

文章编号: 1000-694X(2011)03-703-06

放牧制度对荒漠草原可萌发土壤种子库的影响

闫瑞瑞^{1,2}, 卫智军^{2*}, 辛晓平¹, 刘红梅², 杨静², 乌仁其其格³

(1. 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室, 呼伦贝尔草原生态系统国家野外科学观测研究站, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 内蒙古农业大学生态环境学院, 内蒙古呼和浩特 010019; 3. 呼伦贝尔学院生命科学与化学学院, 内蒙古 海拉尔 021008)

摘要: 以内蒙古苏尼特右旗短花针茅荒漠草原为研究对象, 通过划区轮牧与自由放牧的比较试验, 研究可萌发土壤种子库对不同放牧制度的响应。结果表明: ①可萌发种子库物种组成在划区轮牧草地为 11 种, 自由放牧草地为 8 种, 封育禁牧区为 9 种, 划区轮牧较自由放牧和禁牧有利于提高草地群落可萌发土壤种子库的植物种数以及多年生优良牧草; 可萌发土壤种子库密度在封育禁牧区为 $(19\ 533.33 \pm 10\ 552.83)$ 粒 $\cdot m^{-2}$, 划区轮牧区为 $(3\ 233.33 \pm 524.21)$ 粒 $\cdot m^{-2}$, 自由放牧区为 $(2\ 553.60 \pm 152.48)$ 粒 $\cdot m^{-2}$, 可萌发土壤种子库密度封育禁牧区显著高于划区轮牧区与自由放牧区, 两放牧处理间无显著差异。②不同处理可萌发土壤种子库垂直分布有共同趋势, 有 75.06%~83.19% 分布在 0~5 cm 土层内, 14.16%~21.68% 分布在 5~10 cm 土层内, 2.65%~4.90% 分布在 10~15 cm 土层内, 且不同土层可萌发土壤种子库密度均为封育禁牧区显著高于划区轮牧区与自由放牧区, 两放牧处理间无显著差异。③划区轮牧区可萌发土壤种子库的丰富度指数和多样性指数高于自由放牧区。划区轮牧区和封育禁牧区可萌发土壤种子库组成的相似性系数最大, 为 0.857。

关键词: 放牧制度; 短花针茅; 荒漠草原; 可萌发土壤种子库

中图分类号: Q945.5 文献标识码: A

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。土壤种子库作为植被潜在更新能力的重要组成部分, 在植被恢复过程中起着极其重要的作用, 它不仅是地上植被补充更新的基础, 也是维持植物物种多样性的保障^[1]。对土壤种子库的组成、数量及分布的研究, 具有重要的理论和实践意义。近几十年来国内外许多学者在不同地域对不同类型植被的土壤种子库组成与数量特征进行了大量的试验研究^[2-10], 还有一些研究者从人为干扰如割草和放牧活动的角度对典型草原、沙化草地以及温性荒漠草地作了较深入的研究^[11-21], 关于放牧强度和不同季节放牧对土壤种子库的影响也有不少研究^[22-23], 但关于不同放牧制度干扰对土壤种子库特征及其生态作用的影响尚为少见。

短花针茅荒漠草原作为亚洲中部分布的群落类型, 是最干旱的草原类型, 近年来, 由于人类严重干扰和气候日趋干旱的共同作用, 草地植被沙化、退化

相当严重, 致使生态环境进一步恶化^[24]。放牧是草地利用的主要方式之一, 不合理的放牧活动是草地退化的主要原因^[25-27]。探讨放牧干扰影响下荒漠草原土壤种子库特征、多样性对于荒漠草地的保护, 防止荒漠化的发生具有积极作用。因此, 本试验以短花针茅荒漠草原放牧制度和封育禁牧为研究对象, 系统比较不同放牧制度下土壤种子库数量特征、垂直分布以及多样性, 分析土壤种子库在不同放牧制度之间的关系, 在调查短花针茅荒漠植被恢复的潜力的同时, 为揭示荒漠草原植被恢复和退化生态系统恢复的机理提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 试验地概况

试验地位于锡林郭勒苏尼特右旗朱日和镇附近, $42^{\circ}16'26'' N$, $112^{\circ}47'16'' E$, 海拔 1 100~1 150 m

收稿日期: 2010-09-23; 改回日期: 2010-11-15

基金项目: 草业数字化监测、控制与决策技术中试与示范 (2008GB23260400); 内蒙古退化植被恢复技术和定向经济型植物产业化种植基地建设与示范项目和农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室开放项目; 呼伦贝尔草原牧草产量的遥感估算与载畜能力研究 (RDA0911); 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2006AA10Z241); 国家科技支撑计划项目 (2006BAC01A12, 2006BAD16B05 2); 现代农业产业技术体系建设专项资金资助

作者简介: 闫瑞瑞 (1979-), 女, 内蒙古丰镇人, 博士后, 主要从事草地放牧管理与草地生态方面的研究。

Email: yanrui19790108@163.com

之间。年平均气温 $6.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 119.64 mm , 年蒸发量 1982.19 mm , 日照时数 2620.64 h , 降水量主要集中 6—8 月, 前 3 个月的降水量占全年降水量的 60%, 该地区无霜期为 214 d, 一年平均大风日数为 63 d 左右。实验地波状起伏, 比较开阔, 土壤为淡栗钙土较贫瘠, 腐殖质层厚 $5\sim 10\text{ cm}$, 发育不明显, 钙积层分布在 $10\sim 35\text{ cm}$ 。试验区属短花针茅荒漠草原地带性植被。短花针茅 (*Stipa breviflora*)、无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*) 和碱韭 (*Allium polyrhizum*) 为群落主要植物种, 其中短花针茅为建群种, 决定群落的结构与外貌, 并形成群落的景观特征, 无芒隐子草为亚建群种, 碱韭为优势种。主要伴生种还有糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、细叶韭 (*Allium tenuissimum*)、银灰旋花 (*Convolvulus ammannii*)、阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus*)、木地肤 (*Kochia prostrata*)、寸草苔 (*Carex duriuscula*) 等。一年生植物在雨量丰富的年份生长旺盛, 主要有栉叶蒿 (*Neopallasia pectinata*)、猪毛菜 (*Salsola collina*) 等。

1.2 试验设计

放牧试验于 1999 年在比较平坦, 植被类型一致的地段开始, 每年 (1999—2007 年) 5 月 1 日开始, 并开展了定量放牧观测, 11 月放牧终止。试验分别设划区轮牧 (RG)、自由放牧 (CG) 和封育禁牧 (CK) 3 个试验处理, 划区轮牧面积为 320 hm^2 , 又分为 8 个等面积的轮牧小区进行划区轮牧, 每个轮牧小区面积为 40 hm^2 , 按小区顺序依次轮流放牧, 各小区放牧 7 d, 整个放牧季节轮牧周期为 56 d; 自由放牧区面积为 338 hm^2 ; 划区轮牧与自由放牧全年载畜率一致, 为 $1.24\text{ 羊单位}\cdot\text{hm}^{-2}$; 另外, 设一个 $100\text{ m}\times 100\text{ m}$ 的封育禁牧区 (CK)。

1.3 研究方法

土壤种子库取样于 2006 年 10 月进行, 在不同处理分别用内部容积为 100 cm^3 的土壤环刀随机取 $0\sim 5\text{ cm}$ 、 $5\sim 10\text{ cm}$ 、 $10\sim 15\text{ cm}$ 的原装土壤, 5 次重复, 连同凋落物带回室内, 捡出大的石块和草根, 用孔径为 0.2 mm 的细筛过筛风干后的土样, 将过筛后剩余的含种子的土样铺在萌发的发芽盘内 (约 3 cm 厚), 发芽盘底部预先填上 5 cm 厚的细河沙, 所有的萌发装置均摆放在在自然光条件下的玻璃室内

(温度 $17\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$), 每天浇水 1~2 次以保持土壤湿润, 待幼苗长出后记录植物种类和数量, 试验持续至半个月不再有幼苗长出为止。

多样性指数采用 Margalef 丰富度指数、Shannon Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielow 均匀度指数计算。

Margalef 丰富度指数 (M_a):

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

Shannon Wiener 多样性指数 (H'):

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

Simpson 优势度指数 (D):

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

Pielow 均匀度指数 (J_p):

$$J_p = - \sum P_i \ln(P_i) / \ln(S)$$

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 相似性系数计算不同放牧制度土壤种子库群落组成的相似性。

计算公式为: $S_c = 2w / (a + b)$

式中: S_c 为相似性系数; w 为两样地土壤种子库共有的植物种数; a 和 b 为两样地土壤种子库各自拥有的植物种数。

1.4 试验数据处理方法

应用 Excel2003 和 SAS9.0 统计软件, 对试验所的数据进行分析比较, 设当 $P < 0.05$ 时差异显著。

2 结果与分析

2.1 可萌发土壤种子库物种组成

在土壤种子库中共统计到 12 种植物, 其中禾本科植物最多, 划区轮牧草地可萌发土壤种子库共有植物 11 种, 自由放牧草地可萌发土壤种子库中共有植物 8 种, 封育禁牧区草地可萌发土壤种子库中共有植物 9 种。不同处理种子库密度较大的植物为无芒隐子草、碱韭、冠芒草、栉叶蒿。其中, 在划区轮牧区、自由放牧区和封育禁牧区无芒隐子草种子比例分别为 56.51% 、 51.56% 和 43.09% , 碱韭分别为 11.60% 、 5.36% 和 3.92% , 冠芒草分别为 8.51% 、 28.72% 和 31.91% , 栉叶蒿分别为 5.41% 、 1.96%

和 10 15%。

比较不同放牧制度下可萌发土壤种子库密度, 方差分析表明(表 1), 封育禁牧区显著高于划区轮牧区与自由放牧区($P < 0.05$), 两放牧处理间无显著差异($P > 0.05$), 但划区轮牧区可萌发土壤种子库密度较自由放牧区有所提高; 可萌发土壤种子库密度封育禁牧区除了多年生无芒隐子草外, 一年生植物居多, 冠芒草占 31.91%; 划区轮牧区以多年生植

物居多, 无芒隐子草和碱韭占 68.11%; 自由放牧区与封育禁牧区相似除了多年生无芒隐子草外, 一年生植物居多, 冠芒草占 28.72%; 封育禁牧区土壤种子库密度分别是划区轮牧区与自由放牧区的 7.65 倍和 6.04 倍。表明封育较放牧增加可萌发土壤种子库密度。划区轮牧与自由放牧比较, 划区轮牧可萌发土壤种子库密度是自由放牧区的 1.27 倍, 说明划区轮牧较自由放牧增加可萌发土壤种子库密度。

表 1 不同放牧制度可萌发土壤种子库(0~15 cm)的物种组成

Table 1 Species composition of germinable soil seed bank under different grazing systems

植物名称	科	生活型	物种组成(粒·m ⁻²)		
			RG	CG	CK
短花针茅(<i>Stipa breviflora</i>)	禾本科	P	4.17±7.22 ^a	—	33.33±57.73 ^a
碱韭(<i>Allium polyrhizum</i>)	百合科	P	375.00±231.02 ^{ba}	136.93±81.99 ^b	766.67±521.75 ^a
无芒隐子草(<i>Cleistogenes songorica</i>)	禾本科	P	1 827.08±432.67 ^b	1 316.67±938.53 ^b	8 416.67±7 146.77 ^a
细叶韭(<i>Allium tenuissimum</i>)	百合科	P	12.50±13.82 ^a	—	—
猪毛菜(<i>Salsola collina</i>)	藜科	A	156.25±170.31 ^b	83.33±109.29 ^b	383.33±178.73 ^a
栉叶蒿(<i>Neopallasia pectinata</i>)	菊科	A	175.00±73.36 ^b	50.00±28.87 ^b	1 983.33±1 032.12 ^a
冠芒草(<i>Enneapogon borealis</i>)	禾本科	A	275.00±102.23 ^b	733.33±1 082.18 ^b	6 233.33±5 148.14 ^a
灰绿藜(<i>Chenopodium glaucum</i>)	藜科	A	41.67±19.54 ^b	33.33±57.73 ^b	183.33±128.02 ^a
小叶棘豆(<i>Oxytropis microphylla</i>)	豆科	A	14.58±20.73 ^a	—	16.67±28.87 ^a
狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)	禾本科	A	—	16.67±28.87 ^a	—
虱子草(<i>Tragus berlesianus</i>)	禾本科	A	2.08±3.61 ^a	—	—
杂类草	禾本科	A	350.00±70.96 ^b	183.33±119.02 ^b	1 516.67±1 293.04 ^a
总计			3 233.33±524.21 ^b	2 553.60±2 152.48 ^b	19 533.33±10 552.83 ^a

注: 同一行内不同放牧制度字母(a, b)不同者差异显著($P < 0.05$)。

2.2 可萌发土壤种子库的垂直分布

不同放牧制度下可萌发土壤种子库的垂直分布见表 2, 随着土壤深度的增加可萌发土壤种子库密度呈下降趋势。可萌发土壤种子库的种子主要分布于 0~5 cm 的土层, 10~15 cm 的种子数很少, 有

75.06%~83.19% 分布在 0~5 cm 土层内, 有 14.16%~21.68% 分布在 5~10 cm 土层内, 有 2.65%~4.90% 分布在 10~15 cm 土层内。

不同土层不同放牧制度下可萌发土壤种子库单因子方差分析表明, 封育禁牧区显著高于划区轮牧区与自由放牧区($P < 0.05$), 两放牧处理间无显著

表 2 不同放牧制度可萌发土壤种子库的垂直分布及所占百分含量

Table 2 Species vertical composition of germinable soil seed bank and its proportion under different grazing systems

土层深度 / cm	RG		CG		CK	
	分布/(粒·m ⁻²)	比例/%	分布/(粒·m ⁻²)	比例/%	分布/(粒·m ⁻²)	比例/%
0~5	2 439.58±565.45 ^b	75.45	1 916.67±1 527.80 ^b	75.06	16 250.00±11 080.65 ^a	83.19
5~10	635.42±188.60 ^b	19.65	553.53±653.67 ^b	21.68	2 766.67±3 155.42 ^a	14.16
10~15	158.33±54.65 ^b	4.90	83.33±55.28 ^b	3.26	516.67±276.39 ^a	2.65

注: 同一行内不同放牧制度字母不同者差异显著($P < 0.05$)。

差异 ($P > 0.05$)。

2.3 可萌发土壤种子库的物种多样性与相似性

植物群落物种多样性作为生态系统多样性最直接和最易于观察研究的一个层次,对它的研究可以更好地认识群落组成、变化和发展,并能够在揭示群落与环境的关系上有着重要作用。不同放牧制度荒漠草原可萌发土壤种子库的物种多样性指数分析见表 3,丰富度指数和多样性指数均为划区轮牧区高于自由放牧区,分别高于 39.3% 和 9.09%。优势度指数和均匀度指数封育禁牧区高于划区轮牧区与自由放牧区。

表 3 不同放牧制度下可萌发土壤种子库多样性指数

Table 3 Diversity index of germinable soil seed banks under different grazing systems

多样性指数	RG	CG	CK
Margalef 丰富度指数	1.24	0.89	0.81
Shannonr Wiener 多样性指数	1.44	1.32	1.42
Simpson 优势度指数	0.64	0.64	0.69
Pielou 均匀度指数	0.60	0.63	0.65

表 4 对比了不同放牧处理可萌发土壤种子库的相似性。划区轮牧区和自由放牧区可萌发土壤种子库组成的相似性最小,为 0.740,共有种数 7 种。划区轮牧区和封育禁牧区可萌发土壤种子库组成的相似性系数最大,为 0.857,共有种数 8 种。封育禁牧区和自由放牧区可萌发土壤种子库组成的相似系数居中,为 0.824,共有种数 7 种。

表 4 不同放牧制度下可萌发土壤种子库组成的相似性指数

Table 4 Sorensen's similarity index of germinable soil seed bank under different grazing systems

放牧制度	RG	CG	CK
RG	—	0.740	0.857
CG	0.740	—	0.824
CK	0.857	0.824	—

3 讨论与结论

本研究中,可萌发土壤种子库密度封育禁牧区为 $(19\ 533.33 \pm 10\ 552.83)$ 粒 $\cdot m^{-2}$,划区轮牧区为 $(3\ 233.33 \pm 524.21)$ 粒 $\cdot m^{-2}$,自由放牧区为 $(2\ 553.60 \pm 2\ 152.48)$ 粒 $\cdot m^{-2}$,与自由放牧草地相比较,划区轮牧和封育禁牧草地可萌发土壤种子库的密度明显增加,表明划区轮牧和围封是促进荒漠草原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。自由放牧和围封草地可萌发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无芒隐了草等,它们的繁殖途径主要是营养繁殖,萌孽性强,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。本研究所得放牧能够降低土壤种子库密度,研究结果与 McDonald 等^[28]、赵文智等^[29]和张志权^[30]的结论一致。放牧区由于牲畜的连续践踏,土壤板结较重,植被盖度较小,大部分种子尚未成熟就为牲畜采食,损失种子多,所以萌发数量少,密度小;封育区受到围栏封育的保护,种子成熟度高和成熟种子的数量大,所以萌发密度大。但研究结果也与前人研究有所差异,据前人^[31]研究,在放牧场上,牲畜能把草类种子踏入土中,这能促使种了更好地发芽;增多外来成分(杂草植物),引起草原群落种类组成上的混杂性;牲畜的粪中亦含有种子,即放牧可以引起种子数量增加。所以这问题将有待于更进一步研究。

不同处理下可萌发土壤种子库密度的垂直分布具有递减的规律,影响着种子库种子的留存、萌发,从而影响着原有植被的恢复。可萌发土壤种子库主要分布于 0~5 cm 的土层,5~15 cm 的土层中种子含量较少。结果与仲延凯等^[15]、John^[32]、Li^[33]、曾彦军等^[34]结论相吻合。

划区轮牧区可萌发土壤种子库丰富度指数和多样性指数高于自由放牧区。丰富度指数反映种子库中植物种类的多少,一方面可能由于自由放牧使群落内的可食性牧草啃食过度而失去了再生能力,逐渐在群落中消失,使得可萌发土壤种子库群落多样性下降^[35];另一方面自由放牧使土壤综合性状明显恶化,对放牧草地实施划区轮牧措施后,草地植物种类、盖度和密度增加,同时能够积聚更多的包含种子的凋落物,减少了土壤养分的吹蚀,改善土壤的理化性状,有利于其他植物种的入侵和定居,以至于可萌发土壤种子库的丰富度和多样性增加^[36]。研究结果与吴涛等^[23]认为自由放牧成为古尔班通古特沙漠南部生物多样性丧失和自然草地退化的主要原因结论相一致,也证实了因放牧制度而带来的生态问题已经不容忽视,如果不对其进行合理的引导和安排,将造成生态环境的严重破坏,对我国温带荒漠生

态系统的可持续发展产生严重影响。

不同放牧处理可萌发土壤种子库物种组成的相似性系数变化幅度为 0.740~0.857, 表现出较小的空间异质性, 主要因为不同处理群落的种子库中具有较多相同的草本植物种。其中划区轮牧区和封育禁牧区之间最大, 是因为划区轮牧和封育禁牧条件下可萌发土壤种子库具有高的相同植物种数, 自由放牧使可萌发土壤种子库中一些重要物种缺失, 进一步说明划区轮牧有利于提高草地群落可萌发土壤种子库的植物种数, 利于加快退化短花针茅荒漠草原的恢复进程。

参考文献(References):

- [1] 于顺利, 蒋高明. 土壤种子库的研究进展及若干研究热点[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 552-560.
- [2] Howe C D, Chancellor R J. Factors affecting the viable seed content of soil beneath lowland pastures[J]. Journal of Applied Ecology, 1983, 20: 915-922.
- [3] Reichman J. Spatial and temporal variation of seed distribution in Sonoran desert soils[J]. Journal of Biogeography, 1984, 11: 1-11.
- [4] Henderson C B, Petersen K E, Redak R A. Spatial and temporal patterns in the seed bank and vegetation of a desert grassland community[J]. Journal of Ecology, 1988, 76: 717-728.
- [5] Coffin D P, Lauenroth W K. Spatial and temporal variation in the seed bank of a semiarid grassland[J]. American Journal of Botany, 1989, 67: 53-58.
- [6] 安树青, 林向阳, 洪必恭. 宝华山主要植被类型土壤种子库初探[J]. 植物生态学报, 1996, 2(1): 41-50.
- [7] 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[J]. 植物生态学报, 1996, 20(1): 28-34.
- [8] 刘济明. 贵州茂兰喀斯特森林中华蚊母树群落种子库及其萌发特征[J]. 生态学报, 2001, 2(2): 197-203.
- [9] 班勇. 土壤种子库的结构与动态[J]. 生态学杂志, 1995, 14(6): 42-47.
- [10] 韩有志, 王政权. 两个林分水曲柳土壤种子库空间格局的定量比较[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 487-492.
- [11] Kinucan R J, Smeins F E. Soil seed bank of a semiarid Texas grassland under three long-term (36 years) grazing regimes[J]. American Midland Naturalist, 1992, 128: 11-21.
- [12] Smith R S, Shiel R S, Millward D, et al. Soil seed banks and the effects of meadow management on vegetation change in a 10 year meadow field trial[J]. Journal of Applied Ecology, 2002, 39: 279-293.
- [13] 苏德毕力格, 李永宏, 雍世鹏, 等. 冷蒿草原土壤可萌发种子库特征及对放牧的响应[J]. 生态学报, 2000, 20: 43-48.
- [14] 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: 具有生命力的种子数量及其垂直分布[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2000, 31(1): 93-97.
- [15] 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: IV 群落生物量的组成与数量组成的比较[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2001, 32(5): 551-556.
- [16] 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[J]. 中国草地, 2000(2): 46-48.
- [17] 赵丽娅, 李锋瑞, 王先之. 草地沙化过程地上植被与土壤种子库变化特征[J]. 生态学报, 2003, 23: 1745-1756.
- [18] 蒋德明, 李荣平, 刘志民, 等. 科尔沁草甸草地放牧和割草条件下土壤种子库研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1860-1864.
- [19] 郑翠玲, 曹子龙, 赵廷宁, 等. 围封沙化草地土壤种子库动态研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 169-171.
- [20] 孙建华, 王彦荣, 曾彦军. 封育和放牧条件下退化荒漠草地土壤种子库特征[J]. 西北植物学报, 2005, 25(10): 2035-2042.
- [21] 苏延桂, 李新荣, 张景光, 等. 生物土壤结皮对土壤种子库的影响[J]. 中国沙漠, 2006, 26(6): 997-1001.
- [22] 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[J]. 植物生态学报, 2006, 30(4): 617-623.
- [23] 吴涛, 王雪芹, 盖世广, 等. 春夏季放牧对古尔班通古特沙漠南部土壤种子库和地上植被的影响[J]. 中国沙漠, 2009, 29(3): 499-507.
- [24] 李青丰, 胡春元, 王明玖. 锡林郭勒草原生态环境劣化原因诊断及治理对策[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2003, 34(2): 166-172.
- [25] 陈佐忠, 汪诗平, 王艳芬, 等. 中国典型草原生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 125-156.
- [26] 王涛. 中国北方的土地利用与沙漠化[J]. 中国沙漠, 2000, 20(2): 103-113.
- [27] 王涛, 陈广庭, 赵哈林, 等. 中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展[J]. 中国沙漠, 2006, 26(4): 507-516.
- [28] McDonald A W, Bakker J P, Vegelin K. Seed bank classification and its importance for the restoration of species rich flood meadows[J]. Journal of Vegetation Science, 1996, 7: 156-164.
- [29] 赵文智, 白四明. 科尔沁沙地围封草地种子库特征[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 204-208.
- [30] 张志权. 土壤种子库[J]. 生态学杂志, 1996, 15(6): 36-42.
- [31] 云南大学生物系. 植物生态学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980: 189-191.
- [32] Harper J L. Population Biology of Plants[M]. New York-London-San Francisco: Academic Press, 1977: 85-110.
- [33] Li Q F. Soil seed bank in a Sandy Land Vegetation in the Ordos Plateau of Inner Mongolia[C]. International Symposium on Grassland Management in the Mongolia Plateau, 1997: 8-13.
- [34] 曾彦军, 王彦荣, 南志标, 等. 阿拉善干旱荒漠区不同植被类型土壤种子库研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1457-1463.
- [35] Waser N M, Price M V. Effects of grazing on diversity of annual plants in the Sonoran Desert, Arizona, USA[J]. Oecologia, 1981, 50: 407-411.

[36] 闫瑞瑞. 不同放牧制度对短花针茅荒漠草原植被与土壤影响

的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.

Effects of Grazing Systems on Germinable Soil Seed Bank of Desert Steppe

YAN Rui-rui^{1,2}, WEI Zhi-jun², XIN Xiao-ping¹, LIU Hong-mei², YANG Jing², Wurenqiige³

(1. Key Laboratory of Resources Remote Sensing and Digital Agriculture; Hulunber Grassland Ecosystem Research Station, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 100019, China; 3. Life Science and Chemistry School, Hulunber College, Hailar 021008, Inner Mongolia, China)

Abstract: We studied the soil seed bank of *Stipa breviflora* desert steppe at three sites with different grazing systems, namely a continuously grazed area, a rotationally grazed area including eight rotational paddock, and an enclosed area which had been enclosed since 1999. The germinable seed bank species in the rotationally grazed area, the continuously grazed area and the enclosed area were 11, 9 and 8 species respectively. Rotational grazing increased germinable seed bank plant species of grassland community and perennial grasses. The density of soil seed bank per square meter at the enclosed area ($19\ 533.33 \pm 10\ 552.83$ seeds $\cdot m^{-2}$) was significantly higher than those at the rotationally grazed area ($3\ 233.33 \pm 524.21$ seeds $\cdot m^{-2}$) and at the continuously grazed area ($2\ 553.60 \pm 2152.48$ seeds $\cdot m^{-2}$), but the difference between the rotationally grazed area and the continuously grazed area was not significant. The vertical distribution of germinable soil seed bank at different areas had a same tendency, and 75.06% ~ 83.19% of seed was distributed in the soil horizon of 0~5 cm, 14.16% ~ 21.68% was distributed in the soil horizon of 5~10 cm, 0~6.10% was distributed in the soil horizon of 10~15 cm. The density of germinable soil seed bank at each soil horizon in enclosed area was significantly higher than those in rotationally and continuously grazed area, but there was not significant difference between the rotationally grazed area and the continuously grazed area. Margalef index and Shannon-Wiener index of germinable soil seed bank in rotationally grazed area were higher than that in continuously grazed area. The Sorensen's similarity index of germinable soil seed bank between the enclosed area and the rotationally grazing area was the highest, which was 0.857.

Keywords: grazing system; *Stipa breviflora*; desert steppe; germinable soil seed bank