

缙云山不同类型植被坡面土壤水分特征

杨进怀^{1,2}, 孙艳红³, 张洪江¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 北京市水务局, 北京 100038; 3. 延庆县水务局, 北京 延庆 102100)

摘要:研究了位于重庆市缙云山不同植被类型对坡面土壤水分的影响, 结果表明: (1) 土壤最大蓄水量变动范围为 186.40~245.47 mm, 土壤有效水含量的变动范围为 78.13~174.37 mm; (2) 在中、低吸力段($< 15 \times 10^2$ kPa) 土壤含水量和土壤水吸力之间存在显著的幂函数关系。(3) 当土壤含水量相同时, 土壤水吸力从大到小依次为灌木林地> 针阔混交林地> 常绿阔叶林地> 楠竹林地。灌木林地土壤持水性能最好, 针阔混交林次之, 常绿阔叶林较好, 楠竹林最差。植被类型主要是通过提高土壤有机质含量, 改良土壤结构, 降低土壤容重和增加土壤毛管孔隙度等过程对土壤的蓄水和持水性能产生作用。(4) 探讨土壤水分特性, 对于研究土壤-植物-大气连续体中水分的动态、土壤水分与作物吸水之间关系的机理具有重要意义。

关键词: 土壤水分; 土壤持水性; 缙云山; 植被

中图分类号: S714

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)06-0131-04

The Soil Water Characteristics of Several Woodlands in Jinyun Mountain

YANG Jin-huai^{1,2}, SUN Yan-hong³, ZHANG Hong-jiang¹

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Beijing Water Department, Beijing 100038, China; 3. Yanqing Water Department, Yanqing, Beijing 102100, China)

Abstract: The impacts of different woodlands on soil water in Jinyun mountain of Chongqing city were studied. The results showed that the soil maximal holding capacity is from 186.04~245.47 mm, the soil effective holding capacity is from 78.13~174.37 mm. There was a high function correlation between the soil moisture content and soil suction during the low and medium soil suction ($< 15 \times 10^2$ kPa). When the water content of soil is same, the soil suction sequence from high to low is: shrub forest > mixed wood > broadleaf forest > bamboo forest. So the shrub forest has the best soil water retention capacity, the next is mixed wood, then is the broadleaf forest, and the worst is the bamboo forest. The types of vegetation affect soil water characteristics by increasing the soil organic matter, improving the soil construction, receding soil bulk density and enhancing the soil porosity. It has important significance to study soil water characteristics for studying dynamic of the moisture in the soil-plant-atmosphere model and the mechanism between soil water and plant absorbing water.

Key words: soil water; water retention capacity; Jinyun mountain; vegetative cover

近年来生态环境的恶化, 干旱的加剧, 水资源严重匮乏已成为世界性的一个亟待解决的问题。土壤水分是流域水量平衡乃至地区水文循环中重要因子, 是生态系统中最活跃、最有影响的因素之一。随着 SPAC 概念的产生, 有关土壤水分研究的基本概念和内容都有很大的突破和深入^[1-4]。土壤水分的有效性是评价植物对土壤水分利用程度和水分胁迫对植被生长影响的重要指标, 也是半干旱地区植被恢复与重建的关键问题。这方面的研究在国外开展较早, 研究内容已涉及到植物根系的吸水速率和土壤水分的动力性能^[5]。缙云山森林生态系统属于我国典型的亚热带常绿阔叶林类型, 国内对这地区不同植被坡面土壤水分特性的研究报道不多。本文以重庆缙云山针阔混交林、常绿阔叶林、灌木林和楠竹林为对象, 研究其坡面土壤水分的持水性和有效性。

1 试验区概况

研究区位于重庆市北碚区缙云山自然保护区内, 即北纬

29°45', 东经 106°22'。最高处海拔 951.5 m, 相对高差 600 m。该区为典型的亚热带常绿阔叶林气候带, 年均气温 13.6℃, 年平均降水量 1611.8 mm, 年平均蒸发量 777.1 mm。土壤以酸性黄壤及水稻土为主, 缙云山保护区主要植被为常绿阔叶林、暖性针叶林、竹林、常绿阔叶灌丛, 另外还有亚热带灌草丛和水生植被。主要树种为马尾松 (*Pinus massoniana*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、香樟 (*Cinnamomum camphora*)、丝栗 (*Castanopsis fargesii* Franch)、华山松 (*Pinus armandii* Franch)、四川大头茶 (*Gordonia sichuanensis* Chang) 和山矾 (*Symplocos setchuanensis* Brand) 等^[6]。在该自然保护区内选取主要的 4 种植被类型针阔混交林、常绿阔叶林、楠竹林和灌木林对其土壤水分特征进行研究。

2 研究方法

2.1 标准地调查

2004 年 7 月中旬, 对缙云山 4 种主要林分标准地进行

*收稿日期: 2006-12-21

基金项目: 国家重点研究发展计划(973 计划)“长江上游环境变化与产水产沙作用机理”资助(2003CB415202-3)

作者简介: 杨进怀(1967-), 男, 在读博士, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。

通信作者: 张洪江(1954-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与流域管理研究。

调查,确定其海拔、坡向和坡度,林分的林龄,郁闭度(或盖度),枯落物厚度(表 1)。

表 1 标准地基本情况

植被类型	海拔 / m	坡向	坡度 / (°)	起源	龄级	郁闭度/或盖度	枯落物厚度 / cm
针阔混交林	760	西北	16~ 25	天然	v	0.9	3.5
常绿阔叶林	825	西北	26	天然	v	0.9	3.4
楠竹林	800	西北	11	天然	(h)	0.85	1.4
灌木林	860	西北	10	天然	(h)	0.95	4.5

2.2 测定内容与测定方法

在每块标准地内设置土壤剖面分层取土样。土壤含水量测定采用烘干法,土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度和田间含水量测定采用环刀法,土壤有机质含量测定采用重铬酸钾容量法,土壤机械组成采用吸管法,按卡庆斯基质地分类系统划分土壤质地,土壤水分特征曲线测定采用压力膜法^[7],结果见表 2 和表 3。

表 2 不同植被类型土壤物理性状

植被类型	土壤层次 / cm	孔隙度 / %			土壤容重 / (g·cm ⁻³)	有机质含量 / %
		总孔隙	非毛管	毛管		
针阔混交林	0- 15	62.96	15.93	47.03	1.151	4.62
	15- 35	50.42	12.32	38.10	1.394	0.69
	35- 55	49.43	12.27	37.16	1.511	0.39
	0- 55	54.27	13.51	40.76	1.352	1.90
常绿阔叶林	0- 15	55.92	14.48	41.44	1.184	3.18
	15- 35	44.60	12.70	31.90	1.489	0.30
	35- 55	38.23	9.91	28.32	1.689	0.08
	0- 55	46.25	12.36	33.89	1.454	1.19
楠竹林	0- 15	58.7	11.58	43.52	1.144	2.08
	15- 35	43.9	9.46	34.34	1.458	1.10
	35- 55	37.5	8.90	29.33	1.538	0.32
	0- 55	46.7	9.98	35.73	1.380	1.17
灌木林	0- 15	73.33	16.94	56.39	0.732	7.79
	15- 35	57.85	14.21	43.64	1.174	1.41
	35- 55	45.29	11.43	33.86	1.458	0.29
	0- 55	58.82	14.19	44.63	1.121	3.16

表 3 不同植被类型坡面土壤机械组成

植被类型	土壤层次 / cm	机械组成 / %								土壤质地
		0.5~ 1.0 mm	0.25~ 0.5 mm	0.05~ 0.25 mm	0.01~ 0.05 mm	0.005~ 0.01 mm	0.001~ 0.005 mm	< 0.001 mm	物理性黏粒 < 0.01 mm	
针阔混交林	0- 15	1.49	4.05	8.48	28.19	4.35	23.07	30.36	57.79	重壤土
	15- 35	1.99	8.04	15.19	22.15	8.22	18.86	25.55	52.63	重壤土
	35- 55	2.55	9.74	19.29	16.86	3.26	13.49	34.81	51.56	重壤土
常绿阔叶林	0- 15	3.07	10.05	13.71	23.44	8.72	19.08	21.92	49.72	重壤土
	15- 35	4.40	18.55	25.57	12.17	2.91	11.09	25.31	39.31	中壤土
	35- 55	3.57	18.70	34.84	9.01	5.36	11.58	16.94	33.88	中壤土
楠竹林	0- 15	6.35	16.75	26.64	13.68	4.02	8.90	23.67	36.58	中壤土
	15- 35	5.42	19.90	25.53	16.88	2.58	9.25	20.43	32.26	中壤土
	35- 55	3.84	13.98	38.10	12.69	2.15	10.11	19.14	31.39	中壤土
灌木林	0- 15	0.66	5.34	11.03	22.95	9.60	34.53	15.89	60.02	重壤土
	15- 35	0.20	3.62	19.36	17.24	7.28	16.91	35.38	59.57	重壤土
	35- 55	3.67	28.60	35.70	5.41	4.76	0.22	21.64	26.62	轻壤土

3 结果与分析

3.1 土壤物理性状

在森林土壤形成过程中,枯落物是土壤有机质的重要来源,是土壤的重要组成部分之一。枯落物能有效地改善土壤物理性状,包括改良土壤结构,增加土壤非毛管孔隙度^[8]。从表 1 知,灌木林下枯落物厚度是楠竹林的 3.21 倍。从表 2 可以看出,4 种植被类型坡面土壤有机质含量均为中上层明显高于下层;不同植被类型同一层土壤比较,灌木林、针阔混交林、常绿阔叶林,各土层有机质含量均高于楠竹林。具体表现为在表土层土壤中,灌木林有机质含量是楠竹林的 3.75 倍,针阔混交林土壤的有机质也较高,为楠竹林的 2.22 倍,常绿阔叶林为楠竹林的 1.53 倍。第二层土壤中有机质含量的变化趋势是灌木林 > 楠竹林 > 针阔混交林 > 常绿阔叶林,是由于楠竹林的根系在这一层分布比较多。

4 种植被类型坡面土壤容重变动的总趋势是随着土层深度的增加而增加,造成这种现象的主要原因,是近地表层土壤受枯落物积累、腐烂形成腐殖质层的影响。土壤第二层为森林主要根系分布区,由于根系的生长发育,改善了土壤结构,所以土壤孔隙度又较土壤第三层高。灌木林土壤非毛管孔隙度的平均值明显大于楠竹林,比楠竹林增加了 37.2%,总孔隙度的平均值是楠竹林的 1.3 倍,可见灌木林比楠竹林对土壤的改良作用好。

3.2 不同类型植被坡面土壤水分特征曲线

土壤水的基质势或土壤水吸力随土壤含水量而变化,其关系曲线称为土壤水分特征曲线或土壤持水曲线。该曲线反映土壤水分的数量与能量之间的关系,是研究土壤水分运动和土壤持水能力的重要参数^[9-10]。用实测的土壤含水量及相应的土壤吸力值,拟合出不同层次土壤的水分特征数学模型(见表 4),其基本形式为

$$\theta = as^{-b}$$

式中: s ——土壤吸力(0.01 × 10² kPa < s < 6.55 × 10² kPa); θ ——土壤质量含水率(8.01% < θ < 59.33%); a, b ——参数。

从表 4 可看出 $\theta = as^{-b}$ 式较好地描述了缙云山不同植被坡面土壤的水分特征。方程中参数 a 决定了曲线的高低,即持水能力大小, a 值越大,持水能力越强;参数 b 决定了曲线的走向,即土壤含水量随土壤水势降低而递减的快慢。参数 a 和 b 的大小主要受土壤质地(主要是小于 0.01 mm 物理性黏粒)和土壤有机质含量的影响^[11-12]。

3.3 不同类型植被坡面土壤的持水特性

持水特性是指土壤对水分蓄集和保持的能力。土壤蓄水能力通常以一定土层最大蓄水量和有效蓄水量来度量,而后者更能表明土壤对植物需水的保证程度^[13]。土壤新增持水量与土壤前期含水量密切相关,当土壤湿度较大时,土壤蓄水量减少,此时即使降雨量很小,也会产生地表径流。据

测定,土壤最大蓄水量变动范围为 186.40~ 245.47 mm,土壤有效水含量的变动范围为 78.13~ 174.37 mm,土壤有效蓄水量从大到小依次为,灌木林> 针阔混交林> 常绿阔叶林> 楠竹林。灌木林的有效蓄水量和针阔混交林有效蓄水量相差不大,约为楠竹林有效蓄水量的 2.23 倍,常绿阔叶林的

有效蓄水量是楠竹林的 1.19 倍。有效蓄水量大,有利于调节地表径流,增加土壤水分。因此,在重庆缙云山几种林分中灌木林和针阔混交林土壤水源涵养功能强,常绿阔叶林土壤水源涵养功能较好,楠竹林土壤水源涵养功能最差。

表 4 不同层次土壤水分特征曲线数学模型

植被类型	土壤层次/cm	参数 a	参数 b	数学模型	相关系数 R ²
楠竹林	0-15	15.375	0.2747	$\theta = 15.375s^{-0.2747}$	0.9297
	15-35	13.072	0.2798	$\theta = 13.072s^{-0.2798}$	0.9716
	35-55	10.897	0.2596	$\theta = 10.897s^{-0.2596}$	0.9868
灌木林	0-15	36.772	0.1451	$\theta = 36.772s^{-0.1451}$	0.8618
	15-35	27.695	0.1835	$\theta = 27.695s^{-0.1835}$	0.9089
	35-55	20.364	0.2047	$\theta = 20.364s^{-0.2047}$	0.9315
针阔混交林	0-15	29.622	0.2303	$\theta = 29.622s^{-0.2303}$	0.9373
	15-35	22.39	0.2386	$\theta = 22.39s^{-0.2386}$	0.9268
	35-55	15.044	0.2506	$\theta = 15.044s^{-0.2506}$	0.9044
常绿阔叶林	0-15	21.716	0.2989	$\theta = 21.716s^{-0.2989}$	0.9884
	15-35	16.574	0.2477	$\theta = 16.574s^{-0.2477}$	0.9268
	35-55	14.645	0.2123	$\theta = 14.645s^{-0.2123}$	0.9044

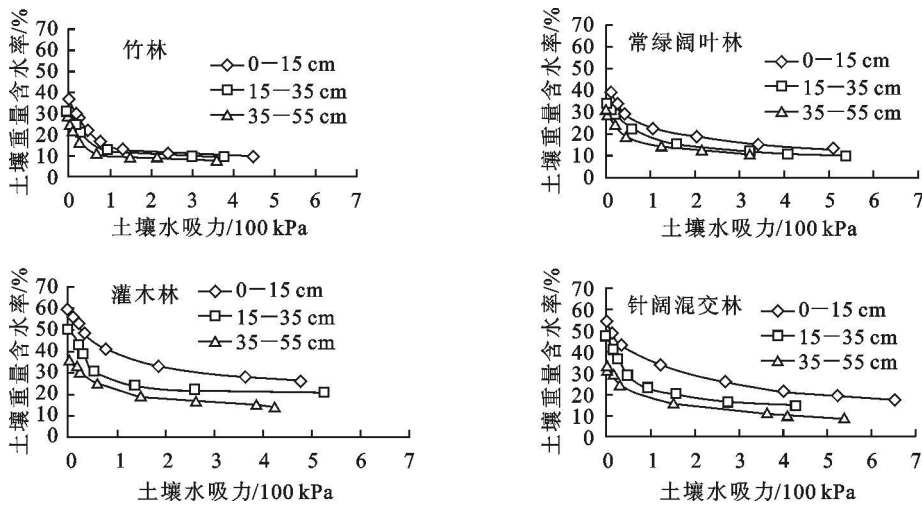


图 1 不同类型植被坡面土壤水分特征曲线

表 5 不同类型植被土壤持水特性

植被类型	土层	土壤自然	田间	凋萎	有效
	厚度/ cm	含水量/ mm	持水量/ mm	含水量/ mm	含水量/ mm
针阔混交林	55	201.93	224.18	50.05	174.13
常绿阔叶林	55	197.07	186.40	93.04	93.36
楠竹林	55	173.1	196.52	118.39	78.13
灌木林	55	182.63	245.47	71.10	174.37

注:凋萎含水量为土壤水吸力 15×10^2 kPa 时的土壤含水量。

将压力膜仪测定的不同植被类型坡面土壤特征曲线绘制成图 1。在低吸力段 ($s < 1 \times 10^2$ kPa) 较窄范围内,水分特征曲线陡直,而在中高吸力段 (1×10^2 kPa $< s < 15 \times 10^2$ kPa) 较宽区间,曲线趋于平缓。在低吸力范围内,土壤所能保持或释放出的水量取决于土壤结构较粗的孔隙分布,主要是毛管力起作用。在中高吸力段主要取决于土壤质地,主要是土壤颗粒的表面吸附起作用^[14]。由于土壤质地是壤土,粒间孔隙较细,毛管力强,施加较小吸力,大孔隙的水即被排出,保持在中小孔隙中的水分只有在较大吸力范围内才能缓慢释放,这也是该地区土壤持水性较好的原因。

土壤持水性能主要受土壤总孔隙度、毛管孔隙度、土壤

容重、土壤有机质、土壤颗粒组成的影响^[15]。灌木林土壤有机质含量高, < 0.01 mm 物理性黏粒含量多,毛管孔隙度大,其枯枝落叶易于分解,能增加土壤肥力,改善土壤通气状况和蓄水性能,故土壤持水力大。楠竹林土壤 < 0.01 mm 物理性黏粒含量低,土壤有机质含量与毛管孔隙度均低,故其持水力弱。从图 1 可以看出,以 0-15 cm 土壤层为例,当土壤含水率相同时,土壤水吸力差异很大,土壤水吸力从大到小依次为灌木林> 针阔混交林> 常绿阔叶林> 楠竹林,因此,灌木林土壤持水性能最好,针阔混交林次之,常绿阔叶林较好,楠竹林最差。当土壤水吸力相同时,由于植被影响,使得土壤物理性质发生改变,导致土壤含水量不同,灌木林土壤含水量最高,针阔混交林次之,常绿阔叶林较低,楠竹林最低,即灌木林> 针阔混交林> 常绿阔叶林> 楠竹林。另外,在雨季底土层的含水量一般都低于表层的含水量,这可能与表层更多地受林下降雨和土壤蒸发的影响,而底土层土壤水分更多地受降雨入渗和植物蒸腾耗水的影响。

4 结果及讨论

4 种植被类型坡面土壤有机质含量均为中上层明显高于下层,不同植被类型同一层土壤比较,灌木林、针阔混交

林、常绿阔叶林,各土层有机质含量均高于楠竹林。土壤容重变动的总趋势是随着土层深度的增加而增加,相反土壤孔隙度则随土层深度的增加而降低。灌木林土壤非毛管孔隙度的平均值明显大于楠竹林,灌木林的非毛管孔隙度平均值比楠竹林增加了 37.2%,灌木林总孔隙度的平均值是楠竹林的 1.3 倍。

缙云山不同植被坡面土壤含水量和土壤水吸力之间存在显著的幂函数关系,其数学模型为: $\theta = as^{-b}$ 。

以 0-15 cm 土壤层为例,当土壤水吸力相同时,灌木林土壤含水率最高,针阔混交林次之,常绿阔叶林较低,楠竹林最低,即灌木林 > 针阔混交林 > 常绿阔叶林 > 楠竹林,当土壤含水量相同时,土壤水吸力差异很大,土壤水吸力从大到小依次为灌木林 > 针阔混交林 > 常绿阔叶林 > 楠竹林,灌木林土壤持水性能最好,针阔混交林次之,常绿阔叶林较好,楠竹林最差。

土壤最大蓄水量变动范围为 186.40~245.47 mm,土壤有效水含量的变动范围为 78.13~174.37 mm,不同林分的有效蓄水量从大到小依次为灌木林 > 针阔混交林 > 常绿阔叶林 > 楠竹林,灌木林的有效蓄水量和针阔混交林有效蓄水量相差不大,都约为楠竹林有效蓄水量的 2.23 倍,常绿阔叶林的有效蓄水量是楠竹林的 1.19 倍。有效蓄水量大,有利于调节地表径流,增加土壤水分。

建议在现有林分的经营管理中,注重地表植被和枯落物的保护,进一步采取措施保护现有的天然阔叶林,并加大混交林的营造力度,以更好地发挥缙云山森林涵养水源的生态效益。

参考文献:

[1] 于志明,王礼先.水源涵养林效益研究[M].北京:中国林业出版社,1991:44-57.
 [2] 张小泉,张清华,毕树峰.太行山北部中山幼林地土壤水分的研究[J].林业科学,1994,30(3):193-199.

(上接第 130 页)

评价因子,建立评价因子矩阵,并建立合适的隶属度函数,对研究区的地表水水质进行模糊综合评价,客观地反映了沱江流域水质状况,结论如下:

(1) 沱江流域中游的地表水水质处于良好状态,而上游和下游的水质状况较差,应该重点加强对沱江上游和下游地区的地表水环境治理。

(2) 模糊数学中的模糊综合评价方法是评价地表水水质的一种较为综合和客观的方法,它通过对监测数据的数学分析,得出较为实际的结果,减少了人为干扰的影响。

(3) 本文中,由于监测数据的限制,只选择了沱江流域 36 个监测断面中的 15 个作为评价对象,同时只选择了 12 个监测指标中的 5 个作为评价因子,如果加入更多的监测断面和更多的监测指标,则可能更好地反映沱江流域地表水水质的综合状况。

(4) 影响地表水水质状况有诸多因素,如土地利用结构、城市发展水平、环境治理情况等,结合这些因素对水质状况进行分析和评价是有待于进一步开展的工作。

[3] 杨文治,邵明安.黄土高原土壤水分研究[M].北京:科学出版社,2000.
 [4] 吴文强,李吉跃,张志明,等.北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J].北京林业大学学报,2002,24(4):51-55.
 [5] 邵明安.SPAC 中的水分运动[J].中国科学院水利部水土保持研究所集刊,1991(13):3-12.
 [6] 刘玉成,钟章成,等.缙云山自然保护区植被概括[M]//钟章成.常绿阔叶林生态学研究.重庆:西南师范大学出版社,1988:315-326.
 [7] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术文献出版社,1995.
 [8] 华孟,王坚.土壤物理学[M].北京:北京农业大学出版社,1993.
 [9] 李开元,李玉山.土壤水分特征曲线的意义及其应用[J].陕西农业科学,1991(4):47-48.
 [10] Daniel Hillel. Environmental Soil Physics [M]. New York: Academic Press, 1998.
 [11] 钟兆站,赵聚宝,薛军红.晋中中山地区褐土土壤水分特征的测定与应用[J].中国农业气象,1996,17(3):1-6.
 [12] West D C, et al Forest succession concept and applications [M]. New York: Springer Verlag, 1981: 185-211.
 [13] 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.
 [14] 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988:19-24.
 [15] 周择福,李昌哲.北京九龙山不同植被土壤水分特征研究[J].林业科学研究,1994,7(1):48-53.

参考文献:

[1] 程西方,谭炳卿.水环境质量评价及存在问题浅析[C]//水环境保护与管理文集.郑州:黄河水利出版社,2002:23-26.
 [2] HJ/T 2.3-93.环境影响评价技术导则地面水环境[S].
 [3] 李莲芳,曾希柏,李国学,等.利用模糊综合评判法评价潮白河流域水质[J].农业环境科学学报,2006,25(2):471-476.
 [4] 李进,陈益滨,师伟,等.模糊综合评价法在地下水水质评价中的应用[J].地下水,2006,28(2):1-5.
 [5] 贾陈忠,秦巧燕,张竹清,等.模糊数学在地表水环境质量评价中的应用[J].北方环境,2004,29(6):73-77.
 [6] 陈杰,崔鹏,韦方强,等.基于模糊关系理论的冰川泥石流活动性评价方法[J].水土保持研究,2003,10(2):1-4.
 [7] GB 3838-2002,地面水环境质量标准[S].