

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2016.05.002

四川盆周西缘山地3种典型人工林土壤渗透性研究*

张琴¹,余柏均¹,张晓庆²,马海燕²,彭彩云³,肖玖金^{2,3}

(1.四川省林业科学研究院,四川成都 610084;2.四川农业大学都江堰校区,
四川都江堰 611830;3.四川农业大学林学院,四川温江 611130)

摘要:为了解四川盆周西缘山地3种典型人工林(楠木、水杉、柳杉)下土壤渗透性特征,利用环刀入渗法对其土壤渗透性进行研究,结果显示,3种典型人工林各土层均是初渗率>平均渗透率>稳渗率,除0~20 cm层外,其余土层初渗率、稳渗速率、平均速率和总渗透量均是柳杉林最小;3种人工林不同土层的入渗速率随着时间的增加而下降,且水分入渗速率的变幅均是0~20 cm土层大于20 cm~40 cm和40 cm~60 cm;采用Kostiakov模型对不同林分土壤入渗率与入渗时间进行拟合,拟合结果表明:各林分土壤入渗率与入渗时间存在较好的幂函数关系,F检验显示均达到极显著水平($P < 0.001$),表明该模型适合描述各林分土壤入渗过程;通过对土壤物理性质和土壤渗透系数间的相关分析表明,土层厚度和土壤容重与土壤渗透系数呈负相关关系,其余土壤物理性质指标与土壤渗透系数间呈正相关关系,但各因子间相关系数均未达显著水平($P > 0.05$)。

关键词:人工林;土壤物理性质;土壤渗透性

中图分类号:S715 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5508(2016)05-0007-05

A Study of Soil Permeability Capability of Three Typical Forest Types in Western Sichuan Basin Borders

ZHANG Qin¹ YU Bai-jun¹ ZHANG Xiao-qing² MA Hai-yan²
PENG Cai-yun³ XIAO Jiu-jin^{2,3}

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610084, Sichuan, China;

2. Dujiangyan Campus, Sichuan Agricultural University, Dujiangyan 611830, Sichuan, China;

3. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China)

Abstract: In order to know the soil permeability capability of three forest types of western Sichuan basin borders, China, an investigation was carried out in 2013. The result showed that the order of soil permeability capability was initial infiltration rate > average infiltration rate > stable infiltration rate, and the smallest of initial infiltration rate, and average infiltration rate, stable infiltration rate and accumulative infiltration rate were found in *Cryptomeria fortune* forest except initial infiltration rate of 0~20 cm soil layer. The biggest decreasing amplitude of infiltration rate of each soil layers was found in 0~20 cm layer. Kostiakov model was used to model the infiltration process curves, which could display the soil infiltration process of different forest types. The results of correlation between infiltration process and soil physics index showed that bulk density, soil depth had no significantly negatively relationship ($P > 0.05$), and other soil physics had positive relationship ($P > 0.05$).

Key words: Artificial stands, Soil physical property, Soil permeability capability

收稿日期:2016-07-18

基金项目: * 国家青年自然科学基金项目(31400457);四川省景观与游憩研究中心资助项目(JGYQ2015012)资助。

作者简介:张琴(1983-),女,汉族,四川成都人,工程师,主要从事森林土壤研究,Email:19400088@qq.com。

森林土壤渗透性作为描述土壤入渗快慢的重要土壤物理特征参数之一^[1],也是森林生态系统水源涵养和水土保持功能的重要因子^[2],随着对森林水文研究的逐步深入,森林土壤在森林涵养水源功能中发挥的重要作用被越来越多的研究所证实^[3-5],同时,森林植被类型作为影响森林土壤理化性质的重要因子,对林下土壤理化性质有较大影响^[6,7]。

我国作为人工林面积最大和增长速度最快的国家^[8],人工林生态系统对我国生态环境安全具有重要的意义。四川地处长江流域上游,是长江流域重要的水土保持和水源涵养林保护区,该地区较早就大面积发展人工林,随着“退耕还林”政策的实施,该片区人工林林龄较大且至今保存完好,因此,对该区域主要栽培的楠木(*Phoebe zhennan*)、水杉(*Metasequoia Glyptostroboides*)和柳杉(*Cryptomeria fortune*)人工林土壤渗透性进行研究,对探讨人工林的生态效益,以及今后人工林的营造和经营发展有着一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于成都平原与四川盆周西缘山地接合部的都江堰市灵岩山(103° 25' 42" ~ 103° 47' E, 30° 44' 54" ~ 31° 22' 9" N),属中亚热带温湿型气候,海拔 852 m ~ 1 075 m,为浅切割低山地貌类型。年平均气温 15.2℃,极端最高、最低温度分别为 38℃ 和 -10℃,年平均相对湿度 81%,年平均降雨量 1 243 mm,年平均日照时数 1 024.2 h,无霜期 269 d。样地土壤为沙岩上发育的黄壤,质地为重壤质,pH 值 6.5 ~ 6.8,由于多雨,在淀积层与母质层之间有明显的潜育现象,土壤肥力中等,保肥保水性好。各林分状况如表 1。

表 1 不同人工林样地基本信息

Tab. 1 The basic condition of different artificial stands

指标	柳杉林	水杉林	楠木林
林龄(年)	39	30	60
密度(株·hm ⁻²)	800	900	833
平均胸径(cm)	12	17.5	18
平均树高(m)	12	17	15.6
枯落物厚度(cm)	3	5	6
郁闭度(P)	0.5	0.7	0.7
干扰程度	轻度干扰	轻度干扰	中度干扰

1.2 研究内容与方法

于 2013 年 7 月下旬分别在楠木林、水杉林和柳

杉林林地内设 20 m × 20 m 的标准样地,保证各样地土壤类型、坡度等条件基本一致。在标准地内挖取土壤剖面,用环刀($r = 5 \text{ cm}, v = 100 \text{ cm}^3$)分 3 个层次(0 ~ 20 cm, 20 cm ~ 40 cm, 40 cm ~ 60 cm)取原状土($n = 3$),带回室内测定土壤物理性质,具体测定方法见森林土壤分析方法^[9],其中土壤渗透性的测定利用环刀法进行^[10]。

所有数据采用 SPSS12.0 和 Excel 2007 进行数据统计和分析。不同林分间的差异采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)检验,显著水平设定为 $P = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同林分土壤持水和孔隙状况

不同林分下土壤持水能力见表 2。从表 2 可以看出,楠木林和柳杉林各土层土壤最大持水量以 0 ~ 20 cm 土层最高,分别为 25.66 mm 和 25.25 mm,水杉林以 20 cm ~ 40 cm 层最高,为 21.83 mm;楠木林和柳杉林毛管持水量均以 20 cm ~ 40 cm 层最高,分别为 23.65 mm 和 20.85 mm,水杉林以 40 cm ~ 60 cm 层最高,为 23.02 mm;楠木林和水杉林土壤田间持水量均以 20 cm ~ 40 cm 土层最高,分别为 19.59 mm 和 17.01 mm,柳杉林则以 40 cm ~ 60 cm 土层最高,为 16.58 mm;楠木林和水杉林土壤自然含水量均以表层最高,分别为 364.85 g·kg⁻¹ 和 346.28 g·kg⁻¹,柳杉林则以 20 cm ~ 40 cm 土层最高,为 373.07 g/kg,分析其原因,这可能与楠木和水杉林下具有较丰富的凋落物,减少了表层土壤蒸发,增大土壤含水量,而柳杉林下凋落物稀少,加上地表雨水冲刷造成其表层土壤含水量较低。LSD 方差分析显示,各土层不同林分间土壤持水指标差异不显著($P > 0.05$)。

表 2 不同林分土壤持水能力(mean ± S. E.)

Tab. 2 The soil moisture retention power under different artificial stands

土层 (cm)	林分	最大持水量 (mm)	毛管持水量 (mm)	土壤质量含 水量(g·kg ⁻¹)	田间持水量 (mm)
0 ~ 20	楠木林	25.7 ± 3.97	22.6 ± 3.24	364.9 ± 99.26	18.1 ± 3.18
	水杉林	20.9 ± 0.18	19.7 ± 0.09	346.3 ± 96.51	13.6 ± 0.62
	柳杉林	25.3 ± 3.23	18.4 ± 0.68	323.7 ± 74.02	15.5 ± 0.07
20 ~ 40	楠木林	25.3 ± 3.94	23.7 ± 4.50	255.5 ± 13.98	19.6 ± 4.59
	水杉林	21.8 ± 1.25	17.0 ± 0.41	244.9 ± 5.14	17.0 ± 0.91
	柳杉林	19.9 ± 0.76	20.9 ± 0.96	373.1 ± 82.83	15.4 ± 0.53
40 ~ 60	楠木林	24.5 ± 4.15	21.0 ± 3.50	234.7 ± 8.80	16.7 ± 3.53
	水杉林	20.7 ± 0.37	23.0 ± 3.23	282.5 ± 16.66	14.3 ± 0.30
	柳杉林	24.4 ± 2.68	19.8 ± 0.22	239.8 ± 10.16	16.6 ± 0.09

土壤孔隙状况可以影响土壤的透水、蓄水和供水能力,较好的土壤孔隙状况可以为植被生长提供所需的水分^[11]。对各人工林土壤空隙状况进行分析,结果显示(见表 3)。楠木和柳杉人工林土壤随着土层的加深,容重逐渐增加,而水杉林以 0~20 cm 略大于 20 cm~40 cm 土层,这可能与水杉须根系对 20 cm~40 cm 土壤有一定的改善作用,降低了该层土壤容重有关;同时,0~20 cm 土层,其土壤容重以水杉林最大,其余土层均以柳杉人工林最大;水杉总孔隙度和毛管孔隙度均以 20 cm~40 cm 最大,

表 3 不同林分土壤孔隙度分析(mean ± S. E.)

Tab. 3 The soil bulk density and porosity under different artificial stands

土层(cm)	林分	容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	总孔隙度 (%)	毛管孔隙度 (%)	非毛管孔隙度 (%)
0~20	楠木林	1.3 ± 0.14	51.3 ± 7.94	45.2 ± 6.48	6.1 ± 2.35
	水杉林	1.5 ± 0.05	41.8 ± 0.37	39.3 ± 0.19	2.5 ± 0.46
	柳杉林	1.3 ± 0.08	50.5 ± 6.45	47.8 ± 6.96	2.8 ± 0.55
20~40	楠木林	1.4 ± 0.08	50.5 ± 7.88	47.3 ± 8.99	3.2 ± 1.92
	水杉林	1.5 ± 0.06	43.7 ± 2.49	41.7 ± 1.93	2.0 ± 0.65
	柳杉林	1.5 ± 0.06	40.3 ± 0.93	38.1 ± 0.36	2.2 ± 0.99
40~60	楠木林	1.4 ± 0.11	49.1 ± 8.30	46.0 ± 6.46	6.8 ± 2.15
	水杉林	1.5 ± 0.03	41.4 ± 0.74	39.7 ± 0.43	2.3 ± 0.11
	柳杉林	1.5 ± 0.03	48.9 ± 5.37	42.0 ± 7.00	1.8 ± 0.32

而非毛管孔隙度以 20 cm~40 cm 最小;楠木总孔隙度以 0~20 cm 最大,毛管孔隙度和非毛管孔隙度以 40 cm~60 cm 最大;柳杉总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度以 0~20 cm 最大。进一步 LSD 分析显示,同一土层各林分间土壤孔隙度指标差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 不同林分土壤渗透性能分析

不同植被类型对土壤物理性质有着不同的影响^[7],导致不同林型土壤物理性质的差异,为了更好的研究不同林分对土壤渗透性的影响,本文采用常用土壤初入渗速率、稳渗速率、平均速率和总渗透量等 4 个指标研究土壤的渗透性。由图 1 可以看出,各土层的初入渗速率、稳渗速率和平均速率排序为,初渗率 > 平均渗透率 > 稳渗率,相关研究也有类似结果^[12]。除 0~20 cm 土层的初渗率外,各土层初渗率、稳渗速率、平均速率和总渗透量均以柳杉林最小,这主要是由于楠木林和水杉林林地有机质丰富,根系发达,土壤通透性好,渗透能力极强^[13],柳杉林人工林林地裸露,在雨水的冲刷作用下容易造成土壤紧实,土壤结构较差,土壤通透性不佳,渗透能力弱。

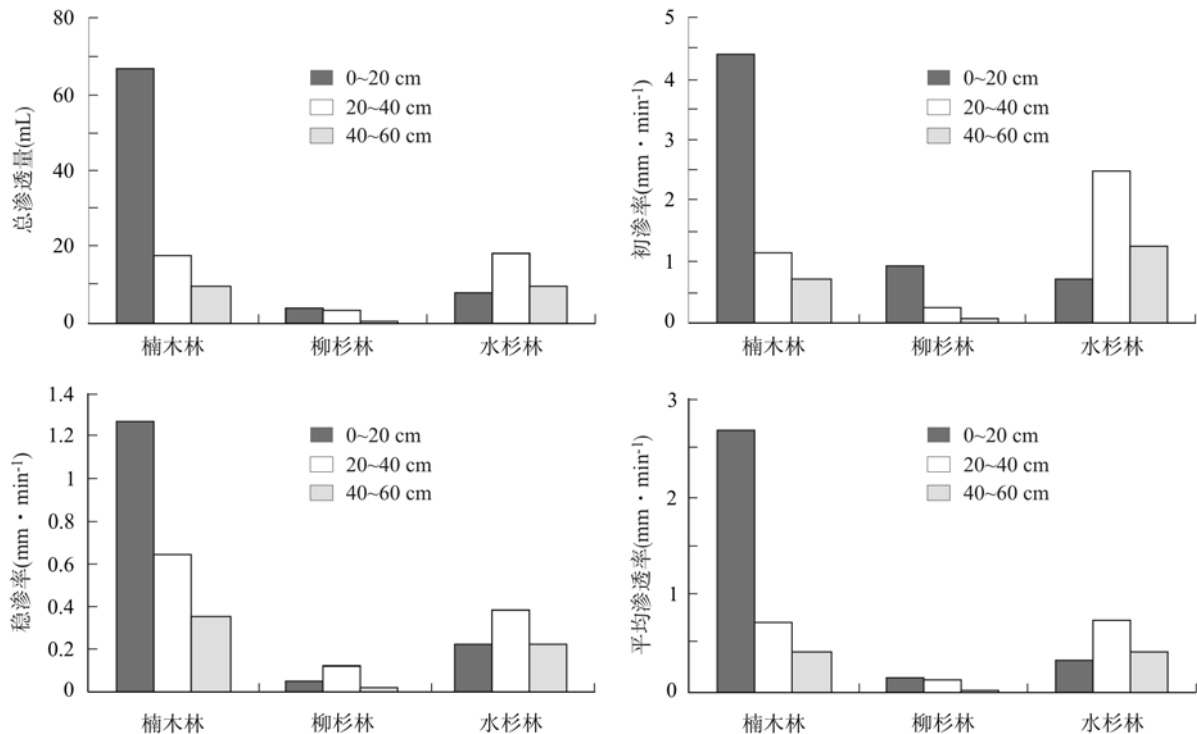


图 1 不同林地土壤渗透特征

Fig. 1 Soil infiltration characteristics of different artificial stands

土壤水分在各个时间段的入渗过程从图 2 看

出,各林分不同土层的入渗速率随着时间的增加而

下降,3种人工林水分入渗速率的变化幅度均以0~20 cm土层大于20 cm~40 cm和40 cm~60 cm。其中,0~20 cm土层楠木林在105 min后渗透速率比开始下降了71.07%,柳杉林在25 min后渗透速率比开始下降了94.55%,水杉林在75 min后比开始下降了68.91%,表明柳杉林下土壤的水源涵养和水土保持功能较楠木林和水杉林差。

进一步对各土层不同林分间土壤各渗透指标进行多重比较分析显示,20 cm~40 cm土层初渗率以水杉显著高于柳杉($P < 0.05$);0~20 cm和40 cm~60 cm土层稳渗率、总渗透量和平均渗透量均以楠木林显著高于柳杉和水杉林($P < 0.05$),同时,40 cm~60 cm土层稳渗率柳杉林显著高于水杉林($P < 0.05$)。

2.3 土壤水分入渗过程模型

土壤水分入渗过程模型中,Kostiakov模型被认为是最简单并适用于描述土壤入渗特征的通用经验模型^[6]。该模型的具体表达为: $f(t) = at^{-b}$,式中, $f(t)$ 为入渗速率, t 为入渗时间, a 、 b 为拟合参数。本文采用Kostiakov模型对不同林分类型土壤入渗率与入渗时间进行拟合分析,结果表明,各林分土壤入渗率与入渗时间存在较好的幂函数关系,其拟合度 R^2 在0.5607~0.9219之间,通过F检验显示均达到极显著水平($P < 0.001$),表明该模型适合描述各林分土壤入渗过程。其中,水杉人工林较楠木和柳杉人工林拟合度高,其拟合度均在0.90以上(表4)。

表4 不同林分土壤水分入渗模型

Tab. 4 The soil permeability capability model of different artificial stands

林型	土层厚度 (cm)	Kostiakov 方程	R^2	F	Sig. F
楠木林	0~20	$y = 7.0142x^{-0.452}$	0.7822	82.38	0.000
	20~40	$y = 1.1363x^{-0.21}$	0.7855	80.74	0.000
	40~60	$y = 0.7286x^{-0.295}$	0.6830	46.04	0.000
水杉林	0~20	$y = 2.9543x^{-0.695}$	0.9219	217.40	0.000
	20~40	$y = 1.4052x^{-0.63}$	0.9299	265.14	0.000
	40~60	$y = 0.8179x^{-0.45}$	0.9050	296.42	0.000
柳杉林	0~20	$y = 1.0491x^{-1.156}$	0.8620	138.70	0.000
	20~40	$y = 0.1907x^{-0.176}$	0.5607	27.65	0.000
	40~60	$y = 0.0379x^{-0.281}$	0.7518	59.45	0.000

2.4 土壤渗透性与土壤物理性质相关性分析

相关研究表明,土壤物理性质对土壤渗透性有着重要的影响,土壤的渗透能力是由各立地条件下的土壤理化性质决定的^[14],为进一步阐明人工林下土壤渗透性与土壤物理性质的关系,选择了土层厚

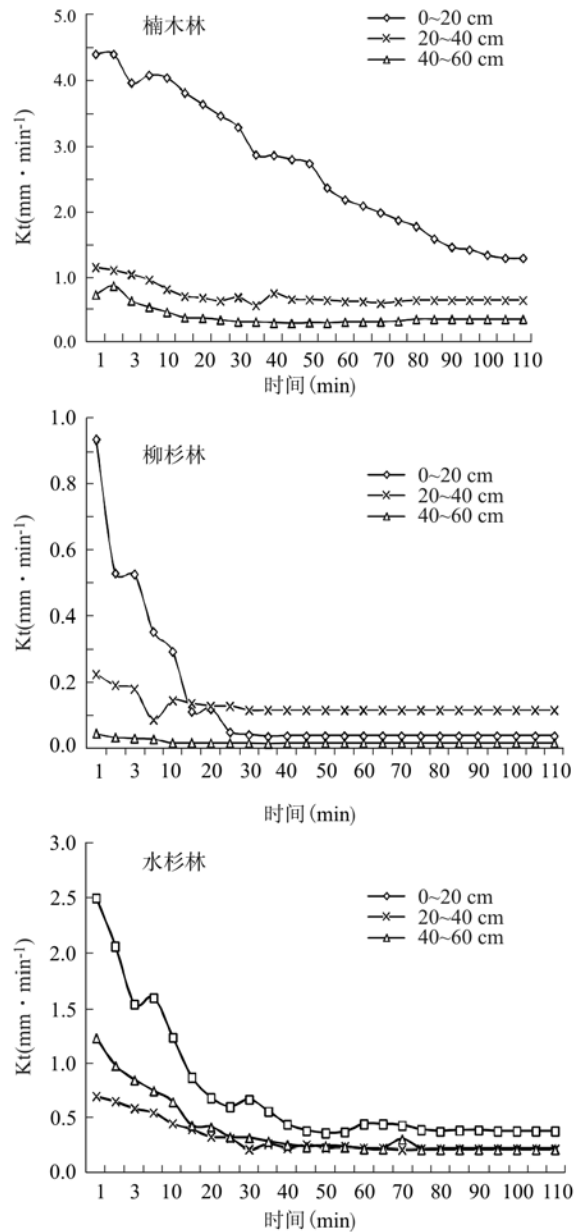


图2 不同林分土壤入渗过程
Fig.2 The process of soil permeability under different artificial stands

度等15个土壤物理性质指标与4个与土壤渗透性相关的指标进行相关性分析,研究表明,除土壤厚度和土壤容重与4个土壤渗透性指标呈负相关外,其余土壤物理性质指标均与4个土壤渗透性呈正相关。

通过土壤物理性质和土壤渗透系数的相关分析表明,土层厚度和土壤容重与土壤渗透系数呈负相关关系,其余土壤物理性质指标与土壤渗透系数间呈正相关关系,显著性检验表明,各因子间相关系数均未达显著水平($P > 0.05$)。

相关研究结果显示,土壤渗透性与土壤毛管孔隙等呈负相关^[14,15],而一些不同研究区的研究得出了与本文研究一致的结论^[3,13,16],显示出土壤渗透

性与土壤相关物理性质间的关系因研究区的不同而存在一定差异(表 5)。

表 5 土壤物理性质与渗透性相关关系矩阵($n = 9$)

Tab. 5 The relationship between the soil permeability capability and soil physical properties

土壤渗透性	土层厚度	土壤质量含水量	土壤体积含水量	土壤贮水量	最大持水量	毛管持水量	田间持水量	最佳含水量下限	排水能力	合理灌溉定额	非毛管孔隙	毛管孔隙	总孔隙度	土壤通气度	土壤容重
初渗率	-0.361	0.409	0.367	0.366	0.428	0.435	0.407	0.270	0.018	0.405	0.010	0.435	0.428	0.155	-0.139
稳渗率	-0.280	0.511	0.493	0.493	0.534	0.518	0.486	0.326	0.056	0.486	0.063	0.519	0.534	0.119	-0.149
平均渗透率	-0.343	0.475	0.404	0.404	0.481	0.427	0.384	0.203	0.136	0.383	0.136	0.428	0.480	0.190	-0.203
渗透总量	-0.345	0.476	0.405	0.405	0.481	0.428	0.384	0.203	0.137	0.383	0.136	0.428	0.481	0.190	-0.204

3 结论

(1)不同人工林下土壤物理性质存在较大差异,作为落叶阔叶林的楠木人工林,与其他两类人工林相比,具有较好的持水性和孔隙状况;同时,3类人工林各土层的初入渗速率、稳渗速率和平均速率排序为,初渗率>平均渗透率>稳渗率;楠木人工林表层土壤具有较好的渗透性;

(2)采用 Kostiakov 模型对不同林分类型土壤入渗率与入渗时间进行拟合结果表明,各林分土壤入渗率与入渗时间存在较好的幂函数关系,F 检验显示均达到极显著水平($P < 0.001$),表明该模型适合描述各林分土壤入渗过程;

(3)通过土壤物理性质和土壤渗透系数的相关分析表明,土层厚度和土壤容重与土壤渗透系数呈负相关关系,其余土壤物理性质指标与土壤渗透系数间呈正相关关系,但各因子间相关系数均未达显著水平($P > 0.05$)。

参考文献:

- [1] 马维伟,王辉,张莉萍. 兰州北山人工侧柏林地土壤渗透性研究[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(2):186~190.
- [2] 曾大林. 对当代林业水土保持作用的几点认识[J]. 中国水土保持,2000,6:25~28.
- [3] 王勤,丁正亮,徐小牛. 安徽老山不同毛竹林土壤渗透性能及

其影响因素[J]. 经济林研究,2010,28(4):50~54.

- [4] 庞学勇,包维凯,张咏梅. 岷江上游中山区低效林改造对土壤物理性质的影响[J]. 水土保持通报,2005,25(5):12~16.
- [5] 彭明俊,郎南军,温绍龙,等. 金沙江流域不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能研究[J]. 水土保持学报,2005,19(6):106~109.
- [6] 霍小鹏,李贤伟,张健,等. 川西亚高山不同植被类型土壤贮水与入渗性能试验[J]. 中国水土保持科学,2009,7(6):74~79.
- [7] 曹鹤,薛立,谢腾芳,等. 华南地区八种人工林的土壤物理性质[J]. 生态学杂志,2009,28(4):620~625.
- [8] 彭舜磊,王得祥,赵辉,等. 我国人工林现状与近自然经营途径探讨[J]. 西北林学院学报,2008,23(2):184~188.
- [9] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准:森林土壤分析方法[M]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [10] 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,1984:16~38.
- [11] 张泱,宋启亮,董希斌. 不同采伐强度改造对小兴安岭低质林土壤理化性质的影响. 东北林业大学学报,2011,39(11):22~24,49.
- [12] 喻明美,谢正生. 广州市白云山五种森林类型的土壤渗透性研究[J]. 水土保持研究,2011,18(1):153~156.
- [13] 刘道平,陈三雄,张金池,等. 浙江安吉主要林地类型土壤渗透性[J]. 应用生态学报,2007,18(3):493~498.
- [14] 王纪杰,俞元春,陈容,等. 不同栽培代次、林龄的桉树人工林土壤渗透性研究[J]. 水土保持学报,2011,25(2):78~82,103.
- [15] 范少辉,刘广路,漆良华,等. 闽西北不同经营时间毛竹林土壤渗透性研究[J]. 水土保持学报,2010,24(1):24~27.
- [16] 张昌顺,范少辉,官凤英,等. 闽北毛竹林的土壤渗透性及其影响因子[J]. 林业科学,2009,45(1):36~42,48.