

# 科尔沁沙质草地放牧和围封条件下的土壤种子库

赵丽娅<sup>1</sup> 李兆华<sup>1</sup> 赵锦慧<sup>1</sup> 赵哈林<sup>2</sup> 赵学勇<sup>2</sup>

(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** 该文研究了科尔沁沙质草地在放牧和围封条件下土壤种子库密度、组成及其与地上植被的关系。结果表明: 1) 放牧草地植物种数 22 种, 围封草地植物种数 30 种, 围封使土壤种子库植物种数增加了 36%; 2) 放牧草地土壤种子库密度为  $16\,149 \pm 1\,900$  有效种子数·m<sup>-2</sup>, 围封草地土壤种子库密度为  $20\,657 \pm 3\,342$  有效种子数·m<sup>-2</sup>, 比放牧草地增加了 28%。放牧和围封草地种子库组成密度均以一年生植物为主(分别占 99% 和 98% 的比例), 多年生植物所占的比例很小; 3) 放牧草地种子库的 Shannon-Wiener 指数和丰富度指数分别为 0.836 3 和 4.954 9, 明显小于围封草地的 0.968 2 和 7.226 0, 表明自由放牧导致物种多样性下降; 4) 放牧和围封草地土壤种子库密度与地上植被密度均存在显著的相关性( $p < 0.001$ )。表明了随着土壤种子库密度的增加, 地上植被密度随之增加, 放牧草地地上植被密度 78% 的变异可归结为土壤种子库密度的变异, 而围封草地地上植被密度 58% 的变异可由土壤种子库密度的变异来解释。

**关键词** 沙质草地 放牧 围封 土壤种子库 地上植被

## COMPARISON ON THE DIFFERENCE IN SOIL SEED BANK BETWEEN GRAZED AND ENCLOSED GRASSLANDS IN HORQIN SANDY LAND

ZHAO Li-Ya<sup>1</sup> LI Zhao-Hua<sup>1</sup> ZHAO Jin-Hui<sup>1</sup> ZHAO Ha-Lin<sup>2</sup> and ZHAO Xue-Yong<sup>2</sup>

(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)

**Abstract Background and Aims** In Horqin sandy land, vegetation degradation usually occurs in improper management regimes under fragile conditions, e. g. clearing and grazing. However, few information is available about the effects of grazing and enclosing on the structure and performance of soil seed banks in the semi-arid desert environment. Therefore, a field experiment was conducted in grazed and enclosed grasslands to examine the structure and performance of soil seed banks.

**Methods** In late March 2003, three parallel 200-m line transects (20 m apart) were established in two experimental sites, grazed and enclosed grasslands. For each transect, 20 sampling points were set up at 10-m intervals, and a soil sample of 5 cm in depth and 20 cm × 20 cm in dimension was collected from each sampling point. All soil samples were transported to the laboratory in open plastic bags and chopped and sieved (mesh width is 0.2 mm) soon. The sieved soil samples were placed in plastic germination pots (33 cm in diameter and 12 cm in depth) and spread evenly to form an approximately 1 cm thick layer in individual pots. Pots were placed in an unheated greenhouse for seed germination. Pots were 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.

**Key Results** The study was conducted in grazed and enclosed grasslands to examine the relationship between density and composition of soil seed bank and vegetation in Horqin sandy land, Inner Mongolia. The results showed that there were 22 and 30 plant species in seed banks in the grazed and enclosed grasslands, respectively. In the grazed and enclosed grasslands, the seed bank density were  $20\,657 \pm 3\,342$  and  $16\,149 \pm 1\,900$  viable seeds·m<sup>-2</sup>, respectively, with annual herbaceous plants dominating in both sites (occupied 99% and 98%, respectively). Shannon-Wiener index and richness of the grazed grassland were 0.836 3 and 4.954 9,

respectively, which were distinctly lower than those in the enclosed grassland (0.968 2 and 7.226 0), suggesting negative impacts of grazing on seed bank diversity. Seed bank density strongly related to the standing vegetation density in both grazed and enclosed grasslands ( $p < 0.001$ ), indicating the standing vegetation density increased with the increase of seed bank density. Differences in seed bank density accounted for 78% and 58% of the variance of standing vegetation density in grazed and enclosed communities, respectively.

**Conclusions** Our results showed that adoption of enclosure management practice significantly increased density and species diversity of the seed bank, compared with the grazed grassland. Therefore, reseeding, enclosure and other management steps should be used to speed up the restoration process of the degraded grassland.

**Key words** Sandy grassland, Grazed, Enclosed, Soil seed bank, Standing vegetation

土壤种子库 (Soil seed bank) 是指土壤中的种子储存 (Harper, 1977)。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 (Roberts, 1981; Bigwood & Inouye, 1988)。土壤种子库的研究最早可追溯到 1859 年 Darwin 对池塘淤泥土中种子数量的统计。国外,不少生态学家对不同地域不同类型植被的土壤种子库组成与数量特征,以及不同放牧管理方式对种子库组成与数量的影响进行了大量试验研究 (Roach, 1983; Schneider & Sharitz, 1986; Bigwood & Inouye, 1988; Coffin & Lauenroth, 1989; O'connor & Pickett, 1992; Bekker *et al.*, 1997; Arroyo *et al.*, 1999; Li *et al.*, 2002)。国内,也有不少学者针对不同类型植被土壤种子库组成与数量特征、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。近几十年,种子库越来越引起我国生态学家的重视,其研究主要涉及森林植被演替、典型草原植物群落种子散布和土壤种子库特征等方面 (杨允菲和祝玲, 1995a, 1995b; 安树青等, 1996; 徐化成和班勇, 1996; 邓自发等, 1997; 赵明莉和许志信, 2000; 杨允菲等, 2001; 韩有志和王政权, 2003), 而对沙质草地这种隐域、半隐域性植被研究的较少。

科尔沁沙地是中国北方农牧交错带沙漠化强烈发展的地区之一,也是中国温带典型的退化草原。由于风沙危害和超载过牧等自然和人为因素的共同作用,草地土壤沙化、植被退化相当严重,致使生态环境进一步恶化。近年来,尽管对草地实行围封禁牧,但是对围封效果缺乏定量的评价。本文以科尔沁沙地这一典型的干旱荒漠化地区为研究区域,选择了持续放牧和围封保护的沙质草地作为研究对象,系统研究了放牧和围封草地土壤种子库的组成与结构特征,并分析了地上植被与土壤种子库的关系。旨在为该区草地生态系统生物多样性的保护及退化植被的恢复与重建提供理论依据。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区设在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 42°55' N, 120°41' E, 海拔 360 m。该区属温带半干旱大陆性季风气候,年平均气温 6.3 °C,年平均降水量 366 mm,生长季 (5~10 月)降水占全年降水的 80% 以上,年均蒸发量 1 935 mm。土壤类型为沙质栗钙土,经破坏后退化为流动风沙土,沙土基质分布广泛,风沙活动强烈。原生植被也被破坏殆尽,大部分已演变为沙生植被和隐域性的草甸植被,处于华北区系和蒙古区系的过渡地带。

本试验选择自由放牧和围封保护的沙质草地作为研究对象,围封草地建于 1996 年,面积约 4.5 hm<sup>2</sup>。植被恢复较好,物种丰富度较高,主要植物种是黄蒿 (*Artemisia scoparia*)、画眉草 (*Eragrostis pilosa*)、白草 (*Pennisetum centrasianicum*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*) 和达乌里胡枝子 (*Lespedeza davurica*) 等。放牧草地与围封草地相邻,由于长期放牧植被退化严重,主要建群种是黄蒿、猪毛菜 (*Salsola collina*) 和狗尾草 (*Setaria viridis*) 等。

### 1.2 研究方法

2003 年 3 月底,分别在自由放牧地、围封草地 (已封育 6 年) 的典型地段等距离 (20 m, 南北方向) 设置 3 条长 200 m 的样带,在每条样带上等距离 (10 m) 设置 20 个固定样点,每种类型 3 条样带共 60 个样点,2 个类型共计 120 个样点,用以土壤种子库和地上植被的测定。

1) 土壤种子库的测定: 4 月上旬,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 5 cm (2001 年在流动、半流动和固定沙地的预实验表明土壤种子库中 98% 的种子集中在 0~5 cm 范围内), 面积为 20 cm × 20 cm 的原状土体,装入布袋,带回试验室,过筛除去杂物后,将土样均匀平摊在发芽盆内 (盆的外径为 37 cm, 内径为 33 cm, 高为 12 cm, 盆底部钻有输水孔), 上层覆土厚度约为 1 cm, 然后置于玻璃温室中进行种子发芽和幼苗种属鉴定。种子

发芽实验期间,每天下午定时喷洒适量的水分,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为止。土壤种子库密度用单位面积(1 m<sup>2</sup>)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。

2)地上植被的测定:在每个土壤种子库取样点的旁边,设置面积1 m<sup>2</sup>的样方,于8月下旬测定每个样方的植被盖度、种类组成及每种植物的个体数量。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。

### 1.3 数据处理

#### 1.3.1 物种重要值和物种优势度

采用下面两个公式计算物种重要值和优势度:

$$IV = \text{相对密度} + \text{相对频度}$$

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

式中,IV为物种重要值;DV为物种的优势度。

#### 1.3.2 多样性指标

多样性指标采用生态优势度、Shannon-Wiener多样性指数、Margalet丰富度指数和Pielow均匀度指数计算。

$$\text{生态优势度} : D = 1 - \sum_{i=1}^S (P_i)^2$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数} : H = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$

$$\text{Margalet 丰富度指数} : R = (S - 1) / \ln N$$

$$\text{Pielow 均匀度指数} : E = H / \ln S$$

式中,S为种子库物种总数;N为种子库所有种的种子总数; $P_i$ 为第*i*种植物的种子数占种子库中总种子数比例,文中 $P_i$ 用重要值来代替。

#### 1.3.3 配对样本*t*检验和回归分析

采取配对样本*t*检验法比较围封和放牧草地土壤种子库密度(有效种子数·m<sup>-2</sup>)和每种植物种子库密度的差异,比较围封和放牧草地地上植物群落密度(植株数·m<sup>-2</sup>)和每种植物的定居密度的差异。在进行*t*检验之前,对土壤种子库密度和地上植物群落密度数据进行对数转换处理。另外,采用线性和非线性回归分析确定放牧和围封草地土壤种子库密度与地上植被密度的关系。进行回归分析之前,对土壤种子库密度和地上植被密度数据进行对数转换。采用Sorensen的相似性系数(Similarity coefficient, SC)确定放牧和围封草地在土壤种子库组成上

的相似性(Arroyo *et al.*, 1999),计算公式如下:

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

式中:SC是相似性系数;*w*为土壤种子库和地上植被共有的植物种数;*a*和*b*分别为土壤种子库和地上植被的植物种数。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤种子库组成与密度

放牧草地种子库中共有植物22种,其中单子叶植物7种,双子叶植物15种;围封草地种子库中共有植物30种,其中单子叶植物6种,双子叶植物24种。以生活型划分,放牧草地一年生草本植物18种,多年生草本植物3种;围封草地一年生草本植物20种,多年生草本植物5种(图1)。放牧草地土壤种子库22种植物分属8个科,其中禾本科7种,藜科5种,豆科4种,菊科2种,其它4科各1种;围封草地土壤种子库30种植物分属12个科,其中禾本科6种,藜科7种,豆科5种,菊科4种,其它8科各1种(表1)。围封7年的草地比放牧草地植物种数提高了36%,豆科植物增加了25%,围封措施显著提高了沙质草地群落种子库的植物种数以及优良牧草的种类,使草地质量得到改善,表明了围封禁牧是促进退化沙质草地土壤种子库修复的有效措施之一。

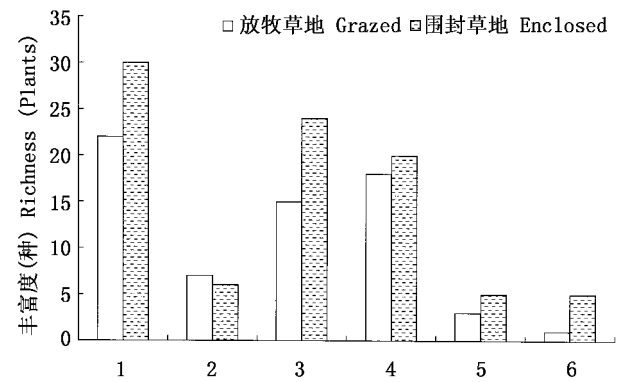


图1 放牧和围封草地土壤种子库的丰富度比较  
Fig.1 Comparative analysis of soil seed bank in the grazed and enclosed grasslands

1:植物总数 Total number of plants 2:单子叶植物 Monocotyledon  
3:双子叶植物 Dicotyledon 4:一年生 Annuals 5:多年生 Perennials 6:灌木 Shrubs

放牧和围封草地均是一年生植物占绝对优势,在围封草地种子库群落中,一年生植物占98%,最丰富的5种植物依次是黄蒿、画眉草、虎尾草(*Chlorisvirgata*)、狗尾草和达乌里胡枝子,其种子库密度

表 1 放牧和围封草地土壤种子库密度(平均值  $\pm$  标准误,有效种子数  $\cdot m^{-2}$ )以及物种优势度  
Table 1 Density (Mean  $\pm$  SE, viable seeds  $\cdot m^{-2}$ ) and dominance of soil seed bank in the grazed and enclosed sandy grasslands

	科与生活型 Family	放牧 Grazed	围封 Enclosed	<i>t</i>	<i>p</i>
植物种数 Total number of species	-	22	30		
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	禾本科 AH <sup>1)</sup>	651 $\pm$ 243( 5.64 )	2 752 $\pm$ 377( 15.38 )	8.9	< 0.001
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	禾本科 AH <sup>1)</sup>	106 $\pm$ 77( 2.58 )	346 $\pm$ 81( 4.84 )	2.3	< 0.05
三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	禾本科 AH <sup>1)</sup>	182 $\pm$ 63( 4.28 )	236 $\pm$ 42( 7.12 )	1.8	NS
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科 AH <sup>1)</sup>	39 $\pm$ 13( 3.45 )	337 $\pm$ 82( 5.16 )	-7.3	< 0.001
毛马唐 <i>Digitaria ciliaris</i>	禾本科 AH <sup>1)</sup>	2 $\pm$ 1( 0.50 )	7 $\pm$ 2( 0.97 )	-2.2	< 0.05
冠芒草 <i>Enneapogon brachystachyus</i>	禾本科 AH <sup>1)</sup>	2 $\pm$ 1( 0.50 )	-	-	-
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	藜科 AH <sup>2)</sup>	1 359 $\pm$ 176( 8.09 )	205 $\pm$ 83( 5.67 )	-7.9	< 0.001
沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	藜科 AH <sup>2)</sup>	0.4 $\pm$ 0.4( 0.12 )	1 $\pm$ 1( 0.16 )	-0.6	NS
大果虫实 <i>Corispermum macrocarpum</i>	藜科 AH <sup>2)</sup>	86 $\pm$ 33( 2.21 )	3 $\pm$ 2( 0.75 )	-5.1	< 0.001
五星蒿 <i>Bassia dasyphylla</i>	藜科 AH <sup>2)</sup>	43 $\pm$ 13( 2.23 )	93 $\pm$ 51( 2.38 )	-1.4	NS
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	藜科 AH <sup>2)</sup>	2 $\pm$ 1( 0.50 )	210 $\pm$ 83( 2.45 )	-4.9	< 0.001
地肤 <i>Kochia scoparia</i>	藜科 AH <sup>2)</sup>	-	25 $\pm$ 13( 1.65 )	-	-
鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	豆科 AH <sup>3)</sup>	7 $\pm$ 3( 1.13 )	4 $\pm$ 2( 0.41 )	1.0	NS
砂蓝刺头 <i>Echinops gmelini</i>	菊科 AH <sup>4)</sup>	-	1 $\pm$ 1( 0.08 )	-	-
苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	菊科 AH <sup>4)</sup>	2 $\pm$ 1( 0.38 )	-	-	-
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	菊科 AH <sup>4)</sup>	13 408 $\pm$ 1 268( 46.16 )	15 946 $\pm$ 2 332( 45.65 )	1.5	NS
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	蒺藜科 AH <sup>5)</sup>	0.4 $\pm$ 0.4( 0.12 )	6 $\pm$ 2( 0.81 )	-2.9	0.005
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	大戟科 AH <sup>6)</sup>	38 $\pm$ 22( 2.71 )	89 $\pm$ 28( 92.93 )	-2.6	< 0.05
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	苋科 AH <sup>7)</sup>	-	14 $\pm$ 3( 1.79 )	-	-
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	马齿苋科 AH <sup>8)</sup>	3 $\pm$ 1( 0.75 )	40 $\pm$ 5( 3.60 )	-9.5	< 0.001
鹤虱 <i>Lappula myosotis</i>	紫草科 AH <sup>9)</sup>	0.4 $\pm$ 0.4( 0.12 )	1 $\pm$ 1( 0.58 )	-0.6	NS
太阳花 <i>Erodium stephanianum</i>	牛儿苗科 AH <sup>10)</sup>	-	9 $\pm$ 3( 0.16 )	-	-
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	禾本科 PH <sup>1)</sup>	7 $\pm$ 4( 0.89 )	30 $\pm$ 6( 2.14 )	-3.6	0.001
扁蓿豆 <i>Melissitus ruthenicus</i>	豆科 PH <sup>3)</sup>	0.4 $\pm$ 0.4( 0.13 )	3 $\pm$ 3( 0.17 )	-1.0	NS
苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	豆科 PH <sup>3)</sup>	0.4 $\pm$ 0.4( 0.13 )	15 $\pm$ 6( 0.99 )	2.5	< 0.05
田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	旋花科 PH <sup>11)</sup>	-	2 $\pm$ 1( 0.24 )	-	-
问荆 <i>Equisetum aruense</i>	木贼科 PH <sup>12)</sup>	-	0.4 $\pm$ 0.4( 0.08 )	-	-
华北驼绒藜 <i>Ceratoides arborescens</i>	藜科 SH <sup>2)</sup>	-	3 $\pm$ 3( 0.09 )	-	-
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	豆科 SH <sup>3)</sup>	210 $\pm$ 47( 6.43 )	276 $\pm$ 54( 4.13 )	2.0	NS
小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i>	豆科 SH <sup>3)</sup>	-	1 $\pm$ 1( 0.08 )	-	-
差巴嘎蒿 <i>Artemisia halodendron</i>	菊科 SH <sup>4)</sup>	-	2 $\pm$ 2( 0.16 )	-	-
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	菊科 SH <sup>4)</sup>	-	1 $\pm$ 1( 0.08 )	-	-
小计 Totals		16 149 $\pm$ 1 900	20 657 $\pm$ 3 342	-2.7	0.009

配对样本 *t* 检验采用对数转换数据,但表中所示数据是未转换数据,括号里的值是物种优势度 Log-transformed data were used in paired-sample *t* test but untransformed data are shown in Table 1, and values in parentheses are dominance of species NS: 差异不显著 Nonsignificant AH: 一年生草本植物 Annual herbs PH: 多年生草本植物 Perennial herbs SH: 灌木 Shrubs 1) Gramineae 2) Chenopodiaceae 3) Leguminosae 4) Compositae 5) Zygophyllaceae 6) Euphorbiaceae 7) Amaranthaceae 8) Portulacaceae 9) Boraginaceae 10) Geraniaceae 11) Convolvulaceae 12) Equisetaceae

占土壤种子库总密度的 92%。在放牧草地种子库群落中,一年生植物占 99%,最丰富的 5 种植物依次是黄蒿、猪毛菜、画眉草、达乌里胡枝子和三芒草 (*Aristida adscensionis*),其种子库密度占土壤种子库总密度的 95%(表 1)。由此可见,围封草地土壤种子库群落处于黄蒿 + 禾草的恢复演替阶段,而放牧草地土壤种子库群落处于黄蒿 + 杂类草 + 禾草的退化演替阶段。

配对样本 *t* 检验结果显示(表 1),放牧和围封草地的土壤种子库密度存在显著的差异(表 1)。放牧草地种子库密度为 16 149  $\pm$  1 900 有效种子数  $\cdot m^{-2}$ (平均值  $\pm$  SE),围封草地种子库密度为 20 657  $\pm$  3 342 有效种子数  $\cdot m^{-2}$ ,比放牧草地提高了 28%。表 1 还显示,放牧和围封草地土壤种子库中不同植物种的变化模式不同。以禾本科和藜科植物为例,在发现的 7 种禾草中,画眉草、虎尾草、三芒

草、狗尾草、毛马唐(*Digitaria ciliaris*)和糙隐子草的种子库密度分别由围封草地的  $2\ 752 \pm 377$ 、 $346 \pm 81$ 、 $236 \pm 42$ 、 $337 \pm 82$ 、 $7 \pm 2$  和  $30 \pm 6$  有效种子数· $m^{-2}$  降至放牧草地的  $651 \pm 243$ 、 $106 \pm 77$ 、 $182 \pm 63$ 、 $39 \pm 13$ 、 $2 \pm 1$  和  $7 \pm 4$  有效种子数· $m^{-2}$ 。冠芒草(*Eneapogon brachystachyus*)只出现在放牧草地的种子库群落。在出现的 7 种藜科植物中,从围封草地到放牧草地,猪毛菜和大果虫实(*Corispermum macrocarpum*)的种子库密度增加,相反,五星蒿(*Bassia dasyphylla*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)和灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)的种子库密度减少,地肤(*Kochia scoparia*)和华北驼绒藜(*Ceratoides arborescens*)只出现在围封草地种子库群落。

## 2.2 土壤种子库物种多样性

放牧草地种子库物种的 Shannon-Wiener 指数、丰富度指数、生态优势度和均匀度指数分别为 0.836 3、4.954 9、0.745 7 和 0.623 0,均小于围封草地的 0.968 2、7.226 0、0.769 8 和 0.649 2。可以看出种子库的物种多样性与植物种数密切相关。对沙质草地实施围封措施后,随着土壤养分的增加,种子库植物种数随之增加,以致土壤种子库的物种丰富度和多样性增加(表 2)。围封草地与放牧草地相比,放牧草地土壤的有效氮、速效磷和有机质分别为  $3.51 \pm 1.08\ mg \cdot kg^{-1}$ 、 $24.40 \pm 4.75\ mg \cdot kg^{-1}$ 、 $0.22\% \pm 0.12\%$ ,而围封草地土壤的有效氮、速效磷和有机质分别为  $3.92 \pm 0.96\ mg \cdot kg^{-1}$ 、 $30.16 \pm 5.88\ mg \cdot kg^{-1}$ 、 $0.44\% \pm 0.11\%$ ,分别增加了 12%、24% 和 103%。

表 2 放牧和围封草地土壤种子库物种丰富度、多样性和均匀度指数

Table 2 Richness, diversity and evenness of soil seed bank in the grazed and enclosed sandy grasslands

	放牧 Grazed	围封 Enclosed
植物种数 Number of species	22	30
种子库密度 Density of seed banks	17 307	19 502
Simpson 指数 Simpson's diversity index	0.745 7	0.769 8
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	0.836 3	0.968 2
丰富度指数 Richness index	4.954 9	7.226 0
均匀度指数 Evenness index	0.623 0	0.649 2

## 2.3 地上植被与土壤种子库的关系

从计算出的放牧和围封草地土壤种子库种类组成上的 Sorensen 相似性系数可知,相似性系数为 0.970,表现出较小的异质性。基于一、二年生草本

植物,放牧和围封草地的相似性系数为 0.972,基于多年生草本植物,放牧和围封草地种子库的相似性系数为 0.932。

回归分析结果显示,放牧和围封草地土壤种子库密度与地上植被密度存在显著的相关性(图 2)。该结果表明,随着土壤种子库密度的增加,地上植被密度随之增加,放牧草地地上植被密度 78% 的变异可归结为土壤种子库密度的变异,而围封草地地上植被密度 58% 的变异可由土壤种子库密度的变异来解释。结果与 O'Connor 和 Pickett(1992)在非洲热带稀树草原的研究结果相一致,而与 Harper(1977)、Thompson 和 Grime(1979)及 Coffin 和 Lauenroth(1989)的研究结果不同,他们认为土壤种子库密度与地上植被密度不存在显著的相关性。

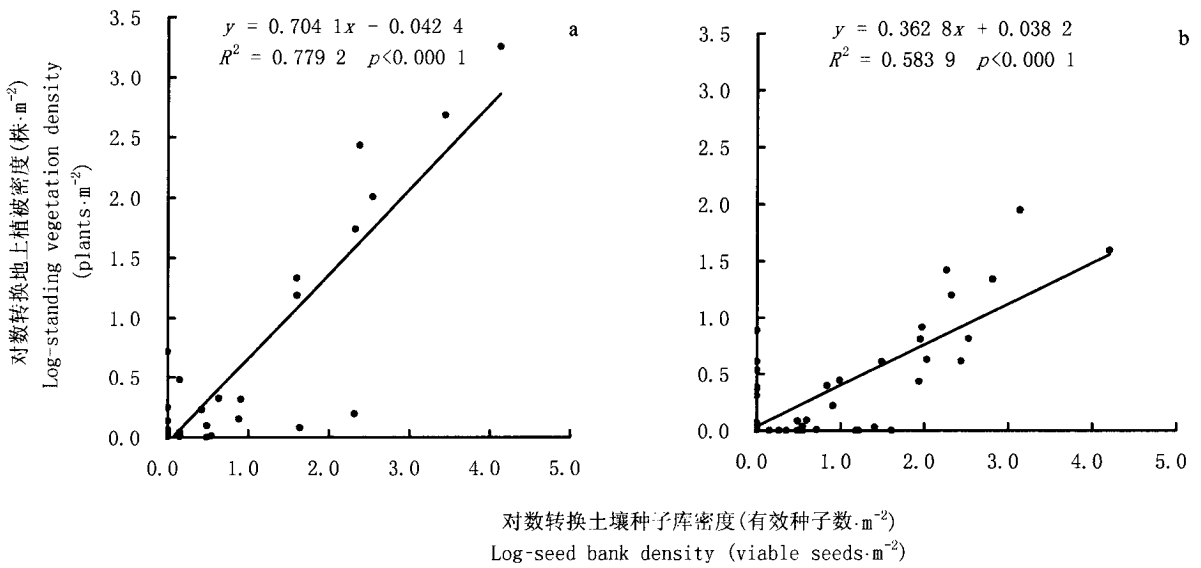
## 3 讨论

### 3.1 土壤种子库组成和密度

种子库的大小与种子的大小有关,通常一些产生种子数量多而体积小的植物具有较大的土壤种子库。大部分森林土壤中的种子含量在  $10^2 \sim 10^3$  种子数· $m^{-2}$ ,草地种子库为  $10^3 \sim 10^6$  种子数· $m^{-2}$ ,而耕作土为  $10^3 \sim 10^5$  种子数· $m^{-2}$ (Thompson & Grime, 1979; Coffin & Lauenroth, 1989; O'Connor & Pickett, 1992)。科尔沁沙地放牧和围封草地种子库密度分别为  $16\ 149 \pm 1\ 900$  有效种子数· $m^{-2}$  和  $20\ 657 \pm 3\ 342$  有效种子数· $m^{-2}$ ,这与其它草地的种子库密度处于同一数量级。

放牧和围封草地土壤种子库群落均以一年生植物为主,多年生植物所占的比例很小。主要原因是这些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,萌孽性强,通常借助于无性系分株(Ramet)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。这种繁殖方式可以看作是此类植物在一定的生境条件下形成的一种生态适应对策(钟章成等,1997)。

与放牧沙质草地相比较,围封 7 年的沙质草地土壤种子库的密度和植物种数明显增加(增加的比例分别为 28% 和 36%),同时还增加了种子库优良禾草的密度以及豆科植物的种类,使草地质量得到改善,表明围封是促进退化沙质草地土壤种子库修复的有效措施之一。因此,有必要对放牧草地进行围封管理,尤其是在植物生长季节,适当地撒播优良牧草种子,加快过度放牧草地的恢复演替进程。



a : 放牧草地 Grazed sandy grassland b : 围封草地 Enclosed sandy grassland

图2 土壤种子库密度与地上植被密度的关系

Fig.2 Relationship between standing vegetation density and soil seed bank density

### 3.2 种子库的物种多样性

自由放牧草地种子库的 Shannon-Wiener 多样性指数和丰富度指数明显小于围封草地。这是由于土壤是植物赖以生存的物质基础,其理化性质的好坏直接关系到植被的生长状况。在自由放牧条件下,土壤粘粒、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育措施后,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(赵哈林等 2003)。

### 3.3 种子库与地上植被的关系

地上植被的动态特征与土壤种子库的种类组成及其数量特征有着不可分割的制约关系。已有的研究得出了两种不同的结论:1)土壤种子库与地上植被在种类组成上存在显著差异,尤其是演替后期的植被(Hall & Swaine, 1980; 安树青等, 1996; 赵明莉和许志信, 2000); 2)土壤种子库与地上植被在种类组成上存在相当高的相似性(Roach, 1983; Schneider & Sharitz, 1986; O'Connor & Pickett, 1992)。我们的研究表明,放牧和围封草地土壤种子库密度与

地上植被密度均存在显著的相关性,其中放牧草地地上植被密度 78% 的变异可归结为土壤种子库密度的变异,围封草地地上植被密度 58% 的变异可由土壤种子库密度的变异来解释。与第二种研究结果相一致。

不难看出,目前还不能就种子库与地上植被间的关系得出一个统一的结论。造成这种状况的原因是多方面的:第一,不同植物种在自然环境中的生活史对策不同,包括繁殖策略、种子产量、种子大小、外部特征等,这些因素都直接影响植物种在地上植被和种子库中的地位 and 比例,即各物种在地上植被和种子库中的多度决定于它们的生活史(O'Connor & Pickett, 1992);第二,地上植被的种子未能进入种子库;第三,地上植被的种子虽然进入种子库,但属于短暂留存种子,在调查前已萌发或死亡,在种子的抽样调查中未被抽到。

## 4 结论

1)放牧草地种子库植物种数 22 种,围封草地种子库植物种数 30 种,围封使种子库植物种数增加了 36%,放牧和围封草地种子库组成密度均以一年生植物为主(分别占 99% 和 98% 的比例),多年生植物所占的比例很小。

2)放牧草地土壤种子库密度为  $16\ 149 \pm 1\ 900$  有效种子数  $\cdot m^{-2}$ ,围封草地土壤种子库密度为

20 657 ± 3 342 有效种子数·m<sup>-2</sup>,比放牧草地增加了 28%。

3) 放牧草地种子库的 Shannon-Wiener 指数和丰富度指数分别为 0.836 3 和 4.954 9,明显小于围封草地的 0.968 2 和 7.226 0,这是由于放牧使土壤养分下降,导致土壤种子库的物种多样性减少,而且过度放牧还使适口性好的优良草种在地上植被中消失。

4) 放牧和围封草地土壤种子库密度与地上植被密度均存在显著的相关性。表明了随着土壤种子库密度的增加,地上植被密度随之增加,放牧草地上植被密度 78% 的变异可归结为土壤种子库密度的变异,而围封草地上植被密度 58% 的变异可由土壤种子库密度的变异来解释。

### 参 考 文 献

- An SQ(安树青), Lin XY(林向阳), Hong BG(洪必恭) (1996). A preliminary study on the soil seed banks of the dominant vegetation forms on Baohua Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 20, 41 - 50. (in Chinese with English abstract)
- Arroyo MTK, Cavieres LA, Castor C, Humana AM (1999). Persistent soil seed bank and standing vegetation at a high alpine site in the central Chilean Andes. *Oecologia*, 119, 126 - 132.
- Bigwood DW, Inouye DW (1988). Spatial pattern analysis of seed banks: an improved method and optimizing sampling. *Ecology*, 69, 497 - 507.
- Bekker RM, Verweil GL, Smith REN, Reine R, Bakker JP, Schneider S (1997). Soil seed banks in European grasslands: does land use affect regeneration perspectives? *Journal of Applied Ecology*, 34, 1293 - 1310.
- Coffin DP, Lauenroth WK (1989). Spatial and temporal variation in the seed bank of a semiarid grassland. *American Journal of Botany*, 76, 53 - 58.
- Deng ZF(邓自发), Zhou XM(周兴民), Wang QJ(王启基) (1997). The studies of seed bank of *Kobresia huilis* meadow in Qingzang Plateau. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 16(5), 19 - 23. (in Chinese with English abstract)
- Harper JL (1977). *Population Biology of Plants*. Academic Press, London, 15 - 39.
- Hall JB, Swaine MD (1980). Seed stocks in Ghanaian forest soil. *Biotropica*, 12, 256 - 263.
- Han YZ(韩有志), Wang ZQ(王政权) (2003). Quantification comparison of spatial pattern of soil seed bank of *Fraxinus mandshurica* in two stands. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 14, 487 - 492. (in Chinese with English abstract)
- Li FR, Zhao AF, Zhou HY, Zhang TH, Zhao X (2002). Effects of simulated grazing on growth and persistence of *Artemisia frigida* in a semiarid sandy rangeland. *Grass and Forage Science*, 57, 239 - 247.
- O' Connor TG, Pickett GA (1992). The influence of grazing on seed production and seed banks of some African savanna grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 29, 247 - 260.
- Roberts HA (1981). Seed banks in soil. *Advances of Applied Biology*, 6, 1 - 55.
- Roach DA (1983). Buried seed and standing vegetation in two adjacent tundra habitats, northern Alaska. *Oecologia*, 60, 359 - 364.
- Schneider RL, Sharitz RR (1986). Seed bank dynamics in a south-eastern riverine swamp. *American Journal of Botany*, 73, 1022 - 1030.
- Thompson K, Grime JP (1979). Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasted habitats. *Journal of Ecology*, 67, 893 - 921.
- Xu HC(徐化成), Ban Y(班勇) (1996). The distribution of seeds in the soil and the sustainability of the seed bank of *Larix gmelini* in northern Daxing'anling Mountains. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 20, 28 - 34. (in Chinese with English abstract)
- Yang YF(杨允菲), Zhu L(祝玲) (1995a). Analysis on the mechanism of seed dispersal of *Puccinellia chinampoensis* on alkali-meadow in the Songnen plain of China. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 37, 222 - 230. (in Chinese with English abstract)
- Yang YF(杨允菲), Zhu L(祝玲) (1995b). Comparative analysis of seed banks in saline-alkali communities in the Songnen plain of China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 19, 144 - 148. (in Chinese with English abstract)
- Yang YF(杨允菲), Yang LM(杨利民), Zhang BT(张宝田), Li JD(李健东) (2001). Relationships between seed production in *Leymus chinensis* and climatic variation in natural meadows in North-eastern China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 25, 337 - 343. (in Chinese with English abstract)
- Zhao HL(赵哈林), Zhao XY(赵学勇), Zhang TH(张铜会) (2003). *Desertification and Restoration Dynamics of Horqin Sandy Land* (科尔沁沙地沙漠化过程及其恢复机理). Ocean Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhao ML(赵明莉), Xu ZX(许志信) (2000). Study on seed bank of desert grassland in Inner Mongolia. *Grassland of China* (中国草地), (2), 46 - 48. (in Chinese with English abstract)
- Zhong ZC(钟章成), Dong M(董鸣), Xiong LM(熊利民) (1997). *Study on Plant Ecology* (植物生态学研究进展). Southwest China Normal University Press, Chongqing. (in Chinese)