

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2016.01.006

# 四川王朗自然保护区土壤水源涵养能力评价

舒联方<sup>1</sup>, 盛晓琼<sup>2</sup>, 李德文<sup>1</sup>

(1. 四川省林业调查规划院, 四川 成都 610081; 2. 旺苍县林业和园林局, 四川 旺苍 622800)

**摘要:**采用实地调查和环刀法,研究了王朗自然保护区7种典型生态系统(糙野青茅草地、柳树灌丛、白桦林、混交林、冷杉林、云杉林和方枝柏林)的土壤持水能力,并以此为基础评价了王朗自然保护区的土壤水源涵养能力。结果表明:同一生态系统土壤容重随深度极显著上升而持水能力随深度极显著下降,生态系统类型对土壤容重和持水能力有极显著影响,以混交林土壤平均容重最小和持水效果最好;王朗自然保护区土壤的最大持水能力为90 870 361 t,主要贡献都是草地生态系统和混交林。生态系统对区域土壤持水的贡献取决于其面积的大小及其本身的持水能力。基于土壤持水能力的生态系统定向管理中,应加强混交林的建设,在构建的过程中还应注意群落的结构及减少人为干扰。

**关键词:**土壤;持水能力;生态系统;王朗自然保护区

**中图分类号:**S715 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5508(2016)01-033-04

## Soil Water-holding Capacity of Wanglang National Nature Reserve in Western Sichuan

SHU Lian-fang<sup>1</sup> SHENG Xiao-qiong<sup>2</sup> LI De-wen<sup>1</sup>

(1. Sichuan of Forest Inventory and Plan Institute, Chengdu 610081, China;

2. Wangchang Forestry and Garden Administration Bureau, Wangchang 622800, China)

**Abstract:** In this paper, studies were made of the soil water-holding capacity of 7 typical ecosystems, which were grass land (dominated by *Deyeuxia scabrescens*), shrub (dominated by *Salix paraqpleisia*), broadleaf forest (dominated by *Betula platyphylla*), mixed forest (dominated by *Betula* spp. and *Abies faxoniana*), fir forest (dominated by *Abies faxoniana*), spruce forest (dominated by *Picea purpurea*) and cypress forest (dominated by *Sabina salutaria*) in Wanglang National Nature Reserve (WNNR) in the subalpine of western Sichuan by field survey and ring shear testing, and the assessment were conducted on the regional soil water-holding capacity in Wanglang National Nature Reserve (WNNR). The results indicated that in the studied 7 ecosystems, the soil bulk density increased with the increasing of the depth while the soil water-holding capacity decreased with the increasing of the depth significantly. Ecosystems largely affected the soil bulk density and soil water-holding capacity, and the soil of mixed forest had the smallest bulk density and the largest water-holding capacity. The soil of WNNR could hold 90 870 361 t in all of the studied 7 ecosystems, which were contributed by grass land and mixed forest. Therefore, the contribution to regional soil water-holding depended on the size of a given ecosystem and its water-holding capacity. It was also indicated that ecosystem management for increasing the water-holding capacity should be strengthened to establish the mixed forest, and much attention should be paid to the ecosystem structure and removing human disturbance.

**Key words:** Soil, Water-holding capacity, Ecosystem, Wanglang National Nature Reserve

收稿日期:2015-11-24

基金项目:四川省教育厅项目资助(11ZA290)。

作者简介:舒联方(1974-),男,高级工程师,主要工作方向生态保护与建设、森林经营工作。

随着森林资源的不断减少,森林生态系统的水源涵养、水土保持、碳汇等多重效益越来越受到国际社会的广泛关注。土壤是森林生长的基础,也是生态系统进行水源涵养的重要成分,因而众多学者对森林土壤的持水进行了大量研究。这些研究涉及到亚热带常绿阔叶林<sup>[1]</sup>、荒漠生态系统<sup>[2]</sup>、落叶阔叶林与落叶针阔混交林<sup>[3]</sup>、亚高山针叶林与灌丛<sup>[4]</sup>、草地生态系统<sup>[5]</sup>。人工植被恢复过程中的土壤或地被物持水能力也有研究<sup>[6]</sup>。然而,少有研究涉及区域土壤的持水能力评价。

川西亚高山是我国第 2 大林区的主体部分,该区域森林集中分布于长江上游的金沙江、雅砻江、岷江、大渡河等流域及其支流,森林和水资源极为丰富;为工农业生产和人民生活提供了大量用水。该区域也被誉为“重要的生态屏障”和“中国水塔的半壁江山”;目前该区域已成为水利开发的热点,已完成或正在进行大量(梯级)水电站的建设;因此,急需在川西亚高山开展基于生态系统尺度的区域水源涵养能力的评估<sup>[7]</sup>。遗憾的是:这一基础数据积累的研究较少开展,目前仅限于对生态系统的土壤持水能力评价<sup>[8]</sup>,或区域地被物持水能力评价<sup>[7]</sup>,而对基于生态系统尺度的区域水源涵养能力评价的研究尚未见报道。因此,本研究以川西亚高山王朗国家级自然保护区内的典型生态系统为研究对象,假定相同生态系统土壤的水源涵养功能一致,采用环刀法分析不同生态系统土壤的水源涵养功能,以此阐明亚高山土壤在区域水源涵养中的作用。以期评估亚高山水源涵养功能、区域水资源补偿提供重要参数和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究地设在四川省平武县境内的王朗国家级自然保护区(E 103°55′~104°10′,N 32°49′~33°02′,总面积 321.15 km<sup>2</sup>,下文简称王朗)。该区域植被多数是 20 世纪 60 年代初建立自然保护区后恢复起来的次生天然林,且垂直地带性明显。区内植物垂直带谱为针阔混交林和落叶阔叶林(2 300 m~2 600 m)、岷江冷杉林(*Abies faxoniana*)和少量紫果云杉(*Picea purpurea*)—方枝柏林(*Sabina saltuaria*)(2 600 m~3 500 m)、亚高山灌丛草甸(3 500 m~4 400 m)、高山流石滩植被(4 400 m~4 900 m)、海拔 4 900 m 以上为高山荒漠带。

### 1.2 研究方法

利用 1:50 000 的地形图,首先对王朗的所有生

态系统类型进行踏查,在对整个区域生态系统了解的基础上,将区域生态系统划分为 4 大类 10 类:森林包括白桦林、混交林、云杉林、冷杉林和方枝柏林,灌丛包括高山柳和山光杜鹃—金露梅,草地包括糙野青茅和高山莎草,此外还有高山流石滩生态系统<sup>[7]</sup>。因流石滩分布的地段较危险、不易到达,山光杜鹃—金露梅灌丛、高山莎草草地的面积较小,因此没有将这 3 类生态系统列为研究对象;故研究土壤持水能力时没有涉及高山流石滩,而将杜鹃—金露梅灌丛和高山莎草草地的面积分别并入类似的高山柳灌丛和糙野青茅草地(后文中简称为灌丛和草地)。在调查时本着“易到达、危险小、便于调查”的原则确定每种类型 10 个样方(共 70 个)进行调查:在每个样方中心挖一个剖面,参考张远冬等 2009 年在川西亚高山<sup>[4]</sup>的方法分 0~20 cm、20 cm~40 cm、40 cm~60 cm 用环刀收集原状土壤样品。

土壤容重和持水量使用环刀法一次取样连续测定,将装有原状土壤的环刀在水中浸泡 12 h 称量( $m_{s0}$ , g),计算最大持水量( $C_{max}$ , g·cm<sup>-3</sup>);然后放于干砂上 2 h,此时环刀中土壤的非毛管水已全部流出,称量( $m_{s2}$ , g)计算毛管持水量( $C_{cap}$ , g·cm<sup>-3</sup>);再将其放于干砂上 24 h,此时环刀中土壤的水分为毛管悬着水,称量( $m_{s3}$ , g)计算最小持水量( $C_{min}$ , g·cm<sup>-3</sup>);然后对环刀中土壤再次取样,放入铝盒中烘干,将环刀中的湿土质量转换成干土质量( $m_{s0}$ , g)。该方法详见《森林土壤定位研究方法》<sup>[9]</sup>。容重与持水量的计算公式如下:

$$D = \frac{m_{s0}}{V}$$

$$C_{max} = \frac{m_{s1} - m_{s0}}{V}$$

$$C_{cap} = \frac{m_{s2} - m_{s0}}{V}$$

$$C_{min} = \frac{m_{s3} - m_{s0}}{V}$$

式中, $m_{s0}$ 、 $m_{s1}$ 、 $m_{s2}$ 和 $m_{s3}$ (g)分别为环刀内土壤干质量、浸泡 12h 后的饱和质量、失去非毛管水后的质量和仅持有毛管悬着水的质量; $V$ (cm<sup>3</sup>)为环刀容积; $C_{max}$ 、 $C_{cap}$ 和 $C_{min}$ (g·cm<sup>-3</sup>)分别为土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水(田间持水)量。单位换算后将各层累计可求出单位生态系统面积 0~60 cm 的最大持水量(t·hm<sup>-2</sup>)。

区域的生态系统面积及其土壤水源涵养能力均用 Arc/InfoGIS 和 ArcView GIS 进行统计。采用 SPSS17.0 对生态系统类型和土层的持水差异进行方差分析和显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤容重

本研究中,土壤容重因生态系统及其所在的土壤层次而异(表1)。在各生态系统中,随着土层深度的增加,土壤容重极显著增加。最上层(0~20

cm)表现为:草地最大,柳树灌丛次之,混交林最小;中间层(20 cm~40 cm)为柳树最大,草地次之,混交林仍为最小;最下层(40 cm~60 cm)则为方枝柏最大,草地次之,混交林最小。综合各层,则土壤容重的大小依次为:混交林<云杉<冷杉林<白桦林<方枝柏林<柳树灌丛<草地。

表1 王朗几种主要生态系统的土壤容重及持水量( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )

项目	土壤层次(cm)	方枝柏林	云杉林	冷杉林	柳树灌丛	草地	白桦林	混交林
容重	0~20	0.7216bB	0.5688dCD	0.6029cC	0.8278aA	0.8447aA	0.6996bB	0.5252eD
	20~40	0.9355bA	0.7476dC	0.7628dC	0.9700aA	0.9508abA	0.8340cB	0.6853eD
	40~60	1.1746aA	0.9387dD	1.0290cBC	1.0771bB	1.1572aA	1.0747bB	0.9821dCD
	平均	0.9439bB	0.7517eE	0.7982dD	0.9583bB	0.9843aA	0.8694cC	0.7357eE
最大持水	0~20	0.6760dD	0.7593bB	0.7379cC	0.6424eE	0.5387fF	0.6418eE	0.7937aA
	20~40	0.6282bB	0.6047cC	0.6032cC	0.5527dD	0.4343fF	0.5058eE	0.6491aA
	40~60	0.4999cBC	0.5436aA	0.5116bcB	0.4832dC	0.3934fE	0.4233eD	0.5155bB
	合计	1.8041dD	1.9075bB	1.8528cC	1.6783eE	1.3664gG	1.5708fF	1.9583aA
毛管持水	0~20	0.5682bB	0.6380aA	0.5124cC	0.4812dD	0.4386eE	0.4060fF	0.5622bB
	20~40	0.4910aA	0.4647bB	0.4468cB	0.4178dC	0.3409eD	0.3535eD	0.5050aA
	40~60	0.3219bB	0.4131aA	0.4087aA	0.3227bB	0.2986cC	0.3168bB	0.4083aA
	合计	1.3811cC	1.5159aA	1.3679cC	1.2216dD	1.0781eE	1.0763eE	1.4755bB
最小持水	0~20	0.4676aA	0.4295bB	0.4232bB	0.3815cC	0.2753dD	0.2806dD	0.4337bB
	20~40	0.3560aA	0.3618aA	0.3595aA	0.3295bB	0.2346cC	0.2190dD	0.3615aA
	40~60	0.3144bB	0.3208abAB	0.3162bAB	0.2860cC	0.2040eE	0.2339dD	0.3289aA
	合计	1.1381aA	1.1122bBC	1.0989bC	0.9970cD	0.7138eE	0.7335dE	1.1241aAB

注:同一土层同行数据后的不同字母表示各生态系统间该指标有显著差异(小写为 $P < 0.05$ ,大写为 $P < 0.01$ );下同。

### 2.2 生态系统土壤持水

在本研究所涉及的几种生态系统中,土壤各类持水量均随着深度增加而极显著降低。与土壤容重类似,生态系统类型对土壤持水也具有显著或极显著影响(表1)。最大持水中,各层均以混交林最大,草地最小;各生态系统的最大持水能力依次为:混交林>云杉林>冷杉林>方枝柏林>柳树灌丛>白桦林>草地毛管持水中,0~20 cm和40 cm~60 cm以云杉林最大,20 cm~40 cm则以混交林最大;各生态系统的毛管持水能力依次为:云杉林>混交林>方枝柏林>冷杉林>柳树灌丛>白桦林>草地。最小持水中,0~20 cm以方枝柏最大,20 cm~40 cm以云杉林最大,40 cm~60 cm则以混交林最大;各

生态系统的毛管持水能力依次为:方枝柏林>混交林>云杉林>冷杉林>柳树灌丛>白桦林>草地。表1还表明,生态系统类型对土壤持水量明显的影响,特别是对土壤最大持水有极显著的影响。

### 2.3 区域土壤持水量

在王朗自然保护区内,面积最大的是草地生态系统,依次为混交林、灌丛和流石滩,方枝柏、云杉林和白桦林的面积相对较少(表2)。尽管在生态系统尺度上草地的各种土壤持水均最小;但从整个保护区看,草地的各类土壤持水远远大于其他生态系统(表2)。尽管白桦林的面积略大于云杉林和方枝柏林,但因其本身的持水能力低于云杉林和方枝柏林,因而在保护区内,白桦林的持水能力最小(表2)。

表2 王朗土壤持水能力评估

生态系统类型	面积		最大持水			毛管持水			最小持水		
	大小( $\text{hm}^2$ )	百分比(%)	生态系统( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	保护区(t)	百分比(%)	生态系统( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	保护区(t)	百分比(%)	生态系统( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	保护区(t)	百分比(%)
草地	11134.92	34.70	2732.70	30428340	33.49	2156.15	24008502	34.88	1427.60	15896156	31.18
灌丛	4401.04	13.70	3356.57	14772399	16.26	2443.17	10752489	15.62	1993.92	8775322	17.22
白桦林	1573.31	4.90	3141.60	4942711	5.44	2152.60	3386707	4.92	1466.90	2307888	4.53
混交林	4705.99	14.70	3919.80	18446540	20.30	2934.95	13811845	20.07	2258.15	10626831	20.85
冷杉林	3263.65	10.20	3705.50	12093455	13.31	2735.85	8928857	12.97	2197.80	7172850	14.07
云杉林	1265.77	3.94	3814.95	4828849	5.31	3031.70	3837435	5.58	2224.35	2815515	5.52
方枝柏林	1484.98	4.62	3608.18	5358068	5.90	2762.20	4101812	5.96	2276.15	3380037	6.63
流石滩	4285.46	13.24									
合计	32115.12	100.00		90870361	100.00		68827647	100.00		50974600	100.00

### 3 讨论

本研究表明,同一生态系统中,土壤容重均表现为沿土壤深度增加逐渐变大,与徐友信等 2009 年在太行山<sup>[10]</sup>和张远东等 2009 年在米亚罗<sup>[4]</sup>的研究结果一致。生态系统优势植物不同,其土壤容重在植物的作用下也不一致,表现为森林 > 灌丛 > 草地。即使优势种同为白桦,群落结构、生境差异和人为干扰等因素对土壤容重产生明显的影响,因而本研究中的土壤容重总体上小于米亚罗同类生态系统<sup>[4]</sup>。

在一个生态系统中,土壤的持水能力随着土壤深度的增加而明显降低,主要是因为随着深度的增加,植物的影响逐渐降低。在所研究的几类生态系统中,优势植物不同,其生态系统的土壤持水的影响亦有显著或极显著差异,总体上表现为森林 > 灌丛 > 草地,与潘春翔等 2012 年在湖南乌云界自然保护区<sup>[1]</sup>的研究结果一致。几类生态系统的土壤持水能力与程金花等 2002 年在贡嘎山<sup>[11]</sup>的研究类似。白桦林的土壤结构和持水能力比柳树灌丛差的原因在于其林下为长期的放牧场所。综合比较几类生态系统的持水能力与群落结构还发现,生态系统中适当地增加阔叶树有利于促进生态系统土壤的持水能力。

本研究表明,王朗自然保护区 7 类生态系统土壤的最大持水、毛管持水和最小持水(田间持水)分别为 90 870 361 t、68 827 647 t 和 50 974 600 t。其主要贡献均以草地生态系统、混交林、灌丛生态系统和冷杉林为主。因此,就区域土壤持水能力评价而言,其贡献取决于其在区域所占的面积百分比及其本身的持水能力。尽管本研究力图通过生态系统详查、对生态系统进行实地调查,但因该保护区还有面积达 4 285.46 hm<sup>2</sup> 的高山流石滩没加以考虑,因而总体上的评价趋于保守。虽然还有极少量的其他生态系统类型(如公路、驻地、河流等)未加以考虑,但显然其土壤持水功能不足以和面积占保护区总面积的 13.34% 的高山流石滩比较。

此外,如从植被恢复的角度看,总体表现为随着植被恢复的进行,土壤持水能力得到提高。但同类生态系统也存在明显的差异,如云杉林和冷杉林同为川西亚高山的顶极群落,但因群落结构不同,其林下土壤的持水能力也差异明显。云杉林因上层林木的遮荫没有冷杉林强,下层的灌木的草本比冷杉林茂盛,因而其对土壤的影响也更明显,致使其土壤持

水能力极显著高于冷杉林。因此,在将来基于生态系统水源涵养的定向管理中,构建生态系统的结构时,应以构建演替中后期的植被系统为主,除考虑优势植物的时候需要添加阔叶树种外,还需要考虑群落的下层植物配置与减少人为干扰。

### 4 结论

土壤容重随着土壤深度的增加极显著的增加,生态系统类型对土壤容重的影响明显。土壤持水量受到生态系统类型及其结构的影响,亦随着土壤深度的增加而极显著降低。王朗自然保护区 7 类生态系统土壤的最大持水、毛管持水和最小持水(田间持水)分别为 90 870 361 t、68 827 647 t 和 50 974 600 t,其贡献均以草地生态系统、混交林为主。因此,从土壤持水能力最强的角度看,将来基于增强生态系统水源涵养的定向管理中应加强混交林的构建,在考虑群落优势种的同时也应考虑群落结构及减少人为干扰。

### 参考文献:

- [1] 潘春翔,李裕元,彭亿,等. 湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能[J]. 生态学报,2012,32(2):538~547.
- [2] 张鼎华,翟明普,贾黎明,等. 沙地土壤种植杨树刺槐混交林后持水特性变化的研究[J]. 应用生态学报,2002,13(8):971~974.
- [3] 姜海燕,赵雨森,陈祥伟,等. 大兴安岭岭南几种主要森林类型土壤水文功能研究[J]. 水土保持学报,2007,21(3):149~153,187.
- [4] 张远东,刘世荣,罗传文,等. 川西亚高山不同土地利用与土地覆盖的地被物及土壤持水性能[J]. 生态学报,2009,29(2):627~635.
- [5] 鲁春霞,于格,谢高地,等. 风蚀条件下人类活动对高寒草地水分保持功能影响的定量模拟[J]. 生态环境,2007,16(4):1289~1293.
- [6] 邹碧,王刚,杨富权,等. 华南热带区不同恢复阶段人工林土壤持水能力研究[J]. 热带亚热带植物学报,2010,18(4):343~349.
- [7] 鲜骏仁,张远彬,胡庭兴,等. 四川王朗自然保护区地被物水源涵养能力评价[J]. 水土保持学报,2008,22(3):47~51.
- [8] 张远东,刘世荣,马姜明. 川西高山和亚高山灌丛的地被物及土壤持水性能[J]. 生态学报,2006,26(9):2775~2782.
- [9] 张万儒,许本彤. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京:中国林业出版社,1986,30~36.
- [10] 徐友信,刘金铜,李宗珍,等. 太行山低山丘陵区不同土地利用条件下土壤容重空间变化特征[J]. 中国农学通报,2009,25(03):218~221.
- [11] 程金花,张洪江,余新晓,等. 贡嘎山冷杉纯林地地被物及土壤持水特性[J]. 北京林业大学学报,2002,3(3):45~49.