

锡林郭勒退化草原不同禁牧恢复 演替阶段土壤种子库比较

全 川^{1,2}, 冯 秀², 张远鸣², 仲延凯²

(1. 生态地理过程省高校重点实验室, 亚热带资源与环境省重点实验室, 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007;
2. 内蒙古大学, 生态与环境科学系, 呼和浩特 010021)

摘要:以冷蒿(*Artemisia frigida*) + 糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)退化草原经过长期围栏禁牧恢复演替(23 a 和 10 a)群落为研究对象,并对比围栏外退化的冷蒿 + 糙隐子草草原,揭示锡林郭勒退化草原长期围栏禁牧后的土壤种子库特征。随着群落的恢复演替,土壤总种子库物种组成和密度均增加,但持久性土壤种子库占土壤总种子库的比例下降。代表土壤总种子库的4月份取样,围栏禁牧 23 a、10 a 和围栏外退化样地土壤种子库密度平均值分别为 4433、4756 粒·m⁻²和 856 粒·m⁻²,在 0.001 水平上差异显著,基本代表持久土壤种子库(persistent soil seed bank)的6月底取样,3个样地土壤种子库密度在 0.05 水平上差异显著;多数植物土壤种子库主要分布在 0~3 cm 层,各样地种子库密度随土壤深度的增加而减少;围栏禁牧 23 a、10 a 和围栏外重度退化样地的持久土壤种子库密度分别为土壤总种子库的 52.6%、47.4% 和 90.9%,;各样地一年生植物,构成了草原土壤种子库密度的主要组成部分。结果表明,对于严重退化的冷蒿 + 糙隐子草群落,只要在恢复起点仍有零星分布的羊草和大针茅植株,经过长期围栏禁牧可恢复其土壤种子库物种组成和种子库规模。

关键词:退化草原;围栏禁牧;土壤总种子库;持久土壤种子库;垂直分布;锡林郭勒草原

文章编号:1000-0933(2008)05-1991-12 中图分类号:Q948,S812 文献标识码:A

Soil seed banks in different grazing exclusion restoring succession stages in the Xiligole degraded steppe

TONG Chuan^{1,2}, FENG Xiu², ZHANG Yuan-Ming², ZHONG Yan-Kai²

1 Key Laboratory of Eco-geographical Process of Fujian Universities, Fujian Key Laboratory of Sub-tropical Resources and Environment, College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

2 Department of Ecology and Environmental Sciences, Inner Mongolia University, Huhhot, 010021, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 1991~2002.

Abstract: The soil seed bank is important for vegetation regeneration and natural succession, and it may change as a result of management, for example in response to varying grazing pressure. However, almost nothing is known about the on the soil seed banks in the restored steppe, and steppe degraded by grazing in Inner Mongolia. Here, we aimed to: (1) investigate the composition and soil seed density in three vertical layers in restored steppe after long-term exclusion (10 and 23 years) of grazing, and compare this with steppe degraded by grazing; (2) examine and compare the total and persistent soil seed bank in restored steppe versus degraded grazing steppe; (3) relate the similarity of seed bank composition with that of the standing vegetation.

基金项目:内蒙古自然科学基金重点资助项目(200408020502);内蒙古高等学校科学研究资助项目(NJ04092)

收稿日期:2007-07-20;修订日期:2007-12-14

作者简介:全川(1964~),男,河北定州人,博士,教授,主要从事生态系统和植物生态学研究。E-mail:tongch@fjnu.edu.cn

Foundation item: This work was financially supported by the key program of natural sciences of Inner Mongolia (No. 200408020502); the foundation of Inner Mongolia Universities' science research (No. NJ04092)

Received date: 2007-07-20; **Accepted date:** 2007-12-14

Biography: TONG Chuan, Ph. D., Professor, mainly engaged in ecosystem and vegetation ecology. E-mail:tongch@fjnu.edu.cn

In August 2004, we investigated the community of three sites in Xilingole: (1) two areas of previously degraded steppe where grazing had been excluded for either 10 or 23 years, and (2) a degraded steppe where grazing had been continued. The species present in the vegetation was assessed using five 1 m 1 m quadrats distributed randomly in each area. In spring 2005, in the same sites, fifteen soil cores (15 cm × 15 cm × 3 cm) were collected from three depth layers (0—3 cm, 3—6 cm and 6—9 cm) for each three treatments. The composition and density of the soil seed bank was evaluated by monitoring seedling emergence. The similarity of soil seed bank and the standing vegetation was assessed using the Sorensen index.

Heavy grazing can cause the lack of soil seed reserves, and long term-grazing exclusion can restore the composition and density of soil seed banks steppe. In April 2005, the total soil seed banks (0—9 cm depth) after 10 and 23 years enclosure had 4756 and 4433 seeds·m⁻² respectively but only 856 seeds·m⁻² for the degraded steppe. In June results were lower but showed the same pattern (i. e. 2255, 2333 and 778 s seeds·m⁻²). The difference in results between April and June can be considered as the spring germinable seeds. The persistent soil seed banks of the 10, 23 years enclosed steppe, and degraded steppe were 53%、47% and 91% of the total soil seed bank. Most soil seeds were found in the top 0—6 cm, and there was a decrease with depth. Annuals constituted a major component of the steppe soil seed bank, and most seeds were classified as transient members of the transient soil seed bank, such as annual *Chenopodium album* and perennial *Allium tenuissimum*. The Sorensen similarity index of seed bank composition and standing vegetation was 0.49—0.54.

Key Words: degraded steppe; grazing exclusion; soil seed bank; persistent soil seed bank; vertical structure; Xilingole steppe

土壤种子库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]。土壤种子库研究是植物生态学的一个重要方向。持久土壤种子库的提出和划分,对于生物多样性保护和植物遗传种质资源保护具有重要意义,持久性是植物物种的一个特征,指植物种子在土壤中的存活能力^[2]。持久土壤种子库(permanent or persistent soil seed bank)指种子在土壤中休眠期至少 1 a,在土壤中存活 2~100 a 也都归为持久土壤种子库^[3],与之相对应的瞬时(短暂)土壤种子库(transient soil seed bank)指种子在土壤中存留时间不超过 1 a^[3,4]。植物种子的持久性是对环境的一种进化适应,在多个季节萌发可分担环境震荡的风险^[5]。作为陆地生态系统一个重要类型,草原(草地)土壤种子库研究是土壤种子库研究的一个重要领域,国内外许多学者都作出了不少的研究成果^[6~12]。目前,对于不同类型退化草原在围封禁牧条件下的土壤种子库特征开始受到关注,并得出一些基本的规律^[13~16]。内蒙古高原草原位于整个欧亚大草原的最东段,锡林郭勒河流域草原在内蒙古高原草原中具有极强的代表性,近年来由于过度放牧,草原退化严重。围栏封育是目前恢复退化草原常用措施之一^[13]。中科院内蒙古草原生态系统定位站分别于 1983 年和 1996 年先后在白音锡勒牧场退化草原建立了退化草原恢复演替围栏样地,以期开展退化草原恢复演替研究。目前,围栏禁牧 23 a 样地已经很好地恢复至区域气候顶极羊草+大针茅群落,围栏禁牧 10 a 样地也已基本恢复演替至羊草(*Leymus chinensis*) + 大针茅(*Stipa grandis*)群落,冷蒿(*Artemisia frigida*)和糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)在群落中占的比例很小。与未围栏禁牧的退化草原相比较,退化草原经过长期围栏禁牧后土壤种子库的组成和密度如何变化? 4 月份取样代表的土壤总种子库和 6 月底取样代表的当年土壤种子库中可萌发(germinable)种子萌发到尚未得到新种子雨补充之前的土壤种子库,也可被认为是持久土壤种子库的特征如何? 1 年生植物在不同恢复阶段草原土壤种子库中的作用如何? 目前均未见报道。揭示过度放牧对于草原土壤种子库的影响以及长期围栏禁牧恢复演替不同阶段土壤种子库的变化,探讨持久性土壤种子库的组成和密度特征,对于内蒙古草原的可持续利用、科学管理以及退化草原生态恢复具有重要的理论和实践价值。

本研究的目的是(1)揭示锡林郭勒羊草+大针茅退化草原经过长期禁牧围栏恢复演替后的土壤种子库分层特征,并与比邻的放牧严重退化样地土壤种子库进行对比;(2)4 月份和 6 月底 2 次土壤取样,比较研究

春季萌发前后的土壤种子库特征,即土壤总种子库和持久土壤种子库特征;(3)探讨土壤种子库与地上植被相似性关系。

1 研究样地与研究方法

1.1 研究区域概况

研究区位于内蒙古锡林郭勒高原东南部的白音锡勒牧场,中温带大陆性气候,年平均降水量 350mm,年平均气温 $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[17]。地带性土壤为栗钙土,多砂壤质地,沙性较重,过牧后易遭受风蚀。草原植被具有蒙古草原性质,羊草草原和大针茅草原是该区域典型草原的主体,也白音锡勒牧场最基本的放牧场和割草场。

1.2 样地概况

确定围栏禁牧 23 a、围栏禁牧 10 a 和围栏外退化草原为研究对象:

(1) 围栏禁牧 23 a 样地 (grazing exclusion for 23 years, GE23) 为中国科学院内蒙古草原生态系统定位站 1983 年围封的退化草原群落恢复样地,面积 $600 \times 400\text{ m}^2$,围封时为严重退化的冷蒿 + 糙隐子草群落,属于羊草 + 大针茅草原的严重退化变体,但群落中仍有零星分布的矮小的羊草和大针茅植株。经过 23 a 的围栏禁牧,现已经恢复至该区域典型的气候顶极羊草 + 大针茅群落,早生和中早生杂类草明显增多,8 月份样方调查结果为群落盖度达 100%,群落植株高度为 40 ~ 50 cm,地上植株密度 210 ~ 240 株/ m^2 。

(2) 围栏禁牧 10 a 样地 (grazing exclusion for 10 years, GE10) 为中国科学院内蒙古草原生态系统定位站 1996 年围封的退化群落恢复样地,面积 $80 \times 400\text{ m}^2$,该样地是上一样地南延伸 80 m 围封而成,与上一样地具有原生群落和生境的一致性,围封时的群落状态也相似,不同之处在于两个样地的开始围栏时间相差 13 a。经过 10 a 的围栏禁牧,现已经基本恢复演替至羊草 + 大针茅群落,冷蒿和糙隐子草在群落中占的比例很小,已完全成为次要成分,地上植株密度 180 ~ 210 株/ m^2 。

(3) 围栏外严重退化样地 (non-grazing exclusion, NGE) 围栏外严重放牧退化草原,因只有一条围栏相隔,与前两个样地在生境条件上一致。该样地因过度放牧利用,现已严重退化至冷蒿 + 糙隐子草草原,但仍零星分布有羊草和大针茅植株,整个群落植物矮小,平均高度为 12 ~ 13 cm,地上植株密度 110 ~ 130 株/ m^2 ,在生长季因冷蒿的优势作用,群落呈灰绿色。

1.3 植物群落调查

2005 年 8 月对研究样地植被进行群落调查,在每个样地中心随机设置 5 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 样方,样方间距 10 m,调查记录样方内的植物种类以及各物种在样方中的株数。在各样方点做一标记以便第 2 年进行土壤种子库的取样。

1.4 土壤种子库取样

取样时间分别为 2006 年 4 月 12 ~ 15 日和 2006 年 6 月 27 ~ 30 日。早春 4 月份土壤种子库取样是为了揭示土壤总种子库。休眠期至少一年才萌发的种子可以通过特别的取样时间来估测^[2]。位于寒温带的锡林郭勒典型草原土壤中的种子主要在春季萌发,夏秋季节萌发的很少,到 6 月底还没有萌发的多数要到下一年的春季或以后各年的春季萌发,因此,6 月份取样的主要目的是研究当年土壤种子库中可萌发 (germinable) 种子萌发到尚未到新种子雨补充之前的土壤种子库状况,即在土壤中保留时间超过 1a 以上的持久土壤种子库。土样种子库取样采用随机法,在植物群落调查样方附近进行种子库取样。土壤种子库取样器为特制的 $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 11\text{ cm}$ 钢制取样器。考虑到研究围封样地面积不大,植被和地形地貌均质性很强,同时土壤分层取样较多增加了样品数,本研究在每个样地中心选一个点,以此为中心随机地选取 5 个取样点^[18~20]。锡林郭勒草原土深 8 cm 以下很少有种子存在^[18],本研究取土深度分为 0 ~ 3 cm、3 ~ 6 cm、6 ~ 9 cm 3 层,取样不包括凋落物,每个样地共采集土壤种子库土样 15 个。土样装入布袋,带回实验室萌发。

1.5 种子库组成和密度鉴定

草原生态系统大部分植物种子较小,萌发法可得出较可靠和有效的估计,且对种苗的鉴定要比直接对种子的鉴定容易。萌发法得出的种子库一般为土壤可萌发种子库。土样过筛除去杂物后,均匀平摊在发芽盘

内,厚度约 2 cm,将发芽盘置于室内进行种子发芽和幼苗种属诊断。在种子萌发期间,每天定时向发芽盆中喷洒适量水分。两次萌发实验均进行了近 3 个月的观察期。幼苗鉴别时参考仲延凯绘制的草原植物幼苗图及一些常用的鉴别经验(如通过幼苗的形态特征、颜色和气味等)进行种的鉴定。

1.6 数据处理

1.6.1 土壤种子库与地上植被的相似性选用 Sorensen 指数

$$CC = 2C / (S_1 + S_2)$$

式中,CC 是 Sorensen 指数;C 是在植被与土壤种子库中都出现的物种数目; S_1 和 S_2 分别对应于植被和土壤种子库中出现的物种数目。

1.6.2 统计分析

应用 SPSS11.5 统计软件对不同处理、不同时间、不同分层土壤种子库密度数据进行显著性检验等统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤总种子库

2.1.1 土壤总种子库密度

围栏禁牧 23 a 土壤总种子库密度为 (4433.3 ± 739.5) 粒/ m^2 , 围栏禁牧 10 a 为 (4755.6 ± 717.1) 粒/ m^2 , 围栏外为 (855.6 ± 366.6) 粒/ m^2 。通过 One-Way ANOVA 分析,4 月份 3 个样地间 0~9 cm 土壤种子库密度在 0.001 水平上差异显著 ($F = 11.759, P < 0.001, df = 14$)。2 个长期围封禁牧样地间差别很小,围栏外样地土壤种子库密度远远小于围封禁牧样地,分别是围栏禁牧 23 a 和围栏禁牧 10 a 的 19.3% 和 18.0%。围栏禁牧点土壤种子库密度远大于放牧退化点,这一结果与 Navie 等^[21] 和 Bertiller^[7] 的研究结论相一致。

表 1 为 4 月份各样地不同植物和土壤总种子库密度垂直分布,围栏禁牧 23 a 样地 0~3 cm 土壤种子库密度为 (2866.7 ± 476.7) 粒/ m^2 , 3~6 cm 为 (1033.3 ± 324.6) 粒/ m^2 , 6~9 cm 为 (533.3 ± 65.9) 粒/ m^2 。通过 ANOVA 分析,3 分层间土壤种子库密度在 0.05 水平上差异显著 ($F = 13.437, P < 0.05, df = 14$); 围栏禁牧 10 a 样地 0~3 cm 土壤种子库密度为 (4222.2 ± 745.4) 粒/ m^2 , 3~6 cm 为 (433.3 ± 78.7) 粒/ m^2 , 6~9 cm 为 (100.0 ± 38.2) 粒/ m^2 , 3 分层间土壤种子库密度在 0.001 水平上差异显著 ($F = 27.923, P < 0.001, df = 14$); 围栏外 0~3 cm 的土壤种子库密度为 (611.1 ± 304.2) 粒/ m^2 , 3~6 cm 为 (188.9 ± 55.1) 粒/ m^2 , 6~9 cm 为 (55.6 ± 16.5) 粒/ m^2 , 3 分层间土壤种子库密度差异不显著 ($F = 2.633, P = 0.113, df = 14$)。

4 月份,围栏禁牧 23 a、围栏禁牧 10 a 和围栏外禾本科植物种子库密度分别仅占土壤种子库总密度的 10.02%、2.80% 和 10.39%, 这说明禾本科植物种子在草原区土壤种子库组成中只占很小的比例,这也验证了 Hodgkinson 等人的研究结论^[22]。对于围栏禁牧 23 a 和围栏禁牧 10 a 样地,一年生植物,包括黄蒿 (*Chenopodium album*)、猪毛菜 (*Salsola collina*) 和几种藜等的土壤种子库密度构成了土壤种子库密度的主要部分,并且在各垂直分层中都有较多分布,其中,黄蒿为种子库密度最高的植物物种,分别占土壤种子库总数的 23.1%、22.9%, 围栏外黄蒿种子数占土壤种子库总数的 7.80%。

围栏禁牧 23 a 和围栏禁牧 10 a 土壤种子库密度基本相同,围栏外退化样地土壤种子库密度明显减少。0~3 cm 土层土壤种子库密度从大到小顺序为围栏禁牧 10a > 围栏禁牧 23a > 围栏外; 3~6cm、6~9cm 土层土壤种子库密度均为围栏禁牧 23a > 围栏禁牧 10a > 围栏外。各样地土壤种子库多集中在表层(0~3 cm), 围栏禁牧 23 a 为 64.66%、围栏禁牧 10 a 为 88.78%, 围栏外为 71.42%。

2.1.2 土壤总种子库组成和生活型

各样地 4 月份土样经萌发共记录幼苗 904 株, 21 个种(表 1)。除围栏禁牧 10 a 上层种子库多年生植物种数远大于 1 年生植物外,其它两样地各层种子库中多年生和 1 年生植物数量基本相同。随着围封禁牧时间的增加,土壤种子库多年生和 1 年生植物物种数量都在增加,随着土层深度的增加,多年生和 1 年生植物种数均递减(表 2)。1 年生植物黄蒿和刺穗藜 (*Chenopodium aristatum*) 在长期围栏样地和围栏外样地的各层土壤

接表 1 4 月份各样地土壤总种子库密度垂直分布(粒/m²)

中均有出现。在围栏外退化样地没有多年生中旱生杂类草防风(*Saposhnikovia divaricata*)植株出现,但2次取样围栏外样地土样中都有防风种子萌发,防风种子传播距离远是主要原因。作为耐践踏的植物,星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)种子在各样地均有出现,特别是在围栏外退化样地中大量出现。两次萌发实验中,均未发现主要建群种羊草种子萌发,原因可能为羊草以无性繁殖为主,成穗率低、结实率低、种子休眠期长及发芽率低^[23]。

表 2 4 月份各样地各层土壤种子库生活型构成(种)

Table 2 Life forms composition of species of soil seed bank in three soil layers in April (species)

分层 Layer (cm)	GE23		GE10		NGE	
	多年生 Perennials	1 年生 Annuals	多年生 Perennials	1 年生 Annuals	多年生 Perennials	1 年生 Annuals
0~3	9	3	7	2	3	3
3~6	3	3	7	3	4	1
6~9	2	4	5	3	1	4

4 月和 6 月份 2 次取样各样地不同生活型植物土壤种子库密度垂直分布见图 1。4 月份,除围栏禁牧 10 a 和围栏外 0~3 cm 土层多年生植物种子库密度和 1 年生植物接近外,其它样地和分层 1 年生植物种子库密度均大于多年生植物,在围栏禁牧 23 a 样地表现的最为明显,0~3 cm、3~6 cm 和 6~9 cm 层中,1 年生植物密度分别为多年生的 1.84、8.31、3.36 倍。3 个样地,1 年生和多年生植物种子库密度垂直分布都呈现出随土壤深度增加而减少的共同规律。1 年生植物种子库密度大于多年生植物种子库密度,可解释为 1 年生植物在干旱、半干旱地区一个显著特征就是即使遇到干旱年份,仍能开花、结实和繁衍^[24],另外,多年生植物有些以无性繁殖为主,或者是一部分种子休眠时间较长,在萌发实验中没能萌发出来,也是原因之一。

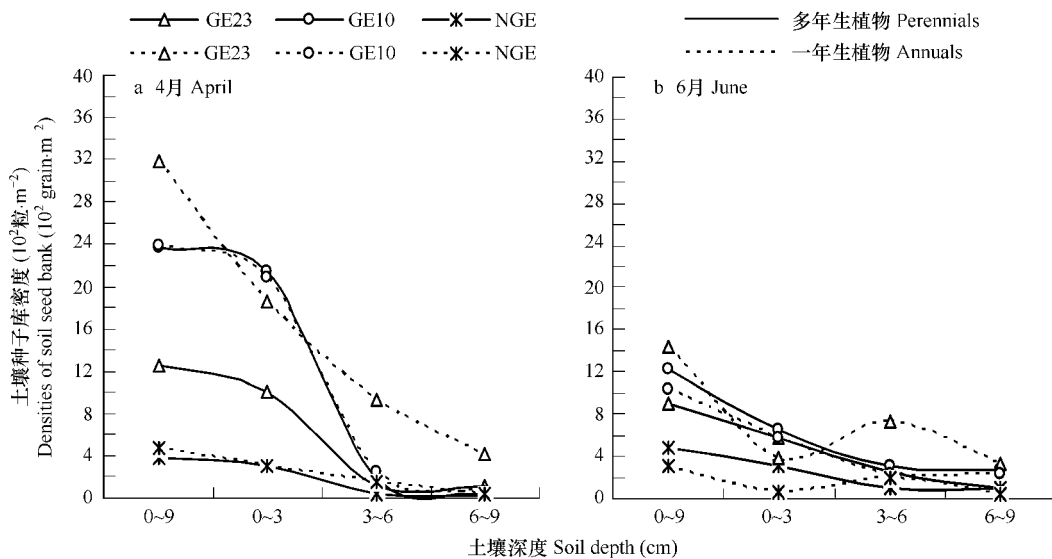


图 1 不同生活型植物种子库密度分布

Fig. 1 Densities of soil seed bank of different Life forms

2.2 持久土壤种子库

2.2.1 土壤种子库密度

围栏禁牧 23 a 样地持久土壤种子库密度为(2333.3 ± 314.7) 粒/m²,围栏禁牧 10 a 为(2255.5 ± 642.3) 粒/m²,围栏外为(777.8 ± 111.1) 粒/m²。通过 ANOVA 分析 3 个样地土壤种子库密度在 0.05 水平上差异显著($F=4.399, P<0.05, df=14$)。土壤种子库密度在长期围封禁牧的 2 个样地间差别很小,围栏外样地土壤种子库密度远小于围封禁牧样地,分别是围栏禁牧 23 a 和围栏禁牧 10 a 样地的 33.3% 和 34.5%。表 3 为

接表 3 6 月份各样地持久土壤种子库密度垂直分布(粒/m²)

6 月份各样地持久土壤种子库各植物种子库密度垂直分布。围栏禁牧 23 a 样地 3 层之间土壤种子库密度差异不显著 ($F = 3.885, P = 0.050, df = 14$); 围栏禁牧 10 a 样地 3 分层间土壤种子库密度差异不显著 ($F = 2.663, P = 0.110, df = 14$); 围栏外样地 3 层之间土壤种子库密度差异不显著 ($F = 3.848, P = 0.051, df = 14$)。

围栏禁牧 23 a 和围栏禁牧 10 a 持久土壤种子库密度基本相同, 围栏外持久土壤种子库密度明显减少。各样地土壤种子库多集中在表层(0~3 cm), 围栏禁牧 23 a 为 40.47%、围栏禁牧 10 a 为 54.17%, 围栏外为 47.17%。0~3 cm、6~9 cm 土层土壤种子库密度均为围栏禁牧 10 a > 围栏禁牧 23 a > 围栏外, 3~6 cm 土层土壤种子库密度为围栏禁牧 23 a > 围栏禁牧 10 a > 围栏外。

2.2.2 土壤种子库组成和生活型

6 月份各样地土样经萌发共记录幼苗 483 株, 分属 21 种(表 3)。各样地土壤种子库中多年生植物种数多大于一年生植物, 随着土层深度的增加, 围栏禁牧 23 a 样地土壤种子库中多年生植物物种数明显减少, 1 年生植物物种数变化不大(表 4), 与 4 月份土壤种子库不同的是随着土壤深度的增加, 1 年生植物种数稍有增加。

6 月份情况较为复杂, 如围栏禁牧 23 a 样地 3~6 cm、6~9 cm 中 1 年生植物种子库密度比多年生植物大(分别为 2.96 和 3.75 倍), 而围栏外样地 0~3 cm、6~9 cm 和 0~9 cm 的多年生植物种子库密度为 1 年生植物种子库的 1.59、4.50、2.00 倍。总的来说, 围栏禁牧 23 a 样地 1 年生植物种子库密度大于多年生植物种子库密度, 围栏禁牧 10 a 和围栏外呈现出 1 年生植物种子库密度略大于多年生植物的规律(图 1)。

6 月份与 4 月份相比, 除围栏禁牧 23 a 外, 围栏禁牧 10 a 和围栏外样地禾本科植物种子库密度在土壤种子库密度中所占的比例均明显增加。2 次取样和萌发实验, 都未见硬质早熟禾(*Poa sphondylodes*)这一重要禾草的种子在围栏退化地中出现, 而仅在围栏禁牧 23 a 中出现, 这一结果说明原本就仅占土壤种子库密度组成较小比例的禾本科植物的土壤种子库, 在退化样地中密度更小, 甚至消失。

表 4 6 月份各样地土壤种子库生活型构成(种 species)

Table 4 Life forms composition of species of soil seed bank in three soil layers in June

分层 Layer (cm)	GE23		GE10		NGE	
	多年生 Perennials	1 年生 Annuals	多年生 Perennials	1 年生 Annuals	多年生 Perennials	1 年生 Annuals
0~3	9	3	7	2	3	3
3~6	3	3	7	3	4	1
6~9	2	4	5	3	1	4

2.3 土壤种子库与地上植被的关系

围栏禁牧 23 a、围栏禁牧 10 a 和围栏外退化样地, 地上植物分别为 18、20、13 种, 4 月份土壤种子库物种种类分别为 14、17、11 种。围栏禁牧 23 a 样地土壤种子库和地上植被共有种包括冰草、大针茅、糙隐子草、黄蒿、双齿葱、细叶葱、土三七、星毛委陵菜; 围栏禁牧 10 a 样地土壤种子库和地上植被共有种包括冰草、糙隐子草、黄蒿、阿尔泰狗娃花、冷蒿、双齿葱、扁蓿豆、防风、星毛委陵菜; 围栏外样地土壤种子库和地上植被共有种包括糙隐子草、扁蓿豆、黄蒿、冷蒿、星毛委陵菜、二裂委陵菜。6 月份土壤种子库的物种种类分别为 13、13、12 种, 围栏禁牧 23 a 样地土壤种子库和地上植被共有种包括大针茅、冰草、糙隐子草、黄蒿、冷蒿、细叶葱、菊叶委陵菜、星毛委陵菜; 围栏禁牧 10 a 年样地土壤种子库和地上植被共有种包括大针茅、糙隐子草、黄蒿、冷蒿、阿尔泰狗娃花、防风、菊叶委陵菜、星毛委陵菜; 围栏外样地土壤种子库和地上植被共有种包括大针茅、糙隐子草、冰草、扁蓿豆、黄蒿、冷蒿、二裂委陵菜、星毛委陵菜。4 月和 6 月份各样地及各样地各层土壤种子库与地上植被的相似性系数见表 5。

从表 5 可见: 4、6 两个月份, 各样地 0~9 cm 土层土壤种子库与地上植被的相似性系数介于 0.485~0.640, 整体上来说, 6 月份相似性程度比 4 月份高; 各样地上层(0~3 cm) 土壤种子库与相应地上植被有较高

的相似性,这一结果说明草原植被组成主要由土壤表层种子库所决定。

表 5 各样地及各样地各层土壤种子库与地上植被的相似性系数

Table 5 Similarity of seed banks and standing vegetation for three soil layers in April and June

样地地上植被 Vegetation	土壤种子库 Soil seed banks	GE23		GE10		NGE	
		4 月 April	6 月 June	4 月 April	6 月 June	4 月 April	6 月 June
GE23	土壤深度 Soil depth (cm)						
	0~9	0.500	0.516	0.353	0.452	0.444	0.467
	0~3	0.452	0.533	0.303	0.370	0.385	0.480
	3~6	0.296	0.333	0.207	0.357	0.273	0.308
GE10	0~9	0.261	0.385	0.240	0.385	0.235	0.348
	0~3	0.457	0.364	0.541	0.485	0.467	0.563
	0~3	0.457	0.375	0.541	0.345	0.467	0.370
	3~6	0.370	0.308	0.276	0.467	0.364	0.357
NGE	6~9	0.091	0.286	0.167	0.357	0.235	0.320
	0~9	0.349	0.385	0.452	0.385	0.500	0.640
	0~3	0.357	0.400	0.400	0.273	0.435	0.300
	3~6	0.174	0.421	0.24	0.348	0.333	0.381
	6~9	0.095	0.381	0.087	0.381	0.125	0.444

3 结论与讨论

3.1 围栏禁牧恢复演替与土壤种子库组成和密度

锡林郭勒退化草原土壤种子库组成和密度均小于长期围封禁牧恢复(23 a 和 10 a)样地,这一结论支持了过度放牧可以降低土壤种子库密度的观点^[25~27,13]。围栏禁牧 23 a 和围栏禁牧 10 a 样地 4 月份羊草 + 大针茅草原土壤种子库密度分别为(4433 ± 740)和(4756 ± 717)粒·m⁻²,6 月份分别为(2333 ± 315)和(2256 ± 642)粒·m⁻²,而 4、6 月份退化样地土壤种子库密度为(856 ± 367)和(778 ± 111)粒·m⁻²,分别仅为围栏禁牧 23 a 和围栏禁牧 10 a 样地的 19.3%、18.0% 和 33.3%、34.5%,这一结果说明随着群落的恢复演替,土壤种子库物种组成和密度均增加。围栏禁牧 10 a 样地土壤种子库物种数最多、种子库密度最大,而围栏禁牧 23 a 样地稍小,退化草原围栏恢复 10 a 后物种数和土壤种子库密度并没有随围封年限的增加而继续增加,这可能与长时间的围封禁牧造成较厚的枯落物层而阻止一部分种子进入土壤有关,因此,今后对于长期围封禁牧地区土壤种子库的研究应重视对于枯落物层中种子库的研究。对比表 2 和表 4,6 月份表层(0~3 cm)土壤种子库中一年生植物物种数明显减少,说明一年生植物种子绝大多数春天萌发,种子在土壤中存留时间不超过 1 a。本研究中的羊草 + 大针茅草原退化草原围栏初春(4 月份)土壤种子库密度(0~9 cm)与克氏针茅退化草原围栏样地初春土壤种子库密度(5139 ± 1848)粒·m⁻²(0~5 cm)^[13]和科尔沁沙地围栏草地土壤种子库密度(3314 ± 739)粒·m⁻²^[16]处于同一水平。

3.2 持久和短暂土壤种子库

内蒙古高原草原 4 月份的土壤种子库可作为已得到上一年夏秋季种子雨补充但还没有经历春季种子萌发的土壤总种子库(但一部分种子可能被捕食和衰老,因此,最大土壤种子库取样时间应为 10 月份,但 10 月份取样,土壤种子未经历冬季的低温过程,将会影响萌发实验的效果)。6 月底土壤种子库是经过春季萌发后的土壤种子库,两者之差可近似看作是当年春季草原萌发的土壤种子数,围栏禁牧 23 a、围栏禁牧 10 a 和围栏外退化草原当年萌发的土壤种子平均数分别为 2100、2500 粒·m⁻²和 78 粒·m⁻²,占 4 月份土壤总种子库的 47.4%、52.6%和 9.1%,前 2 个数值非常接近,可以较好的说明锡林郭勒草原白音锡勒牧场围栏恢复的羊草 + 大针茅草原春季土壤种子萌发数基本占土壤总种子库的 50%,而对于严重退化的围栏外冷蒿 + 糙隐子草草原春季萌发的土壤种子数只占其土壤总种子库的很小一部分。

按照对于瞬时(短暂)土壤种子库(Transient soil seed bank)的定义(种子在土壤中存留时间不超过 1 a)^[3,4],锡林郭勒草原未退化的羊草+大针茅草原瞬时土壤种子库最多占其总土壤种子库 50%(因为这里春季萌发的种子既包括上一年秋季草原落下的种子,即短暂土壤种子库中的种子,又可能包括前几年落下的种子,即持久性土壤种子库中的种子),其余约 50%以上为持久土壤种子库;而对于严重退化的冷蒿+糙隐子草草原,瞬时土壤种子库最多只约占其总种子库 10%,其余的约 90%以上为持久土壤种子库。研究区短暂土壤种子库在 Thompson 和 Grime 土壤种子库分类系统中属于短暂土壤种子库中的第 II 种类型-夏秋季散布型:春天萌发,种子在土壤中存留时间不超过一年^[3]。围栏禁牧 23 a(已恢复演替至气候顶极的羊草+大针茅)群落、围栏禁牧 10 a 和围栏外退化样地的持久土壤种子库分别为土壤总种子库的 52.6%、47.4% 和 90.9%,这一结果说明退化草原持久土壤种子库占土壤总种子库的比例要远大于未退化草原,这也是土壤种子对于环境退化和震荡的一种适应,同时也说明随着草原群落的禁牧恢复演替,当草原环境逐渐稳定时,持久性土壤种子库占土壤总种子库的比例将下降。内蒙古锡林郭勒温带草原地区,6 月底取样得到的土壤种子至少在土壤中已存留约一年半,但是却无法确定是存留了 2a、3a 或更多年,因此,土壤持久种子库中种子年龄分布的研究是一个需要人们努力探索的创新性课题。另外,具体到某一种植物,很难绝对说它是短暂或持久性种子,每种植物的种子都有可能构成持久性土壤种子库或短暂性土壤种子库中的一员。但是,有些植物的种子明显地多数“分配”给短暂性土壤种子库,如在围栏禁牧 23 a 样地,1 年生植物:藜(*Chenopodium album*)4 月份土壤总种子库平均密度为 1512 粒·m⁻²,而到 6 月底只为 12 粒·m⁻²,春季萌发了 1500 粒·m⁻²,应该说 1 年生植物藜的种子绝大多数构成了短暂土壤种子库,又如多年生植物细叶葱(*Allium tenuissimum*)的种子也绝大多数贡献给了短暂土壤种子库。

不论是 4 月份土壤种子库还是 6 月份土壤种子库,研究区种子库中具有活力的种子主要分布在 0~6 cm 土层,并随着土层深度的增加而减少。4 月份,围栏禁牧 23 a、围栏禁牧 10 a 和围栏外 0~6 cm 土层种子库分别占总种子库(0~9 cm)的 88.0%、97.9% 和 93.5%,6 月份为 81.9%、78.3% 和 82.9%,这一比例的下降说明春季萌发的种子多分布于 0~6 cm 土层,而 6~9 cm 土层中的种子可以较长时间的存留在土壤中,组成持久土壤种子库。

3.3 地上植被与土壤种子库组成间的相似性

地上植被与土壤种子库组成间的相似性研究一直是土壤种子库研究的一个热点,关于两者之间的关系较为复杂。赵丽娅等^[16]总结出 2 种不同的结论:一是存在显著的差异,二是在种类组成上存在着高的相似性。本研究的结果为无论是 4 月份还是 6 月份,围栏禁牧 23 a 和围栏禁牧 10 a 地上植被与土壤种子库 Sorensen 相似性指数介于 0.49~0.54,这一结果与 Meissner & Facelli^[15]在南澳大利亚围封草地的研究结果(Sorensen 相似性指数 0.33~0.51)基本一致,也证明了赵明莉和许志信提出的演替后期植被与土壤种子库组成间的相似性较低这一结论^[28]。造成地上植被与土壤种子库组成间的不完全一致性的原因较多,1 年生植物的繁殖策略和种子生产特征往往决定了他们在土壤种子库中占优势,而多年生植物往往在地上植被占主导地位,如在土壤种子库中大量出现的 1 年生植物(藜和刺穗藜等)在地面样方调查中未出现,主要建群种羊草和主要的禾本科牧草羽茅(*Achnatherum sibiricum*)、黄囊苔草(*Carex korshinskyi*)等的种子却未在土壤种子库中出现。

不同物种种子萌发所需的适宜条件不同,很难在一个实验中满足所有物种种子萌发的最适宜的条件(温度、水分、通气条件、光照等),这样可能会导致种子库中的一些物种在萌发实验中没有萌发,特别是对于具有 1 a 以上休眠期的持久性土壤种子,因此,萌发法可能会低估了土壤种子库的物种组成和密度,特别是对于持久性土壤种子库;另外,考虑到土壤种子库分层增加的土壤种子库萌发工作量,用来进行种子库调查样方数偏少,也可能造成部分差异。

References:

- [1] Simpson R L. Ecology of soil seed bank. Academic Press, San Diego, 1989, 313-317.

- [2] Yu S L, Chen H W, Lang N J. The classification system of soil seed banks and seed persistence in soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27: 2099 — 2018.
- [3] Thompson K and Grime J P. Seasonal variation in the seed bank of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology*, 1979, 67: 893 — 921.
- [4] Hodgson J G, Grime J P, Thompson K. *The electronic comparative plant ecology*. London: Chapman & Hall, 1995.
- [5] Csontos P, Tom S J. Comparison of soil seed bank classification systems. *Seed Science Research*, 2003, 101 — 111.
- [6] Yang Y F, Zhu L. Comparative analysis of seed banks in saline-alkali in Songnen Plain of China. *Journal of Plant Ecology*, 1995, 19: 144 — 148
- [7] Bertiller M B. Grazing effects on sustainable semiarid rangelands in patagonia; the state and dynamics of the soil seed bank. *Environmental Management*, 1996, 20: 123 — 132.
- [8] Akinola M O, Thompson K, Buckland S. Soil seed bank of an upland calcareous grassland after 6 years of climate and management manipulation. *Journal of Applied Ecology*, 1998, 35: 544 — 552.
- [9] Peco B, Traba J, Levasor C, Azcenteran F M. Seed size, shape and persistence in dry Mediterranean grass and scrublands. *Seed Science Research*, 2003, 13: 75 — 85.
- [10] Sudebilige H, Li Y H, Yong S P, Sa R. Germinable soil seed bank of *Artemisa frigida* grassland and its response to grazing. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20: 44 — 48.
- [11] Zhong Y K, Zhang H Y. The influence of mowing on seed amount and composition in soil seed bank of typical steppe; inquiring the research methods of soil seed bank. *Acta Sci Nat Univ NeMongol*, 2001, 32: 644 — 648.
- [12] Mayor M D, B6o R M, Pel6ez D V, Elia O R. Seasonal variation of the soil seed bank of grasses in central Argentina as related to grazing and shrub cover. *Journal Arid Environment*, 2003, 53: 467 — 477.
- [13] Zhan X M, Li L H, Li X, Chen W X. Effects of grazing on the soil seed bank of a *Stipa Krylovii* steppe community. *Journal of Plant Ecology*, 2005, 29: 747 — 752.
- [14] Watt A S. A comparison of grazed and un-grazed grassland in East Anglian Breckland. *Journal of Ecology*, 1981, 69: 499 — 508.
- [15] Meissner R A, Facelli J M. Effects of sheep exclusion on the soil bank and annual vegetation in chenopod shrub lands of South Australia. *Journal of Arid Environment*, 1999, 43: 117 — 128.
- [16] Zhao L Y, Li Z H, Zhao J H, Zhao H L, Zhao X Y. Comparison on the difference in soil seed bank between grazed and enclosed grasslands in Horqin sand land. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30: 617 — 623.
- [17] Chen Z Z. Topography and climate of the Xilin River Basin. Inner Mongolia Grassland Ecosystem Research Station. *Research on Grassland Ecosystem (No. 3)*. Beijing: Science Press, 1988, 13 — 19.
- [18] Bao Q H, Zhong Y K, Sun W, Zhang H Y. The influence of mowing on the seed amount and composition in soil seed bank of typical steppe II: the amount of seed having vitality and its vertical distribution. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 2000, 31: 93 — 97.
- [19] Tong C, Zhong Y K. Influence on the number in of viable seeds bank under different mowing treatment in typical steppe. *Grassland of China*, 2001, 23: 5 — 38.
- [20] Shang Z H, Long R J, Ma Y S, Zhang L M, Shi J J, Ding L L. Soil seed bank of degraded alpine grassland in headwater region of the quantities and dynamics of seed germination. *Chin J Appl Environ Biol*, 2006, 12: 149 — 209.
- [21] Navie S C, Cowley R A, Roger R W. The relationship between distance from water and the soil seed bank in a grazed semi-arid subtropical rangeland. *Australian Journal of Botany*, 1996, 44: 421 — 431.
- [22] Hodgkinson K C, Harrington G N, Miles G E. Composition, spatial and temporal variability of the soil seed pool in a *Eucalyptus populnea* shrub woodland in central New South Wales. *Australian Journal of Ecology*, 1980, 5: 23 — 29.
- [23] Liu G S, Qi D M. Research progress on the biology of *Leymus chinensis*. *Acta Pratacultural Science*, 2004, 13: 6 — 11.
- [24] Zhang J G, Li X R, Wang X P, Wang G, Li J G, Wang Z L. Population Dynamic of Annual Plant *Eragrostis poaeoides* in Fixed Sand Dune in Shapotou Area. *Journal of Desert Research*, 2001, 21: 232 — 235.
- [25] Russi L, Cocks P S, Roberts E H. Seed bank dynamics in a Mediterranean grassland. *Journal of Applied Ecology*, 1992, 29: 763 — 771.
- [26] Kinloch J E, Friedel M H. Soil seed reserves in arid grazing lands of central Australia. Part 1: seed bank and vegetation. *Journal Arid*

Environment, 2005, 60: 131 – 161.

- [27] Wang S M, Zhang X, Li Y, Zhang L, Xiong Y C, Wang G. Spatial distribution pattern of the soil seed bank of *Stipa grostis pennata*(Trin.) de winter in the Gurbantonggut Desert of north-west China. *Journal of Arid Environment*, 2005, 63: 203 – 222.
- [28] Zao M L, Xu Z X. Study on seed bank of desert grassland in Inner Mongolia. *Grassland of China*, 2000, 22: 44 – 46.

参考文献:

- [2] 于顺利, 陈宏伟, 郎南军. 土壤种子库的分类系统和种子在土壤中的持久性. *生态学报*, 2007, 27: 2099 ~ 2108.
- [6] 杨允菲, 祝玲. 松嫩平原盐碱植物群落种子库的比较研究. *植物生态学报*, 1995, 19: 144 ~ 148.
- [10] 苏德毕力格, 李永红, 雍世鹏, 等. 冷蒿草原土壤可萌发种子库特征及其对放牧的响应. *生态学报*, 2000, 20: 44 ~ 48.
- [11] 仲延凯, 张海燕. 土壤种子库研究方法的探讨. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2001, 32: 644 ~ 648.
- [13] 詹学明, 李凌浩, 李鑫, 等. 放牧和围封条件下克氏针茅草原土壤中种子库的比较. *植物生态学报*, 2005, 29: 747 ~ 752.
- [16] 赵丽娅, 李兆华, 赵锦慧, 等. 科尔沁沙质草地放牧和围封条件下的土壤种子库. *植物生态学报*, 2006, 30: 617 ~ 623.
- [17] 陈佐忠. 锡林河流域地形与气候概况. 中国科学院内蒙古草原生态系统定位站编, *草原生态系统研究(第3集)*. 北京: 科学出版社, 1988. 13 ~ 19.
- [18] 包青海, 仲延凯, 孙维, 等. 割草干扰对典型草原土壤种子库数量与组成的影响 II. 具有生命力的种子数量与其垂直分布. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2000, 31: 93 ~ 97.
- [19] 全川, 仲延凯. 割草对典型草原土壤中具活力的种子数量的影响. *中国草地*, 2001, 2: 35 ~ 38.
- [20] 尚占环, 龙瑞军, 马玉寿, 等. 黄河源区退化高寒草地土壤种子库种子萌发数量和动态. *应用与环境生物学报*, 2006, 12: 149 ~ 209.
- [23] 刘公社, 齐冬梅. 羊草生物学研究进展. *草业学报*, 2004, 3: 6 ~ 11.
- [24] 张景光, 李新荣, 王新平, 等. 沙坡头地区固定沙丘一年生植物小画眉草种群动态研究. *中国沙漠*, 2001, 21: 232 ~ 235.
- [28] 赵萌莉, 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, 22: 44 ~ 46.

表 1 4 月份各样地土壤总种子库密度垂直分布 (粒/m²)
Table 1 Densities (Mean ± SE, seeds/m²) of soil seed bank in three sites and three soil layers in April

物种 Species 土壤深度 Soil depth (cm)	GE23			GE10			NCE		
	0~3	3~6	6~9	0~3	3~6	6~9	0~3	3~6	6~9
硬质早熟禾 <i>Poa sphondyliodes</i>	244.4 ± 189.3	44.4 ± 34.4	—	44.4 ± 24.3	—	—	—	—	—
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	66.7 ± 29.8	—	33.8 ± 25.8	11.6 ± 8.6	—	—	—	—	—
大针茅 <i>Stipa grandis</i>	44.4 ± 19.9	—	—	—	—	—	—	—	—
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	—	11.6 ± 8.6	—	78.2 ± 21.7	—	—	88.9 ± 88.9	—	—
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	—	—	—	11.6 ± 8.6	—	—	—	—	—
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	533.3 ± 199.8	456.0 ± 187.7	33.8 ± 16.5	1011.6 ± 252.0	78.2 ± 35.5	—	66.7 ± 51.6	—	—
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	—	—	—	433.8 ± 89.3	22.2 ± 17.2	—	33.8 ± 25.8	—	—
扁蓿豆 <i>Melilotoides ruthenica</i>	—	—	—	66.7 ± 51.6	—	11.6 ± 8.6	—	11.6 ± 8.6	—
细叶葱 <i>Allium tenuissimum</i>	488.9 ± 180.5	11.6 ± 8.6	—	955.6 ± 283.4	100.4 ± 45.3	—	—	—	—
双齿葱 <i>Allium bidentatum</i>	78.2 ± 21.7	—	—	233.8 ± 43.0	33.8 ± 16.5	—	—	—	—
星毛委陵菜 <i>Potentilla acaulis</i>	44.4 ± 14.1	44.4 ± 24.3	88.9 ± 37.2	11.6 ± 8.6	11.6 ± 8.6	33.8 ± 16.5	22.2 ± 17.2	22.2 ± 717.2	22.2 ± 17.2
菊叶委陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i>	—	—	—	44.4 ± 24.3	—	—	—	—	—
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	—	—	—	—	—	—	11.6 ± 8.6	11.6 ± 8.6	—
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	—	—	—	11.6 ± 8.6	—	—	155.6 ± 120.5	—	—
轴藜 <i>Axyris amaranthoides</i>	33.8 ± 16.5	—	—	33.8 ± 25.8	—	—	22.2 ± 17	—	—
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	122.7 ± 65.0	11.6 ± 8.6	—	—	—	—	33.8 ± 25.8	—	—
藜 <i>Chenopodium album</i>	1022.2 ± 165.1	211.6 ± 94.7	278.2 ± 61.9	256.0 ± 72.2	44.4 ± 14.1	22.2 ± 17.2	111.1 ± 58.8	66.7 ± 28.7	22.2 ± 12.8
刺藜 <i>Chenopodium aristatum</i>	88.9 ± 31.4	233.3 ± 68.8	100.0 ± 38.0	767.1 ± 503.3	111.1 ± 43.3	33.8 ± 16.5	66.7 ± 22.2	78.2 ± 49.4	11.6 ± 8.6
瓣蕊唐松草 <i>Thalictrum petaloideum</i>	—	—	—	233.8 ± 63.4	22.2 ± 9.9	—	—	—	—
土三七 <i>Sedum aizoon</i>	44.4 ± 31.4	—	—	—	—	—	—	—	—
女娄菜 <i>Melandrium apricum</i>	55.6 ± 21.3	11.1 ± 11.1	—	22.2 ± 17.2	11.6 ± 8.6	—	—	—	—
总计 Total	2866.7 ± 476.7	1033.3 ± 324.6	533.3 ± 65.9	4222.2 ± 745.4	433.3 ± 78.7	100.0 ± 38.2	611.1 ± 304.2	188.9 ± 55.1	55.6 ± 16.5

表 3 6 月份各样地持久土壤种子库密度垂直分布 (粒/m²)

物种 Species 土壤深度(cm) Soil depth (cm)	GE23						GE10						NCE		
	0~3	3~6	6~9	0~3	3~6	6~9	0~3	3~6	6~9	0~3	3~6	6~9	0~3	3~6	6~9
硬质早熟禾 <i>Poa sphenodylodes</i>	122.7 ± 38.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	33.8 ± 16.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	66.7 ± 22.2	44.4 ± 14.1	33.8 ± 16.5	
大针茅 <i>Stipa grandis</i>	22.2 ± 9.9	11.6 ± 8.6	11.6 ± 8.6	—	11.6 ± 8.6	66.7 ± 22.2	—	—	—	—	—	—	—	22.2 ± 17.2	
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	—	—	—	11.6 ± 8.6	—	—	—	—	—	—	—	11.6 ± 8.6	—	—	—
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	—	—	—	11.6 ± 8.6	22.2 ± 17.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	200.0 ± 63.6	400.0 ± 104.2	100.4 ± 45.3	455.6 ± 307.1	44.4 ± 34.4	33.8 ± 16.5	22.2 ± 9.9	66.7 ± 22.2	—	—	—	—	—	—	—
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	122.7 ± 25.8	133.3 ± 44.4	11.6 ± 8.6	367.1 ± 95.7	100.4 ± 35.5	56.021.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
扁蓿豆 <i>Melilotoides ruthenica</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.6 ± 8.6	—	—	—
独行菜 <i>Lepidium apetalum</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.6 ± 8.6	22.2 ± 9.9	—	—
细叶葱 <i>Allium tenuissimum</i>	11.6 ± 8.6	—	—	66.7 ± 41.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
星毛委陵菜 <i>Potentilla acaulis</i>	133.3 ± 42.2	100.0 ± 21.7	56.0 ± 21.7	—	22.2 ± 9.9	44.4 ± 24.3	—	—	—	—	—	—	—	—	11.6 ± 8.6
菊叶委陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i>	11.6 ± 8.6	—	—	167.1 ± 95.7	133.3 ± 103.3	88.9 ± 46.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22.2 ± 9.9
伏毛山莓草 <i>Sibbaldia adpressa</i>	—	—	—	11.6 ± 8.6	11.6 ± 8.6	11.6 ± 8.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	—	—	—	—	11.6 ± 8.6	—	—	—	—	—	—	211.6 ± 70.8	11.6 ± 8.6	—	—
藜 <i>Chenopodium album</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
刺藜 <i>Chenopodium aristatum</i>	144.9 ± 21.7	155.6 ± 29.8	211.6 ± 97.8	122.7 ± 47.4	144.9 ± 40.7	155.6 ± 41.0	33.8 ± 8.6	88.9 ± 34.4	44.4 ± 24.3	—	—	—	—	—	—
瓣蕊唐松草 <i>Thalictrum petaloideum</i>	—	—	—	11.6 ± 8.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
细叶白头翁 <i>Pulsatilla turczaninowii</i>	22.2 ± 17.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
土三七 <i>Sedum aizoon</i>	88.9 ± 14.1	—	11.6 ± 8.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
女娄菜 <i>Melandrium apricum</i>	33.8 ± 16.5	167.1 ± 66.5	11.6 ± 8.6	—	44.4 ± 34.4	33.8 ± 25.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
总计 Total	944.4 ± 61.9	966.7 ± 221.0	422.2 ± 143.7	1222.2 ± 380.9	544.4 ± 170.6	488.9 ± 116.7	366.7 ± 90.4	277.8 ± 49.4	133.3 ± 14.1	—	—	—	—	—	—

—: 表示在该样地该层中没有发现该种 This species was not found in this layer and this sample spot