

黄土高原地区黄龙山白皮松林地土壤种子库研究

秦廷松¹, 李登武¹, 吕振江¹, 陈亚莉²

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 商洛市莲湖公园, 陕西 商洛 726000)

摘要: 采用萌发法和分粒结合的方法对陕西省黄龙山地区白皮松 *Pinus bungeana* 林地土壤种子库的物种组成、垂直分布和多样性等群落生态因子进行了对比研究。结果表明: 黄龙山地区白皮松林地土壤种子库萌发期和落种期 2 个不同物候期的物种结构相似, 全年土壤种子库共有物种 44 种, 隶属 34 个属 26 个科; 包括乔木、灌木、草本和藤本 4 种类型。将土壤种子库分为 0~5, 5~10, 10~15 cm 等 3 个层次, 不同土壤层次间种子个体数和物种数差异极显著 ($P < 0.01$), 均呈现上层 (0~5 cm) > 中层 (5~10 cm) > 下层 (10~15 cm) 的趋势。研究的 12 个样地土壤种子库的 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数平均值分别为 3.87, 3.63 和 1.15, 受人为活动影响强烈的样地多样性指数明显低于远离耕作区的样地。在整个的演替更新过程中, 白皮松的更新能力强于其他乔木树种, 主要表现在幼苗幼树和种子数占绝对优势, 草本植物的种子数量和物种数都高于木本植物, 在乔木树种更新能力弱的样地个别草本物种迅猛繁殖, 导致物种多样性和均匀度降低。图 3 表 1 参 21

关键词: 森林生态学; 白皮松林; 土壤种子库; 种群动态; 黄龙山

中图分类号: S718.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2011)05-0694-07

Soil seed banks in the *Pinus bungeana* forestland of the Huanglong Mountains on the Loess Plateau

QIN Ting-song¹, LI Deng-wu¹, LÜ Zhen-jiang¹, CHEN Ya-li²

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. The Lian Lake Park of Shangluo City, Shangluo 726000, Shaanxi, China)

Abstract: This study aims to understand the composition structure and function characteristics of the soil seed banks in the *Pinus bungeana* forestland of the Huanglong Mountain area. A comparative study in species composition, vertical distribution, diversity, and other community ecological factors of soil seed banks in *Pinus bungeana* forests, which was undertaken by adopting the germination and grain combining methods. Treatments included three layers: 0–5, 5–10, and 10–15 cm layers and analysis included three indexes: the Margalef abundance, Shannon-Wiener diversity, and Pielou evenness degree. Regeneration and succession for four structural types namely, trees, shrubs, herbs, and lianas were also compared (12 plots, 3 replications). The results indicated that the germination period was identical to the seed period in species structure. The soil seed bank contained 44 species belonging to 34 genera and 26 families in 2009. For individual seed number and species number, a significant difference ($P < 0.01$) was found among soil layers with: 0–5 cm > 5–10 cm > 10–15 cm. Index averages were Margalef abundance: 3.87, Shannon-Wiener diversity index: 3.63, and Pielou evenness degree index: 1.15. For regeneration and succession, *P. bungeana* had a stronger regeneration capability with seeds at 39.2% of all tree species. Also, the herbaceous plants were 19.00% more than the woody plants in seeds and 36.36% in species number. Our results show there are significant differences in the vertical distribution of soil seed banks, and the composition of species remained relatively stable in the Huan-

收稿日期: 2010-11-19; 修回日期: 2011-03-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30671672); 西北农林科技大学青年学术骨干基金资助项目 (01140304)

作者简介: 秦廷松, 从事森林生态学研究。E-mail: qts_4@126.com。通信作者: 李登武, 副教授, 博士, 从事植物生物多样性、植物地理学和植物群落生态学等研究。E-mail: dengwuli@163.com

glong Mountain area. [Ch, 3 fig. 1 tab. 21 ref.]

Key words: forest ecology; *Pinus bungeana* forest; soil seed bank; population dynamics; Huanglong Mountain

土壤种子库(soil seed bank)是指存在于确定面积土壤表层凋落物和土壤中具有活力的全部种子的总和^[1-4], 是植物种群动态过程中的一个重要阶段, 也是群落的重要组成部分, 是潜在的植被种群或群落^[5-8], 对植被群落的恢复方向具有重要的决定作用^[9-11]。白皮松 *Pinus bungeana* 为中国特有的树种, 属深根性喜光树种, 在干旱地区有极强的适应性。陕西省韩城市黄龙山地区是白皮松天然次生林的主要分布区之一, 其林地群落是国家 I 级保护动物褐马鸡 *Crossoptilon mantchuricum* 的重要栖息地。近年来, 在该地区开展的生态学研究工作较为活跃, 如李登武等^[12]对黄龙山种子植物的区系组成和植物科属的地理成分的系统研究; 郭其强等^[13-14]对黄龙山白桦林的群落特征及时间序列研究; 李宏群等^[15]黄龙山林区褐马鸡繁殖季节中午卧息地选择研究。作为森林天然更新的物质基础, 种子库的结构和功能影响着森林植被天然更新的能力和方向^[2]。对土壤种子库的研究可以为深入了解植被更新方面的信息提供更多的途径, 也是生物多样性研究的重要补充, 能丰富生物多样性的内容^[16]。针对黄龙山白皮松群落的土壤种子库的相关研究情况还未见报道。本研究旨在通过对黄龙山白皮松群落土壤种子库的研究, 掌握该地区白皮松群落土壤种子库的组成和动态, 为进一步探讨黄龙山白皮松林的更新规律提供理论基础。

1 研究地区概况与研究方法

1.1 研究地区概况

本研究采样地位于陕西省韩城市雷寺庄林场, 35°26'~35°46'N, 110°08'~10°30'E, 地处黄龙山东部, 总面积 39 124.0 hm², 是以保护褐马鸡及其栖息地生境为主要任务的综合性自然保护区^[17]。该区内植物种类和群落类型丰富, 其中乔木层主要有白皮松, 油松 *Pinus tabulaeformis*, 白桦 *Betula platyphylla*, 辽东栎 *Quercus wutaishanica*, 山杨 *Populus davidiana*, 乔木层以白皮松占绝对优势; 灌木层以狼牙刺 *Sophora viciifolia*, 黄蔷薇 *Rosa hugonis*, 连翘 *Forsythia suspensa*, 胡枝子 *Lespedeza bicolor*, 虎榛子 *Ostryopsis davidiana* 和毛黄栌 *Cotinus coggygia* var. *glaucophylla* 为主; 草本层以披针叶薹草 *Carex lanceolata*, 孔颖草 *Bothriochloa pertusa*, 林地早熟禾 *Poa nemoralis* 等植物为主。

1.2 研究方法

以白皮松物候为参照, 研究时间分 2 步进行, 第 1 次在白皮松天然种子萌发之前(2009 年 4 月), 即年前种子, 记作萌发期; 第 2 次在白皮松种子落种后 10 d 内(2009 年 10 月), 即年内种子, 记作落种期。2 次实验在邻近或同同样地中取样, 实验内容相同。

1.2.1 外业调查 利用样线法^[18]在调查区域内的白皮松纯林、白皮松-油松混交林、白皮松-侧柏 *Platycladus orientalis* 混交林林内和林隙内按不小于 20 m × 20 m 的标准选取 12 个样地, 将样地编号为 P₁, P₂, P₃, P₄, P₅, P₆, P₇, P₈, P₉, P₁₀, P₁₁ 和 P₁₂。在每个样地的对角线方向分 3 个点采集土样, 每个取样点的面积为 0.2 m × 0.2 m, 分 0~5, 5~10 和 10~15 cm 等 3 层不同土壤深度进行取土。在取土样地内按 3 m × 3 m 规格的小样方调查地上植被, 记录物种的名称、盖度和频度等, 作为土壤种子库物种鉴别的对照。

1.2.2 室内实验 将土样带回实验室, 按取样点放入萌发盆中进行标记萌发, 待有植株萌发时开始鉴定并记录, 并摘取已记录的物种, 当萌发盆中无植株长出后将土壤均匀翻动并保持一定湿度再继续观察 1 周, 如果还没有新的植株长出, 则标志着萌发实验结束。再将萌发结束后的土样用孔筛将种子进行分粒, 结合已萌发的种子及地上调查物种形态进一步鉴定。

1.2.3 数据处理 ①种子库密度。根据取样的面积和萌发的种子数量折算为 1 m² 萌发种子的数量。②数据处理。采用 Excel 2003 和 PASW 18 软件, 对白皮松土壤种子库进行双因素及描述统计分析。

Shannon-Wiener 多样性指数(D):

$$D = 3.321 9 \frac{\lg N - 1}{N \sum n_i \lg n_i}$$

Pielou 均匀性指数(J_{sw}):

$$J_{sw} = \frac{-\sum_{i=1}^S P_i \lg P_i}{\lg S}, \quad P_i = \frac{n_i}{N_i}。$$

Marglef 丰富度指数(R):

$$R = \frac{S-1}{\lg S}。$$

其中： S 是样地内出现的物种数， N 为全部种的个体数， P_i 为第 i 个种占总数的比例， n_i 为第 i 个种的个体数。

2 结果与分析

2.1 种子库的物种组成

通过对萌发的植物幼苗进行鉴定统计表明：黄龙山白皮松林地种子库共有种子植物 44 种，隶属于 34 个属 26 个科。其中乔木 5 种，占总种数的 11.6%，灌木 7 种，占总种数的 16.3%，草本 26 种，占总种数的 60.5%，藤本植物 4 种，占总种数的 9.3%。从表 1 可以看出：乔木主要以白皮松，侧柏和栎树 *Koelreuteria paniculata* 的种子数量居多，三者之和占乔木总数的 91.3%，其中白皮松种子最多，占乔木种子总数的 39.2%，占种子库总数的 2.4%；灌木以木香薷 *Elsholtzia stauntoni*，胡枝子和狼牙刺 *Sophora viciifolia* 居多，三者总数占灌木种子总数的 79.9%；草本则以芨芨草 *Achnatherum splendens*，披针叶薹草和铁杆蒿 *Artemisia sacrorum* 居多，占草本种子总数的 61.9%；藤本植物中则以白花悬钩子 *Rubus leucanthus* 为主，占藤本植物种子总数的 58.6%。12 个样地土样中，共有种子 4 183 粒，其中乔木植物种

表 1 黄土高原地区黄龙山白皮松林地土壤种子库主要种类及密度

Table 1 Dominant species and their densities of soil seed bank of *Pinus bungeana* forestland of the Huanglong Mountains in Loess Plateau

物种	个体数		密度/(粒·m ⁻²)		物种	个体数		密度/(粒·m ⁻²)	
	萌发期	落种期	萌发期	落种期		萌发期	落种期	萌发期	落种期
乔木					林地早熟禾 <i>Poa nemoralis</i>	79.00	0.00	27.43	0.00
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	44.00	55.00	15.28	19.10	牡蒿 <i>Aster frtipolium</i>	26.00	38.00	9.03	13.19
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	32.00	42.00	11.11	14.58	附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>	11.00	38.00	3.82	13.19
栎树 <i>Koelreuteria paniculata</i>	31.00	30.00	10.76	10.42	斑叶堇菜 <i>Viola variegata</i>	25.00	7.00	8.68	2.43
辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i>	8.00	2.00	2.78	0.69	半夏 <i>Pinellia ternata</i>	9.00	22.00	3.13	7.64
灌木					狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	31.00	0.00	10.76	0.00
木香薷 <i>Elsholtzia stauntoni</i>	281.00	418.00	97.57	145.14	细叶鸢尾 <i>Iris tenuifolia</i>	21.00	7.00	7.29	2.43
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	37.00	198.00	12.85	68.75	宽叶景天 <i>Sedum fui</i> var. <i>fui</i>	8.00	13.00	2.78	4.51
狼牙刺 <i>Sophora viciifolia</i>	97.00	53.00	33.68	18.40	紫堇 <i>Corydalis edulis</i>	1.00	18.00	0.35	6.25
薄皮木 <i>Leptodermis oblonga</i>	55.00	76.00	19.10	26.39	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>	6.00	11.00	2.08	3.82
土庄绣线菊 <i>Spiraea pubescens</i>	48.00	81.00	16.67	28.13	异叶败酱 <i>Patrinia heterophylla</i>	5.00	10.00	1.74	3.47
草本					毛梗豨莶 <i>Siegesbeckia glabrescens</i>	11.00	0.00	3.82	0.00
芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	258.00	396.00	89.58	137.50	野西瓜苗 <i>Hibiscus trionum</i>	3.00	8.00	1.04	2.78
披针叶薹草 <i>Carex lanceolata</i>	299.00	255.00	103.82	88.54	鼠掌老鹳草 <i>Geranium sibiricum</i>	3.00	8.00	1.04	2.78
铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	74.00	180.00	25.69	62.50	攀援藤本				
双花堇菜 <i>Viola biflora</i>	8.00	129.00	2.78	44.79	白花悬钩子 <i>Rubus leucanthus</i>	74.00	0.00	25.69	0.00
苓草 <i>Arthraxon hispidus</i>	55.00	71.00	19.10	24.65	茜草 <i>Randia cochinchinensis</i>	23.00	5.00	7.99	1.74
山苦荬 <i>Ixeris chinensis</i>	58.00	45.00	20.14	15.63	日本菟丝子 <i>Cuscuta japonica</i>	4.00	20.00	1.39	6.94
黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	21.00	76.00	7.29	26.39					

子 252 粒, 灌木植物种子 1 356 粒, 草本植物种子 2 448 粒, 藤本植物种子 127 粒, 分别占土壤种子库种子总数的 6.0%, 32.9%, 57.9% 和 3.1%。12 个样地物种数分别为: 样地 P_1 共计 19 个物种, 占总数的 43.2%; 样地 P_2 共计 26 个物种, 占总数的 59.1%; 样地 P_3 共计 19 个物种, 占总数的 43.2%; 样地 P_4 共计 27 个物种, 占总数的 61.4%; 样地 P_5 共计 22 个物种, 占总数的 50.0%; 样地 P_6 共计 26 个物种, 占总数的 59.1%; 样地 P_7 共计 27 个物种, 占总数的 61.4%; 样地 P_8 共计 24 个物种, 占总数的 54.5%; 样地 P_9 共计 21 个物种, 占总数的 47.4%; 样地 P_{10} 共计 28 个物种, 占总数的 63.6%; 样地 P_{11} 共计 24 个物种, 占总数的 54.5%; 样地 P_{12} 共计 19 个物种, 占总数的 43.2%。

萌发期和落种期 2 个不同取样期的物种组成相似, 萌发期物种较落种期物种多 4 种。但在种子密度上却存在较大差异, 萌发期乔木的平均密度为 9.98 ± 5.22 粒 $\cdot$ m $^{-2}$, 落种期乔木的平均密度为 11.20 ± 7.85 粒 $\cdot$ m $^{-2}$; 萌发期灌木的平均密度为 35.97 ± 35.33 粒 $\cdot$ m $^{-2}$, 落种期灌木的平均密度为 57.36 ± 52.84 粒 $\cdot$ m $^{-2}$; 萌发期草本物种的平均密度为 16.73 ± 27.88 粒 $\cdot$ m $^{-2}$, 落种期草本物种的平均密度为 25.69 ± 36.66 粒 $\cdot$ m $^{-2}$; 萌发期藤本物种的平均密度为 4.34 ± 3.68 粒 $\cdot$ m $^{-2}$, 落种期藤本物种的平均密度为 11.69 ± 12.57 粒 $\cdot$ m $^{-2}$ 。2 个不同取样期物种组成的共同特征均表现为乔木各物种密度差异变动较小, 灌木、草本各物种密度变动较大。攀援藤本物种数较少, 落种期只有 2 种, 萌发期只有 3 种。

2.2 种子库的垂直分布

从图 1 可以看出: 黄龙山白皮松林地土壤种子库中种子的数量随着土壤深度的增加呈逐渐减少的趋势。其中以 0~5 cm 层土壤中种子数最多, 占种子总数的 60.4%, 5~10 cm 层土壤种子占 29.0%, 10~15 cm 层种子数量最少, 只占到总数的 10.5%。以土壤深度和取样时间为固定因子进行双因素方差分析, 从 0~5 cm 层到 10~15 cm 层土壤中种子数差异极显著 ($P < 0.01$) 呈递减趋势, 萌发期和落种期种子数量差异极显著 ($P < 0.01$), 落种期种子数量高于萌发期。在落种期土样中, 0~5 cm 层有大量年内凋落的种子, 该地区属褐马鸡自然保护区, 作为表层土壤, 随着时间的推移, 其种子库中种子会受外部干扰(如动物啄食等)的影响而减少, 因此, 萌发期种子数量会明显减少; 土壤深度从另一侧面反映了时间的递增, 种子随着时间变化部分萌发形成新的植株加入地上植被, 部分则保存于土壤中形成持久种子库(persistent seed bank)^[19], 越到下层, 土壤种子库中的植物种子数和物种数都会逐渐减少。

土壤种子库中物种的分布状况和种子数量的分布状况相似。如图 2 所示: 0~5 cm 层土壤中的物种数最多, 共计 39 种, 占物种总数的 90.7%, 5~10 cm 层土壤中共计 33 种, 占物种总数的 76.7%, 10~15 cm 层共计 22 种, 占物种总数的 51.2%。同样以土壤深度和取样期为固定因子进行双因素方差分析, 土壤种子库中物种数随土壤深度的增加呈极显著 ($P < 0.01$) 呈递减趋势。虽然总体上萌发期和落种期物种变化不大(表 1), 但从 12 个样地来看, 各样地萌发期和落种期物种数差异极显著 ($P < 0.01$)。物种的变化和种子数量的变化具有相似性, 随着时间的推移, 种子数量的减少必然会引起物种损失, 但在开放的生境

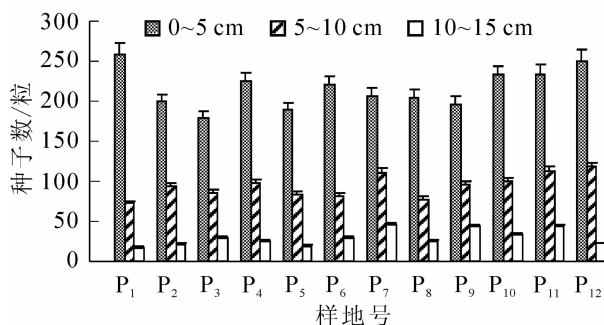


图 1 黄土高原地区黄龙山白皮松林地土壤种子库中种子数的垂直分布

Figure 1 Vertical distribution of seeds in soil seed bank of *Pinus bungeana* forestland of the Huanglong Mountains in Loess Plateau

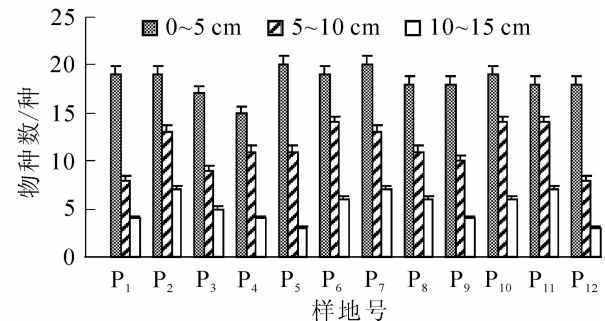


图 2 黄土高原地区黄龙山白皮松林地土壤种子库中物种的垂直分布

Figure 2 Vertical distribution of species in soil seed bank of *Pinus bungeana* forestland of the Huanglong Mountains in Loess Plateau

下,外界干扰也会导致其他物种引入。

2.3 土壤种子库的多样性

作为潜在的植物群落,土壤种子库与生物多样性有着密切的关系^[20]。种子库多样性的研究有利于更好地认识群落的组成、变化和发展。从全年情况来看:12个样地的多样性指数变动不大(图3),各样地的 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数基本趋于一致。其中 Margalef 指数为 2.98 ~ 4.68,均值为 3.86 ± 0.58 ; Shannon-Wiener 指数为 2.84 ~ 4.11,均值为 3.63 ± 0.37 ; Pielou 指数为 0.97 ~ 1.25,均值为 1.15 ± 0.08 。

从图3可以看出:Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数的最低值基本重合,如样地

P₂,样地 P₄和样地 P₁₀具有较高的 Margalef 指数值,相应样地 P₂和样地 P₄的值也处于较高水平,但 Margalef 指数最大值的地样 P₁₀的 Shannon-Wiener 指数处于低水平。由于 Margalef 指数主要反应群落的物种组成结构的丰富程度,其值随群落中物种种类增多而增大;Shannon-Wiener 指数通常又称为生态优势度,它所反映的是优势种在群落中的地位和作用的大小,如果某个或某几个优势种在群落中占有突出地位,那么其值就较低^[21]。由于样地 P₂和样地 P₄均处于处于封山育林的核心保护区,林地属于次生林演替中间时期,其物种丰富度较高,群落内优势种为白皮松。作为高大乔木物种,在自然更新下不可能出现高密度的个体分布,因此在样地 P₁,样地 P₃,样地 P₉和样地 P₁₂的 Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数都同时处于低值,灌草物种在数量上占优势。样地 P₁₀和样地 P₁₂邻近于当地群众的耕作区(果园),样地 P₁₀位于阳坡,主要乔木树种为侧柏和白皮松,在数量上占优势的为先锋阳性灌草植物木香薷(30.33%)和铁杆蒿(2.31%),样地 P₁₂的土壤中共计发现物种数为 17 种,而芨芨草和木香薷 2 个物种的个体数占到总个体数的 52.85%。因此,该样方的 Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数均处于最低值。

均匀度反映不同物种之间的数量对比关系,如种间的个体差异程度越小,群落内的均匀度就越高^[21]。从图3可以看出:12个样地的 Pielou 指数几乎呈一致的变化趋势,样地的平均物种数为 22.08 ± 2.71 ,物种在各样地中的分布变化不大,物种分配较均匀。在所有样地中,占优势的物种基本上为相同物种,如多样性指数值均较高的样地 P₄和样地 P₁₀的优势种同样是芨芨草,物种数量分别是 19 和 17。由于黄龙山地区白皮松林地属于次生林分,从群落演替来看,均属于演替中间时期,因此各样地的群落组成结构相似,在土壤种子库这一潜在的群落中也存在一致的表现。人类活动等外界干扰是影响群落结构呈不稳定变化的主要动力。

3 结论与讨论

3.1 物种组成较为稳定,乔木树种组成结构单一

在黄龙山地区设置的 12 个样地的全年土壤种子库中,萌发期和落种期 2 个不同取样期的物种组成相似,特别是在乔木组分上,2 个不同物候期完全相同,且树种密度差异变动较小;灌草部分落种期的物种比萌发期多 3 种,只占到总物种数的 6.82%。乔木物种主要以白皮松和侧柏种子为主,且种子密度较低。占绝对数量的物种以草本为主,共计 21 种,全年土壤种子库中在数量上排前 3 位的物种为木香薷、芨芨草和披针叶藁草。

3.2 物种垂直分布显著,持久型种子库储量稳定

黄龙山白皮松林地土壤种子库中种子的数量和种类随着土壤深度的增加呈逐渐减少的趋势,且差异极显著($P < 0.01$)。由于物候变化必然会引起物种的更新,因此,落种期的土壤种子库中种子的数量和种类与萌发期具有极显著差异。土壤种子主要集中在 0~5 cm 层土壤中,这一层主要是植物年内凋落的种子。作为持久型种子库的 5~10 cm 层土壤种子库具有一定的稳定性,2 个物候期采集的该层土壤种子库

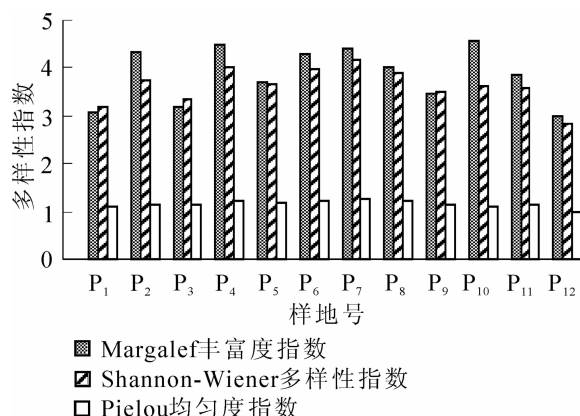


图3 黄龙山白皮松林地土壤种子库中物种的多样性

Figure 3 Species diversity of soil bank of *Pinus bungeana* forestland of the Huanglong Mountains in Loess Plateau

的组成和数量都较为接近。由于有大量腐殖质, 这一层种子在萌发过程中较其他两层都有较高的萌发率, 各样地种子数量相对变动不大, 全年平均种子数为 94.17 ± 14.52 粒, 有 8~14 个物种。持久型种子库作为群落更新的主要动力来源, 5~10 cm 层土壤种子库的稳定性对该地区植被的发展将起到积极的影响。

3.3 物种多样性结构变化趋势相似

通过 12 个样地土壤种子库实验可以看出: 黄土高原黄龙山地区物种的分布较为稳定, 物种分配均匀, 各样地都有较为相似的优势物种。在人类活动频繁的耕作区林地边缘地区和阳坡的白皮松-侧柏混交林, 其优势物种主要为阳性先锋灌草植物。即使在物种丰富度较高的地区, 也会因为人类活动等外界干扰致使物种分布严重不均匀, 林地主要乔木优势物种的损失会引起大量先锋灌草植物在种类和数量上的激增, 表现高丰富度低多样性的群落结构。另一方面也可能造成所有物种在数量和种类上的同时衰减, 也就是丰富度和多样性同时降低。由于黄龙山地区白皮松林地属于次生林分, 属群落演替中间时期, 因此, 各样地的群落组成结构相似, 均匀度变动不大。

参考文献:

- [1] SIMPSON R L. *Ecology of Soil Seed Bank* [M]. London: Academic Press, 1989: 149 – 209.
- [2] 杨跃军, 孙向阳, 王保平. 森林土壤种子库与天然更新[J]. 应用生态学报, 2001, **12** (2): 304 – 308.
YANG Yuejun, SUN Xiangyang, WANG Baoping. Forest soil seed bank and natural regeneration [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12** (2): 304 – 308.
- [3] 于顺利, 蒋高明. 土壤种子库的研究进展及若干研究热点[J]. 植物生态学报, 2003, **27** (4): 552 – 560.
YU Shunli, JIANG Gaoming. The research development of soil seed bank and several hot topics [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2003, **27** (4): 552 – 560.
- [4] 张志权. 土壤种子库[J]. 生态学杂志, 1996, **15** (6): 36 – 42.
ZHANG Zhiquan. Soil seed bank [J]. *Chin J Ecol*, 1996, **15** (6): 36 – 42.
- [5] 陈清惠. 贵州茂兰喀斯特山地土壤种子库储量及主要组成[J]. 地球与环境, 2008, **36** (3): 207 – 211.
CHEN Qinghui. Storage and composition of soil seed bank of karst area in Maolan [J]. *Earth Environ*, 2008, **36** (3): 207 – 211.
- [6] 王刚, 梁学功. 沙坡头人工固沙区的种子库动态[J]. 植物学报, 1995, **37** (3): 231 – 237.
WANG Gang, LIANG Xuegong. The dynamics of seed bank on Shapotou artificially stabilized dunes [J]. *Acta Bot Sin*, 1995, **37** (3): 231 – 237.
- [7] 熊利民, 钟章成, 李旭光, 等. 亚热带常绿林下不同演替阶段土壤种子库的初步研究[J]. 植物生态学与地植物学报, 1992, **16** (3): 249 – 257.
XIONG Limin, ZHONG Zhangcheng, LI Xuguang, *et al.* A preliminary study on the soil seed banks of different successional stages of subtropical evergreen broadleaved forest [J]. *Acta Phytoecol Goebot Sin*, 1992, **16** (3): 249 – 257.
- [8] 杨允菲, 祝玲. 松嫩平原碱化草甸朝鲜碱茅种子散布机制的分析[J]. 植物学报, 1995, **37** (3): 222 – 230.
YANG Yunfei, ZHU Ling. Analysis on the mechanism of seed dispersal of *Puccinellia chinampoensis* on alkalized meadow in Songnen Plain of China [J]. *Acta Bot Sin*, 1995, **37** (3): 222 – 230.
- [9] JALILI A, HAMZEH'EE B, ASRI Y, *et al.* Soil seed banks in the Arasbaran protected area of Iran and their significance for conservation management [J]. *Biolog Conserv*, 2003, **109**: 425 – 431.
- [10] FALINSKA K. Seed bank dynamics in abandoned meadows during a 20-year period in the Bialowieza National Park [J]. *J Ecol*, 1999, **87**: 461 – 475.
- [11] PECO B, ORTEGO M, LEVASSOR C. Similarity between seed bank and vegetation in Mediterranean grassland: a predictive model [J]. *J Veget Sci*, 1998, **9**: 815 – 828.
- [12] 李登武, 詹兴中, 王冬梅, 等. 陕西黄龙山褐马鸡自然保护区种子植物区系研究[J]. 山西大学学报: 自然科学版, 2008, **31** (1): 133 – 140.
LI Dengwu, ZHAN Xingzhong, WANG Dongmei, *et al.* Study on seed flora in Huanglong Mountains *Crossoptilon mantchuricum* Nature Reserve, Shaanxi [J]. *J Shanxi Univ Nat Sci Ed*, 2008, **31** (1): 133 – 140.
- [13] 郭其强, 张文辉, 何景峰, 等. 黄龙山不同白桦林群落结构特征研究[J]. 西北植物学报, 2007, **27** (1): 132 – 135.

- GUO Qiqiang, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, *et al.* Structural characteristics of different *Betula platyphylla* communities in Huanglong Mountain [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2007, **27** (1): 132 – 135.
- [14] 薛瑶芹, 张文辉, 何景峰. 黄龙山白桦种群结构及其时间序列预测分析 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, **36** (12): 121 – 128.
- XUN Yaoqin, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng. Study on the population structure and time sequence prediction of *Betula platyphylla* in Huanglong Mountain [J]. *J Northwest A & F Univ Nat Sci Ed*, 2008, **36** (12): 121 – 128.
- [15] 李宏群, 廉振民, 陈存根, 等. 陕西黄龙山林区褐马鸡繁殖季节中午卧息地选择[J]. 生态学杂志, 2007, **26** (9): 1402 – 1406.
- LI Hongqun, LIAN Zhengmin, CHEN Cungen, *et al.* Noon-resting habitat selection of *Crossoptilon mantchuricum* in its breeding season in Huanglong Mountain forest area of Shaanxi Province[J]. *Chin J Ecol*, 2007, **26** (9): 1402 – 1406.
- [16] 陈智平, 王辉, 袁宏波. 子午岭辽东栎林土壤种子库及种子命运研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, **40** (1): 7 – 12.
- CHEN Zhiping, WANG Hui, YUAN Hongbo. Studies on soil seed bank and seed fate of *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwu Mountains [J]. *J Gansu Agric Univ*, 2005, **40** (1): 7 – 12.
- [17] 张凤臣, 杨兴中, 李登武. 陕西韩城黄龙山褐马鸡自然保护区综合科学考察与研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2006.
- [18] 汲玉河, 吕宪国, 杨青, 等. 三江平原湿地植物物种空间分异规律的探讨[J]. 生态环境, 2006, **15** (4): 781.
- JI Yuhe, LÜ Xianguo, YANG Qing, *et al.* Spacial differentiation regularity of plant species in Sanjiang Plain Wetland [J]. *Ecol Environ*, 2006, **15** (4), 781.
- [19] THOMPSON K, GRIME J P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in 10 contrasting habitats [J]. *J Ecol*, 1979, **67**: 893 – 921
- [20] 张玲, 李广贺, 张旭. 土壤种子库研究综述[J]. 生态学杂志, 2004, **23** (2): 114 – 120.
- ZHANG Ling, LI Guanghe, ZHANG Xu. A Review on soil seed banks study [J]. *Chin J Ecol*, 2004, **23** (2): 114 – 120.
- [21] 张峰, 上官铁梁. 山西绵山森林植被的多样性分析[J]. 植物生态学报, 1998, **22** (5): 461 – 465.
- ZHANG Feng, SHANGGUAN Tieliang. Analysis on the community diversity of forest vegetation in Mian Mountains, Shanxi [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1998, **22** (5): 461 – 465.