

黄土高原典型草原区草地土壤种子库的动态分析

赵凌平¹, 程积民^{2,3}, 万惠娥^{2,3}

(1. 西北农林科技大学 动物科技学院, 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)

摘 要: 采用野外调查取样和室内试验相结合的方法, 研究了黄土高原典型草原区草地土壤种子库的物种组成、密度、时空格局和物种多样性等特征。结果表明, (1) 土壤种子库中共统计到 37 个物种, 隶属于 16 科, 其中禾本科、菊科、唇形科、豆科和毛茛科的植物占优势。(2) 从返青期到枯黄期, 种子库中豆科、禾本科、堇菜科所占比例呈下降趋势, 唇形科和菊科所占比例明显提高, 种子库的密度也显著提高。(3) 种子库中种子数量在垂直分布上呈现出由表层土壤向深层逐层减少的变化规律; 在水平分布上的变化规律为: 封禁 > 放牧; 阴坡 > 阳坡; 下坡 > 中坡 > 上坡。(4) 封禁地土壤种子库中的 Margalef 丰富度和 Shannon—Wiener 指数都高于放牧地, Pielou 均匀性指数低于放牧地。从返青期到枯黄期, 封禁地和放牧地土壤种子库的 Margalef 丰富度、Shannon—Wiener 指数、Pielou 均匀性指数都呈下降趋势。

关键词: 典型草原; 土壤种子库; 封禁; 放牧; 动态变化

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2008)05—0060—06

中图分类号: S330.3

Dynamic Analysis of the Soil Seed Bank for Grassland in a Typical Prairie on the Loess Plateau

ZHAO Ling-ping¹, CHENG Ji-min^{2,3}, WAN Hui-e^{2,3}

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Field survey and laboratory experiment were conducted to study the characteristics of soil seed bank for the grassland in a typical prairie on the Loess Plateau, such as species composition, density, spatial and temporal pattern distribution, and diversity. Results showed that there were 37 species in the seed bank, which belongs to 11 families. For the species of seed bank, *Gramineae*, *Compositae*, *Labiatae*, *Leguminosae*, and *Panunculaceae* were dominant. From green up stage to withering stage, the percentage of *Leguminosae*, *Gramineae*, and *Violaceae* decreased and however, the percentage of *Compositae* and *Labiatae* increased greatly. Density of soil seed bank increased significantly. For the vertical distribution, the number of seeds took on a decreasing trend with soil depth increasing. In terms of the level distribution of soil seed bank, landforms were in the descendant order of fenced grassland and grazed grassland; lunar slope and solar slope; and top slope, middle slope, and bottom slope. Results from the study indicated that the Margalef and the Shannon—Wiener diversity indexes of soil seed bank were higher in the enclosed grassland, and Pielou evenness index was higher in the grazed grassland. They all decreased from green up stage to withering stage.

Keywords: typical prairie; soil seed bank; fencing; grazing; dynamic change

土壤种子库 (soil seed bank) 是指存在于土壤上层凋落物和土壤中全部存活种子的总和^[1]。要完全描述一个植物群落, 就必须包括埋藏在土壤中的种子, 因为它们和地上植被一样是物种的组成者, 部分反映了植被的历史, 同样影响植被的未来^[2]。种子库是潜在的

植物群落, 是种群定居、繁衍和扩散的基础, 在植被的发生和演替、更新和恢复过程中起着重要的作用。此外, 退化生态系统的恢复与重建都涉及到种子库的时空格局、种子萌发和幼苗的补充更新。退化生态系统的恢复进程受许多因素的影响, 其中土壤状况和土壤

收稿日期: 2008-01-21

修回日期: 2008-05-08

资助项目: “973” 国家重点基础研究发展计划 (2007CB106803); 国家科技支撑计划重大项目 (2006BAD09B08; 2006BAD16B06; 2006BAD09B03); 国家自然科学基金重点项目 (40730631); 国家林业局荒漠化监测专项

作者简介: 赵凌平 (1983—), 女 (汉族), 河南省漯河市人, 硕士, 主要从事草地生态方面的研究。E-mail: zlp19830629@163.com。

通信作者: 程积民 (1955—), 男 (汉族), 陕西省蒲城人, 研究员, 主要从事草地生态学和植被恢复研究。E-mail: gyzejm@ms.iswc.ac.cn。

种子库相对比较重要。以往的研究比较注重土壤状况^[3-6],而土壤种子库在黄土高原植被恢复过程中的作用未受到足够重视^[7]。在水土流失严重的黄土高原区,有关土壤种子库的研究报道也较少。围栏封禁是目前该地区大面积恢复退化天然草地常用的最有效、最经济的措施。因此我们开展了返青期和枯黄期封禁和放牧条件下黄土高原草地土壤种子库特征与差异的比较分析,旨在为退化黄土高原植被恢复及群落演替的动态预测和持续利用提供一定的理论依据。

1 研究地区概况

云雾山草原自然保护区位于宁夏固原东北部,距固原市区 45 km,地理位置是东经 106°24′—106°28′,北纬 36°13′—36°19′,面积为 6 700 hm²,海拔 1 800 ~ 2 100 m,年平均气温 5℃。年降雨量 400 ~ 450 mm,一般丰水年占 28.0%,平水年占 35.5%,枯水年占 36.5%。7—9 月份降雨量占全年降雨量的 65% ~ 75%。蒸发量 1 330 ~ 1 640 mm, 10 月积温 2 100 ~ 3 200℃,干燥度 1.5 ~ 2.0。地势为南低北高,阳坡平缓,阴坡较陡,属温凉半干旱黄土覆盖的低山丘陵区,土壤为黄土母质上发育的淡黑垆土和黄绵土,土层分布均匀深厚,地下水位深,土壤水补充能力差,无霜期 112 ~ 140 d。保护区自 1982 年建立至今,面积 6 700 hm²,主要草地植被类型以本氏针茅、百里香、铁杆蒿、大针茅、冷蒿群落类型为主,伴生种以猪毛蒿、厚穗冰草、星毛委陵菜等群落类型为主。植物种类组成由保护前的 8 ~ 11 株/m² 增加到 25 ~ 31 株/m²,覆盖度由 20% ~ 30% 提高到 75% ~ 95%,草地产量(鲜重)由 1 200 ~ 1 800 kg/hm² 提高到 6 800 ~ 9 000 kg/hm²。

2 研究方法

2.1 土壤种子库调查取样

土壤种子库的取样时间在地上植被的返青期和枯黄期。

土壤种子库取样采用样线取样法。在云雾山上选取封禁 26 a 草地和放牧地做为试验样地,按坡向(阴坡、阳坡)和坡位(上部、坡中部和坡下部)分别取样。大数量的小样方法具有的较高可靠性,在于其可以尽量消除水平方向的变异产生的误差,又可通过分层取样探明垂直方向的变异。所以本研究也采用同样的方法。每个样地不同海拔高度不同坡位上选择有代表性植被的地段沿水平方向拉一条样线,在样线上每隔 15 m 设一个 1 m × 1 m 的样方,共 3 个重复。在小样方内按对角线取样的方法选取 5 个样点,用直径 9 cm 的土钻分 4 层取样。取样层分别为:枯枝落

叶层;0—5 cm, 5—10 cm, 10—15 cm,然后把同层的土芯重复 5 次混合在一起,并分层装袋,带回实验室供土壤种子萌发与鉴定试验之用。共取 288 个土样。

2.2 土壤种子库萌发试验

取回的土样在室内先去除大的砾石和粗根系,然后均匀铺在萌发用的塑料盘内(约 3 cm 厚),塑料盘底部预先填上 5 cm 厚的无种子细砂。用 3 个填满无种子细砂的塑料盘作为对照来监测是否有由空中传播的种子污染萌发装置。无种子细砂是将细砂置于恒温 150℃ 的鼓风干燥箱内烘 4 h 后得到的。所有的萌发装置均摆放在在自然光条件下的玻璃室内(温度 12℃ ~ 22℃),每天浇水 1 ~ 2 次以保持土壤湿润。待可以辨别出幼苗时分别记录各个样品中的幼苗数,部分难以鉴定的幼苗移栽到另外的塑料盘,让其充分生长到可以识别为止。为促进种子的萌发,每半个月翻动 1 次土样。直到连续 6 周无新幼苗出现,方可认为土壤中的种子已经萌发完全。

2.3 数据处理

2.3.1 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活力种子数量来表示^[8]。将取样面积的种子数目换算为 1 m × 1 m 的数量即为土壤种子库的种子密度(用均值 ± 标准差表示)。

2.3.2 物种多样性 根据各群落种子库中物种数及其种子数量,分别采用 Margalef 丰富度指数、Shannon—Wiener 多样性指数公式计算种子库物种丰富度和物种多样性指数。均匀性指数采用 Pielou 系数公式计算种子库物种的均匀性系数^[9]。计算公式为 Margalef 丰富度指数

$$R = \frac{S-1}{\ln N}$$

Shannon—Wiener 多样性指数

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

Pielou 均匀性系数

$$E = \frac{H}{\ln S}$$

式中: S ——种子库中物种总数; N ——种子库中所有种的种子总数; P_i ——第 i 种植物的种子数占种子库中总种子数的比例; H ——Shannon—Wiener 多样性指数。

对采集的试验数据,选用 DPS 软件中的专业统计分析方法,进行数据处理与统计分析。

3 结果与分析

3.1 土壤种子库物种分析

3.1.1 种子库物种组成 本研究的试验结果表明,

在装有无种子细砂的对照塑料盘里没有幼苗出现,这说明了在本试验过程中没有空中传播的种子污染萌发装置。

由表 1 可以看出,在返青期和枯草期,封禁地和放牧地共统计到 37 种植物,隶属于 16 科,其中禾本科、菊科、唇形科、豆科和毛茛科出现的种类较多。

表 1 不同样地土壤种子库主要植物种及种子密度

植物科名	植物种名	种子库密度/(粒·m ⁻²)				
		生活型	返青期		枯黄期	
			封禁	放牧	封禁	放牧
禾本科 (Gramineae)	硬质早熟禾(<i>Poa sphondylodes</i>)	P	7231.2	2452.3	0	565.9
	厚穗冰草(<i>A. dasystachys</i>)	P	0	0	31.44	0
	本氏针茅(<i>S. bungeana</i>)	P	1226.2	125.8	3489.8	1131.8
	大针茅(<i>S. grandis</i>)	P	2483.8	1949.3	4810.3	4401.6
	芨草(<i>Arthraxon hispidus</i>)	A	0	0	31.44	0
菊科 (Compositae)	阿尔泰狗娃花(<i>Anaphalis tataricus</i>)	P	2358.0	2546.6	7860.0	8048.6
	茵陈蒿(<i>A. capillaris</i>)	A	188.6	0	2546.6	660.2
	风毛菊(<i>Saussurea japonica</i>)	P	62.9	94.3	345.8	0
	黄鼠草(<i>Lexeria sonchifolia</i>)	P	188.6	188.6	251.5	0
	冷蒿(<i>A. frigida</i>)	S	1886.4	1163.3	0	0
	铁杆蒿(<i>A. sacrorum</i>)	P	62.9	0	0	0
	苦苣菜(<i>Sonchus oleraceus</i>)	A	62.9	0	0	0
	百里香(<i>T. mongolicus</i>)	P	2892.5	220.1	29616.5	14430.9
唇形科 (Labiatae)	异叶青兰(<i>Dracocephalum heterophyllum</i>)	P	0	0	3867.1	4055.8
	野薄荷(<i>Mentha haplocalyx</i>)	P	2358.0	691.7	220.1	188.6
	香薷(<i>Elsholtzia ciliata</i>)	A	0	0	220.1	0
	风轮草(<i>Clinopodium umbrosum</i>)	P	0	0	0	31.44
豆科 (Panunculaceae)	天蓝苜蓿(<i>Medicago lupulina</i>)	P	5219.0	4716.0	0	0
	达乌里胡枝子(<i>Lespedeza bicolor</i>)	S	6728.2	1414.8	754.6	345.8
	野豌豆(<i>Vicia sepium</i>)	A	848.9	157.2	377.3	0
	草木樨状紫云英(<i>Astragalus melilotoides</i>)	P	345.8	848.9	62.9	0
	尖叶铁扫帚(<i>Lespedeza hedysaroides</i>)	S	0	125.8	0	0
毛茛科 (Panunculaceae)	瓣蕊唐松草(<i>Thalictrum aquilegifolium</i>)	P	125.8	0	125.8	0
	大花飞燕草(<i>Delphinium grandiflorum</i>)	P	0	0	157.2	62.9
	野棉花(<i>Anemone vitifolia</i>)	P	0	0	94.3	31.4
	翻白草(<i>Herba Potentillae Chinensis</i>)	P	62.9	0	0	0
蔷薇科(Posaceae)	星毛委陵菜(<i>Potentilla acaulis</i>)	A	1792.1	377.3	0	0
报春花科(Primulaceae)	直径点地梅(<i>Androsace umbellata</i>)	A	2263.7	377.3	3615.6	3930.0
锦葵科(Malvaceae)	锦葵(<i>Malvaceae sylvestris</i>)	P	0	0	157.2	125.8
堇菜科(Violaceae)	紫花地丁(<i>Viola philippica</i>)	P	4716.0	1980.7	471.6	157.2
藜科(Chenopodiaceae)	藜(<i>Chenopodium serotinum</i>)	A	0	0	31.44	0
玄参科(Scrophulariaceae)	马先蒿(<i>Pedicularis ternata</i>)	P	0	0	283.0	0
伞形科(Umbelliferae)	迷果芹(<i>Sphallerocarpus gracilis</i>)	A	0	0	157.2	62.9
茜草科(Rubiaceae)	茜草(<i>Rubra cordifolia</i>)	P	597.4	471.6	0	0
平车前科(Plantaginaceae)	平车前(<i>Plantago asiatica</i>)	P	62.9	0	0	0
龙胆科(Gentianaceae)	鳞叶龙胆(<i>Gentiana squarrosa</i>)	A	125.8	0	0	0
旋花科(Convulvaceae)	田旋花(<i>Convolvulus arvensis</i>)	P	94.0	0	0	0
植物种数			25	18	24	16
密度合计			2443.6	1105.6	3309.9	2123.9
月份间差异		**	b	c	a	b

注:S代表灌木;P代表多年生草本;A代表一年生草本。**表示显著性水平0.01,下同。

在返青期统计到 26 种植物,隶属于 12 科,其中封禁地主要有 25 种物种组成,放牧地有 18 种组成。种子库中豆科、禾本科、唇形科、菊科和堇菜科占优势,在封禁地各占比例为 29.9%,24.9%,11.9%,10.9%,10.7%;在放牧地所比例分别为 36.5%,22.7%,4.6%,20.0%,10.0%。枯黄期的土壤种子库的物种组成与返青期的组成差异较大,共有 26 种,隶属于 11 科。在封禁地主要有 24 种物种组成,放牧地有 16 种。与返青期相比,各物种所占比例也发生了明显的变化。在封禁地豆科降至 2.0%,禾本科降至 14.3%,堇菜科降至 10.7%,但唇形科和菊科有大幅度提高,分别为 56.9%,18.5%。放牧地的变化趋势和封禁地一样,豆科、禾本科、堇菜科分别降至 0.9%,16.0%,0.4%;唇形科和菊科提高到 48.9%,22.8%。豆科、禾本科、唇形科、菊科、堇菜科仍是在

物种组成上占优势,而且在各科内部,种子数量也主要集中在 1~2 种上,如禾本科的大针茅和香茅草,菊科的紫菀,唇形科的百里香和异叶青兰。在枯黄期的唇形科和菊科所占比例大幅度提高主要是由于紫菀、百里香、异叶青兰的大量出现。偶见种冰草、苕草、异叶青兰、香薷、风轮草、锦葵、藜、马先蒿、迷果芹在返青期种子库未出现,在枯黄期种子库出现;而冷蒿、铁杆蒿、苦苣菜、天蓝苜蓿、尖叶铁扫帚、星毛委陵菜、茜草、平车前、鳞叶龙胆在返青期出现,在枯黄期消失。

3.1.2 土壤种子库与生活型的关系 由表 2 可以看出,在返青期和枯黄期,土壤种子库在物种数比例上都表现出多年生草本植物 > 一二年生草本植物 > 灌木,但在发芽数比例上呈现不一致变化规律。返青期:多年生草本植物 > 灌木 > 一二年生草本植物;枯黄期:多年生草本植物 > 一二年生草本植物 > 灌木。

表 2 不同样地土壤种子库的生活型

生活型	返青期				枯黄期			
	物种所占比例		种子所占比例		物种所占比例		种子所占比例	
	封禁地	放牧地	封禁地	放牧地	封禁地	放牧地	封禁地	放牧地
P	68.0	66.7	67.8	81.8	70.8	75.0	87.4	86.9
A	24.0	16.7	12.6	4.6	25.0	18.8	11.3	12.2
S	8.0	16.6	19.6	13.6	4.2	6.2	1.3	0.9

3.2 土壤种子库的时空格局

3.2.1 土壤种子库的季节变化特征 由表 1 也可以看出,封禁地种子库密度在返青期为 2 443 粒/m²,在枯黄期为 3 310 粒/m²;放牧地种子库密度在返青期为 1 106 粒/m²,在枯黄期为 2 124 粒/m²。经方差分析,在 0.01 水平差异显著。由此可见,与返青期相比,种子库密度在枯黄期显著提高。这主要是因为枯黄期时植物成熟并已经散布种子,大量补充了土壤中的种子库,极大地提高了种子库密度。而返青期的种子较低,主要因为经过上一年秋季和冬季,一部分种子由于腐烂而失去活力,一部分种子被采食,特别是放牧地。

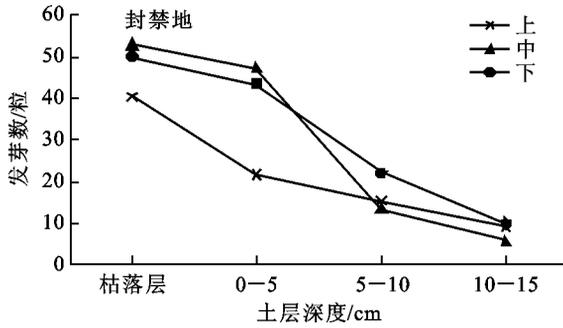
3.2.2 土壤种子库的空间格局

(1) 土壤种子库的垂直分布格局。在封禁地和放牧地分坡向坡位取样,并在土壤中分 4 层取样,即枯枝落叶层;0—5 cm,5—10 cm,10—15 cm。经统计分析,发现种子库的分布随土壤深度的变化具有规律性。以种子库在枯黄期封禁地阴坡和放牧地阴坡的分布为例,如图 1 所示,种子发芽数在阴坡的上坡、中坡和下坡均表现出 0—5 cm > 5—10 cm > 10—15 cm,但枯枝落叶层的种子发芽数在封禁地比其它层都高,而在放牧地低于 0—5 cm。封禁地随着封禁年

限的延长,地面凋落物的厚度甚至达到 3.5 cm,致使以禾本科为主有 51.3% 的植物种子悬浮于枯落物层^[10],因此枯落物层的种子存量较多。放牧地由于人为和动物采食,形成很薄落叶层,甚至没有,因此枯落物层中的种子存量较少。除了枯落物层储量之外,种子库在封禁地和放牧地土壤中均表现出 0—5 cm > 5—10 cm > 10—15 cm。经方差分析 4 个土层内种子发芽数量存在显著差异,随着深度的增加有活力的种子数也在减少,10—15 cm 及 10 cm 以下几乎没有种子,即使偶尔出现也不具有活力,因此完全可以忽略 10 cm 以下土层中的植物种子。由此可见,半干旱区黄土高原草地土壤种子库主要集中在 10 cm 以上。这可能主要是因为大多数种子较轻,主要依靠风力传播,重力较小不利于种子向深层下渗,而且有的种子寿命较短,经过较长时间下渗到深层已经失去活力。

(2) 立地条件对土壤种子库分布的影响。对该区封禁地和放牧地土壤种子库的种子,进行自然发芽试验,测定结果为,封禁样地的土壤种子库的密度明显高于放牧样地,说明实施封禁提高了土壤种子库种子密度。从表 3 可以看出,土壤种子库在封禁和放牧样地的变化趋势:阴坡 > 阳坡;下坡 > 中坡 > 上坡。一般来说,阴坡蒸发量小,土壤含水量较大,植被生长

旺盛,枯枝落叶层相对阳坡较厚,为种子库提供大量的种子来源。坡位对土壤种子库的影响,主要是受自然条件的影响较大,尤其是放牧地。在降雨和风力的作用下,在植物种子成熟期间,天然降雨多以暴雨出现,形成地表径流,使泥土与种子混合自上而下层层拦截。同时,当地为多风气候,风力也可不断推动大量种子漂移。



3.3 土壤种子库物种多样性

从表 4 可知,从返青期到枯黄期,封禁地和放牧地土壤种子库的 Margalef 丰富度、Shannon—Wiener 指数、Pielou 均匀性指数都呈下降趋势。也可以看出在返青期和枯黄期,封禁地土壤种子库中的 Margalef 丰富度和 Shannon—Wiener 指数都高于放牧地, Pielou 均匀性指数低于放牧地。

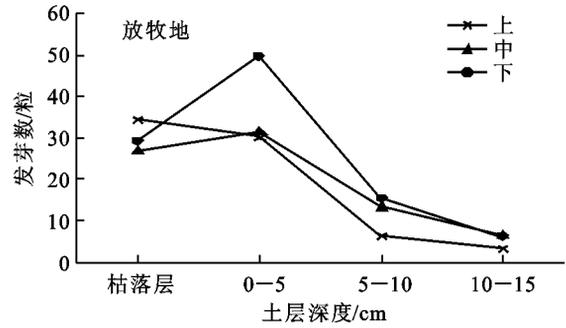


图 1 不同立地条件土壤种子库的垂直分布

表 3 不同样地土壤种子库的分布格局

样地	坡向	返青期			枯黄期		
		上坡	中坡	下坡	上坡	中坡	下坡
封禁地	阴坡	1 184 ±210c	3 008 ±21a	3 333 ±173a	2 714 ±1011b	3 752 ±65ab	3 930 ±665a
	阳坡	1 018 ±83c	2 138 ±31b	3 081 ±432a	2 872 ±538ab	3 081 ±556ab	3 511 ±637ab
放牧地	阴坡	828 ±55cd	1 541 ±126b	2 326 ±316a	2 327 ±855ab	2 484 ±931ab	3 144 ±381a
	阳坡	147 ±10e	545 ±109de	1 247 ±246bc	964 ±367c	1 635 ±34bc	2 190 ±232ab

注:数据后标相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$),标不同字母者表示差异显著 ($P < 0.05$)。

表 4 不同样地土壤种子库的丰富度、均匀性及多样性指数

样地	返青期			枯黄期		
	Margalef 指数	Shannon—Wiener 指数	Pielou 指数	Margalef 指数	Shannon—Wiener 指数	Pielou 指数
封禁地	3.31	2.562	0.801	3.05	1.801	0.540
放牧地	2.64	2.385	0.825	2.29	1.482	0.567

4 结论

(1) 土壤种子库的物种组成和大小一直是土壤种子库研究的基本内容,是开展土壤种子库各方面研究的基础。不同植被或群落类型的土壤种子库具有不同的物种组成。不同群落如沙漠^[11]、干旱草地^[12]和森林^[13]等的很多研究显示,土壤中存在着一个由具有萌发能力的种子组成的种子库,并且各群落的土壤种子库组成具有很高的变异性。本研究结果也表明封禁地和放牧地的土壤种子库的物种组成差异较大。其原因为土壤种子库的物种组成主要受其地上植被的影响。另外群落所处演替阶段、动物采食行为、种子的生化特性等各种因素也影响土壤种子库的物种组成。

(2) 在该区封禁地和放牧地的土壤种子库中共统计到 37 个物种,隶属于 16 科,其中禾本科、菊科、唇形科、豆科和毛茛科的植物占优势。返青期与枯黄期相比,土壤种子库中物种组成和各物种所占的比例都有很大的差异。从返青期到枯黄期,豆科、禾本科、堇菜科所占比例都呈下降趋势,唇形科和菊科所占比例明显提高,这与各种植物的生物学特性有关。

(3) 按生活型划分,该区土壤种子库各物种所占比例变化趋势为:多年生草本植物 > 一二年生草本植物 > 灌木,这与安塞黄土丘陵沟壑区退耕地的土壤种子库特征的研究结果相一致^[7]。在枯黄期,一二年生植物已经完成生命周期,种子已经成熟并掉落,大量补充了土壤中的种子库。而灌木的种子成熟相对较晚,并未完全成熟,因此土壤中的灌木种子数量较少。

(4) 本试验研究发现,与返青期相比,种子库密度在枯黄期显著提高。种子库的季节格局与地点无关,而与物种有关。土壤种子库在封禁地和放牧地的季节变化特征一致。土壤种子库不仅具有季节动态,而且具有年际变化。因此对土壤种子库时间动态的研究,应包括季节和年际动态观察研究。以后继续加深对土壤种子库时间动态地研究,利于掌握种子库中各种可萌发种子在草地生态系统植被更新上的时间机制。由于本试验在试验室内处于室温状态下进行,而实际半干旱地区的自然条件很恶劣,因此实际土壤种子库可萌发种子的数量可能会远远小于试验室的结果。

(5) 土壤种子库在空间上也呈现一定的规律性。种子库种子密度在垂直分布上呈现出由表层土壤向深层逐层减少的变化规律。在水平分布上的变化规律为:封禁 > 放牧;阴坡 > 阳坡;下坡 > 中坡 > 上坡。

(6) 目前,对于植物群落物种多样性的研究多采用物种丰富度指数、Shannon—Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数进行衡量。本次试验得出封禁地的种子库 Margalef 丰富度和 Shannon—Wiener 指数明显高于放牧地。在自由放牧条件下,土壤黏粒、有机质和有机碳含量很低,粉沙粒含量较高,土壤综合性状明显恶化,导致种子库的物种多样性下降,并且还使适口性好的优良草种在地上植被中消失。然而对放牧草地实施封禁措施后,随着植物种类、盖度和密度的增加,植被得以恢复,从而降低了土壤风蚀,有效减少了土壤养分的吹蚀;同时植被的恢复还可增加凋落物的输入来改善土壤性状,土壤性状的改善又有利于其它植物种的入侵和定居,由此形成一个植被—土壤相互作用的良性循环系统。封禁地的种子库均匀性指数低于放牧地。这一结果与对放牧条件下冷蒿草原土壤种子库特征研究报道随着放牧压力的增加土壤种子库种类组成减少,其群落种子库分布的均匀度增加^[18]相近。在草地生态系统中,动物不仅是种子的捕食者,同时也是传播种子的重要媒介。因此家畜充当了传播牧草种子的重要角色,使得放牧地的均匀性高于封禁地。

[参 考 文 献]

- [1] 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): 552—560.
- [2] Chambers J C. Seed and vegetation dynamics in an alpine herb field: effects of disturbance type[J]. Can. J. Bot., 1993, 71: 471—485.
- [3] Li Y Y, Shao M A, Zheng J Y, et al. Spatial-temporal changes of soil organic carbon during vegetation recovery at Ziwuling, China[J]. Pedosphere, 2005, 15(5): 601—610.
- [4] Zheng F L. Effect of vegetation changes on soil erosion on the Loess Plateau[J]. Pedosphere, 2006, 16(4): 420—427.
- [5] 焦菊英,焦峰,温仲明. 黄土丘陵沟壑区不同恢复方式下植物群落的土壤水分和养分特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 667—674.
- [6] 魏兴虎,谢忠奎,段争虎. 黄土高原西部弃耕地植被恢复与土壤水分调控研究[J]. 中国沙漠, 2006, 6(4): 590—595.
- [7] 白文娟,焦菊英,张振国. 安塞黄土丘陵沟壑区退耕地土壤种子库特征[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 65—72.
- [8] 杨跃军,李向阳,王保平. 森林土壤种子库与天然更新[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 304—308.
- [9] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I: 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162—168.
- [10] 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.
- [11] Reichman J. Spatial and temporal variation of seed distribution in Sonoran desert soils[J]. Journal of Biogeography, 1984, 11: 1—11.
- [12] Thompson K. Small-scale heterogeneity in the seed bank of an acid grassland[J]. Journal of Ecology, 1986, 74: 733—738.
- [13] Izhaki I, Ne'eman G. Soil seed bank in Mediterranean pine forest [C]// Ne'eman G L. Traud eds. Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutica* forest ecosystems in the Mediterranean Basin. Leiden, the Netherlands: Backhuys Publishers, 2000.