

衡阳紫色土丘陵坡地不同土地利用 模式下土壤种子库特征

杨 宁^{1,2}, 付美云¹, 杨满元¹, 雷玉兰¹, 邹冬生^{2*}, 林仲桂¹, 赵林峰¹

(1 湖南环境生物职业技术学院 园林学院, 湖南衡阳 421005; 2 湖南农业大学 生物科学技术学院, 长沙 410128)

摘 要: 为了解衡阳紫色土丘陵坡地不同土地利用模式下土壤种子库特征, 利用土壤种子库“萌发法”, 对衡阳紫色土丘陵坡地种子库在封山育林(20 a)模式(I)、退耕还林(2 a)模式(II)、农耕模式(III)的土壤种子库进行分析。结果表明: (1) 3种土地利用模式种子库平均密度的大小顺序为: 模式II > 模式III > 模式I。(2) 土壤种子集中分布于0~5 cm土层, 随土层深度增加, 种子数量与种类趋于减少。(3) 3种土地利用模式种子库物种 Czekanowski 相似性系数(CC)较低, Patrick 丰富度指数(R)的大小顺序为: 模式II > 模式I > 模式III ($P > 0.05$); Shannon-Wiener 指数(H)和 Pielou 均匀度指数(E)的大小顺序均为: 模式II > 模式III > 模式I ($P < 0.05$); Simpson 指数(D)的大小顺序为: 模式I > 模式III > 模式II ($P < 0.05$)。(4) 土壤种子库所含物种数较接近, 物种组成以草本植物为主, 菊科、禾本科占优势。(5) 封山育林模式和退耕还林模式属于进展演替, 封山育林模式处于较高演替阶段, 农耕模式属于逆行演替。研究表明: 衡阳紫色土丘陵坡地具有依靠土壤种子库实现自然恢复的潜力, 但单依靠土壤种子库自然恢复到现存植被是困难的, 需要在自然恢复潜力评估的基础上积极充分采取人工促进自然恢复的策略, 促进当地的植被恢复。

关键词: 不同土地利用模式; 土壤种子库; 物种组成; 植被恢复; 紫色土; 衡阳

中图分类号: Q948.1 **文献标志码:** A

Soil Seed Bank Properties under Different Land-used Models on Sloping-land with Purple Soils in Hengyang of Hunan Province, South-central China

YANG Ning^{1,2}, FU Meiyun¹, YANG Manyuan¹, LEI Yulan¹,
ZOU Dongsheng^{2*}, LIN Zhonggui¹, ZHAO Linfeng¹

(1 College of Landscape Architecture, Hunan Environmental-Biological Polytechnic College, Hengyang, Hunan 421005, China; 2 College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The sloping-land with purple soils in Hengyang of Hunan Province, South-central China covers $1.625 \times 10^5 \text{ hm}^2$. It is the most severe region of eco-environment, and at the same time, the most representative eco-catastrophe region in South China. Therefore, ecosystem restoration of the present problem area has been focused. Since, re-vegetation is the first of any restoration program conducted, by which, land cover will be safe for further wastage. Thus, to comprehend the soil seed bank properties under different soil-used

收稿日期: 2014-07-09; **修改稿收到日期:** 2014-09-26

基金项目: 湖南省科技厅项目(S2006N332); 湖南省教育厅科学研究项目(12C1057); 湖南省林业科技创新计划(XLK201341); 湖南省衡阳市科技计划(2014KN27); 湖南省普通高校青年骨干教师培养对象资助项目和湖南环境生物职业技术学院南岳学者基金(湘环职院[2012]4号)

作者简介: 杨 宁(1974—), 男, 博士, 副教授, 主要从事植物生态学与恢复生态学的教学与研究。E-mail: yangning8787@sina.com

* 通信作者: 邹冬生, 教授, 博士生导师, 主要从事紫色土荒山坡地生态植被恢复研究。E-mail: zoudongsheng2@sina.com

models, we investigated the soil seed bank in hill closing (20 a) (Ⅰ), abandoned farmland (2 a) (Ⅱ) and farmland (Ⅲ), using the “seed germination” method. The objectives of the present study were: How land-used influences the species composition in the ecosystem? What relationship exists between soil seed banks and re-vegetation? Results indicated: (1) The average seed density among three different land-used models were followed the order as model Ⅱ > model Ⅲ > model Ⅰ. (2) The effect of soil depth on seed number was significantly different as the highest seed number was found in 0~5 cm soil layer and showed decreasing trend with the increase of soil depth. (3) The Czekanowski similarity indices of three different land-used models seed banks were low (0~0.399 8). Patrick richness (R) among three different land-used models were followed the order as model Ⅱ (16) > model Ⅰ (14) > model Ⅲ (13) ($P > 0.05$), the Shannon-Wiener indices (H) and Pielou evenness indices (E), model Ⅱ > model Ⅲ > model Ⅰ ($P < 0.05$), the Simpson indices (D), model Ⅰ > model Ⅲ > model Ⅱ ($P < 0.05$). (4) Most abundant herbaceous species composition was the member of Compositae and Gramineae family indicated the re-vegetation laid early stage of primary succession. (5) Model Ⅰ and model Ⅱ belonged to progressive succession (model Ⅰ stayed higher succession stages), and model Ⅲ, retrogressive succession. All the results indicated it was possible but difficult for ecosystem restoration only by soil seed bank in the area. Based on the consideration of natural re-vegetation potential, artificial restoration strategy in combination with natural re-vegetation should be employed, to accelerate the re-vegetation for a sustainable and healthy ecosystem on sloping-land with purple soils in Hengyang of Hunan Province, South-central China.

Key words: different land-used models; soil seed bank; species composition; re-vegetation; purple soils; Hengyang

土壤种子库是指埋藏在土壤中或土壤表层全部有活力种子的总体^[1-2]。在植被更新与恢复、生物多样性维护、植被演替和扩散过程中有不容低估的作用^[3-4]。不同土地利用模式影响地上植被种类、组成和结构,改变土壤中种子萌发环境,进而影响土壤种子库的种类和组成以及地上植被的演替进展。

衡阳紫色土丘陵坡地面积 $1.625 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 是湖南省生态环境最为恶劣的地区之一,也是中国南方极具代表的生态灾难易发地区,由于紫色土极易水蚀,发育期短,地力差,常处于幼年阶段,加上颜色深、吸热性强,夏季地面温度极高,蒸发量大,又因区域性水、热分布等不利环境影响和不合理的开发,致使该区域长期以来不仅植被稀疏,而且水土流失和季节性旱灾严重。在自然条件下,植被可利用人工恢复难以达到的生境进行自然恢复^[5-6],利用土壤种子库进行自然恢复已成为衡阳紫色土丘陵坡地生态系统恢复和重建的另一主要途径。在现有的植被恢复过程中,封山育林和退耕还林成为该地区植被恢复的两种主要方式^[7],其土壤种子库的数量与组成影响着植被恢复的速度、质量和后期的演替进程。然而过去的研究多集中于热带雨林、温带草本植群落以及喀斯特地区土壤种子库的研究^[8-10],关于衡阳紫色土丘陵坡地土壤种子库的报道较少,关于不同土地利用模式土壤种子库的研究及其与植被恢复相互关系的研究还比较缺乏。通过在衡阳紫色土丘

陵坡地开展不同土地利用模式下土壤种子库研究,探索其基本特征,将有助于土壤种子库技术在该区域植被恢复过程得到中更好的应用,有助于该区域的植被恢复。

1 材料和方法

1.1 研究地区

衡阳紫色土丘陵坡地位于湖南省中南部,湘江中游,东起衡东县霞流镇、大浦镇,西至祁东县过水坪镇,北至衡阳县演陂镇、渣江镇,南达常宁市官岭镇、东山瑶族乡和耒阳市遥田镇、市炉镇一带,以衡南、衡阳两县面积最大,紫色土呈网状集中分布于该区域中部海拔 60~200 m 的地带,地貌类型以丘岗为主。而取样选择位于衡南县谭子山镇至衡阳县的西渡镇的河谷地带进行,河谷地地理坐标为: $111^\circ 23' 34'' \sim 111^\circ 27' 28'' \text{ E}$, $26^\circ 07' 25'' \sim 26^\circ 58' 32'' \text{ N}$, 长 100 km, 宽 1~3 km, 河谷内植被稀疏,主要分布于河岸以上 100~200 m 的海拔范围内,盖度多为 20%~25%,个别地带达 50% 以上。属亚热带季风湿润气候,年平均气温 18°C ; 极端最高气温 40.5°C , 极端最低气温 -7.9°C , 年平均降雨量 1 325 mm, 年平均蒸发量 1 426.5 mm, 平均相对湿度 80%, 全年无霜期 286 d。

1.2 样地设置

为了更好地了解该区域不同土地利用模式的土

壤种子库特征。在对主河谷地全面考察的基础上,根据土地利用模式[封山育林模式(I, 20 a)、退耕还林模式(II, 2 a)和农耕模式(III)]的不同选择 3 个研究地段,且每个地段的面积大于 1 hm²。封山育林模式(I, 20 a)的地理坐标为 111°24'27" E, 26°15'09" N, 坡向西南, 平均坡度为 42°, 上坡, 土层厚度平均 20 cm, 原林地经砍伐后, 封育保留小面积灌木和低质次生林, 现主要植物为野桐(*Mallotus tenuifolius*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、刺梨(*Rosa roxburghii*)、车前草(*Plantago asiatica*)和肾蕨(*Nephrolepis auriculata*)等。退耕还林模式(II, 2 a), 111°25'24" E, 26°32'26" N, 西南, 25°, 中坡, 35 cm, 前期为玉米(*Zea mays*)等作物, 后退耕还林为生态林, 造林树种为杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*), 期间进行除草、施肥等抚育措施, 植被中少见乔木, 主要为草本植物为野豌豆(*Vicia sepium*)、刺儿菜(*Cepalanoplos segetum*)等。农耕模式(III), 111°26'45" E, 26°47'29" N, 西南, 15°, 下坡, 45 cm, 该地段是当地农作物的主要种植区, 主要种植玉米, 散生有杉木、喜树(*Camptotheca acuminata*)、香椿(*Toona sinensis*)等乔木, 草本有蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、野菊花(*Chrysanthemum indicum*)和车前草等。

1.3 土壤种子库的取样与萌发实验

于 2011 年 3 月 10 日, 在每个土地种用模式中分别平行设置 100 m² (10 m × 10 m) 5 个样地, 样地间隔 15 m, 调查植物的种类和生长情况, 用 200 cm³ 的土壤环刀于每个样地的中心位置分上层(0~5 cm)、中层(5~10 cm)和下层(10~15 cm) 3 层取样, 3 次重复, 共 135 个样品(3 模式 × 5 样地 × 3 土层 × 3 重复)带回实验室进行萌发实验, 取样时尽量减少对样地的破坏, 取样后标记各样地, 以便进一步开展地上植被调查。

种子库萌发实验在湖南环境生物职业技术学院自动控温室内进行(为了使所有活性的种子尽可能全部萌发, 在萌发实验前对土样进行冷热预处理, 以解除种子休眠)。将采集的土样过 4 mm 的土壤筛, 除去大的砾石、枯落物和粗大根系等, 以浓缩土样。浓缩后将同一模式、同一土层不同样地的土样混合均匀, 分为 2 份, 平铺于装有厚度约为 3 cm 的干沙作为基质(用烘箱经过 120 °C 高温烘烤 12 h, 确保沙子内的种子死亡)、大小为 50 cm × 50 cm 的萌发盘内, 土层厚度 1~2 cm, 重复 3 次。温室内光照充足, 温度 20~25 °C, 每天适时浇水, 保持土壤表

面湿润, 保持土壤中的种子能够尽可能地萌发。4 d 为一统计周期, 鉴定幼苗, 记录萌发幼苗的种类和数量, 同时将其去除。未辨认的幼苗移栽至单个花盆, 待其长大直至可鉴定为止。当萌发数量较少时翻动土壤, 保证其继续萌发, 直至连续 2 周无种子萌发为止。萌发实验于 2011 年 3 月 15 日开始, 整个萌发实验持续 216 d。

1.4 功能群划分

以植物生活型为依据对种子库进行功能群的划分, 所有种子生活型分 4 类^[11]: (1) 1 年生草本(annual herb, AH); (2) 1 年生或 2 年生草本(annuals and biennials herb, ABH); (3) 多年生草本(perennial herb, PH); (4) 灌木(Shrub, SH)。

1.5 数据分析

采用 Patrick 丰富度指数(R)、Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 指数(D)和 Pielou 均匀度指数(E)计算土壤种子库的物种多样性^[12]。

Patrick 丰富度指数(R): $R = S$

Shannon-Wiener 指数(H): $H = -\sum P_i \ln P_i$

Simpson 指数(D): $D = 1 - \sum P_i^2$

Pielou 均匀度指数(E): $E = H / \ln S$

式中, S 为总物种数, $P_i = n_i / N$, n_i 为第 i 个物种的种子数, N 为总的种子数。

采用 Czekanowski 相似性系数(CC)测定各样地的种子库之间的相似性^[13-14]。

$CC = 2a / (2a + b + c)$

式中, a 为 2 个样地共有的物种数, b 和 c 分别为一个种子库中有而另一个无的种数。

采用 SPSS13.0 软件进行数据统计分析, 采用单因素方差分析法(one-way ANOVA)和邓肯氏新复极差检验法(DMRT 法)进行方差分析和差异显著性检验($\alpha = 0.05$)。所有数据均为 3 次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用模式土壤种子库物种组成

研究结果(表 1)表明, 土地利用模式 I 共有种子 14 种, 平均密度为 1 669.0 粒/m², 分属于 10 科, 禾本科在组成上占优势, 达 35.7%; 模式 II 共有种子 16 种, 7 929.9 粒/m², 11 科, 菊科占优势(达 31.3%), 禾本科优势下降, 仅 2 种(占 12.5%); 模式 III 共有种子 13 种, 6 196.7 粒/m², 9 科, 菊科和禾本科在组成上居前 2 位, 分别占 23.1% 和 15.4%。

模式 I 的优势种为肾蕨(*Nephrolepis auricu-*

lata)和狗芽根(*Cynodon dactylon*),种子数分别为 406.9 粒/m² 和 397.1 粒/m²,分别占该类型土壤种子库总数的 24.4%和 23.8%;模式Ⅱ的优势种飞蓬(45.8%),次优势种小灯心草(12.6%);模式Ⅲ的优势种鬼针草(33.3%),次优势种肾蕨(21.8%)和爵床(21.5%)。

土壤种子数量集中分布于 0~5 cm 土层,随土层深度的增加,种子数量减少。模式Ⅰ,71.6%的种子分布于 0~5 cm 土层,5~10 cm 土层种子数减至 474.2 粒/m²,10~15 cm 土层未有种子萌发;模式Ⅱ和模式Ⅲ,0~5 cm、5~10 cm 和 10~15 cm 土层

的种子所占百分比分别为 45.7%、36.7%、17.7%和 91.7%、7.5%、0.8%。

随着土层深度的增加,土壤种子库种类呈减少的趋势。模式Ⅰ,0~5 cm 土层 10 种,占该模式物种数的 71.4%,5~10 cm 土层 8 种,占 57.1%,10~15 cm 土层中没有种子的萌发;模式Ⅱ,0~5 cm 土层 13 种,占 81.3%,5~10 cm 土层 11 种,占 68.8%,10~15 cm 土层 5 种,占 31.3%;模式Ⅲ,0~5 cm 土层 10 种,占 76.9%,5~10 cm 土层 6 种,占 46.2%,10~15 cm 土层 1 种,占 7.7%。

从土壤种子库的生活型组成来看,模式Ⅰ,PH

表 1 不同土地利用模式不同土壤深度的土壤种子库组成
Table 1 The composition of soil seed bank in different land-used models/(seeds/m²)

物种 Species	科 Family	生活型 Life form	封山育林模式(Ⅰ) Hill closing(Ⅰ)			退耕还林模式(Ⅱ) Abandoned farmland(Ⅱ)			农耕模式(Ⅲ) Farmland(Ⅲ)		
			0~5 /cm	5~10 /cm	10~15 /cm	0~5 /cm	5~10 /cm	10~15 /cm	0~5 /cm	5~10 /cm	10~15 /cm
半夏 <i>Pinellia ternata</i>	天南星科 Araceae	PH							102.3		
野香草 <i>Elsholtzia cypriani</i>	唇形科 Labiatae	AH							101.2	50.4	
飞蓬 <i>Erigeron acer</i>	菊科 Compositae	PH				773.3	1 925.4	935.3	51.0		51.5
矮蔗草 <i>Scirpus pumilus</i>	莎草科 Cyperaceae	PH	103.4								
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	酢浆草科 Oxalidaceae	PH				154.4					
苦买菜 <i>Ixeridium denticulata</i>	菊科 Compositae	AH					102.2		50.2		
铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	大戟科 Euphorbiaceae	AH				360.6	206.4	207.4	106.7		
车前草 <i>Plantago asiatica</i>	车前草科 Plantaginaceae	PH	51.2	42.5		103.3					
马桑 <i>Coriaria nepalensis</i>	马桑科 Coriariaceae	SH	53.7								
芥 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	十字花科 Cruciferae	PH		54.3							
小灯心草 <i>Juncus bufonius</i>	灯心草科 Juncaceae	AH	51.5			1 000.6					
狗肝菜 <i>Disliptera chinensis</i>	爵床科 Acanthaceae	ABH				103.2	53.3			53.4	
肾蕨 <i>Nephrolepis auriculata</i>	肾蕨科 Nephrolepidaceae	PH	362.9	44.0					1 300.4	51.2	
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科 Gramineae	AH							52.6		
过路黄 <i>Lysimachia christinae</i>	报春花科 Primulaceae	PH				51.5	206.5		154.3	102.4	
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	菊科 Compositae	AH							2 064.4		
白草 <i>Pennisetum centrasiaticum</i>	禾本科 Gramineae	AH		51.4							
茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	茜草科 Rubiaceae	PH								103.7	
牵牛花 <i>Pharbis nil</i>	旋花科 Convolvulaceae	AH		53.7			103.2	103.4			
苎草 <i>Arthraxon hispidus</i>	禾本科 Gramineae	AH	102.6			350.4	52.7	100.2			
马兰 <i>Kalimeris indica</i>	菊科 Compositae	PH				154.3	102.3				
马鞭草 <i>Verbena officinalis</i>	马鞭草科 Verbenaceae	PH	103.1				53.6				
旱黍草 <i>Panicum trypheron</i>	禾本科 Gramineae	PH	51.4			413.5			470.3		
黄芩 <i>Scutellaria baicalensis</i>	唇形科 Labiatae	PH		53.2							
狗芽根 <i>Cynodon dactylon</i>	禾本科 Gramineae	PH	262.6	134.5							
辣子草 <i>Galinsoga parviflora</i>	菊科 Compositae	AH				54.9		54.5			
爵床 <i>Rostellularia procumbens</i>	爵床科 Acanthaceae	AH							1 330.7		
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	禾本科 Gramineae	AH	52.4	40.6							
蓟 <i>Cirsium japonicum</i>	菊科 Compositae	PH				52.5	50.1				
沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i>	百合科 Liliaceae	AH				50.1	50.8				
合计 Total			1 194.8	474.2		3 622.6	2 906.5	1 400.8	5 681.8	463.4	51.5

注:AH. 1 年生草本;ABH. 1 年生或 2 年生草本;PH. 多年生草本;SH. 灌木。
Note: AH. Annunal herbs; ABH. Annual and biennial herbs; PH. Perennial herbs; SH. Shrubs.

占优势,占种子库总数的 75.8%,出现了 SH 马桑(3.2%),同时还有大量出现了耐荫蕨类植物肾蕨;模式Ⅱ,PH 下降至 62.8%,而 AH 的百分比比较模式Ⅰ增加了 14.2%,ABH 占 2.0%;模式Ⅲ,PH 的百分比比较模式Ⅰ、模式Ⅱ分别下降 37.3%、24.3%,而 AH 的百分比比较模式Ⅰ、模式Ⅱ分别提高 39.6%、25.5%,ABH 占 0.9%。

对不同土地种用模式、相同土层的土壤种子数量和种子种类进行方差分析,由表 2 可知,就土壤种子数量而言,0~5 cm 土层差异显著($P<0.05$),5~10 cm 和 10~15 cm 土层差异极显著($P<0.01$);就土壤种子种类而言,0~5 cm 土层差异不显著($P>0.05$),5~10 cm 土层差异显著($P<0.05$),10~15 cm 土层差异极显著($P<0.01$)。

2.2 不同土地利用模式土壤种子库相似性分析

表 3 表明,不同土地利用模式间土壤种子库相似性指数在 0~0.399 8 之间,整体较低,仍表现出一定的相似性。在 0~5 cm 以及 5~10 cm 土层,相似性指数Ⅰ~Ⅱ>Ⅱ~Ⅲ>Ⅰ~Ⅲ($P<0.05$);在 10~15 cm 土层,相似性指数Ⅱ~Ⅲ显著高于Ⅰ~

Ⅱ和Ⅰ~Ⅲ($P<0.05$)。

在不同土层深度,种子库的相似性指数表现出随土层深度的增加而减小的趋势。Ⅰ~Ⅱ,相似性指数 0~5 cm>5~10 cm>10~15 cm($P<0.05$);Ⅱ~Ⅲ,相似性指数 0~5 cm>10~15 cm>5~10 cm($P<0.05$);Ⅰ~Ⅲ,相似性指数 0~5 cm 显著高于 5~10 cm 和 10~15 cm($P<0.05$)。

2.3 不同土地利用模式土壤种子库的物种多样性

表 4 表明,在不同的土地利用模式中,Patrick 丰富度指数(R)的大小顺序为模式Ⅱ(16)>模式Ⅰ(14)>模式Ⅲ(13),但差异不显著($P>0.05$),Shannon-Wiener 指数(H)和 Pielou 均匀度指数(E)的大小顺序为:模式Ⅱ>模式Ⅲ>模式Ⅰ($P<0.05$),Simpson 指数(D)则基本表现出相反的变化规律,其大小顺序为:模式Ⅰ>模式Ⅲ>模式Ⅱ($P<0.05$),结果表明:在模式Ⅱ中,种子库数量在物种间分布不均匀,优势种地位突出,模式Ⅱ的优势种飞蓬占该模式土壤种子库总数的 45.8%,比模式Ⅰ中的优势种肾蕨和模式Ⅲ中的优势种鬼针草分别高出 21.4%和 12.5%。

表 2 不同土地利用模式、相同土层种子数量、种子种类方差分析表

Table 2 The result of ANOVA for seed quantity and species in the samelayer of different land-used models

土层 Soil layer /cm	差异源 Source of variation	种子数量 Seed quantity			种子种类 Seed species		
		d_f	F	P	d_f	F	P
0~5	组间 Between groups	2	5.346	<0.05	2	2.875	>0.05
	组内 Within group	14			12		
5~10	组间 Between groups	2	13.875	<0.01	2	6.265	<0.05
	组内 Within group	14			12		
10~15	组间 Between groups	2	10.996	<0.01	2	9.357	<0.01
	组内 Within group	14			12		

表 3 不同土地利用模式种子库相似性指数

Table 3 The seed bank similarity indexes of different land-used models and soil layers

土层 Soil layer /cm	土地利用模式 Different land-used models		
	Ⅰ~Ⅱ	Ⅱ~Ⅲ	Ⅰ~Ⅲ
0~5	0.399 8 Aa	0.380 0 Aa	0.105 9 Ba
5~10	0.267 5 Ab	0.258 9 Ab	0.000 0 Bb
10~15	0.000 0 Bc	0.334 1 Aab	0.000 0 Bb

注:同行不同大写字母表示不同土地利用模式间差异显著($P<0.05$);同列不同小写字母表示不同土层间差异显著($P<0.05$)。

Note:Different uppercase letters in the same row mean significant difference among different land-used models at 0.05 level;Different lowercase letters in the same column mean significant difference among different soil layers at 0.05 level.

表 4 不同土地利用模式种子库物种多样性特征

Table 4 Bio-diversity properties of seed bank in different land-used models

土地利用模式 Land-used model	物种多样性 Bio-diversity			
	R	H	D	E
Ⅰ	14 a	0.662 8 b	0.789 5 a	0.128 6 b
Ⅱ	16 a	1.853 3 a	0.454 3 b	0.276 4 a
Ⅲ	13 a	1.543 7 ab	0.543 0 ab	0.231 6 ab

注: R :Patrick 丰富度指数; H :Shannon-Wiener 指数; D :Simpson 指数; E :Pielou 均匀度指数。同列不同字母表示不同土地利用模式间差异显著($P<0.05$)。

Note: R :Patrick richness indices; H :Shannon-Wiener indices; D :Simpson indices; E :Pielou evenness indices. Different letters in the same column mean significant difference among different soil-used models at 0.05 level.

3 讨 论

土壤种子库密度大小和其垂直空间分布格局不仅与土地利用模式有关,还与环境或干扰等因素有关^[15]。本研究表明,3种土地利用模式土壤种子库密度的大小与垂直空间分布格局存在较大的差异,模式Ⅱ,中坡,对上坡的水土流失进行有效拦截,土壤较厚(35 cm左右),坡度较小(25°),退耕前一直从事农业生产,退耕后进行了轻度的人工除草与施肥,土壤质地较为疏松,植物生长良好,植物的有性繁殖能力较高,土壤种子库密度最大,达7 929.9粒/m²,同时促进了种子在土壤不同层次的分布,有利于促进植被恢复;模式Ⅲ,下坡,土层深厚(45 cm),坡度小(15°),是该区域进行农业生产的主战场,由于周期性的农耕活动,可以促进种子进入深层土壤,但带有地带性指示作用的植物种类和数量均比较少,取而代之为大量的农田杂草,由于除草行为,致使土壤中种子以1年生草本(AH)为主,土壤种子库密度次之(6 196.7粒/m²);模式Ⅰ,分布于上坡,坡度较大(42°),水土流失严重,基岩显露(平均土层厚度20 cm),质地坚实,在该环境中植物个体需要在营养生长与有性繁殖之间进行权衡,为保存亲代的存活,植物会降低繁殖能力即减少延续后代的种子^[16-17],植物种子的产量会降低,向土壤种子库输入的种子量也降低,因此土壤种子库的密度最低(1 669.0粒/m²),在该生态环境之中,土壤种子难以穿透抵达土壤深层。因此,如果要恢复以地带性植物为主的植被,应改善植物生长的生态环境,促进其营养生长,同时要减少农田杂草生长的机会^[18-20]。

不同土地利用模式 Patrick 丰富度指数(R)、Shannon-Wiener 指数(H)和 Pielou 均匀度指数(E)均以模式Ⅱ最大、模式Ⅲ次之、模式Ⅰ最小,与普遍支持的“随演替进展进行,物种多样性、均匀性和稳定性趋于增加”的观点相异。但模式Ⅱ和模式Ⅲ经常受人类活动的干扰,植物有性繁殖的种子或

杂草种子储量增大,物种多样性增高,符合中等干扰假说^[21]。

种子库的相似性受土层之间的空间距离与土地利用模式的影响较大。距离近,有利于种子传播,土壤种子库的相似性指数较高,反之则低,与齐丹卉等^[22]对兰坪铅锌矿区土壤种子库的研究结果一致;土地利用模式影响地上植被种子的产生和种子的萌发,影响种子向深层土壤的传播,土地利用模式相近其土壤种子库在土壤各土层相似性指数较高,与冯秀等^[23]的研究结果一致。

取样面积、取样时间与环境差异对种子库数量也产生影响。熊利民等^[24]对缙云山亚热带常绿阔叶林不同恢复阶段种子库研究时认为,早期阶段,体积应达到400 cm³,灌丛阶段,500~600 cm³;沈有信等^[25]对石林保存较好的森林种子库研究时认为,种子库取样范围应在15~20个1 000 cm³。本次实验每一模式取样1 000 cm³,对模式Ⅱ与模式Ⅲ,是充分的,对模式Ⅰ,略显不足。土壤种子库具有随时间变化的特征,春季最多,夏季次之,秋初最少;种子进入土壤后,由于其休发芽、霉烂、被害和损失等命运,影响其输出格局;春季萌发种子最多,春季种子库在恢复生态中具有重要作用^[26-27]。

该地区植被演替过程为:草本阶段→草灌阶段→灌丛阶段→乔灌阶段→乔林阶段^[28-30]。从群落特征与土壤种子库组成种子生活型来看,模式Ⅰ和模式Ⅱ属于恢复演替,处于演替的早期阶段,模式Ⅰ的土壤种子库组成以PH为主,且出现了蕨类植物,较模式Ⅱ处于较高演替阶段,而模式Ⅲ仍处于破坏之中,因此,3种模式处于“模式Ⅲ→模式Ⅱ→模式Ⅰ”演替的早期不同阶段。同时,3种模式的土壤种子库以草本植物为主,菊科、禾本科居优势,紫色土适生种较少,也在一定程度上说明了当地生态系统处于植被恢复的早期阶段,且退化较严重,单依靠土壤种子库自然恢复植被是困难的,需要在自然恢复潜力评估基础上积极充分采取人工促进自然恢复的策略,促进当地的植被恢复。

参考文献:

- [1] YANG N(杨 宁), CHEN J(陈 璟), YANG M Y(杨满元), et al. Ramet population structures of *Sinarundinaria basihirsuta* on different canopy conditions of *Taiwania flousiana* forest in Leigong Mountain of Guizhou Province[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2013, **33**(11): 2 326-2 331(in Chinese).
- [2] WANG X R(王晓荣), CHENG R M(程瑞梅), XIAO W F(肖文发), et al. Relationship between standing vegetation and soil seed bank in Water-level-fluctuating Zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2010, **30**(21): 5 821-5 831(in Chinese).

- [3] LI J M(李吉政), HU H L(胡海量), ZHANG ZH J(张占江), *et al.* The characteristics of soil seed bank degraded areas in the lower reaches and standing vegetation in differently of Tarim River[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(8): 3 626—3 636(in Chinese).
- [4] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), YANG M Y(杨满元), *et al.* Relationships between vegetation characteristics and soil properties at different restoration stages on slope land with purple soils in Hengyang of Hunan Province, South-central China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, **24**(1): 90—96(in Chinese).
- [5] YU L F(喻理飞), ZHU SH Q(朱守谦), YE J ZH(叶镜中), *et al.* A study on evaluation of natural restoration for degraded Karest forest [J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2000, **36**(6): 12—19(in Chinese).
- [6] YANG N(杨 宁), YANG M Y(杨满元), LEI Y L(雷玉兰), *et al.* Response of soil enzyme activities to re-vegetation on sloping-land with purple soils in Hengyang of Hunan Province, China[J]. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2014, **23**(4): 575—580(in Chinese).
- [7] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), YANG M Y(杨满元), *et al.* Changes of soil properties in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in Hengyang of Hunan Province, South-central China[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2014, **34**(10): 2 693—2 701(in Chinese).
- [8] YANG Y F(杨允菲), ZHU L(祝 玲). Comparative analysis of seed banks in saline-alkali communities in the Song-nen Plain of China [J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1995, **19**(2): 144—148(in Chinese).
- [9] TANG Y(唐 勇), CAO M(曹 敏), ZHANG J H(张建侯), *et al.* Study on the soil seed bank and seed rain of *Mellotus paniculatus* forest in Xishuanbanna[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1998, **22**(6): 505—512(in Chinese).
- [10] LIU J M(刘济明). The seed bank and it's germinative characters of the *Distylium chinensis* community in Guizhou, Maolan Karst forest [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2001, **21**(2): 197—203(in Chinese).
- [11] BAI Y F, HAN X G, WU J G, *et al.* Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland[J]. *Nature*, 2004, **431**(75): 181—184.
- [12] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), LI J G(李建国). Study on numerical classification and species diversity of plant community in a sloping-land with purple soils in Hengyang Basin[J]. *Research of Agricultural Modernization* (农业现代化研究), 2009, **30**(5): 615—619(in Chinese).
- [13] MAGURRAN A E. Ecological Diversity and Its Measurement[M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988.
- [14] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), YANG M Y(杨满元), *et al.* Structure and spatial distribution pattern of *Taiwania flousiana* population in Leigong Mountain, Guizhou[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2011, **31**(10): 2 100—2 105(in Chinese).
- [15] PUGNAIRE F I, LAZARO R. Seed bank and understorey species composition in a semi-arid environment; The effect of shrub age and rainfall[J]. *Annals of Botany*, 2000, **86**(4): 807—813.
- [16] ZHANG D Y(张大勇), JIANG X H(姜新华). Mating system evolution resource allocation, and genetics diversity in plants[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2001, **25**(2): 130—143(in Chinese).
- [17] ZHANG L J(张林静), SHI Y X(石云霞), PAN X L(潘晓玲). Analysis of correlativity between reproductive allocation and altitude in plants[J]. *Journal of Northwest University* (Nat. Sci. Edi.) (西北大学学报·自然科学版), 2007, **37**(1): 77—80(in Chinese).
- [18] GAYNOR V. Prairie restoration on a corporate site[J]. *Restoration and Reclamation Review*, 1990, **1**(1): 135—140.
- [19] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), LI J G(李建国). Study on dynamic of water content on the sloping-land with purple soils in Hengyang basin[J]. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2009, **16**(6): 16—21(in Chinese).
- [20] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), *et al.* Analysis on soil physio-chemical characteristics in different restoration stages on sloping-land with purple soils in Hengyang[J]. *Research of Agricultural Modernization* (农业现代化研究), 2012, **33**(6): 757—761(in Chinese).
- [21] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), *et al.* Niche dynamics of main plant communities in natural restoration succession process on sloping land with purple soils in Hengyang Basin[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation* (水土保持通报), 2010, **30**(4): 87—93(in Chinese).
- [22] QI D H(齐丹卉), LIU W SH(刘文胜), LI SH Y(李世友), *et al.* Relationship between aboveground vegetation and soil seed banks from different communities of initial restoration stages in Lanping Lead/Zinc Mining Area[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2013, **33**(11): 2 317—2 325(in Chinese).
- [23] FENG X(冯 秀), TONG CH(仝 川), DING Y(丁 勇), *et al.* Potential role of soil seed banks in vegetation restoration and reclamation[J]. *Acta Sientiarum Naturalium Universitatis Neimongo* (Nat. Sci. Edi.) (内蒙古大学学报·自然科学版), 2007, **38**(1): 102—108(in Chinese).
- [24] XIONG L M(熊利民), ZHONG ZH CH(钟章成), *et al.* A preliminary study on the soil seed banks of different successional stages of subtropical evergreen broad-leaved forest[J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), 1992, **16**(3): 249—257(in Chinese).
- [25] SHEN Y X(沈有信), LIU W Y(刘文耀), GUI J W(崔建武). Species-area relationships of soil seed bank in karst forest in central Yunnan, China[J]. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2007, **31**(1): 50—55(in Chinese).
- [26] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), *et al.* On biomass properties of the main plant communities in sloping-land with purple soils in Hengyang basin[J]. *Journal of Hunan Agricultural University* (Nat. Sci. Edi.) (湖南农业大学学报·自然科学版), 2009, **35**(5): 466—469(in Chinese).
- [27] LI Q Y(李秋艳), ZHAO W ZH(赵文智). Advances in the soil seed bank of arid regions[J]. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), 2005, **20**(3): 350—358(in Chinese).
- [28] YANG M Y(杨满元), YANG N(杨 宁), *et al.* Numerical properties of soil microbial population in re-vegetation stages on sloping land with purple soils in Hengyang[J]. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2013, **22**(2): 229—232(in Chinese).
- [29] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), YANG M Y(杨满元), *et al.* The change of soil microbial biomass carbon and the relationship between it and soil physio-chemical factors in different restoration stages on sloping-land with purple soils in Hengyang[J]. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2013, **22**(1): 25—30(in Chinese).
- [30] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), *et al.* Soil enzyme activities in different re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in Hengyang of Hunan Province, China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer* (植物营养与肥料学报), 2013, **19**(6): 1 516—1 524(in Chinese).