

# 牦牛放牧率对江河源区混播禾草 地上初级生产量及种间竞争力的影响

董全民<sup>1,2</sup>, 赵新全<sup>1</sup>, 马玉寿<sup>2</sup>, 代勇<sup>2</sup>, 李有福<sup>3</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810002;  
2. 青海省畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810003; 3. 青海省果洛州草原站, 青海 814000)

**摘要:**在江河源区 2 龄混播禾草草地(垂穗披碱草 + 星星草)上牦牛放牧试验结果表明:随着放牧率的增加,在生长期不同功能群地上净初级生产量和总地上初级生产量均出现了单峰曲线变化,即“S”型变化趋势;总的地上净初级生产量和垂穗披碱草地上净初级生产量对放牧率的变化很敏感,且随着放牧率的增加,峰值出现日期提前;其它禾草和星星草的峰值对放牧率的变化不很敏感;莎草类和杂草类对放牧率的变化比较敏感。随放牧率的增加,地上现存量和总地上初级生产量的峰值下降,且达到峰值的时间提前。在整个放牧期(植物生长期),重度放牧的 RYT 值均小于 1,表明重度放牧使垂穗披碱草和星星草一直处于拮抗状态,其它各处理组在生长中后期也处于拮抗状态;不同放牧率(包括对照)下垂穗披碱草的竞争力强于星星草,垂穗披碱草因其高度和发达而较深的根系成为竞争的优胜者。

**关键词:**牦牛放牧率;混播禾草草地;种间竞争力;地上净初级生产量;江河源区

**中图分类号:**S812.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6311(2005)02-0001-08

**Effects of Stocking Rate for Yaks on Competition Ratio and Aboveground Net Primary Productivity of Mixed Sown Grassland with Two Perennial Grasses in the Changjiang and the Yellow River Source Region.** DONG Quan-min<sup>1,2</sup>, ZHAO Xin-quan<sup>1</sup>, MA Yu-shou<sup>2</sup>, DAI Yong<sup>2</sup>, LI You-fu<sup>3</sup> (1. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810002, China; 2. Qinghai Academy of Animal and Veterinary Sciences, Xining 810003; 3. Guoluo Prefecture Grassland Station of Qinghai Province, Dawu 814000, China): *Grassland of China*, No. 2, 2005, pp. 1 ~ 8.

**Abstract:** The result of grazing trial for yaks in two-year mixed sown pasture with perennial grasses (*Elymus natans* + *Puccinellia tenuiflora*) in the Changjiang and Yellow River source region showed: with the increase of stocking rate, aboveground

收稿日期:2004 - 05 - 14;修回日期:2004 - 12 - 17

基金项目:国家“十五”攻关项目(2001BA606A-0X2)

作者简介:董全民(1972 - ),男,甘肃天水人,助理研究员,在读博士,主要从事草地生态及青藏高原“黑土型”退化草地的恢复与重建工作。

net primary productivity of the total and different functional groups was in the changing trend of curve with single peak, i. e. S - shaped curve, during growing period; aboveground net primary productivity of the total and *Elymus natans* was most sensitive to the change of stocking rates, and the date when peak values appear was brought forward with the increased stocking rate, and sedges and weeds followed them, and then grasses and *Puccinellia tenuiflora* was not sensitive to the changing of stocking rates. Furthermore, the peak values of total standing crops and aboveground net primary productivity decreased and the date when peak values appear were brought forward with the increased stocking rates. Within grazing period, RYT values of heavy grazing were below 1, which indicated that the growth of *Elymus natans* and *Puccinellia tenuiflora* had been competing under heavy grazing, and in mid - and late growth period, the growth of two grasses for every treatment including CK has been also in competition. Moreover, the competition ratio of *Elymus natans* was larger than that of *Puccinellia tenuiflora* in the whole grazing period, which showed that *Elymus natans* dominated in the competition because of its flourishing and deeper root.

**Key words:** Stocking rate for yaks; Two-year mixed sown pasture with perennial grasses; Competition ratio between species; Standing crop; Aboveground net primary productivity; Functional groups; The Changjiang and Yellow River source region

在草地畜牧业领域中人工草地的管理及持续利用研究是一个倍受人们重视的发展方向。通过建植人工草地来快速恢复退化草地和发展草地畜牧业,仍是当前生态畜牧业和集约化畜牧业经营管理的主要途径。由于江河源区独特的地理位置和生态环境脆弱的特点,以及对我国乃至全球生态环境和气候变化的启动和调节作用,使其成为我国乃至国际科学界的研究热点区<sup>[1-3]</sup>。本研究针对该地区生态环境恶化,气候寒冷,风沙、干旱灾害频繁的特点,从理论上探讨家畜放牧对人工半人工草地生态系统稳定性和可持续能力的作用,以期为该地区人工半人工草地合理持续利用和生态畜牧业的持续发展奠定基础<sup>[4]</sup>。

江河源区天然草地牦牛放牧试验的研究报道不多<sup>[5-10]</sup>,有关江河源区多年生混播人

工草地牦牛放牧试验还未见报道。本文研究了放牧强度对三江源区垂穗披碱草(*Elymus natans*) + 星星草(*Puccinellia tenuiflora*)多年生混播人工草地上初级生产力效应和它们之间的竞争率,旨在为多年生混播人工草地合理放牧率的确定提供基础数据,并为当地严酷自然环境和特殊生产方式下多年生混播人工草地的合理利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地自然概况

试验地设在青海果洛州大武乡格多牧委会,位于北纬 34°17' ~ 34°25'、东经 100°26' ~ 100°43',为一山间小盆地,平均海拔 4100m 左右,年均气温 4℃左右,无绝对无霜期,年均降水 560mm。牧场的原生植被为高寒草甸,但由于长期超载过牧和滥采药材(主要是

冬虫夏草),草地退化和鼠害严重,约有 80% 的草地已严重退化为“黑土滩”。课题组 2002 年在该牧场退化草地上种植(垂穗披碱草+星星草)人工草地 7000hm<sup>2</sup> 进行改良试验,放牧试验地即位于该改良试验地中。

## 1.2 试验设计

在牧户牛群内,选取健康、生长发育良好的 2.5 岁阉割过的公牦牛 16 头、体重是 100 ±5kg,随机分为 4 组(每组 4 头),放牧梯度分别是极轻放牧(牧草利用率为 20%)、轻度放牧(牧草利用率为 40%)、中度放牧(牧草利用率为 60%)、重度放牧(牧草利用率为 80%)和对照(牧草利用率为 0)。根据草场地上生物量、牦牛的理论采食量和草场面积确定放牧强度,见表 1。

表 1 放牧试验设计  
Table 1 Design of grazing trial

处理	代码	放牧牦牛头数	小区面积 (hm <sup>2</sup> )	放牧强度 (头/hm <sup>2</sup> )
极轻放牧	ELG	4	1.52	2.63
轻度放牧	LG	4	0.76	5.26
中度放牧	MG	4	0.5	8.0
重度放牧	HG	4	0.38	10.52
对照	CK	0	1.0	0

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 地上生物量、地上现存量及群落结构的测定

在每个放牧小区内沿对角线每 15d 各取 5 个重复样方(1.0m ×1.0m),齐地面刈割;按垂穗披碱草、星星草、其它禾草、莎草类和杂草类划分为不同功能群,用扣笼法测定不同功能群植物的地上生物量以及地上现存量;试验结束时调查植被的群落结构,包括植物种的高度、盖度、频度、密度和生物量。

### 1.3.2 种间竞争力的测定

相对总生物量(RYT)是测定混播两种植物间竞争力的重要标志,其计算公式为:

$RYT = Y_{av} / Y_{aa} + Y_{va} / Y_{vv}$ 。其中,  $Y_{av}$  为混播中 A 的生物量;  $Y_{va}$  为混播中 V 的生物量;  $Y_{aa}$  为单播中 A 的生物量;  $Y_{vv}$  为单播中 V 的生物量。当  $RYT > 1$  时,植物占有不同的生态位,利用不同的资源,表现为共生关系;当  $RYT = 1$  时,植物种间利用共同的资源;当  $RYT < 1$  时,植物间表现为相互拮抗关系。但 RYT 值只能说明植物间对环境资源利用上的不同及相互关系,而竞争率则反映植物间竞争力的大小,公式为  $CR_a = (Y_{av} / Y_{aa} \times Z_{av}) / (Y_{va} / Y_{vv} \times Z_{va})$ 。其中,  $Y_{av}$ 、 $Y_{aa}$ 、 $Y_{va}$ 、 $Y_{vv}$  的意义同上;  $Z_{av}$  表示混播中 A 的比例;  $Z_{va}$  表示混播中 V 的比例。当  $CR_a < 1$  时,表示 A 的竞争力小于 V; 当  $CR_a > 1$  时,表示 A 的竞争力大于 V; 当  $CR_a = 1$  时,表示 A 和 V 的竞争力相同。本实验垂穗披碱草和星星草的单播产量均来自此放牧地旁同龄小区实验,地上生物量均为干物质产量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同功能群植物地上净初级生产量的季节动态

地上净初级生产量是某一时刻地上现存量与牦牛消耗量之和,因此了解放牧率对不同功能群植物地上净初级生产量的季节动态的影响,是实现人工草地合理利用的基础<sup>[1]</sup>。在不同的放牧率下,总的地上净初级生产量和不同功能群植物的地上净初级生产量的季节变化是不相同的(图 1)。随着放牧率的增加,在生长期不同功能群地上净初级生产量和地上总初级生产力均出现了单峰或多峰曲线变化,即“S”型变化趋势。在对照、极轻放牧条件下,总的地上净初级生产量在 8 月 5 日至 9 月 5 日变化不大,但不同功能群植物地上净初级生产量的变化比较大,而且它们的地上净初级生产量的峰值基本上在这一时间段出现(生长中后期)。在轻度和

中度放牧下, 整个放牧期总的地上净初级生产量和不同功能群植物的地上净初级生产量变化起伏均比较大, 但在轻度放牧下, 它们的峰值均出现在 8 月 5 日至 9 月 5 日之间 (生长中后期); 在中度放牧下, 总的地上净初级生产量, 垂穗披碱草、其它禾草和莎草的地上净初级生产量在 7 月 5 日就达到峰

值, 而杂草类和星星草 8 月 20 日达到峰值。在重度放牧下, 整个放牧期其它禾草的地上净初级生产量的变化起伏也比较大, 总地上净初级生产量和垂穗披碱草的地上净初级生产量在 7 月 5 日达到峰值, 而其它功能群植物的地上净初级生产量则在 8 月 5 日达到峰值。

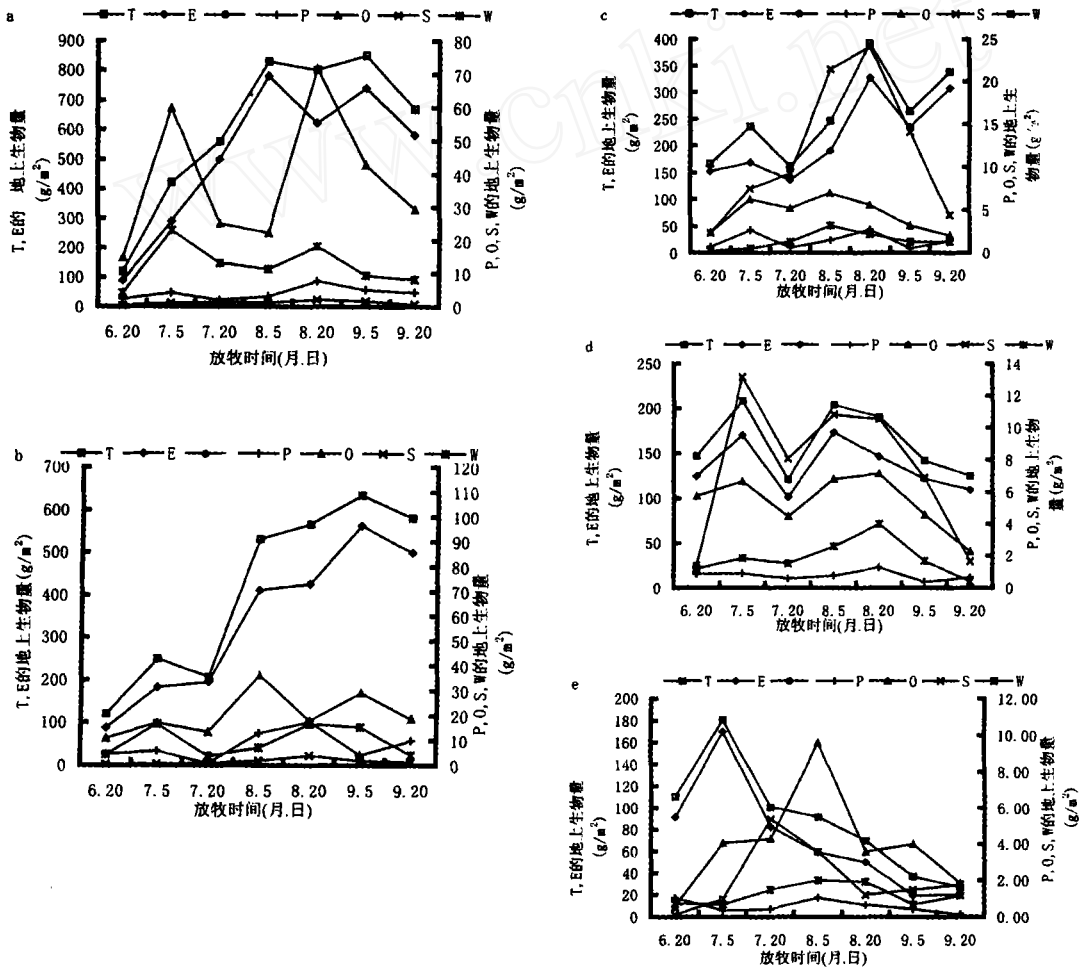


图 1 不同放牧率下(a 为对照, b 为极轻放牧, c 为轻度放牧, d 为中度放牧, e 为重度放牧)不同功能群植物地上生物量(净初级生产量)的季节变化(T 为地上总生物量, E 为垂穗披碱草, P 为星星草, O 为其它禾草类, S 为莎草类, W 为杂草类)

Fig. 1 Seasonal dynamics of aboveground biomass for different functional groups under different stocking rates(a: CK; b: extremely light grazing; c: light grazing; d: moderate grazing; e: heavy grazing; T: total aboveground biomass; E: *Elymus natans*; P: *Puccinellia tenuiflora*; O: other grasses; S: sedge; W: weeds)

## 2.2 地上现存量季节变化的响应

随放牧率的增加,地上生物量利用率依次增加,现存量趋于减少。在极轻和轻度放牧下,地上现存量的季节变化主要受植物生长规律及降雨的影响。但在中度和重度放牧,特别是重度放牧下,牦牛过度采食新生枝叶,使有效光合面积减小,从而影响了营养物质的积累和贮存;同时随着放牧时间的延长,植物生长发育所需的营养物质长期处于亏损状态,个体生物量下降,甚至造成死亡<sup>[12,13]</sup>。另外,2003年8月份几乎未下雨,严重影响了植物的生长,导致极轻放牧植物8月份生长缓慢,地上现存量相对较低,轻度放牧现存量8月中旬达到最大,至8月下旬9月上旬降雨较多,植物出现较大的补偿和超补偿性生长<sup>[14~16]</sup>,但由于牦牛的过度采食、补偿和超补偿性生长的有限性,现存量仍然降低(图2)。

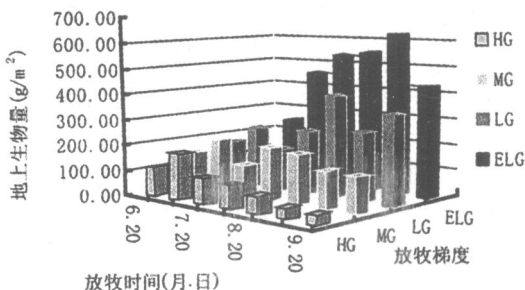


图2 不同放牧率下地上现存量的季节变化

Fig. 2 Seasonal dynamics of the standing crops under different rates

## 2.3 地上现存量、地上净初级生产量随时间变化的关系

不同放牧率下地上现存量、地上净初级生产量与放牧率之间的关系用二次方程拟合。随着放牧率的增加,地上现存量、地上净初级生产量的最大值下降,最大值出现的时间提前(表2)。

表2 地上现存量和地上生物量季节动态曲线方程及其特征值

Table 2 The equations fitting seasonal dynamics curves of the standing crops and aboveground biomass of mixed sown pastures under different stocking rates

项目	放牧率	回归方程 $Y = ax^2 + bx + c$ ( $a < 0$ )			相关系数 ( $R^2$ )	显著水平 ( $P$ )	最大值出现的天数 ( $d$ )	地上现存量和地上生物量最大值 ( $g/m^2$ )
		a	b	c				
地上现存量	CK	-23.129	248.112	-210.12	0.9001	< 0.01	80	665.39
	极轻放牧	-29.712	292.58	-173.2	0.9411	< 0.01	70	720.27
	轻度放牧	-3.7426	32.797	128.05	0.5377	< 0.02	66	199.96
	中度放牧	-2.8807	21.965	130.4	0.4047	< 0.10	57	214.14
	重度放牧	-1.4757	7.3775	109.28	0.7245	< 0.01	38	128.51
地上生物量	CK	-23.129	248.112	210.12	0.9001	< 0.01	80	665.39
	极轻放牧	-11.1398	178.905	79.7475	0.8739	< 0.01	120	781.78
	轻度放牧	-5.889	73.2	82.56	0.5106	< 0.05	93	312.18
	中度放牧	-3.889	42.5325	125.425	0.2851	> 0.10	63	241.73
	重度放牧	-0.9938	7.2923	142.365	0.7508	< 0.01	55	155.67

注:表中回归方程  $y = ax^2 + bx + c$  ( $a < 0$ ) 中的  $x$  是地上现存量和地上净初级生产量的测定次数(6月20日为第一次,每半月测一次),最大值出现的天数为  $x \times 15$ 。

2.4 垂穗披碱草和星星草种间竞争动态

从表 3 可以看出,6 月 20 日各放牧处理(包括对照)组的 RYT 值均小于 1,说明生长初期垂穗披碱草和星星草在水、热等的利用上表现为相互拮抗关系;7 月 5 日只有对照组的 RYT 值大于 1,其它各处理组的 RYT 值均小于 1,这说明对照组此时垂穗披碱草和星星草在水、热等的利用上已表现出一定的互利共生关系,其它各处理组仍表现为相互拮抗关系;从 7 月 20 日到 9 月 20 日(试验结束),除了重度放牧组,其它各处理(包括对照)组的 RYT 值均大于 1,表明垂穗披碱草和星星草在不同的生长时期不同放牧处理中占有不同或相同的生态位,利用不同的环境资源,表现为互利共生关系;而在整个放牧期(植物生长期),重度放牧组的 RYT 值均小于 1,表明在整个放牧期(植物生长期)内,重度放牧使两种牧草一直处于拮抗状态。

在整个放牧期(牧草生长期)内,不同放牧率(包括对照)下垂穗披碱草的竞争率总是大于星星草,说明垂穗披碱草的竞争力强于星星草,垂穗披碱草因其高度和发达而较深的根系成为竞争的优胜者,抑制了星星草的生长。

3 结论与讨论

牦牛放牧率对多年生混播禾草地总地上生产力、不同功能群植物地上净初级生产量有显著的影响;随着放牧率的增加,在生长期内地地上总初级生产力和不同功能群地上净初级生产量均出现了单峰或多峰曲线变化,即“S”型变化趋势。从图 1 也可以看出,总的地上净初级生产量和垂穗披碱草地上净初级生产量对放牧率的变化很敏感,而且随着放牧率的增加,它们的峰值出现的日期提前;其它禾草和星星草的峰值对放牧率的变化不是

表 3 不同放牧率下垂穗披碱草和星星草混播草地群落相对总生物量及种间竞争率

Table 3 RYT and competition ratio between *Elymus natans* and *Puccinellia tenuiflora* in mixed sown pastures under different stocking rates

放牧率	项目	测定日期(月·日)						
		6.20	7.5	7.20	8.5	8.20	9.5	9.20
对照 (CK)	RYT	0.7210	1.0219	1.0789	1.1146	1.1767	1.2912	1.2579
	垂穗披碱草竞争率	1.4993	2.6712	3.4526	4.9981	5.1111	6.0078	4.6998
	星星草竞争率	0.8991	0.7999	0.7001	0.4560	0.3012	0.1701	0.2001
极轻放牧 (ELG)	RYT	0.8618	0.9913	1.0199	1.0691	1.0939	1.1745	1.0361
	垂穗披碱草竞争率	1.2390	1.8889	2.0989	3.3301	4.7889	5.3001	3.9998
	星星草竞争率	0.9917	0.9817	0.8101	0.7610	0.5023	0.3039	0.3002
轻度放牧 (LG)	RYT	0.7319	0.8910	1.0029	1.0398	1.0091	1.0391	1.1010
	垂穗披碱草竞争率	1.1117	1.3998	2.0001	2.9128	3.9879	4.9657	3.9015
	星星草竞争率	0.7981	0.8919	0.8809	0.7101	0.7001	0.7601	0.8976
中度放牧 (MG)	RYT	0.7516	0.9218	1.0002	1.0209	1.1006	1.0301	0.9901
	垂穗披碱草竞争率	1.3318	1.5643	2.543	2.9801	3.0991	1.9981	1.2001
	星星草竞争率	0.9091	0.9012	0.9912	0.8710	0.9921	0.8781	0.9918
重度放牧 (HG)	RYT	0.6012	0.7905	0.9109	0.9340	0.8200	0.7909	0.7001
	垂穗披碱草竞争率	1.1611	1.2345	2.1252	1.6210	1.1003	0.9991	0.8712
	星星草竞争率	0.7898	0.9871	0.6543	0.3897	0.8912	0.5298	0.1120

很敏感;莎草类和杂草类对放牧率的变化比较敏感。这一方面是因为随着放牧率的增加,牦牛对优势植物种——垂穗披碱草的采食频率增加,特别是在重度放牧下,垂穗披碱草的生长和补偿性生长已不能满足牦牛的采食需要<sup>[4,8,9,15]</sup>,因此它们开始采食其它禾草、星星草和莎草,到最后它们也采食一些可食杂草类植物;但在极轻和轻度放牧下,由于牦牛有比较大的择食空间,因而它们对低矮的莎草和杂草类植物基本上不采食,这就导致了不同放牧率下不同功能群植物地上净初级生产量的差异<sup>[6,7,17~20]</sup>。另一方面,从7月中旬到8月中旬,试验区2003年降雨量仅为往年的30%(刘伟等未发表数据),因此在7月20日各放牧处理组总地上净初级生产量和不同功能群地上净初级生产量均出现了缓慢增长甚至下降趋势。但是由于不同功能群植物生理特性和抗旱性的不同,表现出它们在这一段时间内的地上净生产量的不同<sup>[21,22]</sup>。

随着放牧率的增加,地上现存量明显下降,这与董全民、韩发、王启基、周立、刘伟等<sup>[5,18,24~26]</sup>在高寒草甸天然草地上、与Christiansen、Veiga、Belsky、Jeffrey、Jerry等<sup>[27~31]</sup>在国外不同草地类型上的结论相一致,也与汪诗平<sup>[23]</sup>等在内蒙古典型草原上、董世魁<sup>[32]</sup>等在天祝县甘肃农业大学高山草原试验站混播禾草地上、蒋文兰<sup>[33]</sup>等在贵州威宁豆禾混播草地上的结论相一致,但与李永宏<sup>[22]</sup>等在内蒙古草原上随放牧率的增加地上现存量无趋向变化的结论不一致。

随着放牧率的增加,地上现存量和总地上净初级生产量的峰值下降,但随放牧率的增加,曲线的峰值下降,地上现存量和地上净初级生产量达到峰值的时间提前了。这与李永宏<sup>[22]</sup>等人在内蒙古典型草原上的试验结果不一致。他们的试验表明:随着放牧率的增加,地上现存量的峰值下降,达到峰值

的时间提前,但地上净初级生产量没有显著趋向性变化,而且地上净初级生产量达到峰值的时间推迟。另外,从表2也可以看出,随着放牧率的增加,地上净初级生产量出现明显下降趋势,这与李永宏<sup>[22]</sup>等人的结论相悖,但与大多数学者随着放牧率的增加草地生产力下降的惯论一致<sup>[5,19,24~31]</sup>。

在垂穗披碱草+星星草多年生禾草混播草地上,从植物的生理特性和群落的垂直结构来说,垂穗披碱草是上繁草,星星草是下繁草,它们的生态位不同,对地上、地下光、热、水、土壤和养分利用也不同,它们应该能够互利共生<sup>[11]</sup>,但由于放牧率的不同和环境资源的有限性,两种牧草间存在着激烈的竞争。在整个放牧期(牧草生长期)内,不同放牧率(包括对照)下垂穗披碱草的竞争率总是大于星星草,说明垂穗披碱草的竞争力强于星星草,垂穗披碱草因其高度和发达而较深的根系成为竞争的优胜者,抑制了星星草的生长。

#### 参考文献:

- [1] 周华坤,周立,赵新全,刘伟,严作良,师燕.江河源区“黑土滩”型退化草地的形成过程与综合治理[J].生态学杂志,2003,22(5):51-55.
- [2] 王诗平.青海省“三江源”地区植被退化原因及其保护策略[J].草业学报,2003,12(6):1-9.
- [3] 周华坤,周立,刘伟,赵新全,来德珍.青海省玛多县草地退化原因及畜牧业可持续发展[J].中国草地,2003,25(6):63-67.
- [4] 马玉寿,郎百宁,李青云,施建军,董全民.江河源区退化草地的恢复与重建技术研究[J].草业科学,2002,19(9):1-5.
- [5] 董全民,李青云,马玉寿.放牧强度对牦牛生长的影响[J].草地学报,2003,(3):256-260.
- [6] 董全民,马玉寿,李青云,施建军.牦牛放牧率对小高草高寒草甸地上、地下生物量的影响[J].四川草原,2004,(2):20-27.
- [7] 董全民,马玉寿,李青云,施建军,王启基.放牧强度对高寒草甸暖季草场植被结构的影响[J].草业科学,2004,(2):48-53.
- [8] 王晋峰,赵益新,陈友慷,陈智华,文勇立.牦牛不

- 同放牧强度对草地植被组成与产量效应的研究[J]. 西南民族学院学报·自然科学版, 1995, 21(3): 283-289.
- [9] 董全民,李青云,施建军,马玉寿,王启基. 放牧强度对高寒草甸草地上生物量和牦牛生长的影响[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2002, (3): 5-7.
- [10] 董全民,李青云,马玉寿,施建军. 放牧率对牦牛生产力的影响初探[J]. 草原与草坪, 2003, (3): 49-53.
- [11] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [12] 安渊,李博,杨扬,闫志强,韩国栋. 内蒙古大针茅草原草地生产力及其可持续利用研究. 放牧系统植物地上现存量动态研究[J]. 草地学报, 2001, 10(2): 22-27.
- [13] 王玉辉,何兴元,周广胜. 放牧强度对羊草草原的影响[J]. 草地学报, 2002, 10(1): 45-49.
- [14] 李永宏,汪诗平. 草原植物对家畜放牧的营养繁殖对策初探[A]. 草原生态系统研究(第5集)[C]. 北京: 科学出版社, 1997. 23-31.
- [15] 张荣,杜国祯. 放牧草地群落的冗余与补偿[J]. 草业学报, 1998, 7(4): 13-19.
- [16] 赵钢. 草地畜牧业可持续发展刍议[J]. 内蒙古草业, 1999, (2): 1-6.
- [17] Noy Meir I. Compensating growth of grazed plants and its relevance to the use of rangelands[J]. Ecological Application, 1993, (3): 32-34.
- [18] 韩发, 贲桂英, 师生波, 王启基. 放牧强度对高寒草甸植物生长和生产力的作用[A]. 高寒草甸生态系统(第3集)[C]. 北京: 科学出版社, 1991. 81-88.
- [19] 周立,王启基,赵京,周琪. 高寒草甸牧场最优放牧强度的研究. 植被变化度量与草场不退化最大放牧强度[A]. 高寒草甸生态系统(第4集)[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 403-418.
- [20] 蒋文兰,李向林. 不同利用强度对混播草地牧草产量与组分动态的影响[J]. 草业学报, 1993, (3): 1-10.
- [21] 白宝璋. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [22] 李永宏, 陈佐忠, 汪诗平, 黄德华. 草原放牧系统持续管理试验研究: 实验设计及放牧率对草-畜系统影响分析[J]. 草地学报, 1999, 7(3): 173-182.
- [23] 汪诗平, 李永宏, 陈佐忠. 内蒙古典型草原草畜系统适宜放牧率的研究. 以牧草现存量 and 净初级生产力为管理目标[J]. 草地学报, 1999, 7(3): 183-191.
- [24] 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[A]. 高寒草甸生态系统(第4集)[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 353-364.
- [25] 王启基,周兴民,张堰青,赵新全,张跃生. 放牧强度对金露梅(*Potentilla fruticosa*) 生长发育和生物量的影响[A]. 高寒草甸生态系统(第3集)[C]. 北京: 科学出版社, 1991. 89-96.
- [26] 刘伟,周立,王溪. 不同放牧强度对植物及啮齿动物作用的研究[J]. 生态学报, 1999, 19(3): 376-382.
- [27] Aelsky A J. Dose herbivory benefit plants: a review of the evidence [J]. American Naturalist, 1986, 127: 870-892.
- [28] Christiansen S O, Srejecor T. Grazing effects on shoot and root dynamics and above and below-ground non-structure carbohydrate in Caucasian bluestem[J]. Grass and Forage Science, 1988, 43(2): 111-119.
- [29] Veiga J B D. Effect of grazing management upon a dwarf elephantgrass pasture [J]. Dissertation Abstracts. International B (Science and Engineering), 1984, 45(6): 1642-1643.
- [30] Jerry Holechek, Dee Galt, Jamus Joseph, Joseph Navarro, Godfrey Kumalo, Francisco Molinar, Milt Thomas. Moderate and light cattle grazing effects on Chihuahuan desert rangelands [J]. J. Range Manage, 2003, 56: 133-139.
- [31] Jeffrey J Short, James E knight. Fall grazing affects big game forage on roayh fescue grasslands[J]. J. Range Manage, 2003, 56: 213-214.
- [32] 董世魁,丁路明, 郝敏云,龙瑞军,胡自治. 放牧强度对高寒地区多年生混播禾草叶片特征及草地初级生产力的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1): 136-142.
- [33] 蒋文兰,李向林. 不同利用强度对混播草地牧草产量与组分动态的影响[J]. 草业学报, 1993, (3): 1-10.
- [34] Taylor D R, Arassen L W. On the density dependence of replacement series competition experiments [J]. Journal of Ecology, 1989, 8(4): 56-64.
- [35] Wilson J B. Shoot competition and root competition [J]. Journal of Applied Ecology, 1988, 25: 279-296.