

DOI: 10.11686/cyxb2019312

http://cyxb.magtech.com.cn

徐田伟, 赵炯昌, 毛绍娟, 等. 青海省海北地区高寒草甸群落特征和生物量对短期休牧的响应. 草业学报, 2020, 29(4): 1-8.

Xu T W, Zhao J C, Mao S J, et al. Response of plant community structure and biomass to short-term rest grazing in an alpine meadow in Haibei Autonomous Prefecture of Qinghai. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(4): 1-8.

青海省海北地区高寒草甸群落特征和 生物量对短期休牧的响应

徐田伟¹, 赵炯昌², 毛绍娟³, 耿远月^{1,4}, 刘宏金^{1,4}, 赵新全¹, 徐世晓^{1*}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 云南大学国际河流与生态安全研究院 云南 昆明 650500;

3. 青海大学生态环境工程学院 青海 西宁 810016; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:为揭示高寒草甸植被群落特征和生物量对短期休牧的响应,为高寒草甸合理利用提供依据,于 2017 年 9 月上旬采用样方法对青海省海北州门源县的连续放牧、生长季休牧和禁牧 1 年的高寒草甸样地进行调查、取样和分析,研究了短期休牧对高寒草甸植被群落结构和地上/地下生物量的影响。结果表明:1)生长季休牧和禁牧 1 年较连续放牧极显著提高了高寒草甸的群落高度、群落盖度和样方物种丰富度($P < 0.01$),极显著提高了异针茅、矮嵩草、异叶米口袋和青海苜蓿等代表性牧草高度($P < 0.01$);2)生长季休牧和禁牧 1 年较连续放牧极显著提高了枯落物量和半腐殖质量($P < 0.01$),极显著提高了禾本科、豆科和阔叶类植物生物量($P < 0.01$),极显著提高了总地上生物量和优质牧草产量($P < 0.01$);3)生长季休牧和禁牧 1 年较连续放牧极显著提高了表层地下生物量(0~10 cm)和总地下生物量(0~30 cm)($P < 0.01$)。对于青海海北地区的未退化高寒草甸,可以采用短期休牧技术优化其群落结构,提高生物量和优质牧草产量,促进天然草地资源合理利用。

关键词:高寒草甸;短期休牧;植被群落特征;生物量;根冠比

* Response of plant community structure and biomass to short-term rest grazing in an alpine meadow in Haibei Autonomous Prefecture of Qinghai

XU Tian-wei¹, ZHAO Jiong-chang², MAO Shao-juan³, GENG Yuan-yue^{1,4}, LIU Hong-jin^{1,4}, ZHAO Xin-quan¹, XU Shi-xiao^{1*}

1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; 2. Institute of International Rivers and Eco-security, Yunnan University, Kunming 650500, China; 3. College of Eco-environmental Engineering, Qinghai University, Xining 810016, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: This study explored the effects of short-term rest grazing on plant community structure and biomass, in order to provide a theoretical basis for decisions on the sustainable utilization of alpine meadow grassland. The plant community structure and biomass at three study sites (continuously grazed [CG], rest grazing for a growing season [RGGs], and not grazed for one year [NG1Y]) in Haibei alpine meadow were sampled and analyzed, in early September 2017. It was found that: 1) RGGs and NG1Y significantly increased plant community height, ground cover and species richness compared to CG ($P < 0.01$). These treatments also increased the

* 收稿日期: 2019-07-08; 改回日期: 2019-11-18

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 A 类(XDA23060603、XDA2005010406), 2018 年度青海三江源生态保护和建设二期工程科研和推广项目(2018-S-2), 青海大学中青年科研基金项目(2016-QNY-4), 国家重点研发计划(2016YFC0501905、2016YFC0501805)和中国科学院“西部青年学者”B 类项目资助。

作者简介: 徐田伟(1988-), 男, 黑龙江方正人, 助理研究员, 博士。E-mail: xutianwei@nwipb.cas.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: sxxu@nwipb.cas.cn

height of representative species such as *Stipa aliena*, *Kobresia humilis*, *Gueldenstaedtia diversifolia* and *Medicago archiducis-nicolaii* ($P < 0.01$). 2) RGGs and NG1Y significantly increased litter fall and humus accumulation ($P < 0.01$), significantly increased grass, legume and broad-leaved herb species biomass ($P < 0.01$), and also significantly increased total aboveground biomass and high quality forage yield, compared to CG ($P < 0.01$). 3) RGGs and NG1Y significantly increased 0–10 cm belowground biomass and total belowground biomass (0–30 cm) ($P < 0.01$). Therefore, short-term rest grazing can be used to benefit vegetation community structure, improve high quality herbage yield and promote sustainable utilization of alpine meadow in Haibei Autonomous Prefecture of Qinghai province.

Key words: alpine meadow; short-term rest grazing; vegetation community structure; biomass; root-shoot ratio

青藏高原是我国重要的畜牧业生产区,在发展区域经济、改善牧民生活和维护民族团结等方面发挥重要作用。青藏高原地区养育了 1400 万头牦牛和 5000 万只藏系绵羊,高寒草地和放牧家畜构成了高原牧民生产生活的基础^[1]。高寒草甸是青藏高原特有植被类型,在饲草资源供给、生物多样性保护、水源涵养和土壤碳氮固持等方面发挥着重要作用。在气候变化和人类活动(超载过牧)的综合作用下,高寒草甸呈现不同程度的退化^[2-4],退化草地群落发生变化、物种丰富度降低、植被盖度下降、禾本科和豆科等优质牧草比例锐减^[5-6],阻碍了青藏高原草地畜牧业健康发展^[7]。

短期休牧是退化草地恢复的有效措施之一^[8]。综合考量天然草地利用研究成果和促进草地畜牧业可持续发展的需求,实施天然草地长期禁牧是不合理且不可取的^[9]。为保证高寒地区人一草一畜协调发展,保障牧民生产生活稳定,对高寒草地实行短期休牧是现实可行的办法。短期休牧花费资金较少、实施效果相对显著、可作为提升草地功能和促进草地合理利用的重要措施。徐松鹤等^[10]、朱立博等^[11]、赵康等^[12]分别在内蒙古不同地区的典型草原开展短期休牧和季节性放牧对草原植物多样性、功能群特征、土壤养分的影响研究,研究表明:季节性放牧可优化内蒙古典型草原植被群落、提高物种多样性和草地生产力,增加优质牧草产量,促进典型草原资源保护和有序利用。同样的,刘玉等^[13]在甘南地区开展的季节性放牧对草地植物多样性和功能群特征的研究,得到相似的结果。休牧相关研究在草原生态系统开展较多,有关敏感、脆弱的高寒草甸的研究资料偏少。本研究将通过研究青海省海北地区连续放牧、生长季休牧和禁牧 1 年处理下高寒草甸植被群落结构和生物量(地上/地下生物量、功能群生物量和优质牧草产量等)的变化特征,揭示高寒草甸植被群落特征和生物量对短期休牧的响应,以期高寒草甸资源的科学管理与合理利用提供数据支撑。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

以青海省海北藏族自治州门源县境内(N 37°29′–37°45′,E 101°12′–101°23′,海拔 3200 m)的高寒草甸为研究对象,植被以异针茅(*Stipa aliena*)和矮嵩草(*Kobresia humilis*)为建群种,常见伴生种有垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、早熟禾(*Poa pratensis*)、美丽风毛菊(*Saussurea pulchra*)、青海苜蓿(*Medicago archiducis-nicolai*)、异叶米口袋(*Gueldenstaedtia diversifolia*)、麻花苳(*Gentiana straminea*)等。试验研究区域的年均气温–2.5~–0.4 °C,年均降水量 560.0 mm,主要集中于 5–9 月,植被生长期为 4 月下旬–9 月中旬。

1.2 试验设计

为研究短期休牧对高寒草甸植被群落特征和生物量的影响,选取位于青海海北州门源县的连续放牧样地、生长季休牧样地和禁牧 1 年样地。3 块样地相邻,放牧家畜均为藏系绵羊,处理前 3 个样地群落物种组成和利用方式一致(常年连续放牧、草地利用率 70%~80%)。生长季休牧样地的休牧时间为 2017 年 5 月 1 日–9 月 30 日,禁牧 1 年样地自 2016 年 5 月 1 日起禁牧。本研究中连续放牧地的放牧强度(草地利用率)为 70%~80%。于 2017 年 9 月上旬采用样方法分别对连续放牧、生长季休牧和禁牧 1 年的 3 块样地进行群落调查和样品采集,每个样地设定 5 个样方重复。

1.3 样方调查和样品采集

在每块样地设定 5 个 50 cm×50 cm 的样方, 首先将样方内的枯落物收集并装袋, 测量并记录群落高度、群落盖度、样方物种数、单种高度(5 个重复, 少于 5 株者全部测量)和单种盖度等。调查结束后, 采用刈割法按禾本科、莎草科、豆科和阔叶类牧草的顺序齐地面剪取地上生物量[披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata*) 归为毒杂草], 分装至档案袋带回实验室, 65 °C 烘干至恒重后称重记录。总地上生物量为禾本科、莎草科、豆科和阔叶类植物生物量的干重之和。完成地上生物量取样后, 采用手刮的方式收集样方内地表未分解或半分解的半腐殖质并装袋^[14]。采用直径 6.0 cm 根钻分 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 土层钻取地下土柱(每个样方 3 个重复)并装入自封袋。通过洗根法获取地下生物量, 用 0.5 mm 孔径的尼龙网袋在水中清洗、分拣沙粒、将清洗得到的地下根样装入信封袋, 置于 65 °C 烘箱烘干至恒重后称重记录, 不同土层根系的干重之和记作总地下生物量。

1.4 相关指标计算

为了便于统计分析, 群落高度和代表性牧草高度先计算单个样方内的均值, 然后计算 5 个样方的群落高度和代表性牧草高度。功能群生物量即为禾本科、豆科、莎草科和阔叶类牧草的烘干质量。本研究中优质牧草产量是指禾本科、莎草科和豆科牧草的烘干质量之和(披针叶黄华等归为毒杂草类), 优质牧草比例是指优质牧草产量与地上总生物量的比值。根冠比定义为总地下生物量(0~30 cm)与总地上生物量的比值。

1.5 数据处理与分析

采用 Microsoft excel 2010 进行数据整理, 数据以平均值±标准误(mean±SE)表示。采用 SPSS 20.0 按单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 氏法进行显著性检验, $P<0.05$ 时差异显著, $P<0.01$ 时差异极显著。

2 结果与分析

2.1 高寒草甸植被群落特征对短期休牧的响应

2.1.1 群落高度、群落盖度和样方物种数 连续放牧、生长季休牧和禁牧 1 年样地的群落高度分别为 2.94、22.25 和 37.63 cm(表 1), 3 组之间差异极显著($P<0.01$)。连续放牧、生长季休牧和禁牧 1 年样地的群落盖度分别为 89.20%、97.13% 和 95.41%; 连续放牧、生长季休牧和禁牧 1 年样地的样方物种数分别达到 21.05、27.80 和 25.85 种; 生长季休牧和禁牧 1 年样地的群落盖度和样方物种数极显著高于连续放牧地($P<0.01$)。

表 1 不同样地的群落高度、群落盖度和样方物种数

Table 1 Community height, ground cover and species richness in different grazing plots

指标 Items	连续放牧 Continuous grazing	生长季休牧 Growing season rest grazing	禁牧 1 年 One year non-grazing
群落高度 Community height (cm)	2.94±0.19Cc	22.25±1.64Bb	37.63±1.40Aa
群落盖度 Ground cover (%)	89.20±2.04Bb	97.13±1.67Aa	95.41±2.73Aa
样方物种数 Species richness (No.)	21.05±3.08Bb	27.80±0.84Aa	25.85±1.92Aa

注: 同行不同大写字母表示处理间差异极显著($P<0.01$), 同行不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$), 下同。

Note: Different capital letters in the same row mean significant differences at $P<0.01$ level, different small letters in the same row mean significant differences at $P<0.05$ level, the same below.

2.1.2 代表性牧草高度 选取分属 4 个科的具有较高优势度且具有代表性的 7 种牧草, 揭示短期休牧对代表性牧草的高度和盖度的影响。与连续放牧相比, 生长季休牧和禁牧 1 年极显著提高了禾本科异针茅、莎草科矮蒿草、豆科异叶米口袋和青海苜蓿、蔷薇科莓叶委陵菜、菊科美丽风毛菊和蒲公英的高度($P<0.01$)(表 2)。

2.1.3 代表性牧草盖度 与连续放牧相比, 生长季休牧极显著提高了青海苜蓿的盖度($P<0.01$), 降低了莓叶委陵菜的盖度($P<0.01$), 禁牧 1 年极显著提高了异针茅的盖度($P<0.01$), 生长季休牧和禁牧 1 年极显著提高了异叶米口袋的盖度($P<0.01$)(表 3)。矮蒿草的盖度随休牧时间的延长呈降低趋势, 禁牧 1 年样地的矮蒿草盖度极显著低于连续放牧地和生长季休牧地($P<0.01$)。

表 2 不同样地的代表性牧草高度

Table 2 Representative herbage heights in different grazing plots (cm)

科 Family	物种 Species	连续放牧 Continuous grazing	生长季休牧 Growing season rest grazing	禁牧 1 年 One year non-grazing
禾本科 Grammineae	异针茅 <i>S. aliena</i>	4.36±0.53Bb	37.22±2.31Aa	33.36±2.31Aa
莎草科 Cyperaceae	矮蒿草 <i>K. humilis</i>	2.02±0.23Bb	8.11±1.91Aa	10.32±0.89Aa
豆科 Leguminosae	异叶米口袋 <i>G. diversifolia</i>	1.97±0.20Bb	8.77±0.83Aa	8.53±0.73Aa
	青海苜蓿 <i>M. archiducis-nicolai</i>	2.13±0.22Bb	10.03±1.08Aa	11.23±1.38Aa
蔷薇科 Rosaceae	莓叶委陵菜 <i>Potentilla fragarioides</i>	1.43±0.11Cc	6.80±1.20Bb	11.07±1.65Aa
菊科 Compositae	美丽风毛菊 <i>S. pulchra</i>	2.87±0.22Bb	7.80±1.64Aa	9.68±0.99Aa
	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	3.50±0.31Bb	11.72±1.87Aa	9.32±1.28Aa

表 3 不同样地的代表性牧草盖度

Table 3 Representative herbage cover in different grazing plots (%)

科 Family	物种 Species	连续放牧 Continuous grazing	生长季休牧 Growing season rest grazing	禁牧 1 年 One year non-grazing
禾本科 Grammineae	异针茅 <i>S. aliena</i>	22.80±2.71Bb	19.28±3.10Bb	33.61±1.57Aa
莎草科 Cyperaceae	矮蒿草 <i>K. humilis</i>	32.31±3.52Aa	24.00±4.30Aa	11.20±1.98Bb
豆科 Leguminosae	异叶米口袋 <i>G. diversifolia</i>	7.40±1.41Cc	19.23±2.79Aa	13.29±1.19Bb
	青海苜蓿 <i>M. archiducis-nicolai</i>	8.61±0.44Bb	15.40±2.56Aa	11.40±1.51ABab
蔷薇科 Rosaceae	莓叶委陵菜 <i>P. fragarioides</i>	8.40±2.23Aa	5.20±0.97Bb	6.19±1.52ABab
菊科 Compositae	美丽风毛菊 <i>S. pulchra</i>	20.42±6.44Aa	9.56±0.89Bb	7.21±1.93Bb
	蒲公英 <i>T. mongolicum</i>	3.00±0.45Aa	3.40±0.75Aa	2.22±0.14Aa

2.2 短期休牧对生物量的影响

2.2.1 枯落物和半腐殖质量 枯落物变化趋势为禁牧 1 年>生长季休牧>连续放牧,前者较后两者分别增加了 167.85%和 746.96%,3 组之间差异显著($P<0.05$)(表 4)。半腐殖质变化趋势为禁牧 1 年>生长季休牧>连续放牧,前者较后两者分别增加了 91.49%和 877.55%,3 组之间差异极显著($P<0.01$)。

表 4 不同样地的枯落物和半腐殖质量

Table 4 Fall litter and humus mass in different grazing plots ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

项目 Items	连续放牧 Continuous grazing	生长季休牧 Growing season rest grazing	禁牧 1 年 One year non-grazing
枯落物 Fall litter	7.90±3.44Bc	24.98±5.27Bb	66.91±7.04Aa
半腐殖质 Humus	3.43±0.68Cc	17.51±2.20Bb	33.53±4.34Aa
合计 Total	11.32±4.08Cc	42.49±6.89Bb	100.44±8.90Aa

2.2.2 地上生物量 总地上生物量表现为生长季休牧>禁牧 1 年>连续放牧(表 5),分别达到 471.69、399.76和 145.85 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,3 组之间差异显著($P<0.05$)。功能群生物量方面,禾本科和豆科生物量均表现为生长季休牧>禁牧 1 年>连续放牧,3 组之间差异显著($P<0.05$)。莎草科生物量表现为禁牧 1 年>生长季休牧>连续放牧,分析表明禁牧 1 年样地的莎草科生物量显著高于连续放牧地($P<0.05$)。阔叶类生物量表现为禁牧 1 年>生长季休牧>连续放牧,生长季休牧和禁牧 1 年样地的阔叶类生物量差异不显著($P>0.05$),两者显著高于连续放牧地($P<0.05$)。

表 5 不同样地的地上生物量变化

Table 5 Changes of aboveground biomass in different grazing plots ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

科 Family	连续放牧 Continuous grazing	生长季休牧 Growing season rest grazing	禁牧 1 年 One year non-grazing
禾本科 Gramineae	52.66±10.73Bc	246.45±28.34Aa	173.95±9.97Ab
豆科 Leguminosae	4.83±0.49Bc	37.93±4.46Aa	19.79±5.55Bb
莎草科 Cyperaceae	38.46±9.09Ab	60.57±12.50Aab	74.12±2.94Aa
阔叶类 Broad-leaves	47.10±8.34Bb	126.75±16.17Aa	131.91±13.61Aa
总生物量 Total biomass	145.85±10.06Bc	471.69±28.61Aa	399.76±19.31Ab

2.2.3 优质牧草产量 生长季休牧样地的优质牧草产量最高(表 6),禁牧 1 年样地次之,连续放牧样地最低,3 组之间差异极显著($P < 0.01$)。优质牧草比例的变化趋势为生长季休牧>禁牧 1 年>连续放牧,但差异不显著($P > 0.05$)。

表 6 不同样地的优质牧草产量变化

Table 6 Changes of high quality herbage yield in different grazing plots

指标 Items	连续放牧 Continuous grazing	生长季休牧 Growing season rest grazing	禁牧 1 年 One year non-grazing
优质牧草产量 High quality herbage yield ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	95.95±10.54Cc	344.95±13.68Aa	267.85±13.68Bb
优质牧草比例 High quality herbage percent (%)	65.49±9.92a	73.41±4.54a	67.17±2.71a

2.2.4 地下生物量 总地下生物量(0~30 cm)表现为禁牧 1 年>生长季休牧>连续放牧(表 7),禁牧 1 年和生长季休牧样地的总地下生物量差异不显著($P > 0.05$),两者均极显著高于连续放牧地($P < 0.01$)。地下生物量的差异主要表现在土壤表层(0~10 cm)和中层(10~20 cm),表层地下生物量表现为禁牧 1 年>生长季休牧>连续放牧地,连续放牧地显著低于生长季休牧和禁牧 1 年样地($P < 0.05$)。10~20 cm 地下生物量变化趋势为禁牧 1 年>生长季休牧>连续放牧,禁牧 1 年样地的 10~20 cm 地下生物量显著高于生长季休牧和连续放牧样地($P < 0.05$)。不同样地 20~30 cm 地下生物量差异不显著($P > 0.05$)。

表 7 不同样地的地下生物量变化

Table 7 Changes of belowground biomass in different grazing plots ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

土层 Layer	连续放牧 Continuous grazing	生长季休牧 Growing season rest grazing	禁牧 1 年 One year non-grazing
0~10 cm	1390.87±79.41Bb	2773.28±270.18Aa	3363.44±231.35Aa
10~20 cm	231.23±21.17Ab	263.84±19.43Ab	301.55±32.01Aa
20~30 cm	86.83±9.06Aa	104.76±15.26Aa	91.72±5.63Aa
地下总生物量 Total belowground biomass	1708.93±100.61Bb	3141.88±264.82Aa	3756.71±251.77Aa

表 8 不同样地的根冠比变化

Table 8 Changes of root-shoot ratio in different grazing plots

指标 Items	连续放牧 Continuous grazing	生长季休牧 Growing season rest grazing	禁牧 1 年 One year non-grazing
根冠比 Root-shoot ratio	11.81±0.53Aa	6.86±0.97Bb	9.58±1.05ABab

2.2.5 根冠比 根冠比表现为连续放牧>禁牧1年>生长季休牧(表8),分别达到11.81、9.58和6.86,连续放牧地的根冠比极显著高于生长季休牧地($P<0.01$)。

3 讨论

青藏高原高寒草地是我国重要的畜牧业生产区,在气候变化和人类活动的综合作用下,高寒草地生态系统出现不同程度的退化。由于高寒草地生态系统自我恢复能力弱,草地退化严重制约了高寒地区草地畜牧业健康发展^[7]。为缓解上述问题,高寒地区实施了一系列措施(退化草地恢复治理、基于短期休牧的天然草地合理利用、家畜舍饲半舍饲等)以促进高寒地区草地畜牧业减压增效^[1,15-16]。在此背景下,开展短期休牧对高寒草甸植被群落特征和生物量影响的研究,对促进高寒草甸资源管理与合理利用具有一定的指导意义。本研究表明,短期休牧对高寒草甸的群落高度、群落盖度、样方物种数和代表性牧草高度都有一定的促进作用,这与李文等^[3]、马玉寿等^[17]和李林栖等^[18]的研究结论一致。常年连续放牧地的放牧压力最大,草地长时间被家畜采食和踩踏,破坏了植被光合作用和正常生长规律,大幅降低了高寒草甸的群落高度、群落盖度和物种丰富度^[14,19-20]。相比之下,生长季休牧和禁牧1年样地的植被可以正常光合和生长,加之没有放牧家畜干扰,禾本科等优质牧草可以充分利用光、温、水、热等资源发挥其生长潜势,促使群落高度、群落盖度、样方物种数和代表性牧草高度都维持在较高水平。

地上生物量直观地反映了高寒草地生产功能,生长季休牧($471.69\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)和禁牧1年($399.76\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)较连续放牧地($139.85\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)显著提高了总地上生物量,这与多数研究结论一致^[21-22]。休牧可以大幅降低来自放牧家畜的采食、踩踏和干扰,给予植被群落休养生息的机会,牧草得到正常的生长和发育,逐步促进草地生态系统良性循环,最终达到提高高寒草地生产功能的目标。从总地上生物量来看,生长季休牧的效果优于禁牧1年,主要因为随着休牧时间的延长,高寒草甸凋落物和半腐殖质量增加,使植被对空间和光等资源的利用能力降低^[14];另外,生长季休牧草地在冬季来临后会被家畜采食,适度干扰可以提高植被群落稳定性,增加禾本科优质牧草的竞争力和生长力。连续放牧地的优质牧草产量最低,是由于放牧家畜对优良牧草的长期采食所导致,禾本科和莎草科等被喜食的牧草被家畜大量采食,地上植被不能及时再生,而家畜不喜食的阔叶类植物在优质牧草受损阶段得到生长机会,因而降低了优质牧草产量和比例。生长季休牧样地内优质牧草比例最高,主要归因于草地未受到家畜干扰,植被在光、温、水和空间资源竞争等方面具有一定的优势;同时生长季结束进入枯草期后,经过冷季放牧(适度干扰)可以使群落维持在较稳定的水平,同时粪尿等排泄物增加了高寒草甸土壤肥力,促进了植被返青和生长,同时对禾本科等优势牧草的生长具有一定的促进作用^[23-24]。从植被群落和地上生物量的角度来看,生长季休牧的效果略优于禁牧1年。

地下生物量是高寒草地生态系统物质循环和能量流动不可缺少的关键环节,休牧在一定程度上能够影响植被地下生物量分布格局。本研究得出总地下生物量的变化趋势为连续放牧<生长季休牧<禁牧1年,表明短期休牧可以提高植被总地下生物量,促进根系向土壤深层延伸,常年连续放牧会降低植物根系的生长,这与李文等^[3,25]的研究结论一致。根冠比是群落生态学中重要的指标之一,能够反映植物光合产物在地上/地下的分配情况,对草地生态系统物质循环、碳存储及其分配起到重要作用^[26]。本研究根冠比的大小顺序为生长季休牧<禁牧1年<连续放牧。连续放牧样地的放牧压力较大,使得植被地上生物量锐减,植被的生长对策发生变化将地上光合产物更多地向地下转移分配。连续放牧使得地下总生物量显著降低,由于地下生物量(比生长季休牧降低45.61%)对放牧的响应滞后于地上生物量(比生长季休牧降低70.35%),导致连续放牧地的根冠比升高。与常年连续放牧相比,生长季休牧和禁牧1年均显著提高了高寒草甸的总地上、地下生物量。放牧干扰解除后,牧草开始正常生长,形成适合自身的生态位,逐渐形成能够充分利用光资源的群落结构,促进总光合能力增强^[27];短期休牧样地前期积累的家畜粪便逐渐被分解,为植被生长提供肥力^[28];短期休牧促进恢复草地土壤结构,提升土壤持水能力^[29];改善土壤微生物群落,促进根系与土壤养分及水分的循环与吸收^[30];在多种因素共同作用下,促进地上生物量和地下生物量生长。

4 结论

与传统连续放牧相比,生长季休牧和禁牧1年可以优化高寒草甸群落结构,提高总地上生物量、优质牧草产

量和总地下生物量。由于采用全年禁牧对畜牧业生产和牧民生活的影响较大,可以采用短期休牧和天然草场季节配置结合的方式促进高寒草甸资源的管理与合理利用。

参考文献 References:

- [1] Tian L H, Zhou Q P, Wang J T, *et al.* Situations, issues and solutions of the grassland animal husbandry of Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2016, 42(2): 119-126.
田莉华, 周青平, 王加亭, 等. 青藏高原草地畜牧业生产现状、问题及对策. *西南民族大学学报(自然科学版)*, 2016, 42(2): 119-126.
- [2] Wang M, Li Y, Huang R Q, *et al.* The effects of climate warming on the alpine vegetation of the Qinghai-Tibetan Plateau hinterland. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 25(6): 1275-1281.
王谋, 李勇, 黄润秋, 等. 气候变暖对青藏高原腹地高寒植被的影响. *生态学报*, 2004, 25(6): 1275-1281.
- [3] Li W, Cao W X, Xu C L, *et al.* Changes of vegetation characteristics in alpine meadow-steppe of eastern Qilian Mountains after different grazing rest modes. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2014, 34(11): 2339-2345.
李文, 曹文侠, 徐长林, 等. 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. *西北植物学报*, 2014, 34(11): 2339-2345.
- [4] Gao Q Z, Li Y, Wan Y F, *et al.* Dynamics of alpine grassland NPP and its response to climate change in Northern Tibet. *Climatic Change*, 2009, 97(3/4): 515-528.
- [5] Zhou H K, Zhao X Q, Wen J, *et al.* The characteristics of soil and vegetation of degenerated alpine steppe in the Yellow River Source Region. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(5): 1-11.
周华坤, 赵新全, 温军, 等. 黄河源区高寒草原的植被退化与土壤退化特征. *草业学报*, 2012, 21(5): 1-11.
- [6] Liu Y S, Fan J W, Li Y Z, *et al.* Plant community productivity and diversity on alpine meadow steppe in the Three River Headwater Region, Qinghai Province under different denudation levels. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(3): 1-7.
刘艳书, 樊江文, 李愈哲, 等. 三江源地区不同剥蚀退化高寒草甸群落生物量与多样性特征. *草业学报*, 2014, 23(3): 1-7.
- [7] Wang S P. Vegetation degradation and protection strategy in the "Three Rivers Fountainhead" area in the Qinghai Province. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(6): 1-9.
汪诗平. 青海省“三江源”地区植被退化原因及其保护策略. *草业学报*, 2003, 12(6): 1-9.
- [8] Li Y J, Song X L, Yu W C, *et al.* Advance in the influence of rest-grazing on the grassland ecosystem. *Agro-Environment and Development*, 2013, (4): 62-71.
李玉洁, 宋晓龙, 于雯超, 等. 休牧对草原生态系统影响研究进展. *农业环境与发展*, 2013, (4): 62-71.
- [9] Zhang W N, Ganzhu Z B, Li Y W, *et al.* Effects of banning grazing and delaying grazing on species diversity and biomass of alpine meadow in Northern Tibet. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, 15(3): 143-149.
张伟娜, 干珠扎布, 李亚伟, 等. 禁牧休牧对藏北高寒草甸物种多样性和生物量的影响. *中国农业科技导报*, 2013, 15(3): 143-149.
- [10] Xu S H, Chen Y H. Effect of stop grazing on characteristics of plant community and soil nutrients of typical grassland in Xilinguole. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(4): 15-21.
徐松鹤, 陈宇浩. 休牧对锡林郭勒典型草原土壤养分和植物群落特征的影响. *水土保持研究*, 2018, 25(4): 15-21.
- [11] Zhu L B, Zeng Z H, Zhao B P, *et al.* Effect of spring rest-grazing on steppe vegetation. *Acta Agrestia Sinica*, 2008, 16(3): 278-282.
朱立博, 曾昭海, 赵宝平, 等. 春季休牧对草地植被的影响. *草地学报*, 2008, 16(3): 278-282.
- [12] Zhao K, Baoyin T G T. Effect of seasonal grazing use on productivity of grassland community. *Chinese Journal of Grassland*, 2014, 36(1): 109-115.
赵康, 宝音陶格涛. 季节性放牧利用对典型草原群落生产力的影响. *中国草地学报*, 2014, 36(1): 109-115.
- [13] Liu Y, Liu Z H, Deng L, *et al.* Species diversity and functional groups responses to different seasonal grazing in alpine grassland. *Pratacultural Science*, 2016, 33(7): 1403-1409.
刘玉, 刘振恒, 邓蕾, 等. 季节性放牧对草地植物多样性与功能群特征的影响. *草业科学*, 2016, 33(7): 1403-1409.
- [14] Mao S J, Wu Q H, Zhu J B, *et al.* Response of the maintain performance in alpine grassland to enclosure on the Northern Tibetan Plateau. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(1): 21-30.
毛绍娟, 吴启华, 祝景彬, 等. 藏北高寒草原群落维持性能对封育年限的响应. *草业学报*, 2015, 24(1): 21-30.
- [15] Wang S P, Andreas W. Feasibility of low carbon grassland animal husbandry, carbon trade and ecological compensation in Three-River-Sources Area. *Rural Economy*, 2014, (4): 106-110.
汪诗平, Andreas Wilkes. 三江源区低碳型草地畜牧业与碳贸易和生态补偿可行性探讨. *农村经济*, 2014, (4): 106-110.
- [16] Shang Z H, Dong Q M, Shi J J, *et al.* Research progress in recent ten years of ecological restoration for 'Black Soil Land'

- degraded grassland on Tibetan Plateau—concurrently discuss of ecological restoration in Sanjiangyuan Region. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(1): 1—21.
- 尚占环, 董全民, 施建军, 等. 青藏高原“黑土滩”退化草地及其生态恢复近 10 年研究进展—兼论三江源生态恢复问题. *草地学报*, 2018, 26(1): 1—21.
- [17] Ma Y S, Li S X, Wang Y L, *et al.* Effect of rest-grazing in the greenup period on degraded vegetation in alpine meadow. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(2): 290—295.
- 马玉寿, 李世雄, 王彦龙, 等. 返青期休牧对退化高寒草甸植被的影响. *草地学报*, 2017, 25(2): 290—295.
- [18] Li L Q, Ma Y S, Li S X, *et al.* Effects of rest-grazing in the regreen-up period on moderately degraded steppification meadow of Qilian Mountain. *Pratacultural Science*, 2017, 34(10): 2016—2022.
- 李林栖, 马玉寿, 李世雄, 等. 返青期休牧对祁连山区中度退化草原化草甸草地的影响. *草业科学*, 2017, 34(10): 2016—2022.
- [19] Luo Y Y, Meng Q T, Zhang J H, *et al.* Species diversity and biomass in relation to soil properties of alpine meadows in the eastern Tibetan Plateau in different degradation stages. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(5): 1298—1305.
- 罗亚勇, 孟庆涛, 张静辉, 等. 青藏高原东缘高寒草甸退化过程中植物群落物种多样性、生产力与土壤特性的关系. *冰川冻土*, 2014, 36(5): 1298—1305.
- [20] Yin G M, Zhang Y J, Wang M Y, *et al.* Influence of short-term enclosure on characteristics of community and species diversity on meadow steppe. *Chinese Journal of Grassland*, 2014, 36(3): 61—66.
- 殷国梅, 张英俊, 王明莹, 等. 短期围封对草甸草原群落特征与物种多样性的影响. *中国草地学报*, 2014, 36(3): 61—66.
- [21] Li Y Y, Dong S K, Li X Y, *et al.* Effect of grassland enclosure on vegetation composition and production in headwater of Yellow River. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(2): 275—279.
- 李媛媛, 董世魁, 李小艳, 等. 围栏封育对黄河源区退化高寒草地植被组成及生物量的影响. *草地学报*, 2012, 20(2): 275—279.
- [22] Zhou G Y, Chen G C, Xu W H, *et al.* Influences of enclosure to *Achnatherum splendens* steppes biomass in the Qinghai Lake Area. *Arid Land Geography*, 2010, 33(3): 434—441.
- 周国英, 陈桂琛, 徐文华, 等. 围栏封育对青海湖地区芨芨草原生物量的影响. *干旱区地理*, 2010, 33(3): 434—441.
- [23] Chen Q G. Grassland deterioration in the source region of the Yangtze-Yellow Rivers and integrated control of the ecological environment. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(1): 10—15.
- 陈全功. 江河源区草地退化与生态环境的综合治理. *草业学报*, 2007, 16(1): 10—15.
- [24] Zhou Z Y, Fu H, Chen Y M, *et al.* Changes of the species diversity and productivity of A-la-shan steppe area in restoration succession. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(1): 34—40.
- 周志宇, 付华, 陈亚明, 等. 阿拉善荒漠草地恢复演替过程中物种多样性与生产力的变化. *草业学报*, 2003, 12(1): 34—40.
- [25] Li W, Cao W X, Xu C L, *et al.* Ecological responses of belowground biomass and soil characteristics to different grazing rest modes in alpine meadow-steppe. *Acta Agrestia Sinica*, 2015, 23(2): 271—276.
- 李文, 曹文侠, 徐长林, 等. 不同休牧模式对高寒草甸草原土壤特征及地下生物量的影响. *草地学报*, 2015, 23(2): 271—276.
- [26] Zhang N, Liang Y M. Studies on the below-ground/above-ground biomass ratio of natural grassland in loess hilly region. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(2): 72—78.
- 张娜, 梁一民. 黄土丘陵区天然草地地下/地上生物量的研究. *草业学报*, 2002, 11(2): 72—78.
- [27] Kang B W, Liu J J, Hou L, *et al.* Effects of grazing-blockade by fencing on the biomass in *Stipa krylovii* steppe of Mongolia. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(12): 2540—2546.
- 康博文, 刘建军, 侯琳, 等. 蒙古克氏针茅草原生物量围栏封育效应研究. *西北农业学报*, 2006, 26(12): 2540—2546.
- [28] Wei B P, Zhao S G, Jiao T. Effect of grazing on plant community and soil factors of temperate desert steppe. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(5): 855—862.
- 魏伯平, 赵生国, 焦婷. 放牧对温性荒漠草原植物群落及草地土壤肥力的影响. *草地学报*, 2012, 20(5): 855—862.
- [29] Guan G Y, Fan Y M, Wu H Q, *et al.* Effects of fencing on soil active organic carbon and carbon pool management index in mountain meadow steppe. *Pratacultural Science*, 2014, 31(9): 1618—1622.
- 管光玉, 范燕敏, 武红旗, 等. 封育对山地草甸草原土壤活性有机碳及碳库管理指数的影响. *草业科学*, 2014, 31(9): 1618—1622.
- [30] Zhang Y S, Fan Y M, Wu H Q, *et al.* Influences of fence on soil microbial biomass carbon and nutrient in mountain desert grassland. *Pratacultural Science*, 2014, 31(5): 797—802.
- 张云舒, 范燕敏, 武红旗, 等. 封育对山地荒漠土壤微生物量碳及养分的影响. *草业科学*, 2014, 31(5): 797—802.