滇东南岩溶山地退化植被土壤 种子库的储量与组成

沈有信¹ 江洁² 陈胜国² 蔡光丽² 张平²

(1 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223) (2 文山州农业学校, 云南文山 663000)

摘要 在云南省东南部 3 个典型岩溶地点的土壤种子库储量与组成的研究表明, 不同地点代表不同退化与恢复阶段的次生林、灌丛与退化草地的土壤内均储藏有丰富的植物种子, 其密度值变动于 4 090 ~ 14 930 粒·m⁻² 之间, 物种数 23 ~ 45 种, 其中草本物种及其种子储量最丰, 灌木次之, 乔木和藤本及其种子稀少。在 0 ~ 10 cm 土层内, 随着深度的加深, 种子密度由 0 ~ 2 cm, 2 ~ 5 cm, 5 ~ 10 cm 逐渐减少, 次生林的降低幅度相对较小。相对而言, 种子密度值、物种数都以次生林为高, 灌丛与退化草地之间的差异较小。同时次生林种子库中的乔、灌木的种子数量相对较多, 而草本相对较少。从物种组成来看, 少数物种的种子在库中的储量十分丰富, 且各种种子库间在物种组成上有很大的相似性, 同一地点的 3 种植被类型间的两两相似性系数在 0.6 ~ 0.7 之间, 不同地点的任一两类间的相似性系数在 0.4 ~ 0.6 之间。9.3% 的物种在所有样地内都出现。每一种子库中储量最丰的前 3 位都来自菊科的胜红蓟 (*Ageratum conyzoides*)、苋直白草 (*Conyza stricta*)、紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum*)、一点红 (*Emilia sonchifolia*)、唇形科的鸡骨柴 (*Elsholtzia fruticosa*)、蔷薇科的长毛绣线菊 (*Spiraea martinii* var. *pubescens*)。

关键词 岩溶 土壤种子库 储量 组成

STORAGE AND COMPOSITION OF SOIL SEED BANKS OF DIFFERENT DEGRADED KARST VEGETATION TYPES IN SOUTH-EASTERN YUNNAN

SHEN You-Xin¹ JIANG Jie² CHEN Sheng-Guo² CAI Guang-Li² and ZHANG Ping²

(1 Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China)

(2 Agriculture School of Wenshan Prefecture, Wenshan, Yunnan 663000, China)

Abstract Degradation of the natural environment in karst area, especially in southern China, is a serious issue to be considered. It is difficult to restore vegetation through planting, as is done in other degraded ecosystems, since many karst areas are full of sheer craggy cliffs and outcrops of rock, with shallow and patchy soil. Encouraging regeneration of vegetation becomes crucial. Seeds buried in soil are one of the important sources for plant regeneration. Exploration of the soil seed bank will provide the basis for evaluating the restoration potential of degraded land, and also serve for restoration purposes. A comparison study was carried out to examine the soil seed banks of different karst vegetation types representing different degradation/restoration stages at three typical karst locations in southern Yunnan Province (23°16' - 23°59' N, 104°24' - 104°58' E). These vegetation types were: 1) secondary forest; 2) scrub; 3) grassland. Ten soil samples of 10 cm × 10 cm × 10 cm, further divided into 0 - 2 cm, 2 - 5 cm, and 5 - 10 cm depth fractions were taken from two 50 m transect lines with a 10 m interval for each vegetation type at each location. Soil samples were washed through a coarse sieve (4 mm) and a fine sieve (0.21 mm) and then put into a local greenhouse for germination and taxon identification.

It was found that there were abundant seeds stored in karst soil of secondary forest, scrub and grassland at each location. Seed densities varied between 4 090 - 14 930 seeds·m⁻², and the number of species identified varied between 23 - 35 among all of the soil seed banks. Seed density and number of species identified were higher under secondary forest, and little difference was found between that of scrub and of grassland. Within the top 0 - 10 cm of soil, seeds per volume decreased gradually from 0 - 2 cm depth layer to 2 - 5 cm and then 5 - 10 cm layer. The rate of this decrease was relatively lower under secondary forest. Herb was the richest whether counted in number of species or seed density, shrub came next, and tree and liana seeds were scarce in all soil seed banks across different vegetation types and locations. Tree and shrub species and their seed density were higher under secondary forest, but lower in grassland. A few species dominated the seed

bank with higher seed density and accounted for a high proportion of the seed bank. The percentage of the three richest species exceeded 40% in all of the soil seed banks. High similarity was found between one and another soil seed bank. The similarity index between any two seed banks varied between 0.6–0.7 within the same location, and 0.4–0.6 across locations. 9.3% of the total species could be found in all of soil seed banks studied. The dominant species was common. The top three species in terms of seed number were three of *Ageratum conyzoides*, *Conyza stricta*, *Eupatorium adenophorum*, *Emilia sonchifolia*, *Elsholtzia fruticosa*, and *Spiraea martinii* var. *pubescens* in all studied soil seed banks.

Washing soil samples through sieves encouraged the germination of seeds, especially the small herbaceous seeds, and made the karst seed bank density higher compared with other studies. Soil storage condition, mainly related to the vegetation coverage strongly influenced the depth distribution of seeds. Seed physiology, sampling time, and the fragmentation of karst vegetation were the main reasons behind the higher proportion of herb species and seeds, as well as the higher similarity between seed banks.

Key words Karst, Soil seed banks, Storage, Composition

土壤种子库是植物群落更新发展的重要基础之一,它的存在将为植物群落的演替、群落遭受干扰和破坏后的恢复提供繁殖体(Fenner, 1992; Kebrom & Tesfaye, 2000; 杨跃军等, 2001)。对已受干扰和破坏的生态系统而言,土壤种子库的大小与种类组成将成为恢复的重要限制因子和决定因子(Shaw, 1996; Wijdeven & Kuzee, 2000)。

我国是世界上岩溶面积最大、分布最广的国家,尤以西南的滇、黔、桂 3 省区最为集中,碳酸盐类岩石出露发育的岩溶面积约占 3 省区土地总面积的 40%(张殿发等, 2001)。由于岩溶地区的基质漏水严重、土被被岩石隔断而不连续、土层浅薄、岩石裸露等原因,岩溶生态条件较其它生态系统特殊,植被生境条件严酷,生长缓慢,一旦遭受破坏后恢复困难。目前全世界广大的岩溶地貌上,原生的森林植被几乎破坏殆尽。在这些受损和受破坏的生态系统面前,人工的森林种植措施显得十分困难。探寻土壤种子库特性,开发土壤种子库技术将为这些地方森林植被的恢复带来新的希望。目前在西南岩溶地区的种子库研究很少(刘济明, 1999; 2000),还未见对该区域岩溶退化植被土壤种子库的报道。该研究通过对不同退化程度与恢复阶段的土壤种子库储量与组成的研究,为岩溶退化山地的恢复提供重要参考。

1 研究样地概况和研究方法

1.1 研究地点与退化植被类型

该研究在岩溶分布较为集中的云南东南部的岩溶山区(23°16′~23°59′N, 104°24′~104°58′E)进行。3 个研究点(A, B, C 表示),每点分别选取相对较好的次生林(F)、退化后正在恢复的灌丛(S)、退化严重的草地(G)3 种类型,用以比较不同退化植被类型的土壤种子库特征。同一地点的 3 个类型的样地都处

于同一岩溶漏斗边坡上,坡度 20°~40°,海拔 1 100~1 500 m,地表岩石裸露率 60%~70%。次生林地 20 世纪 80 年代后保护并有适度择伐的龙山林,乔木层平均高度大于 4 m,盖度大于 60%,灌丛为严重破坏后经过 4~5 年的恢复地,大量乔灌木物种已经开始生长,灌木层平均高度 1~2 m,盖度 40%(A、B 点)至 70%(C 点)不等,退化地则选择当地的弃耕地(A 地)、放牧和樵薪(B、C 地)后遗留的以草本为主要植被的山地,草本盖度大于 80%,含少量小灌木。

1.2 研究方法

2001 年 4 月春季在所选样地内,平行选取两条 50 m 样线,每 10 m 取一 10 cm×10 cm×10 cm 土样,分 3 层(0~2 cm, 2~5 cm, 5~10 cm)装于土袋中,每个样地共采集土样 10 个。取回土样用水冲洗过 5 目(4 mm)和 75 目(0.21 mm)筛(Chang *et al.*, 2001; Ter Heerdt *et al.*, 1996),将中间部分转入萌发皿内,编号后置于温室(23°16′N, 104°24′E)。隔离外界可能的种子干扰,保持土壤湿润以利于种子萌发,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。

相似性系数采用 Czekanowski 公式计算 $2a/(2a + b + c)$,其中 a 为两种子库中的共有种数, b , c 分别为一种子库中有而另一库中无的种数。

2 研究结果

2.1 不同退化植被土壤种子库储量与垂直分布

岩溶山地各植被类型的土壤中贮藏着丰富的种子,根据 9 个样地的萌发幼苗数计算出厚度为 10 cm 的表层土壤的种子库密度,其值变动于 4 090~14 930 粒·m⁻²之间(表 1)。这些密度值在不同地点和不同植被类型间变异较大。从总体看,每点的次生林都拥有相对较丰的种子储量,退化草地相对较

表 1 岩溶退化植被土壤样本中萌发的种子数量和密度(平均值±标准误)

地点		植被类型 Vegetation types	萌发种子量 Seeds germinated (n = 10)				种子密度 Seed density (seeds · m ⁻²)
Location			0 ~ 2 cm	2 ~ 5 cm	5 ~ 10 cm	总数 Total	
A	次生林	Secondary forest	196	135	162	493	4 930 ± 905
	灌丛	Scrub	173	105	131	409	4 090 ± 354
	退化草地	Degraded grassland	274	246	207	727	7 270 ± 849
B	次生林	Secondary forest	392	374	429	1 195	11 950 ± 1 315
	灌丛	Scrub	417	413	266	1 096	10 960 ± 2 221
	退化草地	Degraded grassland	327	190	163	680	6 800 ± 816
C	次生林	Secondary forest	544	427	522	1 493	14 930 ± 3 892
	灌丛	Scrub	171	101	118	390	3 900 ± 366
	退化草地	Degraded grassland	304	134	124	562	5 620 ± 876

低。A 地的退化草地的种子储量较丰,其原因是耕地存在大量的杂草种子,如鸡骨柴(*Elsholtzia fruticosa*)、胜红蓼(*Ageratum conyzoides*)。从平均值看 3 个点的次生林平均拥有 10 603 粒 · m⁻²,灌丛拥有 6 310 粒 · m⁻²,退化草地 6 563 粒 · m⁻²,次生林的种子密度值高于其余两种系统。

种子密度随土层的加深而逐渐减少,2 ~ 5 cm 土层的密度值较 0 ~ 2 cm 土层减少 31% ~ 61%,平均减少 49%;5 ~ 10 cm 土层较 2 ~ 5 cm 土层减少 25% ~ 51%,平均减少 38%。这种减少的趋势在不同植被类型中表现不同,总的趋势表现为,次生林较缓(相应减少比例分别为 46% 和 29%),灌丛次之(51% 和 39%),退化草地降低最快(57% 和 48%)。

2.2 岩溶山地退化植被土壤种子库的物种组成

萌发实验共检测出 86 种 7 045 株幼苗,其中乔木 6 种 26 株,灌木 16 种 1 204 株,藤本 5 种 55 株,草本 59 种 5 760 株,无论是物种数还是种子数量都以草本为主。但这种组成在不同的植被类型间有一定差异,每个点次生林下草本及其种子的比例相对于退化草地低,但乔、灌、藤的比例略高,灌丛介于二者之间(图 1,图 2)。

图 1 岩溶退化植被土壤种子库中各生活型的物种组成
Fig.1 Life form composition of species in soil seed banks of different karst degraded vegetation types

图 2 岩溶退化植被土壤种子库中各生活型的种子组成
Fig.2 Life form composition of seeds in soil seed banks of different karst degraded vegetation types

表 2 列出了各生活型的一些主要物种及其在各植被类型土壤种子库内的种子储量百分数。草本物种中,菊科植物及其种子较多,灌木物种中,蔷薇科植物的种子数量最丰。从种子储量占总量的比例来看,每一种子库中都是少数物种的数量占据优势,菊科的胜红蓼在 B 点退化后正在恢复的灌丛中的比例接近 50%(表 2)。每一种子库中储量最丰的前 3 物种的储量占总储量的比例都在 40% 以上,最高者达到 61.6%(C 点次生林)。从主要组成物种看,不同地点间,以及同一地点的不同植被类型间的主要组成物种具有很大的相似性,每一种子库中储量最丰的前 3 位都来自菊科的胜红蓼、劲直白酒草(*Conyza stricta*)、紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)、一点红(*Emilia sonchifolia*)、唇形科的鸡骨柴、蔷薇科的长毛绣线菊(*Spiraea martinii* var. *pubescens*)(表 2)。

同一地点以及不同地点的不同植被类型的土壤种子库具有一定的相似性。同一地点的 3 种类型间的两两相似性系数在 0.6 ~ 0.7 之间,也即两样地间有超过半数的物种是相同的,而不同地点的任一两植被类型间的相似性在 0.40 ~ 0.60 之间(表 3)。这种高的相似性说明岩溶地区的某些物种在不同土壤种子库中出现的几率很大。以物种在 9 个样地间出

表 2 岩溶退化植被土壤种子库中各生活型的主要物种及其种子储量占总储量的比例

Table 2 Major species of different life forms and their seed percentages in the soil seed banks of different karst degraded vegetation types

生活型 Life form	植物名 Species	次生林 Secondary forest				灌丛 Scrub				草地 Grassland			
		A	B	C	平均 Average	A	B	C	平均 Average	A	B	C	平均 Average
草本 Herb	酢酱草 <i>Oxalis corniculata</i>	3.7	4.0	2.3	3.3	0.0	0.9	0.5	0.5	1.2	2.1	5.5	2.9
	刚秀竹 <i>Microstegium ciliatum</i>	0.8	3.3	1.3	1.8	2.4	3.9	5.4	3.9	6.1	7.2	8.7	7.3
	遍地金 <i>Hypericum elodeoides</i>	3.2	0.0	0.3	1.2	0.2	0.0	0.8	0.3	0.0	0.4	3.4	1.3
	胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	16.2	1.3	32.3	16.6	7.8	49.3	7.2	21.4	16.9	9.3	13.3	13.2
	三叶鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	0.4	0.4	0.0	0.3	2.7	0.0	0.0	0.9	1.4	0.1	1.4	1.0
	大蓟 <i>Cephalanoplos setosum</i>	0.6	0.2	0.1	0.3	1.7	0.0	0.8	0.8	0.6	0.1	0.0	0.2
	劲直白酒草 <i>Conyza stricta</i>	12.6	20.5	7.1	13.4	20.8	6.8	14.6	14.0	13.8	26.6	5.9	15.4
	一点红 <i>Emilia sonchifolia</i>	6.9	11.6	2.4	7.0	2.9	7.0	4.9	4.9	7.2	14.1	2.5	7.9
	紫茎泽兰 <i>Eupatorium adenophorum</i>	12.6	17.2	22.2	17.3	12.2	10.6	19.7	14.2	2.2	20.3	7.8	10.1
	辣子草 <i>Galinsoga parviflora</i>	1.4	1.6	0.3	1.1	1.0	0.2	2.1	1.1	1.5	0.0	3.6	1.7
	鼠麴草 <i>Gnaphalium affine</i>	3.4	0.8	2.3	2.2	1.2	0.3	9.2	3.6	0.3	0.6	0.4	0.4
	多头苦苣菜 <i>Ixeris polycephala</i>	2.8	3.5	1.7	2.7	0.7	2.3	1.3	1.4	2.2	1.5	2.0	1.9
	顶头马兰 <i>Strobilanthes affinis</i>	3.7	0.5	1.6	1.9	0.0	0.5	3.3	1.3	0.0	1.6	2.8	1.5
	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	1.6	0.3	1.5	1.1	0.5	0.2	0.0	0.2	0.1	0.6	0.0	0.2
	莎草 <i>Cyperus rotundus</i>	1.6	4.4	1.4	2.5	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	4.6	0.2	1.6
	鸡骨柴 <i>Elsholtzia fruticosa</i>	1.4	1.7	0.3	1.1	9.3	6.7	1.8	5.9	28.3	4.0	10.1	14.1
	其它 Other herbs	20.79	13.08	4.65	12.84	30.5	5.12	2.25	12.62	14.86	5.31	9.76	9.98
灌木 Shrub	序叶苳麻 <i>Boehmeria clidemioides</i>	1.4	1.3	4.8	2.5	0.5	0.2	0.0	0.2	0.0	0.6	0.4	0.3
	黄泡 <i>Rubus obcordatus</i>	0.4	5.6	5.0	3.7	0.5	0.9	0.0	0.5	1.4	0.0	0.9	0.8
	长毛绣线菊 <i>Spiraea martinii</i> var. <i>pubescens</i>	0.0	5.8	1.2	2.3	0.0	4.4	24.9	9.8	0.0	1.0	20.8	7.3
	水茄 <i>Solanum torvum</i>	3.0	0.0	0.1	1.1	1.7	0.2	0.5	0.8	0.1	0.0	0.4	0.2
	其它灌木 Other shrubs	0.29	0.24	6.02	2.18	0.71	0.28	0.49	0.49	0.05	0.0	0.0	0.02
乔木 Tree	半齿铁子 <i>Myrsine semiserrata</i>	0.0	0.3	0.3	0.2	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	滇新樟 <i>Neocinnamomum caudatum</i>	0.2	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	其它 Other trees	0.61	0.03	0.20	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.55	0.0	0.0	0.18
藤本 Liana	薜荔 <i>Ficus pumila</i>	0.2	0.6	0.0	0.3	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	地石榴 <i>Ficus tikoua</i>	0.0	1.8	0.3	0.7	1.5	0.0	0.3	0.6	1.2	0.0	0.2	0.5
	其它 Other lianas	0.21	0.0	0.0	0.04	0.20	0.0	0.0	0.03	0.04	0.0	0.0	0.0

A , B , C : 3 个地点的编号 Codes of the three locations

表 3 岩溶山地不同种子库间的相似性系数

Table 3 Similarity index between different karst soil seed banks

	AF	AS	AG	BF	BS	BG	CF	CS	CG
AF	—	0.61	0.67	0.50	0.48	0.56	0.51	0.53	0.57
AS	0.61	—	0.66	0.48	0.46	0.45	0.56	0.51	0.63
AG	0.67	0.66	—	0.49	0.44	0.49	0.41	0.52	0.60
BF	0.50	0.48	0.49	—	0.66	0.62	0.53	0.52	0.59
BS	0.48	0.46	0.44	0.66	—	0.65	0.57	0.57	0.69
BG	0.56	0.45	0.49	0.62	0.65	—	0.56	0.57	0.58
CF	0.51	0.56	0.41	0.53	0.57	0.56	—	0.59	0.60
CS	0.53	0.51	0.52	0.52	0.57	0.57	0.59	—	0.69
CG	0.57	0.63	0.60	0.59	0.69	0.58	0.60	0.69	—

A B C : 3 个样点的编号 Codes of the three locatioins F 次生林 Secondary forest S 灌丛 Scrub G 草地 Grassland

现的频度来反映该物种在岩溶山地土壤种子库中的普遍性,有 8 个种在 9 个样地内都出现,占总物种数的 9.3% ;在半数以上的样地中出现的物种,也即频度在 50% 以上的物种有 25 种,占总物种数的

29.1%。

3 讨 论

该研究中检测出的活力种子密度变动于 4 090

~14 930 粒·m⁻²之间,远高于相邻的贵州岩溶山地。刘济明(1999;2000)发现贵州茂兰自然保护区(25°09'~25°20'N,107°52'~108°25'E)的喀斯特山地的种子密度(0~20 cm)在一年的不同季节变动于830~1 245 粒·m⁻²。该研究地的种子密度也远远高于同纬度的广东鼎湖山(23°10'N,112°34'E)的幼年季风常绿阔叶林(92~157 粒·m⁻²)和成熟季风常绿阔叶林(84~108 粒·m⁻²) (黄忠良等,1996)。而与云南热带森林(3 345~29 945 粒·m⁻²) (曹敏等,1997)的密度(0~10 cm)处于同一数量级。草本植物种子对这些差异贡献最大,其不同地点的各植被类型的种子库中所占比例变动于73.9%~98.4% (表2)之间。菊科的胜红蓟、劲直白酒草、紫茎泽兰、一点红则是最主要的草本种类(表2)。除地表植被种类差异导致的种子来源、种子萌发特性(Granström,1988;Hyatt & Casper,2000)等外,该研究中出现的较高的种子密度还与采样、萌发等方法有关。Ter Heerdt等(1996)的研究表明,不用水冲洗过筛的样品的种子密度比用水冲洗过筛的样品低33%~88%。研究使用了冲洗过筛方法,可能增加了种子的萌发,尤其是一些小颗粒的草本种子的萌发。

大多数的研究表明,土壤种子库的种子密度随土层的深入而减少(曹敏等,1997;杨小波等,1999;彭军等,2000;Cao *et al.*,2000)。岩溶山地的土壤种子密度也随土层的加深而逐渐减少,种子密度由0~2 cm 2~5 cm 5~10 cm 间逐渐降低。植被的演替等级越高,这种减少的趋势越小,次生林的降低幅度相对小于灌丛,灌丛小于退化草地。岩溶山地石多土少,所调查样地的土石比大多小于30%,少量石隙成为土壤、有机质的承载体,也是各种土壤动物的栖息地,因而大多数岩溶山地的石灰土表层浅薄,有机质十分丰富且土质疏松,为植物种子在土壤内的垂直移动创造了有利条件。植被的演替等级越高,土壤越疏松,0~10 cm 内的土壤差异越小。而长期干扰下的退化草地的表层土壤有机质流失严重,土壤板结,种子在土中的移动相对困难,导致下层土壤中的种子密度与上层产生较大差异。因此,岩溶山地的土壤和地表植被的退化影响了土壤种子库的层间差异,反过来土壤种子库的这种层间差异也反映了土壤和地表植被的退化。该结果也表明岩溶土壤种子库的研究还应加深采样深度。

大多数研究者认为,土壤种子库的物种组成以草本为主,而木本植物的个体数量和物种数相对较

少(Fenner,1992;曹敏等,1997)。其原因,一方面由于草本植物的种子相对较小且产籽量高,另一方面因草本种子淀粉含量少而使其被动物和微生物危害的几率相对较小(黄忠良等,1996),同时草本植物的持久性(Persistent)种子较多,而乔灌木的种子大多属于暂时性(Transient)的,它们在土壤中的寿命不会超过下一个种子季节(Baskin & Baskin,1998)。刘济明(1999)在贵州喀斯特山地的研究表明,种子散落(12月)后采样检测出16种乔灌木种子,而散落前(7月)采样则检测出3种,而草本物种数无差异,也即多数木本植物的种子属于暂时性的种子,而大量的草本物种,如白酒草等则在一年内的多个季节的土壤种子库中同时存在。该项研究的春季采样可能屏蔽了很多属于暂时性的木本植物种子,从而导致各种种子库中出现较高的草本物种比例,进而降低了次生林与灌丛、退化草地间的物种及种子储量的差异。另外,实验中的次生林和灌丛的高草本比例可能还与其所处的环境有关。人为的干扰使岩溶山地生境破碎化程度加剧,所选次生林样地和灌丛周围都遭受和正在遭受各种人为破坏而向草丛阶段退化,它们已成为这些高度破坏后的群落包围之中的“岛屿”,土壤不仅承接和储藏了群落地表植被所产生的种子,也承接和储藏了大量来自周围灌草丛植被群落内的草本种子。丰富的外来种子加上优于退化草地和灌丛的土壤贮藏条件,使得次生林的土壤种子库中贮藏了相对丰富的种子。也正因为上述原因,使得同一地点的不同植被类型的土壤种子库间具有很高的相似性。

参 考 文 献

- Baskin, C. C. & M. J. Baskin. 1998. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. San Diego, California: Academic Press. 133~162.
- Cao, M. (曹敏), Y. Tang (唐勇), J. H. Zhang (张建侯) & C. Y. Sheng (盛才余). 1997. Storage and dominants in 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 abstract)
- Cao, M., Y. Tang & J. H. Zhang. 2000. Viable seed buried in the tropical forest soils of Xishuangbanna, SW China. *Seed Science Research*, **10**: 255~264.
- Chang, E. R., R. L. Jefferies & T. J. Carleton. 2001. Relationship between vegetation and soil seed banks in an arctic coastal marsh. *Journal of Ecology*, **89**: 367~384.
- Fenner, M. 1992. Seed: the ecology of regeneration in plant community. UK: C. A. B. International. 211~235.
- Granström, A. 1988. Seed bank at six open and afforested heathland sites in southern Sweden. *Journal of Applied Ecology*, **25**: 297~306.
- Huang, Z. L. (黄忠良), G. H. Kong (孔国辉), P. Wei (魏

- 平), J. J. Wang (王俊杰), Y. J. Huang (黄玉佳) & Y. C. Zhang (张佑昌). 1996. A study on the soil seed banks at the different succession stages of south subtropical forests. *Journal of Tropical and Subtropical Botany (热带亚热带植物学报)*, **4**: 42 ~ 49. (in Chinese with English abstract)
- Hyatt, L. A. & B. B. Casper. 2000. Seed bank formation during early secondary succession in a temperate deciduous forest. *Journal of Ecology*, **88**: 516 ~ 527.
- Kebrom, T. & B. Tesfaye. 2000. The role of soil seed banks in the rehabilitation of degraded hillslopes in Southern Wello, Ethiopia. *Biotropica*, **32**: 23 ~ 32.
- Liu, J. M. (刘济明). 1999. Study on the seed bank of Maolan karst funnel forest. *Journal of Southwest Agricultural University (西南农业大学学报)*, **25**: 466 ~ 472. (in Chinese with English abstract)
- Liu, J. M. (刘济明). 2000. The seed bank of forest community at the pinnacles of Maolan karst hilly area in Guizhou. *Forest Research (林业科学研究)*, **13**: 44 ~ 50. (in Chinese with English abstract)
- Peng, J. (彭军), X. G. Li (李旭光), M. Dong (董鸣) & Y. C. Liu (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**: 209 ~ 214. (in Chinese with English abstract)
- Shaw, P. J. A. 1996. Role of seed bank substrates in the revegetation of fly ash and gypsum in the United Kingdom. *Restoration Ecology*, **4**: 61 ~ 70.
- Ter Heerdt, G. N. J., G. L. Verweij, R. M. Berker & J. P. Bakker. 1996. An improved method for seed-bank analysis: seedling emergence after removing the soil by sieving. *Functional Ecology*, **10**: 144 ~ 151.
- Wijdeven, S. M. J. & M. E. Kuzee. 2000. Seed availability as a limiting factor in forest recovery processes in Costa Rica. *Restoration Ecology*, **8**: 414 ~ 424.
- Yang, X. B. (杨小波), M. Z. Chen (陈明智) & Q. S. Wu (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**: 328 ~ 333. (in Chinese with English abstract)
- Yang, Y. J. (杨跃军) & X. Y. Sun (孙向阳). 2001. Forest soil seed bank and natural regeneration. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **12**: 304 ~ 308. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, D. F. (张殿发) & S. J. Wang (王世杰). 2001. Potential, limitation and development strategies of southwest karst area. *Rural Eco-environment (农村生态环境)*, **17**: 9 ~ 12. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 党承林 责任编辑: 周玉荣