

小陇山林区不同密度油松人工林林下 物种多样性研究

吕婧娴¹, 王得祥¹, 张宋智², 何志美¹, 保积存¹, 黄青平¹

(1 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2 小陇山林业科学研究所, 甘肃 天水 741022)

【摘要】 **【目的】**研究油松人工林密度对林下植物多样性的影响及二者的关系, 提出维持植物多样性、人工林生态系统稳定性及其健康状况的合理林分密度。**【方法】**以小陇山林区 5 种不同密度 30 年生油松人工林为研究对象, 分析油松人工林林下物种的重要值、丰富度指数、多样性指数、均匀度指数和相似系数随林分密度的变化规律。**【结果】**①油松人工林林下共出现植物 23 科 38 属 50 种。随着林分密度的增大, 林下物种数逐渐减少, 灌木、草本层物种组成发生变化。②不同密度油松林林下灌木层和草本层植物丰富度指数、多样性指数, 随林分密度的增加基本表现出减小趋势。③各指数与林分密度的相关性分析表明, 灌木层和草本层的丰富度指数、草本层的均匀度指数与林分密度均表现出较高的相关性, 其中草本层均匀度指数与密度呈显著负相关关系。④随着林分密度的增大, 林下共有物种减少, 相似系数逐渐降低。**【结论】**密度对人工油松林林下植物多样性有一定影响, 但未达到显著水平; 密度为 1 717~1 867 株/hm² 时, 林下物种丰富度指数、多样性指数、Alatalo 指数均达到最高, 表明此密度是林下植被生长发育较为合适的密度, 能够保障林下植物多样性的维持。

【关键词】 油松; 人工林; 林分密度; 物种多样性

【中图分类号】 S718.54⁺2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)11-0049-08

Study on the species diversity of undergrowth in the different stand densities of *Pinus tabulaeformis* plantation of Xiaolongshan area

LÜ Jing-xian¹, WANG De-xiang¹, ZHANG Song-zhi², HE Zhi-mei¹,
BAO Ji-cun¹, HUANG Qing-ping¹

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

2 Xiaolongshan Research Institute of Forestry, Tianshui, Gansu 741022, China)

Abstract: **【Objective】** This paper studied the influence of stand density on species diversity of undergrowth of *Pinus tabulaeformis* plantation in Xiaolongshan area, to put forward an appropriate stand density. **【Method】** Five types of 30 years stand density were selected, and the law of important values, species richness, species diversity index, evenness index and similarity coefficient changing with stand density were analyzed. **【Result】** ① There were 50 vascular species in 38 families and 23 genus of undergrowth in *P. tabulaeformis*. As stand density increased, species number decreased, and the composition of shrub and herb changed. ② Species richness, Shannon-Wiener, Simpson index in shrub layer and herb layer deceased. ③ Correlation coefficient analysis showed that the stand density had some relationship with species richness and the evenness index of herb layer, which had significantly negative correlation with the stand density. ④ As stand density increased, the total forest loss of species, and similarity index gradually decreased.

* [收稿日期] 2010-04-12

[基金项目] 国家林业局林业公益性行业科研专项(200804022B)

[作者简介] 吕婧娴(1984—), 女, 陕西榆林人, 在读硕士, 主要从事森林生态及森林健康研究。E-mail: ljx1002@yahoo.com.cn

[通信作者] 王得祥(1966—), 男, 青海乐都人, 教授, 博士生导师, 主要从事森林生态和森林可持续经营研究。

E-mail: Wangdx66@126.com

【Conclusion】 Analysis showed that stand density did have influence on species diversity, but the influence was no significant. When stand density was 1 717—1 867 plant/hm², species diversity index except that *Alatalo* reached the highest, which indicated that the density was more appropriate for growth and development of understory vegetation, and can contribute to an increase in forest diversity.

Key words: *Pinus tabulaeformis*; plantation; stand density; species diversity

人工林作为森林资源的重要组成部分,其健康与生态功能的发挥日益受到人们的重视。许多研究表明,人工林由于物种单一、结构简单,导致森林群落多样性下降^[1-5],而物种多样性与生态系统功能又存在着一定的关系。Tilman 等^[6-7]对草地生态系统研究后认为,较高的物种多样性可以增加植物群落的生产力、生态系统营养的保持力和生态系统的稳定性,并得出生态系统内的多样性与植物群落的稳定性呈正相关。可见,物种多样性研究对于进一步的生态系统功能与健康研究具有重要意义。以往对森林植物群落多样性的研究多集中在天然林上,有关人工林多样性的研究报道较少,而揭示人工林林下物种的组成与群落结构,不仅是评估人工林生态功能的一条重要途径,也可为人工林的合理经营、林分结构优化、人工林天然化培育等提供依据^[8]。

众所周知,密度对林分多样性有一定的影响。McCann^[9]认为,群落的稳定性在一定程度上依赖于种群数量,即种群密度接近平衡密度时,群落的稳定性就高;王树森等^[10]研究指出,在合理的密度下,人工林的生物多样性会有较大改善,而且有利于向天然群落方向发展。因此,研究林分密度与物种多样性的关系具有重要意义。

油松(*Pinus tabulaeformis*)是我国北方地区的主要用材树种,分布范围较广,适应性强,更新繁殖容易,生长比较迅速,木材性质优良,并且有良好的保持水土和保护环境的效能^[11]。油松也是甘肃小陇山林区的主要造林树种之一,调查显示,该区现存油松、华山松人工林 2.70 万 hm²,占全区人工林面积的 46.6%^[12],森林经营以水源涵养、水土保持为主。以往对于小陇山林区油松的研究多集中在生物量及生产力等方面^[13-15],而有关人工林经营密度与林下物种多样性的关系、以及林分健康结构方面的研究较少。大面积的油松人工林是否不利于生物多样性的保护与维持,是否影响森林健康与生态功能的发挥等一系列问题,均需进一步研究、解决。为此,本试验选择 30 年生油松人工林为研究对象,对不同密度油松人工林林下植物多样性及变化趋势进行了分析,以期阐明使林下植物多样性得以良好维

持的林分健康结构,为该区人工林的生物多样性研究及科学经营提供理论依据。

1 研究区自然概况

甘肃小陇山林区位于甘肃省东南部,地处秦岭西端,是我国华中、华北、喜马拉雅、蒙新 4 大自然植被区的交汇处,也是暖温带向北亚热带的过渡地带,兼有我国南北气候特点,大多数地域属暖温湿润-中温半湿润大陆性季风气候类型。由于小陇山林区特殊的地理位置和特殊的环境条件,其生物地理成分、区系成分复杂多样,生物种质资源极为丰富。全区有木本植物 824 种,其中乔木树种 312 种,灌木 512 种,草本植物 158 科 726 属 1 687 种。小陇山林区作为国家重点自然保护区,森林总经营面积 82.87 万 hm²,人工林经营面积 21.20 万 hm²。近年来,为了提高森林质量与效益,改善生态环境,对人工林的结构调整与功能改善成为该区森林经营的重点。

研究地点位于小陇山林区李子林场,地理坐标 E105°42′~106°00′,N 34°07′~34°24′,海拔 1 400~2 000 m,平均坡度 36°~40°。该地属大陆性季风气候,年平均气温 5.2~12.9℃,极端最高气温 39℃,极端最低气温 -23℃,无霜期 180 d,年均降水量 673.0 mm,多集中在 7—9 月份,年蒸发量 1 290.5 mm,大气相对湿度 68%。土壤主要是山地褐土和山地棕壤。山地褐土是本区地带性土壤,分布在海拔 1 600 m 以下的森林、灌木林及农田等处,土壤呈中性、微碱性,腐殖质含量少,肥力较低,但通气性良好;山地棕壤分布在海拔 1 600 m 以上的阴坡、半阴坡。李子林场作为林区油松人工林的主要分布区,油松面积达到 5.77 万 hm²,占人工林总面积的 81.16%^[16]。

2 研究方法

2.1 调查方法与内容

小陇山李子林场油松人工林于 1983 年在荒地上营造,栽植时采用 3 年生幼苗,造林整地方式为穴状整地,栽植后干扰甚微,造林成活率为 90%。选择生境条件基本一致的地段,设置 5 种不同密度的

油松人工林样地各 2 块。样地面积为 20 m×30 m, 每块样地内各设置 2 m×2 m 的灌木和 1 m ×1 m 的草本样方各 5 个。对样地内乔木进行每木检尺、定位,记录其组成、胸径、树高、冠幅、枝下高及林分

郁闭度;在样方内进行灌木、草本植物调查,并记录种类、基径、高度、多度、盖度、频度;同时记录样地的生境状况,包括海拔、坡度、坡位、坡向、土壤、外界干扰状况等,样地基本情况见表 1。

表 1 小陇山林区油松人工林样地基本信息
Table 1 Environmental factors in plots of *P. tabulaeformis* plantation of Xiaolongshan area

样地号 Plot number	林分密度/(株·hm ⁻²) Stand density	林龄/年 Age	坡度/(°) Slope degree	坡向 Slope aspect	坡位 Slope position	地形 Terrain	海拔/m Altitude	郁闭度 Canopy density	
1	I	1 367	30	38	SW	中 Middle	山坡 Mountain slope	1 665	0.6
2		1 367	30	37	W	中上 Mid-upper	山坡 Mountain slope	1 683	0.6
3	II	1 717	30	40	W	下 Lower	山坡 Mountain slope	1 505	0.8
4		1 867	31	38	SW	中 Middle	山坡 Mountain slope	1 634	0.6
5	III	2 517	30	40	W	上 Upper	山坡 Mountain slope	1 604	0.8
6		2 617	30	40	W	中 Middle	山坡 Mountain slope	1 545	0.7
7	IV	2 867	28	36	SW	上 Upper	山坡 Mountain slope	1 593	0.7
8		3 083	30	39	W	下 Lower	山坡 Mountain slope	1 543	0.9
9	V	3 683	30	40	W	下 Lower	山坡 Mountain slope	1 508	0.7
10		3 704	30	35	W	中 Middle	山坡 Mountain slope	1 553	0.9

2.2 植物多样性与重要值计算

用重要值分析油松人工林林下植物的优势度,用物种丰富度指数(S)对油松人工林林下植物种类进行分析,用 Shannon Wiener 指数(H')与 Simpson 指数(D)研究油松人工林林下植物的多样性,使用 Pielou 指数(J_{seo})与 Alatalo(E_a)均匀度指数说明林下植物的分布情况,用 Sorensen 相似系数(IS)比较不同密度油松林林下植物组成的相似性。利用 Excel、SPSS 软件对多样性指数作单因素方差分析和 LSD 比较,并对各指数与密度进行 Pearson 相关性分析,各项指标的计算方法见文献[17]。

3 结果与分析

3.1 不同密度油松人工林林下植物的组成及物种重要值

对不同密度油松人工林林下植物进行统计,结果共出现植物 23 科 38 属 49 种。其中灌木层 11 科 19 属 27 种,草本层 12 科 19 属 22 种。常见的灌木有 4 科 12 属,分别是蔷薇科的蔷薇属(*Rosaceae*)、悬钩子属(*Rubus*)、栒子属(*Cotoneaster*)、绣线梅属(*Neillia*)、樱属(*Prunus*)和山楂属(*Crateagus*),忍冬科的忍冬属(*Lonicera*)和荚蒾属(*Viburnum*),豆科的木蓝属(*Indigofera*)和胡枝子属(*Lespedeza*),以及卫矛科的卫矛属(*Euonymus*)与南蛇藤属(*Celastrus*)。常见的草本有 3 科 10 属,其中菊科 6 属 9 种,包含种数最多。

计算分析不同密度油松人工林林下植物的物种组成及其重要值,结果(表 2)表明,随着林分密度的

增大,林内光照减少,灌木、草本层物种组成发生变化。灌木层中栓翅卫矛(*Euonymus phellomanus*)、鼠李(*Rhamnus davurica*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、平枝栒子(*Cotoneaster horizontalis*)等阳性植物逐渐消失,这是由于林下植被营养空间改变,植物种间竞争加剧,导致部分阳性植物衰退。从各物种重要值的排序结果可以看出,胡枝子(*L. bicolor*)、木蓝(*Indigofera tinctoria*)、卫矛(*Euonymus alatus*)为灌木层主要优势种,细叶苔草(*Carex capilliformis*)、唐松草(*Thalictrum minus* var. *sibiricum*)、菊科蒿属(*Artemisia*)植物等组成草本层优势种。

3.2 不同密度油松人工林林下物种丰富度的变化

林分内物种丰富度大小标志着林分多样性的复杂程度。物种丰富度指数值越大,则林分内植物种类越多,多样性越复杂^[18]。小陇山林区油松人工林包括乔木层、灌木层和草本层 3 个层次,并且灌木层与草本层间的植物物种丰富度存在明显差异,灌木层物种有 7~17 个,草本层物种有 9~14 个。由表 3 可以看出,随着林分密度的增大,灌木层和草本层物种丰富度均有减小的趋势,在密度为 1 717~1 867 株/hm² 时,灌木层与草本层物种丰富度达到最大,说明在此密度下,林内的光照与水分条件,可能对下层植物的生长较为有利。当密度大于 1 867 株/hm² 时,林分郁闭度增大,光照条件变差,阳性植物生长受到抑制,灌木与草本植物种类逐渐减少,导致丰富度降低。

表 2 小陇山林区不同密度油松人工林林下物种的重要值

Table 2 Importance values of undergrowth species at different stand densities of *P. tabulaeformis* plantation

层 次 Layer	种 名 Species	重要值 Importance value				
		I	II	III	IV	V
灌木层 Shrub layer	矮栒子 <i>Cotoneaster horizontalis</i>				0.254	
	菝葜 <i>Smilax china</i>	0.059	0.062		0.072	0.222
	葱皮忍冬 <i>Lonicera ferdinandii</i>	0.268				
	多花蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>	0.045				
	绿叶甘櫨 <i>Lindera fruticosa</i>		0.037			
	胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i>	0.045		0.028		
	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	0.203	0.269	0.087	0.248	
	黄果悬钩子 <i>Rubus xantho</i>		0.041			
	黄蔷薇 <i>Rosa hugonis</i>			0.030		
	黄素馨 <i>Jasminum mesnyi</i>		0.052	0.035		
	荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i>		0.113	0.031	0.081	0.081
	毛樱桃 <i>Prunus tomentosa</i>	0.112	0.052			
	木蓝 <i>Indigofera tinctoria</i>	0.247	0.093	0.081	0.255	0.264
	南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i>	0.085	0.067	0.068	0.072	0.036
	平枝栒子 <i>Cotoneaster horizontalis</i>	0.066	0.028	0.038		
	陇塞忍冬 <i>Lonicera tangutica</i>			0.055		
	山楂 <i>Crateagus pinnatifida</i>		0.022		0.026	
	苦糖果 <i>Lonicera standishii</i>				0.075	
	鼠李 <i>Rhamnus davurica</i>	0.062		0.064	0.056	
	栓翅卫矛 <i>Euonymus phellomanus</i>	0.037	0.136	0.197		
	卫矛 <i>Euonymus alatus</i>	0.206	0.274	0.050	0.076	0.081
	小檗 <i>Berberis thunbergii</i>			0.029		
	绣线梅 <i>Neillia thrysiiflora</i>			0.083		
	悬钩子 <i>Rubus corchorifolius</i>		0.065		0.038	0.041
	蓝靛果忍冬 <i>Lonicera edulis</i> Turcz		0.039	0.354		
	樱桃 <i>Cerasus pseudocerasus</i>		0.129			
	榛子 <i>Corylus heterophylla</i>		0.166	0.528	0.094	0.276
草本层 Herb layer	糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i>				0.037	
	柴胡 <i>Bupleurum chinense</i>		0.046	0.020	0.071	
	凤毛菊 <i>Saussurea japonica</i>			0.029		
	矮蒿 <i>Artemisia lancea</i>			0.040		
	披碱草 <i>Elymus dahuricus</i>		0.090	0.041	0.050	0.076
	接骨草 <i>Sambucus chinensis</i>				0.016	
	堇菜 <i>Viola verecunda</i>				0.053	
	茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	0.052			0.049	0.023
	三褶脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i>	0.051	0.046	0.056	0.097	0.030
	深绿蒿 <i>Artemisia atrovirens</i>		0.161			
	水蒿 <i>Artemisia selengensis</i>		0.020	0.080	0.037	0.030
	细叶苔草 <i>Carex capillifornis</i>	0.437	0.374	0.609	0.599	0.617
	唐松草 <i>Thalictrum minus</i> var. <i>sibiricum</i>	0.101	0.119	0.077	0.057	0.030
	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	0.103	0.053	0.104	0.081	0.084
	猬草 <i>Asperella duthiei</i>		0.046			
	乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.034	0.234	0.024	0.039	0.042
	秦岭蟹甲草 <i>Parasenecio tsinlingensis</i>	0.128			0.076	0.045
	沿阶草 <i>Ophiopogon japonicus</i> cv.			0.020		
	麦秆蹄盖蕨 <i>Athyrium fallaciosum</i>	0.051	0.040			
	野草莓 <i>Fragaria ananassa</i>		0.082			
	野古草 <i>Arundinella hirta</i>	0.226	0.124	0.029		
	野棉花 <i>Anemone vitiifolia</i>		0.020			0.023

3.3 不同密度油松人工林林下物种多样性的变化

由表 4 可以看出,林分密度对灌木、草本层植物多样性有一定影响。随着林分密度的增大,灌木层

多样性指数均先增大后减小,草本层则出现先增大后减小再增大的趋势,这可能是由林地微生境差异引起的。各层中 H' 值变化较为明显, D 值无明显变

化,这是因为 H' 值对丰富度变化反应较为灵敏,而 D 值受常见种的影响较大,由于林下植被相似系数较高,常见种没有明显减少,因此 D 值变化不明显。在林分密度为 1 717~1 867 株/hm² 时,各层多样性

指数达到最大;当密度大于 1 867 株/hm² 时,多样性指数又逐渐减小,这与林分密度增大、林分郁闭作用增强、林下植被获取光照资源的机会减少^[19] 有很大关系。

表 3 小陇山林区不同密度油松人工林林下物种的丰富度

Table 3 Species richness of undergrowth at different stand densities of *P. tabulaeformis* plantation

层 次 Stand layer	丰富度指数 Richness index	林分密度 Stand density				
		I	II	III	IV	V
灌木层 Shrub layer	S	15	17	16	11	7
草本层 Herb layer	S	9	14	12	13	11

表 4 小陇山林区不同密度油松人工林林下物种的多样性

Table 4 Species diversity of undergrowth at different stand densities of *P. tabulaeformis* plantation

层 次 Stand layer	多样性指数 Diversity index	林分密度 Stand density				
		I	II	III	IV	V
灌木层 Shrub layer	H'	1.675 9 a	1.816 8 a	1.816 7 a	1.614 7 a	1.541 3 a
	D	0.735 3 a	0.832 9 a	0.764 1 a	0.726 8 a	0.731 9 a
草本层 Herb layer	H'	1.346 4 ab	1.627 3 a	1.220 8 b	1.304 5 ab	1.347 3 ab
	D	0.632 6 a	0.736 3 a	0.555 4 a	0.592 5 a	0.557 3 a

注:同行数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。表 5 同。
Note:The different small letters in the same row indicate significant difference at $P=0.05$ level. Table 5 is the same.

3.4 不同密度油松人工林林下物种均匀度的变化

均匀度是指群落中各个物种多度的均匀程度。由表 5 可以看出,在不同密度油松人工林中,灌木层 E_a 值变化幅度较大, J_{sw} 值变化较平缓,这可能是灌木在其种类影响下,在环境内分布的无序程度比较类似。草本层 E_a 值和 J_{sw} 值的变化趋势基本一致,

均随林分密度的增加有减小的趋势,最高值出现在密度为 1 717~1 867 株/hm² 时。由表 5 还可看出,不同密度油松人工林林下均匀度指数均以灌木层高于草本层。方差分析结果显示,密度对林下均匀度指数的影响未达到显著水平($P>0.05$)。

表 5 小陇山林区不同密度油松人工林林下物种的均匀度

Table 5 Species evenness of undergrowth at different stand densities of *P. tabulaeformis* in Xiaolongshan area

层 次 Stand layer	均匀度指数 Evenness index	林分密度 Stand density				
		I	II	III	IV	V
灌木层 Shrub layer	J_{sw}	0.790 2 a	0.787 4 a	0.797 7 a	0.764 5 a	0.792 1 a
	E_a	0.644 5 a	0.902 5 a	0.682 9 a	0.831 3 a	0.743 8 a
草本层 Herb layer	J_{sw}	0.724 7 a	0.762 9 a	0.609 3 a	0.627 3 a	0.585 1 a
	E_a	0.622 2 a	0.691 7 a	0.509 7 a	0.544 5 a	0.442 2 a

3.5 不同密度油松人工林林下物种多样性特征的比较

对油松林下灌木层、草本层的物种丰富度指数(S)、多样性指数(H' 、 D)、均匀度指数(E_a 、 J_{sw})与林分密度的 Pearson 相关系数进行分析,结果(表 6)显示,林分密度与草本层各指数的相关性均高于灌木层,其中与草本层均匀度指数呈显著负相关,同时与各层丰富度指数相关性也较高。

不同密度油松人工林中,物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数均呈现出灌木层>草本层的格局,这可能是由于灌木具有较好的适应性和数量的稳定性,所以在每块样地中,灌木的多样性高于草本^[20]。

3.6 不同密度油松人工林林下植物共有种及相似系数的比较

从理论上讲,在自然状态下一定的尺度范围内,如果气候、土壤条件相同,只要群落的建群种一致,其林下植物应有较高的相似性和较多的共有种^[21]。分析小陇山林区不同密度油松人工林林下物种组成的相似性,结果(表 7)显示,不同密度林下植物相似系数较高,但也有变化,随着林分密度增大,林下共有物种减少,相似系数逐渐降低,表明密度对林下物种的组成结构有一定影响。林分密度为 1 367 株/hm² 时,与其他密度林分的林下物种相似系数为 52.38%~61.82%,其中与高密度林分(3 704 株/hm²)的相似系数最小,共有种由 17 种减少到 11

种;密度为 2 867~3 083 株/hm² 的林分与 3 683~ 76.19%。
3 704 株/hm² 的林分相似系数最高,达到了

表 6 小陇山林区油松人工林林下物种丰富度指数(*S*)、多样性指数(*H'*、*D*)、均匀度指数(*J_{sw}*、*E_a*)
与林分密度的相关性分析

Table 6 Correlation coefficient of diversity index of undergrowth at different stand densities of <i>P. tabulaeformis</i> in Xiaolongshan area							
林下植被 Undergrowth	相关系数 Correlation coefficient	<i>S</i>	<i>H'</i>	<i>D</i>	<i>J_{sw}</i>	<i>E_a</i>	林分密度 Stand density
灌木层 Shrub layer	<i>S</i>	1.000	0.821* *	0.728*	0.566	0.086	−0.279
	<i>H'</i>		1.000	0.905* *	0.934* *	0.128	−0.094
	<i>D</i>			1.000	0.850*	0.515	−0.114
	<i>J_{sw}</i>				1.000	0.104	0.018
	<i>E_a</i>					1.000	0.028
	林分密度 Stand density						1.000
草本层 Herb layer	<i>S</i>	1.000	0.225	−0.141	−0.429	−0.601*	0.544
	<i>H'</i>		1.000	0.921* *	0.778* *	0.561	−0.291
	<i>D</i>			1.000	0.934* *	0.827* *	−0.504
	<i>J_{sw}</i>				1.000	0.902*	−0.645*
	<i>E_a</i>					1.000	−0.719*
	林分密度 Stand density						1.000

注: * * 表示在 *P*=0.01 水平显著, * 表示在 *P*=0.05 水平显著。
Note: * *, Correlation is significant at the *P*=0.01 level. *, Correlation is significant at the *P*=0.05 level.

表 7 小陇山林区不同密度油松人工林林下共有种数和植物物种的相似系数

Table 7 Community species and similarity coefficient of species at different stand densities of <i>P. tabulaeformis</i> in Xiaolongshan area					
林分密度 Stand density	I	II	III	IV	V
I		61.82	61.54	58.33	52.38
II	17		64.41	58.18	57.14
III	16	19		61.54	56.52
IV	14	16	16		76.19
V	11	14	13	16	

注:表中对角线上部为相似系数,下部为共有种数。
Note:Similarity coefficient at the top of table,community species at the underside of table.

4 结论与讨论

不同密度油松人工林在林下物种组成和结构上的差异,导致其在物种多样性特征上也存在一定的差异。对各密度林下植被组成与多样性的分析表明,密度对油松人工林林下物种多样性有一定影响,但未达到显著水平;密度为 1 717~1 867 株/hm² 时,林下物种丰富度指数、多样性指数、Alatalo(*E_a*) 指数均达到最高,表明此密度是林下植被生长发育较为合适的密度,能够促进林下多样性的增加,这与北京市对山地生态公益林提出的合适造林密度 1 650 株/hm²^[22],以及付晓燕等^[23] 对华北落叶松人工林研究得出的林下生物多样性较高的密度 1 695 株/hm² 相近。因此,在小陇山林区进行人工林经营时,可以将此密度作为生物多样性保护的参考密度。
鲁绍伟等^[24] 认为,低密度林分内的生物多样性

明显高于高密度林分。本研究表明,物种丰富度、多样性指数随林分密度的增大,基本表现出减小的趋势,说明林分密度增加会导致林下物种多样性的降低。刘玉宝^[25] 研究 29 年生杉木林后指出,密度对林下灌木层多样性有显著影响,这与本研究得出的林分密度对林分多样性没有显著影响的结论不符,其原因可能是研究区域不同,或者调查所选林分密度间的差距较小而未达到能够引起多样性变化的临界值。
雷相等^[26] 对影响天然林下层植物多样性的因素进行研究后认为,郁闭度是影响下层植物多样性的主要因子;付晓燕等^[23]、胡相明等^[8] 研究指出,下层植物多样性随着林分郁闭度的增大而减小。本研究中,各密度林分处于中林龄期,生长稳定,林分郁闭度差异不显著,但林下植物丰富度仍表现出较大的差异性,这是因为林分密度对林下植被的影响

机制是多方面的,密度不仅使林分郁闭度发生变化,还可以通过改变林分内的温湿度等环境条件来限制林下植被的生长^[27]。本研究中,密度除了与草本层均匀度指数显著相关外,还与灌木、草本层丰富度指数表现出较高的相关性。这是因为林分密度增大,林内生境状况改变,植物对光照、水分、养分条件的利用方式发生了变化,从而影响了物种数。研究表明,丰富度指数和草本层均匀度指数对密度的变化最为敏感,因此在小陇山人工林经营中,可将这 2 个指数作为衡量林分密度是否合理的参考指标。

林下植被的结构与物种多样性反映了森林生态系统的结构状况,合理的林分密度可促进林下植被的良好发育,大大提高人工林生态系统的稳定性,并可改善生态系统的服务功能和健康状况。李利平等^[28]对北京山区不同区域油松林多样性进行研究后得出,林分密度是影响林分下层植物多样性的主要因子,也是森林经营中重要的可控因子^[26]。王树森等^[10]、王国宏^[29]研究指出,通过调整人工林密度、改变林下管理等林业经营措施,可以有效改善人工林木本植物的多样性,从而有利于人工林向天然林方向发展,提高人工林生态系统的稳定性。张鼎华等^[30]和王克勤等^[31]认为,降低油松林密度,可改善林地生境条件,减少植物种内对养分和水分的竞争,促进林下植被盖度和物种丰富度的增加,提高土壤肥力。小陇山林区林地的重要性更多地体现在涵养水源、保持水土等服务功能上,林分过密或过疏都会影响其生态功能的进一步发挥。因此在林分发展到一定阶段时,应采取合理的经营措施如间伐、疏伐等,来保持合适的林分密度;另外,通过引导纯林成为混交林,也可促进树种多样性的恢复,从而实现人工林生态系统结构的优化,确保人工林健康发展。

[参考文献]

- [1] Abbasi S, Vinithan S. Ecological impacts of *Eucalyptus tereticornis-globulus* (Eucalyptus Hybrid) plantation in a mining area [J]. Indian Forester, 1999(2): 163-185.
- [2] Allen R, Platt K, Wiser S. Biodiversity in New Zealand plantations [J]. New Zealand Forestry, 1995, 39(4): 26-29.
- [3] Brockerhoff E G, Ecrody C E, Langer E R. Biodiversity in New Zealand plantation forests: Policy trends, incentives, and the state of our knowledge [J]. New Zealand Journal of Forestry, 2001, 46: 31-37.
- [4] 邓 娟,上官周平. 黄土丘陵区人工和天然油松林物种多样性比较 [J]. 西北农业学报, 2008, 17(2): 126-131.
Deng J, Shanguan Z P. Comparison of the species diversity of natural and artificial *Pinus tabulaeformis* in Hilly Loess regions [J]. Acta Agriculturae Borealiocci Dentalis Sinica, 2008, 17(2): 126-131. (in Chinese)
- [5] 卢 琦,赵体顺,罗天祥,等. 黄山松天然林与人工林物种多样性和林分生长规律的比较研究 [J]. 林业科学研究, 1996, 9(3): 273-277.
Lu Q, Zhao T S, Luo T X, et al. Comparative study on biodiversity and stand growth regulation in *Pinus taiwanensis* from different origin [J]. Forest Research, 1996, 9(3): 273-277. (in Chinese)
- [6] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystem [J]. Nature, 1996, 379: 718-720.
- [7] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and stability in grassland [J]. Nature, 1994, 367: 363-365.
- [8] 胡相明,程积明,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)
- [9] McCann K S. The diversity-stability debate [J]. Nature, 2000, 405: 228-233.
- [10] 王树森,余新晓,罗于洋,等. 人工造林对八达岭森林植被木本植物生物多样性的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2008, 20(2): 155-159.
Wang S S, Yu X X, Luo Y Y, et al. Effects of reforestation on woody plant biodiversity of forest vegetation in Badaling [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 20(2): 155-159. (in Chinese)
- [11] 安定国. 甘肃省小陇山高等植物志 [M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 2001: 54.
An D G. Flora of Xiaolong Mountain, Gansu Province [M]. Lanzhou: Gansu Ethnic Press, 2001: 54. (in Chinese)
- [12] 洪彦军. 小陇山林区人工林近自然森林经营模式试验成效分析 [J]. 甘肃科技, 2009, 25: 133-136.
Hong Y J. Analysis of close-natural forest management of plantation in Xiaolongshan forest area [J]. Gansu Science and Technology, 2009, 25: 133-136. (in Chinese)
- [13] 程堂仁,马钦彦,冯仲科,等. 甘肃小陇山森林生物量研究 [J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(1): 31-36.
Cheng T R, Ma Q Y, Feng Z K, et al. Research on forest biomass in Xiaolong Mountains, Gansu Province [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(1): 31-36. (in Chinese)
- [14] 程堂仁,马钦彦,冯 菁,等. 小陇山油松林乔木层生物量相容性线性模型 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(3): 317-322.
Cheng T R, Ma Q Y, Feng Q, et al. Linear compatible models of tree layer biomass of *Pinus tabulaeformis* plantations in Xiaolong Mountain [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(3): 317-322. (in Chinese)
- [15] 顾 宏,赵小刚. 小陇山李子园林区人工油松中龄林抚育间伐试点初探 [J]. 中国林副特产, 2005(3): 68.
Gu H, Zhao X G. Study on thinning experiments of middle-

- aged *Pinus tabulaeformis* plantation in Lizi, Xiaolong Mountain [J]. Forest By-Product and Specialty in China, 2005(3): 68. (in Chinese)
- [16] 谢宏余, 洪彦军. 小陇山区人工林经营现状及存在的问题探讨 [J]. 林业科技管理, 2003(3): 53-54.
- Xie Y H, Hong Y J. Discussion on current status and problems of plantation in Xiaolongshan area [J]. Forestry Science and Technology Management, 2003(3): 53-54. (in Chinese)
- [17] 张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- Zhang J T. Study of quantitative ecology [M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese)
- [18] 于立忠, 于水强, 史建伟, 等. 不同类型人工阔叶红松林高等植物物种多样性 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1253-1257.
- Yu L Z, Yu S Q, Shi J W, et al. Higher plants species diversity in different types of artificial broad-leaved Korean pine forests [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(11): 1253-1257. (in Chinese)
- [19] 郭正刚, 刘慧霞, 孙学刚, 等. 白龙江上游地区森林植物群落物种多样性的研究 [J]. 植物生态学报, 2003, 27(3): 388-395.
- Guo Z G, Liu H X, Sun X G, et al. Characteristic of species diversity of plant communities in the upper reaches of Bailong River [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(3): 388-395. (in Chinese)
- [20] 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.
- Wang C, Wang X A, Gua H, et al. Species diversities of major communities in Malan Forest Region of the Loess Plateau [J]. Acta Bot Borea-Occident Sin, 2006, 26(4): 791-797. (in Chinese)
- [21] 于立忠, 朱教君, 孔祥文, 等. 人为干扰(间伐)对红松人工林林下植物多样性的影响 [J]. 生态学报, 2006(11): 3757-3764.
- Yu L Z, Zhu J J, Kong X W, et al. The effects of anthropogenic disturbances (thinning) on plant species diversity of *Pinus koreansis* plantations [J]. Acta Ecological Sinica, 2006(11): 3757-3764. (in Chinese)
- [22] 肖雁青, 林大影, 邢韶华. 北京北部山区天然油松林与人工油松林比较研究 [J]. 河北林果研究, 2007, 22(3): 231-236.
- Xiao Y Q, Lin D Y, Xing S H. Compared study between natural and artificial Chinese pine plantations in the northern mountainous area of Beijing [J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2007, 22(3): 231-236. (in Chinese)
- [23] 付晓燕, 江大勇, 郭万军, 等. 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.
- Fu X Y, Jiang D Y, Guo W J. Stand age and density effect to biodiversity of *Larix principis-rupprechtii* plantations [J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2009, 24(1): 33-37. (in Chinese)
- [24] 鲁绍伟, 刘凤芹, 余新晓, 等. 华北土石山区不同造林密度的油松林结构与功能研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2007, 27(9): 144-149.
- Lu S W, Liu F Q, Yu X X, et al. Studies on the configuration and function of different density of pines in Rocky Mountain Area of Northern China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 27(9): 144-149. (in Chinese)
- [25] 刘玉宝. 29年生杉木林下植物多样性与密度的关系 [J]. 福建林学院学报, 2005, 25(1): 1-4.
- Liu Y B. Relationship between undergrowth species diversity and stand density of 29-year-old Chinese fir plantations [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2005, 25(1): 1-4. (in Chinese)
- [26] 雷相东, 唐守正, 李冬兰, 等. 影响天然林下层植物物种多样性的林分因子的研究 [J]. 生态学杂志, 2003, 22(3): 18-22.
- Lei X D, Tang S Z, Li D L, et al. Stand variables affecting understorey plant species diversity in natural forests [J]. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(3): 18-22. (in Chinese)
- [27] Holah J C, Wilson M V, Hansen E M. Effects of a native forest pathogen, *Phellinus weirii*, on Douglas fir forest composition in western Oregon [J]. Can J For Res, 1993, 23: 2473-2480.
- [28] 李利平, 邢韶华, 赵勃, 等. 北京山区不同区域油松林植物多样性比较研究 [J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(4): 12-16.
- Li L P, Xing S H, Zhao B, et al. Comparative analysis of plant diversity of *Pinus tabulaeformis* forests in ten regions of Beijing mountainous areas [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2005, 27(4): 12-16. (in Chinese)
- [29] 王国宏. 再论生物多样性与生态系统的稳定性 [J]. 生物多样性, 2002, 10(1): 126-134.
- Wang G H. Biodiversity, further thoughts on diversity and stability in ecosystems [J]. Biodiversity Science, 2002, 10(1): 126-134. (in Chinese)
- [30] 张鼎华, 叶章发, 范必有, 等. 抚育间伐对人工林土壤肥力的影响 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 672-676.
- Zhang D H, Ye Z F, Fan B Y, et al. Influence of thinning on soil fertility in artificial forests [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(5): 672-676. (in Chinese)
- [31] 王克勤, 王斌瑞. 黄土高原刺槐林间伐改造研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(1): 11-15.
- Wang K Q, Wang B R. Study on thinning to *Robinia pseudoacacia* forest on the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(1): 11-15. (in Chinese)