

# 放牧强度与季节因子变化对高寒草甸植物群落组成的影响

牛钰杰<sup>1</sup>, 杨思维<sup>1,2</sup>, 花立民<sup>1</sup>

(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-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 四川省草原科学研究院, 四川 成都 611731)

**摘要:**放牧是人类对草地最主要的干扰活动,放牧强度不同会对草地植物群落产生差异化的影响。而放牧季节的温度、降水等变化,也是影响植物群落年际内变化的主要驱动因素,与放牧强度共同影响植物群落组成,但二者的共同作用常常被研究者忽视。为明晰草地植物群落在放牧强度和季节变化耦合作用下的组成动态,以青藏高原东北缘高寒草甸为研究区,设置6个放牧强度样地,以植物群落物种丰富度和重要值为基础数据,将季节作为独立因素,应用双因素方差分析、物种累积曲线和RDA排序等方法,分析放牧强度和季节变化下植物群落的组成动态。结果表明:(1)放牧强度和季节对物种丰富度和重要值均有极显著影响( $P < 0.01$ );(2)物种丰富度和重要值在不同季节均随放牧强度的增加而显著降低( $P < 0.01$ ),在不同放牧强度区从返青期到盛草期均显著增高( $P < 0.05$ );(3)放牧干扰改变了群落生活型和功能型组成,对一年生植物和杂类草影响最为明显。随放牧强度增加,低矮的莲座型植物增加;随季节变化,丛生型禾本科植物的增长最为显著。最终高寒草甸植物群落在放牧强度和季节变化的共同作用下加剧了物种组成的差异性。

**关键词:**高寒草甸;放牧强度;季节;功能群;生活型

**中图分类号:**S812.8;Q948.15 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)06-0016-08

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.06.003

高寒草甸是青藏高原面积最大的草地生态系统<sup>[1]</sup>,也是该区域乃至亚洲重要的生态屏障,在水源涵养、生物多样性维持等方面发挥着不可替代的作用<sup>[2]</sup>。当前,在全球气候变化和人类干扰加剧的影响下,高寒草甸退化严重。草地退化原因较多,其中人为干扰是其退化的关键诱因之一<sup>[3]</sup>。放牧作为高寒草甸植被变化最主要的人为干扰方式,一直备受生态学家关注<sup>[4]</sup>。

植物群落演替是一个时间尺度上连续的、渐进的变化过程。综合了温度、降水等气候因子的季节变化是植物群落年际内变化的最主要的内在动力<sup>[4]</sup>,不同植物种对季节变化的响应各不相同,使植物群落在个体、种群、群落不同水平上发生着不同的变化,进而促使群落组成和结构发生改变<sup>[5-6]</sup>。放牧干扰作为植被演替的一种驱动因子,通过空间尺度上的选择性采食、践踏和排泄,直接或间接地影响了某些植物的种群结构,最终导致植物群落结构变化<sup>[7-8]</sup>。植被在不同季节对放牧干扰均有选择性、自主性适应,并在物种、种群和群落水平表现不同方式的响应<sup>[5,9]</sup>,其中,在群落水平上的功能和生活型分异是草地植物群落适应放牧干扰的最主要形式<sup>[10]</sup>。因而,关注高寒草地的植物功能群和生活型变化,可以更好地理解放牧干扰对植物群落的影响。在放牧干扰下,草地植物群落变化不仅与放牧强度有关,也与放牧期内的季节性水、热变化有关。因此,草地植物群落年际内变化是放牧强度和季

**收稿日期:**2020-03-20; **修回日期:**2020-04-03

**基金项目:**贵州省科技计划项目(课题)黔科合支撑[2019]2857号;国家重点研发计划(2017YFC0504803, 2016YFC0501902);甘肃省教育厅协同创新团队

**作者简介:**牛钰杰(1992-),男,山西长治人,博士研究生。

E-mail:peteryjniu@163.com

花立民为通讯作者。

E-mail:hualm@gsau.edu.cn

节共同作用的结果。而以往的研究主要考虑同一时间点放牧强度对草地植物群落的影响,很少考虑草地本身的季节性变化所造成的植物组成和多样性改变<sup>[4,7-8]</sup>。通过综合分析季节和放牧强度对植物群落组成的影响,而不是只着眼于某一时间或空间尺度,能较全面地了解放牧干扰对植物组成的影响及其对干扰的响应。

故此,本研究选择典型的高寒草甸为研究对象,设置6个不同放牧强度样地,并在3个放牧季节监测植物群落变化,重点探讨:(1)植物群落组成和结构在随放牧季节的内在生长动力与放牧强度的外在干扰驱动下如何进行变化;(2)分解季节和放牧压力对植物群落组成的影响。本研究以期了解放牧干扰与植物适应的关系,并为退化高寒草甸植被恢复和建立合理的放牧管理制度提供科学的理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于青藏高原东北缘,行政上隶属甘肃省天祝县抓喜秀龙乡,N 37°11',E 102°31',海拔 2 958 m。年均气温-0.1℃,7月最高温度为12.7℃,1月最低温度为-18.3℃,>0℃的年积温为1 380℃,>10℃的年积温为1 080℃;近年来平均年降水量416

mm,主要集中在7~9月,占全年降水量的76%,生长季年潜在蒸发量1 592 mm,约为年降水量的4倍。无绝对无霜期,生长期120~140 d。土壤类型为高山草甸土,0~10 cm表层有机质含量达14%。草地植被类型以嵩草草甸为主<sup>[11]</sup>,优势物种为垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、矮生嵩草(*Kobresia humilis*)和阴山扁蓿豆(*Melissitus ruthenica*)等。当地牧民以白牦牛、高山细毛羊和本地藏羊为主要天然草地放牧畜种。

### 1.2 试验设计

本研究区为典型高寒草甸。在系统考察样地植被情况与当地实际载畜量的基础上,在2012年选择环境异质性较小的6块样地,从2012年至2014年开展放牧试验。根据试验样地的植物群落生物量和每日放牧时间计算每块样地理论承载的放牧羊单位头数。选择体重相近的甘肃高山细毛羊为试验羊,设置6个不同的放牧梯度(表1)。采用完全随机化设计,将设置的6个放牧梯度随机放置在6块样地,并按放牧强度从小到大依次标记为Plot1至Plot6。2012年试验样地开始放牧时的基本信息见表1。以植物群落物种丰富度和物种重要值为基础数据,应用双因素方差分析、物种累积曲线和RDA排序的方法,分析放牧季节和放牧强度对植物物种组成的影响。

表1 研究样地设置

Table 1 Plot design of this treatment

样地	面积/hm <sup>2</sup>	家畜头数/只	放牧强度 /(羊单位·hm <sup>-2</sup> )	盖度/%	地上生物量/(g·m <sup>2</sup> )
Plot1	2.18	6	2.75	88.50±3.42 <sup>a</sup>	310.40±76.97 <sup>a</sup>
Plot2	1.10	4	3.63	91.00±6.22 <sup>a</sup>	321.00±17.40 <sup>a</sup>
Plot3	1.61	7	4.36	89.20±6.30 <sup>a</sup>	293.60±31.70 <sup>a</sup>
Plot4	1.26	6	4.78	89.20±4.44 <sup>a</sup>	260.00±44.18 <sup>a</sup>
Plot5	2.50	13	5.19	91.20±1.48 <sup>a</sup>	310.40±76.97 <sup>a</sup>
Plot6	1.11	8	7.20	90.57±3.67 <sup>a</sup>	298.50±55.71 <sup>a</sup>

注:表中植物群落数据为2012年放牧试验开始前的数据。相同的小写字母(a)代表不同样地的指标无显著性差异( $P<0.05$ )

### 1.3 植物群落调查

研究样地进行全年放牧,根据植物群落生长情况,于连续放牧3年后的2014年6月(返青期)、8月(盛草期)、10月(枯黄期)进行植物群落调查,并把返青期、盛草期和枯黄期作为植物生长的3个季节。采用系统随机取样的方法,将每个研究样地规则地分为9个小区。在每个小区内随机设置一个样方,避开样地群落边缘和单优无性系聚块,即每个样地重复取样9次。每个季节

开展植物物种盖度、高度和频度调查<sup>[11]</sup>。群落物种盖度调查采用针刺法,即用0.25 m<sup>2</sup>样方,针刺100次;植物高度调查,每种随机测量10次;频度调查采用样圆法,每个样地采取随机抛样圆60次。

### 1.4 数据处理方法

1.4.1 物种和群落重要值 用最大值标准化法计算每一物种的盖度、高度、频度相对值,并取其平均值。样方内群落重要值是样方内所有物种重要值之和。

1.4.2 功能群和生活型划分 按照通用的草地植物群落功能群和生活型划分方法,将物种划分为5个功能群(禾本科、莎草科、豆科、菊科、杂类草)和6个生活型(丛生型、根茎型、莲座型、匍匐型、一年生、直立型)<sup>[12-13]</sup>。

1.4.3 物种丰富度 包括每个样方内物种丰富度(SRs)为样方内总的物种数;同一样地不同季节物种丰富度  $SR_p$ ;同一季节不同放牧样地物种丰富度  $SR_G$ ;总的物种丰富度  $SR_T$ 。对  $SR_s$  做不同放牧强度和季节间的多重比较分析,并用双因素方差分析方法分析放牧强度与季节对其影响的显著性。采用一阶折刀指数<sup>[14]</sup>(Jack 1): $SR(J) = SR(obs) + a \times n / (n - 1)$ 。计算  $SR_p$  和  $SR_G$  的期望物种丰富度  $SR_p(J)$  和  $SR_G(J)$ 。对于  $SR_p$  和  $SR_G$ ,按抽样次数进行物种累积速率分析,100次随机累加绘制物种累积丰富度曲线<sup>[15]</sup>。

1.4.4 RDA 排序 将季节作为单一因素进行量化分析。以6月为基点,按照演替累积天数,对放牧季节进行量化,6月、8月、10月分别赋值30、90、150。排序分析前,先用 species-sample 资料做 DCA 分析,看分析结果中梯度长度(Lengths of gradient)的第一轴的大小<sup>[16-17]</sup>。采用 RDA 约束性排序分析植物群落的物种组成和演替对时间与空间因子的响应,排序使用样地内所有样方的物种数据矩阵,环境因子为放牧压力和放牧季节,并分析物种、功能群和生活型分布与环境因子的相关关系。

1.4.5 分析软件 数据初步处理在 Microsoft Excel 2013 上完成,以 SPSS 19.0 软件进行多重比较、双因素方差分析,以 EstimateS Win910 软件、CONOCO 4.5 for Windows 软件完成物种累积速率曲线、多元排序分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物群落重要值的时空变化

各放牧强度区植物群落重要值随季节的变化格局

表 3 放牧强度和季节对重要值的双因素方差分析

Table 3 Two-way ANOVA between grazing intensity and season to important value

方差来源	自由度	均方	F	Sig.
放牧季节	2	63.429	442.804	0.000
放牧压力	5	9.544	66.627	0.000
放牧年份 * 放牧压力	10	2.954	20.624	0.000
误差	120	0.143		

不尽相同。不同放牧强度样地随季节变化均表现出显著差异,低强度放牧区(plot1、plot2)表现为不同月份间均有显著差异(8月>10月>6月);其余放牧强度样地表现为8月与10月间无显著性差异,但均显著高于6月。各季节内群落重要值随放牧强度增加表现出相似的变化规律,均随放牧强度的增加而显著降低(表2)。双因素方差分析的结果也进一步表明:群落重要值与放牧季节( $F=442.804, P<0.001$ )和放牧强度( $F=66.627, P<0.001$ )均呈极显著相关(表3)。

表 2 重要值随不同放牧季节与放牧强度的变化

Table 2 The variation of important value under the impact of grazing intensity and season

样地	重要值		
	6月	8月	10月
1	3.63±0.16 <sup>a(c)</sup>	7.04±0.29 <sup>a(a)</sup>	5.52±0.45 <sup>a(b)</sup>
2	2.93±0.09 <sup>bc(c)</sup>	7.10±0.75 <sup>a(a)</sup>	5.52±0.25 <sup>a(b)</sup>
3	3.18±0.17 <sup>b(b)</sup>	4.98±0.38 <sup>b(a)</sup>	5.40±0.13 <sup>a(a)</sup>
4	2.52±0.04 <sup>c(b)</sup>	4.77±0.43 <sup>b(a)</sup>	4.80±0.01 <sup>b(a)</sup>
5	2.88±0.54 <sup>bc(b)</sup>	4.89±0.76 <sup>b(a)</sup>	4.78±0.08 <sup>b(a)</sup>
6	3.04±0.06 <sup>bc(b)</sup>	3.76±0.02 <sup>c(a)</sup>	3.89±0.07 <sup>c(a)</sup>

注:括号内为横向比较,括号外为纵向比较;显著水平: $P<0.05$

### 2.2 累积物种丰富度随放牧强度和季节的变化

本研究共调查17科、36属、42种植物。对季节物种丰富度而言,无论是样方内观测物种数还是折刀指数预测值均表现出8月最高。而对于样地物种丰富度,观测物种数和折刀指数预测值随放牧强度增加而降低,以放牧强度最小的plot1最高,放牧强度最大的plot6最低(图1)。对于物种累积速率和累积物种丰富度也均随放牧强度的增加而降低(图1A),且不同放牧季节,均表现为8月最高(图1B)。双因素方差分析的结果进一步表明,物种丰富度与季节( $F=5.561, P<0.005$ )和放牧压力( $F=5.446, P<0.001$ )均呈极显著相关(表3)。

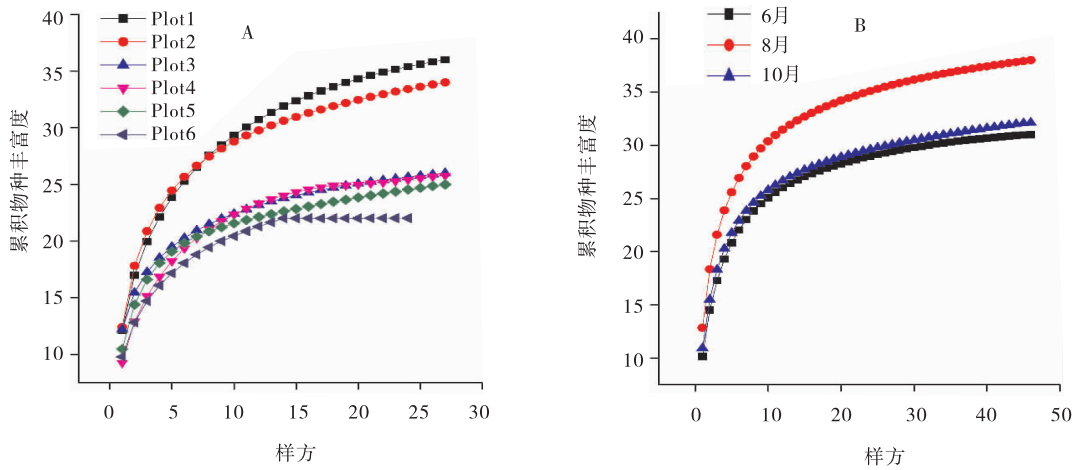


图 1 不同放牧强度(A)和季节(B)下的物种累积曲线

Fig. 1 Species accumulation curves across grazing intensity(A) and season(B)

表 4 放牧强度和季节对物种丰富度的双因素方差分析

Table 4 Two-way ANOVA between grazing intensity and season to species richness

方差来源	自由度	均方	F	Sig.
放牧季节	2	33.509	5.561	0.005
放牧压力	5	32.814	5.446	0.000
放牧年份 * 放牧压力	10	11.859	1.968	0.043
误差	118	6.026		

## 2.3 植物群落对放牧干扰的响应

2.3.1 放牧强度和季节与植物科水平的关系 以科为单位对植物进行分类和排序,对研究中与物种重要值有极显著影响的放牧季节和放牧强度,进行逐一分析,计算物种与两环境因子的多重回归系数,进一步确定单一放牧因子对植物种群的影响。对放牧季节进行分析(图 2A),可知毛茛科(Scrophulariaceae)、伞形科(Umbelliferae)、石竹科(Caryophyllaceae)和玄参科(Scrophulariaceae)与其无相关性;其余 11 科〔除报春花科(Primulaceae)〕与放牧季节显著正相关,且菊科(Asteraceae)、龙胆科(Gentianaceae)、牻牛儿苗科(Geraniaceae)与其相关性最高。对放牧强度进行分析(图 2B),车前草科(Plantaginaceae)、豆科(Leguminosae)、菊科和龙胆科与放牧强度无相关性;其余 10 科〔除报春花科、伞形科〕与放牧强度呈显著负相关。综上所述可知,放牧强度与季节显著影响植被的分布格局(图 2)。

2.3.2 功能群和生活型与放牧强度和季节的回归关系 研究区内植物种共有各丛生型 6 种、根茎型 5 种、莲座型 8 种、匍匐型 9 种、一年生 5 种、直立型 9 种;禾本科(Grasses)6 种、莎草科 3 种、豆科 3 种、菊科 10

种、杂类草 20 种。将调查植物的生活型和功能群与放牧季节和放牧强度进行回归分析,结果表明:对于植被生活型,莲座型植物随放牧强度的增大而增加,其余生活型植物均随放牧强度的增加而减少,其中以直立型和一年生植物的减少趋势最为明显。随放牧季节的更替,一年生植物逐渐减少,而其他生活型植物均增加,以丛生型植物的增长最为明显。对于植被功能群,豆科和菊科随放牧强度的增大而增加,其余功能群随放牧强度的增大而减少,以杂类草的减少最为明显。各功能群随放牧季节均呈增加趋势,禾本科的增长最为明显。随放牧强度的增加植被形成从一年生一直立型—(根茎型—匍匐型)—丛生型—莲座型的演替模式(图 3)。

## 3 讨论

放牧是一种对草地高度复杂的干扰方式,对草地植物群落既有直接作用又具间接作用<sup>[18]</sup>。放牧过程是一个在时间上长期连续的变化过程<sup>[6,19]</sup>。目前研究者多选择基本同质的草地群落类型按照放牧干扰空间的变化梯度,来替代时间系列变化的研究方法,以快速

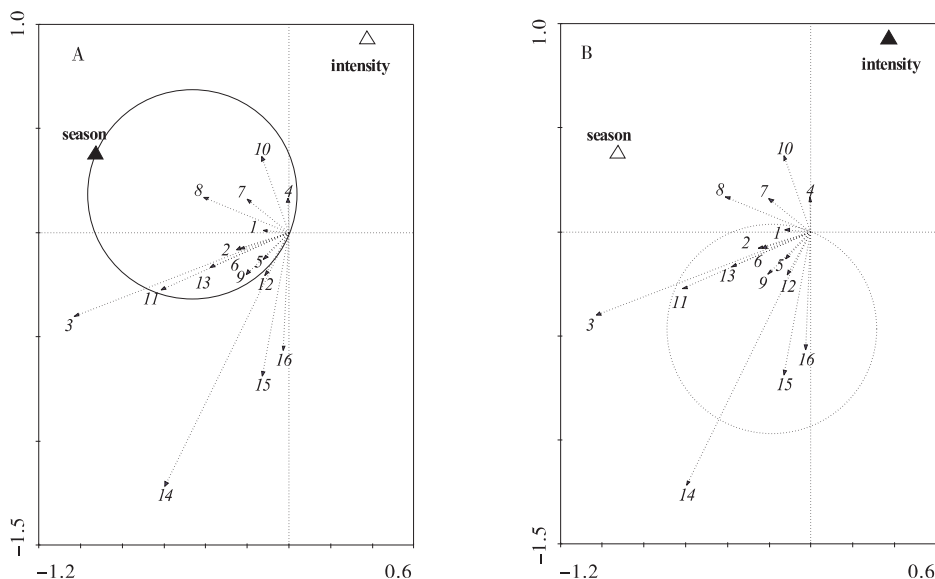


图 2 放牧季节(A)和放牧强度(B)对植物群落的 T-Value 检验双序图

Fig. 2 T-Value test result for grazing season and grazing intensity influencing species population

注:实线圈:正相关;虚线圈:负相关;1:禾本科 Poaceae;2:莎草科 Cyperaceae;3:报春花科 Primulaceae;4:车前草科 Plantaginaceae;5:葱科 Alliaceae;6:蝶形花科 Papilionaceae;7:豆科 Leguminosae;8:菊科 Asteraceae;9:蓼科 Polygonaceae;10:龙胆科 Gentianaceae;11:牻牛儿苗科 Geraniaceae;12:毛茛科 Ranunculaceae;13:蔷薇科 Rosaceae;14:伞形科 Umbelliferae;15:石竹科 Caryophyllaceae;16:玄参科 Scrophulariaceae.

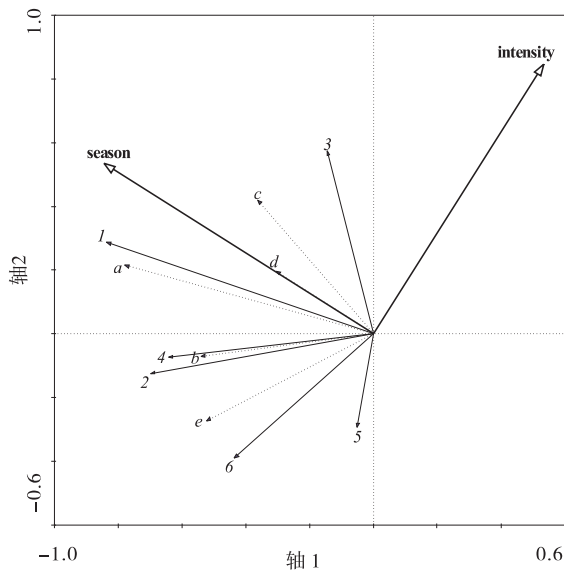


图 3 群落功能群和生活型与放牧季节和放牧强度的关系

Fig. 3 The relationship of functional group and life forms of community with the season and pressure of grazing

注:生活型:1:丛生型;2:根茎型;3:莲座型;4:匍匐型;5:一年生;6:直立型。功能群:a:禾本科;b:莎草科;c:豆科;d:菊科;e:杂类草。

地研究一定空间尺度上草地植物群落的放牧演替过程<sup>[20]</sup>。然而此方法只考虑了干扰的外在因素,未能将植物群落演替的内在动力,也就是说该植物群落随时间的动态变化予以考虑,群落物种重要值和物种丰富度被认为是客观反应植物群落物种组成变化的重要指标<sup>[15,21]</sup>。本研究主要以重要值和丰富度作为基础指标来反应放牧干扰下植物群落的动态变化,从研究结果看,不同放牧强度干扰下群落物种丰富度格局发生变化;随着放牧干扰的强度增加群落物种丰富度降低,其累积物种丰富度和物种累积速率也均降低。而在植被生长的旺盛期(8月),累积物种丰富度和物种累积速率最大。群落重要值随放牧强度的增加也在显著降低,但均在8月最高。本尺度研究结果未能支持“中度干扰假说”,原因一可能是“轻度”的干扰未包括在研究中,但本研究所设置最低梯度已远低于当地牧区的最低放牧水平<sup>[5,22]</sup>。原因二是中度干扰假说的适用与否本身有一定条件<sup>[5]</sup>,本研究结果是基于3个季节或6个放牧空间的整体分析,而不是单纯考虑某一时间或空间点的比较。Milchunas等<sup>[23]</sup>1988年就曾提出草地植物多样性与放牧强度的关系随湿润度和放牧演化史的梯度而变化(图4),并在随后的几十年里被研究

者广泛接受和证实。也可利用该理论对本研究结果进行解释,主要是因为本研究区也位于半干旱地区,且青藏高原的高寒草地已有几千年的放牧历史(长的放牧演化史)。在不同放牧强度干扰下,莎草科在群落中具有稳定的生态地位,而禾本科和杂类草易受外在干扰影响。双因素方差分析的结果表明:放牧季节和放牧强度对群落物种丰富度和物种重要值均造成极显著影响。放牧季节作为群落的一种内在干扰动力,属于植物群落自然变化过程的一部分<sup>[4]</sup>,与外在放牧强度一起,共同决定了群落的变化与演替过程。

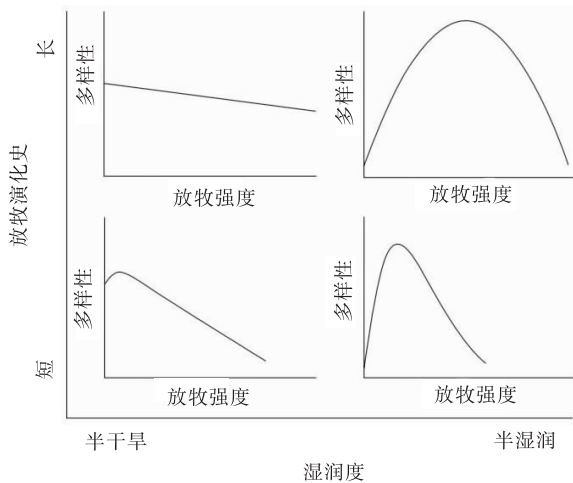


图4 草地植物多样性与放牧强度的关系随湿润度和放牧演化史梯度的变化

Fig. 4 The relationship between plant diversity of grassland communities and grazing intensity along gradients of moisture and evolutionary history of grazing

注:引自 Milchunas *et al.*<sup>[23]</sup>

植被生活型是植被对环境适应的外部表现形式,而功能群综合了具有相似结构或功能的物种<sup>[12-13]</sup>。群落水平上的生活型和功能分异是植被适应干扰的最主要方式<sup>[9,18]</sup>。本研究结果表明,不同科的植物与放牧季节和放牧强度均表现出程度不一的相关性。进一步分析植物功能群和生活型的变化,表明莲座型植物随放牧强度的增大而增加,植物群落随季节变动也发生显著变化,主要以丛生型和禾本科植物的快速生长为主,而本研究中丛生型植物均为禾本科植物。高寒草甸植被对放牧干扰的响应主要表现为外在形态的低矮化<sup>[9,24-25]</sup>,和出现菊科和龙胆科等有毒植物来主动抵抗放牧干扰可能造成的损害<sup>[8]</sup>。随放牧季节的更替,一年生植物逐渐减少;且随放牧强度的增加杂类草的降低趋势最为明显,说明阔叶类杂类草易受放牧干

扰的影响,而一年生植物选择快速萌发和缩短物候期来对放牧干扰做出积极响应。综上可知:高寒草甸植物在个体、种群、群落不同层次水平上,通过在时间尺度上缩短物候期和加快速萌发与生长,以及在空间尺度上的外形低矮化,和增加毒草等综合的策略来适应放牧干扰。且在放牧干扰下高寒草甸植物群落的演替变化主要因为群落内一年生和直立型植物的减少与丛生型和莲座型植物的增加,最终在季节驱动的内在变化与外在干扰下达到平衡。

## 4 结论

(1)放牧季节和放牧强度对群落物种重要值和丰富度均有极显著影响。

(2)物种丰富度(包括累积物种丰富度和物种累积速率)和物种重要值随放牧强度的增加而显著降低。

(3)放牧干扰改变了群落生活型和功能型组成,对一年生植物和杂类草影响最为明显。随放牧强度的增加,低矮的莲座型植物增加;随季节变化,丛生型禾本科植物的增长最为显著。

### 参考文献:

- [1] 谢高地,鲁春霞,肖玉,等. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估[J]. 山地学报,2003,21(1):50-55.
- [2] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [3] Limin Hua, Victor R. Squires, Managing China's pastoral lands: Current problems and future prospects[J]. Land Use Policy, 2015, 43:129-137.
- [4] 袁建立,江小蕾,黄文冰,等. 放牧季节及放牧强度对高寒草地植物多样性的影响[J]. 草业学报,2004,13(3):16-21.
- [5] 毛志宏,朱教君. 干扰对植物群落物种组成及多样性的影响[J]. 生态学报,2006,26(8):2695-2701.
- [6] Diaz S, Lavorel S, McIntyre S U E, *et al.* Plant trait responses to grazing—a global synthesis[J]. Global Change Biology, 2007, 13(2):313-341.
- [7] 李镇清,李金花. 放牧对草原植物的影响[J]. 草业学报, 2002,11(1):4-11.
- [8] 仁青吉,武高林,任国华. 放牧强度对青藏高原东部高寒草甸植物群落特征的影响[J]. 草业学报,2009,18(5):256-261.
- [9] 刘志民,赵晓英. 干扰与植被的关系[J]. 草业学报,2002, 11(4):1-9.
- [10] Hooper D U, Vitousek P M. The effects of plant compo-

- sition and diversity on ecosystem processes[J]. Science, 1997,277(5330):1302—1305.
- [11] 牛钰杰,杨思维,王贵珍,等.放牧作用下高寒草甸群落物种分布与土壤因子的关系[J].应用生态学报,2017,28(12):3891—3898.
- [12] 牛钰杰,杨思维,王贵珍,等.放牧干扰下高寒草甸物种、生活型和功能群多样性与生物量的关系[J].生态学报,2018,38(13):4733—4743.
- [13] 李建东.东北草原草本植物基本生活型的探讨[J].东北师大学报(自然科学版),1979(2):143—155.
- [14] Heltshe J F, Forrester N E. Estimating species richness using the jackknife procedure[J]. Biometrics, 1983, 39(1):1—11.
- [15] Colwell R K, Elsensohn J E. Estimate Sturns 20: statistical estimation of species richness and shared species from samples, with non-parametric extrapolation[J]. Ecography, 2014, 37(6).
- [16] Šmilauer P, Lepš J. Multivariate Analysis of Ecological Data Using Canoco 5[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [17] 赖江山.生态学多元数据排序分析软件 Canoco 5 介绍[J].生物多样性,2013,21(6):765—768.
- [18] 杨利民,李建东.草地群落放牧干扰梯度  $\beta$  多样性研究[J].应用生态学报,1999,10(4):442—446.
- [19] Klein J A, Harte J, Zhao X Q. Experimental warming, not grazing, decreases rangeland quality on the Tibetan Plateau[J]. Ecological Applications, 2007, 17(2):541—557.
- [20] 杨利民,韩梅,李建东.中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化[J].植物生态学报,2001,25(1):110—114.
- [21] 牛钰杰,杨思维,王贵珍,等.放牧干扰下高寒草甸物种多样性指数评价与选择[J].应用生态学报,2017,28(6):1824—1832.
- [22] 杜岩功,梁东营,曹广民,等.放牧强度对高草草甸草毡表层及草地营养和水分利用影响[J].草业学报,2008,17(3):146—150.
- [23] Milchunas D G, Sala O E, Lauenroth W K. A Generalized Model of the Effects of Grazing by Large Herbivores on Grassland Community Structure[J]. The American Naturalist, 1988, 132(1):87—106.
- [24] 牛钰杰,杨思维,王贵珍,等.放牧强度对高寒草甸土壤理化性状和植物功能群的影响[J].生态学报,2018,38(14):5006—5016.
- [25] 汪诗平.草原植物的放牧抗性[J].应用生态学报,2004,15(3):517—522.

## Effects of grazing intensity on plant community composition in alpine meadow with seasonal changes

NIU Yu-jie<sup>1</sup>, YANG Si-wei<sup>1,2</sup>, HUA Li-min<sup>1</sup>

(1. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 2. Sichuan Academy of Grassland Science, Chengdu 611733, China)

**Abstract:** Grazing is the most important factor of disturbance to rangeland. The grazing intensity has a differential effect on plant community of rangeland. Season is another factor that driving the annual changes in plant communities because it integrates the effect of temperature and rainfall on plants. However, the factor is often neglected by researchers to study the effect of grazing disturbance to rangeland ecosystem. To clarify the effects of grazing intensity with seasonal variation on plant species richness, important value, life type and function group of plants in rangeland. We selected the alpine meadow located in the northeast edge of Tibetan Plat-

eau as the study area, and set up six research plots with different grazing intensity. Based on the data of species richness and the importance of the species on the plant community, and setting the season as an independent factor, the composition changes of the plant community under the dual effects of grazing intensities and seasons were analyzed by two-way ANOVA, species accumulation curve and redundancy analysis. The results showed that grazing intensity and season had significant effects on species richness and importance ( $P < 0.01$ ). Both species richness and important values decreased significantly with the increase of grazing intensity ( $P < 0.01$ ), and both showed the highest values in August with seasonal changes ( $P < 0.05$ ). Further redundancy analysis results showed that with the increase of grazing intensity, rosettes plants increased, and the succession pattern of plant community mainly because of the developing from annual to rosette plants. In conclusion, the composition of plant community on alpine meadow changed significantly under the disturbance of grazing, but the community showed positive adaptation at both the functional group and the life-type level, mainly with the increase of rosette plants. In addition, no matter the grazing intensity, with the change of seasons, the growth of bunch type-grass plants is the most significant. Finally, the species composition of plant community in alpine meadow increases differentiation under the combined action of grazing intensity and seasonal variation.

**Key words:** alpine meadow, grazing intensity, functional group, life form

## 致谢本刊审稿专家

时光荏苒,白驹过隙,2020年渐行渐远。新春岁首,万物呈祥,2021年悄然而至。

2020年,《草原与草坪》承蒙以下审稿专家认真审阅稿件,付出辛勤工作,使刊物的学术质量和影响力又上了一个新台阶,在中国知网正式公布的每个学科期刊影响力分区中,《草原与草坪》首次进入Q1区,收录为中国科技核心期刊。在此,编辑部向为我刊审理稿件的专家致以诚挚的谢意,感谢您愿意挤出宝贵的时间,对我们的稿件给予悉心指导!祝各位审稿专家在新的一年里身体安康,万事如意!

为本刊审稿的专家如下(按拼音排序):

毕玉芬	蔡立群	曹文侠	柴继宽	柴琦	陈英	程文仕	杜文华
杜自强	樊志龙	方强恩	高凯	郝媛媛	贺春贵	胡发龙	胡桂馨
焦婷	寇江涛	李纯斌	李建宏	李胜	李玉珠	李辛	李雪萍
李亚娟	李臻	梁巧兰	梁天刚	蔺吉祥	刘发央	刘欢	刘晓娟
柳富治	柳小妮	罗珠珠	马维伟	孟亚雄	苗佳敏	南丽丽	年芳
牛奎举	牛钰杰	蒲陆梅	蒲小鹏	祁娟	钱秀娟	任正超	司怀军
师尚礼	宋桂龙	苏军虎	唐庄生	王森山	汪玺	武季玲	吴静
吴润	谢军红	徐秉良	薛应钰	杨成德	杨宝生	杨林娟	杨顺义
姚拓	殷文	于应文	鱼小军	贲建民	张勃	张德罡	张富
张金文	张丽华	张恩和	张仁陟	张树武	张咏梅	张振粉	赵春旭
赵祥							