

黑龙江省东部山地灌木林地的静态持水能力

孔 亮¹, 陈祥伟^{1, 2}

(1. 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 北京林业大学, 北京 100083)

摘 要: 从森林涵养水源的角度, 对黑龙江省东部山地 5 种次生演替灌木林类型的土壤和枯落物的持水性能进行了调查和分析。结果表明: 与当地的阔叶红松林相比灌木林在水源涵养方面也有着不可忽视的作用, 5 种灌木林类型的枯落物最大持水量和有效持水量分别在 20.90~ 33.48 t/hm² 间和 12.83~ 25.07 t/hm² 间, 其土壤的最大持水量和有效持水量也分别为 1927.12~ 2 816.55 t/hm² 间和 505.09~ 865.15 t/hm² 间。对 5 种次生演替灌木林地的持水能力的各项指标进行综合比较分析, 其静态持水能力的大小依次为胡枝子灌丛、珍珠梅灌丛、接骨木灌丛、榛子灌丛和绣线菊灌丛。

关键词: 灌木林; 土壤; 枯落物; 持水量

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

森林以其林地上富集的枯落物层以及深厚的土壤层截留和储蓄大气降水, 从而发挥着森林生态系统涵养水源、净化水质、保持水土和减少旱涝灾害的水文生态功能。其中灌木林作为森林资源的重要组成部分, 种类多样、分布广阔, 与针叶林、阔叶林、竹林共同组成我国森林的四大类型。它具有森林资源特殊的生态功能, 尤其是在一些土壤结构不良、肥力低、干旱季节土壤含水量低、乔木树种成林慢、生长差、生态和经济效益低, 难以有很好发展的地区。如果在这些地方栽植耗水量小、耐瘠薄、耐风蚀、抗干旱能力强、根系发达有很强的复壮更新和自然修复能力的灌木, 3~ 5 a 年就能形成强大的灌丛, 地上枝条茂密, 地下根系盘根错节, 能够发挥很强的固沙保土和涵养水源的作用。作为重要水源涵养林区的黑龙江省东部山地, 灌木林在维系区域水量平衡中起着重要作用。因此对灌木林地蓄水能力进行研究, 不仅可以提高人们对灌木林生态功能的认识, 而且能为该地区灌木林的科学经营与保护提供参考。

1 研究地点概况

研究地点位于东北林业大学帽儿山实验林场, 地理坐标为 127°36′~ 127°39′E, 45°23′~ 45°26′N。帽儿山属于长白山系张广才岭西北部小岭的余脉, 境内山峦绵延, 丘陵起伏, 平均海拔 300 m, 由南向北渐高, 一般坡度在 10°~ 15°。本区属长白植物区系, 是东北东部山区较典型的天然次生林区, 原地带性顶级群落为红松阔叶林, 遭受重大破坏后, 经几个阶段演替逐渐恢复为现在的天然次生林相, 是东北部地区较为典型的天然次生林。该区森林覆盖率为 70.2%, 境内天然次生林类型多样, 主要的次生演替灌木群落为胡枝子灌丛、榛子灌丛、珍珠梅灌丛以及绣线菊灌丛。该地区大陆性气候较为明显, 属温带季风气候, 年降水量 450~ 600 mm, 主要集中在 7~ 8 月, 年蒸发量 993 mm, 无霜期 120~ 140 d。该地区土壤多为暗棕壤森林土, 典型暗棕壤所占的地形部位较高, 其次为草甸暗棕壤、潜育暗棕壤和白浆化暗棕壤。

收稿日期 (Received date): 2005- 01- 15; 改回日期 (Accepted): 2005- 04- 30。

基金项目 (Foundation item): 本文得到黑龙江省重点攻关项目“松嫩两江流域林业生态工程治理技术的研究”(GB04B601) 的资助。
[Supported by the Key Project of Heilongjiang Province. “Study on the Harnessing Technology of Forestry Eco-engineering in the Watershed of Songhua and Nen Rivers”. (GB04B601)]

作者简介 (Biography): 孔亮 (1979-), 男, 汉, 硕士, 主要从事水源涵养方面的研究。Email: waiting-123@sohu.com. [Kong Liang (1979-), male, the Han nationality, master student, research field is soil and water conservation. Tel: 0451- 82164802.]

2 研究方法

2.1 样地选择与设置

在多方踏查的基础上, 选择具有代表性的绣线菊 (*Spiraea ussuriensis*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、接骨木 (*Sambucus mandshurica*)、珍珠梅 (*Sorbaria sorbifolia*)、榛子 (*Corylus heterophylla*) 5 种次生灌木林分和具有代表性的阔叶红松林, 分别设置面积为 10 m×10 m 的标准样地。各实验样地的基本特征见表 1。

表 1 各标准地基本状况

Table 1 The general information of the sample plot

林分类型	土层厚度 (cm)	土壤类型	坡向	坡度 (°)	盖度 (%)	地径 (cm)	平均树高 (m)
绣线菊灌丛	53	潜育暗棕壤	SE	10	55	0.6	1.4
胡枝子灌丛	55	典型暗棕壤	SE	30	65	1.2	1.9
接骨木灌丛	55	暗棕壤	N	15	70	4.5	2.5
珍珠梅灌丛	59	暗棕壤	S	5	80	1.3	1.8
榛子灌丛	52	白浆化暗棕壤	SE	5	75	1.5	2.3
阔叶红松林	61	暗棕壤	S	18	90 19 (胸径)		21.4

2.2 枯落物持水率的测定

在各灌木林内设置 1.0 m×1.0 m 的小样方 5 个, 收集其中的枯落物, 采用四分法取样称重 (W1), 置于烘箱中在 85 ℃下烘干至恒重后称重 (W2), 计算枯落物自然持水率 (Wr, %)

$$Wr = (W1 - W2) / W2 \times 100\%$$

再将烘干后的枯落物装入纱布袋中置于水中浸泡 24 h, 取出将其空干 (以无水滴滴下为标准) 后称重 (W3), 用以计算枯落物的最大持水率 (Wrm, %) 为

$$Wrm = (W3 - W2) / W2 \times 100\%$$

枯落物的有效持水率 (Ws, %) 为^[1-3]

$$Ws = 0.85 \times Wrm - Wr$$

2.3 土壤物理性质的测定

采用环刀法, 于 5 月和 9 月在标准地内按照土层深度 0~ 10 cm、10~ 20 cm、20~ 30 cm、30~ 40 cm 及 40 cm 以下分 5 层取样, 每个组合重复 3 次, 测定土壤含水量、容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、田间持水量和土壤渗透性等土壤水分物理指标^[4-6]。

2.4 土壤持水性能的计算

单位面积最大持水量 (t/hm²) 的计算:

单位面积最大持水量= 10 000 m²×土壤总孔隙度%×土层厚度 m×水比重 t/m³

单位面积有效持水量 (t/hm²) 的计算:

单位面积有效持水量= 10 000 m²×土壤非毛管孔隙度%×土层厚度 m×水比重 t/m³

2.5 土壤渗透性能的计算

渗透速度 (mm/min) 的计算

$$V = 10 \times Qi / (S \times Ti)$$

V 是渗透速度 (mm/min); S 为环刀横断面积 (cm²), Qi 是每次渗入量 (ml); Ti 为时间间隔 (min)。

渗透系数 (mm/min) 的计算

$$K = V \times L / (L + H)$$

K 为渗透系数 (mm/min); V 为渗透速度 (mm/min); L 是土层厚度 (cm); H 为水层厚度 cm。

$$K_{10} = K / (0.7 + 0.3Ti)$$

K 10 为 10 ℃时的渗透系数 (mm/min)。

3 结果与分析

3.1 枯落物持水性能分析

枯落物层在森林涵养水源中起着极其重要的作用, 表现在截持降水、阻滞径流和地表冲刷、改善土壤结构和提高土壤的渗透性能等方面。研究结果表明^[7-9], 不同灌木林类型由于其树种组成, 林龄, 枯落物的现存量、分解程度以及前期水分状况等因素的影响, 导致不同枯落物层的持水性能存在差异, 其中, 枯落物现存量及其前期自然含水率是影响枯落物层的持水性能的主要原因 (表 2)。

从表 2 可以看出, 所研究的 5 种灌木林分中, 枯落物最大持水率均为自身重量的 2~ 3 倍, 最大持水率变化幅度为 280. 12%~ 335. 66%, 与当地阔叶红松林枯落物的 324. 89% 较为一致; 而有效持水率的变化幅度在 171. 94%~ 244. 08% 间, 也较接近于阔叶红松林。可见, 在枯落物的持水性能

表 2 不同林分枯落物层的持水能力

Table 2 Water-holding capacity of litter in different shrub types

林分类型	厚度 (cm)	现存量 (t/hm ²)	自然含水 率 (%)	最大持水率 (量)		有效持水率 (量)	
				%	(t/hm ²)	%	(t/hm ²)
绣线菊灌丛	1.2	7.46	66.16	280.12	20.90	171.94	12.83
胡枝子灌丛	1.5	8.90	41.23	335.66	29.87	244.08	21.72
接骨木灌丛	1.0	9.42	45.54	318.13	29.97	224.87	21.18
珍珠梅灌丛	2.0	11.84	28.57	282.76	33.48	211.78	25.07
榛子灌丛	2.0	10.59	55.50	283.81	30.06	185.74	19.67
阔叶红松林	3.4	12.28	50.26	324.89	39.90	225.89	27.73

方面灌木林并不是都落后于乔木林的。阔叶红松林的枯落物现存量总体上要高于灌木林, 从而导致其总体持水量要略高于灌木林, 原因在于首先它的林龄要远远的大于各灌木林分, 其次红松林枯落物成分主要为松针、松果, 松针和松果坚硬, 纤维组织发达, 表面富含油脂等有机物, 难以分解, 多年层层积累, 形成了一层厚厚的枯落物层。各灌木林枯落物持水性能综合比较结果依次为珍珠梅灌丛、胡枝子灌丛、接骨木灌丛、榛子灌丛和绣线菊灌丛。产生这种差异性的主要原因在于, 对珍珠梅灌丛而言由于其枯落物现存量最高, 且自然含水率保持在最低的水平, 因而导致其综合持水性能最强; 对绣线菊灌丛而言, 其综合持水性能最弱主要受其枯落物现存量低, 而自然含水率高所致。

3.2 土壤物理性质与持水性能分析

林地土壤水分物理性质是林地土壤的基本特征, 表现在森林土壤的疏松性、结构性、吸收性、持水性、透水性以及水分移动状况等方面。林地土壤的持水性能是评价森林水源涵养能力的主要指标之一, 常以非毛管空隙度计算一定厚度土壤的持水能力 (t/hm^2) 作为其水源涵养能力评价的重要指标, 非毛管空隙度的增加对增强林地的水源涵养功能具有重要意义^[10, 11]。测定结果表明, 总体看来 5 种灌木林土壤容重、总孔隙度和最大含水率与阔叶红松林的差距并不是很明显, 而非毛管空隙度和非毛管含水率却是要略高于阔叶红松林。由此可知, 灌木林在改善土壤物理性质方面与乔木林相比也是有不错的效果的。5 种灌木林中胡枝子灌丛的非毛管空隙度最高, 为 16.53%; 接骨木灌丛、珍珠梅灌丛、榛子灌丛的非毛管空隙度处于中等水平, 为 12.04~13.86%; 绣线菊灌丛的非毛管空隙度较低, 仅为 9.61% (表 3)。

众多研究表明, 森林土壤对于水分的涵蓄能力的高低主要取决于土壤厚度和土壤的有效持水量。

表 3 不同林分土壤物理性质

Table 3 Physical characters of soil under different shrub types

林分类型	土壤容重 (g/cm^3)	总空隙度 (%)	非毛管空隙度 (%)	最大含水率 (%)	非毛管含水率 (%)
绣线菊灌丛	0.99	51.96	9.61	56.47	9.71
胡枝子灌丛	1.03	49.26	16.53	51.91	16.05
接骨木灌丛	1.02	51.21	13.86	56.78	13.59
珍珠梅灌丛	1.09	46.77	13.32	44.35	12.22
榛子灌丛	1.03	37.06	12.04	36.65	11.69
阔叶红松林	0.96	57.61	11.81	58.49	11.37

从表 4 可以看出, 5 种灌木林地的单位面积最大持水量在 $1\,927.12\sim 2\,816.55\,t/hm^2$ 的范围之内, 确实与阔叶红松林 ($3\,514.21\,t/hm^2$) 存在差距, 主要原因就是红松林土壤的总孔隙度及土壤厚度都要略高于灌木林; 其有效持水量在 $505.09\sim 865.15\,t/hm^2$ 之间, 土壤持水能力很接近阔叶红松林 ($693.57\,t/hm^2$), 像胡枝子灌丛和珍珠梅灌丛的持水能力却是要略高于阔叶红松林。在排水能力方面它们之间的差距也不是很大。5 种灌木林土壤持水能力大小依次为胡枝子灌丛、珍珠梅灌丛、接骨木灌丛、榛子灌丛和绣线菊灌丛。

表 4 各林分土壤持水性能

Table 4 Water-holding capacity of soil under different shrub types

林分类型	土层深度 (cm)	最大持水量 (t/hm^2)	有效持水量 (t/hm^2)	田间持水量 (%)	排水能力 (t/hm^2)
绣线菊灌丛	53	2 753.88	505.09	42.63	738.18
胡枝子灌丛	55	2 709.30	865.15	31.37	1 162.55
接骨木灌丛	55	2 816.55	648.45	39.21	913.84
珍珠梅灌丛	59	2 759.43	755.20	28.57	941.61
榛子灌丛	52	1 927.12	616.20	21.28	793.63
阔叶红松林	61	3 514.21	693.57	47.59	1 049.68

3.3 土壤渗透性能分析

土壤的渗透性能是土壤的重要水分物理性质之一, 也是林分水源涵养功能的重要指标, 它与土壤质地、结构、孔隙度 (非毛管空隙度)、有机质、土壤湿度有关^[12, 13]。渗透性能良好的土壤, 在一定的降雨强度条件下, 水分可以充分地进入土壤贮存起来或转变为地下径流, 不易形成地表径流, 使林地水土流失得到有效控制以起到保持水土的作用。不同林分的土壤渗透性能存在一定差异 (表 5)。

从对表 5 的分析中可以看出, 各样地的表层土壤的初渗率和稳渗率均大于下层土壤, 与其土壤的容重、空隙度 (非毛管空隙度) 垂直分布规律相一致。除了土壤质地外, 自然含水率的大小对土壤的初渗速度也是有一定影响的, 自然含水率高就会降低它的初渗速度。从不同林分土壤表层水分入渗特征比较来看, 胡枝子灌丛和榛子灌丛的稳渗率最高分别为 $6.45\,mm/min$ 和 $6.02\,mm/min$, 与阔叶红松林的 $9.11\,mm/min$ 的差距不是很大; 其次分别为绣线菊灌丛、珍珠梅灌丛和接骨木灌丛依次为 $3.57\,mm/min$, $2.27\,mm/min$ 和 $1.39\,mm/min$, 同阔叶红松林相比就有一段差距了。根据对实验资料的分析可知, 在土壤入渗开始的 $30\,min$ 入渗变

化剧烈,而在 30 min 以后变化减少趋于平缓,因此对前 30 min 的累积入渗量进行分析就有重大的意义。各灌木林上层土壤(0~20 cm)的前 30 min 累积入渗量仍以胡枝子灌丛最高达到 274 mm,

也只是略低于阔叶红松林的 314 mm。5 种灌木林土壤渗透能力综合比较从大到小依次为胡枝子灌丛、榛子灌丛、珍珠梅灌丛、绣线菊灌丛和接骨木灌丛。

表 5 各林分土壤水分渗透性能
Table 5 Soil water infiltration properties under different shrub types

林分类型	土壤深度 (cm)	自然含水率 (%)	渗透速度 (mm/min)		渗透系数 K10 (mm/min)	前 30 min 累计 入渗量 (mm)
			初渗	稳渗		
绣线菊灌丛	00~ 20	40.54	5.56	3.57	1.84	172
	20~ 40	24.45	2.50	0.89	0.34	68
胡枝子灌丛	00~ 20	38.54	12.83	6.45	2.55	274
	20~ 40	22.45	10.27	2.31	1.89	160
接骨木灌丛	00~ 20	38.35	3.57	1.39	1.35	86
	20~ 40	29.05	1.43	0.56	0.64	44
珍珠梅灌丛	00~ 20	48.07	10.2	2.27	3.96	143
	20~ 40	24.88	9.09	1.35	1.32	112
榛子灌丛	00~ 20	25.49	16.74	6.02	4.11	139
	20~ 40	15.65	8.33	2.24	1.44	135
阔叶红松林	00~ 20	32.85	18.24	9.11	3.15	314
	20~ 40	17.61	9.68	3.57	1.85	201

4 结 论

在对灌木林地持水能力的几项指标的研究发现,灌木林同样具有较强的持水能力。在枯落物的有效持水量和土壤有效持水量方面,部分的灌木林表现出与乔木林相近的作用。

1. 受枯落物现存量及其自然含水率差异的影响,所研究的 5 种类型灌木林枯落物层的最大持水量变化幅度为 20.90~33.48 t/hm²,有效持水量在 12.83~25.07 t/hm² 之间,持水能力依次为珍珠梅灌丛、胡枝子灌丛、接骨木灌丛、榛子灌丛和绣线菊灌丛。

2. 灌木林地土壤的单位面积有效持水量变化范围为 505.09~865.15 t/hm² 之间,像胡枝子灌丛和珍珠梅灌丛均要略高于阔叶红松林。其中以胡枝子灌丛最强,其次分别为珍珠梅灌丛、接骨木灌丛、榛子灌丛和绣线菊灌丛。

3. 不同灌木林分土壤表层的稳渗率以胡枝子灌丛最高,其次分别为榛子灌丛、绣线菊灌丛、珍珠梅灌丛和接骨木灌丛,变化范围为 1.39~6.45 mm/min;前 30 min 累积入渗量仍以胡枝子丛最高,其次分别为绣线菊灌丛、榛子灌丛、珍珠梅灌丛和接骨木灌丛,变化范围为 86~274 mm。

根据对以上几种灌木林地的枯落物持水性能、土壤容重、非毛管空隙度、饱和含水量、有效含水

量以及入渗性能等各项指标的测定,利用多元统计分析中主成分分析的方法,对它们进行综合分析得出:5 种灌木林中胡枝子灌丛的持水能力最强,其次从大到小依次为珍珠梅灌丛、接骨木灌丛、榛子灌丛和绣线菊灌丛。

参考文献 (References):

[1] Li Hongyun, Yang Jihua. Evaluation of water conservation function of forest in south mountainous area of Jinan city [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18 (1): 89~92 [李红云, 杨吉华. 济南市南部山区森林涵养水源功能的价值评价 [J]. 水土保持学报, 2004, 18 (1): 89~92]

[2] Hao Xiangchun. Litter biomass and its water capacity to the main forest types in Lingkongshan [J]. *ShanXi Forestry Science and Technology*, 2000, 12 (4): 1~3. [郝向春. 灵空山主要森林类型枯落物生物量及持水性能 [J]. 山西林业科技, 2000, 12 (4): 1~3.]

[3] Gong Yuanbo, Ma Zelong, Chen Linwu. Research on effects of water conservation different types of water and soil conservation forest in low hill heavy rain area of upper reach of Jialing river [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18 (3): 29~32 [宫渊波, 麻泽龙, 陈林武, 等. 嘉陵江上游低山暴雨区不同水土保持林结构模式水源涵养效益研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18 (3): 29~32.]

[4] Gao Ren, Zhou Guangzhu. A study on mineral soil water-storage for six forest vegetation types in east Liaoning Mountainous Region [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2003, 34 (1): 31~34. [高人, 周广柱. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型土壤矿质层蓄水能力分析 [J]. 沈阳农业大学学报,

- 2003, **34** (1): 31~ 34.]
- [5] Lu Rukun. Analysis of agriculture soil physics-chemical method [M]. Beijing: China Agriculture Science Press. 2000. [鲁如坤. 土壤农业理化分析方法 [M]. 北京: 中国农业科学出版社, 2000.]
- [6] Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academe of Sciences. Analysis of soil physics-chemical properties [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1987. [中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987.]
- [7] Yan Junhua, Zhou Guoyi. Characteristics of litter and its contained water in three successions in Dinghushan [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12** (4): 509~ 512. [闫俊华, 周国逸. 鼎湖山 3 种演替群落凋落物及其水分特征对比研究 [J]. 应用生态学报, 2001, **12** (4): 509~ 512.]
- [8] Zhu Jinzhao, Liu Jianjun, Zhu Qingke. Hydro-ecological function of forest litter layers [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, **24** (5): 30~ 34. [朱金兆, 刘建军, 朱清科. 森林凋落物层水文生态功能研究 [J]. 北京林业大学学报, 2002, **24** (5): 30~ 34.]
- [9] Yang Xuejun, Jiang Zhilin. Water holding function of under-forest layer of main forest types in hilly area of Southern Jiangsu province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, **21** (3): 28~ 31. [杨学军, 姜志林. 苏南丘陵区主要森林类型地被层水源涵养功能研究 [J]. 水土保持通报, 2001, **21** (3): 28~ 31.]
- [10] Zhao Shiwei, Zhou Yindong, Wu Jinshui. Study on soils water storage capacity and availability in secondary vegetation types in Zi-wuling forest region [J]. *Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin.*, 2003, **23** (8): 1389~ 1392. [赵世伟, 周印东, 吴金水. 子午岭次生植被下土壤蓄水性能及有效性研究 [J]. 西北植物学报, 2003, **23** (8): 1389~ 1392.]
- [11] Wu Jianping. Hydrological and physical characteristics of forest soil mountain valley in southwest of Hunan and its headwater conservation capacity [J]. *Research of Soil Water Conservation*, 2004, **11** (1): 76~ 81. [吴建平. 湘西南沟谷森林土壤水文-物理特性与涵养水源功能研究 [J]. 水土保持研究, 2004, **11** (1): 76~ 81.]
- [12] Xia Jiangbao, Yang Jihua, Li Hongyun. The research of soil infiltration in different out side factors [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, **11** (2): 115~ 117. [夏江宝, 杨吉华, 李红云. 不同外界条件下土壤入渗性能的研究 [J]. 水土保持研究, 2004, **11** (2): 115~ 117.]
- [13] Liu Xia. Characteristics of soil infiltration and water-holding of different forest vegetation in ecological rehabilitation of small watershed [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, **18** (6): 2~ 5 [刘霞. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入参与贮水特征 [J]. 水土保持学报, 2004, **18** (6): 2~ 5]

Static Water-holding Capacity of the Shrub in East Mountainous Region of Heilongjiang Province

KONG Liang¹, CHEN Xiangwei^{1, 2}

(1. Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: With the concerns of forestry water conservation, soil and litter of five main facieses kinds of shrub in east mountainous region of Heilongjiang province were selected to test the water-holding capacity. The results indicated that compared with Korean pine the shrub also had excellent capacity at the aspect of water conservation. The maximum moisture capacity of the litter varied from 20.90 to 33.48 t/hm². And the maximum moisture capacity of the soil varied from 1 927.12 to 2 816.55 t/hm², and its effective moisture capacity varied from 505.09 to 865.15 t/hm². Comprehensive analysis each water-holding capacity factor, five facieses kinds of shrub's water conservation capacity declined order was *Lespedeza bicolor*, *Sorbaria sorbifolia*, *Sambucus mandshurica*, *Corylus heterophylla* and *Spiraea ussuriensis*.

Key words: shrub, soil, litter, moisture capacity