

# 黄土丘陵沟壑区植被自然恢复过程中土壤种子库特征

袁宝妮, 李登武\*, 李景侠, 王冬梅, 薛玲, 刘杰

(西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 采用野外调查取样和室内实验相结合的方法, 研究了黄土丘陵沟壑区植被自然恢复过程中土壤种子库的物种组成、密度、物种多样性以及相似性特征。结果表明: 阴、阳坡 10 个样地中, 共萌发了 55 种 2203 株幼苗, 隶属于 23 科 48 属; 总密度达到  $5\ 505 \pm 625.537$  粒/ $m^2$ , 且 0~5 cm 土层远远大于 5~10 cm 土层的土壤种子库密度, 约是其 4.6 倍; 丰富度、多样性、均匀度指数均未与恢复年限达到显著相关水平, 但生态优势度随恢复年限的增加呈上升趋势, 且阳坡上升的趋势比阴坡明显; 组成成分相似性系数变化范围为 0.0952~0.7143, 恢复年限相距越大, 其相似性越小, 说明植被恢复演替的过程也是土壤种子库空间异质性加大的过程。

**关键词:** 土壤种子库; 植被恢复; 黄土丘陵沟壑区

**中图分类号:** S718 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0215-08

种子库是一个动态体系, 包括植物结实、种子雨、种子库的结构与组成、种子库的萌发等各个环节<sup>[1~5]</sup>。土壤种子库是指存在于土壤表面和土壤中全部有活力种子的总和<sup>[6]</sup>, 与种子雨及地表植被有着密切的关系, 一方面地上植被种子雨是土壤种子库的直接来源<sup>[7]</sup>, 地上植物种子的产量影响着土壤种子库数量动态<sup>[8]</sup>; 另一方面, 土壤种子库的种子通过参与群落的自然更新又影响着地上植物群落结构与组成及物种多样性的维持<sup>[7,9,10]</sup>。土壤种子库与植物的地上部分一样是植物群落的组成部分, 被称为潜在的群落体系<sup>[9~12]</sup>, 在植被自然恢复过程中起着重要的作用, 是植被重建与恢复的重要种源<sup>[2,4,13~15]</sup>, 为植被更新提供物质基础, 在维持种群和群落的物种多样性和遗传多样性方面具有重要的意义, 因而在植物种群生态学、恢复生态学等研究中<sup>[16]</sup>, 土壤种子库问题一直备受关注。

黄土高原植被及生态系统的退化一直是全社会关注的问题, 而黄土高原在过去的多年治理中, 强调人工治理, 有关自然恢复的报道不多, 目前, 对于黄土丘陵沟壑区的研究主要集中在土壤养分、植物群落多样性及植被恢复与重建等方面<sup>[16~22]</sup>, 但对黄土高原水土流失最严重的地区——安塞黄土丘陵沟壑区植被自然恢复过程中土壤种子库的研究尚未见报道。在已有研究的基础上, 对黄土丘陵沟壑区植被自然恢复过程中土壤种子库特征进行了研究, 为探讨本区撂荒地植被自然恢复的生态学过程提供

参考。

## 1 研究区概况

研究区位于中国科学院陕西安塞水土保持试验站纸坊沟流域(36°51'N, 109°19'E), 属黄土丘陵沟壑区第Ⅱ副区, 流域面积 8.27 km<sup>2</sup>, 海拔 1 010~1 431 m, 在气候区划上属暖温带半干旱气候, 属森林草原带, 年均降雨量 549.1 mm, 年均气温为 8.8℃, 土壤类型为黄绵土。此流域 1973 年开始治理, 封禁多年, 经过综合治理, 流域植被基本得到恢复, 目前流域内有高等植物 48 科 160 种, 植被平均盖度达到 60%以上<sup>[21]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 野外取样

土壤种子库的取样在夏季(2007 年 8 月 12 日~8 月 20 日)和次年早春(2008 年 3 月 27 日~4 月 3 日)进行, 在试验地上(立地条件相近)分别选取植被自然恢复不同年限的植物群落进行样地布设。具体是: 在阳坡半阳坡上选择撂荒 1~2 年草本植物群落: 茺蒿 (*Artemisia giraldii*) + 长芒草 (*Stipa bungeana*) 群丛; 达乌里胡枝子 (*Lespedeza bicolor*) - 白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*) 群丛; 杂灌木群丛; 狼牙刺 (*Sophora davidii*) - 白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*) (茺蒿 (*Artemisia giraldii*)) 群丛, 在阴坡半阴坡上选择: 撂荒 1~2 年草本植物群落; 铁杆蒿

收稿日期: 2009-05-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30671672)

作者简介: 袁宝妮(1982-), 女, 陕西岐山人, 硕士研究生, 主要从事森林培育学方面的研究。

\* 通讯作者: 李登武。E-mail: dengwuli@163.com。

(*Artemisia gmelinii*) + 芨芨(*Artemisia giraldii*) 群丛; *rhamnoides*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*) 群丛(详见表 1)。  
达乌里胡枝子(*Lespedeza bicolor*) - 长芒草(*Stipa bungeana*) 群丛; 杂灌木群丛; 沙棘(*Hippophae*

表 1 植被恢复阶段概况

Table 1 The general situation of different vegetation restoration stages

项目 Items	群落编号 Number	群落名称 Community name	恢复年限(a) Restoration year	坡度 Slope	坡向 Aspect	海拔(m) Altitude
阳坡 半阳坡 Sunny slope	C1	撂荒 1~2 年草本植物群落 Herb communities abandoned for 1~2 years	1~2	28°	阳 Sunny	1200
	C2	芨芨+长芒草群丛 <i>Artemisia giraldii</i> + <i>Stipa bungeana</i> association	5~8	40°	阳 Sunny	1160
	C3	达乌里胡枝子-白羊草群丛 <i>Lespedeza bicolor</i> - <i>Bothriochloa ischaemum</i> association	10~13	20°	阳 Sunny	1160
	C4	杂灌木群丛 Miscellaneous association	20~25	35°	阳 Sunny	1130
	C5	狼牙刺-白羊草(芨芨)群丛 <i>Sophora davidii</i> - <i>Bothriochloa ischaemum</i> ( <i>Artemisia giraldii</i> ) association	28~35	28°	阳 Sunny	1160
阴坡 半阴坡 Shady slope	C6	撂荒 1~2 年草本植物群落 Herb communities abandoned for 1~2 years	1~2	28°	阴 Shady	1200
	C7	铁杆蒿+芨芨群丛 <i>Artemisia gmelinii</i> + <i>Artemisia giraldii</i> association	5~8	40°	阴 Shady	1160
	C8	达乌里胡枝子-长芒草群丛 <i>Lespedeza bicolor</i> - <i>Stipa bungeana</i> association	10~13	15°	阴 Shady	1160
	C9	杂灌木群丛 Miscellaneous association	20~25	20°	阴 Shady	1100
	C10	沙棘、虎榛子群丛 <i>Hippophae rhamnoides</i> , <i>Ostryopsis davidiana</i> association	28~35	30°	阴 Shady	1070

在各个研究样地中(样地大小视具体取样环境来确定)设置一长 20 m 样线,在样线上每隔 5 m 设置一个小样方(3 m × 3 m,且不少于 3 个),在小样方内用取样工具采取 3 份土样。土样大小为 20 cm × 20 cm × 10 cm(长 × 宽 × 高),且分 0~2、2~5、5~10 cm 采取土样<sup>[21]</sup>,将土样装入土壤袋并做好标记带回实验室。

在不同撂荒年限的种子库取样点附近各布设草本 1 m × 1 m、灌木 10 m × 10 m 样地,以样地一边为 x 轴,以其垂直边作为 y 轴建立平面直角坐标系,调查实测并记录其种类、个体数、高度、盖度、植被总盖度等。同时记录各样地的生境,包括地形、地貌、坡向、坡位、海拔等立地因子<sup>[21~24]</sup>。

## 2.2 室内实验

将土样带回实验室后,首先将土样过筛(4 mm、0.2 mm 网筛)除去杂物,再将土样均匀平摊在铺有砂子的萌发盆中(砂子于 115° 烘箱中处理 12 h,厚约 2 cm),土样厚 1 cm 左右,确保所有种子暴露在适宜的光温条件下,最后置于温室中进行种子萌发实验。在种子萌发前用浓度为 1 g/L 的赤霉素打破种子休眠,每天定时(18:00)喷洒适量的水分,使萌发盆内

土壤保持湿润状态,温度控制在 25℃ 左右。待种子萌发出苗后,诊断幼苗种属,对于已鉴定的幼苗,记其数(视其为有生命力的种子)并把它从萌发盆中去除。对于不能鉴定的幼苗,将其单独移栽至花盆内,直到鉴定出所有幼苗的种属为止,若连续 6 周无新的幼苗出现则结束实验<sup>[21]</sup>。本萌发试验从 2007 年 8 月 25 日~2008 年 2 月 28 日、2008 年 4 月 5 日~2008 年 8 月 20 日进行。

## 2.3 数据处理

2.3.1 土壤种子库密度 土壤种子库密度 = 单位面积(1 m<sup>2</sup>)土壤有效种子数(粒)<sup>[24,25]</sup>

2.3.2 土壤种子库植物物种多样性 根据各样地土壤种子库中的种子数量和种类,计算丰富度指数、多样性指数、均匀度指数以及生态优势度。公式如下:

$$\text{Margalef 丰富度指数: } R = \frac{(S-1)}{\ln N}$$

Shannon - Wiener 多样性指数:

$$SW = 3.3219 \left[ \log N - \frac{1}{N \sum_{i=1}^s n_i \log n_i} \right]$$

Pielou 均匀度指数:

$$PW = \frac{\log N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^s n_i \log n_i}{\log N - \frac{1}{N} [a(S - b) + b(a + 1) \log(a + 1)]}$$

$$\text{生态优势度: } SN = \frac{\sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

式中,  $S$  为各样地土壤种子库中的物种总数;  $N$  为各样地土壤种子库中所有物种的种子总数;  $n_i$  为第  $i$  种物种的个体数;  $b$  为  $N$  被  $S$  整除以外的余数 [ $0 \leq b < N, a = (N - b) / S$ ] [21, 26]

(3) 采用 Sorensen 相似系数计算:

$$Sc = 2W / (a + b)$$

分别计算: ① 不同恢复类型土壤种子库组成上的相似性; ② 同一恢复类型土壤种子库组成上的相似性。

式中,  $W$  为土壤种子库共有的植物种数;  $a$ 、 $b$  分别为各自土壤种子库的植物种数 [26]。

应用国际通用软件 SPSS 12.0 软件包进行分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土壤种子库的物种组成特征

对 10 个不同恢复年限的样地 (见表 1) 进行萌发试验, 共鉴定出的幼苗种类 23 科 48 属 55 种 2203 株, 具体见表 2。

表 2 土壤种子库物种组成

Table 2 Species composition of soil seed bank

植物名称 Plant name	个数(株) Number (strains)	层次 Level	生活型 Life form	生态型 Ecological type	科 Family
龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i>	3	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	蔷薇科 Rosaceae
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	2	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱生 Xerophyte	禾本科 Gramineae
乌头叶蛇葡萄 <i>Ampelopsis aconitifolia</i>	8	层间植物 Interstratum plant	层间植物 Interstratum plant	中生 Mesophyte	葡萄科 Vitaceae
芦草 <i>Agropyron mongolicum</i>	3	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	禾本科 Gramineae
臭蒿 <i>Artemisia annua</i>	13	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	菊科 Compositae
艾蒿 <i>Artemisia argyi</i>	88	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	菊科 Compositae
茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>	123	草本层 Herb layer	一年生草本 Annual herbaceous	旱中生 Xeric mesophyte	菊科 Compositae
芫蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	60	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	菊科 Compositae
铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i>	146	灌木层 Shrub layer	地上芽植物 Chamaephyte	旱中生 Xeric mesophyte	菊科 Compositae
牡蒿 <i>Artemisia japonica</i>	10	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	菊科 Compositae
小檗 <i>Berberis amurensis</i>	2	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	旱中生 Xeric mesophyte	小檗科 Berberidaceae
白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i>	162	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	禾本科 Gramineae
柴胡 <i>Bupleurum chinensis</i>	20	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	伞形科 Umbelliferae
柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	15	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	旱生 Xerophyte	豆科 Leguminosae
披针叶苔草 <i>Carex lanceolata</i>	161	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	莎草科 Cyperaceae
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	10	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	藜科 Chenopodiaceae
刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>	47	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	菊科 Compositae
中华隐子草 <i>Cleistogenes chinensis</i>	58	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	禾本科 Gramineae
灰栒子 <i>Cotoneaster acutifolius</i>	5	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	旱中生 Xeric mesophyte	蔷薇科 Rosaceae
田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	14	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	旋花科 Convolvulaceae
青茅 <i>Deyeuxia sylvatica</i>	12	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	禾本科 Gramineae
蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	24	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	蔷薇科 Rosaceae
地锦草 <i>Euphorbia humifusa</i>	18	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	大戟科 Euphorbiaceae
连翘 <i>Forsythia suspensa</i>	17	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	中生 Mesophyte	木犀科 Oleaceae
泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i>	12	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	菊科 Compositae
阿尔泰紫菀 <i>Heteropappus altaicus</i>	62	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	菊科 Compositae
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>sinensis</i>	8	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	中生 Mesophyte	胡颓子科 Elaeagnaceae
葎草 <i>Humulus scandens</i>	40	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	桑科 Moraceae
苦苣菜 <i>Ixeris denticulate</i>	90	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	菊科 Compositae

续表 2

植物名称 Plant name	个数(株) Number (strains)	层次 Level	生活型 Life form	生态型 Ecological type	科 Family
黄鼠草 <i>Ixeris sonchifolia</i>	34	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	菊科 Compositae
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza dawurica</i>	123	灌木层 Shrub layer	地上芽植物 Chamaephyte	旱中生 Xeric mesophyte	豆科 Leguminosae
细叶百合 <i>Lilium pumilum</i>	1	草本层 Herb layer	地下芽植物 Chamaephyte	中生 Mesophyte	百合科 Liliaceae
土庄绣线菊 <i>Spiraea pubescens</i>	10	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	中生 Mesophyte	蔷薇科 Rosaceae
虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i>	4	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	中生 Mesophyte	桦木科 Betuaceae
棘豆 <i>Oxytropis bicolor</i>	33	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	豆科 Leguminosae
异叶败酱 <i>Patrinia heterophylla</i>	87	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	败酱科 Valerianaceae
杠柳 <i>Periploca sepium</i>	5	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	中生 Mesophyte	萝藦科 Sclepiadaceae
远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	51	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱生 Xerophyte	远志科 Polygalaceae
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	13	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	蒺藜科 Zygophyllaceae
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	63	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	蔷薇科 Rosaceae
扁核木 <i>Prinsepia uniflora</i>	3	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	旱中生 Xeric mesophyte	蔷薇科 Rosaceae
黄蔷薇 <i>Rosa hugonis</i>	3	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	旱中生 Xeric mesophyte	蔷薇科 Rosaceae
茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	37	层间植物 Interstratum plant	层间植物 Interstratum plant	中生 Mesophyte	茜草科 Rubiaceae
茅莓 <i>Rubus parvifolius</i>	15	灌木层 Shrub layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	蔷薇科 Rosaceae
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	42	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	伞形科 Umbelliferae
风毛菊 <i>Saussurea japonica</i>	88	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	菊科 Compositae
费菜 <i>Sedum aizoon</i>	16	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	景天科 Crassulaceae
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	69	草本层 Herb layer	一年生草本 Annual herbaceous	旱中生 Xeric mesophyte	禾本科 Gramineae
鞘柄菝葜 <i>Smilax stans</i>	2	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	中生 Mesophyte	百合科 Liliaceae
狼牙刺 <i>Sophora davidii</i>	23	灌木层 Shrub layer	矮高位芽植物 Nanophanerophyte	旱中生 Xeric mesophyte	豆科 Leguminosae
长芒草 <i>Stipa bungeana</i>	111	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	禾本科 Gramineae
碱蓬 <i>Suaeda glauca</i>	12	草本层 Herb layer	一年生草本 Annual herbaceous	旱生 Xerophyte	藜科 Chenopodiaceae
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	34	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	旱中生 Xeric mesophyte	菊科 Compositae
野豌豆 <i>Vicia sepium</i>	18	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	豆科 Leguminosae
紫花地丁 <i>Viola philippica</i>	54	草本层 Herb layer	地面芽植物 Hemicryptophyte	中生 Mesophyte	堇菜科 Violaceae

其中主要是草本植物 38 种, 占总数的 69.09%; 灌木 15 种, 占总数的 27.27%; 层间植物 2 种, 占总数的 3.64%。

菊科(Compositae) 809 株, 占总数的 36.72%; 禾本科(Gramineae) 415 株, 占总数的 18.84%; 豆科(Leguminosae) 212 株, 占总数的 9.62%; 莎草科(Cyperaceae) 161 株, 占总数的 7.31%; 蔷薇科(Rosaceae) 126 株, 占总数的 4.68%; 败酱科(Valerianaceae) 87 株, 占总数的 3.95%; 伞形科(Umbelliferae) 62 株, 占总数的 2.81%; 其它科 312 株, 占总数的 14.16%。若以生活型划分, 一年生草本植物 3 种, 占总数的 5.45%; 地上芽植物 2 种, 占总数的 3.64%; 地下芽植物 1 种, 占总数的 1.82%; 地面芽植物 35 种, 占总数的 63.64%; 矮高位芽植物 12 种, 占总数的 21.82%; 层间植物 2 种, 占总数的 3.64%。以生态型划分, 旱生植物 4 种, 占总数的 7.27%; 旱

中生植物 29 种, 占总数的 52.73%; 中旱生植物 1 种, 占总数的 1.82%; 中生植物 21 种, 占总数的 38.18%。此外, 还有 19 株幼苗因出苗后死亡未鉴定种属。

### 3.2 土壤种子库的密度特征

3.2.1 土壤种子库的总密度特征 根据各样地萌发幼苗数目计算各土层的土壤种子库的密度, 结果见表 3。可以看出土壤种子库总密度为  $5\ 505 \pm 625.537$  粒/ $m^2$ , 其中, 阴坡样地密度大于阳坡。土壤种子库密度在垂直分布上, 0~2 cm 土层土壤种子库密度达到  $2\ 762.5 \pm 294.539$  粒/ $m^2$ , 2~5 cm 达到  $1\ 770 \pm 210.030$  粒/ $m^2$ , 5~10 cm 达到  $975 \pm 138.799$  粒/ $m^2$ , 可见 0~5 cm 土层的土壤种子库密度远远大于 5~10 cm 土层的土壤种子库密度, 约是 5~10 cm 土层的 4.6 倍。

表 3 土壤种子库密度变化

Table 3 Changes in density of soil seed bank

项目 Item	样地总和 Total	阳坡样地 Total sunny slope	阴坡样地 Total shady slope	0~2 cm 土层 0~2 cm soil layer	2~5 cm 土层 2~5 cm soil layer	5~10 cm 土层 5~10 cm soil layer
密度(粒/m <sup>2</sup> ) Density (grains/m <sup>2</sup> )	5505±625.537	4830±436.491	6180±419.211	2762.5±294.539	1770±210.030	975±138.799

3.2.2 不同群落土壤种子库密度特征 从表 4 可以看出,在研究样地中,阳坡半阳坡恢复年限 5~8 a 的茭蒿+长芒草群丛的土壤种子库密度最大(4 987.5±972.163粒/m<sup>2</sup>),其次为狼牙刺-白羊草(茭蒿)群丛(2 187.5±103.564粒/m<sup>2</sup>),杂灌木群丛的土壤种子库密度则最小(1 425±273.943粒/m<sup>2</sup>);阴坡半阴坡恢复年限 5~8 a 的铁杆蒿+茭蒿群丛的土壤种子库密度最大(5 237.5±497.774粒/m<sup>2</sup>),其次为沙棘、虎榛子群丛(3 612.5±170.379粒/m<sup>2</sup>),杂灌木群丛的土壤种子库密度则最小(1 650±66.815粒/m<sup>2</sup>),由此表明,恢复年限 5~8 a 的土壤种子库密度最大,而杂灌木群丛阶段最小。

表 4 各样地土壤种子库密度变化

Table 4 Changes in density of soil seed bank for each sample

群落编号 Number	密度(粒/m <sup>2</sup> ) Density (grains/m <sup>2</sup> )	群落编号 Number	密度(粒/m <sup>2</sup> ) Density (grains/m <sup>2</sup> )
C1	1975±80.178	C6	2850±360.803
C2	4987.5±972.163	C7	5237.5±497.774
C3	1512.5±157.016	C8	2100±273.943
C4	1425±273.943	C9	1650±66.815
C5	2187.5±103.564	C10	3612.5±170.379

注:群落编号代表样地见表 1。下同。

Note: The community numbers represent the same samples as those in

Table 1. The same as the blow.

3.2.3 不同恢复年限样地土壤种子库密度特征 方差分析结果表明,阳坡半阳坡 5 个样地土壤种子库总密度未达到显著相关水平( $f=0.291 < F_{0.05} = 3.838, P > 0.05$ );阴坡半阴坡 5 个样地土壤种子库总密度也未达到显著相关水平( $f=0.587 < F_{0.05} = 3.838, P > 0.05$ )。此外,从图 1 可以看出,随着恢复年限的增加,阳坡半阳坡土壤种子库的总密度的递减趋势( $y = -313.75x + 3358.8, R^2 = 0.1137$ );阴坡半阴坡土壤种子库的总密度同阳坡总密度变化趋势一致( $y = -206.25x + 3708.8, R^2 = 0.0532$ ),结果说明随着恢复年限增加,不同坡向土壤种子库密度均呈递减趋势。

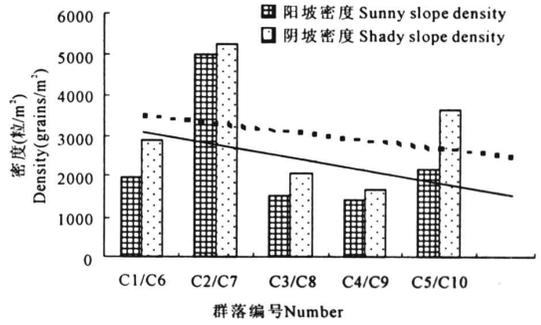


图 1 土壤种子库总密度变化

Fig.1 Changes in total density of soil seed bank

### 3.3 土壤种子库的物种多样性

3.3.1 土壤种子库的垂直分布物种多样性分析 物种多样性是群落的重要特征,物种多样性指数和生态优势度是反映群落组成结构特征的定量指标,能更好地表征群落的结构组成水平。

土壤种子库垂直分布物种多样性分析如表 5 所示,结果表明:各样地内 0~2 cm 土层中土壤种子库的物种多样性除个别恢复阶段外均大于 2~5 cm 及 5~10 cm;2~5 cm 土层大于 5~10 cm,说明随着土层深度的增加物种多样性呈递减的趋势。

阳坡半阳坡样地中,0~2 cm 土层的丰富度、多样性指数在杂灌木群丛阶段达到最大(3.007、3.498),均匀度指数随着恢复年限呈递减趋势,生态优势度则在狼牙刺-白羊草(茭蒿)群丛阶段最大(0.218);2~5 cm 土层的丰富度、多样性指数在撂荒 1~2 a 生草本植物群落阶段达到最大(2.051、2.457),均匀度指数随着恢复年限呈先增后减趋势,生态优势度则在狼牙刺-白羊草(茭蒿)群丛阶段最大(0.473);5~10 cm 土层的丰富度、多样性指数在杂灌木群丛阶段达到最大(2.394、2.199),均匀度指数随着恢复年限呈先减后增趋势,生态优势度则在狼牙刺-白羊草(茭蒿)群丛阶段最大(0.153);阴坡半阴坡样地中,0~2 cm 土层的丰富度指数在铁杆蒿+茭蒿群丛阶段,多样性指数在撂荒 1~2 a 生草本植物群落阶段达到最大(7.033、3.342),均匀度指数随着恢复年限呈先增后减趋势,在杂灌木群丛阶

段达最大值(1.513),生态优势度则在沙棘、虎榛子群丛阶段最大(0.204);2~5 cm 丰富度指数在沙棘、虎榛子群丛阶段、多样性指数在铁杆蒿+芨芨草群丛阶段达到最大(2.914、3.168),均匀度指数随着恢复年限呈先减后增趋势,生态优势度则在杂灌木群丛

阶段最大(0.286);5~10 cm 土层的丰富度、多样性指数在铁杆蒿+芨芨草群丛阶段达到最大(1.900、2.059),均匀度指数随着恢复年限呈先减后增趋势,生态优势度则在达乌里胡枝子-长芒草群丛阶段最大(0.292)。

表 5 土壤种子库垂直分布物种多样性变化

Table 5 Changes in species diversity of soil seed bank

群落编号 Number	丰富度指数 Richness index			多样性指数 Diversity index			均匀度指数 Evenness index			生态优势度 Ecological dominance		
	0~2cm	2~5cm	5~10cm	0~2cm	2~5cm	5~10cm	0~2cm	2~5cm	5~10cm	0~2cm	2~5cm	5~10cm
C1	2.592	2.051	1.632	2.837	2.457	1.926	1.049	0.972	0.997	0.106	0.131	0.144
C2	2.125	1.716	1.025	2.221	1.959	1.278	0.803	0.642	0.608	0.065	0.231	0.105
C3	2.238	1.613	0.721	2.373	2.154	1.481	0.942	1.028	0.500	0.141	0.158	0.095
C4	3.007	1.450	2.394	3.498	1.728	2.199	0.968	0.645	1.000	0.099	0.070	0.036
C5	1.549	0.993	0.397	1.766	1.050	0.454	0.852	0.581	0.413	0.218	0.473	0.153
C6	3.220	2.832	1.553	3.342	3.099	1.904	0.971	0.984	1.001	0.075	0.076	0.163
C7	7.033	2.659	1.900	3.116	3.168	2.059	0.972	0.994	0.739	0.086	0.059	0.113
C8	2.156	1.782	1.690	2.516	2.043	1.672	0.975	0.809	0.948	0.138	0.268	0.292
C9	1.513	0.601	0.361	2.282	1.250	0.605	1.513	0.250	0.250	0.152	0.286	0.125
C10	2.704	2.941	1.830	2.466	2.493	1.659	0.726	0.986	0.620	0.204	0.103	0.212

3.3.2 不同群落土壤种子库物种多样性分析 从图 2 可以看出,阳坡半阳坡样地土壤种子库的丰富度指数,随恢复年限的变化规律不明显,而阴坡半阴坡样地中,随恢复年限的增加呈下降趋势,但经过回归分析,二者未达到显著相关水平( $P>0.05$ );从图 3 可以看出,随着恢复年限的增加,阳坡半阳坡样地土壤种子库的多样性指数呈下降趋势,阴坡半阴坡样地多样性指数呈上升趋势,但经过回归分析,恢复年限和土壤种子库多样性指数也未达到显著相关水平( $P>0.05$ );从图 4 可以看出,随着恢复年限的增加,土壤种子库的均匀度指数呈明显的上升趋势,而

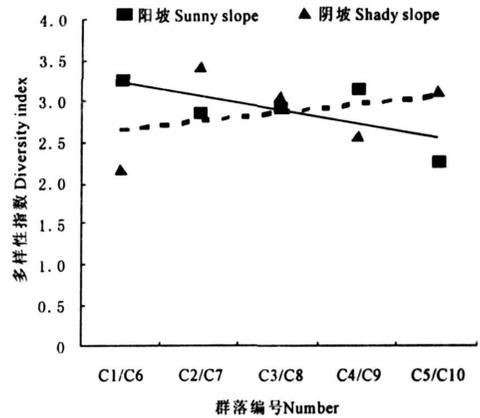


图 3 土壤种子库多样性变化

Fig.3 Changes in diversity of soil seed bank

且经过回归分析,两者也未达到显著相关水平( $P>0.05$ );从图 5 可以看出,阴、阳坡样地土壤种子库的生态优势度随恢复年限的增加均呈上升趋势,与土壤种子库均匀度指数随恢复年限的变化趋势一致。

3.4 土壤种子库相似性分析

从表 6 和表 7 可以看出,阴、阳坡 10 个样地两两间的种子库组成成分相似性系数变化范围为 0.095~0.714。许多研究表明,每一群落类型总是与恢复年限最邻近的群落具有最高的相似度<sup>[24]</sup>,随着恢复年限的增加,植物群落进一步发育,群落物种组成差异性不断增加,群落之间的生态距离逐渐变

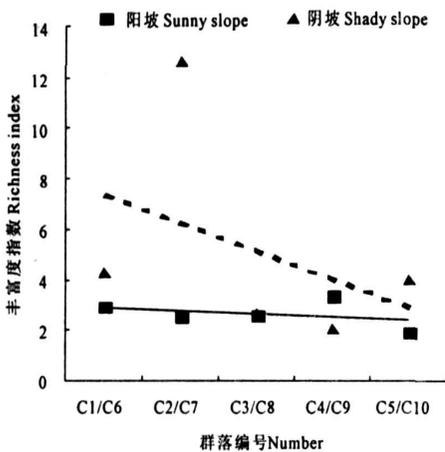


图 2 土壤种子库丰富度变化

Fig.2 Changes in richness of soil seed bank

远,所以恢复年限相距越大,其相似性越小。样 4 与样 5、样 9 与样 10、样 7 与样 9 之间的相似性系数都相对较大(分别为0.714、0.667和0.556)。

从表 8 可以看出,随着恢复年限的增大,不同坡向样地的相似性系数出现减小的趋势。

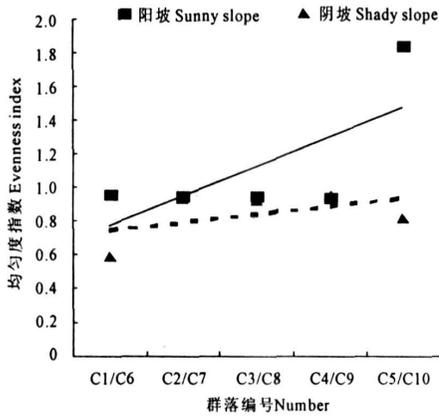


图 4 土壤种子库均匀度变化

Fig. 4 Changes in evenness of soil seed bank

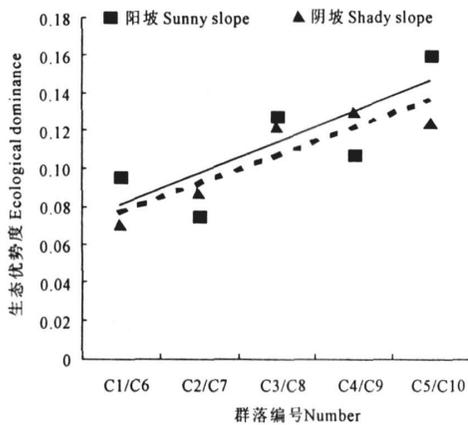


图 5 土壤种子库生态优势度变化

Fig. 5 Changes in ecological dominance of soil seed bank

表 6 阳坡半阳坡样地土壤种子库相似性

Table 6 The similarity of soil seed bank in plots on sunny slope

群落编号 Number	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	—	—	—	—
C2	0.095	1	—	—	—
C3	0.429	0.381	1	—	—
C4	0.273	0.400	0.400	1	—
C5	0.231	0.421	0.571	0.714	1

表 7 阴坡半阴坡样地土壤种子库相似性

Table 7 The similarity of soil seed bank in plots on shady slope

群落编号 Number	C6	C7	C8	C9	C10
C6	1	—	—	—	—
C7	0.531	1	—	—	—
C8	0.364	0.370	1	—	—
C9	0.528	0.556	0.370	1	—
C10	0.528	0.389	0.370	0.667	1

表 8 相同恢复年限不同坡向样地间土壤种子库相似性

Table 8 The similarity of soil seed bank on opposite slope of the same abandoned year

群落编号 Number	C1/C6	C2/C7	C3/C8	C4/C9	C5/C10
相似性系数 Similarity coefficient	0.653	0.560	0.546	0.609	0.231

## 4 结论与讨论

1) 土壤种子库植物物种丰富,其中草本植物>灌木>层间植物,菊科与禾本科植物占优势,其次为豆科、莎草科、蔷薇科、败酱科与伞形科;若以生活型划分地面芽植物达到了总数的63.64%;若以生态型划分,早中生植物>中生植物>旱生植物>中旱生植物,在生活型及生态类型方面体现出了该研究区土壤种子库与本区环境相适应的特点。

2) 土壤种子库总密度较大,为 $5\ 505 \pm 625.537$ 粒/ $m^2$ 。在垂直方向上,0~5 cm 土层的土壤种子库密度远远大于5~10 cm 土层,约是5~10 cm 土层的4.6倍,垂直分布使得较小部分的种子处于下层土壤中,由于下层土壤土层环境稳定及种子的发芽率较低,使得种子的宿存时间较长,往往形成植物种群的天然基因库,阳坡半阳坡茭蒿+长芒草群丛、阴坡半阴坡铁杆蒿+茭蒿群丛的土壤种子库密度最大。随着恢复年限增加,不同坡向土壤种子库密度均呈递减趋势,这与大多学者的研究结果一致<sup>[5~13,15,21~24]</sup>。

3) 在垂直分布及不同坡向上,土壤种子库物种多样性指数存在着差异,但未呈现出一致的变化规律。其物种多样性与恢复年限未达到显著相关水平,说明恢复年限对土壤种子库的影响并不显著。

4) 阴、阳坡 10 个样地两两间的种子库组成成分相似性系数变化范围较大,恢复年限相距越大,其相似性越小,说明恢复演替的过程也是土壤种子库空间异质性加大的过程,相同恢复年限不同坡向的

样地间相似性系数也出现减小的趋势,此外处于演替的较后期阶段样地之间的相似性系数相对较大,这可能是由于一些物种的侵入使得它们之间的相似性系数增大。

5) 从上述土壤种子库特征研究方面可以看出研究区的植被自然恢复还处于初步阶段,无论是理论或者实践方面还需要进一步的深入研究,如生态因子与土壤种子库之间相互关系、土壤种子库在植被恢复中的作用及相关机理等,从而加快土壤种子库在植被自然恢复中的进程。

## 参考文献:

- [1] 邹春静,徐文铎,刘广田.沙地云杉种群种子雨的时空分布规律[J].生态学杂志,1998,17(3):16-19.
- [2] Howe HF, Smallwood J. Ecology of seed dispersal[J]. Ann Rev Ecol Syst, 1982, 13:201-228.
- [3] 邹春静,徐文铎.沙地云杉种群种子雨的时空分布规律[J].生态学杂志,1998,17(3):16-19.
- [4] 费世民,彭镇华,杨冬生.川西南山地高山栲种群种子雨和地表种子库研究[J].林业科学,2006,42(2):49-50.
- [5] 韩有志,王政权.天然次生林中水曲柳种子库的空间格局与过程[J].植物生态学报,2002,26(2):170-174.
- [6] Simpson R L. Ecology of soil seed bank[M]. San Diego: Academic Press, 1989:149-200.
- [7] Thompson K, Band S R, Hodgson J G. Seed size and shape predict persistence in the soil[J]. Func Ecol, 1993, 7:236-241.
- [8] 尹 锴,潘存德,刘翠玲,等.天山云杉林土壤种子库物种组成及其垂直空间分布[J].新疆农业大学学报,2005,28(4):1-4.
- [9] 张 玲,方精云.太白山南坡土壤种子库的物种组成与优势成分的垂直分布格局[J].生物多样性,2004,12(1):123-130.
- [10] 于顺利,蒋高明.土壤种子库的研究进展及若干研究热点[J].植物生态学报,2003,27(4):551-560.
- [11] 李 宁,冯 固,田长彦.塔克拉玛干沙漠北缘土壤种子库特征及动态[J].中国科学 D 辑:地球科学,2006,36(增刊 II):110-118.
- [12] Roberts H A. Seed banks in soil[J]. Advances in Applied Biology, 1981, (6):1-55.
- [13] 郑翠玲,曹子龙,赵廷宁,等.围封沙化草地土壤种子库动态研究[J].水土保持研究,2005,12(6):169-174.
- [14] 燕雪飞,杨允菲,松嫩平原碱化草甸两个群落土壤种子库动态[J].生态学杂志,2007,26(6):822-825.
- [15] 尚占环,龙瑞军,马玉寿,等.黄河源区退化高寒草地土壤种子库种子萌发的数量和动态[J].应用与环境生物学报,2006,12(3):313-316.
- [16] 张志权.土壤种子库[J].生态学杂志,1999,15(6):36-42.
- [17] 白文娟,焦菊英.土壤种子库的研究方法综述[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):195-197.
- [18] 张 玲,李广贺,张 旭.土壤种子库研究综述[J].生态学杂志,2004,23(2):114-120.
- [19] 闫巧玲,刘志民,李荣平.持久土壤种子库研究综述[J].生态学杂志,2005,24(8):948-952.
- [20] 朱雅娟,董 鸣,黄振英.种子萌发和幼苗生长对沙丘环境的适应机制[J].应用生态学报,2006,17(1):137-140.
- [21] 白文娟,焦菊英,张振国.安塞黄土丘陵沟壑区退耕地的土壤种子库特征[J].中国水土保持科学,2007,5(2):65-72.
- [22] Thompson K, Colwell S, Carpenter J, et al. Urban domestic gardens (VII): a preliminary survey of soil seed banks[J]. Seed Science Research, 2005, 15(2):133-141.
- [23] Traba J, Azcarate F M, Peco B. The fate of seeds in Mediterranean soil seed banks in relation to their traits[J]. Journal of Vegetation Science, 2006, 17(1):5-10.
- [24] 王 辉,任继周.子午岭主要森林类型土壤种子库研究[J].干旱区资源与环境,2004,18(3):131-135.
- [25] 张咏梅,何 静,潘开文,等.土壤种子库对原有植被恢复的贡献[J].应用与环境生物学报,2003,9(3):326-332.
- [26] 胡 亮.植被群落多样性分析指标研究[D].广州:中山大学,2006.

## Studies on characteristics of soil seed banks in natural vegetation restoration of the Loess hilly gully regions

YUAN Bao-mi, LI Deng-wu\*, LI Jing-xia, WANG Dong-mei, XUE Ling, LIU Jie

(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Field survey and laboratory experiment were conducted to study the characteristics of soil seed bank, such as species composition, density, diversity and similarity in the natural vegetation restoration of loess hilly gully regions. The results showed that 2203 seedlings of 55 species, which belonged to 23 families and 48 genera, germinated in the 10 plots. The total seed density reached  $5\ 505 \pm 625.537$  grains/m<sup>2</sup>, approximately 4.6 times bigger in 0~5 cm than in 5~10 cm soil layer. The richness, diversity and evenness of soil seed bank did not achieve the remarkable related level with the restored age, but the ecological dominance increased while recovered years increased, and it took a more significant increasing trend in sunny slope than in shady slope. The similarity coefficients of soil seed bank composition ranged from 0.0952 to 0.7143, and the similarity coefficients got smaller with the increase of recovered years, which showed that the vegetation succession of the abandoned cropland was basically an enlarging process of spatial heterogeneity.

**Keywords:** soil seed bank; vegetation restoration; Loess hilly gully region