

DOI: 10.5846/stxb201312032870

袁王俊, 卢训令, 张维瑞, 王智慧, 张灵敏, 丁圣彦. 不同植被类型植物物种多样性. 生态学报, 2015, 35(14): 4651-4657.

Yuan W J, Lu X L, Zhang W R, Wang Z H, Zhang L M, Ding S Y. Plant's diversity of different vegetation types. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4651-4657.

不同植被类型植物物种多样性

袁王俊^{1,2}, 卢训令¹, 张维瑞², 王智慧², 张灵敏², 丁圣彦^{1,2,*}

1 河南大学环境与规划学院, 开封 475004

2 河南大学中药研究所, 开封 475004

摘要: 为了评价大面积人工种植杜仲对当地植物多样性的影响, 以河南省汝阳县不同植被类型为研究对象, 通过群落学调查, 运用重要值、Shannon-Wiener 物种多样性指数 (H)、Simpson 物种多样性指数 (D) 和均匀度指数 (J_H') 等指标, 统计分析杜仲人工林、温带落叶阔叶林 (以下简称次生林) 和撂荒地 3 种不同植被类型的植物物种多样性, 探讨杜仲种植对植物多样性的影响。调查发现, 杜仲林样地中出现植物 82 种, 隶属 39 科 63 属, 草本层为最发达的一层; 次生林样地中出现植物 70 种, 隶属 32 科 62 属, 乔木层为最发达层; 撂荒地样地中出现植物 84 种, 隶属 35 科 69 属, 无乔木层。杜仲林物种丰富度和多度均不亚于次生林和撂荒地, 且杜仲林草本层物种丰富度和植株总数均高于次生林。统计分析显示, 杜仲林乔木层、灌木层和草本层多样性指数 H 和 D 值、均匀度指数 J_H' 值与其它两种植被类型相比无显著性差异 ($P > 0.05$)。因此, 种植杜仲过程中采用合理密度, 适当管理, 不仅能提供叶、花、果等资源, 而且能够丰富草本植物的种类和数量, 增加植物物种多样性。

关键词: 杜仲林; 次生林; 撂荒地; 物种多样性; 群落结构

Plant's diversity of different vegetation types

YUAN Wangjun^{1,2}, LU Xunling¹, ZHANG Weirui², WANG Zhihui², ZHANG Lingmin², DING Shengyan^{1,2,*}

1 College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China

2 Institute of Chinese Materia Medica, Henan University, Kaifeng 475004, China

Abstract: Human-driven ecosystem simplification has highlighted questions about how the number of species in an ecosystem influences its functioning. Biodiversity is now known to affect ecosystem productivity and stability of the ecosystem. In this study, different vegetation types in Ruyang County, Henan Province, China, were examined to evaluate the impact of large-scale planting of *Eucommia ulmoides* on local species diversity. The species diversity was analyzed using Shannon-Wiener diversity (H), Simpson diversity (D), and evenness (J_H') indices in three different vegetation types: *Eucommia ulmoides* plantation, temperate fallen broad-leaved forest (referred to as secondary forest), and abandoned land (old field). The results indicated that there were 82 species belonging to 39 families and 63 genera in the *Eucommia ulmoides* forest, in which the herbaceous layer was the most developed. The secondary forest contained 70 species belonging to 32 families and 62 genera, and the tree layer was more developed than the herbaceous and shrub layers. The old field included 84 species of 35 families and 69 genera but lacked a tree layer. The richness and abundance of species in the *Eucommia ulmoides* forest were similar to those in the secondary forest and old field, whereas the richness and abundance of species in the herbaceous layer of the *Eucommia ulmoides* forest were higher than those in the secondary forest. Our results showed that the H , D , and J_H' indices of the three layers of the *Eucommia ulmoides* forest were not significantly different from those of the secondary forest and old field ($P > 0.05$). Collectively, these results illustrate that, with a

基金项目: 中国博士后基金项目 (2013M531668); 河南省教育厅自然科学重点项目 (13A180057)

收稿日期: 2013-12-03; 网络出版日期: 2014-09-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: syding@henu.edu.cn

reasonable planting density and proper management, *Eucommia ulmoides* forests can not only provide us with leaves and fruit but can also enrich the amount and diversity of herbaceous plants, thereby increasing biological diversity.

Key Words: *Eucommia ulmoides* forest; secondary forest; old field; species diversity; community structure

杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv.)为杜仲科(Eucommiaceae)杜仲属植物,是我国特有的第三纪孑遗植物^[1]。杜仲皮和叶具有补肝肾、强筋骨功效^[2-3],种仁油中 α -亚麻酸含量居植物之首^[4-5]。杜仲胶具有独特的橡胶和塑料二重性。2011年3月中国工业协会牵头组织相关企业、科研单位组建了杜仲产业技术创新战略联盟^[6];2013年9月我国出版了杜仲产业绿皮书《中国杜仲橡胶资源与产业发展报告》,以推动杜仲产业良性发展^[1]。我国杜仲种植面积占全球90%以上,栽培区域南到广西、北达吉林,冬自上海,西抵新疆喀什^[1],为了满足医药和橡胶产业对杜仲资源的需求,各地仍在大量栽培杜仲。

生态系统的物种多样性和结构特征是生态学研究中的热点问题之一^[7-8]。物种多样性是生态系统功能的重要基础,生态系统中物种多样性丰富,不仅有利于提高系统本身抵御外界不确定性因素的干扰和干扰后系统恢复能力,而且还有助于生态系统中营养元素和肥力的可持续利用,生产力水平随着物种多样性的增加而提高^[9-12]。人工栽培林木可为当地带来经济和社会效益。但在种植过程中需要进行的林地清理、基础设施建设、林地管理等,这些措施对当地生物多样性的影响研究相对较少,且主要研究对象为桉树,一些研究认为桉树人工林会降低当地生物多样性、土壤肥力和水分的作用^[13-15],另有研究认为人工林能够改善林地小气候、提高土壤肥力、保护其林下生物多样性^[16-18]。

目前,杜仲人工林的研究主要集中在造林技术,种植技术,环境因子对生物量的影响等方面^[19-20],而人工栽培杜仲对当地植物物种多样性的影响尚缺乏研究。本文拟以‘全国杜仲之乡’汝阳多年生杜仲林、次生林和撂荒地为研究对象,通过样地调查和比较,分析人工杜仲林的对当地植物多样性的影响,为今后杜仲林的发展提供理论依据。

1 研究区概况

汝阳县位于河南省西部,地处东经112°8′—112°38′,北纬33°49′—34°21′。最高山峰鸡冠山海拔1602 m,最低点杜康河底海拔220 m,平均海拔543 m。属暖温带大陆性季风气候,光照充足,气候温和,四季分明,年平均日照时数2177.3 h,日照百分率达49%,年平均气温14℃,年均降雨量690 mm。森林覆盖率为44.7%。1987年被林业部批准为杜仲基地县。2000年被中国经济林协会命名为“全国杜仲之乡”。目前,全县已发展杜仲1.5万hm²,占全县经济林总面积的58.4%,杜仲皮、叶及系列产品年产量达1560万kg,年总产值1.2亿元。

2 研究方法

2.1 样地设置

2013年7月分别在种植杜仲较多的3个乡镇(王坪乡、靳村乡和三屯乡)各设置1个样地(均于20世纪90年代初种植杜仲),每个样地杜仲林、次生林及撂荒地中各设置样方3个,共调查9个样地,27个大样方。乔木层样方10 m×10 m,在乔木样方内沿着样地对角线分别设置5个3 m×3 m灌木样方,再在灌木样方中央设置1 m×1 m草本样方,共设置灌木和草本样方各135个。

2.2 群落调查

调查指标包括:乔木层的种类、数量、树高、胸径、基径、冠幅;灌木层的种类、数量、高度、基径、冠幅;草本层的种类、数量、高度、丛径、盖度等指标;同时,记录每个样方地理坐标、海拔、坡向、坡度、坡位等立地因子,样方环境条件见表1(仅列出杜仲林植被样方点位信息,其他点位情况与其基本相同)。

表 1 杜仲林样地基本情况
Table 1 General information of the study sites

样点号 Plot	海拔 Elevation/m	经度 Longitude	纬度 Latitude	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect
1	769	33°51'42.18"	112°26'40.58"	48	SE30
2	789	33°51'43.79"	112°26'38.17"	37	SW15
3	727	33°51'45.99"	112°27'28.99"	52	NE45
4	704	33°56'05.45"	112°14'33.57"	0	S0
5	725	33°56'04.98"	112°14'32.66"	28	EN32
6	682	33°56'15.5"	112°14'53.29"	0	S0
7	433	34°04'1.8"	112°28'47.3"	15	S0
8	447	34°04'68.7"	112°28'45.8"	18	NE34
9	455	34°04'1.3"	112°28'43.6"	8	S0

2.3 数据分析

(1) 物种丰富度

此次野外调查中各样方面积是一致的,使用样方内物种数目 S 表示物种丰富度。

(2) 重要值

乔木层重要值 $IV = (\text{相对密度} + \text{相对显著度} + \text{相对频度}) / 3$

灌木层重要值 $IV = (\text{相对密度} + \text{相对高度} + \text{相对频度}) / 3$

草本层重要值 $IV = (\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}) / 3$

(3) Shannon-Wiener 多样性指数 (H)

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

式中, P_i 为第 i 物种的重要值, 即 $P_i = n_i / N$, S 为物种数。

(4) Simpson 多样性指数 (D)

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$

式中, N_i 为第 i 物种的个体数, N 为所有物种的个体总数, S 为物种数。

(5) 均匀度指数

本文选用基于 Shannon -Wiener 多样性指数的均匀度指数进行研究:

$$J'_H = \frac{H'}{H_{\max}}, \text{ 其中 } H_{\max} = \ln S$$

使用 SPSS11.5 软件包中的单因素方差分析 ($\alpha = 0.05$) 检验群落物种多样性及其关系, 所有图表均在 Excel 2007 中完成。

3 结果与分析

3.1 物种丰富度

汇总 3 个样地 3 种植被类型的乔木层、灌木层和草本层的科、属及物种丰富度, 结果如表 2 所示。杜仲林样方内共有植物 82 种, 隶属于 39 科 63 属; 次生林样方内出现植物 70 种, 隶属 32 科 62 属; 撂荒地样方内共有植物 84 种, 隶属于 35 科 69 属, 次生林物种丰富度最小。杜仲林草本层 58 种, 2657 株, 科、种和株数均大于乔木层和灌木层, 表明杜仲林中草本层为最发达层。次生林乔木层有 5 个种, 分别来自 5 科 5 属, 最主要的种是栓皮栎, 草本层 50 种, 960 株, 其科、属、种类仍然最大。撂荒地无乔木层, 灌木层植物种类和数量都较少, 而草本层极为发达, 76 种, 2469 株, 其科、属、种数都在 3 种样地中是最大的。总体而言, 在整个群落层面

上,杜仲林的各层结构与次生林相比并不简单,相反,草本层物种丰富度和植株总数都高于次生林。

表 2 3 种植被类型内植物的科属种数

Table 2 The number of family and genus of the three types of vegetation

植被类型 Types	乔木层 Tree layer			灌木层 Tree layer			草本层 Tree layer			总种数 Species
	科数 Family	属数 Genus	种数 Spiece	科数 Family	属数 Genus	种数 Spiece	科数 Family	属数 Genus	种数 Spiece	
杜仲林 <i>Eucommia</i> forest	8	10	15	9	11	11	22	42	58	82
次生林 Secondary forest	5	5	5	10	14	16	17	43	50	70
撂荒地 Old field	0	0	0	7	8	8	28	61	76	84

3.2 群落物种重要值

乔木层共 15 种,杜仲 181 株,其重要值为 70.73,其余种类如油松 *Pinus tabulaeformis*、栓皮栎 *Quercus variabilis*、豆梨 *Pyrus calleryana* 等零星存在,重要值介于 1.56—3.75 之间。次生林乔木层共 5 种,其中栓皮栎 130 株,其植株高大,最高者达 23 m,为建群种,其重要值为 81.01。杜仲林灌木层中盐肤木 *Rhus chinensis* 35 株,重要值为 44.96,牡荆 *Vitex negundo* 重要值为 11.86。重要值最小的绿叶胡枝子 *Lespedeza buergeri* 仅 2.64。次生林灌木层中有黄栌 *Cotinus coggygia* 47 株,重要值为 26.54,其次为牡荆和连翘 *Forsythia suspensa*,重要值为 18.78 和 13.1。撂荒地灌木层有酸枣 *Ziziphus jujuba* Mill. Var. *spinosa* 16 株,重要值为 36.77,其次为牡荆,重要值为 19.4。杜仲林草本层中野艾蒿 *Artemisia lavandulaefolia* 530 株,重要值为 17.63,细弱隐子草 *Cleistogenes gracilis* 344 株,重要值为 8.53,鹅观草 *Roegneria kamoji* 325 株,重要值为 7.34。次生林草本层中细叶苔草 *Carex duriuscula* 144 株,重要值 18.76,野艾蒿 109 株,重要值 10.36。撂荒地草本层中野艾蒿 318 株,其重要值为 12.42,其次为狗尾草 *Setaria viridis*,重要值为 7.91(表 3)。

表 3 3 种植被类型主要物种组成及其重要值

Table 3 Species composition and importance values of main species of the three types of vegetation

种名 Species	乔木层 Tree layer			灌木层 Shrub layer			草本层 Herbaceous layer		
	杜仲林 <i>Eucommia</i> forest	次生林 Secondary forest	撂荒地 Old field	杜仲林 <i>Eucommia</i> forest	次生林 Secondary forest	撂荒地 Old field	杜仲林 <i>Eucommia</i> forest	次生林 Secondary forest	撂荒地 Old field
杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i>	70.73								
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	3.13	81.01			6.77				
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	2.47	10.86							
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	1.56			44.96	0.90	8.96			
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	1.75	2.89							
槲栎 <i>Quercus aliena</i>	1.58				6.44				
黄栌 <i>Cotinus coggygia</i>		2.62		10.29	26.54	9.9			
豆梨 <i>Pyrus calleryana</i>	1.93				3.50				
野山楂 <i>Crataegus cuneata</i>	1.56			3.06		4.3			
牡荆 <i>Vitex negundo</i>				11.86	18.78	19.4			
连翘 <i>Forsythia suspensa</i>				9.37	13.10	12.39			
酸枣 <i>Ziziphus jujuba</i> Mill. Var. <i>spinosa</i>						36.77			
美丽胡枝子 <i>Lespedeza formosa</i>				5.58	2.07		0.47	0.56	
绿叶胡枝子 <i>Lespedeza buergeri</i>				2.64	8.99	3.74		0.4	
山梅花 <i>Philadelphus incanus</i>	1.56			3.23	0.85	4.55			
扁担杆 <i>Grewia biloba</i> G. Don				3.41					
白檀 <i>Symplocos paniculata</i>					4.00				
野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i>							17.63	10.36	12.42
细弱隐子草 <i>Cleistogenes gracilis</i>							8.53	0.30	

续表

种名 Species	乔木层 Tree layer			灌木层 Shrub layer			草本层 Herbaceous layer		
	杜仲林	次生林	撂荒地	杜仲林	次生林	撂荒地	杜仲林	次生林	撂荒地
	<i>Eucommia</i> forest	Secondary forest	Old field	<i>Eucommia</i> forest	Secondary forest	Old field	<i>Eucommia</i> forest	Secondary forest	Old field
鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i>							7.34		0.97
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>							5.42	1.47	3.42
荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>							4.94	3.28	2.22
细叶薹草 <i>Carex duriuscula</i>							4.63	18.76	
细梗胡枝子 <i>Lespedeza virgata</i>							4.43	6.36	1.12
蒺藜 <i>Tribulus terrester</i> L.							3.03	0.46	1.19
牛筋草 <i>Eleusine indica</i>							2.81	0.77	1.32
委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>							2.6	2.13	1.71
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>							2.29	0.28	2.85
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>							2.29	2.93	7.91
黄背草 <i>Themeda japonica</i>							2.08	5.43	
毛莲蒿 <i>Artemisia vestita</i>							1.97	7.08	1.04
猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>							1.94	1.24	5.27
莎草 <i>Cyperus rotundus</i>							1.75	3.88	3.71
牡蒿 <i>Artemisia japonica</i>							1.2	5.45	0.55
刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>							1.61	0.68	5.93
一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>							1.20		5.38
龙芽草 <i>Agrimonia pilosa</i>							1.72	3.32	0.62
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>							0.61		3.50
臭草 <i>Melica scabrosa</i>								3.67	1.55

3.3 物种多样性和均匀度

本研究分别计算了不同植被类型乔木层、灌木层和草本层的 Shannon-Wiener 物种多样性指数 (H) 和 Simpson 多样性指数 (D)。由表 4 可见,杜仲林乔木层多样性指数 H 为 1.361 次生林多样性指数 H 为 0.705,二者无显著性差异。二者多样性指数 D 为 0.192 和 0.192,同样不存在显著性差异。灌木层中次生林的多样性指数 H 为 2.24,杜仲林和次生林分别为 1.858 和 1.789,同样没有显著性差异。多样性指数 D 次生林最为 0.847,次生林其次为 0.75,杜仲林为 0.549。草本层多样性指数 H 撂荒地为 3.635,杜仲林为 3.263,次生林最低,为 3.151,三者无显著差异。多样性指数 D 撂荒地、次生林、杜仲林依次为 0.945、0.931 和 0.912,三者也无显著差异。

由表 4 还可以看到杜仲林乔木层的均匀度指数 (J_H') 为 0.503,稍大于次生林的 0.438,杜仲林灌木层灌木层均匀度指数为 0.807,次生林灌木层均匀度为 0.808,二者基本一致,杜仲林草本层均匀度指数为 0.804,次生林草本层均匀度为 0.805,二者无差异。撂荒地灌木层和草本层均匀度指数分别为 0.86 和 0.839,与杜仲林和次生林也无显著性差异。

表 4 3 种植被类型物种多样性指数及均匀度指数

Table 4 Diversiety index and evenness index of the three types of vegetation

指数 Index	杜仲林 <i>Eucommia</i> forest			次生林 Secondary forest			撂荒地 Old field		
	乔木层	灌木层	草本层	乔木层	灌木层	草本层	乔木层	灌木层	草本层
	Tree layer	Shrub layer	Herbaceous layer	Tree layer	Shrub layer	Herbaceous layer	Tree layer	Shrub layer	Herbaceous layer
Shannon-Wiener 指数 (H)	1.361a	1.858a	3.263a	0.705a	2.24a	3.151a	—	1.789a	3.635a
均匀度指数 (J_H')	0.503a	0.807a	0.804a	0.438a	0.808a	0.805a	—	0.86a	0.839a
Simpson 指数 (D)	0.192a	0.549a	0.912a	0.192a	0.847a	0.931a	—	0.75a	0.944a

4 讨论

本研究 9 个杜仲林样方共有植物 82 种,杜仲林乔木层有 15 种植物,并非单一树种,原因是王坪乡和靳村乡是在原有山地基础上栽培杜仲,林地清理不彻底,总的来说林相整齐,乔木层一般高度在 3—8 m,和灌木层高度差别明显。灌木层重要值较高的依次为盐肤木、牡荆、黄栌和连翘,草本层重要值较高是野艾蒿、隐子草和鹅观草,草本层植物种类和株数都较多,盖度大。次生林乔木层中栓皮栎为建群种,植株盖度大,林相整齐,灌木层 16 种,草本层共 50 种植物,仅 960 株。撂荒地灌木层仅 8 种,共 35 株,高度整体较低,灌木层和草本层分界不是很明显,而草本层极为发达,有 76 种,盖度高。总的来说,杜仲林和撂荒地草本层种类和数量都较大。Chen 等认为草本植物多属于逆境耐受型,尤其是一年生草本植物,主要靠种子繁殖,其特点是生活史短、种子多而繁殖力强,最能使用持久和强烈干扰^[21]。因此,草本植物具有更广泛的适应性,对整个生态系统而言,它起到一种基础保障作用。Grime 认为草本植物是生态系统的先锋植被,也是退化生态系统的保留植被,适应力强,有较宽的生态位。由于其生活史短暂,且能及时调整以应对不同生活环境的变化,因而群落物种组成具有不稳定性或多变性^[22],本文结果与他们的观点一致。次生林草本层种类和数量较少,纠其原因是栓皮栎盖度高,造成林分郁密度较高,使得光照条件不足,不利于种子的萌发和生长,抑制了种子库中非耐阴性草本先锋物种种子的入侵和萌发。

分析 Shannon-Wiener 物种多样性指数(H')和 Simpson 多样性指数(D'),杜仲林的乔木层、灌木层和草本层与次生林、撂荒地均无显著差异。在相同立地条件下,生境的差异是引起群落植物多样性不同的主要原因之一。所处的生境条件存在较大差异时,群落就向不同的方向演替,继而结构和功能发生变化^[23-24]。本研究海拔变化不大,对植物多样性无影响,主要差异是种植了杜仲,而种植杜仲后没有降低当地生物多样性,反而由于杜仲盖度较小,增加了植物的种类和数量,尤其是草本植物,更有利于降低水土流失。同时,在调查中发现有些杜仲林由于精耕细作,杜仲生长量大,林分郁密度极高,地面几乎寸草不生,严重影响了当地植物物种多样性。

综上所述,比较杜仲林、次生林和撂荒地 3 种不同的植被类型,合理的种植密度下杜仲林植物物种多样性并没有减少,而且草本植物种类和数量相对于次生林有所增加,杜仲林不仅能够提供叶、花、果等资源,并能够增加植物物种多样性。

参考文献(References):

- [1] 杜红岩, 胡文臻, 俞锐. 杜仲产业绿皮书—中国杜仲橡胶资源与产业发展报告. 北京: 社会科学文献出版社, 2013: 1-5.
- [2] 国家药典委员会. 中国药典(一部). 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 154-155.
- [3] Zhang Q, Su Y Q, Zhang J F. Seasonal difference in antioxidant capacity and active compounds contents of *Eucommia ulmoides* olive leaf. *Molecules*, 2013, 18(2): 1857-1868.
- [4] 杜红岩. 杜仲活性成分与药理研究的新进展. *经济林研究*, 2003, 21(2): 58-61, 82-82.
- [5] 李钦, 杜红岩, 杜兰英, 赫锦锦, 段经华. HPLC 法测定杜仲雄花和杜仲雄花茶中京尼平苷酸、绿原酸和京尼平苷. *中草药*, 2009, 40(1): 71-72.
- [6] 范仁德. 坚持不懈, 继续大力推进杜仲胶产业化发展——在“2012 中国杜仲产业发展高峰论坛”上的讲话. *中国橡胶*, 2012, 28(19): 4-6.
- [7] Tilman D, Reich P B, Knops J M H. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 2006, 441(7093): 629-632.
- [8] Ives A R, Carpenter S R. Stability and diversity of ecosystems. *Science*, 2007, 317(5834): 58-62.
- [9] Naeem S, Thompson L J, Lawlor S P, Lawton J H, Woodfin R M. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature*, 1994, 368(6473): 734-737.
- [10] Tilman D, May R M, Lehman C L, Nowak M A. Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 1994, 371(6492): 65-66.
- [11] Kennedy T A, Naeem S, Howe K M, Knops J M H, Tilman D, Reich P. Biodiversity as a barrier to ecological invasion. *Nature*, 2002, 417(6889): 636-638.

- [12] Wang C T, Long R J, Ding L M, Lai D Z, Li Y F. Species diversity, community stability and ecosystem function -extension of the continuous views. *Pratacultural Science*, 2005, 22(6): 1-7.
- [13] Smith O H, Petersen G W, Needelman B A. Environmental indicators of agroecosystems. *Advances in Agronomy*, 2000, 69: 75-97.
- [14] Wall A, Heiskanen J. Water-retention characteristics and related physical properties of soil on afforested agricultural land in Finland. *Forest Ecology and Management*, 2003, 186(1-3): 21-32.
- [15] Sicardi M, García-Préchac F, Frioni L. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. *Applied Soil Ecology*, 2004, 27(2): 125-133.
- [16] Keenan R, Lamb D, Woldring O, Irvine T, Jensen R. Restoration of plant biodiversity beneath tropical tree plantations in Northern Australia. *Forest Ecology and Management*, 1997, 99(1-2): 117-131.
- [17] Manning A D, Fischer J, Lindenmayer D B. Scattered trees are keystone structures-implications for conservation. *Biological Conservation*, 2006, 132(3): 311-321.
- [18] Zhang D J, Zhang J, Yang W Q, Wu F Z. Effects of afforestation with *Eucalyptus grandis* on soil physicochemical and microbiological properties. *Soil Research*, 2012, 50(2): 167-176.
- [19] 刘淑明, 梁宗锁, 董娟娥. 不同水分条件下皮叶两用杜仲林的生长效应. *中南林业科技大学学报*, 2007, 27(5): 49-53.
- [20] 聂朝俊, 彭智坚. 喀斯特山地人工杜仲林枯落物和土壤持水特性初步研究. *林业资源管理*, 2003, (6): 27-31.
- [21] 陈杰, 郭屹立, 卢训令, 丁圣彦, 苏思, 郭静静, 李乾玺. 伊洛河流域草本植物群落物种多样性. *生态学报*, 2012, 32(10): 302
- [22] Grime J P. *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. 2nd ed. USA: Wiley, 2006.
- [23] Wang D P, Ji S Y, Chen F P. A review on the species diversity of plant community superiority. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(4): 55-60.
- [24] 刘平, 秦晶, 刘建昌, 王华锋, 王效科. 桉树人工林物种多样性变化特征. *生态学报*, 2011, 31(8): 2227-2235.