

黄土丘陵沟壑区不同侵蚀环境下幼苗库 及其与地上植被的关系

苏嫻¹, 焦菊英^{2,3*}, 王巧利¹, 杜华栋², 王志杰², 寇萌⁴

(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;
3. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 幼苗是植物生活史中一个不可缺失的阶段,对自然植被恢复起着非常重要的作用。为了探索黄土丘陵沟壑区不同侵蚀环境下幼苗库特征及其与地上植被的关系,选择不同植被带的3个典型小流域,通过野外样方调查,运用单因素方差分析法对幼苗密度、物种多样性以及幼苗与地上植被的物种相似性进行分析。结果表明,1)调查共记录幼苗75种,分属25科,地上植被105种,分属29科,主要由菊科、禾本科和豆科构成,且以旱生和中旱生的多年生草本为主;2)不同侵蚀环境下幼苗密度和物种多样性指数呈现不同差异。不同植被带上,森林草原带和草原带大于森林带。同一植被带上,森林带幼苗密度是阳坡>阴坡>沟坡,多样性指数是梁/阳坡>沟坡;草原带二者在不同侵蚀环境下均无显著差异;而森林草原带表现为阴坡尤其是阴沟坡幼苗密度较大,物种较为丰富;3)侵蚀环境不同对幼苗与地上植被物种相似性无显著影响,3个流域草本植被的相似性系数均值都在0.5以下,表现出较小的相似性。可见,黄土丘陵沟壑区立地环境条件差,幼苗不易存活和建植。

关键词: 幼苗库; 幼苗密度; 物种多样性; 物种相似性; 地上植被; 黄土丘陵沟壑区

中图分类号: Q945.79 文献标识码: A 文章编号: 1004-5759(2013)05-0154-11

DOI: 10.11686/cyxb20130518

黄土丘陵沟壑区由于受地理位置、气候条件、地形地貌、土壤以及人类活动对植被的破坏等多种因素的影响,使其水土流失严重,植被稀疏,物种多样性衰减,生态环境恶化^[1,2]。植被作为生态系统物质循环与能量交流的枢纽,是防止生态退化的物质基础^[3];同时,植被可以从根本上控制水土流失^[4,5]。因此,植被恢复是退化生态系统恢复的前提和关键。

幼苗库是植被恢复演替的基础。幼苗库(seedling bank)是指一定面积的样地中小于某一高度的所有植物幼苗的总和^[6]。幼苗库是植被群落的一部分,幼苗库中的幼苗通常会通过参与植被群落的自然更新来影响群落中成年植物的分布和丰富度,它甚至影响着地上植被群落的组成、结构、动态变化和物种多样性维持^[7,8]。可见,幼苗库是植被动态的重要制约因素,影响着生态系统的抗干扰能力和恢复能力,对植物物种和群落的恢复与保护具有重要的应用价值。

目前很多学者对幼苗库已经进行了大量研究,并取得了一定的研究成果。主要集中在幼苗更新特性及限制因子^[9,10]、幼苗种群特征与分布格局^[11]、幼苗库与种子库的关系^[6]、幼苗建植^[12,13]以及幼苗与自然植被的关系^[14]等方面。同时,已有研究表明,地上植物种子的产量直接影响着土壤种子库数量动态^[15],从而会对幼苗库数量动态产生一定的影响。在植被盖度较好、侵蚀微弱的区域,地上植被种子的产量比较多^[16],其地下种子库密度也就较高^[17],在适合的条件下幼苗的萌发率增大,幼苗数量增多;反之亦然^[6]。可见,地上植物也间接影响着幼苗库数量动态^[18]。因此,对于一个特定的植物群落而言,研究其幼苗库特征及其与地上植被的关系,不仅可以揭示幼苗对地上植被的贡献潜力,也可以在一定程度上为揭示植被动态规律和人为干扰植被的恢复提供理论依据。

在黄土丘陵沟壑区,由于生存条件恶劣,严重的土壤侵蚀不仅产生地表径流和泥沙输移,而且造成表层养分水分流失,使表层土壤长期处于干燥贫瘠状态^[19],不利于幼苗的萌发和生存,可能导致了幼苗与地上植被物种组

* 收稿日期:2012-10-30;改回日期:2013-02-20

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

作者简介:苏嫻(1986-),女,陕西延安人,在读硕士。E-mail:suyuangood0124@126.com

* 通讯作者。E-mail:jjjiao@ms.iswc.ac.cn

成的差异性。这也许对解释黄土丘陵沟壑区植被盖度低、植被恢复慢具有重要意义。因此,加强黄土丘陵沟壑区不同侵蚀环境下的幼苗库及其与地上植被的关系研究,对该区的生态恢复和重建具有现实指导意义。为此,本研究在陕北黄土丘陵沟壑区自然环境条件下,通过野外调查,对 3 个不同植被带 5 种不同侵蚀环境下自然植被幼苗库物种组成、幼苗密度、物种多样性及其与地上植被的物种相似性进行研究,探讨侵蚀环境对幼苗存活及植被恢复的影响,以期黄土丘陵沟壑区植被恢复演替提供更高层次的土壤侵蚀与生态学解释,对黄土丘陵沟壑区的植被恢复和重建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

处于黄土高原丘陵沟壑区延河流域的陕西省安塞县(E 105°51'44"~109°26'18",N 36°22'40"~36°32'16"),海拔 997~1 731 m。在气候区划分上属暖温带半干旱气候区,年平均降水量 510 mm 左右,其中 7—9 月份的降水量占全年的 60%左右,无霜期 160~180 d,年日照时数 2 352~2 573 h,≥10℃年积温 2 866℃,年均气温 8.9℃^[20]。该区天然森林较少,人工林以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)等为主,灌丛主要有柠条(*Caragana intermedia*)和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等人工灌丛以及黄刺玫(*Rosa xanthina*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)和狼牙刺(*Sophora viciifolia*)等天然灌丛^[21],荒坡上主要为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、大针茅(*Stipa grandis*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza daurica*)等组成的处于不同演替阶段的草本植物群落^[22]。土壤类型主要为黄绵土,土质疏松,抗蚀抗冲性差,水土流失严重^[23]。

本研究选择安塞县楼坪乡的洞子沟流域、谭家营乡的张家河流域和镰刀湾乡的高家沟流域开展调查研究。其中,高家沟流域距张家河流域 31 km,距洞子沟流域 80 km,张家河流域距洞子沟流域 48 km(图 1)。根据邹厚远^[24]对陕北黄土高原植被带的划分依据,将这 3 个流域划为 3 个不同植被带。洞子沟流域属森林带,海拔 1 166~1 490 m,流域面积 20.61 km²,植被类型包括草原植被、灌丛植被和森林植被,且森林植被覆盖较好,平均风速小,风蚀相对轻微,主要是水蚀作用;张家河流域属森林草原带,海拔 1 118~1 505 m,流域面积 10.77 km²,以草原植被为主,并有少许灌丛植被零星分布,夏秋季多暴雨,土壤侵蚀以水蚀最为严重;高家沟流域属草原带,海拔 1 245~1 634 m,流域面积 27.31 km²,草原植被盖度较高,降雨集中且年内冬、春多大风,水—风混合侵蚀最为严重^[25]。

1.2 样地选择与调查

于 2011 年 7 月 17—30 日,在上述 3 个流域进行样地选择和试验调查,主要包括地上植被调查和幼苗库调查。本研究中结合不同生活型物种的高度和物种本身特性,将乔、灌木物种高度小于 40 cm、草本物种高度小于 10 cm 的所有植物作为幼苗,而一些低矮物种,如百里香(*Thymus mongolicus*)、中华卷柏(*Selaginella sinensis*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)等则将高度小于 2 cm 的作为幼苗。

样地选择:本研究中的不同侵蚀环境包括 2 个部分,一是在大尺度上,根据不同植被带划分为森林带、森林草原带、草原带 3 种不同侵蚀环境;二是在小尺度上,结合水力侵蚀类型和微地形划分为阳沟坡、阳梁/崩坡、崩顶、阴梁/崩坡、阴沟坡 5 种不同侵蚀环境(图 2)。在上述每个流域选择 3 个具有代表性的自然恢复梁/崩(共 9 个),以阳沟坡、阳梁/崩坡、崩顶、阴梁/崩坡、阴沟坡 5 种不同的侵蚀环境选择样地(50 m×50 m),共选择样地 35 个,其中:洞子沟流域阳沟坡 1 个、阳梁/崩坡 4 个、崩顶 2 个、阴梁/崩坡 3 个、阴沟坡 1 个,共 11 个;高家沟流域阳沟坡 2 个、阳梁/崩坡 2 个、崩顶 3 个、阴梁/崩坡 2 个、阴沟坡 2 个,共 11 个;张家河流域阳沟坡 3 个、阳梁/崩坡 3 个、崩顶 3 个、阴梁/崩坡 3 个、阴沟坡 1,共 13 个。

地上植被调查:在每个样地设置 3 个 2 m×2 m 的重复样方(共 105 个),进行地上植被调查,记录植被的物种组成、多度、盖度、密度、高度等。

幼苗库调查:每个样地 3 个重复,每个重复下设置 3 个 50 cm×50 cm 的小样方(共 315 个)进行幼苗库调查,详细记录幼苗物种组成、数量、高度、生长状况以及死亡情况等。样地植被盖度特征见表 1。

1.3 数据处理

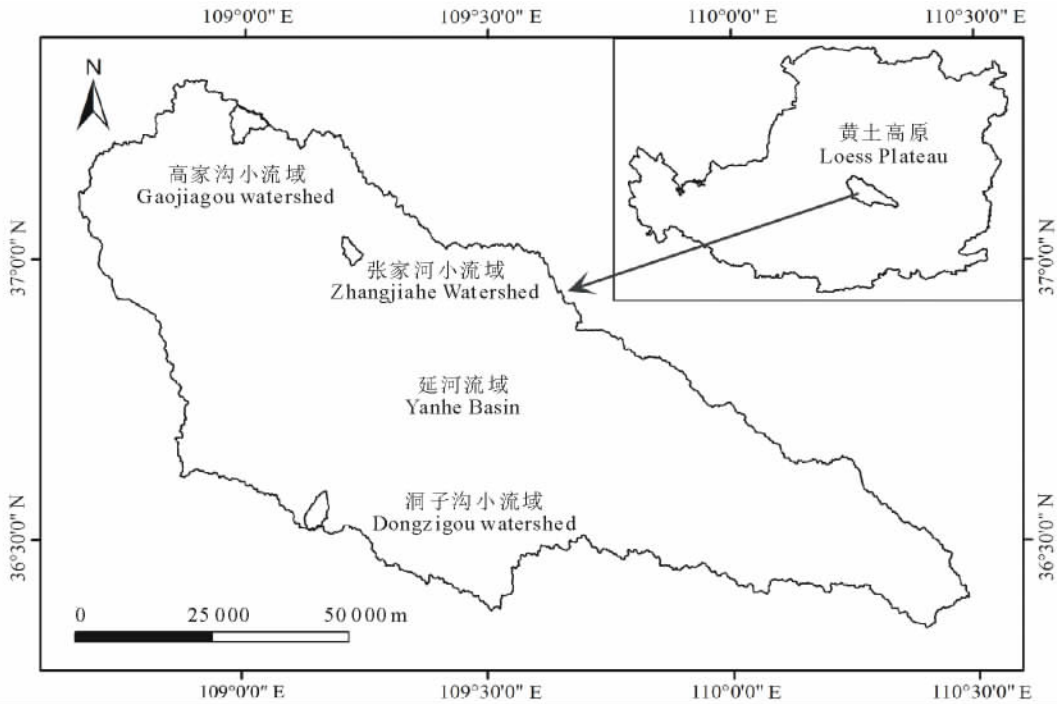


图 1 洞子沟流域、张家河流域和高家沟流域在黄土高原及延河流域的分布

Fig. 1 Location of Dongzigou watershed, Zhangjiahe watershed and Gaojiagou watershed in the Loess Plateau and Yanhe watershed

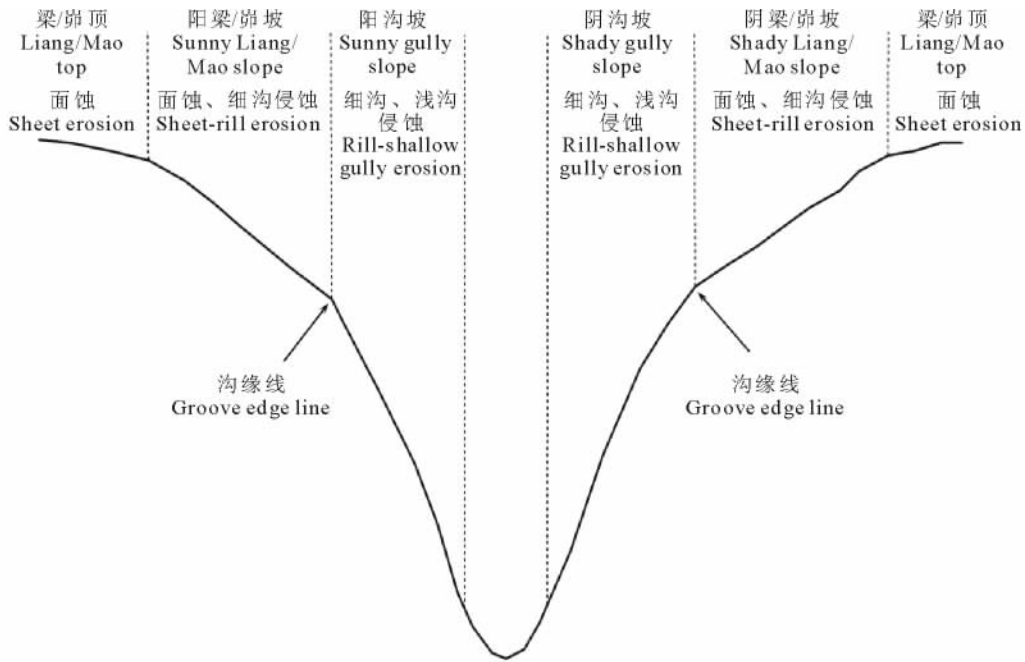


图 2 自然恢复梁/崩 5 种不同侵蚀环境示意图

Fig. 2 The schemes of five different erosion environments in natural recovery "Liang"/"Mao"

利用 Excel 2007 软件处理数据,并用 SPSS 17.0 软件进行多因素方差分析(Multi-way ANOVA)和 LSD 检验,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

主要计算公式如下^[26,27]：

(1)Shannon-wiener 多样性指数: $H' = -\sum P_i \log P_i$

(2)Margalef 丰富度指数: $D_{mz} = (S-1)/\ln N$

(3) Sorensen 相似性系数: $CC = 2W / (A + B)$

式中, P_i 为第 i 种的个体数占总个体数的比例, S 为物种总数, N 为所有物种个体总数, W 为共有物种数, A 和 B 为幼苗库与地上植被各自拥有的物种数。

表 1 样地植被盖度

Table 1 Vegetation coverage of the samples

样地号 Plot	洞子沟流域 Dongzigou watershed		张家河流域 Zhangjiahe Watershed		高家沟流域 Gaojiagou Watershed	
	侵蚀环境 Erosion environment	植被盖度 Coverage (%)	侵蚀环境 Erosion environment	植被盖度 Coverage (%)	侵蚀环境 Erosion environment	植被盖度 Coverage (%)
1	阴沟坡 Shady gully slope	80	阴梁/峁坡 Shady Liang/Mao slope	40	阳沟坡 Sunny gully slope	68
2	阳沟坡 Sunny gully slope	80	峁顶 Mao top	10	阴沟坡 Shady gully slope	77
3	阳梁/峁坡 Sunny Liang/Mao slope	55	阳梁/峁坡 Sunny Liang/Mao slope	21	阴梁/峁坡 Shady Liang/Mao slope	35
4	阴梁/峁坡 Shady Liang/Mao slope	73	阳沟坡 Sunny gully slope	20	峁顶 Mao top	44
5	阳梁/峁坡 Sunny Liang/Mao slope	50	阳沟坡 Sunny gully slope	18	阳梁/峁坡 Shady Liang/Mao slope	35
6	峁顶 Mao top	43	阳梁/峁坡 Sunny Liang/Mao slope	23	阴沟坡 Shady gully slope	90
7	阳梁/峁坡 Sunny Liang/Mao slope	55	峁顶 Mao top	16	阴梁/峁坡 Shady Liang/Mao slope	73
8	阳梁/峁坡 Sunny Liang/Mao slope	60	阴梁/峁坡 Shady Liang/Mao slope	65	峁顶 Mao top	62
9	阴梁/峁坡 Shady Liang/Mao slope	75	阴沟坡 Shady gully slope	46	阳梁/峁坡 Sunny Liang/Mao slope	33
10	阴梁/峁坡 Shady Liang/Mao slope	65	阴梁/峁坡 Shady Liang/Mao slope	40	阳沟坡 Sunny gully slope	33
11	峁顶 Mao top	45	阳沟坡 Sunny gully slope	33	峁顶 Mao top	38
12			阳梁/峁坡 Sunny Liang/Mao slope	38		
13			峁顶 Mao top	50		

2 结果与分析

2.1 幼苗库特征

2.1.1 幼苗库物种组成 3 流域共记录幼苗 75 种, 分属 25 科, 以菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)和豆科(Leguminosae)为主。生活型表现为多年生草本最多(52 种), 占总物种的 69%, 藤本、灌木与乔木(13 种)占 18%, 一、二年生草本(10 种)仅占 13%。在每个流域也是以多年生草本为主, 其中洞子沟流域藤灌乔木次之, 一、二年生草本最少; 而张家河和高家沟流域藤灌乔木最少(图 3)。水分生态型以旱生和中旱生为主。

不同侵蚀环境下的主要物种及其占该侵蚀环境下幼苗数的比例是不同的。洞子沟流域的三角槭、铁杆蒿、掌叶蕨菜、裂叶蕨菜、并头黄芩分别在阴梁/峁坡、阴沟坡、峁顶、阳梁/峁坡和阳沟坡所占比例较高, 约 33.3%~60.2%; 张家河流域是达乌里胡枝子、铁杆蒿、二裂委陵菜和百里香分别在 5 种侵蚀环境下所占比例较高, 约 15.5%~40.5%; 高家沟流域是百里香、龙牙草、茵陈蒿、达乌里胡枝子和野菊花分别在 5 种侵蚀环境下所占比例较高, 约 15.9%~57.1%(表 2)。

2.1.2 幼苗库密度特征 对 3 个流域不同侵蚀环境下的幼苗总密度统计(图 4)结果表明, 同一植被带不同侵蚀环境下, 幼苗密度大小不同, 高家沟流域为阴沟坡>阳梁/峁坡>峁顶>阴梁/峁坡>阳沟坡, 张家河流域为阴沟

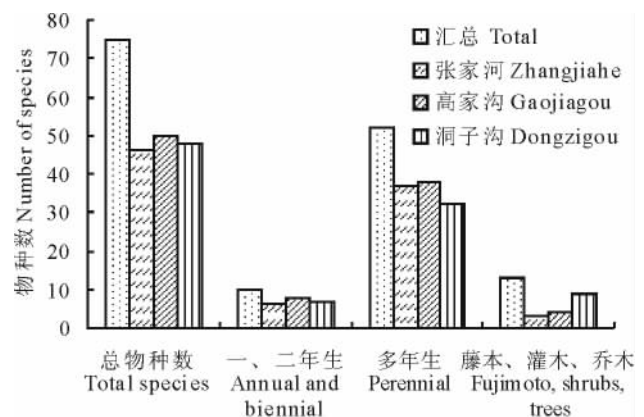


图 3 3 个流域幼苗物种组成统计

Fig. 3 Seedling species composition in the 3 watersheds

坡>阴梁/峁坡>峁顶>阳沟坡>阳梁/峁坡,洞子沟流域为峁顶>阴梁/峁坡>阴沟坡>阳梁/峁坡>阳沟坡,经方差分析可知,除张家河流域的阴沟坡和阴梁/峁坡显著大于其他3种侵蚀环境外($P < 0.05$),不同侵蚀环境整体上对幼苗密度无显著影响作用($P = 0.198$)。从不同植被带上看,幼苗的密度特征表现为高家沟流域>张家河流域>洞子沟流域,其中洞子沟流域与高家沟流域差异极显著($P = 0.002$)。可见,不同植被带对幼苗密度的影响作用极为明显($P = 0.007$)。

表 2 3 流域幼苗主要物种统计
Table 2 Seedling main species in 3 watersheds

侵蚀环境 Erosion environment	主要物种及其占幼苗总数的比例 Main species and its percentage of the total seedling number		
	洞子沟 Dongzigou	张家河 Zhangjiahe	高家沟 Gaojiagou
阳沟坡 Sunny gully slope	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> (9.5%)	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> (4.6%)	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> (10.6%)
远志 <i>Polygala tenuifolia</i> (11.9%)	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> (14.9%)	百里香 <i>Thymus mongolicus</i> (14.8%)	
三角槭 <i>Acer buergerianum</i> (40.5%)	茭蒿 <i>Artemisia giraldii</i> (12.7%)	地锦 <i>Parthenocisus tricuspidata</i> (12.9%)	
阳梁/峁坡 Sunny Liang/ Mao slope	掌叶堇菜 <i>Viola dactyloides</i> (37.4%)	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> (16.8%)	龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i> (71.9%)
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> (13.1%)	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i> (12.3%)	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> (4.3%)	
菊叶委陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i> (7.9%)	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> (15.1%)	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i> (12.3%)	
峁顶 Mao top	北京隐子草 <i>Cleistogenes hancei</i> (10.8%)	二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i> (23.2%)	茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i> (21.3%)
铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> (40.8%)	中华隐子草 <i>Cleistogenes chinensis</i> (9.1%)	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> (15.2%)	
茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i> (22.5%)	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i> (20.6%)	中华隐子草 <i>Cleistogenes chinensis</i> (11.9%)	
阴梁/峁坡 Shady Liang/ Mao slope	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> (14.5%)	百里香 <i>Thymus mongolicus</i> (20.9%)	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> (20.4%)
角蒿 <i>Incarvillea sinensis</i> (8.7%)	野菊花 <i>Chrysanthemi indici</i> (9.2%)	百里香 <i>Thymus mongolicus</i> (14.0%)	
裂叶堇菜 <i>Viola dissecta</i> (33.3%)	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> (8.5%)	野菊花 <i>Chrysanthemi indici</i> (15.9%)	
阴沟坡 Shady gully slope	并头黄芩 <i>Scutellaria scordifolia</i> (60.2%)	异叶败酱 <i>Patrinia heterophylla</i> (15.5%)	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> (6.7%)
掌叶堇菜 <i>Viola dactyloides</i> (17.6%)	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> (9.7%)	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> (4.6%)	
茶条槭 <i>Acer ginnala</i> (10.2%)	百里香 <i>Thymus mongolicus</i> (40.5%)	野菊花 <i>Chrysanthemi indici</i> (57.1%)	

2.1.3 幼苗库物种多样性 侵蚀环境不同,幼苗物种多样性指数差异也不同(图5)。在同一植被带上,洞子沟流的多样性指数和丰富度指数表现为阳梁/峁坡>阴梁/峁坡>阳沟坡>峁顶>阴沟坡,高家沟流域为阴梁/峁坡>阳沟坡>峁顶>阴沟坡>阳梁/峁坡,张家河流域为阴梁/峁坡(阴沟坡)>阳梁/峁坡>阳沟坡>峁顶;但经方差分析,差异均不显著($P > 0.05$),即同一植被带不同侵蚀环境对幼苗物种多样性均无明显影响($P = 0.856$)。不同植被带上,多样性指数为张家河流域>高家沟流域>洞子沟流域,差异也不显著($P = 0.461$),丰富度指数洞子沟流域明显小于张家河和高家沟流域($P < 0.05$),张家河与高家沟流域间无显著差异($P = 0.951$),可见,不同植被带对幼苗物种多样性无显著影响,对幼苗物种丰富度影响作用较为明显($P = 0.035$)。同时说明张家河和高家沟流域的幼苗物种多样性较为丰富,洞子沟流域物种较为单一。

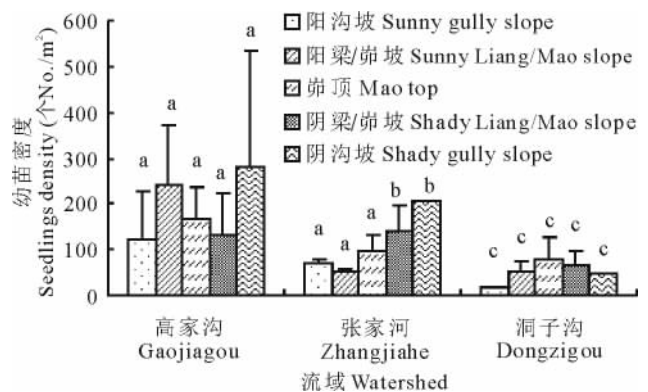


图 4 不同侵蚀环境幼苗密度特征(平均值±标准误)

Fig. 4 Seedling density in different erosion environments (mean±SE)

洞子沟和高家沟流域样本数 $n = 33$; 张家河流域样本数 $n = 39$ 。误差线上的不同小写字母表示同一流域5种不同侵蚀环境在 $P < 0.05$ 水平上的差异。In Dongzigou and Gaojiagou watershed, $n = 33$; In Zhangjiahe watershed, $n = 39$. The different small letters above error line mean the significant differences between 5 different erosion environments at $P < 0.05$ level in the same watershed.

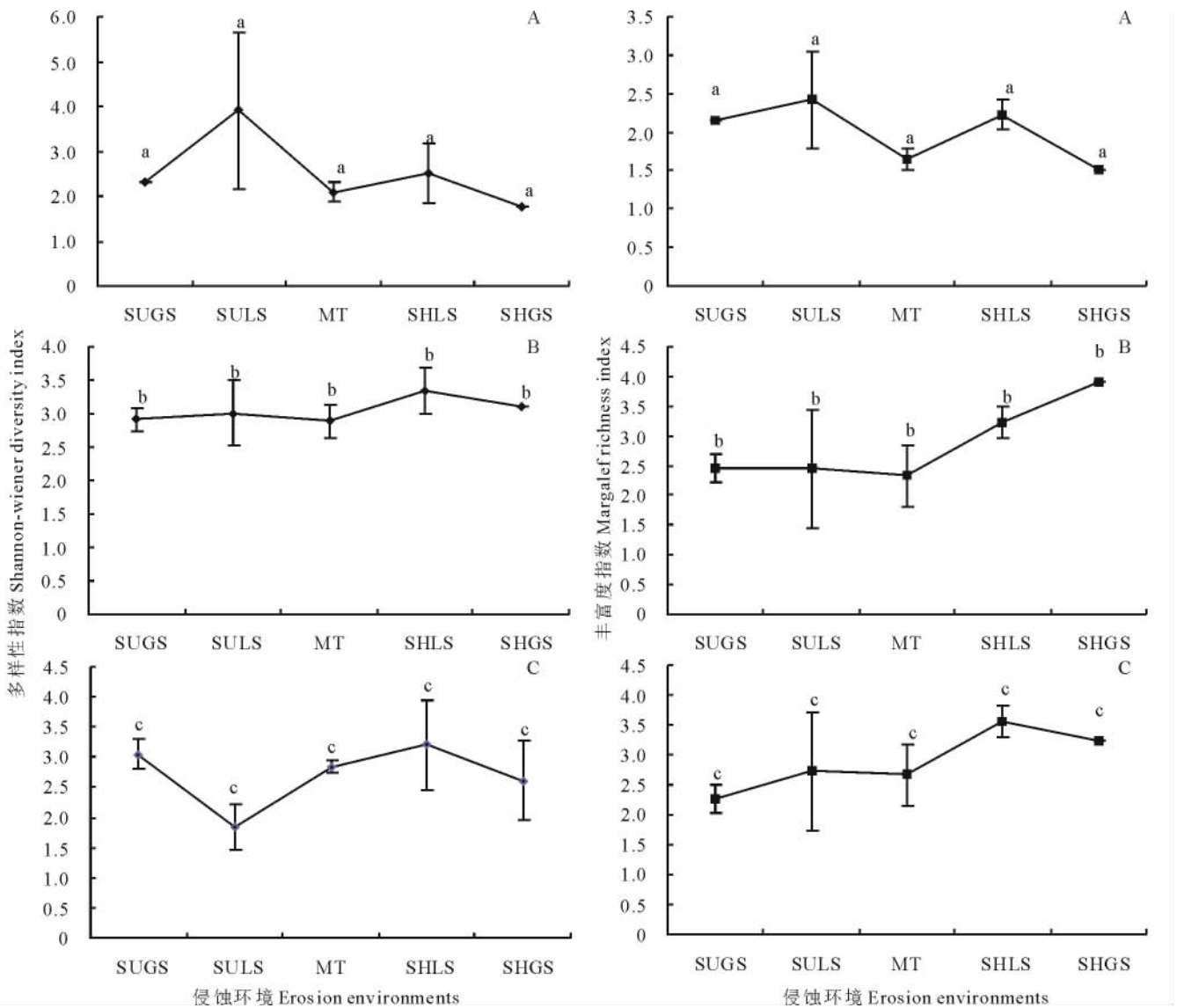


图 5 3 流域不同侵蚀环境下幼苗物种多样性(平均值±标准误)

Fig. 5 Seedling diversity in different erosion environments in 3 watershed(mean± SE)

A, 洞子沟流域; B, 张家河流域; C, 高家沟流域。SUGS, 阳沟坡; SULS, 阳梁/峁坡; MT, 峁顶; SHLS, 阴梁/峁坡; SHGS, 阴沟坡。误差线上的不同小写字母表示同一流域 5 种不同侵蚀环境在 $P < 0.05$ 水平上的差异。A, Dongzigou watershed; B, Zhangjiahe watershed; C, Gaojiagou watershed. SUGS, sunny gully slope; SURS, sunny Liang/Mao slope; RT, Mao top; SHRA, shady Liang/Mao slope; SHGS, shady gully slope. The different small letters above error line mean the significant differences between 5 different erosion environments at $P < 0.05$ level in the same watershed.

2.2 幼苗库与地上植被的关系

2.2.1 地上植被的群落组成特征

3 个小流域地上植被共有 105 种, 分属 29 科。其中, 张家河流域 61 种, 高家沟流域 63 种, 洞子沟流域 68 种。在构成各个群落的物种中, 主要有菊科的铁杆蒿、茭蒿、苦苣菜 (*Lactuca indica*)、阿尔泰狗娃花、风毛菊 (*Saussurea japonica*)、野菊花等, 禾本科的长芒草、白羊草、大针茅、早熟禾 (*Poa pratensis*)、北京隐子草、中华隐子草、猪毛蒿、赖草 (*Leymus secalinus*) 等, 以及豆科的达乌里胡枝子、草木樨状黄芪 (*Astragalus molilotoides*)、狼牙刺、刺槐等, 洞子沟流域还有壳斗科的辽东栎, 槭树科的茶条槭等。水分生态型是以旱生和中旱生为主。在生活型方面, 草本物种在植被类型中均出现最多, 森林带的洞子沟流域灌木、半灌木、藤本物种出现的比率相对较高, 而且是阴坡大于阳坡和峁顶, 同时也有少许乔木物种出现; 张家河和高家沟流域灌木、半灌木、藤本物种出现的比率较小且没有乔木物种出现 (表 3)。可见, 不同侵蚀环境下出现的群落以及构成群落的主要物种各不相同。

表3 地上植被主要物种及生活型百分比

Table 3 Main species and the life-form percentage of the standing vegetation

流域 Watershed	侵蚀环境 Erosion environment	主要物种 Main species	生活型百分比 Life-form percentage (%)		
			乔木 Trees	灌木、半灌木、藤本 Shrub, subshrub, fujimoto	草本 Herbs
洞子沟 Dongzigou	阳沟坡 Sunny gully slope	六道木 <i>Abelia biflora</i> , 丁香 <i>Syringa pekinensis</i> , 披针苔草 <i>Carex lanceolata</i> Boott, 铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> .	19.0	28.6	52.4
	阳梁/崩坡 Sunny Liang/Mao slope	丁香 <i>Syringa pekinensis</i> , 虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i> , 铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> , 芫蒿 <i>Artemisia giraldii</i> .	0.0	32.1	67.9
	崩顶 Mao top	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> , 杠柳 <i>Periploca sepium</i> , 铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> , 长芒草 <i>Stipa bungeana</i> .	10.5	10.5	78.9
	阴梁/崩坡 Shady Liang/Mao slope	三角槭 <i>Acer buergerianum</i> , 丁香 <i>Syringa pekinensis</i> , 披针苔草 <i>Carex lanceolata</i> , 铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> .	8.3	33.3	58.3
	阴沟坡 Shady gully slope	辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i> , 茶条槭 <i>Acer ginnala</i> , 六道木 <i>Abelia biflora</i> , 披针苔草 <i>Carex lanceolata</i> .	16.7	55.6	27.8
	张家河 Zhangjiahe	阳沟坡 Sunny gully slope	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> , 白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i> , 达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> , 芫蒿 <i>Artemisia giraldii</i> .		11.1
高家沟 Gaojiagou	阳梁/崩坡 Sunny Liang/Mao slope	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> , 猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> , 铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> , 白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i> .		0.0	100.0
	崩顶 Mao top	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> , 二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i> , 糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i> , 长芒草 <i>Stipa bungeana</i> .		0.0	100.0
	阴梁/崩坡 Shady Liang/Mao slope	大针茅 <i>Stipa grandis</i> , 芫蒿 <i>Artemisia giraldii</i> , 长芒草 <i>Stipa bungeana</i> , 达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> .		6.3	93.8
	阴沟坡 Shady gully slope	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> , 芫蒿 <i>Artemisia giraldii</i> , 大针茅 <i>Stipa grandis</i> , 长芒草 <i>Stipa bungeana</i> .		3.6	96.4
	阳沟坡 Sunny gully slope	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> , 大针茅 <i>Stipa grandis</i> , 野菊花 <i>Chrysanthemi indicis</i> , 达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> .		5.6	94.4
张家河	阳梁/崩坡 Sunny Liang/Mao slope	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> , 达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> , 野菊花 <i>Chrysanthemi indicis</i> , 芫蒿 <i>Artemisia giraldii</i> .		6.1	93.9
	崩顶 Mao top	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> , 达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> , 蒙古蒿 <i>Artemisia mongolica</i> , 百里香 <i>Thymus mongolicus</i> .		3.6	96.4
	阴梁/崩坡 Shady Liang/Mao slope	百里香 <i>Thymus mongolicus</i> , 野菊花 <i>Chrysanthemi indicis</i> , 达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> , 大针茅 <i>Stipa grandis</i> .		2.7	97.3
	阴沟坡 Shady gully slope	早熟禾 <i>Poa pratensis</i> , 达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> , 铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> , 火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i> .		2.8	97.2

2.2.2 幼苗库与地上植被物种的相似性 不同侵蚀环境下幼苗与地上植被物种相似性因生活型不同而存在差异(表4)。对于乔灌木物种,洞子沟流域物种较多,乔木的相似性较高,灌木的相似性较小;张家河和高家沟流域只有阴梁/崩坡和阴沟坡出现共有种,但相似性较高。对于草本植物的相似性系数,洞子沟流域为0.28~0.36,张家河流域0.48~0.51,高家沟流域0.44~0.50。其中洞子沟流域表现为阴沟坡>阳梁/崩坡>阳沟坡>崩顶>阴梁/崩坡,张家河流域为阴沟坡>阳沟坡>阳梁/崩坡>崩顶>阴梁/崩坡,高家沟流域为阳梁/崩坡>阳沟坡>阴沟坡>阴梁/崩坡>崩顶,但均无显著差异($P>0.05$)。不同植被带上,洞子沟流域明显小于张家河和高家沟流域($P<0.01$),但3流域相似性系数均值都小于0.50(0.32~0.49),与地上植被表现出较小的相似性。可见,同一植被带不同侵蚀环境对幼苗与地上植被物种相似性无显著影响($P=0.227$),而不同植被带对其有明显的影响作用($P<0.01$)。

表 4 不同侵蚀环境下幼苗与地上植被物种相似性系数(平均值±标准误)

Table 4 Similarity between seedlings and the standing vegetation in different erosion environments(mean±SE)

侵蚀环境 Erosion environment	洞子沟流域 Dongzigou watershed			张家河流域 Zhangjiahe watershed			高家沟流域 Gaojiagou watershed		
	乔木 Trees	灌木 Shrub	草本 Herbs	乔木 Trees	灌木 Shrub	草本 Herbs	乔木 Trees	灌木 Shrub	草本 Herbs
	阳沟坡 Sunny gully slope	0.60±0.17	0.36±0.12	0.30±0.06 a			0.51±0.12 b		
阳梁/崩坡 Sunny Liang/Mao slope		0.38±0.18	0.36±0.12 a			0.49±0.04 b			0.50±0.01 c
崩顶 Mao top		0.34±0.47	0.33±0.01 a			0.48±0.11 b			0.44±0.08 c
阴梁/崩坡 Shady Liang/Mao slope		0.20±0.33	0.28±0.07 a	0.50		0.48±0.03 b	0.34±0.47	0.45±0.12 c	
阴沟坡 Shady gully slope	0.50		0.29±0.10 a			0.51±0.06 b	0.50±0.71	0.47±0.09 c	
均值 Mean			0.32±0.03 A			0.49±0.02 B			0.47±0.02 B

同列的不同小写字母和同行的不同大写字母表示 $P < 0.05$ 水平差异显著。

The different lowercase letters within same list and the different capital letters within same line indicate significant difference at $P < 0.05$.

3 讨论

在土壤侵蚀环境中,土壤侵蚀对幼苗出苗和存活具有一定的影响。它不仅产生地表径流和泥沙输移,导致土壤颗粒、土壤养分、土壤水分、种子的流失^[28],而且其冲刷作用也会将幼苗连根拔起而导致死亡,或由于侵蚀堆积而影响土壤中的水分、通透性、光照等条件,进而影响种子的萌发、幼苗的存活和定居^[32]。因此,土壤侵蚀环境不同,土壤特性、光照、温度等条件也不同。物种多样性的变化是植被恢复过程中最重要的特征之一^[30],幼苗物种多样性指数的高低反映了幼苗的自然更新能力,指数高,自然更新能力强,反之亦然^[10]。为此,本研究对不同侵蚀环境下幼苗密度特征、物种多样性以及幼苗与地上植被物种的相似性进行了比较分析,结果表明不同侵蚀环境下幼苗密度和物种多样性都存在差异。

从不同植被带上看,张家河和高家沟流域大于洞子沟流域;这是因为洞子沟流域虽然侵蚀较弱,植被生长旺盛,阴梁/崩坡、阴沟坡和崩顶这 3 种侵蚀环境中有样地分别是辽东栎群落、三角槭群落和刺槐群落,阳梁/崩坡和阳沟坡样地也有灌木存在,但较高的郁闭度使得林下光照条件差^[33-37],其次地表枯落物厚^[38]、植被蒸腾作用强^[39]、地上植被竞争激烈^[40],这些都不利于种子的萌发和幼苗生长,导致林下幼苗呈现低输出率、高死亡率的状态,进而幼苗数量和物种数减少。王传华等^[37]和尹华军等^[41]的研究也表明,弱光环境是影响枫香(*Liquidambar formosana*)幼苗更新的一个重要的限制因子,随地被物(苔藓、枯落物等)厚度的增加,幼苗存活率呈明显下降的趋势。同时,森林带土壤湿度大、土壤微生物活动旺盛,种子在高湿度、呼吸作用受阻的条件下易遭受霉菌感染和蠕虫侵害,而使得大量种子腐烂死亡^[42],故幼苗密度和物种多样性较小。

在同一植被带不同的土壤侵蚀环境下,幼苗密度和多样性也呈现不同差异。洞子沟流域崩顶、阴梁/崩坡和阴沟坡样地都有乔木群落,且从崩顶向下,植被盖度增加,林下逐渐减弱的光照抑制了幼苗的生长,故从崩顶到阴沟坡幼苗密度逐渐减小,同时阴坡林下良好的土壤水分促进了种子的萌发和幼苗的生长,并消减了弱光照对幼苗生长的不利影响^[10],而阳坡样地虽有灌木物种存在,但盖度较小、日照时间长、辐射强度大、地面蒸发大^[33]、土壤侵蚀严重、土壤含水量低^[36],不利于幼苗的发育,故幼苗密度从大到小依次为崩顶>阴梁/崩坡>阴沟坡>阳梁/崩坡>阳沟坡;同样受光照的影响,多样性指数也是梁/崩坡大于沟坡。高家沟流域不同侵蚀环境对幼苗密度和多样性指数均无显著影响。而张家河流域,不同侵蚀环境下整体表现为阴坡尤其是阴沟坡幼苗密度较大、物种较为丰富。这是因为该流域植被相对稀疏,主要以草本植被为主,光照不是幼苗发育主要的限制因子,土壤水分的有效性更为重要。阴坡上土壤水分、土壤养分以及土壤通气透水性都相对较好^[36,43],其次植被盖度较高,侵蚀相对微弱,对种子截留、幼苗萌发有促进作用。同时,沟坡要承载坡面的来水来沙^[44],水沙携带的养分不仅为沟坡的幼苗发育提供有利条件,而且其携带的土壤表面和土壤中的种子为幼苗萌发提供了充足种源^[28];另外,土壤种

子库作为潜在的植物群落,其基本特征对幼苗库的密度大小和物种组成具有重要影响^[45-47],在一定范围内,幼苗库密度随土壤种子库密度的增加而增加^[6],Wang等^[48]的研究表明在沟坡浅沟侵蚀带土壤种子库密度较大,故阴沟坡幼苗密度和多样性指数较大。而阳坡不仅水分养分条件差,光照更为强烈,地面蒸发大,土壤水分含量下降^[36],造成水分胁迫,导致幼苗萌发少或大量死亡。王凯博等^[49]的研究也表明,土壤水分养分条件较差,植被的物种多样性降低。可见,不同植被带,影响幼苗发育的主要限制因子不同,使得同一植被带不同侵蚀环境下幼苗密度和物种多样性也呈现不同差异。

本研究还显示,不同的侵蚀环境下幼苗与地上植被物种相似性无显著差异。3流域草本植被的相似性系数均值都在0.50以下,与地上植被表现出较小的相似性,这与Jia等^[14]在黄土丘陵沟壑区的研究结果基本一致(0.35~0.47)。在幼苗库与地上植被中均有出现且出现频率较高的物种,洞子沟流域主要有铁杆蒿、达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、长芒草、菊叶委陵菜、狗尾草、远志等,高家沟流域主要有达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、芨蒿、铁杆蒿、远志、蒙古蒿、长芒草等,张家河流域主要有达乌里胡枝子、铁杆蒿、长芒草、白羊草、阿尔泰狗娃花、糙隐子草、中华隐子草等,其中铁杆蒿、达乌里胡枝子、长芒草、阿尔泰狗娃花等物种在3个流域共有种中都有出现,是该研究区的主要草本植被,同时也是演替中后期的主要物种,说明这些物种在土壤侵蚀严重的黄土丘陵沟壑区易于建植成功。但这些物种中有近70%的物种具有营养繁殖的特性,相关研究也表明,在严酷的环境中,营养繁殖幼苗会打败种子萌发的幼苗,然后入侵并建植成功^[50]。可见,除种子幼苗更新外,营养繁殖也在植被更新中具有重要作用。

黄土丘陵沟壑区本身土壤水分缺乏,植被盖度低,土壤侵蚀严重,侵蚀环境对幼苗发育影响较大。但值得注意的是,本研究仅对不同侵蚀环境下幼苗密度、物种多样性及与地上植被物种相似性的差异性进行了研究,并对造成这种差异的可能原因进行了简单的分析,还需对影响幼苗存活的关键影响因子进行研究,这对深入研究侵蚀环境对幼苗存活和建植的影响具有重要的意义。另外,根据侵蚀环境的不同对幼苗进行合理的人工抚育和管理对幼苗建植及植被恢复和重建也有十分重要的意义,这些问题有待今后进一步的研究和探讨。

参考文献:

- [1] 张金屯. 黄土高原植被恢复与建设的理论和技术问题[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 120-124.
- [2] 王国梁, 刘国彬, 刘芳, 等. 黄土沟壑区植被恢复过程中植物群落组成及结构变化[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2550-2557.
- [3] 沈玉芳, 秦清军, 吴永红. 植被类型对黄土高原土壤侵蚀的影响研究[J]. 西北农业学报, 2003, 12(3): 5-8.
- [4] 黄云凤. 植被控制水土流失机理及措施研究综述[J]. 福建水土保持, 2004, 16(3): 14-18.
- [5] 戴全厚, 喻理飞, 薛蕙, 等. 植被控制水土流失机理及功能研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 32-35.
- [6] 赵丽娅, 李锋瑞. 围封沙质草甸土壤种子库与幼苗库的特征[J]. 西北植物学报, 2003, 23(10): 1725-1730.
- [7] Hector G S, Escarre J, Sans F X. Factors that limit the emergence and establishment of the related aliens *Senecio inaequidens* and *S. pterophorus* and the native *S. malacitanus* in Mediterranean climate[J]. Canadian Journal of Botany, 2004, 82(9): 1-5.
- [8] 程积民, 万惠娥, 胡相明. 黄土高原草地土壤种子库与草地更新[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 679-683.
- [9] 崔长美, 王孝安. 黄土高原天然柴松纯林不同坡位幼苗更新特性研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 48-52.
- [10] 康冰, 王得祥, 崔宏安, 等. 秦岭山地油松群落更新特征及影响因子[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1659-1667.
- [11] 谢佳彦, 邓志平. 杭州五云山米槠种群幼苗大小结构及空间分布格局研究[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5): 35-39.
- [12] Tara A, Daniel F. Seedling establishment and life history trade-offs in alpine plants[J]. American Journal of Botany, 2004, 91(7): 1147-1153.
- [13] Matthew A, Brian C. Seedling establishment shapes the distribution of shade-adapted forest herbs across a topographical moisture gradient[J]. Journal of Ecology, 2009, 97: 1037-1049.
- [14] Jia Y F, Jiao J Y, Wang N. Relationship between seedling and mature vegetation on the hilly-gullied Loess Plateau[A]. 2010 International Conference on Combating Land Degradation in Agricultural Areas[C]. Xian, China, 2010: 1-5.

- [15] 彭志杰, 坡建才, 姚凯, 等. 油松人工林天然更新幼苗种群结构与分布格局研究[J]. 林业实用技术, 2011, (6): 8-10.
- [16] 张小彦, 焦菊英, 王宁, 等. 黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀对 3 种蒿属种子有效性的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 56-61.
- [17] 王宁. 沟坡侵蚀环境对繁殖体库及幼苗建植的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [18] 刘建立, 袁玉欣, 彭伟秀, 等. 河北丰宁坝上孤石牧场土壤种子库与地上植被的关系[J]. 干旱区研究, 2005, 22(3): 295-300.
- [19] 郑粉莉, 高学田. 坡面土壤侵蚀过程研究进展[J]. 地理科学, 2003, 23(2): 230-235.
- [20] 高旺盛, 董孝斌. 黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价——以安塞县为例[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 182-188.
- [21] 贾燕锋, 焦菊英. 黄土丘陵沟壑区沟沿线边缘植被特征初步研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 39-43.
- [22] 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[J]. 水土保持研究, 1996, (2): 66-74.
- [23] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1173-1178.
- [24] 邹厚远. 陕北黄土高原植被区划及与林草建设的关系[J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 96-101.
- [25] 李斌, 张金屯. 基于 GIS 的黄土高原不同植被区土壤侵蚀研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, (1): 134-138.
- [26] Sørensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons[J]. Biologiske Skrifter (Kongelige Danske Videnskabernes Selskab), 1948, 5(4): 1-34.
- [27] 马克平. 生物群落多样性的测度方法: H' 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- [28] 焦菊英, 王宁, 杜华栋, 等. 土壤侵蚀对植被发育演替的干扰与植物的抗侵蚀特性研究进展[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 311-318.
- [29] 焦菊英, 张振国, 贾燕锋, 等. 陕北丘陵沟壑区撂荒地自然恢复植被的组成结构与数量分类[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 2981-2997.
- [30] 秦伟, 朱清科, 刘中奇, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被自然演替系列及其植物物种多样性特征[J]. 干旱区研究, 2008, 25(4): 507-513.
- [31] 杨涛, 王得祥, 周金星, 等. 陕北黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落演替规律及物种多样性动态研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 10-15.
- [32] Patricio G F, Belen G V, Artemi C. Limitations to plant establishment on eroded slopes in southeastern Spain[J]. Journal of Vegetation Science, 2000, 11(1): 77-86.
- [33] 朱志诚. 黄土高原森林草原的基本特征[J]. 地理科学, 1994, 14(2): 152-156.
- [34] 郭军权, 卜耀军, 张广军. 黄土丘陵区植被恢复过程中土壤水分研究——以吴旗县为例[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(4): 1-4.
- [35] 何思源, 刘鸿雁. 内蒙古高原东南部森林—草原交错带的地形—气候—植被格局和植被恢复对策[J]. 地理科学, 2008, 28(2): 253-258.
- [36] 周萍, 刘国彬, 侯喜禄. 黄土丘陵区侵蚀环境不同坡面及坡位土壤理化特征研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 7-12.
- [37] 王传华, 李俊清, 陈芳青, 等. 鄂东南低丘地区枫香林下枫香幼苗更新限制因子[J]. 植物生态学报, 2011, 35(2): 187-194.
- [38] 庞建光, 李连芳, 刘海丰, 等. 枯立物对红松洼草地植物幼苗建立的影响[J]. 生态环境, 2005, 14(5): 742-745.
- [39] 王红梅, 谢应忠, 陈来祥. 黄土高原坡地土壤水分动态特征及影响因素[J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(4): 62-66.
- [40] 田媛, 李建贵, 潘丽萍. 梭梭萌生与初期存活的关键影响因素[J]. 生态学报, 2010, 30(18): 4898-4904.
- [41] 尹华军, 程新颖, 赖挺, 等. 川西亚高山 65 年人工云杉林种子雨、种子库和幼苗定居研究[J]. 植物生态学报, 2011, 35(1): 35-44.
- [42] Feller M C. Influence of ecological conditions on Engelmann spruce (*Picea engelmannii*) and subalpine fir (*Abies lasiocarpa*) germinant survival and initial seedling growth in south-central British Columbia[J]. Forest Ecology and Management, 1998, 107: 55-69.
- [43] 路保昌, 薛智德, 朱清科, 等. 干旱阳坡半阳坡微地形土壤水分分布研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(1): 1-3.

- [44] Qiu Y, Fu B J, Wang J, *et al.* Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semi-arid gully catchment of the Loess Plateau[J]. China. Journal of Arid Environment, 2001, 49: 723.
- [45] 赵凌平, 程积民, 苏纪帅. 土壤种子库在黄土高原本氏针茅草地群落长期封禁演替过程中的作用[J]. 草业学报, 2012, 21(3): 38-44.
- [46] 邓斌, 任国华, 刘志云, 等. 封育三年对三种高寒草地群落土壤种子库的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 23-31.
- [47] 王增如, 徐海量, 尹林克, 等. 土壤种子库对漫溢区受损植被更新的贡献[J]. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2611-2617.
- [48] Wang N, Jiao J Y, Jia Y F, *et al.* Soil seed bank composition and distribution on eroded slopes in the hill-gully Loess Plateau region (China): influence on natural vegetation colonization[J]. Earth Surface Processes And Landforms, 2011, 36: 1825-1835.
- [49] 王凯博, 陈美玲, 秦娟. 子午岭植被自然演替中植物多样性变化及其与土壤理化性质的关系[J]. 西北植物学报, 2007, 27(10): 2089-2096.
- [50] 张大勇. 植物生活史进化与繁殖生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

Seedling banks and their relationship with the standing vegetation under different erosion environments in the hill-gully Loess Plateau region

SU Yuan¹, JIAO Ju-ying^{2,3}, WANG Qiao-li¹, DU Hua-dong², WANG Zhi-jie², KOU Meng⁴

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water

Resources, Yangling 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation,

Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 4. College of Forestry,

Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Seedlings are an indispensable stage in the plant cycle life and are important in natural vegetation restoration. The objective of this paper was to explore seedling characteristics and their relationship with the standing vegetation under different erosion environments in the hill-gully Loess Plateau region. Three typical watersheds in different vegetation zones were selected, and One-Way ANOVA was used to analyze seedling densities, species diversity and the similarity between seedlings and the ground vegetation using quadrat surveys. In the seedling bank, there were 75 species belonging to 25 families, while in the ground vegetation there were 105 species belonging to 29 families. Most species were *Compositae*, *Gramineae* and *Leguminosae* composed, while *Xerophytic* and *Mesoxerphytic* were the main water ecotypes, and perennial herbs were the dominant life-form. Seedling densities and diversity were different in different erosion environments. They were greater in the forest-grassland and grassland zones than in the forest zone. In the same vegetation belt, seedling densities in the Dongzigou watershed was in the order mao top > shady slope > sun slope, while diversity was in the order liang/mao slope > gully slope. In the Gaojiagou watershed, there was no significant difference in seedling density or diversity. In the Zhangjiahe watershed, seedling densities were bigger and species were richer on shady slopes, especially on shady gully slopes. Different erosion environments had no significant effect on the similarity between seedlings and the standing vegetation. The Sorensen similarity index of herbs in the 3 watersheds was less than 0.5, showing smaller similarity. Therefore, the site conditions in the hill-gully Loess Plateau region are poor, and the seedlings cannot survive and establish easily.

Key words: seedling bank; seedling density; species diversity; similarity; standing vegetation; the hilly-gully Loess Plateau region