

# 滇中喀斯特森林土壤种子库的种-面积关系

沈有信<sup>1,2</sup> 刘文耀<sup>1</sup> 崔建武<sup>1</sup>

(1 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 昆明 650223) (2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要** 土壤中的种子是植物群落更新与再恢复的种源基础。国内对土壤种子库的取样面积与种子检出之间的关系还很少涉及。在采用萌发方法对采集自滇中喀斯特山地的 100 个 10 cm× 10 cm× 10 cm 土样的物种数进行研究后, 分析了土壤种子库的种-面积关系。面积与总物种和乔、灌、草本物种数之间的关系与二次方程和对数方程之间的拟合关系都较好。总物种数和草本物种数的基数较大且随面积增长较明显, 而乔木和灌木的基数相对较小, 增长较慢。总物种数的增加在面积位于 0. 15~ 0. 2 m<sup>2</sup>, 也即 15~ 20 个 10 cm× 10 cm× 10 cm 土样之间时逐渐趋缓, 可将这一面积和取样数量作为同类地区种子库取样的参考。

**关键词** 喀斯特 森林 土壤种子库 种-面积曲线 取样面积

## SPECIES-AREA RELATIONSHIPS OF SOIL SEED BANK IN KARST FOREST IN CENTRAL YUNNAN, CHINA

SHEN You\_Xin<sup>1,2</sup>, LIU Wen\_Yao<sup>1</sup>, and CUI Jian\_Wu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kunming Section of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China, and <sup>2</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract Aims** Seeds stored in soil are important for plant regeneration and ecological restoration. Seeds are dispersed from parent plants stochastically, and this results in a non-uniform distribution of seeds across the litter and soil. Soil samples must be collected to overcome this variation and to obtain a reasonable richness and density of seeds. However, extracting seeds from soil is time-consuming and studying the germination of seeds from soil samples requires much space. Therefore, it is important to determine a reasonable sample size for soil seed bank studies. However, the relationship between soil sampling area and seeds has rarely been explored in China.

**Methods** We collected 100 soil samples of 10 cm× 10 cm× 10 cm in a Karst forest in central Yunnan. Species and seed density were determined with the seedling emergence method after washing soil samples through 4 and 0. 21 mm mesh sieves to eliminate coarse and fine materials, respectively. Soil samples were treated as quadrats and arrayed in a regular but non-contiguous grid to establish a species-area relationship.

**Important findings** A total of 2 536 seedlings from 69 species (7 trees, 6 shrubs and 56 herbs) emerged from the samples. There were 3– 67 seeds from 1– 14 species in a soil sample, with an average of 23. 4 seeds and 7. 1 species. The percentage of samples in which a species germinated ranged from 1% to 90%. The number of total, tree, shrub and herb species had significant quadratic and logarithmic relationships with area. The bases of total species and herb species were large and the slopes of their species-area curves were steep. In contrast, the bases for tree species and shrub species were small and showed little increase. The increase of total species leveled out at 0. 15– 0. 2 m<sup>2</sup>, i. e., 15– 20 samples (10 cm× 10 cm× 10 cm). This study indicates that 15– 20 samples with total surface area of 0. 15– 0. 2 m<sup>2</sup> can serve as a reference for soil seed bank studies in areas similar to this study. However, the seedling emergence method, even with the total sample area in this study, needs to be improved or replaced to determine the sampling requirement for tree and shrub species.

**Key words** Karst, forest, soil seed bank, species-area relation, sample area

种-面积关系是群落生态学中古老而又十分基础的一个研究命题, 众多生态学家已经并继续花费

巨大的努力和想象来构建和量化这种关系(Arrhenius, 1921; Gleason, 1922; Cain, 1938; He & Legendre, 2002; Scheiner, 2003)。多数种子植物的种子在萌发前都会在土壤及其表面停留一段或长或短的时间, 为植物群落的更新演替及植被破坏后的再恢复提供种源基础(Baskin & Baskin, 1998; Thompson, 2000)。受到地表母树个体分布、种子散布时的风力、动物活动、地表状态、到达地表后的动物和微生物破坏等影响, 任何一个群落内的种子在枯枝落叶层和土壤中的分布都是不连续的, 也是不均匀的(Hughes *et al.*, 1994; Nathan *et al.*, 2002; Tackenberg, 2003)。一定地点的取样不可能包含群落内所有物种的种子, 因而同地表植被一样, 当种子库取样面积增加时, 所检测出的物种数量也会增加(Numata *et al.*, 1964; Hayashi & Numata, 1971; Bigwood & Inouye, 1988)。但是土壤种子库研究中的种子分离既耗时又耗力, 当采用萌发方法时还需要较大的满足温度、湿度和种子隔离的空间条件, 无限扩大取样数量和面积时会增加研究难度。寻求合适的取样面积来平衡研究中的精度需求与人力、物力需求的关系显得十分重要。

不同的生态系统内所寻找到的取样面积有巨大的差异(Numata *et al.*, 1964; Hayashi & Numata, 1971; Forcella, 1984; Bigwood & Inouye, 1988; Gross, 1990)。中国自 20 世纪 90 年代以来开展了很多种子库的研究, 所用面积和取样方法千差万别, 但无人开展种-面积关系的研究, 也缺乏统一的取样面积。本研究以云南中部喀斯特山地的土壤种子库研究为例, 探讨其种-面积关系并推荐合适的取样面积。

## 1 研究地点概况及研究方法

### 1.1 研究地点概况

研究地点位于云南省中部的石林县( $103^{\circ}11' \sim 103^{\circ}30' \text{ E}$ ,  $24^{\circ}40' \sim 24^{\circ}55' \text{ N}$ )境内, 距昆明 84 km。该地年均温  $15.6^{\circ}\text{C}$ , 最热月(7 月)均温  $25.3^{\circ}\text{C}$ , 最冷月(1 月)均温  $8.2^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 254 d, 年均降雨量 962.5 mm, 其中 5~10 月降雨量占全年降雨量的 85.5%。选取该县境内的一个植被状况较好的彝族村(蓑衣山)的神山森林作为研究对象。该森林坐落于相对高度约 100 m 的阳坡坡面上, 海拔 1 950 m, 坡度  $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ , 群落高 8~10 m, 盖度约 85%。未经过激烈破坏, 偶有择伐, 仅见少量伐桩。

该群落的主要乔木物种有滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)、清香木(*Pistacia weinmannifolia*)、团花新木姜子(*Neolitsea homilantha*)、云南木樨榄(*Olea*

*yunnanensis*)、云南鹅耳枥(*Carpinus mobeigiana*)、裂果漆(*Toxicodendron griffithii*)等。粗大的木质藤本与蔓性灌木经常出现于乔木次层, 增加了该层的郁闭度, 常见种类有山鸡血藤(*Millettia dielsiana*)、南蛇藤(*Celastrus angulatus*)、贵州络石(*Trachelospermum bodinieri*)、象鼻藤(*Dalbergia mimosoides*)、花椒勒(*Zanthoxylum scandens*)以及多种素馨(*Jasminum* spp.)等。主要灌木种有针齿铁子(*Myrsine semiserrata*)、小铁子(*Myrsine africana*)、西藏青英叶(*Helwingia himalacia*)等。草本层多以细长叶苔草(*Carex* sp.)、钩状冷水花(*Pilea hamaoi*)、竹叶草(*Oplismenus compositus*)、沿阶草(*Ophiopogon bodinieri*)、皱叶狗尾草(*Setaria plicata*)、变异铁角蕨(*Asplenium varians*)较常见。岩石表面多生长有石苇(*Pyrrosia lingua*)、膜叶星蕨(*Microsorium membranaceum*)、脉叶蛛毛苣苔(*Paraboea neurphylla*)等, 在生长与开花季节十分夺目。植被状况的详细描述见文献(沈有信等, 2005)。

### 1.2 研究方法

在所选择的森林内, 以塑料绳设置 2 列 10 行的  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  小样地, 在每个样地的中心及中心到四角的中部分别采一  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  土样, 装于土袋中。共采集了 20 个样地, 100 个土样。采集时间选择在 11 月底, 也即多数植物种子成熟后的季节。取回土样用水冲洗过 5 目(4 mm 孔径)和 75 目(0.21 mm 孔径)筛(ter Heerdt *et al.*, 1996), 将中间部分转入萌发皿内, 编号后置于温室内。隔离外界可能的种子干扰, 保持土壤湿润以利于种子萌发, 种子出苗后每间隔两周适当喷洒复合肥以保障幼苗生长, 记录出苗种类与数量, 直到一周内无出苗为止。对部分难鉴定幼苗, 移栽定植到能鉴定时为止。

采用 Scheiner(2003)推荐的非相邻规则格子取样(Quadrats arrayed at regular but unctiguous grid)的种-面积构建方法构建种-面积曲线。以所有  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  土样的种数的平均值为第一个点的数据; 以每个  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  样地内的 5 个取样点的种数的平均值作为第二个点的数据, 然后以 2 个  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  样地, 3 个  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  样地……的种数平均值得第三、四……点数据, 然后作图。求出平均数的同时, 分别求出这些数值的 95% 置信区间并标注于图上。该方法得出的曲线较为平滑。

## 2 研究结果

研究中共检测到 38 科的 69 种 2 536 株幼苗, 其中草本 28 科 56 种 2 001 株, 灌木 4 科 6 种 282 株,

乔木 6 科 7 种 73 株。

100 个 10 cm × 10 cm × 10 cm 样方的物种种子数量变动于 3~ 67 粒, 平均为 23.4 粒 (  $n = 100$ ,  $SD = 15.32$  ), 折合密度值为 2 340 粒 · m<sup>-2</sup>; 物种种类数量变动于 1~ 14 种, 平均为 7.1 种 (  $n = 100$ ,  $SD = 2.69$  )。不同物种在 100 个样点中被检测出的数量和几率变异很大( 表 1 )。

表 1 滇中喀斯特山地森林中 100 个采样点萌发的主要物种的幼苗数及萌发样本数  
Table 1 Number of seedlings and number of samples with seedlings of the main species emerged from 100 soil samples collected from Karst forest in central Yunnan

生活型 Life forms	物种 Species	科 Family	萌发幼苗数 Seedlings emerged	萌发幼苗的样本数 Samples with seedlings
草本 Herbs	红鳞苔草 <i>Carex souliei</i>	莎草科 Cyperaceae	549	80
	红雾水葛 <i>Pouzolzia sanguinea</i>	荨麻科 Urticaceae	547	90
	紫茎泽兰 <i>Eupatorium adenophorum</i>	菊科 Compositae	292	57
	石筋草 <i>Pilea platyflora</i>	荨麻科 Urticaceae	170	40
	龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	茄科 Solanaceae	42	27
	一点红 <i>Emilia sonchifolia</i>	菊科 Compositae	39	31
	菊状千里光 <i>Senecio chrysanthemoides</i>	菊科 Compositae	39	26
	粘毛香青 <i>Anaphalis bulleyana</i>	菊科 Compositae	35	28
	过路黄 <i>Lysimachia christinae</i>	报春花科 Primulaceae	30	9
	细苔草 <i>Carex</i> sp.	莎草科 Cyperaceae	25	13
	小蓬 <i>Coryza canadensis</i>	菊科 Compositae	22	20
	臭灵丹 <i>Laggera pterodonta</i>	菊科 Compositae	16	11
	菝葜一种 <i>Smilax</i> sp. 1	菝葜科 Smilacaceae	15	14
	竹叶草 <i>Oplismenus compositus</i>	禾本科 Gramineae	15	10
	鼠麴草 <i>Gnaphalium affine</i>	菊科 Compositae	14	12
	通泉草 <i>Mazus pumilus</i>	玄参科 Scrophulariaceae	13	2
	棉毛倒提壶 <i>Carpesium nepalense</i> var. <i>lanatum</i>	菊科 Compositae	10	10
	其它草本 Other herbs (38)		139	1~ 8
灌木 Shrubs	红梅消 <i>Rubus parvifolius</i>	蔷薇科 Rosaceae	237	63
	地石榴 <i>Ficus tikoua</i>	桑科 Moraceae	23	18
	竹叶椒 <i>Zanthoxylum armatum</i>	芸香科 Rutaceae	15	11
	其它灌木 Other shrubs (3)		7	1~ 3
乔木 Trees	大毛毛花 <i>Albizia mollis</i>	苏木科 Caesalpiniaaceae	42	17
	沙坝榕 <i>Ficus dapaensis</i>	桑科 Moraceae	14	14
	云南鹅耳枥 <i>Carpinus mobaigiana</i>	榛科 Corylaceae	12	5
	其它乔木 Other trees (4)		4	1

一些草本物种出现的几率较大, 种子数量较多, 而乔、灌木物种的种类少且出现的几率小、数量少。多数乔、灌木物种的种子并未在种子库中出现。

根据 100 个样点的种类数据构建的种-面积关系见图 1。总物种数及乔木、灌木和草本物种数都随取样面积的增大而增加, 其中总物种数和草本物种数基数较大且随面积的增长较明显, 而乔木和灌木基数相对较小, 增长较慢。面积与总物种和乔、灌、草本种数之间的关系与二次方程和对数之间的拟合关系较好, 以物种总种数同面积之间的关系为例, 其方程为:

$$S = 11.878\ 8 + 0.011\ 8 \times A - 6.0 \times 10^{-7} \times A^2$$

(  $F = 94.2^{***}$  )

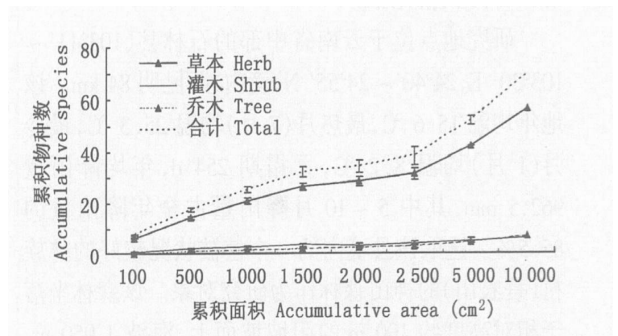


图 1 滇中喀斯特山地土壤种子库的种-面积关系图  
Fig. 1 Species-area curve for soil seed bank of a Karst forest in central Yunnan  
每点处标出了该点的 95% 置信区间, 右边最后一个点无重复而无置信区间 Each point is enclosed by 95% confidence limits. The last point to the right, representing the entire plot, has no confidence limits because there was no replicate quadrat

$S = -59.387 + 12.9063 \times \ln A$  ( $F = 63.4^{***}$ )  
其中  $S$  为物种数,  $A$  为面积( $\text{cm}^2$ )。

单位面积的增长所带来的物种数的增加在早期较高, 后期的效应逐渐趋缓, 总物种数的转折点约位于  $0.15 \sim 0.2 \text{ m}^2$  之间, 即  $15 \sim 20$  个  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  土样之间。

3 讨 论

土壤种子库的研究对揭示地表植被的演替规律 (Hester *et al.*, 1991; Rico\_Gray & Garcia\_Franco, 1992)、探索过去植被的痕迹 (Ishikawa\_Goto & Tsuyuzaki, 2004)、预测未来植被的变化 (Augusto *et al.*, 2001) 和探讨植被恢复的潜力 (Kebrom & Tesfaye, 2000) 具有十分重要的意义。自 20 世纪 30 年代 Ridley 开展种子库的经典研究 (Grime, 1989) 后, 众多的研究者对世界各地的生态系统展开了广泛的研究。但至今仍然没有形成一个类似于植被调查的相对值得参考的关于采样面积和样品数量的标准。

种子在土壤中呈不连续的非均匀分布已经是一个共识 (Hughes *et al.*, 1994; Nathan *et al.*, 2002; Tackenberg, 2003)。我们研究中的各物种在 100 个样地内出现的几率分布, 包括不同物种的分布几率差异也反映了这种非均匀分布 (表 1)。因而一定地点的取样不可能包含群落内所有物种的种子。一般而言, 在一定的取样面积条件下, 随着取样样方数 (总面积) 的增加, 种子库中所识别出的物种数也在增加, 但达到一定样方数时, 这种增加趋缓, 这时的

样方数或是总面积可作为取样的基本参数。不同的生态系统中这一参数可能有巨大的变异。本研究得出的这一参数为  $1\,500 \sim 2\,000 \text{ cm}^2$ , 也即  $15 \sim 20$  个  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  样方之间。Gross (1990) 得出的在美国密西根西南部农地上的参数值为  $1\,500 \sim 1\,900 \text{ cm}^2$ ; Forcella (1984) 得出的澳大利亚草地的参数值为  $1\,000 \text{ cm}^2$ 。Numata 等 (1964) 及 Hayashi 和 Numata (1971) 得到的日本演替早期样地和草地上的最小取样面积为  $400 \sim 600 \text{ cm}^2$ 。虽然增加取样的面积能增加获得不同种子的几率, 但在同样的取样面积情况下, 小样方多样点的取样方式较大样方少量点的方式能获得更多的物种数 (Bigwood & Inouye, 1988), 因此多数学者推荐多点小面积的采样方式, 而不是大面积少量点的方式来克服种子分布的巨大变异 (Thompson, 1986; Bigwood & Inouye, 1988; Baskin & Baskin, 1998), 以便在一定的面积范围内尽可能多地采集到含有更多种子的土壤。另外当增大单个样方面积时, 还会遇到众多操作层面上的困难, 如  $1 \text{ m}^2$  的取样可能会遇到微地形、树桩等的限制。而且在保证一定的萌发层厚度时, 寻求较大面积的容器来保证大样方样品的种子萌发也是一个问题。

综观国内的一些研究, 在取样的样方面积和数量上的变异很大。以南方地区的研究为例, 取样面积由  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  到  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  不等, 而样方数量则由  $4 \sim 40$  不等 (表 2)。对比本研究得出的取样面积数值, 多数研究者的取样面积达到或远远超过本研究推荐的面积, 但单个样地的面积相对较大。少量

表 2 中国南方一些研究者采用的土壤种子库的样方面积和样方数量  
Table 2 Sample area and number of samples used by researchers in SW China

参考资料 References	样方大小 Size of samples	样方数量 Number of samples	取样面积 Sampling area	植物群落 Vegetation
熊利民等 (1992)	$100 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$	5	$25\,000 \text{ cm}^2$	亚热带常绿阔叶林演替系列 Successional series of subtropical evergreen broad-leaved forest
彭军等 (2000)	$40 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$	20	$20\,000 \text{ cm}^2$	亚热带常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaved forest
刘济明 (2000)	$40 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$	40	$40\,000 \text{ cm}^2$	亚热带喀斯特森林 Subtropical Karst forest
刘济明等 (2000)	$50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$	20	$50\,000 \text{ cm}^2$	亚热带常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaved forest
杨小波等 (1999)	$100 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$	5	$25\,000 \text{ cm}^2$	热带原生林、次生林、人工林、农地等 Primary forest, secondary forest, planted forest and agricultural land in tropical area
黄忠良等 (1996)	$1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$	$4 \sim 10$	$4 \sim 10 \text{ m}^2$	南亚热带森林不同演替阶段 Successional series of southern subtropical evergreen broad-leaved forest
曹敏等 (1997)	$10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$	20	$2\,000 \text{ cm}^2$	热带森林 Tropical forest
沈有信和刘文耀 (2004)	$10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$	$10 \sim 15$	$1\,000 \sim 1\,500 \text{ cm}^2$	亚热带原生林、次生林、人工林、农地等 Primary forest, secondary forest, planted forest and agricultural land in sub-tropical area

研究者的取样数量相对较少。今后的研究中如能建立不同区域不同生态系统的种-面积关系,在保证一定取样面积的同时,可以适当降低样方面积来减少工作量。

值得重视的是,森林中检测到的乔、灌木物种数随取样面积的增大而十分缓慢地增长。Clark(1999)在回顾大量的文献后也发现温带森林土壤种子库中仅有少量的乔、灌木物种,即使是在那些取样面积很大的研究中也如此。这一方面反映了乔灌木物种在取样时的稀少和非均匀分布,也反映出取样萌发研究方法的有限性。以萌发方式对 100 个点的土壤样品进行研究已经是十分巨大的工作,但仍然获得较少的乔灌木物种种子种类及数量,因此有必要探讨采用新的研究方法来解决这种缺陷。

### 参 考 文 献

- Arrhenius O (1921). Species and area. *Journal of Ecology*, 9, 95– 99.
- Augusto L, Dupouey JL, Picard JF, Ranger J (2001). Potential contribution of the seed bank in coniferous plantations to the restoration of native deciduous forest vegetation. *Acta Oecologica*, 22, 87– 98.
- Baskin CC, Baskin JM (1998). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego.
- Bigwood DW, Inouye DW (1988). Spatial pattern analysis of seed bank: an improved method and optimized sampling. *Ecology*, 69, 497– 507.
- Cain SA (1938). The species-area curve. *American Midland Naturalist*, 19, 573– 581.
- Cao M(曹敏), Tang Y(唐勇), Zhang JH(张建侯), Sheng CY(盛才余) (1997). Storage and dominants in the soil seed banks under the tropical forests of Xishuangbanna. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 19, 177– 183. (in Chinese with English)
- Clark JS, Beckage B, Camill P, Cleveland B, HilleRisLambers J, Lichter J, McLachlan J, Mohan J, Wyckoff P (1999). Interpreting recruitment limitation in forests. *American Journal of Botany*, 86, 1– 16.
- Forcella F (1984). A species-area curve for buried viable seeds. *Australian Journal of Agricultural Research*, 35, 645– 652.
- Gleason HA (1922). On the relation between species and area. *Ecology*, 3, 158– 162.
- Grime JP (1989). The stress debate: symptom of impending synthesis? *Biological Journal of the Linnean Society*, 37, 3– 17.
- Gross KL (1990). A comparison of methods for estimating seed numbers in the soil. *Journal of Ecology*, 78, 1079– 1093.
- Hayashi I, Numata M (1971). Viable buried-seed population in the *Miscanthus* and *Zoysia* type grasslands in Japan: ecological studies on the buried-seed population in the soil related to plant succession. VI. *Japanese Journal of Ecology*, 20, 243– 252.
- He FL, Legendre P (2002). Species diversity patterns derived from species-area models. *Ecology*, 83, 1185– 1198.
- Hester AJ, Gimingham CH, Miles J (1991). Succession from heather moorland to birch woodland. III. Seed availability, germination and early growth. *Journal of Ecology*, 79, 329– 334.
- Huang ZL(黄忠良), Kong GH(孔国辉), Wei P(魏平), Wang JH(王俊浩), Huang YJ(黄玉佳), Zhang YC(张佑昌) (1996). A study on the soil seed banks at the different succession stages of the south subtropical forests. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 4(4), 42– 49. (in Chinese with English abstract)
- Hughes L, Dunlop M, French K, Leishman MR, Rice B, Rodger L, Westoby M (1994). Predicting dispersal spectra: a minimal set of hypotheses based on plant attributes. *Journal of Ecology*, 82, 933– 950.
- Ishikawa-Goto M, Tsuyuzaki S (2004). Methods of estimating seed banks with reference to long-term seed burial. *Journal of Plant Research*, 117, 245– 248.
- Kebrom T, Tesfaye B (2000). The role of soil seed banks in the rehabilitation of degraded hillslopes in Southern Wello, Ethiopia. *Biotropica*, 32, 23– 32.
- Liu JM(刘济明) (2000). A preliminary study on the soil seed bank dynamics of the *Distylium chinensis* community in the Maolan Karst forest. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 24, 366– 374. (in Chinese with English abstract)
- Liu JM(刘济明), Zhong ZC(钟章成) (2000). Nature of seed rain, the seed bank and regeneration of a *Castanopsis fargesii* community of Fanjing Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 24, 402– 407. (in Chinese with English abstract)
- Nathan R, Katul GG, Horn HS, Thomas SM, Oren R, Avissar R, Pacala SW, Leviin SA (2002). Mechanisms of long-distance dispersal of seeds by wind. *Nature*, 418, 409– 413.
- Numata M, Hayashi I, Komura T, Oki K (1964). Ecological studies on the buried-seed population in the soil as related to plant succession I. *Japanese Journal of Ecology*, 14, 207– 215.
- Peng J(彭军), Li XG(李旭光), Dong M(董鸣), Liu YC(刘玉成) (2000). Soil seed bank of subtropical evergreen broad-leaved forest on Simian Mountain, Chongqing. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 24, 209– 214. (in Chinese with English abstract)
- Rico-Gray V, Garcia-Franco JG (1992). Vegetation and soil seed bank of successional stages in tropical lowland deciduous forest. *Journal of Vegetation Science*, 3, 617– 624.
- Scheiner SM (2003). Six types of species-area curves. *Global Ecology & Biogeography*, 12, 441– 447.
- Shen YL(沈有信), Liu WY(刘文耀), Li YH(李玉辉), Cui JW(崔建武) (2005). Community ecology study on Karst semi-humid evergreen broadleaved forest at the central part of Yunnan.

*Guihaia* (广西植物), 25, 321– 326. (in Chinese with English abstract)

Shen YX( 沈有信), Liu WY( 刘文耀) (2004). Persistent seed bank of *Eupatorium adenophorum* in soils. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 28, 768 – 772. (in Chinese with English abstract)

Tackenberg O (2003). Modeling long\_distance dispersal of plant diaspores by wind. *Ecological Monographs*, 73, 173– 189.

ter Heerdt GNJ, Verweij GL, Berker RM, Bakker JP (1996). An improved method for seed bank analysis: seedling emergence after removing the soil by sieving. *Functional Ecology*, 10, 144 – 151.

Thompson K ( 1986) . Small\_scale heterogeneity in the seed bank of an acidic grassland. *Journal of Ecology*, 74, 733– 738.

Thompson K ( 2000). The functional ecology of soil seed banks. In: Fenner M ed. *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities* 2nd edn. 215– 235. CAB International, Wallingford, UK.

Xiong LM ( 熊利民), Zhong ZC( 钟章成), Li XG( 李旭光) (1992) . A preliminary study on the soil seed banks of different successional stages of subtropical evergreen broadleaved forest. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), 16, 249– 257. (in Chinese with English abstract)

Yang XB( 杨小波), Chan MZ( 陈明智), Wu QS( 吴庆书) (1999). Study on the soil seed banks of different land utilization system in the tropical area. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 36, 327– 333. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 郭 柯 责任编辑: 张丽赫