

陕北安塞退耕地持久土壤种子库 与地上植被的对应关系

王宁^{1,2}, 贾燕锋^{1,2}, 焦菊英^{1†}, 白文娟^{1,2}, 张振国^{1,2}

(1. 西北农林科技大学, 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 712100, 陕西杨凌;

2. 中国科学院研究生院, 100049, 北京)

摘要 通过研究陕北安塞退耕3~31 a的阴阳坡10个样地的持久土壤种子库特征及其与地上植被的关系, 分析持久土壤种子库在植被恢复中的作用。结果表明: 调查样地持久土壤种子库由15个科36个物种组成, 种子密度在1 908~12 617粒/m²之间, 1年生物种占80%, 随着退耕演替的进行, 种子库中1年生物种比例呈下降趋势, 多年生物种比例呈上升趋势, 地带性物种在持久种子库中的比例也随退耕时间的延长而增加, 物种数和种子库密度均随退耕演替先增大后降低; 持久土壤种子库与地上植被的相似性较低, Serensen相似性系数为0.21~0.42; 通过对适宜物种的确限度及土壤种子库大小的分析, 认为该区退耕地的持久土壤种子库具有一定的植被恢复潜力。

关键词 持久土壤种子库; 植被恢复; 确限度; Serensen相似性; 退耕地

Relationship between persistent soil seed bank and above-ground vegetation on abandoned farmland in An 'sai of the North Shaanxi Province

Wang Ning^{1,2}, Jia Yanfeng^{1,2}, Jiao Juying¹, Bai Wenjuan^{1,2}, Zhang Zhenguo^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest A&F University, 712100, Yangling, Shaanxi; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 100049, Beijing, China)

Abstract In order to find the effects of persistent soil seed bank on the vegetation restoration on abandoned farmland in Hilly-gully area of Loess Plateau, investigation on the relationship between the persistent soil seed bank and the above-ground vegetation was taken. 10 plots which abandoned for 3 to 31 years on different aspect were collected in this study. The result showed that there are 36 species belong to 15 families in the soil seed bank, the main species are annual, and also included some perennial and semi-shrub. The density of seed bank is between 1 908 seeds/m² and 12 617 seeds/m², and 80% is of annual. The proportion of annual declined with the time of rehabilitation, but the proportion of perennial and the typical species in this area increased with the time. The number of the species and the density increase firstly and then descend with the time. The serensen similarity index of above-ground vegetation and soil seed bank is 0.21 - 0.42. By the analysis of the fidelity of plants, all the preferential species in the area had the persistent soil seed bank, thus, it is considered that the persistent soil seed bank can help the vegetation restoration in part.

Key words persistent soil seed bank; vegetation restoration; fidelity; Serensen similarity; abandoned farmland

收稿日期: 2008-04-15 修回日期: 2009-09-21

项目名称: 国家自然科学基金项目“黄土丘陵沟壑区土壤种子库分布格局及植被恢复的土壤侵蚀解释”(40771126)和“黄土高原退耕地植被恢复对土壤侵蚀环境的响应与模拟”(40571094)

第一作者简介: 王宁(1982—),男,博士研究生。主要研究方向:流域管理。E-mail:wangning123456@nwsuaf.edu.cn

†责任作者简介: 焦菊英(1965—),女,博士,研究员。主要研究方向:植被恢复与水土保持环境效应评价。E-mail:jiaojuying@yahoo.com.cn

土壤种子库是指存在于土壤上层凋落物和土壤中的全部存活种子^[1],是土壤中种子积聚和持续的结果^[2]。土壤种子库是植被动态过程中的重要组成部分,是植被生态系统抵抗干扰和干扰后恢复的重要基础^[3]。土壤种子库可简单分为 2 大类:瞬时土壤种子库和持久土壤种子库,持久土壤种子库是指在土壤中存活 1 年以上的种子^[4],对于保存和恢复植被物种与群落的多样性具有重要的作用^[5-10]。研究表明:相当数量的草原物种存在于持久土壤种子库中,持久土壤种子库中的种子萌发是石灰质草原植被更新的重要动力;草原演替到灌木或林地阶段时,许多草原物种仍保留在持久土壤种子库中,成为早期演替阶段植被的潜在群落,当地上植被遇到干扰后就萌发呈现出早期演替阶段的植被类型^[11];退化草地群落恢复也依赖于原始群落残留的持久土壤种子库的活性^[5]。因此,研究是否存在具有活性的持久土壤种子库,对于评价植被恢复潜力具有重要作用^[6]。

在退耕地恢复方面,以往的研究表明,农业耕作使重要的多年生物物种种子损失殆尽,而多年生物物种的匮乏正是退耕地恢复的关键限制性因子^[7,12]。在水土流失严重、植被亟待恢复且退耕还林(草)大规模实施的黄土高原地区,有关退耕地土壤种子库特征及其对植被恢复影响的研究还比较薄弱。白文娟等^[13-14]对陕北安塞退耕地 4 月份的土壤种子库(包含持久土壤种子库与短暂土壤种子库的总和)特征与地上植被的关系进行了分析,得出土壤种子库在植被恢复中的潜力较小,土壤种子库中以演替初期的猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)为优势物

种,而演替后期物种,如白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)和长芒草(*Stipa bungeana*)等种子库密度相对较小,即当地生态系统的关键种和建群种的土壤种子库密度不大。笔者将在此研究的基础上,分析持久土壤种子库特征及其与地上植被的关系,以探讨持久土壤种子库在植被恢复中的作用,以期为黄土高原沟壑区退耕地的植被恢复提供一定的参考依据。

1 研究区概况

研究区位于黄土丘陵沟壑区的典型区安塞县(E 108°51'44" ~ 109°26'18", N 36°30'45" ~ 37°19'31")。受基础地形和现代侵蚀的影响,境内地形破碎,沟壑纵横,水土流失严重。气候属于暖温带半干旱气候,年均降雨量 505.3 mm,降雨年内分布不均,7—9 月降雨量占年降雨量的 61.1%。本区处于森林与典型草原间的过渡地带,植被人为破坏严重,生长稀疏。在中低山地局部还保存有极度残败的天然次生林,且大部分植被已旱化,植被类型已草原化^[15]。分布广泛的物种有猪毛蒿、铁杆蒿、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、达乌里胡枝子、长芒草、白羊草等。

2 材料与方法

2.1 样地情况

样地选在安塞县真武洞镇西沟流域的墩滩山,通过对当地人的走访,确定样地的退耕年限,根据不同退耕年限选择 10 个样地进行调查研究,样地基本情况如表 1 所示。

表 1 样地基本情况

Tab. 1 Basic characteristics of the research plots

坡向	样地号	群落优势种	退耕年限/a	坡度/(°)
阳坡	1	猪毛蒿	3~4	22
	2	猪毛蒿	6~7	26
	3	达乌里胡枝子	17~18	35
	4	达乌里胡枝子、长芒草	25~26	30
	5	白羊草	30~31	30
阴坡	6	猪毛蒿	3~4	15
	7	铁杆蒿、猪毛蒿	6~7	20
	8	铁杆蒿、达乌里胡枝子	17~18	12
	9	达乌里胡枝子、百里香(<i>Thymus mongolicus</i>)、长芒草	25~26	12
	10	铁杆蒿	30~31	33

2.2 取样方法

S.J. Warr 等^[16]认为,在多年生植物和夏季 1 年生植物占优势的群落中,判定持久土壤种子库的土

样应该在夏天采集,即在萌发完成之后种子成熟和散布开始之前。在黄土丘陵沟壑区,退耕初期是以猪毛蒿为优势的夏季 1 年生植物群落,其成熟期在

秋季,退耕时间长的为多年生物种的群落,且研究表明,不同退耕年限的土壤种子库均以猪毛蒿为优势种^[14];所以,土壤种子库取样分别在2005与2006年的8月初各进行1次。由于研究区地形支离破碎,坡耕地面积一般很小,故在每个试验地沿水流方向平行设置2条10 m长的样线,样线间隔5 m,在样线上每隔5 m利用10 cm × 10 cm的取样器,分0~5 cm和5~10 cm 2层采集土样,每个样地6个重复。将土样带回实验室进行萌发试验。在土壤种子库采样的样地内随机设6个1 m × 1 m的样方进行地上植被的调查,详细记录其种类组成、数量和盖度。

2.3 鉴定方法

持久土壤种子库中的种子数量与组成采用萌发法进行鉴定。将风干土样去除枯枝落叶后轻轻碾碎,平铺于置有细河沙(已灭活)的盘中,厚度不超过1 cm。同时在试验室放置3个只装有灭活河沙的培养盘作为对照。定期洒水保证土壤湿度在15%左右,利用土壤干湿交替促进种子萌发;通过空调调节保证温度在15~30℃之间波动。试验从2006年9月21日持续到2007年5月27日(2005年的土样风干后在室内干燥条件下存放了1 a),持续8个月的时间,以保证土壤中的种子充分地萌发。当有种子萌发时开始记录幼苗数量,并做出标记,待幼苗长到能够鉴别时拔除,对难鉴定的移栽,待开花后鉴定。定期翻土,促进种子萌发,当连续2周没有种子萌发时,喷洒赤霉素打破休眠,尽量让土壤中的种子得以完全的萌发,直至最后连续4周土样中不再有种子萌发后结束试验。

2.4 数据处理

2.4.1 原始数据处理 分别将2005和2006年的土壤种子库与植被数据进行综合平均。

2.4.2 物种相似性系数 采用Serensen相似性系数来分析种子库物种的相似性系数,计算公式为

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

式中: S 为Serensen相似性系数; a 为某一样地内植被或种子库物种数; b 为另一样地内植被或种子库物种数; c 为2样地共有物种数。

2.4.3 植被优势度 植被优势度 = 相对密度 + 相对盖度。

2.4.4 存在度 存在度指植物种在空间上分隔的不同群落片段内的样方中出现分布的比例,存在度等级划分: $< 10\% \sim 20\%$, $20.1\% \sim 40\%$, $40.1\% \sim 60\%$, $60.1\% \sim 80\%$, $80.1\% \sim$

100% ^[17]。

2.4.5 确限度 指某一植物种局限于某一类型植物群落中的程度。Braun-Blanquet将确限度区分为5个等级。5为确限种,4为偏宜种,3为适宜种,2为随遇种,1为偶遇种,确限度5~3级是群落的特征种,2级是伴生种,1级是偶生种。确限度的确定采用宋永昌^[17]所著《植被生态学》一书中的方法。

3 结果与分析

3.1 持久土壤种子库物种组成与密度特征

根据野外植被物候的调查结果,土壤种子库中可以确定已经存在1 a以上时间的种子数量在阴坡退耕3~25 a的样地中均在90%以上,只是阴、阳坡退耕30 a左右的样地种子库中分别有80%和66%的种子存在1 a以上时间,这可以说明本研究中种子库类型基本上属于持久土壤种子库。

经萌发试验共统计到15个科36个物种。其中,禾本科(*Gramineae*)物种最多,为9种,其次为菊科(*Compositae*)8种,豆科(*Leguminosae*)4种,紫草科(*Boraginaceae*)、蔷薇科(*Rosaceae*)、藜科(*Chenopodiaceae*)均为2种,唇形科(*Labiatae*)、十字花科(*Cruciferae*)、牻牛儿苗科(*Geraniaceae*)、报春花科(*Primulaceae*)、大戟科(*Euphorbiaceae*)、败酱科(*Valerianaceae*)、罂粟科(*Umbelliferae*)、伞形科(*Umbelliferae*)、亚麻科(*Linaceae*)各为1种。菊科物种在种子库中所占比例最大,而又以猪毛蒿最为突出,在各个样地中密度均超过1 000粒/ m^2 ,最高达到8 967粒/ m^2 ,其余物种种子库密度均未超过1 000粒/ m^2 。当地主要物种铁杆蒿的种子库密度分布在0~800粒/ m^2 ,在阴坡、阳坡最高密度均出现在退耕17~18 a的样地中;达乌里胡枝子的种子库密度分布在0~434粒/ m^2 ,在阳坡退耕17~18 a的样地中密度最高;白羊草的种子库密度为0~875粒/ m^2 ,最高密度出现在阴坡退耕30~31 a的样地中,而该物种主要生长在阳坡,这可能与种子的传播有关。

持久土壤种子库中,1年生物种在各个时期均占有相当大的比例,为80%左右,与蒋德明等^[18]在科尔沁草甸放牧割草条件下土壤种子库研究和曾彦军等^[19]对阿拉善干旱荒漠区不同植被类型土壤种子库研究结果类似。随着退耕演替的进行,1年生物种在持久土壤种子库中的比例有下降的趋势,而多年生物种在持久土壤种子库中的比例却随退耕年限的增加而逐渐增加,在退耕30 a后达到20%左右。另外,退耕17 a左右的样地,半灌木物种在阳坡和阴

坡均具有较高的比例,分别为 7.9%和 19.1%,与当时地上植被群落类型有关,因为这一时期阳坡为达

乌里胡枝子群落,阴坡为铁杆蒿、达乌里胡枝子群落(图 1)。

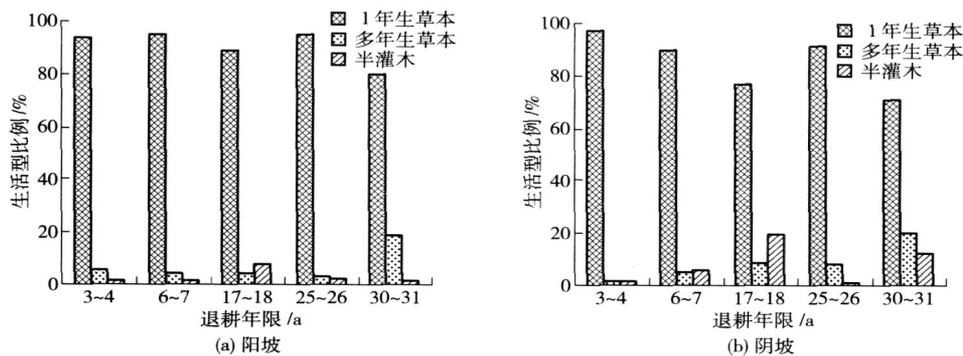


图 1 阳坡和阴坡不同样地持久土壤种子库中物种生活型的比例

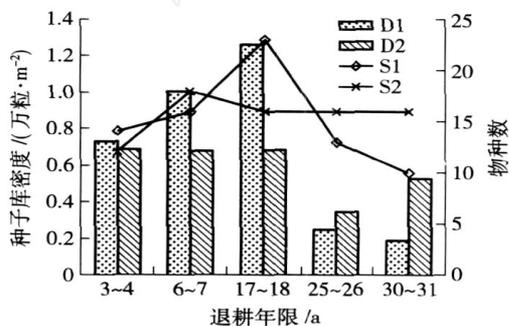
Fig. 1 Ratio of life form of species of persistent soil seed bank on different plot

持久土壤种子库的物种数量随着退耕地植被的恢复演替而发生着变化,阳坡变化规律明显。随着退耕时间的延续,土壤种子库中物种数量先增大后降低,阴坡同样是随着退耕时间的延续,物种数量先增大后有所降低,但变化不明显,而阴坡持久土壤种子库的物种数普遍大于阳坡的(图 2)。

化规律,得出:物种数量的变化是呈波动性的,其基本规律是少—多—少的过程,而种子呈少—多—少的过程。与 K. Falinska^[20]通过对未经干扰的退耕地长达 20 a 的观测结果相似。

3.2 持久土壤种子库与地上植被的物种相似性

退耕地持久土壤种子库与地上植被物种相似性见图 3。可以看出,持久土壤种子库与地上植被物种相似性不高,Serensen 相似性系数在 0.21~0.42 之间。随着演替的进行,地上植被与土壤种子库的相似性先增加后降低,其中:阳坡 6~7 a 退耕地物种相似性最高,为 0.42,30~31 a 降到最低 0.21;阴坡变化趋势明显,由退耕初期的 0.24 升高到退耕 17~18 a 的 0.40,退耕 30 a 后又降低到 0.25。



D1 为阳坡种子库密度; D2 为阴坡种子库密度; S1 为阳坡物种数; S2 为阴坡物种数。

图 2 不同退耕年限持久土壤种子库物种数与密度变化特征

Fig. 2 Variation of species richness and density of persistent soil seed bank on the different abandoned farmland

阳坡土壤种子库密度在 1 908~12 617 粒/ m^2 之间,平均为 6 878 粒/ m^2 ,阴坡土壤种子库密度在 3 461~6 850 粒/ m^2 之间,平均为 5 844 粒/ m^2 ,为阳坡的 85%。在垂直分布上,平均 80%左右的种子分布在 0~5 cm 土层中。持久土壤种子库密度变化趋势阳坡表现为先增大后降低,与物种数变化趋势一致;阴坡土壤种子库密度随退耕年限变化趋势较小,只有退耕 25 a 的样地种子库密度显著低于其他样地(图 2)。

综合分析持久土壤种子库随退耕年限增加的变

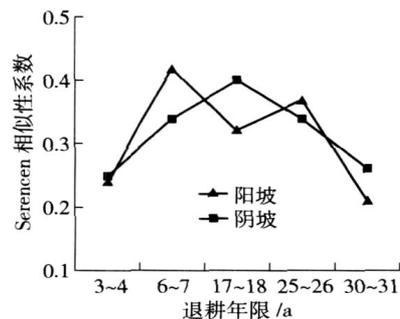


图 3 退耕地持久土壤种子库与地上植被的物种相似性

Fig. 3 Species similarities of persistent seed banks and above-ground vegetation on abandoned farmland

3.3 持久土壤种子库与地上植被物种的对应关系

不同物种在持久土壤种子库中的种子相对密度及在地上植被中的物种优势度的对应分析,得出持久种子库组成的倾向,即 1 年生物种持久土壤种子库相对密度大于多年生物种,符合一般规律^[21],多年生物种地上植被优势度很高,但持久土壤种子库

相对密度较低,而这些多年生物种大多具有营养繁殖能力,说明营养繁殖在植被群落形成过程中起着重要作用。Zhang X. 等^[22]对内蒙古克氏针茅草原的研究也表明,地上植被物种数大于种子库物种数,植被的无性繁殖在群落建成方面具有很大作用,提出保留一定数量的母株对植被恢复具有重要意义。

通过地上植被的存在度和盖度,统计出每个物种在研究区域退耕 3 ~ 30 a 不同演替阶段群落中的确限度,共统计到地上植被 84 种,隶属于 33 个科。其中:确限度为 1 的偶遇种为 46 种,占总数的 54.7%;确限度为 2 的伴生物种 11 种,占总数的 13.1%;确限度为 3 的适宜种 7 种,占总数的 8.3%;确限度为 4 的偏宜种 11 种,占总数的 13.1%;确限度为 5 的确限种 9 种,占总数的 10.7%。

将确限度为 3 的适宜物种及演替后期建群种白羊草在地上植被中的优势度与其在持久土壤种子库中的相对密度进行对比分析(表 2)。可以看出,猪毛蒿的种子相对密度在各个时期均较高,即使演替后期,在地上植被中的优势度由早期的 60%降低到后期的 0~5%左右,但在持久土壤种子库中的相对

密度仍然保持在 50%左右;1 年生物种香青兰(*Dracocephalum moldavica*)在地上植被和土壤种子库中几乎没有对应关系,在早期地上植被中有相当大的优势度,阳坡为 10.2%,阴坡达 29.0%,但在阳坡持久土壤种子库中的相对密度仅为 0.2%,而阴坡土壤中没有检测到种子;多年生物种山苦蕒(*Ixeris chinensis*)随着退耕演替的进行,在地上植被中的优势度逐渐降低,在土壤种子库中的比例也有降低的趋势;铁杆蒿演替初期在地上植被中的优势度很低,在土壤种子库中也基本没有,而随着演替的进行,在地上植被中的优势度可超过 50%,在土壤种子库中的相对密度为 10%左右;达乌里胡枝子与长芒草在地上植被与地下种子库中的对应关系较弱,其地上优势度超过 30%,而在土壤种子库中的相对密度却不及 1%;白羊草植被出现在阳坡,但在阴坡却具有相对较高的土壤种子库密度;阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)随着演替的进行,在地上植被中的优势度表现出降低趋势,而在土壤种子库中的密度变化不大。

表 2 主要物种在持久土壤种子库中的相对密度与在地上植被中的优势度

Tab. 2 Relative density in persistent soil seed bank and dominance in above-ground vegetation of main species

物 种	阳 坡					阴 坡					
	3~4 a	6~7 a	17~18 a	25~26 a	30~31 a	3~4 a	6~7 a	17~18 a	25~26 a	30~31 a	
猪毛蒿	D	86.30	87.00	47.37	84.09	65.16	87.06	83.85	68.70	86.26	50.20
	V	51.68	61.73	5.88	7.60	—	66.21	29.08	15.62	11.01	4.46
香青兰	D	0.15	0.11	1.02	—	1.39	—	—	1.39	0.38	—
	V	10.15	10.13	4.54	—	—	28.96	16.87	3.58	2.77	5.42
山苦蕒	D	0.45	1.13	0.62	0.29	0.61	0.57	0.35	0.37	—	0.13
	V	4.15	2.77	0.84	1.41	—	2.36	1.56	0.61	0.70	0.06
铁杆蒿	D	—	0.06	3.03	1.57	1.39	—	2.03	9.69	0.65	10.24
	V	—	16.06	2.93	7.77	16.48	0.41	26.41	54.41	7.21	47.26
达乌里胡枝子	D	—	—	4.04	0.29	0.3	—	0.5	1.09	0.33	—
	V	1.02	15.91	30.34	57.23	38.2	30.87	35.16	35.67	26.80	0.59
长芒草	D	—	—	2.33	—	1.39	—	0.27	0.56	0.98	0.58
	V	0.32	—	57.35	33.83	6.06	21.00	19.85	20.89	15.68	18.44
白羊草	D	—	1.28	0.08	1.81	0.61	0.72	2.14	5.19	0.52	16.27
	V	—	—	3.54	54.23	80.19	—	—	—	—	—
阿尔泰狗娃花	D	—	0.27	0.75	—	—	0.14	1.55	0.55	0.89	0.84
	V	13.61	16.98	20.26	12.75	8.23	38.46	39.49	18.67	10.81	1.06

注: D 为种子库中密度比例,%; V 为地上植被优势度, %。

3.4 持久土壤种子库与地上植被的物种存在状况

持久土壤种子库与地上植被的关系分为 4 种情形: 1) 有土壤种子库, 有植株, 所有的环境因子适于物种的建成 (SP 型); 2) 有土壤种子库, 没有植株, 环境不适于物种的建成 (S 型); 3) 有植株, 但土壤中没种子库 (P 型); 4) 没有植株, 也没有种子库, 可能由于缺乏散布, 或是环境因子不适宜建成 (N 型)^[23]。将所有样地中统计到的地上植被物种与所有在萌发试验中得到的土壤种子库中物种作为整

体, 分析各演替阶段持久土壤种子库与地上植被的物种存在关系, 并按上述分类方法进行归类, 结果见表 3。在退耕演替的各个阶段, 既无地上植被又无土壤种子库的物种数始终占有最高的比例, 而且只具有地上植被的物种数量一直高于同时具有种子库和植被的物种数。这反映了物种存在的现状, 也可能是由于部分物种的种子不能形成持久种子库或萌发试验的条件不合适, 没有萌发。

表 3 持久土壤种子库与地上植被的物种存在状况比例关系

Tab. 3 Relationship between the persistent soil seed bank and species presence proportion of above-ground vegetation

物种 类型	阳坡样地/ %						阴坡样地/ %					
	3~4 a	6~7 a	17~18 a	25~26 a	30~31 a	平均	3~4 a	6~7 a	17~18 a	25~26 a	30~31 a	平均
SP	6.5	6.5	11.8	6.5	5.4	7.3	6.5	8.6	10.8	12.9	8.6	9.5
S	8.6	8.6	12.9	3.2	8.6	8.4	6.5	8.6	6.5	4.3	8.6	6.9
P	21.5	18.3	15.1	15.1	16.1	17.2	24.7	28.0	20.4	21.5	35.5	26.0
N	78.5	81.7	84.9	84.9	83.9	82.8	75.0	72.0	79.6	78.5	64.5	74.0

4 结论与讨论

1) 萌发试验共统计到 15 个科 36 个物种, 主要物种为禾本科、菊科和豆科物种, 其中菊科物种在土壤种子库中所占比例最大, 而又以猪毛蒿最为突出, 在各个样地中土壤种子密度均超过 1 000 粒/m², 最高达到 8 967 粒/m²。不同样地持久土壤种子库密度在 1 908 ~ 12 617 粒/m² 之间, 1 年生物种占有相当大的比例, 但随着退耕演替的进行, 1 年生物种的比例有下降的趋势, 而多年生物种的比例是逐渐增加的。持久土壤种子库的物种数量随退耕年限的变化是呈波动性的, 其基本规律是少—多—少的过程, 种子密度也呈现少—多—少的过程。

2) 退耕地演替过程中地上植被与种子库的相似性表现为随着退耕年限的增加先增加后降低的趋势, 但相似性不高, Serensen 相似性系数在 0.21 ~ 0.42 之间。

3) 在 30 年的退耕地恢复中, 演替中后期样地中多年生物种在地上植被中的优势度很高, 而在土壤种子库中却是 1 年生生物种占有较高的比例, 而这些多年生物种大多具有营养繁殖能力, 说明营养繁殖在植被群落形成过程中起着重要作用。

4) 研究区的适宜物种均具有持久土壤种子库, 而且先锋物种猪毛蒿具有相当大的持久土壤种子库密度, 能够在受到干扰后迅速恢复。该区的主要地带性物种达乌里胡枝子、长芒草、铁杆蒿、阿尔泰狗

娃花也具有一定持久土壤种子库, 可以为这些物种入侵和定植提供种源。退耕 30 a 阳坡形成白羊草群落, 虽然在对应样地检测到的土壤种子库比例不高, 但在阴坡却有较大的密度, 说明其具有一定的传播能力, 有利于其扩散和选择适宜的生境形成群落。所以, 认为该区的持久土壤种子库对草地群落恢复具有一定潜力。

研究中野外样地内存在其他草本物种以及少量的灌木和乔木物种, 但是在种子库萌发试验中没有发现萌发的种子, 可能与试验条件有关, 这些物种是否具有持久土壤种子库仍需进一步深入研究。此外, 虽然可以看到很多物种具有土壤种子库, 但是怎样使这些潜在的群落变成现实的地表植被还需要深入研究这些物种在野外萌发、定植的限制因子。

野外调查承蒙中国科学院安塞水土保持生态试验站的大力支持, 在此表示诚挚的谢意。

5 参考文献

- [1] Simpson R L. Ecology of Soil Seed Bank. San Diego: Academic Press, 1989: 149-209
- [2] Thibaud D, Lucero M, Nixon B, et al. Seed dispersion by surface casting activities of earthworms in Colombian grasslands. Acta Oecologica, 2003, 24: 175-185
- [3] Pugnaire F I, Lazaro R. Seed bank and under storey species composition in a semi-arid environment: the effect of shrub age and rainfall. Annals of Botany, 2000, 86: 807-813

- [4] 闫巧玲, 刘志民, 李荣平. 持久土壤种子库研究综述. 生态学杂志, 2005, 24(8): 948-952
- [5] Bakker J P, Poschod P, Strykstra R J, et al. Seed bank and seed dispersal: Important topics in restoration ecology. Acta Botanica Neerlandica, 1996, 45: 461-490
- [6] Bekker R M, Verweij G L, Smith R E N, et al. Soil seed bank in European grasslands: Does land use affect regeneration perspectives? Journal of Applied Ecology, 1997, 34: 1293-1310
- [7] Pywell R F, Bullock J M, Hopkins A, et al. Restoration of species-rich grassland on arable land: assessing the limiting processes using a multi-site experiment. Journal of Applied Ecology, 2002, 39: 294-309
- [8] Alexander H M, Schrag A M. Role of soil seed banks and newly dispersed seeds in population dynamics of the annual sunflower, *Helianthus annuus*. Journal of Ecology, 2003, 91: 987-998
- [9] Timothy J K. The roles of seed mass and persistent seed banks in gap colonisation in grassland Plant. Ecology, 2007, 193: 233-239
- [10] Pakeman R J, Small J L. The role of the seed bank, seed rain and timing of disturbance in gap regeneration. J Veg Sci, 2005, 16: 121-130
- [11] Davies A, Waite S. The persistence of calcareous grassland species in the soil seed bank under developing and established scrub. Plant Ecology, 1998, 136: 27-39
- [12] Walker K J, Stevens P A, Stevens D P, et al. The restoration and re-creation of species-rich lowland grassland on land formerly managed for intensive agriculture in the UK. Biological Conservation, 2004, 119: 1-18
- [13] 白文娟, 焦菊英, 张振国. 黄土丘陵沟壑区退耕地土壤种子库与地上植被的关系. 草业学报, 2007, 16(6): 30-38
- [14] 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. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 65-72
- [15] 李代琼, 姜峻, 梁一民, 等. 安塞黄土丘陵区人工草地水分有效利用研究. 水土保持研究, 1996, 3(2): 66-74
- [16] Warr S J, Kent M, Thompson J P. Seed bank composition and variability in five woodlands in south-west England. J Biogeogr, 1994, 21: 152-168
- [17] 宋永昌. 植被生态学. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 327-328
- [18] 蒋德明, 李荣平, 刘志民, 等. 科尔沁草甸草地放牧和割草条件下土壤种子库研究. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1860-1864
- [19] 曾彦军, 王彦荣, 南志标, 等. 阿拉善干旱荒漠区不同植被类型土壤种子库研究. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1457-1463
- [20] Falinska K. Seed bank dynamics in abandoned meadows during a 20-year period in the Bialowieza National Park. Journal of Ecology, 1999, 87: 461-475
- [21] Mary T, Kalin A, Lohengrin A, et al. Persistent soil seed bank and standing vegetation at a high alpine site in the central Chilean Andes. Oecologia, 1999, 119: 126-132
- [22] Zhang X, Li L, Cheng W. Restoration of *Stipa krylovii*-steppes in Inner Mongolia of China: Assessment of seed banks and vegetation composition. Journal of Arid Environments, 2007, 68: 298-307
- [23] 张玲, 李广贺, 张旭. 土壤种子库研究综述. 生态学杂志, 2004, 23(2): 114-120

(责任编辑: 宋如华)