

不同放牧管理模式下高寒草甸鼢鼠鼠丘土壤种子库特征

方青慧^{1,2,3}, 康宇坤^{1,2,3}, 张倩^{1,2,3}, 孙小妹^{2,3,4}, 张德罡^{1,2,3}, 苏军虎^{1,2,3}

- (1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中一美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学-新西兰梅西大学草地生物多样性研究中心, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省祁连山草原生态系统野外科学观测研究站, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:为明确放牧管理模式对高寒草甸鼢鼠鼠丘土壤种子库特征的影响,于2019年10月和2020年5月,分别采集禁牧、生长季休牧、传统放牧和连续放牧4种长期放牧管理模式鼠丘土壤种子库,分析其密度、组成、多样性及与植被群落物种之间的相似性。结果发现:放牧显著影响鼢鼠鼠丘土壤种子库特征。与禁牧相比,连续放牧(5月)与生长季休牧(10月)模式下鼠丘的土壤种子库密度显著增加($P < 0.05$);丰富度指数、多样性指数和优势度指数在连续放牧(5月)和生长季休牧(10月)管理模式下最高,禁牧模式下最低。优势度指数在传统放牧模式下最高,禁牧模式下最低,大小顺序为 $TG > RG > CG > NG$ 。Sorensen相似性分析发现,5月和10月鼠丘土壤种子库与植被群落物种之间的相似性指数均在连续放牧管理模式最大,分别为0.58(5月)和0.57(10月),大小次序为 $CG > RG > TG > NG$ (5月)和 $CG > TG > RG > NG$ (10月)。放牧会影响鼠丘土壤种子库特征,进而对鼠丘斑块的演替产生影响。

关键词:放牧管理;鼢鼠;鼠丘土壤种子库;多样性;相似性

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)01-0082-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2022.01.011



放牧是草地最基本的利用方式之一^[1],放牧家畜通过采食、践踏和粪便排泄物等方式改变种间竞争能力,影响草地植物群落结构和物种多样性^[2]。放牧管理模式作为控制放牧强度、维持家畜数量和草地生态系统平衡的利用体系指标^[3],对土壤养分结构平衡、草地群落结构和生产力等产生不同程度的影响^[4],而合理有效的放牧管理模式对增加草地物种多样性具有重要意义,也能促进草地健康可持续发展^[5]。现有的放牧管理模式如禁牧是草地管理最常用及草地恢复最快的手

段之一,能够有效促进草地生态系统中物质循环和能量流动,调节草食动物与植物间的关系,但长期禁牧不利于地上植被的持续恢复,甚至会导致草地生产力降低^[6]。近年来,通过调整家畜放牧强度与放牧时间,优化传统放牧和生长季休牧等模式来促进草地恢复^[7],而不同的放牧管理模式对草地生产力及其鼠虫害的发生有不同影响。因此,确定合理的放牧管理模式和放牧时期可全面评价不同放牧管理模式对草地的影响,促进草地生态系统的可持续发展。

高原鼢鼠(*Eospalax baileyi*)和甘肃鼢鼠(*E. cansus*)是高寒草甸优势物种^[8],其通过掘穴活动使下层土壤翻出地面形成土丘,而大量土丘的出现造成草地秃斑,为杂草和病虫害的滋生创造了条件,严重破坏了草地的生产和生态功能,造成草地生态系统失衡^[9]。土壤种子库是指所有存在于土壤内部、土壤表面和地表枯落物中的全部存活种子的总和^[10],是地上植被潜

收稿日期:2021-01-22; **修回日期:**2021-03-15

基金项目:国家自然科学基金项目(31760706);甘肃省陇原青年创新创业人才团队项目(LYRC2019-5);甘肃省科技计划项目(20JR10RA564)

作者简介:方青慧(1995-),男,甘肃静宁人,硕士研究生。

E-mail:2293307395@qq.com

苏军虎为通信作者。E-mail:sujh@gsau.edu.cn

在更新能力的物质基础,对生物多样性保护和植被恢复与重建起着重要作用^[11]。土壤种子库不仅受植被特征、海拔以及地形变化等一系列环境因素的影响,对环境干扰也很敏感^[12]。鼯鼠鼠丘土壤种子库是鼯鼠掘穴过程中向地表推出的土壤中所含的种子,其特征与土丘周围的植被物种组成及种子雨有较大关系^[13]。近年来,有关鼯鼠鼠丘恢复的研究已成为草地恢复的关注焦点,有关鼠丘的分布格局^[14]、鼠丘的演替过程中植被及其土壤理化性质的变化^[7]及鼠丘密度等的研究较多^[7,15],但不同放牧管理模式对鼠丘土壤种子库的影响相关报道较少。本研究以禁牧、生长季休牧、传统放牧和连续放牧 4 种放牧管理模式下鼯鼠的当年鼠丘为研究对象,通过种子萌发试验探究鼠丘土壤种子库变化特征(物种组成、密度及多样性等),并分析其与地上植被物种之间的关系,旨在为鼠丘斑块的演替和草地恢复管理提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 样地概况

试验样地位于甘肃省武威市天祝藏族自治县抓喜秀龙镇马营沟地区(N 37°11', E 102°32'),海拔 2 700~3 100 m,昼夜温差较大,空气较为稀薄,太阳辐射强,气候寒冷潮湿,年均降水量 416 mm,主要集中于 7—9 月,年均蒸发量为 1 592 mm,年均气温 -0.1 °C,≥0 °C 的年积温 1 380 °C,无绝对无霜期。主要植物有矮嵩草(*Kobresia humilis*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)和苔草(*Carex humilis*)等;啮齿类鼠类有高原鼯鼠、甘肃鼯鼠和达乌尔黄鼠(*Spermophilus dauricus*)等近 10 种^[16]。

1.2 试验设计与取样方法

选择 4 种放牧管理模式的高寒草甸样地,分别为禁牧(No grazing, NG)样地,面积 7 hm²,自 2010 年起全年禁牧,无放牧;生长季休牧(Rest grazing in growing season, RG)样地,面积为 18 hm²,管理模式持续时间大于 10 年,每年在 4 月 20 日—9 月 20 日休牧,其余时间自由放牧,放牧率为 4.86 羊/(hm²·a);传统放牧(Traditional grazing, TG)样地,面积为 18 hm²,管理模式持续时间大于 10 年,每年在 6 月 20 日—9 月 20 日休牧,其余时间自由放牧,放牧率 6.08 羊/(hm²·a);连续放牧(Continuous grazing, CG),面积 2 hm²,管理模式持续时间大于 20 年,全面自由放牧,放牧率 8.57 羊/(hm²·a)^[7]。

分别于 2019 年 10 月和 2020 年 5 月,在每个样地选取 15 个新鼠丘取 0~5 cm 土层土样,取样面积为 15 cm×15 cm,取样后每 3 个点合成一个重复,清除土样杂物,用于萌发鉴定种子。同时统计鼠丘周围 50 cm×50 cm 样方中的植物物种及数量。

1.3 种子库萌发试验

种子库萌发试验于 2020 年 5—9 月进行,选用口径为 12 cm,底部直径为 8 cm,高 15 cm 的花盆,在其底部铺大约 5 cm 高温灭菌的细沙作为萌发基质,在上方铺 2 cm 的土壤,放入自然状态下进行萌发,每天浇适量水保持土壤湿润。

1.4 数据分析

多样性指数^[17]采用 Margalef 丰富度指数(M_a)、Shannon-Winner 多样性指数(H')、Simpson 优势度指数(D)和 Pielow 均匀度指数(J_p)计算,公式如下:

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

$$H' = -\sum P_i \ln(P_i)$$

$$D = 1 - \sum (P_i)^2$$

$$J_p = \frac{H'}{\ln S}$$

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。

采用 Sorensen 相似性系数(Sc)^[17-18]计算不同放牧管理模式土壤种子库与地表植被的相似性。

$$Sc = \frac{2w}{a+b}$$

式中: Sc 为相似性系数; w 为土壤种子库与地表植被共有的植物种数; a 和 b 为土壤种子库与地表植被自拥有的植物种数。

土壤种子库密度^[19]:单位面积(m²)土壤中有活力的种子数目。

用 Excel 2010 进行数据统计并制作表格;用 SPSS 23.0 软件对不同放牧管理模式鼯鼠鼠丘土壤种子库的密度、丰富度指数、多样性指数、优势度指数和均匀度指数进行 One-way ANOVA 分析;用 GraphPad Prism 8 进行图片绘制。

2 结果与分析

2.1 不同放牧管理模式鼯鼠鼠丘土壤种子库的多样性

5 月不同放牧管理模式鼯鼠鼠丘土壤种子库的

Margalef 丰富度指数、Shannon-Winner 多样性指数和 Simpson 优势度指数均为连续放牧>生长季休牧>传统放牧>禁牧, Pielow 均匀度指数为传统放牧>生长季休牧>连续放牧>禁牧, 其中禁牧模式下鼢鼠鼠丘土壤种子库的 Margalef 丰富度指数、Shannon-Winner 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielow 均匀度指数均显著小于生长季休牧、传统放牧和连续放牧($P < 0.05$)。

2.2 不同放牧管理模式鼢鼠鼠丘土壤种子库物种组成及数量

放牧管理模式对鼢鼠鼠丘土壤种子库有显著影响。5月鼠丘土壤种子库在连续放牧模式下最大, 生长季休牧次之, 传统放牧和禁牧模式下最小, 且禁牧模式下的鼠丘土壤种子库密度显著小于生长季休牧和连续放牧模式下鼠丘土壤种子库密度, 生长季休牧、传统放牧和连续放牧分别较禁牧增加了 49.98%、9.99% 和 109.99%; 10月鼠丘土壤种子库在生长季休牧模式下最大, 传统放牧和连续放牧次之, 禁牧最小, 且禁牧模式下鼠丘土壤种子库密度显著小于生长季休牧模式

下鼠丘土壤种子库密度, 生长季休牧、传统放牧和连续放牧分别较禁牧增加了 111.15%、55.19% 和 55.19% (表 1)。

5月禁牧模式下鼠丘土壤种子库中所有物种属于 5科、5属、5种植物; 生长季休牧模式下鼠丘土壤种子库中所有物种属于 8科、9属、10种植物; 传统放牧模式下鼠丘土壤种子库所有物种属于 4科、4属、4种植物; 连续放牧模式下鼠丘土壤种子库所有物种属于 9科、9属、9种植物。龙胆科和堇菜科只在生长季休牧模式下鼠丘的土壤种子库中出现, 车前科、禾本科和藜科只在连续放牧鼠丘土壤种子库中出现, 其余放牧管理模式下未出现; 豆科在禁牧和生长季休牧鼠丘土壤种子库中出现, 菊科在禁牧和连续放牧鼠丘土壤种子库中出现; 蓼科在禁牧和生长季休牧鼠丘土壤种子库中出现, 毛茛科在生长季休牧和传统放牧鼠丘土壤种子库中出现, 牻牛儿苗科在生长季休牧和连续放牧鼠丘土壤种子库中出现, 玄参科在传统放牧和连续放牧鼠丘土壤种子库中出现; 蔷薇科和莎草科在 4种放牧管理模式鼢鼠鼠丘种子库中均有出现(表 2)。

表 1 不同放牧管理模式高原鼢鼠鼠丘土壤种子库物种组成及数量

Table 1 Species composition and numbers of soil seed banks of zokor mounds under different grazing management regimes

物种	拉丁名	5月				10月			
		NG	RG	TG	CG	NG	RG	TG	CG
鹅绒委陵菜	<i>Potentilla anserina</i>	5.93± 3.63	5.93± 3.63	5.93± 3.63	5.93± 5.93	2.96± 2.96	8.89± 5.93	11.85± 2.96	14.81± 4.68
垂穗披碱草	<i>Elymus nutans</i>	5.93± 3.63	—	—	—	2.96± 2.96	—	—	—
扁蓿豆	<i>Medicago ruthenia</i>	5.93± 3.63	5.93± 3.63	—	—	5.93± 3.63	8.89± 3.63	—	—
矮嵩草	<i>Kobresia humilis</i>	2.96± 2.96	—	11.85± 2.96	5.93± 5.93	5.93± 3.63	11.85± 5.54	5.93± 3.63	5.93± 3.63
高山紫菀	<i>Aster alpinus</i>	8.89± 3.63	—	—	—	2.96± 2.96	2.96± 2.96	—	—
唐松草	<i>Thalictrum alpinum</i>	—	2.96± 2.96	5.93± 3.63	—	—	5.93± 3.63	5.93± 3.63	8.89± 3.63
兰石草	<i>Lancea tibetica</i>	—	—	8.89± 3.63	5.93± 3.63	—	2.96± 2.96	2.96± 2.96	5.93± 3.63
大花嵩草	<i>Kobresia macrantha</i>	—	8.89± 3.63	—	—	—	5.93± 3.63	—	—
二裂委陵菜	<i>Potentilla bifurca</i>	—	2.96± 2.96	—	—	11.85± 2.96	11.85± 5.54	—	14.81± 4.68
龙胆	<i>Gentiana scabra</i>	—	2.96± 2.96	—	—	—	2.96± 2.96	—	—
圆叶堇菜	<i>Viola rockiana</i>	—	2.96± 2.96	—	—	—	—	11.85± 5.54	2.96± 2.96
野草莓	<i>Fragaria vesca</i>	—	2.96± 2.96	—	—	—	—	5.93± 3.63	—

续表 1

物种	拉丁名	5月				10月			
		NG	RG	TG	CG	NG	RG	TG	CG
西伯利亚蓼	<i>Polygonum sibiricum</i>	—	5.93± 3.63	—	5.93± 3.63	—	5.93± 3.63	5.93± 3.63	5.93± 3.63
老鹳草	<i>Geranium pratense</i>	—	2.96± 2.96	—	5.93± 3.63	—	8.89± 5.53	5.93± 3.63	5.93± 3.63
珠芽蓼	<i>Polygonum viviparum</i>	—	—	—	2.96± 2.96	11.85± 2.96	—	8.89± 3.63	5.93± 3.63
平车前	<i>Plantago depressa</i>	—	—	—	2.96± 2.96	—	2.96± 2.96	—	2.96± 2.96
蒲公英	<i>Taraxacum mongolicum</i>	—	—	—	2.96± 2.96	2.96± 2.96	2.96± 2.96	—	2.96± 2.96
波伐早熟禾	<i>Poa poophagorum</i>	—	—	—	2.96± 2.96	—	17.78± 2.96	11.85± 7.26	5.93± 3.63
火绒草	<i>Leontopodium nanum</i>	—	—	—	20.74± 5.93	—	—	—	—
萼果香薷	<i>Elsholzia bensa</i> var. <i>calycocarpa</i>	—	—	—	—	—	—	—	2.96± 2.96
灰绿藜	<i>Chenopodium glaucum</i>	—	—	—	—	—	—	—	2.96± 2.96
合计		29.63± 4.68 ^c	44.44± 12.39 ^{ab}	32.59± 11.85 ^{bc}	62.22± 22.66 ^a	47.41± 11.85 ^b	100.74± 38.18 ^a	77.04± 20.10 ^{ab}	77.04± 26.25 ^{ab}

10月不同放牧管理模式下鼯鼠鼠丘土壤种子库的 Margalef 丰富度指数、Shannon—Winner 多样性指数和 Simpson 优势度指数均为生长季休牧>传统放牧>连续放牧>禁牧, Pielow 均匀度指数为传统放牧=生长季休牧>连续放牧>禁牧, 其中禁牧模式下鼯鼠鼠

丘土壤种子库的 Margalef 丰富度指数和 Simpson 优势度指数显著小于生长季休牧、传统放牧和连续放牧 ($P<0.05$), 禁牧模式下鼠丘土壤种子库的 Shannon—Winner 多样性指数显著小于生长季休牧和传统放牧 ($P<0.05$) (图 1)。

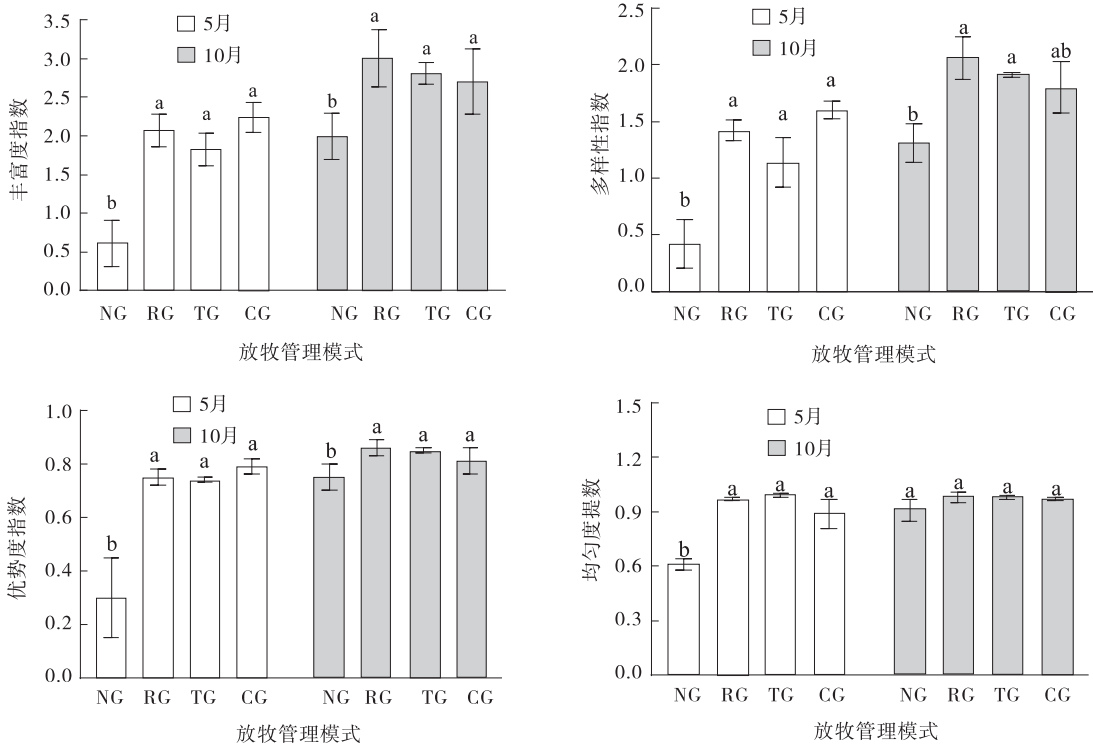


图 1 不同放牧管理模式下鼯鼠鼠丘土壤种子库的物种多样性

Fig. 1 Species diversity of soil seed bank of zokor mounds under different grazing management regimes

10月禁牧模式下鼠丘土壤种子库所有物种属于6科、7属、8种;生长季休牧模式下鼠丘土壤种子库所有物种属于11科、12属、14种;传统放牧模式下鼠丘土壤种子库所有物种属于8科、9属、10种;连续放牧模式下鼠丘土壤种子库所有物种属于12科、12属、14种。其中龙胆科和毛茛科只在生长季休牧,藜科只在连续放牧样地的鼠丘土壤种子库中出现;豆科在禁牧

和生长季休牧,车前科在生长季休牧和连续放牧,堇菜科在传统放牧和连续放牧模式下鼠丘土壤种子库中出现;菊科在传统放牧模式下,牻牛儿苗科和玄生科在禁牧模式下鼠丘土壤种子库中未出现,在其余样地鼠丘土壤种子库中均有出现;禾本科、蔷薇科和莎草科在4种放牧管理模式样地的鼠丘土壤种子库中均有出现(表2)。

表2 不同放牧管理模式下的鼠丘土壤种子库中植物种数

Table 2 Plant families in seed banks of zokor mounds under different grazing management regimes

科	5月				10月			
	NG	RG	TG	CG	NG	RG	TG	CG
车前科 Plantaginaceae	0	0	0	1	0	1	0	1
唇形科 Labiatae	0	0	0	0	0	0	0	1
豆科 Leguminosae	1	1	0	0	1	1	0	0
禾本科 Gramineae	0	0	0	1	1	1	1	1
堇菜科 Violaceae	0	1	0	0	0	0	1	1
菊科 Asteraceae	1	0	0	2	2	2	0	1
藜科 Chenopodiaceae	0	0	0	2	0	0	0	1
蓼科 Polygonaceae	1	1	0	0	1	1	2	2
龙胆科 Gentianaceae	0	1	0	0	0	1	0	0
牻牛儿苗科 Geraniaceae	0	1	0	1	0	1	1	1
毛茛科 Ranunculaceae	0	1	1	0	0	1	1	1
蔷薇科 Rosaceae	1	3	1	1	2	2	2	2
莎草科 Cyperaceae	1	1	1	1	1	2	1	1
玄参科 Scrophulariaceae	0	0	1	1	0	1	1	1
总科数	5	8	4	8	6	11	8	12
总属数	5	9	4	9	7	12	9	12
总种数	5	10	4	10	8	14	10	14

2.3 不同放牧管理模式下的鼠丘土壤种子库与地表植被的相似性

鼠丘土壤种子库物种和地表植被的物种相似性普遍较低。在5月,传统放牧模式下鼠丘土壤种子库物种和地表植被物种相似性最低,仅为0.24,连续放牧模式下最高,为0.58;而10月鼠丘土壤种子库物种和地表植被的物种相似性相对5月普遍较高,禁牧、生长季休牧、传统放牧和连续放牧模式下分别为0.40、0.42、0.49和0.57(图2)。

3 讨论

3.1 不同放牧管理模式对鼠丘土壤种子库的影响

土壤种子库的多样性能够反映物种在特定生存环

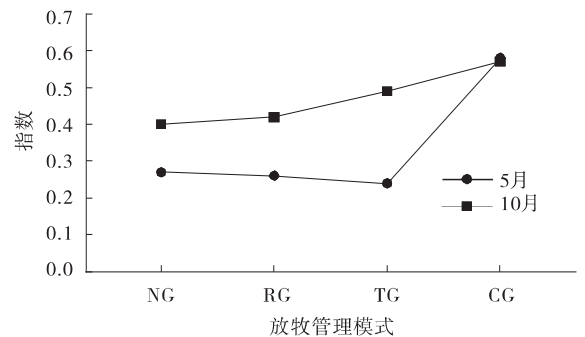


图2 不同放牧管理模式下的鼠丘土壤种子库与地上植被物种构成相似性

Fig. 2 Sorensen similarity of species composition between soil seed bank of zokor mounds and aboveground vegetation in different grazing management regimes

境下的丰富度与异质性,且与地上植被群落的组成有关^[20]。本研究结果表明,与禁牧相比,5月和10月,生长季休牧、传统放牧和连续放牧模式下鼠丘土壤种子库的丰富度指数、多样性指数及优势度指数均显著增加,但均匀度指数在5月变化显著,10月变化不显著。这可能是家畜放牧过程中的采食和践踏使得草地植被物种多样性增加,同时家畜的践踏和粪尿排泄过程中也会携带一些种子,使得土壤种子的物种数目增加^[12];也有可能是放牧能够减少种间竞争使物种多样性提高^[21]。除此之外,不同程度的放牧也会引起鼢鼠栖息地选择和推土量发生变化,其所掘洞道的深浅、鼠丘的大小及其养分性质也是导致高原鼢鼠鼠丘土壤种子库物种多样性发生变化的主要原因。比较4种放牧模式,5月和10月,鼠丘土壤种子库的物种数目均以连续放牧和生长季休牧模式下高于禁牧和传统放牧,生长季休牧的时间是10月到次年5月,此时植物种子均已成熟脱落,而家畜的放牧践踏会扩散和掩埋种子,更有利于种子萌发^[22]。同时,鼢鼠具有选择性捕食、搬运和埋藏种子的行为^[9],由于鼢鼠在10月需要贮存食物过冬,其大量挖掘推土过程中也能够搬运和埋藏种子,从而能够加速种子扩散、提高种子的出苗率和竞争力,同时也能够为种子的萌发、基因资源的保存和物种的延续创造更加有利的条件^[9]。传统放牧的放牧时间为10月到次年7月,但该样地鼢鼠鼠丘土壤种子库物种稀少,主要是受地上植被的影响,干扰会引起地上植被群落的改变,从而导致土壤种子库的变异性。与禁牧相比,放牧干扰下鼠丘土壤种子库密度显著增加,即5月鼢鼠鼠丘土壤种子库密度大小为连续放牧>生长季休牧>传统放牧>禁牧,其中禁牧显著小于连续放牧,10月鼠丘土壤种子库密度大小为生长季休牧>传统放牧>连续放牧>禁牧,其中禁牧显著小于生长季休牧,这可能是放牧后多年生植物比例较高,牲畜能把草类种子踏入土中,促使种子更好地萌发,增加草原群落种类组成上的多样性,同时牲畜的粪中亦含有种子^[23]。而连续放牧属于常年自由放牧,家畜在采食过程中可能会吃掉部分未成熟的种子,因而连续放牧模式下鼠丘土壤种子库密度在5月最大,而在10月小于生长季休牧和传统放牧。

3.2 不同放牧管理模式下鼢鼠鼠丘土壤种子库与地上植被之间的关系

土壤种子库与地上植物群落的关系能够决定植被

发展潜在方向的功能^[24]。本研究发现,在5月和10月,禁牧、生长季休牧和传统放牧4种放牧管理模式下鼠丘土壤种子库与地上植被的Sorensen相似性指数基本相似,均为连续放牧管理模式下最高,分别为0.58(5月)和0.57(10月),传统放牧(5月)和禁牧(10月)管理模式下最低,分别为0.24和0.40,说明放牧并未改变土壤种子库与地上植被的相似性。同时生长季休牧和传统放牧模式下鼠丘土壤种子库和地上植被的相似性较低,连续放牧相对较高。可能是因为生长季休牧和传统放牧增加了草地植被的盖度及物种数量,同时家畜的排泄和践踏及鼢鼠的挖掘洞道和推土造丘活动也可能携带新物种出现,导致土壤种子库与地上植被的共有物种减少,Sorensen相似性指数降低。相关研究发现,鼢鼠喜好松软且杂草较多的栖息环境^[15],连续放牧属于全年自由放牧,其土壤紧实度、土壤容重显著增加,地上植物群落的种数降低,因此鼢鼠在挖掘过程中,常选择在根系充足且土壤松软的表层进行,而表层土壤种子相对比较充足,这也使得连续放牧模式下鼠丘土壤种子库与地上植被的相似性较高。另外,土壤种子库中的种子因休眠储藏在土壤中,短时间内其种数不变^[25],也可能使得土壤种子库物种与地上植被物种之间的相似性基本不变。

4 结论

放牧管理模式对鼢鼠鼠丘土壤种子库特征有显著影响。禁牧和传统放牧模式下鼠丘土壤种子库密度在5月显著小于连续放牧模式下鼠丘土壤种子库密度,而在10月,禁牧模式下的鼠丘土壤种子库密度显著小于生长季休牧模式下密度值。种子库丰富度指数、多样性指数和优势度指数在连续放牧(5月)和生长季休牧(10月)管理模式下最高,禁牧模式下最低。优势度指数在传统放牧模式下最高,禁牧模式下最低。鼠丘土壤种子库与地上植被物种间的相似性普遍较低,放牧会增加土壤种子库的密度及多样性,进而对鼠丘斑块的演替产生影响。

参考文献:

- [1] Miao F, Guo Z, Xue R, *et al.* Effects of Grazing and Precipitation on Herbage Biomass[J]. Herbage Nutritive Value, and Yak Performance in an Alpine Meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Plos One, 2015, 10(6): 1-

- 15.
- [2] 白正,李艳龙,石椿,等. 季节放牧对典型草原植物群落不同生长季特征的影响[J]. 中国草地学报,2020,42(2):67-75.
- [3] 买小虎,张玉娟,张英俊,等. 季节性放牧调控对草地植被的影响[J]. 西北农业学报,2014,23(3):24-30.
- [4] 王颖杰,卫智军,展春芳,等. 2种放牧制度大针茅草原群落特征及营养物质动态[J]. 内蒙古农业大学学报,2012,33(3):88-93.
- [5] Kotze E, Sandhage-Hofmann A, Meinel J A, *et al.* Rangeland Management Impacts on The Properties of Clayey Soils Along Grazing Gradients in the Semi-Arid Grassland Biome of South Africa[J]. Journal of Arid Environments, 2013,97(10):220-229.
- [6] Li W, Liu Y Z, Wang J L, *et al.* Six Years of Grazing Exclusion Is the Optimum Duration in the Alpine Meadow Steppe of The North Eastern Qinghai Tibetan Plateau[J]. Scientific Reports, 2018,8(1):1-13.
- [7] 张倩,杨晶,姚宝辉,等. 放牧管理模式对高寒草甸鼠鼠丘群落演替的影响[J]. 生态学报,2020,40(8):2802-2811.
- [8] 张兴禄,李广. 高原鼠兔和高原鼠兔在高寒草甸生态系统的作用[J]. 草业科学,2015,32(5):816-822.
- [9] 杨军,孙磊,王向涛. 高寒草甸鼠丘种子库特征及其对退化草地恢复作用的研究[J]. 高原农业,2019,3(1):90-93.
- [10] 王婧,张建全,刘天阳,等. 高原鼠兔扰动对高寒草地土壤种子库的影响[J]. 草原与草坪,2018,38(4):20-25.
- [11] 李春鸣,张凯,徐长林,等. 高寒草甸鼠鼠新旧鼠丘中种子数量特征[J]. 草原与草坪,2011,31(6):14-17.
- [12] 连仲民,徐文轩,杨维康,等. 放牧对草地土壤种子库的影响[J]. 草业科学,2014,31(12):2301-2307.
- [13] 才文代吉,张静,谈静,等. 高寒草甸鼠丘土壤种子库结构特征的研究[J]. 草地学报,2019,27(5):1181-1187.
- [14] 何俊龄,张金沙,杨莹博,等. 高原鼠兔土丘空间格局及主要特征研究[J]. 草业学报,2006,15(1):107-112.
- [15] 王大伟,郭永旺,刘祖华,等. 川西北草原高原鼠兔种群季节性特征与分布特点[J]. 植物保护,2013,39(4):124-128.
- [16] 杨晶,张倩,姚宝辉,等. 高原鼠兔扰动对高寒草甸土壤理化特性及植物生物量的影响[J]. 草地学报,2020,28(2):492-499.
- [17] 李国旗,邵文山,赵盼盼,等. 荒漠草原区4种植物群落土壤种子库特征及其土壤理化性质[J]. 生态学报,2019,39(17):6282-6292.
- [18] 李志强,王明玖,陈海军,等. 短花针茅荒漠草原土壤种子库对不同放牧强度的响应[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(6):184-188.
- [19] 申波,马青青,程云湘,等. 不同放牧制度对土壤种子库的影响—以青藏高原东缘高寒草甸为例[J]. 草业科学,2018,35(4):791-799.
- [20] 王向涛,高洋,苗彦军,等. 围栏和退化条件下西藏高山嵩草草甸土壤种子库的比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(4):203-209.
- [21] 王向涛,高洋,魏学红,等. 不同放牧强度对西藏邦杰塘高寒草甸土壤种子库的影响[J]. 草地学报,2014,22(4):750-756.
- [22] 张静,陈先江,侯扶江. 家畜排泄物对牧草种子传播和萌发的作用[J]. 草业科学,2017,34(10):2070-2079.
- [23] 闫瑞瑞,卫智军,辛晓平,等. 放牧制度对荒漠草原可萌发土壤种子库的影响[J]. 中国沙漠,2011,31(3):703-708.
- [24] 尚占环,徐鹏彬,任国华,等. 土壤种子库研究综述——植被系统中的作用及功能[J]. 草业学报,2009,18(2):175-183.
- [25] 张蕾,张春辉,吕俊平,等. 青藏高原东缘31种常见杂草种子萌发特性及其与种子大小的关系[J]. 生态学杂志,2011,30(10):2115-2121.

Soil seed bank characteristics of zokor mounds under different grazing management regimes in alpine meadow

FANG Qing-hui^{1,2,3}, KANG Yu-kun^{1,2,3}, ZHANG Qian^{1,2,3}, SUN Xiao-mei^{2,3,4},
ZHANG De-gang^{1,2,3}, SU Jun-hu^{1,2,3}

(1. *College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China*; 2. *Gansu Agricultural University-Massey University Research Centre for Grassland Biodiversity, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*; 3. *Gansu Qilian shan Grassland Ecosystem Observation and Research Station, Lanzhou 730070, China*; 4. *College of Resource and Environmental Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*)

Abstract: In order to understand the effect of grazing management regimes on soil seed bank characteristics of zokor (*Eospalax* sp.) mounds, the soil seed banks under four kinds of long-term grazing management regimes, namely, no grazing (NG), rest grazing in growing season (RG), traditional grazing (TG), and continuous grazing (CG) plots, were characterized. Soil samples were collected in October 2019 and May 2020. The density, composition and diversity of the plant species of each vegetation community were analyzed and compared among the seed banks of the four management regimes. The results showed that grazing regimes significantly affected the soil seed bank characteristics of zokor mounds. Compared with no grazing, the soil seed bank density of zokor mound was significantly ($P < 0.05$) increased under continuous grazing (May) and rest grazing in growing season (October). The species richness index, diversity index, and dominance index were the highest under continuous grazing and resting grazing in growing season management regimes, and the lowest under no grazing regime. The evenness index was the highest under traditional grazing, and the lowest under no grazing with the specific order $TG > RG > CG > NG$. Sorensen similarity analysis showed that the similarity index between soil seed banks and vegetation communities of continuous grazing management was the highest in May (0.58) and October (0.57). The similarity indices were ranked as $CG > RG > TG > NG$ (May) and $CG > TG > RG > NG$ (October). The results demonstrated that grazing regimes could affect the characteristics of the soil seed bank of zokor mounds, which in turn influence the evolution of the mound patches.

Key words: Grazing management regimes; Zokor; Soil seed bank on mounds; diversity; similarity