

华蓥市山区典型林分水源涵养功能评价

聂泽旭, 齐 实, 马曦瑶, 李 月, 伍冰晨

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 为研究南方丘陵山区典型人工林的生长现状和涵养水源能力,选取华蓥市 6 种林分作为研究对象,通过测定林下枯落物层和土壤层特征,分析比较不同林地枯落物和土壤的持水能力,对林地水源涵养能力进行评价。结果表明:杉木纯林(近自然经营)枯落物现存蓄积量最大,枯落物持水能力排序为杉木纯林(近自然经营)>杉木纯林>马尾松—榿木混交林(近自然经营)>杉木—响叶杨混交林>柏木纯林>马尾松—杉木混交林;杉木纯林的土壤层总孔隙度、毛管孔隙度、有效持水量均为最优,分别达到 67.67%,60.39%,138.11 t/hm²;6 种林地土壤有效持水量大小顺序为杉木纯林>杉木纯林(近自然经营)>马尾松—杉木混交林>杉木—响叶杨混交林>柏木纯林>马尾松—榿木混交林(近自然经营);综合枯落物层和土壤层持水能力可知,杉木纯林(近自然经营)的水源涵养能力最强,为 309.77 t/hm²,马尾松—杉木混交林最弱。

关键词: 华蓥市; 水源涵养; 枯落物层; 土壤层; 生态服务

中图分类号: S727.21 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2020)02-0276-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2020.02.039

Evaluation of Water Conservation Function of Typical Stands in Mountainous Areas of Huaying City

NIE Zexu, QI Shi, MA Xiyao, LI Yue, WU Bingchen

(School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: In order to study the growth and water conservation capacity of typical plantations in southern hilly areas, six forest stands of Huaying City were selected as research objects. By measuring the characteristics of litter layer and soil layer under forest, the water holding capacities of litter and soil in different forests were analyzed and compared. The results showed that the litter of Chinese fir pure forest (close-to natural management) had the largest accumulated stock, and the water holding capacities of litter was as follows: Chinese fir pure forest (close-to-nature management)>Chinese fir pure forest>*Pinus massoniana* and *Loropetalum chinense* mixed forest (close-to-nature management)>Chinese fir and *Populus alata* mixed forest>Cypress pure forest>*Pinus massoniana* and Chinese fir mixed forest; the total soil porosity, capillary porosity and available water holding capacities of pure Chinese fir forest were optimal, reaching 67.67%, 60.39%, 138.11 t/hm². The available water holding capacities of the six forest stands soils were: pure Chinese fir forest>pure Chinese fir forest (close-to-nature management)>*Pinus massoniana* and Chinese fir mixed forest>Chinese fir and *Populus alata* mixed forest>Cypress pure forest>*Pinus massoniana* and *Loropetalum chinense* mixed forest (close-to-nature management). Combined with the water holding capacities of litter layer and soil layer, it could be found that the Chinese fir pure forest (close-to-nature management) gave the best water conservation capacity, 309.77 t/hm², but the *Pinus massoniana* and Chinese fir mixed forest gave the weakest.

Keywords: Huaying City; water conservation; litter layer; soil layer; ecological service

水源涵养功能是生态系统调节服务的重要组成部分,与区域水资源安全、水文调节等息息相关^[1],对减缓山地径流、调蓄河道洪水及解决城市内涝问题都

有重大意义^[2-4]。森林生态系统受林分自身结构和外部环境(土壤、地形等)诸多因子的共同影响,其水源涵养能力具有一定复杂性和特异性^[5],如林冠层郁闭

收稿日期: 2019-07-18
资助项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0505602)
第一作者: 聂泽旭(1995—),男,在读硕士研究生,主要从事水土保持研究。E-mail: nnnzx@bjfu.edu.cn
通信作者: 齐实(1964—),男,教授,博士生导师,主要从事水土保持、小流域综合治理研究。E-mail: 443298302@qq.com

度、枯落物蓄积量、坡度、土壤蒸发等方面不同会造成林分水源涵养功能强弱差异^[6]。因此,研究林分一定范围生物群落和生存环境相互作用所带来的含蓄水源功能具有重大价值。目前国内学者^[7-10]做了许多关于森林水源涵养能力的研究,但不同地区、不同森林类型下差异较大,而且由于不同学者对于水源涵养功能的内涵理解不同,采用的核算方法、评价尺度等多种多样^[11-13]。林地蓄水能力评价法考虑了枯枝落叶层和土壤层拦蓄降水的综合作用,最为准确全面,理论上可以反映林地最大蓄水量^[14],在评价林分尺度水源涵养能力研究中利用最为广泛。

华蓥市作为典型的资源型工业城市,开发历史悠久,矿山开采所带来的遗留问题十分突出,如地下水枯竭、地表井泉水干涸等^[15],天池湖还是华蓥城区 10 万余人的主要饮用水源,水安全与水治理涉及到人民生态居住环境和健康水平^[16],而且华蓥市的人工林多为上世纪造林工程形成的单一树种组成的同龄纯林,结构和功能单一,逐渐退化成脆弱和不稳定的生态系统^[17],而且研究华蓥地区不同林分水源涵养能力对当地生态系统功能提升、资源枯竭型城市转型及改善区域人类生存环境和促进地方经济发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

华蓥市位于四川盆地东部,平行岭谷区华蓥山脉中段西缘至渠江中上游东岸之间(30°07′—30°28′N, 106°37′—106°54′E)。市内海拔 206.7~1 704.1 m,华蓥山将全市分为东西 2 大部分,东南部是华蓥山中段的西翼,多为低山,只有华蓥山背脊一带出现中山地貌;西部地形高差较小,多为丘陵,又以浅丘为主,散布着一些平坝、台地;东部山区广泛分布石灰岩,喀斯特地貌突

出,有众多溶洞和成片石林,土壤多为黄壤,土层较为瘠薄。华蓥市属四川盆地中亚热带湿润季风气候区,具有气候温和、雨量充沛、降雨不均、温差较大的气候特点,全市多年平均降水量为 1 087.84 mm,多年平均气温 17.2 ℃。该地区森林资源丰富,地带性植被为亚热带常绿阔叶林,但由于人类活动影响多变为马尾松林、杉木林、柏木林等纯林,灌木主要为野桐(*Mallotus japonicus*)和枹栎(*Quercus serrata*)等。

1.2 样品采集

于 2018 年 4 月 22 日至 5 月 14 日选择研究区内典型的 6 种林分作为研究对象,分别为:Ⅰ柏木纯林;Ⅱ马尾松—櫟木混交林(近自然经营);Ⅲ杉木纯林(近自然经营);Ⅳ马尾松—杉木混交林;Ⅴ杉木纯林;Ⅵ杉木—响叶杨混交林。根据华蓥市天池林场提供的国家储备林基地建设项目实施方案,Ⅱ、Ⅲ 2 种近自然经营林分的主要经营方式包括低强度疏伐、穴状整地、补植、幼林抚育及管护,且在 2017 年底完成了项目的检查和验收。在每种林地的典型地段设置 20 m×20 m 标准样地,实地测定标准样地内每一棵林木的树高、胸径和冠幅等指标,各林地标准样地基本信息见表 1。

枯落物采集方法:在标准样地内均匀布设 5 个 1 m×1 m 的小样方,调查林下枯落物单位面积现存量,按照未分解层和半分解层采集样品,并测定各层厚度。

土壤样品采集:枯落物采集完成后,在 1 m×1 m 样方内开挖土壤剖面,使用环刀采取不同深度剖面层土样。环刀的容积为 100 cm³,高为 5.000 cm,直径为 5.046 cm;再用塑料袋取各层土壤样品大约 1 kg,带回室内用以测定土壤团粒结构。

表 1 样地基本信息

编号	林分类型	地理位置		坡度/(°)	海拔/m	坡向	树高/m	胸径/cm
Ⅰ	柏木纯林	106°49′59″E	30°25′17″N	25	518	西偏北 10°	1.8	1.98
Ⅱ	马尾松—櫟木混交林(近自然经营)	106°50′47″E	30°26′12″N	33	575	东偏南 10°	16.4	19.21
Ⅲ	杉木纯林(近自然经营)	106°47′45″E	30°18′06″N	16	1409	北偏西 10°	14.3	20.51
Ⅳ	马尾松—杉木混交林	106°50′23″E	30°26′31″N	31	431	西偏北 20°	13.7	23.98
Ⅴ	杉木纯林	106°47′47″E	30°18′28″N	33	1133	东偏南 70°	15.8	32.37
Ⅵ	杉木—响叶杨混交林	106°47′44″E	30°18′26″N	33	1183	东偏南 40°	13.7	23.98

1.3 测定方法

1.3.1 枯落物蓄积量及持水能力 2018 年 5 月 18 日至 6 月 2 日于北京林业大学水土保持工程实验室进行室内试验。首先将野外用密封袋采回的枯落物在室内称量作为烘干前的鲜重,再将样品放入烘箱调至 65 ℃连续烘干至恒重称量作为干重,计算枯落物自然含水率。

采用连续浸泡法测定枯落物持水能力:取一定重量的枯落物烘干样品放至尼龙网袋,扎紧口部,全部

浸泡在装水的盆中,确保盆中水量可以完全没过样品,分别在 15 min,30 min,1,2,4,12 h 时将网袋取出控水至不再滴水后称重,作为浸泡后的重量并记录。枯落物最大持水量、有效拦蓄量计算公式为:

$$W_0=M_1-M_0 \tag{1}$$

$$R_m=\frac{W_0}{M_0}\times 100\% \tag{2}$$

$$W_1=M_2-M_0 \tag{3}$$

$$R_0=\frac{W_1}{M_0}\times 100\%$$
$$W_m=(R_m-R_0)\times M$$
$$W=(0.85R_m-R_0)\times M$$

(4)

(5)

(6)

式中: W_0 为枯落物最大持水量(g); R_m 为最大持水率(%); M_0 为样品干重(g); M_1 为浸泡后枯落物质量(g); M_2 为样品鲜重(g); R_0 为自然含水率(%); W_1 为样品自然含水量(g); W_m 为最大拦蓄量(t/hm²); W 为有效拦蓄量(t/hm²); M 为枯落物蓄积量(t/hm²);0.85 为有效拦蓄系数。

枯落物持水量及吸水速率与浸水时间的关系通过函数拟合,发现持水量与浸水时间呈较好的对数函数关系,吸水速率与浸水时间呈较好的幂函数关系,公式为:

$$Q=k\cdot \ln t+b$$
$$V=k\cdot t^n$$

(7)

(8)

式中: Q 为枯落物持水量(g/kg); t 为枯落物浸水时间(h); k 为系数; p 为常数项; V 为枯落物吸水速率(g/(kg·h)); t 为枯落物浸水时间(h); k 为系数; n 为常数项。

1.3.2 土壤性质及持水能力 采用环刀法测定土壤容重、毛管孔隙度和非毛管孔隙度等物理性质,干筛法测定土壤团聚体结构组成百分比^[18]。将环刀样置于平底盆中,注入并保持盆中水面高度至环刀上沿,保证其吸收水分 12 h,水平取出环刀称重,求算土壤最大持水量;将称重后的环刀置于铺有干沙的平底盘 2 h,待非毛管孔隙水分流尽后再次称重,求算毛管持水量。计算公式为:

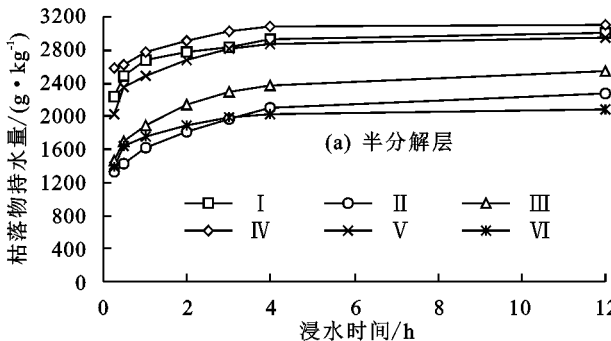
$$T_0=\frac{M_1-M_0}{M_0}\times 1000$$
$$T_1=\frac{M_2-M_0}{M_0}\times 1000$$
$$V_1=0.1\times T_1\times \rho$$
$$V_2=0.1\times (T_0-T_1)\times \rho$$

(9)

(10)

(11)

(12)



式中: T_0 为最大持水量(g/kg); T_1 为毛管持水量(g/kg); M_1 为环刀内注满水的湿土质量(g); M_2 为含毛管水湿土质量(g); M_0 为环刀及原状土质量(g); ρ 为土壤容重(g/cm³); V_1 为毛管孔隙度(%); V_2 为非毛管孔隙度(%).

2 结果与分析

2.1 不同林分枯落物水源涵养能力

2.1.1 不同林分枯落物蓄积量及厚度 6 种林分的枯落物蓄积量及厚度见表 2。总厚度变化范围为 2.83~10.14 cm,最大的是杉木纯林(近自然经营),最小的是杉木—响叶杨混交林;总蓄积量变化范围为 0.83~4.40 t/hm²,其中最大的仍为杉木纯林(近自然经营),最小的为马尾松—杉木混交林。林分枯落物厚度 d 与总蓄积量 m 之间存在显著相关关系 ($P=0.021$):总蓄积量 $m=0.3706d+0.4694$, $R^2=0.7708$ 。不同林分的未分解层蓄积量和半分解层蓄积量大小关系并无显著规律,这与当地林分龄组不合理有关^[19]。

表 2 不同林分的枯落物蓄积量及厚度

编号	蓄积量/(t·hm ⁻²)		总蓄积量/ (t·hm ⁻²)	枯落物 厚度/cm
	半分解	未分解		
I	1.12	0.84	1.96	2.83
II	1.21	0.61	1.82	4.10
III	2.14	2.26	4.40	10.14
IV	0.54	0.29	0.83	3.28
V	0.46	1.16	1.62	4.03
VI	1.07	1.08	2.15	2.50

2.1.2 不同林分枯落物持水过程特征 6 种林分的枯落物在室内烘干后取一定质量进行浸水试验,观察其吸水过程,以反映不同林地枯落物吸水动态变化特征,结果见图 1。所有林分的枯落物在浸水初期持水量迅速增加,随着浸泡时间的延长增加速率较初期明显减缓,至浸泡 12 h 阶段结束,枯落物的持水量基本达到饱和状态,可以看出,枯落物持水量和吸水速率与浸水时间均存在相关关系 ($P<0.1$) (表 3)。

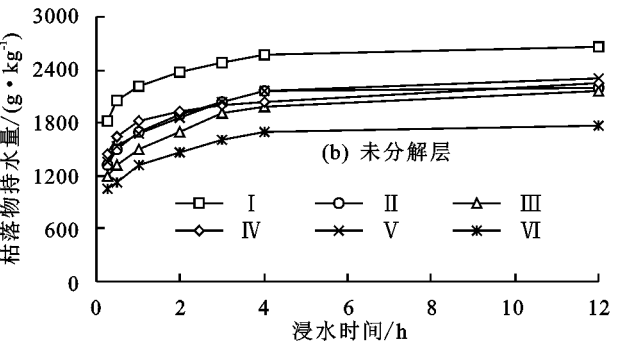


图 1 不同林分枯落物半分解层、未分解层吸水过程

2.1.3 不同林分枯落物持水量 从表 4 可以看出,杉木纯林(近自然经营)枯落物最大持水量最优,未分解层最大持水量达 130.50 t/hm²,半分解层最大持水

量达 121.92 t/hm²。不同林分枯落物有效拦蓄量水平不一,未分解层的大小顺序为杉木纯林(近自然经营)>杉木纯林>杉木—响叶杨混交林>柏木纯林>

马尾松—櫟木混交林(近自然经营)>马尾松—杉木混交林,半分解层的大小顺序为杉木纯林(近自然经营)>马尾松—櫟木混交林(近自然经营)>马尾松—杉木混交林>杉木—响叶杨混交林>柏木纯林>杉木纯林。对于杉木林来说,近自然经营措施对枯落物

持水能力有显著提升,且半分解层枯落物表现更为显著。杉木林的未分解层枯落物有效拦蓄量均高于半分解层,但其他林分表现出相反的规律。最大持水量和最大持水率的大小规律不完全一致,这与枯落物蓄积量有关。

表 3 不同林分的枯落物持水量、吸水速率与浸水时间的关系

林分类型	枯落物层	持水量与浸水时间关系式	R^2	吸水速率与浸水时间关系式	R^2
I	未分解层	$Q=222.92\ln t+2195.6$	0.9643	$V=264.53t^{-1.664}$	0.9344
II		$Q=248.01\ln t+1700.4$	0.9476	$V=256.26t^{-1.743}$	0.9587
III		$Q=270.56\ln t+1539.8$	0.9748	$V=241.37t^{-1.381}$	0.8593
IV		$Q=200.22\ln t+1769.3$	0.9886	$V=216.01t^{-1.540}$	0.8435
V		$Q=259.85\ln t+1716.6$	0.9781	$V=264.46t^{-1.436}$	0.9110
VI		$Q=206.53\ln t+1325.7$	0.9660	$V=194.08t^{-1.439}$	0.8861
I	半分解层	$Q=197.66\ln t+2605.8$	0.9413	$V=257.56t^{-1.772}$	0.9226
II		$Q=264.84\ln t+1650.7$	0.9780	$V=244.93t^{-1.332}$	0.8532
III		$Q=292.68\ln t+1905.3$	0.9802	$V=294.25t^{-1.487}$	0.9114
IV		$Q=158.57\ln t+2792.7$	0.9267	$V=178.65t^{-1.895}$	0.8461
V		$Q=244.43\ln t+2473.9$	0.9386	$V=288.66t^{-1.762}$	0.9359
VI		$Q=180.37\ln t+1736.7$	0.9282	$V=210.54t^{-1.786}$	0.9496

表 4 不同林分枯落物持水能力

林分类型	枯落物层	自然含水率/%	最大持水量/ ($t\cdot\text{hm}^{-2}$)	最大持水率/%	最大拦蓄量/ ($t\cdot\text{hm}^{-2}$)	有效拦蓄量/ ($t\cdot\text{hm}^{-2}$)
I	未分解层	6.58	29.73	47.74	40.03	34.02
II		14.27	39.04	59.93	36.44	30.96
III		14.57	130.50	55.93	125.94	107.00
IV		12.53	25.67	76.39	22.12	18.80
V		7.66	67.99	103.63	120.39	102.32
VI		17.82	43.73	63.08	67.67	57.49
I	半分解层	4.69	54.62	34.40	38.50	32.72
II		8.38	73.81	63.06	76.29	64.83
III		10.36	121.92	56.81	121.42	103.18
IV		6.90	42.12	87.52	47.60	40.45
V		8.70	47.92	57.48	26.29	22.34
VI		15.53	68.41	39.65	42.16	35.81

2.2 不同林分土壤涵养水源能力

2.2.1 不同林分土壤物理性质 从表 5 可以看出,除马尾松—櫟木混交林(近自然经营)土壤容重均表现为随土层深度的增加而增加,均值大小为马尾松—櫟木混交林(近自然经营)>马尾松—杉木混交林>柏木纯林>杉木—响叶杨混交林>杉木纯林(近自然经营)>杉木纯林。各林分总孔隙度随土壤深度增加表现出不同规律,柏木纯林土层较薄,总孔隙度随土层深度增加减小,马尾松—櫟木混交林(近自然经营)、杉木纯林(近自然经营)、马尾松—杉木混交林及杉木—响叶杨混交林总孔隙度均表现为随土层深度的增加先减小后变大的规律,均值大小顺序为:杉木纯林>柏木纯林>杉木纯林(近自然经营)>杉木—响叶杨混交林>马尾松—櫟木混交林(近自然经营)>马尾松—杉木

混交林。毛管孔隙度占比最高的是杉木纯林,最小的是马尾松—櫟木混交林(近自然经营)。

适当的土壤团聚体组成利于土壤形成适宜的孔隙结构,增强土壤的通气 and 保水性^[20]。分析表 6 得知,土壤大团聚体(>0.25 mm)含量最高的是杉木纯林(近自然经营),>5 mm 的砾石含量最低的是杉木纯林,土壤团聚体分布最为不均的是马尾松—杉木混交林,可以看出马尾松与杉木的混交不利于土壤团聚体稳定性。

2.2.2 不同林分土壤持水量 由表 7 可知,不同林分土壤最大持水量随土层深度增加表现不一,柏木纯林和杉木纯林的最大持水量均为深层土大于浅层土,马尾松—杉木混交林的最大持水量随土层深度增加而减小,其余几种林分的土壤最大持水量随土层深度

增加先增大再减小。最大持水量大小顺序为杉木纯林>柏木纯林>杉木纯林(近自然经营)>杉木—响叶杨混交林>马尾松—榿木混交林(近自然经营)>马尾松—杉木混交林。各林分的毛管持水量表现出与最大持水量一致的规律。

表 5 不同林分土壤物理性质及持水量

林分类型	土层深度/cm	容重/(g·cm ⁻³)	非毛管孔隙/%	毛管孔隙/%	总孔隙度/%
I	0—15	1.13	4.87	47.79	52.66
	15—30	1.21	2.18	57.24	59.42
	均值	1.17	3.52	52.52	56.04
II	0—15	1.51	5.07	30.67	35.73
	15—30	1.50	5.07	39.86	44.93
	30—45	1.42	4.40	35.32	39.72
	均值	1.47	4.85	35.28	40.13
	0—15	0.99	3.40	38.61	42.01
III	15—30	1.11	9.88	40.93	50.81
	30—45	1.17	3.76	44.59	48.35
	均值	1.09	5.68	41.38	47.06
	0—15	1.21	6.71	36.12	42.83
IV	15—30	1.25	5.26	37.05	42.30
	30—45	1.55	3.21	32.73	35.94
	45—60	1.60	1.63	34.56	36.19
	均值	1.40	4.20	35.11	39.32
	0—15	0.99	7.62	62.82	70.43
V	15—30	1.02	6.95	57.96	64.91
	均值	1.01	7.28	60.39	67.67
	0—15	1.02	2.49	35.63	38.12
VI	15—30	1.02	8.75	44.07	52.82
	30—45	1.46	4.61	40.00	44.61
	均值	1.16	5.28	39.90	45.18

表 6 不同林分土壤团粒结构

林分类型	>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
I	23.79	30.11	16.07	13.09	6.54	10.38
II	8.54	11.53	12.08	19.62	25.77	23.06
III	22.80	27.17	16.80	15.70	7.65	9.87
IV	28.02	19.21	10.94	9.83	3.87	28.13
V	5.93	23.80	22.62	19.02	11.37	17.25
VI	9.63	19.78	19.92	21.19	12.22	17.27

土壤层持水能力直接影响地表径流、地下水补给等,进而影响河道流量,调节区域水量平衡^[25-26]。研究区内 I~VI 各林地有效拦蓄量土壤层贡献率分别为 58%,43%,32%,62%,53%,50%,即除马尾松—榿木混交林(近自然经营)、杉木纯林(近自然经营)外均表现出土壤层拦蓄量贡献大于枯落物层,可以认为土壤层是森林生态系统中水源涵养功能的主体,王高敏^[27]关于黄土区不同林地水文功能的研究结果同样说明土壤层的持水能力是林地水文功能的主要部分,

2.3 不同林分涵养水源能力

从表 8 可以看出,杉木纯林(近自然经营)林地最大持水量和有效持水量均为最大,水源涵养能力最强,最大持水量最小的林分种类是柏木纯林,有效持水量最小的是马尾松—杉木混交林。6 种林分的林地有效持水量大小顺序为杉木纯林(近自然经营)>杉木纯林>杉木—响叶杨混交林>马尾松—榿木混交林>柏木纯林>马尾松—杉木混交林。

3 讨论

本文通过研究华蓥市典型林分枯落物及土壤水文效应,对当地不同林地的水源涵养能力进行了评价,结果表明,6 种林分的林地有效持水量大小顺序为杉木纯林(近自然经营)>杉木纯林>杉木—响叶杨混交林>马尾松—榿木混交林>柏木纯林>马尾松—杉木混交林。已有研究^[21-22]显示,枯枝落叶层在森林涵养水源中扮演着不可或缺的角色,本研究中枯落物持水能力大小顺序为杉木纯林(近自然经营)>杉木纯林>马尾松—榿木混交林(近自然经营)>杉木—响叶杨混交林>柏木纯林>马尾松—杉木混交林,有效拦蓄量表现出相同规律。由此可见,杉木在当地对水源涵养能力的贡献最大,这与刘敏等^[23]关于缙云山水源涵养林地水文效应研究结果一致,而且近自然经营措施对杉木枯落物层持水能力具有显著提升作用,杉木与其他树种的混交会降低林分的持水能力,可能是由于林分混交影响了杉木枯落物的分解,这验证了夏祥友^[24]关于森林经营对林分蓄水保土功能的影响研究,抚育间伐等措施影响了枯落物的蓄积量及构成比例,进而改变了林地的水源涵养功能。

近自然经营林表现出不同结果主要是由于人为措施加大了林分枯落物蓄积量,进而提高了枯落物层涵养水源能力。杉木林枯落物多,分解程度良好,加上根系发达,利于土壤形成通水透气能力强的结构,因而土壤容重较低,林地整体蓄水能力最强,这与赵洋毅^[28]关于缙云山水源涵养林生态功能研究一致。

通过对研究区 6 种典型林分水源涵养能力的评价研究,在一定程度上为当地造林及营林提供参考,但森林水源涵养能力与枯落物或土壤之外的因子存

在很多联系,如坡度、坡向等地形因子,阳坡蒸发大,陡坡产流强,本研究中有有效拦蓄量最大的林分为杉木纯林(近自然经营),较缓的地理位置可能扮演了较为重要的角色,因而在未来的研究中,需要更加准确地划分立地类型,在此基础上比较不同林分类型的水源涵养功能,以便可以为当地林分生态系统服务功能对位提升技术提供科学依据;而且枯落物层和土壤持水能力反映的是坡面尺度,如何推广至更大尺度,发挥更加广泛的作用,是今后在林分水源涵养功能研究中的重要内容。

表 7 不同林分土壤持水量			
林分 类型	土层 深度/cm	最大 持水量/mm	毛管 持水量/mm
I	0—15	26.33	23.90
	15—30	29.71	28.62
	均值	28.02	26.26
II	0—15	17.87	15.33
	15—30	22.46	19.93
	30—45	19.86	17.66
	均值	20.06	17.64
III	0—15	21.00	19.30
	15—30	25.41	20.47
	30—45	24.18	22.30
	均值	23.53	20.69
IV	0—15	21.42	18.06
	15—30	21.15	18.52
	30—45	17.97	16.37
	45—60	18.09	17.28
	均值	19.66	17.56
V	0—15	35.22	31.41
	15—30	32.45	28.98
	均值	33.84	30.19
VI	0—15	19.06	17.82
	15—30	26.41	22.03
	30—45	22.30	20.00
	均值	22.59	19.95

表 8 不同林分持水量 单位:t/hm ²						
林分 类型	枯落物 最大持水量	土壤最大 持水量	林地最大 持水量	枯落物 有效拦蓄量	土壤有效 持水量	林地有效 持水量
I	84.35	167.63	251.98	66.74	93.94	160.68
II	112.85	180.29	293.14	95.79	72.35	168.14
III	252.42	211.63	464.05	210.18	99.59	309.77
IV	67.79	241.52	309.31	59.25	94.96	154.21
V	115.91	204.10	320.01	124.66	138.11	262.77
VI	112.14	208.59	320.73	93.30	94.24	187.54

4 结 论

(1)华蓥市 6 种典型林分中杉木纯林(近自然经营)

枯落物现存蓄积量最大,达到 4.40 t/hm²,枯落物层持水能力最大的为杉木纯林(近自然经营),达 252.42 t/hm²,最小的是马尾松—杉木混交林,为 67.79t/hm²,大小顺序为杉木纯林(近自然经营)＞杉木纯林＞马尾松—櫟木混交林(近自然经营)＞杉木—响叶杨混交林＞柏木纯林＞马尾松—杉木混交林;

(2)不同林分土壤层持水能力不同,总孔隙度、毛管孔隙度最高的均为杉木纯林,均值分别为 67.67%,60.39%,因此其土壤有效持水量最大,达到 138.11 t/hm²,6 种林地土壤有效持水量大小顺序为杉木纯林＞杉木纯林(近自然经营)＞马尾松—杉木混交林＞杉木—响叶杨混交林＞柏木纯林＞马尾松—櫟木混交林(近自然经营);

(3)6 种林地水源涵养能力范围为 154.21～309.77 t/hm²,杉木纯林(近自然经营)能力最强,其余林分涵养水源能力排序为杉木纯林(近自然经营)＞杉木纯林＞杉木—响叶杨混交林＞马尾松—櫟木混交林(近自然经营)＞柏木纯林＞马尾松—杉木混交林。

参考文献:

[1] 吕一河,胡健,孙飞翔,等.水源涵养与水文调节:和而不同的陆地生态系统水文服务[J].生态学报,2015,35(15):5191-5196.

[2] 杨倩,刘目兴,王苗苗,等.武汉市典型绿地植被类型对表层土壤入渗和持水性能的影响[J].长江流域资源与环境,2019,28(6):1324-1333.

[3] 乔飞,富国,徐香勤,等.三江源区水源涵养功能评估[J].环境科学研究,2018,31(6):1010-1018.

[4] 王玉纯,赵军,付杰文,等.石羊河流域水源涵养功能定量评估及空间差异[J].生态学报,2018,38(13):4637-4648.

[5] 马国飞,满苏尔·沙比提,张雪琪.托木尔峰自然保护区台兰河上游不同植被类型的水源涵养功能[J].水土保持学报,2018,32(1):210-216,224.

[6] 王晓学,沈会涛,李叙勇,等.森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法[J].生态学报,2013,33(4):1019-1030.

[7] 杨建伟,杨建英,何会宾,等.冀北山区滦平县 4 种新造林地水源涵养能力研究[J].生态学报,2019,39(18):1-7. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20190704.1606.048.html>.

[8] 刘西刚,王勇辉,焦黎.夏尔希里自然保护区典型植被土壤水源涵养功能探究[J].水土保持学报,2019,33(3):121-128.

[9] 李阳,万福绪.黄浦江中游 5 种典型林分枯落物和土壤水源涵养能力研究[J].水土保持学报,2019,33(2):264-271.

[10] 孙立博,余新晓,陈丽华,等.坝上高原杨树人工林的枯落物及土壤水源涵养功能退化[J].水土保持学报,2019,33(1):104-110.

- [11] 崔景轩,李秀芬,郑海峰,等.典型气候条件下东北地区生态系统水源涵养功能特征[J].生态学报,2019,39(9):3026-3038.
- [12] 李冲,张璇,吴一帆,郝芳华,殷国栋.京津冀生态屏障区景观格局变化及其对水源涵养的影响[J].中国环境科学,2019,39(6):2588-2595.
- [13] 包玉斌,李婷,柳辉,等.基于 InVEST 模型的陕北黄土高原水源涵养功能时空变化[J].地理研究,2016,35(4):664-676.
- [14] Zhang B, Li W H, Xie G D, et al. Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value[J].Ecological Economics,2010,69(7):1416-1426.
- [15] 申健,李巧刚,杨少华,等.华蓥市矿山地质环境问题影响评估及治理建议[J].城市地质,2015,10(增刊 2):89-93.
- [16] 邱海鹰,康建林.守护一湖清水:四川华蓥山天池湖生态治理侧记[J].资源与人居环境,2016(6):34-35.
- [17] 周阳,谢世友.山地灾害的类型、成因及对策:以广安市华蓥山区为例[J].重庆三峡学院学报,2013,29(3):86-88.
- [18] 中国林业科学研究院林业所森林土壤研究室.LY/T1215—1999 森林土壤—水分物理性质测定标准[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [19] 雷贤斌,蒋钵,黄卫东,等.浅析华蓥市人工林近自然森林经营[J].四川林勘设计,2015(2):104-105.
- [20] 瞿晴,徐红伟,吴旋,等.黄土高原不同植被带人工刺槐林土壤团聚体稳定性及其化学计量特征[J].环境科学,2019,40(6):2904-2911.
- [21] 杨霞,陈丽华,康影丽,等.辽东低山区 5 种典型水源涵养林枯落物持水特性[J].生态学杂志,2019,38(9):2662-2670.
- [22] 周秋文,罗雅雪,罗娅,等.喀斯特灌木林枯落物持水特性分析[J].水资源与水工程学报,2018,29(5):14-20.
- [23] 刘敏,王玉杰,赵洋毅等.重庆缙云山水源涵养林地土壤水文效应[J].中国水土保持,2010(5):41-44,68.
- [24] 夏祥友.森林经营对东北林区主要森林类型蓄水保土功能的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2016.
- [25] 文志,赵赫,刘磊,等.套种益智对橡胶林土壤水源涵养功能的影响[J].生态学杂志,2018,37(11):3179-3185.
- [26] 杨婷惠,祁凯斌,黄俊胜,等.林窗式疏伐对云杉人工林土壤持水性能的影响[J].应用与环境生物学报,2018,24(5):1171-1178.
- [27] 王高敏.晋西黄土区退耕 16—20 年间不同林地土壤理化性质和水文功能研究[D].北京:北京林业大学,2015.
- [28] 赵洋毅.缙云山水源涵养林结构对生态功能调控机制研究[D].北京:北京林业大学,2011.
- (上接第 275 页)
- [24] Kang S B, Lee I B, Lim T J, et al. Effect of nitrogen fertigation by soil testing on the growth and yield of Campbell Early'(Vitis labrusca L.) grapevine in field cultivation[J].Korean Journal of Environmental Agriculture,2010,29(1):12-19.
- [25] 张兴国,胡笑涛,冉辉,等.不同水肥处理对温室葡萄品质的影响与综合评价[J].节水灌溉,2018(5):30-34,38.
- [26] 弓萌萌,王红,张雪梅,等.不同有机肥施用量对苹果园土壤养分及酶活性的影响[J].西北林学院学报,2019,34(3):74-78.
- [27] 孙梦媛,刘景辉,米俊珍,等.植被复垦对露天煤矿排土场土壤化学及生物学特性的影响[J].水土保持学报,2019,33(4):206-212.
- [28] 梁国鹏, Houssou A A, 吴会军,等.施氮量对夏玉米根际和非根际土壤酶活性及氮含量的影响[J].应用生态学报,2016,27(6):1917-1924.
- [29] 陈闯,吴景贵,杨子仪.不同有机肥及其混施对黑土酶活性动态变化的影响[J].水土保持学报,2014,28(6):245-250.
- [30] Steven D A, Peter M V. Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs[J].Soil Biology and Biochemistry,2004,37(5):937-944.
- [31] Carreiro M M, Sinsabaugh R L, Repert D A, et al. Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition[J]. Ecology, 2000, 81(9):2359-2365.
- [32] 陈波,马海林,刘方春,等.生物有机肥对樱桃生长及根际土壤生物学特征的影响[J].水土保持学报,2013,27(2):267-271.
- [33] 王楠,王帅,高强,等.施氮水平对不同肥力土壤微生物学特性的影响[J].水土保持学报,2014,28(4):148-152,167.
- [34] 王锐,孙权.基于水肥一体化的酿酒葡萄高效栽培与效益分析[J].农业机械学报,2016,47(10):115-121.