

长期刈割对草原地上植被和土壤种子库的影响

何 静^{1*}, 赵 明², 杨婷婷¹, 赵冰怡¹, 赵晓菊^{1#}

¹大庆师范学院生物工程学院, 黑龙江 大庆

²中国科学院植物研究所, 北京

Email: 1844090945@qq.com, #zj_daisy@163.com

收稿日期: 2020年11月26日; 录用日期: 2021年1月5日; 发布日期: 2021年1月13日

摘 要

以内蒙古典型草原长期围封样地为研究对象, 进行野外物种调查和温室种子萌发试验, 探究地上植被和土壤种子库对长期刈割的响应以及二者之间的相互关系。结果表明: 1) 刈割后植被群落物种丰富度平均值为11.2种, 相较于空白样地, 显著增加了2.4种($P < 0.05$), 其中多年生杂类草(Perennial forbs, PF)显著增加1.5种($P < 0.05$), 禾类草(Gramineae, G)、一二年生杂类草(Annuals and biennials, A)增加不显著($P > 0.05$); 2) 刈割后土壤种子库群落物种丰富度平均值为6.7种, 密度平均值为27,719.7粒·m⁻³, 且刈割对与PF、G以及A的土壤种子库物种丰富度和密度均无显著差异($P > 0.05$); 3) 空白对照和刈割处理下的土壤种子库与地上植被的相似性分别为0.42和0.45, 在调查的33个物种中, 刈割处理后羊茅(*Festuca ovina*)、黄花葱(*Allium condensatum*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)在植被中出现, 二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)在土壤种子库中出现, 木地肤(*Kochia prostrata*)在植被和土壤种子库中均出现。长期刈割可增加草地植被物种多样性, 对土壤种子库影响不显著。

关键词

刈割, 典型草原, 地上植被, 土壤种子库, 物种丰富度

Effects of Long-Term Mowing on Above-Ground Vegetation and Soil Seed Bank in Grassland

Jing He^{1*}, Ming Zhao², Tingting Yang¹, Bingyi Zhao¹, Xiaojun Zhao^{1#}

¹Bioengineering Institute, Daqing Normal University, Daqing Heilongjiang

²Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing

Email: 1844090945@qq.com, #zj_daisy@163.com

Received: Nov. 26th, 2020; accepted: Jan. 5th, 2021; published: Jan. 13th, 2021

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 何静, 赵明, 杨婷婷, 赵冰怡, 赵晓菊. 长期刈割对草原地上植被和土壤种子库的影响[J]. 植物学研究, 2021, 10(1): 47-55. DOI: 10.12677/br.2021.101007

Abstract

Take the long-term fencing enclosure sample plots of typical steppe in Inner Mongolia as the research object. Field species investigation and greenhouse seed germination experiment were conducted. To explore the response of above-ground vegetation and soil seed bank to the long-term mowing and the relationship between them. The results showed that :1) Compared with the blank plots, the average species richness of vegetation community after mowing was 11.2 species, which was significantly increased by 2.4 species ($P < 0.05$), Perennial forbs (PF) was significantly increased by 1.5 species ($P < 0.05$), but the difference was not significant between Gramineae (G) and Annuals and biennials (A) ($P > 0.05$); 2) The average species richness of soil seed bank after mowing 6.7 species, the average of density was 27,719.7 seeds·m⁻³ and there was no significant difference in species richness and density of PF, G and A in the soil seed banks after mowing ($P > 0.05$); 3) The similarity between the soil seed bank and above-ground vegetation were 0.42 and 0.45 in blank control and mowing treatment respectively, among the 33 species investigated, *Festuca ovina*, *Allium condensatum* and *Artemisia frigida* appeared in vegetation after mowing treatment, and *Potentilla bifurca* appeared in soil seed bank, *Kochia prostrata* appeared in both vegetation and soil seed bank. Long-term mowing can increase the species diversity of grassland vegetation, which had no significant effect on soil seed bank.

Keywords

Mowing, Typical Steppe, Above-Ground Vegetation, The Soil Seed Bank, Species Richness

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

刈割是人类干扰和利用草地的方式之一, 通过移除植物的地上部分而影响植物生长繁殖, 对群落物种多样性、草原生态系统生产力以及生态系统稳定性都有一定程度的影响[1]。目前, 有关刈割对草原生态系统影响的研究主要集中在短期试验中, 如短期高强度(低留茬高度)的刈割, 会使植物光合作用面积急剧下降而过分消耗根部贮存的养分, 进而降低植物的繁殖能力, 减少植物种群数量, 短期低强度(高留茬高度)的刈割, 草本植物虽然再生能力强, 但其再生能力的增长范围有限, 所以生物量增加有限[2], 群落物种丰富度并不受短期低强度刈割的影响, 或者有略微的正效应响应[3][4]。适当的刈割能发挥草地最大生产潜力并维持群落结构的稳定性[5]。

土壤种子库是指土壤表面和土壤中所存活的全部种子, 是维持种群和群落多样性的潜在力量, 其分布影响着地上植被的定居与建立, 决定着生态系统的抵抗力和恢复力[6]。目前国内外关于土壤种子库的研究主要集中在草地、湿地、森林、干旱荒漠区和湿润半湿润地区[7], 其中关于草地土壤种子库的研究主要集中在种子库大小、物种构成、动态变化及与地上植被等方面[8]。刈割对土壤种子库的影响体现在土壤中种子数量和多样性的增减[9]。研究发现, 放牧活动或刈割在一定程度上会降低土壤种子库密度, 并改变土壤种子库的物种组成, 且不同放牧强度对土壤可萌发种子库的影响存在一定的差异性[10]。对土壤种子库的研究, 无论对于了解过去植被群落的组成, 还是对未来植被发展方向的分析, 都具有现实意义[11]。地上植被与土壤种子库相互依存, 互为影响, 了解土壤种子库与地上植被的关系, 对未来草原生态系统的恢复以

及重建至关重要。目前,有关刈割对土壤种子库和地上植被之间关系的研究并没有得出一致的结论[12],如徐丽丽等[13]对喀斯特草丛群落土壤种子库研究认为,地上植被与地下土壤种子库之间的相似系数较高,而沈艳等[14]在荒漠草原土壤种子库研究结果表明,放牧会降低种子库和地上植被的相似性。

虽然目前对刈割与地上植被和土壤种子库的研究已经十分广泛,但关于长期刈割干扰对内蒙典型草原土壤种子库和地上植被的研究相对较少。短期试验是一个即时的响应,而长期试验是一个累积的影响过程,因此长期刈割对未来群落的动态以及影响更需要被了解。本文通过长期刈割试验来探讨内蒙典型草原土壤种子库以及其与地上植被的关系,主要解决长期刈割对地上植被的影响;长期刈割对土壤种子库的影响如何;以及长期刈割下,土壤种子库和地上植被的关系问题,以期为内蒙典型草原未来植被恢复提供一定参考。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

研究区位于中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站,处于锡林郭勒草原国家自然保护区。样区地理坐标为北纬 $43^{\circ}32'45''\sim 43^{\circ}33'10''$,东经 $116^{\circ}40'30''\sim 116^{\circ}40'50''$,属于温带干旱典型草原栗钙土地带,海拔约在 1200 m,地势平坦;年均降水量为 349.7 mm,降水集中于 5~8 月,占全年总降水量的 74.2%;全年最冷月平均气温为 -21.4°C (1 月),最热月平均气温为 19.7°C (7 月),无霜期 91 天[15];该样地以放牧为主,工业化程度低,未做过任何实验处理,于 1999 年设置围栏阻止马、牛、羊等大型草食动物的取食和践踏,试验区植被禾类草占绝对优势,优势种包括羊草、冰草、大针茅、羽茅。

2.2. 实验设计

本实验平台位于中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站附近,于 2008 年 7 月划地钉桩设置样地,并于每年 8 月 27~31 日进行一次中度刈割(割草留茬 10 cm)。试验样地共分为十个大区,每个大区面积为 $44\text{ m}\times 35\text{ m}$ (各大区之间间隔为 2 m),在每个大区内设置 2 个小区,一个为刈割区,一个为空白对照(不做任何处理),则共有 10 个重复,20 个基础样方单位(每个基础样方单位面积为 $8.0\text{ m}\times 3.5\text{ m}$)。这样设计的目的在于使实验误差减少,更能体现总体趋势。对每个基础样方再进行样方框设计,即在每个小区($8.0\text{ m}\times 3.5\text{ m}$)内选取 $0.5\text{ m}\times 2.0\text{ m}$ 的样方面积,为了防止边缘效应选取距离小区边缘 50 cm 的位置固定样方(样地详情见图 1)。选取每年地上植被物种最丰富的 8 月中旬进行物种调查,分别调查样地的物种种类以及每个物种的个数。

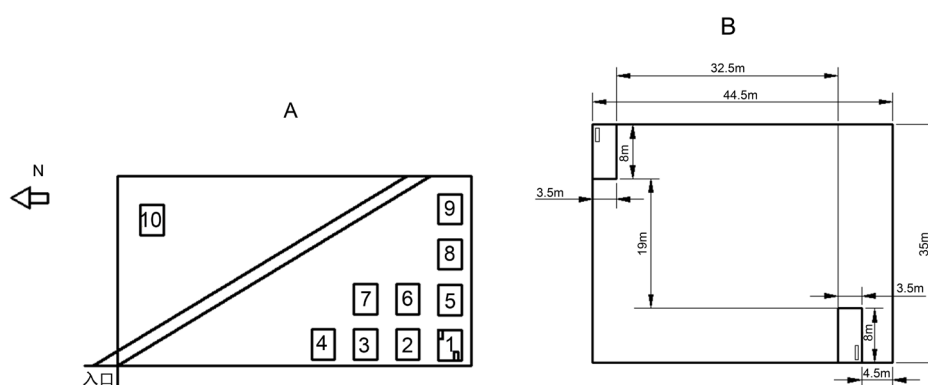


Figure 1. Distribution map of experimental plots. (A) Schematic diagram of experimental area; (B) Schematic diagram of foundation quadrat

图 1. 试验样地分布图。(A) 试验大区示意图; (B) 基础样方示意图

2.3. 土壤种子库取样

本实验于 2018 年 10 月开始取样, 在 $8.0\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ 样方内用土钻沿对角线均匀选取 5 个直径为 5 cm 深度为 10 cm 的样点。将 5 个点混合成一个重复后放入 9 号自封袋中。再将土样碾碎, 并用 B3 的牛皮信封将土样平展开, 于遮阴处风干, 风干后的土样过直径为 3 mm 的筛, 去除里面的枯落物、草根及杂物。

2.4. 土壤种子库的培养

鉴定土壤中种子的活力采用萌发法来完成[16]。在种子发芽试验阶段, 对种子萌发的情况每日观察, 种子出苗后, 借助已有的植物学知识和《中国种子植物分科检索表》, 对幼苗的根、茎、叶、花进行观察并判断幼苗种属, 对可辨别的植物幼苗(视为有效种子), 进行鉴定、计数, 经记录后去除, 对无法辨别的幼苗则进行移栽继续培养, 直至幼苗植株可辨认为止。

2.5. 植物功能群的划分

土壤种子库和地上植被中的物种按照生活型将植物功能群划分为三类: 多年生杂类草(Perennial forbs, PF), 一二年生杂类草(Annuals and biennials, A)以及禾类草(Gramineae, G)。

2.6. 数据处理

试验采用 Sorensen 指数计算土壤种子库与地上植被的相似性[17], 公式为 $CC = 2c/(s1 + s2)$, 其中 CC 是 Sorensen 相似系数的值; c 是植被与土壤种子库中共同出现物种的数目; $s1$ 是植被中出现物种的数目, $s2$ 是土壤种子库中出现物种的数目。

采用 Excel 2019 软件进行数据的初步整理和统计, AutoCAD 2020 进行试验分布图制作, SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析和双因素方差分析, Graphpad Prism 8.3.0 和 word 2019 进行分组柱状图制作。

3. 结果与分析

3.1. 长期刈割对地上植被的影响

刈割处理下, 地上植被群落的物种丰富度平均值为 11.2 种, 相较于空白对照增加了 2.4 种, 其中多年生杂类草增加了 1.5 种、禾类草增加了 0.2 种、一二年生杂类草增加了 0.7 种。刈割对植物群落和多年生杂类草的物种丰富度均具有显著影响($P < 0.05$), 但是对一二年生杂类草和禾类草不具有显著影响($P > 0.05$), 见图 2(A)。

在地上植被中, 群落、多年生杂类草、禾类草以及一二年生杂类草的丰度平均值分别为 $187\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $49.7\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $65.1\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $79.7\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$, 由图 2(B)可知, 刈割对群落以及不同功能群的丰度均无显著影响($P > 0.05$), 但是与空白对照相比, 分别增加了 $26.3\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $25.5\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $0.3\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $8.3\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

3.2. 长期刈割对土壤种子库的影响

刈割对土壤种子库群落以及不同功能群的影响如图 3 所示。结果表明, 刈割处理下, 群落土壤种子库的物种丰富度平均值为 6.7 种, 土壤种子库的密度平均值为 $27,719.7\text{ 粒}\cdot\text{m}^{-3}$; 刈割对群落、多年生杂类草、禾类草以及一二年生杂类草的物种丰富度和种子库密度均无显著影响($P > 0.05$), 但是刈割处理下的群落以及功能群的物种丰富度和种子库密度均高于空白对照。

3.3. 土壤种子库与地上植被的相似性

不同处理下样地土壤种子库与植被中的物种数目如表 1 所示, 在刈割和空白处理的样地中共调查到 33 个物种, 其中地上植被共有 24 个物种, 土壤种子库中共有 26 个物种, 地上植被和土壤种子库共

同拥有 17 个物种。运用 Sorensen 相似系数计算空白对照和刈割处理下的土壤种子库与地上植被相似性, 植物群落的相似系数分别为 0.42 和 0.45, 多年生杂类草的相似系数分别为 0.10 和 0.37; 以羊草、冰草等为主要物种的禾类草, 其相似系数分别为 0.29 和 0.18; 以藜科和菊科为主的一二年生杂类草的相似系数分别为 0.58 和 0.75 (见图 4)。刈割对群落、禾类草以及一二年生杂类草土壤种子库与地上植被相似性并无显著影响($P > 0.05$), 但是刈割显著增加了多年生杂类草土壤种子库与地上植被的相似性($P < 0.05$)。

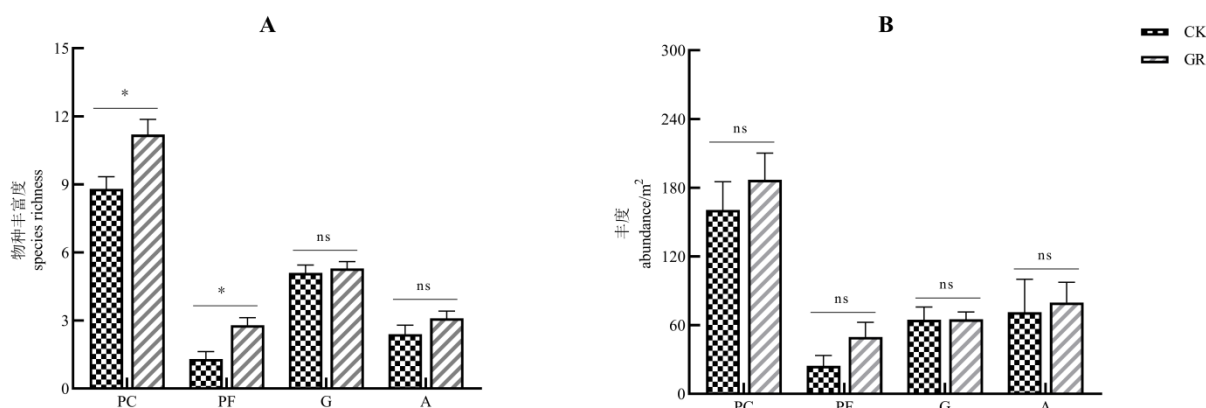


Figure 2. Effects of mowing on above-ground vegetation. (A) Effects of mowing on species richness of above-ground vegetation in communities and different functional groups; (B) Effects of mowing on above-ground vegetation abundance of communities and different functional groups. Note: PC, plant community; PF, Perennial forbs; G, Gramineae; A, Annuals and biennials; CK, blank control; GR, mowing treatment; ns represents no significant difference between the control group and the treatment group ($P > 0.05$), * represents significant difference between the control group and the treatment group ($P < 0.05$)

图 2. 刈割对地上植被的影响。(A) 刈割对群落以及不同功能群地上植被物种丰富度的影响; (B) 刈割对群落以及不同功能群地上植被丰度的影响。注: PC, 植物群落; PF, 多年生杂类草; G, 禾类草; A, 一二年生杂类草; CK, 空白对照; GR, 刈割处理; ns 代表对照组和处理组之间无显著差异($P > 0.05$), *代表对照组和处理组之间差异显著($P < 0.05$)

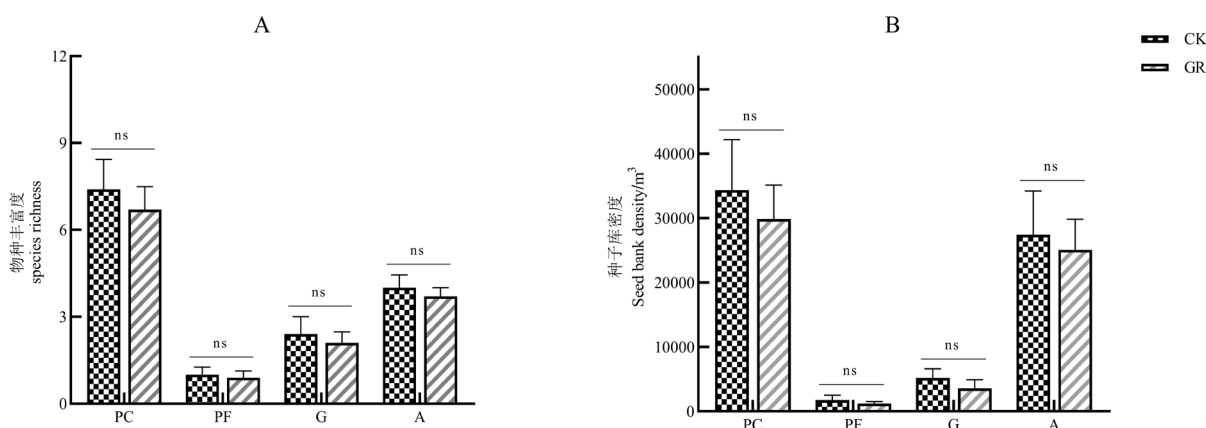


Figure 3. Effects of mowing on soil seed bank. (A) Effects of mowing on species richness of soil seed bank in different functional groups and communities; (B) Effects of mowing on soil seed bank density of community and different functional groups. Note: PC, plant community; PF, Perennial forbs; G, Gramineae; A, Annuals and biennials; CK, blank control; GR, mowing treatment; ns represents no significant difference between the control group and the treatment group ($P > 0.05$), * represents significant difference between the control group and the treatment group ($P < 0.05$)

图 3. 刈割对土壤种子库的影响。(A): 刈割对群落以及不同功能群土壤种子库物种丰富度的影响; (B): 刈割对群落以及不同功能群土壤种子库密度的影响。注: PC, 植物群落; PF, 多年生杂类草; G, 禾类草; A, 一二年生杂类草; CK, 空白对照; GR, 刈割处理; ns 代表对照组和处理组之间无显著差异($P > 0.05$), *代表对照组和处理组之间差异显著($P < 0.05$)

Table 1. Comparison between species composition of vegetation and seed bank
表 1. 植被与土壤种子库物种组成比较

生活型 Life form	物种 Species	CK	GR	生活型 Life form	物种 Species	CK	GR
PF	野韭 <i>Allium ramosum</i>	+	+	G	大针茅 <i>Stipa grandis</i>	±	+
PF	唐松草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i>	-	+	G	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	±	±
PF	黄花葱 <i>Allium condensatum</i>	0	+	G	早熟禾 <i>Poa annua</i>	±	-
PF	细叶鸢尾 <i>Iris tenuifolia</i>	0	0	G	羽茅 <i>Achnatherum sibiricum</i>	±	±
PF	二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	0	-	G	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	-	-
PF	星毛委陵菜 <i>Potentilla acaulis</i>	0	0	G	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	-	-
PF	细叶韭 <i>Allium tenuissimum</i>	+	±	G	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	-	-
PF	南牡蒿 <i>Artemisia eriopoda</i>	-	0	G	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	0	0
PF	双齿葱 <i>Allium bidentatum</i>	+	+	A	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	±	+
PF	乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	0	0	A	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	±	±
PF	长柱沙参 <i>Adenophora stenanthina</i>	0	0	A	刺穗藜 <i>Chenopodium aristatum</i>	±	±
PF	矮斗菜叶绣线菊 <i>Spiraea aquilegifolia</i>	0	0	A	太阳花 <i>Portulaca grandiflora</i>	0	0
PF	田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	0	0	A	大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>	+	0
PF	翼茎风毛菊 <i>Saussurea alata</i>	0	0	A	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	0	0
PF	花旗竿 <i>Dontostemon dentatus</i>	±	±	A	飞廉 <i>Carduus crispus</i>	±	+
PF	多叶棘豆 <i>Astragalus adsurgens</i>	0	0	A	车前草 <i>Plantago asiatica</i>	-	0
PF	斜茎黄芩 <i>Astragalus adsurgens</i>	0	0	A	黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	±	±
PF	黄花苜蓿 <i>Medicago falcata</i>	0	0	A	女娄菜 <i>Melandrium apricum</i>	-	-
PF	麻叶荨麻 <i>Urtica cannabina</i>	0	0	A	钝叶瓦松 <i>Orostachys malacophylla</i>	-	0
PF	黄囊苔草 <i>Carex korshinskyi</i>	±	±	A	鳞叶龙胆 <i>Gentiana squarrosa</i>	-	-
PF	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	0	+	A	轴藜 <i>Axyris amaranthoides</i>	±	±
G	羊草 <i>Leymus chinensis</i>	+	+	A	木地肤 <i>Kochia prostrata</i>	0	±

Continued

G	洽草 <i>Koeleria cristata</i>	+	±	植被中出现种	19	22
G	羊茅 <i>Festuca ovina</i>	0	+	种子库中出现种	22	18
G	冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	±	+	共有种	13	11

Note: CK, blank control; GR, mowing treatment; “±” is the common species of vegetation and soil seed bank; “+” is only found in vegetation “-” is only in soil seed bank, “0” is not in vegetation and soil seed bank.

注: CK, 空白对照; GR, 刈割处理; “±”为植被与土壤种子库的共有种; “+”为只在植被中出现; “-”为只在土壤种子库中出现; “0”为植被与土壤种子库均未出现。

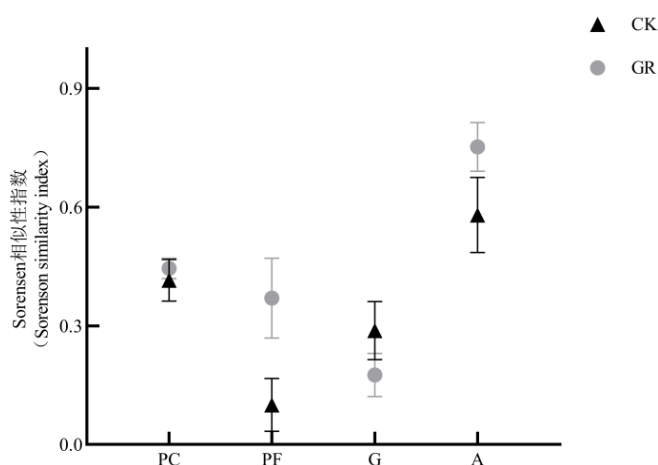


Figure 4. Similarity between soil seed bank and aboveground vegetation. Note: PC, plant community; PF, Perennial forbs; G, Gramineae; A, Annuals and biennials; CK, blank control; GR, mowing treatment

图 4. 土壤种子库与地上植被的相似性。注: PC, 植物群落; PF, 多年生杂类草; G, 禾类草; A, 一二年生杂类草; CK, 空白对照; GR, 刈割处理

4. 讨论与结论

长期刈割对内蒙古典型草原地上植被的影响表明, 长期刈割对植物群落的物种丰富度具有显著影响 ($P < 0.05$), 这与薛文杰等[18]在大针茅草地的研究结果短期刈割不会改变群落的建群种和优势种并不一致。由图 2 可知, 群落物种丰富度的变化主要是由多年生杂类草导致的, 是因为刈割能够降低群落优势种植物的盖度, 为杂类草的繁殖创造机会, 进而提高植物多样性, 此外刈割还能够通过改变群落环境、土壤理化性质而影响和改变群落结构[19]。本试验刈割对禾类草物种丰富度并无显著影响 ($P > 0.05$), 这与宋磊等[20]研究不一致, 经分析, 造成实验结果差异的原因可能为刈割强度、刈割时间以及刈割次数等因素的不同, 也有大量研究结果表明这些因素均会对草原地上植被的物种组成以及草地生产力产生显著影响[21]。

在土壤种子库中, 刈割对群落以及三种植物功能群的物种丰富度和密度均不具有显著影响 ($P > 0.05$), 但是刈割使群落的物种丰富度和密度相较于空白对照均减少, 这与邵新庆等[22]研究结果一致, 刈割使土壤种子库中的植物种类和种子数量呈递减趋势。刈割对多年生杂类草的物种丰富度和密度不具有显著影响 ($P > 0.05$), 是因为不论多年生植物结实早晚, 其土壤种子库密度普遍较小, 这与蒋德明等[23]在科尔沁草甸草地上的研究结果相同, 主要原因有以下四点: 1) 多年生杂类草的繁殖方式是以无性繁殖为主; 2) 刈割时, 部分植物的种子并未成熟; 3) 大多数多年生杂类草无持久种子库; 4) 部分成熟种子被干草带走。刈割虽然对禾类草的物种丰富度和密度不具有显著影响 ($P > 0.05$), 但是物种丰富度在地上占优势

的禾类草类植物在土壤种子库中反而所占比例很小甚至没有,说明植物会改变有性繁殖和无性繁殖的密度调节策略来应对长期刈割的干扰[24],这也是部分物种没有种子却有植株的原因。刈割对一二年生杂类草物种丰富度和种子库密度不具有显著影响($P > 0.05$),说明一二年生杂类草受环境影响较小,这与张起鹏等[25]研究不一致。由于单株杂类草的种子数量远高于单株禾草,所以理论上,刈割次数越多,种子数量越多[26],但在本次调查中,刈割样地中的种子数量反而低于空白对照样地中的种子数量,可能刈割时,仍有大量种子未成熟。

采用 Sorensen 指数计算得出的结果如图 4 所示,相似系数都比较低,表明长期刈割处理降低了地上植被和土壤种子库中的共有种数量,进而使地上植被与土壤种子库的相似性降低,这与李锋瑞[27]等人在退化沙质草原上的研究结果相同,但李志强等[28]在内蒙古短花针茅荒漠草原的研究则表明,轻度放牧样地的种子库和地上植被的相似性较高。之所以目前为止地上植被与地下土壤种子库之间的关系也没有一个统一的结论,主要有以下几个原因:1) 土壤种子库的鉴定方法不同,既有学者选用物理挑选法,也有学者采用种子萌发法,两种方法各有利弊;2) 实验地区不同,相同的植物在面对不同自然环境时有不同的适应策略;3) 不同的干扰方式,刈割、开垦和火烧等不同干扰会造成相似性的差异[29];4) 由于地上植被与地下土壤种子库的相似性具有较强的季节性,所以取样季节不同也会造成相似性的差异[30]。

本试验地上植被群落物种丰富度为禾类草 > 一二年生杂类草 > 多年生杂类草,丰度为一二年生杂类草 > 禾类草 > 多年生杂类草,土壤种子库群落物种丰富度和种子库密度均为一二年生杂类草 > 禾类草 > 多年生杂类草。长期刈割仅对地上植被群落和多年生杂类草的物种丰富度具有显著影响($P < 0.05$),对土壤种子库群落及三种植物功能群的密度和物种丰富度无显著影响($P > 0.05$)。土壤种子库与地上植被的相似性普遍较低,其中,刈割仅对多年生杂类草的土壤种子库与地上植被的相似性具有显著影响($P < 0.05$)。

基金项目

黑龙江省大学生创新创业训练计划项目(201910235027),大庆师范学院科学研究基金(19ZR07)。

参考文献

- [1] Staalduinen, M.A., Iker, D. and Begonna, P. (2010) Interactive Effects of Clipping and Nutrient Availability on the Compensatory Growth of a Grass Species. *Plant Ecology*, **208**, 55-64. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9686-0>
- [2] Bernhardt-Römermann, M., Römermann, C., Sperlich, S. and Schmidt, W. (2011) Explaining Grassland Biomass-The Contribution of Climate, Species and Functional Diversity Depends on fertilization and Mowing Frequency. *Journal of Applied Ecology*, **48**, 1088-1097. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01968.x>
- [3] 宋彦涛, 周道玮, 于洋, 李强, 乌云娜. 生长季初刈割时间对羊草群落特征的影响[J]. 中国草地学报, 2016, 38(3): 56-62.
- [4] 王海东, 张璐璐, 朱志红. 刈割、施肥对高寒草甸物种多样性与生态系统功能关系的影响及群落稳定性机制[J]. 植物生态学报, 2013, 37(4): 279-295.
- [5] 马周文, 王宏, 于应文, 常生华, 周青平, 侯扶江. 甘肃马鹿冬季牧场牧草再生性对刈割的短期响应[J]. 草业科学, 2018, 35(1): 157-164.
- [6] Liu, G.D., Sun, J.F., Tian, K. and Yang, H.S. (2020) Effects of Dam Impoundment on the Soil Seed Bank in a Plateau Wetland of China. *Journal of Environmental Management*, **269**, Article ID: 110790. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110790>
- [7] Shahid Shaukat, S. and Ali Siddiqui, I. (2004) Spatial Pattern Analysis of Seeds of an Arable Soil Seed Bank and Its Relationship with Above-Ground Vegetation in an Arid Region. *Journal of Arid Environments*, **57**, 311-327. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00112-5)
- [8] 张蕊, 马红彬, 贾希洋, 周瑶, 宿婷婷, 蔡育蓉, 周静静. 不同生态恢复措施下宁夏黄土丘陵区典型草原土壤种子库特征[J]. 草业学报, 2018, 27(1): 32-41.
- [9] 曾希柏, 刘更另. 植被刈割对红壤酸度及有机无机复合状况的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 225-232.
- [10] Zuo, X.A., Wang, S.K., Zhao, X.Y., Li, W.J., Knops, J. and Kochslek, A. (2012) Effect of Spatial Scale and Topogra-

phy on Spatial Heterogeneity of Soil Seed Banks under Grazing Disturbance in a Sandy Grassland of Horqin Sand Land, Northern China. *Journal of Arid Land*, 4, 151-160.
<http://dx.chinadoi.cn/10.3724/SP.J.1227.2012.00151>

- [11] 李国旗, 邵文山, 赵盼盼, 靳长青, 陈彦云. 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.
- [12] 王向涛, 高洋, 魏学红, 孙磊, 赵玉红, 陈懂懂, 益西措姆, 苗彦军. 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.
- [13] 徐丽丽, 于一尊, 王克林, 陈洪松, 岳跃民. 不同人为干扰方式对桂西北喀斯特草丛群落土壤种子库组成与分布的影响[J]. 中国岩溶, 2008, 27(4): 309-315.
- [14] 沈艳, 刘彩凤, 马红彬, 赵菲, 谢应忠. 荒漠草原土壤种子库对草地管理方式的响应[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4725-4732.
- [15] 张云海, 何念鹏, 张光明, 黄建辉, 韩兴国. 氮沉降强度和频率对羊草叶绿素含量的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(21): 6786-6794.
- [16] 沈艳, 刘彩凤, 马红彬, 赵菲, 谢应忠. 荒漠草原土壤种子库对草地管理方式的响应[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4725-4732.
- [17] Peco, B., Ortega, M. and Levassor, C. (1998) Similarity between Seed Bank and Vegetation in Mediterranean Grassland: A Predictive Model. *Journal of Vegetation Science*, 9, 815-828. <https://doi.org/10.2307/3237047>
- [18] 薛文杰, 陈万杰, 古琛, 乌力吉, 杜宇凡, 赵萌莉. 不同刈割方式对大针茅草地群落特征和生物多样性的影响[J]. 中国草地学报, 2015, 37(5): 40-45.
- [19] 刘美丽, 梁秀梅, 乌仁其其格. 刈割制度对围封羊草草地群落特征及生物量的影响[J]. 草业科学, 2016, 33(11): 2319-2325.
- [20] 宋磊, 董全民, 李世雄, 王彦龙, 郑伟, 侯宪宽. 放牧对青海湖北岸高寒草原植物群落特征的影响[J]. 草业科学, 2016, 33(8): 1625-1632.
- [21] 杨阳, 贾丽欣, 乔芙蓉, 李梦然, 张峰, 陈大岭, 张昊, 赵萌莉. 短期刈割对大针茅草地群落特征和植物多样性的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(3): 38-44.
- [22] 邵新庆, 王莹, 吕进英. 华北农牧交错带退化草地土壤种子库动态变化[J]. 草业科学, 2005(11): 8-12.
- [23] 蒋德明, 李荣平, 刘志民, 阎巧玲. 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.
- [24] 张晓娜, 哈达朝鲁, 潘庆民. 刈割干扰下内蒙古草原两种丛生禾草繁殖策略的适应性调节[J]. 植物生态学报, 2010, 34(3): 253-262.
- [25] 张起鹏, 赵成章, 王倩, 董小刚, 王艳艳. 干旱草原星毛委陵菜群落种子库与植被功能群结构的关系[J]. 水土保持通报, 2009, 29(6): 46-51.
- [26] 包青海, 仲延凯, 孙维, 张海燕. 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[J]. 内蒙古大学学报, 2000, 31(1): 93-97.
- [27] 李锋瑞, 赵丽娅, 王树芳, 王先之. 封育对退化沙质草地土壤种子库与地上群落结构的影响[J]. 草业学报, 2003, 12(4): 90-99.
- [28] 李志强, 王明玖, 陈海军, 孙熙麟. 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.
- [29] 刘建立, 王彦辉, 程丽莉, 马长明, 袁玉欣. 坝上草原退耕地植被不同恢复处理土壤种子库研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 250-255.
- [30] 李元恒, 韩国栋, 王正文, 白文明, 赵萌莉. 内蒙古克氏针茅草原土壤种子库对刈割和放牧干扰的响应[J]. 生态学杂志, 2014, 33(1): 1-9.