

文章编号:1000-5641(2010)03-0001-09

浙江天童受损常绿阔叶林实验 生态学研究(Ⅳ): 土壤种子库在受损常绿阔叶林恢复初期中的作用

宋焱彬¹, 张奇平¹, 达良俊^{1,3}

1. 华东师范大学 环境科学系, 上海 200062;
2. 浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站, 浙江 宁波 315114;
3. 华东师范大学 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062)

摘要: 模拟了常绿阔叶林的4种不同受损程度(间伐大树, 清理下木, 清除地上植被以及植被和表土完全破坏), 于2003年10月在天童国家森林公园内各设置1个受损样方. 通过分析土壤种子库萌发格局、种类组成及其与受损样地第一年恢复物种的相似性, 探明土壤种子库在受损常绿阔叶林恢复初期中的作用. 结果表明, (1)在16个0.5 m×0.5 m的取样面积上, 土壤种子库共萌发出995株幼苗, 密度为248.75粒/m², 分属21科27属28种, 其中乔木7种, 灌木8种, 藤本4种, 草本9种. (2)土壤种子库对4种干扰方式的样地物种恢复贡献率为: I号(0.467) > IV号(0.389) > II号(0.368) > III号(0). (3) 檫木(*Sassa fra tzumu*)、拟赤杨(*Alni phyllum fortunei*)、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*)和山鸡椒(*Litsea cubeba*)等先锋种可通过土壤种子库大量更新; 米槠(*Castanopsis carlesii*)和石栎(*Lithocarpus glaber*)等虽具有种子库, 但数量少; 而南酸枣(*Choerospondias axilliaris*)和香樟(*Cinnamomum camphora*)等种子不能通过土壤种子库实现更新. 研究表明土壤种子库对天童地区受损常绿阔叶林的恢复作用比较有限.

关键词: 生态恢复; 砍伐样地; 萌发格局; 相似性

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A

Experimental ecology research on destroyed evergreen broad-leaved forests in TNFP, Zhejiang (Ⅳ): Contribution of seed bank to early restoration of destroyed evergreen broad-leaved forests

SONG Yao-bin¹, ZHANG Qi-ping¹, DA Liang-jun^{1,3}

1. Department of Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

收稿日期: 2009-01

基金项目: 华东师范大学“十一五”“211工程”重点学科建设子项目; 国家自然科学基金(30700094);
宁波市科技局项目(2007C10059)

第一作者: 宋焱彬, 男, 硕士研究生. E-mail: ecnubbss@163.com.

通讯作者: 达良俊, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为城市生态学和植被生态学.

E-mail: ljda@des.ecnu.edu.cn.

2. Tiantong Forest Ecosystem National Research Station, Ningbo Zhejiang 315114, China;

3. Shanghai Key Laboratory for Ecology of Urbanization Process and
Eco-restoration, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Four destroyed evergreen broad-leaved forest plots were established by simulating the common disturbance types (removing trees, $H > 8$ m; removing trees, $H < 8$ m; removing all above-ground plant; removing all above-ground plant and 0-10 cm depth surface soil) in Tiantong National Forest Park, in October, 2003. For understanding the contribution of seed bank to the restoration of destroyed evergreen broad-leaved forests, the seed germination pattern, species composition, and the similarity between seed bank and the seedlings composition of first year restoration have been studied in this paper. The results showed that there were 995 seeds in seed bank and the seed abundance was 248.75 m^{-2} , which belonged to 28 species, 27 genera and 21 families. The role of seed bank to 4 plots were $I (0.467) > IV (0.389) > II (0.368) > III (0)$. The pioneer species *Sassafras tzumu*, *Alniphyllum fortunei*, *Clerodendrum cyrtophyllum*, *Litsea cubeba* germinated and recruited abundantly from seed bank while the climax species *Castanopsis carlesii* and *Lithocarpus glaber* had little role to vegetation restoration. The species *Choerospondias axillaries* and *Cinnamomum camphora* mainly regenerated from exotic seed source. Conclusively, the soil seed bank exerted little role to the restoration of the evergreen broad-leaved forests in this area.

Key words: ecological restoration; destroyed plot; germination pattern; similarity

0 引 言

土壤种子库是指存在于确定面积的土壤表面和土壤中全部具有活力的种子的总和^[1,2]. 由于土壤中的种子对植被动态具有重要作用^[3], 它们也可能是受损植被重建的重要因素^[4-7]. 土壤种子库的时空格局对退化生态系统的恢复^[8]和将来植被的构成^[1,9,10]至关重要. 已有的研究表明, 土壤种子库在草地^[11]和受到干扰的热带雨林^[12,13]的更新中起到了重要的作用. 但也有研究表明, 土壤种子库可能对于干扰的森林地区的恢复没有贡献^[14].

人类活动导致常绿阔叶林的片断化和退化现象日趋严重, 使得常绿阔叶林的演替更新困难, 常绿阔叶林优势种群扩散困难, 群落更新速度慢^[15]. 处在退化常绿阔叶林的恢复过程中的植物, 特别是那些演替后期的种类, 其种子传播以及幼苗的定居成为退化群落恢复的主要限制因素之一^[15-18]. 尽管有关常绿阔叶林土壤种子库的研究已有很多报道^[19], 如宝华山^[20]、四面山^[21]、缙云山^[22]、鼎湖山^[23]、都江堰地区^[24]、黑石顶自然保护区^[25]、浙江天童^[26]和梵净山^[27]早期也有土壤种子库的相关研究, 但土壤种子库在受损常绿阔叶林恢复中的作用尚不明确. 本研究以木荷(*Schima superba*)和米槠(*Castanopsis carlesii*)为优势种的常绿阔叶林为对象, 了解该群落的土壤种子库的组成和数量, 并与该地区受损常绿阔叶林模拟实验样地对比, 探讨该区域常绿阔叶林受损后恢复的物种更新机制, 并为区域植被的恢复研究提供基础资料.

1 研究地区及方法

1.1 研究地区概况

研究区域为浙江省宁波市鄞州区东南的天童国家森林公园, 地理位置为 $29^{\circ}48'N, 121^{\circ}47'E$,

面积349 hm². 在该地区已经开展了大量的植被研究工作,地区概况参见文献[28,29].

1.2 研究方法

1.2.1 受损样地设置与恢复初期调查

受损样地设置在天童国家森林公园内,海拔260 m,坡度 25°~30°^[30],共 5 个平行样地,优势种为米槠和木荷. 本实验是浙江天童受损常绿阔叶林实验生态学研究的一部分,实验的群落是天童地区常见的一类群落,具有代表性,具体的实验方案参见文献[31]. 于 2003 年 10-11 月对其中 4 个样地模拟不同的人为干扰进行了处理: I 号样地去除了乔木层(8 m 以上), II 号样地皆伐, III 号样地皆伐并去除表土, IV 号样地去除灌木层(8 m 以下)^[31]. 此后每年均进行植被恢复的追踪调查,调查方法为每木调查法,详细记录物种名称、高度和盖度,并区分实生苗和萌枝.

1.2.2 土壤种子库采集

2005 年 11 月 1 日,于受损样地上方的同一类型群落(米槠-木荷群落)中,设土壤种子库采集样地,大小为 20 m×20 m. 土壤种子库采集时将样地划分成 16 个小样方,在每个小样方的中心取样,大小为 50 cm×50 cm,取样深度为 10 cm^[31]. 土样装入贴有标签的塑料袋中运回实验室.

1.2.3 土壤种子库萌发实验

萌发实验从 2005 年 11 月 8 日-2006 年 11 月 8 日,共计 1 年. 土样均匀平摊在发芽盆内(底部钻有输水孔),厚度约为 5 cm. 实验在光线充足的室内进行. 为保证出苗成功率,土壤厚度设置较薄,易受光照而干燥,故采用微喷方式保持土壤水分. 种子萌发出苗后,记录萌发日期,将能鉴定的幼苗及时去除,对不能鉴定的幼苗单独移栽,整个萌发试验过程持续至盆中连续 6 个星期无种子萌发为止. 土壤种子库密度用单位面积(m²)土壤中有生命力的种子数量来表示,即粒/m². 种子萌发速率以所有土样每天萌发的数量来表示(株/d).

1.2.4 物种分类

由于受损实验中的 II, III 号样地去除了所有植被,恢复第一年出现的实生苗与残留植被无关. 其中 II 号样地的实生苗可认为起源于土壤种子库和外来种源, III 号样地的实生苗起源于外来种源(因为该样地去除了表层土壤). 将土壤萌发试验结果与 II, III 号样地恢复第一年实生苗的物种组成进行对比,可划分出 4 类物种:(A) 可通过种子库更新亦可通过外来种源进行更新的物种;(B) 仅通过土壤中种子库更新的物种;(C) 土壤种子库和外来种源均不能更新的物种;(D) 仅可通过外来种源更新的物种.

1.3 数据分析方法

土壤种子库的物种多样性计算采用 Simpson 指数, $D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2$; Shannon-Wiener 指数, $H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$, 其中 p_i 是第 i 种的相对数量, S 为总的物种数量.

土壤种子库与各样地恢复第一年的实生苗物种组成的相似性分析采用 Jaccard 指数和 χ^2 系数表征.

2 实验结果与分析

2.1 土壤种子库组成及多样性

共记录有 995 株幼苗萌发,土壤种子库密度为 248.75 粒/m². 土壤种子库中鉴别出的

种子分属 21 科 27 属 28 种,其中乔木 7 种,灌木 8 种,木质藤本 4 种,草本 9 种.未鉴定出个体有 31 株,均为草本.土壤种子库的 Simpson 指数为 0.70, Shannon-Wiener 指数为 2.08.

土壤种子库中草本占了 67.23%,其中短尖苔草(*Carex brevicuspis*)占总数的 56.55%,是土壤种子库中的优势种;其次为常绿灌木和落叶灌木,以油茶(*Camellia oleifera*)、野鸭椿(*Euscaphis japonica*)和椴木(*Aralia chinensis*)为主;乔木数量很少,仅占 2.5%,且无针叶树种(见表 1).

表 1 土壤种子库的物种组成及相对数量

Tab. 1 Species component and relative quantity in the seed bank

物种名	科	个体数比例/%
常绿阔叶乔木		
木荷 <i>Schima superba</i>	山茶科	-
石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>	壳斗科	0.24
长叶石栎 <i>L. harlandii</i>	壳斗科	0.24
米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	壳斗科	0.97
小计		1.46
落叶阔叶乔木		
拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>	野茉莉科	0.24
椴木 <i>Sassafras tzumu</i>	樟科	0.24
糙叶树 <i>Aphananthe aspera</i>	榆科	0.49
小计		0.97
常绿灌木或小乔木		
椴木 <i>Loropetalum chinense</i>	金缕梅科	0.24
寒莓 <i>Rubus buergeri</i>	蔷薇科	0.73
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	山茶科	11.65
小计		12.62
落叶灌木或小乔木		
野桐 <i>Mallotus japonicus</i> var. <i>floccosus</i>	大戟科	0.24
山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	樟科	1.70
大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	马鞭草科	1.94
椴木 <i>Aralia chinensis</i>	五加科	3.40
野鸭椿 <i>Euscaphis japonica</i>	省沽油科	3.88
小计		11.17
木质藤本		
广东蛇葡萄 <i>Ampelopsis cantoniensis</i>	葡萄科	0.73
香港黄檀 <i>Dalbergia millettii</i>	豆科	0.97
羊角藤 <i>Morinda umbellata</i>	茜草科	1.70
南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i>	卫矛科	3.16
小计		6.55
多年生草本		
牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i>	苋科	0.24
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	禾本科	0.97
大落新妇 <i>Astilbe grandis</i>	虎耳草科	1.21
短尖苔草 <i>Carex brevicuspis</i>	莎草科	56.55
小计		58.98
一年生草本		
苋草 <i>Arthraxon hispidus</i>	禾本科	0.73
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	禾本科	0.73
鼠鞠草 <i>Gnaphalium</i> sp.	菊科	1.21
一点红 <i>Emilia Sonchifolia</i>	菊科	5.10
唇形科 <i>Labiatae</i> sp.	唇形科	0.49
小计		8.25
合计		100.00

2.2 土壤种子库中种子的萌发格局

土壤种子库中种子的平均萌发速率为 2.7 株/d. 最快萌发期集中在实验开始后的 4~6 个月, 每日萌发数均在 5 株以上, 其中 3 个月的萌发速率达到 10 株/d(见图 1). 土壤种子库中 94% 的种子在 6 个月内就已经完成了萌发, 大部分种子集中在 4~6 个月内萌发. 部分物种的种子萌发期较长, 从实验开始至结束持续发苗, 如短尖苔草(*Carex brevicuspis*)等.

从不同生活型种子的萌发格局来看, 除了落叶灌木和一年生草本外, 其余生活型的种子萌发没有明显的区别(见图 2). 落叶灌木和一年生草本在萌发初期萌发力大, 明显高于其他生活型, 但在萌发试验 100 d 左右以后, 其萌发格局与其他物种也没有明显的区别(见图 2).

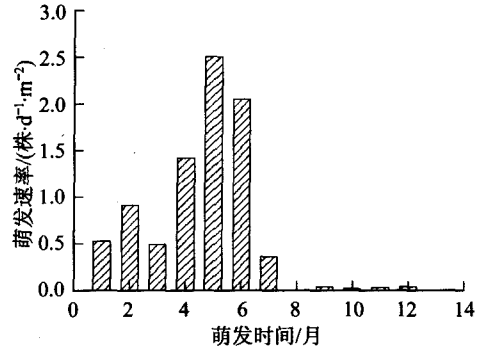


图 1 种子库中种子每日平均萌发速率
Fig. 1 Average germination rate per day of seeds in seed bank

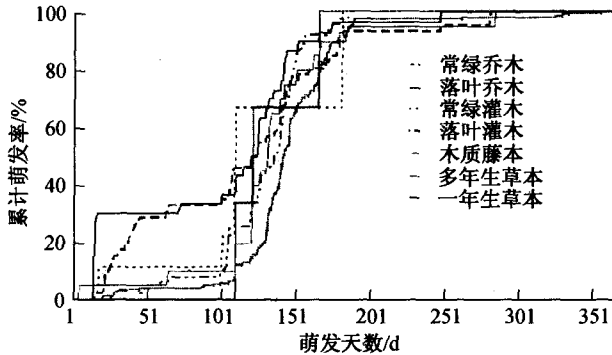


图 2 不同生活型种子的累计萌发率

Fig. 2 Accumulative germination rate of plant seeds of different life forms

2.3 土壤种子库对砍伐样地植被恢复的贡献

2.3.1 土壤种子库与现存植被的相似性

用砍伐前的植被数据作为现存植被的物种组成. 其中, 两者相同的有 11 种, 仅存在于土壤种子库中的有 17 种, 仅存在于现存植被的有 45 种. 两者的 Jaccard 指数为 0.151.

2.3.2 土壤种子库与各受损样地恢复第一年实生苗物种组成的相似性

Jaccard 指数表明, 土壤种子库与不同受损程度的恢复植被的相似性较低, 与 I 号样地的相似性最大为 0.200; 其次为与 IV, II 号样地的相似性, 分别为 0.184 和 0.179; 与 III 号样地的相似性最低为 0.162. 这表明恢复植被与土壤种子库之间没有很好的相似性.

2.3.3 土壤种子库贡献的物种

土壤种子库在受损样地恢复第一年仅可贡献 A, B 两类植物(见表 2), 其中 A 类主要包括樟木、拟赤杨、山鸡椒和大青等; B 类包括米槠和石栎(*Lithocarpus glaber*). 土壤种子库中仍有大量物种并未在 II, III 样地恢复第一年出现, 如 C 类植物, 包括长叶石栎(*Lithocarpus harlandii*)、糙叶树(*Aphananthe aspera*)、油茶和野鸦椿等. 除此之外, 样地中出现

了土壤种子库不存在的物种,如D类植物,包括香樟(*Cinnamomum camphora*)、白背叶(*Mallotus apelta*)、南酸枣(*Choerospondias axillaris*)和山合欢(*Albizia kalkora*)等。

表2 土壤种子库植物与受损样地实生苗物种的比较

Tab.2 Comparison of species between soil seed bank and seedling in plots

类型	种名	种子库	样地 I	样地 II	样地 IV	样地 III
A	拟赤杨 <i>Alni phyllum fortunei</i>	✓	✓	✓	✓	✓
	大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	✓	✓	✓	✓	✓
	檫木 <i>Sassafras tzumu</i>	✓	✓	✓	✓	✓
	山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	✓	✓	✓	✓	✓
	野桐 <i>Mallotus japonicus</i> var. <i>floccosus</i>	✓	✓		✓	✓
	楸木 <i>Aralia chinensis</i>	✓		✓		✓
B	米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	✓	✓	✓	✓	
	石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>	✓	✓	✓	✓	
C	长叶石栎 <i>Lithocarpus harlandii</i>	✓				
	糙叶树 <i>Aphananthe aspera</i>	✓				
	油茶 <i>Camellia oleifera</i>	✓				
	榿木 <i>Loropetalum chinense</i>	✓				
	寒莓 <i>Rubus buergeri</i>	✓				
	野鸭椿 <i>Euscaphis japonica</i>	✓				
	广东蛇葡萄 <i>Ampelopsis cantoniensis</i>	✓				
	南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i>	✓				
	香港黄檀 <i>Dalbergia millettii</i>	✓				
	羊角藤 <i>Morinda umbellata</i>	✓				
	牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i>	✓				
	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	✓				
	大落新妇 <i>Astilbe grandis</i>	✓				
	短尖苔草 <i>Carex brevicuspis</i>	✓				
	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	✓				
	一点红 <i>Emilia sonchi folia</i>	✓				
	鼠鞠草 <i>Gnaphalium</i> sp.	✓				
	唇形科 <i>Labiatae</i> sp.	✓				
	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	✓				
	D	栲树 <i>Castanopsis fargesii</i>			✓	
香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>			✓	✓	✓	✓
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>				✓	✓	
山合欢 <i>Albizia kalkora</i>			✓	✓		✓
南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>			✓	✓	✓	✓
黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>					✓	✓
白背叶 <i>Mallotus apelta</i>			✓	✓	✓	✓
茅栗 <i>Castanea seguinii</i>			✓		✓	
青栲 <i>Cyclobalanopsis myrsinaefolia</i>			✓		✓	✓
赛山梅 <i>Styrax confusus</i>			✓	✓	✓	✓
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>			✓	✓		
杭州榆 <i>Ulmus changii</i>				✓		
化香 <i>Platycarya strobilacea</i>				✓		
荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i>				✓		
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>				✓		✓
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>						✓
油桐 <i>Vernicia fordii</i>						✓
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>					✓	
红脉钓樟 <i>Lindera rubronervia</i>					✓	
黄丹木姜子 <i>Litsea elongata</i>					✓	

3 讨 论

从物种数量看,天童米槠-木荷林的土壤种子库的物种数量与宝华山^[20]、黑石顶^[25]、四面山^[22]和鼎湖山^[23]等常绿阔叶林的土壤种子库基本一致,种子库密度也比较接近(见图3),表明各类型常绿阔叶林的土壤种子库,其物种数和密度都不高,物种数为20~50种,密度为270~570粒/m².与本地区常绿阔叶林种子库的其他研究^[26]相比,物种数量相当,但种子密度稍高;与本地区的灌丛种子库相比^[32],种子数量仅为其1/2左右.原因可能是常绿阔叶林内大多数种子作为高淀粉含量的种子而被动物取食或腐烂^[26],本研究中石栎和木荷的种子表现尤为突出.此外,很多植物的种子结实存在大小年,如栲树^[33].

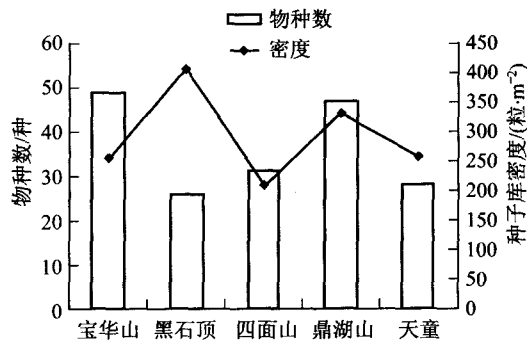


图3 不同常绿阔叶林土壤种子库物种数和密度比较

Fig. 3 Comparison on species and densities of seed banks in different evergreen broad-leaved forests

本研究土壤种子库与未砍伐前群落的物种组成关系不大.许多研究也表明土壤种子库与地上植被的物种组成之间存在不一致^[34-36].特别是演替后期的群落,其土壤种子库与现存植被的相关性较小.并且土壤种子库对各受损样地恢复第一年的物种丰富度贡献较小,土壤种子库和实验样地实生苗共有物种数与实验样地实生苗物种数比为I号(0.467) > IV号(0.389) > II号(0.368) > III号(0).这一顺序与各样地的受损程度相同,表明随着受损程度的增加,土壤种子库所能提供的物种数量减小,因而受损越严重的常绿阔叶林对外来种源的依赖越大.在物种组成方面,土壤种子库所贡献的物种主要以两类植物为主:第一类(A类)为本地区的先锋种或林窗更新种,其种子传播能力较强,在土壤种子库中存在较多的具有活力的种子;第二类(B类)为演替中后期常见物种,其种子为大型坚果,靠重力传播,在土壤种子库中存在的具有活力的种子很少.土壤种子库中大量物种(C类)不在受损样地恢复第一年中出现,主要是受到萌发条件的限制,部分物种如广东蛇葡萄和寒莓可在恢复第二年出现.而各受损样地大量物种(D类)主要依靠外来种源更新.

土壤种子库在受损植被恢复中的贡献已被认同,但对其作用大小尚有争论^[4,8,14].本研究中土壤种子库对整体植被恢复贡献有限,但相对于土壤受到破坏的样地III,保留土壤种子库的样地,在物种丰富度和密度方面恢复得更快,演替后期的物种能够更早地进行恢复.因而在高度片段化的常绿阔叶林中,破坏土壤的毁林方式可能会超出恢复阈值,使其难以通过自然更新实现恢复,需要人工抚育促进恢复.至于采用怎样的人工种源引入措施、引入什么物种会加速恢复,我们已经开展了相关研究^[37].因受限于实验样地大小,仅针对一种类型群落进行了研究,因而需要针对多种群落类型开展更大面积的实验研究.

致谢 论文写作过程中得到杨永川博士和宋坤的指导,实验工作得到何流等同学的帮助,王希华教授和秦祥堃研究员等在植物鉴定方面给予指导,在此一并致谢!

[参 考 文 献]

- [1] HARPER J L. Population Biology of Plants [M]. London: Academic Press, 1977: 15-39.
- [2] ROBERTS H A. Seed banks in soil [J]. Advances in Applied Biology, 1981(6): 1-55.
- [3] PICKETT STA, MCDONNELL M J. Seed bank dynamics in temperate deciduous forest [M]//LECK M A, PARKER V T, SIMPSON R L. Ecology of Soil Seed Banks. London: Academic Press, Inc, 1989: 123-145.
- [4] VAN DER VALK E G, PEDERSON R L. Seed banks and the management and restoration of natural vegetation [M]//LECK M A, PARKER V T, SIMPSON R L. Ecology of Soil Seed Banks. London: Academic Press, Inc, 1989: 329-344.
- [5] CHAMBERS J C, MACMAHON J A. A day in the life of a seed: movements and fates of seeds and their implications for natural and managed systems [J]. Annual Review Ecology and Systematics, 1994, 25: 263-292.
- [6] ZABINSKI C A, DELUCA T H, COLE D N, et al. Restoration of highly impacted subalpine campsites in the Eagle Cap Wilderness, Oregon [J]. Restoration Ecology, 2002, 10(2): 275-281.
- [7] ROOVERS P, BOSSUYT B, IGODT B, et al. May seed banks contribute to vegetation restoration on paths in temperate deciduous forest? [J]. Plant Ecology, 2006, 187(1): 25-38.
- [8] JOHNSON E A, BRADSHAW A D. Ecological principles for the restoration of disturbed and degraded land [J]. Apply Biology, 1979(4): 141-200.
- [9] ALVAREZ-BUYLLA E R, MARTINEZ-RAMOS M. Seed bank versus seed rain in the regeneration of a tropical pioneer tree [J]. Oecologia, 1990, 84: 314-328.
- [10] THOMPSON K. The functional ecology of seed banks [M]//FENNER M. The Ecology of Regeneration in Plant Communities. UK: CAB International, 1992: 231-257.
- [11] GUNNAR W. Seed bank studies from meadows in the Thuringian Forest (Germany) subjected to different cultivation regimes—can an entire grassland regenerate from a seed bank? [J]. Tuexenia, 2006, 26: 275-295.
- [12] SWAINE M D, HALL J B. Early succession on cleared forest land in Ghana [J]. Journal of Ecology, 1983, 71: 601-627.
- [13] PUTZ F E, APPANAH B. Buried seeds, newly dispersed seeds, and the dynamics of a lowland forest in Malaysia [J]. Biotropica, 1987, 19: 326-339.
- [14] DE SILVA Ú, MATOS D. The invasion of *Pteridium aquilinum* and the impoverishment of the seed bank in fire prone areas of Brazilian Atlantic Forest [J]. Biodiversity and Conservation, 2006, 15: 3035-3043.
- [15] 王希华, 闫恩荣, 严晓, 等. 中国东部常绿阔叶林退化群落分析及恢复重建研究的一些问题 [J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1796-1803.
- WHANG X H, YAN E R, YAN X, et al. Analysis of degraded evergreen broad-leaved forest communities in Eastern China and issues in forest restoration [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7): 1796-1803.
- [16] 冉景丞, 熊志斌, 张丛贵. 茂兰喀斯特森林区食果(种子)鸟与树种传播初步研究 [J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 1999, 17(2): 63-66.
- RAN J C, XIONG Z B, ZHANG C G. Preliminary study on the fruits eating birds on seed dispersal in Maolan karst forest area [J]. Journal of Guizhou Normal University (Natural Science), 1999, 17(2): 63-66.
- [17] HONNAY O, BOSSUYT B, VERHEYEN K, et al. Ecological perspectives for the restoration of plant communities in European temperate forests [J]. Biodiversity and Conservation, 2002(11): 213-242.
- [18] SUDING K N, GROSS K L, HOUSEMAN G R. Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2004, 19(1): 46-53.
- [19] 沈有信, 赵春燕. 中国土壤种子库研究进展与挑战 [J]. 应用生态学报, 2009(2): 467-473.
- SHEN Y X, ZHAO C Y. Soil seed bank research in China: Present status, progress and challenge [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009(2): 467-473.

- [20] 安树青,林向阳,洪必恭. 宝华山主要植被类型土壤种子库初探[J]. 植物生态学报, 1996, 20: 41-50.
AN S Q, LIN X Y, HONG B G. A preliminary study on the soil seed banks of the dominant vegetation forest on Baohua Mountain [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 1996, 20: 41-50.
- [21] 彭军,李旭光,董鸣,等. 重庆四面山亚热带常绿阔叶林种子库研究[J]. 植物生态学报. 2000, 24(2): 209-214.
PENG J, LI X G, DONG M, et al. Soil seed banks of subtropical evergreen broad-leaved forest on Simian Mountain, Chongqing [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2000, 24(2): 209-214.
- [22] 熊利民,钟章成,李旭光. 亚热带常绿阔叶林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学报, 1992, 16(3): 249-257.
XIONG L M, ZHONG Z C, LI X G. A preliminary study on the soil seed banks of different successional stages of subtropical evergreen broad-leaved forest [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 1992, 16(3): 249-257.
- [23] 魏识广,李林,黄忠良,等. 鼎湖山森林土壤种子库动态研究[J]. 生态环境, 2005, 14(6): 917-920.
WEI S G, LI L, HUANG Z L. Study on the dynamic of seed bank of Dinghushan forest soil[J]. Ecology and Environment, 2005, 14(6): 917-920.
- [24] 肖治术,王玉山,张知彬. 都江堰地区三种壳斗科植物的种子库及其影响因素研究[J]. 生物多样性, 2001, 9(4): 373-381.
XIAO Z S, WANG Y S, ZHANG Z B. Seed bank and the factors influencing it for three Fagaceae species in Dujiangyan Region, Sichuan [J]. Chinese Biodiversity, 2001, 9(4): 373-381.
- [25] 周先叶,李鸣光,王伯荪. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替不同阶段土壤种子库的研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(2): 222-230.
ZHOU X Y, LI M G, WANG B S. Soil seed banks in a series of successional secondary forest communities in Heshiding nature reserve, Guangdong Province [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2000, 24(2): 222-230.
- [26] 莫季平. 天童常绿阔叶林的种子库和幼苗库[M]//宋永昌,王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被和区系. 上海:上海科学技术文献出版社, 1995: 79-92.
MO J P. Seed bank and seeding bank of evergreen broad-leaved forest[M]//SONG Y C, WANG X R. Vegetation and Flora of Tiantong National Forest Park Zhejiang Province. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Document Publishing House, 1995: 79-92.
- [27] 刘济明,钟章成. 梵净山栲树群落的种子雨、种子库及更新[J]. 植物生态学报. 2000, 24(4): 402-407.
LIU J M, ZHONG Z C. Nature of seed rain, the seed bank and regeneration of a *Castanopsis fargesii* community on Fanjing Mountain [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2000, 24(4): 402-407.
- [28] 宋永昌,王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被和区系[M]. 上海:上海科学技术文献出版社, 1995: 11-12.
SONG Y C, WANG X R. Vegetation and Flora of Tiantong National Forest Park Zhejiang Province [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House, 1995: 11-12.
- [29] 达良俊,杨永川,宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要组成种的种群结构及更新类型[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 376-384.
DA L J, YANG Y C, SONG Y C. Population structure and regeneration types of dominant species in an evergreen broadleaved forest in Tiantong national forest park, Zhejiang Province, eastern China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2004, 28(3): 376-384.
- [30] 杨同辉,达良俊,宋永昌,等. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林生物量研究(I)群落结构及主要组成树种生物量特征[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(4): 363-369.
YANG T H, DA L J, SONG Y C, et al. Biomass of evergreen broad-leaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province (I) Community structure and fresh weight biomass of main tree species[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2005, 22(4): 363-369.
- [31] 达良俊,宋坤. 浙江天童受损常绿阔叶林实验生态学研究(I): 生态恢复实验与长期定位[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2008(4): 1-11.

- [3] ROBERTS D. Eliminating analysis in refactoring[D]. Urbana, Illinois; University of Illinois at Urbana-Champaign, 1999.
- [4] BREU S, KRINKE J. Aspect mining using dynamic analysis[C]// 19th IEEE International Conference on Automated Software Engineering. Linz, Washington; IEEE Computer Society, 2004.
- [5] LEE B, WU C. Genetic algorithm based restructuring of object-oriented designs using metrics[C]// Ieice Transactions on Information and Systems. Oxford; Oxford University Press, 2002.
- [6] Object Management Group. Introduction to OMG's unified modeling language[EB/OL]. [2009-05-15]. http://www.omg.org/gettingstarted/what_is_uml.htm.
- [7] MENS T, VAN GORP P. A taxonomy of model transformation[J]. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2006, 152: 125-142.
- [8] RUSSELL C. Bridging the object-relational divide[J]. ACM Queue, 2008, 6(3): 18-28.
- [9] NIYOMTHUM K, CHITTAYASOTHORN S. A transformation from an object database to an object relational database[C]// Proceedings IEEE Southeast Con. Washington; IEEE Computer Society, 2003.
- [10] KICZALES G J. Aspect-oriented programming[C]// Lecture Notes in Computer Science. Berlin; Springer Press, 1997.
- [11] MARIN M, DEURSEN A, MOONEN L. Identifying aspects using fan-in analysis[C]// Proceedings of the 11th Working Conference on Reverse Engineering. Washington; IEEE Computer Society, 2004.
- [12] TANNENBAUM A. Metadata Solutions: Using Metamodels, Repositories, XML, and Enterprise Portals to Generate Information on Demand[M]. Boston; Addison-Wesley Professional, 2001.
- [13] SUN M. JSR 175: A metadata facility for the Java™ programming language[EB/OL]. [2009-04-29]. <http://www.jcp.org/en/jsr/detail?id=175>.

(上接第 9 页)

- DA L J, SONG K. Experimental ecology research on destroyed evergreen broad-leaved forests in TNFP, Zhejiang (I); Ecological restoration experiments and long-term ecological study [J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2008(4): 1-11.
- [32] 张光富. 浙江天童灌丛植被的土壤种子库与幼苗库特征[J]. 云南植物研究, 2001, 23(2): 209-215.
ZHANG G F. Characteristics of soil seed bank and seedling bank of shrubland in Tiantong range, Zhejiang Province [J]. Acta Botanica Yunnanica, 2001, 23(2): 209-215.
- [33] 陈波. 栲树的生殖生态学研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2001.
CHEN B. Study one reproductive of *Castanopsis fargesii* Franch [D]. Shanghai; East China Normal University, 2001.
- [34] THOMPSON K, GRIME J P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitat [J]. Journal of Ecology, 1979, 67:893-921.
- [35] RUSSI L, COCKS P S, ROBERTS E H. Seed bank dynamics in Mediterranean grassland [J]. Journal of Apply Ecology, 1992, 29: 763-71.
- [36] DUTOIT T, ALARD D. Permanent seed banks in chalk grassland under various management regimes; their role in the restoration of species-rich plant communities [J]. Biodiversity and Conservation, 1995(4): 939-950.
- [37] 达良俊, 陈波, 宋坤, 等. 常绿阔叶林生态系统干扰与恢复定位实验[M]//宋永昌, 陈小勇. 中国东部常绿阔叶林生态系统退化机制与生态恢复. 北京: 科学出版社, 2007:416-451.
DA L J, CHEN B, SONG K, et al. Experiment of eco-restoration in evergreen broad-leaved forest [M]//SONG Y C, CHEN X Y. Degradation Mechanism and Ecological Restoration of Evergreen Broad-leaved Forest Ecosystem in East China. Beijing; Science Press, 2007: 416-451.