

# 华家岭低效防护林带改造对林地土壤蓄水性能的影响

黄蓉<sup>1</sup>, 王辉<sup>1</sup>, 王蕙<sup>1</sup>, 董建刚<sup>2</sup>, 赵赫然<sup>1</sup>, 段雅楠<sup>1</sup>

(1. 甘肃农业大学 林学院, 兰州 730070; 2. 定西市华家岭林业站, 甘肃 定西 743000)

**摘 要:**为探讨华家岭低效防护林带改造对林地土壤蓄水性能的影响,在华家岭防护林分布区选取生长不良的低效杨树纯林和改造后的云杉纯林、云杉×杨树、云杉×油松、云杉×落叶松混交林 5 种典型林带类型,对其土壤物理性状和蓄水性能进行对比研究,结果表明:(1) 0—100 cm,5 种林型土壤含水量均呈随着土层深度的增加而降低的趋势,平均土壤含水量表现为云杉纯林(25.10%)>云杉×杨树林(24.13%)>云杉×油松林(21.80%)>云杉×落叶松林(21.42%)>杨树纯林(18.20%);(2) 0—40 cm,云杉纯林及其混交林的平均土壤非毛管蓄水量、毛管蓄水量、总蓄水量均高于杨树纯林。亚表层(20—40 cm),云杉纯林、云杉×杨树林、云杉×油松林、云杉×落叶松林的毛管蓄水量较杨树纯林增加 15.96%,6.65%,17.89%,10.83%,总蓄水量较杨树纯林增加 14.33%,13.78%,19.57%,16.28%;(3) 云杉纯林及其混交林的土壤含水量和总蓄水量与土壤容重的相关性好于杨树纯林,表明杨树低效林改造对提高黄土高原丘陵沟壑区林地土壤的蓄水性能具有积极影响。

**关键词:**华家岭;防护林带;土壤蓄水性能

**中图分类号:**S714.7

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)02-0053-05

## Effect of Low-Efficient Shelterbelt Improvement on Forest Soil Water Storage Capacity in Huajialing

HUANG Rong<sup>1</sup>, WANG Hui<sup>1</sup>, WANG Hui<sup>1</sup>, DONG Jian-gang<sup>2</sup>, ZHAO He-ran<sup>1</sup>, DUAN Ya-nan<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Huajialing Forestry Station of Dingxi, Dingxi, Gansu 743000, China)

**Abstract:** In order to discuss the effect of low-efficient shelterbelt improvement on forest soil water storage capacity, the soil physical properties and water storage capacity were studied by choosing low-efficient *P. hopeiensis* pure forest which grew poorly and *P. asperata* pure forest, *P. asperata*×*P. hopeiensis*, *P. asperata*×*P. tabulaeformis* and *P. asperata*×*L. principis-rupprechtii* which were improved forests in Huajialing. The results showed that: (1) soil water content of 5 forest types all decreased gradually with the increase of soil depth in 0—100 cm layer, the soil average water contents followed the order of *P. asperata* pure forest (25.10%)>*P. asperata*×*Populus*(24.13%)>*P. asperata*×*P. tabulaeformis*(21.80%)>*P. asperata*×*L. principis-rupprechtii* (21.42%)>*P. hopeiensis* pure forest(18.20%); (2) non-capillary water, capillary water and total water of soil in *P. asperata* pure forest and its mixed forests in 0~40cm layer were all higher than *Populus* pure forest. Compared with *Populus* pure forest, the capillary impoundage of *P. asperata* pure forest, *P. asperata*×*P. hopeiensis* forest, *P. asperata*×*P. tabulaeformis* forest and *P. asperata*×*L. principis-rupprechtii* forest increased by 15.96%, 6.65%, 17.89% and 10.83% in subsoil(20—40 cm), respectively, and their total water storage increased by 14.33%, 13.78%, 19.57%, 16.28%, respectively; (3) the correlations between soil water content, total water storage and soil bulk density of soil in *P. asperata* pure forest and its mixed forests were better than those in *P. hopeiensis* pure forest. Low-efficient *P. hopeiensis* forest improvement has positive effect on promoting forest soil water-holding capacity in loess hilly-gully region.

**Key words:** Huajialing; shelterbelt; soil water storage capacity

收稿日期:2013-08-07

修回日期:2013-09-11

资助项目:甘肃省高等学校研究生导师科研项目“黄土丘陵区低效公益林改造技术及生态风险评价(1202-01)”

作者简介:黄蓉(1989—),女,甘肃天水人,硕士,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail:gsauhr@163.com

通信作者:王辉(1959—),女,甘肃武威人,教授,主要从事林业生态环境、荒漠化防治研究。E-mail:wangh@gsau.edu.cn

森林的蓄水性能是森林生态系统的重要功能之一,树种组成及林分类型是影响土壤性质的重要因素,不同植被类型的土壤蓄水性能不同<sup>[1-3]</sup>。土壤是森林植被中最重要的组成部分之一,是森林水源涵养的主体,土壤结构、种类和孔隙度等指标与土壤的持水、保水及渗水能力直接相关<sup>[4-5]</sup>。20 世纪 70 年代初期,华家岭以杨树(*Populus hopeiensis*)为主要造林树种开始了防护林带的营建工作。杨树林带对增加当地植被盖度,控制水土流失,改变局部小气候,发挥了一定的生态防护效益。但随着林龄的增长,特别是在高海拔地段及梁峁、风口地方,由于气候干旱、环境恶劣,致使林带树木生长不良,出现“小老树”现象,加之病虫害危害,林木蓄积出现负增长,林带整体防护效能开始不断下降,进而逐步发展成了低产低效林分。20 世纪 80 年代以来,为改变这种现象,该地区开始以云杉(*Picea asperata*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、落叶松(*Larix prncipis-rupprechtii*)等作为主要造林树种,对区域内生长不良的低产低效杨树防护林带进行逐步地更新改造。但是,对该区低效林改造前后的林地土壤蓄水能力有无差异还未见研究报道。为了分析华家岭低效林改造对土壤蓄水性能的影响,本文采用野外调查采样和室内分析相结合的方法,以当地低效杨树纯林、改造后的云杉纯林及其混交林为研究对象,分析研究不同林型下的土壤物理性状、蓄水能力,以其为华家岭地区低效防护林带的改造和经营管理提供理论依据。

表 1 样地的基本情况

林型	优势树种 及比率	林龄/ a	平均 胸径/cm	平均 树高/m	密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	海拔/ m	坡度/ (°)	坡向	坡位	林分生长 状态
杨树纯林	杨树(100%)	30	10.30	6.70	1450	2317	20	西北	上坡	不良
云杉纯林	云杉(100%)	20	8.94	5.23	1350	2169	23	南	下坡	旺盛
云杉×杨树林	云杉(67%)	25	6.90	4.22	1490	2261	22	西北	上坡	旺盛
云杉×油松林	云杉(69%)	25	9.45	6.14	1250	2258	25	西	上坡	旺盛
云杉×落叶松林	云杉(65%)	25	6.72	3.69	1050	2149	25	西	上坡	旺盛

1.2.2 样品采集 在各样地内去除表层的枯枝落叶,按照土层深度 0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm,80—100 cm 共 6 层用铝盒采集土样,同时用环刀(100 cm<sup>3</sup>)分别取 0—20 cm,20—40 cm 的原状土壤,每个组合 3 次重复,带回实验室进行土壤容重、孔隙度和蓄水量的测定。

1.2.3 指标测定与计算方法 土壤含水量采用恒温箱烘干法(105℃);土壤容重、孔隙度的测定采用环刀法,土壤孔隙度和蓄水量计算方法为<sup>[6-7]</sup>:

土壤非毛管孔隙度=[土壤饱和持水量-土壤毛管持水量]×土壤容重/水比重;

# 1 研究方法

## 1.1 研究地概况

华家岭位于黄土高原丘陵沟壑区,地处甘肃中部的安定、通渭、会宁三县接壤地带,属甘肃省中部干旱地区。境内海拔 2 000~2 586 m,地势高寒,阴湿风大,沟壑纵横,坡陡沟深。华家岭林带(35°225'4"—35°43'40"N, 104°52'48"—105°28'06"E)分布在以华家岭为中心、半径 50 km 的区域内,属南温带半湿润—中温带干旱气候区,最大风力可达 7~8 级,最大风速可达 30 m/s,海拔 2 000~2 586 m,年均气温 3.9℃,年降水量 451.1 mm,年蒸发量 1 212.4 mm,大气相对湿度 65%,干燥度 1.0,年平均日照时数 2 500.1 h,无霜期 148 d。主要人工植被为云杉、杨树、油松、落叶松、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana intermedia*)林等。主要土壤类型是黑垆土和黄绵土。

## 1.2 试验方法

1.2.1 样地设置 2012 年 5—6 月,在甘肃省定西市华家岭林带分布区,选取有代表性的低效杨树纯林和经过由杨树纯林改造后的云杉纯林、云杉×杨树林、云杉×油松林、云杉×落叶松林 5 种林带类型,在每种类型内设置 3 个面积为 20 m×20 m 的样地,分别对样地内林木进行每木检尺,实测林木胸径、树高、林龄等,同时记载标准地的海拔、坡度、坡向、坡位、土壤类型及林木生长状况,各样地基本情况见表 1。

土壤毛管孔隙度=土壤毛管持水量×土壤容重)/水比重;

土壤总孔隙度=土壤非毛管孔隙度+土壤毛管孔隙度(%);

土壤非毛管蓄水量=土壤非毛管孔隙度×1000×土层厚度;

土壤毛管蓄水量=土壤毛管孔隙度×1000×土层厚度;

土壤总蓄水量=土壤总孔隙度×1000×土层厚度

1.2.4 分析方法 应用 Excel,SPSS 17.0 软件对数据进行分析处理,采用单因素方差分析和 Duncan 多

重比较对不同林型防护林带的土壤特征进行比较分析,用 Pearson 分析不同林型的土壤含水量和蓄水量与容重之间的相关性。

2 结果与分析

2.1 不同林型的土壤容重和孔隙度

土壤容重和孔隙度是度量土壤物理特性的指标,直接影响到土壤的通气性和透水性,其值的大小说明土壤涵蓄水分以及供应树木生长所需水分的能力及根系穿插的难易程度,并间接影响到土壤肥力状况<sup>[8-9]</sup>。由表 2 可知,0—40 cm,各林型土壤容重基本呈随着土层深度增加而逐渐增加的趋势。造成这种现象的主要原因,是近地表层土壤受枯落物积累、腐烂形成腐殖质层的影响<sup>[10]</sup>。亚表层(20—40 cm),云杉纯林及其混交林的土壤容重显著低于杨树纯林地( $P<0.05$ ),云杉纯林、云杉×杨树林、云杉×油松林、云杉×落叶松林的土壤容重较杨树纯林降低 1.43%,10.71%,15.00%,13.57%,土壤孔隙度较杨树纯林增加 14.31%,13.76%,19.58%,16.28%,这是由于不同林型的凋落物量、分解速率、根系密度和林下植被覆盖等条件的差异,造成不同林地土壤容重和孔隙度存在明显的差异<sup>[11]</sup>。可见,在低效林改造后,云杉纯林及其混交林在一定程度上改善了土壤的物理性质,较杨树纯林降低了土壤容重,增加土壤孔隙度,使土壤变得疏松,提高了土壤通气性和透水性。

表 2 不同林型土壤容重和孔隙度的变化

林型	土层	容重/	孔隙度/
	厚度/cm	(g·cm <sup>-3</sup> )	%
杨树纯林	0—20	1.38±0.05b	42.38±5.03a
	20—40	1.40±0.09b	45.21±2.31a
云杉纯林	0—20	1.29±0.07ab	51.88±3.08b
	20—40	1.38±0.08b	51.68±3.29b
云杉×杨树林	0—20	1.29±0.12ab	56.95±4.78b
	20—40	1.25±0.03a	51.43±2.11b
云杉×油松林	0—20	1.25±0.05ab	52.00±0.76b
	20—40	1.19±0.05a	54.06±2.42b
云杉×落叶松林	0—20	1.20±0.08a	52.50±1.49b
	20—40	1.21±0.04a	52.57±1.40b

注:表格中的数据为平均值±标准误,同列数据后不同字母表示不同林型在同一土层平均值的差异显著( $P<0.05$ )。下同。

2.2 不同林型土壤含水量

土壤的水分特征是气候、植被、地形及土壤因素等自然条件的综合反映,对整个生态系统的水热平衡起决定作用<sup>[12]</sup>。在生态恢复中,植被类型不同,根系分布深度、密度、自身的生长和延伸及叶片蒸腾强度也具有很大差异,从而土壤的蒸发和植被的蒸腾不

同,由此引起的土壤干燥化程度和土壤水分的分布与梯度也不同<sup>[4,13]</sup>。由图 1 可知,各林型的平均土壤含水量表现为云杉纯林(25.10%)>云杉×杨树林(24.13%)>云杉×油松林(21.80%)>云杉×落叶松林(21.42%)>杨树纯林(18.20%)。0—100 cm,随着土层深度的增加,各林型的土壤水分含量均呈下降趋势,该区的土壤含水量剖面属于底聚型<sup>[14]</sup>。表层(0—10 cm),杨树纯林的土壤含水量比云杉纯林、云杉×杨树林、云杉×油松林、云杉×落叶松林低 54.16%,35.43%,23.08%,10.59%;下层(80—100 cm),杨树纯林的土壤含水量比云杉纯林、云杉×杨树林、云杉×油松林、云杉×落叶松林低 3.10%,37.13%,12.99%,42.33%。就云杉纯林及其混交林而言,在 0—100 cm 内,土壤含水量表现为云杉纯林>云杉×杨树林>云杉×油松林>云杉×落叶松林,可见,杨树纯林与云杉纯林及其混交林的表层土壤含水量的差异性大于下层,主要是因为杨树的侧根较多且树冠蒸腾耗水量较大所致。云杉纯林及其混交林在涵养水源和供给植物有效水利用方面好于杨树纯林,在低效林改造后,土壤含水量较杨树纯林有所增加。

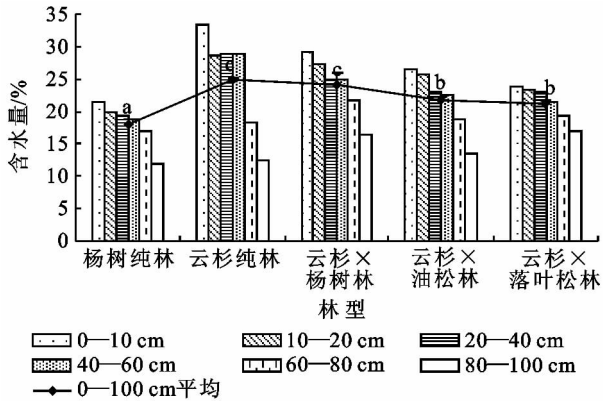


图 1 0—100 cm 不同林型土壤含水量的变化

2.3 不同林型土壤蓄水性能

林地土壤物理性状是反映林分水土保持功能强弱的重要指标,土壤物理性状优良的土壤对于减少地表径流、涵养水源、保持水土具有重要的作用,蓄水能力是评价森林涵养水源、调节水循环的一个重要指标<sup>[15-16]</sup>。而蓄水能力主要取决于土壤的孔隙度,由于各森林类型的孔隙度不同,因此各个土壤的蓄水量也必然存在差异<sup>[17]</sup>。由表 3 可知,0—40 cm,各林型的土壤非毛管蓄水量、毛管蓄水量和总蓄水量呈波动性变化,变异系数为 18.25%,5.77%,5.58%。云杉纯林及其混交林的平均土壤蓄水量均高于杨树纯林。亚表层(20—40 cm),云杉纯林、云杉×杨树林、云杉×油松林、云杉×落叶松林的毛管蓄水量较杨树纯林增加 15.96%,6.65%,17.89%,10.83%,总蓄水量

较杨树纯林增加 14.33%，13.78%，19.57%，16.28%。方差分析表明，杨树纯林的非毛管蓄水量、毛管蓄水量、总蓄水量与云杉纯林及其混交林之间差异显著( $P<0.05$ )，但云杉纯林及其混交林之间的差异不显著( $P>0.05$ )。由此可见，云杉纯林及其混交林对土壤物理性质均有一定程度的改良作用，在很大

程度上提高了土壤的蓄水能力。而就云杉纯林及其混交林而言，混交林又优于云杉纯林。原因可能是混交林主要垂直根的分布达到了充分利用地力的效果，缓和了种间矛盾。另外林分凋落物、根系伸展、林冠扩张和气候条件都会影响土壤物理性质，进而影响水分<sup>[18]</sup>。

表 3 不同林型土壤蓄水量的变化

林型	土层厚度/cm	非毛管蓄水量/(t·hm <sup>-2</sup> )	毛管蓄水量/(t·hm <sup>-2</sup> )	总蓄水量/(t·hm <sup>-2</sup> )
杨树纯林	0—20	67.17±3.32a	781.17±97.50a	848.34±100.79a
	20—40	47.26±12.73a	856.91±33.78a	904.17±46.18a
云杉纯林	0—20	112.47±25.90b	925.82±36.26b	1038.28±61.47b
	20—40	40.09±1.95a	993.69±67.88bc	1033.77±66.01b
云杉×杨树林	0—20	130.30±31.08b	1008.88±89.32b	1139.18±95.76b
	20—40	114.84±20.34c	913.93±31.35ab	1028.77±42.20b
云杉×油松林	0—20	69.27±9.55a	970.86±20.65b	1040.13±15.06b
	20—40	70.95±19.95ab	1010.22±42.78c	1081.16±48.36b
云杉×落叶松林	0—20	100.22±16.59ab	969.83±73.98b	1070.04±57.39b
	20—40	101.69±23.13bc	949.70±40.59bc	1051.39±28.04b

2.4 相关性分析

由表 4 可以看出，不同林型间的土壤含水量、土壤总蓄水量与土壤容重的相关性存在一定的差异。土壤容重通过影响土壤团聚体结构、林下微环境和枯落物的分解状况，进而影响枯落物蓄水性能<sup>[19]</sup>。云杉纯林及其混交林的土壤含水量、土壤总蓄水量与土壤容重的相关性均好于杨树纯林，这表明不同的植被类型对土壤蓄水性能的影响作用不同。经过低效林改造的云杉纯林及其混交林，林木的旺盛生长促进了林分的改良土壤作用，土壤的各物理指标间较栽种杨树纯林时协调，物理性质和蓄水性能发生变化，在一定程度上较杨树降低了土壤容重，增加了土壤孔隙度，提高了土壤的蓄水能力。林分与林地土壤物理性质之间形成了一个相互影响，相互促进的耦合作用系统。

表 4 不同林型的土壤含水量(Y<sub>1</sub>)和蓄水量(Y<sub>2</sub>)与容重(X)的相关关系

林型	拟合方程	R <sup>2</sup>	P
杨树纯林	Y <sub>1</sub> = -12.68X + 7.046	0.422	≤0.05
	Y <sub>2</sub> = -40.891X + 1089.112	0.483	≤0.05
云杉纯林	Y <sub>1</sub> = -11.209X + 27.993	0.791	≤0.01
	Y <sub>2</sub> = -213.834X + 786.043	0.714	≤0.01
云杉×杨树林	Y <sub>1</sub> = -6.535X + 14.049	0.629	≤0.01
	Y <sub>2</sub> = -213.153X + 1019.426	0.601	≤0.01
云杉×油松林	Y <sub>1</sub> = -27.581X + 5343	0.605	≤0.01
	Y <sub>2</sub> = -153.273X + 1127.916	0.579	≤0.01
云杉×落叶松林	Y <sub>1</sub> = -23.712X + 2.988	0.604	≤0.01
	Y <sub>2</sub> = -379.278X + 566.285	0.672	≤0.01

3 结论

华家岭防护林带 5 种林型土壤含水量呈随着土层深度的增加而降低的趋势，0—100 cm 层平均土壤含水量表现为云杉纯林(25.10%)>云杉×杨树林(24.13%)>云杉×油松林(21.80%)>云杉×落叶松林(21.42%)>杨树纯林(18.20%)。说明低效林改造后的云杉纯林及其混交林对土壤水分的保持优于杨树纯林。张涛等<sup>[20]</sup>、刘韶辉等<sup>[21]</sup>研究表明，林地土壤水分含量随着土壤深度的增加而降低，表层 0—10 cm 的含水量最高；邱扬等<sup>[22]</sup>对我国黄土高原土壤水分研究认为，我国黄土高原土壤水分随着土壤深度的增加，平均含水量显著增加，为增长型，在雨季或植被生长期，则可能出现降低型。Singhl 等<sup>[23]</sup>在美国西部科罗拉多州对 30 cm，45 cm，60 cm，75 cm，90 cm 土层的研究也有相似结论。本研究结果与上述各研究结果一致。

0—40 cm，云杉纯林及其混交林的平均土壤容重均低于杨树纯林，而平均土壤孔隙度、非毛管蓄水量、毛管蓄水量、总蓄水量均高于杨树纯林。亚表层(20—40 cm)，云杉纯林、云杉×杨树林、云杉×油松林、云杉×落叶松林的毛管蓄水量较杨树纯林增加 15.96%，6.65%，17.89%，10.83%，总蓄水量较杨树纯林增加 14.33%，13.78%，19.57%，16.28%。赵振磊等<sup>[3]</sup>研究了刺槐混交林的持水性能，研究结果表明刺槐混交林显著改善了土壤的结构，增加了土壤的持水能力。造林后显著降低了土壤容重，增加了土壤

孔隙度,且混交林对土壤的改善能力大于纯林。本研究也表明,各林型间的土壤蓄水性能间存在一定的差异,在低效林改造后,云杉纯林及其混交林在一定程度上改善了土壤结构,较杨树纯林降低了土壤容重,增加了土壤孔隙度,提高了土壤的蓄水能力。而就云杉纯林及其混交林而言,混交林对土壤结构的改善作用优于云杉纯林。

不同林型间土壤含水量和总蓄水量与土壤容重的相关性存在一定差异,云杉纯林及其混交林的土壤含水量和总蓄水量与土壤容重的相关性较杨树纯林好。这与土壤孔隙度的多少和分布的均匀程度有关。从林地土壤物理性状改善及蓄水性能等方面综合来看,云杉纯林及其混交林地均优于杨树纯林,而就云杉纯林及其混交林而言,各类混交林的蓄水量高于云杉纯林,但未表现出显著差异性,这表明混交林对土壤物理性质的改善作用优于云杉纯林,这一研究结果与赵振磊等的研究结果一致<sup>[3]</sup>。但由于低效林改造的时间较短,对于不同类型混交林对土壤蓄水性能影响的差异,还有待于今后的跟踪研究。

华家岭5种林带类型土壤蓄水性能的对比研究结果表明,云杉纯林及其混交林的土壤蓄水能力优于杨树纯林,表明杨树低效林改造对提高黄土高原丘陵沟壑区林地土壤的蓄水性能具有积极影响。因此建议,在西北黄土丘陵区干旱的环境下,应提倡实施以云杉及其混交林为主的杨树低产低效林改造工程,以促进防护林带涵养水源和水土保持功能的更好发挥。

#### 参考文献:

- [1] 夏江宝,陆兆华,高鹏,等. 黄河三角洲滩地不同植被类型的土壤贮水功能[J]. 水土保持学报,2009,23(5):72-75.
- [2] 丁访军,王兵,钟洪明,等. 赤水河下游不同林地类型土壤物理特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2009,23(3):179-183.
- [3] 赵振磊,李传荣,许景伟,等. 黄河三角洲不同刺槐混交林的土壤持水能力[J]. 水土保持学报,2012,26(3):222-226.
- [4] 周毅,魏天兴,解建强,等. 黄土高原不同林地类型水土保持效益分析[J]. 水土保持学报,2011,25(3):12-16.
- [5] 李文影,满秀玲,张阳武. 不同林龄白桦次生林土壤特性及其水源涵养功能[J]. 中国水土保持科学,2009,7(5):63-69.
- [6] 国家林业局. 森林土壤分析方法(中华人民共和国林业行业标准)[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [7] 马维伟,王辉,王修华,等. 甘南尕斯海不同湿地类型土壤物理特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2012,26(4):194-198.
- [8] 耿佳,于法展,杨盼盼,等. 苏北山丘区典型性次生林下土壤蓄水能力分析[J]. 水土保持研究,2012,19(1):184-191.
- [9] 陈波,剪文灏,吕发,等. 冀北山地蒙古栎天然林土壤物理性质及水源涵养功能研究[J]. 水土保持通报,2013,33(2):83-86,92.
- [10] 杨进怀,孙艳红,张洪江. 缙云山不同类型植被坡面土壤水分特征[J]. 水土保持研究,2007,14(6):131-134.
- [11] 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.
- [12] 王骥,钱晓刚,彭熙. 花江峡谷不同植被类型下土壤水分时空分布特征[J]. 水土保持学报,2006,20(5):139-141.
- [13] 黄林,王峰,周立江,等. 不同森林类型根系分布与土壤性质的关系[J]. 生态学报,2012,32(19):6110-6119.
- [14] 海米提·依米提,安外尔·艾则孜,赛迪古丽·哈西木,等. 新疆克里雅绿洲土壤含水量的空间变异性特征[J]. 水土保持研究,2013,20(2):127-134.
- [15] 刘培娟,杨吉华,王兴翠,等. 新泰土门林场4种林地土壤蓄水性能及渗透速率的研究[J]. 水土保持研究,2007,14(6):30-32.
- [16] 周卫卫,余雪标,王旭,等. 海南3种典型森林土壤蓄水和渗透能力比较研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(14):6789-6792.
- [17] 王黑子来,刘微,黄超,等. 大兴安岭生态沟系典型森林植被水源涵养功能的研究[J]. 中国农学通报,2011,27(19):33-37.
- [18] 葛乐,虞木奎,成向荣. 杉木林下套种不同树种对土壤改良效应初探[J]. 土壤通报,2011,42(2):948-952.
- [19] 段兴凤,宋维峰,曾洵,等. 湖南紫鹊界梯田区森林土壤涵养水源功能初步研究[J]. 水土保持研究,2011,18(1):157-160.
- [20] 张涛,车克钧,王辉. 祁连山青海云杉林不同海拔梯度土壤水分动态变化[J]. 湖北农业科学,2009,48(5):1107-1111.
- [21] 刘韶辉,项文化,方江平. 西藏南伊沟原始林芝云杉林土壤水文的物理特征[J]. 中南林业科技大学学报,2010,30(7):15-18.
- [22] Qiu Y, Fu B, Wang J, et al. Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semi-arid gully catchment of the Loess Plateau, China[J]. Journal of Arid Environments,2001,49(4):723-750.
- [23] Singh J S, Milchunas D G, Lauenroth W K. Soil water dynamics and vegetation patterns in a semiarid grassland[J]. Plant Ecology,1998,134(1):77-89.