

子午岭林区辽东栎、油松、柴松群落特征及其 枯枝落叶层水文效应研究

胡秀娟¹, 程积民², 万惠娥²

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌, 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌, 712100)

摘要: 通过野外调查和室内分析相结合的方法, 对子午岭林区辽东栎、油松、柴松 3 种群落的特征及其枯枝落叶层水文效应进行了研究, 调查结果表明: (1) 子午岭辽东栎林除局部林是与其它林木混交外, 一般都是纯林; 油松林和柴松林常形成以该种群为主的单优群落, 但混有少量阔叶树种。(2) 子午岭林区油松林物种多样性指数最大, 而柴松林物种不丰富; 乔木层、灌木层、草本层这 3 者的多样性指数呈现出由低到高的特点。(3) 子午岭辽东栎林、油松林、柴松林的枯落物蓄积量分别为 32.65、48.95 和 47.30 t/hm²。(4) 辽东栎、油松、柴松枯枝落叶最大拦蓄量分别为 50.93、70.15 和 61.68 t/hm²。

关键词: 子午岭林区; 群落特征; 枯枝落叶层; 水文效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0046-05

中图分类号: S718.54

Community Characteristics and Litter Hydrological Effects of *Quercus liaotungensis*, *Pinus Tabulaeformis*, and *Pinus Tabulaeformis* f. *Shekannensis* Forests in Ziwuling Region

HU Xiujuan¹, CHENG Jimin², WAN Hui'e²

(1. College of Forestry, College of Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the investigation and analysis of plot data, the community characteristics and litter hydrological effects of *Quercus liaotungensis*, *Pinus tabulaeformis*, and *Pinus tabulaeformis* f. *shekannensis* forests in Ziwuling region were studied preliminarily. Results from the study show that (1) the *Quercus liaotungensis* forest in Ziwuling Mountains is the single-priority community in general. The *Pinus tabulaeformis* forest and *Pinus tabulaeformis* f. *shekannensis* forest in Ziwuling Mountains are the single-priority community mixing with a small number of broad leaved species. (2) The *Pinus tabulaeformis* species are abundant and evenly distributed, *Pinus tabulaeformis* f. *shekannensis* forest has the smallest species, and the plant diversity indexes of tree layer, shrub layer, and herbage layer are in the order from low to high. (3) The litter of *Quercus liaotungensis* forest accounted to 32.65 t/hm²; the litter of *Pinus tabulaeformis* forest, 48.95 t/hm²; and the litter of *Pinus tabulaeformis* f. *shekannensis* forest, 47.30 t/hm². (4) The maximum water holding capabilities of the *Quercus liaotungensis* litter, *Pinus tabulaeformis* litter, and *Pinus tabulaeformis* f. *shekannensis* litter are 50.93, 70.15, and 61.68 t/hm², respectively.

Keywords: Ziwuling forest region; community characteristic; litter layer; hydrological effect

植物群落特征可以反映出植物与植物之间、植物与环境之间的相互关系, 是植物对生存环境长期适应和对环境长期作用的综合体现^[1], 其性质取决于植物在时间和空间上的配置情况, 即植物群落的物种组成结构、群落的垂直结构和水平结构。

研究群落特征对阐明森林生态系统的形成和维持具有极为重要的意义^[2-3], 同时对人工恢复模式的

构建和结构调控也具有指导意义。

枯落物作为森林生态环境中重要组成部分, 在水分调节过程中起着重要的中转站作用^[4-5]。当其吸水达到饱和时, 水分在自身重力作用下, 缓缓下渗补给土壤; 另外, 枯枝落叶通过分解改善土壤结构, 使土壤入渗能力增强, 提高了森林土壤转化降水的能力。同时, 枯枝落叶层作为森林土壤的覆盖层, 阻断了土壤

收稿日期: 2009-12-19

修回日期: 2010-02-04

资助项目: 国家重点基础研究(973)发展计划项目“生物要素的生物地球化学过程及其区域响应”(2007CB106803); 国家自然科学基金重点项目(40730631); 国家科技支撑课题(2006BAD09B08)

作者简介: 胡秀娟(1986—), 女(汉族), 山西省祁县人, 硕士研究生, 主要从事恢复生态学方面的研究。E-mail: huxiujuan520@163.com。

通信作者: 程积民(1955—), 男(汉族), 陕西省蒲城县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事恢复生态学研究。E-mail: gyzcjm@ms.iswc.ac.cn。

毛管孔隙的直接相连,抑制土壤水分蒸发,提高了土壤含水率,起到蓄水、保水、保土作用。

辽东栎 (*Quercus liaotungensis*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、柴松 (*Pinus tabulaeformis* f. *shek-annensis*) 是子午岭地区主要的优势森林树种,对当地生态环境的影响有着举足轻重的作用,已有学者^[6-7]对黄土高原子午岭林区不同演替阶段3种演替森林群落山杨林、油松林与辽东栎林的群落结构特征、黄土高原子午岭天然柴松林种群结构与动态特征进行了研究。本研究对子午岭林区辽东栎、油松、柴松群落特征其枯枝落叶层水文效应进行了相应研究,以期对深入探讨森林生态系统的生态效应和子午岭林区植被合理保护和经营提供参考。

1 研究区概况

子午岭林区位于黄土高原中部,分布于陕西和甘肃两省交界处,地理位置在 $107^{\circ}59' - 108^{\circ}43' E$ 和 $35^{\circ}16' - 36^{\circ}39' N$ 。属典型黄土丘陵沟壑地形,黄土厚度一般 50—100 m,其下为厚 80—100 m 的红土,在深切的沟谷及河谷能看到基岩出露^[7-8],地势变化复杂,海拔为 1 100~1 600 m。该区处于森林草原和半干旱草原的过渡区,气候温和湿润,其北小半部属陇中北部温带半干旱气候,南大半部属陇中南部温带半湿润气候^[9-10]。年平均气温 $7.4^{\circ}C \sim 8.5^{\circ}C$,极端最低温度为 $-27.7^{\circ}C$,极端最高气温为 $36.7^{\circ}C$, $\geq 10^{\circ}C$ 的活动积温 $2 671.0^{\circ}C$,年无霜期 110~150 d,年降水量 500~620 mm,其中 6—8 月份降水量约占到全年降水量的 60%,年平均相对湿度 63%~68%^[11],土壤为发育于原生(山坡)或次生(沟谷)黄土,以石灰性褐土为主^[12]。分布于子午岭的森林大部分为天然次生林,森林群落建群种油松、辽东栎 (*Quercus liaotungensis*)、山杨 (*Populus davidiana*)、白桦 (*Betula platyphylla*) 等主要分布于平缓湿润的阳坡和半阴坡。在干旱陡峭的阳坡和半阳坡上有散生的杜梨 (*Pyrus betulifolia*)、山杏 (*Armeniaca sibirica*)、白榆 (*Ulmus pumila*) 等。灌木主要优势种有多花胡枝子 (*Lespedeza loribunda*) 和土庄绣线菊 (*Spiraea pubescens*) 等。常见种有黄蔷薇 (*Rosa hugonis*) 和二色胡枝子 (*Lespedeza bicolor*) 等。草本层的优势种有细叶裂蓬蒿 (*Artemisia antolinifolia*) 和华北米蒿 (*Artemisia giraldii*) 等。

2 研究方法

2.1 群落调查

经充分踏查后,在子午岭区辽东栎、油松、柴松占据主体地位的群落中进行标准地的设置。在群落内

选择具有代表性的地段进行取样,进行标准地调查。标准地面积大小视该群落的最小表现面积而定,一般为 $400 m^2$,但也可以根据研究目的在群落内加大其面积。本次实验标准地面积为 $400 m^2$: 乔木层 $20 m \times 20 m$,记录样地内所有的乔木;在乔木样地的 4 个角上,沿对角线 1.4 m 处,分别作 4 个 $5 m \times 5 m$ 的样方,进行灌木调查;灌木样方内,在每个最外部的灌木样方的角上,分别作 4 个 $1 m \times 1 m$ 的小样方用于草本的调查。具体标准地的设置如表 1 所示。

表 1 子午岭林区标准地特征

群落类型	位置	海拔/m	坡度/(°)	坡向	坡位
辽东栎林	连家砭林场	1 320~1 650	10~35	All	L, M, U
油松林	连家砭林场	1 160~1 600	15~35	All	L, M, U
柴松林	大麦秸沟	1 300~1 500	30~40	All	L, M, U

注: All 代表各种坡向; L, M 和 U 分别代表下坡位、中坡位和上坡位。

(1) 每木检尺。从标准地一端开始,由坡上方沿等高线按“S”形路线向坡下方进行检尺,防止重测和漏测。目测林分平均直径,确定起测径阶及径阶阶距,进行测量,按径阶进行记载,同时采用实测法对树高进行测定。记录其胸径、树高、地径、枝下高、冠幅和生长状况等内容;每木检尺结束后按公式(1)计算林分平均直径:

$$D_g = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i d_i^2} \quad (1)$$

式中: k ——径阶个数 ($i = 1, 2, \dots, k$); d_i ——第 i 径阶中值; n_i ——第 i 径阶株数; n ——总株数 ($n = \sum_{i=1}^k n_i$)。

(2) 生境。包括气象、地形地貌、人为干扰强度、海拔、坡位、坡向、土壤;物种丰富度以样地内出现的物种数来衡量,用 Margalef 指数来衡量;物种多样性用 Shannon-Wiener 指数来表示和衡量;群落的均匀度表征了群落中各个种的多度或重要值的均匀程度,用 Pielou 指数来表示^[13-14]。

(3) 群落学特征。包括群落组成、高度、盖度、郁闭度等;在灌木样方和草本样方中分别调查植物的种类、高度、冠幅、基径、生活力、多度、盖度和物候期等内容。

2.2 枯落物调查

(1) 枯落物蓄积量的测定。在标准地内随机设置 5 个 $0.5 m \times 0.5 m$ 的小样方,随机选 10 个点测定枯枝落叶层厚度,取均值作为最后总厚度,采集样品,带回室内称重,推算单位面积的枯落物蓄积量,然后在 $85^{\circ}C$ 下烘干,测定其干重,推算其(自然)含水率。

(2) 枯落物持水能力的测定。本试验采用室内

浸泡法进行测定。将枯落物样品分别装入尼龙袋,在清水中浸泡 24 h,然后称重,计算其最大持水率。枯落物层的最大拦蓄率(t/hm^2)采用最大持水率扣除枯落物层本身含水量后与枯落物蓄积量乘积进行计算。据雷瑞德^[20]的研究,当降雨量达到 20~30 mm 以后,不论是哪种植被类型的枯落物层,其含水量高低如何,它的实际持水率均约为最大持水率的 85%左右,所以取调整系数 0.85 来估算枯落物层的有效拦蓄量(公式 2)

$$W = (0.85R_m - R_o)M \quad (2)$$

式中: W ——有效拦蓄量(t/hm^2); M ——枯落物蓄积量(t/hm^2)^[15]; R_o ——含水率(%); R_m ——最大持水率(%)。

表 2 子午岭林区 3 种林型植物物种组成

林型	乔木层	灌木层	草本层
辽东栎林	山杨、白桦、油松、茶条槭等。	黄刺玫、灰栒子、忍冬、卫矛、绣线菊为主,伴有胡颓子、胡枝子、虎榛子等。	披针苔草、茜草、野豌豆、铁杆蒿、白头翁、本氏针茅、穿龙薯蓣等。
油松林	山杨、辽东栎、漆树、杜梨。	胡枝子、忍冬、黄刺玫、樱草蔷薇、卫矛、毛樱桃、荚蒾、土庄绣线菊等。	披针苔草、蒿类、茜草、野豌豆、瓣蕊唐松草、山酢酱草、卷叶黄精、升麻等。
柴松林	辽东栎、山杨、茶条槭、漆树。	胡枝子、绣线菊、黄栌,并伴有黄蔷薇、刚毛忍冬、虎榛子、水栒子等。	大披针苔、蒿类、异叶败酱、野菊等。

注: 山杨(*P. davidiana*), 白桦(*Betula platyphylla*), 茶条槭(*Acer ginnala*), 漆树(*Toxicodendron*), 杜梨(*P. betulaeifolia*), 黄刺玫(*Rosa xanthina f. normalis*), 灰栒子(*Cotoneaster acutifolius*), 忍冬(*Lonicera*), 卫矛(*Euonymus alatus*), 绣线菊(*Spiraea fritschiana*), 胡颓子(*Elaeagnus pungens*), 胡枝子(*Lespedeza bicolor*), 虎榛子(*Ostryopsis davidiana*), 樱草蔷薇(*Rosaprimula*), 毛樱桃(*Prunus*), 荚蒾(*Viburnum*), 土庄绣线菊(*Spiraeapubescentis*), 黄栌(*Berberis brachypoxa*), 黄蔷薇(*Rosa hugonis*), 刚毛忍冬(*Lonicera hispida*), 水栒子(*Cotoneaster multiflorus*), 披针苔草(*Carex lanceolata*), 蒿类(*Artemisia*), 茜草(*Rubiacor difolia*), 野豌豆(*Vicia sepium*), 铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*), 白头翁(*Pulsatilla chinensis*), 本氏针茅(*Stipa bungeana*), 穿龙薯蓣(*Dioscorea nipponica*), 瓣蕊唐松草(*Thalictrum petalodeum*), 山酢酱草(*Oxalis griffithii*), 卷叶黄精(*Polygonatum cirrhifolium*), 升麻(*Cimicifuga foetida*), 异叶败酱(*Patrinia heterophylla*), 野菊(*Dedranthema indicum*)。

表 3 子午岭林区 3 种林型层次结构概况

结构指标	辽东栎林	油松林	柴松林
乔木郁闭度	0.45~0.50	0.61~0.72	0.56~0.65
乔木平均高度/m	11.31	7.40	12.30
乔木平均胸径/cm	21.06	11.49	17.16
灌木高度/m	0.6	1.3	0.5~1.6
灌木盖度/%	12~25	11~29	36~60
草本盖度/%	34.6	42.6	10~26

3 结果与分析

3.1 群落基本结构特征

辽东栎林为子午岭林区气候类型的演替顶极群落,常分布在阴坡、半阴坡、半阳坡和梁峁缓坡,其林内组成,除局部林是与其它林木混交外,一般都是纯林,灌木的生长由于受高大乔木开阔树冠和庞大根系的影响,分布零散,生长低矮。油松主要分布在子午岭林区沟谷台地、阴坡、半阴半阳坡以及平缓的梁脊上,常形成以该种群为主的单优群落,主林层主要由油松占据,但混有少量阔叶树种。柴松多生长于子午岭林区西坡、东坡和北坡,多以纯林分布为主,同时在林缘地带常伴有阔叶树种。具体特征见表 2—3。

3.2 植物多样性特征

物种多样性是一个群落结构和功能复杂性的度量,表征着生物群落和生态系统的结构复杂性,体现了群落的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异,是揭示植被组织水平的生态学基础。为此本试验采用物种丰富度指数(Margalef 指数)、多样性指数(Shannon—Wiener 指数)和均匀度指数(Pielou 指数)这 3 类指标对 3 种植被类型多样性特性进行了研究(图 1)。

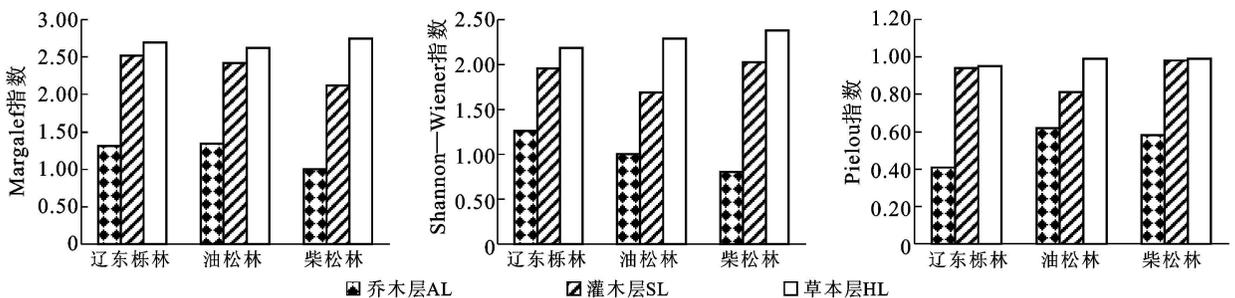


图 1 子午岭林区 3 种林型植物多样性特征

在3种林型的乔木层中,油松林的物种丰富度指数(Margalef指数)与植物均匀度指数(Pielou指数)均是最大的,而柴松林的物种丰富度指数(Margalef指数)、多样性指数(Shannon—Wiener指数)均是最小的。3种林型乔木层、灌木层及草本层中Shannon—Wiener指数变化幅度较大,对多样性的变化敏感。其中辽东栎林乔木层Shannon—Wiener多样性最高为1.31,柴松林乔木层Shannon—Wiener多样性最低为0.80。对基于Shannon—Wiener多样性指数的Pielou均匀度指数来说,3种林型乔木层、灌木层及草本层的均匀度变化幅度不大。

总体上来看,在子午岭林区,辽东栎林、油松林、柴松林这3种林型中,辽东栎林和油松林的物种较为丰富且分布均匀,多样性大,而柴松林乔木层多样性较差,物种不丰富。3种林型乔木层物种丰富度指数与植物物种多样性指数低于灌木层,而灌木层又低于草本层,即草本层>灌木层>乔木层,其均匀度变化

与多样性变化一致,这与汪超、王孝安等^[14]对黄土高原马栏林区主要森林群落物种多样性研究结果一致,这是由于在所调查区域,油松林为天然林,辽东栎林在该区是群落演替的顶级阶段,而柴松林为人工林,所以群落中物种的丰富度逐渐降低,群落优势种类型也在逐渐减少,因而群落的多样性指数与均匀度指数也趋于降低。

3.3 水文效应分析

枯落物层作为森林生态环境中重要的组成部分、植被水文作用的第2个功能层^[15],在截持降雨^[16]、拦蓄地表径流^[17-18]、减少土壤水分蒸发^[19]和增加土壤水份入渗,改变土壤结构等方面具有重要作用。由于不同植被类型和不同植物种类间枯落物的特性不同,其水文效应也存在明显差别。所以于2008年10月底对辽东栎林、油松林和柴松林的枯枝落叶层进行含水率、最大持水率等项目进行了测定,用于比较不同群落间水文效应的差异,结果如表4所示。

表4 枯枝落叶层的特征

林型	厚度/cm	重量/ (0.0025 g·cm ⁻²)	蓄积量/ (t·hm ⁻²)	含水率/ %	最大持水率/ %	最大拦蓄量/ (t·hm ⁻²)	有效拦蓄量/ (t·hm ⁻²)
辽东栎林	4.7	131.8	32.65	105.5	261.5	50.93	38.13
油松林	4.8	195.8	48.95	125.9	269.2	70.15	50.38
柴松林	6.3	189.2	47.30	121.5	251.9	61.68	43.81

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^[22],辽东栎为阔叶树种,其凋落物层(L层)、半腐层(F层)比例小,细菌和软体动物多,其死地被物为中性或微酸性反应,分解迅速,厚度虽与油松相差不大,但在重量及蓄积量上却比油松少很多,相差值分别为64(0.0025 g/m²)和16.3 t/hm²。油松和柴松都油松属于针叶树种,其死亡地被物呈酸性反应,分解缓慢,但油松生长在阳坡,比生长在阴坡或半阴坡的柴松土壤温度较高,蒸发较强,枯枝落叶的分解速度较快,所以油松林枯枝落叶层的厚度比柴松林薄1.5 cm,但由于油松枯枝落叶重量大于柴松,所以蓄积量却是油松比柴松多出1.65 t/hm²。

为估算林中枯枝落叶层吸水保水量,对最大拦蓄量和有效拦蓄量进行了计算。最大拦蓄量代表最大可能的降雨截留量,是扣除枯落物层本身含水量的持水容量以外的持水能力大小。结果表明,辽东栎枯枝落叶的含水率为105.5%,最大拦蓄量为50.93 t/hm²;油松的含水率为125.9%,最大拦蓄量为70.15 t/hm²;柴松的含水率为121.5%,最大拦蓄量为61.68 t/hm²。但是,最大拦蓄量不能反映枯落物层对实际降水的拦蓄情况,因此需要计算枯落物的有

效拦蓄量。本试验根据雷瑞德^[18]的研究结果估算枯落物层的有效拦蓄量。其中,辽东栎枯枝落有效拦蓄量为38.13 t/hm²;油松有效拦蓄量为50.38 t/hm²;柴松有效拦蓄量为43.81 t/hm²。由于在降雨量较小时,截留机会、时间等也较小,所以实际拦蓄量会低于有效拦蓄量。

4 结论

(1) 辽东栎林为子午岭林区气候类型的演替顶级群落,其林内组成,除局部林与其它林木混交外,一般都是纯林^[20]。灌木以黄刺玫、灰栒子、忍冬、卫矛、绣线菊为主,由于受高大乔木开阔树冠和庞大根系的影响,分布零散,生长低矮,其林下灌木的盖度为12%~25%,平均高度为0.6 m。草本层主要有披针苔草、铁杆蒿、本氏针茅等,草本层平均盖度34.6%,高度介于12~24 cm。

油松林常形成以该种群为主的单优群落,主林层主要由油松占据,但混有少量阔叶树种,如山杨、辽东栎等,灌木层主要种类为胡枝子、忍冬、黄刺玫等。灌木层的平均盖度为11%~29%,平均高度为1.3 m。草本层主要有披针苔草、蒿类、茜草等。草本层平均

盖度 42.6%, 高度介于 9~26 cm。

柴松林多以纯林分布为主, 主要伴生种以辽东栎、山杨、为主, 常分布在林缘周围。灌木层优势种为胡枝子、绣线菊、黄栌盖度在 36%~60% 之间, 平均株高在 0.5~1.6 m, 约 20 种。草本层主要由大披针苔、蒿类、异叶败酱等组成, 盖度在 10%~26% 之间, 平均株高为 10~28 cm, 约 40 种。

(2) 子午岭林区, 辽东栎林、油松林、柴松林这 3 种林型中, 油松林的物种丰富度指数(Margalef 指数)与植物均匀度指数(Pielou 指数)均是最大的, 而柴松林乔木层多样性较差, 物种不丰富。3 种林型乔木层物种丰富度指数与植物物种多样性指数低于灌木层, 而灌木层又低于草本层, 即草本层 > 灌木层 > 乔木层, 其均匀度变化与多样性变化一致。

(3) 子午岭不同森林类型下的枯枝落叶层厚度及蓄积量均有所差异: 辽东栎林枯落物厚度为 4.7 cm, 蓄积量为 32.65 t/hm²; 油松林枯落物厚度为 4.8 cm, 蓄积量为 48.95 t/hm²; 柴松林枯落物厚度为 6.3 cm, 蓄积量为 47.30 t/hm²。

(4) 枯枝落叶层可吸收大量的降水, 减少地表径流, 形成森林水文效应的第二个活动层。辽东栎枯枝落叶的含水率为 105.5%, 最大拦蓄量为 50.93 t/hm²; 油松的含水率为 125.9%, 最大拦蓄量为 70.15 t/hm²; 柴松的含水率为 121.5%, 最大拦蓄量为 61.68 t/hm²。

油松林作为子午岭林区优势群落, 在生物多样性、涵养水源方面均体现出其优势, 辽东栎林作为子午岭林区气候类型的演替顶极群落, 在生物多样性方面优于柴松林, 但其林下灌木由于受高大乔木开阔树冠和庞大根系的影响, 分布零散, 生长低矮, 且枯落物层有效拦蓄量也逊色于柴松林。森林枯枝落叶层不仅能减少降水所引起的地表径流和土壤侵蚀, 而且能促使降水逐渐渗入土壤, 起到森林涵养水源的作用。因此在经营森林时, 应采取措施保护好林内的枯枝落叶层, 在林木密度大, 生长年限长, 枯枝落叶层积累过厚, 分解不良的林分中, 要合理抚育间伐, 促进其分解, 以提高林地土壤肥力和林分的生产力, 并充分发挥森林涵养水源的作用。

[参 考 文 献]

- [1] 李博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 37-42.
[2] 林鹏. 植物群落学[M]. 上海: 上海科技出版社, 1986: 26-32.

- [3] 李品荣, 孟广涛, 方向京. 滇南岩溶山地 4 种人工林下植物群落学特征比较[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(2): 7-12.
[4] 刘霞, 车克钧. 祁连山青海云杉林枯落物层水文效应分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(4): 434-438.
[5] 赵艳云, 程积民, 万惠娥, 等. 林地枯落物层水文特征研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 130-134.
[6] 李裕元, 邵明安. 黄土高原子午岭森林群落演替与结构特征演化[J]. 西北植物学报, 2003, 23(5): 693-699.
[7] 王凯博, 上官周平. 黄土高原子午岭天然柴松林种群结构与动态研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(12): 2553-2559.
[8] 李裕元, 郑纪勇, 邵明安. 子午岭天然林与人工林群落特征比较研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(12): 2447-2456.
[9] 王彬, 王辉, 杨君珑. 子午岭油松林更新特征研究[J]. 西北林学院学报 2009, 24(5): 58-60.
[10] 陈昌笃. 陕甘边境子午岭梢林区的植被及其在水土保持上的作用[J]. 植物生态学与地植物学资料丛刊, 1958(2): 152-223.
[11] 张平仓, 郑粉莉. 子午岭地区自然区域特征及其与土壤侵蚀的关系[J]. 中国科学院、水利部水土保持研究所集刊, 1993(17): 11-16.
[12] 程积民, 万惠娥. 中国黄土高原植被建设与水土保持[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002: 96-97.
[13] 杨澄. 桥山天然栎林树种多样性及生态位分析[J]. 西北林学院学报, 1998, 13(4): 28-32.
[14] 汪超, 王孝安, 郭华, 等. 黄土高原马栏林区主要森林群落物种多样性研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(4): 791-797.
[15] 高人, 周广柱. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型枯落物层持水性能研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, 33(2): 115-118.
[16] 程积民, 李香兰. 子午岭植被类型特征与枯枝落叶层保水作用的研究[J]. 武汉植物研究, 1992, 10(1): 55-64.
[17] 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.
[18] 雷瑞德. 秦岭火地塘林区华山松林水源涵养功能的研究[J]. 西北林学院学报, 1984, 1(1): 19-33.
[19] 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.
[20] 程积民, 赵凌平, 程杰. 子午岭 60 年辽东栎林种子质量与森林更新[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(2): 10-16.