

杉木林采伐迹地再造林后土壤调蓄水分功能恢复研究

杨贤均, 邓云叶, 段林东*

(邵阳学院城市建设系, 湖南 邵阳 422004)

摘要: [目的] 探讨杉木人工林采伐前、后及其采伐迹地造林后林地土壤调蓄水分功能的变化, 揭示采伐地造林后, 幼林对土壤蓄水功能的调节恢复作用。 [方法] 采用定位连续观测方法, 在 24 年生杉木人工林伐前、伐后以及造林后 1 年、3 年、5 年、8 年的样地内采集土壤样品, 进行室内测试分析。 [结果] 表明: 与伐前相比, 杉木人工林采伐后 1 m 深土壤层毛管孔隙度提高了 1.70%, 非毛管孔隙度下降了 4.95%; 伐后 1 m 深土壤层最大持水力、最小持水力和毛管持水力比伐前分别提高了 4.02%、2.67% 和 5.31%, 但土壤贮水力下降 14.30%; 0~20、20~40 cm 土层的初渗速率分别下降 19.81% 和 16.95%, 稳渗速率分别下降 12.97% 和 14.49%; 造林后林分对土壤调蓄水分功能的调节作用, 随着林龄增加而增大, 8 年生幼林 0~20、20~40 cm 土层对土壤水分的初渗调控能力恢复到采伐前的 62.50% 和 58.83%, 稳渗的调控恢复到采伐前的 62.22% 和 48.79%; 若以伐后与伐前土壤的最大持水力、最小持水力和毛管持水力的差值为 100%, 8 年生幼林其与伐前的差异只有 16.90%、17.84% 和 23.20%。土壤贮水力恢复到采伐前 33.34% 的水平。 [结论] 杉木人工林的采伐导致土壤调蓄水分功能减弱, 采伐迹地再造林能逐步改善林地土壤调蓄水分功能, 而且随着幼林林龄增加调节功能逐步增强。

关键词: 杉木人工林; 土壤; 蓄水功能; 采伐迹地; 再造林; 功能恢复

中图分类号: S791.27

文献标识码: A

Research on Restoration of Soil Moisture Regulation Function in the Harvested Chinese Fir Plantation after Reforestation

YANG Xian-jun, DENG Yun-ye, DUAN Lin-dong

(Department of City Construction, Shaoyang University, Shaoyang 422004, Hunan, China)

Abstract: [Objective] In order to understand the changes of regulation function of soil moisture for the pre-harvest, post-harvest and reforested Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation. [Method] By continuous observation in fixed locations of 24-year-old Chinese fir plantation, the soil samples before harvest, 1 year after harvest and 1 year, 3 years, 5 years, and 8 years after reforestation were collected, and the function of soil water regulation and storage capacity were investigated by laboratory data analysis. [Result] The results showed that compared with pre-harvest period, the capillary porosity of soil 1 m in depth increased by 1.70% at post-harvest period, and the non-capillary porosity decreased by 4.95%; the water holding capacity, the minimum holding capacity and capillary power of the soil increased by 4.02%, 2.67% and 5.31% respectively, but the water storage capacity declined by 14.30%; the initial infiltration capacity of the soil 0~20cm and 20~40 cm in depth decreased by 19.81% and 16.95% respectively, the stable infiltration capacity also fell by 12.97% and 14.49% respectively; during the reforestation stage, the water regulation and storage function gradually improved along with the ages of the Chinese fir plantation, for example, the initial infiltration capacity of the soil with 0~20 cm and 20~40 cm in depth at Chi-

收稿日期: 2015-07-28

基金项目: 湖南省教育厅项目(2011C1124)、湖南省科技厅项目(2012SK3163)

作者简介: 杨贤均(1974—),男,硕士,副教授,主要从事风景园林景观规划研究。电话:13873929070。E-mail:yxj0008@163.com

* 通讯作者: 教授,主要从事植物分类及植物生理研究。电话:13973967236。E-mail:LDDuan@163.com

nese fir plantation 8 years after reforestation recovered to 62.50% and 58.83% respectively, the stable infiltration capacity also recovered to 62.22% and 48.79% compared with pre-harvest stage; If the soil before cutting with the maximum water holding capacity after cutting, minimum water holding capacity and capillary water holding capacity of 100% of the difference. with the 8-year-old stand differences before cutting only 16.90%, 17.84% and 23.20%; the soil water storage capacity returned to 33.34% of pre-harvest level. [Conclusion] The regulating function of soil moisture was weakened by harvest; however, with the reforestation activities, all the capacity of soil moisture will gradually recovered.

Keywords: Chinese fir plantation; soil; water storage function; cutover land; reforestation; function recovery

对森林生态系统来说,皆伐是最严重的外力冲击,首当其冲的是地表植被层消失,进而导致生态系统对养分、水分、机械能(风能)和辐射能流的生物调节能力丧失,环境中存在的各种退化力可能会造成该生态系统的退化,其中包括土壤蓄水功能的退化^[1-10]。

我国有关土壤蓄水功能研究成果颇多,主要集中在不同立地条件下的土壤蓄水功能和渗透能力比较^[11-13];不同密度人工林对土壤水分动态和含水量的影响^[14-16];抚育间伐^[17]、坡地改造后土壤水分动态^[18]以及旅游干扰对草甸湿地土壤水文调蓄功能的影响等^[19]。但有关森林采伐后以及采伐地造林后林地土壤调蓄水分功能的变化研究仍不多见。

本研究以湖南省绥宁县堡子岭林场的杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)林采伐后第2年再造的杉木人工林为对象,利用定位连续测定数据,研究杉木林采伐前、后及其再造杉木人工林土壤蓄水功能的变化。揭示采伐地造林后,幼林对土壤蓄水功能的调节恢复作用,为研究植被对土壤蓄水功能的生物调节作用提供理论依据。

1 研究地概况

研究地设在湖南省绥宁县堡子岭林场,地处26°16′~27°8′N、109°49′~110°32′E,属中亚热带季风湿润气候区,年平均气温16.7℃,年平均降水量1320.0 mm,昼夜温差较大。

研究林地坡度18°~24°,海拔320 m,西南坡向。土壤为板页岩发育的黄壤,土层厚度80 cm以上。2006年3月,对24年生杉木人工林进行采伐,采伐面积约为1.5 hm²,2007年春在采伐迹地营造杉木人工林,造林密度2400株·hm⁻²,造林后,2008和2009年春季每年抚育一次。2014年,林分平均高度和胸径分别为6.8 m与7.1 cm,林分郁闭度约0.8。

2 研究方法

2.1 土壤样品的采集

根据代表性原则选取面积为666.7 m²研究样地,分别在采伐前(2006年2月)、采伐后(2006年11月)以及造林后(2007年、2009年、2011年及2014年的每年11月)采集土壤样品。具体方法是在长方形样地(20 m×33.3 m)对角线的4个顶端及交叉部位选取采集地点(共5个样点),每一样点挖一个深度为1.1 m,宽度为0.5 m的土壤剖面,用环刀法按0~20、21~40、41~60和61~100 cm土壤分层取样(每层取2份,1份用于测定土壤密度和孔隙度,1份用于测定土壤的持水力)。

2.2 土壤持水力和贮水力的测定

各种持水量的计算按照中国土壤学会土壤农化分析专业委员会提供的方法进行^[20]。将装有原状土壤的环刀在水中连续浸泡12 h后,称质量计算最大持水量。再将浸泡环刀在干砂上放置2 h(环刀中土壤的非毛管水已全部流出),称质量得出毛管持水量。将称质量后环刀继续在干砂上再搁置24 h(环刀中土壤的水分只有毛管悬着水),称质量求算最小持水量。土壤贮水力计算公式为^[20]:

$$S = 10\,000 \times h \times P_n \times \rho \quad (1)$$

式中: S 为土壤贮水力; h 为土层厚度; P_n 为非毛管孔隙度; ρ 为水的密度。

2.3 土壤物理性能测定

将环刀土壤放在105℃下烘干至恒质量,计算土壤含水量,根据环刀干土质量和环刀容积求算土壤密度。土壤毛管孔隙度(P_c)、总孔隙度(P_t)、非毛管孔隙度(P_n)分别按公式(2)至公式(4)计算^[20]。

$$P_c = \frac{w_{\text{水}} - w_{\text{环}} - w_{\text{土}}}{\pi \times r \times h} \times 100 \quad (2)$$

$$P_t = \frac{w_{\text{泡水}24\text{h}} - w_{\text{环}} - w_{\text{土}}}{\pi \times r^2 \times h} \times 100 \quad (3)$$

$$P_n = P_t - P_c \quad (4)$$

式中: $w_{\text{环}}$ 表示环刀质量; $w_{\text{水}}$ 表示吸水后带土环刀质量; $w_{\text{土}}$ 表示环刀内干土质量; r 表示环刀内半径; h 表示环刀高; $w_{\text{泡水24h}}$ 表示泡水 24 h 后带土环刀质量。

土壤渗透性能的测定采用渗透筒法,并将不同温度下的渗透系数换算成 10 ℃ 的渗透系数以便比较,具体换算公式如下^[20]:

$$K_{10} = K_T / (0.7 + 0.03T) - h / (0.7 + 0.03T)t \quad (5)$$

式中: K_T 为实测水温下的渗透系数; K_{10} 为实测水温 10 ℃ 下的渗透系数; h 为渗透锋面深度; t 为渗透所用总时间; T 为测定所用水的水温。

2.4 数据处理和统计

所有数据经 Excel 软件处理后,采用 One-Way-ANOVA 进行方差分析;用 T 检验分析差异显著性;

采用 Analyze-Descriptive 计算出标准差和均值,然后用标准差除以均值求算变异系数。

3 结果与分析

3.1 土壤的孔隙度

从表 1 可以看出,采伐前、后 60 cm 深以下土层,土壤毛管和非毛管孔隙度标准差和变异系数相差不大;采伐后 0 ~ 60 cm 土层的相应指标均大于采伐前,且 1 m 以内土壤层毛管和非毛管孔隙度平均标准差和变异系数,林木采伐后大于采伐前。表明采伐后林地毛管和非毛管孔隙度变化激烈,且变化幅度增大。采伐迹地造林后,随着林木的生长,毛管和非毛管孔隙度标准差和变异系数逐渐减少,表明新造的杉木林具有改善土壤毛管和非毛管孔隙度的作用。

表 1 不同时期土壤物理性能及其统计分析

年份	土层/cm	密度/ (g · cm ⁻³)	毛管孔隙 度/%	标准 差	变异 系数	非毛管孔 隙度/%	标准 差	变异 系数	总孔隙 度/%
2006(采伐前)	0 ~ 20	1.02 ± 0.07	54.7a	4.03	0.518	15.30a	0.66	0.564	70.00
	20 ~ 40	1.13 ± 0.06	48.7c	3.31	0.363	12.80b	0.44	0.378	61.50
	40 ~ 60	1.21 ± 0.09	43.5e	3.09	0.301	11.06c	0.41	0.322	54.56
	60 ~ 100	1.28 ± 0.07	39.6f	2.88	0.276	9.27f	0.30	0.301	48.87
	平均	1.18	44.8d	3.23	0.346	11.54c	0.42	0.373	56.34
2006(采伐后)	0 ~ 20	1.06 ± 0.04	53.5ab	4.94	0.679	10.37d	0.75	0.723	63.87
	20 ~ 40	1.14 ± 0.07	50.7b	3.79	0.398	10.12d	0.49	0.464	60.82
	40 ~ 60	1.21 ± 0.08	44.1d	3.11	0.313	10.53d	0.43	0.329	54.63
	60 ~ 100	1.28 ± 0.05	39.7f	2.89	0.282	9.21f	0.31	0.304	48.91
	平均	1.19	46.5e	3.52	0.392	9.89e	0.46	0.425	54.43
2007(造林后)	0 ~ 20	1.01 ± 0.07	54.6a	4.83	0.668	12.21b	0.73	0.712	66.81
	20 ~ 40	1.14 ± 0.08	51.3b	3.71	0.392	10.43d	0.48	0.458	60.73
	40 ~ 60	1.21 ± 0.07	44.1d	3.11	0.312	10.41d	0.42	0.328	54.51
	60 ~ 100	1.28 ± 0.09	39.6f	2.89	0.282	9.21f	0.31	0.304	48.91
	平均	1.19	45.7e	3.47	0.387	10.29d	0.45	0.422	56.54
2009(3年生林)	0 ~ 20	1.03 ± 0.06	53.7a	4.72	0.643	10.55c	0.70	0.693	64.25
	20 ~ 40	1.14 ± 0.07	50.1b	3.60	0.384	10.31d	0.47	0.454	60.41
	40 ~ 60	1.21 ± 0.06	43.6e	3.10	0.307	10.61d	0.42	0.327	54.21
	60 ~ 100	1.28 ± 0.07	39.6f	2.89	0.280	9.22f	0.31	0.303	48.82
	平均	1.19	45.3d	3.44	0.379	9.98d	0.44	0.415	54.28
2011(5年生林)	0 ~ 20	1.03 ± 0.06	54.0a	4.43	0.611	10.97c	0.68	0.667	64.97
	20 ~ 40	1.14 ± 0.09	49.5c	3.42	0.376	10.52d	0.46	0.425	61.12
	40 ~ 60	1.21 ± 0.09	43.3e	3.10	0.305	10.75d	0.41	0.325	55.15
	60 ~ 100	1.28 ± 0.08	39.6f	2.89	0.278	9.24f	0.30	0.302	48.84
	平均	1.19	45.2d	3.35	0.370	10.14d	0.43	0.404	54.91
2014(8年生林)	0 ~ 20	1.02 ± 0.06	54.2a	4.18	0.594	11.96b	0.67	0.642	66.16
	20 ~ 40	1.13 ± 0.08	49.0c	3.38	0.365	10.83c	0.45	0.411	59.83
	40 ~ 60	1.21 ± 0.07	43.1e	3.11	0.303	10.90c	0.41	0.324	54.00
	60 ~ 100	1.28 ± 0.05	39.6f	2.89	0.277	9.25f	0.30	0.302	48.85
	平均	1.18	45.1d	3.29	0.363	10.44d	0.42	0.396	55.54

注:同列不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$),下同。

杉木林采伐后 1 m 以内土壤层毛管孔隙度增大,与伐前相比,伐后提高了 1.70%,主要发生在 20~60 cm 土层中,而 0~20 cm 表土层有所减少,60 cm 以下土层变化甚微。采伐后 1 m 以内土壤层非毛管孔隙度的变化与毛管孔隙度相反,呈下降趋势,各土层降低幅度依次为 0~20 cm 土层 > 20~40 cm 土层 > 40~60 cm 土层,60 cm 以下土层采伐后变化不大。

采伐时,伐木倒下时对林地表面的撞击力及其搬运拖拽使表土层(0~20 cm)更加紧实,使一些大孔隙(非毛管孔隙)的孔径缩小,导致非毛管孔隙度减少。而之前一些孔径小的孔隙(毛管孔隙)经压实后孔隙消失,尽管会有一些非毛管孔隙转变为毛管孔隙,但毛管孔隙还是减少了。在 20~60 cm 深土层,采伐作业对土层压紧作用少于表土层(0~20 cm),因此非毛管孔隙度降低幅度少于表土层。不过一些孔径大的非毛管孔隙被压紧成为孔径小的毛管孔隙,毛管孔隙增多了。这就是采伐后 0~60 cm 土层土壤毛管和非毛管孔隙度标准差和变异系数大于采伐前的主要原因。60 cm 深以下土层土壤毛管和非毛管孔隙度及其标准差和变异系数,采伐前后变化不大。说明采伐作业对土壤压紧作用只影响到 0~60 cm 土层,对 60 cm 深以下土层的压紧作用不大。

营造杉木林后,随着幼林林龄增大,土壤毛管孔隙度与伐前的差距越来越小。如果以采伐后与采伐前 1 m 深土壤毛管孔隙度的差距为 100% 的话,3 年生幼林时与采伐前的差距减少到 71.43%,5 年生幼林下降到 57.14%,到 8 年生减少到 42.86%。同样假定采伐后与采伐前 1 m 深土壤非毛管孔隙度的差距为 100%,3 年生幼林时与采伐前的差距减少到 94.54%,意味着 3 年生幼林对非毛管孔隙度调节作用已接近伐前 5.46%。以此推算,5 年生幼林其能力已恢复到伐前的 15.15%,8 年生幼林已恢复到伐前的 33.34% 的水平。

营造杉木林后,土壤孔隙度逐渐向伐前水平恢复,主要是幼林根系在土壤中生长过程中的穿插、挤压,以及伐倒木留下的根系逐渐死亡等形成孔隙调节着土壤孔隙度。此外,幼林地面的灌木和草本较丰富,其枯落物分解,土壤有机质增多,提高土壤团聚性,改良土壤结构,调控着土壤孔隙度。也正如此,使得毛管和非毛管孔隙度平均标准差和变异系数逐渐变小,毛管和非毛管孔隙度变化趋向稳定。

3.2 土壤的持水力和贮水力

表 2 表明,杉木林采伐后 1 m 深土壤的最大持水力、最小持水力和毛管持水力分别比采伐前提高了 4.02%、2.67% 和 5.31%。杉木林伐前 1 m 深土壤贮水力为 $1\ 154\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,采伐后为 $989\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,为伐前的 85.70%,表明林木采伐后其土壤贮水力降低。

土壤持水力的大小取决于毛管孔隙度和毛管孔径大小,毛管孔隙愈多且孔径愈小,毛管力愈大,其持水力愈强。采伐作业对土层的压紧作用,使土壤中孔径大的孔隙转变为孔径小的毛管孔隙,而且原来一些毛管孔隙孔径也因压紧作用而缩小,其毛管力增大,持水力增强,导致了土壤的持水力增大。土壤贮水力主要受孔径大的非毛管孔隙控制,这些大孔隙当重力水大量存在时可被水填充,故此有蓄水功能。由于林木采伐及林木搬运对土层的压紧作用,使土壤中孔径大的非毛管孔隙向孔径小的毛管孔隙转化,孔径大的非毛管孔隙减少,因而其土壤贮水力下降。

采伐迹地造林后,随着幼林的生长,幼林逐渐对土壤持水力和贮水力进行调控。假若以伐后与伐前土壤的最大持水力、最小持水力和毛管持水力的差值为 100%,那么 3 年生的幼林对土壤的最大持水力、最小持水力和毛管持水力调节能力与伐前差值分别缩小了 28.27%、19.75% 和 16.5%;5 年生幼林又分别缩小了 59.72%、57.14% 和 57.94%;8 年生林分与伐前林分的差异只有 16.90%、17.84% 和 23.20%。幼林对土壤贮水力的调节,3 年生幼林达到伐前的 5.45%,5 年生幼林上升到 15.15%;8 年生幼林恢复到伐前 33.34% 的水平。

3.3 土壤渗透性能

表 3 给出了采伐前、后及造林后 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤的渗透速率及其标准差和变异系数。从中看出,采伐后无论是初渗还是稳渗速率的标准差和变异系数比采伐前增大。说明采伐使林地土壤渗透性能变化程度增大。这主要是在采伐过程中对表土层的挤压作用影响水分在土壤传输的通道(孔隙)造成。采伐迹地造林后,随林分的生长,其标准差和变异系数在逐渐变小,土壤渗透性能趋向稳定。

采伐后土壤渗透速率比采伐前有所下降,其中 0~20、20~40 cm 土层初渗速率分别比伐前下降 19.81% 和 16.95%,稳渗速率也分别比伐前下降 12.97% 和 14.49%。林地土壤中 0~20 cm 土层采

表2 不同时期土壤持水和贮水力

年份	土层/cm	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	最大持水力/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	最小持水力/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	毛管持水力/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	贮水力/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
2006(采伐前)	0~20	1.02±0.07	1 216bc	987b	1 094c	306b
	20~40	1.13±0.06	1 155d	838d	927d	256b
	40~60	1.21±0.09	1 027e	802e	794e	221c
	60~100	1.28±0.07	1 899a	1 572a	1 648b	371a
	平均(合计)	1.18	(5 297)	(4 199)	(4 463)	(1 154)
2006(采伐后)	0~20	1.06±0.04	1 276b	999b	1 070c	207c
	20~40	1.14±0.07	1 215c	882c	965d	202c
	40~60	1.21±0.08	1 100e	832d	892e	211c
	60~100	1.28±0.05	1 919a	1 598a	1 773a	367a
	平均(合计)	1.19	(5 510)	(4 311)	(4 700)	(989)
2007(造林后)	0~20	1.01±0.07	1 339b	965b	1 092c	244b
	20~40	1.14±0.08	1 214c	948b	1 017c	209c
	40~60	1.21±0.07	1 076e	819e	899e	208c
	60~100	1.28±0.09	2 019a	1 604a	1 779a	368a
	平均(合计)	1.19	(5 648)	(4 336)	(4 787)	(1 029)
2009(3年生林)	0~20	1.03±0.06	1 287b	957b	1 018c	211c
	20~40	1.14±0.07	1 205c	927b	975d	206c
	40~60	1.21±0.06	1 023e	824d	881e	213c
	60~100	1.28±0.07	1 935a	1 582a	1 688b	368a
	平均(合计)	1.19	(5 450)	(4 290)	(4 632)	(998)
2011(5年生林)	0~20	1.03±0.06	1 253b	921b	1 080c	219c
	20~40	1.14±0.09	1 188d	962b	942d	210c
	40~60	1.21±0.09	1 015e	807e	875e	215c
	60~100	1.28±0.08	1 917a	1 588a	1 668b	370a
	平均(合计)	1.19	(5 383)	(4 247)	(4 565)	(1 014)
2014(8年生林)	0~20	1.02±0.06	1 221bc	943b	1 084c	239bc
	20~40	1.13±0.08	1 177d	867c	923d	217c
	40~60	1.21±0.07	1 011e	831d	861e	218c
	60~100	1.28±0.05	1 914a	1 578a	1 650b	370a
	平均(合计)	1.18	(5 333)	(4 219)	(4 518)	(1 060)

伐前后的渗透性能的变化比 20~40 cm 土层更大。主要是在采伐过程中对 0~20 cm 表土层的挤压作用大于 20~40 cm 土层,从而使伐前、后 20~40 cm

土层渗透速率的变化没有 0~20 cm 表土层那么显著。

表3 不同时期的土壤渗透性能及其统计分析

年份	土层/ cm	初渗速率/ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	标准差	变异系数	稳渗速率/ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	标准 差/%	变异 系数	K_{10}	K_T
2006(采伐前)	0~20	5.25a	0.35	4.13	3.47a	0.22	4.64	1.74	1.32
	20~40	5.04a	0.28	3.21	3.52a	0.19	3.51	1.75	1.30
2006(采伐后)	0~20	4.21d	0.42	5.04	3.02d	0.28	5.78	1.69	1.22
	20~40	4.36c	0.32	3.82	3.11c	0.23	4.03	1.40	1.08
2009(3年生林)	0~20	4.35c	0.41	4.82	3.16c	0.27	5.23	1.71	1.25
	20~40	4.42c	0.30	3.70	3.16c	0.23	3.89	1.46	1.20
2011(5年生林)	0~20	4.64b	0.39	4.55	3.19c	0.25	5.09	1.59	1.22
	20~40	4.62b	0.30	3.57	3.23b	0.22	3.74	1.62	1.24
2014(8年生林)	0~20	4.86ab	0.37	4.38	3.30b	0.24	4.92	1.67	1.27
	20~40	4.76b	0.29	3.42	3.31b	0.21	3.64	1.71	1.32

采伐地造林后土壤渗透性能有所增强。如果以伐后与伐前的初渗速率差值为 100%,3年生幼林的

0~20 cm 和 20~40 cm 土层初参与伐前的差别分别只有 86.54% 与 91.17%。5年生幼林分别缩小到

只有伐前的 58.65% 和 61.76%。8 年生幼林进一步减少为 37.50% 和 41.17%。同样以伐后与伐前的稳渗速率差值为 100%, 3 年生幼林的 0~20 cm 和 20~40 cm 土层稳渗与伐前的差异缩减到 80.00% 与 87.80%。5 年生幼林其差异分别缩小到只有伐前的 62.20% 和 70.73%。8 年生时, 0~20 cm 和 20~40 cm 土层稳渗与伐前的差异分别只有 37.78% 和 51.21%。分析得出, 随着幼林的林龄增大, 土壤渗透性能与伐前差距不断缩小, 表明幼林对其调控能力不断增强。

采伐地造林后, 幼林的生物调节提高了土壤渗透性能, 而生物调节作用来自 4 个方面: (1) 幼林的植物根系在土壤中穿插、伸展, 充分接触土壤、挤压土壤, 实际上起到了疏松土壤的作用, 形成了纵向和横向的水分传输网络, 增大了土壤渗透性能^[21-22]。(2) 伐倒木留下的根系逐渐死亡腐烂, 在土壤中形成连续的大孔径孔隙, 这些大孔径孔隙容易让土壤水分和溶质顺利通过^[22]。(3) 植物根系分泌物可作为有机胶结剂, 促进土壤的团粒化作用, 降低变湿速率提高土壤渗透性能^[23-25]。(4) 尽管幼林的凋落物不多, 但仍存在林地灌木和草本的枯落物, 枯落物的不断分解能改善土壤的结构, 增大非毛管孔隙度, 增强了土壤的入渗性能。以上也均是造林后土壤渗透性能趋向稳定, 其渗透速率的标准差和变异系数逐渐变小的原因所在。

由表 3 可知, 幼林对不同深度土壤渗透性能的调控能力不一样, 对 0~20 cm 土层土壤渗透性能的调控能力大于 20~40 cm 土层。这是由于幼林生长期较短, 根系的主要分布在 0~20 cm 土层, 20~40 cm 土层相对分布较少, 因而其调控能力相对较弱。此外, 落在林地地面枯落物的分解对土壤的改良作用也主要体现在土壤表层。

4 结论与讨论

杉木林采伐后, 1 m 深以内土壤毛管孔隙度提高 1.70%, 非毛管孔隙度减少 4.95%, 20~40 cm 土层初渗速率分别比伐前下降 19.81% 和 16.95%, 稳渗速率分别下降 12.97% 和 14.49%; 1 m 深以内土壤的最大持水力、最小持水力和毛管持水力分别比采伐前提高 4.02%、2.67% 和 5.31%, 而土壤贮水力下降 14.30%。

在采伐迹地营造杉木林后, 幼林对土壤调蓄水分功能起到生物调节的作用, 而且随着幼林林龄增

加调节功能逐步增强。8 年生幼林对土壤初渗调控能力恢复到伐前的 62.50% 和 58.83%, 稳渗的调控恢复到伐前的 62.22% 和 48.79%; 假若以伐后与伐前土壤的最大持水力、最小持水力和毛管持水力的差值为 100%, 那么 3 年生的幼林其与伐前差值分别缩小了 28.27%、19.75% 和 16.5%; 5 年生幼林又分别缩小了 59.72%、57.14% 和 57.94%; 8 年生林分与伐前的差异只有 16.90%、17.84% 和 23.20%。

就调节土壤水分整体能力而言, 幼林还较弱, 可能是由于: (1) 森林对土壤水分的调节, 包含了对土壤的物理特性如土壤结构、孔隙度、渗透性能的调节, 土壤形成本身有它固有的规律, 而且林地土壤是林木与土壤长期作用的结果。皆伐对森林生态系统冲击首当其冲的是土壤, 林地土壤一旦遭受破坏, 即使恢复植被也很难在短时期内恢复到伐前的物理性能水平。因此, 幼年阶段对土壤水分的调节效果不如成林显著。(2) 林地枯死物层对表土层水分蒸发具有抑制作用, 幼林造林时的全垦, 地被物层荡然无存, 幼林枯枝落叶少, 造林后头两年抚育, 林内活地被物不多, 还没有恢复到伐前的地被物层, 因而对表土层水分蒸发抑制作用也不如伐前。(3) 森林土壤孔隙尤其是大孔隙对土壤水分运动和水分涵养有至关重要的影响。土壤孔隙主要是植物根系活动和死亡后, 以及土壤动物活动形成的, 幼林根系密度, 根系活动在土壤中的宽度和深度远不及伐前, 或多或少地造成了幼林土壤大孔隙比伐前少, 因而幼林土壤调蓄水分的能力比伐前弱。(4) 林木蒸腾在调节土壤水分方面起着非常重要的作用, 它驱动着土壤水分流动, 提汲土壤中大量水分, 为土壤吸持和滞留水分提供了很大空间, 幼林的蒸腾作用和蒸腾量无法与伐前的成林相比。因此幼林通过蒸腾作用调节土壤水分的能力远不如伐前的成林。

采伐迹地土壤调蓄水分功能的恢复, 不仅是植被的恢复就可以了, 其它因子如林分高度及冠层结构特征, 林内地被物的持水能力, 根系数量、根径大小及其在土壤中的活动范围, 土壤中有机质含量, 林木的生理功能等都有可能影响着土壤调蓄水量的大小。因此, 杉木林皆伐后, 随后营造人工林, 对土壤调蓄水分功能的全面恢复大约需要 15 年以上的时间。

参考文献:

- [1] 李兆山, 孙建明, 杨文珠, 等. 浅析大兴安岭地区森林采伐对环境的影响[J]. 林业建设, 2008, (2): 70-73.

- [2] 张景涛. 森林采伐对环境的影响及保护措施探讨[J]. 农林科技, 2014(4): 7-8.
- [3] 李良厚, 陈宝林, 汪衡, 等. 森林对环境的服务功能及其作用机制[J]. 中国科技信息, 2012(10): 41-42.
- [4] 李艳忠, 孙亮. 浅析森林采伐对环境的影响[J]. 林业勘查设计, 2008(3): 21-22.
- [5] 邢福光, 薛杨, 陈杰, 等. 浅谈森林对环境的重要作用——以青岛林场东坡作业区调查结果作为视角[J]. 热带林业, 2009, 31(1): 47-48.
- [6] 齐清, 李传荣, 许景伟, 等. 沙质海岸不同植被类型土壤水源涵养功能的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 102-105.
- [7] 赵世伟, 周印东, 吴金水. 子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 119-122.
- [8] 夏江宝, 许景伟, 李传荣, 等. 沙质海岸不同植被梯度带的土壤蓄水功能[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 208-211.
- [9] 郑子龙, 蔺岩雄, 袁一超, 等. 甘肃小陇山林区不同森林类型土壤水分动态[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(1): 51-54.
- [10] 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.
- [11] 张雷燕, 刘常富, 王彦辉, 等. 宁夏六盘山地区不同森林类型土壤的蓄水和渗透能力比较[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 95-98.
- [12] 姜海燕, 赵雨森, 陈祥伟, 等. 大兴安岭岭南几种主要森林类型土壤水文功能研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 149-153.
- [13] 郝文芳, 韩蕊莲, 单长卷, 等. 黄土高原不同立地条件下人工林刺槐林土壤水分动态规律研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(6): 964-968.
- [14] 周国相. 经营密度对杨桦次生林土壤含水量及林分生长量的影响[J]. 林业勘查设计, 2012(1): 88-90.
- [15] 莎仁图雅, 韩胜利, 田有亮, 等. 大青山区不同密度人工油松林地土壤水分动态规律的研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2006, 27(2): 75-78.
- [16] 李世荣, 张卫强, 贺康宁. 黄土半干旱区不同密度刺槐林地的土壤水分动态[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(2): 28-32.
- [17] 石丽丽, 徐成立, 王雄宾, 等. 抚育间伐对华北落叶松人工林涵养水源功能影响[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(2): 108-111.
- [18] 夏红玲, 张源润, 董立国, 等. 宁南山区坡地改造工程土壤水分动态研究[J]. 防护林科技, 2009(4): 5-7.
- [19] 徐金良, 毛玉明, 郑成忠, 等. 抚育间伐对杉木人工林生长及出材量的影响[J]. 林业科学研究, 2014, 27(1): 99-107.
- [20] 中国土壤学会土壤农化分析专业委员会. 土壤常规分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1965: 15-19.
- [21] 高琛, 鲁绍伟, 杨新兵, 等. 北京松山不同密度丁香天然林枯落物及土壤水文效应[J]. 水土保持研究, 2013, 20(6): 59-65.
- [22] 相聪伟, 张建国, 段爱国, 等. 杉木密度间伐试验林林分断面积生长效应[J]. 林业科学研究, 2014, 27(6): 801-808.
- [23] 梁小妮. 枯落物与根系对城市土壤改良作用概述[J]. 陕西林业科技, 2012, (3): 102-105.
- [24] Lynch Thomas B, Zhang, Difei. On Relative Maxima of Diameter Growth, Basal Area Growth, Volume Growth, and Mean Annual Increment for Individual Trees[J]. Forest Science. 2011, 5(4): 45-49.
- [25] Zhang S Y, Gilles Chauvet, D E. Swift, Isabelle Duchesne. Effects of precommercial thinning on tree growth and lumber quality in a jack pine stand in New Brunswick[J], Canada. Canadian Journal of Forest Research. 2006, 24(5): 65-68.

(责任编辑: 彭南轩)