划既要讲求生态效益,又要兼顾经济效益.控制区划的目的就在于促进城市生态系统结构的合理化,避免非点源污染的恶化和生态环境的破坏,增强城市社会经济生态发展的生态功能,促进城市的可持续发展.

(2)非点源污染控制方向相似原则 不同的非点源污染类型,其控制方向及治理方法均不同.因此进行分区时,诊断不同区域非点源污染物的主要来源,并以控制方向和治理方法的差异为依据进行划分.

(3)非点源污染敏感性优先原则 从非点源污染发生学的角度,根据主要污染源对非点源污染形成过程的影响,对非点源污染敏感性进行分析与评价,确定区划中的主导因子,在此基础上进行分区.敏感性分析评价将综合分析城市非点源污染的多种因素,如地表景观、人类干扰等.敏感性一般分为高度敏感区、中度敏感区、轻度敏感区和不敏感区.本研究主要以非点源污染敏感性评价为核心进行控制分区,并综合城市可持续发展原则和非点源污染控制方向相似原则提出各区相应非点源污染控制措施.

1.2 城市非点源污染控制区划对象

区划对象的准确选择是实现科学区划的先决条件,区划对象是区划的核心问题之一^[11].由于本研究主要以非点源污染敏感性评价为核心进行定量分区,因此区划对象为汉阳区城市非点源污染各敏感区,即非点源污染发生的高度敏感区、中度敏感区、轻度敏感区及不敏感区.在此基础上,根据各敏感区

内的土地利用情况、非点源污染物来源及控制方向等进一步分区进行控制管理.

2 基于 L-THIA 模型的定量区划方法

2.1 长期水文影响评价模型

基于 SCS CN (Curve Number) 法^[12]发展而来的长期水文影响评价 (Long-Term Hydrologic Impacts Assessment of land use changes, L-THIA) 模型,能够利用某区域长时期的气候、土壤和土地利用数据,计算该区域的年均径流量和非点源污染负荷.该模型以 Arcview 为平台,成为其中的一个扩展模块,其运算核心为 CN 法.由美国农业部土壤保护局 (the United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, USDA) 的经验数据建立起来的 CN 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,可以计算“多大强度的降雨可以产生径流”^[13].CN 值包括土壤类型、土地利用方式和其他地面特征等水文要素,用“土壤-植被-土地利用”来描述,不同强度降雨条件下,该土地利用能够调节的降雨潜在径流^[14].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、降雨深之间的关系可以通过(1)和(2)公式来表达^[13]:

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

$$S = \left[\frac{25400}{CN} \right] - 254 \quad (2)$$

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.

与其他模型相比,在研究城市化、地表径流和城市非点源污染之间的关系方面, L-THIA 模型具有以下几个优势: ① L-THIA 模型能够很好的与 GIS 结合,便于模型输入、输出数据的生成和管理,便于形象化显示模型模拟的结果; ② L-THIA 模型所需的输入数据只有土壤类型、土地利用方式和气候数据,数据相对较少而简单,可以相对弥补目前研究中普遍存在的数据不足问题; ③ L-THIA 模型能够有效地评价土地利用变化对地表径流的长期水文影响,而研究土地利用变化对径流的长期水文影响,较短期的、单一的暴雨事件对径流的水文影响来说,对城市非点源污染的研究更有意义.当然, L-THIA 模

型也同样存在缺陷: ①忽略了冻层和雪融产生的径流对非点源污染的影响; ②只能模拟土地利用变化后的长期水文影响, 就城市规划的其他方面, 如排水管道的设计等, 无法提供详尽的信息. L-THIA 模型分析所需数据及其组成见图 1.



图 1 L-THIA 模型分析所需数据及其组成

Fig. 1 The components of L-THIA GIS and the data needed

2.2 城市非点源污染负荷模拟

城市非点源污染负荷即地表径流污染负荷是由一场降雨或一年中的多场降雨所引起地表径流排放的污染物总量. 非点源污染发生的随机性导致单次降雨的污染负荷缺乏代表性, 因此采用年污染负荷代表城市非点源污染负荷更具科学性^[15]. 如前所述, 由美国环保总局 (US EPA) 和普渡大学 (Purdue University) 联合建立的 L-THIA 模型, 能够根据研究区长期气候、土壤和土地利用数据, 进行非点源污染年负荷的模拟. 武汉市汉阳区年平均气温 15.8℃ ~ 17.5℃, 年无霜期为 211~272d, 基本没有冻层和雪融现象, 并且本文的研究目的在于模拟城市非点源污染的年污染负荷, 即该模型的缺陷在本研究中均可避免. 由于汉阳区的地下管道不发达, 大部分雨水径流经过非透水下垫面直接流入区内水体, 研究中忽略了管道排水对非点源污染的影响, 着重研究土地利用格局对非点源污染的影响. 因此, 本文利用该模型对汉阳区城市非点源污染负荷进行了模拟研究, 即进行汉阳区城市非点源污染敏感性评价, 对基于 L-THIA 模型 (L-THIA GIS) 的城市非点源污染定量区划方法进行了有益尝试.

2.2.1 L-THIA GIS 的数据输入

利用 L-THIA 模型进行汉阳区城市非点源污染年负荷的模拟, 需要输入气候、土壤水文和土地利用数据.

(1) 土壤水文数据 美国土壤保持局 (Soil Conservation Service, SCS, 1972) 根据土壤的渗透特征 (infiltration) 将 8500 多种土壤类分别归为 A、B、C、D 4 类, 见表 1. L-THIA 模型的土壤水文数据输入也存在同样的要求, 因此结合研究区的土壤类

型图, 按此规则将汉阳区的土壤水文条件归类, 并在 Arcview 中生成相应的土壤水文 Shapefile 图 (图 2).

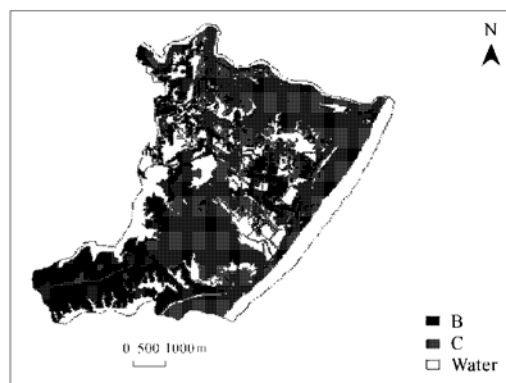


图 2 汉阳区土壤水文类型

Fig. 2 Hydrologic soil types of Hanyang district

表 1 美国土壤保持局土壤水文类型

Table 1 Hydrologic soil types classified by the Natural Resource Conservation Service

土壤水文类别	含 义
A	易产生高渗透低径流的土壤 (沙、砾石)
B	易产生中等渗透少径流的土壤 (粉砂壤土)
C	易产生少渗透中等径流的土壤 (砂土)
D	易产生低渗透高径流的土壤 (粘土)

(2) 土地利用数据 由研究区 2003-01-23 的 QUICKBIRD 影像目视解译而来. QUICKBIRD 影像的分辨率为 0.6m, 为高分辨率影像. 鉴于研究区范围较小且高分辨率影像的计算机自动解译存在太大误差, 因此本研究在 ERDAS 软件中对影像进行几何校正后, 在 Arcinfo 中采用先目视解译再实地踏查校正的方法获得汉阳区的土地利用类型 Coverage 图, 并转化为 Shapefile 图 (图 3), 以便 L-THIA 模型的输入.

USDA 根据海量经验数据建立的 CN 值, 25~98, 可根据土地利用类型和土壤水文类型查找相应数值^[12]. 根据汉阳区雨前湿润条件^[16] (Antecedent moisture condition, AMC) 对径流的影响, 对 CN 值进行了修正:

$$CN_3 = \frac{23CN_2}{10 + 0.13CN_2} \quad (3)$$

其中, CN_3 为 AMC3 条件下的 CN 值, CN_2 为 USDA 的经验值. 计算所得研究区土地利用类型和土壤水文类型相应的 CN 值, 见表 2.

将城市非点源污染负荷模拟所需的研究区气候、土壤水文及土地利用数据与修正后的 CN 值文

件共同存放在同一文件夹中, 进行 L-THIA 模型模拟.

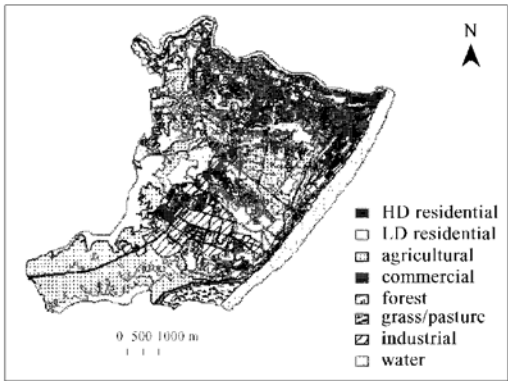


图 3 汉阳区 2003 年土地利用类型
Fig. 3 Land uses in Hanyang district of 2003

表 2 汉阳区土地利用类型及相应的 CN 值
Table 2 Land use categories in Hanyang district and their associated curve numbers

土地利用类型	不同土壤水文类型的 CN 值	
	B	C
农业用地	87.3	91.3
商业用地/不透水道路	96.4	97.3
林地	73.8	84.3
草地	78.2	86.7
城市居民地	92.9	95.4
工业用地	94.4	95.9
农村居民地	84.3	90.2

2.2.2 L-THIA GIS 的运行

在 Arcview 中载入 L-THIA 扩展模块并按其步骤进行城市非点源污染负荷的模拟. 基于 L-THIA 模型模拟城市非点源污染物浓度分布, 主要能够模拟 15 种污染物, 根据研究需要主要选择 TN, TP, COD, 镉 (Total-Cadmium), 锌 (Total-Zinc), 铜 (Total-Copper) 6 种污染物进行负荷模拟.

L-THIA GIS 模拟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 (Calculate the 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 4). 然后, 运行 L-THIA GIS, 计算研究区的年均径流深 (Average annual runoff depth), 见图 5. 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). 这里可以进行污染物输出的选择并实现汉阳区城市非点源污染敏感性评价. 输出 TN, TP, COD, 镉 (Total-Cadmium), 锌 (Total-Zinc), 铜 (Total-Copper) 6 种污染物浓度分布时, 选择将浓度分为 4 级, 分别得到非点源污染敏感性分类图, 即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, 如图 6. 非点源污染敏感性随颜色的加深而增加, 颜色越深的像元越易发生非点源污染. 在 Arcinfo 中调入该 6 种污染物浓度分布 Grid 图, 进行叠加, 这样该污染物的浓度分布叠加图属性表中具有了每个像元的污染物浓度信息. 在制定各控制区的非点源污染管理措施时需要考虑不同敏感区各个像元相对应的土地利用方式, 因此需要在 Arcinfo 的 Workstation 中进行该污染物浓度分布 Grid 文件与研究区土地利用 Grid 文件的融合 (Merge), 形成最终既具有每个像元的污染物浓度属性又具有相应土地利用信息的汉阳区城市非点源污染敏感性评价图 (图 7).

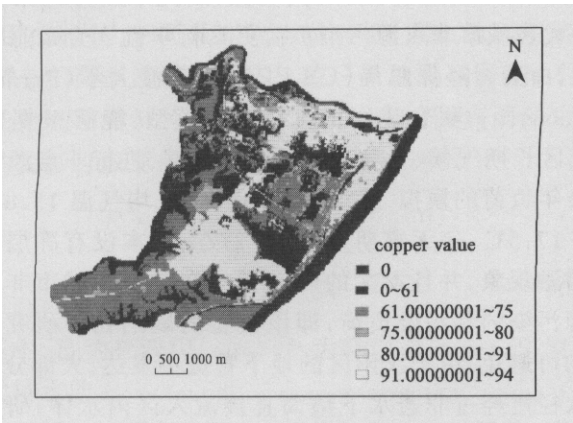


图 4 汉阳区 CN 值分布
Fig. 4 The distribution of CN value in Hanyang district

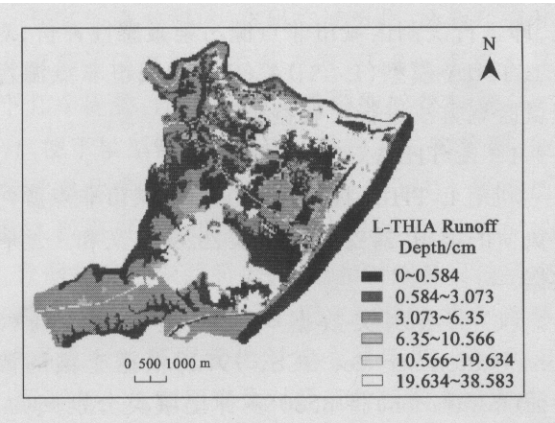


图 5 汉阳区径流深分布
Fig. 5 The distribution of runoff depth in Hanyang district

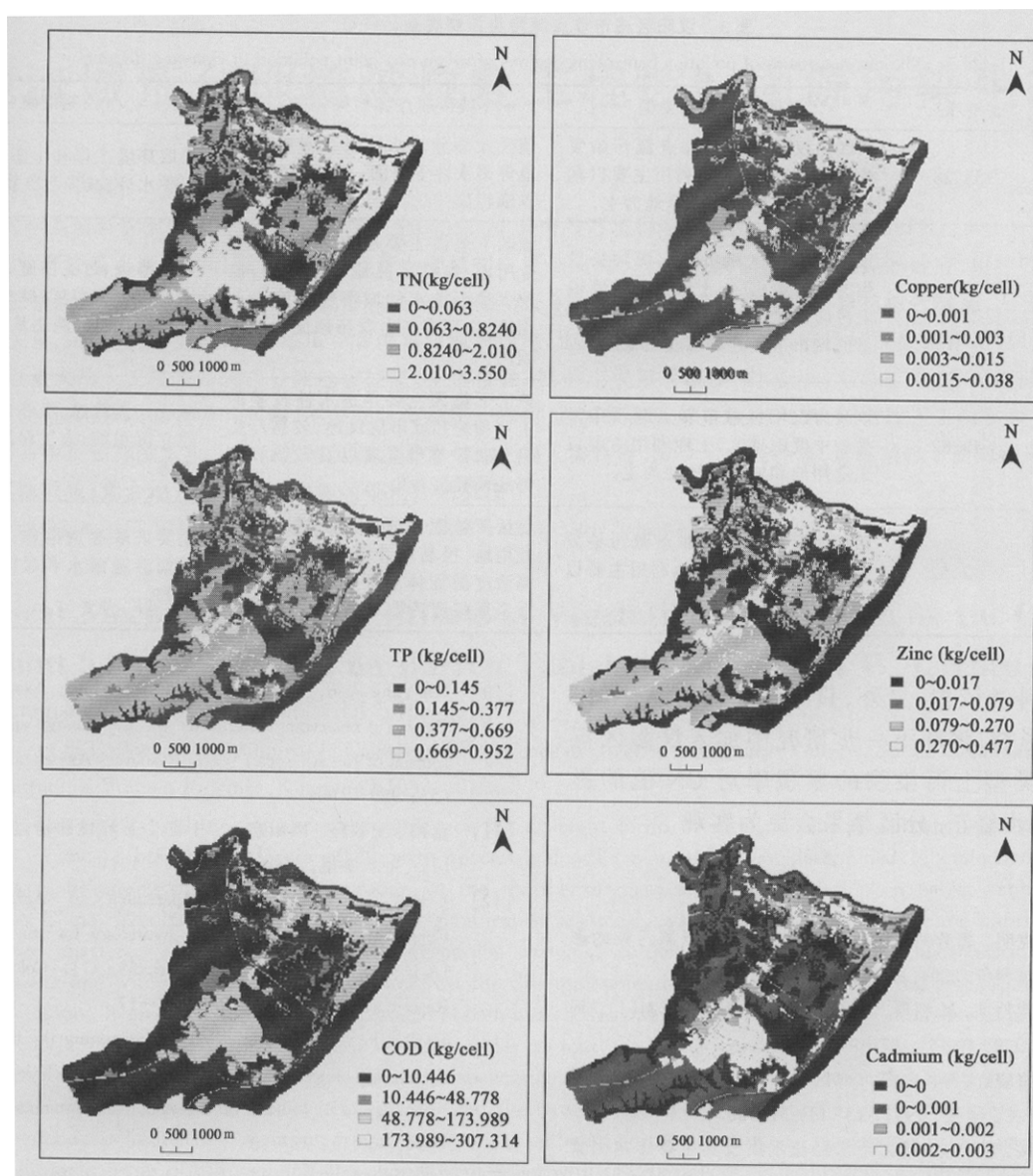


图 6 汉阳区城市非点源污染物浓度分布

Fig. 6 The distribution of annual non-point source pollution in runoff(TN, TP, COD, Total-Cadmium, Total-Zinc and Total-Copper in Hanyang district)

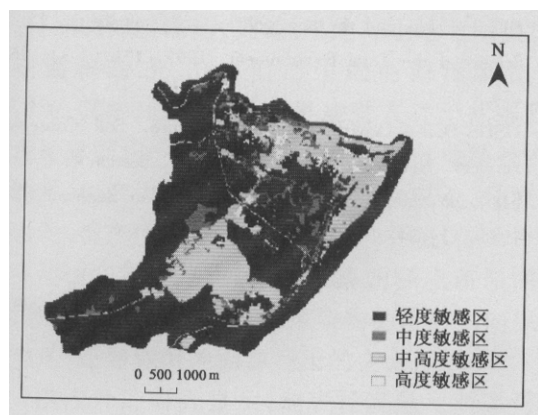


图 7 汉阳区城市非点源污染敏感性评价

Fig. 7 Urban non-point source pollution sensitivity assessment of Hanyang district

3 汉阳区城市非点源污染控制区及其控制管理措施

通过基于 L-THIA GIS 的汉阳区城市非点源污染敏感性评价,得到研究区城市非点源污染发生的不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区和高度敏感区。在此基础上,结合各区的土地利用类型及非点源污染的来源和控制方向,提出各区的污染控制措施,进行有针对性的治理。各控制类型区的面积、区域土地利用类型、城市非点源污染特征及控制措施见表 3。

本文主要考虑土地利用(下垫面)类型对非点源污染的影响,通过敏感性评价将汉阳区划分为 4 个非点源污染控制区,分区结果能够为非点源污染控

表 3 汉阳区城市非点源污染控制类型区特征

Table 3 The characteristics of pollutioncontrolling regions of urban nonpoint pollution in Hanyang district

控制区类型	面积/km ²	区域土地利用类型	城市非点源污染特征	控制措施
不敏感区	153. 28	该区为汉阳区城市非点源污染发生的不敏感区,土地利用主要以湖泊,鱼塘,藕塘,林地,草地为主.	该区大部分为水体及少量林地草地等透水性下垫面,基本不产生非点源污染.	采取环境工程和生态工程措施保护水体;减少污染物的排入.
轻度敏感区	14. 47	该区为汉阳区城市非点源污染发生的轻度敏感区,土地利用主要以农村居民地,农业用地,还包括少量的城市居民地和工业用地.	该区下垫面主要是较易透水的农业用地,农村居民地等下垫面,以及少量不透水的城市居民地工业用地,主要有产生农药径流污染的倾向.	采取渗透、过滤措施,在居民地增加植被覆盖度;减少除草剂、农药和化肥的施用量.
中度敏感区	49. 82	该区为汉阳区城市非点源污染发生的中度敏感区,土地利用主要以工业用地和城市居民地为主.	该区下垫面主要是透水性较差的工业用地和城市居民地,较易产生铅、铜、锌等重金属以及大肠杆菌等病菌径流污染.	减缓径流流速,吸收径流流量;建立沉积塘、人工湿地、渗透地面等.
高度敏感区	2. 52	该区为汉阳区城市非点源污染发生的高度敏感区,土地利用主要以商业用地为主.	该区下垫面主要是强不透水的商业用地,极易产生暴雨径流,产生高浓度的固体悬浮物,营养物质,重金属径流污染.	主要采取渗透措施;应用多孔路面渗透雨水和吸附、沉积污染物.

制决策提供科学依据. 另外,只考虑了研究区 AMC 对 CN 值的影响,将在下一步研究中加入汉阳区不同土地利用类型上污染物的累积率对 CN 值的影响,对其进一步修正,分区结果会更为客观.

参考文献:

[1] 杨柳, 马克明, 郭青海, 等. 城市化对水体非点源污染的影响[J]. 环境科学. 2004, **25** (6): 32~ 39.

[2] 贺缠生, 傅伯杰, 陈利顶. 非点源污染的管理及控制[J]. 环境科学. 1998, **19** (5): 87~ 91.

[3] 张大弟, 张晓红, 等. 上海市郊区非点源污染综合调查评价[J]. 上海农业学报, 1997, **13** (1): 31~ 36.

[4] 车伍, 欧岚, 等. 北京城区雨水径流水质及其主要影响因素[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, **3** (1): 33~ 37.

[5] 胡曾颐, 窦毅军, 王世娇, 等. 水环境综合整治目标及控制区划分[J]. 新疆环境保护, 1992, **14** (3): 19~ 24.

[6] 杨文龙, 杨树华. 滇池流域非点源污染控制区划研究[J]. 湖泊科学. 1998, **10** (3): 55~ 60.

[7] 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.

[8] 刘国华, 傅伯杰. 生态区划的原则及其特征[J]. 环境科学进展. 1998, **6** (6): 67~ 72.

[9] 贵州省环境保护局, 贵州师范大学地理与生物科学学院. 贵州省生态功能区划[R]. 2003.

[10] Jer-Yang Lin, Shaw L. Yu, Tsur-Chuan Lee. Managing Taiwan's reservoir watersheds by the zoning approach [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, **36** (5): 989~ 1001.

[11] 苗鸿, 王效科, 欧阳志云. 中国生态环境胁迫过程区划研究[J]. 生态学报, 2001, **21** (1): 7~ 13.

[12] USDA (United States Department of Agriculture Soil Conservation Service). Urban hydrology for small watersheds [A]. In: Technical Release No. 55 [C]. Colorado: Water Resources Publications, 1986. 15~ 17.

[13] Harbor J. A practical method for estimating the impact of land use change on surface runoff, groundwater recharge and wetland hydrology[J]. Journal of the American Planning Association, 1994, **60** (1): 95~ 108.

[14] Singh V P. Elementary Hydrology[M]. Prentice Hall, Inc: New Jersey. 1992. 57.

[15] Velimir Pravdic. The chemical industry in the Croatian Adriatic region: identification of environmental problems, assessment of pollution risks and the new policies of sustainability [J]. The Science of the Total Environment, 1995, **171** (1-3): 265~ 274.

[16] USDA-SCS (Department of Agriculture, Soil Conservation Service). National engineering handbook. Section 4: hydrology [M]. Washington, DC: Soil Conservation Service, USDA, 1985. 13~ 24.