

贡嘎山东坡亚高山不同林地土壤水分特性 与生态环境效应

张保华^{1,2,3}, 何毓蓉¹, 周红艺¹, 程根伟¹

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 聊城大学地理系, 山东 聊城 252059;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要:森林土壤水分特性,包括水分的渗透与蒸发、保持与贮存等对森林生态环境都有重要意义。本文研究了长江上游贡嘎山亚高山不同森林类型土壤的水分特征及其生态环境作用,结果表明:成熟林、过熟林土壤在储水、渗透、容水、蒸发和持水特性等多数方面利于保持和改善生态环境,次生或林分单一森林类型次之,林木皆伐后最差。研究区以成熟林和过熟林为主,生态环境保护较好。尽管该区与长江上游其它地区一样同具自然地理条件差、生态环境脆弱的特征,但由于该区森林植被和环境得到了有效保护,土壤水分特性好,促进了森林生态系统的良性循环,生态环境问题得到进一步改善。

关键词:贡嘎山;森林土壤水分特性;生态环境效应

中图分类号:X144

文献标识码:A

森林具有保护和改善生态环境的积极作用。森林土壤是森林生态系统的主要组成部分,其物理性质通过根系而影响林木生长^[1],通过渗透和贮存降雨而影响森林生态系统水量平衡、地表径流的形成和特征。土壤水分是生态系统中最活跃、最具影响的因素之一,是林木生长和发育的必要环境因子^[2]和土壤发育的重要因素,其保持和运动对自然环境和农业生产有着不可忽视的影响。长江上游(宜昌以上)由于地理位置特殊、地势陡峻、河流比降大、降雨丰沛且强度较大,而且人类活动强度大,水土流失、环境脆弱问题较为突出。森林植被是长江流域生态环境保护的绿色屏障、社会经济可持续发展的重要基础、半壁江山的“水塔”^[3],众多学者对长江上游的生态环境表示出极大关注,但迄今为止从整体和宏观角度进行论述较多^[3-5],涉及森林生态系统组成部分影响生态环境机理的研究成果较少。中国林业科学研究院科研人员于20世纪50-60年代在中国西南林区进行科学考察,对森林土壤的发生、

特性及采伐对其影响进行了研究,但主要是为森林资源开发服务,且考察区域以四川马尔康和米亚罗地区为主^[6,7]。贡嘎山属大雪山脉中段,主峰海拔7 556 m,其东坡是长江上游支流大渡河的水源地,自20世纪70年代末以来,中国科学院的科研人员在贡嘎山山地森林生态、山地冰冻圈、山地环境背景和山地资源利用与保护等方面做了大量研究工作^[8-10]。但对于其土壤研究仅限于地理发生分类和分布规律^[10-12],作者等近来在土壤系统分类、微形态特征、土壤结构等方面做了部分工作^[13,14]。本文通过测定贡嘎山东坡亚高山代表性森林类型土壤水分特性并分析其在林木生长、容纳降水减少地表径流等方面的生态环境效应,为该区生态环境保护与建设提供基础依据。

1 研究区概况与研究方法

研究土壤样品采自贡嘎山东坡海螺沟,海拔

收稿日期(Received date):2003-06-10;改回日期(Accepted):2003-07-25。

基金项目(Foundation item):中国科学院知识创新项目(KZCX2-SW-319)。[This work was founded by Knowledge Innovation Program of CAS(KZCX2-SW-319).]

作者简介(Biography):张保华(1971-),男,山东莘县人,讲师,博士生,研究方向为土壤地理与生态环境。E-mail: bhz@imde.ac.cn [ZHANG Baohua(1971-), male, born in Shandong, China. Doctoral candidate, research directions are soil geography and eco-environment.]

2 600~3 600 m, 该区气候-植被垂直差异显著, 土壤成土母质多样, 以花岗岩和砂板岩残坡积物和花岗岩冰碛物为主, 植被受人类活动影响较小, 主要由冷杉、铁杉、云杉等针叶树种及杜鹃类灌木组成。据中科院贡嘎山高山生态观测站资料, 海拔 3 000 m 处月均温为 $-4.8 \sim 12.4$ $^{\circ}\text{C}$, 年均温 4.3 $^{\circ}\text{C}$; 月均降水量介于 22.6~356 mm, 年降水量 1 980 mm。由于自然地理条件的制约, 大多土壤层较薄, 除过熟林(贡 5-1)、成熟林(贡 1-1)土壤剖面层次完整、厚度达 1 m 左右外, 其余林型如次生林(贡 2-2)、幼龄林(贡 6-1)、采伐迹地(贡 3-1)地表 10 cm 左右以下即为成土母质层。

在不同林型下选取合适地段, 挖取土壤剖面。各土壤剖面环境背景为: 贡 1-1, 3 100 m, 地坡 35° , 峨眉冷杉-杜鹃成熟林; 贡 2-2, 3 010 m, 坡度 10° , 峨眉冷杉-冬瓜杨-花楸混高次生林; 贡 3-1, 3 000 m, 坡度平坦, 采伐迹地; 贡 5-1, 2 750 m, 坡度 $^{\circ}$, 峨眉冷杉-铁杉混高过熟林; 贡 6-1, 3 650 m, 坡度 35° , 峨眉冷杉-杜鹃次生幼龄林。更详细

情况见文献[13, 14]。

在土壤剖面 0~15 cm 深度以环刀取原状土, 采用烘干法测定土壤含水量和密度并计算土壤储水量。另取环刀样测饱和土壤下渗速率和土壤孔隙并计算全容水量、非毛管孔隙蓄水能力^[15]。土壤持水性采用砂芯漏斗减压法测定低吸力段(<0.9 bar)土壤脱水过程的水分特征曲线, 土壤蒸发采用饱和薄层扰动土(通过 <2 mm 筛) 40 $^{\circ}\text{C}$ 恒温烘干测定。

2 结果与分析

2.1 土壤自然含水量和储水量

土壤含水量及时空变化对各项土壤理化性质均有直接或间接影响, 特别是对土壤团聚体稳定性、降雨入渗等影响较大^[16, 17]。这些水分将消耗于蒸散发、林木生长和补给地下水以调节径流, 从而体现其生态水文作用。贡嘎山东坡各林型土壤含水量和储水量结果列于表 1。

表 1 土壤密度和储水状况

Table 1 Soil bulk density and water content

剖面编号 Profile No.	贡 1-1	贡 2-2	贡 3-1	贡 5-1	贡 6-1
密度 Bulk density (g/cm^3)	0.541	0.317	0.836	0.353	0.342
土壤含水量重量百分比 Mass water content	84	121	19	178	138
土壤含水量体积百分比 Volumetric water content	45	38	16	63	47
0~15 cm 储水量 water content (t/hm^2)	681.5	575.5	238.5	942.5	762

除采伐迹地(贡 3-1)外, 其余森林类型土壤储水量均较大, 可能和采样时间有关, 同时也反映出林木砍伐对土壤水分的影响。过熟林(贡 5-1)土壤储水量最大, 生态水文作用最强。贡 6-1(幼龄林)土壤储水量亦较大, 可能和土壤层薄因而环刀样品中有机物质多有关。进一步对比土壤容积含水量和 2.2 中土壤孔隙度, 可见样品贡 1-1、贡 2-2、贡 6-1 容积含水量和毛管孔隙度相当, 利于土壤通气和再次接纳降水, 而贡 5-1 总孔隙有近 80% 被水充满, 表明其降雨后水分再分配过程较慢, 贡 3-1 则排水过多而影响植物生长水分需求。

2.2 土壤全容水量和非毛管蓄水能力

土壤全容水量(饱和持水量)反映土体内可能存贮水分的最大数量, 非毛管孔隙由于贮、排水迅速而在森林水文研究中更受重视, 它们反映土壤容纳降水的潜在能力和动态调节能力, 分别由土壤总孔隙

度、非毛管孔隙度与土层厚度相乘得到^[18]。各森林类型土壤孔隙状况和以 15 cm 土层厚度计算的土壤全容水量、非毛管蓄水能力列于表 2。

土壤总孔隙介于 79.31%~62.60%, 15 cm 土层全容水量介于 114.0~93.9 mm, 相对顺序为贡 5-1>贡 6-1>贡 1-1>贡 2-2>贡 3-1; 非毛管孔隙度介于 27.43%~34.55%, 15 cm 土层非毛管蓄水能力介于 41.2~51.8 mm, 相对顺序为贡 5-1>贡 2-2>贡 6-1>贡 1-1>贡 3-1。说明过熟林土壤总孔隙度、非毛管孔隙度较大, 容、蓄降水能力强, 具积极的水文生态环境作用。

2.3 土壤水分渗透性

森林土壤渗透性直接影响土壤动态涵蓄水性, 是森林水分循环的重要环节。在一定范围内土壤渗透速度大意味着降水能很快贮存于土壤中或汇入地下水, 反之则形成地表径流。

各森林类型土壤稳渗率分别为贡 1-1 是 8.0 mm/min, 贡 2-2 是 9.9 mm/min, 贡 3-1 为 8.0 mm/min, 贡 5-1 为 11.0 mm/min, 贡 6-1 为 9.4 mm/min, 各森林类型差异不大, 介于 8.0~11.0 mm/min, 大于该区降雨强度, 表明各森林类型土壤渗透性均较好, 容蓄降水能力较高, 能有效降低地表径流量, 减少水土流失; 同时远小于该区最大稳渗率

(110 mm/min)^[8], 表明各森林类型土壤渗透性对水文生态较强的正向促进作用。各森林类型土壤稳渗率相对顺序为贡 5-1>贡 2-2>贡 6-1>贡 1-1>贡 3-1, 其中贡 2-2 和贡 6-1 土壤薄而下层岩石碎屑较多、上层有机质含量高, 可能导致其稳渗率偏大。

表 2 不同林型土壤(A1 层)全容水量和非毛管蓄水能力
Table 3 Saturated water content and potential of water content in non-capillary pores of soils (A1)

土壤剖面 Soil	总孔隙度(%) Total porosity	全容水量(mm) Saturated water content	非毛管孔隙度(%) Non-capillary porosity	非毛管蓄水能力(mm) Potential of water content in non-capillary pores	毛管孔隙度(%) Capillary porosity
贡 1-1	77.14	115.7	28.95	43.4	48.19
贡 2-2	74.38	111.6	30.40	45.6	43.98
贡 3-1	62.60	93.9	27.43	41.2	35.18
贡 5-1	79.31	114.0	34.55	51.8	44.76
贡 6-1	77.23	115.9	29.23	43.8	48.00

2.4 土壤蒸发性

蒸发是土壤水分的无效损耗。一般来说蒸发速率小、蒸发历时长表明土壤蒸发性能好, 利于土壤水分有效利用。在森林枯枝落叶层覆盖下, 土壤蒸发量一般较小。当土壤本身的蒸发性能较好, 无疑对水分的有效利用将更显著。各森林类型土壤蒸发性能如图 1。各森林类型中, 过熟林(贡 5-1)、成熟林(贡 1-1)蒸发速率小而稳定, 蒸发历时长, 土壤水分对于林木生长和补给地下水有较大意义; 而迹地(贡 3-1)的土壤蒸发起始速率大, 蒸发历时短, 土壤水分无效损耗较多; 其它林型介于两者之间。表明过熟林的土壤蒸发性能具有利的生态环境效应。

2.5 土壤低吸力持水性

土壤低吸力(<1 bar)段持水性可反映土壤速效性水分状况。测定结果见图 2。各森林类型中, 次生林(贡 2-2)和成熟林(贡 6-1)在各吸力范围内土壤含水量较高, 其无效水含量亦高, 可能与土层较薄导致环刀样品枯落物含量较多有关, 同时过高的含水量会影响土温和通气, 不利于林木根系生长; 过熟林(贡 5-1)和成熟林(贡 1-1)土壤含水量由 120%~150% 降至 50%, 有效水含量范围较大, 有利于林木生长; 林木砍伐后(贡 3-1)土壤水分有效范围较小。说明过熟林和成熟林土壤持水性能利于林木生长、森林生态环境改善。

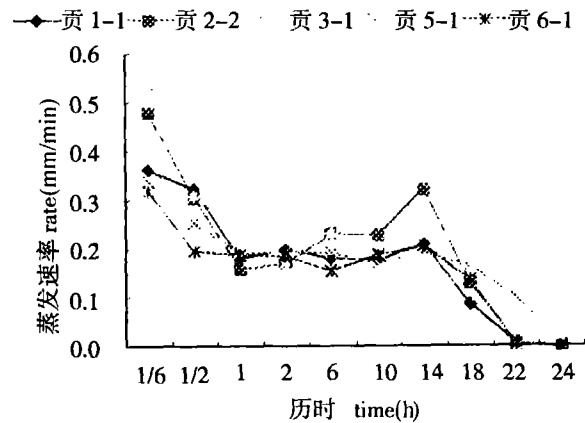


图 1 土壤蒸发速率
Fig.1 Soil evaporation rates

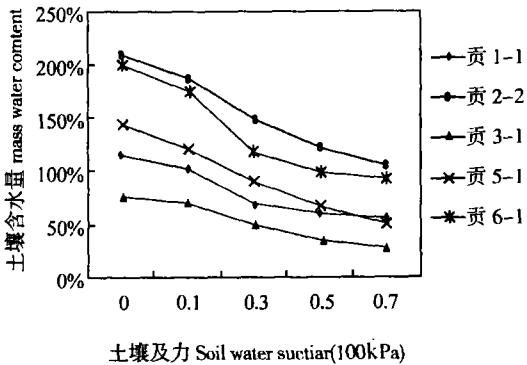


图 2 土壤水分特征曲线
Fig.2 Soil water characteristic curves

3 小结

贡嘎山亚高山针叶林区建立国家森林公园后,原始森林受到良好保护,总体上生态环境处于良性循环。在森林林分组成和演替发育阶段方面,过熟林、成熟林发育有较深厚的土壤层,在储水量、容蓄降水能力、渗透、蒸发和持水等土壤水分性质的多数方面表现出较有利于生态环境的特征;幼龄林、次生林地次之;采伐迹地则最差。由于人类活动干扰较少,贡嘎山亚高山针叶林区以成熟林、过熟林为主,调查估测两者占80%以上,采伐迹地极少,总体上土壤水分特征为生态环境保持和改善起到了积极作用。如果长江上游其它林区都如本地区一样实施有效的保护措施,科学地对森林进行抚育更新,促进林分组成多样化、演替成熟化等,长江上游的森林土壤将更有利于该地区森林-土壤系统水文生态功能的发挥,在长江上游生态屏障建设中取得更好效果。

致谢:野外工作得到李同阳、罗辑、陈彬如、李伟等老师指导,特此致谢!

参考文献(References):

- [1] Wang Zhengquan, Wang Qingcheng. The Spatial heterogeneity of soil physical properties of forests[J]. *Cata Ecologica Sinica*. 2000, 20(6):945~950. [王政权, 王庆成. 森林土壤物理性质的空间差异性研究[J]. 生态学报. 2000, 20(6):945~950.]
- [2] Ren Qingshan. Characteristic analysis of physical properties of abies georgei var. smithii virgin forest of tibet[J]. *Scientia Silvae Sinicae*. 2002, 38(3):57~62. [任青山. 西藏冷杉原始森林土壤物理性质特征分析[J]. 林业科学. 2002, 38(3):57~62.]
- [3] Chen Zhijian. The strategic position and the ecological and environmental function of the upper reaches of the Yangtze River[J]. *Journal of Mountain Science*. 2000, 18(3):258~262. [陈治谦. 长江上游的战略地位与生态环境功能[J]. 山地学报. 2000, 18(3):258~262.]
- [4] Li Xianwei, Luo Chengde, Hu Tingxing. Suggestions on restoration and reconstruction of degraded forest ecosystem in the upper reaches of Yangtze River[J]. *Cata Ecologica Sinica*. 2001, 21(2):2117~2124. [李贤伟, 罗承德, 胡庭兴. 长江上游退化森林生态系统恢复与重建刍议[J]. 生态学报. 2001, 21(2):2117~2124.]
- [5] Bao Weikai, Zhang Yili, Wang Qian, et al. Rehabilitation and degradation for subalpine coniferous forest on the upper reaches of Dadu River of eastern Tibetan Plateau. [J]. *Journal of Mountain Science*. 2002, 20(2):194~198. [包维楷, 张懿铿, 王乾, 等. 大渡河上游林区森林资源退化及其恢复与重建[J]. 山地学报. 2002, 20(2):194~198.]
- [6] Zhang Wanru. Forest soil in southeast of Tibetan Plateau[J]. *Acta Pedologica Sinica*. 1962, 12(2):107~144. [张万儒. 青藏高原东南部的森林土壤[J]. 土壤学报. 1962, 12(2):107~144.]
- [7] Ma Xuehua. Deforestation and soil and water conservation of alpine dark coniferous forest in west of Sichuan[J]. *Scientia Silvae Sinicae*. 1963, 8(2):149~159. [马雪华. 川西高山暗针叶林区的采伐与水土保持[J]. 林业科学. 1963, 8(2):149~159.]
- [8] Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS; Institute of Biology, CAS. Researches of the forest ecosystems on Mt. Gongga [M]. Chengdu: Chengdu Science & Technology University Press. 1997. [中科院成都山地灾害与环境研究所, 成都生物研究所. 贡嘎山森林生态系统研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社. 1997.]
- [9] Zhou Yangming, Cheng Genwei, Yang Qingwei. Potential evaporation of subalpine forest zone in the east slope of Mt. Gongga[J]. *Journal of Mountain Science*. 2002, 20(2):135~140. [周杨明, 程根伟, 杨清伟. 贡嘎山东坡亚高山森林区蒸散力的估算[J]. 山地学报. 2002, 20(2):135~140.]
- [10] Institute of Mountain Hazards and Environment. Geographic Investigation on Gongga Mountain[M]. Chongqing: Science & Technology Reference Press. 1983, 21~22. [中国科学院成都地理研究所. 贡嘎山地理考察[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社. 1983, 21~22.]
- [11] Yu Dafu. Soil and its vertical zonality of Gongga Mountain[J]. *Journal of Soil Science*. 1984, 15(1):65~68. [余大富. 贡嘎山之土壤及其垂直带性[J]. 土壤通报. 1984, 15(1):65~68.]
- [12] Wang Liangjian. Research on classification and genesis features of soils under forests on east slope of Mt. Gongga[J]. *Journal of Southwest Teachers University*. 1991, 16(1):117~124. [王良健. 贡嘎山东坡森林土壤类型、发生学基本特征的研究[J]. 西南师范大学学报. 1991, 16(1):117~124.]
- [13] He Yurong, Zhang Baohua, Zhou Hongyi, et al. Micro-morphological features of soil under subalpine forests on east slope of Gongga Mountain[J]. *Journal of Mountain Science*. 2003, 21(3):281~286. [何毓蓉, 张保华, 周红艺, 等. 贡嘎山东坡亚高山林区土壤的微形态特征[J]. 山地学报. 2003, 21(3):281~286.]
- [14] Zhang Baohua, He Yurong, Zhou Hongyi, et al. Structural property and water effect of soils from different subalpine forests in the upper reaches of Yangtze River[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2002, 16(4):127~129. [张保华, 何毓蓉, 周红艺, 等. 长江上游典型区亚高山不同林型土壤结构性与水分效应[J]. 水土保持学报. 2002, 16(4):127~129.]
- [15] Zhang Wanru, Xu Bentong. Methods of located research of forested soils[M]. Beijing: China Forestry Press. 1986. [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.]
- [16] Martinez-mena, M., Williams, A. G. et al. Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi-arid environment [J]. *Soil & Tillage Research*. 1998, 48(1~2):71~80.
- [17] Lin, H. S., McInnes, K. J. et al. Macroporosity and initial moisture effects on infiltration rates in Vertisols and vertic intergrades [J]. *Soil Science*. 1998, 163(1):2~8.
- [18] Shen Guofang, Wang Lixian et al. Research report of China sustainable development and water resource strategy (vol.7): eco-envi-

ronment construction and water resource conservation and usage in China [M]. Beijing: China Water Conservation & Electricity Press. 2001:201~208. [沈国舫,王礼先,等. 中国可持续发展水

资源战略研究报告集(卷7)——中国生态环境建设与水资源保护利用[M]. 北京:中国水利水电出版社. 2001:201~208.]

Water Characteristics and Its Eco-Environmental Effects on Soils under Different Subalpine Forests on East Slope of Gongga Mountain

ZHANG Baohua^{1,2,3}, HE Yurong¹, ZHOU Hongyi¹, CHENG Genwei¹

(1. *Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu, 610041*; 2. *Department of Geography, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong Province 252059*; 3. *Post-graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*)

Abstract: Forest soil is important for forest ecosystem and environment effect by water infiltrating, holding and evaporating. In this paper, water characters and its eco-environmental effects on soils under different subalpine forests on east slope of Gongga Mountain of the upper reaches of Yangtze River were studied. The results showed: most of water characteristics, such as water storage, infiltration, evaporation and water holding, of soils under mature forest and over-mature forests, are favorable for eco-environment, while that of soils under clear-cutting are the worst, and that of other forest types are in between. In study area, there are mainly mature and over-mature forests and the eco-environment is in good conditions. The eco-environment in study region has been improved greatly by the soil water characteristics, which accelerate the beneficial cycle of forest ecosystem, though the characters of bad physical geography condition and fragile eco-environment are same as other regions in the upper reaches of Yangtze River.

Key Words: Gongga Mountain; soil water characteristics; eco-environmental effect