

河北省木兰林管局典型森林类型枯落物水文效应研究

李军^{1,2}, 田超¹, 杨新兵¹

(1. 河北农业大学, 河北 保定 071000; 2. 河北省木兰围场国有林场管理局, 河北 围场 068450)

摘要: 枯落物层作为森林水文效应的第二个活动层, 在调节森林水文过程中具有重要的意义。对木兰林管局 6 种典型天然林分枯落物层的水文效应进行了初步研究, 结果表明: (1) 华北落叶松-白桦-黑桦混交林枯落物总蓄积量最大为 30.47 t/hm², 最大持水量最高为 63.57 t/hm²; 白桦-黑桦混交林枯落物最大持水率最大为 257.80%。(2) 未分解层和半分解层枯落物浸泡 12 h 均已基本达到饱和, 持水量与浸泡时间呈明显对数关系; 枯落物吸水速度在开始 1 h 内较快, 6 h 后速度逐渐减慢, 吸水速率与浸泡时间均呈明显幂函数关系。(3) 华北落叶松-白桦-黑桦混交林的有效拦蓄能力最强, 为 48.60 t/hm²; 山杨-黑桦-蒙古栎混交林的有效拦蓄能力最弱, 为 16.47 t/hm²。即华北落叶松-白桦-黑桦混交林枯落物的水土保持能力最强, 森林较健康, 山杨-黑桦-蒙古栎混交林最弱, 健康状况有待改善。

关键词: 木兰林管局; 枯落物; 水文效应

中图分类号: S715

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0192-05

Hydrological Effects of Typical Forest Litters in the Mulan Forestry Administration of Hebei Province

LI Jun^{1,2}, TIAN Chao¹, YANG Xin-bing¹

(1. Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China;

2. Mulan Forestry Administration of Hebei Province, Weichang, Hebei 068450, China)

Abstract: Litter is the second active layer of the forest hydrological effects, which is of great significance in the regulation of forest hydrology. A preliminary study of hydrological effects of litter layer was carried out in six kinds of typical and natural forest stands in the Mulan forestry administration. The result shows: (1) The litter total storage capacity of *Larix principis-rupprechtii*-*B. platyphylla*-*B. davurica* is the biggest and up to 30.47 t/hm², meanwhile it has the highest maximum water holding capacity (63.57 t/hm²); the maximum water holding rate of *B. platyphylla*-*B. davurica* is the biggest and up to 257.80%; (2) Without decomposition and semi-decomposition litter reached both saturation in 12 h, water holding capacity and soaking time demonstrated significant Logarithmic relationship [$Q = a \ln(t) + b$]; water absorption rate of undecomposed and semi-decomposed litter are both faster at the first hour, then the rate of decline gradually slowed down after 6 h, the relationship of absorption rate and immersion time showed power function ($V = kt^n$); (3) The modified interception amount of *Larix principis-rupprechtii*-*B. platyphylla*-*B. davurica* is the strongest and up to 48.60 t/hm², while *Populus davidian*-*B. davurica*-*Quercus mongolica* is the worst and up to 16.47 t/hm². It shows that the soil and water conservation capacity of *Larix principis-rupprechtii*-*B. platyphylla*-*B. davurica* is the strongest, which means the forest is healthy. However, *Populus davidian*-*B. davurica*-*Quercus mongolica* has the weakest capacity, which means the health need to be improved.

Key words: Mulan forestry administration; litter; hydrological effect

森林通过庞大的林冠层、丰富的枯落物层, 既能吸附、截留一定的降雨, 又能有效减轻或防止雨水冲击和侵蚀土壤, 且具有深厚的疏松土壤层, 利于雨水

下渗, 因此, 人们形象的称之为“森林水库”^[1]。森林枯落物层作为森林水文效应的第二个活动层, 在截持降雨、防止土壤溅蚀、拦蓄地表径流、减少土壤水分蒸

收稿日期: 2011-01-19

修回日期: 2011-03-23

资助项目: 林业公益性行业科研专项课题“冀北山区典型森林生态系统健康维护与经营技术研究” (200804022 F)

作者简介: 李军 (1977-), 男, 河北围场县人, 林业工程师, 在职硕士研究生, 主要从事林业经营管理工作。E-mail: lijun770207@163.com

通信作者: 田超 (1985-), 河北涞水县人, 在读硕士, 主要从事水土保持、森林生态方面研究。E-mail: tianchao9996@163.com

©1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

发和增加土壤水分入渗等方面具有重要意义。河北省木兰林管局处在内蒙古高原与冀北山地的过渡带, 地理位置特殊, 生态环境建设处于重要位置。国内对于该区的研究主要集中在生物多样性^[2-3]、森林病虫害防治^[4]、森林防火等方面^[5], 对森林水文的研究很少。

因此, 本文对木兰林管局 6 种主要天然林林分类型的枯落物水文效应做了定量研究, 旨在揭示不同林分类型枯落物层水源涵养功能, 为木兰林管局森林健康可持续经营的监测和评价提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于河北承德市围场县河北省木兰围场国有林场管理局八英庄林场, 地理坐标为北纬 41°56′ - 42°15′, 东经 117°44′ - 118°9′。该地区地形山峦起伏, 沟壑纵横, 地貌以山地为主, 地势西北高, 东南低,

海拔高度在 800~ 1 780 m 之间, 阳坡陡, 土层薄, 阴坡较缓, 土层较厚。该地区气候属典型的大陆性季风气候, 年平均气温 4℃左右, 年降水量在 400~ 500 mm, 多集中在 7~ 9 月, 无霜期 120 d 左右, 适合林木生长。研究区内主要乔木树种有: 黑桦 (*Betula davurica*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 和山杨 (*Populus davidian*) 等。

2 研究方法

2.1 样地调查

本研究根据试验区的地形和植被自然分布状况, 按照海拔梯度, 每升高 100 m 选取一个典型林分类型, 并采用罗盘仪设置标准样地, 样地面积为 20 m × 30 m, 调查其树种组成、林分密度等, 并对林木进行每木检尺, 测量树高、胸径等, 各样地特征见表 1。

表 1 不同林分类型标准地基本特征

林分类型	树种组成	海拔/ m	坡度/ (°)	坡向	郁闭度	树高/ m	胸径/ cm	林分密度/ (株·hm ⁻²)
山杨- 黑桦- 蒙古栎混交林	4 杨 4 黑 2 栎	1080	18	NE	0.86	9.0	11.33	1417
蒙古栎- 黑桦混交林	9 栎 1 黑	1180	20	NW	0.83	6.1	10.41	1450
华北落叶松- 白桦- 黑桦混交林	5 落 3 白 2 黑	1280	25	NW	0.85	8.5	11.30	1400
白桦- 黑桦- 华北落叶松混交林	7 白 2 黑 1 落	1380	20	NE	0.88	9.0	12.40	1100
白桦- 黑桦混交林	7 白 3 黑	1480	25	NW	0.95	8.1	9.50	1830
白桦- 华北落叶松混交林	6 白 4 落	1580	36	NW	0.85	8.1	11.51	1650

2.2 研究方法

在每块标准地内, 分坡上、坡中和坡下各取面积为 0.5 m × 0.5 m 的样方 3 个, 测定样方内枯落物未分解层及半分解层厚度, 取回各层样品放置于实验室阴干, 即为枯落物风干质量。从风干样品中取部分烘干, 分别计算未分解及半分解层枯落物的自然含水率和单位面积蓄积量。

采用室内浸泡法^[6]测定枯落物持水量及其吸水速度。取 6 个标准地部分自然风干样品浸入水中, 分别测定在浸泡 1, 2, 4, 6, 12, 24 h 的重量变化, 研究其吸水速度和吸水过程。每次取出称重后所得的枯落物湿重与其风干重差值, 即为不同时间的持水量, 该值与浸水时间的比值即为吸水速率。

通常采用有效拦蓄量(modified interception)来估算枯落物对降雨的实际拦蓄量^[7], 即

$$W = (0.85R_m - R_0)M \tag{1}$$

式中: W ——有效拦蓄量(t/hm²); R_m ——最大持水率(%); R_0 ——平均自然含水率(%); M ——枯落物累积量(t/hm²)。

3 结果与分析

3.1 不同林分类型枯落物蓄积量

枯落物层的蓄积量取决于其在林地上的积累量、

分解速度、积累年限, 而这些又与森林的树种构成、林分发育、林分的水平及垂直结构、人为活动、枯落物的分解状况、本身的厚度和性质等多种因素有关^[8-9]。由表 2 可知, 6 种林分类型下枯落物总蓄积量有一定差别, 蓄积量变动范围 10.15~ 30.47 t/hm², 蓄积量大小依次为: 华北落叶松- 白桦- 黑桦混交林> 白桦- 华北落叶松混交林> 白桦- 黑桦- 华北落叶松混交林> 蒙古栎- 黑桦混交林> 山杨- 黑桦- 蒙古栎混交林> 白桦- 黑桦混交林, 这一差别主要是由于针阔叶树种组成不同所致。分析不同林分类型枯落物未分解层、半分解层储量可以看出, 各层次储量所占比例不同, 蒙古栎- 黑桦混交林林下枯落物未分解层所占比例最小, 占总储量的 28.87%; 而白桦- 黑桦- 华北落叶松混交林林下枯落物未分解层所占比例最大, 占总储量的 48.92%, 这可能是由于阔叶树落叶分解较快, 而针叶树落叶难以分解的原因。

3.2 不同林分类型枯落物水文效应

枯落物除了增加土壤有机质, 防止降雨对土壤表面的击溅外, 具有很大的吸水能力和透水性, 对森林涵养水源有重要作用, 因而枯落物持水量是评价植被水源涵养功能的一个重要指标^[4]

表 2 不同林分类型枯落物蓄积量

林分类型	枯落物总厚度/cm	枯落物总蓄积量/ (t·hm ⁻²)	未分解层			半分解层		
			厚度/ cm	蓄积量/ (t·hm ⁻²)	占总量/ %	厚度/ cm	蓄积量/ (t·hm ⁻²)	占总量/ %
杨-黑-栎	2.2	12.62	1.2	5.27	41.75	1.0	7.35	58.25
栎-黑	3.0	16.47	2.1	4.75	28.87	0.9	11.71	71.13
落-白-黑	2.4	30.47	1.3	9.55	31.36	1.1	20.91	68.64
白-黑-落	4.8	17.45	2.2	8.54	48.92	2.6	8.91	51.08
白-黑	4.1	10.15	1.9	4.78	47.13	2.2	5.36	52.87
白-落	5.2	24.62	3.0	7.67	31.16	2.2	16.95	68.84

表中: 杨-黑-栎为山杨-黑桦-蒙古栎混交林; 栎-黑为蒙古栎-黑桦混交林; 落-白-黑为华北落叶松-白桦-黑桦混交林; 白-黑-落为白桦-黑桦-华北落叶松混交林; 白-黑为白桦-黑桦混交林; 白-落为白桦-华北落叶松混交林, 下同。

3.2.1 不同林分类型枯落物最大持水量 6 种林分枯落物的最大持水量有所不同(表 3), 最大持水量反映了林地枯落物持水能力, 由表 3 可见: 华北落叶松-白桦-黑桦混交林最大持水量最大, 为 63.57 t/hm², 其次为白桦-华北落叶松混交林、白桦-黑桦-华北落叶松混交林、蒙古栎-黑桦混交林、白桦-黑桦混交林, 而山杨-黑桦-蒙古栎混交林的最大持水量最小, 为 24.33 t/hm²。枯落物最大持水率的变动范围为 162.62%~257.80%, 顺序依次为白桦-黑桦混交林>白桦-黑桦-华北落叶松混交林>华北落叶松-白桦-黑桦混交林>山杨-黑桦-蒙古栎混交林>蒙古栎-黑桦混交林>白桦-华北落叶松混交林。同一混交林的最大持水率与最大持水量呈现出不同的规律, 这是因为最大持水量还与枯落物本身的蓄积量有关, 而蓄积量又与枯落物的分解状况、本身的厚度等有关。

3.2.2 不同林分类型枯落物持水过程 枯落物吸持水的速度与枯落物的干燥程度、枯落物量和枯落物结构有关。枯落物越干燥, 吸持水的速度越快; 枯落物量越多, 短时间内的吸持水量越大; 而革质、含油脂的

树种的枯落物吸持水量的速度比非革质、含油脂量少的树种枯落物慢^[10]。通过浸水实验, 观察和分析了不同林地未分解层和半分解层枯落物的持水过程(见图 1-2)。结果表明: 在最初浸泡的 1 h 内, 枯落物持水量迅速增加, 以后随着浸泡时间的延长呈现不断增加的趋势, 但增加速度逐渐放慢。这一趋势与枯落物拦蓄地表径流规律相似, 即降雨初期, 枯落物拦蓄地表径流功能较强, 此后随枯落物湿润程度的增加, 吸持能力降低, 至达到枯落物的最大饱和持水量^[11]。未分解层枯落物与半分解层枯落物持水量在浸泡 12 h 基本达到饱和。

表 3 不同林分类型枯落物最大持水量和最大持水率

林分类型	最大持水量/(t·hm ⁻²)			最大持水率/%		
	未分 解层	半分 解层	总和	未分 解层	半分 解层	平均
杨-黑-栎	11.90	12.44	24.33	225.81	169.19	197.50
栎-黑	8.19	24.39	32.58	172.25	208.18	190.22
落-白-黑	17.20	46.38	63.57	180.03	221.76	200.89
白-黑-落	18.88	19.31	38.18	221.09	216.60	218.84
白-黑	13.02	13.05	26.07	272.25	243.35	257.80
白-落	11.99	28.64	40.63	156.24	168.99	162.62

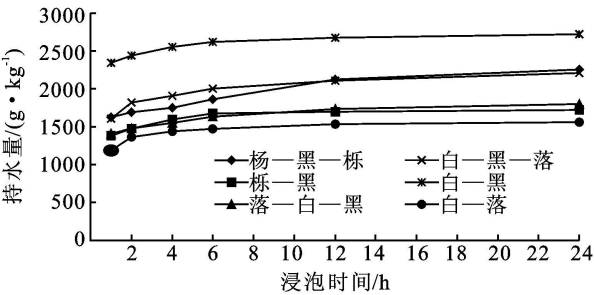


图 1 枯落物未分解层持水量与浸泡时间的关系

对 1~24 h 之间 6 种林分类型枯落物未分解层、半分解层持水量与浸泡时间的关系进行回归分析, 得出该时间段内持水量与浸泡时间之间的拟合模型见式(2)(表 4)。

$$Q = a \ln t + b \tag{2}$$

式中: Q ——枯落物持水量(g/kg); t ——浸泡时间

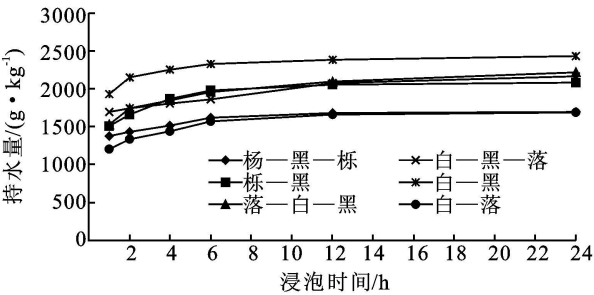


图 2 枯落物半分解层持水量与浸泡时间的关系

(h); a ——方程系数; b ——方程常数项。

3.2.3 不同林分类型枯落物吸水速率 由图 3、图 4 可知: 不同林分类型枯落物不论是未分解层还是半分解层在浸水初期, 吸水速率较高, 是因为风干的枯枝落叶浸入水中后, 枯枝落叶的死细胞间或者枝叶表面水势差较大, 吸水速率较高^[12-13]; 枯落物吸水速度在

前 1 h 内较快, 之后随着时间延长, 吸水速度减慢, 6 h 后下降速度逐渐减慢, 24 h 吸水基本停止, 表明枯落物已达到饱和状态。

表 4 枯落物不同层次持水量与浸泡时间关系

枯落物层	林分类型	关系式	相关系数 <i>R</i>
未分解层	杨-黑-栎	$Q = 209.08 \ln t + 1554.6$	0.9636
	栎-黑	$Q = 112.39 \ln t + 1414.5$	0.9544
	落-白-黑	$Q = 128.69 \ln t + 1398.1$	0.9952
	白-黑-落	$Q = 183.06 \ln t + 1653.1$	0.9896
	白-黑	$Q = 122.45 \ln t + 2365.3$	0.9840
	白-落	$Q = 112.39 \ln t + 1248.7$	0.9503
半分解层	杨-黑-栎	$Q = 110.26 \ln t + 1376.9$	0.9720
	栎-黑	$Q = 191.37 \ln t + 1553.3$	0.9637
	落-白-黑	$Q = 213.8 \ln t + 1557.5$	0.9953
	白-黑-落	$Q = 157.13 \ln t + 1640.4$	0.9662
	白-黑	$Q = 153.35 \ln t + 2001.3$	0.9572
	白-落	$Q = 284.78 \ln t + 1169.4$	0.9854

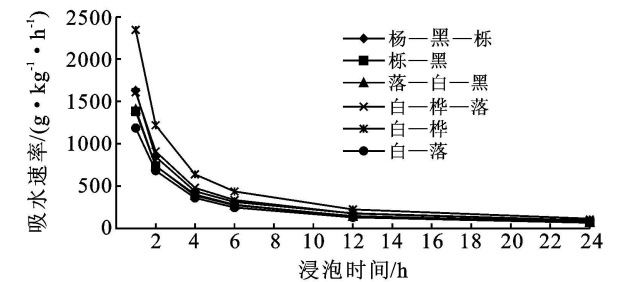


图 3 枯落物未分解层吸水速率与浸泡时间的关系

对 6 种林分不同层次枯落物吸水速率与浸泡时间进行拟合, 得出该时间段内吸水速率与浸泡时间之

表 6 不同林分下不同层次枯落物的拦蓄能力

枯落物层	林分类型	枯落物风干重/ ($t \cdot hm^{-2}$)	自然含水率/%	最大持水率/%	最大拦蓄率/%	有效拦蓄率/%	最大拦蓄量/ ($t \cdot hm^{-2}$)	有效拦蓄量/ ($t \cdot hm^{-2}$)
未分解层	杨-黑-栎	5.27	20.21	225.81	205.59	171.72	10.83	9.05
	栎-黑	4.75	15.22	172.25	157.04	131.20	7.47	6.24
	落-白-黑	9.55	17.70	180.03	162.33	135.32	15.51	12.93
	白-黑-落	8.54	17.00	221.09	204.09	170.93	17.42	14.59
	白-黑	4.78	21.28	272.25	250.97	210.13	12.00	10.05
	白-落	7.67	15.15	156.24	141.09	117.65	10.82	9.03
半分解层	杨-黑-栎	7.35	42.86	169.19	126.34	100.96	9.29	7.42
	栎-黑	11.71	21.70	208.18	186.48	155.26	21.84	18.19
	落-白-黑	20.91	17.95	221.76	203.81	170.54	42.62	35.67
	白-黑-落	8.91	16.05	216.60	200.55	168.06	17.88	14.98
	白-黑	5.36	18.48	243.35	224.87	188.37	12.06	10.10
	白-落	16.95	33.73	168.99	135.26	109.91	22.92	18.63

3.2.4 不同林分类型枯落物有效拦蓄量 最大持水量并不能代表枯落物对降雨的截留量, 它只能反映枯落物层的持水能力大小, 用最大持水率来估算枯落物层对降雨的拦蓄能力则偏高, 不符合它对降雨的实际拦蓄效果, 有效拦蓄量才是反映枯落物对一次降水拦

间存在如式(3)的拟合模型(表5)。

$$V = kt^n \tag{3}$$

式中: *V*——枯落物吸水速度 [$g/(kg \cdot h)$]; *t*——浸泡时间(h); *k*——方程系数; *n*——指数。

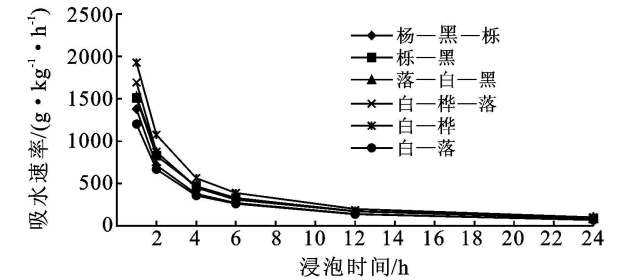


图 4 枯落物半分解层吸水速率与浸泡时间的关系

表 5 枯落物不同层次吸水速率与浸泡时间关系

枯落物层	林分类型	关系式
未分解层	杨-黑-栎	$V = 1575.3t^{-0.891}$
	栎-黑	$V = 1416.2t^{-0.9279}$
	落-白-黑	$V = 1405t^{-0.9195}$
	白-黑-落	$V = 1660.4t^{-0.9041}$
	白-黑	$V = 2367.7t^{-0.9517}$
	白-落	$V = 1249.2t^{-0.9187}$
半分解层	杨-黑-栎	$V = 1380.8t^{-0.9283}$
	栎-黑	$V = 1558.1t^{-0.8937}$
	落-白-黑	$V = 1569.6t^{-0.8854}$
	白-黑-落	$V = 1652.2t^{-0.9179}$
	白-黑	$V = 2002.6t^{-0.93}$
	白-落	$V = 1232t^{-0.8884}$

蓄的真实指标, 其与枯落物数量、水分状况、降雨特性等有关^[12]。从表 6 有效拦蓄率和有效拦蓄量来看: 山杨-黑桦-蒙古栎混交林、白桦-黑桦-华北落叶松混交林、白桦-黑桦混交林、白桦-华北落叶松混交林未分解层大于半分解层, 而蒙古栎-黑桦混交

林、华北落叶松-白桦-黑桦混交林是半分解层大于未分解层。在半分解层中,华北落叶松-白桦-黑桦混交林的有效拦蓄能力最强,为 35.67 t/hm^2 ,山杨-黑桦-蒙古栎混交林有效拦蓄能力最弱,为 7.42 t/hm^2 。总之,华北落叶松-白桦-黑桦混交林林分的拦蓄能力最强。

4 结论

对木兰林管局境内 6 种典型林分类型枯落物蓄积量调查表明:华北落叶松-白桦-黑桦混交林的蓄积量最大为 30.47 t/hm^2 ;白桦-黑桦混交林蓄积量最小为 10.15 t/hm^2 ;各层次储量所占比例不同,蒙古栎-黑桦混交林未分解层所占比例最小,占总储量的 28.87%;而白桦-黑桦-华北落叶松混交林未分解层所占比例最大,占总储量的 48.92%,这可能是由于阔叶树落叶分解较快,而针叶树落叶难以分解的原因。

6 种典型林分类型中华北落叶松-白桦-黑桦混交林枯落物最大持水量最大,为 63.57 t/hm^2 ,而山杨-黑桦-蒙古栎混交林最小,为 24.33 t/hm^2 ,而其最大持水率却最大。6 种林分类型枯落物在最初浸泡的 1 h 内,枯落物持水量都迅速增加,以后随着浸泡时间的延长呈现不断增加的趋势,但增加速度逐渐放慢。其中不同层次枯落物的拦蓄能力不同,蒙古栎-黑桦混交林、华北落叶松-白桦-黑桦混交林是半分解层大于未分解层,其他混交林分是未分解层大于半分解层。华北落叶松-白桦-黑桦混交林的拦蓄能力最强,未分解层和半分解层总拦蓄能力为 48.60 t/hm^2 。综上所述,华北落叶松-白桦-黑桦混交林枯落物的水源涵养能力最强,山杨-黑桦-蒙古栎混交林最弱。对以上混交林林分枯落物水文效应的研究,对改善研究区森林涵养水源功能具有重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 曾大林. 对当代林业水土保持作用的几点认识[J]. 中国水土保持, 2000(6): 25-28.
- [2] 鲁绍伟, 王雄宾, 余新晓, 等. 封育对人工针叶林林下植物多样性恢复的影响[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 121-126.
- [3] 付晓燕, 江大勇, 郭万军, 等. 林龄、密度对华北落叶松人工林下生物多样性的影响[J]. 河北林果研究, 2009, 24(1): 33-37.
- [4] 刘广营, 陈志刚, 蔡胜国, 等. 针叶食叶害虫的无公害烟雾防治技术及效果分析[J]. 河北林果研究, 2008, 23(4): 399-401.
- [5] 钟德军. 木兰围场: 47 年森林火灾零记录[J]. 绿色中国, 2009(4): 30-31.
- [6] 林海礼, 袁位高. 钱塘江源头不同森林林分的水文功能研究[D]. 浙江临安: 浙江林学院, 2008.
- [7] 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.
- [8] 李红云, 杨吉华, 鲍玉海, 等. 山东省石灰岩山区灌木林枯落物持水性能研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 44-46.
- [9] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 亚高山针叶林人工恢复过程中凋落物动态分析[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1491-1496.
- [10] 饶良懿, 朱金兆, 毕华兴. 重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 33-37.
- [11] 胡淑萍, 余新晓, 岳永杰. 北京百花山森林枯落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 146-150.
- [12] 张振明, 余新晓, 牛健植, 等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 139-143.
- [13] 刘建立, 王彦辉, 管伟, 等. 宁南山区华北落叶松林枯落物水文特征研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(6): 20-23.

(上接第 191 页)

- [6] 杨龙. 梵净山黔稠林的结构与动态[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1983(3): 204-214.
- [7] Haenrich E F. Environmental fluctuations on southfacing slopes in the Santa Catalina Mountains of Arizona[J]. Ecology, 1976, 51: 959-974.
- [8] 祝廷成, 钟章成, 李建东. 植物生态学[M]. 重庆: 重庆高等教育出版社, 1989.
- [9] 杜道林, 刘玉成, 苏杰. 茂兰喀斯特山地广东松种群结构和动态初步研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(2): 160-166.
- [10] 梁士楚. 贵阳喀斯特山地云贵鹅耳枥种群动态研究[J]. 生态学报, 1992, 12(1): 53-60.
- [11] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 等. 退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究[J]. 林业科学, 2002, 38(1): 1-8.
- [12] 彭少麟. 森林群落波动性探讨[J]. 应用生态学报, 1993, 4(2): 120-125.
- [13] 彭少麟, 王伯荪. 鼎湖山森林群落的波动性研究[J]. 生态科学, 1988(1): 42-45.
- [14] 左小安, 赵学勇, 张铜会, 等. 中国北方农牧交错带植被动态研究进展[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 162-164.