

江西庐山自然保护区不同林地水源涵养功能研究

于法展^{1,2}, 张忠启², 陈龙乾¹, 沈正平², 尤海梅²

(1. 中国矿业大学 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏 徐州 221116;

2. 江苏师范大学 城市与环境学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要:森林的水源涵养功能一直是生态学与水文学研究的重点内容。以江西庐山自然保护区 6 种不同林地为研究对象,对其土壤物理性质和水源涵养功能进行分析研究。结果表明,不同林地凋落物层贮量为 5.48~23.19 t/hm²;落叶阔叶林地凋落物层的持水量远大于其它林地。不同林地土壤硬度平均值变化为 13.24~25.43 kg/cm²;不同林地土壤容重大小排序为:黄山松林>玉山竹林>常绿—落叶阔叶混交林>落叶阔叶林>常绿阔叶林>马尾松林。从土壤的渗透速度来看,不同林地土壤的渗透性能依次为:马尾松林>落叶阔叶林>常绿阔叶林>黄山松林>玉山竹林>常绿—落叶阔叶混交林;不同林地最大蓄水量大小依次为:落叶阔叶林>马尾松林>常绿阔叶林>黄山松林>玉山竹林>常绿—落叶阔叶混交林;而其涵养水源量大小排序:落叶阔叶林>马尾松林>常绿阔叶林>黄山松林>常绿—落叶阔叶混交林>玉山竹林。

关键词:林分类型;土壤物理性质;水源涵养功能;庐山自然保护区

中图分类号:S714

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)05-0255-05

Study on Water Conservation Function of Different Forestlands in Lushan Nature Reserve, Jiangxi Province

YU Fa-zhan^{1,2}, ZHANG Zhong-qi², CHEN Long-qian¹, SHEN Zheng-ping², YOU Hai-mei²

(1. Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information

Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

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

Abstract: Understanding the function of water conservation of forest has been a hot topic in ecology and hydrology research. Six types of forestlands in Lushan nature reserve of Jiangxi were taken as the study sites. Soil physical properties and water conservation function were analyzed in this study. The results showed that the litter storages of various forestlands were 5.48~23.19 t/hm². The water-holding capacity of the litter layer of deciduous broad-leaved (DBF) forestland was higher than other forestlands. Average soil hardness of different forestlands was 13.24~25.43 kg/cm². The soil bulk density of various forestland decreased in the order of Huangshan pine (HsP) forest>Yushania (Ys) forest>evergreen-deciduous broad-leaved(EDBL) forest>deciduous broad-leaved(DBL) forest >evergreen broad-leaf forest (EBL) forest>Pinus (PM) forest. In the case of soil seepage velocity, the order of velocities of various forestland was PM>DBL>EBL>HsP>Ys>EDBL. The calculated forestland soil maximum storage capacity followed the order of DBL>PM>EBL>HsP>Ys>EDBL, and the water conservation quantities of various forestland was in the sequence of DBL>PM>EBL> HsP>EDBL>Ys.

Key words: forest stand type; soil physical property; water conservation function of forestland; Lushan nature reserve

收稿日期:2013-12-22

修回日期:2014-01-07

资助项目:国家自然科学基金项目“采样点布置和空间预测对揭示红壤区土壤有机碳变异性的影响”(41201213);江苏高校优势学科建设工程资助项目(编号:SZBF2011-6-B35);徐州市科技计划项目(XZZD1201)

作者简介:于法展(1972—),男,江苏丰县人,副教授,在读博士,从事土地资源管理研究。E-mail:yufazhan@126.com

通信作者:陈龙乾(1964—),男,江苏阜宁人,教授,博士生导师,从事土地利用与地理信息研究。E-mail:chenlq@cumt.edu.cn

森林的水源涵养功能是指森林生态系统通过林冠层、枯落物层和土壤层拦截滞蓄降水,从而有效涵养土壤水分和补充地下水、调节河川流量的功能^[1]。不同森林类型由于其树种生物学特性与林分结构的不同,其土壤物理性质和水源涵养效应存在一定的差异。不同森林土壤的物理性质会造成土壤水、气、热的差异,影响土壤中矿质养分的供应状况,从而影响森林植被的生长发育^[2]。研究土壤的物理性质和水源涵养功能对于森林生态保护具有重要参考价值。20 世纪 60、70 年代,森林的生态水文过程研究开始受到重视,林冠截留、枯枝落叶层截持、土壤水分入渗与贮存以及林地蒸发等水文过程逐渐为人们所认识^[3-4]。近年来,国内外许多学者对不同生态环境和时空尺度条件下的林地土壤物理性质和水源涵养功能分别进行了大量研究^[5-9]。目前,多数学者在森林水源涵养功能各个环节及整体涵养价值的量化上研究较多,但在定性评价其功能优劣方面研究较少,且研究结果有一定的局限性。

本文以庐山自然保护区内的 6 种不同林地为研究对象,将其土壤的物理性质和水源涵养功能两个方面结合起来,对这两个方面作为相互影响的整体进行系统研究和分析,揭示不同林分对土壤水文特性的影响及差异,以期为当地森林植被恢复改造以及森林生态系统健康状况诊断与评价提供科学参考。

1 研究区概况

庐山自然保护区位于江西省北部,九江市南郊,西北滨长江,东南临鄱阳湖,其地理坐标为东经

115°50′—116°10′,北纬 29°28′—30°53′,总面积约 302 km²,主峰大汉阳峰海拔 1 473.8 m。庐山地处亚热带东部季风区域,具有鲜明的季风气候特征;而且庐山是一座中山,面江临湖,山高谷深,与周围平原地区相比较,又具有山地气候特征。年平均温度 11.4℃,1 月均温 -0.3℃,7 月均温 22.5℃,极端低温 -16.8℃,极端高温 32.0℃,年平均降水量 1 916 mm。该保护区发育的土壤从山麓到山顶依次分布着红壤和黄壤、山地黄壤、山地黄棕壤、山地棕壤。庐山海拔跨度较大,具有不同的林分类型,在海拔 700 m 以下主要为常绿阔叶林带,海拔 700~1 000 m 之间为常绿—落叶阔叶混交林带,海拔 1 000 m 以上为落叶阔叶林带。其中常绿阔叶林带由于人类活动的干扰,破坏比较严重,仅存小片分布,从灌草丛中首先恢复起来的是马尾松林,在山麓中分布很广;落叶阔叶林带破坏比较严重,在海拔 800 m 以上主要为黄山松林。该区域物种丰富,森林覆盖率达 76.6%,主要林分类型有马尾松林、玉山竹林、常绿—落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、常绿阔叶林、黄山松林等,不同林分的分布使得各林地土壤的物理性质和水源涵养功能出现差异。

2 样地设置与测定方法

2.1 样地设置

2012 年 8 月在位于庐山自然保护区内选择主要林分类型设置 6 块测试样地,选取不同林地进行研究,对样本进行植被类型、数量、覆盖率和生长情况的调查并记录地形因子,各测试样地概况见表 1 和图 1。

表 1 庐山自然保护区内各测试样地概况

采样地点	林分类型	主要优势植物	坡向坡度/(°)	海拔/m	土壤类型
(1)白鹿洞	针叶林(马尾松林)	马尾松	NW15~25	250	红壤
(2)观音桥	常绿阔叶林	苦槠、大叶栲树	E15~20	500	黄壤
(3)黄龙寺	常绿—落叶阔叶混交林	青岗栎、化香	SW30~40	900	山地黄壤
(4)铁船峰	落叶阔叶林	茅栗、短柄枹	NE25~30	1000	山地黄棕壤
(5)含鄱口	玉山竹林	玉山毛竹	SW35~40	1100	山地黄棕壤
(6)五老峰	针叶林(黄山松林)	黄山松	NW20~25	1250	山地棕壤

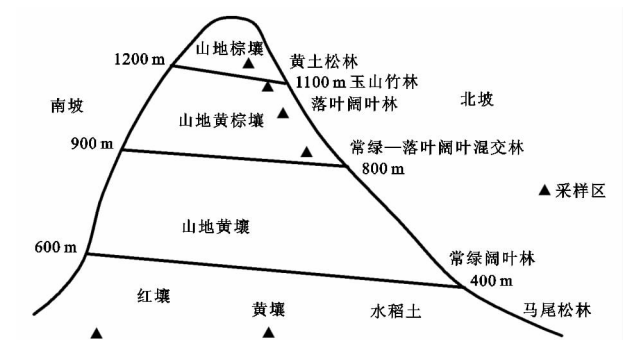


图 1 庐山自然保护区内各测试样地分布示意图

其样地面积根据亚热带山地植被研究中的最小面积法,阔叶林取为 40 m×50 m,针叶林取为 20 m×25 m,每个样地设置 3 次重复;用环刀法取 20 cm×20 cm 的自然土样,地表凋落物的调查也利用采样的方法对凋落物的物种、厚度、腐殖质情况和含水量进行分析和数据记录。数据采集完毕后将样点布局空间数据与实验数据的统计输入该保护区森林土壤资源动态数据库,采用 SPSS 软件对所获数据进行差异性检验和相关分析^[10]。

2.2 林地含水量测定

2.2.1 凋落物含水量的测定 将测试样地中取回不同林地凋落物的样本分别精确称重(W_1)后,使用烘干法将凋落物的样本置于烘箱中在 80℃下烘至恒重后精确称重(W_2)。凋落物的持水量(W_C)和持水率(W_R)按下式计算:

$$W_C=W_1-W_2, \quad W_R=\frac{(W_1-W_2)}{W_2}\times 100\%$$

再将烘干后的凋落物装入纱布袋中置于水中浸 24 h,取出将其晾干(以无水滴滴下为标准)后称重(W_3),则凋落物的最大持水量(W_{CM})和最大持水率(W_{RM})为:

$$W_{CM}=W_3-W_2, \quad W_{RM}=\frac{(W_3-W_2)}{W_2}\times 100\%$$

2.2.2 土壤物理性质及含水量的测定 土壤容重、孔隙度测定采用环刀法;土壤硬度测定采用硬度计法;土壤含水量的测定,利用环刀法所取的原状土样,将盛有新鲜土样的大型铝盒在分析天平上称重,准确至 0.01 g。揭开盒盖,放在盒底下,置于已预热至 (105±2)℃的烘烤箱中烘烤 12 h。取出,盖好,在干燥器中冷却至室温(约需 30 min),立即称重。新鲜土样水分的测定应做 3 份平行测定。

2.3 林地土壤渗透性能测定

采用容积 785 cm³ 的渗透筒,取 0—20,20—40,40—60 cm 三个层次土壤,带回室内测定,利用达西

定律计算。

$$V_t=K_t\times(H+L)/L=Q_{t0}/(A\times T)$$

式中: V_t ——温度 t ℃ 时的渗透速度 (mm/min);
 K_t ——温度 t ℃ 时的渗透系数; H ——水层厚度 (cm); L ——水柱长度 (cm); Q_{t0} ——渗水量 (ml);
 A ——渗透筒底面积 (cm²); T ——渗透历时 (min)。

2.4 林地土壤蓄水量测定

在各测试样地内分上、中、下 3 个部分各挖一个土壤剖面,然后按 0—20,20—40,40—60 cm 采土样,用下式测定林地土壤蓄水量。

最大蓄水量=土壤总孔隙度×10000×土壤深度;
非毛管孔隙蓄水量=土壤非毛管孔隙度×10000
×土壤深度。

3 结果与分析

3.1 不同林地凋落物层贮量及其持水量

凋落物层对土壤涵养水源功能的发挥有着重要影响,既能截持降水,保护地表免受雨滴的直接冲击,又能减轻径流的冲刷对地表的影响^[11]。与此同时,分解的凋落物形成的土壤腐殖质对土壤结构和土壤渗透性能的提高有显著作用。凋落物层贮量是表征枯落物生态功能的重要参数,枯落物数量(厚度)和质量(组成)不仅对水文生态具有重要影响,而且是土壤有机质的主要来源^[12]。庐山自然保护区不同林地凋落物层贮量及其持水量见表 2。

表 2 庐山自然保护区不同林地凋落物层贮量及其持水量

林分类型	凋落物层贮量/(t·hm ⁻²)	最大持水率/%	最大持水量/(t·hm ⁻²)
马尾松林	8.65±1.67	290.21±54.68	922.98±207.41
常绿阔叶林	9.56±3.15	269.32±71.04	911.57±148.33
常绿—落叶阔叶混交林	15.74±4.21	253.95±92.51	928.67±125.95
落叶阔叶林	23.19±7.46	246.73±39.26	1005.76±518.02
玉山竹林	5.48±0.79	200.43±87.13	932.54±82.49
黄山松林	8.92±2.37	276.36±64.84	926.42±248.76

由表 2 可知,落叶阔叶林地凋落物层贮量最大 (23.19 t/hm²),玉山竹林地凋落物层贮量最小 (5.48 t/hm²)。这种差异主要由林分本身的生物学特性决定,即落叶阔叶林地人为干扰较少,其叶片较厚,呈革质,凋落后分解速度较慢;相比之下,玉山竹林郁闭度相对较低,叶量较少,每年输入的凋落物较少,且其叶片相对较薄,凋落后易分解腐烂,归还土壤的速度较快,造成凋落物现存量较少。森林凋落物层具有吸收雨水、调节和过滤地表径流的作用,一方面可以阻留和减缓水分流速,延长水分下渗时间,增加地表粗糙度,避免雨水直接打击土壤,减少水土流失;另一方面,森林凋落物层具有较大的水分截持能力,从而影响到穿透降水对土壤水分的补充和植物的水分供应^[7]。从表 2 中可以看出,落叶阔叶林地凋落物的持

水量达到 1 005.76 t/hm²,即落叶阔叶林地凋落物层的持水量远大于其它林地,这说明落叶阔叶林地具有较强的水分截持能力,较好地起到对林地土壤水分的有效补充。

3.2 不同林地土壤物理性质

土壤的物理性质可以作为衡量森林生态系统优劣的标准。土壤容重大小显示土壤的疏松程度,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;土壤硬度作为土壤的基本物理性质之一,土壤硬度的差异影响植被根系的发达程度和土壤的蓄水能力;土壤孔隙程度的差异导致土壤的透气性能不同,对土壤的持水量有着重要影响^[11]。该保护区 6 块测试样地土壤物理性质测定结果见表 3。

表 3 庐山自然保护区不同林地土壤物理性质

林分类型	容重/ (g·cm ⁻³)	硬度/ (kg·cm ⁻²)	饱和持 水量/mm	田间持 水量/mm	总孔隙度/ %	毛管孔隙 度/%
马尾松林	1.18±0.34	13.24±3.81	551.8±79.2	481.7±116.1	54.35±24.07	49.67±12.52
常绿阔叶林	1.20±0.25	17.38±7.27	507.9±135.6	460.4±77.8	53.37±13.15	49.42±7.72
常绿—落叶阔叶混交林	1.24±0.46	20.57±9.08	438.5±93.7	403.5±46.6	52.07±9.52	48.94±18.01
落叶阔叶林	1.23±0.74	22.96±8.19	399.7±105.3	378.3±89.7	51.53±19.31	47.38±14.49
玉山竹林	1.26±0.53	23.85±11.46	353.1±80.4	357.2±102.9	51.21±15.86	47.66±8.36
黄山松林	1.29±0.62	25.43±5.85	302.6±52.9	325.9±61.4	50.66±18.98	46.75±15.81

注:采样土层深为 60 cm。

由表 3 可知,不同林地土壤硬度的平均值变化为 13.24~25.43 kg/cm²,说明各林地土壤能够满足当地植物正常生长发育的需要^[2]。不同林地土壤容重大小排序为:黄山松林>玉山竹林>常绿—落叶阔叶混交林>落叶阔叶林>常绿阔叶林>马尾松林。正是由于不同林地土壤容重和孔隙度有差异,导致其土壤的持水量不同,即不同林地之间土壤的透气性能不同。马尾松林地土壤容重的平均值最小,而孔隙度的比例最高,说明马尾松林下土壤疏松、透气性能好,具有较高的水源涵养和水土保持功能;同时可以看出马尾松林地土壤的平均非毛管孔隙度(总孔隙度减去毛管孔隙度)以及饱和持水量、田间持水量的平均值最大,这是因为该林分下生物量组成及分布较合理,是一种稳定的生态结构。此外,使用 SPSS 软件对 6 块

测试样地土壤分析结果显示,各林地土壤容重随土层深度的变化达到显著水平($P<0.01$),而土壤孔隙度随土层深度的变化也达到显著水平($P<0.01$),也就是说不同林地土壤均表现出土壤容重随土层深度增加而逐渐增大,土壤孔隙度随土层深度增加而逐渐减小的规律。这与林地土壤有机质、土壤动物形成的孔隙、植物根系、死亡根系形成的根孔都随土层深度而降低有关。由此可见,林地土壤物理性质的差异可以引起不同林地土壤持水量和蓄水能力的变化。

3.3 不同林地土壤渗透性能及其蓄水功能

土壤的渗透性能与土壤的质地、孔隙结构、有机质、湿度和温度等有关,是林分水源涵养的重要指标之一^[11]。庐山自然保护区不同林地土壤渗透性能见表 4。

表 4 庐山自然保护区不同林地土壤渗透性能

林分类型	毛管孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %	渗透速度/(mm·min ⁻¹)	
			初渗值	稳渗值
马尾松林	49.67±12.52	4.68±0.85	3.637±0.511	0.387±0.093
常绿阔叶林	49.42±7.72	3.95±0.45	2.648±0.367	0.198±0.085
常绿—落叶阔叶混交林	48.94±18.01	3.13±0.31	1.921±0.263	0.132±0.007
落叶阔叶林	47.38±14.49	4.15±0.91	2.934±0.195	0.255±0.012
玉山竹林	47.66±8.36	3.55±0.47	2.280±0.304	0.163±0.034
黄山松林	46.75±15.81	3.91±0.68	2.582±0.076	0.186±0.069

由表 4 可知,各林地土壤的渗透速率变化趋势一致,在初期渗透速率较高(初渗值),随着时间的推移而下降,最后达到稳渗状态(稳渗值)。渗透性能良好的土壤,在一定的降雨强度条件下,水分可以充分地进入土壤贮存起来或转变为土壤内部径流,不易形成地表径流,使林地水土流失得到有效控制^[13]。不同林地土壤渗透性能存在一定的差异,从土壤的渗透速度来看(表 4),不同林地土壤的渗透性能从大到小依次为:马尾松林>落叶阔叶林>常绿阔叶林>黄山松林>玉山竹林>常绿—落叶阔叶混交林。森林中的水分主要储存在林地土壤中,土壤的物理性质在很大程度上决定了土壤的蓄水量,土壤蓄水量是毛管孔隙与非毛管孔隙水分蓄量之和,反映了土壤贮藏和调节水分的潜在能力,它是土壤涵蓄潜力的最大值,可体

现出林地土壤的蓄水功能。其中毛管水供植物根系吸收和林地蒸发,只做上下垂直运动;非毛管水受到重力的影响在土壤中可做上下运动,也可横向渗透,沿不透水层由高到低供应湖泊、河流,起着调节流量、稳定水位的功能,通常把非毛管水贮藏量称为涵养水源量^[11]。庐山自然保护区不同林地土壤蓄水功能见表 5。

由表 5 可知,不同林地由于土壤物理性质存在一定差异,其土壤的最大蓄水量和涵养水源量也表现不同。从最大蓄水量来看,6 种林地最大蓄水量大小依次为:落叶阔叶林>马尾松林>常绿阔叶林>黄山松林>玉山竹林>常绿—落叶阔叶混交林;而其涵养水源量大小排序:落叶阔叶林>马尾松林>常绿阔叶林>黄山松林>常绿—落叶阔叶混交林>玉山竹林。

表 5 庐山自然保护区不同林地土壤蓄水功能

林分类型	自然含水量/%	非毛管孔隙/%	蓄水量/ (t·hm ⁻²)	最大蓄水量/ (t·hm ⁻²)	涵养水源量/ (t·hm ⁻²)
马尾松林	12.23±3.37	4.68±0.61	1256.89±648.35	2694.37±847.16	450.56±68.97
常绿阔叶林	10.31±2.64	3.95±0.47	1099.57±422.49	2249.33±625.43	396.87±138.06
常绿—落叶阔叶混交林	14.59±8.48	3.13±0.58	898.47±187.90	1546.93±466.27	259.47±83.94
落叶阔叶林	13.45±5.52	4.15±0.82	1139.89±724.61	2969.73±774.59	573.99±170.21
玉山竹林	11.36±2.26	3.55±0.24	986.36±203.16	1852.34±531.02	185.46±39.42
黄山松林	8.78±1.04	3.91±0.75	1057.38±570.87	2168.57±962.44	287.40±99.53

4 结论与建议

(1) 庐山自然保护区不同林地凋落物层贮量及其持水量的变化。落叶阔叶林地凋落物层贮量最大(23.19 t/hm²),玉山竹林地凋落物层贮量最小(5.48 t/hm²);落叶阔叶林地凋落物的持水量达到1 005.76 t/hm²,即落叶阔叶林地凋落物层的持水量远大于其它林地。

(2) 庐山自然保护区不同林地土壤物理性质存在着明显的差异。不同林地土壤硬度的平均值变化为13.24~25.43 kg/cm²;不同林地土壤容重大小排序为:黄山松林>玉山竹林>常绿—落叶阔叶混交林>落叶阔叶林>常绿阔叶林>马尾松林。

(3) 庐山自然保护区不同林地土壤渗透性能及其蓄水功能排序。不同林地土壤渗透性能存在一定差异,从土壤的渗透速度来看,不同林地土壤的渗透性能从大到小依次为:马尾松林>落叶阔叶林>常绿阔叶林>黄山松林>玉山竹林>常绿—落叶阔叶混交林;不同林地最大蓄水量大小依次为:落叶阔叶林>马尾松林>常绿阔叶林>黄山松林>玉山竹林>常绿—落叶阔叶混交林;而其涵养水源量大小排序:落叶阔叶林>马尾松林>常绿阔叶林>黄山松林>常绿—落叶阔叶混交林>玉山竹林。

(4) 庐山自然保护区不同林地水源涵养功能较强的林分是落叶阔叶林,水源涵养贡献度最大的是针叶林,因此,建议在庐山自然保护区的林业生态工程建设中,加强对现有落叶阔叶林及针叶林的保护;同时,大力营造混交林,在营造过程中,可采用降低造林密度,促其形成人工—天然复合型混交林;其次,应加强对现有林分的经营管理,有效地改造现有的低效针叶林,可通过适度间伐,引入阔叶树,促其形成高效的针阔混交林,提高林分的生态防护功能。

参考文献:

[1] 何斌,黄承标,秦武明,等.不同植被恢复类型对土壤性质和水源涵养功能的影响[J].水土保持学报,2009,23(2):71-74,94.

[2] 李潮海.土壤物理性质对土壤生物活性及作物生长的影响研究进展[J].河南农业大学学报,2002,36(1):32-37.

[3] 余定坤,胡绍平,杨清培,等.江西信丰森林健康示范区主要林分类型土壤水源涵养功能[J].水土保持研究,2012,19(3):98-101,107.

[4] 余新晓,张志强,陈丽华,等.森林生态水文[M].北京:中国林业出版社,2004.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 张彪,李文华,谢高地,等.北京市森林生态系统的水源涵养功能[J].生态学报,2008,28(11):5619-5624.

[8] 刘目兴,杜文正,张海林.三峡库区不同林型土壤的入渗能力研究[J].长江流域资源与环境,2013,22(3):299-306.

[9] 蔺岩雄,郑子龙,刘小林,等.小陇山林区主要林分类型森林土壤持水能力研究[J].甘肃农业大学学报,2012,47(3):102-106.

[10] 卢纹岱.SPSS for Windows 统计分析[M].北京:电子工业出版社,2000.

[11] 彭明俊,郎南军,温绍龙,等.金沙江流域不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能研究[J].水土保持学报,2005,19(6):106-109.

[12] 贾秀红,毕俊亮,周志翔,等.鄂中低丘区主要纯林凋落物持水与土壤贮水能力研究[J].华中农业大学学报,2013,32(3):39-44.

[13] 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.