秦岭太白山 4 类森林土壤种子库的储量 分布与物种多样性

张 玲 方精云

(北京大学环境学院生态学系, 北京大学生态学研究与教育中心, 北京大学地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 种子是种子植物的繁殖体。了解种子生态学对于发展群落结构和功能的理论具有关键性作用。土壤种子库可以从另一个角度表现植被的潜在更新能力。本文通过野外植被调查和室内试验, 从 240 份土样中, 采用物理方法挑选土壤中的种子进行分类统计, 研究了秦岭太白山南坡的锐齿槲栎 (*Quercus aliena* var. *acuteserrata*) 林、糙皮桦 (*Betula utilis*) 林、巴山冷杉 (*Abies fargesii*) 林、太白红杉 (*Larix potaninii* var. *chinensis*) 林 4 类森林的土壤种子库分布状况, 了解土壤种子库储量分布以及物种多样性特点。主要研究结果如下: (1) 4 类森林中, 糙皮桦林的土壤种子库总储量最大, 为 1.77×10^4 ind./m²; 太白红杉林的土壤种子库总储量最小, 为 1.742×10^3 ind./m²。种子的特性对于土壤种子库储量有较大的影响。(2) 4 类森林的土壤种子库储量在土层中的垂直分布为枯落物层 > 腐殖质层 > 心土层, 锐齿槲栎林土壤种子库中物种种类最多, 有 50 种, 阔叶林中潜在的群落优势度为多个种群分配, 而针叶林的种子库中优势种较少; 巴山冷杉林种子库群落均匀度大于其他 3 种林地的。(3) 土壤种子库的种子储量与种子密度的变化规律基本一致; 用种子密度来表示种子库的大小特征, 考虑了土壤性质等对种子库的影响, 比用种子储量来表示更能客观地反映土壤种子库的特点。

关键词: 太白山, 山地森林, 土壤种子库, 种子数量, α 多样性, β 多样性

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2004)01-0131-06

Reserves and species diversity of soil seed banks in four types of forest on Mt. Taibai, Qinling Mountains

ZHANG Ling, FANG Jing-Yun

Department of Ecology, College of Environmental Sciences, Center for Ecological Research & Education, and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871

Abstract: The soil seed bank represents the pool of potential species for a plant community. It plays a critical role in community succession and maintenance of the community structures and functions. We analyzed the distribution of soil seed banks and their characteristics in four forest types: *Larix chinensis* forest, *Betula utilis* forest, *Quercus aliena* var. *acuteserrata* forest, and *Abies fargesii* forest based on 240 samples collected on the southern slope of Mt. Taibai, Qinling Mountains, Central China. The results are summarized as follows: (1) the soil seed bank reserve of *B. utilis* forest was the largest one (1.7677×10^4 ind./m²), while *L. chinensis* forest the smallest (1.742×10^3 ind./m²). Seed characteristics influenced soil seed bank reserves. (2) the seed bank of *Q. aliena* var. *acuteserrata* forest contained 50 species, which was the highest of the four forest types. The seed reserves were highest in litter layer, followed by that in humus layer and subsurface soil layer. The seed banks of deciduous broad-leaved forests exhibited higher dominance and lower evenness than those of coniferous forests. The seed bank evenness index was highest in *A. fargesii* forest. (3) the reserves and density of seed banks showed similar patterns along the altitudinal gradient and in the four forest types. In this study, the soil samples were divid-

ed into three layers : litter layer , humus layer and subsurface soil layer. This sampling method improved on previous methods , which sampled soil at a fixed soil depth. Having taken the characteristics of soils into account , seed density was a better indicator of the soil seed bank characteristics than the seed reserve.

Key words : α -diversity , β -diversity , forest type , Mt. Taibai , seed reserves , soil seed bank

土壤种子库内的种子作为潜在的植物种群 , 与植被演替动态、林窗发育及生物多样性有密切关系 (Harper , 1977 ; Fenner , 1985)。自 20 世纪 80 年代末以来 , 种子库已成为国内植物生态研究的热点之一 , 主要研究内容包括森林、草地等植被类型的土壤种子库 (熊利民等 , 1992 ; 安树青等 , 1996 ; 杨允菲 , 祝玲 , 1995 ; 周先叶等 , 2000)。关于森林群落土壤种子库的研究 , 主要有对针叶林 (刘庆洪 , 1988 ; 徐化成 , 班勇 , 1996)、常绿阔叶林 (彭军等 , 2000)、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林 (安树青等 , 1996)、次生林 (周先叶等 , 2000 ; 韩有志 , 王政权 , 2002) 等的研究。本文对于太白山南坡原始森林——针叶林和阔叶林的土壤种子库进行了比较研究 , 探讨 4 种森林植被的土壤种子库的特征 , 为植被更新能力的评价提供基础数据。

1 研究区域背景

太白山是秦岭的主峰 , 位于陕西省境内 , 跨太白、眉县和周至 3 县 , 地理位置大约为 $107^{\circ}19' - 107^{\circ}58' E$, $33^{\circ}40' - 34^{\circ}10' N$, 最高峰拔仙台海拔 3767.2 m , 为暖温带第一高峰。太白山处于暖温带的最南端 , 年降水量 1000 mm 左右 , 年均温 $1 - 5^{\circ}C$ 。由于复杂的生物、气候条件与地质、地貌条件相互作用 , 太白山的土壤分布具有明显的垂直带谱 , 工作区的土壤分带自下而上为 : 山地棕壤带、山地暗棕壤带、亚高山草甸森林土带、高山草甸土带 ; 在高山带还分布着山地沼泽土。植被大致可分为常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林、针叶林、高山灌丛草甸、高山草甸等 6 个类型。植被类型复杂、植物种类丰富 , 种子植物有 125 科 657 属 1782 种 (朱志诚 , 1982 ; 应俊生等 , 1990)。

2 研究方法

2.1 取样及处理

2.1.1 土壤种子库采样

2001 年 6 月 24 日 - 2001 年 7 月 20 日进行野

外调查及土壤样品采集。样地设在太白山南坡 , 分别在海拔 1520 m、2800 m、3070 m、3200 m 处各选取 1 个典型样地 ($20 m \times 250 m$) 进行植物群落调查 , 同时采集土样。各海拔样地对应的森林植被类型分别为 : 锐齿槲栎 (*Quercus aliena* var. *acuteserrata*) 林、糙皮桦 (*Betula utilis*) 林、巴山冷杉 (*Abies fargesii*) 林、太白红杉 (*Larix chinensis*) 林。在典型样地内随机选取 20 个小样方 , 每个小样方的面积为 $0.25 m \times 0.4 m$; 在各小样方内 , 分三层采集土样。第一层为枯枝落叶层 , 第二层为腐殖质层 , 第三层为心土层。各土样分装入布袋中 , 同时记录各层的土样厚度。由于心土层较厚 , 心土层取样 10 cm 深。总共采集土样 240 份。

2.1.2 土壤种子筛选

野外采集回来的土样置于常温下 , 自 2001 年 7 月 24 日开始对每个取样点的样品进行分级筛选 , 分别依次过筛 , 筛子孔径分别为 : 3 mm , 2 mm , 0.6 mm , 0.45 mm , 然后人工挑选种子 ; 对留在 0.6 mm 和 0.45 mm 筛上的土壤中的种子在双筒显微镜下进行计数、鉴定。最后进行淘洗 , 待反复冲洗干净后拣出各种植物种子进行统计。

将筛选过的土壤进行发芽实验 , 统计幼苗并计入种子总数。

将挑选出来的种子进行种子活力测定。种子生活力测定用四唑法 (傅家瑞 , 1985) : 称取 1g 2 , 3 , 5-三苯四唑氯化物 (TTC) , 加重蒸水 100 mL (pH 6.5 - 7.0)。植物种子用自来水冲洗干净 , 浸泡 2 h 后 , 吸干种子表面水分 , 横切不断裂 , 放入四唑溶液中 , 在 $35 - 40^{\circ}C$ 温箱内染色 2 h ; 然后从四唑溶液中取出种子在放大镜下区分着色或未着色。着色种子是有生活力的。

2.2 数据分析

土壤种子库中物种的多样性采用相应的多样性指数来测定。

(1) 生态优势度 (ecological dominance) :

$$C = - \sum_{i=1}^S n_i (n_i - 1) / [N (N - 1)]$$

其中 S 为样地总物种数, n_i 为第 i 个物种的个体数, N 为样地物种个体总数(彭少麟, 1987)。

(2) 丰富度指数(Richness index):

Margalef's index $R_1 = (S - 1) / \ln n$

Menhinick's index $R_2 = S / \sqrt{n}$

其中 S 为群落中物种总数, n 为群落中观察到的个体总数(祝廷成等, 1988)。

(3) 物种多样性指数(Species diversity index):

H' 为 Shannon 指数, λ 为 Simpson 指数, 这两个指数的计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^{S^*} (p_i \ln p_i), \lambda = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

其中 S^* 为群落中总物种数, S 为样方中观察到的物种数, p_i 为第 i 种的比例多度(祝廷成等, 1988)。

(4) 均匀度指数(Evenness index):

$E = (N_2 - 1) / (N_1 - 1)$

其中 $N_1 = e^{H'}$, $N_2 = \lambda^{-1}$

(5) 群落共有度(Coefficient of community):

$$C_j = \frac{c}{a + b - c}$$

其中 C_j 为 Jaccard 相似性指数(Whittaker, 1972), 用来表示土壤种子库群落间的共有度, c 为两个群落共有的物种数, a 为群落 A 中物种数, b 为群落 B 中的物种数。

(6) 相异性系数(Community dissimilarity):

$$CD = 1 - \frac{2c}{a + b}$$

其中 c 为两群落共有的物种数, a 、 b 分别为两群落各自的物种数。

3 结果与讨论

3.1 土壤种子库的储量分布特征

土壤种子库储量是表征土壤种子库组成特征的一个重要指标, 它反映了植被更新种源的情况, 是影响植被更新能力的一个重要因素。通常表征土壤种子库储量的指标有两个: 第一个是土壤种子库储量, 以单位取样面积土壤内所包含的种子数量来表示, 它反映一个样地内种子储量的总体情况。因为植被类型以及土壤结构和理化性质对土壤内种子的储量会有影响, 所以本实验中根据各个样地土壤性质的不同, 分三层取样, 故此在本文中土壤种子库的储量是以单位面积土壤中所埋藏的种子数量(ind./

m²)来表示。第二个指标是土壤种子库密度, 它是单位体积土壤内所包含的种子数量, 它可用于同一样地内不同土壤深度的土壤种子储量的比较。土壤种子库密度用单位面积每厘米深的土壤中的种子数量(ind. · m⁻² · cm⁻¹)来表示。

4 类森林样地的土壤种子库储量和密度分布如表 1。

3.2 4 种类型森林的土壤种子库总储量

从表 1 中可以看出 4 类森林中, 糙皮桦林的土壤种子库总储量最大, 为 1.7677×10^4 ind./m²; 锐齿槲栎林和巴山冷杉林的土壤种子库总储量比较接近, 分别为 3.924×10^3 ind./m² 和 4.526×10^3 ind./m², 巴山冷杉林的种子库总储量略大于锐齿槲栎林; 太白红杉林的土壤种子库总储量最小, 为 1.742×10^3 ind./m²。尽管太白红杉林和巴山冷杉林同为针叶林, 但是太白红杉林土壤种子库总储量却低于巴山冷杉林。由于糙皮桦种子小而轻巧, 并且数量多, 因此糙皮桦林中土壤种子库储量较大, 这是不难理解的。

锐齿槲栎林和巴山冷杉林的土壤种子库总密度比较接近, 分别为 1.667×10^3 ind. · m⁻² · cm⁻¹ 和 1.298×10^3 ind. · m⁻² · cm⁻¹, 锐齿槲栎林的土壤种子库总密度稍大于巴山冷杉林, 这与土层厚度有关: 因为锐齿槲栎林的枯落物层和腐殖质层厚度均小于巴山冷杉林。

4 类森林群落土壤种子库出现的物种有: 葛萝槭(*Acer grosseri*), 榛属(*Corylus* spp.), 华山松(*Pinus armandii*), 珠芽蓼(*Polygonum viviparum*), 菟丝子(*Cuscuta austras*), 苦皮藤(*Celastrus angulatus*), 紫堇属(*Corydalis* spp.), 车前(*Plantago asiatica*), 悬钩子属(*Rubus* spp.), 乌桕(*Sapium sebiferum*), 湖北花楸(*Sorbus hupeheniss*), 花椒属(*Zanthoxylum* spp.), 紫斑牡丹(*Paeonia linyanshanii*), 巴山冷杉、糙皮桦、锐齿槲栎、太白红杉等等。

3.3 4 种类型森林土壤种子库的垂直分布

从种子在土壤中的垂直分布来看(分别以单位面积和单位体积土壤中的种子含量计算), 各森林样地的种子数量分布表现为枯落物层 > 腐殖质层 > 心土层。

表 1 显示 4 类森林中糙皮桦林枯落物层种子库的储量是最大的, 为 8.833×10^3 ind./m², 这与糙皮桦种子的特性有关, 锐齿槲栎林和巴山冷杉林枯

表 1 4 类森林样地土壤种子库储量与密度分布
Table 1 Reserves and density of soil seed bank in four types of forest (ind. /m²)

森林类型 Forest type	锐齿槲栎林 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest	糙皮桦林 <i>Betula utilis</i> forest	巴山冷杉林 <i>Abies fargesii</i> forest	太白红杉林 <i>Larix potaninii</i> var. <i>chinensis</i> forest
海拔 Altitude(m)	1520	2800	3070	3200
坡度 Slope(°)	30	30	17	15
坡向 Aspect(°)	235	235	260	245
土样总厚度 Total soil layer depth(cm)	16. 44	19. 4	19. 2	18. 2
种子库总储量(ind. /m ²) Overall reserves	3924 ± 7441	17 677 ± 3268	4526 ± 1967	1742 ± 784
种子库总密度(ind. · m ⁻² · cm ⁻¹) Overall density	1667 ± 3094	3751 ± 278	1298 ± 654	433 ± 199
枯落物层种子库储量(ind. /m ²) Litter layer reserves	3316 ± 6748 *	8833 ± 2224 *	2720 ± 1086 *	1184 ± 514 *
枯落物层种子库密度(ind. · m ⁻² · cm ⁻¹) Litter layer density	1560 ± 3038 *	2077 ± 376 *	985 ± 608 *	332 ± 144 *
腐殖质层种子库储量(ind. /m ²) Humus layer reserves	558 ± 645 *	8757 ± 1464 *	1762 ± 2153 *	546 ± 517 *
腐殖质层种子库密度(ind. · m ⁻² · cm ⁻¹) Humus layer density	97 ± 50 *	1657 ± 123 *	305 ± 353 *	99 ± 96 *
心土层种子库储量(ind. /m ²) Reserves of subsurface soil layer	50 ± 54 *	87 ± 81 *	44 ± 38 *	12 ± 16 *
心土层种子库密度(ind. · m ⁻² · cm ⁻¹) Density of subsurface soil layer	10 ± 11 *	17 ± 16 *	9 ± 8 *	2 ± 3 *

* 差异显著 Significant difference

落物层种子库的储量比较接近 ,分别为 3.316×10^3 ind. /m² 和 2.72×10^3 ind. /m² ,前者小于后者 ,但锐齿槲栎林枯落物层种子库的密度比巴山冷杉林要大 (二者的密度分别为 1.56×10^3 ind. · m⁻² · cm⁻¹ 和 9.85×10^2 ind. · m⁻² · cm⁻¹) ,这与种子库中的物种种子特性有关 ,如壳斗科的锐齿槲栎在锐齿槲栎林种子库中是优势成分之一 ,其种子较大 ,常常存在于枯落物层中。太白红杉林的土壤种子库总储量最小 ,为 1.184×10^3 ind. /m² 。尽管太白红杉林和巴山冷杉林同为针叶林 ,但是枯落物层的种子库储量差别较大。这也与种子的特性有关 ,有待于进一步研究。枯落物层种子库密度变化趋势与储量变化趋势基本一致(表 1)。

比较 4 类森林腐殖质层种子库的储量发现 ,糙皮桦林腐殖质层种子库的储量最大 ,为 8.757×10^3 ind. /m² ;巴山冷杉林次之 ,为 1.762×10^3 ind. /m² ;锐齿槲栎林和太白红杉林腐殖质层种子库的储量比较接近 ,分别为 5.58×10^2 ind. /m² 和 5.46×10^2 ind. /m² 。而锐齿槲栎林和太白红杉林所处的海拔高度差异较大 :锐齿槲栎林所处的海拔最低(1520 m) ,太白红杉林所处的海拔最高(3200 m) ,看来海

拔高度对于二者种子库储量差异的影响不大。巴山冷杉林腐殖质层种子库的储量稍大于锐齿槲栎林的。这与腐殖质层土样厚度有关 ,巴山冷杉林腐殖质层土样厚度大于锐齿槲栎林的。

尽管太白红杉林和巴山冷杉林同为针叶林 ,但是腐殖质层的种子库储量差别较大 :这与种子的特性有关 ,有待于进一步研究。糙皮桦林腐殖质层种子库的储量高与糙皮桦种子小而轻的特性密切相关。腐殖质层种子库密度变化趋势与储量变化趋势基本一致(表 1)。

比较 4 类森林心土层种子库的储量 ,可以看出 ,糙皮桦林心土层种子库的储量最大 ,为 87 ind. /m² ;锐齿槲栎林和巴山冷杉林比较接近 ,分别为 50 ind. /m² 和 44 ind. /m² ;太白红杉林最小 ,为 12 ind. /m² 。尽管太白红杉林和巴山冷杉林同为针叶林 ,但是心土层的种子库储量差别较大 ,这是由于巴山冷杉林心土层种子库中有一种植物(未定名) 的种子占较大的优势。心土层种子库密度变化趋势与储量变化趋势基本一致(表 1)。

3.4 4 类森林土壤种子库群落结构

表 2 显示 4 种类型森林的群落结构指标。从表

表 2 4 类森林的土壤种子库群落结构
Table 2 Community structure of soil seed bank in four forest types

森林类型 Forest type	物种数 No. of species	生态优势度 Ecological dominance	丰富度指数 Richness index		物种多样性指数 Diversity index		均匀性指数 Evenness index
	<i>S</i>	<i>C</i>	<i>R</i> ₁	<i>R</i> ₂	λ	<i>H'</i>	<i>E</i>
锐齿槲栎林 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest	50	0.75	5.92	0.80	0.75	0.78	0.29
糙皮桦林 <i>Betula utilis</i> forest	30	0.76	2.97	0.23	0.76	0.57	0.40
巴山冷杉林 <i>Abies fargesii</i> forest	26	0.43	2.97	0.39	0.43	1.08	0.68
太白红杉林 <i>Larix potaninii</i> var. <i>chinensis</i> forest	42	0.34	5.49	1.01	0.34	1.77	0.40

表 3 4 类森林的土壤种子库群落共有度
Table 3 Jaccard index of soil seed bank in four forest types

	锐齿槲栎林 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest	糙皮桦林 <i>Betula utilis</i> forest	巴山冷杉林 <i>Abies fargesii</i> forest	太白红杉林 <i>Larix potaninii</i> var. <i>chinensis</i> forest
锐齿槲栎林 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest	1			
糙皮桦林 <i>Betula utilis</i> forest	0.19	1		
巴山冷杉林 <i>Abies fargesii</i> forest	0.09	0.40	1	
太白红杉林 <i>Larix potaninii</i> var. <i>chinensis</i> forest	0.12	0.22	0.31	1

表 4 4 类森林土壤种子库群落相异性指数
Table 4 Community dissimilarity index of soil seed bank in four forest types

	锐齿槲栎林 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest	糙皮桦林 <i>Betula utilis</i> forest	巴山冷杉林 <i>Abies fargesii</i> forest	太白红杉林 <i>Larix potaninii</i> var. <i>chinensis</i> forest
锐齿槲栎林 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest	0			
糙皮桦林 <i>Betula utilis</i> forest	0.68	0		
巴山冷杉林 <i>Abies fargesii</i> forest	0.84	0.43	0	
太白红杉林 <i>Larix potaninii</i> var. <i>chinensis</i> forest	0.78	0.64	0.53	0

中看出 4 类森林样地中 ,锐齿槲栎林的种子库中物种数最多 ,有 50 种。针叶林土壤种子库的生态优势度接近 ,阔叶林土壤种子库的生态优势度接近 ,针叶林的小于阔叶林的 ,说明阔叶林中潜在的群落优势度为多个种群所分配 ,而针叶林的种子库中优势种较少。糙皮桦林与太白红杉林二者土壤种子库的均匀性指数相同 ,前者是处于低海拔的阔叶林 ,后者是

处于高海拔的针叶林 ,这值得进一步探讨。巴山冷杉林种子库群落均匀度大于其他 3 种林地的 ,说明单优势种并不突出。物种多样性指数用 Shannon 指数 *H'* 和 Simpson 指数 λ 来表示。糙皮桦林土壤种子库的 λ 值最大 ,与生态优势度一致 ,说明糙皮桦林土壤种子库的优势度大 ;太白红杉林土壤种子库的 *H'* 值最大 ,说明太白红杉林土壤种子库的物种多

样性高。

3.5 4 类森林土壤种子库的 β 多样性

对 4 类森林土壤种子库的群落共有度和相异性系数进行两两比较发现(表 3 表 4),巴山冷杉林与糙皮桦林的土壤种子库群落共有度最高,为 0.4;两者的相异性系数最小,为 0.43。巴山冷杉林与锐齿槲栎林的土壤种子库群落共有度最低,为 0.09;两者的相异性系数最大,为 0.86。比较太白红杉林与其他 3 类森林的土壤种子库群落共有度,发现太白红杉林与巴山冷杉林的土壤种子库群落共有度最高,因为它们都是针叶林,海拔都较高。比较锐齿槲栎林与其他 3 类森林的土壤种子库群落共有度,发现锐齿槲栎林与糙皮桦林的土壤种子库群落共有度最高,因为它们同为阔叶林。比较糙皮桦林与其他 3 类森林的土壤种子库群落共有度,发现糙皮桦林与太白红杉林的土壤种子库群落共有度最高,这与种子的传播特性有关,而且糙皮桦林地处中海拔地带,糙皮桦种子轻巧,在风力作用下可能向低海拔和高海拔传播。

4 结论

(1) 太白山南坡 4 类森林中糙皮桦林土壤种子库储量最大,为 1.7677×10^4 ind./m²;太白红杉林土壤种子库储量最小,为 1.742×10^3 ind./m²;种子的特性对于土壤种子库储量有较大的影响。

(2) 4 类森林样地的种子数量在土壤中的垂直分布表现为枯落物层 > 腐殖质层 > 心土层。

(3) 锐齿槲栎林土壤种子库的物种数最多,有 50 种。

(4) 用土壤种子库储量和密度表示土壤种子库的大小,两者规律基本一致;而用单位面积土壤中的种子储量来表示种子库的大小特征考虑了土壤性质对种子库的影响,比用种子密度来表示更能客观地反映土壤种子库的特点。这一点常被忽略。

参考文献

- An, S. Q. (安树青), Lin, X. Y. (林向阳) and Hong, B. G. (洪必恭). 1996. A preliminary study on the soil seed banks of the dominant vegetation forms on Baohua Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **20** (1): 41–50. (in Chinese)
- Fenner, M. 1985. *Seed Ecology*. Chapman and Hall, London.
- Fu, J. R. (傅家瑞). 1985. *Seed Physiology* (种子生理). Science Press, Beijing. (in Chinese)

- Han, Y. Z. (韩有志) and Wang, Z. Q. (王政权). 2002. The spatial pattern and process of seed bank of *Fraxinus mandshurica* in secondary hard wood forests. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **26** (2): 170–176. (in Chinese)
- Harper, J. L. 1977. *Population Biology of Plant*. Academic Press, London.
- Liu, Q. H. (刘庆洪). 1988. The dispersion of Korean pine seeds and the effect on natural regeneration in the mixed Korean pine and broad-leaved tree forest of the Xiaoxing'anling Mountains. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), **12** (2): 134–142. (in Chinese)
- Peng, J. (彭军), Li, X. G. (李旭光), Dong, M. (董鸣) and Liu, Y. C. (刘玉成). 2000. Soil seed banks of subtropical evergreen broad-leaved forest on Simian Mountain, Chongqing. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24** (2): 209–214. (in Chinese)
- Peng, S. L. (彭少麟). 1987. The ecological dominance of subtropical forest communities of Guangdong. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **7** (1): 36–42. (in Chinese)
- Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, **21**: 213–251.
- Xiong, L. M. (熊利民), Zhong, Z. C. (钟章成) and Li, X. G. (李旭光). 1992. A preliminary study on the soil seed banks of different successional stages of subtropical evergreen broad-leaved forest. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), **16** (3): 249–256. (in Chinese)
- Xu, H. C. (徐化成) and Ban, Y. (班勇). 1996. The distribution of seeds in the soil and the sustainability of the seed bank of *Larix gmelini* in northern Daxing'anling Mountains. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **20** (1): 28–34. (in Chinese)
- Yang, Y. F. (杨允菲) and Zhu, L. (祝玲). 1995. Comparative analysis of seed banks in saline-alkali communities in the Songnen Plain of China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **19** (2): 144–148. (in Chinese)
- Ying, T. S. (应俊生), Li, Y. F. (李云峰), Guo, Q. F. (郭勤峰) and Cui, H. (崔禾). 1990. Observations on the flora and vegetation of Taibai Shan, Qinling Mountain range, southern Shaanxi, China. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **28** (4): 261–293. (in Chinese)
- Zhou, X. Y. (周先叶), Li, M. G. (李鸣光), Wang, B. S. (王伯荪) and Zan, Q. J. (曾启杰). 2000. Soil seed banks in a series of successional secondary forest communities in Heishiding Nature Reserve, Guangdong Province. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24** (2): 222–230. (in Chinese)
- Zhu, T. C. (祝廷成), Zhong, Z. C. (钟章成) and Li, J. D. (李建东). 1988. *Plant Ecology* (植物生态学). Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhu, Z. C. (朱志诚). 1982. A preliminary studies on the *Quercus liaotungensis* forests in the Qinling Mountain and the loess plateau of northern part of the Shaanxi Province. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学丛刊), **6** (2): 95–103. (in Chinese)

(责任编辑: 闫文杰)