

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

董世魁^{1,2}, 丁路明³, 徐敏云³, 龙瑞军^{2,3}, 胡自治³

(¹北京师范大学环境学院,北京 100875; ²中国科学院西北高原生物研究所,西宁 810008; ³甘肃农业大学草业学院,兰州 730070)

摘要:在青藏高原东北缘—天祝县金强河地区进行了无芒雀麦 (*Bromus inermis*) 50% + 垂穗披碱草 (*Clinelymus nutans*) 50%、无芒雀麦 50% + 多叶老芒麦 (*Elymus nutans*) 25% + 扁穗冰草 (*Agropyron cristatum*) 25%、无芒雀麦 25% + 多叶老芒麦 25% + 垂穗披碱草 25% + 扁穗冰草 25%, 3 类禾草混播草地的放牧试验,研究了不同放牧强度对混播禾草草地牧草叶片特征和草地生产力的影响。结果表明,重牧(70%左右的采食率)条件下,牧草和草群叶面积指数(LAI)下降($P < 0.05$),叶片光合速率(Pn)减弱($P < 0.05$),草地牧草现存量减少($P < 0.05$);轻牧(30%左右的采食率)有利于无芒雀麦 + 垂穗披碱草草地和无芒雀麦 + 多叶老芒麦 + 扁穗冰草草地补偿性再生和生物量积累,中牧(50%左右的采食率)有利于无芒雀麦 + 多叶老芒麦 + 垂穗披碱草 + 扁穗冰草草地补偿性再生和生物量积累。青藏高原高寒地区,前2类混播草地适宜的放牧利用率为30%左右,后1类混播草地适宜的放牧利用率为50%左右。

关键词: 多年生禾草; 高寒地区; 混播; 叶片; 生产力

Effect of Grazing Intensity on Leaf Characteristics and Forage Productivity on Mixed Pastures of Perennial Grasses in Alpine Region of Tibetan Plateau

DONG Shi-kui^{1,2}, DING Lu-ming³, XU Min-yun³, LONG Rui-jun^{2,3}, HU Zi-zhi³

¹ Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875;

² Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810008;

³ Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070)

Abstract: A grazing experiment was conducted on three kinds of mixed pastures of perennial grasses, *Bromus inermis* 50% + *Clinelymus nutans* 50% (B + C), *Bromus inermis* 50% + *Elymus nutans* 25% + *Agropyron cristatum* 25% (B + E + A), *Bromus inermis* 25% + *Elymus nutans* 25% + *Clinelymus nutans* 25% + *Agropyron cristatum* 25% (B + E + C + A) with 27 Tibetan sheep at the age of 4 - 5-month-old by using random block design in alpine region of Tibetan Plateau, Jingqianghe region. The leaf characteristics and forage productivity under different grazing intensities were studied. Leaf area index (LAI) and leaf photosynthesis (Pn) rate of grass significantly decreased ($P < 0.05$) at heavy grazing intensity (70% defoliation ratio). Higher sward regrowth and biomass accumulation of forage could be achieved on the grass mixtures of (B + C) and (B + E + A) at light grazing intensity (30% defoliation ratio) and on the grass mixture of (B + E + C + A) at medium grazing intensity (50% defoliation ratio). In the alpine region of Tibetan Plateau, 30% defoliation ratio should be applied on the grass mixtures of (B + C) and (B + E + A), and 50% defoliation ratio the grass mixture of (B + E + C + A) when they were grazed.

Key words: Perennial grass; Alpine region; Mixture; Leaf; Productivity

收稿日期:2002-07-11

基金项目:中国科学院“百人计划”资助项目、甘肃省科委“九五”重点科技攻关资助项目(GK971-2-36A)和教育部第四届“优秀教师奖”资助项目

作者简介:董世魁(1973-),男,甘肃和政人,博士,主要从事草地生态、资源与环境方面的研究。Tel: 010-62209274; Fax: 010-62208460; E-mail:

DSK@irs.bnu.edu.cn

牧草叶片是家畜采食植物的主要部分,也是植物光合作用的主要器官^[1]。家畜采食对牧草叶片的生长有一定影响。在放牧强度和频率较小的情况下,植物可以维持叶片的正常生长,在短时间内即可达到平衡^[2],但在重牧情况下,许多幼叶被家畜采食,植物叶面积指数下降,光合效率降低,叶片的生活力减弱^[3,4],草地放牧强度对草地生产力也有一定影响。适宜的放牧强度可以削减草地群落的冗余程度,提高草地群落的补偿生长或超补偿生长,从而提高草地的初级生产力^[5,6]。

关于放牧强度对人工草地群落数量特征的影响,国内外学者已有较多研究报道^[7~16]。但这些报道集中于对温带和亚热带地区白三叶、红三叶和多年生黑麦草混播草地的研究,对豆科牧草相对缺乏、较难建植多年生豆禾混播草地的青藏高原高寒地区,多数学者关注天然禾草或类禾草草地的放牧调控研究^[17~20],较少涉及人工草地的放牧生态学研究。因此,笔者以青藏高原东北缘——天祝县金强河地区建植的多年生禾草混播草地为对象,研究放牧强度对草地牧草叶片和生产力的影响,旨在为高寒地区多年生禾草混播草地的持续高效利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区自然条件

试验于 2000 年在天祝县甘肃农业大学高山草原试验站进行。该区地理位置为 N 37°40', E 103°32'。海拔高度 2 960 m。年平均温度 - 0.1℃, >0℃ 年积温 1 380℃, 极端最低温度 - 30℃。年平均降水量 416 mm (多集中在 7、8、9 月), 年蒸发量 1 592 mm, 无绝对无霜期。栽培的多年生禾草 4 月底返青, 5 月中、下旬分蘖, 6 月中旬拔节, 6 月底孕穗, 7 月中旬抽穗, 8 月底乳熟, 9 月中旬成熟后枯黄, 生长期达 140 d。试验地土壤为亚高山草甸土, 土层厚度 40~60 cm, 耕层土壤 (0~30 cm) 有机质含量 10% 左右, 全氮 0.6%, 速氮 0.017%, 全磷 0.067%, pH 7.0~8.0。

1.2 试验分组

试验地为 1998 年建植的多年生禾草混播草地。混播牧草组分及种子配合比例分别为无芒雀麦 (*Bromus inermis*) 50% + 垂穗披碱草 (*Clinelymus nutans*) 50%、无芒雀麦 50% + 多叶老芒麦 (*Elymus nutans*) 25% + 扁穗冰草 (*Agropyron cristatum*) 25%、无芒雀麦 25% + 多叶老芒麦 25% + 垂穗披碱草 25% +

扁穗冰草 25%。每一放牧地面积为 1 350 m², 划分为 3 个轮牧小区。轮牧小区设 3 个重复, 每一重复 (小区) 面积为 150 m²。

1.3 放牧家畜

当地牧区购买的断奶、去势藏系绵羊羔羊 27 只, 年龄为 4~5 月龄, 体重为 14.4 ± 2.2 kg。随机将羊群按体重分为 3 组, 并根据放牧初期各混播组合的产草量高低分别匹配体重大小不同的羊只。无芒雀麦 + 垂穗披碱草 (无 + 垂) 草地: 9 只 (每一重复 3 只), 平均体重 14.9 ± 0.5 kg; 无芒雀麦 + 多叶老芒麦 + 扁穗冰草 (无 + 多 + 冰) 草地: 9 只, 平均体重 11.3 ± 0.8 kg; 无芒雀麦 + 多叶老芒麦 + 垂穗披碱草 + 扁穗冰草 (无 + 多 + 垂 + 冰) 草地: 9 只, 平均体重 17.5 ± 1.8 kg。另有一些后备羔羊在天然草地上放牧。

1.4 放牧强度

放牧强度按草地牧草采食率高低表示^[9]。对照 (CK) 采食率为 0; 轻牧 (G₁) 采食率 30% 左右; 中牧 (G₂) 采食率 50% 左右; 重牧 (G₃) 采食率 70% 左右。采食率按下式计算:

$$\text{采食率}(\%) = \frac{\text{采食量}}{\text{牧草产量}} \times 100\%$$

本试验根据放牧家畜的数量 (用家畜放入 - 取出法) 来控制采食率^[21]。具体做法是: 放牧草地实行划区轮牧, 每次小区草层高度约为 20 cm 时开始放牧。在一定的放牧时期内, 估测采食率 (根据放牧前后草地牧草高度差来估测) 接近设计采食率时, 减少轮牧小区内的放牧家畜数量; 估测采食率低于设计采食率时, 用后备羔羊增加放牧家畜数量^[9]。放牧初始期为 7 月 5 日 (牧草孕穗期), 放牧结束期为 9 月 17 日。整个放牧过程中, 每一轮牧小区的放牧频率为 4 次, 轮牧周期为 18 d, 每次每小区放牧时间不超过 6 d。

轮牧过程中, 用扣笼法 (1 m × 1 m × 1 m 铁丝网笼) 测定放牧后草地牧草的生长量 (放牧前后草地牧草干物质产量差)^[22]。家畜采食量用放牧前后草地牧草干物质产量来表示, 并经放牧期内的草地牧草生长量来校正。家畜的采食量和放牧草地的植物地上生物量 (经牧草生长量校正) 之比即为实测采食率。方差分析结果表明, 实测采食率与设计采食率无显著差异 ($P > 0.05$)。

产草量测定采用随机抽样法, 样方面积 0.5 m × 0.5 m, 重复 3 次, 将采集的样品在 65℃ 下烘 24 h, 测定其干重^[21]。

1.5 测定指标

在放牧中期(7月29日)和放牧末期(9月18日)家畜离开轮牧小区时,用美国产CF203便携式叶面积仪测定放牧草地存留牧草的叶长和叶面积,并用干重法进行校正^[21],求算单种牧草和草群的叶面积指数(LAI)。并用中国农业大学研制的BAU光合仪测定牧草基部第三片叶的光合速率(高位叶片易被家畜完全采食,基部叶片容易脱落,因此选择基部第三片叶进行测定,增加不同试验处理间的可比性)。

放牧结束时,将0.1 m × 0.1 m样方内的牧草连根挖出,测定单种牧草的分蘖数,重复3次;在0.5 m × 0.5 m内将牧草齐地面刈割,重复3次,将采集的样品在65℃下烘24 h,测定其干重,即为草地

牧草现存量^[20]。

1.6 统计分析

用SPSS10.0对测定结果进行方差分析和LSD检验。将各测定值的平均数列于表中,并显示统计分析结果的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同放牧强度混播草地叶面积指数(LAI)变化

统计分析结果表明(表1、2),放牧条件下混播草地的LAI受放牧强度、放牧时期、牧草品种、混播组合及其交互效应的显著影响($P < 0.01$);同一放牧时期内、同一混播组合中,草群及单种禾草的LAI随放牧强度的增加而下降($P < 0.05$);在同一放牧

表1 放牧强度(GI)、放牧时期(GT)、混播组合(CC)及其交互效应对草地牧草叶面积指数(LAI)的影响¹⁾

Table 1 Effects of grazing intensity (GI), grazing time (GT), grass combination (GC) and their interactions on the LAI of grass mixtures

影响因子 Impact factor	平方和 SS	变异系数 df	F值 F value	差异显著性 Significance
放牧强度 GI	319.47	3	9925.11	**
放牧时期 GT	3.07	1	286.46	**
牧草品种 GS	19.92	3	114.12	**
混播组合 CC	42.35	2	1973.65	**
GI × GT	1.98	3	61.49	**
GI × GS	14.99	9	71.24	**
GI × CC	15.64	6	242.99	**
GI × GT × GS	9.89	6	38.74	**
GI × GT × CC	3.119	6	48.45	**
GI × GS × CC	11.49	9	65.41	**
GI × GT × GS × CC	6.45	6	44.45	**

¹⁾ ** , $P < 0.01$

表2 不同放牧强度下人工草地叶面积指数 LAI¹⁾ ($m^2 \cdot m^{-2}$)

Table 2 Leaf area index(LAI) of individual species in communities under different grazing intensity

混播组合 Grass combination	7月29日测 Determined on July, 29					9月18日测 Determined on Sep. 18				
	对照 CK	轻牧 GI ₁	中牧 GI ₂	重牧 GI ₃	标准误 SE	对照 CK	轻牧 GI ₁	中牧 GI ₂	重牧 GI ₃	标准误 SE
无+多+垂+冰 B+E+C+A										
无 B	2.5a	0.8b	0.5c	0.2d	0.1	4.5a	1.1b	0.9bc	0.7c	0.1
多 E	5.2a	2.5b	1.7c	1.2d	0.2	2.8a	2.1b	1.4c	1.3c	0.3
垂 C	3.1a	1.9b	1.5c	1.3c	0.1	2.1a	1.4b	1.1c	1.0c	0.1
冰 A	0.07a	0.05b	0.03c	0.02c	0.008	0.1a	-	-	-	-
草群 Community	10.87a	5.25b	3.73c	2.72d	0.41	9.5a	4.7b	3.4c	3.0c	0.3
无+多+冰 B+E+A										
无 B	2.8a	1.9b	1.1c	0.9c	0.3	3.2a	1.4b	0.7c	0.8c	0.2
多 E	3.6a	1.8b	1.5c	1.5c	0.1	3.1a	1.6b	1.4bc	1.2c	0.1
冰 A	0.05a	0.01b	0.02b	0.02b	0.009	0.07a	-	-	-	-
草群 Community	6.45a	3.71b	2.62c	2.42c	0.38	6.37a	3.0b	2.1c	2.0c	0.3
无+垂 B+C										
无 B	2.4a	2.1b	0.6c	0.5c	0.2	3.8a	1.3b	1.2b	1.0c	0.08
垂 C	4.7a	2.7b	2.3bc	1.1c	0.6	3.7a	1.9b	1.6bc	1.4c	0.2
草群 Community	7.1a	4.8b	2.9c	1.6c	0.6	7.5a	3.2b	2.8bc	2.4c	0.2

¹⁾ 同一行内,同一时期的测定值,带相同字母表示差异不显著($P > 0.05$),带不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同

Within the row, the means at the same determination time followed by same letter are not significantly different ($P > 0.05$), those with different letters are significantly different ($P < 0.05$). SE, standard error of difference. The same as below

强度下、同一混播组合中,多叶老芒麦和垂穗披碱草的 LAI 随放牧时期的推移明显降低 ($P < 0.05$),而无芒雀麦的 LAI 在未放牧(对照)草地上随放牧时期的推移而升高 ($P < 0.05$),在放牧草地上不随放牧时期的推移而变化 ($P > 0.05$);在同一放牧强度下、同一放牧时期内,无芒雀麦 + 多叶老芒 + 垂穗披碱草 + 扁穗冰草的 LAI 显著高于其它 2 类混播草群 ($P < 0.05$),其它 2 类混播草群的 LAI 无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 3 放牧强度 (GI)、放牧时期 (GT)、牧草品种 (GS)、混播组合 (CC) 及其互作效应对草地牧草光合速率 (Pn) 的影响

Table 3 Effects of grazing intensity (GI), grazing time (GT), grass species (GS), grass combination (CC) and their interactions on photosynthesis (Pn) rate of leaves

影响因子 Impact factor	平方和 SS	变异系数 df	F 值 F value	差异显著性 Significance ¹⁾
放牧强度 GI	378.360	3	1 805.56 * *	
放牧时期 GT	219.360	1	2 140.57	* *
牧草品种 GS	16.700	3	81.12	* *
混播组合 CC	0.070	2	0.50	NS
GI × GT	12.530	3	59.79	* *
GI × GS	10.690	9	16.99	* *
GI × CC	0.240	6	0.58	NS
GI × GT × GS	7.860	6	18.76	* *
GI × GT × CC	0.110	6	0.26	NS
GI × GS × CC	0.320	9	0.50	NS
GI × GT × GS × CC	0.077	6	0.19	NS

¹⁾ * *, $P < 0.01$; NS, 无显著差异 ($P > 0.05$)

* *, $P < 0.01$; NS, no significance ($P > 0.05$)

从 LSD 检验结果可以看出(表 4),同一放牧时期内,牧草叶片的光合速率随放牧强度的增加明显下降 ($P < 0.05$);同一放牧强度下,牧草叶片的光合速率随放牧时期的推延明显下降 ($P < 0.05$);在中牧和重牧条件下,扁穗冰草叶片的光合速率低于其它几种禾草 ($P < 0.05$);放牧时期的推延和放牧强度的增加(互作效应)可以加快牧草叶片光合能力的下降速率 ($P < 0.05$)。

表 4 不同放牧强度下人工草地牧草单叶光合速率 ($\text{CO}_2 \text{mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)

Table 4 Photosynthetic rate (Pn) of leaves of individual species in communities under different grazing intensity

混播组合 Grass combination	7月29日测 Determined on July, 29					9月18日测 Determined on Sep. 18				
	对照 CK	轻牧 GI ₁	中牧 GI ₂	重牧 GI ₃	标准误 SE	对照 CK	轻牧 GI ₁	中牧 GI ₂	重牧 GI ₃	标准误 SE
无+多+垂+冰 B+E+C+A										
无 B	9.8a	6.4b	6.8b	4.4c	0.4	5.1a	3.3b	2.4c	2.4c	0.3
多 E	8.5a	6.7b	6.8b	4.8c	0.6	5.5a	2.7b	1.8c	1.1d	0.3
垂 C	8.7a	8.5a	5.8b	4.5b	0.7	5.5a	1.5b	1.4b	1.2b	0.4
冰 A	8.1a	6.2b	3.7c	1.2d	0.9	4.0	-	-	-	-
无+多+冰 B+E+A										
无 B	8.9a	5.5b	4.2bc	3.8c	0.6	4.4a	3.9ab	1.9b	2.2b	0.5
多 E	8.4a	5.2b	4.7c	5.7b	0.4	4.8a	3.6b	3.7b	1.4c	0.4
冰 A	6.8a	4.8b	3.0c	4.3b	0.3	4.3a	-	-	-	-
无+垂 B+C										
无 B	8.2a	7.2a	5.3b	5.1b	0.4	4.4a	3.9ab	2.7b	1.2c	0.6
垂 C	8.0a	5.8b	4.4c	2.4d	0.3	5.4a	3.8b	2.6bc	1.4c	0.6

2.2 不同放牧强度草地牧草的光合速率 (Pn) 变化

方差分析结果表明(表 3),放牧强度、放牧时期(牧草生长阶段)对不同牧草叶片的光合速率有显著影响 ($P < 0.01$),而混播组合对牧草叶片的光合速率无显著影响 ($P > 0.05$)。放牧强度与放牧时期、放牧强度与草种、放牧强度与放牧时期和草种间的互作效应对叶片光合速率的影响达极显著 ($P < 0.01$)。

2.3 放牧强度对混播草地牧草分蘖数的影响

表 5 和表 6 分别为牧草萌蘖能力的多因子方差分析和 LSD 检验分析。结果表明,放牧条件下,草地牧草的萌蘖能力受放牧强度和草种的影响显著 ($P < 0.01$),而与牧草混播组合类型无关 ($P > 0.05$);放牧强度与草种的互作效应、放牧强度与草种和混播组合的互作效应显著影响牧草的萌蘖能力 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$)。不同混播组合中,同种禾

表 5 放牧强度 (GI)、牧草品种 (GS)、混播组合 (GC) 及其互作效应对草地牧草分蘖数的影响¹⁾

Table 5 Effects of grazing intensity (GI), grass species (GS), grass combination (GC) and their interactions on the tiller numbers of herbage

影响因子 Impact factor	平方和 SS	变异系数 df	F 值 F value	差异显著性 Significance
放牧强度 GI	111.04	3	662.31	**
牧草品种 GS	588.93	3	3512.51	**
混播组合 CC	0.25	2	2.23	NS
GI × GS	31.89	6	95.11	**
GI × CC	0.19	6	0.58	NS
GI × GS × GC	0.85	6	2.54	*

¹⁾ ** , $P < 0.01$; * , $P < 0.05$; NS , 无显著差异** , $P < 0.01$; * , $P < 0.05$; NS , no significance ($P > 0.05$)

表 6 不同放牧强度下人工草地组分牧草的分蘖数 (9 月 18 日测)

Table 6 Tillering numers of individual grass species in communities under different grazing intensity (determined on Sep. , 18)

放牧强度 Grazing intensity	混播草地组分牧草的分蘖数 Tillering numbers of individual grass species									
	无 + 垂 B + C		无 + 多 + 冰 B + E + A			无 + 多 + 垂 + 冰 B + E + C + A				
	无 B	垂 C	无 B	多 E	冰 A	无 B	多 E	垂 C	冰 A	
对照 CK	4.6c	7.2c	4.4c	7.1c	1.3	4.1b	6.2c	6.1b	1.3	
轻牧 GI ₁	5.2b	9.9b	5.3b	7.8bc	-	6.3a	8.9b	8.5a	-	
中牧 GI ₂	5.6b	11.6ab	5.3b	8.5b	-	5.7a	8.1b	8.4a	-	
重牧 GI ₃	8.6a	13.6a	7.0a	9.3a	-	6.3a	14.1a	8.4a	-	
标准误 SE	0.2	1.0	0.3	0.35	-	0.4	0.6	0.7	-	

草的分蘖数随放牧强度的增加而增加 ($P < 0.05$) ; 同一放牧强度下 , 同一混播组合中无芒雀麦的分蘖数显著低于垂穗披碱草或多叶老芒麦 ($P < 0.05$) 。

2.4 放牧强度对混播禾草草地初级生产力的影响

从表 7 (多因子方差分析) 可以看出 , 放牧强度、混播组合及其互作效应对混播禾草草地初级生产力有显著影响 ($P < 0.01$) 。从表 8 (LSD 检验) 可以看

出 , 放牧草地的牧草现存量明显低于未放牧草地 ($P < 0.05$) , 重牧 (GI₃) 草地的牧草现存量明显低于轻牧 (GI₁) 和中牧 (GI₂) 草地 ($P < 0.05$) 。各混播组合中 (经 LSD 检验) , 无芒雀麦 + 多叶老芒麦 + 垂穗披碱草 + 扁穗冰草的初级生产力最高 , 无芒雀麦 + 多叶老芒 + 扁穗冰草最低 ($P < 0.05$) 。

表 7 放牧强度 (GI)、混播组合 (GC) 及其互作效应对草地初级生产力的影响

Table 7 Effects of grazing intensity (GI), grass combination (GC) and their interactions on DM yields of stubble harvested on the 15th, Sep.

影响因子 Impact factor	平方和 SS	变异系数 df	F 值 F value	差异显著性 Significance
放牧强度 GI	230 3469.65	3	720.67	**
混播组合 CC	89 256.29	2	41.89	**
GI × CC	72 174.08	6	11.29	**

表 8 不同放牧强度下人工草地的牧草现存量

Table 8 Standing crops of communities under different grazing intensity

放牧强度 Grazing intensity	草地牧草现存量 Standing crops of community (gDM m^{-2})		
	无 + 垂 B + C	无 + 多 + 冰 B + E + A	无 + 多 + 垂 + 冰 B + E + C + A
对照 CK	743.0a	641.2a	967.8a
轻牧 GI ₁	247.6b	207.4b	274.1b
中牧 GI ₂	222.1b	214.4b	260.1b
重牧 GI ₃	131.2c	115.4c	163.5c
标准误 SE	32.1	24.4	35.3

3 讨论

植物叶片是植物光合作用的主要器官,其大小和活力对植物的生长发育和生物量的积累都有广泛的影响^[23]。叶面积指数(LAI)是叶片大小的单位尺度,反映了植物的截光能力^[24]。光合速率(Pn)是叶片活力的定量指标,体现了植物光合作用的强弱^[25]。本试验结果表明,放牧条件下混播草地牧草的LAI和叶片的光合速率受放牧强度、放牧时期、牧草品种和混播组合等因素的综合影响。对处于某一特定生长阶段的混播草地而言,高强度放牧(重牧)显著($P < 0.05$)降低草地牧草的LAI和叶片的光合速率。这与周寿荣^[26]高载畜率(放牧率)、高放牧强度下,放牧草地草丛矮小,叶面积指数(LAI)较低的结论相一致。

牧草的生长速率不仅取决于叶片光合能力,而且还取决于牧草的萌蘖能力^[27]。本试验结果表明,放牧可以促进混播禾草的分蘖,放牧强度越大,禾草的分蘖数越多。这与夏景新等^[2]重牧草丛的密度高于($P < 0.05$)轻牧草丛的结论和朱志红等^[19]增加放牧强度能显著提高($P < 0.05$)矮嵩草分蘖数的结论高度一致。可见,摘除茎叶或适度重牧有利于牧草茎颈部休眠状态的蘖的发育,从而使蘖的密度增加^[28]。但是放牧条件下,随着蘖密度的增加,株体变小、蘖和株体重量减轻,草地牧草现存量下降^[12]。同一放牧强度下,根茎型禾草无芒雀麦的分蘖数显著低于垂穗披碱草或多叶老芒麦。可见,放牧草地上,放牧强度是影响牧草分蘖能力的外部因素,草种特性是影响牧草分蘖能力的内部因素。

Hodgson 认为当 LAI 达到一定阈值(如温带地区英国、新西兰等地 LAI 在 3 以上)时,草群盖度高达 100%,叶片的截光量较大,此时叶片(因采食)生长速率的降低可以通过牧草的再生萌蘖得以补偿和平衡,草地牧草的再生生物量(现存量)较高^[27]。赵钢等发现最优放牧强度可以导致草地植物的补偿性生长,甚至超补偿性生长^[5]。本试验中,重牧状态(70%的采食率)下,草地的 LAI 较小,草群盖度较低,叶片截光量少,牧草的补偿性再生生长弱,草地牧草的现存量较低;中牧状态(50%的采食率)下,无芒雀麦+垂穗披碱草和无芒雀麦+多叶老芒麦+扁穗冰草草地的 LAI 较小,牧草的补偿性再生生长弱,草地现存量低,而无芒雀麦+多叶老芒麦+垂穗披碱草+扁穗冰草草地的 LAI 较大,牧草补偿性再生生长强,草地现存量高;轻牧状态(30%的采食率)

下,所有草地的 LAI 都较大,牧草补偿性再生生长强,草地现存量高。另外,混播组合也是造成草地现存量差异的主要原因,草群无芒雀麦+多叶老芒麦+垂穗披碱草+扁穗冰草的初级生产力显著高于草群无芒雀麦+多叶老芒麦+扁穗冰草的初级生产力。

从放牧强度对混播草地 LAI、叶片光合能力和牧草现存量的影响来看,青藏高原高寒地区,无芒雀麦+垂穗披碱草草地和无芒雀麦+多叶老芒麦+扁穗冰草草地的放牧利用率应为 30%左右,无芒雀麦+多叶老芒麦+垂穗披碱草+扁穗冰草草地的放牧利用率应为 50%左右。与朱志红等^[19]通过对矮嵩草无性系分株种群地上生物量动态的研究和冯金虎^[18]通过对草地牧草组分动态、生物量变化的研究,得出的高寒草甸的适宜放牧利用率为 50%~60%的结论相比,人工禾草草地的放牧利用率低于天然类禾草/禾草草地。与苏连登等^[8]在鄂中丘陵地区通过对芨状羊茅草地初级生产力稳定性的研究和蒋文兰等^[9]在贵州威宁通过对豆禾混播人工草地产草量和组分动态的研究,得出的亚热带地区人工草地的适宜放牧利用率为 60%的结论相比,高寒地区人工草地的放牧利用率低于亚热带地区。因此,在实际生产中,可以考虑割草和茬地放牧相结合利用方式,提高混播禾草草地的利用率。

References

- [1] 夏景新, 赵益春. 羊茅黑麦草和无芒雀麦叶片再生动态及其与草地管理的关系. 草业科学, 1995, 1: 9-12.
Xia J X, Zhao Y C. The dynamic and the relationship between leaves regrowth and pasture management in fescue-ryegrass and smooth brome grass swards. *Pratacultural Science*, 1995, 1: 9-12. (in Chinese)
- [2] 夏景新, 樊奋成, 王培. 刈牧对禾草草地的再生和生产力影响的研究进展. 草地学报, 1994, 2: 45-55.
Xia J X, Fan F C, Wang P. Research advance in the effect of defoliation on the regrowth and productivity of grass pasture. *Acta Agrestia Sinica*, 1994, 2: 45-55. (in Chinese)
- [3] Morris R M. The pattern of grazing in continuously grazed swards. *Journal of British Grassland Society*, 1969, 24: 65-71.
- [4] McIlvor P J, Wathin B R. The pattern of defoliation of cocksfoot by grazing sheep. *Proceeding of Newzealand Grassland Association*, 1973, 34: 225-235.
- [5] 赵钢. 草地畜牧业可持续发展刍议. 内蒙古草业, 1999, 2: 1-6.
Zhao G. Preliminary discussion on the sustainable development of pastoralism. *Inner Mongolia Prataculture*, 1999, 2: 1-6. (in Chinese)

- [6] 张 荣, 杜国帧. 放牧草地的冗余与补偿. 草业学报, 1998, 4: 13 - 19.
Zhang R, Du G Z. Redundance and compensation of grazed grassland communities. *Acta Prataculturae Sinica*, 1998, 4: 3 - 19. (in Chinese)
- [7] 林智贵. 亚热带红壤山地人工草地放牧试验. 福建农学院学报, 1991, 2: 212.
Ling Z G. Grazing experiment on artificial grassland of red soil in subtropical hilly areas. *Journal of Fujian Agricultural University*, 1991, 2: 212. (in Chinese)
- [8] 苏连登, 罗远泉. 鄂中丘陵苇状羊茅草地放牧强度试验. 中国草地, 1992, 2: 36.
Su L D, Luo Y Q. Experiment of grazing intensity on the tall fescue grassland of Erzhong hilly region. *Grassland of China*, 1992, 2: 36. (in Chinese)
- [9] 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. 草业学报, 1993, 3: 1 - 10.
Jiang W L, Li X L. The effect of different utilization intensities on the yield and composition of the mixed sown pasture. *Acta Prataculturae Sinica*, 1993, 3: 1 - 10. (in Chinese)
- [10] 王 刚, 吴明强, 蒋文兰. 人工草地杂草生态学研究 杂草入侵与放牧强度之间的关系. 草业学报, 1995, 3: 75 - 80.
Wang G, Wu M Q, Jiang W L. Study on the weeds ecology I: Relationship between weeds invasion and grazing intensity. *Acta Prataculturae Sinica*, 1995, 3: 75 - 80. (in Chinese)
- [11] 朱 琳, 黄文惠, 苏加楷. 不同放牧强度对多年生黑麦草—白三叶草地叶片数量特征的影响. 草地学报, 1995, 3: 297 - 303.
Zhu L, Huang W H, Su J K. The effect of grazing intensity on the leaves characteristics in perennial ryegrass-white clover pasture. *Acta Agrestia Sinica*, 1995, 3: 297 - 303. (in Chinese)
- [12] 姚爱兴, 李 宁, 王 培. 不同放牧制度和强度下多年生黑麦草/白三叶人工草地种群密度研究. 宁夏农学院学报, 1997, 1: 11 - 15.
Yao A X, Li N, Wang P. Study on the population density of perennial ryegrass/white clover under different grazing systems and intensities. *Journal of Ningxia Agricultural University*, 1997, 1: 11 - 15. (in Chinese)
- [13] Hume D E, Brock J L. Morphology of tall fescue (*Festuca arundinacea*) and perennial ryegrass (*Lolium Perenne*) plants in pastures under sheep and cattle grazing. *Journal of Agricultural Science*, 1997, 129: 19 - 31.
- [14] McKenzie F R. The influence of grazing frequency and intensity on the vigour of *Lolium perenne* L. under subtropical conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1996, 47: 975 - 983.
- [15] McKenzie F R. Influence of grazing frequency and intensity on tiller appearance and death rates of *Lolium perenne* L. under subtropical conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1997, 48: 337 - 342.
- [16] McKenzie F R. Influence of grazing frequency and intensity on the density and persistence of *Lolium perenne* L. tillers under subtropical conditions. *Tropical Grasslands*, 1997, 31: 219 - 226.
- [17] Jones R M, Brandon N J. Persistence and productivity of eight accessions of *Desmanthus virgatus* under a ranges of grazing pressures in subtropical Queensland. *Tropical Grasslands*, 1998, 32: 145 - 152.
- [18] 冯金虎. 不同放牧强度对高寒草甸草场的影响. 青海畜牧兽医杂志, 1989, 3: 15.
Feng J H. Effect of different grazing intensities on the alpine meadow. *Journal of Qinghai Animal and Veterinary Science*, 1989, 3: 15. (in Chinese)
- [19] 朱志红, 王 刚, 赵松龄. 不同放牧强度下高寒草甸矮蒿草无性系分株种群的地上生物量动态. 中国草地, 1994, 3: 10 - 14.
Zhu Z H, Wang G, Zhao S L. Aboveground biomass dynamics of clonal ramet population of *Kobresia humilis* in alpine meadow under different stocking intensities. *Grassland of China*, 1994, 3: 10 - 14. (in Chinese)
- [20] 孙海松. 不同放牧强度草地线叶蒿草成穗结实的初步研究. 青海大学学报, 1998, 1: 25 - 27.
Song H S. Study on the seeding performance of *Kobresia capillifolia* under different grazing intensities. *Journal of Qinghai University*, 1998, 1: 25 - 27. (in Chinese)
- [21] 任继周. 草业科学研究方法. 北京: 中国农业出版社, 1998.
Ren J. Z. *Methods in Grassland Science*. Beijing: China Agriculture Press, 1998. (in Chinese)
- [22] McNaughton S J, Milchunas D G, Frank D A. How can net primary productivity be measured in grazing ecosystem. *Ecology*, 1996, 77 (3): 974 - 977.
- [23] 李扬汉. 植物学 (第二版). 上海: 上海科学技术出版社, 1989.
Li Y H. *Plant Science* (2nd ed). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1989. (in Chinese)
- [24] Nassiri M, Elgersma A. Competition in perennial ryegrass-white clover mixtures under cutting. Leaf characteristics light interception and dry matter production during regrowth. *Grass and Forage Science*, 1998, 53: 367 - 379.
- [25] 白宝璋. 植物生理学. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
Bai B Z. *Plant Physiology Science*. Beijing: China Science and Technology Press, 1992. (in Chinese)
- [26] 周寿荣. 草地生态学. 北京: 中国农业出版社, 1998.
Zhou S R. *Science of Grassland Ecology*. Beijing: China Agriculture Press, 1998. (in Chinese)
- [27] Hodgson J. *Grazing Management into Practice*. London: Longman Group UK limited, 1990.
- [28] Tainton N M. *Veld and Pasture Management in South Africa*. Durban: Interprint (Pty) Ltd, 1981.

(责任编辑 林鉴非)