

怀柔区水土流失综合治理及环境效应分析

蔡强国¹, 和继军^{1,2}, 王学强³

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所 陆地水循环与地表过程重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 华中农业大学 资源环境学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 水土资源合理利用及生态环境可持续发展研究是当前水土流失综合治理研究的热点问题。以北京市怀柔区水土流失综合治理监测数据为基础, 综合分析了怀柔区小流域水土流失综合治理措施的结构、功能以及水土保持效益。分析结果认为, 降雨是影响水土流失的主要外营力, 怀柔区近几年的降雨特征表明, 该区降雨量、降雨强度以及降雨侵蚀力时空变异性大, 但降雨侵蚀力基本上呈现从中南部向南北部递减的趋势。2005—2006 年监测数据表明, 水土流失重点保护区和重点监督区的土壤侵蚀强度和污染物流失强度较低, 且有逐年下降的趋势。重点治理区虽有逐年下降的趋势, 但是相对于重点保护区和重点监督区仍然偏大, 说明这个区域的水土保持力度应该进一步加强。该区 2006 年的降雨量小于 2005 年的降雨量, 而不同区域的径流强度却大于 2005 年径流强度, 说明水土保持三道防线模式可以有效地控制泥沙, 实现清水出沟的效果。

关键词: 水土流失; 降雨强度; 降雨侵蚀力; 环境效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0161-06

中图分类号: S157.2

Comprehensive Control of Soil and Water Loss and Its Environmental Effects in Huairou District of Beijing City

CAI Qiang-guo¹, HE Ji-jun^{1,2}, WANG Xue-qiang^{1,3}

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources and Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: Rational use of land resources and sustainable development of environment are the two hotspots for the integrated control of soil and water loss. Based on the monitoring data, the structure and functions of the integrated control measures of soil and water conservation and its benefits in Huairou district of Beijing City are analyzed. It is shown that rainfall is the main exogenic force for erosion processes. In Huairou district, rainfall, rainfall intensity, and rainfall erosivity are very different in spatial and temporal variability. Rainfall erosivity is higher in the middle-south part of the district and descends to the north and south. This is consistent with the observation that the Huairou district is in the rainstorm center of Beijing City. The monitoring data from 2005 to 2006 indicate that soil erosion intensity and contaminant loss rate are low in the key protected area and key supervised area. They decrease year by year but the decreasing trend is gentle. The decreasing trend of soil erosion intensity and contamination loss rate is much more evident in the key controlled area than other areas. At the same time, rainfall amount in 2006 is less than that in 2005, and however, runoff volume is higher than that in 2005. All of these show that the three line defense measure for soil and water loss control is effective to control soil erosion and improve environment in the district.

Keywords: soil and water loss; runoff volume; rainfall erosivity; environmental effect

收稿日期: 2007-11-29 修回日期: 2007-12-27

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

作者简介: 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、水土保持、流水地貌、流域侵蚀产沙模拟和 GIS 应用等方面研究。E-mail: caiqg@igsnr.ac.cn。

北京市位于北方土石山区下游,地处山地与平原的过渡地带,东北、北、西 3 面群山环绕,东南部是平缓地向渤海倾斜的平原。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° 以上的陡坡面积占山区面积的 46.65%, 其中大于 35° 的面积占山区面积的 17.43%。高山至丘陵的地形变化急剧, 落差大, 河谷纵坡大。同时受特定气候、降雨影响, 特别是山区森林植被屡遭人为破坏, 土壤蓄水能力降低, 水土流失严重。至 2001 年, 已综合治理水土流失面积 $2\,551\text{ km}^2$, 全市年均土壤侵蚀模数 $1\,600\text{ t/km}^2$, 年侵蚀量 $8.65 \times 10^6\text{ t}^{[1]}$ 。

该区经济发达、人口稠密, 水土资源异常紧张。其中人均水资源占有量为 350 m^3 , 不足世界人均水资源量 1/25 和全国人均水资源量的 1/6^[2-3]。加上北京市生活供水的惟一地表水源密云水库的入库径流量逐年急剧减少, 年均入库水量仅为 $2.51 \times 10^8\text{ m}^3$, 水体属中营养型, 且向富营养化发展的趋势比较明显^[4]。研究表明, 非点源污染已成为影响水库水质的主要污染源, 其中农田径流、水土流失等导致的水体污染最为广泛^[5], 导致北京市供水形势异常严峻。而随着上游区域社会经济的快速发展, 官厅水库的污染物增加, 水质恶化, 1997 年被迫退出首都饮用水供水系统。

因此, 必须加强怀柔区的水土流失治理, 改善水质, 保护北京市的水源地, 促进区域生态、环境和经济协调发展。特别是 2004 年以后, 北京提出了建设“生态清洁小流域”的治理理念, 给小流域综合治理赋予了更新的内容, 把处理生活污水、垃圾以及土地面源污染与保护水生环境及治理水土流失结合起来, 取得了很好的生态效益。本文以怀柔区为例, 旨在综合研究小流域水土保持的整体结构特点、功能效益及环境效应, 为北方土石山区类似区的治理提供示范样板和理论基础。

1 研究区概况

怀柔区位于北京东北部, 是北京市远郊区县之一, 位于东经 $116^\circ 17' - 116^\circ 53'$, 北纬 $40^\circ 14' - 41^\circ 04'$, 南北狭长, 约 128 km ; 东西较窄, 最宽处 46 km , 最窄处仅 10 km 。地处燕山南麓, 华北平原北端, 有平原、丘陵和山地、河谷及沟谷 3 种地貌类型。全区总面积 $2\,128.7\text{ km}^2$, 其中山区面积 $1\,894.3\text{ km}^2$, 占总面积的 88.99%, 平原面积 234.4 km^2 , 占总面积的

11.01%。属华北经燕山山脉向内蒙古高原过渡的阶梯地带。山区相对高程为 $300 \sim 800\text{ m}$, 属中低山区。山峰海拔一般在 $1\,000 \sim 1\,500\text{ m}$, 最高海拔达 $1\,755.8\text{ m}$ (喇叭沟门乡孙栅子村南猴顶)。此区境中部黑坨山、云蒙山峰顶海拔高程 $1\,500\text{ m}$, 形成境内南北的分水岭, 是北京市暴雨中心之一。全区多年平均(1956—2000 年)年降水量为 578.60 mm , 年最大降水量 80% 集中在 7—9 月份。各地降水量受地形影响较大, 有显著差异。多年平均水面蒸发量为 $1\,628\text{ mm}$ 。

在怀柔区不同典型地貌类型区设置 2 个坡地径流场, 场内布设各种土壤侵蚀级别和坡地治理措施的径流小区 25 个, 用以观测各类型的坡地水土流失及污染物流失状况; 另有两个典型小流域出口观测断面, 用于观测小流域的水土流失及污染物流失状况。本论文的数据主要来源于 2001—2006 年的北京市水土保持公报及 2005—2006 年怀柔区水土保持公报。

2 水土流失治理布局及结构分析

坡度是影响土壤侵蚀强弱的重要地形因素。大量研究表明, 在侵蚀随坡度的变化过程中存在着一个临界坡度。许多室内外试验已经证明, 土壤侵蚀的临界坡度介于 $25^\circ \sim 28^\circ$ ^[6]。Renner 在研究爱达荷州 Boise River 流域发现, 侵蚀面积占总侵蚀面积的百分数随坡度的增加而快速增加, 但 $25^\circ \sim 55^\circ$ 之间其变化不大^[7]。唐克丽等通过野外考察、航片和卫片的解译以及人工降雨模拟实验研究得出, 坡耕地上浅沟侵蚀的发生发展是导致侵蚀量剧增的重要因素, 大于 25° 的坡耕地浅沟最为发育, 侵蚀量明显增大, 因此黄土丘陵区退耕上限坡度宜控制在发生浅沟侵蚀的临界坡度以下^[8]。高华端等对长江上游的土壤侵蚀过程地形效应研究表明, 25° 坡度是土壤侵蚀由弱到强的转折点^[9]。周忠发等对贵州省喀斯特地区石漠化研究表明, 坡度决定着石漠化的类型和程度, 坡度缓, 人类活动少, 植被保护好, 石漠化程度低。研究表明, 坡度在 $25^\circ \sim 35^\circ$ 左右时石漠化面积最大^[10]。我国的水土保持法规也明确规定: 禁止在 25° 以上陡坡地开垦种植农作物, 各地区应根据实际情况, 规定小于 25° 的坡地禁止开垦^[11]。综合上述分析, 可知 25° 坡度是进行小流域水土流失综合治理及分区的关键性影响因子。

怀柔区水土流失综合治理以小流域为单元, 重点

强调环境的生态效应,把全区划分为 103 个小流域,进行综合分块治理。在综合治理过程中,根据小流域地形坡度条件,以 25° 以及距离村庄的远近对其进行分区治理,小流域一般分为 3 个治理区域,即大于 25° 位于流域山顶或坡顶部上部,人类活动少的生态修复区;小于 25° 位于坡中、坡下和坡脚及人类活动频繁的生态治理区;位于流域下游沟道及河(湖)道两侧以及周边地带的生态保护区,形成水土流失控制及清洁小流域治理的三道防线,具体结构布局图见图 1。

从图 1 中可以看到三道防线的具体位置和布局,第一道防线主要是禁止人为破坏,依靠生态系统的自然修复,实现山区植被的恢复和覆盖率的提高;第二道防线是基本耕作区,进行坡改梯,修建水平条、水平沟等。同时调整农业种植结构,提高植被覆盖,发展与水资源保护相适应的生态农业,控制农药化肥等面源污染。第三道防线是水资源重点保护区,主要是在库滨带修筑防护坝,种植根系和枝叶发达的灌木对径流进行过滤,防止污水和垃圾进入水源地,维护湖库及河流健康。



图 1 怀柔区三道防线布局示意图

研究表明,与土壤相比,侵蚀泥沙有很高的养分含量,明显表现出对氮磷等养分的富集^[3,5,12]。恢复植被覆盖是水土流失治理工作的基础^[13],大量研究表明,调整土地利用结构,增加植被覆盖可以有效控制径流量和水土流失量^[14-16]。

因此,植被覆盖是影响农田地表径流养分损失的重要因素。在大暴雨条件下,较低的作物覆盖就能明显减低径流与侵蚀强度。侵蚀泥沙量的减少,也就是减少土壤的颗粒态氮源^[17]。通过植被恢复,提高地表植被覆盖度,以及生物措施和工程措施的层层作用,在降雨条件下有效拦截径流,控制土壤流失,有效地控制该区域的面源污染,净化水质,实现水土资源的高效持续利用(图 2)。



图 2 怀柔区三道防线布局示意图

3 水土流失治理及环境效应分析

降雨因素和流域土地利用所引起的地表景观格局的变化往往是影响流域水沙关系的主导因素。降雨是引起水土流失的动力,而雨强对降雨径流产沙形成过程有着重要的影响。

土地利用是影响径流侵蚀的另一个重要的因素,通过合理调整土地利用结构可以改善土壤性状并达到减轻或遏制水土流失的目的;反之,不合理的土地利用则会导致严重的土壤侵蚀。但是,土地利用对径流和侵蚀过程的影响受到很多因素的制约。

研究发现,降雨过程的时空特征与流域水文效应之间存在着复杂的作用关系。不同类型的降雨事件下不同土地利用/覆被类型水土流失效应差别较大。即使是同样特征的降雨事件,由于发生的时间如年份不同,有可能产生不同的径流侵蚀效果^[18-20]。因此,分析区域降雨的时空分布特征,可以为水土保持措施的合理布局以及土地利用结构的调整提供参考依据。

怀柔区年内降雨集中,雨量主要集中在夏季,且空间分布和时间(包括年内和年际)差异明显。表 1 是怀柔区及典型雨量站 2004—2006 年 3 a 降雨统计特征数据,从表 1 中可以看出,怀柔区的年降雨量、汛期降雨量、山区降雨量、雨强在年内和年际之间都差异明显。同时根据怀柔区不同雨量站最大 30 min 雨强所得到的不同年份的降雨侵蚀力等值线也可以看出(图 3),年际之间降雨侵蚀力等值线空间的差异显著。

从图 3 中还可以看出,2004 年和 2005 年的降雨侵蚀力要明显大于 2006 年的降雨侵蚀力,这主要是前两年的降雨量明显大于 2006 年的年降雨量,且汛期降雨量也偏多。同时通过汤河口典型雨量站的观测显示,2004 年和 2005 年的降雨强度大于 2006 年的降雨强度,但是年际之间的等降雨侵蚀力线的分布

规律基本相同,即降雨侵蚀力基本上符合从中南部向南北递减的趋势。北京市多年降雨统计资料表明,怀

柔区的中南部是北京市的暴雨中心,而降雨侵蚀力主要与高强度的降雨有关。

表 1 怀柔区及典型雨量站降雨特征

mm

项目	汤河口 降雨总量	产流降雨 总量	最大 24 h 产流降雨量	最小产流次 降雨量	怀柔区汛期 降雨量	怀柔区山区 降雨量	怀柔区全 区强降雨
2004 年	381.9	180.7	48.0	17.0	420.0	—	612.0
2005 年	294.0	110.5	55.5	11.5	324.0	471.0	511.0
2006 年	348.8	86.5	39.6	6.5	243.0	486.0	469.0

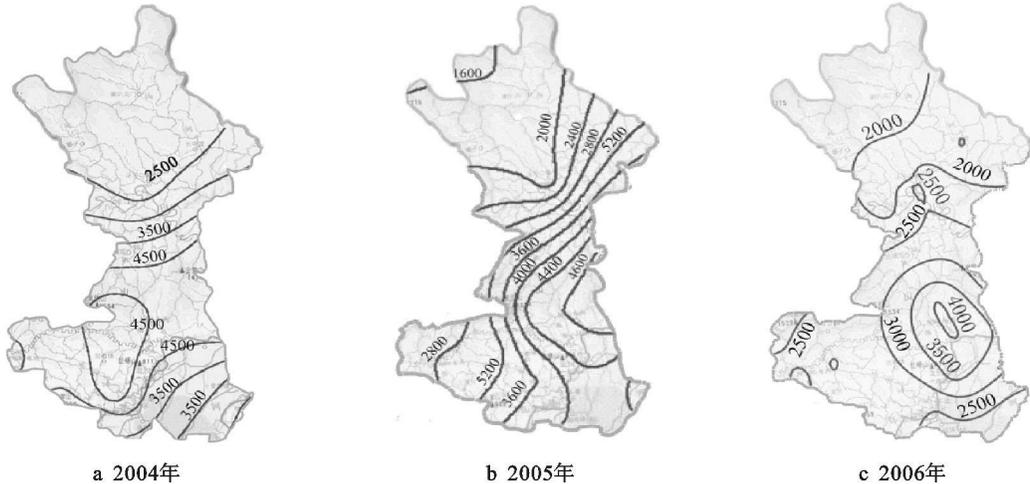


图 3 2004—2005 年怀柔区等降雨侵蚀力分布图

合理的土地利用结构,提高森林植被覆盖度以及水土保持工程措施与生物措施的实施对改善生态环境具有重要的作用。从表 2 可以看出,怀柔区经过对土地利用结构的不断调整,森林植被和水域的面积已占绝对优势,这样有利于控制水土流失和污染物的扩散。根据北京市关于水土流失重点防治区划分和定义,怀柔区可以划分为 3 个区。(1) 水土流失重点预防保护区。主要是指水土流失较轻,林草覆盖度较大的区域,面积 1 604 km²;(2) 重点监督区。指资源开发和基本建设活动较集中,原地貌损坏,易造成水土流失的区域,面积 392 km²;(3) 重点治理区。指原生的水土流失较为严重的区域,面积 561 km²。从分区上可以看出,目前重点保护区和监督区,面积广阔,重点治理区面积相对较少,说明怀柔区的水土保持效果较明显。根据怀柔区 2005—2006 年 2 a 的坡面及流域出口断面的径流泥沙及污染物流失量的监测表明,径流强度和土壤侵蚀强度与污染物流失强度之间具有明显的效应关系,加上该区年际降雨的显著差异,导致年际之间的径流、侵蚀以及污染物强度存在显著的差异,这也是在实施水土流失治理过程中应该加以研究分析的内容。

从图 3 和表 1 可以看出,2005 年的降雨量和降雨侵蚀力都要大于 2006 年,而 2006 年的径流强度却大于 2005 年的径流强度,特别是重点监督区,而土壤侵蚀强度小于 2005 年的土壤侵蚀强度,这说明防治水土流失的“三道防线”是有效的,可以达到抑制泥沙,增加清水出沟的作用。

从图 4 中还可以看到,3 个分区内,单位径流强度下对应的土壤侵蚀强度的大小是重点治理区>重点保护区>重点监督区,这可能说明重点治理区的水土流失治理程度仍需进一步加大,而重点保护区的土壤侵蚀强度较高可能是由于前期所遭受到的植被破坏以及陡坡开荒后所实施生态修复后的植被护土作用还没有完全表现出来或是由于局部降雨不平衡造成的。

从图 4 可以看出,2005 年,2006 年 2 a 内,重点保护区和重点监督区总磷、总氮和 COD_{Mn} 流失强度明显小于重点治理区的各种污染物的流失强度,且两个区内的各种污染物流失强度相差不大,说明这两个区域在实施土地结构调整后,耕地面积比重降低(表 2),化肥农药的用量显著减少,而重点治理区基本上是人类活动比较频繁的地方,同时是基本农田广泛分

布的区域,耕地面积相对集中,因此导致污染物流失量明显大于另两个水土流失治理区,这也说明水土流

失重点治理区仍然需要不断完善水保措施的结构功能。

表2 怀柔区土地利用现状

hm²

项目	总面积	耕地	林地	草地	水域	城乡、工矿居民用地	未利用土地
全区	212 872.4	11 385	172 200	15 239.2	4 466.2	4 213	5 369
平原	23 441.8	5 777	10 734	1 470.0	776.8	2 298	2 386
山区	189 430.6	5 608	161 466	13 769.2	3 689.4	1 915	2 983

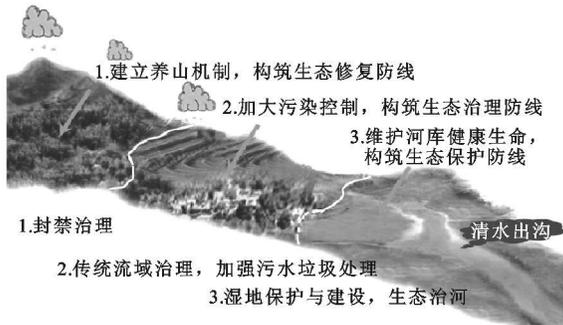


图2 怀柔径流产沙及污染物流失情况

图4b, c, d还可以看出,总体上,2006年不同水土流失治理区污染物流失强度基本上均小于2005年,这种趋势在重点保护区和监督区不明显,但是在重点治理区比较明显,说明了重点治理区的水土流失控制措施的实施是有效的、合理的。但是2006年总磷流失强度却明显大于2005年的总磷流失强度造成这种结果的原因可能是由于2006年和2005年的降雨量及降雨强度空间分布不同。从表1和图3b, c中可以看出,两年的降雨量时空分布差异很大,降雨侵蚀力大小空间分布差异也很大,同时结合图4a可以看到,尽管,2006年降雨量和土壤侵蚀强度小于2005年,但是径流强度明显大于2005年的径流强度,并且3个治理区的径流强度差异也较大,而径流量的增加有可能增加了污染物的溶解量。同时也可能是由于土壤中磷的富集作用空间分布不均匀,再加上2006年与2005年的水保措施局部差异较小造成的。

怀柔区经过近几年的综合治理,土地利用结构更加合理,森林覆盖度明显提高,取得的生态和水保效益明显。据近两年的水土流失监测资料显示,2005年全区各项坡地水土保持措施共蓄水 $1.09 \times 10^6 \text{ m}^3$,减少土壤流失 $8.41 \times 10^4 \text{ t}$,减少流失总磷 1.09 t ,减少流失总氮 5.44 t ,减少 COD_{Mn} 21.37 t 。2006年蓄水量达 $1.63 \times 10^6 \text{ m}^3$,减少土壤流失 $2.96 \times 10^5 \text{ t}$,减少流失总磷 2.34 t ,减少流失总氮 3.81 t ,减少 COD_{Mn} 21.37 t 。

4 结论

(1) 坡度是影响产流产沙的重要地貌因子。怀柔区在进行水土流失综合治理过程中,以基本小流域为单元,根据大量土壤侵蚀理论研究成果,以 25° 坡度作为划分水土流失治理分区的临界坡度,依次把小流域从远山到坡脚分为生态修复区,生态治理区和生态保护区,形成水土保持“三道防线”。并依据不同分区的地貌地质特征,采用最适宜的水保措施,对径流泥沙层层拦蓄、净化,有效地改善了当地的生态环境,为其它类似区域水土保持的发展提供了样板和借鉴。

(2) 降雨和土地利用分别是水土流失的主要外营力和主要影响因素。降雨是客观因素,难以控制,但是通过分析区域降雨特征可以为水土保持措施的正确实施提供依据。通过对怀柔区近几年降雨分析表明,该区降雨量、降雨强度以及降雨侵蚀力时空变异性大,但降雨侵蚀力其基本上符合从中南部向南北递减的趋势,这与怀柔区中南部是北京市的暴雨中心是一致的,这些规律可以用来指导水土保持工作的开展。合理的土地利用方式可以改善土壤结构,提高地表的植被覆盖度,从而起到蓄水减沙的作用。本区经过土地利用结构的不断调整,森林植被面积在原来的基础上有显著提高,这对水土流失综合治理和生态环境的可持续发展具有重要的影响。

(3) 通过对怀柔区坡面小区,流域断面的监测资料显示,水土流失重点保护区和重点监督区的土壤侵蚀强度和污染物流失强度较低,且有逐年下降的趋势。而重点治理区的土壤侵蚀强度和污染物流失强度虽有逐年下降的趋势,但是相对于重点保护区和重点监督区仍然偏大,说明这个区域的水土保持力度应该进一步加强。2006年的降雨量小于2005年降雨量但是不同区域的径流强度却大于2005年径流强度,说明三道防线的实施可以有效地控制泥沙,实现清水出沟的效果。

(4) 由于水土流失的监测数据年限太短,使论文分析的准确性和深度具有很大局限性。因此,关于该区水土流失综合治理问题,将随着水土流失监测数据的逐年积累,而进行更深入的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 李永贵. 北京市山区小流域治理及可持续发展示范研究[J]. 北京水利, 2000(3): 9—10.
- [2] 陈家琦, 王浩, 杨小柳. 水资源学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 25—26.
- [3] 黄忠臣. 北京市水资源状况调查分析[J]. 北京建筑工程学院学报, 2003, 19(4): 38—41.
- [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.
- [5] 于秀玲. 非点源污染对密云水库水质的影响[A] // 中国环境科学研究院环境科学论文集(1980—1990) [C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 27—31.
- [6] 勒长兴. 论坡面侵蚀的临界坡度[J]. 地理学报, 1995, 52(3): 234—239.
- [7] Renner F G. Conditions influencing erosion of the Boise River Watershed[J]. U. S. Dept. Agri. Tech. Bull, 1936: 5—8.
- [8] 唐克丽, 张科利, 雷阿林. 黄土丘陵区退耕上限坡度的研究论证[J]. 科学通报, 1998, 43(2): 200—203.
- [9] 高华端, 李锐. 区域土壤侵蚀过程的地形因子效应[J]. 亚热带水土保持, 2006, 18(2): 6—9.
- [10] 周忠发. 喀斯特地区石漠化与地形坡度的关系分析: 以贵州省清镇市为例[J]. 水土保持通报, 2006, 26(5): 1—3.
- [11] 中华人民共和国水土保持法[M]. 北京: 中国法制出版社, 1991: 4—5.
- [12] Sharply A N. The selective erosion of poant nutrients in runoff. Soil Sci. Soc. Am. J., 1985, 49: 1527—1534.
- [13] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 60—66.
- [14] 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.
- [15] 郭晓敏, 牛德奎, 刘苑秋, 等. 江西省不同类型退化荒山生态系统植被恢复与重建措施[J]. 生态学报, 2002, 22(6): 878—884.
- [16] 韩永刚, 王维明, 杨玉盛. 闽北不同土地利用方式径流量动态变化特征[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 262—266.
- [17] 黄满湘, 章申, 张国梁, 等. 北京地区农田氮素养分随地表径流流失机理[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 147—154.
- [18] Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. The relationship between land use and soil conditions in the hilly area of the Loess Plateau in Northern Shaanxi, China[J]. Catena, 2000, 39: 69—78.
- [19] 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: A case study in a small catchment[J]. Catena, 2003, 54: 303—316.
- [20] 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.