

# 北京市红门川流域径流对防护林结构变化的响应

朱丽<sup>1,2</sup>, 秦富仓<sup>1</sup>, 姚云峰<sup>1</sup>

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 包头师范学院 资源与环境科学系, 内蒙古 包头 014030)

**摘要:** 根据红门川流域原有 1:1 万土地利用图, 结合流域 1990, 1995, 2000 和 2005 年共 4 期遥感影像, 在 GIS 支持下, 得到 4 期土地利用图, 采用 ArcView 景观分析软件, 得到防护林的空间格局变化情况。同时利用红门川流域 1990—2006 年逐日径流量的资料, 研究了防护林空间格局变化与径流量的响应关系。结果表明, 红门川流域防护林总面积和各森林类型面积方面均没有明显变化, 防护林主要以乔木林为主, 占防护林总面积的 80% 以上。在年降水量没有明显变化的基础上, 红门川流域的径流量由 1990 年的  $3.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  减少到 2005 年后的  $1.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  以下, 主要是防护林发挥了削洪减洪的功能。但是从研究结果来看, 还不能准确得到防护林结构变化对径流产生重要影响的结论。

**关键词:** 径流; 防护林结构; 北京市; 华北土石山区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0063-05

中图分类号: S727.2, TV697

## Response of Runoff to Changes of Shelter Forest Structure in Hongmenchuan Basin of Beijing City

ZHU Li<sup>1,2</sup>, QIN Fu-cang<sup>1</sup>, YAO Yun-feng<sup>1</sup>

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolian Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolian 010019, China; 2. Department of Resource and Environment, Baotou Teachers' College, Baotou, Inner Mongolian 014030, China)

**Abstract:** The research work is based on the original landuse map (1:10 000) of Hongmenchuan basin and combined with remote sensing images of the basin in 1990, 1995, 2000, and 2005. Landuse maps of the four periods were made with the support of GIS software and the change in the spatial pattern of shelter was found with the help of ArcView. At the same time, using the data of daily runoff of Hongmenchuan basin from 1990 to 2006, the response relationship between the change in the structure of shelter forest and the local runoff was studied. Results showed that the total area of shelter forest and the areas of various forest types did not change obviously. Shelter forest was dominated by highwood, accounting for more than 80%. With a little change of precipitation, annual runoff had a declined tendency from  $3.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  in 1990 to less than  $1.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  after 2000. The main reason was that shelter forest had played a role in flood reduction. However, the conclusion that the structure change of shelter forest had exerted an important influence on runoff can not be reached at present.

**Keywords:** runoff; structure of protection forest; Beijing City; rocky mountainous area of North China

北京市人均水资源量不足  $300 \text{ m}^3$ , 仅为全国平均水平 15%, 世界的 4%。北京市水源保护区位于密云、怀柔、官厅水库上游区域, 西起延庆海坨山, 东至密云雾灵山, 是北京的重要水源和生态屏障地, 承担着北京市 80% 以上的城市工业和生活用水。为此北京市以密云、怀柔水库为中心, 建立与经营了大规模的水源涵养林<sup>[1-4]</sup>。水源涵养林的建设对于径流量

究竟有怎样的影响或者说什么样的防护林才能够起到水源涵养的作用是目前研究的主要问题。关于这个问题, 有许多学者进行了研究, 其研究层面也各不相同, 大到防护林类型, 小到树种<sup>[5-10]</sup>。本研究以密云县红门川流域为研究对象, 从森林类型和木本植物——乔木林、灌木林、其它林地类型这一层面上探讨防护林结构变化对径流的影响。

收稿日期: 2009-11-02

修回日期: 2010-01-29

资助项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目“华北土石山区中尺度流域防护林体系优化配置”(2006BAD03A0201)

作者简介: 朱丽(1978—), 女(汉族), 内蒙古自治区包头市人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为水土保持与土地资源。E-mail: julia584521@163.com。

通信作者: 秦富仓(1966—), 男(汉族), 内蒙古自治区呼和浩特市人, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为水土保持与土地资源。E-mail: qinfu@126.com。

## 1 研究区概况

研究区位于北京市密云县东南部,地理坐标  $117^{\circ}06'07''$ — $117^{\circ}06'39''$  E,  $40^{\circ}23'23''$ — $40^{\circ}22'15''$  N。流域面积  $128 \text{ km}^2$ 。该区气候类型属于暖温带半湿润季风型气候,年平均温度  $9^{\circ}\text{C}$ ,1月平均气温  $-7^{\circ}\text{C}$  ~  $-9^{\circ}\text{C}$ ,7月平均气温  $24^{\circ}\text{C}$  ~  $25^{\circ}\text{C}$ 。平均最低气温  $-18^{\circ}\text{C}$ ,平均最高气温  $38^{\circ}\text{C}$ ,无霜期 175 d,平均年降水量  $650\sim 700 \text{ mm}$ ,主要集中在 6—8 月份,雨热同期。该流域西北高、东南低,地貌类型以山地和丘陵为主,中、低山占 75% 左右。西北部以海拔  $1000\sim 2290 \text{ m}$  的中山为主,东南部多分布低山和丘陵。土壤主要为褐土和潮土。该区山体主要是白云岩、钙质淋溶褐土。

地带性植被为暖温带落叶阔叶林区,现状植被以针叶林、阔叶林和混交林为主。主要人工植被为油松 (*Pinus tabulaeformis*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 和落叶松 (*Larix gmelini*) 等针叶林,天然次生林主要是以山杨 (*Populus davidiana*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 和椴树 (*Tilia amurensis*) 为主的阔叶林和针阔混交林。

## 2 研究方法

### 2.1 防护林结构变化分析

根据红门川流域原有 1:1 万土地利用图,结合流域 1990,1995,2000 和 2005 年 4 期遥感影像,在

GIS 支持下,得到 4 期土地利用图。采用 ArcView 景观分析软件,得到防护林的空间格局变化情况,进行防护林结构变化的分析。

### 2.2 降水量

采用北京市密云县红门川流域沙厂水库上游定位观测站自 1990—2006 年的逐日降水数据。该数据来自红门川流域定位观测站自记雨量计,记录每次降水过程,并设立 1 个口径为  $20 \text{ cm}$  的标准雨量筒收集和测定每次降水以作核对。每次降雨后  $10\sim 30 \text{ min}$  观测并记录。

### 2.3 径流量

径流量分析是采用北京市密云县红门川流域沙厂水库上游定位观测站数据。

径流观测站为天然断面,因沟道两岸地形较陡,形成梯形断面。径流测定在小水时用接流筒按体积法施测,洪水时用率定水位流量关系曲线和浮标法测速计算流量两种方法同步进行,得到径流数据。该观测站上游无人工水利工程,所以可以认为实测径流数据即为天然径流数据。

## 3 结果与讨论

### 3.1 红门川流域防护林结构变化研究

3.1.1 红门川流域防护林结构变化分析 红门川流域防护林森林类型多样,有针叶林、阔叶林、混交林、灌木林和其它林地。1990,1995,2000 和 2005 年,各林种所占面积不同(表 1)。

表 1 红门川流域防护林结构变化

年份	项目	针叶林	阔叶林	混交林	灌木林	其它林地	合计
1990 年	面积/ $\text{hm}^2$	3 012.27	2 123.19	2 756.46	859.49	1 048.35	9 799.76
	比例/ %	30.74	21.67	28.13	8.77	10.70	100.00
1995 年	面积/ $\text{hm}^2$	3 315.81	2 072.71	2 658.71	935.45	964.36	9 947.04
	比例/ %	33.33	20.84	26.73	9.40	9.69	100.00
2000 年	面积/ $\text{hm}^2$	3 142.31	2 110.99	2 738.34	871.16	908.81	9 771.61
	比例/ %	32.16	21.60	28.02	8.92	9.30	100.00
2005 年	面积/ $\text{hm}^2$	3 909.08	2 559.34	1 828.06	1 007.47	485.49	9 789.44
	比例/ %	39.93	26.14	18.67	10.29	4.96	100.00
1990—1995 年	面积变化/ $\text{hm}^2$	303.54	-50.48	-97.75	75.96	-83.99	147.28
	变化率/ %	10.08	-2.38	-3.55	8.84	-8.01	1.50
1996—2000 年	面积变化/ $\text{hm}^2$	-173.50	38.28	79.63	-64.29	-55.55	-175.43
	变化率/ %	-5.23	1.85	3.00	-6.87	-5.76	-1.76
2001—2005 年	面积变化/ $\text{hm}^2$	766.77	448.35	-910.28	136.31	-423.32	17.83
	变化率/ %	24.40	21.24	-33.24	15.65	-46.58	0.18

由表 1 可知,红门川流域 1990,1995,2000 和 2005 年的防护林总面积变化不大。1990 年不同类型防护林面积排列次序为:针叶林>混交林>阔叶林>

其它林地>灌木林。其中针叶林的面积为  $3\,012.27 \text{ hm}^2$ ,占防护林总面积的 30.74%。而灌木林的面积最小,为  $859.49 \text{ hm}^2$ ,占防护林总面积的 8.77%。

1995年不同类型防护林面积排列次序为:针叶林>混交林>阔叶林>其它林地>灌木林,与1990年完全相同。针叶林的面积有所增多,为3 315.81 hm<sup>2</sup>,占防护林总面积的33.33%。阔叶林的面积为2 072.71 hm<sup>2</sup>,混交林的面积为2 658.71 hm<sup>2</sup>,均比1990年略有减少。2000年不同类型防护林面积排列次序为:针叶林>混交林>阔叶林>其它林地>灌木林,与1990年和1995年完全相同。针叶林依然是防护林的主要类型,面积为3 142.31 hm<sup>2</sup>,占防护林总面积的32.16%。灌木林最少,为871.16 hm<sup>2</sup>,占防护林总面积的8.92%。2005年不同类型防护林面积排列次序为:针叶林>阔叶林>混交林>灌木林>其它林地,与前几年有所变化,主要是阔叶林面积有所增加,为2 559.34 hm<sup>2</sup>,占防护林总面积的26.14%;混交林的面积有所减少,为1 828.06 hm<sup>2</sup>,占防护林

总面积的18.67%;灌木林的面积有所增加,为1 007.47 hm<sup>2</sup>,占防护林总面积的10.29%;其它林地的面积急剧减少,为485.49 hm<sup>2</sup>,占防护林总面积的4.96%。

在防护林的5个林种中,针叶林、混交林和阔叶林在数量上所占比重很大,不同年份都在80%以上,而且总体上针叶林和阔叶林呈增加趋势,混交林有所减少。而灌木林的比例有所波动,不同年份的面积和比例均不同,但是变化量并不明显。其它林地无论从面积还是比例上来讲,均呈现减少的趋势,尤其在2001—2005年期间,变化较为剧烈。

3.1.2 红门川流域防护林结构变化过程 利用转移矩阵模型分析红门川流域防护林内部结构变化,得到红门川流域1990—2005年防护林结构变化转移矩阵(表2—4)。

表2 红门川流域1990—2005年防护林结构变化转移矩阵

林种	针叶林	阔叶林	混交林	灌木林地	其它林地	合计
针叶林	0.00	1.41	56.88	17.03	150.12	225.44
阔叶林	2.67	0.00	38.76	3.83	15.92	61.18
混交林	40.32	14.67	0.00	0.63	0.00	55.62
灌木林地	14.58	8.65	34.22	0.00	11.32	68.77
其它林地	3.01	0.00	66.20	0.00	0.00	69.21

表3 红门川流域1996—2000年防护林结构变化转移矩阵

林种	针叶林	阔叶林	混交林	灌木林地	其它林地	合计
针叶林	0.00	0.00	24.87	12.65	2.65	40.17
阔叶林	0.00	0.00	3.60	6.28	0.00	9.88
混交林	39.15	27.22	0.00	34.22	0.00	100.59
灌木林地	16.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.07
其它林地	1.01	15.92	0.00	11.32	0.00	28.25

表4 红门川流域2001—2005年防护林结构变化转移矩阵

林种	针叶林	阔叶林	混交林	灌木林地	其它林地	合计
针叶林	0.00	111.08	512.92	95.46	246.06	965.52
阔叶林	82.57	0.00	439.82	14.93	33.61	570.93
混交林	154.62	68.80	0.00	25.25	6.50	255.17
灌木林地	140.79	39.45	86.46	0.00	35.65	302.35
其它林地	38.11	13.49	49.46	0.00	0.00	101.06

由表2—4可以看出,1990—1995年防护林内部针叶林面积变化最大,变化面积为225.44 hm<sup>2</sup>。混交林面积变化最小,为55.62 hm<sup>2</sup>。针叶林主要是由其它林地转化而来;阔叶林主要是由混交林和其它林地转化而来;混交林基本都是由针叶林和阔叶林转化而来;灌木林主要是针叶林、混交林和其它林地转化而来;其它林地主要是混交林转化而来。

1996—2000年混交林面积变化最大,变化面积为100.59 hm<sup>2</sup>。阔叶林面积变化最小,为9.88 hm<sup>2</sup>。

针叶林主要是由混交林和灌木林转化而来;阔叶林是由混交林和灌木林转化而来;混交林由针叶林、阔叶林和灌木林转化而来;灌木林是由针叶林转化而来;其它林地主要是阔叶林和灌木林转化而来。

2001—2005年,针叶林面积的变化最大,变化面积为965.52 hm<sup>2</sup>。针叶林和阔叶林主要是由混交林转化而来;混交林主要是由针叶林转化而来;灌木林主要是由针叶林转化而来;其它林地主要是由针叶林和混交林转化而来。

通过以上分析,发现在针叶林、阔叶林、混交林和灌木林之间均有相互的转化。1990—1995 年和 1996—2000 年间转化相对较小,2001—2005 年间转化剧烈。

### 3.2 红门川流域径流量变化

由图 1 可以看出,红门川流域年降水量在 1990—2006 年之间波动较大,但无明显变化趋势。1994 年最多,为 751.30 mm;1999 年最少,为 160.5 mm,属于极端干旱年。1990—1998 年间降水相对较多,波动也比较大;1999—2006 年间降水相对较少,波动不大。径流量 1990—1998 年,呈现波动趋势,基本保持在  $3.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  左右;1998 年以后,呈现明显的减少趋势,2003 年降到最低点,径流量小于  $1.00 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。红门川流域多年平均降水量为 472.79 mm,平均径流量为  $1.61 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。由图 2 可以看出,红门川流域多年平均各月降水量呈明显正态分布,起伏较大。7 月降水量最多,为 165.91 mm,占全年降水总量的 35.09%;12 月降水量最少,为 0.94 mm,占全年降水总量的 0.20%,二者相差非常大。研究区降水非常集中,汛期(6—9 月)的降水总量为 421.38 mm,高达全年降水总量的 88.51%。红门川流域多年平均各月径流量变化也很大,起伏明显,10 月至翌年的 5 月,整个流域处于断流状态;径流全部集中在 6—9 月,最大值在 8 月,径流量为  $7.75 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,占全年径流总量的 48.16%;最小值在 6 月,径流量为  $6.38 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,占全年径流总量的 3.96%,二者差距很大。

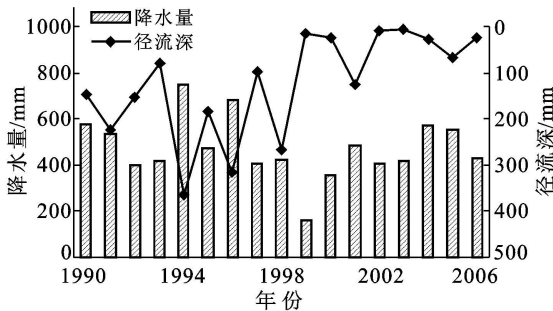


图 1 红门川流域降水量与径流量年际变化

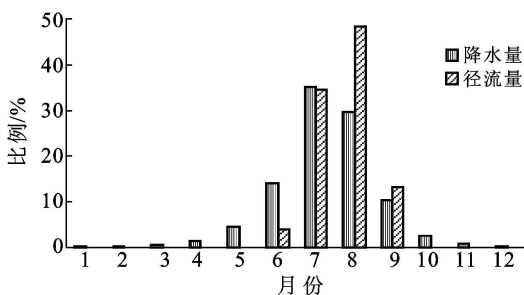


图 2 红门川流域多年平均降水量与径流量年内变化

### 3.3 红门川流域径流量对防护林结构变化的响应

红门川流域径流量年变化较大,尤其在 2000 年后流域径流量明显减少,其原因是多方面的。在研究红门川流域 1990—2006 年降水量,除 1999 年属于极端干旱年外,其它年份降水量均未发现有明显变化,在此基础上从林分的层次上考虑防护林建设对流域径流量的影响。

3.3.1 径流量与乔木林和灌木林结构变化的响应分析 根据树高、冠幅、胸径、有无主干等,将木本植物划分为乔木和灌木等。针叶林、阔叶林和混交林一般属于乔木林。研究北京市密云县单位面积森林涵养水源量,阔叶林最高,为  $1863.98 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,其次为混交林和针叶林,分别为  $1322.11$  和  $1094.1 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,灌木林单位面积涵养水源功能最低,为  $902.22 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ <sup>[11]</sup>,就水土保持和水源涵养的功能方面来讲,乔木林的功能远远大于灌木林的功能。据此,分析乔木林、灌木林和其它林地结构变化对红门川流域径流量的影响。

1990—2005 年防护林中的乔木林面积波动增加,从 1990 年的  $7891.92 \text{ hm}^2$  增加到 2005 年的  $8296.48 \text{ hm}^2$ ,增加了  $404.56 \text{ hm}^2$ ,增幅为 5.13%。而灌木林面积呈缓慢波动增加,从 1990 年的  $859.49 \text{ hm}^2$  增加到 2005 年的  $1007.47 \text{ hm}^2$ ,增加了  $147.98 \text{ hm}^2$ ,增幅为 17.22%。其它林地面积逐年减少,从 1990 年的  $1048.35 \text{ hm}^2$  减少到 2005 年的  $485.49 \text{ hm}^2$ ,减少了  $562.86 \text{ hm}^2$ ,减幅为 53.69% (图 3)。

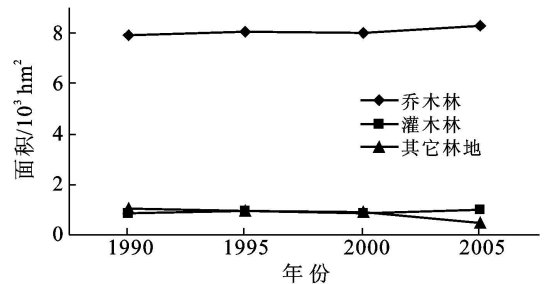


图 3 不同年份防护林结构变化

乔木林始终是防护林的主体,并且随着乔木林面积的增加以及生长量的提高,防护林水源涵养和水土保持功能的增强,必然会减少水土的流失,使得流域径流量减少并达到稳定状态。

3.3.2 径流量与针叶林、阔叶林和混交林结构变化的响应分析 1990—1995 年期间,红门川流域防护林乔木林地逐渐增多,其中针叶林增加的速度最快,为 10.08%,而阔叶林和混交林面积都有所减少。在此期间,红门川流域年径流基本稳定在  $3.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  左右。

1996—2000 年,防护林乔木林中的阔叶林和混交林分别增加了  $38.28$  和  $79.63 \text{ hm}^2$ ,而针叶林则减

少了  $173.50 \text{ hm}^2$ 。在此期间,红门川流域年径流量逐年递减,从  $3.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  减少到  $1.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  以下,减少了约 66.7%。2001—2005 年,防护林乔木林中的针叶林和阔叶林均有较大的增幅,分别为 24.40% 和 21.24%,而混交林减少了  $910.28 \text{ hm}^2$ 。在此期间,红门川流域年径流量只有 2001 年为  $1.62 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,其余均在  $1.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  以下。

1990—2005 年,其它林地面积逐渐减少,灌木林地略有增加,而针叶林、阔叶林面积均有不同程度的增加,混交林也有减少,但是防护林中乔木林的面积从 80.54% 增加到 84.74%,呈持续增加趋势。

## 4 结论

在年降水量没有明显变化的基础上,红门川流域的径流量由 1990 年的  $3.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  减少到 2005 年的  $1.00 \times 10^7 \text{ m}^3$  以下,主要是防护林发挥了削洪减洪的功能。但是从研究结果来看,不能准确得到类似于怀柔水库防护林中乔木林逐年增长,灌木林逐年减少,导致径流量逐年减少的结论<sup>[12]</sup>。也就是说,不同的森林类型和树种是否对径流起到的不同的影响,还需要进一步深入研究。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 孙鹏森,马履一,王田华.北京市水源保护林体系的基本格局与发展思路[J].环境保护,2003(1):29-33.

- [2] 孙鹏森,马履一,蔡永茂.京北山区水源保护林的现状与发展策略[J].北京林业大学学报,1999,21(6):58-64.
- [3] 高成德,余新晓.水源涵养林研究综述[J].北京林业大学学报,2000,22(5):78-82.
- [4] 王礼先,高甲荣,谢宝元,等.密云水库集水区生态经济分区研究[J].水土保持通报,1999,19(2):1-6.
- [5] 朱金兆,魏天兴,张学培.基于水分平衡的黄土区小流域防护林体系高效空间配置[J].北京林业大学学报,2002,24(5/6):5-13.
- [6] 宋西德,罗伟祥,侯琳.AHP法在防护林体系优化结构研究中的应用[J].西北林学院学报,1997,12(4):41-47.
- [7] 宋西德,罗伟祥,侯琳.黄土高原渭北生态经济型防护林体系永寿示范区建设技术及其生态经济效益[J].防护林科技,1997,32(3):20-23.
- [8] 刘启慎,赵北林,谭浩亮.太行山石灰岩低山区水土保持防护林高效空间配置研究[J].河南林业科技,2000,20(1):1-6.
- [9] 查同刚,孙向阳,于卫平,等.宁夏段黄河护岸林体系结构的研究[J].北京林业大学学报,2004,26(3):93-96.
- [10] 刘刚,姚崇怀,贾秀红,等.三峡库区堤岸防护林结构评价及改造措施[J].东北林业大学学报,2006,34(5):29-31.
- [11] 张彪,李文华,谢高地,等.北京市森林生态系统的水源涵养功能[J].生态学报,2008,28(11):5609-5624.
- [12] 朱丽,秦富仓,姚云峰,等.北京市怀柔水库集水区径流与防护林结构变化响应研究[J].水土保持研究,2009,16(3):143-147.

(上接第62页)

研究表明,在相同条件下,黄土坡面和紫色土坡面的侵蚀特征差异显著,黄土坡面侵蚀量大于紫色土侵蚀量。黄土坡面属于超渗产流,坡面形成较深的侵蚀沟;紫色土属于蓄满产流,降雨时坡面水分大量入渗,地表径流量较黄土小,有壤中流产生。通过对我国西北和西南地区典型侵蚀性土壤侵蚀特征对比分析表明,在制定水土保持规划时,应根据不同土壤的结构和侵蚀特点,因地制宜,采取相应的水土保持措施。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 周佩华.黄土侵蚀机理探讨[J].水土保持研究,1997,4(5):40-46.

[2] 胡世雄,靳长兴.坡面流与坡面侵蚀动力过程研究的最

新进展[J].地理研究,1998,17(3):326-335.

- [3] 王志刚,郑粉莉,李靖.不同近地表水文条件下紫色土坡面土壤侵蚀过程研究[J].水土保持通报,2007,27(6):9-11.
- [4] 郑子成,何淑勤,吴发启.侵蚀过程中地表糙度变化特征的研究[J].水土保持学报,2003,17(5):165-168.
- [5] 张平仓,杨勤科,夏艳华.长江中上游地区土壤侵蚀机制及过程试验研究[J].长江流域资源与环境,2002,11(4):376-382.
- [6] 吴普特,周佩华.雨滴击溅对薄层水流水力摩阻系数的影响[J].水土保持学报,1994,8(2):39-42.
- [7] 吴普特,周佩华.黄土坡面薄层水流侵蚀试验研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(1):40-45.
- [8] 辛伟,朱波,唐家良,等.紫色土丘陵区典型坡地产流及产沙模拟试验研究[J].水土保持通报,2008,28(2):31-35.