

文章编号: 1000-4025(2006)10-2110-09

# 高寒小嵩草草甸牦牛优化放牧强度的研究

董全民<sup>1,2</sup>, 赵新全<sup>1</sup>, 马玉寿<sup>2</sup>, 王启基<sup>1</sup>, 施建军<sup>2</sup>

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

**摘要:** 高寒小嵩草草甸牦牛放牧强度试验表明: (1) 不同放牧强度下各植物类群的地上生物量和总的地上生物量之间差异极显著, 莎草科植物地上生物量的百分比组成之间差异极显著, 禾本科和杂类草地上生物量的百分比组成之间差异显著, 而且禾本科和莎草科(除对照外)植物的地上生物量及其百分比组成随放牧强度的增加而减小, 杂类草的变化与之相反; (2) 优良牧草比例和草地质量指数与放牧强度之间均呈负相关, 而优良牧草比例的年度变化和牦牛个体增重的年度变化之间呈正相关; (3) 群落的相似性系数随放牧强度的增加而减小. 通过建立植被变化度量指标, 认为优良牧草比例的年度变化是评价高寒小嵩草草甸放牧价值的直接度量指标, 而相似性系数的变化和草地质量指数的变化与牦牛生产力没有明显的联系, 不能反映草场植被放牧价值的变化, 只能指示植物群落整体的相对变化程度; 牦牛的放牧强度约为 1.86 头/hm<sup>2</sup> 是小嵩草高寒草甸暖季草场可持续生产而不退化的最大放牧强度.

**关键词:** 放牧强度; 植物类群; 地上生物量; 优良牧草; 草地质量指数

中图分类号: Q948.12+2.5

文献标识码: A

## Optimized Grazing Intensity of Yak in Alpine *Kobresia parva* Meadow

DONG Quan-min<sup>1,2</sup>, ZHAO Xin-quan<sup>1</sup>, MA Yu-shou<sup>2</sup>, WANG Qi-ji<sup>1</sup>, SHI Jian-jun<sup>2</sup>

(1 Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Science, Xining 810001, China; 2 Qinghai Academy of Animal and Veterinary Sciences, Xining 810016, China)

**Abstract:** The experiment about the grazing intensities of yak in alpine *Kobresia parva* meadow revealed that (1) at different grazing intensities the aboveground biomasses extremely significantly differed from the total aboveground biomass in different plant groups, the aboveground biomass percentage compositions of Cyperaceae plants extremely significantly differed, and the aboveground biomass percentage of Gramineae plants significantly differed from those of forbs; furthermore, the aboveground biomasses and their percentage compositions of Gramineae and Cyperaceae plants (except control plants) decreased as the grazing intensities decreased and those of forbs appeared to be vary in an opposite manner; (2) The quality forage percentages and grassland quality indexes appeared negatively correlated with the grazing intensities and the annual quality forage percentages appeared positively correlated with the annual weight gains of yak; (3) The community-similarity coefficients decrease as the grazing intensities increased. It was thought by means of the establishment of the indexes for vegetation measurement that annual quality forage percentage was the direct indicator for evaluating the grazing value of alpine *Kobresia parva* meadow and the variations in similarity index and grassland quality index did not have a remarkable relation to yak productivity, so that they were only capable of indicating the relative variation of plant communities as a whole other than being able to reflect the variation in the grazing value of grassland vegetations. The grazing intensity

收稿日期: 2006-03-09; 修改稿收到日期: 2006-09-11

基金项目: 青海省“九·五”攻关项目(编号 96-N-112); 国家“十五”科技攻关重大项目(2001BA606A-02)

作者简介: 董全民(1972-), 男, 副研究员, 博士. 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; dongquanmin@hotmail.com

of yak was approximately 1.86 yaks per hectare, the maximum grazing intensity at which alpine *Kobresia parva* meadow could keep sustainable production and suffer non degeneration.

**Key words:** grazing intensity; plant groups; aboveground biomass; quality forage; grassland quality index

超载过牧使草地退化已成为人们的共识<sup>[1-5]</sup>, 草地优化放牧的研究也成为关注的热点<sup>[6,7]</sup>. 在草地超载程度的判定指标中, 土壤和植被变化较为明显, 而动物生产不如前二者直观<sup>[8]</sup>. 有些情况下, 放牧可以完全改变草地的植被组成, 但对动物生产却没有影响<sup>[9]</sup>; 甚至有些情况下植被组成的变化反而有利于动物生产力的提高<sup>[10]</sup>. 因此, 放牧状态下动物生产是植物变化和土壤变化综合作用的结果, 评价草地放牧适宜度时, 必须以动物生产为标准<sup>[11]</sup>. 放牧率(强度)对草地可食牧草的产量和品质有一定影响, 放牧家畜的牧草(干物质)采食量也因此受到影响, 最终表现在家畜生产力的变化<sup>[12]</sup>. 然而, 有些学者以草场地上净初级生产力为标准, 将草场最大净初级生产力的放牧率作为最适放牧率<sup>[13,14]</sup>, 也有根据公顷增重和放牧之间的关系及放牧与牧草现存量的关系, 作为决定最适放牧的标准<sup>[15,16]</sup>. 但不论采用什么标准, 必须依草场的使用目的而定. 对于草场植被在理论上存在两种各有侧重的度量标准: 一种是植被演替尺度标准, 另一种是家畜生产力标准<sup>[17]</sup>. 近年来大多数人都接受以家畜生产力标准来衡量植被的变化, 甚至草场总体状况的好坏<sup>[18]</sup>. 本

研究通过 2 年的牦牛放牧试验数据, 分析了各放牧小区不同植物类群地上生物量、群落结构的变化, 建立了以家畜生产力标准评价草场植被群落结构变化的度量指标, 并确定了高寒小嵩草 (*Kobresia parva*) 草甸植被不退化的最大放牧强度, 旨在为高寒小嵩草草甸的科学管理和合理利用提供基础数据.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地选在青海省达日县窝赛乡, 位于北纬 99°47'38", 东经 33°37'21", 海拔在 4 000 m 以上, 气候寒冷, 年平均气温为 -1.2℃, 年平均降雨量 569 mm, 且多集中在 5~9 月份, 年蒸发量 1 119.07 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高寒小嵩草草甸.

### 1.2 实验设计

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 日至 10 月 31 日, 转入冬季草场放牧至第二年 5 月 31 日, 周而复始. 依据牧草利用率(0%、30%、50%、70%)分 4 个处理见表 1.

表 1 放牧试验设计

Table 1 Design of the grazing experiment

放牧处理 Grazing treatments	试验用牛(头) No. of yaks	草地面积 Plot area (hm <sup>2</sup> )		放牧强度(头/hm <sup>2</sup> ) Grazing intensity (Yak number per hm <sup>2</sup> )		牧草利用率 Utilization ratio of herbage (%)
		夏季 Summer	冬季 Winter	夏季 Summer	冬季 Winter	
		轻度放牧 Light grazing	4	4.50	5.19	
中度放牧 Moderate grazing	4	2.75	3.09	1.45	1.29	50
重度放牧 Heavy grazing	4	1.92	2.21	2.08	1.81	70
对照 Control	0	1.0	1.0	0	0	0

### 1.3 数据的收集和处理

在围栏内选定 3 个具有代表性的固定样地, 每月下旬在每个固定样地上取 5 个重复样方 (0.5 m × 0.5 m), 按莎草、禾草、杂类草分类, 用罩笼差额法测定植被的地上生物量<sup>[19]</sup>, 称其鲜重后在 80℃ 的恒温箱烘干至恒重, 并同期对试验牦牛进行早晨空腹称重(用电子秤称重). 每天早晨 8:00 把试验牦牛分组赶进围栏放牧, 晚上 18:00~19:00 归牧回圈, 夜间不补饲, 每日饮水 2 次(出牧前, 归牧后).

用 Excel 2000 和 SPSS 软件(8.1), 应用一般性模型和曲线拟合方法进行数据的分析、处理.

### 1.4 植物生活型功能群的划分

根据高寒草甸植物群落物种组成特点, 将植物群划分为禾本科、莎草科牧草和杂类草 3 个类群.

### 1.5 公式的选用

相似性系数采用 Greg-Smith<sup>[20]</sup> 的公式计算:  $S_M = 2 \min(U_i^{(m)}, V_i) / (U_i^{(m)} + V_i)$ , 式中  $S_M$  表示相似性系数,  $U_i^{(m)}$  表示不同放牧处理组各功能群植物的丰富度,  $V_i$  为对照组各功能群植物的丰富度,  $i$  代表每一个功能群植物. 对于不同放牧下的每一个植物类群  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), 取其在  $m$  (不同放牧处理) 放牧处理组的生物量作为丰富度指标. 从公式可

以看出,  $U_i^{(m)}$  与  $V_i$  的最小值和两组植物群落的丰富度 ( $U_i^{(m)}$ ,  $V_i$ ) 决定了  $S_M$  的大小. 显然,  $0 < S_M$

1. 当  $m$  放牧试验组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组相比, 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, 表示群落相对变化减小.

草场质量指数 ( $IGQ$ ) 采用杜国祯等<sup>[25]</sup> 的方法计算, 把不同的植物类群按适口性划分为: 优良、较好、低、劣、有毒 5 类, 并分别用数字表示适口性: -1 为有毒, 0 为劣, 1 为低, 2 为较好, 3 为优良, 数字越大表示适口性越高.  $IGQ$  计算公式为<sup>[25]</sup>:  $IGQ = \sum P_i C_i$ , 式中  $IGQ$  为草地质量指数,  $P_i$  为第  $i$  类群的

适口性,  $C_i$  为第  $i$  类群的分盖度.

## 2 结果与分析

### 2.1 放牧强度对草地植物组成及生物量的影响

2.1.1 不同植物类群地上生物量的变化 方差分析表明, 各处理组不同生活型功能群植物的地上生物量和总的地上生物量之间的差异极显著, 但年度之间差异不显著 (表 2).

由表 3 可以看出, 各年度不同放牧强度下的地上总生物量均低于对照组, 且随着放牧强度的增加呈递减趋势; 随放牧强度的增加, 禾本科和莎草科植物的地上生物量呈下降趋势, 而杂类草的地上生物量则呈上升趋势.

表 2 不同放牧强度下各植物类群 6~9 月份平均地上生物量及总地上生物量方差分析

Table 2 ANOVA of the average aboveground biomasses and total aboveground biomasses of different plant groups at different grazing intensities from June to September

植物类群 Plant groups	分析项目 Analysis items	平方和 SS	自由度 df	F 值 F value	P 值 P value	显著性检验 Significant test
莎草 Sedges	处理间 Interval of treat	777.256 6	3	37.678 6	0.002 165	**
	年度间 Interval of years	5.313 8	1	<1	0.848 3	ns
禾草 Grasses	处理间 Interval of treat	15 175.11	3	239.567 4	0.000 057 3	**
	年度间 Interval of years	0.245	1	<1	0.992 487	ns
杂类草 Forb weeds	处理间 Interval of treat	3 139.62	3	16.382 0	0.010 35	*
	年度间 Interval of years	4.263 2	1	<1	0.933 614	ns
总地上生物量 Total aboveground biomass	处理间 Interval of treat	11 273.32	3	48.190 2	0.001 347	**
	年度间 Interval of years	0.540 8	1	<1	0.987 19	ns

注: \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ); \* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); ns 表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ). 表 4、表 6 同

Note: \*\* indicate extremely significant difference ( $P < 0.01$ ); \* indicates significant difference ( $P < 0.05$ ); ns means no significant difference ( $P > 0.05$ ). Table 4 and Table 6 were the same as Table 2.

表 3 不同放牧强度下各植物类群 6~9 月份平均地上生物量及总地上生物量的变化

Table 3 Changes of the average aboveground biomasses and the total aboveground biomasses of different plant groups at different grazing intensities from June to September

植物类群 Plant groups	年度 Year	地上生物量 Aboveground biomasses ( $g/m^2$ )			
		对照 Control	轻度放牧 Light grazing	中度放牧 Moderate grazing	重度放牧 Heavy grazing
莎草 Sedges	1998	69.44 $\pm$ 8.01Aa	64.28 $\pm$ 8.01Aa	53.20 $\pm$ 4.96Ab	40.24 $\pm$ 3.10Bc
	1999	63.00 $\pm$ 6.12Aa	61.32 $\pm$ 5.06Aa	55.20 $\pm$ 5.95Ab	41.12 $\pm$ 4.25Bc
禾草 Grasses	1998	135.00 $\pm$ 9.97Aa	44.52 $\pm$ 4.06Bb	38.92 $\pm$ 1.12Bc	21.20 $\pm$ 1.08Cd
	1999	130.12 $\pm$ 8.98Aa	54.72 $\pm$ 5.13Bb	38.60 $\pm$ 3.56Bc	14.80 $\pm$ 2.13Cd
杂类草 Forb weeds	1998	49.60 $\pm$ 4.37b	55.60 $\pm$ 5.15b	58.68 $\pm$ 5.67b	87.08 $\pm$ 5.49a
	1999	40.52 $\pm$ 2.96b	47.60 $\pm$ 5.07b	63.00 $\pm$ 6.75b	105.68 $\pm$ 7.98a
总的地上生物量 Total aboveground biomass	1998	254.04 $\pm$ 15.24Aa	164.40 $\pm$ 10.58Bb	150.80 $\pm$ 11.23Bb	148.52 $\pm$ 12.01Bb
	1999	233.64 $\pm$ 10.32Aa	163.64 $\pm$ 13.04Bb	156.80 $\pm$ 12.65Bb	161.60 $\pm$ 13.14Bb

注: 相同项目不同大小写字母分别表示差异达极显著 ( $P < 0.01$ ) 和显著水平 ( $P < 0.05$ ). (表 5 同)

Note: The different capital and normal letters as the same items stand for significant difference at  $P < 0.01$  and  $P < 0.05$ , respectively. They are the same as Table 5.

2.1.2 不同群植物类群地上生物量百分比组成的变化 方差分析结果表明, 不同处理组莎草科植物

地上生物量百分比组成之间差异极显著, 禾本科和杂类草地上生物量百分比组成之间差异显著, 但不

同植物类群地上生物量年度之间差异不显著(表4)。从表5可知,随放牧强度的增加,禾本科植物地上生物量的比例减小,杂类草的比例增大,而莎草科植物地上生物量的比例减小,对照和重度放牧组最低,轻度放牧最高,中度放牧次之。这是因为轻度放牧时,放牧牦牛优先采食适口性好的禾本科和莎草科牧草,导致较高的禾本科植物对资源利用效率降低,而较矮小的莎草科和杂类草能竞争到更多的阳光和土壤养分<sup>[22,23]</sup>,禾本科和杂类草的百分比组成较对照组降低,而莎草科植物的百分比组成较对照组增加。在中度放牧下,牦牛选择采食的空间较轻度放牧减小,放牧牦牛对禾本科和莎草科植物的采食

强度较轻度放牧增加,而采食强度的增加会刺激莎草科和禾本科植物快速生长,以补偿莎草和禾草的损失,同时也为杂类草提供了更多的阳光和土壤养分。但当地上生物量达到一定水平时,这种功能补偿又往往产生牧草的生长冗余<sup>[24]</sup>,因此禾本科和莎草科植物生物量百分比组成降低,杂类草比例增加比较缓慢。在重度放牧下,虽然这种功能补偿形式可以弥补盖度和生物量降低的损失,但多为牦牛不喜食或不可采食的杂类草,因此它是一种功能上的组分冗余,表现为杂类草生物量增加,禾本科和莎草科植物的生物量组成下降。

表4 不同放牧强度下各植物类群6~9月份平均地上生物量的百分比组成方差分析

Table 4 ANOVA of the percentage compositions of the average aboveground biomasses of different plant groups at different grazing intensities from June to September

植物类群 Plant groups	分析项目 Analysing items	平方和 SS	自由度 df	F值 F value	P值 P value	显著性检验 Significant test
莎草 Sedges	处理间 Interval of treat	230.763 5	3	82.804 4	0.002 205	**
	年度间 Interval of years	6.516 1	1	7.014 4	0.077 09	ns
禾草 Grasses	处理间 Interval of treat	1 076.418 0	3	25.017 1	0.012 64	*
	年度间 Interval of years	5.527 8	1	0.385 4 < 1	0.578 7	ns
杂类草 Forb weeds	处理间 Interval of treat	1 728.256 0	3	22.383 5	0.014 82	*
	年度间 Interval of years	2.257 8	1	0.087 73 < 1	0.786 4	ns

表5 不同放牧强度下各植物类群6~9月份平均地上生物量的百分比

Table 5 Percentage of the average aboveground biomasses of different plant groups at different grazing intensities from June to September

植物类群 Plant groups	年度 Year	地上生物量百分比 Percentage of aboveground biomasses (%)			
		对照 Control	轻度放牧 Light grazing	中度放牧 Moderate grazing	重度放牧 Heavy grazing
莎草 Sedges	1998	27.33 ±6.23Bb	40.55 ±9.01Aa	35.28 ±5.14Aa	28.14 ±3.89Bb
	1999	25.96 ±3.29Bb	37.47 ±4.07Aa	35.20 ±3.79Aa	25.45 ±4.00Bb
禾草 Grasses	1998	40.14 ±6.23a	29.44 ±2.30b	25.81 ±6.01b	14.07 ±2.23c
	1999	47.69 ±7.02a	33.44 ±4.14b	25.82 ±4.12b	9.16 ±1.35c
杂类草 Forb weeds	1998	32.52 ±1.97b	33.02 ±4.22b	38.91 ±3.37b	57.8 ±6.08a
	1999	26.35 ±1.37b	29.09 ±3.01b	40.18 ±4.45b	65.39 ±5.59a

2.1.3 优良牧草组成及草地质量指数的变化 方差分析表明,不同处理组优良牧草比例之间差异显著,草地质量指数差异极显著,但年度之间差异不显著(表6)。对照、轻度和中度放牧组优良牧草地上生物量比例之间差异不显著,但它们显著高于重度放牧组;随放牧强度的增加草地质量指数下降,而且中度放牧组的草地质量指数显著地高于轻度放牧组和对照组,重度放牧组极显著地高于其它处理组(表7)。这是因为随着放牧强度的提高,植株较高的禾本科植物比例的减少提高了群落的透光率,从而使下层植株矮小的莎草科植物,特别是杂类草截获的光

通量增加,光合作用的速率提高,干物质积累增加,导致优良牧草地上生物量比例下降,杂类草比例上升。

2.1.4 植物群落相似性系数的变化 从表8可知,随放牧强度的增加,群落的相似性系数减小。轻度放牧组第二年较第一年大,中度和重度放牧组第二年较第一年小,其中重度放牧组下降幅度最大,其次为中度放牧组。这说明通过2a的放牧,轻度放牧组植物群落向接近对照组植物群落的方向变化(变化增大),中度和重度放牧组植物群落均向偏离对照组植物群落的方向变化(变化减小)。

表 6 优良牧草组成及草地质量指数方差分析

Table 6 Changes of the percentage compositions of good quality forages and grassland quality index (IGQ)

植物类群 Plant groups	分析项目 Analysing items	平方和 SS	自由度 df	F 值 F value	P 值 P value	显著性检验 Significant test
优良牧草 Good quality herbage	处理间 Interval of treat 年度间 Interval of years	1 317.865 0 0.738 1	3 1	23.944 2 0.040 23 < 1	0.0134 6 0.853 9	* ns
草地质量指数 Index of grassland quality (IGQ)	处理间 Interval of treat 年度间 Interval of years	8.948 5 0.012 8	3 1	71.760 2 0.307 9 < 1	0.002 764 0.617 6	** ns

表 7 优良牧草组成及草地质量指数的变化

Table 7 Changes of the percentage composition of good quality forages and grassland quality index (IGQ)

项目 Items	年度 Year	对照 Control	轻度放牧 Light grazing	中度放牧 Moderate grazing	重度放牧 Heavy grazing
优良牧草(禾本科牧草 + 莎草科牧草) Good quality herbage (grasses + sedges)	1998	67.48 ± 9.97a	66.98 ± 5.65a	61.09 ± 6.01a	42.21 ± 3.32b
	1999	73.66 ± 10.20a	70.91 ± 7.61a	61.02 ± 7.00a	34.60 ± 3.01b
	1999 ~ 1998	5.88 ± 0.99	3.93 ± 0.54	- 0.07 ± 0.01	- 7.61 ± 0.56
草地质量指数 Index of grassland quality (IGQ)	1998	5.62Aa	5.21Aa	3.99Ab	2.12Bc
	1999	5.66Aa	5.36Aa	3.89Ab	1.64Bc
	1999 ~ 1998	0.04	0.15	- 0.1	- 0.48

注: \*\* . 同项目不同大小写字母表示差异水平达极显著 ( $P < 0.01$ ) 或显著 ( $P > 0.05$ ) .

Note: Under the same items, the different capital and normal letters indicate significant difference at  $P = 0.01$  and  $P = 0.05$ , respectively.

表 8 不同放牧强度下暖季草场植物群落相似性系数

Table 8 Similarity coefficients ( $S_m$ ) of plant communities grassland at different grazing intensities during the warm season

年度 Year	相似性系数 Similarity coefficient at different grazing intensities		
	轻度放牧 Light grazing	中度放牧 Moderate grazing	重度放牧 Heavy grazing
1998	0.8662	0.8478	0.8298
1999	0.8804	0.8369	0.7789
1998 ~ 1999	0.0142	- 0.0109	- 0.0509

## 2.2 放牧强度与优良牧草比例及牦牛个体增重之间的关系

放牧强度与优良牧草比例、牦牛个体增重均呈负相关关系, 它们的回归方程见图 1 和图 2. 1998 年和 1999 年优良牧草比例与放牧强度之间两回归直线交点对应的放牧强度为 1.83 头/  $\text{hm}^2$ , 1998 年和 1999 年牦牛个体增重与放牧强度之间两回归直线交点对应的放牧强度为 1.89 头/  $\text{hm}^2$ . 这说明放牧强度对草地可食牧草的产量以及所占总生物量的比例和品质有一定影响, 放牧家畜的牧草(干物质) 采食量也因此受到影响, 最终表现在家畜生产力的变化<sup>[12]</sup>. 因此, 放牧状态下动物生产是植物变化、特别是优良牧草比例变化的间接反应<sup>[11]</sup>.

## 2.3 优良牧草比例与牦牛个体生产力的关系

暖季草场优良牧草比例和牦牛个体增重的年度变化随放牧强度的增加而减小, 其年度变化与放牧强度均呈负相关关系, 它们的回归方程见图 3. 1998 年和 1999 年优良牧草比例与放牧强度之间两回归

直线交点、牦牛个体增重与放牧强度之间两回归直线交点对应的放牧强度分别为 1.83 头/  $\text{hm}^2$  和 1.89 头/  $\text{hm}^2$ , 而优良牧草比例年度变化和牦牛个体增重的年度变化与放牧强度之间两回归直线交点对应的放牧强度为 1.86 头/  $\text{hm}^2$ . 这说明放牧强度约为 1.86 头/  $\text{hm}^2$  时基本能维持优良牧草比例和牦牛个体增重年度不变, 如果放牧强度高于该强度, 优良牧草比例和牦牛个体增重第二年下降, 反之上升; 而且偏离越远, 上升或下降幅度越大. 显然, 优良牧草比例的年度变化和牦牛个体增重年度变化之间存在着正相关关系. 为了便于分析, 将它们随放牧强度变化情况一并列于表 9 中. 优良牧草比例的年度变化 ( $Y_{Rf}$ ) 与放牧强度 ( $x$ ) 之间的回归方程为:

$$Y_{Rf} = 8.000 3 - 2.97x \quad (R = - 0.999 0, P < 0.01), \text{其中 } x > 0, Y_{Rf} \text{ 的单位为 } (\%) \quad (1)$$

牦牛个体增重的年度变化 ( $Y_{Lg}$ ) 与放牧强度之间的回归方程为:

$$Y_{Lg} = 12.2 - 5.22x \quad (R = - 0.870 2, P < 0.01)$$

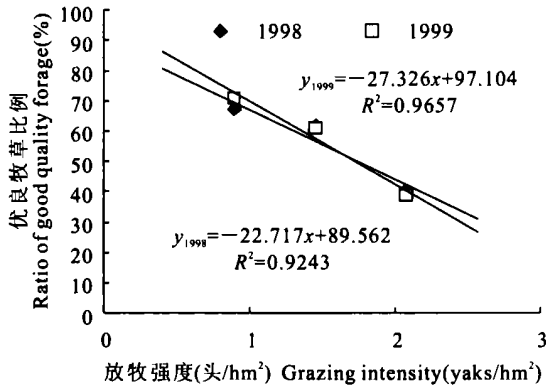


图 1 优良牧草比例随放牧强度的变化

Fig. 1 Percentage change of quality forages with the grazing intensities

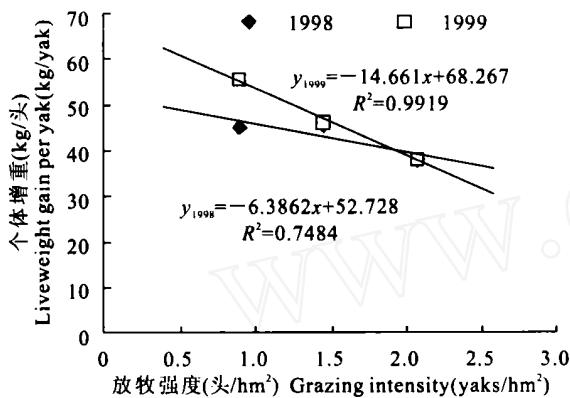


图 2 牦牛个体增重随放牧强度的变化

Fig. 2 Changes of the body-weight gains per yak with the grazing intensities

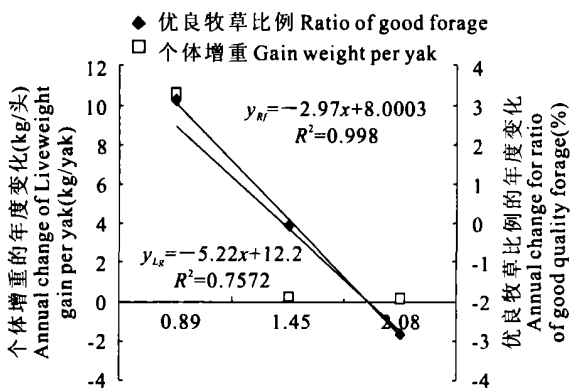


图 3 优良牧草比例和牦牛个体增重年度变化随放牧强度的变化

$Y_{Lg}$  表示放牧牦牛个体增重的年度变化;

$Y_{Rf}$  为优良牧草比例的年度变化;  $x$  为放牧强度

Fig. 3 Annual percentages changes of quality herbage and body-weight gains per yak with the grazing intensities  $Y_{Lg}$ . Annual changes of body-weight gains per yak;  $Y_{Rf}$ . Annual changes of ratio of quality herbage;  $x$ . The grazing intensities

其中  $x > 0$ ,  $Y_{Lg}$  的单位为 kg/头 (2)

进而  $Y_{Rf}$  与  $Y_{Lg}$  之间存在着正相关关系, 其回归方程为:

$$Y_{Lg} = 1.1801 Y_{Rf} - 7.1112 \quad (R = 0.9136, P < 0.05) \quad (3)$$

实际上, 牦牛个体增重的年度变化应该是优良牧草比例年度变化和牧草生物量年度变化的函数<sup>[28]</sup>. 但由于 2 年各放牧强度牧草生物量的年度差异不显著(表 3), 因此牧草生物量和牦牛个体增重的年度变化并不显著相关, 牧草生物量在优良牧草年比例的年度变化关于牦牛个体增重的年度变化、牧草生物量的回归方程对回归平方和的贡献微小 ( $R = 0.013$ ), 从而牧草生物量对牦牛个体增重的年度变化的影响极小, 可以忽略不计. 因此只有优良牧草比例的年度变化 ( $Y_{Rf}$ ) 是暖季草场牦牛个体增重的年度变化 ( $Y_{Lg}$ ) 的主要决定因素[ (3) 式].

从优良牧草比例和牦牛个体增重的年度变化来看(表 9), 总的趋势是随放牧强度的增加, 优良牧草比例减小, 牦牛个体增重也减小. 但第二年中度和重度放牧组优良牧草的比例下降, 而牦牛个体增重反而增加. 1998 年和 1999 年 2 年各放牧组牧草生物量的年度差异不显著, 从理论上来说, 优良牧草的比例下降, 牦牛个体增重应该下降. 这可能是系统误差和测量误差的影响造成优良牧草的比例和牦牛个体增重的年度变化相反. 根据以上分析, 含有试验误差的回归方程 (3) 的精确方程应该为:  $Y_{Lg} = K^+ Y_{Rf}$  ( $K$  为常数, 且  $K > 0$ ), 因此方程  $Y_{Lg} = 1.1801^+ Y_{Rf}$  (4) 可能是  $Y_{Lg}$  和  $Y_{Rf}$  关系的一个最好近似, 这与周立等<sup>[23]</sup> 在藏系绵羊上的结论一致.

### 2.4 高寒小高草草甸植被不退化最大放牧强度

由于各放牧区年度生物量之间差异不显著, 因此高寒小高草草甸植被状态的变化就是牧草质量(优良牧草比例)的变化, 从而不同放牧处理组牧草质量的年度变化决定了各放牧强度组牦牛个体生产力的年度变化, 反之, 各放牧强度组牦牛个体生产力的年度变化决定了不同放牧组牧草质量的年度变化. 因此, 优良牧草比例增加, 表明高寒小高草草甸植被改善或向好的方向变化, 反之表明植被变劣、退化或向坏的方向变化. 这样只需直接度量优良牧草比例的年度变化, 即可确定植被状态的年度变化, 进而也可确定牦牛个体生产力的年度变化. 优良牧草比例是植被属性, 而牦牛个体生产力是家畜生产力属性指标, 则两个不同的属性指标反映草场状态的 2 个方面, 但可以通过不同放牧强度下牦牛个体生

产力增减来间接确定小嵩草高寒草甸植被改善或变劣.从上面的讨论可知,放牧强度为1.86头/hm<sup>2</sup>时,基本能维持优良牧草比例和牦牛个体增重年度不变,可以认为放牧强度1.86头/hm<sup>2</sup>大约是小嵩草高寒草甸暖季草场不退化的最大放牧强度.

## 2.5 植被状态的度量指标

从表10可以看出,4个指标与放牧强度之间均存在负相关关系,且轻度放牧组的4个指标均为正值,表明轻度放牧组植被的放牧价值和牦牛生产力逐年改善,其植物群落与对照组植物群落的差异逐年减小,草地质量(放牧价值)在提高.在中度放牧组,草地质量指数和牦牛个体增重的年度变化均为

正值,但植物群落的相似性系数和优良牧草比例的年度变化为负值.这说明轻度放牧能改善高寒小嵩草草甸植被的放牧价值和牦牛生产力,但群落整体与对照组的差异略有增大.在重度放牧条件下,尽管其它3项指标均为负值,但牦牛个体增重的年度变化为正值,这与周立等<sup>[23]</sup>在藏系绵羊上的结论不完全一致.这可能是系统误差和测量误差造成牦牛个体增重的年度变化与草地的放牧价值和草地质量相反,也可能是牦牛在高寒小嵩草草甸放牧与其它家畜在消化、代谢等方面不同所致,还是由于高寒小嵩草草甸植被中某些特有植物的特殊化学成分在起作用<sup>[25]</sup>,尚需进一步深入研究.

表9 牦牛个体增重和优良牧草比例年度变化

Table 9 Annual changes of quality herbage and body-weight gains per yak

项目 Item	放牧处理 Grazing treatment		
	轻度放牧 Light grazing	中度放牧 Moderate grazing	重度放牧 Heavy grazing
放牧强度 Stocking intensity (yaks/hm <sup>2</sup> )	0.89	1.45	2.08
牧草利用率 Utilization ratio of herbage (%)	30	50	70
优良牧草比例的年度变化 Annual changes of quality herbage (%)	3.93	-0.07	-7.61
牦牛个体增重的年度变化 Annual changes of body-weight gains per yak (kg/yak)	10.6	3.7	1.2

表10 高寒小嵩草草甸暖季草场植被状态变化的度量指标

Table 10 Measurement indexes of the annual vegetation changes in alpine *Kobresia parva* meadow during the warm season

放牧强度 Stocking intensity (yaks/hm <sup>2</sup> )	植被变化指标 Index of vegetation change			牦牛个体增重变化 Changes of body-weight gains per yak
	相似性系数变化 Changes of similarity coefficient	优良牧草比例变化 Ratio changes of quality herbage	草地质量指数变化 Changes on index of grassland quality	
轻度放牧 Light grazing (0.89yaks/hm <sup>2</sup> )	0.014 2	3.93	0.150 0	10.0
中度放牧 Moderate grazing (1.45yaks/hm <sup>2</sup> )	-0.010 9	-0.07	0.100 0	3.7
重度放牧 Heavy grazing (2.08yaks/hm <sup>2</sup> )	-0.050 9	-7.61	-0.480 0	1.2

## 3 讨论与结论

经营草场的主要目的是获得尽可能多的家畜生产力,它的大小由放牧强度和家畜个体生产力共同决定<sup>[22,26]</sup>.因此评价高寒小嵩草草甸植被变好或变坏,应该以放牧强度下牦牛生产力的提高或降低为标准.这等于以该放牧强度下牦牛生产力的升、降作为标准.如果植被的变化使得牦牛个体生产力提高,植被就改善或向好的方向变化;相反植被就变劣、退化或向坏的方向变化<sup>[18]</sup>.

植被变化和家畜生产力变化是草场的两种不同属性,但植被变化是草场变化的最直接表现,也是导致其它属性如土壤营养状况、家畜生产力变化的基本因素<sup>[27]</sup>.因此,在家畜生产力指标之下,如果要直

接度量草场植被的变化,首先应度量不同植物类群和物种的变化<sup>[28]</sup>,即植被放牧价值的变化,也就是从描述植被变化的指标转移到以家畜生产力评价植被变化的指标,从而既可以描述植被变化,也能描述家畜生产力的状况<sup>[12]</sup>.另外,由于植被状态的变化(优良牧草比例变化或草地质量指数)就是放牧价值的变化,因此以对照组为标准的相似性系数的年度变化或草地质量指数可作为度量植被整体年度变化的一个定量指标.然而,如果单独探讨植物群落整体的相对变化,相似性系数和草地质量指数是比较全面的指标,但相似性系数的变化与牦牛生产力变化没有直接的联系,不能反映草场放牧价值的变化.相比之下,草地质量指数的变化也要比相似性系数的变化能更好地反映牦牛生产力变化,因为它把所有

不同植物类群的盖度、适口性都考虑到了,能从整体上反映草场放牧价值的变化,但它仍然与牦牛生产力没有太直接的联系,不同植物类群盖度的测定和适口性的判别人为因素的干扰太大,它也不是一个很客观的指标,因而应对高寒草甸放牧生态系统进行优化管理和 AHP 决策<sup>[29,30]</sup>。

高寒小嵩草草甸植被的状态可以直接用牧草的数量和质量表示,因为它们基本上决定了任一放牧强度下的家畜生产力或家畜个体生产力<sup>[21,22,31]</sup>。相反,任一放牧强度下的家畜个体生产力也能反映植被状态,两者相互对应,进而家畜个体生产力的年度变化与高寒小嵩草草甸植被状态的年度变化也相互对应,所以两者可以相互表示。本试验的结果表明,

重度放牧组的植被放牧价值和草地质量逐年降低,植物群落也朝远离对照组的方向变化,但中牧组植物群落的相似性系数和优良牧草的比例基本维持不变,牦牛个体增重的年度变化仍然比较大,草地质量指数也在增大。合理的放牧强度应该是持续最大生产力放牧强度,它不但要求家畜生产力达到最大,而且要能维持草场和家畜生产力的年际相对稳定,甚至应该向更好的方向发展。因此,草场不退化放牧强度应该在中牧和重牧之间。当放牧强度为 1.86 头/hm<sup>2</sup> 时基本能维持优良牧草比例和牦牛个体增重年度不变,可认为放牧强度 1.86 头/hm<sup>2</sup> 大约是小嵩草高寒草甸暖季草场不退化的最大放牧强度。

#### 参考文献:

- [1] LI Z ZH(李自珍), ZHAO S L(赵松龄). Causes of grassland degradation and its management strategies in Qilian Mountain Area[J]. *Grassland of China*(中国草地), 1989, (3): 25 - 31(in Chinese).
- [2] XU ZH X(许志信), ZHAO M L(赵萌莉), HAN G D(韩国栋). Ecological environment degradation and its controlling strategies in Inner Mongolia[J]. *Grassland of China*(中国草地), 2000, (5): 59 - 63(in Chinese).
- [3] WANG T(王 涛), ZHU ZH D(朱震达). Several problems of desertification in Northern China[J]. *Quaternary Sciences*(第四纪), 2001, (1): 56 - 65(in Chinese).
- [4] ZHOU H K(周华坤), ZHOU L(周 立), ZHAO X Q(赵新全), LIU W(刘 伟), YAN Z L(严作良), SHI Y(师 燕). Degradation process and integrated treatment of "black soil beach" grassland in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2003, 22(5): 51 - 55(in Chinese).
- [5] SHANG ZH H(尚占环), LONG R J(龙瑞军). Formation reason and recovering problem of the "black soil type" degraded alpine rassland in Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2005, 24(6): 652 - 656(in Chinese).
- [6] LI W J(李文建). The evaluation of the research on the grazing optimization hypothesis[J]. *Grassland of China*(中国草地), 1999, 21(4): 61 - 66(in Chinese).
- [7] DONG SH K(董世魁), JIANG Y(江 源), HUANG X X(黄晓霞). Suitability degree of grassland grazing and strategies for pasture management[J]. *Resources Science*(资源科学), 2002, 24(6): 35 - 41(in Chinese).
- [8] CAUGHLEY G. What is this thing called carrying capacity[A]. In: Boyce, M. S. and Hayden-Wing, L. D., (eds.) *North American Elk: Ecology, Behaviour and Management* [M]. Laramine, Wyoming: University of Wyoming Press, 1979: 2 - 8.
- [9] WILSON A D, LEIGH J H. Comparison of the productivity of sheep grazing natural pastures of Riverine Plain[J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 1967, (10): 549 - 554.
- [10] HARRINGTON GN, PRATCHETT D. Stocking rate trials in Ankole, Uganda. I. Weight gain of Ankole steers at intermediate and heavy stocking rates under different managements[J]. *Journal of Agricultural Science*(Camb.), 1974, (2): 497 - 506.
- [11] WILSON A, MACLEOD D. Overgrazing: present or absent [J]. *Journal of Range Management*, 1991, 44(5): 475 - 482.
- [12] MOTT G O. Grazing pressure and the measurement of pasture production[C]. In: *Proceedings of the 8th International Grassland Congress*, Reading, England, 1960: 606 - 611.
- [13] WILLIAMSON S C, JAME K D, JERROLD L D, MELVIN I D. Experimental evaluation of the grazing optimization hypothesis[J]. *J. Range Mnange.*, 1989, 42(2): 149 - 152.
- [14] WANG SH P(汪诗平), LI Y H(李永宏), CHEN Z ZH(陈佐忠). The optimal stocking rates on grazing system in Inner Mongolia steppe. Based on relationship between stocking rate and aboveground net primary productivity[J]. *Acta Agrestia Sinica*(草地学报), 1999, 7(3): 192 - 197(in Chinese).
- [15] BRANDSY D L. Justification for grazing intensity experiments: economic analysis[J]. *J. Range Mnange.*, 1989, 42(5): 425 - 430.
- [16] WANG SH P(汪诗平), LI Y H(李永宏), CHEN Z ZH(陈佐忠). The optimal stocking rates on grazing system in Inner Mongolia steppe. Based on analysis of liveweight gain per animal and hectare and benefit[J]. *Acta Agrestia Sinica*(草地学报), 1999, 7(3): 183 -



- 191 (in Chinese).
- [17] WILSON A D. Principles of grazing management systems[A]. In: R. J. Joss, P. W. Lynch and O. B. Williams (eds), Rangeland: A Resource under Siege[M]. Cambridge Univ. New York, 1986.
- [18] WILSON A D, TUPPER G J. Concepts and factors of range condition applicable to measurements of range condition[J]. *J. Range Manage.*, 1982, 35: 684 - 689.
- [19] 任继周. 草原第二性生产力的评定[A]. 姜 恕. 草原生态学研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 23 - 31.
- [20] GREIG-SMITH P. Quantitative plant ecology[M]. Blackwell, Oxford, 1983.
- [21] DU G ZH(杜国祯), WANG G(王 刚). Succession and quality change of artificial grassland of Canna sub-alpine meadow[J]. *Acta Botanica Sinica(植物学报)*, 1995, 37(4): 306 - 313 (in Chinese).
- [22] ZHOU L(周 立), WANG Q J(王启基), ZHAO J(赵 京), ZHOU Q(周 琪). Studies on optimum stocking intensity in pasturelands of alpine meadow. . Stocking intensity to maximize production of Tibetan sheep[J]. *Alpine Meadow Ecosystem(高寒草甸生态系统)*, FASC, 1995, 4: 365 - 376 (in Chinese).
- [23] ZHOU L(周 立), WANG Q J(王启基), ZHAO J(赵 京), ZHOU Q(周 琪). Studies on optimum stocking intensity in pasturelands of alpine meadow. . The measuring of vegetation change and the maximum stocking intensities of no degeneration in grasslands[J]. *Alpine Meadow Ecosystem(高寒草甸生态系统)*, FASC, 1995, 4: 403 - 418 (in Chinese).
- [24] ZHANG R(张 荣), DU G ZH(杜国祯). Redundance and compensation of grazed grassland communities[J]. *Acta Prataculturae Sinica(草业学报)*, 1998, 7(4): 13 - 19 (in Chinese).
- [25] 冯定远, 汪 傲. 抗营养因子及其处理研究进展[A]. 卢德勋. 2000动物营养研究进展[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 102.
- [26] CHARUDU T T M, HERBERT H T, PRINS, SIPKE E. Wieren, overstocking in the trans-Himalayan rangelands of India[J]. *Environmental Conservation*, 2001, 28(3): 279 - 283 (in Chinese).
- [27] DONG Q M(董全民), ZHAO X Q(赵新全), LI Q Y(李青云), MA Y SH(马玉寿), WANG Q J(王启基), SHI J J(施建军), LI Y F(李有福). Responses of contents of soil nutrient factors and water to stocking rates for yaks in *Kobresia parva* alpine meadow. Responses to contents of soil nutrient factors and water to stocking rates in summer pasture[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin. (西北植物学报)*, 2004, 24(12): 2228 - 2236 (in Chinese).
- [28] DONG Q M(董全民), MA Y SH(马玉寿), LI Q Y(李青云), ZHAO X Q(赵新全), WANG Q J(王启基), SHI J J(施建军). Effects of stocking rates for yaks on community composition and plant diversity in *Kobresia parva* alpine meadow warm-season pasture[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin. (西北植物学报)*, 2004, 24(1): 94 - 102 (in Chinese).
- [27] YUE D X(岳东霞), LI W L(李文龙), LI Z ZH(李自珍). Analysis of AHP strategic decision for grazing management system and ecological restoration in the alpine wetland at Canna in Gansu[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin. (西北植物学报)*, 2004, 24(2): 248 - 253 (in Chinese).
- [28] CHEN L D(陈利顶), FU B J(傅伯杰). Ecological significance, characteristics and types of disturbance[J]. *Acta Ecologica Sinica(生态学报)*, 2000, 20(4): 581 - 586 (in Chinese).
- [29] LI Y H(李永宏), CHEN Z ZH(陈佐忠), WANG SH P(汪诗平), HUANG D H(黄德华). Grazing experiment for sustainable management of grassland ecosystem of Inner Mongolia Steppe: Experimental design and the effects of stocking rates on grassland production and animal liveweight[J]. *Acta Agraria Sinica(草地学报)*, 1999, 7(3): 173 - 182 (in Chinese).