

贵州西部四种典型林地土壤水文特性研究

潘明亮¹, 丁访军², 谭伟¹, 戴全厚¹, 朱军²

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省林业科学研究院, 贵阳 550005)

摘要:对贵州省西部地区桦木林、柳杉林、华山松林和杉木林 4 种典型林地土壤的物理性质和水文特性进行了初步研究。结果表明:4 种林地土壤容重、毛管孔隙度、贮水深和毛管持水深均随土壤深度的增加而增大,总孔隙度、非毛管孔隙度、最大持水深和渗透性具有随土壤深度的增加而减小的趋势。综合评价 4 种典型林地土壤物理性质和水文特性,桦木林地土壤平均非毛管孔隙(16.29%)和渗透性(2.77 mm/min)最大,表现出较强的蓄水能力;华山松林地土壤平均总孔隙度(66.70%)最大,表现出较大的持水深。

关键词:贵州西部; 林地土壤; 水文特性

中图分类号:S715

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0139-05

Study on Hydrological Characteristics of Soils in Four Typical Types of Woodlands in Western of Guizhou Province

PAN Ming-liang¹, DING Fang-jun², TAN Wei¹, DAI Quan-hou¹, ZHU Jun²

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. Institute of Forestry Science Research of Guizhou Province, Guiyang 550005, China

Abstract: A pilot study on hydrological characteristics and physical properties are studied in four typical types of woodlands, which *Betula luminifera* H. Wink forest, *Cryptomehia fortunei* forest, *Cryptomeria fortunei* forest and *Pinus armandi* forest are grown respectively in western region, Guizhou Province. The results showed that: soil bulk density, capillary porosity, water storage and capillary capacity of the four typical types soils in woodlands increased with soil depth; the total porosity, the capillary porosity and permeability, maximum capacity decreased with soil depth. In terms of comprehensive evaluation on physical properties and hydrological characteristics of soils in the four typical types woodlands, the average capillary porosity (16.29%) and permeability (2.77 mm/min) of *Betula luminifera* H. Wilk is the maximum, showing greater storage capacity; the average total porosity(66.70%) *Pinus armandii* Franch is the maximum, showing greater water holding depth.

Key words: western of Guizhou pvince; woodland soil; hydrological characteristics

森林土壤是地表的一部分,是供给森林植物生活物质的基质,由矿物和有机质组成,含有不同数量的水分和空气,并被生物居住着^[1]。土壤层的持水蓄水能力主要与土壤密度、孔隙度等物理性质及土层厚度有关,而且土壤水分也是水文循环的一个重要部分^[2-3]。森林生态系统中的水文过程大多是通过土壤作为媒介而发生的,林地土壤涵养水源能力的强弱不仅对于 SPAC 系统不同界面层间物质和能量的传输与交换过程有着重要的影响,并且直接作用到土壤水分的入渗、林地蒸散和流域产流^[4-6]。土壤是森林生

态系统水分循环的最重要的场所,直接影响系统的水文过程,林地土壤的水文特征是森林生态系统水分循环中林分结构与功能的综合体现^[7]。

桦木(*Betula luminifera* H. Wilk)林、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)林、华山松(*Pinus armandii* Franch)林和杉木(*Cunninghamia lanceolata* Lamb. Hook)林是贵州省西部地区 4 种主要的森林类型。其中,桦木林是该地区重要的天然次生林,其余三种为该地区主要的人工林分。近年来,不同林地土壤的水文特性在贵州中部^[8]和北部^[9]地区已经有了一定

的研究,但研究尚不深,且树种和林分有限,不能完全代表整个贵州地区的主要森林土壤水文特性,尤其关于贵州西部地区森林水源涵养、水文生态和水量平衡等方面的研究更少,且在西部地区大面积分布的天然次生栎木林未见有研究报道。本文通过对这4种典型林地土壤的孔隙度、通气度和容重等物理性质,渗透性、持水性和持水率等水文特性的分析比较,以期进一步了解不同林地土壤的水文特性,为该区域的林分设置、树种选择提供科学信息,对加强该区域山地森林资源保护,实现林业可持续发展具有重要的参考价值。

1 研究区概况

六盘水地区位于贵州省西部,界于北纬 $25^{\circ}19'44''-26^{\circ}55'33''$ 、东经 $104^{\circ}18'20''-105^{\circ}42'50''$,总面积 $9\,926\text{ km}^2$,占全省总面积的 5.63% 。玉舍林场位于贵州省西部的水城县境内,属于六盘水地区直接管辖,距离六盘水市 24 km ,属乌蒙山支脉,地处珠江水系上游,沟壑纵横,雄奇险峻。最高海拔 $2\,503\text{ m}$,最

低海拔 $1\,700\text{ m}$,相对高差 803 m ,黄壤是当地的地带性土壤类型。林场整体气温变化幅度小,年均温 $13\sim 14^{\circ}\text{C}$,1月均温 $3.0\sim 6.3^{\circ}\text{C}$,7月均温 $19.8\sim 22.0^{\circ}\text{C}$,无霜期 $230\sim 300\text{ d}$,降雨量 $1\,200\sim 1\,500\text{ mm}$ 。场内动植物资源丰富,植物资源种类多达 $1\,000$ 多种,华山松、杉木、柳杉为主要人工林分,还有大面积的栎木和十齿花天然林,森林覆盖率达到 80% 以上。场内还有国家一、二级保护植物珙桐、南方红豆杉、红花木莲、西康玉兰、水青树、十齿花等 10 多种;有国家保护动物獐子、麝子、红腹锦鸡等。

2 研究方法

2.1 样地的调研和样品的采集

2.1.1 样地的设置和调查 选择相似立地条件的栎木林、柳杉林、华山松林和杉木林。在各林分内随机设置 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 调查样地各 3 块,进行每木检尺,分别调查密度、郁闭度、树高、胸径、枝下高和冠幅等因子,并对样地的坡度、坡位、坡向、土壤和岩性等基本情况记录,详见表1。

表1 样地基本情况

林分类型	海拔/m	岩性	坡位	坡向	树高/m	胸径/cm	枝下高/m	冠幅/m	密度/(株 $\cdot\text{hm}^{-2}$)	郁闭度
栎木林-1	1764	砂岩	中上	北坡	6.97	6.16	3.23	2.15	1156	0.70
栎木林-2	1881	砂岩	中	西北坡	8.27	8.34	3.18	2.78	1008	0.65
栎木林-3	1810	砂岩	中	北坡	9.84	9.73	4.06	3.15	1120	0.65
柳杉林-1	1808	砂岩	中	北坡	6.43	8.38	1.48	2.07	1600	0.70
柳杉林-2	1829	砂岩	中	西北坡	9.31	14.59	1.78	2.69	1588	0.70
柳杉林-3	2100	砂岩	中	西北坡	10.01	14.75	2.65	3.10	1595	0.75
华山松林-1	2115	砂岩	中上	西北坡	12.23	24.81	7.26	5.27	986	0.60
华山松林-2	2086	砂岩	中上	北坡	11.23	22.27	7.10	6.06	1005	0.65
华山松林-3	2000	砂岩	中	北坡	12.15	24.57	7.91	7.49	1100	0.65
杉木林-1	1818	砂岩	中上	东南坡	8.12	13.89	2.32	3.64	1178	0.60
杉木林-2	1808	砂岩	中	北坡	8.42	14.78	2.30	4.25	1200	0.55
杉木林-3	2072	砂岩	中	北坡	8.82	17.73	3.01	4.58	1224	0.60

2.1.2 样品的采集 在已设置好的样地内,按照随机分布选取样点挖取剖面,用环刀和铝盒分别在 $0-10,10-20,20-40,40-60,60-80\text{ cm}$ 土层深度取样,将收集好的样品密封带回室内进行实验分析。

2.2 实验分析

2.2.1 土壤含水量测定 采用“烘干恒重法”^[10],用铝盒在 $0-10,10-20,20-40,40-60,60-80\text{ cm}$ 5个层次分别取土测定(同一层混合取样)。

2.2.2 土壤孔隙度和持水性测定 采用“环刀法”^[11]来测定土壤容重、非毛管孔隙、毛管孔隙、总孔隙度、土壤通气度、最大持水深、毛管持水深和贮水深,利用上述测定值,通过相关公式换算求出这一系列土壤水分物理性质的数量特征值。

2.2.3 土壤渗透性测定 采用“环刀法”^[11]进行测定,当测定土壤渗透性时,应保持土壤原始状态,人工

供水,定量观测土壤渗透状况,包括土壤初渗速率、稳渗速率及达到稳渗速率的时间。

2.3 数据处理

本研究的数据处理和分析,采用 Excel 和 SPSS 两种软件完成。

3 结果与分析

3.1 不同森林类型土壤容重的分析

容重是土壤物理性质的一个重要指标,说明土壤的松紧程度及孔隙状况,反映土壤的透水性、通气性和根系生长的阻力状况^[12]。在森林生态系统中,由于不同林型的凋落物量、分解速率、根系密度和林下植被覆盖等条件的差异,造成不同林地土壤容重存在明显的差异。

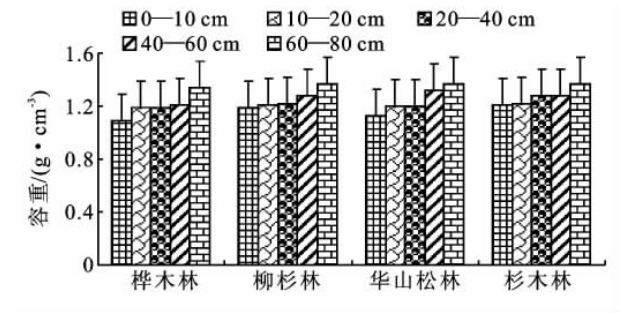


图 1 4 种林型土壤容重随深度的变化

从图 1 可以看出,在 0—80 cm 土层,桦木林、柳杉林、华山松林和杉木林 4 种林型土壤容重均随土壤深度的增加而增大。各林型平均土壤容重分别为杉木林(1.27 g/cm^3)>华山松林(1.26 g/cm^3)>柳杉林(1.25 g/cm^3)>桦木林(1.20 g/cm^3),柳杉林、华山松林和杉木林分别是桦木林的 1.04, 1.05, 1.06 倍。在 0—10, 10—20, 20—40 cm 土层中,不同林型土壤的容重表现为杉木林>柳杉林>华山松林>桦木林。而在 40—60, 60—80 cm 土层中,表现为华山松林>杉木林>柳杉林>桦木林。

3.2 不同森林类型土壤孔隙度分析

林地土壤的孔隙状况是评价土壤通透性和水源涵养能力的重要指标,土壤孔隙的大小直接影响到土壤中的水分状况,从而影响了林木的生长^[13]。

表 2 4 种林型不同深度土壤物理性质比较

林分类型	土层深度/cm	非毛管孔隙/%	毛管孔隙/%	总孔隙度/%	土壤通气度/%
桦木林	0—10	22.53	46.61	69.14	26.19
	10—20	18.12	50.43	68.55	21.53
	20—40	16.04	50.70	64.74	22.74
	40—60	14.70	50.89	65.59	18.73
	60—80	10.05	52.77	62.81	9.92
	平均	16.29	50.28	66.17	19.82
柳杉林	0—10	18.08	51.02	69.10	20.51
	10—20	12.71	55.47	68.18	13.04
	20—40	10.07	55.79	65.86	14.25
	40—60	8.55	56.40	64.95	9.27
	60—80	6.45	56.78	63.22	7.53
	平均	11.17	55.09	66.26	12.92
华山松林	0—10	13.91	56.47	70.38	15.75
	10—20	13.88	54.26	68.15	14.88
	20—40	11.34	54.84	66.18	12.12
	40—60	6.36	58.23	64.59	6.74
	60—80	6.07	58.13	64.20	5.79
	平均	10.31	56.39	66.70	11.06
杉木林	0—10	21.48	44.87	66.35	23.12
	10—20	15.32	50.21	65.53	13.12
	20—40	11.38	53.87	65.25	8.49
	40—60	11.04	54.84	65.88	8.80
	60—80	7.12	55.90	63.02	8.75
	平均	13.27	51.94	65.21	12.46

根据表 2 可以看出,桦木林、柳杉林、华山松林和杉木林 4 种林型土壤总孔隙度和非毛管孔隙度均随土层深度的增加而减小。在 0—80 cm 土层中,4 种林型土壤平均总孔隙度为华山松林(66.70%)>柳杉林(63.22%)>杉木林(65.21%)>桦木林(66.17%);平均非毛管孔隙度为桦木林(16.29%)>杉木林(13.27%)>柳杉林(11.17%)>华山松林(10.31%);而毛管孔隙度方面则表现出随土层深度的增加而增大的趋势,平均毛管孔隙度为华山松林(56.39%)>柳杉林(55.09%)>杉木林(51.94%)>桦木(50.28%);这 4 种林型土壤总孔隙度变化范围为 50%~70%,非毛管孔隙度为 5%~22%,毛管孔隙度为 44%~59%。有研究^[14]发现,土壤总孔隙度在 50%左右,其中非毛管孔隙占 1/5~2/5 时,土壤的通气性、透水性和持水能力比较协调。

在土壤通气度方面,4 种林型则表现出随土层深度的增加而减小的规律。平均通气度总体表现为桦木林(12.92%)>柳杉林(12.82%)>华山松林(12.46%)>杉木林(11.06%),说明桦木林土壤较其它 3 种林地土壤具有较高的通气性能,有利于植被的生长和土壤内气体的交换。

3.3 不同森林类型土壤持水性能分析

森林土壤是森林水分循环的重要场所。森林土壤持水能力与土壤的容重、结构、孔隙度等物理特性及有机质含量有着极其重要的关系,土壤的容重越小、结构越疏松、孔隙度越大、有机质含量越高,土壤的持水性能越大,反之越小^[15]。

分析发现,不同林地土壤最大持水深均随土壤深度的增加而减小,不同林地土壤贮水深和毛管持水深表现出与最大持水深相反的趋势,随土壤深度的增加而增大(见表 3)。平均最大持水深为华山松林(33.45 mm)>柳杉林(33.13 mm)>杉木林(33.00 mm)>桦木林(32.78 mm),不同林型土壤最大持水深差异不明显($P>0.05$),华山松林、柳杉林和杉木林最大持水深分别是桦木林的 1.02, 1.00, 1.00 倍。平均贮水深为华山松林(28.72 mm)>柳杉林(26.67 mm)>杉木林(26.57 mm)>桦木林(23.37 mm),且不同林型土壤贮水深存在显著性差异($P<0.05$),华山松林、柳杉林和杉木林贮水深分别是桦木林的 1.23, 1.14, 1.13 倍。平均毛管持水深为华山松林(28.93 mm)>柳杉林(26.95 mm)>杉木林(25.97 mm)>桦木林(25.04 mm),且不同林型毛管持水深也存在显著性差异($P<0.05$),华山松林、柳杉林和杉木林毛管持水深分别是桦木林的 1.16, 1.07, 1.04 倍。这是由于在同一地区,不同的森林类型由于树木

根系生长、凋落物分解和动物打穴等因素会造成土壤物理性质的差异,导致不同森林类型土壤持水性能具有明显的差异。

表 3 4 种林型土壤最大持水量、贮水量和毛管持水量与土壤深度的关系

样地类型	土层深度/cm	最大持水深/mm	土壤贮水深/mm	毛管持水深/mm
桦木林	0—10	34.57	21.47	23.31
	10—20	34.27	22.51	24.72
	20—40	32.87	23.00	25.35
	40—60	32.80	23.43	25.45
	60—80	31.41	26.45	26.38
柳杉林	0—10	34.55	24.29	25.51
	10—20	34.09	25.57	25.73
	20—40	32.93	27.81	26.40
	40—60	32.47	27.84	28.20
	60—80	31.61	27.85	28.89
华山松林	0—10	35.19	27.31	27.48
	10—20	34.07	27.63	28.08
	20—40	33.59	28.53	28.92
	40—60	32.30	28.93	29.12
	60—80	32.10	31.20	31.06
杉木林	0—10	33.18	23.61	22.43
	10—20	32.76	25.20	23.60
	20—40	32.62	28.38	26.94
	40—60	31.94	28.54	28.42
	60—80	31.51	29.14	28.45

对 4 种林型土壤最大持水深 Y (mm)、贮水深 B (mm)、毛管持水深 Z (mm)与土层深度 h (cm)的数据进行拟合分析,得出以下关系式:

$$Y=ah+b, B=ah+b, Z=ah+b$$

式中: Y ——最大持水深(mm); B ——贮水深(mm); Z ——毛管持水深(mm); h ——土层深度(cm); a ——方程系数; b ——方程常数项,拟合结果见表 4。

表 4 4 种林型土壤最大持水深、贮水深、毛管持水深与土层深度的关系式

林分类型	持水性	关系式	相关系数
桦木林	最大持水深	$Y=-0.779h+35.521$	0.9345
	贮水深	$B=1.088h+20.108$	0.8470
	毛管持水深	$Z=0.687h+22.981$	0.9155
柳杉林	最大持水深	$Y=-0.75h+35.38$	0.9827
	贮水深	$B=0.939h+23.855$	0.8063
	毛管持水深	$Z=0.923h+24.177$	0.9270
华山松林	最大持水深	$Y=-0.795h+33.875$	0.9610
	贮水深	$B=0.908h+25.996$	0.8765
	毛管持水深	$Z=0.82h+26.472$	0.9089
杉木林	最大持水深	$Y=-0.416h+33.65$	0.9668
	贮水深	$B=1.44h+22.654$	0.8792
	毛管持水深	$Z=1.686h+20.91$	0.9099

从 4 种林型土壤最大持水深、贮水深、毛管持水深与土层深度之间的关系式可以看出,不同林分类型土壤的最大持水深、贮水深、毛管持水深与土层深度之间均表现出较好的相关性。

3.4 不同森林类型土壤渗透性分析

土壤渗透性是土壤理水调洪功能极为重要的特征参数之一,其渗透性能的好坏,直接关系到地表径流量的大小以及将地表径流转化为壤中流、地下径流的能力,对土壤侵蚀的影响亦很大^[16]。

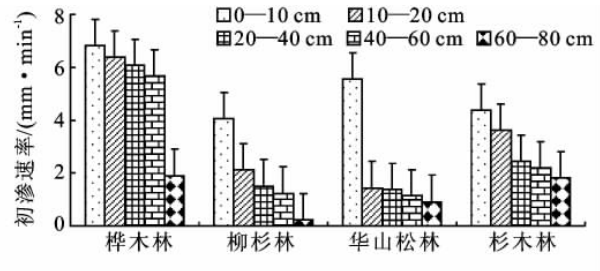


图 2 不同林型各深度土壤初渗透性

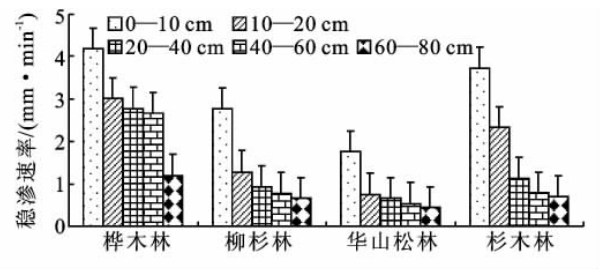


图 3 不同林分各深度土壤稳渗透性

由图 2,3 分析看出,在 0—80 cm 土层间,4 种林型土壤初渗透率与稳渗透率均表现出随土壤深度的增加而减小的规律。各林型平均初渗透率表现为桦木林(5.37 mm/min)>杉木林(2.89 mm/min)>华山松林(2.08 mm/min)>柳杉林(1.83 mm/min),且不同林型土壤初渗透性存在显著性差异($P<0.05$)。各林型平均稳渗透率表现为桦木林(2.77 mm/min)>杉木林(1.73 mm/min)>柳杉林(1.28 mm/min)>华山松林(0.83 mm/min),且不同林型土壤稳渗透性也存在显著性差异($P<0.05$)。

总之,桦木林较其它林型具有最好的渗透性,杉木林次之,其余两林型最差,这是由于桦木林相对其它林型具有最大的非毛管孔隙,而非毛管孔隙能够将来水快速转入地下,不易形成地表径流,有效控制了林地水土流失状况,并起到了较好的蓄水调洪功能。

4 结论

(1)不同林分类型的土壤容重差异明显,且 4 种林型土壤容重均随土壤深度的增加而增大。在 0—10,10—20,20—40 cm 土层中,4 种林型土壤的容重表现为杉林>柳杉林>华山松林>桦木林,而在 40

—60, 60—80 cm 土层中表现为华山松林>杉木林>柳杉林>桉木林。在相同的立地条件下, 4 种林地土壤中, 华山松林土壤容重上下层差异较大, 表现为上层比柳杉林和杉木林疏松, 而下层比这两个林型都紧实。桉木林天然次生阔叶林, 由于阔叶相对于针叶易于分解, 故容重相对较小, 土壤结构疏松。

(2) 不同林分类型的土壤孔隙度和通气度也差异明显, 且土壤总孔隙度和非毛管孔隙度均随土层深度的增加而减小。在 0—80 cm 土层中, 4 种林型土壤平均总孔隙度为华山松林 (66.70%)>柳杉林 (63.22%)>杉木林 (65.21%)>桉木林 (66.17%), 平均非毛管孔隙度为桉木林 (16.29%)>杉木林 (13.27%)>柳杉林 (11.17%)>华山松林 (10.31%), 平均通气度总体表现为桉木林 (12.92%)>柳杉林 (12.82%)>华山松林 (12.46%)>杉木林 (11.06%)。在相似的立地条件下, 华山松林土壤结构较为疏松, 具有较大的孔隙度和蓄水能力, 桉木林具有较强的通气性。

(3) 在持水深方面, 不同林型差异依然明显, 且土壤最大持水深均随土壤深度的增加而减小; 而贮水深和毛管持水深均随土壤深度的增加而增大。总体表现为华山松林>柳杉林>杉木林>桉木林, 其华山松林 (33.45 mm)、柳杉林 (33.13 mm)、杉木林 (33.00 mm) 平均最大持水深分别是桉木林 (32.78 mm) 的 1.02, 1.00, 1.00 倍。比较 4 种林型土壤持水性, 华山松林持水深最大、柳杉和杉木次之, 桉木林最差。

(4) 土壤渗透性是反映森林土壤水源涵养能力的重要属性。在 0—80 cm 土层之间, 4 种林型土壤初渗速率与稳渗速率均表现出随土壤深度的增加而减小的规律。各林型平均初渗速率表现为桉木林 (5.37 mm/min)>杉木林 (2.89 mm/min)>华山松林 (2.08 mm/min)>柳杉林 (1.83 mm/min), 平均稳渗速率表现为桉木林 (2.77 mm/min)>杉木林 (1.73 mm/min)>柳杉林 (1.28 mm/min)>华山松林 (0.83 mm/min)。从不同林型渗透性比较来看, 桉木林的初渗速率和稳渗速率都最大, 说明其土壤渗透性

能最好, 蓄水能力最强, 杉木林和柳杉林次之, 而华山松林土壤渗透性能最差, 蓄水能力最弱。

参考文献:

- [1] 尹建道, 姜志林. 日本的森林水土保持效益及防灾对策[J]. 南京林业大学学报, 1999(2): 23-25.
- [2] 张光灿, 刘霞. 泰山几种林分枯落物和土壤水文效应研究[J]. 林业科技通讯, 1999(2): 28-29.
- [3] 王力, 邵明安, 王全九. 林地土壤水分运动研究述评[J]. 林业科学 2005, 41(2): 147-153.
- [4] 党宏忠, 赵雨森, 陈祥伟. 祁连山水源涵养林水分传输规律研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 43-46.
- [5] 董铁狮, 赵雨森, 党宏忠. 黑龙江省东部地区水曲柳天然林水源涵养功能[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(5): 1-3.
- [6] 赵玉涛, 张志强, 余新晓. 森林流域界面水分传输规律研究述评[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 92-95.
- [7] 党宏忠, 周泽福, 赵雨森, 等. 祁连山水源涵养林土壤水文特征研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(1): 39-44.
- [8] 张喜, 薛建辉, 生原喜久雄, 等. 黔中山地喀斯特森林的水文学过程和养分动态[J]. 植物生态学报, 2007, 31(5): 757-768.
- [9] 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.
- [10] 张万儒, 杨光滢, 屠星南, 等. 《中华人民共和国林业行业标准》(LY/T1210—1275—1999): 森林土壤分析方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [11] 张万儒, 许本彤. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986.
- [12] 北京林业大学. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社 1990: 118-140.
- [13] 汪永英. 新民林场不同森林类型土壤持水能力的分析[J]. 农机化研究, 2007(5): 80-82.
- [14] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [15] 张贵云, 王进, 戴晓勇. 贵州省天然林保护区不同森林类型土壤持水性能的研究[J]. 农技服务, 2009, 26(10): 79-80, 109.
- [16] 吴钦孝, 韩冰, 李秧秧. 黄土丘陵区小流域土壤水分入渗特征研究[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(6): 12-21.

(上接第 138 页)

- [16] Law B E, Falge E, Gu L, et al. Long-term carbon dioxide exchange in a sparse seasonally dry tussock grassland[J]. Global Change Biology, 2004, 10: 1785-1800.
- [17] 顾峰雪, 于贵瑞, 温学发, 等. 干旱对亚热带人工针叶林碳交换的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1041-1051.
- [18] 冯朝阳, 吕世海, 高吉喜, 等. 华北山地不同植被类型土壤呼吸特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 20-26.
- [19] Grace J, Lloyd J, McIntyre J, et al. Carbon-dioxide uptake by an undisturbed tropical rain-forest in South-west Amazonia, 1992 to 1993[J]. Science, 1995, 270(5237): 778-780.