

北京市红门川流域森林植被/土地覆被变化的水文响应

朱丽^{1,2}, 秦富仓^{1,*}, 姚云峰¹, 余新晓³

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

3. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100086)

摘要: 根据北京市红门川流域原有 1:1 万土地利用图, 结合流域 1990 年、1995 年、2000 年和 2005 年 4 期遥感影像, 在 GIS 支持下, 得到 4 期土地利用图, 采用 Arc View 分析获得空间数据和属性数据。并利用研究区逐日降水量和径流量数据, 从年径流量、汛期(6—9 月份)径流量和单次径流量 3 个层次, 分析不同土地利用时期的水文响应。结果表明: 不同土地利用变化对流域径流具有显著影响。2001—2005 年植被条件较好的土地利用较 1990—1995 年和 1996—2000 年产流有所减少, 多年平均径流系数下降了 70% 以上。不同土地利用在相同降水条件下的产流仅在生长季节具有明显差异, 也就是说土地利用变化对产流的影响具有季节性, 在枯水季节无显著影响。2001—2006 年的单次产流均小于 1990—1995 和 1996—2000 年的单次产流, 仅为前期的 1/3, 降水利用率提高, 发生洪涝灾害的可能性减小。

关键词: 水文响应; 森林植被/土地覆被; 华北土石山区

Response of forest vegetation/land use change to hydrological Dynamics in Hongmenchuan Watershed of Beijing

ZHU Li^{1,2}, QIN Fucang^{1,*}, YAO Yunfeng¹, YU Xinxiao³

1 College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolian Agricultural University, Hohhot 010019, China

2 Department of Resource and Environment, Baotou Normal College, Baotou 014030, China

3 School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Based on the land-use map (1:10000) and the remote sensing images (1990, 1995, 2000 and 2005) of Hongmenchuan watershed of Beijing, the spatial and attribute data of these 4 periods were obtained using ArcView software. Hydrological response to different land use periods on annual runoff, flood season and the single runoff was analyzed with daily precipitation and runoff data in the study area). The results showed that: land use change of Hongmenchuan watershed of Beijing had significant effect on the annual runoff. During 2001—2005 the runoff yield decreased by more than about 70% than that during 1990—1995 and 1996—2000 with the revegetation. Under the same precipitation condition, the runoff yields in different land use types are difference obviously in growth reason, and it is just the apposite in drought period. The single runoff yield during 2001—2006 was only 1/3 of that during 1990—1995 and 1996—2000, which indicated that rainfall use efficiency improved and the possibility of flood decreased.

Key Words: hydrological response; land use/land cover; rocky Mountain area of North China

土地利用与土地覆被变化(LUCC)研究作为全球变化研究的一个重要内容^[1]。经过多年的发展, 已经在世界各国得到了广泛的开展和实施, 研究内容扩展到不同空间尺度的土地利用和土地覆被变化过程、驱动力

基金项目: 国家“十一五”科技计划课题(2006BAD03A0201)

收稿日期: 2000-07-12; **修订日期:** 2009-12-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qinf@126.com

制以及资源、生态和环境效应影响的研究等诸多方面^[2]。20 世纪以来,由人类活动引起的 LUCC 导致全球洪涝灾害的频率远远高于以往任何时期^[2],因此水文效应作为 LUCC 的重要环境效应之一,成为 LUCC 研究的焦点和重点^[3-9]。可能影响地面及近地表水文过程的土地利用变化及与之相关的水文循环要素中,影响水文过程的最显著的土地利用变化是植被变化、农业开发的增强、湿地的排水、道路建设、城镇化城镇下水道及排污系统等^[2]。

LUCC 对水文的影响包括水分循环、水量和水质的变化^[3-7]。由于不同的土地利用与土地覆被类型对降水的截留、阻挡、蒸腾及下渗作用不同,因而 LUCC 不但导致地表或地下水量的变化,而且会改变区域水循环的方式。不同的土地利用类型会产生不同的水分循环特征,例如城市用地的扩展会减少水分存留和下渗,加大了径流量,甚至增加洪灾的频率;森林土地利用对水分循环的影响已有大量研究,森林对截留、阻挡、下渗和土壤侵蚀的影响已有较一致的认识,但在对降水、径流及洪峰等要素的影响方面有较大分歧^[3-10]。总体来看,森林与径流的关系主要有:①森林的存在会使径流量增加;②森林的存在与径流量之间没有明显关系;③森林的存在会减少年径流量^[2,3-6]。

目前关于森林植被/土地利用水文响应的研究微观上主要从林冠、枯落物等方面或者从不同树种和林分方面研究其水源涵养功能^[11-17],宏观上主要是利用水文模型假设的场景进行水文模拟^[18-19],从而研究森林植被/土地利用的水文响应。介于宏观和微观的中间状态的研究较少^[20-21]。

本文以北京市密云县红门川流域为研究对象,从不同森林类型的层面入手,对比不同森林植被/土地利用情况下的水文响应,以期水源涵养林的建设提供依据。

1 研究区概况

红门川流域位于北京市密云县东南部,地理坐标 N40°23′23″—40°22′15″,E117°06′07″—117°06′39″。流域面积 128 km²。

研究区位于潮河流域支流——红门川河上游,气候类型属于暖温带半湿润季风型气候,年平均温度 9℃,1 月份平均气温 -7—-9℃,7 月份平均气温 24—25℃。平均最低气温 -18℃,平均最高气温 38℃,无霜期 175 d,平均年降水量 650—700 mm,主要集中在 6—8 月份,雨热同期。

该流域西北高,东南低,地貌类型为山地和丘陵,中、低山占 75% 左右。西北部以海拔 1 000—2 290 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*)林、侧柏(*Platycladus orientali*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)和落叶松(*Larix gmelini*)等针叶林,以山杨(*Populus davidiana*)、蒙古栎(*Quercus mongoli*)和椴树(*Tilia amurensi*)为主的阔叶林和混交林。

红门川流域内有水利工程——沙厂水库。沙厂水库位于密云县红门川河下游沙厂村东,距密云县城 20 km。1973 年 5 月竣工,共完成土石方 160.5 万 m³。总库容 2120 万 m³,正常水面面积 42.6 万 m²。

本流域共 25 个行政自然村,有 890 户,2806 人,劳动力 1023 人,40% 的劳动力外出打工,从事与农业无关的事业,剩余劳动力以种植业和畜牧业为主。

2 研究方法

2.1 土地利用格局变化研究

收集红门川流域 2005 年土地利用现状图和 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年 4 期 TM 卫星影像资料,分析了该流域不同时段土地利用结构与森林植被覆被情况。以 ERDAS IMAGINE 软件包进行影像处理,运用高斯最大似然法进行影像分类。对这些遥感资料使用 ARC View 软件进行图像解析和数据处理,并进行实地对比、核查、修正,获得各年的土地利用状况。再利用 GIS 软件进行更精确的分类和各类型的面积计算,得到不同土地利用类型的面积情况。

根据红门川流域原有 1:1 万土地利用图,结合流域四期遥感影像,在 GIS 支持下,得到四期土地利用图。建立研究区空间数据库和属性数据库。采用 Arc View 软件对比不同年份的空间数据和属性数据,得到其土

地利用变化。

2.2 降水量

采用北京市密云县红门川流域沙厂水库上游的定位观测站自 1996—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 cm 的标准雨量筒收集和测定每次降水以作校正。每次降雨后 10—30 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现有下垫面条件下的天然径流数据,也就是说影响该径流量多少的只有降水量和下垫面不同的植被条件。

3 结果与分析

3.1 红门川流域土地利用格局变化

利用 GIS 建立的红门川流域土地利用空间数据库和属性数据库,得到其不同时期的土地利用格局,见表 1 和图 1。

表 1 各土地利用类型占流域土地面积及其比例
Table 1 The areas and the proportions of different land use types have taken

年份 Year	地类 Land types	针叶林 Coniferous forest	阔叶林 Broad leaved forest	混交林 Mingled forest	灌木林 Shrubby	其他林地 Other forest land	农地 Farmland	水域 Waters	其他用地 Other uses	合计 Total
1990 年	面积/hm ²	3012.27	2123.19	2756.46	859.49	1048.35	1369.71	242.30	1388.23	12800.00
	比例/%	23.53	16.59	21.53	6.71	8.19	10.70	1.89	10.85	100.00
1995 年	面积/hm ²	3315.81	2072.71	2658.71	935.45	964.36	1350.52	243.50	1258.94	12800.00
	比例/%	25.90	16.19	20.77	7.31	7.53	10.55	1.90	9.84	100.00
2000 年	面积/hm ²	3142.31	2110.99	2738.34	871.16	908.81	1472.89	264.88	1290.62	12800.00
	比例/%	24.55	16.49	21.39	6.81	7.10	11.51	2.07	10.08	100.00
2005 年	面积/hm ²	3909.08	2559.34	1828.06	1007.47	485.49	1480.04	270.09	1260.43	12800.00
	比例/%	30.54	19.99	14.28	7.87	3.79	11.56	2.11	9.85	100.00
1990—1995	变化量/hm ²	303.54	-50.48	-97.75	75.96	-83.99	-19.19	1.20	-129.29	
	变化率/%	10.08	-2.38	-3.55	8.84	-8.01	-1.40	0.50	-9.31	
1996—2000	变化量/hm ²	-173.50	38.28	79.63	-64.29	-55.55	122.37	21.38	31.68	
	变化率/%	-5.23	1.85	3.00	-6.87	-5.76	9.06	8.78	2.52	
2001—2005	变化量/hm ²	766.77	448.35	-910.28	136.31	-423.32	7.15	5.21	-30.19	
	变化率/%	24.40	21.24	-33.24	15.65	-46.58	0.49	1.97	-2.34	

由表 1 和图 1 可以发现,研究区土地利用类型有:林地、农地、水域和其他用地,其中林地包括针叶林、阔叶林、混交林、灌木林、其他林地,其他用地主要为道路、居民点等建设用地。1990—1995 年间,林地面积增长了 147.28 hm²,增幅为 1.5%;而农地和其他用地均有减少,尤其是其他用地,减少了 129.29 hm²,减幅为 9.31%。水域面积变化不大,增加了 1.2 hm²。1996—2000 年期间,林地减少了 175.43 hm²,而农地则增加了 122.37 hm²,两者变化比较大。同时水域和其他用地也分别增加了 21.38 hm²和 31.68 hm²,这可能与遥感影像拍摄的季节有关系。2001—2005 年期间,各种土地利用类型数量变化都较小,除其他用地有所减少外,均有不同程度增加。

1990—2000 年期间,各种土地利用类型变化较大,而 2001—2005 年期间,变化相对较小。林地在红门川流域占绝对优势,各阶段虽有变化,但其面积均在 75% 以上,是研究区土地利用的主体。林地内部,又以针叶

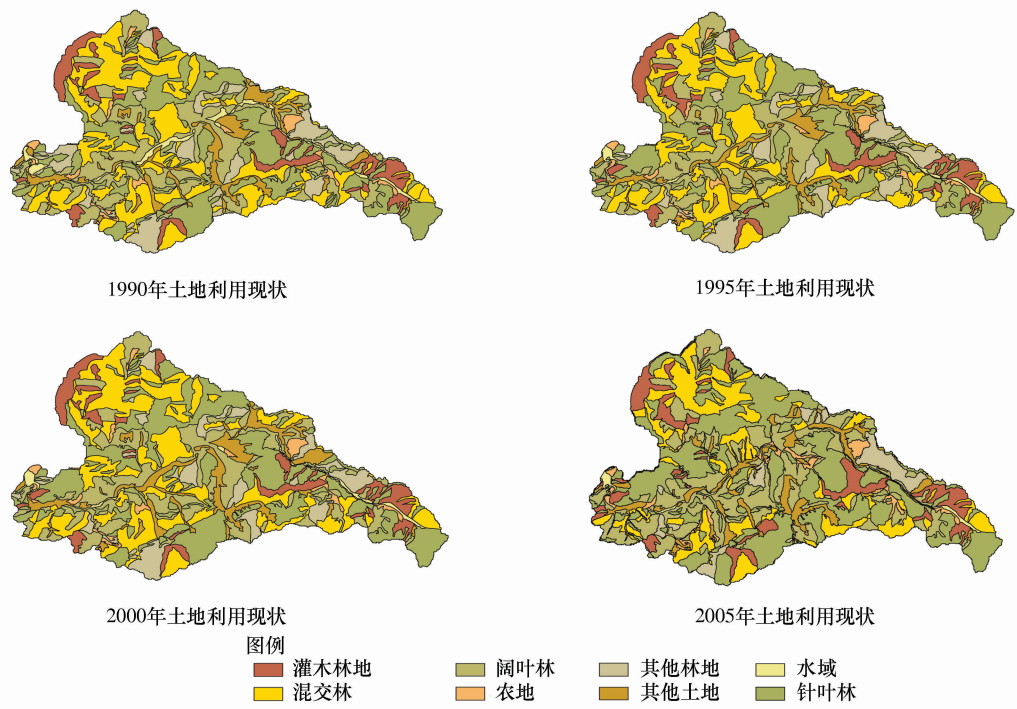


图1 不同时期红门川流域土地利用状况图

Fig.1 Land use status of Hongmenchuan Basin of different

林、阔叶林和混交林为主,占到林地总面积的80%左右,即研究区林地以乔木林为主。

3.2 径流量年际变化分析

图2为研究区多年降水量与径流量的年际变化。从图中可以看出,径流量波动较大,推断主要与降水年份不同有关。但是,1990—2006年,径流量总体呈现下降趋势。1990—1998年之间,径流量的波动较小,没有明显趋势;1999—2006年,径流量明显呈减少趋势。

径流系数在一定程度上是反映流域产流能力的一项重要指标,因此采用径流系数初步分析不同土地利用和不同降水年际的流域产流情况^[8-9]。图3是研究区多年径流系数变化。由图可以看出,研究区径流系数总体上呈现下降趋势。1990—1995年年平均径流系数为0.39,1996—2000年年平均径流系数为0.30,2001—2006年年平均径流系数为0.09,相差很大,也就是说,在降水量没有明显减少的情况下,径流量逐年减少,尤其在2000年后表现明显。

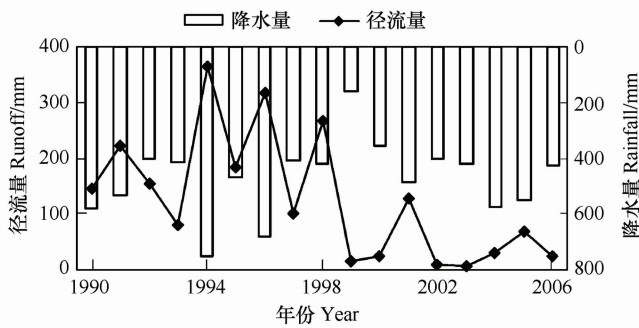


图2 红门川流域多年降水量与径流量年际变化

Fig.2 The annual change on rainfall and runoff over years of Hongmenchuan Basin

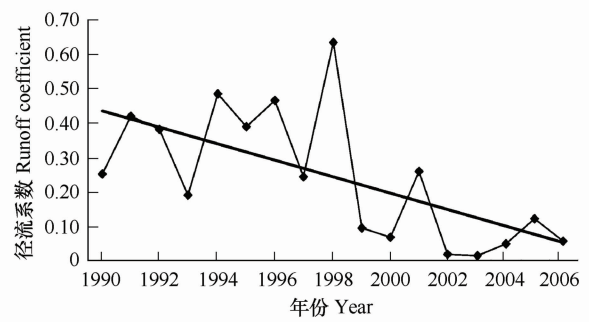


图3 红门川流域多年径流系数变化

Fig.3 The variation of runoff coefficients over years of Hongmenchuan Basin

为进一步研究土地利用对降水-径流的关系的影响,拟合 1990—2006 年研究区降水量与径流量,进行回归分析,采用线性回归分析得到如图 4 所示的直线($P < 0.05$)。

由图 4 可知,研究区 1990—2006 年降水量与径流量相关系数 $R^2 = 0.4368$,相关性不显著。也就是说,径流量除受降水量影响外,还与其他因素有关。

3.3 径流量月变化分析

红门川流域多年平均降水量为 472.79 mm,平均径流量为 125.70 mm。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(图 5)。7 月份降水量最多,为 165.91 mm,占全年降水总量的 35.09%;12 月份降水量最少,为 0.94 mm,占全年降水总量的 0.20%,二者相差非常大。汛期(6—9 月份)的降水总量为 421.38 mm,高达全年降水总量的 89.13%,即研究区降水非常集中。红门川流域多年平均各月径流量变化也很大,起伏明显,10 月份到翌年的 5 月份,没有径流,整个流域处于断流状态;径流全部集中在 6—9 月份,最大值在 8 月份,径流量为 60.54 mm,占全年径流总量的 48.16%;最小值在 6 月份,径流量为 4.98 mm,占全年径流总量的 3.96%,二者差距很大。径流量的峰值滞后于降水量的峰值。这可能与森林植被的调节径流作用有关。

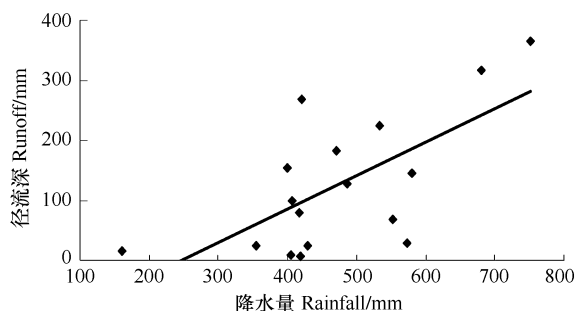


图 4 1990—2006 年降水量与径流量点阵图

Fig. 4 The lattice figure of rainfall and runoff between 1990—2006

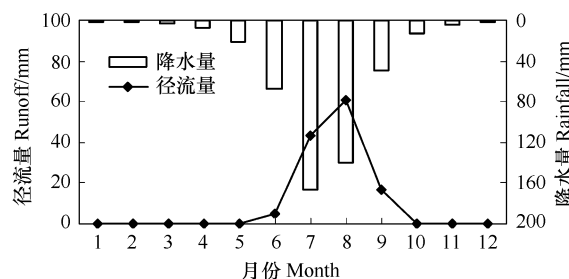


图 5 红门川流域多年降水量与径流量年内变化

Fig 5 The intraannual variation on rainfall and runoff over years of Hongmenchuan Basin

为了更深入研究土地利用对月均降水-径流关系的影响,对应土地利用,将研究区的降水与径流分为 1990—1995 年、1996—2000 年、2001—2006 年 3 个研究阶段,选取典型月份降水量与径流量进行分析。由于研究区降水量主要集中在汛期(6—9 月份),占到全年降水总量的 89.13%,而径流量则全部集中在 6—9 月份,所以选取 6—9 月份作为研究对象。图 6 为 3 个阶段土地利用下月降水-径流关系图。

降水量与径流量无显著相关性,但具有明显的变化趋势,表现为集中在某个区域内(图 6)。在降水没有明显变化的情况下,1990—1995 年径流量相对分散,最小为 10.94 m^3 ,最大为 196.81 m^3 ,径流量的变化幅度很大。1996—2000 年的径流量比 1990—1995 年集中一些,最小为 0.73 m^3 ,最大为 61.32 m^3 ,径流量有所减少;2001—2006 年的径流量明显小于 1990—1995 年和 1996—2000 年的径流量,点阵集中,最小为 2.51 m^3 ,最大为 48.15 m^3 ,也就是说,2000 年以后,森林植被覆盖条件明显好转,径流量大幅度减少了。因此后期土地利用总体较前期土地利用的径流量减少,即林地面积较多,植被条件较好的土地利用比植被条件较差的土地利用径流量有减少的趋势。

3.4 单次降水与径流分析

单次降水的产流情况对研究不同土地利用对径流的影响具有重要意义。将研究区 3 个土地利用阶段的单次降水-产流情况做点阵图(图 7),可以看出,1990—1995 年单次降水-产流点阵分散,变化较大,多集中于径流量 3000000 m^3 的区域内;1996—2000 年单次降水-产流点阵比前期明显集中,降水-产流区域基本同前期;2001—2006 年单次降水-产流非常集中,产流区域明显缩小,主要集中在径流量 1000000 m^3 的区域内,仅为 1990—1995 年径流量的 $1/3$ 。也就是说,在 1990—1995 和 1996—2000 年,单次降水产生的径流量虽然较大,主要是以洪水形式出现,不但降水的利用率低,而且多会发生洪涝灾害;而 2001—2006 年,单次降水产生的径流量相对较少,但可利用率高,发生洪涝灾害的可能性小。这一方面与降水量有关系,如 1990—1995 年和

1996—2000 年暴雨较多,导致径流量的增大;另一方面,与土地利用及森林植被增加有关。

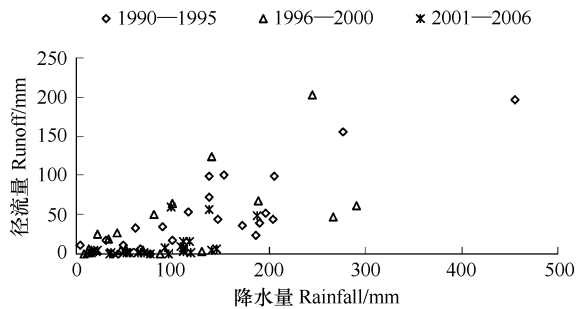


图6 不同土地利用阶段月降水-径流点阵图

Fig. 6 The lattice figure of mean month rainfall-runoff under different land-use periods

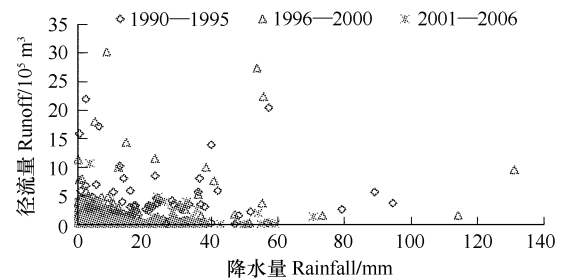


图7 不同土地利用阶段单次降水-径流关系点阵图

Fig. 7 The lattice figure of single rainfall and runoff under different land-use periods

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 红门川流域森林植被/土地覆被变化对流域年径流具有显著影响。2001—2006 年植被条件较好的土地利用较 1990—1995 年和 1996—2000 年产流有所减少,多年平均径流系数由 1998 年前的 0.39 下降为 1998 年后 0.09,下降了幅度为 76.92%。一些学者的研究也得到了比较一致的结论:李文华在我国长江中游 5 组多林和少林流域(674—5322 km²)的对比分析表明,多林流域的年径流量比少林流域大,年径流系数增加 33%—218%,前苏联许多地区的研究也得出类似结论^[2]。张晓明等研究黄土丘陵区典型小流域,认为治理流域较未治理流域在丰水年、平水年和枯水年的径流系数分别减少约 50%、85%、90%;流域土地利用后期(1995—2004 年)较前期(1986—1994 年)多年平均径流系数下降 73.6%^[20-21]。

(2) 研究区径流全部集中在汛期(6—9 月份),2001—2006 年的月径流量明显小于 1990—1995 和 1996—2000 年,也就是说,不同土地利用在相同降水条件下的产流在生长季节具有明显差异^[18-19],土地利用变化对产流的影响具有季节性,在枯水季节基本无影响。这是由研究区的气候特点决定的,同时对于森林植被具有极其重要的意义,这样的雨热同期,使其生长得以顺利进行。但是径流的峰值滞后于降水的峰值,这可能与植被的调蓄径流作用有关。

(3) 从单次降水的产流情况看,在降水量正常情况下,2001—2006 年的单次产流均小于 1990—1995 和 1996—2000 年的单次产流,仅为前期的 1/3。降水利用率提高,发生洪涝灾害的可能性减少,可见森林植被在此阶段对产流发挥了极大作用。这与其他学者的研究也基本一致^[22-23]。

References:

- [1] Liu S. International research on environmental and ecological consequence of land use and land cover change. World Forestry Research, 2002, 15 (6): 38-47.
- [2] Cheng J. Effects of land use and land cover change on environmental hydrology in the center urban area of Shanghai, Shanghai: East China Normal University, 2007.
- [3] Yu X X, Yang G S, Wang Y. Advances in researches on environmental effects of land use/cover change. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24 (5): 627-634.
- [4] Yang J P, Study on areal land use/land cover change and the impacts on water resources — A case study in Xingtai City, Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2006.
- [5] Liu X W, Chen B M, Shi X Z. A review of the research on land use and land cover change in China. Soils, 2004, 36(2): 132-135.
- [6] Fu B J, Chen L D, Ma K M. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the Loess Plateau of China. Acta Geographica Sinica, 1999, 54(3): 241-246.

- [7] Li X B. A review of the international researches on land use/land cover change. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(6): 553-558.
- [8] Guo X D, Chen L D, Fu B J. Effects of land use/land cover change on regional ecological environment. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 1999, 7(6): 66-75.
- [9] Li X B. International research on environmental consequence of land use/cover change. *Advance in Earth Sciences*, 1999, 14(4): 395-400.
- [10] Shi L R. Soil and water conservation is the essential of river harnessing-Deep pondering of 1998 flood disasters of the Yangtze River. *Soil and Water Conservation in China*, 1998, 11: 13-16.
- [11] Liu C M, Li C Z, Chen J H, Zhang L H, Yang L W. Hydrological effect of main vegetation types in Jiulong Mountain, Beijing. *Forest Science and Technology*, 1994, 7: 10-12.
- [12] Cao Y, Ouyang Z Y, Huang Z G, Zheng H. Hydrological characteristics of vernicia fordii canopy in red soil region of mid-sub tropics. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1740-1747.
- [13] Guo H Q, Bai X M. Hydrological effect of litter on three forest types. *Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi*, 2006(2): 13-16.
- [14] Liu X, Che K J. Analysis of hydrological effects from litter of *Picea crassifolia* forests in Qilian Mountains. *Journal of Gansu Agricultural University: Natural Science Edition*, 2004, 39(4): 434-438.
- [15] Qin Y S, Yu X X, Chen L H, Liu S. Spatial scale effects of runoff on the water resource conservation forest watershed within the Miyun reservoir basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(6): 913-918.
- [16] Duan W B, Liu S C, Chen L X. Study on hydrological effect of water conservation forest in Lianhua Lake reservoir area. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(5): 26-30.
- [17] Zhang Q D, Shi H. Flow-sediment variation and relation with deforest in the upstream of the Minjiang River. *Yangtze River*, 2006, 37(8): 31-35.
- [18] Xiao J Q. The Application of Distributed Hydrologic Model MIKESHE to Simulate Hydrologic Responses of Small Watershed in North China. Beijing: Beijing Forestry University, 2006.
- [19] Du F. Research on Hydrological Effect of the YiluoHe Catchment's Land Cover Change. Nanjing: Hohai University, 2007.
- [20] Wang S P, Zhang Z Q, Sun G, Zhang M L, Yu X X. Effects of land use change on hydrological dynamics at watershed scale in the Loess Plateau — A case study in the Lüergou watershed, Gansu Province. *Journal of Beijing Forestry University: Natural Science Edition*, 2006, 28(1): 48-54.
- [21] Zhang X M, Yu X X, Wu S H, Zhang M L, Li J L. Response of land use/land cover change to hydrological dynamics in typical watershed in Loess gullied-hilly region of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 415-424.
- [22] Shi P L, Li W H. Influence of forest cover change on hydrology process and watershed runoff. *Journal of Natural Resource*, 2001, 16(5): 481-487.
- [23] Wang Q H, Li H E, Lu K F, Cai M, Li Y. Analysis of affection of forest vegetation change on watershed runoff and flood. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2004, 15(2): 21-24.

参考文献:

- [1] 刘硕. 国际土地利用与土地覆盖变化对生态环境影响的研究. *世界林业研究*, 2002, 15(6): 38-47.
- [2] 程江. 上海中心城区土地利用/土地覆被变化的环境水文效应研究. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [3] 于兴修, 杨桂山, 王瑶. 土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向. *地理科学*, 2004, 24(5): 627-634.
- [4] 杨敬坡. 区域土地利用/土地覆被变化及其对水文水资源的影响——以邢台市为例. 石家庄: 河北师范大学, 2006.
- [5] 刘新卫, 陈百明, 史学正. 国内 LUCC 研究进展综述. *土壤*, 2004, 36(2): 132-135.
- [6] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例. *地理学报*, 1999, 54(3): 241-246.
- [7] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域-土地利用/土地覆被变化的国际研究动向. *地理学报*, 1996, 51(6): 553-558.
- [8] 郭旭东, 陈利顶, 傅伯杰. 土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响. *环境污染治理技术与设备*, 1999, 7(6): 66-75.
- [9] 李晓兵. 国际土地利用/土地覆盖变化的环境影响研究. *地球科学进展*, 1999, 14(4): 395-400.
- [10] 史立人. 水土保持是江河治理的根本——关于 98 长江洪水灾害的思考. *中国水土保持*, 1998, 11: 13-16.
- [11] 刘创民, 李昌哲, 陈军华, 张理宏, 杨立文. 北京九龙山主要植被类型水文作用的研究. *林业科技通讯*, 1994, 7: 10-12.

- [12] 曹云, 欧阳志云, 黄志刚, 郑华. 中亚热带红壤区油桐(*Vernicia fordii*)林冠水文效应特征. 生态学报, 2007, 27(5): 1740-1747.
- [13] 郭汉清, 白秀梅. 三种主要森林类型枯落物水文效应研究. 山西水土保持科技, 2006, 2: 13-16.
- [14] 刘霞, 车克钧. 祁连山青海云杉林枯落物层水文效应分析. 甘肃农业大学学报: 自然科学版, 2004, 39(4): 434-438.
- [15] 秦永胜, 余新晓, 陈丽华, 刘松. 北京密云水库流域水源保护林区径流空间尺度效应的研究. 生态学报, 2001, 21(6): 913-918.
- [16] 段文标, 刘少冲, 陈立新. 莲花湖库区水源涵养林水文效应的研究. 水土保持学报, 2005, 19(5): 26-30.
- [17] 张启东, 石辉. 岷江上游的水沙变化及其与森林破坏的关系. 人民长江, 2006, 37(8): 31-35.
- [18] 肖金强. 应用分布式流域水文模型 MIKESHE 研究华北土石山区小流域水文响应. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [19] 杜非. 伊洛河流域土地覆被变化水文效应的研究. 南京: 河海大学, 2007.
- [20] 王盛萍, 张志强, 孙阁, 张满良, 余新晓. 黄土高原流域土地利用变化水文动态响应——以甘肃天水吕二沟为例. 北京林业大学学报: 自然科学版, 2006, 28(1): 48-54.
- [21] 张晓明, 余新晓, 武思宏, 张满良, 李建劳. 黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用/土地覆被变化水文动态响应. 生态学报, 2007, 27(2): 415-424.
- [22] 石培礼, 李文华. 森林植被变化对水文过程和径流的影响效应. 自然资源学报, 2001, 16(5): 481-487.
- [23] 王清华, 李怀恩, 卢科峰, 蔡明, 李越. 森林植被变化对径流及洪水的影响分析. 水资源与水工程学报, 2004, 15(2): 21-24.