

不同休牧模式对东祁连山高寒草甸 草原植被特征变化的影响

李文¹, 曹文侠^{1*}, 徐长林¹, 李小龙¹, 刘皓栋¹, 冯 今², 师尚礼¹

(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 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 兰州 730070; 2 甘肃省草原技术推广总站, 兰州 730046)

摘 要: 对东祁连山高寒草甸区不同休牧模式下植物群落特征和地下根系生物量进行比较研究, 试验设传统夏季休牧(TG)、全生长季休牧(RG)和全年禁牧(NG)3个处理。结果表明: 与TG处理相比, RG和NG处理增加了垂穗披碱草(*Elymus nutans*)和冷地早熟禾(*Poa crymophila*)的重要值、各功能群(禾本科、莎草科、豆科和杂类草)植物的高度、禾本科植物密度和生物量以及总地上、地下生物量, 其中以NG处理区效果最为明显; 同时RG和NG处理降低了杂类草植物的重要值、地下与地上生物量的比值以及杂类草的生物量和密度; 在3种休牧模式中, Shannon-Wiener指数(*H*)、Pielou均匀度指数(*J*)和丰富度指数(*S*)及群落总密度的排列顺序均为: NG<TG<RG。研究表明, 短期禁牧和全生长季休牧是提升青藏高原高寒草甸草原生产力与生态恢复的重要措施之一。

关键词: 东祁连山; 高寒草甸; 休牧模式; 植被特征

中图分类号: Q948.1

文献标志码: A

Changes of Vegetation Characteristics in Alpine Meadow-steppe of Eastern Qilian Mountains after Different Grazing Rest Modes

LI Wen¹, CAO Wenxia^{1*}, XU Changlin¹, LI Xiaolong¹, LIU Haodong¹, FENG Jin², SHI Shangli¹

(1 Grassland Science College of Gansu Agricultural University, Grassland Ecosystem Key Laboratory of Ministry of Education, Sino-U. S. Research Centers for Sustainable Grassland and Livestock Management, Lanzhou 730030, China; 2 General Grassland Station of Gansu Province, Lanzhou 730046, China)

Abstract: Effects of different grazing rest modes on plant community characteristics and underground biomass of alpine meadow-steppe were investigated in Eastern Qilian Mountains. The three grazing treatments were traditional grazing (TG), grazing rest in growing stage (RG) and non-grazing (NG). The results indicated that the height of gramineous, leguminous, sedge and forbs plant functional groups increased, aboveground and belowground biomass of gramineous plants, and the dominant gramineous plant important values of *Elymus nutans* were all increased with grazing ceasing of RG or NG, especially obvious with NG. However, the important values and the ratio in aboveground and underground community biomass of forbs were all decreased. The Shannon-Wiener index (*H*), Pielou evenness index (*J*), richness index (*S*) and total density of plant community are in an order of NG<TG<RG. The non-grazing improved the biomass, and reduced the biodiversity simultaneously. Therefore, grazing rest is one of the main way to improve production ability and ecological rehabilitation for degraded grassland.

收稿日期: 2014-07-27; 修改稿收到日期: 2014-10-11

基金项目: 国家自然科学基金(31360569); 现代农业产业技术体系(CARS-35); 甘肃省退牧还草科技支撑项目(2012-252-2)

作者简介: 李文(1987—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事草地生态与资源管理研究。E-mail: 670410113@qq.com

* 通信作者: 曹文侠, 副教授, 硕士生导师, 主要从事草地生态与资源管理研究。E-mail: caowx@gsau.edu.cn

Key words: eastern Qilian Mountains; alpine meadow-steppe; rest grazing patterns; vegetation characters

近年来,由于全球性气候干旱、牧区人口增加、草原人为活动破坏以及长期不合理的放牧利用模式等导致草原退化严重。合理放牧时期的确定,使草地实现休养生息,对草地健康发展和可持续利用具有重要的意义^[1]。目前,广大牧区对天然草地的利用往往是整季甚至全年连续放牧,这种利用方式对草地的破坏极大。尤其在牧草返青期间,刚萌发返青的牧草被采食后光合面积减少,严重影响以后的生长和发育,而且刚刚返青的牧草不能满足家畜的需求,逐食“跑青”严重,这样不但对天然草地的践踏和破坏严重,而且消耗大量体能,导致家畜“春乏”^[2]。休牧和禁牧是一定时期对草地实行禁止放牧利用的措施,是修复草地生态系统的重要手段之一^[3]。返青期是草地生态系统最为脆弱的时期^[4]研究牧草返青期休牧或短期禁牧对提升青藏高原高寒草甸草原生产力与生态恢复,实现天然草地的可持续利用具有重要意义。

Wagoner 等^[5]研究发现,返青期放牧会减少植物地上生物量、延迟物候期、减少立枯物而增加杂草比例。Zimmer 等^[6]研究表明,季节性放牧和休牧能有效地控制本地和外来杂草的发生。围栏封育是草地科学管理的有效手段^[7-8],但考虑到牧区经济发展和草地利用、更新以及草地畜牧业的可持续发展等问题,大多学者认为完全禁牧是不科学的^[8-9]。从草地保护和利用的角度分析,适时禁牧和休牧具有较好的生态效益,能有效地保护草地生态系统、资源与环境,提高第一性生产力,缓解畜牧生产与生态保护间的矛盾。

目前国内关于封育对草地生态系统的影响及其合理实施年限的报道,主要集中于在内蒙典型草原^[10]、青海环湖地区^[11]和新疆地区^[12],而针对东祁连山高寒草甸草原的休牧研究报道较少,对植物群落关注不够。本试验通过不同休牧模式对东祁连山高寒草甸草原植物群落的影响研究,科学评估返青

期放牧对草地群落及生产力的影响,以探讨青藏高原东部高寒草地资源的科学利用与有效恢复的措施,从而为该区域草地恢复、保护及管理提供支撑。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验地选在青藏高原东部的天祝县金强河地区,位于 36°31'~37°55'N,102°07'~103°46'E,海拔 2 960 m 左右。气候寒冷潮湿,昼夜温差较大,日照强,雨热同步。年均温 0.8℃,其中 1 月和 7 月平均气温为 -10.8℃和 12.4℃;≥0℃和≥10℃的年积温分别为 1 581℃和 1 026℃;年降水量 424.5 mm(其中 66%集中在 7、8 和 9 月);年蒸发量 1 592 mm。无绝对无霜期,植物生长期达 120~140 d。

1.2 样地设置与取样方法

在青藏高原东部的甘肃省天祝县高寒草甸草原,当地冷季牧场长期延续着 6 月下旬~9 月下旬休牧,其它时间连续放牧的草地利用方式。其草地类型为高寒草甸,土壤类型为高寒草甸土,主要植物种有:垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)、异针茅(*Stipa aliena*)、落草(*Koeleria cristata*)、球花蒿(*Artemisia smithii*)、麻花艽(*Gentiana straminea*)等。于 2010 年 6 月选择基况一致的草地设置 3 个相邻围栏,建立传统夏季休牧样地、全生长季休牧样地和全年禁牧样地,放牧家畜为牦牛,核算为标准成年牦牛数量,详见表 1。

2013 年 9 月初,在 TG 和 RG 样地各设置互相平行的 4 条样带,样带长度 300 m,样带间距 100 m,样带上每隔 30 m 取 1 个样方,样方面积 1 m²,总共 40 个样方;NG 样地设置互相平行的 2 条样带,样带长度 300 m,样带间距 100 m,样带上每隔 30 m 取样方 1 个,样方面积 1 m²,总共 20 个样方。先测定样方内的物种密度和高度,然后齐地面剪取地上部

表 1 不同休牧模式样地概况

Table 1 Brief description of different rest grazing experimental sites

样地 Site	面积 Area/hm ²	休牧模式 Rest grazing pattern	放牧牦牛数量/头 The number of grazing yak
传统夏季休牧(TG) Traditional grazing	18	每年 6 月 20 日~9 月 20 日期间休牧,其余时间自由放牧 Each year between 20th June to 20th September is rest grazing, and the rest of the time is free grazing	50
全生长季休牧(RG) Grazing rest in growing stage	18	每年 4 月 20 日~9 月 20 日期间休牧,其余时间自由放牧 Each year between 20th April to 20th September is rest grazing, and the rest of the time is free grazing	50
全年禁牧(NG) Non-grazing	7	全年休牧 Grazing rest all the year round	0

分,分为禾本科、莎草科、豆科、杂类草 4 个功能群,并收集样方内的地表凋落物,带回实验室后在 65 ℃ 下烘干称重。高度测量用其自然高度,物种密度以 1 个株丛为 1 个个体,即只要是株丛根部紧密连在一起的,记为 1 个个体。

1.3 生物多样性指数计算

选用 Shannon-Wiener 指数 (H)、Pielou 指数 (J) 和丰富度指数 (S) 计算群落的多样性,计算公式如下:

物种重要值 (N_i) = (相对密度 + 相对干重 + 相对高度) / 3

相对重要值 (P_i) = $N_i / \sum_{i=1}^S N_i$

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

Pielou 指数 (J) = $H / \ln(S)$

丰富度指数 (S) = 样方内出现的物种数

式中, P_i 为物种 i 的相对重要值, N_i 为种 i 的绝对重要值, S 为种 i 所在样方中的物种数目。

1.4 统计分析

采用 Excel 2007 软件进行数据处理与分析,采用 SPSS 18.0 对同一指标在不同样地间的差异显著性进行 Duncan's 新复极差分析。

2 结果与分析

2.1 不同休牧模式对高寒草甸草原植物种重要值的影响

对 TG、RG 和 NG 样地主要植物的重要值比较分析可见(表 2), NG 样地垂穗披碱草和冷地早熟禾的重要值最大,而矮嵩草、异针茅、球花蒿、翻白委陵

表 2 不同休牧模式下高寒草甸植物物种重要值

Table 2 Species important values of alpine meadow-steppe plant community in plots

物种 Species	传统夏季休牧(TG) Traditional grazing	全生长季休牧(RG) Grazing rest in growing stage	全年禁牧(NG) Non-grazing
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.841	0.93	0.97
冷地早熟禾 <i>Poa crymophila</i>	0.289	0.445	0.633
异针茅 <i>Stipa aliena</i>	0.458	0.316	0.291
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	0.229	0.258	0.171
球花蒿 <i>Artemisia smithii</i>	0.383	0.282	0.247
麻花艸 <i>Gentiana straminea</i>	0.347	0.151	0.177
落草 <i>Koeleria cristata</i>	0.35	0.295	0.306
藏异燕麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	—	0.243	—
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	—	0.405	—
阴山扁蓿豆 <i>Medicago ruthenica</i> var. <i>inschanica</i>	0.097	0.281	0.136
高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i>	0.095	0.191	0.144
翻白委陵菜 <i>Potentilla discolor</i>	0.144	0.104	0.101
黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>	0.1	0.117	0.091
多裂委陵菜 <i>Potentilla multifida</i>	0.148	0.141	0.097
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	0.113	0.111	—
小米草 <i>Euphrasia pectinata</i>	0.086	0.166	—
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	—	0.051	—
草原老鹳草 <i>Geranium pratense</i>	—	0.049	—
平车前 <i>Plantago depressa</i>	—	0.016	—
瑞香狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	0.073	—	—
矮火绒草 <i>Leontopodium nanum</i>	—	0.07	—
迷果芹 <i>Sphallerocarpus gracilis</i>	—	0.087	—
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	—	0.085	—
女娄菜 <i>Silene aprica</i>	0.189	—	—
红棕苔草 <i>Carex vulpina</i>	0.157	—	—
叠裂银莲花 <i>Anemone imbricata</i>	—	—	0.201
合计(种) Total number (species)	17	22	13

注:—表示该物种在该样地中未出现。
Note:— represents that this species did not appear in the plot.

菜(*Potentilla discolor*)、多裂委陵菜(*Potentilla multifida*)和黄花棘豆(*Oxytropis ochrocephala*)的重要值最小。RG 样地矮嵩草和阴山扁蓿豆(*Medicago ruthenica* var. *inschanica*)的重要值最大,而且还出现了藏异燕麦(*Helictotrichon tibeticum*)和赖草(*Leymus secalinus*)两种禾本科牧草。TG 处理中异针茅、球花蒿和麻花苻的优势度最高,但阴山扁蓿豆的重要值为最低,而且出现了毒草瑞香狼毒(*Stellera chamaejasme*)。总物种数的大小顺序为:NG<TG<RG, RG 比 NG 和 TG 分别增加了 9 种和 5 种植物,主要是禾本科的藏异燕麦、赖草以及部分杂类草。

2.2 不同休牧模式对高寒草甸草原物种组成和多样性的影响

为期 3 年的不同模式休牧对高寒草甸草原的优势种没有显著影响,均为垂穗披碱草,但伴生种和物种多样性发生了不同程度变化(表 2,表 3)。各样地中 Shannon-Wiener 指数(*H*)的大小顺序为:RG>TG>NG,相互间均差异显著($P<0.05$),RG 样地均匀度指数(*J*)显著($P<0.05$)高于其它样地,虽然 TG 与 NG 样地间差异不显著($P>0.05$),但还是 TG<NG。不同休牧模式样地物种丰富度按 NG<TG<RG 顺序增加,且相互间均差异显著($P<0.05$)。说明全生长休牧样地物种组成和多样性处于最优状态。

2.3 不同休牧模式对高寒草甸草原植物群落生物量的影响

在整个植物的生长过程中地上、地下生物量之间是相辅相成、息息相关、既依存又竞争,是一个与自然环境相适应的有机体。本试验发现经过为期 3 年的不同模式休牧后,高寒草甸草原地上、地下生物量以及各功能群生物量均发生了不同程度的变化(表 4)。不同模式休牧样地地上、地下总生物量均按 TG<RG<NG 顺序增加,NG 与 RG 和 TG 差异显著($P<0.05$),总地上生物量 NG 比 RG 和 TG 分别增加了 140.46%和 234.01%,总地下生物量分别增加了 24.24%和 44.36%。RG 与 TG 尽管差异不显著($P>0.05$),但总地上、地下生物量 RG 比 TG 分别增加了 38.91%和 16.19%。地下生物量/地上生物量按照 NG<RG<TG 顺序增大,NG 与 RG 和 TG 差异极显著($P<0.01$),RG 与 TG 差异显著($P<0.05$)。

禾本科植物生物量,NG 和 RG 比 TG 增加了 264.91%和 85.67%,但各处理中禾本科植物占总地上生物量的百分比差异不显著(图 1)。与 TG 相比,NG 和 RG 减少了豆科和杂类草的生物量。莎草科植物生物量大小顺序为:RG<TG<NG,相互间均差异显著($P<0.05$)。各样地凋落物生物量按 TG<RG<NG 顺序增加,NG 比 TG 和 RG 分别增加 16.82倍和 11.34倍,虽然 TG 和 RG 间差异不

表 3 不同休牧模式下高寒草甸草原植物群落多样性
Table 3 Diversity of alpine meadow-steppe plant community in plots

多样性指数 Diversity index	传统夏季休牧(TG) Traditional grazing	全生长季休牧(RG) Grazing rest in growing stage	全年禁牧(NG) Non-grazing
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener diversity index	2.087±0.057b	2.391±0.027a	1.929±0.014c
Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	0.861±0.003b	0.906±0.010a	0.838±0.006b
丰富度指数 Richness index	11.671±0.331b	14.000±0.000a	10.000±0.000c

注:表中同一行内不同字母代表显著差异($P<0.05$);下同。
Note: Different letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level; The same as below.

表 4 不同休牧模式下植物群落生物量
Table 4 The community biomass under three grazing patterns/(g·m⁻²)

项目 Item	传统夏季休牧(TG) Traditional grazing	全生长季休牧(RG) Grazing rest in growing stage	全年禁牧(NG) Non-grazing
地上生物量 Aboveground biomass	352.84±19.58bc	490.12±25.96b	1178.53±42.24a
地下生物量 Belowground biomass	3 716.80±89.78c	4 318.55±56.87b	5 365.40±61.54a
地下/地上 Belowground/Aboveground	10.53±0.42a	8.81±0.12b	4.55±0.05c
禾本科 Gramineae	170.71±9.95c	316.96±17.79b	622.94±19.44a
莎草科 Cyperaceae	36.35±2.73a	40.11±4.52a	20.05±3.38b
豆科 Leguminosae	18.25±2.34a	12.53±1.21a	13.30±2.04a
杂类草 Forbs	102.58±7.39a	83.60±7.53ab	66.45±7.04b
凋落物 Litters	25.56±1.27b	36.92±3.11b	455.60±46.42a

显著($P>0.05$),但 RG 比 TG 增加了 44.44%,NG 样地凋落物占总地上生物量的百分比极显著高于 RG 和 TG($P<0.01$)。说明经过为期 3 年的不同模式休牧后,全年禁牧和全生长季休牧有效增加禾本科、莎草科、凋落物以及总地上、地下生物量,而减少豆科、杂类草生物量及地下与地上生物量的比值。

2.4 不同休牧模式对高寒草甸草原植物高度影响

由图 2 可知,经过为期 3 年的不同模式休牧后,与 TG 和 RG 相比,NG 显著增加了禾本科、莎草科、豆科和杂类草的高度($P<0.05$)。在 4 个功能群的高度中,尽管 TG 与 RG 间差异不显著($P>0.05$),但在禾本科和莎草科中,RG 比 TG 增加了 13.93%和 19.65%。说明经过为期 3 年的不同模式休牧后,禁牧显著地增加了各功能群植物的高度,全生长季休牧增加了禾本科和莎草科植物的高度,而降低了豆科和杂类草植物的高度,但差异不显著($P>0.05$)。

2.5 不同休牧模式对高寒草甸草原植物群落密度的影响

由表 5 可知,经为期 3 年不同模式休牧后,高寒草甸草原植物群落总密度按 NG<TG<RG 顺序增大,NG 与 TG 和 RG 间均达显著差异($P<0.05$),NG 比 TG 和 RG 分别降低了 12.58%和 17.56%。TG 比 RG 降低了 5.69%,但差异不显著($P>0.05$)。各功能群中,禾本科植物密度按 TG<RG<

NG 顺序增大,NG 与 TG 和 RG 呈显著差异($P<0.05$),而 TG 与 RG 差异不显著($P>0.05$),其中 NG 处理中禾本科占总密度的百分比最大(图 3),且与 RG 和 TG 间均呈显著差异($P<0.05$)。莎草科和豆科植物密度按 NG<TG<RG 顺序增大,NG 与 TG 和 RG 间均达显著差异($P<0.05$),莎草科植物密度在 TG 和 RG 间差异不显著($P>0.05$)。杂类草密度大小顺序为 NG<RG<TG,NG 和 RG 比 TG 分别降低了 46.98%和 38.52%,RG 比 TG 降低了 13.76%,杂类草占总密度百分比大小顺序为:NG<RG<TG,且差异显著。说明经过为期 3 年的不同模式休牧后,全年禁牧显著降低高寒草甸草原植物群落总密度,而全生长季休牧增加了植物总密度;全年禁牧和全生长季休牧均增加了禾本科植物群落密度,降低杂类草密度;全年禁牧显著降低了莎

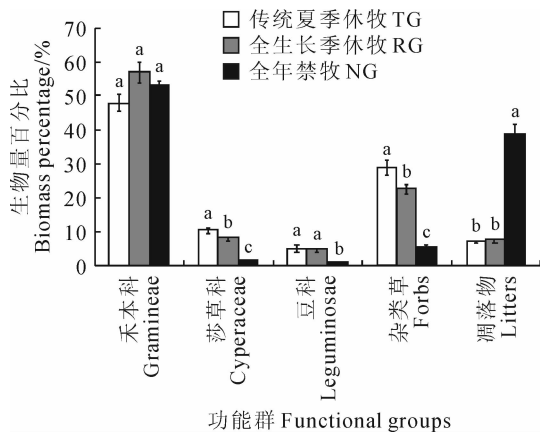


图 1 不同休牧模式下各功能群生物量百分比

不同字母代表不同休牧模式下各功能群在 0.05 水平下的差异显著;竖杠代表标准误差;下同

Fig. 1 The biomass percentage of different functional groups under three grazing patterns

Different letters indicate significant differences at 0.05 among three rest grazing patterns. Bars represent standard errors of means;The same as below

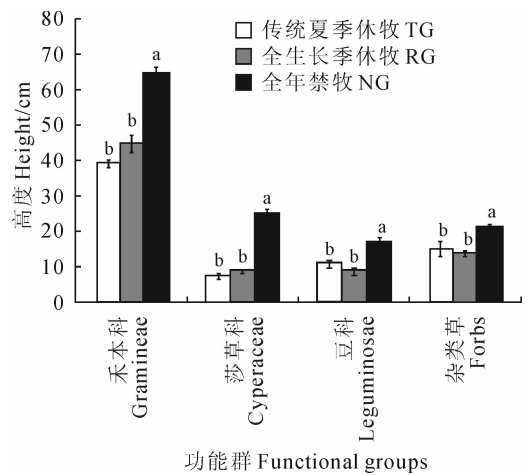


图 2 不同休牧模式下各功能群高度

Fig. 2 The height of different functional groups under three grazing patterns

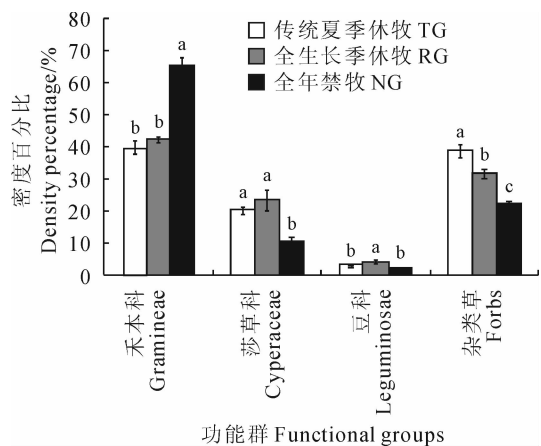


图 3 不同休牧模式下各功能群密度百分比

Fig. 3 The density percentage of different functional groups under three grazing patterns

表 5 不同休牧模式下各功能群密度

Table 5 The density of different functional groups under three grazing patterns/(individual · m⁻²)

植物功能群 Plant functional group	传统夏季休牧(TG) Traditional grazing	全生长季休牧(RG) Grazing rest in growing stage	全年禁牧(NG) Non-grazing
禾本科 Gramineae	428.36±22.69b	483.24±12.89b	618.67±20.69a
莎草科 Cyperaceae	218.64±14.85a	270.67±12.85a	100.00±8.32b
豆科 Leguminosae	33.07±3.28b	56.21±4.51a	20.34±2.31c
杂类草 Forbs	397.33±20.18a	342.67±11.85b	210.67±8.74c
总密度 Total density of plant community	1 081.33±29.64a	1 146.67±35.28a	945.33±14.85b

草科和豆科植物群落密度,而全生长季休牧处理下,莎草科和豆科植物群落密度最大。

3 讨 论

休牧能够改变天然草地植物群落的物种组成,引导种间和种内关系发生变化,提高优良牧草的竞争力,促进草地生态系统的良性运转和群落结构的优化。草地封育后由于阻止了家畜的采食和践踏等干扰,一些家畜喜食植物的抑制程度减弱,生长加快,群落优势种的竞争能力增强,使群落结构、高度、密度发生一定程度的变化,引发物种多样性和生物量的变化^[13]。本试验发现,经过为期 3 年的不同模式休牧后,禁牧极显著增加了各功能群植物的高度、禾本科植物的密度和生物量及总地上生物量,而降低了莎草科、豆科和杂类草植物的密度及生物量。全年禁牧样地大多数禾本科植物的重要值最高,而杂类草植物的重要值则最低。同时发现,全生长季休牧处理下总物种数最多,而禁牧处理下由于部分杂类草消失致使物种数最低(比全生长季休牧处理减少了 9 种)。相对于传统夏季休牧处理,全年禁牧和全生长季休牧处理下草地因牲畜压力的减小而得以自然恢复,禾本科等竞争能力强的植物迅速生长繁衍,从而抑制一些低矮的、尤其是阔叶型杂类草植物的生长,这与张伟娜等^[14]的研究结果一致。

张洪生等^[15]研究发现封育降低了新疆天山地区和河北坝上地区草地群落的物种多样性,但李璠等^[16]研究发现封育提高了青海湖地区草地群落物种多样性。Meissner R A 等^[17]研究发现封育对澳大利亚地区草地群落多样性没有显著影响。可能是由于封育期不一致或者研究区地理位置、环境条件以及草地生境和类型不同所致。本试验发现,经过为期 3 年不同模式的休牧后,各处理多样性指数的变化规律一致,均为全年禁牧<传统夏季休牧<全生长季休牧。原因为禁牧处理中禾本科等高大植物

由于放牧压的减弱而迅速生长,并占据上层空间,下层低矮植物,尤其是杂类草争取不到足够阳光、空间、养分等,生长受到抑制,甚至死亡所致。

张瑞强等^[18]研究发现,由于禁牧初期消除了放牧干扰的影响,且没有生物量从草地生态系统中移出,所以禁牧后草地群落地上生物量显著增加。赵彬彬等^[19]研究发现放牧干扰下物种通过改变地上生物量分配以适应环境,但由于生活型和生活史对策的不同,所以各功能群植物对放牧的响应不尽相同。本试验发现,经过为期 3 年不同模式的休牧后,全年禁牧和全生长季休牧有效增加了禾本科、莎草科,以及总地上、地下生物量,而减少了豆科和杂类草的生物量。草地生态系统的稳定性还依赖于牧草地下生物量的大小^[20],高寒草甸草原地上、地下生物量及其分配规律对不同放牧模式有不同程度的响应^[21],放牧处理降低草地 0~30 cm 土层的根系生物量^[22],休牧在一定程度上能改变植物根系生物量的垂直分布格局^[23]。本试验发现植物总地下生物量由小到大的顺序为:传统夏季休牧<全生长季休牧<全年禁牧,可能是由于高强度放牧加速根系的分解和 N 素的消失所致^[24]。地上与地下生物量的比值能够反映植物光合产物在地下的分配比例,是群落和生态系统的重要参数之一^[25]。本试验中地下与地上生物量的比值大小顺序为:全年禁牧<全生长季休牧<传统夏季休牧,这可能是由于放牧压力的增大导致植物生长对策发生相应改变,促使地上生物量向下转移,将能量储存于根系中。

上述情况说明,与传统夏季休牧相比,高寒草甸草原实行短期禁牧或全生长季休牧,能显著优化植被物种组成、群落构建、物种多样性、维持植物群落的稳定性,起到保护草地资源与环境的作用,是青藏高原东部高寒草甸草原科学利用与有效恢复的有效措施之一。

参考文献:

- [1] KOTZÉ E, SANDHAGE-HOTGANN 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.
- [2] LI Q F(李青丰), LI F SH(李福生), SIRIGULENG(斯日古楞), *et al.* A preliminary study of deferred spring grazing on grassland vegetation and animal production in a sandy grassland area[J]. *Grassland of China* (中国草地), 2001, **23**(5): 41—46(in Chinese).
- [3] WANG SH P(汪诗平). Theory and practice on sustainable use of China's natural grassland; a study on the development strategy of grassland-livestock and grassland-agriculture[J]. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 2006, **14**(2): 188—192(in Chinese).
- [4] LI Y J(李玉洁), SONG X L(宋晓龙), XIU W M(修伟明), *et al.* Effects of spring rest grazing on organic carbon storage in *Leymus chinensis* steppe in Inner Mongolia, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), 2013, **32**(11): 2 221—2 230(in Chinese).
- [5] WAGONER S J, SHIPLEY L A, COOK R C, *et al.* Spring cattle grazing and mule deer nutrition in a blue bunch wheatgrass community[J]. *The Journal of Wildlife Management*, 2013, **77**(5): 897—907.
- [6] ZIMMER H C, TURNER V B, MAVROMIHALIS J, *et al.* Forb responses to grazing and rest management in a critically endangered Australian native grassland ecosystem[J]. *The Rangeland Journal*, 2010, **32**(2): 187—195.
- [7] ZHANG S Q(张苏琼), YAN W G(阎万贵). Problems of grassland ecosystems and their countermeasures in western China[J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2006, **15**(5): 11—18(in Chinese).
- [8] JI L(纪 磊), GAN Y M(干友民), LIU ZH Y(刘忠义), *et al.* Effect of grazing-prohibited on the vegetation restoration of degraded grassland in A'ba County[J]. *Chinese Journal of Grassland* (中国草地学报), 2013, **35**(5): 108—112(in Chinese).
- [9] ADLER P B, MILCHUNAS D G, LAUENROTH W K, *et al.* Functional traits of graminoids in semi-arid steppes; a test of grazing histories[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2004, **41**(4): 653—663.
- [10] HUGEJILETU(呼格吉勒图), YANG J(杨 劫), BAOYING TAOGETAO(宝音陶格涛), *et al.* Effects of different disturbances on species diversity and biomass of community in the typical steppe[J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2009, **18**(3): 6—11(in Chinese).
- [11] ZHOU G Y(周国英), CHEN G CH(陈桂琛), XU W H(徐文华), *et al.* Influences of enclosure to *achnatherum splendens* steppes biomass in Qinghai Lack area[J]. *Arid Land Geography* (干旱区地理), 2010, **33**(3): 434—441(in Chinese).
- [12] LI J B(李军保), CAO Q X(曹庆喜), TURSUNAY · REYIMUJIANG(吐尔逊娜依 · 热依木江), *et al.* Effects of enclosure on soil physical and chemical quality and enzymatic activity in grassland of Yili Vally in spring-autumn[J]. *Chinese Journal of Grassland* (中国草地学报), 2014, **36**(1): 84—89(in Chinese).
- [13] MIAO F H(苗福泓), GUO Y J(郭雅婧), MIAO P F(缪鹏飞), *et al.* Influence of enclosure on community characteristics of alpine meadow in the northeastern region of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2012, **21**(3): 11—16(in Chinese).
- [14] ZHANG W N(张伟娜), GANJURJAV(干珠扎布), LI Y W(李亚伟), *et al.* Effects of banning grazing and delaying grazing on species diversity and biomass of alpine meadow in northern Tibet[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology* (中国农业科技导报), 2013, **15**(3): 143—149(in Chinese).
- [15] ZHANG H SH(张洪生), SHAO X Q(邵新庆), LIU G H(刘贵河), *et al.* Effects of enclosing and shallow ploughing as improvement technologies on the vegetation restoration of degraded *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. Meadow grassland[J]. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 2010, **18**(3): 339—344(in Chinese).
- [16] LI P(李 璠), ZHOU G Y(周国英), YANG L C(杨路存), *et al.* Effect of fence on biodiversity and stability of the main plant communities in the Qinghai Lack area[J]. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2013, **20**(4): 135—140(in Chinese).
- [17] MEISSNER R A, FACELLI J M. Effects of sheep exclusion on the soil seed bank and annual vegetation in chenopod shrublands of South Australia[J]. *Journal of Arid Environments*, 1999, **42**(2): 117—128.
- [18] ZHANG R Q(张瑞强), GAO T M(高天明), ZHANG J(张 景). Influence of fencing on vegetation and soil seed bank in Xilamuren grassland[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology* (中国农业科技导报), 2012, **14**(4): 115—120(in Chinese).
- [19] ZHAO B B(赵彬彬), NIU K CH(牛克昌), DU G ZH(杜国祯). The effect of grazing on above-ground biomass allocation of 27 plant species in an alpine meadow plant community in Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(3): 1 596—1 606(in Chinese).
- [20] TILMAN D, REICH P B, KNOPS J M H. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment[J]. *Nature*, 2006, **441**(7 093): 629—632.
- [21] DONG Q M(董全民), ZHAO X Q(赵新全), MA Y SH(马玉寿), *et al.* Influence of grazing on biomass, growth ratio and compensatory effect of different plant groups in *Kobresia parva* meadow[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2012, **32**(9): 2 640—2 650(in Chinese).
- [22] ZHAO K(赵 康), BAOYING TAOGETAO(宝音陶格涛). Effects of seasonal grassland use on productivity of grassland community[J]. *Chinese Journal of Grassland* (中国草地学报), 2014, **36**(1): 109—115(in Chinese).
- [23] CAO W X(曹文侠), ZHANG D G(张德罡), XU CH L(徐长林), *et al.* Changes of vegetation characteristics of azalea shrubland after no grazing[J]. *Chinese Journal of Grassland* (中国草地学报), 2008, **30**(6): 94—98(in Chinese).
- [24] XU ZH Q(许中旗), MIN Q W(闵庆文), WANG Y SH(王英舜), *et al.* Impact of human disturbances on soil nutrient contents of typical grasslands[J]. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2006, **20**(5): 38—42(in Chinese).
- [25] ZHANG N(张 娜), LIANG Y M(梁一民). Studies on the below-ground/above-ground biomass ratio of natural grassland in loss hilly region[J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2002, **11**(2): 72—78(in Chinese).