

# 北京市水土流失综合治理体系的结构功能及效应

和继军<sup>1,2</sup>, 蔡强国<sup>2</sup>, 田磊<sup>3</sup>

(1. 首都师范大学 初等教育学院, 北京 100080; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所

中国科学院陆地水循环与地表过程重点实验室, 北京 100101; 3. 秦皇岛市水务局, 河北 秦皇岛 066000)

**摘要:** 依据地形地貌特征、人类活动等特点, 总结并分析了北京市水土流失综合综合治理的“三道防线”治理模式, 即从宏观尺度上把北京市从远山深山到平原依次划分为生态修复区、生态治理区和生态保护区 3 个治理一级区, 并详细阐述了该模式的结构和功能。同时对该区域水土流失在时空尺度上的响应进行了研究。分析结果表明, 北京市各区县土壤流失强度的空间分布及年际之间的变化规律与各区县年降雨侵蚀力的空间分布及年际之间变化情况基本一致, 土壤流失时空强度随降雨侵蚀力时空变化而变化的程度存在较大差异, 其中房山区、门头沟区、昌平区和怀柔区的年土壤流失强度的年际变化较小, 密云县、平谷县和延庆县的年土壤流失强度的年际之间变化较大。并对其原因进行了分析。

**关键词:** 土地利用; 地表径流强度; 土壤流失强度; 降雨侵蚀力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0052-05

中图分类号: S157.2

## Structure and Functions of Comprehensive Soil and Water Loss Control System and Its Environmental Effects in Beijing City

HE Ji-jun<sup>1,2</sup>, CAI Qiang-guo<sup>2</sup>, TIAN Lei<sup>3</sup>

(1. Capital Normal University, Elementary Educational College, Beijing 100080, China; 2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes, CAS, Beijing 100101, China; 3. Qinhuangdao Water Authority, Qinhuangdao, Hebei 066000, China)

**Abstract:** In this paper, the “three defense lines” system of integrated soil and water loss control in Beijing City is analyzed according to the topographical conditions and human activities. At the same time, the environmental effects of the “three defense lines” are studied. The analysis of soil loss indicates that the spatio-temporal distribution of soil loss is basically consistent with the change of rainfall erosivity. However, there is a greater difference in the magnitude of the spatiotemporal distribution as changed with the spatiotemporal distribution of rainfall erosivity. The change of annual soil loss in Fangshan, Mentougou, Changpingqu, and Huairouqu districts is less, and the change in Miyun, Pinggu, and Yanqing counties is relatively greater.

**Keywords:** land use; runoff intensity; soil loss degree; rainfall erosivity

人类活动是影响区域水土流失的重要因素, 其对水土流失的作用主要通过影响土地利用结构得以体现。土地利用结构的变化将导致地表植被覆盖度的增加或减少, 从而产生对土壤侵蚀发生强度的作用<sup>[1-2]</sup>。在一些经济发达地区, 经济发展, 城市扩张, 使得耕地面积持续减少, 山区陡坡开荒现象严重, 导致大量森林植被遭到破坏, 植被覆盖度降低, 生态系统调节能力降低, 由此引发的以水土流失为主的生态问题日益加重。

北京市作为中国经济最为发达和人口密度最为稠密的地区之一, 经济飞速发展、城市扩张所引发的环境问题亦相当严重。随着北京市生活供水惟一地表水源密云水库的入库径流量逐年急剧减少, 以及日益严重的水体污染等环境问题, 使北京市水资源状况异常严峻。研究表明, 农田径流、水土流失等导致的水体污染是影响水库水质的主要污染源<sup>[3-4]</sup>, 而通过改变土地利用结构, 增加植被覆盖可以有效地控制地表径流和泥沙, 大大减轻面源污染的强度。因此, 加

收稿日期: 2009-02-15

修回日期: 2009-05-05

资助项目: 国家重点基础研究(973) 发展计划 (2007CB407207)

作者简介: 和继军(1979—), 男(汉族), 河北省邢台市人, 博士研究生, 主要从事土壤侵蚀、流域侵蚀产沙模拟等方面研究。E-mail: hejiun\_200018@163.com。

通信作者: 蔡强国(1946—), 男(汉族), 湖北省武汉市人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀、流水地貌、流域侵蚀产沙模拟和 GIS 应用等方面的研究。E-mail: caiqg@igsr.ac.cn。

强北京市水土流失防治和清洁小流域建设是改善区域生态环境,促进社会经济与自然环境协调发展的重要途径。

## 1 研究区概况及研究方法

北京地处山地与平原的过渡地带,东北、北、西三面群山环绕,东南部是平缓地向渤海倾斜的平原,山地与平原之间过渡急剧,界线清晰。其中,山区面积 $10\,418\text{ km}^2$ ,占全市面积的62%,多为石质山区,坡度在 $25^\circ$ 以上的陡坡面积占山区面积的46.65%,其中大于 $35^\circ$ 的面积占山区面积的17.43%,高山至丘陵的地形变化急骤,落差大,河谷纵坡大。同时北京市年降雨量空间分布,季节分配极不均匀,全年75%~80%以上的降雨集中在6—9月。在特定地貌、降雨特征以及人为破坏的影响下,土壤蓄水能力降低,水土流失严重。

本研究依据北京市各个区县人类活动情况、自然条件以及区域发展定位,划分不同水土流失治理区,形成水土流失综合治理的“三道防线”,并在三道防线内合理配置水土保持措施,调整土地利用结构。目前北京市山区现有10个径流场,106个径流小区,分布在不同地貌类型区内,为确定区域水土流失环境效应分析提供基本的监测数据。其中北部山区8个径流场,分别位于密云县、怀柔区、平谷区、延庆县和昌平区;西部山区3个径流场,分别位于门头沟区和房山区。数据来源主要是2002—2006年的各个监测站的实测数据、各个区县志和北京市经济统计年鉴。

## 2 水土流失综合治理体系的结构、功能及环境效应

### 2.1 北京市水土流失综合治理体系的结构与功能

目前,北京市山区水土流失治理正在从单纯保土保水阶段转向人与环境和谐发展时期。在山区水土流失综合治理具体实施过程中,以小流域为基本治理单元,并为其赋予新的治理理念,提出并实施了以水资源保护、生态环境良性循环为目标的清洁小流域建设的“三道防线”体系。全市山区共有547条小流域,根据小流域内地形条件、水资源状况以及人类活动特点,以村为中心,以水资源保护为重点,以流域内水资源、土地资源、生物资源承载力为基础,从山顶到河谷进一步把流域划分生态修复区、生态治理区和生态保护区。每个分区内因地制宜地布设了各种水土保持措施,实现山、水、林、田、路、村、涵洞统一规划,拦、蓄、灌、排、节、废污综合治理,农林牧副游科学开发,对径流和泥沙层层拦蓄,形成有效防治水土流失和环

境污染的“三道防线”体系<sup>[5]</sup>。北京市生态清洁小流域建设全面实施4a以来取得了很好的示范效果,为发达地区水土流失综合治理创出了一条新路。

北京市水土保持的“三道防线”治理模式,具有两层含义。在宏观尺度上,根据地貌地形特征、生态功能、区域发展定位以及人类活动等特点,把治理区划分为“生态修复区、生态治理区和生态保护区”3个一级治理区,形成广义的“三道防线”;具体在实施过程中则在一级分区内以小流域为治理单元,根据地形坡度、土地利用、人口集中等情况,把小流域划细分为可具体安排水土保持措施的“生态修复区、生态治理区和生态保护区”3个亚区,在各个亚区内分别布置适宜的水土保持措施。图1是水土保持治理的“三道防线”的布置结构示意图,它反映了“三道防线”的基本位置和结构。

(1) 生态修复区形成水土流失综合治理的第一道防线。范围是远山、中山、人烟稀少地区,或是小流域的山顶或坡面上部区域,坡度一般大于 $25^\circ$ 。特点是山高坡陡,土层浅薄,不利于农业耕作,易发生泥石流、滑坡等自然灾害。主要措施实行全面封禁,禁止人为开垦、盲目割灌和放牧等生产活动;实施生态移民,适度开展生态旅游,合理利用自然资源,减少人为活动和干扰;充分依靠大自然的力量进行生态修复,发挥植被特别是灌草植被的生态功能,实现自然保水保土。

(2) 生态治理区形成水土流失综合治理的第二道防线。范围是人口相对密集的浅山、山麓、坡脚等区域,或小流域的坡中、坡下和坡脚地区,坡度一般在 $5^\circ\sim 25^\circ$ 。特点是浅山丘陵,主要为农业生产区域,开发建设活动频繁,村镇居民及旅游活动集中,农业面源污染和生产生活污水、垃圾污染较集中,土壤侵蚀和人为水土流失严重。主要措施是调整农业种植结构,控制化肥农药施用,发展生态农业,观光农业、休闲农业,减少面源污染;整修梯田、采用农业保护性耕作,砌筑树盘、营造水保林、护坡措施以及沟道措施等控制坡面侵蚀;规范开发建设活动,减少人为水土流失;建设小型水利水保设施(护村坝、小水池、小水窖、小型污水处理及垃圾处理设施等),因地制宜地加强农村污水、垃圾治理,实现清洁流域。

(3) 生态保护区形成水土流失综合治理的第三道防线。范围是流域下游河道、沟道两侧及湖库周边区域,坡度一般小于 $5^\circ$ 。主要措施是修建防护坝,保育植被,恢复湿地,清理河道垃圾、障碍物,恢复景观生态,有效发挥灌木和水生植物的水质净化功能,维护河道及湖库周边生态平衡,控制侵蚀,改善水质,美化环境。

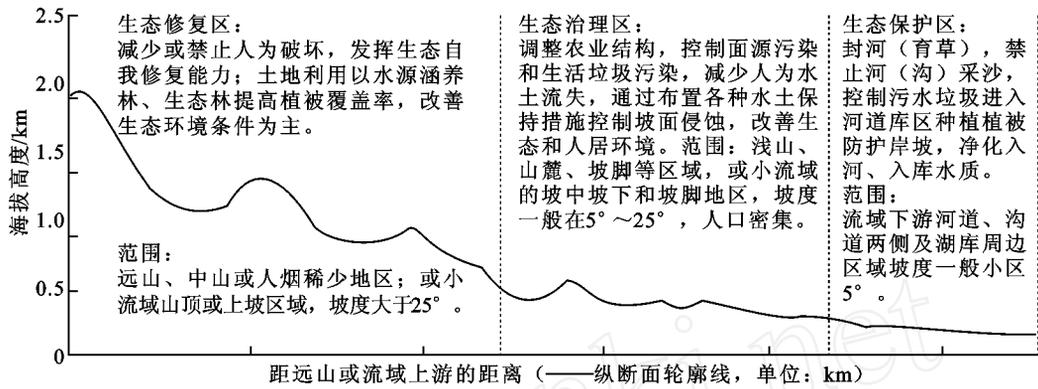


图 1 北京市水土保持“三道防线”结构示意图

北京市东北部、北部和西部群山叠置,是北京市中东部广阔平原的天然生态屏障和重要的水资源涵养区。水资源是农业、工业、生态和城乡居民生活的重要保障,而大规模地开垦坡地造成森林覆盖率下降和生态环境的恶化是水源地破坏的主要影响因素,且裸土环境下土壤侵蚀也将显著增强<sup>[6]</sup>。大量研究表明,环境退化与区域土地利用密切相关,依据生态状况本底质,合理调整土地利用结构可以起到明显改善生态环境的效果。例如,在土地利用方式中,农田是对水土流失敏感的类型,特别是在山区,农耕地的多少直接影响着水土流失的强弱,而林地和草地则对水土流失有明显控制作用<sup>[7]</sup>。

山区生态环境的好坏直接影响着北京市核心区的发展。因此,根据地貌特征,人类活动特点以及距离北京市核心城区的距离,合理配置土地利用结构,划分不同生态功能区,是保证北京市生态环境、社会经济良性发展的基础。表 1 是北京市各区县的地貌特征、位置及常住人口密度表。根据表中统计的基本情况,以及参考北京市不同城区功能规划,对北京市三道防线带内的土地利用结构及主要分布区进行了优化和配置。

图 2 为不同生态功能区土地利用优化配置的格局图<sup>[8]</sup>,从图 2 和表 1 可以看出,生态修复区主要包括北部、东北部和西部山区的密云县、怀柔区、延庆县、门头沟区和房山区 5 个远郊区,以及平谷区和昌平区的部分山区,该区人口密度在 155 ~ 445 人/ km<sup>2</sup> 之间,相对来说地广人稀,土地利用主要应以生态涵养林、水源涵养林为主,条件允许的地区可以适当发展经济林,在河谷的阶地和河漫滩地区可以发展农业生产。同时为了促进北京市山区经济和生态环境建设的和谐发展,在人口、村庄较集中的地区可以发展以生态观光与休闲健身为主的生态旅游。生态治理区主要包括平谷区、昌平区、密云县、怀柔区、门头沟区和房山区的山脚

区以及山前以下的平原区,人口密度在 445 ~ 704 人/ km<sup>2</sup> 之间,在山区与平原交界的区域应以林农混交为主,平原区以发展农业和副食等经济作物为主,并尽快治理村镇生活污水、工业废水保护下游水质。生态保护区主要包括北京城区、建筑用地集中区、山区水库库区周围地带以及顺义区、通州区和大兴区广大平原区,人口密度在 704 ~ 22 309 人/ km<sup>2</sup> 之间,其中,顺义、通州和大兴区的人口密度在 800 人/ km<sup>2</sup> 左右,海淀、朝阳、石景山和丰台区人口密度在 5 284 ~ 6 397 人/ km<sup>2</sup> 之间,而核心城区(东城区、西城区、崇文区和宣武区)的人口密度高达 22 309 人/ km<sup>2</sup> 之间,该区域人口稠密,土地利用除顺义、通州和大兴区的平原区为农业用地外,其它区域应该根据具体情况以建设城市绿化带、提高城区森林植被覆盖度、整治城市河湖为主,并加强城市污水处理,为城区生态景观提供水源,保证城区生态环境的良好演变。

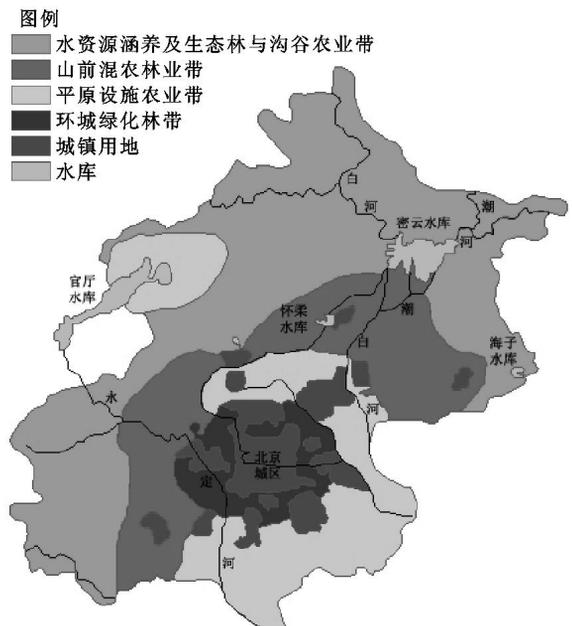


图 2 北京市不同生态区土地利用结构

表 1 北京市各区县地貌及人口密度

区县	面积/ km <sup>2</sup>	地貌类型比例/ %		人口密度/ (人·km <sup>-2</sup> )	地貌或人口特征
		山地	平原盆地		
房山区	2 019.0	66.7	33.3	445	位于西部山区
门头沟区	1 455.0	100.0	0	191	主要是山地地貌为主,位于西部山区
怀柔区	2 128.7	88.7	11.3	155	平原地貌统计中包括河谷地貌,位于北部山区
平谷区	1 075.0	57.1	42.9	445	位于东北部山区与平原交界
密云县	2 226.5	83.3	8.3	202	其中水域所占比例 8.4%,位于北部山区
延庆县	1 992.5	72.0	28.0	143	位于北部山区
昌平区	1 352.0	59.2	40.8	617	介于北部山区与平原分界
通州区	912.3	—	—	988	全境为永定河潮白河洪积平原
顺义区	1 019.9	—	—	704	主要以平原地貌为主
大兴区	1 030.6	0	100.0	882	全境为永定河洪积—冲积平原
朝阳区	470.8	—	—	6 397	以平原和非农业人口为主
丰台区	304.2	32.0	68.0	5 284	以非农业人口为主
石景山区	85.7	33.3	66.7	6 191	主要以非农业人口为主
海淀区	426.0	16.5	83.5	6 238	以非农业人口为主
北京核心城区	92.4	包括:东城区、西城区、崇文区和宣武区		22 309	主要为建筑用地

## 2.2 区域水土流失响应分析

土壤流失强度的空间差异性与区域的土地利用方式、植被覆盖、地形地貌特征以及降雨等因素的空间分布特征密切相关<sup>[9-10]</sup>。其中降雨以及土地利用所引起的区域植被覆盖度的变化是影响水土流失发生强度的主要因素。降雨是引起水土流失的主要动力,而通过合理调整土地利用结构、增加植被覆盖,可以起到改善土壤性状、增加地面抗蚀能力,可以控制降雨、地形等因素对水土流失的影响程度;反之,不合理的土地利用则会加剧土壤侵蚀的发生。不同类型的降雨事件下不同土地利用/覆被类型的水土流失效应差别很大,即使是同样特征的降雨事件,由于发生时间、地点的土地利用方式不同,可能产生不同的径流侵蚀效果<sup>[11-12]</sup>。

图 3 反映了北京市山区各区县水土流失强度空间和时间的变化,结合北京市不同年份的降雨侵蚀力分布状况可以看出,北京市山区各区县之间同一年内水土流失强度分布差异很大,并且各个县区土壤流失的强度的大小与北京市的年降雨侵蚀力的分布基本一致,即降雨侵蚀力大的区域土壤流失强度就大,反之则小(北京市水土保持公报)。总体来看,房山区、门头沟区、昌平区和怀柔区的土壤流失强度较小,密云县、平谷县和延庆县的土壤流失强度较大,而密云县和平谷县 2004 年土壤流失强度明显偏小的主要原因是由该区该年的降雨侵蚀力过小所致。图 3 还反

映出各个区县的土壤流失强度的年际变化强弱程度差异较大,其中昌平区、房山区、门头沟区和怀柔区的土壤流失强度的年际变化较小,密云县、平谷县和延庆县较大。分析原因,除了各区降雨特征空间分布的年际变化程度差异较大外,土地利用以及地形地貌特征的差异是其主要影响因素。密云县山地丘陵占全县面积的 83.3%,坡度 25°以上,占全县面积 29.8%,25°以下占 53.3%,地貌间阶梯显著,相对高差大,土地切割深,土层薄,坡地多,土壤保土蓄水能力差,一些丘陵和山地林草植被稀疏,导致对水土流失强度的调节作用降低;平谷县中低山地坡度一般在 30°以上,少数在 50°~60°,坡陡,高差大,容易形成严重的水土流失,加上一些低山植被度较低,对土壤的流失的控制作用有限;延庆县地形破碎,地貌类型较为复杂,相对高差大,加之历史原因,一些山区植被稀疏,水土流失严重,加上大量坡耕地分布以及降雨空间分布年际之间的差异,使得这 3 个区县某些年份降雨侵蚀力不是最大,但年土壤流失强度最大,且年际变化也最大。而以怀柔区为例,尽管该区几乎均为山区,但由于生态环境好,有北京市后花园之称,山区森林、草地和水域面积所占比例高达 94.5%,植被覆盖高,对水土流失的控制和调节作用强,使得怀柔区在各年的降雨侵蚀力最高的条件下,土壤流失强度的年际之间变化均较小,表明调整土地利用结构,增加植被覆盖,可以有效抑制土壤流失强度。

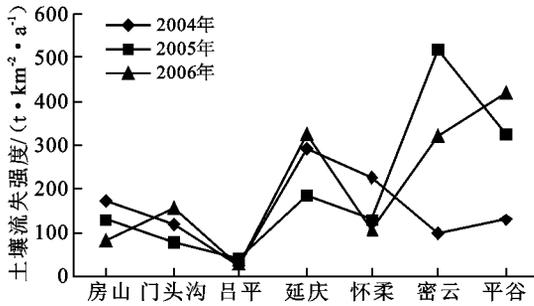


图 3 北京市水土流失强度空间分布年际变化

### 3 结论

(1) 依据北京市各个区县的基本功能、地形地貌特征和人类活动等特点,以水资源保护、生态环境良性循环为中心,从宏观尺度上把北京市从远山深山到平原依次划分为生态修复区,生态治理区和生态保护区 3 个治理一级区。

在水土流失综合治理具体实施中,各个功能区内以小流域为基本治理单元,以 25 坡度作为划分水土流失治理分区的临界坡度,进一步把小流域从山顶到坡脚分为生态修复区,生态治理区和生态保护区,在各个分区内根据地貌地形特征,采用最适宜的水保措施,对径流泥沙层层拦蓄、净化,从而有效的控制水土流失,改善了当地的生态环境。

(2) 降雨、地貌特征、植被覆盖是影响区域水土流失发生强度的主要因素。研究表明,北京市各区县土壤流失强度的空间分布及年际之间的变化规律基本与各区县年降雨侵蚀力的空间分布及年际之间变化情况一致。即房山区、门头沟区、昌平区和怀柔区的年土壤流失强度的年际变化均较小。

密云县、平谷县和延庆县的年土壤流失强度的年际之间变化均较大,这除了降雨空间分布及年际之间的变化差异,地貌特征与植被覆盖度的空间差异也是造成各个区县年土壤流失强度空间分布差异、年际变化程度不同的主要原因。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Fu B J, Zhao W W, Chen L D, et al. Multiscale soil loss evaluation index [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(4): 448-456.
- [2] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 等. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J]. 地理学报, 2008, 63(1): 93-104.
- [3] 杜桂森, 孟繁艳, 李学东, 等. 密云水库水质现状及发展趋势[J]. 环境科学, 1999, 20(2): 110-112.
- [4] 于秀玲. 非点源污染对密云水库水质的影响[C]//中国环境科学研究院环境科学论文集(1980—1990). 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 27-31.
- [5] 杨进怀, 吴敬东, 祁生林, 等. 北京市生态清洁小流域建设技术措施研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 18-21.
- [6] 刘彦随, 甘红, 张富刚. 中国东北地区农业水土资源匹配格局[J]. 地理学报, 2006, 61(8): 847-854.
- [7] 赵护兵, 刘国彬, 曹清玉, 等. 黄土丘陵区不同土地利用方式水土流失及养分保蓄效应研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 20-24.
- [8] 赵焯, 孙雷, 李武艳, 等. 优化土地利用配置建设生态清洁小流域[J]. 中国水土保持, 2007(9): 14-16.
- [9] 卫伟, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 半干旱黄土丘陵沟壑区降水特征值和下垫面因子影响下的水土流失规律[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3847-3853.
- [10] 琚彤军, 刘普灵, 徐学选, 等. 不同次降雨条件对黄土区主要地类水沙动态过程的影响及其机理研究[J]. 泥沙研究, 2007(4): 65-71.
- [11] Chen L D, Messing I, Zhang S R, et al. Land use evaluation and scenario analysis towards sustainable planning on the Loess Plateau in China: Case study in a small catchment[J]. Catena, 2003, 54: 303-316.
- [12] Morin E, David C G, Robert A M, et al. Spatial patterns in thunderstorm rainfall events and their coupling with watershed hydrological response[J]. Advances in Water Resources, 2006, 29(6): 843-860.