

黄土丘陵区撂荒地不同侵蚀带土壤种子库特征

陈宇¹, 焦菊英^{1,2}, 王宁², 贾燕锋²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 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,研究了黄土丘陵区撂荒地不同侵蚀带土壤种子库的密度、物种组成、物种多样性以及相似性特征。结果表明:各侵蚀带土壤种子库中共发现 26 个物种,隶属于 13 科 24 属,不同侵蚀带物种组成有所差异,菊科与禾本科为主要组成物种;0—10 cm 土层内土壤种子库密度随着侵蚀带的变化而变化,有明显的先减少再增大而后再急剧减少的趋势;不同侵蚀带土壤种子库物种多样性指数、丰富度指数、均匀度指数和生态优势度存在着差异,但未达到显著相关水平;土壤种子库组成物种相似性系数变化范围为 0.40~0.82,相邻侵蚀带之间的土壤种子库物种相似性较高,随着侵蚀带之间距离的增加,其相似性逐渐变小。这说明不同侵蚀带土壤种子库因受坡面径流引起的土壤侵蚀使种子流失、二次迁移和沉积以及植被的拦截而产生再分布。

关键词:土壤种子库; 土壤侵蚀; 种子分布; 黄土丘陵区

中图分类号:S157; Q948.12

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0001-05

Characteristics of Soil Seed Banks under Different Erosion Zones on Abandoned Land in the Hilly-gullied Loess Plateau

CHEN Yu¹, JIAO Ju-ying^{1,2}, WANG Ning², JIA Yan-feng²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling,

Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS&MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Field survey and laboratory experiment were conducted to study the characteristics of the soil seed bank in terms of species density, composition, diversity and similarity over different erosion zones on abandoned land in the hilly-gullied Loess Plateau region. In this study, 26 species belonging to 13 families and 24 genera germinated in different erosion zones. Compositae and Gramineae are the main species in different erosion zones which have different species composition. In 0—10 cm soil layer, the density of soil seed bank changes with erosion zones, it reduces first, then increases and finally sharply decreases. Diversity index, richness index, evenness index and ecological dominance of the soil seed bank are different among different erosion zones, but there is no significant correlation. The species similarity index of soil seed bank composition ranged from 0.40 to 0.82. The similarity index reduced with the increase of the distance between erosion zones. It indicated that soil seed bank in different erosion zones was redistributed by slope runoff and sediment transportation. This process includes seed removal and deposition with flow on the slope.

Key words: soil seed bank; soil erosion; seed distribution; hilly-gullied Loess Plateau

土壤种子库是指存在于表层土壤和凋落物中全部具有活力种子的总和^[1],它是植被更新和演替的重要制约因素,是生态系统抵抗干扰和干扰后自然恢复的重要物质基础^[2],对植物种群和群落的恢复与保护具有重要的作用^[3]。土壤种子库中的种子能够通过自然更新影响地上植物群落结构与组成及物种多样

性的维持^[4],它的存在为植物群落的恢复、演替提供了繁殖体,在很大程度上决定了植被恢复、演替的进度和方向,是种群定居、生存、繁衍和扩散的基础。研究表明土壤种子库受降雨、地表状况、坡位坡长等不同侵蚀环境条件的影响,是植物响应土地利用和气候变化的重要指示者^[5]。在土壤侵蚀环境中,由于土壤

收稿日期:2011-08-15

修回日期:2011-10-03

资助项目:国家自然科学基金重点项目(41030532);中国科学院重要方向项目(KZCX2-EW-406)

作者简介:陈宇(1987—),男,河南沈丘人,硕士,主要从事土壤侵蚀与种子生态研究。E-mail:chenyu_nw@163.com

通信作者:焦菊英(1965—),女,陕西宝鸡人,研究员,博士生导师,研究方向为植被恢复与水土保持环境评价。E-mail:jyjiao@ms.iswc.ac.cn

易产生结皮、植被稀疏、降雨强度大而非常容易发生坡面径流进而产生土壤侵蚀。在侵蚀过程中,坡面径流和泥沙运移将携带散落在土壤表面的种子甚至表层土壤中的种子^[6]。被搬运的种子遇到淤积地形或受到植被的拦截而随径流泥沙发生沉积,从而改变种子的初始存贮形式引起土壤种子库的再分布,造成坡面不同部位的土壤种子库的变化^[7]。因此,对不同侵蚀环境条件下土壤种子库变化的认识,有助于了解群落的演替趋势,对生态系统脆弱地区的植被恢复与重建具有现实指导意义。在土壤侵蚀非常严重、生态系统极其脆弱的黄土丘陵沟壑区,对土壤种子库的研究主要包括土壤种子库的物种组成、时空分布状况^[8]、种子库物种多样性以及与地上植被的相似性^[9]、种子库的动态和干扰对土壤种子库的影响以及土壤种子库在植被恢复过程中的作用等方面,而有关土壤侵蚀对土壤种子库影响的研究未见报道。本文在已有研究的基础上,以不同侵蚀带为切入口,对黄土丘陵沟壑区撂荒地不同侵蚀带内土壤种子库进行对比分析,研究其变化特点,探讨土壤侵蚀对土壤种子库的影响,进而为黄土丘陵区植被建设提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于中国科学院陕西省安塞水土保持试验站纸坊沟流域(105°51′44″—109°26′18″E, 36°22′40″—36°32′16″N),属黄土丘陵沟壑区第Ⅱ副区,流域面积 8.39 km²,海拔 1 010~1 431 m,在气候区划

上属暖温带半干旱气候,森林草原带,年均气温为 8.8℃,多年平均降雨量 541.2 mm,降水分布不均,年内主要集中降水在 7—9 月,占年降雨量的 61%,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,分布广泛的物种有猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 取样方法 土壤种子库的取样在种子萌发前的早春(2007 年 4 月初)进行,在研究区域内选择两个侵蚀程度、植被覆盖相似的阳坡撂荒地坡面和沟谷,为了比较不同侵蚀带土壤种子库特征,从分水岭到沟谷根据植被盖度和侵蚀类型划分为 5 个侵蚀带^[10],依次为溅蚀片蚀侵蚀带(EZ1)、细沟片蚀侵蚀带(EZ2)、浅沟侵蚀带(EZ3)、沟缘线缓坡淤积带(EZ4)和沟底下切侵蚀带(EZ5),各样带位置及具体特征见表 1。根据不同的侵蚀带用样线法进行采样,采用内径 4.8 cm 的圆形取样器,分别对每个样带内土壤进行分层取样(0—2 cm, 2—5 cm, 5—10 cm),每个样带内各土层分别取 24 个土样,保证其代表性。2 个坡面共采集 30 个样品共 720 个土样,将所取每个样带内同一土层的土样混合,带回实验室后进行萌发试验。

表 1 各侵蚀带基本状况

侵蚀带	位置	坡度/(°)	植被类型	植被盖度/%	主要侵蚀类型	侵蚀程度
溅蚀、片蚀侵蚀带(EZ1)	梁峁坡顶	15	阿尔泰狗娃花(<i>Heteropappus altaicus</i>)、长芒草	19.5	溅蚀、片蚀	微度
细沟、片蚀侵蚀带(EZ2)	梁峁坡上段	25	猪毛蒿、达乌里胡枝子	11.0	片蚀、细沟	轻度
浅沟侵蚀带(EZ3)	梁峁坡中段	25	猪毛蒿、达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花	12.7	浅沟侵蚀	中度
沟缘线缓坡淤积带(EZ4)	梁峁坡下段及沟缘线	10	阿尔泰狗娃花、芨蒿	25.5	淤积	轻度
沟底下切侵蚀带(EZ5)	沟谷地	35	芨蒿、铁杆蒿	36.0	下切侵蚀	强烈

1.2.2 土壤种子库鉴定 土壤种子库的数量与组成采用萌发法^[11]进行鉴定。将风干土样平铺于置有灭活河沙的盘中,土层厚度不超过 1 cm,保持适宜湿度、温度,持续 6 个月以上的时间,以保证土壤中的种子充分地萌发,同时摆放 3 个只有灭活河沙的盘作为对照。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,对难以鉴定的进行移栽,待开花后鉴定。定期翻土,促进种子萌发,当连续两周没有种子萌发时,喷洒赤霉素打破休眠,尽量让土壤种子得以完全萌发,直至连续 4 周土样中不再有种子萌发后结束萌发试验。

1.2.3 数据处理 土壤种子库的特征主要从种子库密度、物种组成、多样性以及相似性特征来分析,本文将所选取的两个相似坡面同一侵蚀带内的数据进行平均,然后进一步计算分析不同侵蚀带的土壤种子库特征。

(1)土壤种子库密度。土壤种子库密度用单位面积土壤内所含有的可萌发种子数量来表示。

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

多样性指数即 Shanon-wiener 指数(H')公式:

$$H' = -\sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$

丰富度指数即 Margalef 指数(D_{ma})计算公式:

$$D_{ma} = (S-1)/\ln N$$

均匀度指数即 Pielou 指数(J_{sw})计算公式:

$$J_{sw} = \frac{-\sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)}{\ln S}$$

生态优势度(C)计算公式:

$$C = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$

式中: N ——种子库中所有种的种子总数; S ——种子库中物种总数; P_i ——第 i 种的物种的种子数占种子库总种子数比例; n_i ——第 i 种物种的个体数。

(3)相似性系数计算。采用 Sorensen 相似系数计算不同土壤种子库的物种相似性,具体的计算公式为:

$$S_c = 2w/(a+b)$$

式中: S_c ——相似性系数; w ——2 个样地共有种数; a, b ——2 个样地各自拥有的物种数。

2 结果与分析

2.1 不同侵蚀带土壤种子库密度特征

根据各侵蚀带种子库萌发幼苗数量计算各侵蚀带土壤种子库密度,结果见表 2。各侵蚀带土壤种子库中均以菊科、禾本科物种为主。尤其是菊科的猪毛蒿,除侵蚀带 EZ5 外在其他侵蚀带土壤种子库中所占的比重均达到 80%左右,其土壤种子密度最高达到 6 152 粒/ m^2 。猪毛蒿作为先锋物种,其种子产量高,扩散能力强,并能形成密度较大的种子库。然而,演替后期的主要物种如达乌里胡枝子、长芒草、白羊草和铁杆蒿等在各侵蚀带内密度均相对较小。

0—10 cm 土层内土壤种子库密度有明显的先减少再增大而后再次急剧减少的趋势(图 1)。经过 Pearson 相关性分析得出,土壤种子库密度与不同侵蚀带侵蚀程度的相关性到达显著水平($P < 0.05$),这说明随着侵蚀带侵蚀程度和植被盖度的变化,土壤种子库密度也随之变化。在 EZ1 处由于坡度较小、植被盖度较大且以溅蚀为主,散布在此处种子随径流泥沙迁移的几率较小,保存在表层土壤中的种子更不会受到影响;随着 EZ2、EZ3 坡度增大、植被盖度减少,侵蚀程度增大,径流冲刷不仅会影响分布在土壤表面的种子,而且会冲刷表层土壤,使其内部的种子随之发生迁移、流失;而在 EZ4 缓坡淤积地形处植被盖度变大,随径流泥沙而来的种子随泥沙淤积;而沟谷 EZ5

处由于植被以演替后期多年生物种茺蒿和铁杆蒿为主,再加上坡度较大,侵蚀较强烈,故而土壤种子库密度最低。这种土壤种子库密度随不同侵蚀带的变化趋势证明了土壤表层中的种子在次分布过程受到了坡面泥沙径流和植被类型的影响,种子随水土流失而流失,随泥沙淤积而淤积。另外,除淤积地形侵蚀带 EZ4 外,从侵蚀带 EZ1 到 EZ5,随着侵蚀程度的增加,0—2 cm 土层与 2—5 cm 土层内种子密度差异逐渐减小,这从一定程度上说明种子会随土壤侵蚀流失、迁移和沉积,进而影响着土壤种子库的再分布。尤其是在侵蚀带 EZ5 处,0—2 cm 土层内种子密度与 2—5 cm、5—10 cm 土层种子密度比较接近,这说明 EZ5 处虽然植被盖度较好,但由于经常受到径流的冲刷使表层土壤以及土壤的种子被冲走,进而使该侵蚀带各土层内密度比较接近。

对各侵蚀带土壤种子库垂直分布分析得出,0—2 cm 土层内的土壤种子库密度最高,占总密度的比例分布为 53%~67%;2—5 cm 土层的土壤种子库密度普遍高于 5—10 cm 土层的种子库密度,其分布范围为 20%~33%;5—10 cm 的种子库密度最小,分布范围是 13%~19%。从图 1 中可以看出,0—2 cm 土壤种子库密度的变化趋势与 0—10 cm 的土壤种子库密度变化趋势基本一致,又由于 0—2 cm 土层内土壤种子库密度占 0—10 cm 土壤种子库密度的绝大部分,这说明土壤侵蚀对土壤种子库产生的影响主要作用在表层土壤。

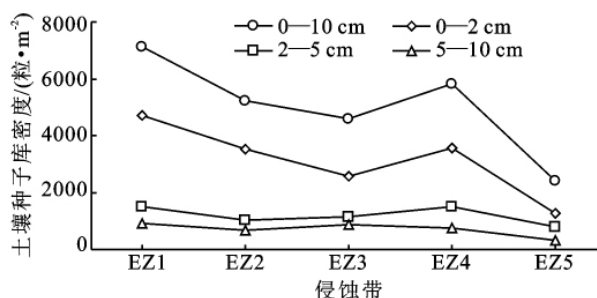


图 1 不同侵蚀带各土层土壤种子库密度变化

2.2 不同侵蚀带土壤种子库物种组成及物种多样性特征

2.2.1 不同侵蚀带土壤种子库物种组成特征 土壤种子库中共萌发了 26 个物种,隶属于 13 个科 24 个属(表 2),其中菊科物种占 30.8%,禾本科物种占 23.1%,豆科物种占 7.7%。按生活型划分,一年生草本植物占 38.6%,多年生草本植物占 46.1%,半灌木占 11.5%,木本植物占 3.9%。不同侵蚀带内各生活型的种子库密度如图 2 所示。由图 2 可以看出,各侵蚀带土壤种子库均以一年生草本植物种子为主,均

占土壤种子库总数的 85% 以上, 最高甚至达到 99.1%。在侵蚀带 EZ3、EZ4 内已经出现了木本植物, 所占比列分别为 0.5% 和 1.8%, 这与该两侵蚀带处地面植被内含有较多木本植物相吻合, 这说明土壤种子库除受土壤侵蚀的影响外, 种子库还受到种子扩散能力的影响。

表 2 各侵蚀带土壤种子库物种组成及密度 粒/m²

科	种	生活型	EZ1	EZ2	EZ3	EZ4	EZ5
菊科 <i>Compositae</i>	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	A	6152	4101	3474	4534	1160
	臭蒿 <i>Artemisia hedinii</i>	A	56	25	144	238	552
	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i>	SS	38	38	—	38	—
	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	P	—	38	—	38	—
	茵陈蒿 <i>Artemisia capillaries</i>	P	—	75	—	—	—
	蒙古蒿 <i>Artemisia mongolica</i>	P	—	—	—	—	25
	芨蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	P	—	—	—	—	94
	抱茎苦苣菜 <i>Ixeris sonchifolia</i>	A/B	—	—	—	—	50
	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	A	589	263	226	125	125
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	A	19	50	558	169	69
禾本科 <i>Gramineae</i>	长芒草 <i>Stipa bungeana</i>	P	—	—	—	50	—
	糜子 <i>Panicum miliaceum</i>	A	—	—	—	25	—
	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	P	—	—	—	—	19
	白羊草 <i>Bothriochloa ischaemun</i>	P	—	—	—	—	94
	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	SS	38	38	19	194	19
豆科 <i>Leguminosae</i>	狭叶米口袋 <i>Gueldenstaedtia stenophylla</i>	P	—	—	—	38	—
龙胆科 <i>Gentianaceae</i>	獐牙菜 <i>Swertia bimaculata</i>	P	—	—	—	—	50
蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	菊叶委陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i>	P	38	—	—	—	—
茄科 <i>Solanaceae</i>	曼陀罗 <i>Datura stramonium</i>	SS	—	—	—	25	—
紫草科 <i>Boraginaceae</i>	多苞斑种草 <i>Bothriospermum secundum</i>	A	—	—	—	—	25
马钱科 <i>Loganiaceae</i>	互生醉鱼草 <i>Buddleja alternifolia</i>	W	—	—	19	113	—
报春花科 <i>Primulaceae</i>	点地梅 <i>Androsace umbellata</i>	A	207	408	—	—	38
唇形科 <i>Labiatae</i>	香青兰 <i>Dracocephalum moldavica</i>	A	—	—	—	19	50
大戟科 <i>Euphorbiaceae</i>	地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	A	—	—	151	226	—
毛茛科 <i>Ranunculaceae</i>	铁线莲 <i>Clematis florida</i>	—	—	—	—	—	19
堇菜科 <i>Violaceae</i>	裂叶堇菜 <i>Viola dissecta</i>	—	—	—	—	—	19
合计			7137	5036	4590	5832	2408

A: 一年生草本; B: 两年生草本; P: 多年生草本; SS: 半灌木; W: 木本植物(包括乔木和灌木)。

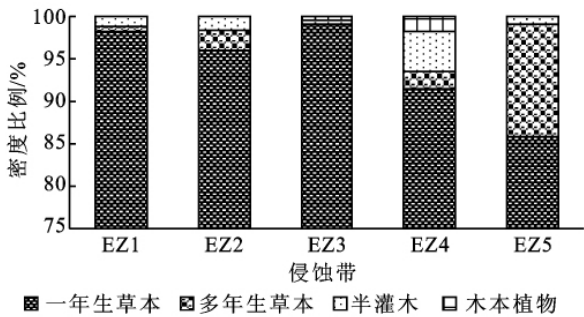


图 2 不同侵蚀带各生活型的种子库密度比例

2.2.2 不同侵蚀带土壤种子库物种多样性特征 物种多样性是群落的重要特征, 为生态系统功能的运行和维持提供种源基础和支撑条件。各侵蚀带土壤种子库多样性变化如表 3 所示, 不同侵蚀带土壤种子库物种多样性指数、丰富度指数、均匀度指数和生态优势度存在着差异, 但未达到显著相关水平。从 EZ1 到 EZ5, 土壤种子库的 Shanon-wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数、Pielow 均匀度指数均随着侵蚀带

的变化而变化, 呈逐渐上升的趋势, 这可能是由不同侵蚀带内土壤种子库物种数以及各物种的密度因侵蚀程度和植被盖度不同造成的; 而物种的生态优势度呈逐渐下降的趋势。尤其是植被较好的沟谷, 生态优势度最低为 0.29, 这与此处土壤种子库中物种种类较多有密切关系。

表 3 各侵蚀带土壤种子库多样性变化

侵蚀带	物种数	多样性指数	丰富多指数	均匀度指数	生态优势度
EZ1	8	0.56	1.20	0.27	0.76
EZ2	9	0.73	1.44	0.33	0.69
EZ3	7	0.85	1.12	0.44	0.61
EZ4	14	1.00	2.31	0.38	0.62
EZ5	16	1.73	3.17	0.63	0.29

2.3 不同侵蚀带土壤种子库相似性特征

从表 4 可以看出, 各侵蚀带两两间的土壤种子库物种组成相似性系数变化范围为 0.40~0.82, 平均值

为 0.54。EZ5 和其他侵蚀带之间的相似性均较低,这可能是由于该处物种种类较多造成的;除 EZ4 与 EZ5 外,相邻侵蚀带之间的土壤种子库相似性较高,随着侵蚀带之间距离的增加,其相似性逐渐变小。这是因为相邻侵蚀带其物理距离较近植被类型变化不大、侵蚀程度相近,且土壤侵蚀过程随径流迁移的种子会随泥沙在较近坡下的合适微地形中淤积而沉积,这进一步说明了土壤侵蚀对种子库再分布的影响。

表 4 不同侵蚀带土壤种子库的相似性分析

侵蚀带	EZ1	EZ2	EZ3	EZ4	EZ5
EZ1	1				
EZ2	0.82	1			
EZ3	0.67	0.63	1		
EZ4	0.55	0.61	0.67	1	
EZ5	0.50	0.48	0.44	0.40	1

3 结 论

(1)研究区土壤种子库中以菊科和禾本科物种为主,各侵蚀带中先锋物种猪毛蒿种子占较大比重,而演替后期物种相对较少。种子主要分布在土壤表层的 0—2 cm 土层内。从侵蚀带 EZ1 到 EZ5,0—10 cm 土层内土壤种子库密度有明显的先减少再增大而后再急剧减少的趋势;表层土壤中的种子再分布过程受到了坡面泥沙径流和植被类型的影响。

(2)各侵蚀带土壤种子库中共萌发了 26 个物种,隶属于 13 科 24 属,其中一年生草本植物>多年生草本植物>半灌木>木本植物。虽然各侵蚀带土壤种子库均以一年生物种为主,但是随着植被类型的改变,种子库中多年生草本物种及灌木物种有所增加,说明除侵蚀过程影响种子分布外,种子自身的扩散能力也对种子库的空间分布产生影响。

(3)不同侵蚀带土壤种子库物种多样性指数、丰富度指数、均匀度指数和生态优势度均存在着差异,一方面是由于不同侵蚀带的侵蚀强度不同造成物种的流失几率不同,另一方面也受到植被类型的影响。另外,土壤种子库物种相似性随着侵蚀带之间距离的增加而逐渐变小,进一步证明了临近侵蚀带内种子库因迁移作用而具有更多的相同物种。

本文以不同侵蚀带为切入点,探讨了研究区撂荒地各侵蚀带土壤种子库的变化特征,分析了出现土壤种子库特征差异的可能原因,从一定程度上解释了土壤侵蚀对土壤种子库再分布的影响。然而,大量的研究发现种子随坡面径流流失和再分布受到种子自身的形态特点^[12](形状、重量和大小及附属物)、坡度坡长、降雨^[6]、地表糙度、植被盖度^[13]等的影响。此外,

淤积地形和植被的拦截作用也影响着土壤种子库的再分布过程。因此,需要开展自然条件下随径流、泥沙流失的种子变化特征的研究,进而阐明土壤侵蚀对种子二次传播的影响。

参考文献:

[1] Baskin J M, Baskin C C. Ecology of soil seed bank[C]// Leck M A, Parker V T, Simpson R L. Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. San Diego:Academic Press,1989.

[2] Pugnaire F I, Lazaro R. Seed bank and under storey species composition in a semi-arid environment: the effect of shrub age and rainfall[J]. Annals of Botany,2000,86: 807-813.

[3] Pakeman R J, Small J L. The role of the seed bank, seed rain and timing of disturbance in gap regeneration [J]. Journal of Vegetable Science,2005,16:121-130.

[4] Thompson K, Band S R, Hodgson J G. Seed size and shape predict persistence in the soil[J]. Functional Ecology,1993,7:236-241.

[5] Hodgson J G, Grime J P. Species Dispersal in Agricultural Habitats[C]// Bunce R G, Howard D C. The role of dispersal mechanisms, regenerative stratgies and seed banks in the vegetation dynamics of the British landscape. London:Belhaven,1990:65-81.

[6] García-Fayos P M, Recatalá R T. Seed population dynamics on badland slopes in southeastern Spain[J]. Journal of Vegetation Science,1995,6(5):691-696.

[7] 沈有信,张彦东. 云南北部泥石流多发干旱河谷区不同干扰对土壤种子库的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(5):623-629.

[8] 王宁,贾燕锋,白文娟,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地土壤种子库特征与季节动态[J]. 草业学报,2009,18(3):43-52.

[9] 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[J]. 草业学报,2007,16(6):30-38.

[10] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径[M]. 北京:中国科学技术出版社,1990.

[11] Thompson K, Bakker J P, Bakker R M. The Soil Seed Banks of North West Europe: Methodology, Density and Longevity [M]. Landon: Cambridge University Press,1997.

[12] Cerdá A, García-Fayos P. The influence of seed size and shape on their removal by water erosion[J]. Catena,2002,48(4):293-301.

[13] Isselin-Nondedeu F, Rey F, Bedecarrats A. Contributions of vegetation cover and cattle hoof prints towards seed runoff control on ski pistes[J]. Ecological Engineering,2006,27(3):193-201.