

施重阳,卫安江,徐 昕,等. 江西省生态公益林主要林分类型土壤水分的物理性质[J]. 江苏农业科学,2019,47(19):171-175.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.19.041

# 江西省生态公益林主要林分类型土壤水分的物理性质

施重阳<sup>1</sup>, 卫安江<sup>2</sup>, 徐 昕<sup>1</sup>, 卜文圣<sup>3</sup>, 邓文平<sup>3</sup>

(1. 江西省林业调查规划研究院,江西南昌 330046;2. 江西省永修县林业局,江西永修 332400;

3. 江西农业大学森林培育重点实验室,江西南昌 3300462)

**摘要:**为了评价江西省生态公益林不同林分类型对土壤涵水能力的影响,选择该区域内 4 种主要林分[杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林、湿地松(*Pinus elliottii*)林、马尾松(*Pinus massoniana*)林、硬阔林]为研究对象,采用环刀法测定和比较不同林分的土壤容重、孔隙度、土壤含水量、田间持水量和饱和持水量等土壤物理、水分指标,从而对林分土壤水源涵养能力进行定量评价。结果显示,4 种主要林分类型的土壤容重排序为湿地松林>杉木林>马尾松林>硬阔林,容重大小依次为 1.51、1.31、1.30、1.19 g/cm<sup>3</sup>;4 种主要林分类型的土壤孔隙度排序依次为硬阔林>马尾松林>杉木林>湿地松林;各林分类型的土壤随着土层厚度的增加,土壤含水量、田间持水量和饱和持水量都呈现递减趋势;各林分类型土壤的涵水能力排序为硬阔林>马尾松林>湿地松林>杉木林,其中硬阔林涵养水源的能力最强,而杉木林的水源涵养能力最弱。综合分析表明,在江西省水源涵养区进行造林恢复时,应尽量避免营造高密度针叶林,尤其是大量营造杉木纯林,应结合种植有助于土壤结构改良的落叶或常绿阔叶树种。

**关键词:**生态公益林;林分类型;水分物理性质;涵水能力

**中图分类号:** S714.2;S725.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)19-0171-05

森林作为陆地面积最大的生态系统,具有庞大的林冠层、深厚的枯落物层、发达的根系以及疏松多孔的森林土壤,林冠层、枯落物层和土壤层通过调节降水的截持再分配来发挥其水源涵养的功能,主要表现在改善林内小气候、减少地表蒸发、改良土壤结构、补充地下水、调节河川径流、减小地表侵

蚀等<sup>[1-4]</sup>。而在这 3 个森林作用层中,土壤层对降水资源分配格局的影响最明显,调配了 90% 的大气降水,成为森林生态系统水源涵养的重要组成部分<sup>[5-6]</sup>。

大量研究表明,人工植被的营造对土壤水源的涵养有积极的改善作用,但也存在消极的影响<sup>[7]</sup>。森林植被类型的差异,可能是造成人工林水源涵养能力差异的主要原因之一。不同的森林类型具有不同的生物学特性与林分结构,通过调节物质周转与养分归还造成的土壤孔隙度对不同植被的响应也不尽相同<sup>[8-10]</sup>。土壤孔隙状况决定着土壤的蓄/持水能力及潜力<sup>[11]</sup>,因此,人工造林恢复退化生态系统的实践活动对于土壤水源涵养的恢复效果可能依赖于造林树种的选择<sup>[12]</sup>。

收稿日期:2019-04-20

基金项目:江西省生态公益林项目(编号:9131206077)。

作者简介:施重阳(1970—),男,江西南昌人,助理工程师,主要从事森林调查与监测工作。E-mail:6095399@qq.com。

通信作者:邓文平,博士,助理研究员,主要从事森林水文、同位素水文等方面的研究。E-mail:deng\_wen\_ping@126.com。

[6] 范 洁,李建明,张中典,等. 不同施肥量对甜瓜光合特性、产量及品质的影响[J]. 北方园艺,2016(3):1-4.

[7] 李凤霞,赵 营. 氮肥减量配施微生物菌剂对灌淤土花椰菜产量及土壤微生物的影响[J]. 水土保持研究,2017,24(2):94-100.

[8] 雷先德,李金文,徐秀玲,等. 微生物菌剂对菠菜生长特性及土壤微生物多样性的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(4):488-494.

[9] 安江勇,肖厚军,秦 松,等. 不同施肥量对贵州高产玉米养分吸收、生物性状、产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2016(3):73-79.

[10] 史秀宏,孙 涛,李 嵩,等. 硅酸盐微生物菌剂对水稻硅含量及产量的影响[J]. 作物杂志,2015(6):121-125.

[11] Cui Z J, Zhang X, Yang H H, et al. Bioremediation of heavy metal pollution utilizing composite microbial agent of *Mucor circinelloides*, *Actinomucor* sp. and *Mortierella* sp. [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2017, 5(4): 3616-3621.

[12] 王其传,孙 锦,束 胜,等. 微生物菌剂对日光温室辣椒生长和光合特性的影响[J]. 南京农业大学学报,2012,35(6):7-

12.

[13] 高俊杰,焦自高,于贤昌,等. 施肥量对温室基质栽培甜瓜生理特性和产量品质的影响[J]. 西北农业学报,2005,14(5):92-96,113.

[14] 侯乐梅,孟瑞青,乜兰春,等. 不同微生物菌剂对基质酶活性和番茄产量及品质的影响[J]. 应用生态学报,2016,27(8):2520-2526.

[15] Sun Q H, Wu D, Zhang Z C, et al. Effect of cold-adapted microbial agent inoculation on enzyme activities during composting start-up at low temperature[J]. Bioresource Technology, 2017, 244(1):635-640.

[16] 李海云,司东霞. 钾对不同品种大白菜生长、品质及钾积累的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(10):223-226.

[17] 范 洁. 不同施肥量对温室甜瓜生长发育、品质及产量的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.

[18] 弓新国,胡晓峰,陈俊秋,等. 不同时期施用微生物菌剂对烤烟生长和产量质量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2014(6):106-110.

但是,由于研究区域的气候和土壤条件的差异,以及造林树种的选择、造林密度和经营管理方式等差异的研究还未得到统一的结论,通常认为阔叶林的水源涵养能力优于针叶林,此外有研究显示,针叶纯林的持水能力优于针阔混交林<sup>[9,13-14]</sup>。因此,在具体的研究区域下,由于树种本身的生物学特性及其群落结构的差异而导致土壤涵水能力不同,将对该区域人工林涵养水源功能的恢复具有一定的指导意义。

江西人工林是我国中部森林的重要组成部分,作为江西省重要的水源涵养和水土保持生态公益林,对该区域乃至全国的生态功能提升与经济可持续发展具有重要意义。江西人工林区域以低山丘陵区作为主要地貌类型,山地面积占 70%。由于降雨的年内分布主要集中在雨季,且降雨量、降雨强度较大,同时由于自然、人为原因,使得该地区土壤贫瘠,抗冲抗蚀性差,极易发生水土流失和崩岗等次生灾害,在南方红壤侵蚀中具有典型性和代表性<sup>[15]</sup>,导致土壤结构破坏及土壤水源涵养功能剧降,生态功能严重下降。伴随着森林保护和人工植被恢复工程的实施,江西省的森林覆盖率逐年提高,形成了多种针叶或阔叶为主的林分,但同时又出现了新的问题,如物种组成单一、群落结构简单、生态功能难以恢复等。如何改善鄱阳湖流域生态公益林的结构组成,提高现有林分涵养水源的功能,是当前江西省森林植被恢复面临的关键问题之一。因此,本研究选择江西省生态公益林几种主要的林分类型(杉木林、湿地松林、马尾松林以及硬阔林)作为研究对象,通过分析不同林型人工林的土壤理化性质,以比较其在土壤涵水能力方面的差异,以期为该区域人工植被水源涵养功能的恢复与提升提供科学参考。

表 1 4 种森林类型样地的基本特征

林分类型	胸径 (cm)	密度 (株/hm <sup>2</sup> )	枯落物层厚度 (cm)	枯落物层干物质量 (g)	其他植被
杉木林	11.84	3 300	3.15	117.93	拟赤杨、泡桐、枫香等
湿地松林	15.95	1 140	6.80	122.74	枫香、木荷、马尾松等
硬阔林	12.16	1 505	2.82	87.76	马尾松、杉木等
马尾松林	11.83	3 762	3.80	102.39	木荷、枫香、栎类等

1.2.2 土壤物理性质的测定及分析方法 参照环刀法<sup>[16]</sup>测定土壤水分物理性质,用烘干法测定土壤含水量。

1.2.3 数据处理 试验数据采用 Excel 2003 进行处理,通过 SPSS 22.0 进行平均值的单因素方差分析(One - Way ANOVA)和最小显著性差异法(LSD)检验不同林分类型、不同土层深度上物理性质的差异显著性。由原始数据拟合得到的多元回归关系经统计学检验,得到拟合度参数  $R^2$ ,并在 0.05、0.01 水平检验相关系数的显著性,用 Origin 10.0 作图。

2 结果与分析

2.1 土壤自然含水量

土壤含水量作为土壤的一个重要物理参数,是水循环、植物生长、土壤承载力、林分结构等科学研究中不可缺少的基本资料。土壤水分含量既影响根系的生长,也影响土壤养分向根表的迁移速度及距离,决定根系的发展方向 and 纵向范围,从而影响土壤养分的有效性。由表 2 可知,不同林分类型的土壤自然含水量均值排序为杉木林>硬阔林>马尾松林>湿地

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区自然概况

江西省地处长江中下游以南地区,地理位置为 24°29'~30°05'N,118°29'E,全省面积为 16.69 万 km<sup>2</sup>,其中山地面积约占全省面积的 36%,丘陵占 42%,是我国南方丘陵的主要分布区。该地区属于中亚热带湿润季风气候区,气候温暖,降雨量充沛,植被覆盖率高。独特的地理位置,使得该地区的植被类型丰富。该地区的生态公益林主要有常绿阔叶林、马尾松林、毛竹林、杉木林、湿地松林等。森林土壤主要有红壤、山地黄壤、山地黄棕壤等类型,土层厚度大多为 40~100 cm,腐殖质层厚度大约为 8~20 cm,土壤偏酸性。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查设置方法 于 2016 年 11 月,依据《国家森林资源连续清查技术规定》(2014 年修订版)从江西省生态公益林监测样地中选取具有代表性的 4 种处于中龄林阶段的典型林分类型的 33 块样地,其中马尾松林 7 块,湿地松林 6 块,杉木林 6 块,硬阔林 14 块,样地面积为 28.2 m×28.2 m=800 m<sup>2</sup>,分别在样地的西南、西北和东南角设 3 个面积为 1 m×1 m 的样方,调查样方内枯落物层的厚度,在每个样方的对角线上选择 1 个面积为 0.5 m×0.5 m=0.25 m<sup>2</sup> 的区域,收集枯落物,称鲜质量并带回实验室烘干,称量并计算干物质量。检测每木林木胸径、树高及植被情况,详见表 1。在样地的东北角挖取 1 个土壤剖面,每个土壤剖面用 200 cm<sup>2</sup> 的环刀分别在 0~10、10~30、>30 cm 3 个土壤层上取原状土,带回实验室进行土壤物理性质的测定分析。

松林,分别为 21.62%、19.21%、18.66%、16.54%。对同一林型不同层次的土壤含水率进行方差分析,结果显示,4 种林分类型的表层土壤含水率大于其他土层,但是各层次间的含水率差异不明显;不同林型间以杉木林的土壤含水率最大,但是 4 种林分类型在同一层土壤的差异也不明显。

表 2 不同林分类型的土壤自然含水量状况

林分类型	不同土层土壤的自然含水量率(%)			
	0~10 cm	10~30 cm	>30 cm	均值
杉木林	22.42±10.56	22.11±6.34	20.35±6.01	21.62
湿地松林	17.82±2.58	16.42±3.60	15.38±3.06	16.54
硬阔林	22.37±6.74	16.52±5.61	18.74±8.15	19.21
马尾松林	19.92±8.78	18.37±8.96	17.68±14.24	18.66

2.2 不同林分类型的土壤容重、孔隙度及其特征变化

由图 1-a、表 3 可以看出,4 种林分类型 0~60 cm 土壤容重均值排序为湿地松林>杉木林>马尾松林>硬阔林,大小依次为 1.51、1.31、1.30、1.19 g/cm<sup>3</sup>。方差分析结果显示,湿地松林下土壤容重均值显著大于其他林型( $F=6.367$ ),而

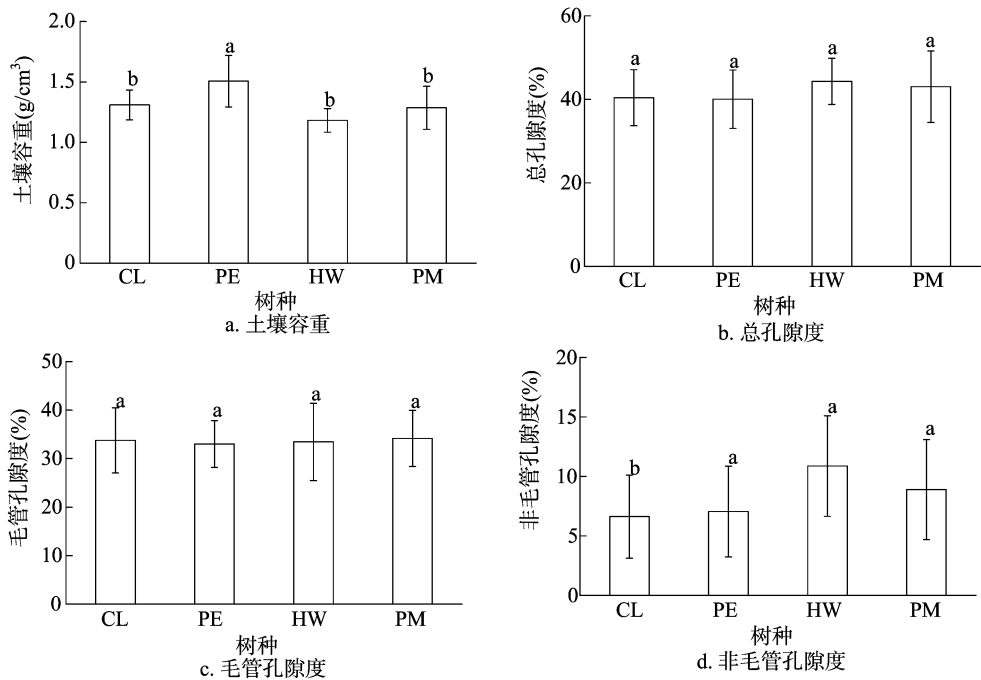
杉木林、马尾松林和硬阔林下的土壤容重差异不显著。

4 种林分类型的土壤容重均随土层深度的增加而增大, 0~10 cm 土层的容重小于其他土层, 4 种林分类型的土壤容重排序为硬阔林<杉木林<马尾松林<湿地松林, 且硬阔林、马尾松林与湿地松林的差异显著。而随着土壤深度的加深 (>10 cm), 硬阔林的土壤容重与马尾松林的差异减小, 且差异不显著, 而与湿地松林的差异一直处于显著水平。

由图 1-b 可以看出, 从整体上看, 不同林型下 0~60 cm 土壤的总孔隙度均值以硬阔林最大, 且与马尾松林接近, 总孔隙度排序为硬阔林>马尾松林>杉木林>湿地松林, 大小分别 43.67%、42.06%、39.59%、39.24%, 4 种林型下的土壤总孔隙度均值差异不显著。各林地 0~10、10~30、>30 cm 土

层土壤的总孔隙度分别为 22.45%~61.00%、16%~56%、25.16%~60.00%, 均值依次为 44.73%、40.35%、40.46%。由表 3 可以看出, 整体上, 随着土层深度的增加, 土壤总孔隙度降低, 但是同一树种不同土层间的土壤总孔隙度差异不显著, 而同一土层不同树种间的土壤孔隙度差异也不显著, 在 0~10、>30 cm 土层, 土壤总孔隙度表现为马尾松林、硬阔林大于湿地松林和杉木林。

由图 1-c 可以看出, 土壤毛管孔隙度均值排序为杉木林>硬阔林>湿地松林>马尾松林, 大小较为接近, 依次为 33.76%、33.20%、33.00%、32.19%, 且不同林型间没有显著差异。由表 3 可以看出, 同一树种不同土层间的土壤总孔隙度差异不显著, 且同一土层不同树种间的差异也不显著。



CL—杉木林; PE—湿地松林; HW—硬阔林; PM—马尾松林。下图同不同林分间标有不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

图1 不同林分类型的土壤容重和孔隙度

表 3 不同林分类型、不同土壤层的容重和孔隙度

林分类型	土层 (cm)	土壤容重 (g/cm <sup>3</sup> )	孔隙度 (%)			
			总孔隙度	非毛管孔隙度	毛管孔隙度	毛管/非毛管孔隙度比
杉木林	0~10	1.14±0.22Bab	43.07±9.25Aa	8.74Aa	34.33Aa	3.93
	10~30	1.35±0.13Ab	39.82±7.64Aa	5.94Aab	33.88Aa	5.71
	>30	1.44±0.14Aab	38.28±5.95Aa	5.21Aa	33.07Aa	6.35
湿地松林	0~10	1.31±0.34Ba	42.77±7.59Aa	10.03Aa	32.74Aa	3.26
	10~30	1.56±0.20Ba	39.49±7.11Aa	5.77Ab	33.71Aa	5.84
	>30	1.65±0.23Aa	37.89±7.99Aa	5.34Aa	32.54Aa	6.09
硬阔林	0~10	0.96±0.16Cb	46.31±8.16Aa	12.93Aa	33.39Aa	2.58
	10~30	1.26±0.16Bb	42.42±8.15Aa	10.44Aa	31.98Aa	3.06
	>30	1.36±0.13Ab	43.62±7.36Aa	9.40Aa	34.22Aa	3.64
马尾松林	0~10	1.16±0.17Aa	46.78±8.65Aa	10.39Aa	29.51Aa	2.84
	10~30	1.36±0.20Ab	39.67±11.83Aa	7.08Aab	32.59Aa	4.60
	>30	1.37±0.22Ab	42.07±7.94Aa	7.61Aa	34.46Aa	4.53

注: 标有不同小写字母的表示同一土层的不同树种间差异显著; 标有不同大写字母的表示同一树种的不同土层间差异显著。不同字母表示在  $\alpha=0.05$  水平上的显著性差异。

由图 1-d 可以看出,不同林型下 0~60 cm 土层土壤的非毛管孔隙度排序为硬阔林>马尾松林>湿地松林>杉木林,大小依次为 10.34%、7.90%、6.27%、6.04%,且硬阔林与杉木林的差异明显,其他林型之间差异不显著。各林地 0~10、10~30、>30 cm 土层土壤的非毛管孔隙度分别为 1.35%~58.85%、1.28%~21.73%、3.50%~21.80%,均值依次为 10.52%、7.31%、6.89%,整体上随着土层深度的增加而降低,且同一林型不同土层间的差异以及同一土层不同林型间的差异均不显著,只有 10~30 cm 土层湿地松林与硬阔林下的土壤非毛管孔隙度之间的差异达到显著水平,而对于各土层来说,土壤非毛管孔隙度均表现为硬阔林最大,而杉木林最小。

2.3 不同林分类型土壤水分的物理特征

土壤持水能力与其水分的物理性质密切相关,土壤的总孔隙度、有机质和土壤颗粒组成等都是其影响因素。土壤的最大持水量反映了土壤的蓄水能力,而毛管持水量则能反映林地的供水能力,土壤水分的蓄持和供给能力是林地水源涵养调节功能的重要方面。由图 2-a 可以看出,不同林分类型间 0~60 cm 土层土壤的最大持水量均值以硬阔林最大,排序为硬阔林>马尾松林>杉木林>湿地松林,其值分别 39.79%、33.42%、32.51%、28.64%;在 4 种林型下,硬阔林

与湿地松林的土壤最大持水量均值间差异显著,而其他林分类型之间差异不显著;各林地 0~10、10~30、>30 cm 土层土壤的最大持水量分别为 18.8%~72.8%、11.69%~55.10%、13.4%~51.7%,均值依次为 42.43%、31.39%、29.79%,且对于各土层来说,不同林型土壤的最大持水量均以硬阔林最大,马尾松次之,湿地松林最小,但是在不同林分之间没有显著差异。而在同一林型下,不同土层之间的差异也不显著,只有硬阔林表层 0~10 cm 土壤的最大持水量显著大于下层土壤。

由图 2-b 可以看出,对于 0~60 cm 土层的土壤毛管持水量而言,不同林型之间在整体上都无显著差异,其排序依然是硬阔林>杉木林>马尾松林>湿地松林,大小依次为 29.78%、27.02%、26.18%、23.15%;各林地 0~10、10~30、>30 cm 土层土壤的最大持水量分别为 14.08~61.73%、10.02%~43.91%、13.20%~46.57%,均值依次为 31.32%、25.00%、24.29%,从表层到深层逐渐减小。对于同一土层而言,不同林分类型的土壤毛管持水量的排序结果与整体规律相符,且没有显著差异;对于同一林分类型不同土层的毛管持水量而言,只有硬阔林的表层土壤显著高于下层土壤,而其他林型在不同土层之间没有显著差异。

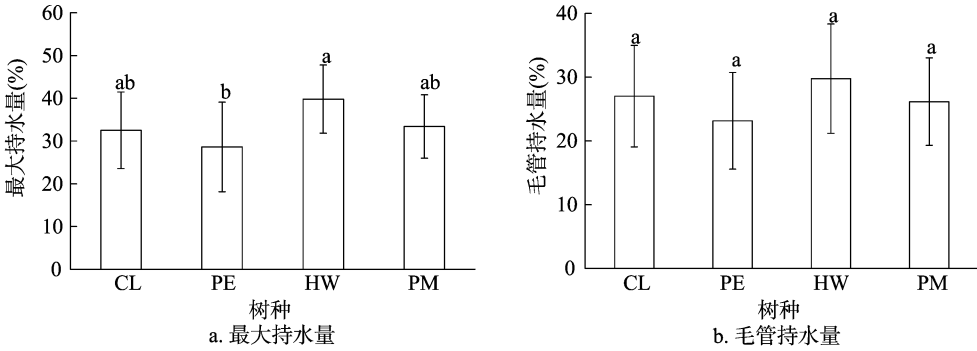


图2 不同林分类型的土壤持水量

2.4 不同林分类型与土壤持水力及物理性质之间的关系

由表 4 的相关性分析可知,林地凋落物储量与土壤容重呈极显著正相关关系,而与土壤含水量呈极显著负相关关系,与土壤总孔隙度、最大持水量、最小持水量及毛管持水量的相关性也达到显著水平,而与土壤毛管孔隙、非毛管孔隙的相关性不显著。

3 总结与讨论

本试验选取了杉木林、湿地松林、马尾松林、硬阔林 4 种不同林分类型,从 0~10、10~30、>30 cm 3 个不同土壤深度对这几个类型样地的土壤容重、持水量、孔隙度等物理性质进行分析。研究结果显示,无论是土壤孔隙度(包括总孔隙度、

表 4 不同林分类型林地枯落物干质量与土壤物理性质指标的电尔森相关性分析结果

指标	Pearson 相关系数								
	最大持水量	最小持水量	毛管持水量	非毛管孔隙	毛管孔隙	总孔隙	土壤含水量	枯落物干质量	容重
最大持水量	1.000								
最小持水量	0.925 **	1.000							
毛管持水量	0.923 **	0.996 **	1.000						
非毛管孔隙	0.453	0.094	0.083	1.000					
毛管孔隙	0.598 *	0.841 **	0.838 **	-0.372	1.000				
总孔隙	0.926 **	0.925 **	0.915 **	0.315	0.764 **	1.000			
土壤含水量	0.718 **	0.692 **	0.680 **	0.242	0.491 *	0.670 **	1.000		
枯落物干重	-0.590 *	-0.557 *	-0.577 *	-0.221	-0.388	-0.551 *	-0.636 **	1.000	
容重	-0.894 **	-0.759 **	-0.763 **	-0.564 *	-0.326	-0.726 **	-0.636 **	0.648 **	1.000

注:\*\*表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关;\*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

非毛管孔隙度)还是持水能力(包括最大持水量、毛管持水量),硬阔林都表现得最好,马尾松林次之,而湿地松林最低。说明林分的群落结构、物种组成等的变化使得土壤性质发生了改变<sup>[17-19]</sup>,而不同生物学特性的树种对土壤物理性质的影响效果不同,相对于针叶杉木林、湿地松林而言,硬阔林、马尾松林更有利于土壤结构、通透性等物理性质的改良,从而提高了土壤的水源涵养能力。

不同树种的生物学特性差异对土壤容重、孔隙度的影响不同。对于不同的林分类型,其林下枯落物储量的大小和分解特性有较大差异,这种差异直接影响了有机质的归还,而这些有机质将促进土壤团聚体结构的形成,使土壤中黏粒、石英颗粒黏聚而形成团粒结构<sup>[20]</sup>,而土壤良好结构的形成使得土壤的物理性质得以改善。对林下调落物储量和厚度的调查发现,硬阔林<马尾松林<杉木林<湿地松林,常绿针叶林湿地松及杉木林的林下枯落物储量和厚度较大,但是由于其很难分解,因而对土壤孔隙结构和物理性质的改良作用较小,而天然阔叶林地表枯落物的分解速率快,枯落物快速腐烂后,有机质归还土壤的速率更快,因此其孔隙度和持水力也更高。对于同样为针叶林的马尾松林分来说,江西省对天然马尾松林实施长期的封育措施,现有的马尾松林分大部分为飞播林的次生林分,因此林分密度大,同时随着封育年限的增加,林分植被组成及枯落物也会随之增加,这 2 个方面的共同作用,不仅促进了地表枯落物的分解,同时也增加了土壤中根系的生物量及其归还,而凋落物的归还势必会影响有机质对土壤孔隙结构和物理性质的改善。根据枯落物储量与土壤物理性质的相关分析结果,其与土壤容重呈现极显著正相关关系,而与总孔隙度、持水力等都呈现显著的负相关关系,这也间接印证了枯落物回归有助于改良土壤物理结构的观点。

反之,土壤物理性质的改良又促进了植被的生长。土壤结构、通透性等物理性质的提高会影响土壤的三相(固相、液相、气相)比、土壤的生物活动及土壤团内元素的释放和固定,从而影响林木的生长。一般认为,土壤中大小孔隙同时存在时,若总孔隙度在 50% 左右、毛管与非毛管孔隙度的比值在 1.5~4.1 之间时,透水性、通气性和持水能力比较协调。当非毛管孔隙度为 6%~10% 时,林木生长一般;当非毛管孔隙度为 10%~15% 时,林木生长中等;当非毛管孔隙度>15% 时,林木生长良好<sup>[21]</sup>。江西省生态公益林的 4 种林分类型中,只有天然阔叶林的非毛管孔隙度均值超过 10%,其他 3 种林分的土壤非毛管孔隙度均值都在 6%~10% 之间,毛管和非毛管孔隙度的比值在 2.58~6.35 之间,树木长势一般,其中天然阔叶林的生长情况最好,其次依次为马尾松林、湿地松林、杉木纯林,生长情况一般。这种良性的互作效应促进了林分水源涵养能力的提高。

本研究通过对江西省生态公益林不同林分类型下土壤物理性质及持水能力差异的对比分析,得出树种的生物学特性不同,在改良土壤结构和持水能力方面有差异,天然阔叶林和天然马尾松林分能够有效改善土壤的孔隙和持水状况,而人工针叶杉木纯林和湿地松林土壤的孔隙度和持水力则相对较低,这主要归因于林地枯落物的分解和归还速率,以及林分结构的差异。因此,在进行生态公益林营造时,应尽量避免成片种植针叶纯林,需要增加一定比例的阔叶树种。同时,在对现

有低效公益林进行改造时,也可以补植一些水源涵养能力较好的阔叶树种,同时可实施局部的长期封育,以增加植被组成,改善冠层结构,有利于森林生态系统水源涵养功能的整体提高。

#### 参考文献:

- [1]蔡 婷,李阿瑾,宋 坤,等. 黄浦江上游近自然混交林和人工纯林水源涵养功能评价[J]. 水土保持研究,2015,22(2):36-40.
- [2]于法展,张忠启,陈龙乾,等. 江西庐山自然保护区不同林地水源涵养功能研究[J]. 水土保持研究,2014,21(5):255-259.
- [3]潘春翔,李裕元,彭 亿,等. 湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能[J]. 生态学报,2012,32(2):538-547.
- [4]吕 刚,曹小平,卢 慧,等. 辽西海棠山森林枯落物持水与土壤贮水能力研究[J]. 水土保持学报,2010,24(3):203-208.
- [5]马雪华. 森林与水[M]. 北京:中国林业出版社,1987.
- [6]刘世荣. 兴安落叶松人工林生态系统营养元素生物地球化学[J]. 生态学杂志,1992,11(5):1-6.
- [7]陈文静,祁凯斌,黄俊胜,等. 川西不同树种人工林对土壤涵水能力的影响[J]. 生态学报,2017,37(15):4998-5006.
- [8]马维玲,石培礼,宗 宁,等. 太行山区主要森林生态系统水源涵养能力[J]. 中国生态农业学报,2017,25(4):478-489.
- [9]贺淑霞,李叙勇,莫 菲,等. 中国东部森林样带典型森林水源涵养功能[J]. 生态学报,2011,31(12):3285-3295.
- [10]王冬至,张秋良,陈高娃,等. 内蒙古大青山主要林分类型水源涵养能力研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2012,43(1):28-32,37.
- [11]孙艳红,张洪江,程金花,等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2006,20(2):106-109.
- [12]莫 菲,李叙勇,贺淑霞,等. 东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价[J]. 生态学报,2011,31(17):5009-5016.
- [13]孙 浩,刘晓勇,何齐发,等. 修河上游流域 4 种森林类型的水源涵养功能评价[J]. 水土保持研究,2017,24(4):337-341,348.
- [14]刘 畅,满秀玲,刘文勇,等. 帽儿山地区主要林分类型土壤水分物理性质研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报,2007,23(1):86-89.
- [15]赵其国,黄国勤,钱海燕. 鄱阳湖生态环境与可持续发展[J]. 土壤学报,2007,44(2):318-326.
- [16]国家林业局. 森林生态系统长期定位观测方法:LY/T 1952—2011[S]. 南京:凤凰出版社,2011:31-36.
- [17]Singh A N, Raghubanshi A S, Singh J S. Comparative performance and restoration potential of two *Albizia* species planted on mine spoil in a dry tropical region, India[J]. Ecological Engineering, 2004, 22(2):123-140.
- [18]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):179-183,231.
- [19]王 利,于立忠,张金鑫,等. 浑河上游水源地不同林型水源涵养功能分析[J]. 水土保持学报,2015,29(3):249-255.
- [20]Shi Z H, Chen L D, Cai C F, et al. Effects of long-term fertilization and mulch on soil fertility in contour hedgerow systems: a case study on steep lands from the Three Gorges Area, China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 84(1):39-48.
- [21]田月亮,张金池,李海东,等. 不同林分类型土壤水分物理性质及其海拔效应——以浙江省凤阳山为例[J]. 水土保持通报, 2013, 33(1):53-57, 61.