

# 滇中城市水源地水源涵养能力研究

段琪彩, 吴灏, 王杰, 张雷

(云南省水利水电科学研究院, 昆明 650228)

**摘要:**水源涵养能力是水源地保护研究的主要内容。基于昆明、玉溪、楚雄 3 个城市水源地内的中和、大矣资、马家庄和凤屯(二)站 1982—2011 年实测流量数据,通过总径流和基流的变化来揭示水源涵养能力的时空变化规律,并依据 MODIS、Landsat 遥感影像分析其主要影响因素。结果显示:总径流和基流均为凤屯(二)站最大,马家庄站最小,两站分别相差 48%、70%;1982—2011 年,总径流和基流除大矣资站呈显著下降趋势( $\alpha \geq 99.6\%$ )外,其余站变化趋势不显著;总径流和基流与降水量、林地面积比率呈较好正相关( $R^2 \geq 0.8144$ ),与园地面积比率呈负相关( $R^2 = 0.6877$ ),与植被覆盖率、耕地面积比率相关性不明显( $R^2 \leq 0.3798$ )。可见九龙甸水库的水源涵养能力最强,东风水库最弱;松华坝水库、九龙甸水库和东风水库的九溪河流域的水源涵养能力无显著的变化趋势,东风水库的董炳河流域呈显著减弱的趋势;水源涵养能力随降水量、林地面积增大而增强,随园地面积增大而减弱,植被覆盖率的大小不能反映水源涵养能力的强弱。

**关键词:**水文学;水源涵养能力;统计学;水源地

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0312-04

## Study on the Water Conservation Capacity of Urban Catchment Areas in Central Yunnan

DUAN Qicai, WU Hao, WANG Jie, ZHANG Lei

(Yunnan Hydraulic Research Institute, Kunming 650228, China)

**Abstract:** Water conservation capacity is the main aspect of water source area protect. Therefore, based on the precipitation and runoff date of Zhonghe, Dayizi, Majiazhuang and Fengtun(II) from 1982 to 2011 in Kunming, Yuxi and Chuxiong, MODIS and Landsat remote sensing image, the space-time characteristics and the influence of precipitation, vegetation coverage and land use type were analyzed. The results showed that the total runoff and base flow in Fengtun(II) were maximum, and were minimum in Majiazhuang, the different of the two stations were 48% and 70%, respectively. The total runoff and base flow in Dayizi declined significantly ( $\alpha \geq 99.6\%$ ), the trend of the other station was not significant from 1982 to 2011. The total runoff and base flow had positive linear correlation with precipitation, forest land area ratio ( $R^2 \geq 0.8144$ ), had negative with garden area ratio ( $R^2 = 0.6877$ ), but had no correlation with vegetation coverage, the cultivated land area ratio ( $R^2 \leq 0.3798$ ). The study showed that the water conservation capacity was the strongest in Jiulongdian and the weakest in Dongfeng. The ability of water conservation had not significant change in Jiulongdian, Songhuaba and Jiuxihe of Dongfeng, but had significantly declined in Dongbinghe of Dongfeng. The increase of precipitation and forest area will be conducive to source self-restraint ability enhancement, the increase of the future area will lead to a drop in water conservation ability, but the vegetation coverage can not reflect the level of water conservation capacity.

**Keywords:** hydrology; water conservation capacity; statistics; water source

水是生命之源,是生态系统的重要组成部分,也是城市经济社会良性发展的关键性要素。受气候变化和人类活动的共同影响,水资源短缺、水生态功能退化等问题日益突出,进而影响到水源地的水源涵养能力,其中生态破坏、草地和林地减少等是导致水源

涵养能力下降的重要原因<sup>[1]</sup>,因而变化环境下水源涵养能力研究成为当前水资源研究的热点领域之一。目前,估算水源涵养能力的方法较多,如土壤蓄水力法、水量平衡法、地下径流增长法、降水储量法、林冠截留剩余量法等<sup>[2]</sup>。近年来,众多学者采用不同

的方法研究了不同下垫面的水源涵养能力,如鲁春霞等<sup>[3]</sup>通过水量平衡计算青藏高原森林生态系统的涵养水源量来评估其经济价值,孟广涛等<sup>[4]</sup>测定了云南金沙江流域不同植被类型的林分截流、渗透性能、持水能力和地表径流,贾彦龙等<sup>[5]</sup>研究分析了燕山北部山地典型植物群落的水源涵养能力。2009—2012年云南省持续干旱,滇中地区部分水源地出现了水量减少、水质下降等问题,而从水文学角度针对滇中城市水源地水源涵养能力研究的文献尚不多见。因此,本文依据综合反映水源涵养能力的实测流量,通过长系列径流量及其组成来研究滇中地区城市水源地的水源涵养能力变化规律,并结合土地利用数据和遥感影像数据等分析影响水源涵养能力的主要因素,以期为水源地保护和生态修复提供借鉴。

## 1 研究区概况

松华坝水库、东风水库、九龙甸水库均位于滇中地区,属于亚热带气候,日照充足,四季如春,气候宜人,干湿季分明,最热月平均气温 19~22℃,最冷月平均气温 6~8℃。多年平均降水量 858.2~1 078.5 mm,其中 5—10 月降水量占全年的 85%以上。土壤类型以山原红壤、棕壤和水稻土为主。地形以山地和山间盆地为主,地势起伏和缓。植被类型多样,多为次生植被和人工植被。松华坝水库位于昆明市北郊,流域面积为 629.8 km<sup>2</sup>,主要河流为牧羊河和冷水河;东风水库位于玉溪市东北部,流域面积为 309.5 km<sup>2</sup>,主要河流为东北支董炳河和东南支九溪河;九龙甸水库位于楚雄市西北部,流域面积为 257.6 km<sup>2</sup>,主要河流为紫甸河。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据

本文所用降水和径流数据来源于水文部门,时间序列为 1982—2011 年,其中中和、马家庄两站的流量数据采用水文比拟法订正到现状断面。MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer 中分辨率成像光谱仪) 数据由 <http://lasdweb.nascom.nasagov> 网站下载,分辨率为 16 d,时间序列为 2001—2010 年。2009 年 Landsat 遥感影像数据来源于中国科学院计算机网络信息中心。

### 2.2 研究方法

流域的产汇流过程除了受控于降雨特性外,与流域下垫面的地形、地貌、土壤、植被、地质等特性有明显的因果关系<sup>[6-7]</sup>,退水特征可综合反映流域的水文响应条件。对于不受较大水利工程影响接近自然状态的流域,总径流和基流特性可较好地反映流域的水

源涵养能力。本文通过总径流和基流的统计特征来研究水源涵养能力的时空规律,以及降水量、植被覆盖率 and 土地利用类型对其的影响。

2.2.1 基流计算 基流分割的方法很多,常用的有直线分割、直线斜割、BFI、加里宁、API、HYSEP 法及滤波法等,其中滤波法计算的基流能够较好地反映流域的蓄水容量年内变化<sup>[8]</sup>,故本文采用滤波法来分割基流,计算公式为:

$$Q_d(i) = \alpha Q_d(i-1) + \frac{1+\alpha}{2} [Q(i) - Q(i-1)] \quad (1)$$

$$Q_b(i) = Q(i) - Q_d(i) \quad (2)$$

式中:  $Q_d(i)$ —— $i$  日的地表流量 (m<sup>3</sup>/s);  $Q(i)$ —— $i$  日的实测流量 (m<sup>3</sup>/s);  $Q_b(i)$ —— $i$  日的基流量 (m<sup>3</sup>/s);  $\alpha$ ——滤波系数,采用 0.925。计算时,为使所分割的基流过程更平滑,进行了顺序、逆序、顺序 3 次滤波<sup>[9]</sup>。

2.2.2 平均降水量计算 水源地平均降水量根据云南省降水量等值线图按面积加权得到,其中降水量等值线图采用 2007 年云南省水资源调查评价成果。

2.2.3 植被覆盖率计算 植被覆盖率 (FVC) 与 NDVI 存在极显著的线性相关关系,一般通过建立二者的转换关系来提取植被覆盖率<sup>[10]</sup>。计算公式为:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (3)$$

式中: FVC——植被覆盖率; NDVI——区域内归一化植被指数的平均值;  $NDVI_{\min}$ ——归一化植被指数的最小值;  $NDVI_{\max}$ ——归一化植被指数的最大值。

2.2.4 土地利用现状类型面积提取 土地利用现状类型通过目视解译结合监督分类对 Landsat 遥感影像进行解译,应用 ArcGIS 软件按耕地、林地、园地、草地、住宅用地、水域等分类提取不同土地利用类型的面积。

## 3 结果与分析

### 3.1 水源涵养能力的空间分布特征

各水源地的平均降水量 ( $P$ )、总径流深 ( $R$ )、基流深 ( $R_b$ )、径流系数、基流系数 (基流深/总径流深) 和植被覆盖率见表 1。各站平均降水量、总径流深、基流深均为凤屯(二)最大,马家庄最小,两站分别相差 20%, 48%, 70%; 基流系数凤屯(二)站是马家庄站的 1.7 倍; 中和站与大矣资站平均降水量、总径流深、径流系数、植被覆盖率接近,但大矣资站的基流系数明显偏小。可见,各水源地的水源涵养能力存在较大差异,从强到弱依次为九龙甸水库、松华坝水库、东风水库,东风水库东南部的九溪河流域(马家庄站)的水源涵养能力最弱。

表 1 水源地水文要素统计

水源地	水文站	平均降水量/mm	总径流深/mm	基流深/mm	径流系数( $\alpha$ )	基流系数	植被覆盖率
松华坝水库	中和	987.7	221.3	111.8	0.224	0.505	0.538
东风水库	大矣资	1018.5	225.5	83.6	0.221	0.326	0.540
	马家庄	858.2	146.0	43.3	0.170	0.297	0.557
九龙甸水库	凤屯(二)	1078.5	282.5	143.2	0.262	0.507	0.630

3.2 水源涵养能力的变化趋势

建立各站降水量、总径流深、基流深回归模型(图 1)。各水源地的降水量呈不显著下降的趋势;总径流深大矣资站呈显著的下降趋势( $\alpha=99.8\%$ ),其余站呈不显著的下降趋势;基流深大矣资站呈显著的下降趋势( $\alpha=99.6\%$ ),其余站呈不显著的上升趋势;东风

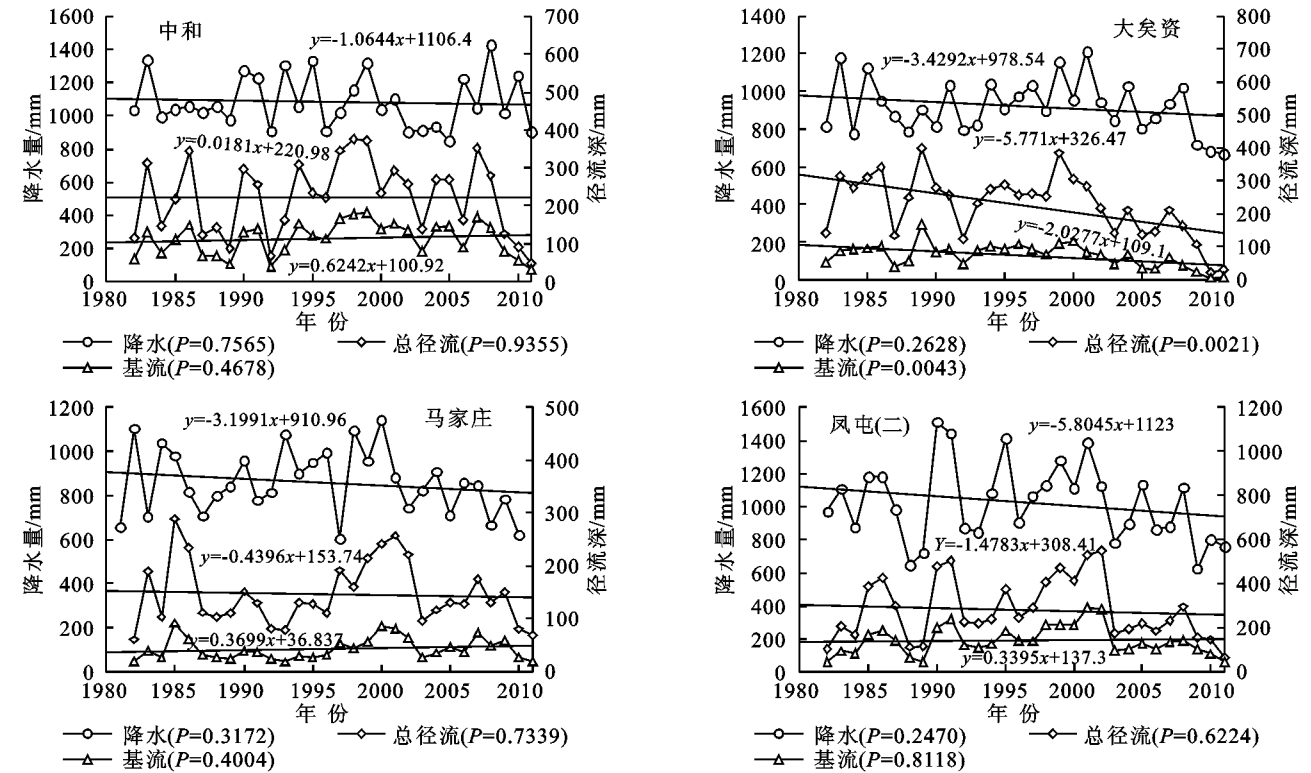


图 1 各站降水量、总径流深、基流深过程线

3.3 影响水源涵养能力的主要因素

3.3.1 降水对水源涵养能力的影响 平均降水量与总径流深、基流深呈正相关关系,决定系数分别为 0.973 7,0.819 7(图 2),表明降水量与水源涵养能力的相关性较好( $\alpha>90\%$ ),本地区水源涵养能力随降水量增加而增强,与甘小莉等<sup>[11]</sup>研究结果一致。

3.3.2 植被覆盖率对水源涵养能力的影响 植被覆盖率与总径流深、基流深亦呈正相关关系,决定系数分别为 0.379 8,0.373 8(图 3),表明植被覆盖率与水源涵养能力的相关性不好( $\alpha=60\%$ 左右)。中和、大矣资和马家庄的植被覆盖率接近,但总径流深和基流深的差异却很大,可见植被覆盖率的大小并不能直观反映水源涵养能力的强弱,其对径流的影响较为复杂,不同地区、不同类型植被对水源涵养能力的影响

水库东北部的董炳河流域(大矣资站)的总径流和基流均呈显著的下降趋势。

总体上表现为松华坝水库、九龙甸水库水源地和东风水库东南部的九溪河流域的水源涵养能力无显著的变化趋势,东风水库东北部的董炳河流域的水源涵养能力呈显著减弱的趋势。

亦不相同,与甘小莉<sup>[11]</sup>、王礼先<sup>[12]</sup>和石培礼<sup>[13]</sup>等的研究结果一致。

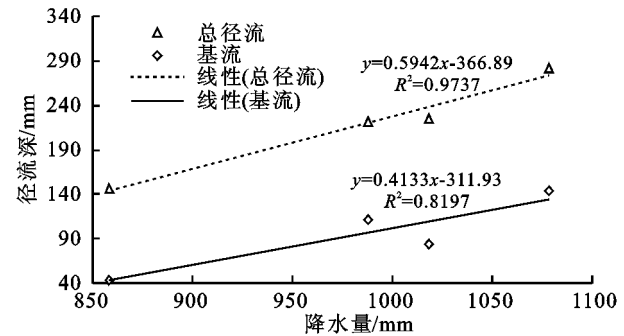


图 2 降雨量与径流深的关系

3.3.3 土地利用类型对水源涵养能力的影响 本地区土地利用类型以耕地、林地和园地为主,研究的 3 个水源地中此 3 类土地利用类型面积合计占水源

区总面积的 96% 以上,因此本文主要分析耕地、林地和园地与水源涵养能力的相关性。

总径流深与林地面积比率呈较好的正相关关系,决定系数为 0.956 8;与园地面积比率呈负相关关系,决定系数为 0.766 7;与耕地面积比率无相关关系,决定系数为 0.063(图 4A)。基流深与林地面积比率呈较好的正相关关系,决定系数为 0.814 4;与园地面积比率呈负相关关系,决定系数为 0.687 7;与耕地面积比率无相关关系,决定系数为 0.002(图 4B)。总体表现为水源涵养能力随林地面积增加而增强,随园地面积增加而减弱,而耕地对水源涵养能力的影响不明显。

综合图 3,4 来看,马家庄站虽然植被覆盖率相对

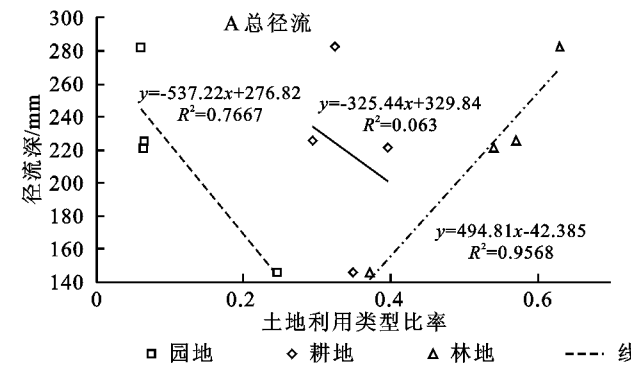


图 4 径流深与土地利用类型面积比率的关系

4 结论

(1) 各水源地的水源涵养能力差异较大,从强到弱依次为九龙甸水库、松华坝水库、东风水库,东风水库东南部的九溪河流域的水源涵养能力最弱。

(2) 1982—2011 年,松华坝水库、九龙甸水库和东风水库东南部的九溪河流域的水源涵养能力无显著的变化,东风水库东北部的董炳河流域(大矣资站)的水源涵养能力呈显著减弱的趋势。

(3) 源涵养能力随降水量和林地面积增加而增强,随园地面积增加而减弱,而耕地对水源涵养能力的影响较小,此外植被覆盖率的大小不能反映水源地水源涵养能力的强弱。

参考文献:

[1] 刘世荣,孙鹏森,温远光. 中国主要森林生态系统水文功能的比较研究[J]. 植物生态学报,2003,27(1):16-22.  
[2] 张彪,李文华,谢高地,等. 森林生态系统的水源涵养功能及其计量方法[J]. 生态学杂志,2009,28(3):529-534.  
[3] 鲁春霞,谢高地,肖玉,等. 青藏高原生态系统服务功能的价值评估[J]. 生态学报,2004,24(12):2749-2755.  
[4] 孟广涛,方向京,李贵祥,等. 云南金沙江流域不同植被

较高,但因以园地为主,受人类活动影响较大,其总径流和基流均为最小。另外,马家庄站所处的九溪河流域位于西南暖湿气流向北输送的背风坡,降水量相对较小,导致了该流域的水源涵养能力最弱。

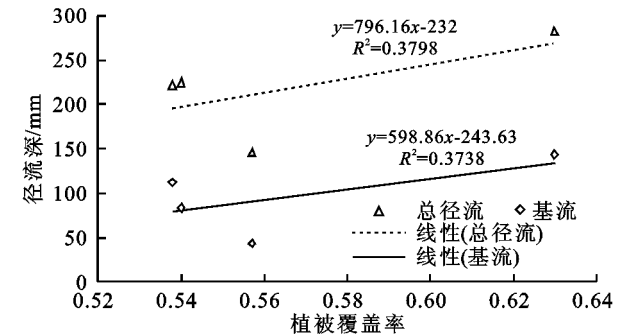
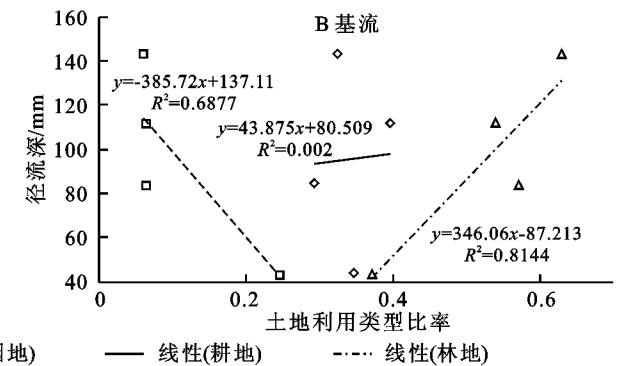


图 3 植被覆盖率与径流深的关系



类型水源涵养能力分析[J]. 水土保持研究,2007,14(4):160-163.  
[5] 贾彦龙,许晴,许中旗,等. 燕山北部山地典型植物群落水源涵养能力研究[J]. 水土保持通报,2012,32(6):16-21.  
[6] 关品高. 昆明市松华坝水源区森林植被类型及水源涵养量估算[J]. 山东林业科技,2011,41(2):57-59.  
[7] 石朋,芮孝芳,瞿思敏,等. 一种通过地形指数计算流域蓄蓄水容量的方法[J]. 水科学进展,2008,19(2):264-267.  
[8] 段琪彩,方绍东,王杰,等. 昆明市松华坝水源地水源涵养能力时空变化研究[J]. 中国农村水利水电,2012(10):170-173.  
[9] 权锦,马建良. 石羊河流域基流分割及特征分析[J]. 水电能源科学,2010,28(1):15-17.  
[10] Ignatov A, Gutman G. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models [J]. International Journal of Remote Sensing,2010,19(8):1533-1543.  
[11] 甘小莉,孙德泉,张林波,等. 自然因素对祁连山水源涵养能力影响研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(4):2186-2188.  
[12] 王先礼,张志强. 森林植被变化的水文生态效应研究进展[J]. 世界林业研究,1998(6):14-23.  
[13] 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[J]. 自然资源学报,2001,16(5):481-487.