

玉溪东风水库主要森林类型水源涵养功能综合评价

陈明义

(云南师范大学 旅游与地理科学学院,云南 昆明 650500)

摘要:东风水库是玉溪市重要水源地,是生态建设和水源保护的重点区域。为探究该区域森林水源涵养功能,选取枯落物最大持水率、蓄积量、有效拦蓄量以及土壤总孔隙度、非毛管孔隙度、土层厚度、土壤最大蓄水量为评价指标,构建森林水源涵养功能的综合评价方法,通过对东风水库流域范围内的5种主要森林类型的水源涵养功能进行综合评价。结果表明:5种主要森林类型的水源涵养功能都不是很好。水源涵养功能由大到小为板栗林、圣诞树林、冈栎林、混交林、杉木林。其中圣诞树林、冈栎林、板栗林的水源涵养功能较好,杉木林、混交林的水源涵养功能较差。

关键词:东风水库;水源涵养功能;森林类型;土壤水分

中图分类号:S715 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)09-0132-04 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.09.0132

森林的水源涵养功能是森林生态服务功能的重要功能之一,不同的森林类型由于其生态学特性的差异,其整体水源涵养功能存在一定的差异^[1-2]。森林具有保持水土、涵养水源、改善生态环境等功能,探讨不同类型森林类型涵养水源功能的关系,对合理经营森林资源,改善森林水环境、恢复生态环境、实现水资源的科学管理和利用具有重要意义^[3]。了解水源地森林植被类型对气候变化的响应及其水源涵养功能,对制定有效地干旱应对措施和水源地保护策略都具有重要的指导意义。森林的水源涵养功能一般是通过林冠层、枯枝落叶层和土壤层对降水的再分配过程来体现的,这3个作用层的有机结合,使降水得到有效的拦蓄和合理的分配,从而发挥森林的水源涵养功能。

本文着重对玉溪东风水库5种主要森林类型的枯枝落叶层吸持水性能及土壤层蓄水性能进行研究。选取枯落物最大持水率、蓄积量、有效拦蓄量和土壤最大蓄水量、土层厚度以及土壤总孔隙度、非毛管孔隙度为评价指标,构建森林的水源涵养功能综合评价方法。运用此方法对玉溪东风水库杉木林、冈栎林、圣诞树林、板栗林、混交林(云南松、冈栎林)5种主要森林类型的水源涵养功能进行定性评价,为综合衡量该区主要森林类型的水源涵养功能提供参考和依据。

1 研究区概况

玉溪东风水库位于玉溪市东部,距市区4 km,地理位置为N24°12'~24°28',E102°33'~102°43',其东为大矣资,西邻坝区,北至江川口,南至沙头村。地处坝区边缘的山谷峡口。流域面积为309.6 km²,库容量为7 295.6万~8 460万 m³,水面面积约366万 m²,供应玉溪市16万人日常生活和用水,综合生活供水量为每年1 680 m³,是玉溪市城区居民生活和工农业用水的重要水源,也是玉溪市目前最大的中型水库。水系呈向心状,入库水源主要有大矣资河(河长20 km),赵元河(河长15 km)和九溪河(河长15 km)。东风水库流域范围属于亚热带高原型季风气候,年平均降雨量为918.4 mm,年平均气温为16.2℃。土壤类型有燥红土、赤红土、红壤、黄棕壤、棕壤、红色石灰土、水稻土等9个土类,39个土属,82个土种^[5]。森林植被类型主要有云南松(*Pinus yunnanensis faranch*)、青冈栎(*Cyclobalanopsis lauca*)、杉木(*Cunninghamialanceolata*)、桉树(*eucalyptus*)、板栗(*astaneamollissim*)、鱼骨松(*Fishbone loose*)、旱冬瓜(*Alnus nepalensis*)、毛竹(*Phyllostachys heterocycl*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置

在杉木林、冈栎林、圣诞树林、板栗林、混交林(云南松、冈栎林)中选取典型样地,进行常规调查。记录其海拔、坡度、坡向、树高、树龄、郁闭度等信息。各样地基本特征见表1。

收稿日期:2016-07-20

作者简介:陈明义(1991-),男,云南省昌宁县人,在读硕士,从事水土保持、生态恢复等方面研究。E-mail:1121433075@qq.com。

表 1 样地基本特征
Table 1 Sample collection area case

森林类型 Forest types	海拔/m Altitude	坡度/° V	平均树高/m Average tree height	平均树龄/a Average age	郁闭度 Crown density	土壤厚度/cm Soil thickness
杉木林 Chinese fir forest	1844.2	30	5	6	0.3	57~61
冈栎林 Oak forest	1936.4	44	19	35	0.4	61~64
圣诞树林 Christmas trees	1849.1	18	15	10	0.3	62~65
板栗林 Chestnut forest	1836.5	9	3	8	0.2	100 以上
混交林 Mixed forest	1786.1	29	5	7	0.4	60~62

2.2 枯落物蓄积量及其持水性能的测定

采集 0.25 m² 样方内的枯落物,测量并记录其厚度,并将采集的枯落物装袋后称取鲜重。带回室内后,在 80 ℃ 的温度下烘干至恒定质量,称取干重,用烘干枯落物质量推算不同森林类型枯落物的含水量以及单位面积蓄积量;枯落物持水性能采用浸水法测定。将烘干的枯落物放置在尼龙网袋中完全放入水中浸泡 24 h,24 h 后取出静置至没有水滴滴落时称重,此时枯落物的持水量为最大持水量,此时枯落物质量与浸水前质量的比值为最大持水率。枯落物对雨水的实际拦蓄量叫做有效拦蓄量,其计算公式为:

$$W = (0.85R_m - R_0)M$$

式中:W 为有效拦截量(t·hm⁻²);R_m 为最大持水率(%);R₀ 为平均自然含水率(%);M 为枯落物蓄积量(t·hm⁻²)。

2.3 土壤水分物理性质测定

环刀法采样。分别在 5 种主要森林类型中选取具有代表性的地点,挖掘土壤剖面,用铝盒和环刀在剖面上按照 0~20 cm,20~40 cm,40~60 cm 进行垂直分层采样,每层 3 个重复。

采用吸力平板法测定土壤孔隙度。土壤最大蓄水量依据土壤孔隙度计算得出。各计算公式为:

$$P_t = 1 \times \frac{\rho_B}{\rho_s} \times 100$$

式中:P_t 为土壤总孔隙度,%;ρ_B 为土壤容重,(g·cm⁻³);ρ_s 为土粒密度,一般为 2.65(g·cm⁻³)。

$$P_{c1} = \frac{m_3 - m_2}{Vx\rho} \times 100$$

$$P_{c2} = P_t - P_{c1}$$

式中:P_{c1} 为毛管孔隙度,%;m₃、m₂ 分别为 0.25 kPa 吸力时环刀+土样的质量和环刀+烘干土质量;V 为环刀容积,100 cm³;ρ 为水的密度,1 g·cm⁻³;P_{c2} 为非毛管孔隙度,%。

$$S = 100 \times P_t \times H$$

式中:S 为土壤最大蓄水量,mm;H 为土壤

厚度,cm。

2.4 森林水源涵养功能综合评价方法的构建

2.4.1 评价原理 加权评价法具有方便、实用的特点,所以采用此方法作为水源涵养功能综合评价方法。该方法首先是赋予方案每个指标权重,然后对方案各评价指标下实测值的评分值求加权。用数学公式表达为:

$$U = \sum_{i=1}^n w_i V_i(x_i)$$

式中:U 为评价方案的加权综合评价值;x_i 为评价方案第 i 个指标的实测值;V_i(x_i) 为 x_i 的评分值;w_i 为评价体系中第 i 个指标的权重系数。

V_i(x_i) 由构造出不同评价指标的岭形评分函数计算得出。因岭形函数的特性,所以其评分值的大小在[0,1]中变化。

$$V_i(x_i)_{\min} = \begin{cases} 1, & x_i \leq a_2 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_1 - a_2} \left(x_i - \frac{a_1 + a_2}{2} \right), & a_2 < x_i \leq a_1 \\ 0, & x_i > a_1 \end{cases}$$

V_i(x_i)_{max} 曲为第 i 个指标偏小型岭形函数,在(a₁,a₂)]中呈递减趋势,即 x_i 值越小,评分值 V_i(x_i)_{min} 越高(a₁,a₂ 为指标 x_i 的上下限阈值)。

$$V_i(x_i)_{\max} = \begin{cases} 1, & x_i > a_1 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_1 - a_2} \left(x_i - \frac{a_1 + a_2}{2} \right), & a_2 < x_i \leq a_1 \\ 0, & x_i \leq a_2 \end{cases}$$

V_i(x_i)_{max} 为第 i 个指标偏大型岭形函数,在(a₂,a₁)]中呈递增趋势,即 x_i 值越大,评分值 V_i(x_i)_{max} 越高。

2.4.2 评价指标及阈值选取 (1)枯落物层指标:森林的枯落物层作为森林水文涵养功能的第二个作用层,在截留降雨、拦蓄地表径流、减少土壤水分蒸发以及增加土壤水分入渗等方面发挥着重大作用。不同森林类型的枯落物性状不同,其水源涵养能力也不一样,影响枯落物水源涵养能

力的因素有枯落物类型、储量、分解程度等。枯落物的涵养水源的作用主要体现在其吸持水的性能上,体现其吸持水性能的指标主要有枯落物蓄积量、枯落物最大持水率、枯落物有效拦蓄量。因此本文选择枯落物蓄积量(x_1)、最大持水率(x_2)、有效拦蓄量(x_3)作为枯落物层的评价指标。

王世荣等^[6]指出我国主要森林枯落物层蓄积量的变化范围为 3.5~26.8 t·hm⁻²,枯落物层的最大持水率变化范围为 200%~500%。参照这一研究结果,设定指标 x_1 的上限阈值为 25.0 t·hm⁻²,下限阈值为 1.1 t·hm⁻²;设定指标 x_2 的上限阈值为 500%,下限阈值为 150%;设定指标 x_3 的上限阈值为 30 t·hm⁻²,下限阈值为 1 t·hm⁻²。

(2)土壤层指标:林地土壤是森林涵养水源的主体,是森林最大的贮水库和水分调节器。森林土壤水文物理性质是决定森林生态水文功能的重要基础,是反映森林植被保持水土和涵养水源作用的重要水文参数^[7]。不同的森林土壤有不同的水文物理性质。森林土壤的涵养水源功能主要体现在蓄水性能和土壤渗透性能上,本文选取更为重要的土壤蓄水性能作为评价指标。表征土壤蓄

水性能的指标有含水量、孔隙度、土壤厚度、蓄水量等,其中最重要的是土壤厚度、总蓄水量、总孔隙度、非毛管孔隙度,因此选取土壤厚度(x_4)、土壤总蓄水量(x_5)、土壤总孔隙度(x_6)、土壤非毛管孔隙度(x_7)作为土壤层的评价指标。

参照林地立地质量评价相关方法^[8],设定指标 x_4 的上限阈值为 100 cm,下限阈值为 20 cm;参考土壤总蓄水量的一般范围,设定指标 x_5 的上限阈值为 4 000 t·hm⁻²,下限阈值为 600 t·hm⁻²;参考土壤总孔隙度的一般范围^[9],设定指标 x_6 的上限阈值为 60%,下限阈值为 30%;参考土壤非毛管孔隙度的一般范围^[10],设定指标 x_7 的上限阈值为 20%,下限阈值为 5%。

2.4.3 评价指标权重的确定及综合水源涵养功能等级的划分 依据选取的评价指标及其各自的阈值,进而采用专家打分法为各评价指标赋予权重。各评价指标的上下限阈值及权重系数见表 2。

根据森林水源涵养功能综合评价价值的大小,将森林水源涵养功能划分为 5 个功能等级:好(0.8~1.0)、较好(0.6~0.8)、中等(0.4~0.6)、较差(0.2~0.4)、差(0~0.2)。

表 2 各评价指标的权重系数及阈值

评价指标 Evaluation index	枯落物层指标 Litter layer index			土壤层指标 Hydrogels index			
	$x_1/(t\cdot hm^{-2})$	$x_2/\%$	$x_3/(t\cdot hm^{-2})$	x_4/cm	$x_5/(t\cdot hm^{-2})$	$x_6/\%$	$x_7/\%$
权重系数 Weight coefficient	0.2	0.2	0.11	0.10	0.12	0.12	0.15
上限阈值 Upper threshold	30.0	500	30	100	4000	60	20
下限阈值 Lowerthreshold	3.0	200	1	20	600	30	5

2.4.4 各评价指标分值的计算 $V_i(x_i)$ 在(α_2 , α_1)]中呈递增趋势,所以选择 $V_i(x_i)_{max}$ 进行计算。

3 结果与分析

玉溪东风水库 5 种不同森林类型的各水源涵养功能评价指标实测值见表 3,表 3 中各值均为统计平均值。

根据综合评价结果,综合评价价值大小顺序为

板栗林(0.573 5)>圣诞树林(0.551 3)>冈栎林(0.503 3)>混交林(0.322 3)>杉木林(0.301 2)。依据水源涵养功能等级,杉木林和混交林的功能等级为较差,冈栎林、圣诞树林和板栗林的功能等级为中等。5 种森林类型的水源涵养功能综合评价价值都相对较低,表明此 5 种森林的水源涵养功能都不佳。

表 3 各评价指标的实测值

森林类型 Forest type	$x_1/(t\cdot hm^{-2})$	$x_2/\%$	$x_3/(t\cdot hm^{-2})$	x_4/cm	$x_5/(t\cdot hm^{-2})$	$x_6/\%$	$x_7/\%$
杉木林 Chinese fir forest	5.87	185.85	8.99	59	2712.17	45.21	9.34
冈栎林 Oak forest	8.61	196.60	14.54	62	2793.97	46.56	12.63
圣诞树林 Christmas trees	11.55	121.10	11.52	64	2852.83	47.55	13.98
板栗林 Chestnut forest	5.55	250.95	11.48	140	2709.4	54.15	11.95
混交林 Mixed forest	6.40	177.20	9.46	61	2836.11	47.27	9.09

表 4 各评价指标的计算结果及综合评价结果

Table 4 The measured values of each index calculation results of each evaluation index and comprehensive evaluation results

森林类型 Forest type	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	综合评价值 Comprehensive evaluation	功能等级 Fuction level
杉木林 Chinese fir forest	0.0295	0.0999	0.1481	0.4804	0.6904	0.5110	0.1717	0.3012	较差
冈栎林 Oak forest	0.2090	0.1481	0.4481	0.5393	0.7282	0.5815	0.5135	0.5033	中等
圣诞树林 Christmas trees	0.4017	0	0.2848	0.5785	0.7554	0.6332	0.6538	0.5513	中等
板栗林 Chestnut forest	0.0085	0.3921	0.2827	1	0.6891	0.9780	0.4429	0.5735	中等
混交林 Mixed forest	0.0642	0.0611	0.1735	0.5196	0.7477	0.6186	0.1457	0.3223	较差

4 结论

(1)玉溪市东风水库 5 种主要森林类型的土壤水源涵养能力存在一定差异。枯落物蓄积量最大为圣诞树林,最小为板栗林,其平均值为 $7.596\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,其范围在 $5.55\sim11.55\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;枯落物最大持水率在 $121.10\%\sim196.60\%$,平均值为 186.34% ,最大为板栗林,最小为混交林(云南松、冈栎林);枯落物有效拦蓄量最大为冈栎林,最小为混交林,其平均值为 $11.198\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,其范围在 $8.99\sim14.54\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。土壤厚度在 $59\sim140\text{ cm}$,平均值为 77.2 cm ,最大为板栗林,最小为杉木林;土壤最大蓄水量在 $2\,852.83\sim2\,712.17\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均值为 $2\,780.896\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,最大为圣诞树林,最小为杉木林;土壤总孔隙度由小到大数据为杉木林、冈栎林、混交林、圣诞树林、板栗林;土壤非毛管孔隙度由大到大数据为混交林、杉木林、板栗林、冈栎林、圣诞树林。

(2)综合水源涵养功能大小排序为板栗林>圣诞树林>冈栎林>混交林>杉木林。其中混交林、杉木林的水源涵养功能稍差,功能等级为较差,板栗林、冈栎林、圣诞树林的水源涵养功能稍好一些,功能等级为中等。

经过对玉溪市东风水库 5 种主要森林类型的综合评价,发现其水源涵养功能不佳,有必要采取措施予以改善。

参考文献:

[1] 孙艳红,张洪江,程金花,等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2006,20(2): 106-109.

[2] 张国防,童美坤,曾建荣,等. 闽江流域洪灾与森林生态环境的研究 I. 闽江流域洪灾成因与森林的水文效应[J]. 福建林业科技,2000,27(1):45-66.

[3] 黄庆丰,高健,吴泽民. 不同林地类型土壤肥力状况及水源涵养功能的研究[J]. 安徽农业大学学报,2002,29(1): 82-86.

[4] 高甲荣. 长江上游亚高山暗针叶林林地水文作用初探[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4):75-79.

[5] 朱佩华. 玉溪市东风水库的保护与利用[J]. 云南环境科学, 2012,1(4):79-83.

[6] 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.

[7] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994:18-25.

[8] 康健,王蓝,孙长忠. 森林立地定量评价与分类[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1988:28-42.

[9] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,2004: 131-135.

[10] 鲁绍伟,毛富玲,靳芳,等. 中国森林生态系统水源涵养功能[J]. 水土保持研究,2005,12(4):223-226.

Comprehensive Evaluation on Water Conservation Function of Main Stand Types in Yuxi Dongfeng Reservoir

CHEN Ming-yi

(School of Tourism and Geography Science of Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500)

Abstract: Yuxi Dongfeng Reservoir is an important water source, as well as the emphasis of ecological construction and water source protection area. Through the Dongfeng Reservoir basin within the scope of the five main types of water conservation forest function, the comprehensive evaluation was carried on. Litter maximum moisture rate, volume, effective held and soil total porosity and capillary porosity, soil thickness, soil maximum storage capacity were selected as the evaluation index, the comprehensive evaluation method of forest function of water conservation was constructed. The results showed that 5 kinds of main forest types of water conservation function was not very good. Water conservation function from big to small was chestnut forest, Christmas trees, oak forest, mixed forest and Chinese fir forest. The Christmas trees, oak forest and chestnut forest were better for water conservation function, Chinese fir forest and mixed forests had poor water conservation functions.

Keywords: Dongfeng Reservoir; water conservation function; forest type; soil moisture