

科尔沁沙地植被恢复演替进程中群落土壤种子库研究

赵丽娅¹, 李兆华¹, 李锋瑞², 赵哈林²

(1. 湖北大学资源环境学院, 湖北, 武汉 430062; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 研究了科尔沁沙地植被恢复演替进程中各群落土壤种子库种类组成、密度以及物种多样性等特征。主要结论是: 科尔沁沙地植被退化后的恢复演替是一种次生的中途恢复演替。演替各阶段土壤种子库密度为流动沙丘 < 半流动沙丘 < 固定沙丘, 从流动到半流动沙丘阶段, 土壤种子库密度平均增加了 709%; 从半流动到固定沙丘阶段, 土壤种子库密度平均增加了 393%。从流动到半流动沙丘阶段是土壤种子库密度的快速增长期。植被恢复演替过程中, 土壤种子库组成均以 1 年生草本植物为主(优势度为 60.40% ~ 91.83%), 到演替中后期阶段, 多年生草本植物的种类有所增加, 但其所占比例仍很小。演替各阶段群落种子库物种多样性指数分别为 0.6616、0.7736、0.7281、1.0939、1.0648 和 0.9682, 可见种子库物种多样性最高的群落并非是演替历史最大的群落。恢复演替系列各阶段土壤种子库间的相似性系数都较大, 在 0.368~1.000 范围之内, 任一群落总是与其下一阶段最邻近的群落具有最高的相似性系数。

关键词: 科尔沁沙地; 植被恢复; 演替; 土壤种子库

文章编号: 1000-0933(2005)12-3204-08 中图分类号: Q143, Q948.1 文献标识码: A

Soil seed bank of plant communities along restoring succession gradients in Horqin Sandy Land

ZHAO Li-Ya¹, LI Zhao-Hua¹, LI Feng-Rui², ZHAO Ha-Lin² (1. School of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan, 430062, China; 2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3204~3211.

Abstract In the Horqin Sandy Land in Inner Mongolia of China, vegetation restoration usually occurs under proper management regimes in fragile environmental conditions, e.g., enclosing and non-grazing. In restoring succession series, shifting, semi-shifting or semi-fixed and fixed sandy dunes correspond to early, middle and late succession phases. However, few information is available about the effects of community succession on the structure and performance of soil seed banks in the semi-arid desert environment. Therefore, a field experiment was conducted in sandy dunes to examine the structure and performance of the soil seed banks in restoring succession series.

In early April 2003, six types of communities respectively representing the succession time of 1, 3, 5, 12, 15 and 20 years, were selected as experimental sites. On each site, three parallel 200m line transects (20m apart) were established along the sandy dune (across windward slope, dune crest and leeward slope). For each transect, 20 sampling points were set up at 10m intervals, and a soil sample of depth of 5cm, dimension of 20cm × 20cm was collected from each sampling point. All soil samples were transported to the laboratory in open plastic bags and chopped and sieved (mesh width 2mm) soon. The sieved soil samples were placed in plastic germination pots (diameter 35cm and 12cm in depth) and spread evenly to form an approximately 2cm thick layer in individual pots. Pots were placed in an unheated greenhouse for seed germination. Pots were

基金项目: 中国科学院“百人计划”资助项目(210097); 国家 973 资助项目(G20000480704); 国家自然科学基金资助项目(30470284); 湖北大学科研启动资助项目(ky2004025)

收稿日期: 2004-11-25; **修订日期:** 2005-07-15

作者简介: 赵丽娅(1975~), 女, 山西五台人, 博士, 主要从事干旱区植物生态学和恢复生态学研究. E-mail: zhaoly0128@163.com

Foundation item: the Innovation Project (No. 210097) from the Hundred Talents Program from Chinese Academy of Sciences, the National 973 Project (No. G20000480704), National Natural Science Foundation of China (No. 30470284) and Encouraging Foundation for Youth Scientists of Hubei University (No. ky2004025)

Received date: 2004-11-25; **Accepted date:** 2005-07-15

Biography: ZHAO Li-Ya, Ph. D., mainly engaged in plant ecology and restoration ecology. E-mail: zhaoly0128@163.com

watered daily with a very fine nozzle in the afternoon. Emergent seedlings were identified to species and carefully removed from the pots. Seed germination and seedling identification were carried out continually in the following three months. However, some unidentifiable seedlings remained longer in the pots until they were identified. The density of the existing seed bank was expressed as the number of viable seeds per square meter. At each site, the frequency of species in the soil seed bank was determined in terms of the 60 sampling points or the 60 quadrats.

Some conclusions can be drawn from this study. The restoring succession of sandy vegetation was a kind of secondary and half-way succession series. The total density of soil seed bank increased with the restoring series of succession, but there were differences in the rates of increase. Density of seed bank increased by 393% from the semi-shifting dune to the fixed dune and by 709% from the shifting dune to the semi-shifting dune, which was the greatest augment in the process of restoration.

In the restoring series of succession, annual herbaceous plants were dominant in the seed banks (60.40% ~ 91.83%). Although perennials increased in the late stage of succession, the ratio was lower yet. In the process of restoration, the species diversity index were 0.6616, 0.7736, 0.7281, 1.0939, 1.0648 and 0.9682, respectively. We suggested that the community with the highest diversity index was not that of the longest succession time in scale. There was high similarity between one community and the adjacent community, of which the similarity coefficients ranged from 0.368 to 1.000.

Key words: Horqin Sandy Land; vegetation restoration; succession; soil seed bank

土壤种子库 (soil seed bank) 是指土壤中的种子储存^[1]。也有学者把它定义为一定面积土壤中有生活力或发芽力种子的集合^[2,3]。种子库内的种子作为潜在的植物种群, 是群落过去状况的记录, 也是反映群落现在和将来特点的一个重要因素^[4]。因此对种子库中植物种子的组成和密度以及动态等特征的研究, 可为揭示植被演替机理提供科学依据。在国外对土壤种子库已经做了大量研究, 内容涉及种子雨、种子散布、种子休眠、萌发特性、种子库的组成与大小、种子库寿命以及种子库在植物遗传和进化上的意义等诸多方面^[5~21]。我国近年来针对处于不同演替阶段的森林植被、温带草原和高寒草甸群落等的土壤种子库组成及密度、种子雨动态以及种子的萌发等科学问题展开了大量的试验研究^[22~37], 但对科尔沁沙地植被恢复演替进程中土壤种子库的研究尚未见报道。本文对科尔沁沙地植被不同恢复演替阶段的土壤种子库组成及密度特征以及种子库的物种多样性等进行了研究, 以说明土壤种子库在沙地植被恢复演替中的作用。

1 自然条件和样地概况

1.1 研究区自然条件

研究区位于科尔沁沙地中南部的奈曼旗中国科学院奈曼沙漠化研究站境内。地理位置 120°41'E, 42°54'N。该区属半干旱气候, 年平均降水量 366mm, 年蒸发量 1935mm, 年均气温 6.5℃, 1 月平均气温 -12.7℃, 7 月平均气温 23.7℃, ≥10℃ 积温 3000℃ 以上, 无霜期 150d。土壤类型为沙质栗钙土, 经破坏后则退化为流动风沙土, 沙土基质分布广泛, 风沙活动强烈。由于沙土的干燥疏松和干旱多风等气候条件的影响, 使得该地区在过度放牧和过垦等人为不合理利用的情况下, 植被遭受破坏, 土地沙化, 成为流动沙丘。但是由于沙土良好的水分储藏性能, 在大量天然种源存在的情况下和禁止放牧、禁止开垦等良好的保护措施下, 也存在着植被快速建立并向稳定植被类型演替的可能。

1.2 样地概况

科尔沁沙地植被演替的总体模式是: 沙米 (*Agriophyllum squarrosum*) 群落-差巴嘎蒿 (*Artemisia halodendron*) 群落或黄柳 (*Salix gordejewii*) 群落-冰草 (*Agropyron cristatum*) 草原或糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*) 草原或羊草 (*Leymus chinensis*) 草原-灌丛草原-榆树 (*Ulmus pumila*) 疏林草原。凡起始于丘间低地潮湿生境、碱斑和撂荒地的进展演替, 以及放牧逆行演替与恢复演替其趋势基本服从上述模式^[38~41]。因此从流动沙丘到半流动或半固定沙丘、再到固定沙丘的几个明显阶段可作为沙地植被恢复阶段的代表性群落。群落演替时间的确定则是从进行围封、完全停止干扰后开始计算。为了进行恢复演替的定位研究, 分别设置流动沙丘、半流动或半固定沙丘和固定沙丘不同恢复阶段的固定群落样地, 进行土壤种子库的研究。

1.2.1 流动沙丘恢复群落 恢复 1a 和 3a 的群落代表流动沙丘恢复群落阶段。沙丘地表完全裸露, 风沙活动强烈, 植被稀疏 (覆盖度在 20% 以下), 主要植物种有沙米、狗尾草 (*Setaria viridis*)、差巴嘎蒿, 种的饱和度仅为 2~3 个种, 生物产量很低, 一般不足 50g/m²。

1.2.2 半流动或半固定沙丘恢复群落 恢复 5a 和 12a 的群落代表半固定沙地恢复群落阶段。植被覆盖度在 20%~60%, 地表已经形成结皮, 但结皮数量较少, 尚未完全改变流沙性质的沙丘。主要植物种是差巴嘎蒿、狗尾草和猪毛菜 (*Salsola collina*) 等, 生物产量较低, 一般在 200~300g/m²。

1.2.3 固定沙丘恢复群落 恢复 15a 和 20a 的群落代表固定沙地恢复群落阶段。植被覆盖度大于 60%, 地表覆盖固定风沙土

或沙质栗钙土或已经形成较厚的土壤结皮,地表在起沙风作用下已经不起沙的沙地。固定沙丘的主要植物种是画眉草 (*Eragrostis pilosa*)、虎尾草 (*Chloris virgata*)、糙隐子草、达乌里胡枝子 (*Lespedeza davurica*) 和小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla*) 等,生物产量一般大于 $300\text{g}/\text{m}^2$ 。

根据空间代替时间的原则,科尔沁沙地植被恢复演替进程中流动沙丘群落、半流动或半固定沙丘群落和固定沙丘群落可形成恢复演替系列。

2 研究方法

2.1 野外取样与萌发实验

2003 年 4 月初,分别在 6 个固定群落样地的典型地段等距离 (20m, 南北向) 设置 3 条长 200m 的样带,在每条样带上等距离 (10m) 设置 20 个固定样点,每个样地 60 个样点,共计 360 个样点,用以土壤种子库的测定。

土壤种子库的测定:用专门设计制作的土壤种子采样器在每个样点采取深度为 5cm、面积为 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的原状土体,装入布袋,带回实验室,过筛除去杂物后,将土样均匀平摊在发芽盆内 (盆底部钻有输水孔),厚度约为 2cm,然后置于玻璃温室中进行种子发芽和幼苗种属诊断。种子发芽实验期间,每天定时 (18h) 喷洒适量的水分,使盆内的土壤保持湿润状态,以保证尽可能多的植物种子萌发出苗。种子萌发出苗后,仔细观察和诊断幼苗种属,一旦能够判别出一个幼苗的种属,则记其数 (视其为有生命力的种子) 并把它从盆中轻轻拔掉,直到识别出所有幼苗的种属。土壤种子库密度用单位面积 (1m^2) 土壤中有生命力的种子数量 (即有效种子数量) 来表示。种子发芽实验持续的时间为 3 个月。

各样地每种植物的出现频率根据 60 个样点的测定数据计算。

2.2 数据处理

2.2.1 物种的重要值和物种优势度

$$IV = \text{相对密度} + \text{相对频度}$$

$$DV = IV / 2 \times 100$$

式中, IV 为物种重要值, DV 为物种的优势度。

2.2.2 种子库特征指标 种子库特征采用生态优势度、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielow 均匀度指数衡量^[42]。

生态优势度:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s (P_i)^2$$

Shannon-Wiener 多样性指数:

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

Pielow 均匀度指数:

$$E = H / \ln S$$

式中, S 为种子库物种总数, P_i 为第 i 种植物的种子数占种子库中总种子数的比例,文中 P_i 用重要值来代替。

2.2.3 相似性系数 采用 Sorensen 的相似性系数 (similarity coefficient, SC) 确定群落土壤种子库种类组成上的相似性^[5], 计算公式如下:

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

式中, SC 是相似性系数; w 为两群落土壤种子库共有的植物种数; a 和 b 分别为两群落土壤种子库的植物种数。

2.2.4 方差分析 采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD) 比较 6 个植物群落土壤种子库的总密度 (所有出现植物种子库密度之和) 及每种植物种子库密度的差异。进行方差分析之前, 对土壤种子库密度数据进行对数转换。

3 结果与分析

3.1 种子库组成与密度

从演替各阶段土壤种子库的植物种数和种子密度看 (表 1), 土壤种子库的种类在恢复演替初期为 7 种, 演替进展至半流动沙丘阶段增加至 23 种, 随着演替的进一步发展在固定沙丘阶段 (恢复 15a 和 20a) 基本稳定在 29~31 种。方差分析结果表明, 在沙地植被恢复序列上土壤种子库总密度存在显著的差异 ($F = 10.1, n = 360, p < 0.001$)。种子库密度表现为流动沙丘 < 半流动沙丘 < 固定沙丘, 从流动到半流动沙丘阶段, 土壤种子库密度平均增加了 709%; 从半流动到固定沙丘阶段, 土壤种子库密度平均增加了 393%。可见, 土壤种子库密度随着恢复演替的进行, 种子库密度不断增加, 但增加速率有所不同, 从流动到半流动沙丘阶段是土壤种子库密度的快速增长期。

此外, 沙地植被恢复演替过程中不同植物种的种子库密度变化模式不同。以禾本科植物为例 (图 1), 在 6 种 1 年生禾草和 1 种多年生禾草中, 三芒草 (*Aristida adscensionis*)、画眉草、虎尾草、狗尾草和糙隐子草的种子库密度基本随着植被恢复演替的进行呈增加的趋势, 而毛马唐 (*Digitaria ciliaris*) 和野黍 (*Eriochloa villosa*) 的种子库密度在恢复 12a 的半流动沙丘最大。同一群

表 1 植被恢复系列上土壤种子库的密度(平均值 $\pm$ 标准误,有效种子数/m²)和物种优势度的变化Table 1 Dominance and density (Mean $\pm$ SE, viable seeds/m²) of seed banks in the process of restoration

植物种 Species	恢复阶段 Restoration stage(a)										F	P
	流动沙丘 Mobile sandy dune	3	5	12	20	29	31	固定沙丘 Fixed sandy dune	20	29		
植物种数 Total number of species	7	15	23	23	23	23	23	23	23	23		
大巢虫实 <i>Corispermum macrocarpum</i>	—	5 $\pm$ 2(2.48) _a	1419 $\pm$ 203(29.40) _b	1478 $\pm$ 213(26.6) _b	1478 $\pm$ 213(26.6) _b	1478 $\pm$ 213(26.6) _b	1478 $\pm$ 213(26.6) _b	1478 $\pm$ 213(26.6) _b	1478 $\pm$ 213(26.6) _b	1478 $\pm$ 213(26.6) _b	36.6	<0.01
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	—	—	282 $\pm$ 50(9.21) _a	236 $\pm$ 40(7.78) _a	236 $\pm$ 40(7.78) _a	236 $\pm$ 40(7.78) _a	236 $\pm$ 40(7.78) _a	236 $\pm$ 40(7.78) _a	236 $\pm$ 40(7.78) _a	236 $\pm$ 40(7.78) _a	7.8	<0.001
沙米 <i>Atriplex hymelae</i>	136 $\pm$ 50(34.08) _a	133 $\pm$ 26(30.8) _a	25 $\pm$ 10(2.08) _b	72 $\pm$ 44(2.75) _b	72 $\pm$ 44(2.75) _b	72 $\pm$ 44(2.75) _b	72 $\pm$ 44(2.75) _b	72 $\pm$ 44(2.75) _b	72 $\pm$ 44(2.75) _b	72 $\pm$ 44(2.75) _b	35.6	<0.001
五星蒿 <i>Bassia dasyphylla</i>	—	—	19 $\pm$ 5(2.53) _a	2 $\pm$ 1(0.47) _a	2 $\pm$ 1(0.47) _a	2 $\pm$ 1(0.47) _a	2 $\pm$ 1(0.47) _a	2 $\pm$ 1(0.47) _a	2 $\pm$ 1(0.47) _a	2 $\pm$ 1(0.47) _a	17.2	<0.001
地肤 <i>Chenopodium dianicum</i>	—	—	8 $\pm$ 3(1.34) _b	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	56.5	<0.001
三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	5 $\pm$ 3(3.91) _a	1 $\pm$ 1(0.87) _a	74 $\pm$ 12(5.14) _b	121 $\pm$ 24(5.97) _c	121 $\pm$ 24(5.97) _c	121 $\pm$ 24(5.97) _c	121 $\pm$ 24(5.97) _c	121 $\pm$ 24(5.97) _c	121 $\pm$ 24(5.97) _c	121 $\pm$ 24(5.97) _c	49.9	<0.001
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	2 $\pm$ 1(1.30) _a	3 $\pm$ 2(1.09) _a	263 $\pm$ 43(8.88) _b	323 $\pm$ 44(9.85) _c	323 $\pm$ 44(9.85) _c	323 $\pm$ 44(9.85) _c	323 $\pm$ 44(9.85) _c	323 $\pm$ 44(9.85) _c	323 $\pm$ 44(9.85) _c	323 $\pm$ 44(9.85) _c	9.8	<0.001
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	8 $\pm$ 3(6.52) _a	17 $\pm$ 5(8.01) _a	82 $\pm$ 14(5.16) _b	380 $\pm$ 147(8.76) _c	380 $\pm$ 147(8.76) _c	380 $\pm$ 147(8.76) _c	380 $\pm$ 147(8.76) _c	380 $\pm$ 147(8.76) _c	380 $\pm$ 147(8.76) _c	380 $\pm$ 147(8.76) _c	16.9	<0.001
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	—	—	25 $\pm$ 8(2.40) _a	5 $\pm$ 1(1.43) _b	5 $\pm$ 1(1.43) _b	5 $\pm$ 1(1.43) _b	5 $\pm$ 1(1.43) _b	5 $\pm$ 1(1.43) _b	5 $\pm$ 1(1.43) _b	5 $\pm$ 1(1.43) _b	12.5	<0.001
毛唐 <i>Digitaria ciliata</i>	—	—	51 $\pm$ 22(3.53) _a	73 $\pm$ 27(3.45) _a	73 $\pm$ 27(3.45) _a	73 $\pm$ 27(3.45) _a	73 $\pm$ 27(3.45) _a	73 $\pm$ 27(3.45) _a	73 $\pm$ 27(3.45) _a	73 $\pm$ 27(3.45) _a	15.2	<0.001
野黍 <i>Eriophora villosa</i>	—	—	2 $\pm$ 1(0.59) _a	11 $\pm$ 8(0.39) _b	11 $\pm$ 8(0.39) _b	11 $\pm$ 8(0.39) _b	11 $\pm$ 8(0.39) _b	11 $\pm$ 8(0.39) _b	11 $\pm$ 8(0.39) _b	11 $\pm$ 8(0.39) _b	48.4	<0.001
细叶苦荬菜 <i>Ixeris denticulata</i>	—	1 $\pm$ 1(0.44) _a	3 $\pm$ 2(0.26) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	1 $\pm$ 1(0.24) _a	7.8	<0.001
砂蓝刺头 <i>Echinops gmelini</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.6	0.001
苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	2 $\pm$ 1(1.30) _a	5 $\pm$ 2(3.28) _a	3 $\pm$ 1(0.70) _a	63 $\pm$ 46(1.39) _b	63 $\pm$ 46(1.39) _b	63 $\pm$ 46(1.39) _b	63 $\pm$ 46(1.39) _b	63 $\pm$ 46(1.39) _b	63 $\pm$ 46(1.39) _b	63 $\pm$ 46(1.39) _b	11.0	<0.001
鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26.6	<0.001
褐鼠 <i>Lappula unguiculata</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
丝子 <i>Cuscuta chinensis</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	—	1 $\pm$ 1(0.44) _a	56 $\pm$ 19(2.73) _b	257 $\pm$ 40(8.08) _d	257 $\pm$ 40(8.08) _d	257 $\pm$ 40(8.08) _d	257 $\pm$ 40(8.08) _d	257 $\pm$ 40(8.08) _d	257 $\pm$ 40(8.08) _d	257 $\pm$ 40(8.08) _d	47.6	<0.001
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	—	—	2 $\pm$ 1(0.59) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	7.6	<0.001
太阳花 <i>Erodium stephanianum</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17.8	<0.001
反枝苋 <i>Amaranthus retrofractus</i>	—	2 $\pm$ 1(1.31) _a	84 $\pm$ 22(4.98) _b	38 $\pm$ 11(4.08) _c	38 $\pm$ 11(4.08) _c	38 $\pm$ 11(4.08) _c	38 $\pm$ 11(4.08) _c	38 $\pm$ 11(4.08) _c	38 $\pm$ 11(4.08) _c	38 $\pm$ 11(4.08) _c	43.4	<0.001
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	20 $\pm$ 4(13.27) _a	23 $\pm$ 3(13.98) _a	64 $\pm$ 8(5.61) _b	51 $\pm$ 11(4.38) _b	51 $\pm$ 11(4.38) _b	51 $\pm$ 11(4.38) _b	51 $\pm$ 11(4.38) _b	51 $\pm$ 11(4.38) _b	51 $\pm$ 11(4.38) _b	51 $\pm$ 11(4.38) _b	15.7	<0.001
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	—	4 $\pm$ 2(2.33) _a	16 $\pm$ 5(1.82) _b	16 $\pm$ 4(2.27) _b	16 $\pm$ 4(2.27) _b	16 $\pm$ 4(2.27) _b	16 $\pm$ 4(2.27) _b	16 $\pm$ 4(2.27) _b	16 $\pm$ 4(2.27) _b	16 $\pm$ 4(2.27) _b	30.2	<0.001
苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	—	—	2 $\pm$ 1(0.25) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	3 $\pm$ 1(0.49) _a	15.4	<0.001
扁蓿豆 <i>Melilotus ruthenicus</i>	—	—	3 $\pm$ 1(0.70) _a	3 $\pm$ 1(0.72) _a	3 $\pm$ 1(0.72) _a	3 $\pm$ 1(0.72) _a	3 $\pm$ 1(0.72) _a	3 $\pm$ 1(0.72) _a	3 $\pm$ 1(0.72) _a	3 $\pm$ 1(0.72) _a	8.1	<0.001
苜蓿 <i>Carax dispulata</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
问荆 <i>Equisetum arvense</i>	—	1 $\pm$ 1(0.44) _a	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.4	<0.001
藜蒿 <i>Artemisia halodendrom</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.6	NS
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	215 $\pm$ 142(30.60) _a	188 $\pm$ 58(33.18) _a	349 $\pm$ 70(10.51) _b	206 $\pm$ 53(7.45) _a	206 $\pm$ 53(7.45) _a	206 $\pm$ 53(7.45) _a	206 $\pm$ 53(7.45) _a	206 $\pm$ 53(7.45) _a	206 $\pm$ 53(7.45) _a	206 $\pm$ 53(7.45) _a	39.8	<0.001
小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i>	—	1 $\pm$ 1(0.44) _a	14 $\pm$ 10(1.12) _a	59 $\pm$ 39(2.23) _b	59 $\pm$ 39(2.23) _b	59 $\pm$ 39(2.23) _b	59 $\pm$ 39(2.23) _b	59 $\pm$ 39(2.23) _b	59 $\pm$ 39(2.23) _b	59 $\pm$ 39(2.23) _b	16.5	<0.001
华北锦鸡儿 <i>Cercidandra arborescens</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.6	NS
小计 Totals	388 $\pm$ 206 _a	384 $\pm$ 106 _a	2848 $\pm$ 511 _b	3399 $\pm$ 759 _b	3399 $\pm$ 759 _b	3399 $\pm$ 759 _b	3399 $\pm$ 759 _b	3399 $\pm$ 759 _b	3399 $\pm$ 759 _b	3399 $\pm$ 759 _b	10.1	<0.001

— 样地中无该种植物;不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$); NS, 差异不显著;方差分析采用对数转换数据,但表中所示密度数据是未转换数据,括号里的值是物种优势度 Non-plants;

Means with different letters within a variable indicate significant differences at $p < 0.05$; NS: Nonsignificant; log-transformed data were used in test but untransformed data are shown in table 1;

Values in parentheses are dominance

落类型不同植物种的种子库密度差异也相当大。在恢复 1a 和 3a 的流动沙丘,沙米和差巴嘎蒿种子库密度最大,分别占种子库总密度的 90% 和 84%。在恢复 5a 的半流动沙丘,大果虫实 (*Corispermum macrocarpum*),狗尾草、猪毛菜和差巴嘎蒿的种子库密度占种子库总密度的 81%。在恢复 12a 的半固定沙丘,大果虫实、狗尾草、画眉草、地锦 (*Euphorbia humifusa*) 的种子库密度最大,约占种子库总密度的 72%。在恢复 15a 和 20a 的固定沙丘,黄蒿 (*Artemisia scoparia*)、猪毛菜、画眉草、狗尾草和达乌里胡枝子的种子库密度分别占种子库总密度的 85% 和 95%。不同物种在不同演替阶段群落中物种优势度的变化与其种子库密度的变化趋势一致,即种子库密度大的植物种其优势度也大,反之亦然。

3.2 种子库结构特征

演替各阶段的土壤种子库均以 1 年生草本植物为主(优势度为 60.40%~91.83%),到演替中后期阶段,多年生草本植物的种类增加,其优势度变化趋势不大;灌木的种类虽然增加,但其优势度趋于下降(表 2)。这是由于随着恢复演替的进行,土壤渐渐形成,土壤水分消耗层加深,土壤肥力增加,象差巴嘎蒿、黄柳等灌木逐渐退出群落,最终以黄蒿和以狗尾草为主的禾本科植物、少量的豆科植物所取代。

表 2 植被恢复系列上土壤种子库种类组成的生活型结构

Table 2 Lifeform composition of species of seed banks in the process of restoration

演替时间 Succession time(a)	1 年生草本植物 Annuals		2 年生草本植物 Biennials		多年生草本植物 Perennials		灌木类 Shrubs	
	种数 N_s	优势度 D_s	种数 N_s	优势度 D_s	种数 N_s	优势度 D_s	种数 N_s	优势度 D_s
1	6	60.40	—	—	—	—	1	39.60
3	11	63.61	—	—	2	2.77	2	33.62
5	17	85.34	1	26.00	3	2.77	2	11.63
12	17	86.60	1	0.24	3	3.48	2	9.68
15	20	88.61	1	0.16	4	4.91	4	6.33
20	21	91.83	—	—	5	3.63	5	4.54

N_s Number of species; D_s Dominance of species

在植被恢复演替系列上,土壤种子库的分科结构趋于复杂化和多样化(表 3)。随着恢复演替的进行,藜科植物种类增加,但其优势度呈下降趋势;禾本科和豆科植物的种类与优势度不断增加,它们在群落中的作用和功能逐渐表现出来。菊科植物比较复杂,在群落演替早期优势度较大,到演替中期其优势度下降,随着演替的进一步发展其优势度又不断增加。

3.3 种子库的物种多样性

全面衡量物种多样性需要从 Shannon-Wiener 指数、均匀度和生态优势度 3 个方面进行比较,它们都从不同的角度反映群落物种组成的结构水平^[43]。从表 4 可以看出,土壤种子库的 Shannon-Wiener 指数和生态优势度变化趋势一致。流动沙丘(恢复 1a)的物种多样性和生态优势度最小,半固定沙丘(恢复 12a)的物种多样性和生态优势度最大。种子库的均匀度指数的最小值和最大值分别出现在恢复 5a 和 12a 的半流动沙丘。在植被恢复演替过程中,群落的物种多样性指数、均匀度和生态优势度随演替进展变化均不是很大。

3.4 种子库种类组成上的相似性

恢复演替系列各阶段种子库间的相似性系数都较大,相似性系数在 0.368~1.000 范围之内(表 5),主要是因为不同群落的种子库中具有较多相同的草本植物种。其中恢复 5a 和恢复 12a 的半流动沙丘种子库之间的相似性系数最大,是因为恢复 5a 和 12a 的半流动沙丘种子库具有相同的植物种数,此外样地相邻也对其产生一定的影响。恢复 1 年的流动沙丘和恢复 20a 的固定沙丘的种子库之间相似性系数最小为 0.3684。若以恢复 1a 的群落为原点,6 个群落的相似性系数形成了一个演替系列,演替方向是从恢复 1a→3a→5a→12a→15a→20a 发展,即与恢复 1a 群落的相似性越大,其植物种类的变化也就小,演替的时间也就越短。由此可见,演替各阶段的土壤种子库之间的相似性系数大小可以反映它所代表群落之间的演替关系,充分说明了土壤种

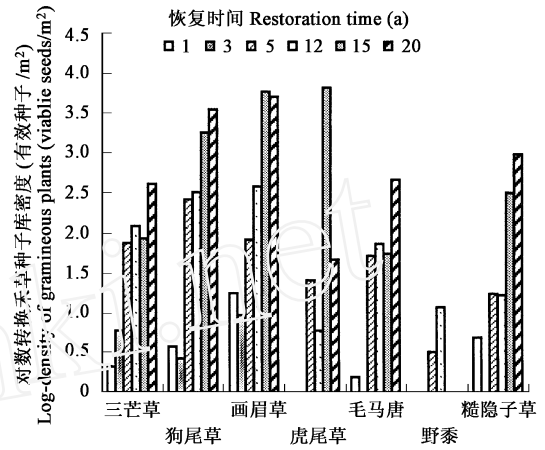


图 1 植被恢复系列上禾本科植物的土壤种子库密度

Fig. 1 Density of Gramineae in soil seed banks in the process of restoration

植物名称见表 1 See table 1 for species name

子库在植被演替中的作用。

表 3 植被恢复系列上土壤种子库种类组成的分科结构

Table 3 Family structure of species of seed banks in the process of restoration														
演替时间 Succession time(a)	总属数 <i>N_g</i>	总科数 <i>N_f</i>	藜科Chenopodiaceae			菊科Compositae			禾本科Gramineae			豆科Leguminosae		
			属数 <i>N_g</i>	种数 <i>N_s</i>	优势度 <i>D_s</i>	属数 <i>N_g</i>	种数 <i>N_s</i>	优势度 <i>D_s</i>	属数 <i>N_g</i>	种数 <i>N_s</i>	优势度 <i>D_s</i>	属数 <i>N_g</i>	种数 <i>N_s</i>	优势度 <i>D_s</i>
1	6	4	1	1	34.08	1	2	40.90	3	3	11.74	—	—	—
3	14	8	3	3	34.19	1	2	36.46	5	5	12.74	1	1	0.44
5	22	8	6	6	45.04	2	3	11.47	7	7	27.51	3	3	2.07
12	22	8	6	6	38.34	2	3	9.07	7	7	32.12	3	3	3.44
15	27	10	6	6	22.25	3	5	33.55	7	7	26.28	5	5	8.99
20	29	12	7	7	17.03	2	4	45.98	6	6	20.78	5	5	5.77
<i>N_g</i> Number of genera; <i>N_f</i> Number of families; <i>N_s</i> Number of species; <i>D_s</i> Dominance of species														

表 4 植被恢复系列上土壤种子库的物种多样性、生态优势度与均匀度

Table 4 The species diversity, ecological dominance and evenness of seed banks in the process of restoration						
	恢复阶段 Restoration stage(a)					
	流动沙丘 Mobile sandy dune		半流动沙丘 Semi-shifting sandy dune		固定沙丘 Fixed sandy dune	
	1	3	5	12	15	20
生态优势度 Ecological dominance	0.3517	0.3830	0.4354	0.4415	0.4259	0.3849
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	0.6166	0.7736	0.7281	1.0939	1.0648	0.9682
均匀度指数 Evenness index	0.7297	0.6578	0.5743	0.8033	0.7281	0.6492

表 5 植被恢复系列上土壤种子库的相似性系数

Table 5 The similarity of seed banks in the process of restoration						
演替时间 Succession time(a)	恢复阶段 Restoration stage(a)					
	流动沙丘 Mobile sandy dune		半流动沙丘 Semi-shifting sandy dune		固定沙丘 Fixed sandy dune	
	1	3	5	12	15	20
1	—	0.6364	0.4667	0.4667	0.3889	0.3684
3		—	0.7368	0.7368	0.6364	0.6522
5			—	1.0000	0.8846	0.7778
12				—	0.8846	0.7778
15					—	0.8333
20						—

4 结论

- (1) 科尔沁沙地植被退化后的恢复演替是一种次生的中途恢复演替。演替各阶段土壤种子库密度为流动沙丘< 半流动沙丘< 固定沙丘, 从半流动到固定沙丘阶段, 土壤种子库密度平均增加了 393%, 从流动到半流动沙丘阶段, 土壤种子库密度平均增加了 709%, 这是土壤种子库密度的快速增长期。
- (2) 植被恢复演替过程中, 土壤种子库组成均以 1 年生草本植物为主(优势度为 60.40%~ 91.83%), 到演替中后期阶段, 多年生草本植物的种类有所增加, 但所占的比例仍很小。主要原因是多年生草本植物如糙隐子草、扁蓿豆(*Melissitus ruthenicus*)等, 它们的繁殖途径主要是营养繁殖, 这些植物的萌孽性强, 通常可以借助于无性系分株(ram et)来产生后代, 有些在植物的基部, 有些在露出地面的根上萌芽, 最终脱离母株, 独立生长, 达到扩散种群的作用^[33]。
- (3) 演替各阶段群落种子库物种多样性指数分别为 0.6616、0.7736、0.7281、1.0939、1.0648 和 0.9682, 可见种子库物种多样性最高的群落并非是演替历史最长的群落。半固定沙丘(恢复 12a)的物种多样性最大, 属于半固定沙丘群落向固定沙丘群落演替过渡的中间类型。
- (4) 恢复演替系列各阶段土壤种子库之间的相似性系数都较大, 在 0.368~ 1.000 范围之内, 任一群落总是与其下一阶段最邻近的群落具有最高的相似性系数。

References

[1] Harper J L. Population Biology of plants. London: Academic Press, 1977. 15~ 39

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

- [2] Bigwood D W , Inouye D W. Spatial pattern analysis of seed banks: an improved method and optimizing sampling *Ecology*, 1998, **69** (2): 497~ 507.
- [3] Roberts H A. Seed Banks in Soil *Advances in Applied Biology*, 1981, **6**: 1~ 55
- [4] Coffin D P, Lauenroth W K. Spatial and temporal variation in the seed bank of semiarid grassland *American Journal of Botany*, 1989, **76**: 53~ 58
- [5] Arroyo M T K, Lohengrin A, Castor C C. Persistent soil seed bank and standing vegetation at a high alpine site in the central Chilean Andes *Oecologia*, 1999, **119**: 126~ 132
- [6] Darwin C R. *The origin of the species by means of natural selection*. New York: The new American Library, 1859
- [7] Ghemandi L. Seasonal patterns in the seed bank of a grassland in north-western Patagonia *Journal of Arid Environments*, 1997, **35**: 215~ 224
- [8] Hill M O, Steven P A. The density of viable seed of forest plantation in uplands Britain, *Journal of Ecology*, 1981, **69**: 693~ 709
- [9] Howe C D, Chancellor R J. Factors affecting the viable seed content of soil beneath low land pastures *Journal of Applied Ecology*, 1983, **20**: 915~ 922
- [10] Ingersoll C, Wilson M. Buried propagule bank of a high subalpine site: microsite variation and comparisons with aboveground vegetation *Can J Bot*, 1993, **71**: 712~ 717.
- [11] Johnson R G, Anderson R C. The seed bank of a tall-grass prairie in Illinois *American Midland Naturalist*, 1986, **115**: 1223~ 1300
- [12] Kvalseth T O. Note on biological diversity, evenness, and homogeneity measures *Oikos*, 1991, **62**: 123~ 127.
- [13] Kalamees R, Zobel M. Soil seed bank composition in different successional stages of a species rich wooded meadow in Laelatu, western Estonia *Acta Oecologica*, 1998, **19**(2): 175~ 180
- [14] Lortie C J, Turkington R. The effect of initial seed density on the structure of a desert annual plant community. *Journal of Ecology*, 2002, **90**: 435~ 445
- [15] O'Connor T G, Pickett G A. The influence of grazing on seed production and seed bank of some African savanna grasslands *Journal of Applied Ecology*, 1992, **29**: 247~ 260
- [16] Roberts H A. Seed Banks in Soil *Advances in Applied Biology*, 1981, **6**: 1~ 55
- [17] Rabinowitz D. Buried viable seeds in a north American tall-grass prairie: the resemblance of their abundance and composition to dispersing seeds *Oikos*, 1981, **36**: 191~ 195
- [18] Roach D A. Buried seed and standing vegetation in two adjacent tundra habitats, northern Alaska *Oecologia*, 1983, **60**: 359~ 364
- [19] Russi L, Cocks P S and Roberts E H. Seed bank dynamics in a Mediterranean grassland *Journal of Applied Ecology*, 1992, **29**: 763~ 761.
- [20] Smoliak S, Stringer P W. Viable seed populations in prairie topsoils *Canadian Journal of Plant Science*, 1969, **49**: 75~ 82
- [21] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats *Journal of Ecology*, 1979, **67**: 893~ 921
- [22] Bao Q H, Zhong T K, Sun W, *et al*. The influence of mowing on the amount and composition of soil seed bank in a typical steppe II The amount of viable seed and its vertical distribution *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 2000, **31**(1): 93~ 97.
- [23] Deng Z F, Zhou X M and Wang Q J. Studies of seed bank of *Kobresia huilis* meadow in the Qing Zang Plateau *Chinese Journal of Ecology*, 1997, **16**(5): 19~ 23
- [24] Liu J M, Zhong Z C. Nature of seed rain, the seed bank and regeneration of a *Castanopsis Fergesii* community on the Fanjing Mountain *Acta Phytocologia Sinica*, 2000, **24**(4): 402~ 407.
- [25] Tang Y, Cao M, Zhang J H, *et al*. Relationship between soil seed bank and aboveground vegetation in tropical forest of Xishuangbanna *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(3): 279~ 282
- [26] Wang G, Liang X G. The dynamics of seed banks on artificially stabilized dunes in Sapotou *Acta Botanica Sinica*, 1995, **37**(3): 231~ 237.
- [27] Yang Y F and Zhu T C. Change in seed rain of *Stipa grandis* community in the Songnen Plain of China *Acta Phytocologia Et Geobotanica Sinica*, 1991, **15**(1): 46~ 55
- [28] Yang Y F and Zhu L. A analysis on the mechanism of seed dispersal of *Puccinellia chinampoensis* on alkalized meadow in the Songnen Plain of China *Acta Botanica Sinica*, 1995, **37**(3): 222~ 230
- [29] Yang X B, Chen M Z and Wu Q S. Study on the seed banks under different land utilization systems in a tropical area *Acta Pedologica Sinica*, 1999, **36**(3): 327~ 333
- [30] Yang Y J, Sun X Y and Wang B P. Forest soil seed bank and natural regeneration *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(2):

304~ 308

- [31] Xu H C, Ban Y. The distribution of seeds in the soil and the sustainability of the seed bank of *Larix Gmelini* in Northern Daxinganling Mountains *Acta Phytocologia Sinica*, 1996, **20**(1): 28~ 34
- [32] Zhang Z Q. Soil seed bank *Chinese Journal of Ecology*, 1996, **15**(6): 36~ 42
- [33] Zhong Z C. Study on plant Ecology. Chongqing: Southwest Normal's University Press, 1997.
- [34] Zhong T K, Bao Q H, Sun W, *et al*. The influence of mowing on the seed amount and composition in soil seed bank of typical Steppe I. The source of seed rain and its falling *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nemongol*, 1999, **30**(6): 734~ 738
- [35] Zhou X Y, Li M G and Wang B X. Soil seed banks in a series of successional secondary forest communities in the Heishiding Nature Reserve, Guangdong Province *Acta Phytocologia Sinica*, 2000, **24**(2): 222~ 230
- [36] Zhao M L, Xu Z X. Study on seed bank of desert grassland in Inner Mongolia *Grassland of China*, 2000, (2): 46~ 48
- [37] Zhang G F. Characteristics of soil seed bank and seedling bank of shrubland in Tiantong Range, Zhejiang Province *Acta Botanica Yunnanica*, 2001, **23**(2): 209~ 215
- [38] Chao L M, Biao S J, Zhi R N, *et al*. The distribution patterns of *Artemisia halodendrom* in different sandland types *Journal of Desert Research*, 1999, **19**(Suppl. 1): 45~ 49
- [39] Zhao H L, Zhao X Y and Zhang T H. Causes, processes and countermeasures of desertification in the interlocked agropasturing area of north China *Journal of Desert Research*, 2000, **20**(Suppl. 1): 22~ 28
- [40] Liu X M, Zhao H L and Zhao A F. *Wind-sandy environment and vegetation in Horqin Sandy Land, China*. Beijing: Science Press, 1996 261~ 271
- [41] Li S G, Zhao A F and Chang X L. Several problems about vegetation succession of Horqin sandy land *Journal of Desert Research*, 1997, **17**(Suppl. 1): 25~ 32
- [42] Ma K P. The methods of measuring community diversity I. Measurement of α diversity. *Chinese Biodiversity*, 1994, **2**(3): 162~ 168
- [43] Zhao P and Peng S L. Species and species diversity in relation to restoration and persistence of degraded ecosystem functions *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, **12**(1): 132~ 136

参考文献:

- [22] 包青海, 仲延凯, 孙维, 等. 割草干扰对典型草原土壤种子库种子数量与组成的影响 II. 具有生命力的种子数量及其垂直分布. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2000, **31**(1): 93~ 97.
- [23] 邓自发, 周兴民, 王启基. 青藏高原矮嵩草甸种子库的初步研究. 生态学杂志, 1997, **16**(5): 19~ 23
- [24] 刘济明, 钟章成. 梵净山栲树群落的种子雨、种子库及更新. 植物生态学报, 2000, **24**(4): 402~ 407.
- [25] 唐勇, 曹敏. 西双版纳热带森林土壤种子库与地上植被的关系. 应用生态学报, 1999, **10**(3): 279~ 282
- [26] 王刚, 梁学功. 沙坡头人工固沙区的种子库动态. 植物学报, 1995, **37**(3): 231~ 237.
- [27] 杨允菲, 祝廷成. 松嫩平原大针茅群落种子雨动态的研究. 植物生态学与地植物学报, 1991, **15**(1): 46~ 55
- [28] 杨允菲, 祝玲. 松嫩平原碱化草甸碱茅种子散布机制的分析. 植物生态学报, 1995, **37**(3): 222~ 230
- [29] 杨小波, 陈明智, 吴庆书. 热带地区不同土地利用系统土壤种子库的研究. 土壤学报, 1999, **36**(3): 327~ 333
- [30] 杨跃军, 孙向阳, 王保平. 森林土壤种子库与天然更新. 应用生态学报, 2001, **12**(2): 304~ 308
- [31] 徐化成, 班勇. 大兴安岭北部兴安落叶松种子在土壤中的分布及其种子库的持续性. 植物生态学报, 1996, **20**(1): 28~ 34
- [32] 张志权. 土壤种子库. 生态学杂志, 1996, **15**(6): 36~ 42
- [33] 钟章成. 植物生态学研究进展. 重庆: 西南师范大学出版社, 1997.
- [34] 仲延凯, 包青海, 孙维, 等. 割草干扰对典型草原土壤种子库种子数量与组成的影响 I. 种子雨的来源及其降落. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1999, **30**(6): 734~ 738
- [35] 周先叶, 李鸣光, 王伯荪. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替不同阶段土壤种子库的研究. 植物生态学报, 2000, **24**(2): 222~ 230
- [36] 赵明莉, 许志信. 内蒙古乌兰察布西部温性荒漠草地土壤种子库初探. 中国草地, 2000, **2**: 46~ 48
- [37] 张光富. 浙江天童灌丛植被的土壤种子库与幼苗库特征. 云南植物研究, 2001, **23**(2): 209~ 215
- [38] 潮洛蒙, 朴顺姬, 智瑞年, 等. 不同类型沙地差巴嘎蒿种群分布格局的研究. 中国沙漠, 1999, **19**(增刊 1): 45~ 49
- [39] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会. 我国北方农牧交错带沙漠化的成因、过程和防治对策. 中国沙漠, 2000, **20**(增刊 1): 22~ 28
- [40] 刘新民, 赵哈林, 赵爱芬. 科尔沁沙地风沙环境与植被. 北京: 科学出版社, 1996 261~ 271.
- [41] 李胜功, 赵爱芬, 常学礼. 科尔沁沙地植被演替的几个问题. 中国沙漠, 1997, **17**(增刊): 25~ 32
- [42] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(上). 生物多样性, 1994, **2**(3): 162~ 168
- [43] 赵平, 彭少麟. 种的多样性及退化生态系统功能的恢复和维持研究. 应用生态学报, 2001, **12**(1): 132~ 136