

## 福寿林场杉木人工林林下植物物种多样性研究

曹小玉, 李际平\*

(中南林业科技大学 林学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:**选择3种不同龄组的杉木人工林,研究林下植物物种的组成及多样性的变化。结果表明,不同龄组杉木人工林在1 800 m<sup>2</sup>样地内林下植被的物种数在28~36之间,物种数差异不大,但其主要物种的生态习性差异明显。其中幼龄林30种,中龄林36种,成熟林28种。草本层的物种多样性指数 $D$ 在0.705 8~0.829 0之间、 $H$ 在1.709 1~2.515 7之间,中龄林>幼龄林>成熟林。灌木层的物种多样性指数 $D$ 在0.880 3~0.923 6之间、 $H$ 在2.338 9~2.695 0之间,中龄林>成熟林>幼龄林,整体上灌木层高于草本层。

**关键词:**杉木人工林;物种多样性;福寿林场

**中图分类号:**S791.27

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2014)03-0057-05

Species Diversity of Undergrowth Vegetation of Chinese Fir Plantations in Fushou Forest Farm

CAO Xiao-yu, LI Ji-ping\*

(College of Forestry, Central South University of Forestry & Technology, Changsha, Hunan 410004, China)

**Abstract:** Taking Chinese fir plantations of 3 different age groups (young, middle-aged, and mature plantations) in Fushou Forest Farm as the study object, this paper analyzed and compared the composition of plant species and the changes of species diversity of undergrowth vegetations. The results showed that among three groups, there were about 28—36 plant species per 1 800 m<sup>2</sup> sampling plots, the number of species among different groups was not significant. However the ecological habits of the dominant species were significantly different among different age groups. The species richness of undergrowth vegetation of the young, middle-aged and mature plantations were 30, 36, 28, respectively. The species diversity indices of shrub layer  $D$  were 0.708—0.820,  $H$  were 1.709 1—2.515 7, and in the order of middle-aged>young>mature. The species diversity indices of herb layer  $D$  were 0.883—0.9236,  $H$  were 2.339—2.690, and in the order of middle-aged>mature>young. The species diversity index of shrub layer was higher than that of the herb layer as a whole.

**Key words:** Chinese fir plantation; species diversity; Fushou Forest Farm

杉木人工林,树种结构单一,导致生物多样性降低,严重地影响了森林的健康状况与其生态功能的发挥。如何科学的营造杉木人工林,恢复其生态功能和提高其生物多样性已经成为林业和生态专家重点关注的问题<sup>[1-2]</sup>。林下植被作为森林生态系统的一个重要组成部分,对于维护森林生物多样性、森林健康、林地生产力和水土保持功能、促进森林生态

系统养分循环和揭示植被演替特征方面有不可替代的作用<sup>[3]</sup>。鉴于此,以福寿林场不同龄组的杉木人工林林下植物为研究对象,通过定量分析杉木人工林林下植物物种多样性特征及其随着年龄变化的规律,为进一步揭示杉木人工林林下植物与杉木之间的种间关系及其内在规律,恢复或重建退化人工林的生物多样性和生态功能提供参考。

收稿日期:2013-09-07 修回日期:2013-11-19

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划专题(2012BAD22B0505);湖南省教育厅项目(12C0440)。

作者简介:曹小玉,男,在读博士,讲师,研究方向:森林经理。E-mail:cxy7723@aliyun.com

\* 通信作者:李际平,男,教授,博士生导师,研究方向:林业系统工程。E-mail:lijiping@vip.163.com

## 1 研究区的概况

福寿林场(28°3'00"—28°32'30"N, 113°41'15"—113°45'00"E)位于湖南省平江县南部的福寿山上。东接猷冲森工林场,北连思村乡尚山村,西邻思村乡五等村,南抵浏阳市。总面积为 1 274.9 hm<sup>2</sup>,其中有山林 1 133.9 hm<sup>2</sup>,集体山林面积 141 hm<sup>2</sup>。处于中亚热带向北亚热带过渡的气候带,属湿润的大陆性季风气候。年平均气温 12.1℃,极端最高气温 33.4℃,最低气温为-15℃,年日照 1 500 h,无霜期 217 d,有效积温 4 547°,年相对湿度 87%。地势南高北低,最高峰轿顶山,海拔 1 573.2 m,最低处为湖口峡底,海拔 835 m,林场场部海拔 1 078 m。山体下部多陡峭,中部较平缓,上部较陡,平均坡度为 22~27°,形成群山重叠,起伏绵延的中山地貌。林地土层深厚肥沃,腐殖质较丰富。场内海拔 800 m 以下的土壤为山地黄壤;800~1 400 m 为山地黄棕壤;海拔

1 400 m 以上的山顶、山脊有小块草甸土。场内植被繁茂,群落较多。有木本植物 55 科,275 种。

## 2 研究方法

### 2.1 样地的设置和调查

在对试验林场全面踏查的基础上,选择有代表性的地段用罗盘仪闭合导线测量法设置 20 m×30 m 的样地 9 块(幼龄林、中龄林和成熟林各设置 3 块样地),要求闭合差不>1/200。如坡度>5°,测量斜距后,按坡度改算为水平距。

每块样地内分别在四角和中心设置 5 m×5 m 的灌木样方和 1 m×1 m 的草本样方。共设置 45 个灌木和草本样方。

样地基本信息调查包括:样地经纬度、海拔、地形、坡位、坡向、坡度、土壤类型等,乔木树种、年龄、胸径、平均冠幅等,灌木种类、高度、盖度、株数等因子,草本种类、高度、盖度及株数等因子(表 1)。

表 1 调查杉木林样地基本情况表

Table 1 The basic situations of sampling plots

标准地号	林分类型	年龄/a	郁闭度	胸径/cm	树高/m	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	坡向	坡位	坡度/(°)
1	幼龄林	6	0.4	2.8	2.5	3 700	东	上	18
2	幼龄林	6	0.3	3.6	2.8	3 050	西北	中	16
3	幼龄林	6	0.3	3.1	2.6	3 117	南	下	11
4	中龄林	13	0.8	9.6	6.7	2 617	南	中	23
5	中龄林	13	0.9	9.2	7.3	2 833	西南	中	19
6	中龄林	13	0.8	10.7	7.0	2 483	北	下	11
7	成熟林	20	0.8	13.3	10.1	2 417	东	上	25
8	成熟林	20	0.8	16.6	12.8	1 567	西南	中	16
9	成熟林	20	0.8	16.1	11.7	1 417	南	下	12

### 2.2 数据处理与分析方法

#### 2.2.1 物种重要值的计算

灌木层和草本层的重要值(IV)=[相对密度(盖度)+相对频度]/2<sup>[4]</sup>

(1)

2.2.2 物种多样性指标的计算 采用物种丰富度指数(S)、物种多样性指数和均匀度指数来分析物种多样性水平。其计算公式如下<sup>[5-8]</sup>:

Simpson 多样性指数

$$D=1-\sum_{i=1}^s p_i^2 \quad (2)$$

Simpson 均匀性指数

$$J_D=(1-\sum_{i=1}^s p_i^2)/(1-\frac{1}{S}) \quad (3)$$

Shannon-Wiener 多样性指数

$$H=-\sum_{i=1}^s p_i^2 \ln p_i \quad (4)$$

Pielou 均匀度指数

$$J_H=(-\sum_{i=1}^s p_i^2 \ln p_i)/\ln S \quad (5)$$

式中, $p_i$ 为第*i*种的个体数占所有种的个体总数的

比例,*S*指的是所在样地内物种种类的总数。

2.2.3 数据处理和分析 数据采用软件 SPSS12.0 和 Excel2010 进行处理和分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 杉木人工林林下物种组成及重要值分析

从表 2 可以看出,杉木人工林林下物种共有 43 种,灌木共有 22 种,草本共有 21 种。

在灌木层,幼龄林 17 种,占总数的 77.27%,分属 12 科 17 属;中龄林 18 种,占总数的 81.82%,分属 15 科 18 属;成熟林 16 种,占总数的 72.73%,分属 12 科 16 属。在幼龄林中,美丽胡枝子(*Lespedeza bicolor*)的重要值最大,为 16.23%,其次为盐肤木(*Rhus chinensis*)、野花椒(*Zanthoxylum simulans*)、毛冬青(*Ilex pubescens*)和山槐(*Albizia kalkora*)。其重要值都在 10%以上;是优势种,在中龄林中,中华五味子(*Schisandra sphenanthera*)和日本绣线菊(*Spiraea japonica*)的重要值都在 10%以上,分别为 17.66%和 13.02%;为优势种,其他物种的重要值都在 8%以下;

在成熟林中,日本绣线菊(*Spiraea japonica*)、拖柄菝葜(*Smilax scobinicaulis*)和藤构(*Broussonetia papyrifera*)的重要值都比较大,分别为 17.53%、11.34%和 11.74%,是优势种。

表 2 杉木人工林林下物种组成及重要值  
Table 2 The species composition and importance value of undergrowth species of Chinese fir plantations in Fushou Forest Farm

层次	种名	科	属	重要值/%		
				幼龄林	中龄林	成熟林
灌木层	盐肤木( <i>Rhus chinensis</i> )	漆树科	盐肤木属	13.60	7.17	3.10
	白骨钉( <i>Chrysanthemum sinense</i> )	菊科	菊属	2.12	7.24	3.45
	格药柃( <i>Eurya muricata</i> )	山茶科	柃木属		4.01	
	贵州山柳( <i>Clematoclethra guizhouensis</i> )	猕猴桃科	藤山柳属	1.78	4.92	
	湖南白檀( <i>Symplocos hunanensis</i> )	山矾科	山矾属	0.68	4.52	
	华中五味子( <i>Schisandra sphenanthera</i> )	五味子科	五味子属		17.66	4.01
	黄丹木姜子( <i>Litsea monopetala</i> )	樟科	木姜子属	7.18		3.24
	日本绣线菊( <i>Spiraea japonica</i> )	蔷薇科	绣线菊属	4.24	13.02	17.53
	绿叶甘藷( <i>Lindera neesiana</i> )	樟科	山胡椒属	1.64	4.81	5.67
	苦楝( <i>Melia azedarach</i> )	楝科	楝属	2.08	0.56	
	腊莲绣球花( <i>Hydrangea strigosa</i> )	虎耳草科	绣球花属	0.41	4.66	
	毛冬青( <i>Ilex pubescens</i> )	冬青科	冬青属	11.62	7.88	4.84
	美丽胡枝子( <i>Lespedeza bicolor</i> )	豆科	胡枝子属	16.23	4.95	4.50
	四照花( <i>Cornus. japonica</i> var. <i>chinensis</i> )	山茱萸科	四照花属	5.89	3.55	4.69
	榧木( <i>Aralia chinensis</i> )	五加科	榧木属		3.49	
	中华猕猴桃( <i>Actinidia chinensis</i> )	猕猴桃科	猕猴桃属	3.19		5.67
	野花椒( <i>Zanthoxylum simulans</i> )	芸香科	花椒属	12.58	3.88	8.50
	拖柄菝葜( <i>Smilax scobinicaulis</i> )	菝葜科	菝葜属			11.34
	毛樱桃( <i>Cerasus tomentosa</i> )	蔷薇科	樱属	1.60	1.29	5.26
	山槐( <i>Albizia kalkora</i> )	豆科	合欢属	11.18	3.49	4.05
	山苍子( <i>Litsea cubeba</i> )	樟科	木姜子属	3.98		2.83
	藤构( <i>Broussonetia papyrifera</i> )	桑科	构属		2.01	11.74
	灌木层物种数/个			17	18	16
草本层	翠云草( <i>Selaginella uncinata</i> )	卷柏科	卷柏属	0.26	24.88	
	大叶唐松草( <i>Thalictrum faberi</i> )	毛茛科	唐松草属		3.10	1.23
	独活( <i>Heracleum hemsleyanum</i> )	伞形科	独活属		1.74	
	寒莓( <i>Rubus buergeri</i> )	蔷薇科	悬钩子属	3.43	6.97	1.79
	灰白毛莓( <i>Rubus tephrodes</i> )	蔷薇科	悬钩子属		0.74	
	江南星蕨( <i>Microsorium fortunei</i> )	水龙骨科	星蕨属		7.21	10.16
	蕨( <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> )	蕨科	蕨属	4.62	11.57	4.91
	芒草( <i>Cynanchum atratum</i> )	萝藦科	鹅绒藤属	10.96	7.59	7.37
	南蛇藤( <i>Celastrus orbiculatus</i> )	卫矛科	南蛇藤属	0.26	2.86	
	糯米团( <i>Gonostegia hirta</i> )	荨麻科	糯米团属			3.35
	绒毛堇菜( <i>Viola phalacrocarpa</i> )	堇菜科	堇菜属	1.66		
	箬竹( <i>Indocalamus tessellatus</i> )	禾本科	箬竹属	36.70	0.74	0.78
	三角叶堇菜( <i>Viola trianguli folia</i> )	堇菜科	堇菜属		4.23	
	山麦冬( <i>Liriope spicata</i> )	百合科	山麦冬属	3.53	5.60	11.05
	山莓( <i>Rubus corchori folius</i> )	蔷薇科	悬钩子属	4.85	3.98	2.34
	十字苔草( <i>Carex cruciata</i> )	莎草科	苔草属	23.87	6.09	5.69
	毛葡萄( <i>Vitis heyneana</i> )	葡萄科	葡萄属	1.19		
	小飞蓬( <i>Conyza canadensis</i> )	菊科	飞蓬属	2.11		
	鱼腥草( <i>Houttuynia cordata</i> )	三白草科	蕺菜属	2.64	3.35	
	竹叶草( <i>Oplismenus compositus</i> )	禾本科	求米草属	6.29	5.97	50.44
	紫萁( <i>Osmunda japonica</i> )	紫萁科	紫萁属		1.99	0.89
	草本层物种数/个			13	18	12
	灌草层物种数合计/个			30	36	28

从不同龄组杉木人工林林下灌木主要物种重要值变化规律看,喜光的物种美丽胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、野花椒(*Zanthoxylum simulans*)、毛冬青(*Ilex pubescens*)和山

槐(*Albizia kalkora*)在幼龄中的重要值都很高而在中龄林和成熟林中相对较低,这是由于幼龄林郁闭度低透光性好适合生长而中龄林和成熟林郁闭度高透光性差不利于这些物种生长;其重要值的变化反映了喜光物种随着郁闭度增加在演替中的明显衰退过程。耐荫的物种中华五味子(*Schisandra sphenanthera*)、日本绣线菊(*Spiraea japonica*)、拖柄菝葜(*Smilax scobinicaulis*)和藤构(*Broussonetia papyrifera*)在郁闭度高的中龄林和成熟林是优势物种,而在光照条件好的幼龄林中很少出现或没有出现,反映了它们对阴凉环境的较好适应性。四照花(*Cornus. japonica* var. *chinensis*)在各个龄组都出现。虽然重要值不高但是平稳发展,这种演替规律显示了它在灌木演替中有不可替代的重要作用。苦楝(*Melia azedarach*)、毛樱桃(*Cerasus tomentosa*)、山苍子(*itsea cubeba*)这几种灌木在不同的龄组都有出现,但数量小且不稳定,可能受人为干扰因素比较大。格药枲(*Eurya muricata*)、榉木(*ralia chinensis*)都在单一的龄组出现,这可能该物种的生长习性有关。

在草本层,幼龄林 13 种,占总数的 61.90%,分属 12 科 13 属;中龄林 18 种,占总数的 85.71%,分属 15 科 18 属;成熟林 12 种,占总数的 57.14%,分属 10 科 12 属。在幼龄林中,箬竹(*Indocalamus tessellatus*)、十字苔草(*Carex cruciata*)和芒草(*Cynanchum atratum*)的重要值比较大,分别占到 36.70%、23.87%和 10.96%。在中龄林中,翠云草(*Selaginella uncinata*)和蕨(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)的重要值分别占到 24.88%和 11.57%,是优势物种,在成熟林中,竹叶草(*Oplismenus compositus*)重要值占的最大,是 50.44%,其次是江南星蕨(*Microsorium fortunei*)和山麦冬(*Liriope spicata*),分别占到 10.16%和 11.05%。

从不同龄组杉木人工林林下草本主要物种重要值变化规律看,箬竹(*Indocalamus tessellatus*)、十字苔草(*Carex cruciata*)和芒草(*Cynanchum atratum*)这些喜光的植物在幼龄林中占很大的比重,但是在郁闭度大的中龄林和成熟林中却占的比例很小,说明随着杉木年龄的增大其演替处于衰退趋势。翠云草(*Selaginella uncinata*)、江南星蕨(*Microsorium fortunei*)、蕨(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)山麦冬(*Liriope spicata*)和竹叶草(*Oplismenus compositus*)这些耐荫的物种在郁闭度很高的中龄林和成熟林中优势非常明显,但在光照条件好的幼龄林中所占的比例很小,甚至没有分布。大叶唐松草(*Thalictrum faberi*)、灰白毛莓(*Rubus tephrodes*)、毛葡萄(*Vitis heyneana*)、小飞蓬(*Conyza canadensis*)绒毛堇菜(*Viola phalacrocarpa*)、三角叶堇菜(*Viola triangulifolia*)、糯米团(*Gonostegia hirta*)、南蛇藤(*Celastrus orbiculatus*)分布数量少,且只在其适应的环境中生长。总之,杉木人工林林下草本基本上以禾本科植物和蕨类植物为主。这可能受人为因素的影响其林下环境更有利于蕨类植物和禾本科植物的生长<sup>[9-10]</sup>。

### 3.2 杉木人工林林下植物物种多样性分析

根据表 3 计算结果可知,不同龄组杉木人工林林下灌、草物种总数在 28~36 之间,其中草本层的物种数在 12~18 之间,灌木层的物种数在 16~18 之间。物种数差异不大,且表现出了随着林分年龄的增加物种数呈现出逐步增加然后再减小的趋势,具体是中龄林>幼龄林>成熟林。生物多样性差异也不大,草本层的物种多样性指数  $D$  在 0.705 8~0.829 0 之间、 $H$  在 1.709 1~2.515 7 之间,中龄林>幼龄林>成熟林;灌木层的物种多样性指数  $D$  在 0.880 3~0.923 6 之间、 $H$  在 2.338 9~2.695 0 之间,中龄林>成熟林>幼龄林,整体上灌木层高于草本层。

表 3 杉木人工林林下灌、草层物种多样性测度指标

Table 3 Species diversities indice of shrub and herb layer of undergrowth species of Chinese fir plantations in Fushou Forest Farm

林分类型	层次	$S$	$D$	$H$	$J_H$	$J_D$
幼龄林	灌木层	17	0.880 3	2.338 9	0.935 3	0.825 5
	草本层	13	0.829 0	1.986 7	0.898 2	0.774 6
中龄林	灌木层	18	0.923 6	2.695 0	0.977 9	0.932 4
	草本层	18	0.890 0	2.515 7	0.942 3	0.870 4
成熟林	灌木层	16	0.910 5	2.601 0	0.967 3	0.918 0
	草本层	12	0.705 8	1.709 1	0.770 0	0.687 8

## 4 结论

在 1 800 m<sup>2</sup> 样地内,不同龄组杉木人工林林下物种数差异不大,在 28~36 之间,但其主要物种的

生态习性差异很大,幼龄林以喜光物种美丽胡枝子、盐肤木、野花椒、毛冬青、山槐、箬竹、十字苔草和芒草等占绝对优势;中、成熟林以耐荫的中华五味子、日本绣线菊、拖柄菝葜、藤构、翠云草、江南星蕨、蕨

山麦冬和竹叶草为主要物种。这些林下物种虽然在不同龄组的杉木林占有优势地位,但对阳光等环境因子依赖性很强,因此,我们为恢复林下植被筛选物种时,不能选择这些对环境因子变化非常敏感的物种,而应该选择在每一个演替阶段都能看得见的物种,如四照花等。

根据不同龄组的杉木人工林林下物种丰富度计算结果可知,随着林分年龄的增加呈现出逐步增加然后再减小的趋势。究其原因是在幼龄林阶段,林木的冠幅小,林下光照充足,只有利于喜光的物种生存,随着林分年龄的增加和郁闭度的增加,中龄林林下进入大量耐阴植物,物种数达到了最大,到了成熟林,林下植物主要变成一些耐荫植物和阴性物种,物种数出现了下降的趋势。因此为了促进中、成熟林林下物种的生长发育,应该科学合理的进行间伐,以改善林分的透光条件,以便是物种数量达到最大<sup>[1,11]</sup>。

林下植被是杉木人工林生态系统生物多样性的的重要组成部分,它的生长状况对杉木人工林生态系统的健康具有重要的指示作用,促进林下植被的恢复发育对杉木人工林的健康具有重要的作用<sup>[12-13]</sup>,但在科学恢复经营杉木人工林林下植被时,必须遵循林下植被的生态演替规律,弄清楚杉木人工林林下的主要物种之间以及主要物种与杉木之间的种间关系,才能为恢复重建杉木人工林的林下植被提供科学依据。

## 参考文献:

- [1] 褚建民,卢琦,崔向慧,等. 人工林林下植被多样性研究进展[J]. 世界林业研究,2007,20(3):9-12.  
CHU J M, LU Q, CUI X H, *et al.* Review on species diversity of undergrowth vegetation in plantation ecosystem[J]. World Forestry Research, 2007, 20(3): 9-12. (in Chinese)
- [2] 马文红,方精云. 中国北方典型草地物种丰富度与生产力的关系[J]. 生物多样性,2006,14(1):21-28.  
MA W H, FANG J Y. The relationship between species richness and productivity in four typical grasslands of northern China[J]. Biodiversity Science, 2006, 14(1): 21-28. (in Chinese)
- [3] FRIDLEY J D. The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why[J]. Oikos, 2001, 93: 514-526.
- [4] 马克平. 生物群落多样性的测度方法(I):  $\alpha$ 多样性测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.  
MA K P. The measure method of bio-community diversity (I): the method of  $\alpha$ -diversity (A) [J]. Biodiversity Science, 1994, 2(3): 162-168. (in Chinese)
- [5] 陈伟,陈升晖,兰国玉. R软件在森林生物多样性动态监测中的应用[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(4): 180-183.  
CHEN W, CHEN S H, LAN G Y. Application of R software on dynamic monitoring of forest biodiversity[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(4): 180-183. (in Chinese)
- [6] 陈秋波. 桉树人工林生物多样性标准与指标体系研究[J]. 热带作物学报, 2002, 23(1): 95-109.  
CHEN Q B. Conceptual criteria and indicators for biodiversity in *Eucalyptus* plantation forests[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2002, 23(1): 95-109. (in Chinese)
- [7] 胡兴宜,唐万鹏,刘学全. 长江滩地不同林龄杨树人工林植物群落物种多样性研究[J]. 湿地科学与管理, 2006, 2(4): 24-27.  
HU X Y, TANG W P, LIU X Q. Species diversity in poplar plantations at different ages along the banks of Yangtze River [J]. Wetland Science & Management, 2006, 2(4): 24-27. (in Chinese)
- [8] 吕婧娴,王得祥,张宋智,等. 小陇山林区不同密度油松人工林林下物种多样性研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2010, 38(11): 49-56.  
LU J X, WANG D X, ZHANG S Z, *et al.* Study on the species diversity of undergrowth in the different stand densities of *Pinus tabulaeformis* plantation of Xiaolongshan area[J]. Journal of Northwest A & F University: Nat. Sci. Ed., 2010, 38(11): 49-56. (in Chinese)
- [9] 寇萌,焦菊英,杜华栋,等. 黄土丘陵沟壑区不同立地条件草本群落物种多样性与生物量研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(1): 12-18.  
KOU M, JIAO J Y, DU H D, *et al.* Species diversity and biomass of herbosa at different site conditions in the hilly-gullied Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(1): 12-18. (in Chinese)
- [10] 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.  
HU X M, CHENG J M, WAN H E. Structure characteristics of herbages under five types of artificial forest plantations in loess hilly region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2006, 26(3): 41-45. (in Chinese)
- [11] 王俊玲,金红喜,杨占彪,等. 六盘山华北落叶松人工林多样性、生产力研究[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2008, 44(1): 32-35.  
WANG J L, JIN H X, YANG Z K, *et al.* Species diversity and productivity of *Larix principis-rupprechtii* plantation woods in Liupan Mountains[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2008, 44(1): 32-35. (in Chinese)
- [12] 方升佐,田野. 人工林生态系统生物多样性与生产力的关系[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2012, 36(4): 1-6.  
FANG S Z, TIAN Y. The relationship between biodiversity and productivity in the artificial plantation ecosystem [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2012, 36(4): 1-6. (in Chinese)
- [13] 曲红,王百田,王棣,等. 黄土区不同配置人工林物种多样性研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 843-848.  
QU H, WANG B T, WANG D. Research of artificial forest plant diversity under different configuration of loess area[J]. Ecology and Environmental Science, 2010, 19(4): 843-848. (in Chinese)