

# 石羊河上游干旱草原阴山扁蓿豆群落土壤种子库

董小刚, 赵成章, 张起鹏, 周伟, 姚强

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘 要:** 土壤种子库是地上植被补充更新的源泉, 土壤种子库的研究已成为植物种群生态学研究相当活跃的领域。在石羊河上游干旱草原选择阴山扁蓿豆草地群落, 研究了草地土壤种子库的物种组成、密度、多样性特征以及与地上植被的关系。结果表明, 阴山扁蓿豆草地群落土壤种子库共有 20 个物种, 分属 12 科。随阴山扁蓿豆盖度减小, 土壤种子库密度和种类在水平方向上增加, 种子库密度垂直分布呈现 0—5 cm > 10—15 cm > 5—10 cm 土层, 物种数量随深度而减少; 在阴山扁蓿豆盖度 > 60% 的草地群落未发现其种子库的存在。土壤种子库的 Margalef 丰富度指数、Shannon—Wiener 多样性指数和 Pielow 均匀度指数随阴山扁蓿豆盖度减小呈上升趋势, 生态优势度由 0.46 下降至 0.24; 各草地群落土壤种子库与地上植被的相似性系数在 0.29~0.58 之间。

**关键词:** 阴山扁蓿豆群落; 退化草地; 土壤种子库; 石羊河上游

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0041-05

中图分类号: S812.8

## Soil Seed Bank of *Melilotoides Ruthenicus var. Inschanicus* Community on the Arid Grassland in the Upstream Area of Shiyang River

DONG Xiao-gang, ZHAO Cheng-zhang, ZHANG Qi-peng, ZHOU Wei, YAO Qiang

(College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Soil seed bank is the renewal source of standing vegetation and researches on it become quite active in the area of plant population ecology. This paper studies the species composition, density, diversity, and the relationship between seed and standing vegetation about soil seed bank of *Melilotoides ruthenicus var. inschanicus* community on the arid grassland in the upstream area of Shiyang River. Results showed that a total of 20 plant species belonging to 12 families were found in the soil seed bank. The density and specie of soil seed bank increased with the decrease in *Melilotoides ruthenicus var. inschanicus*'s coverage in the horizontal distribution. The vertical distribution of density changed in the order of 0—5 cm > 10—15 cm > 5—10 cm soil depth, but the species decreased with the increased depth. There was no seed exist in the grassland community where the *Melilotoides ruthenicus var. inschanicus*'s coverage is more than 60%. With the decrease in *Melilotoides ruthenicus var. inschanicus*'s coverage, the Margalef richness index, Shannon—Wiener diversity index, and Pielow evenness index of the soil seed bank showed a rising trend, but ecological dominance showed a descending trend, decreasing from 0.46 to 0.24. The similarity coefficient of the soil seed bank and standing vegetation varied from 0.29 to 0.58.

**Keywords:** *Melilotoides ruthenicus var. inschanicus* community; degraded grassland; soil seed bank; upstream area of Shiyang River

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<sup>[1]</sup>。土壤种子库是潜在的植物群落体系,是生态系统的重要组成部分<sup>[2]</sup>,它是植物生活史过程中的重要生存策略之

一,当地表植被遭到毁灭或干扰时,土壤中存在的持久种子具有潜在恢复力,能保证植被恢复和种群的发展<sup>[3]</sup>。与种子相对的繁殖构件是植物的块茎、鳞茎、珠芽、地面匍匐茎和地下根茎等,它们产生新的无性

收稿日期:2009-01-06

修回日期:2009-06-04

资助项目:国家十一五科技支撑计划项目(2007BAD46B07);甘肃省生态经济重点学科和西北师范大学知识与科技创新工程(NWNU-KJCGC-03-46)

作者简介:董小刚(1982—),男(汉族),甘肃省庆阳市人,硕士研究生,研究方向为恢复生态学和生态经济。E-mail:dongxg121@163.com。

通信作者:赵成章(1967—),男(汉族),甘肃省武威市人,博士,副教授,研究方向为恢复生态学与生态经济。E-mail:zhaozc@nwnu.edu.cn。

系分株(ramets),拓展无性系进行繁殖,称之为克隆繁殖(clone propagation),也称无性繁殖或营养繁殖(vegetative propagation)<sup>[4]</sup>,大多研究结果表明干旱草原大部分植物采取有性繁殖和克隆繁殖并存的繁殖策略。草地土壤种子库的研究不仅与植物种群生态学的理论研究密切相关,而且广泛应用到许多领域,如植物群落和物种的保护、草地管理和恢复,以及预测由环境变化所导致的植被潜在变化等<sup>[5-6]</sup>,因此近年来有关草地土壤种子库的研究备受关注。国内学者开展了大量有关土壤种子库方面的实验研究<sup>[7-10]</sup>,土壤种子库的调查已成为植物生态学研究不可缺少的一部分。

阴山扁蓿豆广泛分布于我国西北、华北、内蒙古等地,是一种抗寒、耐旱性极强的扁蓿豆属多年生草本植物,其种群叶量丰富、富含蛋白质,对增加高寒地区饲用蛋白质来源、维持群落营养平衡<sup>[11]</sup>和保护群落生物多样性起至关重要的作用。阴山扁蓿豆群落土壤种子库研究,对于天然草地优良豆科牧草种群更新和草地植物多样性保护具有重要意义。目前,国内学者对阴山扁蓿豆草地群落及其土壤种子库规律关注较少。为此,以石羊河上游干旱草原阴山扁蓿豆群落为例,分析了不同退化梯度草地群落土壤种子库特征及其与地上植被的关系,以期对石羊河上游草地群落土壤种子库和地上种群演替关系的研究奠定基础,并为我国西北内陆河流域退化草原植被恢复和动态研究提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

石羊河是甘肃河西走廊三大内陆河流之一,发源于祁连山区,恶劣的自然条件和人类不合理开发利用,使该流域已成为我国西北内陆河流域生态环境问题最严重的区域,上游草原退化对流域生态系统服务功能造成严重破坏。研究区位于祁连山北坡中山区皇城盆地(37°53'N,101°50'E),海拔 2 610~2 750 m,年均温 1~2℃,年平均日照时数 2 800 h,无霜期 90 d,年降水量 320~400 mm,蒸发量 1 500~1 800 mm,相对湿度 65%,土壤为山地栗钙土,pH 值 8.3。研究区属山地草原草场,阴山扁蓿豆斑块分布、伴生有扁穗冰草(*A. gropyron cristatum*)、阿尔泰狗哇花(*Aster tataricus*)、麦瓶草(*Silene conoidea*)、赖草(*Leymus secalinus*)、鹤虱(*Lappula anisacantha*)等,受干旱气候影响,草地生产能力处于较低水平<sup>[12]</sup>。供试草地 20 世纪 80 年代初为阴山扁蓿豆—扁穗冰草+赖草,近几十年来在气候变迁和人类放牧

干扰影响下,发生了严重退化,其最明显特征是出现大量毒杂草为优势种的退化草地斑块。

### 1.2 样地设置与取样

2007 年 8 月 8 日至 17 日,在 12 hm<sup>2</sup> 草地上选择阴山扁蓿豆群落典型地段等距离(30 m,南北方向)设置 6 条长 300 m 的样线,在每条样线上等距离(15 m)设置 21 个固定样点,6 条样带共计 126 个样点。每个取样点设置 1 m×1 m 样方,样方内用内径 35 mm 土钻分土层(5 cm)随机钻取 0—15 cm 土样,10 次重复,将同一样方同层土样混合装袋,共取 378 个土样。同时观测样方内所有植物种的盖度、数量以及高度。首先在室内将每份土样依次过孔径 3 mm 和 0.25 mm 土壤筛,对留在 0.25 mm 筛中的土样反复冲洗干净后,拣选出所有种子并进行鉴定、统计。同时对挑选出的种子用四唑法<sup>[13]</sup>进行种子活力测定。其次,将筛选过的土样和挑拣剩余物均匀的铺在发芽盘内,约 2 cm 厚,每天定时喷洒适量水分,使土壤保持湿润。种子萌发出苗并生长一段时间后,将其鉴定到种,统计数量并将其去除,当连续 2 星期无种子萌发即视为试验结束,整个萌发试验持续 60 d。最后,将物理筛选和室内萌发所得的同种类种子数量累加作为衡量指标。按阴山扁蓿豆盖度分为 6 个退化梯度:(76%,13 个样方)、(61%~75%,18 个样方)、(46%~60%,20 个样方)、(31%~45%,25 个样方)、(16%~30%,21 个样方)、(1%~15%,29 个样方)。

### 1.3 数据处理

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,采用 Pielow 均匀度指数公式计算种子库物种的均匀度指数,计算公式为:

Margalef 丰富度指数

$$D = (S - 1) / \ln N$$

Shannon—Wiener 多样性指数

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

Pielow 均匀度指数

$$E = H / \ln S$$

生态优势度

$$C = \sum_{i=1}^s [n_i(n_i - 1) / N(N - 1)]$$

式中:  $S$ ——种子库物种总数;  $N$ ——种子库所有物种个体总数;  $n_i$ ——第  $i$  种的个体数。

群落相似性采用 Sorenson 相似性系数  $SC = 2w / (a + b)$  衡量。式中:  $w$ ——2 个样地共有种数;  $a, b$ ——分别为 2 个样地各自拥有的物种数。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤种子库的物种组成

在所研究的 6 个退化梯度中,土壤种子库物种组成最高 15 种,最低 6 种,共统计到 20 个物种,分属

12 科,以禾本科和菊科植物最多,豆科植物次之,其余各 1 种。

土壤种子库中豆科固氮植物占 15%,多年生禾草占 20%,多年生杂草占 35%,一、二年生杂草占 30%(表 1)。豆科植物阴山扁蓂豆的种子库密度很小。

表 1 阴山扁蓂豆群落土壤种子库种类及密度(平均数 ± 标准误差)

| 种名                                  | 科名   | 功能群 | 平均密度/(粒·m <sup>-2</sup> ) |
|-------------------------------------|------|-----|---------------------------|
| 阴山扁蓂豆( <i>M. peschkova</i> )        | 豆科   | LP  | 62.4 ± 16.1               |
| 小兰花棘豆( <i>O. glabra</i> )           | 豆科   | LP  | 2 699.8 ± 448.0           |
| 披针叶黄华( <i>T. lanceolata</i> )       | 豆科   | LP  | 58.2 ± 7.4                |
| 扁穗冰草( <i>A. cristatum</i> )         | 禾本科  | PG  | 626.7 ± 195.5             |
| 赖草( <i>L. secalinus</i> )           | 禾本科  | PG  | 1 605.8 ± 337.2           |
| 披碱草( <i>E. dahuricus</i> )          | 禾本科  | PG  | 385.7 ± 69.4              |
| 早熟禾( <i>P. annua</i> )              | 禾本科  | PG  | 1 236.7 ± 304.2           |
| 阿尔泰狗娃花( <i>H. altaicus</i> )        | 菊科   | PW  | 150.6 ± 37.0              |
| 灰绿藜( <i>C. glaucum</i> )            | 菊科   | AW  | 358.1 ± 75.2              |
| 冷蒿( <i>A. frigida</i> )             | 菊科   | PW  | 514.3 ± 74.1              |
| 火绒草( <i>L. leontopodioides</i> )    | 菊科   | PW  | 2 920.2 ± 346.9           |
| 星毛委陵菜( <i>P. aclaulis</i> )         | 蔷薇科  | PW  | 388.8 ± 81.6              |
| 马康草( <i>M. africana</i> )           | 十字花科 | AW  | 964.2 ± 175.0             |
| 巴天酸模( <i>R. patientia</i> )         | 科    | PW  | 152.4 ± 82.3              |
| 麦瓶草( <i>S. conoidea</i> )           | 石竹科  | AW  | 2 025.3 ± 244.3           |
| 柴胡( <i>B. falcatum</i> )            | 伞形科  | AW  | 1 744.8 ± 366.4           |
| 马先蒿( <i>P. artselaeri</i> )         | 玄参科  | AW  | 55.1 ± 17.1               |
| 狼毒( <i>S. chamaejasme</i> )         | 瑞香科  | PW  | 973.4 ± 117.8             |
| 碱韭( <i>A. polyrhizum</i> )          | 百合科  | PW  | 227.3 ± 14.1              |
| 鹤虱( <i>Carpesium abrotanoides</i> ) | 紫草科  | AW  | 202.0 ± 55.8              |

注: LP 为豆科固氮植物; PG 为多年生禾草; PW 为多年生杂草; AW 为一、二年生杂草。

### 2.2 土壤种子库的空间分布

2.2.1 水平分布特征 6 个退化梯度间 0—15 cm 土层土壤种子库平均密度为 9 057.7 ± 976.4 粒/m<sup>2</sup>,各梯度间种子库密度差异极显著(P < 0.01)。随阴山扁蓂豆盖度减小,草地群落土壤种子库密度呈现增大趋势,最小值出现在退化梯度 I,最大值出现在退化梯度 V;土壤种子库物种数呈增加趋势,最大值和最小值分别为 15 种和 6 种(图 1)。

2.2.2 垂直分布特征 土壤种子库的垂直分布受到许多因素的影响。重力、下渗水的带动、动物活动、地表径流和风等因素使种子移走或破坏,影响着种子库的垂直分布格局。土壤种子库密度垂直分布规律为: 0—5 cm > 10—15 cm > 5—10 cm 土层,种子库主要集中在 0—5 cm 土层(图 2),平均为 5 592.5 ± 1 621.9 粒/m<sup>2</sup>,5—10 cm 和 10—15 cm 土层种子库密度占 0—15 cm 土层平均值的 15.68% 和 22.58%。

随退化程度加剧,0—5 cm 和 10—15 cm 土层种子库密度和种类呈现增加趋势,5—10 cm 土层种子

库密度变化不明显(图 2)。不同土层间土壤种子库的密度差异显著(P < 0.05),土壤种子库的种类组成差异不显著(P > 0.05)。

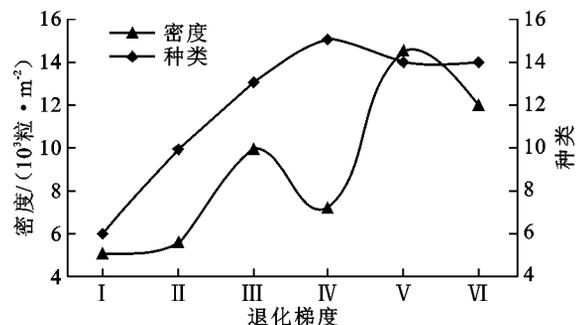


图 1 阴山扁蓂豆群落土壤种子库水平分布

### 2.3 主要植物的分布特征

为了便于研究草地群落主要植物的种子库分布格局,选择地带性原生植被建群种阴山扁蓂豆、扁穗冰草、赖草,以及种子库密度最大的一年生杂类草麦瓶草,分析不同退化梯度下种子库的分布特征(图 3)。

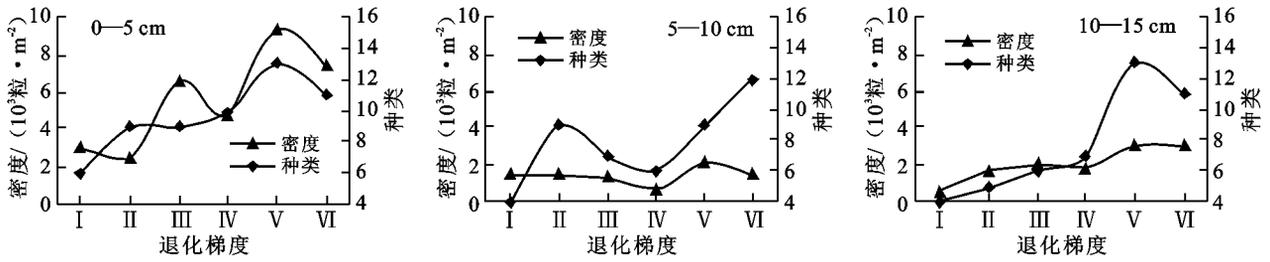


图 2 阴山扁蓿豆群落土壤种子库垂直分布

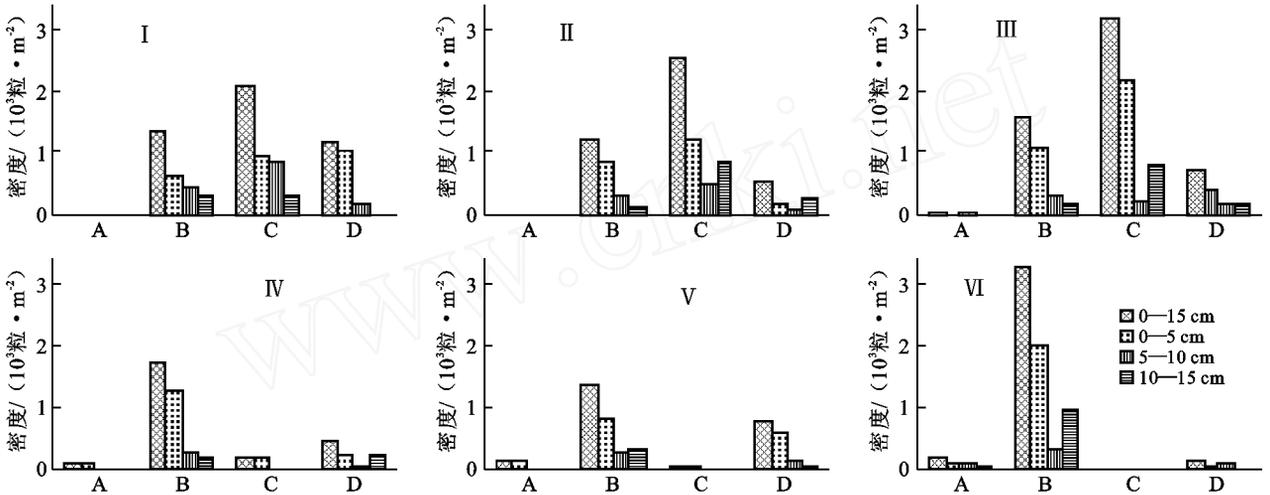


图 3 阴山扁蓿豆群落土壤种子库主要植物分布

注:A 阴山扁蓿豆 B 麦瓶草 C 赖草 D 扁穗冰草

图 3 资料表明,阴山扁蓿豆种子库在 I 退化梯度中未出现,出现于 II—VI 退化梯度,种子库趋于上层分布,但数量极少;麦瓶草种子库密度出现 10—15 cm > 5—10 cm 土层现象,各层种子库密度较大,在退化梯度 III 出现最大值;赖草种子随退化梯度呈现先增加后减少的规律,在退化梯度 IV 未出现种子,层间变化不明显;扁穗冰草在各个退化梯度的样方中都出现种子,垂直变化不明显,出现 10—15 cm > 0—5 cm 土层现象。

扁穗冰草、赖草出现下层密度大于上层的现象,这与其繁殖策略有关,它们和阴山扁蓿豆一样为营养繁殖植物,这与何池全等<sup>[4]</sup>对禾本科植物的营养繁殖研究结果相似。麦瓶草为一次繁殖植物,其繁殖分配较高,在恶劣环境和种间竞争胁迫下采取“大爆炸 (big bang)”的形式<sup>[14]</sup>。

### 2.4 土壤种子库的物种多样性

物种丰富度指数表明了生态系统中物种数目的多少<sup>[15]</sup>;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,同时并用它们能更好地表征群落的结构组成水平<sup>[16]</sup>;均匀度指数反应了群落或生境中全部物种个体数的分配状况,即各物种个体分配的均匀程度(图 4)。

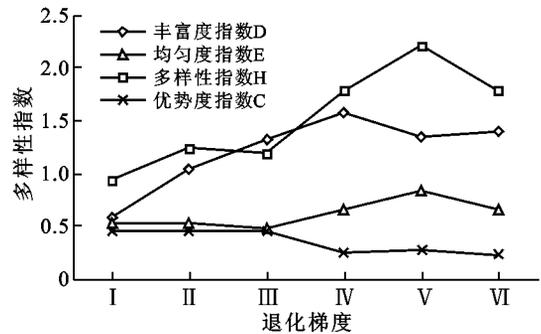


图 4 阴山扁蓿豆群落土壤种子库物种多样性

图 4 资料表明,随阴山扁蓿豆盖度减小,草地群落土壤种子库的 Margalef 丰富度指数、Shannon—Wiener 多样性指数和 Pielow 均匀度指数均呈上升趋势,均匀度指数较低,生态优势度呈下降趋势。

### 2.5 土壤种子库与地上植被的关系

地上植被除麦瓶草、柴胡和扁穗冰草与土壤种子库物种一一对应外,其它都不完全对应,其中地上植被包括但土壤种子库中未发现的植物为针茅,土壤种子库中发现但地上植被不包括的植物有 7 种,分别是灰绿藜、鹤虱、碱韭、早熟禾、星毛委陵菜、巴天酸模和披碱草,表明退化草地土壤种子库作为潜在的植物群落保存有比地上植被要丰富的物种。

群落相似性大小在一定程度上可以反映群落的时空结构<sup>[17]</sup>。相似性高低与地上植被繁殖策略有关,营养繁殖占优势的群落中其相似性一般较低。阴山扁蓂豆草地群落土壤种子库与地上植被在种类组成上存在显著差异,相似性系数在 0.29~0.58 之间,为中等不相似(表 2)。

表 2 土壤种子库与地上植被的相似性

| 退化梯度   |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 种子库物种  | 6    | 10   | 13   | 15   | 14   | 14   |
| 地上植物物种 | 3    | 4    | 11   | 9    | 7    | 7    |
| 相似性系数  | 0.44 | 0.29 | 0.58 | 0.33 | 0.48 | 0.38 |

### 3 讨论

土壤种子库野外采集常用的方法有:大数量的小样方法、小数量的大样方法、大单位内子样方再分为亚单位小样方法<sup>[18]</sup>。我国学者对国内外土壤种子库研究进展进行了细致分析,认为大数量的小样方法比较适合土壤种子库的研究,但对小样方的大小、数量和采样深度,目前还没有一个统一的标准。沈有信对国内有关土壤种子库采样深度的文献做了统计,以 10 和 5 cm 最为普遍,分别占总样地数的 55.7% 和 23.4%<sup>[19]</sup>。本研究采用大数量的小样方法获取 15 cm 土样,具有普遍性和代表性。

种子在土壤中的分布由种子扩散和种子的体积、形状等自身特性决定。通常种子数量多而体积小的植物具有较大的土壤种子库,而体积大、易被取食的种子数量较少,且深层土壤中的小种子多于表层土壤<sup>[20]</sup>。草地土壤种子库种子容量范围为  $10^3 \sim 10^6$  粒/ $m^2$ ,本研究结果土壤种子库与其他草地土壤种子库处于同一数量级。土壤种子库主要集中于 5 cm 土层,10 cm 以下土层种子相对较少,但高于中层,与赵凌平等<sup>[21]</sup>对黄土高原典型草原区草地土壤种子库的研究结果有所差异。

群落物种多样性的研究,可以很好地认识群落的组成、变化和发展<sup>[22]</sup>,对退化生态系统功能的恢复和生物多样性保护具有重要的理论和实践意义。一般说来,生态优势度高的种子库物种多样性指数低,这种规律本文得到较好的体现,并与孙海群等<sup>[23]</sup>对小嵩草草甸植物群落多样性研究结果相似。

营养繁殖是根茎型植物在一定环境条件下形成的一种生态适应对策,此类植物一旦定居,既可以依靠有性繁殖维持种群的持续更新,也可以依靠营养繁殖不断地扩展种群的资源空间。阴山扁蓂豆有营养繁殖和有性繁殖两种繁殖方式,每年 8、9 月份在根孽部位形

成许多强壮的地下越冬芽,翌年春天出土,植株极少结实,结实率非常低<sup>[11]</sup>,土壤种子库非常小。可能有两方面原因:一是阴山扁蓂豆是虫媒花中严格的异花授粉植物,研究区域传粉昆虫稀少,花粉传播受限,植株根本不产生种子,或产生少量种子,但在土壤微生物作用下失去活性或腐烂;二是阴山扁蓂豆的繁殖策略为 K 选择,资源分配集中于生长阶段,在水、热等气候条件不良的环境中,主要依靠地下根茎的营养繁殖扩展营养空间,投入种子繁殖的资源有限。

### 4 结论

(1) 阴山扁蓂豆草地群落土壤种子库物种以多年生杂草居多,土壤种子库密度和物种数量随建群种阴山扁蓂豆退化程度加剧呈增大趋势,土壤种子库密度垂直分布表现为 0—5 cm > 10—15 cm > 5—10 cm 土层。

(2) 阴山扁蓂豆草地群落土壤种子库的 Shannon—Wiener 多样性指数与生态优势度呈显著线性负相关,  $r = -0.8823$  ( $P < 0.05$ )。阴山扁蓂豆分盖度大的群落优势种少,结构单一;分盖度小的群落优势种和亚优势种较多,结构较复杂,随退化加剧,优势种趋向不明显。

(3) 阴山扁蓂豆的繁殖策略以营养繁殖为主,土壤种子库很小,本试验结果为  $62.4 \pm 16.1$  粒/ $m^2$ ,且在阴山扁蓂豆分盖度 > 60% 的草地群落中未发现其种子库的存在。

(4) 阴山扁蓂豆草地群落土壤种子库与地上植被的相似性系数在 0.29~0.58 之间,表现为中等不相似,土壤种子库保存有比地上植被要丰富的物种。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Simpson R L. Ecology of soil seed bank [M]. San Diego: Academic Press, 1989:149-209.
- [2] 班勇. 土壤种子库的结构与动态[J]. 生态学杂志, 1995, 14(6):42-47.
- [3] Harper J L. The seed bank [M]// Harper J L. Population biology of plants. San Diego: Academic Press, 1977:83-110.
- [4] 何池全, 赵魁义, 余国营. 湿地克隆植物的繁殖对策与生态适应性[J]. 生态学杂志, 1999, 18(6):38-46.
- [5] Hodgson J G, Grime J P. The role of dispersal mechanisms strategies and seed banks in the vegetation dynamics of the British landscape [C]// Buncer G H, Howard D C. Species dispersal in agricultural habitats. London: Belhaven Press, 1990:65-81.
- [6] 吕世海, 卢欣石, 曹帮华. 呼伦贝尔草地风蚀沙化地土壤种子库多样性研究[J]. 中国草地, 2005, 27(3):5-10.

(下转第 63 页)

- [12] 丁瑞强,王式功,尚可政,等.近45 a我国沙尘暴和扬尘天气变化趋势和突变分析[J].中国沙漠,2003,23(3):306-310.
- [13] 钱正安,宋敏红,李万元.近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J].中国沙漠,2002,22(2):106-111.
- [14] 王式功,王金艳,周自江,等.中国沙尘天气的区域特征[J].地理学报,2003,58(2):193-200.
- [15] 钱维宏,朱亚芬,时少英,等.中国沙尘天气变化的时空分布特征及其气候原因[J].地理学报,2001,56(4):477-485.
- [16] 丘新法,曾燕,缪启龙.我国沙尘暴的时空分布规律及其源和移动路径[J].地理学报,2001,56(3):317-322.
- [17] 延昊,王长耀,牛铮,等.东亚沙尘源地、沙尘输送路径的遥感研究[J].地理科学进展,2002,21(1):90-94.
- [18] 许炳心.黄土高原地区沙尘暴形成的自然地理因素:影响因素分析[J].中国沙漠,2005,25(4):547-551.
- [19] 张莉,丁一汇,任国玉,等.我国北方沙尘天气演变趋势及其成因[J].应用气象学报,2005,16(5):583-592.
- [20] 申元村,杨勤业,景可,等.我国的沙尘暴、尘暴灾害及其防治[J].中国减灾,2001,11(2):27-30.
- [21] 路明.我国沙尘暴发生成因及其防御策略[J].中国农业科学,2002,35(4):440-446.
- [22] 毛睿,龚道溢,范一大.春季天气变率对华北沙尘暴频次的影响[J].地理学报,2005,60(1):513-521.
- [23] 尤凤春,史印山,付桂琴,等.河北省沙尘暴天气成因分析[J].高原气象,2005,24(4):642-647.
- [24] 付桂琴,尤凤春.河北省西北大风沙尘暴天气特征分析[J].河北气象,2004,23(1):2-4.
- [25] 柴东红,宋晓辉,李国翠,等.石家庄地区沙尘天气分析[J].中国沙漠,2008,28(2):377-380.
- [26] 杨前进.沙尘暴沉降物的粒度特征及其环境意义[J].中国沙漠,2004,24(1):47-50.
- [27] 张小曳.2006年春季的东北亚沙尘暴[M].北京:气象出版社,2006:18-19.
- [28] 毛睿,龚道溢.华北春季沙尘暴频次与环流年际变率的相关分析[J].高原气象,2007,26(5):1023-1030.

(上接第45页)

- [7] 赵文智,白四明.科尔沁沙地围封草地种子库特征[J].中国沙漠,2001,21(2):204-208.
- [8] 赵丽娅,李锋瑞.沙漠化过程土壤种子库特征的研究[J].干旱区研究,2003,20(4):317-321.
- [9] 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.
- [10] 徐海量,李吉玖,王增如.塔里木河下游土壤种子库的空间分布特征分析[J].水土保持学报,2007,21(6):183-186.
- [11] 贾笃敬,张映生,张自和,等.高寒地区优良豆科牧草阴山扁蓿豆一些性状的研究[J].甘肃农学报,1984(1):63-69.
- [12] 赵成章,樊胜岳,殷翠琴.毒杂草型退化草地植被群落特征的研究[J].中国沙漠,2004,24(4):507-512.
- [13] 傅家瑞.种子生理[M].北京:科学出版社,1985.
- [14] 张景光,王新平,李新荣,等.荒漠植物生活史对策研究进展与展望[J].中国沙漠,2005,25(3):306-314.
- [15] 邵新庆,王堃,吕进英.华北农牧交错带退化草地土壤种子库动态变化[J].草业科学,2005,22(11):8-11.
- [16] 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.
- [17] 吕世海,卢欣石.呼伦贝尔草地风蚀沙化植被生物多样性研究[J].中国草地学报,2006,28(4):6-10.
- [18] Roberts H A. Seed banks in soils. In: Advances in Applied Biology [M]. London: Academic Press, 1981:1-55.
- [19] 沈有信,赵春燕.中国土壤种子库研究进展与挑战[J].应用生态学报,2009,20(2):467-473.
- [20] Caballero I, Olano J M, Loidi J, et al. Seed bank structure along a semi-arid gypsum gradient in Central Spain [J]. Journal of Arid Environments, 2003, 55(2):287-299.
- [21] 赵凌平,程积民,万惠娥.黄土高原典型草原区草地土壤种子库的动态分析[J].水土保持通报,2008,28(5):60-65.
- [22] 谢晋阳,陈灵芝.中国暖温带若干灌丛群落多样性问题的研究[J].植物生态学报,1997,21(3):197-207.
- [23] 孙海群,朱志红,乔有明,等.不同海拔梯度小嵩草甸植物群落多样性比较研究[J].中国草地,2005(5):18-22.