

华北土石山区土地利用/ 土地覆被变化的水文响应研究 ——以张家口云州水库流域为例^{*}

朱 丽^{1,2}, 秦富仓¹, 姚云峰¹

(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 资源与环境科学系, 内蒙古 包头 014030)

摘 要:以张家口云州水库流域为例研究华北土石山区土地利用/ 覆被变化的水文响应。收集研究区 1968 年、1980 年和 2000 年遥感影像, 采用 Map GIS 解译得到不同时期的土地利用图, 采用 ArcView 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, 分析不同土地利用时期的水文响应。结果表明: 华北土石山区土地利用变化对流域年径流具有显著影响。1981 - 2000 年间植被条件较好的土地利用较 1968 - 1980 年间产流有所减少, 多年平均径流系数下降了 22.22 %。在相同的降水条件下, 根据不同土地利用降水与径流的拟合曲线进行预测, 发现 1981 - 2000 年间土地利用产流比 1968 - 1980 年间减少了 15 % ~ 30 %。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。植被条件好的时期产流能力明显下降。

关键词:水文响应; 土地利用/ 土地覆被; 华北土石山区

中图分类号: F301.24; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0224-05

Response of Land Use Change to Hydrological Dynamics in Rocky Mountain Area of North China —Based on Yunzhou Reservoir of Zhangjiakou

ZHU Li^{1,2}, QIN Furcang¹, YAO Yun-feng¹

(1. College of Ecology and Environmental Science Inner Mongolian Agricultural University, Huhhot 010019, China; 2. Department of Resource and Environmen Baotou Normal College, Baotou, Inner Mongolia 014030, China)

Abstract : This paper has taken Yunzhou reservoir of Zhangjiakou as the example, researched the hydrological response of land use/ cover change in north Beijing mountain area. We collected remote sensing images of the study area in 1968, 1980 and 2000, interpreted the remote sensing images by using Map Gis software, then obtained land use maps, analyzed the land use maps by using ArcView software, obtained spatial data and attribute data of different periods. Using daily precipitation data and daily runoff data of the study area, the hydrological response of different land use periods were analyzed. The results showed that: land use change of north Beijing mountain area had significant effect on the annual runoff of the basin. During the land use period of 1981 - 2000, with more forestland or good land cover, the runoff yield had decreased by 57 % compared with the period of 1968 - 1980, the annual mean runoff coefficient had decreased by 22.22 %. Under the same precipitation condition, predicted by using the fitting curve of precipitation and runoff of different land use periods, it showed that the runoff yield in 1981 - 2000 had decreased by 15 % ~ 30 % compared with the period of 1968 - 1980. Different land uses, under the same precipitation condition, had obvious difference only during growing season, that's to say, the effect that land use change had on the runoff yield was seasonal, it had no significant effect during the drought period. The runoff generation ability decreased significantly when the land cover was good.

Key words : hydrology dynamics; land use/ land cover; north Beijing mountain area

^{*} 收稿日期: 2009-05-18

基金项目: 国家“十一·五”科技计划课题(2006BAD03A0201)

作者简介: 朱丽(1978 -), 女, 内蒙古包头市人, 博士生, 讲师, 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, 内蒙古呼和浩特市人, 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

土地利用与覆被变化是陆地生态系统变化的主要表现。土地利用变化的重要环境反映水文行为的变化,而水文行为变化又会环境影响并反作用于土地利用。由此交织形成一个复杂并相互作用的系统。目前,土地利用强度与水资源利用率的关系^[1-2],土地利用变化而引起的沉积物运移规律^[2-3],以及土地利用格局与水文过程响应关系^[4-5]是水文学研究的热点。土地利用与植被变化对流域水文环境、水文过程、水文通量、水量平衡、水文化学以及流域生态系统动态都会产生十分重要的影响^[6-7]。土地利用与植被变化一方面影响流域的蒸发散性能,另一方面通过地表覆被类型及程度的改变显著影响地表径流的产生,影响土壤的入渗特征,进而影响流域地下水形成,从而使流域产汇流量与过程发生改变^[8-9]。

华北土石山区是我国生态环境建设的重点地区,尤其是当地水资源短缺已经成为制约该地区乃至北京地区发展的重大问题。以张家口市云州水库流域多年降水与径流资料,分析不同土地利用时期流域水文动态变化规律,为该区的土地利用规划和生态恢复提供科学依据。

1 研究区概况

云州水库地处密云水库上游集水区,该流域隶属河北省张家口地区,流域面积约 1 254.94 km²,流域地跨 3 个县,即赤城县、崇礼县和沽源县,其中赤城县部分占流域面积的 62 %。

研究区山峦耸峙,高山环绕,地势由东南向西北逐渐增高,相对高差 1 040 m。地形可分为山区、丘陵区、盆地区。属于大陆性季风气候中温带干旱区,大陆性季风气候特征明显,四季分明。年降水量约 430 mm,70 % 集中在 7 - 8 月。年平均气温 5.7 ℃,无霜期 88 ~ 135 d。早霜始于 9 月中旬,晚霜

终于 5 月中旬。10 年积温为 2 642 ℃。土壤类型丰富,以棕壤及褐土分布为主,并有草甸土及栗钙土等土壤类型。植被类型多种多样,具有明显的山地特征,植被组成以中生、旱中生或中旱生、旱生的多年生灌木和草本植物为主。研究区植被覆盖率为 65 %,在分布上,深谷高山多为森林植被,丘陵山麓多为灌木植被,河川谷地多为草本植被。

2 研究方法

2.1 土地利用格局变化研究

收集研究区 1968 年、1980 年、1990 年、1995 年和 2000 年 5 期遥感影像资料,采用 Map GIS 软件进行解译,得到不同年份土地利用图,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。发现 1990 年、1995 年和 2000 年数据变化不大,所以在本文中,采用 1968 年、1980 年和 2000 年土地利用变化数据进行分析。

由表 1 可以发现,研究区土地利用类型有:耕地、草地、林地、建设用地、水域和未利用地。耕地在 1968 - 1980 年间迅速增多,增大的面积为 26 369.97 hm²,增长率为 126.59 %,但是在 1981 - 2000 年间又迅速减少,减少的面积为 25 075.11 hm²;草地面积从 1968 - 2000 年之间逐步减少,由 1968 年的 63.05 %,到 1980 年的 46.26 %,到 2000 年的 23.52 %,共减少了 49 618.44 hm²;林地在 1968 - 1980 年间变化很小,在 1981 - 2000 年间变化很大,增加了 55 994.61 hm²,增长率为 345.39 %;由于研究区处于华北土石山区,所以建设用地和水域数量较少,变化也较少;未利用地在 1968 年为 4 026.79 hm²,到 1980 年减少为 582.72 hm²,2000 年则全部利用。

表 1 各土地利用类型占流域土地面积及其比例

土地利用类型		耕地	草地	林地	建设用地	水域	未利用土地	合计
1968 年	面积/ hm ²	20831.56	79128.37	18093.8	467.32	2945.96	4026.79	125493.8
	比例/ %	16.60	63.05	14.42	0.37	2.35	3.21	100.00
1980 年	面积/ hm ²	47201.53	58052.11	16212.09	552.69	2892.65	582.72	125493.8
	比例/ %	37.61	46.26	12.92	0.44	2.31	0.46	100.00
2000 年	面积/ hm ²	22126.42	29509.93	72206.7	513.71	1137.03	0	125493.8
	比例/ %	17.63	23.52	57.54	0.41	0.91	0	100.00
1968 - 1980	变化量/ hm ²	26369.97	- 21076.26	- 1881.71	85.37	- 53.31	- 3444.07	
	变化率/ %	126.59	- 26.64	- 10.40	18.27	- 1.81	- 85.53	
1981 - 2000	变化量/ hm ²	- 25075.11	- 28542.18	55994.61	- 38.98	- 1755.62	- 582.72	
	变化率/ %	- 53.12	- 49.17	345.39	- 7.05	- 60.69	- 100.00	

2.2 降水量

流域内分布 4 个雨量站,即猫玉堡、马营、独石

口和云州水库,各个雨量站布设自记雨量计,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,得到逐日降水数据。数据来源于 1968 - 2000 年各雨量站逐日降水数据,然后以泰森多边形面积权重值计算获得降水量平均值。

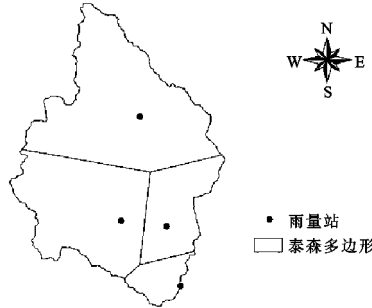


图 1 云州水库泰森多边形

2.3 径流量

径流量分析采用河北省张家口市云州水库流域出口径流观测站。沟口径流站为天然断面,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,对照检查。将得到的径流数据进行还原,剔除水利工程等人为影响,得到径流数据。

3 结果与分析

3.1 径流量年际变化分析

研究区多年降水量与径流量的年际变化如图 2。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,1968 - 2000 年径流量总体呈现下降趋势。1968 - 1980 年之间,径流量的波动较大,没有明显趋势;1981 - 2000 年,径流量减少并呈波动缓和趋势。

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,因此研究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]。

表 2 不同时期枯水年、平水年和丰水年的产流比较

时段	枯水年		平水年		丰水年	
	平均降水	平均产流	平均降水	平均产流	平均降水	平均产流
1968 - 1980	363.62 (n=4)	38.48 (n=4)	429.35 (n=5)	32.21 (n=5)	503.17 (n=4)	45.40 (n=4)
1981 - 2000	352.57 (n=9)	24.92 (n=9)	427.97 (n=1)	30.39 (n=1)	492.00 (n=10)	32.11 (n=10)
变化率/ %	- 3.04	- 35.24	- 0.32	- 5.65	- 2.22	- 29.27

为了有效分析土地利用变化与植被变化的水文动态响应,进行回归分析。图 4 为两期土地利用的降水 - 径流关系图,采用线性回归分析得到如图所示的曲线 ($P < 0.05$)。拟合 1968 - 1980 年降水 - 径流关系数据得到式(1),拟合 1981 - 2000 年降水 - 径流关系数据得到式(2)。

图 3 是研究区多年径流系数变化情况,由图可以看出,研究区径流系数总体上呈现下降趋势。1968 - 1980 年年平均径流系数为 0.09,而 1981 - 2000 年仅为 0.07,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。

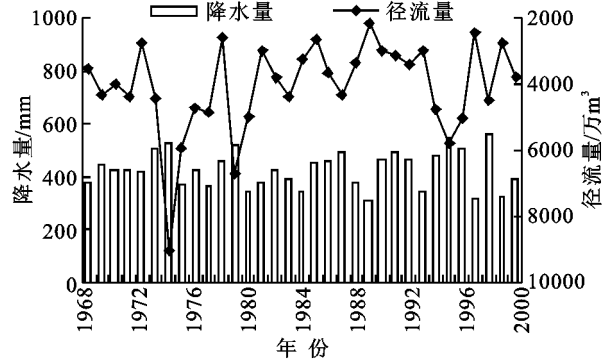


图 2 云州水库流域多年降水量与径流量年际变化

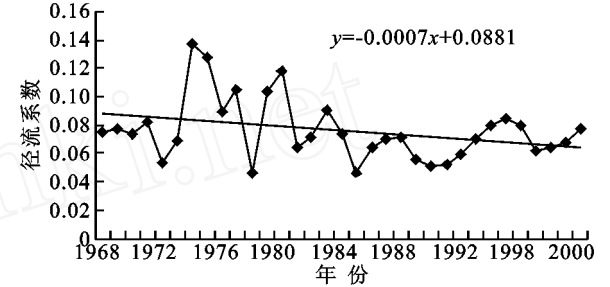


图 3 云州水库流域多年径流系数变化

为进一步揭示平水年、丰水年或枯水年土地利用变化对流域产流是否有一致的影响,对观测年份的降水进行频率统计,得到降水频率为 10 %, 50 %, 90 % 的丰水年、平水年和枯水年降水量,分别对两期土地利用枯水年、平水年和丰水年进行统计^[8-9],结果如表 2 所示。从表中可以看出,在观测年限内,尽管不同的土地利用期间降水有一定差异,但后期土地利用各种降水年份产流量均有不同程度的减少。因此,经过初步的比较和分析,认为后期植被条件较好的土地利用较前期产流能力有所下降。

$$Y_1 = 0.0026x^2 - 2.1792x + 487.34 \quad (R^2 = 0.5734)$$
(1)

$$Y_2 = 1E-04x^2 - 0.0125x + 16.02 \quad (R^2 = 0.5312)$$
(2)

从图 4 中可以看出,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年径流量减少。表 3 为根据回归方程计算得到的同一降水条件的不同径流产量。其中第 3 列为根据式(2)得到的预测值,第 4 列为根据式(3)得到的预测值。表中径流减少率多在 15 % ~ 30 % 的变化范围内,最大可达到 64.57 %。

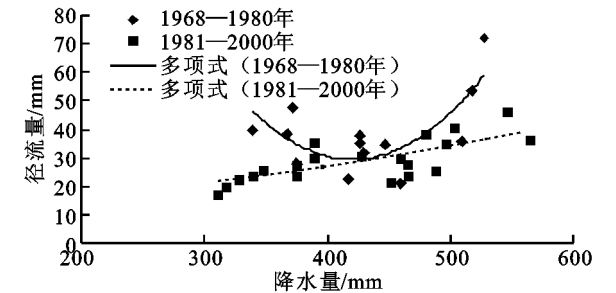


图 4 不同土地利用降水 - 径流拟合曲线

表 3 不同土地利用预测降水产流量

年份	降水量/ mm	产流/ mm		减少率/ %
		预测 1	预测 2	
1968	375.06	35.75	25.40	28.96
1969	447.17	32.77	30.43	7.14
1970	429.32	30.99	29.09	6.14
1971	426.88	30.87	28.91	6.37
1972	416.55	30.73	28.16	8.35
1973	508.95	51.71	35.56	31.24
1974	527.05	61.03	37.21	39.02
1975	372.51	36.35	25.24	30.57
1976	426.84	30.87	28.90	6.37
1977	367.59	37.61	24.94	33.69
1978	459.57	34.98	31.40	10.24
1979	517.1	55.70	36.30	34.83
1980	339.34	47.24	23.29	50.70
1981	375.31	35.69	25.41	28.80
1982	427.97	30.92	28.99	6.25
1983	389.59	32.97	26.33	20.16
1984	347.85	43.90	23.77	45.86
1985	451.7	33.48	30.78	8.08
1986	460.04	35.08	31.43	10.39
1987	495.82	46.03	34.41	25.25
1988	375.57	35.64	25.43	28.64
1989	310.34	61.46	21.77	64.57
1990	465.59	36.34	31.88	12.28
1991	488.35	43.19	33.76	21.83
1992	464.64	36.11	31.80	11.94
1993	339.97	46.98	23.33	50.35
1994	479.73	40.28	33.04	17.98
1995	546.7	73.06	39.07	46.52
1996	503.02	49.03	35.04	28.55
1997	317.65	57.46	22.14	61.47
1998	564.43	85.65	40.82	52.34
1999	327.84	52.36	22.67	56.70
2000	389.02	33.06	26.29	20.48

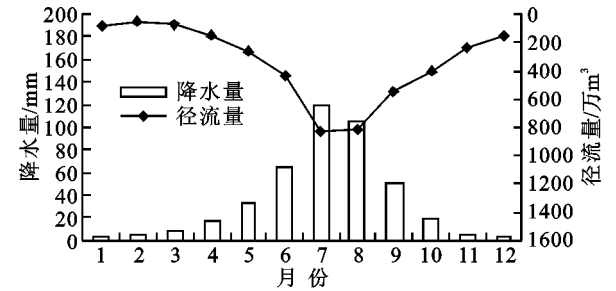


图 5 云州水库流域多年降水量与径流量年内变化

3.2 径流量月变化分析

图 5 为研究区多年降水量与径流量年内变化,由图可以看出,径流量的变化与降水量的变化基本一致,降水量在 7 月最大,而径流量在 7,8 月均比较大,径流量的峰值有滞后于降水量的峰值的趋势。这可能与森林植被的削洪减洪作用有关。

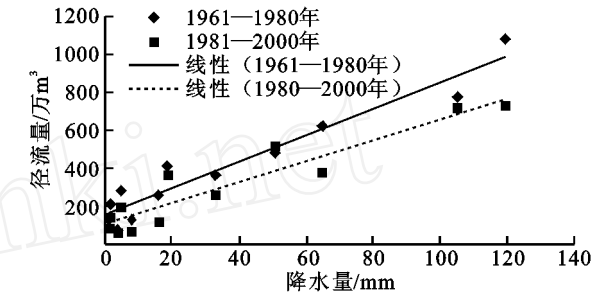


图 6 不同土地利用月均降水 - 径流关系

图 6 为两期土地利用月均降水 - 径流关系图,采用线性回归分析得到如图所示的直线 ($P < 0.05$)。由图可知,在相同的降水条件下,1981 - 2000 年期间的径流量明显小于 1968 - 1980 年期间的径流量,也就是说,森林植被覆盖条件好的时期径流量减少了。

4 结论与讨论

(1) 研究区位于华北土石山区,土地利用类型为耕地、草地、林地、建设用地、水域和未利用地。在 2000 年后,未利用土地全部利用。其中,耕地、草地和林地占到研究区土地总面积的 90 % 以上,是主要的利用类型。选择研究区 1968 年、1980 年和 2000 年 3 期土地利用图,分析其土地利用动态变化,发现耕地在 1968 - 1980 年之间增加,在 1981 - 2000 年之间减少;草地在 1968 - 2000 年之间持续减少,而林地则在 1981 - 2000 年之间大幅增多,达到研究区土地面积的半数以上。发生这样变化可能与当地的退耕还林还草政策和林业生态工程有关。

(2) 华北土石山区土地利用变化对流域年径流具有显著影响。1981 - 2000 年间植被条件较好的土地利用较 1968 - 1980 年间产流有所减少,多年平

均径流系数由 0.09 下降为 0.07,下降了 22.22%。在相同的降水条件下,根据不同土地利用降水与径流的拟合曲线进行预测,发现 1981 - 2000 年间土地利用产流比 1968 - 1980 年间减少了 15% ~ 30%。

(3) 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^[8-9],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。但是径流的峰值滞后于降水的峰值,可能与植被的削洪减洪作用有关。

参考文献:

- [1] 陆军锋,李秀彬. 森林植被变化对流域水文影响的争论[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 474-480.
- [2] 黄明斌,康绍忠,李玉山. 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水文行为的比较研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 226-231.
- [3] 王礼先. 面向 21 世纪的山区流域经营[J]. 山地研究, 1998, 16(1): 3-7.
- [4] 刘贤赵,宿庆,宋孝玉,等. 黄土高原长武试验区土地利用变化对产水量的影响[J]. 农业现代化研究, 2004, 25(1): 59-63.
- [5] 郝芳华,陈利群,刘昌明,等. 土地利用变化对产流和产沙的影响分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 5-8.
- [6] Boothd B, Karr J R, Schauman S, et al. Reviving urban streams: land use, hydrology, biology, and human behavior[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2004, 40(5): 1351-1364.
- [7] 王礼先,张志强. 干旱地区森林对流域径流的影响[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 439-444.
- [8] 王盛萍,张志强,孙阁,等. 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[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(1): 48-54.
- [9] 张晓明,余新晓,武思宏,等. 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[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 415-424.

(上接第 223 页)

(2) 流域综合治理后,根据坡耕地转变梯平地、坡耕地转变为经果林和坡耕地转变为疏林后对土壤养分的改变情况,可以计算出坡耕地向其它土地利用类型转变后,其土壤养分平均含量提高情况。其中有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和速效钾分别对应增加了 15.77%、13.03%、0.7%、5.4%、43.4%、16.6%和 9.4%

(3) 流域综合治理退耕还林还草、坡改梯等治理措施,不仅改变了土地覆盖、微地形,防治了水土流失和土地退化,而且还一定程度上提高了土壤养分。特别是有机质的增加很明显,改变了土壤的结构,更有效的控制了水土流失的发生,提高了土壤的质量。

参考文献:

- [1] Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. The relationship between land use and soil conditions in the hilly area of loess plateau in northern Shaanxi, China[J]. Catena, 2000, 39: 69-78.
- [2] Fu B J, Ma K M, Zhou H F, et al. The effect of land use structure on the distribution of soil nutrients in the hilly area of the Loess Plateau, China[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(8): 732-736.
- [3] Burel F, Baudry J, Lefeuvre J C. Landscape structure and the control of water runoff [C]// Bunce R G H, Ryszkowski L, Paoletti M Geds. Landscape Ecology and Agroecosystems. Boca Raton, FL: Lewis, 1993: 41-47.
- [4] 陈利顶,傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 581-586.
- [5] Lai R. Mechanized tillage systems effects on properties of a tropical Alfisol in watershed cropped to maize[J]. Soil & Tillage Research, 1985, 6: 149-162.
- [6] Roosss M. Organic matter in tropical soils: current conditions, concerns and prospects for conservation[J]. Progress in Physical Geography, 1993, 17: 265-305.