

不同季节适度放牧对高寒草甸 植物群落特征的影响

崔树娟^{1,3}, 布仁巴音¹, 朱小雪^{1,3}, 白玲⁴, 汪诗平^{2*}

(1 中国科学院西北高原生物研究所 高原植物适应与进化重点实验室, 西宁 810008; 2 中国科学院青藏高原研究所 高寒生态学和生物多样性实验室, 北京 100101; 3 中国科学院大学, 北京 100049; 4 西藏大学-中国科学院青藏高原研究所 那曲生态环境综合观测研究站, 拉萨 850000)

摘要:于 2007~2011 年对青藏高原高寒矮嵩草草甸在不同季节适度(牧草利用率 35%~60%)放牧处理(不放牧、夏季放牧和冬季放牧)下的植物群落组成和物种多样性进行观测研究, 结果表明: (1) 经过长期的不同季节的适度放牧处理后, 夏季放牧与冬季放牧均降低了禾本科植物功能群的比例, 提高了杂草类植物功能群的比例。 (2) 与未放牧(对照)相比, 夏季放牧处理下莎草科植物矮嵩草和杂类草蒙古蒲公英、鹅绒委陵菜的相对生物量分别增加了 151.38% 和 318.87%、344.15%, 禾本科植物异针茅相对生物量降低了 41.16%; 冬季放牧鹅绒委陵菜相对生物量增加了 124.08%, 禾本科植物草地早熟禾减少了 45.99%, 但夏季放牧和冬季放牧对二柱头蕪草、紫羊茅、垂穗披碱草、花苜蓿和高山唐古草等植物的影响均不显著。 (3) 总体上不同季节适度放牧对植物群落物种丰富度、多样性指数以及均匀度指数的影响均不显著, 但对这三者的影响随年份变化而变化。

关键词:夏季放牧; 冬季放牧; 高寒草甸; 群落物种组成; 物种多样性

中图分类号: Q948.12⁺2.5 文献标志码: A

Effects of Seasonal Moderate Grazing on Plant Community of Alpine Meadow

CUI Shujuan^{1,3}, BURENBAYIN¹, ZHU Xiaoxue^{1,3}, BAI Ling⁴, WANG Shiping^{2*}

(1 Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Haibei Alpine Meadow Ecosystem Research Station, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810008, China; 2 Laboratory of alpine ecology and biodiversity, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4 Naqu Station of Integrated Observation and Research of Alpine Ecology and Environment, University of Tibet and Institute of Tibetan Plateau Research of Chinese Academy of Sciences, Lasa 850000, China)

Abstract: The effects of different seasonal grazing (i. e. summer grazing or winter grazing) on plant composition and diversity in *Kobresia humilis* alpine meadow were investigated from 2007 to 2011 on the Tibetan plateau using the quadrat method. This study shows that: (1) After long-term different seasonal grazing, the proportion of gramineous functional group reduced and the proportion of the forb functional group increased under both summer grazing and winter grazing; (2) Grazing in different seasons had significant influence on the proportion of different species in the plant community. Compared with no grazing, summer grazing increased the proportion of *K. humilis*, *Taraxacum mongolicum* and *Potentilla anserina* in the

收稿日期: 2013-10-27; 修改稿收到日期: 2014-01-14

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41230750); 国家自然科学基金面上项目(31272488); 西藏科技厅项目

作者简介: 崔树娟(1988-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事气候变化与放牧生态学研究。E-mail: cuishujuankaty@163.com

* 通信作者: 汪诗平, 研究员, 主要从事全球变化生态学研究。E-mail: wangsp@itpcas.ac.cn

community 151.38%, 318.87% and 344.15%, respectively, but decreased the proportion of *Stipa aliena* 41.16%; winter grazing increased the proportion of *P. anserina* 124.08%, but decreased the proportion of *Poa pratensis* 45.99%. However, they had no significant influence on the proportion of, *Scirpus distigmaticus*, *Festuca rubra*, *Elymus nutans*, *Trigonella ruthenica* and *Thalictrum alpinum*. (3) Generally, the influences of grazing in different seasons on the species richness, diversity index and evenness index of plant communities were not significant but varied with the year.

Key words: summer grazing; winter grazing; alpine meadow; plant species composition and diversity

草地不仅是重要的绿色生态屏障,而且是重要的畜牧业生产基地,其功能的正常发挥对维持区域以及全球性的生态系统平衡起着极其重要的作用^[1]。青藏高原作为独立的地理单元,其草原生态系统的脆弱性以及气候变化响应的敏感性使得该地区草地生态系统在生态研究中具有极为重要的地位。但是近年来人们的不断开发利用,使青藏高原高寒草甸生态系统受到了人类活动的深刻影响,以过度放牧为主导因子的植被退化是青藏高原面临的主要问题之一^[2]。因此,放牧对青藏高原高寒草甸植被群落的影响已成为国内外关注的学术热点。自20世纪80年代以来,针对放牧对高寒草甸的影响许多学者进行了大量的研究^[3],但多数研究集中于不同放牧强度(不同放牧梯度)对植物的影响以及植物的响应,而关于不同季节放牧措施对高寒草甸影响的研究相对较少。鉴于以上原因,我们在青藏高原高寒草甸生态系统开展了本实验,将适度放牧干扰与当地的冬春季草场和夏秋季草场轮牧相结合,旨在研究适度的不同季节放牧对高寒矮嵩草草甸植物群落组成的影响。另外,以前的许多在温带草原的研究表明,适度放牧可以获得更高的植物多样性和生产力^[3],那么对于高寒草甸生态系统而言,适度放牧是否有利于维持其植物群落的物种多样性也正是本研究拟回答的科学问题。

1 材料和方法

1.1 试验地自然概况

本研究是在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行的,海北站地处青藏高原东北隅的青海海北藏族自治州门源县境内,地理位置为北纬 $37^{\circ}29' \sim 37^{\circ}45'$,东经 $101^{\circ}12' \sim 101^{\circ}23'$,海拔3 220 m,海北站年平均气温为 -1.6°C ,降水量约560 mm,雨热同季,年日照时间可达2 467.7 h,空气相对湿度为67%,平均气压为691 hPa。年内无绝对无霜期,相对无霜期约为20 d。无明显四季之分,仅有冷暖二季之别,干湿季分明,表现出冷季寒冷、干燥、漫长,暖季凉爽、湿润、短暂。土壤为草毡寒冻雏形土。

本研究选择长期适应于高寒生态环境下形成的耐寒中生植物高寒矮嵩草草甸为研究对象,其群落外貌整齐,草层茂密,总盖度达50%~90%。矮嵩草高寒草甸是典型的高原地带性和山地垂直地带性植被类型。高寒矮嵩草植物群落以矮嵩草(*Kobresia humilis*)、羊茅(*Festuca ovina*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、小嵩草(*Kobresia pygmaea*)、早熟禾(*Poa* spp.)、苔草(*Koeleria cristata*)、藏异燕麦(*Helictotrichon tibeticum*)、苔草(*Carex* spp.)、二柱头蔗草(*Scirpus distigmaticus*)、麻花苻(*Gentiana straminea*)、线叶龙胆(*Gentiana farre*)、美丽风毛菊(*Saussurea superba*)、雪白萎陵菜(*Potentilla nivea*)等为优势种,植被覆盖度达95%以上。

1.2 方法

1.2.1 实验设计 按随机区组设计设置了3个处理,分别为冬春季放牧、夏秋季放牧和不放牧(对照试验),每个处理设3个重复,共设9个小区,各小区面积为 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 。为了避免干扰和便于进行放牧,2006年8月19日在各个小区周围设置了围栏。从2007年开始放牧,放牧时每个放牧小区放进去4只年龄体态均一致的藏系绵羊自由采食,放牧前测定植被的冠层高度,放牧后目测植被冠层高度为放牧前的1/2左右时则将绵羊移出,即绵羊的采食量控制在植物地上生物量的50%左右,每次放牧时间为一个白天左右。冬春季放牧时间分别为4月份、5月份各一次,夏秋季放牧时间分别为7月份和8月份各一次,放牧时间和次数视当年植被状况而定。

1.2.2 不同年份植物群落调查 从2006年8月开始,每年的8月下旬即群落的生物量达到最大时采用 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 的样方进行群落调查,样方分成 $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 共100个小格子,然后利用针刺法观测每个格子左上角交叉点出现的植物,记录下每个交叉点出现的所有植物名称及高度,这样就得到样方中出现的所有物种以及它们各自的高度,样方中交叉点有植物出现的格子的比例为该样方的总盖度,某种植物在整个样方中出现的次数占样方中所有植物出现的次数之和的比例即为该种植物的分盖度,最

后齐地面剪下植物地上部分,带回实验室进行下一步测算工作(放牧是从 2007 年开始,故 2006 年所测数据作为背景值,并非实验处理下的结果)。

1.2.3 功能群比例、相对生物量及牧草利用率的测算 将每年采集的材料按物种分开,在 65 °C 下的烘箱中烘干至恒重测定植株地上部分生物量(单位以克计算)。种 i 的相对生物量 = 种 i 生物量/群落总生物量 $\times 100\%$,相对生物量表示的是某种植物在群落中的比例。同时根据植物的生理和形态特征将所有植物种分为豆科类、禾本科、莎草科和杂草类 4 个功能群,功能群比例的计算同相对生物量的计算。

利用扣笼法对放牧绵羊的采食量进行估算^[5-6],放牧前后植物地上现存生物量按照齐地面收割法^[5-6]测定,采用 50 cm \times 50 cm 样方地上生物量。每次放牧前后地上现存生物量的差值即为该次放牧的放牧采食量,放牧采食量占放牧前地上现存生物量的比例即为该次放牧的牧草利用率,各放牧小区一年中的牧草利用率为两次放牧的放牧采食量之和与该小区净初级生产力的比值。对于冬季放牧,由于放牧是在生长季开始之前进行的,放牧小区的净初级生产力即为 8 月底测得的最大生物量,而夏季放牧小区的净初级生产力为 8 月底最大生物量与两次放牧采食量之和。

1.2.4 植物物种多样性的测定 本研究中,采用丰富度指数、Shannon-Wiener 指数和均匀度指数来表征群落的物种多样性。丰富度指数表示一定空间范围内分布的物种数量的多少,Shannon-Wiener 指数描述的是种的个体出现的紊乱和不确定性,不确定性越高,多样性也就越高。均匀度指数是指一定空间范围内全部物种个体数目的分配情况,反映的是

各物种个体数目分配的均匀程度。

丰富度指数: $R = S$

群落多样性指数的计算采用 Shannon-Wiener 指数^[7]:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

均匀度指数的计算采用 Pielou 指数:

$$J = (- \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i) / \ln S$$

式中, P_i 为种 i 的重要值(相对高度 + 相对盖度 + 相对生物量)/3, S 为种 i 所在样方的物种总数。

1.3 数据分析方法

采用 SPSS 16.0 的一般线性模型(General Linear Model)中的重复测量的方差分析方法(Repeated measures)分析处理间、年际间和处理与年际的交互对植物群落所测定的各项指标的影响。利用单因素方差分析(One-way ANOVA)分析每年不同放牧季节处理效应对植物群落各个指标的影响,有显著效应的进一步用多重比较法中的最小显著差异法(LSD 法)对不同处理间进行比较,同时用小写字母 a、b、c 等加以标注。利用 Excel 2007、Sigmaplot 10.0 进行辅助工作。试验中的显著性水平均采用 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同季节放牧牧草利用率

从表 1 可以看出,除了 2007 年冬季放牧处理的牧草利用率偏低(30.6%)和 2010 年夏季放牧处理的牧草利用率偏高(62.4%)外,其余各年份不同放牧季节处理的牧草利用率基本都处在 35%~60% 之间,此放牧效果基本符合我们预期设定的适度放牧强度。

表 1 不同季节放牧对牧草利用率的影响

Table 1 The utilization rate of grass under grazing in different seasons

年 Year	处理 Treatment	牧草利用率 Utilization rate of grass/%		
		第一次放牧 First grazing	第二次放牧 Second grazing	全年 In one year
2007	冬季放牧 Winter grazing	12.7	24.6	30.6
	夏季放牧 Summer grazing	28.9	34.6	51.5
2008	冬季放牧 Winter grazing	29.5	44.2	38.7
	夏季放牧 Summer grazing	31.4	37.6	53.0
2009	冬季放牧 Winter grazing	61.7	31.7	37.1
	夏季放牧 Summer grazing	37.7	29.1	53.3
2010	冬季放牧 Winter grazing	38.8	44.5	46.1
	夏季放牧 Summer grazing	21.9	36.4	62.4
2011	冬季放牧 Winter grazing	36.8	40.5	49.3
	夏季放牧 Summer grazing	35.8	46.6	60.4

2.2 植物群落功能群比例的变化

分析每一年不同处理下的植物群落功能群比例的研究结果表明(图 1),不同年份处理对功能群比例的影响也不同,相比较未放牧而言,2007 年只有冬季放牧降低了莎草科植物的比例(50.0%),不同处理对其他功能群没有显著影响;2008 年和 2009 年夏季放牧与冬季放牧对 4 个植物群落功能群的比例均无显著影响;2010 年夏季放牧与冬季放牧均降低了禾本科植物的比例(51.1%和 17.8%),夏季放

牧增加了莎草科比例(233.3%);2011 年夏季放牧降低了禾本科比例(44.3%),夏季放牧与冬季放牧均增加了杂草类的比例(471.4%和 328.6%)。这些结果表明,3 年内的不同季节放牧处理对功能群比例的影响不显著,而经过 4~5 年的不同季节放牧处理后,对群落组成产生了显著的影响,总体上看,夏季放牧与冬季放牧均降低了禾本科植物的比例,提高了杂草类的比例,对豆科植物的比例没有显著影响。

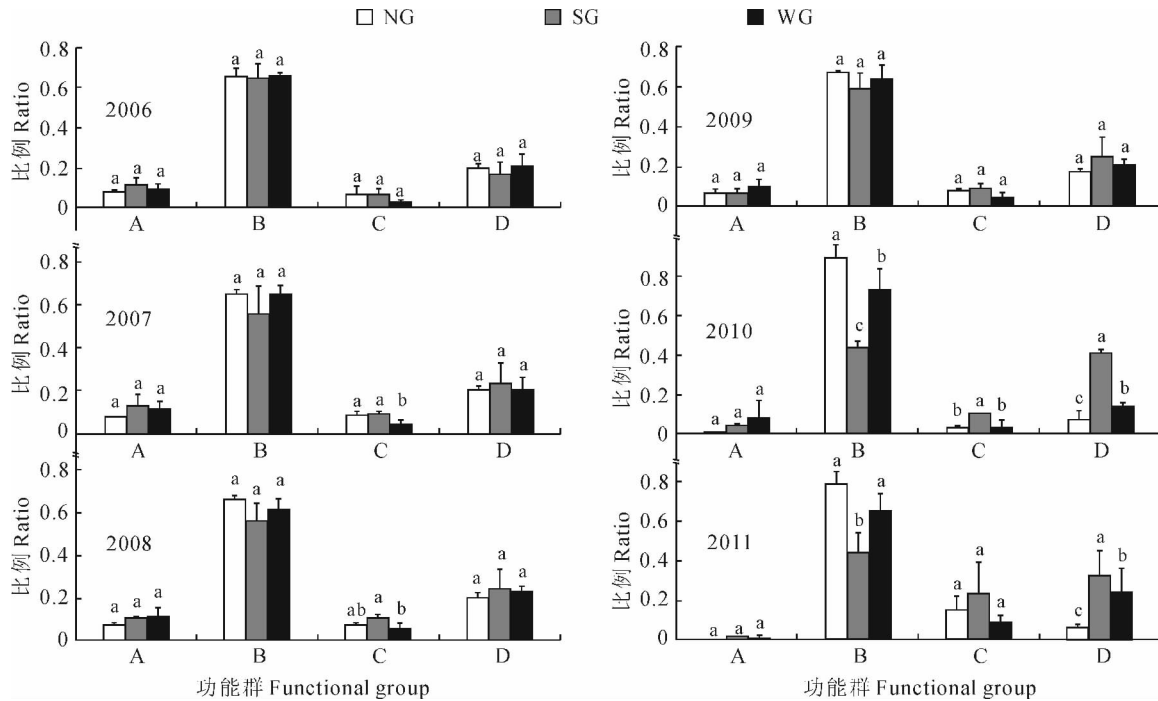


图 1 不同放牧季节对植物功能群比例的影响

NG. 不放牧(对照);SG. 夏季放牧;WG. 冬季放牧;A. 豆科;B. 禾本科;C. 莎草科;D. 杂草类。下同

Fig. 1 The ratio of plant functional groups under grazing in different seasons

NG. No grazing(CK);SG. Summer grazing;WG. Winter grazing;A. Legume;

B. Graminoid;C. Sedge;D. Forb. A. The same as below

表 2 2007~2011 年不同季节放牧下主要物种的相对生物量均值

Table 2 The relative biomass of main species under grazing in different seasons from 2007 to 2011

编号 Number	物种 Species	处理 Treatment		
		不放牧 No grazing	夏季放牧 Summer grazing	冬季放牧 Winter grazing
1	矮蒿草 <i>Kobresia humilis</i>	0.016±0.003b	0.040±0.007a	0.022±0.005b
2	鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.034±0.005c	0.152±0.033a	0.077±0.009b
3	二柱头蘆草 <i>Scirpus distigmaticus</i>	0.018±0.005a	0.032±0.015a	0.009±0.003a
4	花苜蓿 <i>Trigonella ruthenica</i>	0.032±0.005a	0.039±0.006a	0.044±0.009a
5	蒙古蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.004±0.001b	0.019±0.005a	0.009±0.002b
6	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.207±0.023a	0.228±0.027a	0.239±0.024a
7	高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i>	0.020±0.004a	0.017±0.004a	0.016±0.002a
8	异针茅 <i>Stipa aliena</i>	0.235±0.036a	0.138±0.023b	0.221±0.038a
9	草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	0.111±0.022a	0.072±0.012ab	0.060±0.008b
10	紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	0.072±0.020a	0.043±0.010a	0.058±0.012a

2.3 不同季节放牧对植物群落物种组成的影响

不同季节放牧处理对主要植物物种在群落中的比例(相对生物量)的影响因植物种和年份(表 2)的不同而不同。总体上,5 年(2007~2011 年)的放牧试验中不同季节放牧处理对矮嵩草、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、蒙古蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、异针茅(*Stipa aliena*)和草地早熟禾(*Poa pratensis*)在群落中的比例影响显著,而对二

柱头蔗草、花苜蓿、垂穗披碱草、高山唐松草和紫羊茅没有显著影响。相比较未放牧而言,夏季放牧提高了矮嵩草、蒙古蒲公英、鹅绒委陵菜的相对生物量(151.38%、318.87%和 344.15%),降低了异针茅的比例(41.16%);冬季放牧提高了鹅绒委陵菜的比例(124.08%),降低了草地早熟禾的相对生物量(45.99%)。

分析每一年的试验结果表明(图2),相比较未

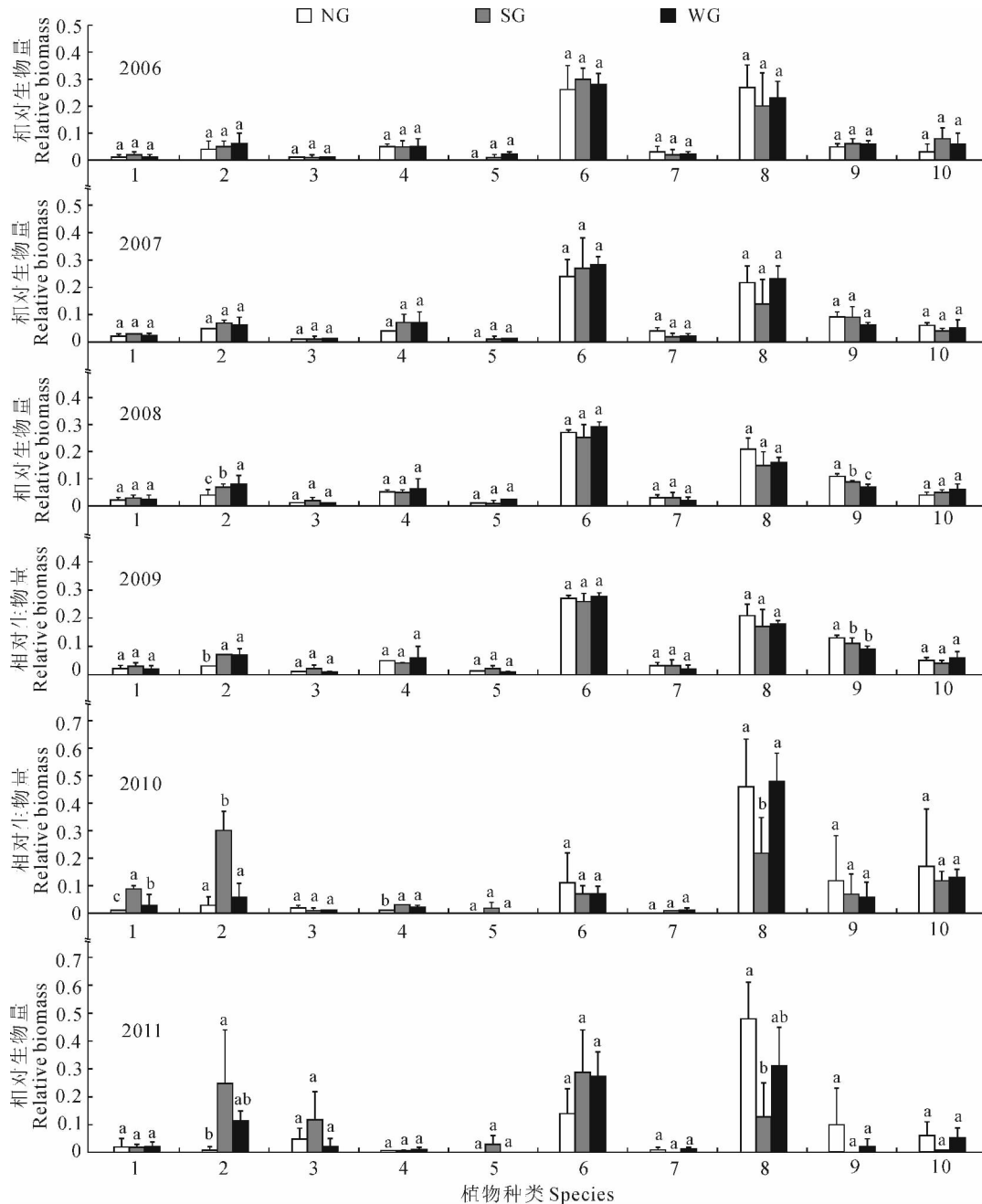


图 2 不同季节放牧对主要物种相对生物量的影响

1~10. 物种编号同表 2

Fig. 2 Relative biomass of main species under grazing in different seasons

1~10. The code of species is same as Table 2

表 3 不同季节放牧对物种多样性的影响

Table 3 Effect of grazing in different seasons on species richness, diversity index and evenness index

项目 Items	处理 Treatment		年际 Year		处理×年际 Treatment×year	
	F	P	F	P	F	P
物种丰富度 Species richness	3.285	0.109	25.281	<0.001	0.922	0.516
多样性指数 Diversity index	3.098	0.119	60.547	<0.001	14.092	<0.001
均匀度指数 Evenness index	1.69	0.262	59.032	<0.001	8.907	<0.001

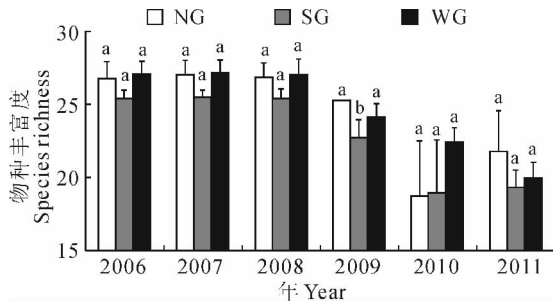


图 3 不同季节放牧对群落物种丰富度的影响

Fig. 3 Species richness under grazing in different seasons

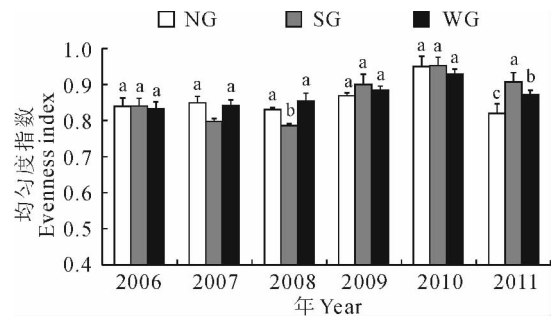


图 5 不同季节放牧对群落均匀度指数的影响

Fig. 5 Evenness index under grazing in different seasons

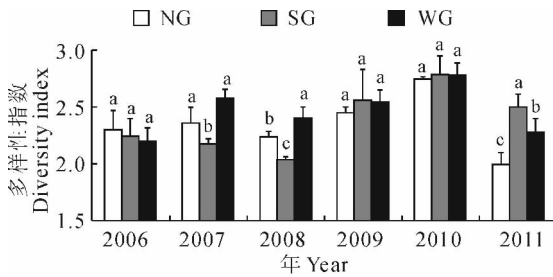


图 4 不同季节放牧对群落多样性指数的影响

Fig. 4 Diversity index under grazing in different seasons

放牧而言,2007年,夏季放牧与冬季放牧对这10种植物的相对生物量均无显著影响;2008和2009年,夏季放牧与冬季放牧处理均增加了鹅绒委陵菜的相对生物量(62.8%和90.7%、114.7%和100.0%),降低了草地早熟禾的比例(16.4%和38.2%、15.4%和32.3%),对其他物种没有显著影响;2010年,夏季放牧与冬季放牧均增加了矮嵩草和花苜蓿的相对生物量(1700.0%和500.0%、266.7%和100.0%),夏季放牧还增加了鹅绒委陵菜的相对生物量(3037.5%),降低了异针茅的相对生物量(72.9%);2011年,夏季放牧也增加了鹅绒委陵菜的相对生物量(1287.5%),降低了异针茅的相对生物量(35.8%)。

2.4 不同季节放牧对植物群落物种多样性的影响

表3是对2007~2011年不同季节放牧处理下的物种丰富度指数,多样性指数和均匀度指数的方差分析,表示的为处理、年际以及处理与年际的交互

作用对这三者的影响。研究发现,总体上,植物物种丰富度年际间变化较大,处理以及处理与年际间的交互对其没有显著的影响(表3)。如在2007、2008、2009、2010、2011年,不放牧处理物种丰富度分别为27、27、25、18、21种植物;夏季放牧处理物种丰富度分别为25、25、23、19、19种植物;冬季放牧处理物种丰富度分别为27、27、24、22、20种植物。不同季节放牧处理中出现的共有植物物种数为18种,每个重复小区中出现的共有植物物种数为10种,并且这10种主要植物控制着群落的地上生物量,已知它们地上生物量的总和占据整个群落地上生物量的80%以上。分析每一年的不同处理下的物种丰富度指数发现,除2009年夏季放牧显著降低了物种丰富度指数外,其他年份3种处理下的物种丰富度指数均无显著差异(图3)。

总体上,不同季节放牧处理对多样性指数、均匀度指数的影响均不显著,年际以及处理和年际间的交互对两者的影响均显著(表3),分析每一年实验结果,相比未放牧而言,夏季放牧处理分别显著降低了2007和2008年的多样性指数17.7%和7.48%,降低了2007和2008年的均匀度指数15.94%和13.85%。此外夏季放牧分别增加了2011年的多样性指数和均匀度指数28.57%和23.20%,冬季放牧仅显著增加了2008年和2011年的多样性指数13.4%和15.87%以及2011年的均匀度指数13.4%。不同季节放牧处理对其余年份的多样性指数、均匀

度指数也有所影响但均未达到显著水平(图 4、5)。

3 讨 论

3.1 植物群落组成的变化

功能群是指对特定环境因素有相似反应的一类物种分类群,也称功能型,是基于植物个体生理、形态、生活史或其它对某一生态系统过程相关以及物种行为相联系的一些生物学特性来划分的,是研究植物随环境变化的基本单位,也是研究生物多样性以及对生态系统功能作用的重要单位,功能群由对环境因素有相似反应的一类物种组成,因此,不同放牧处理对功能群的影响依赖于不同季节放牧对群落内各物种的影响。物种组成是生态系统稳定性、生产力、营养动态等功能的重要决定因子。放牧作为青藏高原主要的干扰因素,通过不同的方式影响植物群落结构和物种组成^[8]。Tilman 等^[9-10]的研究表明,功能群组成和物种组成对物种多样性起到至关重要的作用,进而对生物量产生决定性的影响。仁青吉等^[11]的研究结果表明,随着放牧强度的增加,草甸群落中优势种群的莎草科和禾本科物种的优势度逐渐降低,被一些杂草类物种所取代。汪诗平等^[12]在内蒙古草原上进行的不同放牧强度试验结果表明,在轻牧放牧处理下,禾草类所占生物量的比例较大,而在较重放牧下,半灌木冷蒿的比例增大。

同一植物群落中的物种在不同的放牧干扰下物种间竞争的改变最终导致物种组成的变化,即一些物种的比例增加、另一些物种降低,还有一些物种的变化不明显或者达不到显著水平。本研究中,不同季节放牧处理对群落中的主要植物矮嵩草、鹅绒委陵菜、蒙古蒲公英、异针茅和草地早熟禾等植物相对生物量的影响显著,而对二柱头蕨草、花苜蓿、垂穗披碱草、高山唐松草、紫羊茅等植物的影响不显著。正因为放牧作用对鹅绒委陵菜、蒙古蒲公英等植物个体生物量有显著增加作用进而导致杂类草地上生物量增加,放牧作用相应的使异针茅、草地早熟禾等禾本科植物个体地上生物量的下降而最终导致整个禾本科在植物群落中的作用减少。造成此现象的原因可能是,异针茅、草地早熟禾等禾本科植物草质柔软,适口性好,营养丰富,是牲畜主要采食的牧草,其耐牧性又较差,补偿生长不足以弥补补偿因放牧采食失去的组织量^[13-14],因此放牧降低了这两种植物的相对生物量。而与此相反的矮嵩草属于地面短根茎植物,其植株低矮,株高仅 3~15 cm,分蘖节位于地下,具有典型的避牧特性,在矮嵩草短的木质根状

茎中贮藏有大量营养物质以供再生需要^[14],根系发达,耐牧性极强^[15],加之放牧消除了高大的不耐牧禾本科植物的竞争影响^[16],从而使得放牧条件下矮嵩草的相对比例有所增加。鹅绒委陵菜具匍匐茎,无性繁殖能力很强,已经有研究表明随着放牧强度增大,其无性繁殖能力增强^[17],另外它和蒙古蒲公英又均为莲座状植物,耐践踏,适口性也差,不易被放牧绵羊采食,加之放牧抑制其他适口性好的植物的生长,使较低矮的鹅绒委陵菜和蒙古蒲公英等有较多的空间和养分资源而得以迅速生长^[17],因此在适度放牧干扰下二者的相对生物量有所增加^[11,18]。另外值得注意的是,不同季节放牧处理对禾本科和杂类草的影响都是显著的,但是夏季放牧处理与冬季放牧处理的影响幅度有所区别。夏季放牧处理对植物群落结构的影响大于冬季放牧处理的影响。因为夏季放牧正处于植物生长季,绵羊采食、践踏等直接影响到植物体;而冬季放牧则处于非生长季,绵羊放牧活动主要是通过采食枯落物等影响植物群落微环境,增加返青初期的光照度而反而有利于植物的返青期提前。

3.2 植物群落物种多样性的变化

植物群落的物种丰富度、均匀度指数以及多样性指数是植物群落的重要结构特征,家畜放牧干扰及其他干扰对植物群落结构影响的研究都离不开物种多样性变化问题^[19]。物种多样性指数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^[19]。本研究中总的来说,不同季节放牧处理对物种丰富度、多样性指数以及均匀度指数的影响均没有达到显著水平,然而 2007、2008、2011 年不同季节放牧对植物多样性指数、均匀度指数有显著影响(图 4、图 5)。这就表明不同季节放牧处理与年际间存在着交互作用,说明不同季节放牧对植物多样性的影响随年度而变化。因为植物物种多样性除放牧处理外受到多种环境因素的影响。大量研究结果表明,放牧干扰下的植被受降雨量影响较大^[20],放牧处理与年际的水热产生了较大的交互效应作用于植物群落,甚至在有些年份环境因素的作用超过了设定的处理效应^[21]。本研究中,2007、2008、2011 年处理的影响达到了显著水平,而这 3 年的年降水量(397.6 mm、339.4、499.5 mm)与 2009、2010 年的降雨量(282.2 mm、376.2 mm)和多样性指数的变化并没有发现一致的变化趋势。此结果没有显示出一般的在干旱年份放牧的影响更大^[22-23]的规律。可能的原因有,一方面,

根据 Liebig 等^[24]的研究表明放牧干扰对植物群落组成和结构的影响至少应在超过 10 年的放牧时间尺度上,所以刚满 5 年的本研究尚处于放牧影响的早中期;另一方面,本放牧控制试验只是对实际自然放牧的一种模拟,也许与实际自然放牧还存在一定的差距。尽管如此,从 5 年的试验数据来看,与不放牧处理相比,不论是夏季放牧还是冬季放牧处理随着放牧处理年份的增加,植物多样性指数和均匀度指数都表现开始增加的趋势,这意味着我们所设定的适度放牧(夏季放牧和冬季放牧处理)还是相应的增加了物种多样性(图 4、5),而物种丰富度则受环境因子的影响较大。此结果与目前普遍被接受的 Connell 等^[25]提出的“中度干扰”群落具有较高的物种丰富度和物种多样性的观点相一致,因此本研究结果符合“中度干扰”理论。原因可能是,适度放牧降低了建群种和优势种密度,削弱了群落优势种排斥其他物种的能力,从而提高了群落水平上的物种多样性^[16,26]。此外,不同处理对物种多样性的影响不显著有可能是放牧试验操作过程中牧草利用率的控制有些偏低的缘故^[27]。总之,多样性指数年平均值在不放牧、夏季放牧、冬季放牧处理分别为 2.26、2.29、2.35,即不论是夏季放牧或者冬季放牧条件下多样性指数高于不放牧处理。根据 Tilman 等^[28]在美国明尼苏达州 10 年的草地研究结果,与拥有低物种多样性的小区相比,高物种多样性的小区具有高的生态系统稳定性,本研究中,与不放牧相比,适度放牧有利于高寒草甸生态系统的稳定。

4 结 论

通过 5 年(2007~2011 年)不同季节放牧处理对高寒草甸植物群落结构影响的试验研究,得到如下结论:

(1)3 年内的不同季节放牧处理对功能群比例的影响不显著,而经过 4~5 年的不同季节放牧处理后,群落组成发生了显著变化,总体上看,夏季放牧与冬季放牧均降低了禾本科植物的比例,提高了杂草类的比例,对豆科植物的比例没有显著影响。

(2)不同季节放牧对群落中不同物种在群落中的生物量比例(相对生物量)产生了显著影响。与不放牧相比,夏季放牧分别增加了莎草科植物矮蒿草和杂类草蒙古蒲公英、鹅绒委陵菜相对生物量的 151.38%和 318.87%、344.15%,降低了禾本科植物异针茅比例的 41.16%;冬季放牧增加了鹅绒委陵菜比例的 124.08%,减少了禾本科植物草地早熟禾的 45.99%。而不同季节放牧对莎草科植物二柱头蔗草以及花苜蓿、高山唐松草、紫羊茅和垂穗披碱草在群落中的比例没有显著影响。夏季放牧处理对植物群落结构的影响大于冬季放牧处的影响。

(3)整体来说不同季节放牧处理对这 5 年期间植物群落物种丰富度、多样性指数以及均匀度指数的影响不显著,但因为植物物种多样性除放牧处理外受到多种环境因素的影响,不同季节放牧处理对物种丰富度、多样性指数及均匀度指数的影响随年份的变化而变化,年际间存在显著差异。

参考文献:

- [1] GAO Y ZH(高英志), HAN X G(韩兴国), WANG SH P(汪诗平). The effects of grazing on soils[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, **24**(4): 790—797(in Chinese).
- [2] BURENBAYIN(布仁巴音), XU G P(徐广平), DUAN J CH(段吉闯), *et al.* Primary productivity and its main affecting factors of Alpine meadows on the Tibetan Plateau[J]. *Guihaia* (广西植物), 2010, **30**(6): 760—769(in Chinese).
- [3] 赵新全. 三江源区退化草地生态系统恢复与可持续管理[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [4] 王启基, 周立, 王发刚. 放牧强度对冬春草场植物群落结构及功能的效应分析[M]//中国科学院海北高寒草甸生态系统定位研究站, 高寒草甸生态系统, 1995, 4: 353—364.
- [5] 姜 恕, 李 博, 王启基. 草地生态研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [6] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [7] MA K P(马克平). The measure method of biological community diversity: Measure method of [A; diversity I][J]. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 1994, **2**(3): 162—168(in Chinese).
- [8] NOY-MEIR I, GUTMAN M, KAPLAN Y. Responses of Mediterranean grassland plants to grazing and protection[J]. *Journal of Ecology*, 1989, **77**(1): 290—310.
- [9] TILMAN D, KNOPS J, WEDIN D. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes[J]. *Science*, 1997, **277**

- (29):1 300—1 302.
- [10] TILMAN D, REICH P, KNOPS J, *et al.* The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes[J]. *Science*, 1997, **277**(5 330):1 302—1 305.
- [11] REN Q J(仁青吉), CUI X L(崔现亮), ZHAO B B(赵彬彬). Effects of grazing on community structure and productivity in an alpine meadow[J]. *Acta Prataculturae Sinica*(草业学报), 2008, **17**(6):134—140(in Chinese).
- [12] WANG SH P(汪诗平), LI Y H(李永宏), WANG Y F(王艳芬), *et al.* The succession of *Artemisia frigida* rangeland and multivariation analysis under different stocking rate in Inner Mongolia[J]. *Acta Agrestia Sinica*(草地学报), 1998, **6**(4):299—301(in Chinese).
- [13] XIAO H(晓红), LIU J D(刘及东). The research on suitable grazing properties of kentucky bluegrass[J]. *Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry*(内蒙古农牧学院学报), 1998, **19**(1):123—125(in Chinese).
- [14] XU M L(许曼丽), ZHU ZH H(朱志红), LI Y N(李英年), *et al.* Compensatory growth and grazing-tolerance of 4 major plant species in alpine *Kobresia humilis* meadow[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*(中国农学通报), 2012, **28**(20):7—16(in Chinese).
- [15] ZHOU X M(周兴民), WANG Q J(王启基), ZHANG Y Q(张堰青), *et al.* Quantitative analysis of succession law of the Alpine meadow under the different grazing intensities[J]. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*(植物生态学与地植物学学报), 1987, **11**(4):276—285(in Chinese).
- [16] MA Y SH(马银山), ZHANG SH T(张世挺). Responses of plant from individual to community level to grazing: A review[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2009, **28**(1):113—121.
- [17] ZHOU H K(周华坤), ZHAO X Q(赵新全), ZHOU L(周立), *et al.* Effects of different grazing intensities on growth of *Potentilla anserine* clones[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报), 2006, **26**(5):1 021—1 029(in Chinese).
- [18] WANG CH T(王长庭), LONG R J(龙瑞军), WANG Q L(王启兰), *et al.* Response of plant diversity and productivity to soil resources changing under grazing disturbance on an alpine meadow[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2008, **28**(9):4 145—4 152(in Chinese).
- [19] WANG SH P(汪诗平), LI Y H(李永宏), WANG Y F(王艳芬), *et al.* Influence of different stocking rates on plant diversity of *Artemisia frigida* community in Inner Mongolia steppe[J]. *Acta Botanica Sinica*(植物学报), 2001, **43**(1):89—96(in Chinese).
- [20] LI Q F(李勤奋), HAN G D(韩国栋), AO T G(敖特根), *et al.* Effect of different grazing time on vegetation in different paddocks of the rotational grazing pasture[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2004, **23**(2):7—10(in Chinese).
- [21] ZHANG F W(张法伟), LI H Q(李红琴), LI Y N(李英年), *et al.* Periodic fluctuation features of air temperature, precipitation, and aboveground net primary production of alpine meadow ecosystem on Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2009, **20**(3):525—530(in Chinese).
- [22] LI X R(李新荣), HE M ZH(何明珠), JIA R L(贾荣亮). The response of desert plant species diversity to the changes in soil water content in the middle lower reaches of the Heihe River[J]. *Advances in Earth Science*(地球科学进展), 2008, **23**(7):685—691(in Chinese).
- [23] ZHOU D CH(周德成), LUO G P(罗格平), HAN Q F(韩其飞), *et al.* Impacts of grazing and climate change on the aboveground net primary productivity of mountainous grassland ecosystems along altitudinal gradients over the Northern Tianshan Mountains, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2012, **32**(1):81—92(in Chinese).
- [24] LIEBIG M A, GROSS J R, KRONBERG S L. Soil response to long-term grazing in the northern Great Plains of North America[J]. *Agric Ecosyst Environ*, 2006, **115**(1—4):270—276.
- [25] CONNELL J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs[J]. *Science*, 1978, **199**:1 302—1 310.
- [26] YANG H(杨浩), BAI Y F(白永飞), LI Y H(李永宏), *et al.* Response of plant species composition and community structure to long-term grazing in typical steppe of Inner Mongolia[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*(植物生态学报), 2009, **33**(3):499—507(in Chinese).
- [27] DONG Q M(董全民), ZHAO X Q(赵新全), MA Y SH(马玉寿). Study on community quantity character in alpine mixed-sown grassland under different grazing intensities[J]. *Acta Agrestia Sinica*(草地学报), 2007, **15**(4):394—397(in Chinese).
- [28] TILMAN D, HILL J, LEHMAN C. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass[J]. *Science*, 2006, **314**(5 805):1 598—1 600.