

牦牛放牧强度对小嵩草草甸两季轮牧草场植物群落数量特征的影响*

董全民^{1**} 赵新全² 马玉寿¹ 施建军¹ 王彦龙¹ 李世雄¹ 杨时海¹ 盛丽¹

(¹青海省畜牧兽医科学院,西宁 810016; ²中国科学院西北高原生物研究所,西宁 810001)

摘要 基于小嵩草(*Kobresia parva*)草甸连续2年的牦牛放牧控制试验,研究了暖季和冷季放牧草场植物群落数量特征的变化。结果表明:在2年的放牧期内,小嵩草草甸2季草场优良牧草的盖度随放牧强度的提高呈降低趋势,而杂草的盖度呈增加趋势;2季草场对照、轻度放牧和中度放牧组的优势种均为小嵩草和垂穗披碱草,但暖季草场重度放牧下主要优势种变为鹅绒委陵菜和阿拉善马先蒿,冷季草场重度放牧下小嵩草和鹅绒委陵菜为主要优势种;放牧强度之间的差异越大,2季草场各放牧处理间群落的相似性程度越低,说明放牧强度是引起群落差异的主要原因,也是群落变化的主导因子。2季草场各放牧处理的物种丰富度、多样性指数、均匀度指数在对照组最低,中度放牧组最高,其指数排序为:对照<轻度放牧<重度放牧<中度放牧,这一结果支持“中度干扰理论”。

关键词 放牧强度; 盖度; 优势度; 相似性系数; 多样性指数

中图分类号 S812 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2011)10-2233-07

Effects of yak grazing intensity on quantitative characteristics of plant community in a two-seasonal rotation pasture in *Kobresia Parva* meadow. DONG Quan-min¹, ZHAO Xin-quan², MA Yu-shou¹, SHI Jian-jun¹, WANG Yan-long¹, LI Shi-xiong¹, YANG Shi-hai¹, SHENG Li¹ (¹Qinghai Academy of Animal and Veterinary Sciences, Xining 810016, China; ²Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810001, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2011, **30**(10): 2233–2239.

Abstract: A two-year yak grazing trial was conducted in a two-seasonal grazing pasture in *Kobresia parva* meadow to study the variations of the quantitative characteristics of plant community in the pasture in warm season and cold season. Within the grazing periods of the two years, the coverage of high quality forage in the pasture decreased with increasing grazing intensity, while the coverage of weeds had an increasing trend. The dominant plant species under no grazing, light grazing, and moderate grazing in both warm and cold seasons were *K. parva* and *Elymus nutans*; whereas the dominant species under heavy grazing were *Potentilla anserine* and *Pedicularis alaschanica* in warm season, and *K. parva* and *P. anserine* in cold season. The larger the difference in grazing intensity, the lower the similarity of the community in the two seasons, indicating that grazing was the major factor leading to the difference in the community, and the predominant factor inducing the community change. The species richness, diversity index, and evenness index of the plant community in warm and cold seasons were all the lowest under no grazing, and the highest under moderate grazing, with the order of no grazing < light grazing < heavy grazing < moderate grazing, which supported the ‘hypothesis of medium disturbance’.

Key words: grazing intensity; coverage; dominance; similarity coefficient; diversity index.

* 国家“十一五”科技支撑计划重大项目(2006BAC01A-02)、国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAC30B04、2009BAC61B02)、国家自然科学基金项目(30960074)和青海省科技厅重点项目(2009-N-502)资助。

** 通讯作者 E-mail: dqm850@sina.com

收稿日期: 2011-03-01 接受日期: 2011-07-06

不同放牧条件下草地植被的动态研究,一直是发展生态演替理论的有效途径。影响草地植物群落的主要放牧因素有放牧强度、放牧制度、放牧频率和放牧季节家畜对植物的选择性采食(王德利等,1996;彭祺等2004;蒙旭辉等2009)。群落植物多样性是群落结构复杂性和稳定性的条件之一,放牧利用会引起草地物理环境的变化,草地植物生长发育受到干扰,群落多样性变化(董全民等,2005a,2005c;王明君等2010)。放牧强度对植物群落组成和生物多样性也有很大影响,随放牧强度的增加,一些适口性高、中生性强、不耐牧的种类减少,而那些适口性差、耐牧的种类增多(夏景新,1993;董全民等2005b,2006a,2006b);许多研究表明,适度放牧对草地群落物种多样性的影响符合“中度干扰理论”,即中度放牧能维持高的物种多样性(Sousa,1984;李永宏,1993;Foster & Gross,1998;段敏杰等,2010)。然而,天然草地在不同强度的放牧干扰下,植物生态适应对策是多样的,这种多样性是由植物自身生物生态学特性决定的(Hart,2000;Humphrey & Patterson,2000;韩国栋等,2007)。因此,本试验旨在研究牦牛放牧强度和放牧制度对小嵩草草甸2季草场植物类群数量特征的影响,为高寒草甸草场的合理利用和退化草地治理和恢复提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地自然概况

试验地选在青海省达日县窝赛乡($99^{\circ}47'38''$
 N , $33^{\circ}37'21''E$),海拔在4000 m以上,气候寒冷,年均气温 $-1.2^{\circ}C$,最冷月1月的平均气温 $-12.9^{\circ}C$,最热月7月的平均气温 $9.1^{\circ}C$, $\geq 0^{\circ}C$ 的积温为1081 °C, $\geq 5^{\circ}C$ 的积温为714.9 °C,生长季为4个月左右,无绝对无霜期。年均降雨量569 mm,多集中在5—9月,年蒸发量1119.07 mm,雨热同季,有利于牧草生长。土壤为高山草甸土,草地为已发生退化的小嵩草(*Kobresia parva*)高寒草甸,它与高寒草甸群落相联,其基本成土过程是生草过程,并以剖面上部植物根系絮结形成致密草皮为其主要特征。

1.2 试验设计

试验时间为1998年6月28日—2000年5月30日。夏季放牧从6月1日—10月31日,然后转入冬季草场放牧至第2年5月31日,周而复始。试验分4个处理,分别是轻度放牧(牧草利用率为30%)、中度放牧(牧草利用率为50%)、重度放牧

表1 放牧强度试验设计

Table 1 Design of grazing trial

| 放牧 处理 | 试验用牛 (头) | 草地面积(hm^2) | | 放牧强度(头· hm^{-2}) | |
|----------|-------------|----------------|------|---------------------|------|
| | | 夏季 | 冬季 | 夏季 | 冬季 |
| 轻度 | 4 | 4.50 | 5.19 | 0.89 | 0.77 |
| 中度 | 4 | 2.75 | 3.09 | 1.45 | 1.29 |
| 重度 | 4 | 1.92 | 2.21 | 2.08 | 1.81 |
| 对照 | 0 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0 |

(牧草利用率为70%)和对照(牧草利用率为0)。每个处理有4头2.5岁、体重为 $100 kg \pm 5 kg$ 阉割过的公牦牛进行实验,所有牦牛在实验前投药驱虫。根据草场上生物量及其冬季牧草营养的损失率、牦牛的理论采食量和草场面积确定放牧强度(表1)。

1.3 取样方法

在每个处理的围栏内按对角线选定3个具有代表性的固定样点,每月下旬在每个固定样点上取5个重复样方($0.5 m \times 0.5 m$)测定植被的地上生物量,按莎草、禾草、可食杂草和毒杂草分类称其鲜重后在 $80^{\circ}C$ 的恒温箱烘干至恒重;每年8月下旬在每个样点上各取5个重复样方($0.5 m \times 0.5 m$),并将它分成4个小样方($0.25 m \times 0.25 m$)测定植被群落的种类组成及其特征值(盖度、高度、频度和生物量)。

1.4 计算公式

$$\text{优势度}(SDR) = (\text{相对盖度} + \text{相对高度} + \text{相对频度} + \text{相对生物量}) / 4$$

物种丰富度(species richness)采用物种数S

$$\text{物种多样性(species diversity)} \text{采用 Shannon 指数}(H) : H = - \sum P_i \ln P_i$$

物种均匀度采用Pielou指数(J): $J = H / \ln S$

$$\text{优势度指数采用 Berger-Parker 优势度指数}(I) : I = N_{\max} / N$$

式中:S为样方中的物种数; P_i 为样方中第*i*种的生物量占总生物量的比例; N_{\max} 为群落中最大种的生物量; N 为群落的总生物量。

相似性系数的计算公式为: $S_m = 2 \sum \min$

$$(U_{i(m)}, V_i) / \sum (U_{i(m)} + V_i), \text{式中}, S_m \text{为相似性系数 } U_{i(m)} \text{为放牧处理间植物丰富度}, V_i \text{为对照区植物丰富度}, i \text{为在放牧下植物类群 } i (i=1, 2, 3, 4), \text{取其在 } m \text{ 放牧区的生物量 } (m=3, \text{作为丰富度指标}), U_{i(m)} \text{ 与对照区生物量 } V_i \text{ 的最小值, 对类群求之和并除以 2 区植物总生物量, 从而获得相似性系数 } S_m.$$

可以看出, $U_{i(m)}$ 与 V_i 的最小值和两组植物群落的丰富度 ($\sum U_{i(m)}$, $\sum V_i$) 决定了 S_m 的大小。显然, $0 \leq S_m \leq 1$ 。当 m 放牧区的植物群落与对照组相同时, $S_m = 1$, 即没有变化。若 $S_m = 0$, 则表明该组植物群落与对照相比, 在组成和丰富度两方面完全改变了。因此, S_m 值下降表示群落相对变化增大, 反之, 变化则减小。

2 结果与分析

2.1 2 季草场不同植物类群盖度的变化

从表 2 可以看出, 在 2 年的放牧期内, 随着放牧强度的提高(从对照至重度放牧)暖季和冷季放牧草场优良牧草的盖度呈降低趋势, 而杂类草的盖度均呈增加趋势。这主要是因为在夏季草场, 牦牛放牧时正处于牧草生长期, 轻度放牧牧草充足, 牦牛对杂草和毒杂草基本不采食, 同杂草受禾草和莎草的抑制而生长缓慢; 而中度放牧和重度放牧, 特别是重度放牧, 牦牛对适口性比较好的优良牧草(禾草和莎草)的采食比较完全, 杂草受禾草和莎草的抑制作用也相对减弱, 组分冗余更加突出, 不仅表现为杂草的盖度增加, 亦表现为冗余植物(杂草和毒杂草)绝对产量的增加, 它们进一步竞争到了更多的阳光和土壤养分, 使禾草和莎草的生产受到了更为严重的胁迫(资源亏损胁迫), 导致植物群落结构和组成发生变化, 草地出现退化迹象(张荣和杜国祯, 1998; 董全民等, 2004a, 2006a)。在冷季草场, 一方面由于牧草自身的生理特性和耐牧性不同, 导致在牧草生长季不同植物类群在相互竞争中处于非平等状态, 尤其在重牧情况下, 杂草植物的比例就会上升, 形成组分冗余; 另一方面家畜优先选择适口性较好的牧草, 这对牧草的生长和盖度也有一定的影响(张荣和杜国祯, 1998; 董全民等, 2004a, 2004b)。

表 2 两季草场不同植物类群的盖度变化(%)

Table 2 Changes of coverage of different plant groups in two-season pasture

| 放牧 | 处理 | 第 1 年 | | 第 2 年 | |
|----|----|----------|----------|----------|----------|
| | | 优良牧草 | 杂草 | 优良牧草 | 杂草 |
| 暖季 | 对照 | 62.4±6.1 | 27.7±2.1 | 68.9±3.9 | 25.6±6.1 |
| | 轻度 | 62.5±5.1 | 33.7±1.9 | 64.4±3.5 | 31.0±3.8 |
| | 中度 | 51.9±6.5 | 35.3±3.1 | 53.0±3.8 | 43.0±6.0 |
| | 重度 | 42.7±5.7 | 37.5±2.8 | 40.3±7.0 | 52.7±5.4 |
| 冷季 | 对照 | 63.6±8.0 | 43.2±6.0 | 71.5±9.7 | 32.6±2.9 |
| | 轻度 | 62.3±6.9 | 35.4±3.9 | 66.5±8.4 | 32.5±4.1 |
| | 中度 | 59.4±6.4 | 34.7±2.9 | 63.0±6.1 | 34.6±6.0 |
| | 重度 | 58.1±6.1 | 34.6±5.1 | 60.5±3.9 | 37.5±2.1 |

数据为平均值±标准差。

2.2 2 季草场植物群落物种组成及其优势度的变化

优势种植物的变化是衡量草地状况的有效方法, 表现在优势种和次优势种植物的替代及伴生种的不同。经过 2 年的放牧, 不同放牧强度下 2 季草场 20 种植物的优势度存在一定差异(表 3、表 4)。在对照、轻度放牧和中度放牧下, 暖季草场中小嵩草和垂穗披碱草为优势种, 重度放牧下鹅绒委陵菜和阿拉善马先蒿为主要优势种; 对照组次优势种(按优势度大小顺序)依次为青海野青茅、矮嵩草和鹅绒委陵菜, 轻度放牧下依次为矮嵩草、鹅绒委陵菜和落草, 中度放牧下依次为鹅绒委陵菜、矮嵩草和甘肃马先蒿, 重度放牧下依次为小嵩草、黄帚橐吾、甘肃马先蒿和矮嵩草。在冷季草场, 在对照、轻度放牧和中度放牧组的优势种和暖季草场相同, 为小嵩草和垂穗披碱草, 重度放牧下, 小嵩草和鹅绒委陵菜为主要优势种; 对照组次优势种(按优势度大小顺序)依次为高原早熟禾、紫羊茅和青海野青茅, 轻度放牧下依次为高原早熟禾、紫羊茅和落草, 中度放牧下依次为高原早熟禾、鹅绒委陵菜和落草, 重度放牧下依次为垂穗披碱草、高原早熟禾和柔软紫菀。经过 2 年的放牧, 2 季草场对照、轻度和中度放牧组的主要优势种没有变化, 重度放牧组的优势种均发生了变化, 暖季草场重度放牧组的优势种被鹅绒委陵菜和阿拉善马先蒿所代替, 且各处理组的次优势种均有矮嵩草, 同时除了重度放牧组, 鹅绒委陵菜也为其他处理组所共有; 冷季草场重度放牧组的优势种垂穗披碱草被鹅绒委陵菜所代替, 各处理组的次优势种均有高原早熟禾, 除了对照组, 落草也为其他处理组所共有。这说明矮嵩草为小嵩草草甸暖季草场过牧危害下的过渡植物, 垂穗披碱草、高原早熟禾和落草为小嵩草草甸暖季草场过牧危害下的过渡植物, 如果持

表3 小嵩草草甸暖季草场主要植物种群的优势度

Table 3 Dominance of major plant populations in an alpine *Kobresia parva* meadow warm-season pastureland

| 植物名 | 对照 | 轻度放牧 | 中度放牧 | 重度放牧 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 小嵩草 <i>Kobresia parva</i> | 0.310 | 0.281 | 0.211 | 0.172 |
| 垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i> | 0.200 | 0.170 | 0.111 | 0.040 |
| 青海野青茅 <i>Deyeuxia kokonorica</i> | 0.062 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i> | 0.033 | 0.061 | 0.091 | 0.110 |
| 鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserine</i> | 0.032 | 0.051 | 0.102 | 0.230 |
| 洽草 <i>Koeleria cristata</i> | 0.020 | 0.030 | 0.028 | 0.032 |
| 紫羊茅 <i>Festuca rubra</i> | 0.020 | 0.016 | 0.010 | 0.030 |
| 线叶嵩草 <i>Kobresia capillifolia</i> | 0.019 | 0.022 | 0.032 | 0.032 |
| 黑褐苔草 <i>Carex atrofusca</i> | 0.019 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 针茅 <i>Stipa purpurea</i> | 0.018 | 0.010 | 0.012 | 0.011 |
| 异针茅 <i>Stipa aliena</i> | 0.018 | 0.010 | 0.018 | 0.010 |
| 麻花艽 <i>Geatiana straminea</i> | 0.018 | 0.010 | 0.010 | 0.021 |
| 双叉细柄茅 <i>Ptilagrostis dichotoma</i> | 0.016 | 0.012 | 0.017 | 0.018 |
| 双柱头藨草 <i>Scirpus distigmatum</i> | 0.015 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 长叶毛茛 <i>Ranunculus amurensis</i> | 0.015 | 0.010 | 0.018 | 0.019 |
| 青海苔草 <i>Carex ivanavoe</i> | 0.011 | 0.010 | 0.010 | 0.014 |
| 黄帚橐吾 <i>Ligularia virgaurea</i> | 0.010 | 0.020 | 0.030 | 0.110 |
| 藏嵩草 <i>Kobresia Tibetan</i> | - | 0.018 | 0.019 | 0.020 |
| 甘肃马先蒿 <i>Pedicularis kansuensis</i> | - | 0.010 | 0.042 | 0.110 |
| 阿拉善马先蒿 <i>Pedicularis alaschanica</i> | - | 0.010 | 0.022 | 0.201 |

表4 小嵩草草甸冷季草场主要植物种群的优势度的变化

Table 4 Dominance of major plant populations in an alpine *Kobresia parva* meadow cold-season pastureland

| 植物名 | 对照 | 轻度放牧 | 中度放牧 | 重度放牧 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 小嵩草 <i>Kobresia parva</i> | 0.102 | 0.093 | 0.089 | 0.088 |
| 垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i> | 0.087 | 0.083 | 0.083 | 0.066 |
| 高原早熟禾 <i>Poa alpigena</i> | 0.082 | 0.077 | 0.079 | 0.060 |
| 紫羊茅 <i>Festuca rubra</i> | 0.061 | 0.055 | 0.046 | 0.036 |
| 青海野青茅 <i>Deyeuxia kokonorica</i> | 0.054 | 0.032 | 0.009 | - |
| 洽草 <i>Koeleria cristata</i> | 0.046 | 0.040 | 0.048 | 0.035 |
| 青海苔草 <i>Carex ivanavoe</i> | 0.033 | 0.033 | 0.042 | 0.021 |
| 矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i> | 0.029 | 0.026 | 0.025 | 0.022 |
| 藏嵩草 <i>Kobresia Tibetan</i> | 0.028 | 0.028 | 0.027 | 0.041 |
| 双柱头藨草 <i>Scirpus distigmatum</i> | 0.024 | 0.027 | 0.032 | 0.030 |
| 黑褐苔草 <i>Carex atrofusca</i> | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.019 |
| 线叶嵩草 <i>Kobresia capillifolia</i> | 0.023 | 0.020 | 0.023 | 0.019 |
| 鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserine</i> | 0.021 | 0.035 | 0.049 | 0.071 |
| 高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i> | 0.021 | 0.020 | 0.025 | 0.028 |
| 雪白委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i> | 0.018 | 0.022 | 0.029 | 0.041 |
| 钝叶银莲花 <i>Anemone obtusiloba</i> | 0.017 | 0.020 | 0.025 | 0.032 |
| 高山紫菀 <i>Aster alpinus</i> | 0.016 | 0.023 | 0.026 | 0.034 |
| 矮火绒草 <i>Leontopodium nanum</i> | 0.015 | 0.021 | 0.024 | 0.033 |
| 黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i> | 0.010 | 0.014 | 0.020 | 0.029 |
| 柔软紫菀 <i>Aster flaccidus</i> | - | - | 0.022 | 0.042 |

续过度放牧，矮嵩草、垂穗披碱草进一步被鹅绒委陵菜等匍匐茎杂类草和早熟禾等禾本科植物所代替，这些杂类草无性繁殖能力很强，侵占了大面积生境，而禾草和莎草只是偶尔出现，草场出现严重退化（周华坤等 2003；董全民等 2006b）。

2.3 群落相似性系数的变化

2季草场不同放牧强度下植物群落相似性系数的变化见表5和表6。放牧第1年不同放牧处理组与对照组的群落相似性系数高于第2年，说明各放牧处理随着时间的延续，其植物类群差异增大。2

季草场不同放牧处理组两年的相似性系数变化(与对照相比)为: 轻度放牧组>中度放牧组>重度放牧组。表明轻度放牧与对照植物类群差异较小, 而与重度放牧差异较大。暖季草场各放牧处理间相似性系数的变化为: 轻度放牧与中度放牧>中度放牧与重度放牧>轻度放牧与重度放牧, 其植物类群间差异大小与此相反, 即放牧强度之间的差异越大, 群落之间的相似性越低, 这也说明放牧强度是引起群落差异的主要原因, 也是群落变化的主导因子(周立等, 1995; 董全民等, 2005a)。冷季草场各放牧处理间的相似性系数的变化次序为: 轻度放牧与中度放牧>轻度放牧与重度放牧>中度放牧与重度放牧, 也即轻度放牧组与中度放牧组之间的群落差异最小, 轻度放牧组与重度放牧组之间的群落差异居中, 而中度放牧组与重度放牧组之间的群落差异最大。这是因为冬季草场放牧牦牛时牧草处于枯黄期, 牦牛采食对植物群落的影响没有夏季放牧那么直接, 因而冬季牧对放植物群落的影响更体现出放牧的“滞后效应”, 要观察冬季草场植物群落对放牧强度的响应, 需要更长时间的观察和研究(周立等, 1995;

表5 不同放牧强度下暖季草场群落相似性系数的变化
Table 5 Changes for similarity coefficients of plant communities under different grazing intensity in warm-seasonal pasture

| 放牧处理 | 年度 | 轻度放牧 | 中度放牧 | 重度放牧 | 对照 |
|------|-----|-------|-------|-------|----|
| 轻度 | 第1年 | 1 | | | |
| | 第2年 | 1 | | | |
| 中度 | 第1年 | 0.909 | 1 | | |
| | 第2年 | 0.905 | 1 | | |
| 重度 | 第1年 | 0.791 | 0.856 | 1 | |
| | 第2年 | 0.729 | 0.861 | 1 | |
| 对照 | 第1年 | 0.880 | 0.799 | 0.750 | 1 |
| | 第2年 | 0.865 | 0.760 | 0.611 | 1 |

表6 不同放牧强度下冷季草场群落相似性系数的变化
Table 6 Changes for similarity coefficients of plant communities under different grazing intensity in cold-seasonal pasture

| 放牧处理 | 年度 | 轻度放牧 | 中度放牧 | 重度放牧 | 对照 |
|------|-----|-------|-------|-------|----|
| 轻度 | 第1年 | 1 | | | |
| | 第2年 | 1 | | | |
| 中度 | 第1年 | 0.926 | 1 | | |
| | 第2年 | 0.903 | 1 | | |
| 重度 | 第1年 | 0.860 | 0.859 | 1 | |
| | 第2年 | 0.868 | 0.723 | 1 | |
| 对照 | 第1年 | 0.901 | 0.870 | 0.779 | 1 |
| | 第2年 | 0.899 | 0.849 | 0.702 | 1 |

董全民等, 2006b)。

2.4 2季草场植物群落物种多样性的变化

由表7可见, 经过两年的放牧, 2季草场各处理组的物种丰富度、多样性指数、均匀度指数在对照组最低, 中度放牧组最高, 其指数排序为: 对照<轻度放牧<重度放牧<中度放牧, 这一结果支持“中度干扰理论”; 优势度反映的趋势与多样性指数和均匀度指数相反, 其排序为: 对照>轻度放牧>重度放牧>中度放牧。多样性指数(H)是物种水平上多样性和异质性程度的度量, 能综合反映群落物种丰富度和均匀度的总和(汪诗平等, 2001; 江小蕾等, 2003; 岳东霞等, 2004), 因此优势度必然与物种丰富度和均匀度的度量结果有一定程度的差异多样性, 但本试验中它们总的变化趋势是一致的。回归分析表明, 两季草场放牧强度与物种丰富度、多样性指数、均匀度指数均呈显著的二次相关关系($P < 0.05$)。这一结论可以用张荣和杜国祯(1998)的“内禀冗余”原理得到很好的解释。因为构成内禀冗余的植物(毒杂草)虽不能被牦牛所采食, 但一些植物可被其他动物所利用, 这对草地群落的生物多样性和均匀度有重要作用。由于内禀冗余的存在, 当可食植物群落在放牧强度加重的情况下, 补偿和超补偿作用加强, 就会增加种群数量和生物量, 补偿放牧强度过高, 下群落的功能降低(张荣和杜国祯, 1998; 董全民等, 2004b, 2005a)。这说明内禀冗余是有条件的, 在高寒草甸冬季草场, 当放牧强度增加到一定程度时, 内禀冗余对草地植物群落多样性指数、均匀度指数和植物群落组成种的种数的维持和调节作用减弱, 组分冗余作用加强, 植物群落的结构发生变化, 稳定性下降。

表7 不同放牧强度下两季草场植物群落多样性指数和均匀度指数的变化

Table 7 Changes of diversity index and evenness index for plant communities on two-season pasture under different grazing intensity

| 放牧草场 | 放牧处理 | 种数 | 多样性指数 | 均匀度指数 | 优势度指数 |
|------|------|----|-------|-------|-------|
| 暖季 | 对照 | 37 | 1.901 | 3.611 | 0.789 |
| | 轻度 | 44 | 2.284 | 3.784 | 0.667 |
| | 中度 | 54 | 2.462 | 3.989 | 0.571 |
| | 重度 | 47 | 2.061 | 3.850 | 0.559 |
| 冷季 | 对照 | 46 | 4.909 | 1.282 | 0.866 |
| | 轻度 | 48 | 5.289 | 1.366 | 0.749 |
| | 中度 | 60 | 6.342 | 1.549 | 0.601 |
| | 重度 | 57 | 5.270 | 1.303 | 0.402 |

3 讨 论

群落的物种丰富度及多样性是群落的重要特征 放牧及其他干扰对群落结构影响的研究都离不开物种多样性问题(李永宏 ,1993; 汪诗平等 2001; 董全民等 2005b)。 α 多样性是对一个群落内物种分布的数量和均匀程度的测量指标 ,是生物群落在组成、结构、功能和动态方面表现出的差异 ,反映各物种对环境的适应能力和对资源的利用能力(汪诗平 2001; 杨利民等 2001; 江小蕾等 2003)。物种丰富度指数表明群落中物种的多少 ,均匀度反映各群落中物种分布的均匀程度。本研究表明 ,放牧期内随着放牧强度的提高(从对照至重度放牧) 2 季草场优良牧草的盖度呈降低趋势 ,杂草的盖度有的增加趋势 ,这与周兴民等(1987)、王启基等(1995) 和刘伟等 (1999) 在高寒矮嵩草草甸、董全民等 (2004a 2004b 2005a) 在高寒小嵩草草甸的放牧研究结果一致 ,也和王玉辉等 (2002) 在羊草草原、段敏杰等 (2010) 在紫花针茅高寒草原的试验结果相符。本试验两季草场对照、轻度放牧和中度放牧组的优势种均为小嵩草和垂穗披碱草 ,但暖季草场重度放牧下主要优势种变为鹅绒委陵菜和阿拉善马先蒿 ,冷季草场重度放牧下小嵩草和鹅绒委陵菜为主要优势种 ,而且 2 季草场各处理组的次优势种也不尽相同 这说明放牧会使草地植物群落发生生态替代作用 不仅反映为草地植物种类组成发生变化 导致群落结构和功能的差异 (白永飞等 2000)。

放牧造成草地植物群落多样性发生变化 ,但不同放牧强度对植物多样性的影响程度不同。本试验两季草场各处理组的物种丰富度、多样性指数、均匀度指数在对照组最低 ,中度放牧组最高 其指数排序为: 对照<轻度放牧<重度放牧<中度放牧 ,这一结果支持“中度干扰理论”(Connell ,1978) ,即干扰对资源和环境异质性的作用表现为非线性 ,适中水平的干扰增加物种多样性 ,而超过一定阈值的干扰又会降低物种多样性。这与汪诗平等 (2001) 在内蒙古冷蒿草原、董全民等 (2005b) 在小嵩草高寒草甸、杨殿林等 (2006) 在贝加尔针茅草原、段敏杰等 (2010) 藏北紫花针茅高寒草原植以及王明君等 (2010) 在内蒙古羊草草原上的研究结果一致 ,即中度放牧能维持高的物种多样性。然而 ,有些研究表明 植物种的多样性随放牧强度的提高而升高 (刘伟等 ,1999; 江小蕾等 2003; Hickman *et al.* 2004) ,但朱绍宏等

(2006) 在高寒草原的牦牛放牧试验表明 ,随着放牧强度的增强 群落物种的多样性、丰富度、均匀度均有所降低。说明天然草地在不同强度的放牧干扰下 植物生态适应对策是多样的。这种多样性是由植物自身生物生态学特性决定的 (Hart 2000; Humphrey & Patterson 2000) 。天然草地群落正是由于多样的植物生态适应对策 ,对放牧干扰产生明显的缓冲作用 表现为一定范围内的草地群落抗干扰能力和系统稳定性 (杨殿林等 2006) 。

相似性系数与多样性指数是反映群落组成的两个重要参数。相似性系数的大小可以说明群落组成的差异水平 ,是评价生态系统结构和功能复杂性以及生态异质性的重要参数。本试验中 ,随着放牧强度的提高 群落中不耐牧的植物种的重要值下降 ,而耐牧型植物种的数量和比例都有所增加 ,导致植物群落之间的相似程度降低。各放牧区与对照区植物群落的相似性系数与放牧强度呈显著的负相关 ,说明各放牧处理组植物群落朝着远离对照群落的方向演替 ,这与董全民等 (2005b) 研究结果一致。然而 ,植物群落除了受放牧强度影响之外 ,还受气候变化的影响。对照区植物群落的年度变化体现了年度气候变化的影响。因此 ,以对照区植物群落为基准的相似性系数的年度变化 ,消除了年度气候变化的影响 ,完全是放牧的结果。

参考文献

- 白永飞,邢雪荣,许志信,等. 2000. 内蒙古高原针茅草原群落 β 多样性研究. 应用生态学报, 11(3): 408-412.
- 董全民,李青云,马玉寿,等. 2004a. 牦牛放牧强度对高寒草甸暖季草场植被的影响. 草业科学, 21(2): 48-53.
- 董全民,马玉寿,李青云,等. 2004b. 牦牛放牧率对小嵩草高寒草甸植物群落的影响. 中国草地, 26(3): 24-32.
- 董全民,赵新全,李青云,等. 2005a. 牦牛放牧率对小嵩草 (*K. parva*) 高寒草甸暖季草场植物群落组成和植物多样性的影响. 西北植物学报, 25(1): 94-102.
- 董全民,赵新全,马玉寿,等. 2005b. 牦牛放牧强度与小嵩草高寒草甸植物群落的关系. 草地学报, 13(4): 334-338.
- 董全民,赵新全,马玉寿,等. 2005c. 牦牛放牧强度和放牧季节对小嵩草 (*Kobresia parva*) 高寒草甸土壤养分的影响. 生态学杂志, 24(7): 729-735.
- 董全民,赵新全,马玉寿,等. 2006a. 高寒小嵩草草甸暖季草场主要植物种群的生态位. 生态学杂志, 25(11): 1323-1327.
- 董全民,赵新全,马玉寿,等. 2006b. 放牧对高寒小嵩草草甸冷季草场主要植物种群生态位的影响. 中国草地学报, 28(6): 10-17.

- 段敏杰, 高清竹, 万运帆, 等. 2010. 放牧对藏北紫花针茅高寒草原植物群落特征的影响. 生态学报, 30(14): 3892–3900.
- 韩国栋, 焦树英, 力格图, 等. 2007. 短花针茅草原不同载畜率对植物多样性和草地生产力的影响. 生态学报, 27(1): 182–188.
- 江小蕾, 张卫国, 杨振宇, 等. 2003. 不同干扰类型对高寒草甸群落结构和植物多样性的影响. 西北植物学报, 23(9): 1479–1485.
- 李永宏. 1993. 放牧影响下羊草草原和大针茅草原植物多样性的变化. 植物学报, 35(11): 877–884.
- 刘伟, 周立, 王溪. 1999. 不同放牧强度对植物及啮齿动物作用的研究. 生态学报, 19(3): 378–382.
- 蒙旭辉, 李向林, 辛晓平, 等. 2009. 不同放牧强度下羊草草甸草原群落特征及多样性分析. 草地学报, 17(2): 239–244.
- 彭祺, 王宁, 张锦俊. 2004. 放牧与草地植物之间的相互关系. 宁夏农学院学报, 25(4): 76–79, 96.
- 汪诗平, 李永宏, 王艳芬, 等. 2001. 不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响. 植物学报, 43(1): 89–96.
- 王德利, 吕新龙, 罗卫东. 1996. 不同放牧密度对草原植被特征的影响分析. 草业学报, 5(3): 28–33.
- 王明君, 韩国栋, 崔国文, 等. 2010. 放牧强度对草甸草原生产力和多样性的影响. 生态学杂志, 29(5): 862–868.
- 王启基, 周立, 王发刚, 等. 1995. 放牧率对冬春草场植物群落结构及功能的效应分析//中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站. 高寒草甸生态系统(第4集). 北京: 科学出版社: 353–364.
- 王玉辉, 何兴元, 周广胜. 2002. 放牧强度对羊草草原的影响. 草地学报, 10(1): 45–49.
- 夏景新. 1993. 放牧生态学与牧场管理. 中国草地, 14(4): 61–65.
- 杨殿林, 韩国栋, 胡跃高, 等. 2006. 放牧对贝加尔针茅草原群落植物多样性和生产力的影响. 生态学杂志, 25(12): 1470–1475.
- 杨利民, 韩梅, 李建东. 2001. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化. 植物生态学报, 25(1): 110–114.
- 岳东霞, 李文龙, 李自珍. 2004. 甘南高寒湿地草地放牧系统管理的AHP决策分析及生态恢复对策. 西北植物学报, 26(6): 708–716.
- 张荣, 杜国祯. 1998. 放牧草地群落的冗余与补偿. 草业学报, 7(4): 13–19.
- 周立, 王启基, 赵京, 等. 1995. 高寒草甸牧场最优放牧的研究. IV. 植被变化度量与草场不退化最最大放牧强度//中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站. 高寒草甸生态系统(第4集). 北京: 科学出版社: 403–418.
- 周华坤, 周立, 赵新全, 等. 2003. 江河源区“黑土滩”型退化草场的形成过程与综合治理. 生态学杂志, 22(5): 51–55.
- 周兴民, 王启基, 张堰青, 等. 1987. 不同放牧强度下高寒草甸植被演替规律的数量分析. 植物生态学与地植物学报, 11(4): 276–285.
- 朱绍宏, 徐长林, 方强恩, 等. 2006. 白牦牛放牧强度对高寒草原植物群落物种多样性的影响. 甘肃农业大学学报, 41(4): 71–75.
- Connell JH. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199: 1302–1310.
- Foster BL, Gross KL. 1998. Species richness in a successional grassland: Effects of nitrogen enrichment and plant litter. *Ecology*, 71: 2593–2602.
- Hart RH. 2000. Plant biodiversity on short grass steppe after 55 years of zero, light, moderate, or heavy cattle grazing. *Plant Ecology*, 155: 111–118.
- Hickman KR, Hartnett DC, Cochran RC, et al. 2004. Grazing management effects on plant species diversity in tallgrass prairie. *Journal of Range Management*, 57: 58–65.
- Humphrey JW, Patterson GS. 2000. Effects of late summer cattle grazing on the diversity of riparian pasture vegetation in an upland conifer forest. *Journal of Applied Ecology*, 37: 986–996.
- Sousa WP. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15: 353–392.

作者简介 董全民,男,1972年生,博士,研究员。主要从事草地放牧生态及青藏高原“黑土型”退化草地的恢复与重建工作。E-mail: dqm850@sina.com

责任编辑 刘丽娟