

# 六盘山林下地被物分布特征

赵艳云<sup>1,2</sup>, 胡相明<sup>1</sup>, 程积民<sup>2</sup>, 万惠娥<sup>2</sup>

(1. 山东省滨州学院黄河三角洲生态环境研究中心, 山东 滨州 256600;

2. 中国科学院水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 对六盘山不同植被的地被物分布特征进行研究, 发现华北落叶松、白桦和油松林下草本植物物种丰富。辽东栎林枯落物叶片宽厚肥大, 分解后枯落物较为松软, 厚度最大, 枯落物总储量仅次于华北落叶松。不同森林植被枯落物中, 针叶枯落物所占比例最大。未分解层储量/厚度比值小于半分解层, 9 月份针叶林枯落物储量/厚度比值最大。天然次生林辽东栎林植被结构复杂, 尽管不断有枯落物补充, 枯落物却能迅速破碎分解, 一方面能够迅速补充土壤养分含量, 另一方面能够在地表形成更为疏松的枯落物层, 因此 7—9 月份辽东栎林枯落物变化较大。

**关键词:** 地被物; 分布特征; 枯落物; 六盘山

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)04-0060-06

中图分类号: S283

## Characteristics of Forest Floor in Liupan Mountain

ZHAO Yanyun<sup>1,2</sup>, HU Xiangming<sup>1</sup>, CHENG Jimin<sup>2</sup>, WAN Hui'e<sup>2</sup>

(1. Research Center for Environment in Yellow River Delta, Binzhou University,

Shandong 256600, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation,

Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The characteristics of forest floor in Liupan Mountain was studied. It was found that the herbage diversity in the forest of *Larix principis-rupprechtii*, *Betula platyphylla*, and *Pinus tabulaeformis* was abundant. Due to the fleshy leaves of *Quercus Liaotungensis* forest, litter layer was rather loose after litter was decomposed, so that litter depth was the greatest and litter biomass was lower than that in *Larix principis-rupprechtii* forest. Furthermore, the leaf litter was the main configuration. Ratio of litter biomass to litter depth in undecomposed layer was greater than that in half decomposed layer, while in September, the ratio in needle forest was the greatest. There was more complicated forest structure in *Quercus Liaotungensis* as litter can be supplied continuously but be decomposed rapidly. This supplied soil nutrients and at the same time, a looser litter layer formed in soil surface. The most evident change occurred in the litter of *Quercus Liaotungensis* forest.

**Keywords:** forest floor; distributing characteristic; litter; Liupan Mountain

在一个完整的森林生态系统中, 林下分布有茂密的草本植物层和枯落物地表毡层, 统称为地被物层。地被物层是连接有机物(生物)和无机物(土壤)的桥梁, 它不仅可引起林下降雨的再次分配, 增加土壤的入渗能力, 同时对于土壤肥力和疏松度具有改善作用, 是植物—土壤养分归还的惟一渠道, 影响着地表水文生态过程的发挥。草本植物是枯落物的主要来源之一, 决定着枯落物层的物种多样性和分解的速

度<sup>[1]</sup>。而枯落物的结构、积累方式等, 影响着系统水文生态功能的发挥<sup>[2-6]</sup>, 并与土表温湿度变化<sup>[7]</sup>, 林下种子发芽和幼苗更新等<sup>[8-9]</sup>都有密切关系。因此, 研究地被物的分布特征对于探讨林下草本层、枯落物层的地表生态水文效益具有重要意义。本文对宁夏六盘山地区主要植被类型的草本植物及枯落物分布特征进行了相应研究, 以期对深入探讨森林生态系统的生态效应和西北退化植被的恢复与重建提供借鉴。

收稿日期: 2007-12-18

修回日期: 2008-01-23

资助项目: 中国科学院水土保持研究所知识创新领域前沿项目“黄土区林草植被恢复机理研究”(SW04103); 国家重点基础研究发展计划 973 课题(2007CB106803); 国家“十一五”科技支撑课题(2006BAD09B08); 国家自然科学基金重点课题(30230290); 国家林业局荒漠化监测专项

作者简介: 赵艳云(1981—), 女(汉族), 山东省诸城县人, 教师, 主要从事生态水文和恢复植被研究。E-mail: yanyun0602@126.com。

通信作者: 程积民(1955—), 男(汉族), 陕西省蒲城县人, 研究员, 主要从事草地生态与恢复演替研究。E-mail: gyzcjm@ms.isw.c.ac.cn。

## 1 试验区自然概况

试验地位于宁夏泾源六盘山林区。地处东经  $106^{\circ}09' - 106^{\circ}30'$ , 北纬  $35^{\circ}15' - 35^{\circ}41'$ , 属大陆性季风气候, 冬季寒冷干燥, 夏季高温多雨。年日照时数  $2\ 100 \sim 2\ 400$  h; 年平均气温  $5.8\ ^{\circ}\text{C}$ ; 最热月(7月)平均温度  $17.4\ ^{\circ}\text{C}$ ; 最冷月(1月)平均温度为  $-7.0\ ^{\circ}\text{C}$ 。  $\geq 10\ ^{\circ}\text{C}$  积温  $1\ 846.6\ ^{\circ}\text{C}$ 。无霜期  $90 \sim 130$  d。年平均降水量  $676$  mm, 集中在夏秋季; 年平均蒸发量  $1\ 426$  mm, 年平均相对湿度  $68\%$ 。山体海拔高度一般为  $2\ 000$  m, 最高海拔可达  $2\ 900$  m, 坡度  $47^{\circ}$ <sup>[10]</sup>。长期以来, 经过长期的封山保护和抚育管理, 森林覆盖率达  $80\%$ , 乔木密度为  $10 \sim 16$  株/ $100\ \text{m}^2$ , 灌木密度为  $2 \sim 4$  种/ $4\ \text{m}^2$ , 草本植物的密度为  $9 \sim 36$  种/ $\text{m}^2$ 。

试验地主要次生乔木有辽东栎(*Quercus liaotungensis*), 白桦(*Betula platyphylla*), 山杨(*Populus davidiana*)等。随着近年人工林的发展, 华北落

叶松(*Larix principis-rupprechtii*)已占据优势。林中丛生灌木主要为野李(*Prunus salicina*)、毛榛(*Coryl usmandshu*)、翅刺峨眉蔷薇(*Rosa omeiensis*)、甘肃山楂(*Cralaegus kansuensis*)、秦岭小檗(*Berberis amurensis*)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)、球花荚蒾(*Viburnum glomeratum*)等, 草本植物有苔草(*Cyperaceae carex*)、艾蒿(*Artemisia artemisiarogyi*)、紫苞风毛菊(*Saussurea iodostegia*)、东方草莓(*Fragaria orientalia*)等。

## 2 试验方法及数据分析

### 2.1 试验方法

2006年5月份开始, 在六盘山地区选择典型植被类型, 包括华北落叶松、辽东栎、白桦、油松、野李灌丛和草甸, 进行草本植物和枯落物的相应研究, 并记录样地坡度、坡向、郁闭度、枝下高、林分密度等指标。试验样地基本情况见表1。

表1 试验样地基本情况

植被类型	海拔/ m	密度/ (株· $\text{hm}^{-2}$ )	坡向	坡度/ ( $^{\circ}$ )	树高/ m	胸径/ cm	覆盖度/ %	林龄/ a
华北落叶松	2 275	1 087	阳坡	40	12.1	12.6	62	22
	2 378	850	阴坡	46	11.8	15.2	50	22
白桦	2 383	625	阴坡	53	11.3	25.8	56	56
油松	2 141	1 250	阳坡	8	9.5	12.3	50	30
辽东栎	2 085	1 125	阳坡	8	12.5	21	80	60
野李	2 203	1 600	阳坡	41	2.6	—	60	—
草甸	2 104	—	阴坡	42	—	—	85	—

2.1.1 枯落物取样及厚度、储量和结构的测定 分别于2006年5月19日, 7月3日, 9月22日, 在每个样地中, 从坡下部往上每间隔  $6$  m 设置 1 个  $1\ \text{m} \times 1\ \text{m}$  的样方, 每一样方重复 3 次。在样方的对角线交点处用尺子测量枯落物未分解层、半分解层和完全分解层厚度, 同时, 随机选择 2 个  $20\ \text{cm} \times 20\ \text{cm}$  的小样方, 按未分解层和半分解层分别采样并将样品带回实验室, 利用烘干法( $85\ ^{\circ}\text{C}$ ,  $> 10$  h)测定枯落物储量。

在9月22日采样时, 增加 1 个相同面积的  $20\ \text{cm} \times 20\ \text{cm}$  小样方, 直接将枯落物原状装入塑料袋中带回实验室进行结构分析, 区分出枯叶和其它杂质含量, 并烘干称重, 方法同上。

2.1.2 林下草本植物调查 2006年8月, 在不同样地从下往上垂直选择 5 个  $1\ \text{m} \times 1\ \text{m}$  的样方, 测定草本植物(包括高度  $\leq 50$  cm 灌木)物种的株数、高度、覆盖度等, 并且收割带回实验室, 在  $80\ ^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干, 计算干生物量。

### 2.2 试验数据分析

2.2.1 草本植物特征 重要值是某个物种在群落中地位和作用的综合指标, 其计算公式为

重要值 = (相对密度 + 相对高度 + 相对盖度)

丰富度指数  $R = S$ 。其中,  $S$  为所在样方的物种数目。

群落多样性指数采用如下公式

① Shannon-Winner 指数<sup>[6-7]</sup>

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

② Simpson 指数  $D = 1 - \left( \sum_{i=1}^S P_i^2 \right)$

③ 均匀度指数运用 Pielou 指数

$$J = \left( - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \right) / \ln S$$

式中:  $P_i$  —— 种的重要值,  $S$  同上。

2.2.2 枯落物厚度、储量分析 对不同月份枯落物的厚度储量进行描述性统计, 由于无法确定枯落物的紧实度和孔隙度, 运用储量/厚度的方法估计枯落物的松紧度或疏松度。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 林下草本植物特征

林下草本植物分布是环境空间、时间、生物及随机因素综合作用的结果<sup>[7-10]</sup>,反映了林内生境的优劣<sup>[11]</sup>。而物种多样性体现了群落和生态系统的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度、生境差异等<sup>[12]</sup>。8月份,六盘山不同植被林下草本植物的物种多样性存在一定差异,白桦、油松和华北落叶松林地草本植物物种丰富, $H'$ ,  $D$ 多样性和物种均匀度较大,样地中出现的物种分别有

20, 36, 19种,且以禾本科植物冰草和大披针苔草占优势(表2-3)。

乔灌木郁闭度影响着林内光照和草本植物发育。野李灌木林内郁闭度大,林下草本覆盖度仅有2.7%,共出现4种草本植物;辽东栎林灌木分布丰富,郁闭度高达80%,草本植物覆盖度为1.6%,且以华北风毛菊为主。物种多样性反映了地上部的生产力水平<sup>[13]</sup>,除草甸外,华北落叶松林下草本植物具有较大的生物多样性,储量最大,为0.96 t/hm<sup>2</sup>,而油松林地由于草本植物覆盖度较小,储量比华北落叶松少0.36 t/hm<sup>2</sup>。

表2 林下草本植物分布特征及自然含水量

植被类型	自然含水量/ %	生物量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	覆盖度/ %	物种多样性		均匀度
				Shannon—Winner( $H'$ )	Simpson( $D$ )	
辽东栎	77.57	0.39	1.60	0.80	0.33	0.36
白桦	238.72	0.82	8.40	1.78	0.76	0.80
华北落叶松	221.56	0.96	16.80	1.57	0.72	0.81
油松	161.69	0.60	12.6	1.85	0.79	0.83
野李	162.67	0.36	2.7	0.35	0.20	0.39
草甸	115.32	3.93	72.6	1.79	0.77	0.84

#### 3.2 不同月份森林植被枯落物层厚度、储量情况

3.2.1 不同森林植被枯落物厚度 立地气候因素、林分因子、树种生物学特性决定了枯落物厚度状况<sup>[14]</sup>。六盘山天然次生林辽东栎林群落结构复杂,丛生有乔木山杨、白桦。同时,林下灌木种类繁多<sup>[15]</sup>,不同植物枯落物的积累,加之辽东栎林叶片个体大,导致厚度较大,7,9月份平均总厚度为6.56 cm。油松针叶凋落期为10月上旬到来年春天<sup>[16]</sup>,因此,试验期间不存在针叶凋落物的补充。此外,油松林地郁闭度小,灌草植物覆盖少,因此,枯落物平均总厚度最小,仅是辽东栎林地枯落物的25.8%。杨吉华等人<sup>[17]</sup>在对华北地区的森林植被枯落物进行研究时发现,阔叶林枯落物厚度大于针叶林,而本试验表明,9月份阔叶林白桦枯落物未分解层和半分解层厚度均小于华北落叶松,这可能与林内生境、林地演替阶段以及植被类型有关。随破碎化加剧,枯落物中难以分解的物质相对含量值增加,失重率降低,分解缓慢,枯落物不断累积<sup>[18]</sup>。表4表明,除油松外,7,9月份完全分解层平均厚度均大于未分解层和半分解层,同时,油松、李灌丛枯落物未分解层分别为0.62 cm, 1.17 cm,是其半分解层的112.7%, 123.2%,其它植被枯落物未分解层厚度均小于半分解层。

3.2.2 不同森林植被枯落物储量 在六盘山林区,5—7月份是植物的生长盛期,枯落物凋落稀少,华北

落叶松未分解层和半分解层不断分解,储量减少迅速,分别从8.1 t/hm<sup>2</sup>, 18.42 t/hm<sup>2</sup>减少到4.5 t/hm<sup>2</sup>, 13.5 t/hm<sup>2</sup>。7—9月份,由于草本植物枯萎以及部分灌木、乔木枯落物的凋落,补充了未分解层的储量,白桦、华北落叶松、草甸未分解层储量分别增加0.8 t/hm<sup>2</sup>, 0.4 t/hm<sup>2</sup>, 0.9 t/hm<sup>2</sup>。辽东栎林下灌木分布较多,枯落物物种多样性大,分解较快,7—9月份枯落物总储量减少8.5 t/hm<sup>2</sup>,远远大于针叶林枯落物,这可能与针叶枯落物角质层厚,分解速率低于阔叶枯落物有关<sup>[19]</sup>。同时,7,9月份华北落叶松枯落物未分解层和半分解层总储量最大,辽东栎林次之,(见表5)。厚度在一定程度上代表了枯落物的储量状况<sup>[20]</sup>。程积民等<sup>[21]</sup>在对黄土高原封禁草地枯落物进行研究时发现,无论植物生长初期和生长末期,枯落物厚度与储量之间呈指数关系且相关性显著。而本研究在对不同森林植被枯落物未分解层和半分解层的厚度与储量进行回归分析时发现,仅华北落叶松枯落物未分解层、半分解层厚度之和( $X$ , cm)与总储量( $Y$ , t/hm<sup>2</sup>)符合方程 $Y = 11.12 + X^{0.4867}$ ,并达极显著水平( $p < 0.0001$ ),这可能与植被枯落物的枝、叶结构组成、分解层次孔隙度以及山体海拔、坡度、坡向乃至动物和鸟类的取食、践踏等有关<sup>[22]</sup>,枯落物层分布是由其聚块性和随机性造成的,而同时其它植被枯落物取样少可能也是模拟曲线效果较差的原因。

表3 不同森林植被林下草本植物重要值

植物种名	辽东栎	白桦	华北落叶松	油松	野李	草甸
大披针苔草		0.231	0.139	0.086		0.134
东方草莓		0.021	0.042	0.093		
铁杆蒿			0.126	0.099	0.110	0.045
艾蒿			0.035			0.096
东亚唐松草			0.014	0.009		
铃铃香青		0.024	0.018	0.057		0.049
景天			0.008	0.012		0.005
鸡腿堇菜	0.037		0.028	0.035	0.051	
花葱	0.026	0.024	0.018			
柳叶风毛菊				0.004		
膜叶茜草		0.027	0.039		0.052	
野芝麻			0.033			
芫蒿			0.029	0.030		0.015
茜草		0.011	0.025	0.008		
紫花苜蓿			0.005			
繁缕			0.010			
冰草		0.076	0.186	0.295	0.787	0.077
华北凤毛菊	0.176	0.016	0.010	0.036		0.011
野草莓			0.058	0.096		0.005
箭竹		0.284	0.022			
山刺玫	0.063		0.013			
秦岭小檗	0.055		0.013			
紫苞风毛菊			0.041	0.010		
三尖草		0.031	0.004			
三脉紫菀	0.066	0.015	0.018	0.046		0.072
稠李			0.015			
细裂叶槭		0.024	0.006			
甘肃山楂	0.114		0.008			
毛蕊老鹳草				0.005		
鼠掌老鹳草				0.006	0.022	
山野豌豆			0.005	0.029		0.008
老鹳草		0.012	0.005			0.002
藜			0.004			
大火草		0.016	0.032			
红毛五加		0.041	0.004			
陇塞忍冬	0.097					
蓝萼香茶菜	0.055					
淫羊藿	0.072			0.006		
黄刺玫	0.082	0.031				
小叶忍冬	0.068					
球花荚迷	0.089					
臭蒿						0.307
花苜蓿				0.013		0.075
北柴胡						0.029
百里香				0.018		0.042
三裂绣线菊						
黄精		0.013				
单花芍药		0.029	0.005			
早开堇菜		0.028				
短茎马先蒿				0.010		
物数总数	13	20	36	19	4	18

表 4 不同植被枯落物厚度 cm

植被类型	7月			9月		
	未分解层	半分解层	全分解层	未分解层	半分解层	全分解层
辽东栎	2.03	1.97	3.80	0.99	1.47	2.85
白桦	1.02	1.67	2.29	0.53	0.87	2.24
华北落叶松	1.08	0.83	2.28	0.83	1.43	1.90
油松	0.65	0.81	0.80	0.58	0.28	0.27
野李	0.97	0.63	1.31	1.37	1.26	1.11
草甸	0.25	0.33	0.61	0.29	0.25	0.69

表 5 不同月份枯落物储量 t/hm<sup>2</sup>

植被类型	7月			9月		
	未分解层	半分解层	全分解层	未分解层	半分解层	全分解层
辽东栎	—	—	7.0	10.2	3.2	5.5
白桦	—	—	1.8	3.3	2.6	4.9
华北落叶松	8.10	18.42	4.5	13.5	5.2	10.0
油松	—	—	6.8	9.9	3.5	5.5
野李	—	—	3.1	5.8	1.5	2.8
草甸	—	—	1.1	2.0	1.5	2.4

3.2.3 枯落物层结构含量 对不同森林植被枯落物结构进行分类,除白桦叶枯落物所占比重为 82% 外,其它植被类型叶枯落物所占的比重均在 90% 以上,这表明,在所有的植被类型中,叶枯落物所占的比重最大,与其它学者的研究结果相一致<sup>[4,23]</sup>。其它结构所占的比重以白桦最大,为 18% (图 1),其中主要为枝条枯落物。

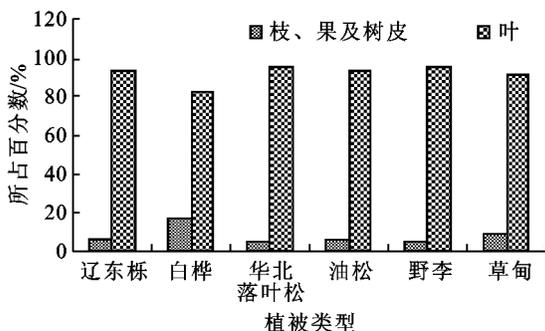


图 1 不同植被枯落物组成所占的百分比

### 3.3 不同森林植被枯落物储量/厚度比值

受地形、分解状况、动物、微生物和林内生境影响,在植被枯落物累积过程中,枯落物存在许多孔隙。本文应用枯落物储量/厚度比值表征枯落物的孔隙状况。研究发现,未分解层散落在地表,受地形乃至动物践踏、取食的影响容易滑散、聚积,而半分解层表面一般有未分解层覆盖,受表层人为及环境因素影响较

小,同时较未分解层破碎化大,容易附着在地表。因此,未分解层储量/厚度值普遍小于半分解层。针叶林枯落物较阔叶累积细密、角质层厚、分解缓慢,9月份枯落物储量/厚度值最大。华北落叶松和油松枯落物平均紧实度分别为 8.7 t/(hm<sup>2</sup>·cm) 和 14.5 t/(hm<sup>2</sup>·cm),是其它植被枯落物储量/厚度值的 1.11~2.18 倍和 1.85~3.58 倍(表 6)。

表 6 不同植被类型枯落物储量年度比值 t/(hm<sup>2</sup>·cm)

植被类型	7月		9月	
	未分解层	半分解层	未分解层	半分解层
辽东栎林	3.5	5.2	4.1	4.0
白桦	1.7	2.5	5.2	6.2
华北落叶松	4.1	7.6	7.1	10.3
油松	10.7	11.6	6.1	22.9
野李	3.1	9.2	1.4	9.9
草甸	6.0	8.7	5.2	10.5

## 4 结论

森林生态系统中,除主要树种外,林下草本植被分布不仅反映了林内生境状况,同时也代表了枯落物的物种丰富度。研究过程中发现,在六盘山林地中,华北落叶松人工林林相整齐,林下草本植物物种丰富,储量有 0.96 t/hm<sup>2</sup>,而辽东栎林林下灌木分布较多,乔灌木郁闭度大,草本植物分布较少,包括 ≤50 cm 高的小灌木在内,其储量仅有 0.39 t/hm<sup>2</sup>。而地表枯落物层厚度和储量因主要物种的凋落节律、土壤动物、微生物分解等作用的不同而发生相应变化,与林下草本植物的物种多样性相关不大。同时,辽东栎林枯落物叶片特性决定了枯落物厚度最大,油松林地枯落物厚度最小,华北落叶松枯落物累积细密,同时分解相对缓慢,总储量最大,且不同森林植被枯落物结构以叶枯落物为主。由于分解程度不一,枯落物层植被结构的物种多样性难以辨认,本研究没有做进一步的探讨。枯落物结构、含量和分解程度不同。枯落物的孔隙度不同。本文运用储量/厚度比值来表述枯落物孔隙度的大小,比值越小,则枯落物的孔隙度越大。研究发现,未分解层储量/厚度比值小于半分解层,9月份针叶林枯落物储量/厚度比值最大。

在对枯落物分解进行研究时,为便于分析,大多学者应用网袋法研究枯落物的分解速率和养分释放格局<sup>[24-25]</sup>,但在野外实地条件下,枯落物的积累是一个复杂的过程,孔隙状况制约着枯落物层的通气状况、生物活动以及枯落物分解,同时地上植被生长节律的多样性,使得枯落物的分布尤为复杂,本文发现,7—9月份,辽东栎林枯落物不断分解,未分解层和半

分解层总储量变化最大,这说明在六盘山林区,尽管天然次生林辽东栎林植被结构复杂,不断有枯落物的补充,枯落物却能迅速破碎分解,一方面能够迅速补充土壤养分含量,另一方面能够在地表形成更为疏松的枯落物层,不仅较其它植被在维持地力和保持生态系统的持续稳定上发挥了更重要的作用,而且可能对林地水文功能的发挥、幼苗的更新以及土壤生物活动等都具有促进作用。至于其枯落物不同结构的养分释放与归还,水文特征的大小等还有待进一步研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 武海涛,吕宪国,杨青.湿地草本植物枯落物分解的影响因素[J].生态学杂志,2006,25(11):1405—1411.
- [ 2 ] 张洪江,程金花,余新晓,等.贡嘎山冷杉纯林枯落物储量及其持水特性[J].林业科学,2003,39(5):147—151.
- [ 3 ] 程金花,张洪江,余新晓,等.贡嘎山冷杉纯林地被物及土壤持水特性[J].北京林业大学学报,2002,24(3):45—49.
- [ 4 ] 薛立,何跃君,屈明,等.华南典型人工林凋落物的持水特性[J].植物生态学报,2005,29(3):415—421.
- [ 5 ] 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的研究[J].水土保持学报,2005,19(1):44—48.
- [ 6 ] Wei J, Wu G. Hydro ecological effects of artificial *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Hippophae rhamnoides* woods in the low mountainous upland of Western Liaoning Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2087—2092.
- [ 7 ] Schaap M G, Bouten W. Forest floor evaporation in a dense Douglas fir stand[J]. Journal of Hydrology, 1997, 193: 97—113.
- [ 8 ] 班勇,徐化成.兴安落叶松老龄林分幼苗天然更新及微生境特点[J].林业科学研究,1995,8(6):660—664.
- [ 9 ] Li QK, Ma K P. Factors affecting establishment of *Quercus liaotungensis* Koidz. under mature mixed oak forest overstory and in shrubland[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 176: 133—146.
- [ 10 ] 李应武,侯惠敏,苏炳勋,等.六盘山自然保护区科学考察[M].银川:宁夏人民出版社,1988:1—7.
- [ 11 ] 胡相明,程积民,万惠娥.黄土丘陵区人工林下草本层植物的结构特征[J].水土保持通报,2006,26(3):41—45.
- [ 12 ] 苏里,许科锦.广西玉林市4种人工林林下植物物种多样性研究[J].广西科学,2006,13(4):316—320.
- [ 13 ] 王长庭,龙瑞军,王启基,等.高寒草甸不同草地群落物种多样性与生产力关系研究[J].生态学杂志,2005,24(5):483—487.
- [ 14 ] 杨澄,刘建军,张万庆.桥山主要森林类型枯落物持水性能及养分含量测定初报[J].西北林学院学报,1996,11(4):7—11.
- [ 15 ] 程积民,邹厚远.六盘山森林生物量与生态水文作用研究[J].北京林业大学学报,1990,12(1):55—63.
- [ 16 ] 张冀,汪有科,吴钦孝.黄土高原几种主要森林类型的凋落及其过程比较研究[J].水土保持学报,2001,15(5):91—94.
- [ 17 ] 杨吉华,张永涛,李红云,等.不同林分枯落物的持水性能及对表层土壤理化性状的影响[J].水土保持学报,2003,17(2):141—144.
- [ 18 ] Ashton E C, Hogarth P J, Ormond R. Breakdown of mangrove leaf litter in a managed mangrove forest in Peninsular Malaysia[J]. Hydrobiologia, 1999, 413: 77—88.
- [ 19 ] 俞益武,吴家森,姜培坤,等.湖州市不同森林植被枯落物营养元素分析[J].浙江林学院学报,2002,19(2):153—156.
- [ 20 ] 吴钦孝,刘向东.陕北黄土丘陵区油松林枯枝落叶层蓄积量及其动态变化[J].林业科学,1993,29(1):63—66.
- [ 21 ] 程积民,万惠娥,胡相明,等.半干旱区封禁草地凋落物的积累与分解[J].生态学报,2006,26(4):1107—1212.
- [ 22 ] 吕明和,周国逸,张德.鼎湖山黄果厚壳桂粗死木质残体的分解[J].广西植物,2006,26(5):523—529.
- [ 23 ] 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.
- [ 24 ] 王瑾,黄建辉.暖温带地区主要树种叶片凋落物分解过程中主要元素释放的比较[J].植物生态学报,2001,25(3):375—380.
- [ 25 ] Palma R M, Prause J, Fontanive A V, et al. Litter fall and litter decomposition in a forest of the Parque Chaqueno Argentino[J]. Forest Ecology and Management, 1998, 106: 205—210.