

不同森林类型的土壤持水能力及其环境效应研究^{*}

郭 沛¹, 夏北成¹, 倪国祥²

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275;

2. 山东农业大学林学院, 山东 泰安 271018)

摘 要: 以森林类型梯度镶嵌分布格局的研究为基础, 以泰山龙潭积水区的森林土壤为研究对象, 对不同森林类型下的土壤进行调查测试分析, 结合水文、DEM 数据分析了区内不同林型地土壤的蓄水能力和水源涵养功能。结果表明该区森林土壤连续涵养降水的能力较强, 但不同森林类型条件下土壤蓄水能力差异明显, 以刺槐林地最好、山顶灌丛最差。区内以成熟林为主, 森林植被保护较好, 土壤水分特性较佳, 能有效减少区域地表径流, 增加地下径流量, 改善集水区内的水分分配, 提高水分的可利用性, 对下游环境和水资源的综合利用起到积极的作用。

关键词: 森林土壤; 蓄水能力; 环境效应

中图分类号: X144 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) S1-00327-04

土壤是森林生态系统的重要组成部分, 土壤水分是土壤的重要组成物质之一。森林具有水土保持和涵养水源的功能, 对于改善生态环境具有积极作用^[1-2]。森林土壤水分含量及其空间动态变化是区域水循环及水量平衡各环节共同作用而达到动态平衡的结果, 同时也对水循环的后续过程及森林生态环境效应的发挥产生影响。不同森林类型其林冠层、林下木或地被物层、凋落物层的结构、组成、种类、数量和性质都存在一定的差异, 因而影响到林地截持降水、储蓄水分、调节径流的功能, 导致不同森林类型的水土保持、水源涵养能力有所差异^[3-4]。不同森林类型土壤的物理性质差异直接影响土壤水分蓄存量的储蓄方式, 关系到涵养水源潜力的强弱。研究环境变化条件下土壤质量的演变机制、速率及其与环境条件的相互作用关系是土壤资源可持续管理的基础, 关系到土壤可持续利用和区域可持续发展^[5-6], 也是当前的研究热点^[7-10]。土壤水分特征的研究也从地块、坡面尺度发展到小流域、集水区、大区域的研究, 其中集水区是山区主要的水源供应地, 担负着千万人的饮水任务, 具有重要的地位。

本文通过分析泰山龙潭积水区不同林地土壤的蓄水能力以及土壤蓄水在林木生长、减少地表径流等方面的生态环境效应, 对于区域生态环境的保护和规划, 水资源环境的改善, 森林环境条件下水土

保持综合治理都具有重要的理论和实践意义。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于泰山南部, 处于东经 $117^{\circ}05' \sim 116^{\circ}08'$, 北纬 $36^{\circ}09' \sim 36^{\circ}14'$ 。地势北高南低, 平均海拔 500 m 以上, 相对高差 800 m。研究区地处暖温带气候区, 年平均降水量 720 mm, 降水集中在 6—8 月。森林覆盖率达 81.5%, 主要森林类型有松林 *Pinus forest*、侧柏林 *Platycladus orientalis* L.、刺槐林 *Robinia pseudoacacia* L.、栎林 *Quercus forest* 4 大类。其中阳坡刺槐林林下以黄荆和禾本科草类为主, 阳坡松林林下以黄荆、鼠李和禾本科草类为主, 阴坡松林林下植被较少, 主要为喜湿耐荫的草本植物林下以一叶荻、卫矛和苔草类为主。栎林主要分布于海拔 900 m 以下的阳坡, 林龄多在 40~60 年。由于其林下极为发达的枯落物层和萌生的灌木状栎类, 对林下植物的分布和生长影响极大, 主要为较喜光的灌木和草本植物。侧柏林主要分布于海拔 1 000 m 以下, 林下灌木主要为胡枝子、酸枣、荆条, 草本以结缕草、苔草类为主。灌丛分布在土层薄、干瘠、坡度陡或山顶等处, 立地条件差。

1.2 土壤水分状况的测定

根据不同的地形状况, 本文选择 6 种森林类型, 针对主要森林类型在流域内其梯度分布中心区

^{*} 收稿日期: 2005-04-06

基金项目: 国家自然科学基金 (30300242) 和山东林科院研究基金

作者简介: 郭沛 (1975 年生), 女, 博士后; 通讯联系人: 夏北成; E-mail: zsxhbc@163.com

域采用典型取样法, 选设 10 m×10 m 标准样地 12 个, 各林地母岩均为花岗岩。调查并记载每个标准地的坡向、坡位、坡形、地貌类型、坡度、海拔高度 6 个地形因子, 采用“每木调查法”, 调查样地内植物种类、数量、冠层结构, 确定主要森林类型。在每个标准地的四角和中心共设置 0.5 m×0.5 m 的调查样方 5 个, 总共 60 个。采用“烘干恒重法”, 分别在标准样地不同土层取样 (同一层混合取样), 测定其含水量。采用“环刀法”测定土壤容重、最大持水量、毛管持水量, 通过公式换算可得土壤含水量、容积湿度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度及总孔隙度等值^[11]。采用“双环法”测定不同森林群落类型下土壤渗透性能, 包括土壤初渗速率、稳渗速率^[12], 通过回归分析确定其渗透曲线方程。

2 结果与分析

2.1 不同森林类型土壤的主要物理形状

森林对土壤物理性状的影响是多方面的, 但是对 0~20 cm 表层土壤影响最显著的是森林的枯落物。不同森林类型土壤的容重与孔隙度, 受林分土壤发育状况的影响, 林分发育到一定程度后可以大大改善和提高土壤的物理性状。不同林分, 林地表层的枯落物构成及地下根系的生长发育状况、枯落物的分解程度等情况对土壤物理性状的影响是多方面的。

从表 1 中可知: 刺槐林土壤容重最小, 仅为 1.15 g/cm³, 其总孔隙度最大, 为 56.33%, 其中毛管孔隙度为 44.28%。其余依次为松林、侧柏林、栎林、混交林、山顶灌木灌丛。土壤孔隙度越大, 说明土壤结构越疏松, 越有利于雨水迅速下渗, 减少地表径流的冲刷。非毛管孔隙度越大, 表明土壤中可能吸持的无效水容量小, 增加了土壤中的有效水的贮存容量, 由于阔叶树纯林及针阔混交林的土壤表面枯落物较多。加之凋落物的分解速度较快, 而这些凋落物分解、腐烂后, 增加了土壤的腐殖质含量, 有利于土壤团粒结构的形成, 增加了土壤的孔隙度, 进而增强了土壤的蓄水和通透能力。

2.2 不同森林类型土壤的蓄水能力

林地土壤是水分储蓄的主要场所, 土壤水分储蓄量和蓄水方式受其物理性质影响很大, 水分在土壤的非毛管孔隙和毛管孔隙中的运动和贮存方式不同。毛管孔隙是土壤中水分流通和蒸发的孔道, 是植物吸收土壤水分的途径。在非毛管孔隙中的水分主要受重力作用, 储蓄和运动速度快, 在林地调节水分运动中起重要作用。非毛管孔隙储蓄水量是评

价林地涵养水源的重要指标之一。由表 2 可知: 不同林分土壤贮水量差异很大, 其中, 土壤贮水量最大的是刺槐林, 各林分土壤贮水量依次为: 刺槐林>松林>侧柏林>混交林>栎林>山顶灌木灌丛。可见, 阔叶林比针叶林有更好的贮水能力。

表 1 主要森林类型土壤性状

Tah 1 Physical characters of main forest soil in Longtan area

编 号	林分 类型	土壤容重 (g·cm ⁻³)	非毛管孔 隙度/%	毛管孔 隙度/%	总孔隙 度/%
L1	松林	1.32	10.02	41.40	51.34
L2	侧柏林	1.22	10.62	39.36	49.98
L3	刺槐林	1.15	12.05	44.28	56.33
L4	栎林	1.21	10.89	37.22	49.21
L5	混交林	1.20	9.01	33.03	42.04
L6	灌丛	1.44	6.87	30.02	36.89

表 2 不同森林类型 0~40 cm 土层土壤贮蓄水能力
Tah 2 Water storage capacity of forest soil at 0~40cm in Longtan area

编 号	林分 类型	毛管最大 含水量/%	饱和含 水量/%	土壤含 水量/%	土层贮水 量/t·hm ²
L1	松林	37.88	46.20	11.08	1736.94
L2	侧柏林	39.21	49.36	18.52	1675.99
L3	刺槐林	46.16	56.87	15.96	1924.39
L4	栎林	17.02	21.36	10.76	968.25
L5	混交林	20.11	22.49	10.09	1365.98
L6	灌丛	33.40	37.91	7.84	463.62

2.3 不同森林类型土壤渗透性分析

土壤渗透性能是林分涵养水源功能的重要指标之一, 它与土壤质地、结构、孔隙度、有机质含量、湿度和土温有关, 是由透过土壤的水量和通过土层所需要的时间来衡量的。降雨强度不大时, 水分可以充分渗入土壤中贮存或形成土壤内部径流, 减少水分损失, 土壤渗透能力一般用 10℃时土壤渗透系数 *K* 来表示。不同林分内, 由于枯落物的厚度、分解速度和微生物的数量不同土壤的孔隙度性质各不相同, 造成了不同林分土壤渗透性能的不同。降落到地面的雨水大部分直接从土壤孔隙渗透到土层中, 减少了地表径流, 降低了由于地表径流造成的水土流失, 起到了涵养水源的作用。

由表 3 可知: 林地表层土壤的渗透速度受林内枯落物的蓄积量及枯落物的性质影响, 研究区内的不同林分表层土壤渗透速度中, 阔叶林明显大于针叶林, 其中刺槐林地内土壤渗透速度最快, 其余依次是混交林、栎林、侧柏林、松林、山顶灌丛。山顶灌丛的土壤渗透速度最慢, 为 5.94 mm/min, 这表明阔叶林下土壤的非毛管孔隙数量多, 土壤水分的下渗速度快, 土壤的渗透性能强。而针叶林的土

体中非毛管孔隙少，土壤的渗透性差。这主要是由于阔叶林中大量枯枝落叶数量多而且分解速度快，改良了土壤结构，使土壤容重降低，孔隙度增加，同时枯落物层生物的活动也增加了孔隙度的数量，有利于水分的渗透。

表 3 主要森林类型土壤渗透性能

Tah 3 Pemeability of main forest soil in Longtan area

编号	林分类型	枯落物 积蓄量 ¹⁾	渗透 深度/cm	渗透 速度 ²⁾	渗透 系数
L1	松林	14.70	17.1	10.75	12.63
L2	侧柏林	10.10	14.2	12.87	13.75
L3	刺槐林	12.80	21.5	28.25	33.59
L4	栎林	10.60	13.3	17.05	20.90
L5	混交林	20.11	11.6	22.49	13.98
L6	灌丛	8.31	9.4	5.94	3.72

1) 单位是 ν/lm^2 , 2) 单位是 mm/min^1

2.4 土壤水分的变化与持水能力的分析

土壤中水分的变化与土壤孔隙、土壤的蒸发和植物根系的吸收利用有直接的关系。在连续降雨的情况下，若土壤中的水分能够及时排除或散失，能够增加土壤连续持水的能力，使地表水汇入土壤，减少地表径流。图 1 为一次降水达到饱和状态后，6 种森林类型土壤在不同时间恢复持水的能力。由图 1 可知，在降雨后 10 h 之内，刺槐林和松林土壤恢复持水的能力相近，10 h 后刺槐林恢复持水的能力继续增加，而侧柏林却逐渐趋于缓和。栎林恢复持水的能力则相对较弱。从森林类型土壤的水分变化趋势来看，刺槐林、栎林、混交林和松林在后期仍然表现为持续上升的趋势，而侧柏和灌丛后期变化趋势不明显。因为前期土壤自由水较多，在重力的作用下向下移动较快，直接到达岩石层或形成土壤径流，而后期自由水越来越少，水分下降的速度较慢，数量较小。

此外，松林土壤较厚，而栎林和山顶灌木灌丛土壤较浅，土壤水分渗透至岩石层所需要的时间相对短。坡向的影响也很明显，阳坡直接接受太阳辐射，温度高、大气湿度低，土壤中水分的蒸发散失量和植物蒸腾吸收量相对较大，从而导致土壤中含水量的下降，而阴坡相对温度较低，大气湿度较大，因此在连续降雨的情况下，土壤连续持水的能力阳坡刺槐林、阳坡松林和栎林要明显好于阴坡松林和侧柏林。而从满足植物根系吸收利用，保持土壤水分和湿度以涵养水源的方面看，阴坡松林要优于阳坡刺槐林。

2.5 森林土壤蓄水能力及其环境效应

森林能促进土壤形成良好的结构，通过对土壤

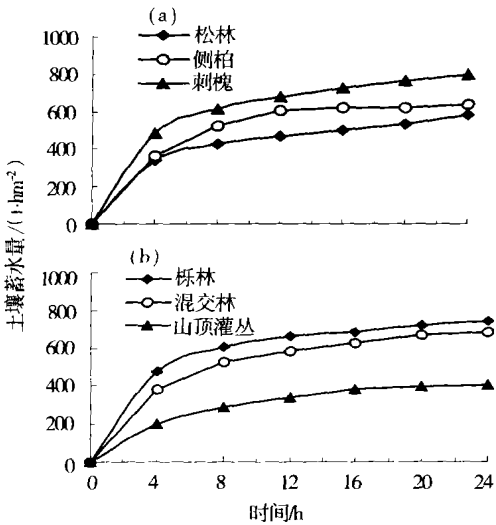


图 1 研究区森林类型土壤恢复持水量

Fig. 1 The recovering amount of retention water of forest soil in Longtan area

容重、孔隙度、土壤饱和含水量和非毛管最大持水量的影响，森林对土壤的物理性状具有明显的改善作用。特别是林地枯落物对地表的各种孔隙度有较大影响，随着林地枯落物的增加，地表的各种孔隙度均会增加，并且随时间的延长和枯落物的增加，其影响也会逐步向下延伸。土壤的贮蓄水能力还受到海拔、坡向、坡度、坡位以及人为和自然因素的影响。人们为了维护和提高森林土壤的生产力，永续利用有限的森林土壤资源，营造混交林，更换树种保留枯落物，通过间伐发育林下植被，通过改善土壤资源，营造混交林，更换树种保留枯落物，以改善土壤的理化性质和生物活性提高土壤肥力。所有的这些措施都有效地改善了土壤的物理性质，改变了土壤容重，增加了土壤的孔隙度和渗透性，提高了土壤涵养水分的能力。

研究区内不同林分的土壤涵养水分的能力有明显差异，阔叶林地土壤的贮蓄水能力明显优于针叶林和山顶灌丛，对该区域的水土保持起了较大的作用。阔叶林地土壤孔隙度高，土壤结构好，能够最大限度的贮蓄水分，减少地表径流，增加土壤的有效含水，为林木的生长提供了足够的水分和养分，具有更有利的生态环境效应。

3 结 论

泰山森林除具有其独特的风景观赏价值之外，在涵养水源、保持水土、改良景区生态环境方面亦具有重要的作用。泰山内的森林土壤物理形状较好，具有较强的涵养降水的能力，并受到森林类型 and 土层厚度等方面的影响。森林土壤蓄水能力受森

林类型枯落物的厚度、孔隙度、有机质含量、温度、土温、容重等多方面因素的影响,但主要取决于森林类型及其森林土壤中非毛管孔隙度和土壤渗透性。泰山不同森林类型条件下,土壤蓄水能力差异较大,在今后的森林建设和经营管理中,要考虑森林类型的选择,增加土壤厚度、减少土壤侵蚀。研究表明泰山森林土壤对于减少地表径流,增加地下径流量,改善研究区的水分分配和利用以及对环境和水资源的综合利用起到积极的作用。

参考文献:

[1] COSTANZA R, ARGE R, DEGROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J] . Nature, 1997, 387: 253— 260.

[2] 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.

[3] 李德生,张萍,张水龙等. 黄前库区森林土壤蓄水能力研究[J] . 南京林业大学学报(自然科学版), 2004, 28(1): 25— 28.

[4] 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.

[5] 杨海龙,朱金兆,毕利东. 三峡库区森林流域生态系统土壤渗透性能的研究[J] . 水土保持学报, 2003, 17(3): 63— 69.

[6] 张甘霖,朱永官,傅伯杰. 城市土壤质量演变及其生态环境效应[J] . 生态学报, 2003, 23(3): 539— 546.

[7] 肖慈英,阮宏华,屠六邦. 宁镇山区不同森林土壤生物学特性的研究[J] . 应用生态学报 2002, 13(9): 1077— 1081.

[8] 党宏忠,赵雨森,陈祥伟. 祁连山青海云杉林地土壤水分特征研究[J] . 应用生态学报, 2004 15(7): 1148— 1152.

[9] 刘晨峰,尹婧,贺康宁. 林下植被对半干旱区不同密度刺槐林地土壤水分环境的指示作用[J] . 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 62— 79.

[10] LIN H S, MCLNNES K J. Macroporosity and initial moisture effects on infiltration rates in Vertisols and vertic intergrades [J] , Soil Science, 1998, 163(1): 2— 8.

[11] 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.

[12] 贾志清,宋桂平,李清河,等. 宁南山区典型流域土壤水分动态文化规律研究[J] . 北京林业大学学报, 1997, 19(3): 15— 30.

Analysis of Water Capacities Held in Different Forest Soils and Environmental Effect

GUO Luo¹, XIA Bei-cheng¹, NI Guo-xiang²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275;
2. School of Forestry, Shandong Agriculture University, Taian 271018, China)

Abstract: Based on forest type gradient mosaic pattern maps, different forest soils and their water capacities were investigated and tested in Longtan area of Mountain Tai. In this experiment, DEM, rainfall and hydrological data were used to analyze the function of water storage and retaining. It revealed that the forest soils in the researching area have high water capacities and the usability characters of water held in soils are well. There were greatly significant differences between different forest soils, and the best soil was locust tree soil and the lowest soil was shrubbery soil in mountaintop. In this area, the main part of forestland is mature forests and the status of forest eco-environmental system is well stable and balanceable. The eco-environment in the area and in the downstream area has been greatly improved due to their high water capacities of forest soil and the good characteristics of soil water, such as accelerating beneficial cycle of forest ecosystem, mitigating lose of surface water, distribution and utility of soil water. Good water characters and high capacity of water held in forest soils are beneficial to water sources conservation and eco-environmental development in downstream areas.

Key words: forest soil; water conservation; environmental effect of forest soil