

黄龙山白皮松林林隙物种多样性动态

李谭宝¹, 李淑静², 王彩云³

(1. 国家林业局 西北林业调查规划设计院, 陕西 西安 710048; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100;
3. 吕梁市园林绿化管理处, 山西 吕梁 033000)

摘 要:运用 Margalef 丰富度指数(R)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J_s)和生态优势度指数(λ)对黄龙山白皮松林不同大小和不同发育阶段林隙的物种多样性的动态规律进行了研究。结果表明:林隙中草本层、灌木层、乔木层植物的 Shannon-Wiener 多样性指数在Ⅲ级林隙(400~600 m²)时最大,随着林隙面积的增大,Shannon-Wiener 多样性指数呈下降趋势,各生长型多样性指数在林隙发育的中前期(45~90 a)达到最大值,随着林隙年龄的增加而减少;草本层、灌木层和乔木层植物的 Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数的变化趋势总体上与 Shannon-Wiener 多样性指数一致,生态优势度指数与 Shannon-Wiener 多样性指数几乎相反;乔木层植物的 Shannon-Wiener 多样性指数随林隙大小和年龄的变化趋势较灌木层和草本层植物变化缓慢,灌木和草本对林隙微生境的时空变化很敏感; R 、 H' 、 J_s 和 λ 在白皮松林不同大小和不同发育阶段林隙中表现显著性差异。

关键词:白皮松林;林隙动态;生长型;物种多样性

中图分类号:S791.243 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)04-0066-07

Gap Dynamics of Species Diversity in *Pinus bungeana* Forest in Huanglong Mountain

LI Tan-bao¹, LI Shu-jing², WANG Cai-yun³

(1. Northwest Institute of Forest Inventory, Planning and Design, State Forestry Administration, Xi'an, Shaanxi 710048, China;
2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Lvliang Management Office of Landscape and Forestry, Lvliang, Shanxi 033000, China)

Abstract: The dynamic patterns of the species diversity in gaps of different sizes and developmental stages in *Pinus bungeana* forest were studied by using Margalef richness index (R), Shannon-wiener index (H'), Pielou evenness index (J_s) and ecological dominance index (λ). The results showed that the Shannon-Wiener indices of the herb, shrub and tree layers reached the highest in the conditions of gap gradient Ⅲ (400—600 m²) and the pro-metaphase of gaps (45—90 a), which declined with the increase of gap area and age. The general trend of R and J_s were consistent with H' in the herb, shrub and tree layers, while the ecological dominance index was opposite to H' . With the change trend of gap sizes and gap developmental stages, the Shannon-Wiener indices of tree layers were relatively slower than shrub and herb layers, which were very sensitive to the temporal-spatial changes in the gaps microhabitat; R , H' , J_s and λ showed significant differences among different gap sizes and developmental stages.

Key words: *Pinus bungeana* forest; gap dynamic; growth forms; species diversity

林隙主要是指森林群落中老龄树死亡或因自然 灾害如台风、火灾、干旱等因素导致成熟阶段优势树

种的死亡,从而在林冠层造成空隙的现象^[1],是一种经常发生的小规模的干扰,是森林群落时空格局变化的驱动力^[2]。林隙的形成,改善了林内的光照条件,进一步造成林隙内温度、湿度、土壤理化性质的变化,形成了微生境的时空异质性。迄今为止,许多学者已进行了大量有关林隙动态和物种多样性方面的研究^[3-9],也有的学者对林隙物种多样性随林隙水平梯度变化规律进行了研究^[10],有利于揭示生物多样性的形成和维持机制以及森林更新和演替规律,对森林生物多样性保护和实现可持续经营具有重要意义。

白皮松(*Pinus bungeana*)是我国特有的珍贵树种之一,也是我国特有的国家Ⅰ级野生保护动物褐马鸡的栖息地的主要树种之一。白皮松古时候曾在西北、华北地区分布广泛,但现今大多呈小块状或零星分布,野生种质资源大大缩减,群落物种多样性相对贫乏,因此,对白皮松遗传资源的多样性保护与利用方面进行研究,成为当前的迫切需要^[11]。目前,有关白皮松的相关研究已有一些报道^[12-25],然而关于白皮松林林隙物种多样性动态方面的研究尚未见报道。本研究选择白皮松林为研究对象,主要对白皮松林林隙物种多样性动态进行了研究,并结合植物群落的群落生态学特征进行了系统分析,初步阐明了白皮松林不同大小和不同发育阶段林隙物种多样性的变化规律,为白皮松林的保护与可持续经营

提供科学依据,也为更好地保护褐马鸡栖息地及其生境提供参考。

1 材料与方法

研究区自然概况见参考文献[18]。

1.1 调查方法

采用样线调查法,对白皮松林林隙和非林隙进行调查。进入白皮松林内 50 m 后对所遇到的林隙进行调查。测定林隙的长轴和与之垂直的短轴,林隙面积一般按椭圆面积(调查的林隙大部分接近椭圆形)计算公式来计算^[26]。测定林隙年龄,记录每个林隙内形成木的基径、种名、形成方式、腐烂等级等,根据林隙内最大形成木的腐烂等级及通过询问当地护林员的方式大致估测林隙形成木的年龄。

一般在每个林隙边缘 10 m 处设置 1 个 10 m×10 m 的非林隙样方作为对照,详细调查林隙内、非林隙内的乔木、灌木的种类、个体数、冠幅、高度及样方中草本、木本植物幼苗种类、个体数和盖度等指标,共调查到 38 个林隙。

1.2 数据处理

依据调查的林隙面积大小,划分为 5 个林隙大小级,分别表示为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ(以 200 m² 为 1 个大小级);依据调查的林隙年龄分布情况,把调查的林隙划分为 4 个年龄级,分别表示前期、中前期、中后期、后期(以 45 a 为 1 个年龄级),具体见表 1。

表 1 不同大小和年龄级林隙数量

Table 1 Gap number of different size and different age classes

大小级					年龄级			
Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	前期	中前期	中后期	后期
22	9	6	2	1	8	18	10	4

应用下列物种多样性测定指标对白皮松林每个林隙的各层次(草本层、灌木层和乔木层)的物种多样性进行测度,将得到不同等级内所有林隙不同层次的多样性指数,以此为基础分析白皮松林林隙物种多样性特征。

1)Margalef 丰富度指数 R

$$R=\frac{S-1}{\ln N}$$
 (1)

2)Shannon-Wiener 多样性指数数 H'

$$H'=-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$
 (2)

3)Pielou 均匀度指数 J_s

$$J_s=\frac{H}{\ln S}$$
 (3)

4)生态优势度指数 λ

$$\lambda=\frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$
 (4)

式中, S 为物种总数即丰富度; N 为观察到的个体总数; P_i 是第 i 种的个体数 n_i 占总个体数 N_i 的比例,即 $P_i=n_i/N_i$ 。

2 结果与分析

2.1 林隙与非林隙主要植物种类群落学特征比较

白皮松林林隙与非林隙中各层次物种的密度、频度、显著度及重要值分布各不相同(表 2)。乔木层植物在林隙中量少且缺乏高大个体,因而每个物种的显著度和密度均较小,而非林隙中,整个群落生物量主要集中在乔木层;由于林隙中喜光物种的大量入侵,草本层、灌木层植物在林隙中的显著度和密度均明显高于非林隙,有些喜光树种仅在林隙中出

现,如构树(*Broussonetia papyrifera*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)和土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)等;极少数阳性树种仅出现在非林隙中,如黄连木(*Pistacia chinensis*)。

表 2 白皮松林林隙与非林隙主要植物种类的数量特征

Table 2 Quantitative characteristics of main plants in gaps and non-gaps in *P. bungeana* forest

物种	密度/(株·hm ⁻²)		频度		显著度/(m ² ·hm ⁻²)		重要值/%	
	林隙	非林隙	林隙	非林隙	林隙	非林隙	林隙	非林隙
乔木层								
白皮松(<i>Pinus bungeana</i>)	0.55	0.73	0.27	0.48	0.58	0.74	46.47	65.27
侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	0.37	0.66	0.07	0.21	0.53	0.78	32.37	54.71
辽东栎(<i>Quercus wutaishanica</i>)	0.50	0.17	0.20	0.09	0.43	0.05	37.38	10.35
山桃(<i>Amygdalus davidiana</i>)	0.62	0.06	0.10	0.03	0.43	0.00	38.07	3.03
栎树(<i>Koelreuteria paniculata</i>)	0.33	0.09	0.17	0.07	0.39	0.01	2.96	5.76
黄连木(<i>Pistacia chinensis</i>)	0.00	0.23	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	9.18
油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	0.14	0.58	0.03	0.02	0.42	0.99	19.82	53.01
野核桃(<i>Juglans cathayensis</i>)	0.15	0.11	0.02	0.02	0.05	0.01	7.49	4.59
板栗(<i>Castanea mollissima</i>)	0.33	0.13	0.01	0.02	0.02	0.09	12.17	7.64
山杏(<i>Armeniaca sibirica</i>)	0.30	0.03	0.06	0.02	0.50	0.06	28.71	4.65
构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	0.19	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	7.55	0.00
刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)	0.35	0.00	0.02	0.00	0.34	0.00	24.01	0.00
灌木层								
白莲蒿(<i>Artemisia gmelinii</i>)	0.23	0.17	0.13	0.09	0.17	0.13	17.61	13.22
胡枝子(<i>Lespedeza bicolor</i>)	0.16	0.21	0.08	0.11	0.13	0.15	11.72	15.85
薄皮木(<i>Leptodermis oblonga</i>)	0.11	0.17	0.09	0.13	0.10	0.15	10.04	14.80
狼牙刺(<i>Sophora davidii</i>)	0.09	0.13	0.13	0.14	0.12	0.12	11.49	13.12
木香薷(<i>Elsholtzia stauntoni</i>)	0.10	0.06	0.12	0.08	0.09	0.08	10.25	7.20
连翘(<i>Forsythia suspensa</i>)	0.08	0.05	0.09	0.06	0.09	0.06	8.61	5.69
陕西荚蒾(<i>Viburnum schensianum</i>)	0.03	0.03	0.07	0.08	0.05	0.06	4.97	5.42
毛黄栌(<i>Cotinus coggygia</i> var. <i>pubescens</i>)	0.02	0.02	0.04	0.05	0.03	0.04	2.61	3.65
虎榛子(<i>Ostryopsis davidiana</i>)	0.06	0.05	0.07	0.08	0.05	0.06	5.81	6.34
黄蔷薇(<i>Rosa hugonis</i>)	0.03	0.02	0.05	0.04	0.05	0.03	4.57	2.77
荆条(<i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>)	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	2.31	2.40
土庄绣线菊(<i>Spiraea pubescens</i>)	0.01	0.00	0.01	0.00	0.17	0.01	1.06	0.34
草本层								
大披针苔草(<i>Carex lanceolata</i>)	0.18	0.30	0.32	0.50	0.25	0.46	24.83	41.43
糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i>)	0.19	0.12	0.17	0.08	0.15	0.10	16.73	10.09
紫菀(<i>Aster tataricus</i>)	0.07	0.08	0.04	0.07	0.06	0.08	5.93	7.20
荩草(<i>Arthraxon hispidus</i>)	0.02	0.04	0.03	0.07	0.04	0.06	3.13	5.58
大火草(<i>Anemone tomentosa</i>)	0.07	0.00	0.06	0.00	0.05	0.00	6.14	0.00
委陵菜(<i>Potentilla chinensis</i>)	0.04	0.03	0.05	0.02	0.07	0.04	5.34	3.14
荻(<i>Miscanthus sacchariflorus</i>)	0.04	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	3.06	1.26
龙牙草(<i>Agrimonia pilosa</i>)	0.05	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02	4.45	2.24
风毛菊(<i>Saussurea japonica</i>)	0.03	0.02	0.05	0.02	0.06	0.03	4.55	2.36
紫花地丁(<i>Viola phillippica</i>)	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	1.82	3.34
茜草(<i>Rubia cordifolia</i>)	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.04	1.88	4.10

2.2 不同大小林隙内的物种多样性变化

不同大小林隙中草本层、灌木层和乔木层植物的物种多样性指数(图 1),方差分析可知,5 个不同大小林隙内的多样性指数存在明显差异($p < 0.05$),由图 1a、b、c 可以看出,研究区白皮松林乔木层植物的丰富度指数 R 、多样性指数 H' 和均匀度指数 J_s 随林隙大小级的变化成单峰曲线;在Ⅰ级林隙($<200\text{ m}^2$)到Ⅲ级林隙($400\sim600\text{ m}^2$)范围内增加缓慢,并在Ⅲ级林隙时达到最大值,随着林隙面积的增大,乔木层植物的 R 、 H' 和 J_s 均呈下降趋势;草

本层和灌木层植物的 R 、 H' 和 J_s 随林隙大小级的变化趋势基本一致,Ⅰ级林隙时较大,在Ⅱ级林隙($200\sim400\text{ m}^2$)范围内稍有下降,Ⅲ级林隙上升,且达到最大值。随林隙面积的增大, R 、 H' 和 J_s 均呈下降趋势,在Ⅳ级林隙($600\sim800\text{ m}^2$)中最小,但在Ⅴ级林隙($>800\text{ m}^2$)内又稍有增加。总的来看,乔木层、灌木层和草本层植物物种多样性指数随林隙面积的变化成单峰型,且有下降趋势。由图 1d 知,白皮松林隙乔木层、灌木层和草本层植物的生态优势度指数 λ 在林隙面积大小级上的变化,其生态优

势度指数 λ 与物种多样性指数几乎相反,乔木层植物的生态优势度指数 λ 变化成凹形,表明乔木层植物在较小的面积级林隙中优势种突出;草本层和灌

木层植物的生态优势度指数 λ 变化趋势基本相同,均成双峰型,但生态优势度指数 λ 变化幅度不同,峰值分别出现在 II 级和 IV 级林隙。

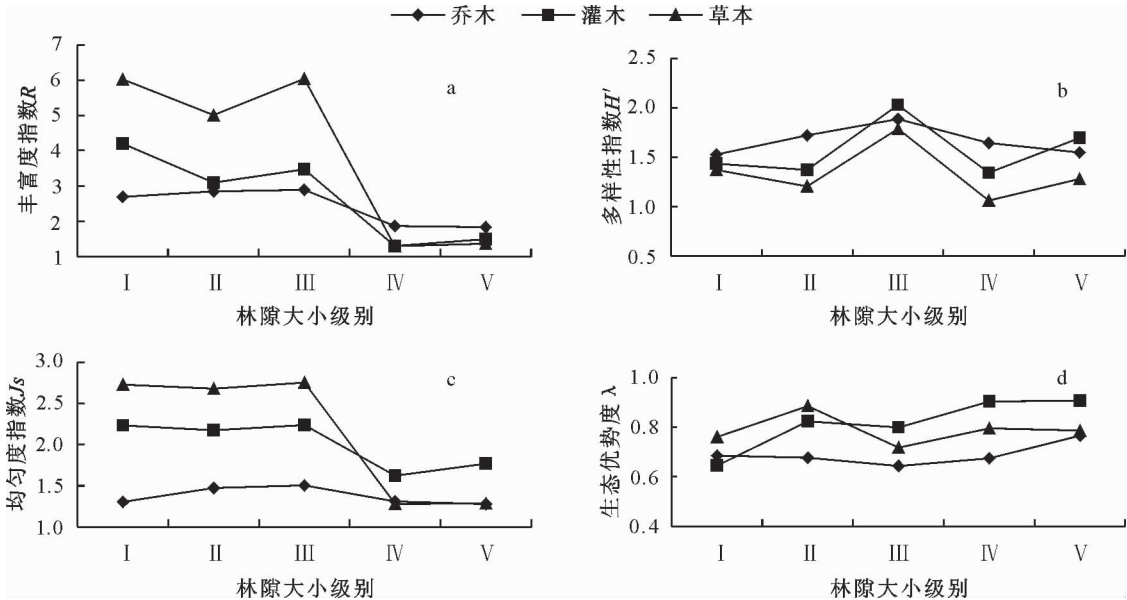


图 1 不同生长型物种多样性指数在林隙大小梯度上的分布

Fig. 1 Distribution of diversity indices of different growth forms along gaps size gradient

白皮松林乔木层、灌木层和草本层植物在同一大小级林隙中多样性分配比例不同,且在林隙大小级上的变化幅度也存在差异。由表 3 知,草本层植物的 R 、 H' 和 J_s 在不同面积级林隙间的变异系数最大,其次为灌木层植物,乔木层植物的最小。灌木层植物的 λ 在不同大小林隙间的变异系数最大,其

次为草本层植物,最小的为乔木层,可见白皮松林不同面积级林隙各生长型的物种多样性指数变化幅度不一,表现为草本>灌木>乔木,表明草本层和灌木层植物对不同面积级林隙微生境的变化反应比乔木层植物敏感,尤其灌木层优势种的分布在不同大小林隙间的变化更为突出。

表 3 各生长型物种多样性指数的林隙大小间变异

Table 3 Variation of species diversity indices of growth forms among different gap sizes

物种多样性指数	乔木		灌木		草本	
	A	CV	A	CV	A	CV
R	2.424	0.219	2.712	0.468	3.947	0.614
H'	1.665	0.087	1.574	0.184	1.320	0.204
J_s	1.373	0.078	2.007	0.145	2.144	0.367
λ	0.689	0.067	0.817	0.131	0.790	0.078

注:A 为各大小级林隙平均值;CV 为变异系数, CV=标准差/A,表 4 同。

2.3 不同发育阶段林隙物种多样性变化

白皮松林不同发育阶段林隙不同生长型的物种多样性指数(图 2),方差分析知,林隙发育的 4 个阶段的物种多样性指数存在明显差异($p<0.05$),由图 2a、b、c 可以看出,林隙各生长型的 R 、 H' 和 J_s 随林隙的变化曲线为单峰型。乔木层植物的 R 、 H' 和 J_s 在林隙发育前期增加缓慢,在林隙发育中前期达到最大值,之后逐渐减小,且整体曲线变化趋势不明显。草本层和灌木层植物的 R 、 H' 和 J_s 在林隙发育前期(<45 a)较低,在林隙发育中前期(45~90 a)时达到最大值,并随着林隙的发育逐渐下降,在林隙

发育后期(>135 a)时达到最小值。由图 2d 知,乔木层、灌木层和草本层植物的 λ 与多样性指数基本相反,且 λ 在林隙发育后期均有上升趋势,表明随着林隙的发育,各层次植物的优势种逐渐形成并已确定,群落结构趋于完善。

在不同发育阶段的林隙中乔木层、灌木层和草本层植物的物种多样性指数变化均不同(表 4),表现为 R 、 H' 、 J_s 在不同林隙发育阶段的变异系数从大到小顺序为草本、灌木和乔木;乔木层、灌木层和草本层植物的 λ 变异系数从大到小顺序为草本、乔木和灌木。

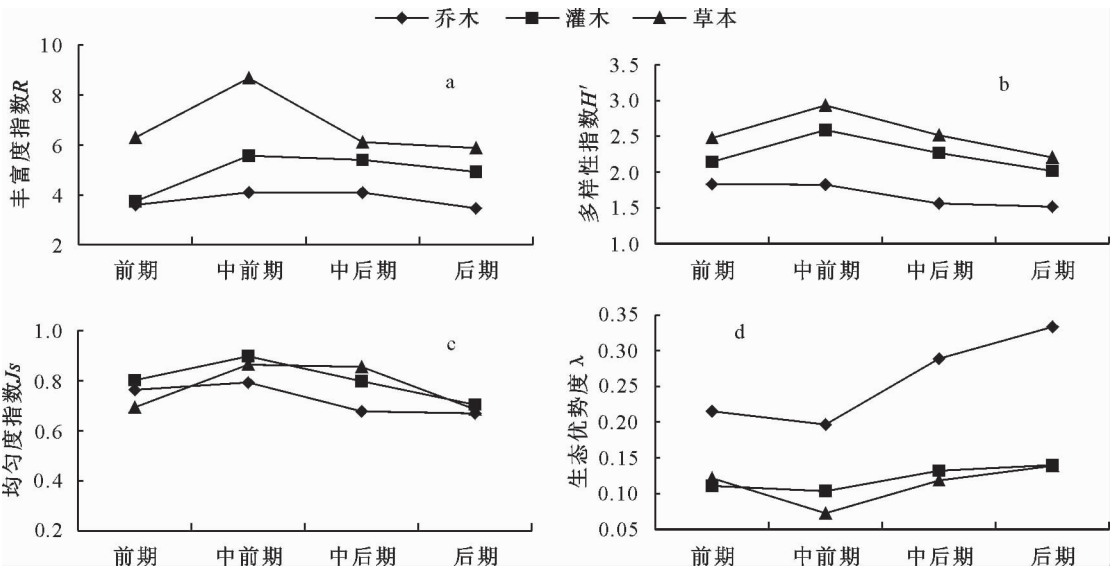


图 2 不同生长型物种多样性指数在林隙发育阶段的分布

Fig. 2 Distribution of diversity indices of different growth forms along gap developmental stages

表 4 各生长型物种多样性指数的林隙发育阶段间变异

Table 4 Variation of species diversity indices of growth forms among different gap developmental stages

物种多样性指数	乔木		灌木		草本	
	A	CV	A	CV	A	CV
R	3.821	0.086	4.913	0.169	6.743	0.193
H'	1.683	0.100	2.253	0.109	2.533	0.119
J_s	0.726	0.085	0.800	0.099	0.772	0.134
λ	0.259	0.247	0.122	0.141	0.113	0.250

3 结论与讨论

白皮松林林隙物种多样性指数最大值出现在Ⅲ级林隙(400~600 m²)。其物种多样性指数的变化规律与华北落叶松林林窗物种多样性指数^[27]、常绿阔叶林林隙物种多样性指数^[28]和喀斯特森林林隙物种多样性指数^[29]的变化规律基本一致,但其物种多样性指数最大值出现的林隙面积不尽相同,华北落叶松林林窗物种多样性指数最大值出现在240~320 m²^[27],喀斯特森林林隙出现在140~210 m²^[29],明显小于或远小于白皮松林林隙物种多样性指数最大值出现的面积,而常绿阔叶林林隙出现在400~500 m²^[28],与白皮松林林隙的面积相近。灌木层和草本层植物在Ⅰ级林隙和Ⅴ级林隙内物种多样性指数均较大。

白皮松林林隙内各生长型的物种多样性指数随林隙发育阶段呈单峰型变化趋势。在林隙发育前期,乔、灌和草本各层植物种类较少, H' 和 J_s 均较低,而 λ 较高,表明在前期林隙中更新的优势种较明显。在林隙发育中前期,林隙种类更新, R 和 H' 较大,随着林隙的继续发育,微生境条件的进一步改善,使这一发育阶段的生境条件,不但有利于较耐荫

的植物生存和发展,而且有利于较喜光的植物生存和发展,因此,白皮松林林隙在中前期各生长型的 H' 及 J_s 都达到最大,而 λ 较低,表明在中前期林隙内植物种类组成和结构已向着较复杂的方向发展,优势种不太明显,各种类的个体数分布较均匀。随着林隙的进一步发育,各生长型的 R 、 H' 和 J_s 在林隙发育后期达到最小,而 λ 在林隙发育后期有所增加,表明这一时期林隙中各生长型的优势种已基本形成。

物种多样性指数在白皮松林不同林隙大小和不同发育阶段中表现显著性差异,且均为灌木层和草本层植物的反应较乔木层植物敏感。这一研究结果与龙翠玲^[28]、许强^[27]等、张艳华^[30]等的研究结果相似。

在以后的白皮松天然次生林经营管理中,将林隙大小控制在400~600 m²,在林隙形成45~90 a发育阶段范围内,更应加强对白皮松林的保护,有利于白皮松林下植物幼苗出土、存活、定居和生长以及物种更新,进而促其物种多样性增大、林分稳定的更新及健康发展。

参考文献:

[1] WATT A S. Pattern and process in the plant communities[J].

Journal of Ecology, 1947, 35: 1-22.

[2] 宋新章, 肖文发. 林隙微生境及更新研究进展[J]. 林业科学, 2006, 42(5): 114-119.

SONG X Z, XIAO W F. Research advances of microsites and regeneration within canopy gap[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42 (5): 114-119. (in Chinese)

[3] ARNAGA L. Gap dynamics of a tropical cloud forest in North Mexico[J]. Biotropica, 1988, 3: 178-184.

[4] LERTZMAN K P. Pattern of gap phase replacement in subalpine old-growth forest[J]. Ecology, 1992, 73: 657-669.

[5] 王周平, 李旭光, 石胜友, 等. 缙云山森林林隙与非林隙物种多样性比较研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 7-10.

WANG Z P, LI X G, SHI S Y, *et al.* A comparison study on the species diversity between the gap and non-gap in Jinyun Mountain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14 (1): 7-10. (in Chinese)

[6] 吴宁. 贡嘎山东坡亚高山针叶林的林窗动态研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(3): 228-237.

WU N. Dynamics of forest gaps in subalpine coniferous forests on the Eastern slope of Gongga mountain [J]. Acta Phytocologica Sinica, 1999, 23(3): 228-237. (in Chinese)

[7] 彭建松, 柴勇, 孟广涛, 等. 云南金沙江流域云南松天然林林隙更新研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(2): 114-117.

PENG J S, CHAI Y, MENG G T, *et al.* A study on the gap phase regeneration in the natural forest of *Pinus yunnanensis* along the reaches of Jinshajiang in Yunnan Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20 (2): 114-117. (in Chinese)

[8] 兰国玉, 雷瑞德, 安锋, 等. 秦岭中龄华山松群落林窗特征初步研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(4): 48-51.

LAN G Y, LEI R D, AN F, *et al.* Preliminary study on gap characteristic of *Pinus armandii* in the Qinling Mountains[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20 (4): 48-51. (in Chinese)

[9] 崔丽红, 孙海静, 张曼, 等. 华北落叶松和油松混交林林隙特征及更新研究[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(2): 14-19.

CUI L H, SUN H J, ZHANG M, *et al.* Forest gap characteristics and regeneration of *Larix principis-rupprechtii* and *Pinus tabulaeformis* mixed forest[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(2): 14-19. (in Chinese)

[10] 龙翠玲. 喀斯特森林林隙梯度物种多样性变化规律[J]. 广西植物, 2008, 28(1): 57-61.

LONG C L. Species diversity change pattern in gap gradient in Karst Forest in Maolan Nature Reserve, Guizhou Province [J]. Guihaia, 2008, 28 (1): 57-61. (in Chinese)

[11] 李斌, 顾万春. 白皮松分布特点与研究进展[J]. 林业科学研究, 2003, 16(2): 225-232.

LI B, GU W C. Distribution of natural resources and research review on *Pinus bungeana* [J]. Forest Research, 2003, 16 (2): 225-232. (in Chinese)

[12] 许绍惠, 边立琪, 郭泳, 等. 白皮松抗寒性及抗寒育苗技术的研究[J]. 林业科学, 1994, 30(6): 497-505.

XU S H, BIAN L Q, GUO Y, *et al.* Nursery techniques for the enhancement of cold resistance of *Pinus bungeana* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1994, 30 (6): 497-505. (in Chinese)

[13] 苏俊霞, 孙建华, 田震平, 等. 吕梁山南端白皮松幼林种群结构的研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(2): 200-204.

SU J X, SUN J H, TIAN Z P, *et al.* Study on younger forest Population structure of *Pinus bungeana* in the Lvliang Mountains[J]. Acta Botany Boreal.-Occident. Sinica, 2003, 23 (2): 200-204. (in Chinese)

[14] 郭素娟, 凌宏勤, 潘万春, 等. 白皮松插穗的生根特性与其解剖构造的关系[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(5): 43-47.

GUO S J, LING H Q, PAN W C, *et al.* Relationships between rooting characteristics and anatomical structure of *Pinus bungeana* cuttings [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2004, 26 (5): 43-47. (in Chinese)

[15] 李斌, 顾万春. 白皮松交配系统及其种内遗传多样性分量比的研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(1): 19-25.

LI B, GU W C. Mating system and genetic diversity proportion in *Pinus bungeana* [J]. Forest Research, 2004, 17 (1): 19-25. (in Chinese)

[16] 张小龙, 张洪, 张香, 等. 外生菌根菌剂对白皮松幼苗生长效应研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 133-136.

ZHANG X L, ZHANG H, ZHANG X, *et al.* Study on the effects of ectomycorrhizal preparation on seedling growth of *Pinus bungeana* [J]. Forest Research, 2005, 18 (2): 133-136. (in Chinese)

[17] 唐德瑞, 李林, 李科友. 白皮松成熟胚的离体培养研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(7): 1346-1350.

TANG D R, LI L, LI K Y. Culture of mature *Pinus bungeana* embryo [J]. Acta Botany Boreal.-Occident. Sinica, 2006, 26 (7): 1346-1350. (in Chinese)

[18] 李淑静, 李登武, 秦廷松, 等. 白皮松林林隙物种组成动态及更新规律[J]. 武汉植物学研究, 2010, 28(5): 583-588.

LI S J, LI D W, QIN T S, *et al.* Dynamics of species composition and regeneration rules in the gaps of *Pinus bungeana* forest in Huanglong Mountain, Shaanxi Province[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2010, 28 (5): 583-588. (in Chinese)

[19] 李登武, 李淑静, 耿义良. 黄龙山白皮松林林隙特征[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(7): 12-14.

LI D W, LI S J, GENG Y L. Gap characteristics in *Pinus bungeana* forest in Huanglong Mountain, Shaanxi Province [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2011, 39 (7): 12-14. (in Chinese)

[20] 秦廷松, 李登武, 吕振江, 等. 黄土高原地区黄龙山白皮松林地土壤种子库研究[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(5): 694-700.

QIN T S, LI D W, LYU Z J, *et al.* Soil seed banks in the *Pinus bungeana* forest land of the Huanglong Mountain on the Loess Plateau[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2011, 28 (5): 694-700. (in Chinese)

[21] 王丽丽, 毕润成, 闫明, 等. 山西五鹿山白皮松群落乔灌木的种间分离[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5494-5501.

WANG L L, BI R C, YAN M, *et al.* Interspecific segregation of species in tree and shrub layers of the *Pinus bungeana* community in the Wulu Mountains, Shanxi Province, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32 (17): 5494-5501. (in Chinese)

[22]

杨晓凤,苗艳明,张钦弟,等.五鹿山白皮松林不同龄级立木的点格局分析[J].植物研究,2013,33(1):24-30.
YANG X F, MIAO Y M, ZHANG Q D, *et al.*. Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Pinus bungeana* in Wulu Mountain Reserve, Shanxi, China[J]. Bulletin of Botanical Research, 2013, 33 (1): 24-30. (in Chinese)

[23]

赵罕,郑勇奇,李斌,等.白皮松天然群体遗传结构的地理变异分析[J].植物遗传资源学报,2013,14(3):395-401.
ZHAO H, ZHENG Y Q, LI B, *et al.*. Genetic structure analysis of natural populations of *Pinus bungeana* in different geographical regions[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14 (3): 395-401. (in Chinese)

[24]

赵罕,郑勇奇,李斌,等.白皮松天然群体遗传多样性的 EST-SSR 分析[J].林业科学研究,2014,27(4):474-480.
ZHAO H, ZHENG Y Q, LI B, *et al.*. Genetic diversity analysis of *Pinus bungeana* natural populations with EST-SSR markers[J]. Forest Research, 2014, 27 (4): 474-480. (in Chinese)

[25]

彭剑峰,刘玉振,王婷.神农山白皮松不同龄组年轮-气候关系及 PDSI 重建[J].生态学报,2014,34(3):3509-3518.
PENG J F, LIU Y Z, WANG T. A tree-ring record of 1920's-1940's droughts and mechanism analyses in Henan Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34 (3): 3509-3518. (in Chinese)

[26]

RUNKLE J R. Gap regeneration in some old-growth forests of the Eastern United state[J]. Ecology, 1981, 62 (4): 1041-1051.

[27]

许强,毕润成,张钦弟,等.山西庞泉沟华北落叶松林林窗物种多样性动态变化[J].生态学杂志,2014,33(11):2913-2920.
XU Q, BI R C, ZHANG Q D, *et al.*. Dynamic patterns of species diversity in gaps of *Larix principis-rupprechtii* plantation in Pangquangou in Shanxi Province, China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33 (11): 2913-2920. (in Chinese)

[28]

龙翠玲.茂兰喀斯特森林林隙物种多样性的动态规律[J].山地学报,2009,27(3):278-285.
LONG C L. Study on dynamic pattern of species diversity in gaps of Karst forest in Maolan Nature Reserve, Guizhou Pprovince[J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27 (3): 278-285. (in Chinese)

[29]

臧润国,王伯荪,刘静艳.南亚热带常绿阔叶林不同大小和发育阶段林隙的树种多样性研究[J].应用生态学报,2000,11(4):485-488.
ZANG R G, WANG B S, LIU J Y. Tree species diversity in gaps of different sizes and developmental stages in lower sub-tropical evergreen broadleaved forest, South China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11 (4): 485-488. (in Chinese)

[30]

张艳华,裴绍荃,王志西.林隙对草本植物的影响[J].植物研究,1999,19(1):94-99.
ZHANG Y H, NIE S Q, WANG Z X. The influence of gaps totheherb[J]. Bulletin Botanical Research, 1999, 19 (1): 94-99. (in Chinese)

更正启事

因工作疏漏,使我刊 2015 年第 3 期第 135 页图 4 中拉丁学名有误,特此更正如下图,并对作者深表歉意。

