

秦岭北坡水源林区不同类型林分土壤水文特性

陆斌¹, 张胜利^{1,2}, 晋建霞¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西秦岭森林生态系统国家野外科学观测研究站, 陕西 杨凌 712100)

摘要:在秦岭北坡水源林区选择不同针阔混交林和落叶混交林林分,对其土壤水文物理性质进行了研究。结果表明:土壤容重、非毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量和最小持水量均为针阔混交林大于落叶阔叶林,40 cm 土层土壤水分平均(非毛管)滞留贮存量为针阔混交林大于落叶阔叶林。针阔混交林地土壤的渗透性能较好,其平均渗透系数达到了 6.93 mm/min,是落叶阔叶林地的 4.97 倍,且同一林地内 0—20 cm 土层的渗透系数均大于 20—40 cm 土层。基于主成分分析,锐齿栎×油松(华山松)混交林地土壤的综合水文效应最优。

关键词:秦岭; 水源涵养林; 持水能力; 渗透性能

中图分类号:S715

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0176-05

Soil Hydrological Characteristics of Different Water Conservation Forests in Mountainous Regions of North Qinling Mountain

LU Bin¹, ZHANG Sheng-li^{1,2}, JIN Jian-xia¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. National Forest Ecosystem Research Station in Qinling of Shaanxi, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Different types of forest community in medium altitude of north Qinling Mountain were chosen to study the soil water physical characteristics. Result showed that in these forests, the soil bulk densities, non-capillary porosity, maximum water-holding capacity, capillary water-holding capacity and field water-holding capacity were ranked as mixed forests > deciduous broadleaved forest, while soil non-capillary porosity water-holding amount of 40cm layer was ranked as mixed forests > deciduous broadleaved forest. Permeability of mixed forest was 4.97 times higher than deciduous broadleaved forest and its mean permeability reaches 6.93 mm/min. Permeability of 0—20 cm layer was higher than that in 20—40 cm layer in different types of forest soil. Based on principal component analysis, the comprehensive hydrological effect of oak and pinus tabulaeformis (*Pinus armandii*) was the highest.

Key words: Qinling Mountain; water conservation forest; soil water-holding; permeability

森林土壤是森林生态系统发挥水文调节作用的主要场所,直接影响系统的水文过程^[1]。各种森林群落类型由于树种组成和空间结构不同,其土壤水文生态特征存在较大差异^[2]。林地土壤层的水文作用主要表现在透水性和贮水性能两方面。土壤中的水分得到充分的涵养,才能有效的减弱地表径流的产生,调节河川径流,达到涵养水源的目的^[3]。因此,研究林地土壤水文特性,是科学认识和评价森林生态系统水文调节功能的基础。

秦岭北麓陕西段是渭河及其众多支流的重要水源补给区和发源地,面积约 6 600 km²,天然林覆盖率

40%左右。关中平原是陕西省政治、经济、文化的中心,但水资源不足,工农业、城乡人口用水很大程度上依靠渭河及其众多支流供应,如陕西省会西安市用水除本地自产水源外,还需从发源于秦岭北坡林区的黑河和石头河引水,因此秦岭北麓林区水资源对关中社会、经济可持续发展和生态环境的影响举足轻重。秦岭北坡为暖温带针阔混交林与落叶阔叶林地带,其中华山松林、栎林及落叶阔叶混交林带是北坡树种最复杂、植被类型最多的地区^[4]。以往对该区的研究主要集中在植物种群动态、土壤发生特性以及有机碳分布等方面^[6-9],对不同林地土壤水文特性的相关研究较

收稿日期:2012-03-21

修回日期:2012-05-18

资助项目:国家林业局林业公益性行业科研专项(201004036)

作者简介:陆斌(1987—),男,山西介休人,硕士研究生,主要研究方向:森林水文与水土保持工程。E-mail: lubinydx@126.com

通信作者:张胜利(1965—),男,陕西户县人,博士,副教授,主要研究方向:森林水文与水土保持工程。E-mail: victory6515@sina.com

少。本文通过对华山松林、栎林及落叶阔叶混交林地土壤的孔隙度和容重等物理性质,渗透性和持水性等水文特性的分析比较,以期进一步了解不同林地土壤的水文特性,为该地区和相似地区森林资源保护和管理提供基础性指导。

1 研究区概况

研究区位于秦岭中段的太白山国家级自然保护区(107°42'E,34°05'N)。年降水量 620~1 000 mm,多集中在 7—9 月。受地质地貌、气候特征、土壤类型等因素的综合影响,太白山自然生态系统复杂多样,植物种类丰富。根据植物群落的外貌、种类成分、群落组成、群落结构及环境等特点,保护区北坡的植被类型自下而上可分为常绿落叶阔叶林带、落叶栎林带、桦木林带、针叶林带和高山灌丛草甸带 5 个带。试验区选在太白山北坡的蒿坪林区,海拔 1 100~2 000 m,年均气

温 13℃,年均降雨量 990 mm,年无霜期 240 d 左右;土壤以棕壤土为主,且石砾含量较高,呈随机分布。该区的植被带属于华山松林、栎林及落叶阔叶混交林带,主要树种有华山松(*Pinus armandii*)、锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuterrata*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、青榨槭(*Acer davidii* Franch)等,林下伴生有蒿类、绣线菊(*Spiraea salicifolia* L.)、荷兰海棠(*Malus spectabilis* Borkh.)、秦岭木姜子(*Litsea tsinlingensis* Yang et P. H. Huang)、米面翁(*Buckleya henryi* Diels)。

2 研究方法

2.1 样地调查

在试验区不同林分内随机设置 20 m×40 m 的标准样地进行调查,包括树种(伴生树种)、林分密度、平均胸径、平均树高、郁闭度和下木种类等。各林地的基本情况见表 1。

表 1 不同林地的树种组成及样地基本概况

森林类型	编号	海拔/ m	坡度/ (°)	平均胸 径/cm	平均树 高/m	郁闭度	林分密度/ (棵·hm ⁻²)	主要树种 组成	其他伴生 树种
针阔 混交林	I	1200	30	15.44	12	0.6	1200	锐齿栎、青榨槭、油松	蒿类
	II	1550	30	12.97	7	0.8	2100	华山松、青榨槭	木姜子
	III	1200	31	14.96	11	0.7	1100	锐齿栎、华山松	绣线菊、荷兰海棠
落叶 阔叶林	IV	1300	20	20.05	11	0.6	1600	青榨槭	蒿类
	V	1380	27	25.15	13	0.7	1700	锐齿栎	绣线菊、米面翁
	VI	1200	34	12.26	12	0.8	1800	锐齿栎、青榨槭	木姜子、绣线菊

2.2 土壤物理性质、持水量和渗透性的测定

在各样地随机挖土壤剖面 3 个即 3 个重复,观测并记录其土壤剖面特征,用环刀分 3 层(0—10,10—20,20—40 cm)取样,并带回实验室测定土壤容重、土壤孔隙度、土壤持水量,测定及计算方法参照国家林业行业标准《森林土壤水分—物理性质的测定》(LY/T1215—1999);一定土层深度内的土壤贮水量计算公式为:

$W_{nc}=1000P_{nc}h$; $W_c=1000P_ch$; $W_t=1000P_th$
式中: W_{nc} , W_c , W_t ——土壤滞留贮水量、吸持贮水量和饱和贮水量(mm); P_{nc} , P_c , P_t ——非毛管孔隙度、毛管孔隙度和总孔隙度(%); h ——土层深度(m)。采用室内定水头单环有压入渗法^[10]定量测定土壤渗透系数,为了便于不同温度下所测得的 K 值进行比较,换算为 10℃时的渗透系数,计算方法参照国家标准《森林土壤渗透性的测定》(GB7838—87);土壤有机质含量测定采用重铬酸钾法。

3 结果与分析

3.1 土壤水文—物理性质

3.1.1 土壤容重和孔隙度 土壤容重和孔隙度直接影响着土壤的蓄水和通气性能。从表 2 中可知,随土

层深度的增加,针阔混交林地土壤平均容重由 0.92 g/cm³ 增加到 1.22 g/cm³,增加了 33.5%;总孔隙度下降了 17.9%;非毛管孔隙度下降了 31.5%;毛管孔隙度下降了 13%。落叶阔叶林地土壤平均容重由 1.11 g/cm³ 增加到 1.23 g/cm³,增加了 11.1%;总孔隙度下降了 16.6%;非毛管孔隙度下降了 13.4%;毛管孔隙度下降了 4%。即随着土层深度的增加,土壤变得越来越紧实。华山松×青榨槭(II)、锐齿栎×华山松(III)的土壤容重呈现出先增加后减少的变化规律,而孔隙度则先减少后增加,可能与这两种林地土壤有机质含量先减少后增大的变化有关(相关分析得出容重和总孔隙度与有机质含量在 0.01 水平上极显著相关)。华山松×青榨槭(II)林地的土壤中砾石含量较高,多分布于 15—30 cm 土层且呈积聚状态,这也可能是造成该区土壤容重和孔隙度随土层无规律变化的主要原因。青榨槭(IV)林地坡度较小,人为的频繁践踏使表层土壤大孔隙被小土粒填实,降低了表层孔隙度。

综合比较各林地不同土层的土壤物理性质和有机质的差异发现,土壤平均容重排序为针阔混交林(1.14 g/cm³)<落叶阔叶林(1.2 g/cm³);而有机质含量排序则为针阔混交林(32.06 g/kg)>落叶阔叶

林(26.77 g/kg);表层土壤非毛管孔隙度排序为针阔混交林(11.29%)>落叶阔叶林(10.78%)。针阔混交林地土壤孔隙多,质地疏松,更有利于水分的传输和储存,具有较好的涵养降水功能。

表 2 不同林地土壤物理特征参数

森林类型	林分编号	土层/ cm	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	孔隙度/%			有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
				非毛管孔隙	毛管孔隙	总孔隙	
针阔混交林	I	0—10	0.72	21.05	46.01	67.06	79.42
		10—20	1.41	10.44	35.26	45.70	13.02
		20—40	1.34	13.62	32.80	46.42	13.58
		均值	1.12	14.68	36.72	51.40	29.90
	II	0—10	1.06	11.93	36.76	48.69	47.34
		10—20	1.37	5.28	37.18	42.46	22.93
		20—40	1.29	8.29	37.32	45.62	26.15
		均值	1.25	8.45	37.15	45.60	30.64
	III	0—10	0.97	12.45	42.23	54.68	65.28
		10—20	1.12	12.08	29.77	41.85	10.36
		20—40	1.04	9.20	38.69	47.89	33.46
		均值	1.04	10.73	37.35	48.08	35.64
落叶阔叶林	IV	0—10	1.18	10.58	32.81	44.77	46.34
		10—20	1.21	15.07	36.25	51.32	31.98
		20—40	1.24	12.72	35.97	48.69	27.59
		均值	1.22	12.77	35.25	48.37	33.38
	V	0—10	1.06	8.85	46.11	54.96	31.43
		10—20	1.19	5.12	45.20	50.32	22.20
		20—40	1.24	5.08	47.12	52.20	18.00
		均值	1.18	6.03	46.39	52.42	22.41
	VI	0—10	1.09	15.19	36.43	69.02	52.17
		10—20	1.17	14.58	32.11	46.69	19.49
		20—40	1.22	12.17	27.70	39.87	13.22
		均值	1.18	13.53	30.99	48.86	24.53

3.1.2 土壤持水和贮水性能 林地土壤层是水分贮蓄的主要场所,其持水量是反映林地水源涵养能力的重要指标之一^[11]。不同林分类型下的土壤持水量变化范围为最大持水量、毛管持水量及最小持水量分别在 37.4%~53.41%,27.86%~39.79%,22.31%~34.59% 之间,变幅分别为 42.8%,42.82%,55.04%。不同林分水文特性的差异由土壤物理性质差异所致,具有与土壤物理性质相一致的变化规律^[12]。土壤水文特性的较大差异反过来也说明太白山试验区土壤质地结构不均一。综合分析比较各林地土壤平均持水量的差异发现(见表 3),最大持水量、毛管持水量及最小持水量排序均为针阔混交林地>落叶阔叶林地,反映了针阔混交林地土壤贮蓄水分的潜力相对较大。树种多样的林地,其土壤不同层次根系数量多,土质较疏松,有利于土壤涵养水源功能的增强。

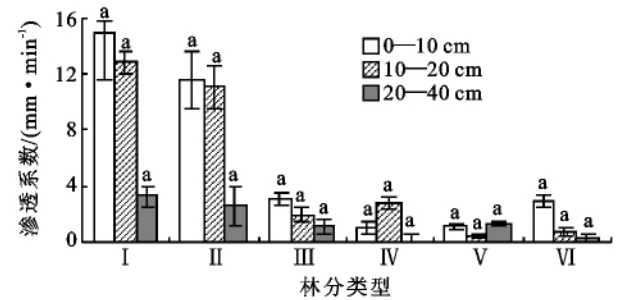
土壤贮水量作为评价森林植被保持水分与涵养水源功能的重要指标,其大小与土壤厚度和孔隙状况密切相关。土壤水分贮存可分为吸持贮存和滞留贮

存两种形式(对应土层厚度内所贮存的水量分别称之为吸持贮水量和滞留贮水量,两者合称为土壤饱和贮水量)^[13-14]。其中,滞留贮存是饱和土壤中自由重力水在非毛管孔隙(大孔隙)中的暂时贮存,暴雨时,能有效地减少地表径流并使土壤水分不断补充地下水或以壤中流的形式注入河网,因而具有较高的涵养水源功能。而吸持贮存是水分依靠毛管吸持力在毛管孔隙中的贮存,其水分主要供给植物根系吸收、叶面蒸腾或土壤蒸发,不能参与径流和地下水的形成。对森林生态系统而言,滞留贮水量的大小反映了森林植被滞留水分发挥涵养水源和削减洪水的能力^[15]。对不同林分土壤贮水特征参数的分析比较发现(见表 3),试验地各林分类型土壤滞留贮水量、吸持贮水量和饱和贮水量分别为 25.4~60.16 mm,111.44~159.17 mm,182.36~212.24 mm,变幅分别为 136.85%,42.83%,16.39%。土壤的平均滞留贮水量整体上排序为针阔混交林(46.37 mm)>落叶阔叶林(45.42 mm)。说明针阔混交林在强降雨时,可以较大限度地贮存降雨,增加入渗,减少地表径流,具有较强的水源涵养功能。

表 3 不同林地土壤的持水和贮水特征参数

森林类型	林分编号	持水性能/%			贮水性能(40 cm)/mm		
		最大持水量	毛管持水量	最小持水量	滞留贮水量	吸持贮水量	饱和贮水量
针阔混交林	I	53.41	37.81	28.61	60.16	151.23	212.24
	II	37.40	30.23	27.45	34.00	120.92	182.36
	III	46.63	35.80	30.74	44.96	143.20	192.56
	均值	45.81	34.61	28.93	46.37	138.45	195.72
落叶阔叶林	IV	38.35	28.07	25.12	51.16	112.28	193.04
	V	45.37	39.79	34.59	25.40	159.17	209.96
	VI	39.99	27.86	22.31	55.92	111.44	207.44
	均值	41.24	31.91	27.34	44.16	127.63	203.48

3.1.3 土壤渗透性能 土壤渗透性能是土壤重要的水分物理性质之一,是反映土壤涵养水源功能的重要参数^[16]。由图 1 中可知,各林地的渗透系数变化范围为 0.93~10.36 mm/min;同一林地内 0—20 cm 土层的渗透系数一般都大于 20—40 cm 土层,这主要是因为表层有机质含量高,土壤孔隙度大,使得土壤通透性较好。锐齿栎×青榨槭×油松(I)和华山松×青榨槭(II)的土壤渗透性能最好,除了与土壤性质有关外,还由于混交林地土壤根系较多,使土壤的通透性较好。青榨槭(IV)林地由于人为践踏使表层土壤非毛管孔隙度(大孔隙)降低(见表 2),而渗透性劣于下土层。



注:图中小写字母为显著水平 5%上的多重比较结果,土层间的相同字母表示差异不显著。

图 1 不同林地土壤的渗透系数

相比之下,落叶阔叶林林地表层土壤水分的稳定入渗率均较低(图 1),这样在雨季或洪水发生时,可能影响下面土层对降水的吸收与存蓄。就各土层平均而言,针阔混交林地土壤水分的渗透性能较强,其 0—40 cm 土层土壤平均渗透系数达到了 6.93 mm/min,是落叶阔叶林地的 4.97 倍。在针阔混交林地,

降水强度很少能达到或超过稳定入渗速率的水平而产生超渗径流,在长时间降水后将主要以蓄满产流和壤中流为主。

3.2 土壤水文特性综合分析

主成分分析法旨在用较少的变量去解释原来资料中的大部分变异,用一种降维方法把多指标转化为少数几个综合指标。林地土壤层的水文效应是其蓄水和渗透性能的共同体现。林地土壤持水量是反映森林水源涵养能力的重要指标之一,而林地蓄洪作用主要反映在非毛管孔隙水的贮存能力上。因此选取土壤最大持水量(X_1),最小持水量(X_2),非毛管持水量(X_3),10℃的渗透系数(X_4)为评价指标,对其进行主成分分析。结果表明(表 4),土壤水文效应第一主成分方差累积贡献率为 48.729%,特征值 1.949(大于 1),信息损失量较少,且除最小持水量外的指标在第一主成分上的负荷值均在 0.5 以上,表明了与土壤水文效应相关的土壤水文物理性质的第一主成分表达了 50%以上的信息;第二主成分的方差贡献率为 37.291%,特征值 1.492(大于 1),两主成分累计贡献率高达 86.02%。其主成分综合模型为: $P = 0.265ZX_1 + 0.52ZX_2 + 0.367ZX_3 + 0.192ZX_4$ (ZX 为各指标的标准化数据)。依据主成分 P 得分大小(表 5),锐齿栎×油松(华山松)混交林地土壤的综合水文效应最优。因此,在秦岭太白山自然保护区林分营造和配置方面,应尽量营造针阔混交的林分,树种组成以落叶栎林×油松或华山松最宜;对于单一树种林分可以采取间伐更新和封育管理措施,使土壤水文效应达到最大。

表 4 土壤综合水文效应主成分分析

项目	X_1	X_2	X_3	X_4	特征值	贡献率	累计贡献率
P_1	0.567	0.577	0.047	0.587	1.949	48.729	48.729
P_2	-0.152	0.443	0.810	-0.353	1.492	37.291	86.020

表 5 土壤综合水文效应评价

排名	1	2	3	4	5	6
林分类型	I	III	V	II	IV	VI
综合主成分 P	1.569	0.392	0.299	-0.439	-1.089	-1.096

4 结论

研究区内土壤容重随土层深度增加而增大,非毛管孔隙度、总孔隙度随土层深度增加而降低。各林分中,土壤平均容重最小的为锐齿栎×华山松混交林(1.04 g/cm^3),最大的为华山松×青榨槭混交林(1.22 g/cm^3),有机质含量最高的为锐齿栎×华山松混交林(35.64 g/kg)。林地土壤最大持水量、毛管持水量、最小持水量排序均为针阔混交林(46% , 34% , 29%)>落叶阔叶林(41% , 32% , 27%),与土壤容重、有机质含量及孔隙度的变化具有较好一致性。不同林地 40 cm 土层土壤平均滞留贮水量最大为锐齿栎×青榨槭×油松混交林(60.16 mm),最小为锐齿栎林(25.4 mm)。土壤平均渗透系数排序为针阔混交林>落叶阔叶林,这与土壤容重和孔隙度的变化一致,且同一林地内 0—20 cm 层的渗透系数均大于 20—40 cm 层。锐齿栎×青榨槭×油松混交林和华山松×青榨槭混交林林地的土壤渗透性能最好。综合分析各林地土壤最大持水量、最小持水量、非毛管持水量和 10°C 的渗透系数,针阔混交林林地涵养水源功能优于落叶阔叶林地。此外,林地土壤水文物理性质的影响因素较为复杂,除有机质外,还受石砾含量,根系分布及其改良土壤增加的大孔隙的影响,在以后的研究中需加强综合研究。

参考文献:

- [1] 潘明亮,丁访军,谭伟,等. 贵州西部四种典型林地土壤水文特性研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 139-143.
- [2] 党宏忠,周泽福,赵雨森,等. 祁连山水源涵养林土壤水

文特征研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(1): 39-44.

- [3] 姜志林. 森林生态系统蓄水保土的功能[J]. 生态学报, 1984(6): 58-63.
- [4] 陕西省林业厅. 太白山自然保护区综合考察论文集[M]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1989.
- [5] 任毅,刘明时,田联会,等. 太白山自然保护区生物多样性研究与管理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [6] 张文辉,卢志军,李景侠,等. 秦岭北坡栓皮栎种群动态的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1427-1432.
- [7] 李志平,苏印泉,贺亮,等. 秦岭北坡几种人工林根系及土壤有机碳剖面分布特征的研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2155-2158.
- [8] 朱显谟. 陕西太白山岩生植物和原始成土过程[J]. 土壤学报, 1963, 11(1): 1-9.
- [9] 朱志诚. 秦岭太白山森林主要类型特征及其分布规律[J]. 陕西林业科技, 1981(5): 30-40.
- [10] 叶炳,丁桂芳. 森林土壤分析方法[M]. 北京: 中华人民共和国国家出版社, 1988.
- [11] 李苇洁,陈训. 马缨杜鹃林区枯落物与土壤持水量性研究[J]. 贵州科学, 2005, 23(2): 60-65.
- [12] 王金叶,于澎湃,王彦辉,等. 森林生态水文过程研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008, 101-106.
- [13] 张治国,张云龙,刘徐师,等. 林业生态工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [14] 于志民,余新晓. 水源涵养林效益研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [15] 刘霞,张光灿,李雪莹,等. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 1-5.
- [16] Swanson R H, Bernier P Y, Woodard P D, et al. Forest Hydrology and Watershed Management[M]. Oxfordshire UK: IAHSPr, 1987.

(上接第 175 页)

- [3] 杨庆媛,田永中,王朝科,等. 西南丘陵山地区农村居民点土地整理模式: 以重庆渝北区为例[J]. 地理研究, 2004, 23(4): 469-478.
- [4] 高燕,叶艳妹. 农村居民点用地整理的影响因素分析及模式选择[J]. 农村经济, 2004(3): 23-25.
- [5] 张占录,张远索. 基于现状调查的城市郊区农村居民点整理模式[J]. 地理研究, 2010, 29(5): 891-898.
- [6] 石诗源,张小林. 江苏省农村居民点用地现状分析与整理潜力测算[J]. 中国土地科学, 2009, 23(9): 52-58.
- [7] 朱晓华,陈秧分,刘彦随,等. 空心村土地整治潜力调查与评价技术方法: 以山东省禹城市为例[J]. 地理学报,

2010, 65(6): 736-744.

- [8] 曹秀玲,张清军,尚国珩,等. 河北省农村居民点整理潜力评价分级[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 318-323.
- [9] 林坚,李尧. 北京市农村居民点用地整理潜力研究[J]. 中国土地科学, 2007, 21(1): 58-65.
- [10] 姜广辉,张凤荣,秦静,等. 北京山区农村居民点分布变化及其与环境的关系[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 85-92.
- [11] 姜广辉,张凤荣,孔祥斌,等. 北京山区建设用地扩展空间分异分析[J]. 地理研究, 2006, 25(5): 905-912.
- [12] 田光进. 基于 GIS 的中国农村居民点用地分析[J]. 应用技术, 2003(2): 32-35.