

# 苏北山丘区典型性次生林下土壤蓄水能力分析

耿佳, 于法展, 杨盼盼, 曾晨

(徐州师范大学 城市与环境学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:**次生林下土壤蓄水能力作为水源林生态系统的重要组成部分,是发挥森林水文生态功能的主体之一。研究采用“每木调查法”,以苏北山丘区现存的赤松林、黑松林、侧柏林、栎类林、杂木林、刺槐林 6 种典型次生林作为主要对象,通过对林下植被土壤各个层面水文特性的研究,比较分析其林下土壤的蓄水能力。结果表明:6 种次生林下土壤蓄水能力范围为  $280.8 \sim 451.2 \text{ t/hm}^2$ ,各次生林下土壤的蓄水能力与土壤容重呈负相关,与土壤毛管孔隙度呈正相关,其蓄水能力的大小顺序为:刺槐林>栎类林>杂木林>侧柏林>赤松林>黑松林。

**关键词:**次生林; 土壤物理性状; 土壤蓄水能力; 苏北山丘区

中图分类号:S714.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0184-03

## Analysis on Soil Water Storage Ability in Typical Secondary Forests in Hilly Areas of Northern Jiangsu Province

GENG Jia, YU Fa-zhan, YANG Pan-pan, ZENG Chen

(College of Urban and Environmental Sciences, Xuzhou Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

**Abstract:** As the important component of forest ecosystem, the soil water storage ability in secondary forests in hilly areas plays the main role in the part of ecological function of forest hydrology. This study adopted the way of investigating every wood and took six existing typical secondary forests such as Red Pines, Black Forest, Platcladus, Oak Forest, Shaw, *Robinia pseudoacacia* Forest as the main research objects. Through the study of the hydrology characteristic in each layer of the soil in the forests, water storage ability of the soil in each forest was analyzed. It was turned out that soil water storage ability of those six secondary forest ranged between  $280.8 \sim 451.2 \text{ t/hm}^2$ , the oder of the water storage ability is: *Robinia pseudoacacia* L Forest>Oak Forest>Shaw>Platycladus>Red Pines>Black Forest.

**Key words:** secondary forests; soil physical status; soil water storage ability; hilly areas of northern Jiangsu Province

森林土壤的蓄水能力是指森林生态系统中涵养土壤水分、补充地下水和调节河川流量的功能,而森林土壤的物理性质决定了土壤水分的储蓄方式,并直接影响到水源涵养潜能的强弱。研究不同森林植被类型下土壤蓄水能力的差异,即通过不同森林植被类型下土壤蓄水能力的比较,可以探明涵养水源能力较好的森林植被类型,这对水土保持和生态修复等都具有极其重要的意义<sup>[1-5]</sup>。目前,随着生态环境问题的日趋尖锐,人们对土壤与植被之间关系的研究越来越受到重视<sup>[6-7]</sup>。由于历史的原因,苏北山丘区的原始森林砍伐已尽,即使是次生林木在 20 世纪 70 年代之

前也多受破坏,80 年代后生态环境保护已逐步受到政府与群众的重视,现有植被的土壤蓄水能力下降已成为该地区生态环境建设的重大课题<sup>[2]</sup>。苏北山丘区的几处典型次生林主要分布于江苏省东北部和西北部的低山丘陵,前者如连云港近郊的前云台山、中云台山、后云台山、锦屏山等,后者如徐州附近的大洞山、马陵山、泉山、云龙山等。本文以苏北山丘区几处现存的典型次生林下土壤为研究对象,通过测定土壤持水量,探讨不同次生林下土壤的蓄水能力,并评价水土流失的潜在危险性,从而为促进退化森林生态系统的更新、恢复重建及区域可持续发展提供科学参考。

收稿日期:2011-06-19

修回日期:2011-08-19

资助项目:徐州师范大学环境与发展创新实验课题项目(HJ201025Y)

作者简介:耿佳(1990—),女,江苏常州人,本科生,主要从事地理科学方面的研究。E-mail:1540803329@qq.com

通信作者:于法展(1972—),男,江苏丰县人,副教授,主要从事土壤环境研究。E-mail:yufazhan@126.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于江苏省的东北部和西北部,前者如连云港近郊的前云台山、中云台山、后云台山、锦屏山等,后者如徐州附近的马陵山、大洞山、泉山、云龙山等。其地理位置为东经 116°22′—119°48′,北纬 33°43′—35°07′,属于暖温带季风气候,受东南季风影响较大。年平均气温 13.1~14.3℃,1 月平均气温 -1.2~0.0℃,7 月平均气温 26.3~27.0℃,极端最高气温 40.6℃,极端最低气温 -22.6℃;年平均降水量 847.9~958.9 mm,雨季降水量占全年的 56%,且季节分配不均。该区地势属低山丘陵地带,土壤包括粗骨褐土与淋溶褐土两个亚类:粗骨褐土由石灰岩残坡积物发育而成,土层浅薄,砾石或岩屑含量高,主要

分布在山体中上部;淋溶褐土成土母质系第四纪黄土,土层深厚,集中出现在山麓地带。该区森林植被(主要为次生林)包括两个植被型,5 个群系组,11 个群系<sup>[8]</sup>。其中,赤松林、黑松林以及侧柏林多为纯林,物种多样性很低,林下灌木层、草本层不甚发育,生长缓慢,病虫害严重,它们是目前该地区低山丘陵上的主要次生林类型;栎类林和杂木林是该地区的地带性植被类型,由于人类的长期破坏,目前残存的面积很小,呈零星分布状态;刺槐林则常为纯林,系人工林,分布较广。

1.2 研究方法

在研究区内典型地段选择典型性次生林类型:赤松林、黑松林、侧柏林、栎类林、杂木林、刺槐林,设立标准样地,并对 6 种林分的环境因子进行调查,详见表 1。

表 1 苏北山丘区不同林分标准样地基本情况

植被类型	优势植物种类及样号	郁闭度	盖度/%	坡向坡度	土壤类型	样地来源
温性松林	赤松(1)	0.6~0.8	60	NW10°~15°	粗骨褐土	云台山
	黑松(2)	0.6	10	SE10°~15°	粗骨褐土	锦屏山
侧柏林	侧柏(3)	0.3~0.6	60	E15°~20°	粗骨褐土	泉山
栎类林	栓皮栎(4)	0.7~0.8	50	W15°~20°	粗骨褐土	云台山
	麻栎(5)	0.6~0.7	30	SE10°~15°	粗骨褐土	云台山
杂木林	黄连木、黄檀(6)	0.6	20	NW10°~15°	淋溶褐土	云台山
	盐肤木、黄连木(7)	0.6	40	NE10°~15°	粗骨褐土	云台山
刺槐林	刺槐(8)	0.5~0.7	20	NE10°~15°	粗骨褐土	马陵山

采用“每木调查法”,调查研究区的植物种类、数量、冠层结构,确定主要次生林类型。采用烘干恒重法,分别在标准样地不同土层取样,测定其含水量。采用环刀法测定以上 6 种次生林下的土壤容重、最大持水量、毛管持水量<sup>[9]</sup>。通过公式换算可得土壤含水量、容积湿度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度及总孔隙度。以上调查于 2009 年 5 月和 2010 年 5 月进行。土壤蓄水量按下式计算:

$$Q=10000PD \tag{1}$$

式中:Q——土壤降雨贮存量(t/hm<sup>2</sup>);P——非毛管孔隙度(%);D——土层厚度(cm)。

2 结果与分析

2.1 不同次生林下土壤蓄水总体特征比较

土壤容重、孔隙度以及持水量是度量土壤物理特性的指标,由于土粒排列松紧的不同,团聚体的形状、大小不同,都能引起土壤容重及孔隙度的差异,从而影响土壤水分、空气的运行和存在状态<sup>[10-13]</sup>。土壤容重表征了土壤的疏松程度与通气性,该值的大小可以说明土壤涵蓄水分以及供应树木生长所需水分的能力,而土壤孔隙状况则直接影响着土壤的通气透水性

及根系穿插的难易程度,对土壤中水、肥、气、热以及生物活性等发挥着不同的功能<sup>[14-15]</sup>。

表 2 反映出各植被类型的不同土壤层次的蓄水能力的总体特征。从表 2 比较可知,土壤容重大小顺序关系是:刺槐林>栎类林>杂木林>侧柏林>黑松林>赤松林,赤松林和黑松林下土壤容重平均值最小,这说明赤松林和黑松林下土壤较疏松、通气性能好,具有较高的水源涵养和水土保持功能;饱和持水量、田间持水量的大小顺序关系同土壤容重相一致,刺槐林和赤松林的饱和持水量差距为 10.46 mm,而田间持水量的差距仅为 5.79 mm;赤松林的总孔隙度和毛管孔隙度都达到最大,而刺槐林的数值则最小,其中总孔隙度的差值达到 2.64%,毛管孔隙度的差值为 5.23%,差值相对均较小;非毛管孔隙度的顺序依次是:刺槐林>栎类林>杂木林>侧柏林>赤松林>黑松林。土壤硬度是土壤的基本物理性质之一,对林下土壤水分状况、植物根系的发育和分布等都有重要意义<sup>[15]</sup>。从表 2 各采样点测定的结果可知,土壤硬度大小关系是:杂木林>栎类林>刺槐林>侧柏林>黑松林>赤松林,苏北山丘区几处典型次生林下平均土壤硬度值变化大致为 11.57~20.92 kg/cm<sup>2</sup>,这说明该地区各林下土壤能够满足当地植物生长发育的需要。

表 2 苏北山丘区不同林分标准样地的土壤物理性状(平均值)

土壤来源	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	硬度/ (kg·cm <sup>-2</sup> )	饱和持水量/mm	田间持水量/mm	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%
赤松林	1.18	11.57	46.85	40.25	55.01	50.08	4.93
黑松林	1.20	13.54	47.43	41.72	54.35	49.67	4.68
侧柏林	1.21	15.13	50.02	42.39	54.02	48.42	5.60
栎类林	1.25	18.57	53.81	45.58	52.70	46.16	6.54
杂木林	1.23	20.92	51.97	43.83	53.36	47.73	5.63
刺槐林	1.26	16.86	57.31	46.04	52.37	44.85	7.52

2.2 不同次生林下土壤蓄水能力参数影响因子的相关分析

为了进一步了解苏北山丘区的典型次生林下土壤蓄水能力特征参数影响因子的相互关系。对 6 种典型次生林下土壤蓄水能力的特征参数进行多元相关分析,结果见表 3。多元相关分析表明,6 种典型次生林类型的最大持水率与土壤容重呈负相关,相关系数达-0.950 0,与土壤毛管孔隙度呈正相关,相关系数为 0.672 5,土壤容重是决定土壤最大持水率的首要因子。6 种典型次生林类型的毛管持水率与土壤容重呈负相关,相关系数达-0.875 7,与土壤毛管孔隙度呈正相关,相关系数为 0.871 1,与土壤非毛管孔隙度呈负相关,相关系数为-0.499 6。6 种典型次生林类型的毛管持水率与土壤容重呈正相关,相关系数达 0.946 6,与土壤毛管孔隙度呈负相关,相关系数为-0.699 6。由此可见,土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度的结合特征决定着不同次生林类型各个层次的土壤自然含水率。

表 3 土壤蓄水能力参数的多元相关分析

参数因子	X <sub>1</sub> (土壤容重)	X <sub>2</sub> (非毛管孔隙度)	X <sub>3</sub> (毛管孔隙度)
X <sub>1</sub> (土壤容重)	1.0000	0.1406	-0.5564
X <sub>2</sub> (非毛管孔隙度)	0.1404	1.0000	-0.7894
X <sub>3</sub> (毛管孔隙度)	-0.5564	-0.7894	1.0000
Y <sub>1</sub> (最大持水率)	-0.9500	0.1788	0.6725
Y <sub>2</sub> (毛管持水率)	-0.8757	-0.4996	0.8711
Y <sub>3</sub> (春季土壤自然持水率)	0.9466	0.2196	-0.6996

2.3 不同次生林下土壤分层蓄水能力

由于土壤 0—30 cm,30—60 cm 层在实际降水过程中构成土壤水分蓄存与转移的主要载体,同时也是森林植物改变土壤结构的最强烈区域。因此,对土壤蓄水能力的评价以 0—30,30—60 cm 层土壤蓄水能力为标准更切合实际。根据(1)式计算不同次生林下土壤的蓄水能力,具体可见表 4。表 4 反映出不同次生林下每 1 hm<sup>2</sup> 面积 0—30,30—60 cm 土壤能够蓄存的水分能力。以上 6 种植被类型的土壤蓄水能力大致为 280.8~451.2 t/hm<sup>2</sup>,其中刺槐林的土壤蓄水能力最大,达到 451.2 t/hm<sup>2</sup>,而黑松林的土壤蓄水能

力最小,只有 280.8 t/hm<sup>2</sup>,与最大值之间的差距达到 100 t/hm<sup>2</sup> 以上。

表 4 苏北山丘区不同次生林下土壤蓄水能力

林分	土层厚度/cm	非毛管孔隙度/%	土壤蓄水量/(t·hm <sup>-2</sup> )	土壤可蓄水总量/(t·hm <sup>-2</sup> )
赤松林	0—30	4.83	144.9	295.8
	30—60	5.03	150.9	
黑松林	0—30	4.56	136.8	280.8
	30—60	4.80	144.0	
侧柏林	0—30	5.38	161.4	336.0
	30—60	5.82	174.6	
栎类林	0—30	6.42	192.6	392.4
	30—60	6.66	199.8	
杂木林	0—30	5.50	165.0	337.8
	30—60	5.76	172.8	
刺槐林	0—30	7.38	221.4	451.2
	30—60	7.66	229.8	

3 结 论

各次生林下土壤的蓄水能力与土壤容重呈负相关,与土壤毛管孔隙度呈正相关,土壤容重是决定土壤蓄水能力的首要因子。其中 6 种次生林下土壤蓄水能力大小顺序关系依次为:刺槐林>栎类林>杂木林>侧柏林>赤松林>黑松林。

本文仅对研究区域进行了一次性的取样分析,若能对该山丘区不同林分下土壤进行长期定位调查观测分析,并结合当地植被类型进行综合研究,则可以了解各次生林下土壤的动态变化,揭示不同林分对土壤蓄水能力的影响以及各次生林下土壤蓄水能力特征参数影响因子的相互关系。

参考文献:

[1] 张保华,何毓蓉,程根伟. 贡嘎山东坡林地土壤低吸水位持水特性及其影响因素分析[J]. 西部林业科学,2006,35(1):45-52.

[2] 于法展,尤海梅,李保杰,等. 苏北地区代表性森林土壤理化特性的比较研究[J]. 地理与地理信息科学,2007,23(2):87-90.

区和5区为轻度污染,Pb在2区为轻度污染。根据地质累积指数值(即 $I_{geo}$ 值)可知6种重金属的污染强弱顺序为 $Cd > Ni > Zn > Cu > Cr > Pb$ 。

(3)潜在生态危险指数法结果表明,三里洞煤矿矸石堆积地的主要污染物为Cd, $E_i^p$ 范围在235.05~395.88之间,在5个研究区均达到了重度或极重潜在生态危险水平,其它5种重金属均为轻度潜在生态危险水平;对于5个研究区而言,综合6种重金属元素的污染可知,5区污染最严重,1区污染最轻,5个研究区受污染强弱程度顺序为5区>4区>3区>2区>1区。可见,排矸年限越长、地形越平坦、植被覆盖率越高,重金属污染越严重。

(4)分别应用地质累积指数法和潜在生态危险指数法两种污染评价方法对该矸石堆积地进行了污染分析与评价,地质累积指数法侧重于对某一研究区域内单一重金属的污染级别划分,但是不能明确给出在研究区受到多种重金属复合污染情况下的污染强度。潜在生态危险指数法中重金属毒性响应系数 $T_i^p$ 的引入具有重要的实际意义, $T_i^p$ 是美国国家环保局根据对生物体的大量毒性试验和“三致”效应的研究成果,它结合了重金属的生态效应、环境效应和毒理学原理,在重金属对人体健康、生物生长等方面表现的差异性充分表示出来,能够客观评价重金属排放区对周围环境的现实和潜在危害程度。

本文应用这两种方法进行污染分析与评价,结果基本一致。该研究区的主要污染物为Cd,对环境的污染最为严重,该地应加强对Cd污染的预防和治理;Cu和Pb虽然含量较低,但因为它们的毒性响应系数

较高,对周围环境仍存在一定的污染;Ni和Zn含量较高,但因其毒性响应系数较低,对周围环境的污染较轻;Cr除了个别区域外,基本不形成污染。

#### 参考文献:

- [1] 常允新,朱学顺,宋长斌,等.煤矸石的危害与防治[J].中国地质灾害与防治学报,2001,12(2):39-43.
  - [2] Shu W S, Ye Z H, Lan C Y, et al. Acidification of lead-zinc mine tailings and its effected on heavy metal mobility[J]. Environment International, 2001, 26(5/6): 389-394.
  - [3] 周建民,党志,司徒粤,等.大宝山矿区周围土壤重金属污染分布特征研究[J].农业环境科学学报,2004,23(6): 1172-1176.
  - [4] 秦俊.三里洞煤矸石废弃地景观规划[J].中国农学通报,2010,26(10):303-308.
  - [5] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005.
  - [6] 中华人民共和国国家标准[S].GB/T17138-1997;GB/T17139-1997;GB/T17140-1997.
  - [7] 柴世伟,温琰茂,张亚雷,等.地累积指数法在土壤重金属污染评价中的应用[J].同济大学学报,2006,34(12): 1657-1661.
  - [8] 樊金柱.中国北方煤矸石堆积地生态环境特征与植被建设研究[D].北京:北京林业大学,2006.
  - [9] 石平,王恩德,魏忠义.青城子铅锌矿区土壤重金属污染评价[J].金属矿山,2010(4):172-175.
  - [10] 彭景,李泽琴,侯家渝,等.地质累计指数法及生态危害指数评价法在土壤重金属污染中的应用及探讨[J].广东微量元素科学,2007,14(8):13-17.
- .....
- (上接第186页)
- [3] 王政权,王庆成.森林土壤物理性质的空间异质性研究[J].生态学报,2000,20(6):945-950.
  - [4] 阎传海.徐州连云港地区城镇绿化策略研究[J].海南师范学院学报:自然科学版,2002,15(3):47-49.
  - [5] 黄承标,吴仁宏,黎家春,等.三匹虎自然保护区森林枯枝落叶层及土壤层涵养水源功能分析[J].水土保持学报,2007,25(3):84-102.
  - [6] 薛立,吴敏,徐彦,等.几个典型华南人工林土壤的养分状况和微生物特性研究[J].土壤学报,2005,42(6): 1017-1023.
  - [7] 宋会兴,苏智先,彭远英.山地土壤肥力与植物群落次生演替关系研究[J].生态学杂志,2005,24(12):1531-1533.
  - [8] 阎传海.苏北低山丘陵森林植被多样性研究[J].山地研究,1997,15(3):157-161.
  - [9] 鲍士达.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2002:47-56.
  - [10] 贺康宁.水土保持林地土壤水分物理性质的研究[J].北京林业大学学报,1995,17(3):44-50.
  - [11] 刘鸿雁,黄建国.缙云山森林群落次生演替中土壤理化性质的动态变化[J].应用生态学报,2005,16(11): 2041-2046.
  - [12] 何东进,洪伟,胡海清,等.武夷山风景区森林景观土壤物理性质异质性及其分形特征[J].林业科学,2005,41(5):175-179.
  - [13] 游秀花,蒋尔可.不同森林类型土壤化学性质的比较研究[J].江西农业大学学报,2005,27(3):357-360.
  - [14] 林德喜,樊后保,苏兵强,等.马尾松林下套种阔叶树土壤理化性质的研究[J].土壤学报,2004,41(4):655-659.
  - [15] 余新晓,赵玉涛,张志强,等.长江上游亚高山暗针叶林土壤水分入渗特征研究[J].应用生态学报,2003,14(1):15-19.