

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0453

王芳草, 董全民, 冯斌, 刘玉祯, 俞旻, 杨晓霞, 张春平, 曹铨, 刘文亭. 牦牛和藏羊单牧、混牧对高寒草地星毛委陵菜营养与生殖生长权衡的影响. 草业科学, 2023, 40(7): 1866-1874.

WANG F C, DONG Q M, FENG B, LIU Y Z, YU Y, YANG X X, ZHANG C P, CAO Q, LIU W T. Effects of single and mixed grazing of yak and Tibetan sheep on the balance between vegetative and reproductive growth of *Potentilla acaulis* in alpine grassland. Pratacultural Science, 2023, 40(7): 1866-1874.

牦牛和藏羊单牧、混牧对高寒草地星毛委陵菜 营养与生殖生长权衡的影响

王芳草¹, 董全民^{1,2}, 冯斌¹, 刘玉祯¹, 俞旻¹,
杨晓霞¹, 张春平¹, 曹铨¹, 刘文亭¹

(1. 青海大学畜牧兽医科学院 / 青海省畜牧兽医科学院 / 青海省高寒草地适应性管理重点实验室, 青海 西宁 810016;

2. 青海大学省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室, 青海 西宁 810018)

摘要: 放牧是草地利用与管理的主要方式, 不同的放牧方式对草地优势物种存在不同的影响。探究不同放牧方式下草地植物营养枝与生殖枝的权衡关系, 对研究草地植被恢复具有一定的科学意义。本研究依托于青藏高原高寒草地-家畜系统适应性管理技术平台, 在中度放牧压力下, 设置了牦牛单牧、藏羊单牧、牦牛藏羊 1:2 混牧、牦牛藏羊 1:4 混牧、牦牛藏羊 1:6 混牧以及不放牧处理, 分析了高寒草地退化指示物种星毛委陵菜 (*Potentilla acaulis*) 营养枝与生殖枝的高度、数量、重量及权衡关系。研究结果显示: 1) 在星毛委陵菜营养枝与生殖枝高度、数量和重量的相关指标变化中, 牦牛与藏羊 1:6 混牧的植株总体显著高于其他处理, 牦牛与藏羊 1:4 混牧的植株数据总体低于其他处理; 2) 在不同放牧方式下星毛委陵菜营养枝与生殖枝的权衡指数, 牦牛与藏羊 1:4 混牧是除不放牧外时最低的, 牦牛与藏羊 1:6 混牧的权衡指数倾向于营养枝, 牦牛单牧、藏羊单牧和牦牛藏羊 1:2 混牧处理的权衡指数倾向于生殖枝, 不放牧和牦牛与藏羊 1:4 混牧时营养枝与生殖枝之间协同生长。结果表明, 高寒草地牦牛与藏羊 1:4 的家畜组合是较为不利于草地健康的放牧方式。本研究提出有利于草原可持续发展的放牧利用调控方式, 为高寒草甸草原合理利用和草地生态环境保护提供理论依据。

关键词: 高寒草地; 放牧方式; 星毛委陵菜; 营养枝; 生殖枝; 权衡指数; 草地退化

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2023)07-1866-09

Effects of single and mixed grazing of yak and Tibetan sheep on the balance between vegetative and reproductive growth of *Potentilla acaulis* in alpine grassland

WANG Fangcao¹, DONG Quanmin^{1,2}, FENG Bin¹, LIU Yuzhen¹, YU Yang¹,
YANG Xiaoxia¹, ZHANG Chunping¹, CAO Quan¹, LIU Wenting¹

(1. Academy of Animal Husbandry and Veterinary Sciences, Qinghai University, Qinghai Academy of Animal Husbandry and Veterinary Sciences, Qinghai Key Laboratory of Alpine Grassland Adaptive Management, Xining 810016, Qinghai, China;

2. State Key Laboratory of Sanjiangyuan Ecology and Plateau Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810018, Qinghai, China)

Abstract: Grazing is the main method of grassland utilization and management. Different grazing methods have different

收稿日期: 2022-05-31 接受日期: 2022-11-26

基金项目: 青海省科技厅创新团队项目 (2021-ZJ-901); 国家自然科学基金 (U20A2007、32160340)

第一作者: 王芳草 (1998-), 女, 内蒙古巴彦淖尔人, 在读硕士生, 研究方向为草地生态与环境保护。E-mail: 2387029947@qq.com

通信作者: 刘文亭 (1990-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 副研究员, 博士, 研究方向为草地生态与环境保护。E-mail: qhdxlwt@163.com

<http://cykx.lzu.edu.cn>

effects on the dominant species of grassland plants. The trade-off relationship between vegetative and reproductive growth of grassland plants under different grazing conditions has scientific significance for the study of grassland vegetation restoration. This study relied on the Qinghai Tibet Plateau alpine grassland livestock system adaptive management technology platform and, under moderate grazing pressure, set up yak single grazing 1), Tibetan sheep single grazing 2), yak Tibetan sheep 1 : 2 mixed grazing, yak Tibetan sheep 1 : 4 mixed grazing, yak Tibetan sheep 1 : 6 mixed grazing, and no grazing treatments. The height, quantity, and weight of vegetative and reproductive branches of *Potentilla acaulis*, an indicator species of alpine grassland degradation, and the trade-off relationship between its vegetative and reproductive growth were analyzed. The results showed the following: 1) in height, number, and weight of vegetative and reproductive branches of *Potentilla acaulis*, the 1 : 6 mixed grazing of yak and Tibetan sheep condition yielded significantly higher values than those of other treatments, while the values for the 1 : 4 mixed grazing of yak and Tibetan sheep were generally lower than those of other treatments; 2) among the different grazing methods, the trade-off index of vegetative and reproductive branches of *Potentilla acaulis* was the lowest when yak and Tibetan sheep were mixed at 1 : 4; the trade-off index of yak and Tibetan sheep 1 : 6 was inclined to vegetative branches; the trade-off index of single grazing of yak, single grazing of Tibetan sheep and 1 : 2 mixed grazing of yak and Tibetan sheep favored reproductive branches; and the growth of vegetative and reproductive branches was comparable in the treatments employing no grazing, 1 : 4 mixed grazing of yak and Tibetan sheep. The results showed that in Xihai Town, Haiyan County, Haibei Prefecture, Qinghai Province, the 1 : 4 livestock combination of yak and Tibetan sheep on the alpine meadow grassland with high total coverage (more than 85%) and a simple community structure was a less healthy grazing method. This study suggests a regulation mode of grazing utilization that is conducive to the sustainable development of grassland and provides a theoretical basis for the rational utilization of alpine meadow grassland and the protection of the grassland ecological environment.

Keywords: alpine grassland; grazing mode; *Potentilla acaulis*; vegetative branch; reproductive branch; trade index; grassland degradation

Corresponding author: LIU Wenting E-mail: qhdxlwt@163.com

青藏高原有“地球第三极”之称,高寒草地是青藏高原的重要组成部分,是我国重要的生态安全屏障^[1]。放牧是草地较为经济有效的利用方式^[2],其中,采食过程是草地利用的最重要环节之一^[3]。研究发现,单一畜种放牧会导致家畜偏食性物种的持续采食,甚至引起偏食性物种的灭绝,故而,基于不同体尺家畜的混合放牧利用方式逐渐被研究人员重视^[4],即不同种类的家畜有计划地在同一时期或不同时期内同一草地上放牧^[3-6]。合理放牧能够改善植物群落结构^[7-11]、缓解草畜矛盾,从而避免草地生态系统功能退化,是实现青藏高原高寒草地可持续利用的前提^[3]。因此,制定合理的牦牛、藏羊放牧方式对青藏高原高寒草地高效利用具有重要意义^[3]。

放牧会显著影响草地优势植物的营养和繁殖分配,从而改变植物群落的物种组成、生物多样性等。根据周围环境的变化,植物通过调节各个器官

的资源分配,以获取最大化地资源。植物在整个生长发育过程中,不同功能器官对资源的利用始终处于权衡状态^[12]。研究发现,植物在繁殖期的资源竞争异常激烈,生殖生长与营养生长的权衡关系也十分明显^[13]。植物繁殖策略是生存、生长和生殖等活动中资源或能量最适分配的结果^[14]。在生长与繁殖的过程中,植物通常会受到外界环境资源的限制,为了应对不同的环境胁迫,植物会通过调节生长与生殖之间的资源分配比率来提高其物种适合度^[15]。放牧家畜通过对植物叶面积的减少而影响其生殖生长,对优势种单位面积上的生殖枝数、营养枝数和重量等因素产生影响,使群落中各植物种群生殖生长受到制约^[14]。

星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)大多生长于北半球温带、寒带及高山地带,是多年生、贴地表生长型草本,能够适应高强度的放牧^[16],是草地生态系统退化的指示性物种^[17]。星毛委陵菜冬季茎叶保留情

况较好,可被藏羊和牦牛采食,对放牧家畜保膘有一定意义。因此,探究牦牛和藏羊单牧、混牧对高寒草地星毛委陵菜营养与生殖生长权衡的影响机理,对于草地管理极其重要,可为青藏高原高寒草地的退化及合理利用提供理论基础与数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

放牧试验区位于青海省海北州海晏县西海镇,地处 36°92′ N, 100°93′ E, 平均海拔 3 050 m, 属高原大陆性气候,暖季短暂而凉爽湿润,冷季漫长而寒冷干燥。据当地气象站多年(1999—2019 年)的观测资料显示,多年年均温为 1.5 ℃ 左右,年日照时数为 2 580~2 750 h,多年平均降水量为 400 mm 左右,降水多集中在 5 月—9 月,约占全年降水量的 80% 以上^[18]。土壤为高山草甸土^[18]。研究样地属于高寒草甸草原,群落总盖度较高(85% 以上)、群落结构简单,一般为单层结构,初级生产力较高。植物群落以矮生嵩草(*Kobresia humilis*)和紫花针茅(*Stipa purpurea*)为优势种,次优势种主要为干生薹草(*Carex aridula*)、星毛委陵菜,主要伴生种包括垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、赖草(*Leymus secalinus*)和白苞筋骨草(*Ajuga lupulina*)等^[18]。

1.2 样地设置

放牧开始前,本研究选用的试验样地位于连续的同一片草地,地势相对平坦,环境相对均匀,有效地控制了本底和空间异质性的差异。放牧试验于 2014 年开始,每年的放牧时间为高寒草地植物生长季(6 月—10 月)。放牧试验采用随机区组试验设计,所有放牧处理的放牧强度均为中等放牧强度(11.6 羊单位·km⁻²),牧草利用率为 50%~55%,分别设置了 6 个处理,即牦牛单牧(YG)、藏羊单牧(SG)、牦牛藏羊 1:2 混牧(MG 1:2)、牦牛藏羊 1:4 混牧(MG 1:4)、牦牛藏羊 1:6 混牧(MG 1:6)以及不放牧(NG)处理试验,每处理 3 个重复,相对应小区面积为 0.26、0.17、0.43、0.6、0.76 和 0.05 hm²(表 1)^[18]。

1.3 植物功能性状测定

于 2021 年 6 月下旬,在每个放牧小区内,随机选取器官相对完好的星毛委陵菜生殖个体各 10 株,

表 1 放牧试验设计
Table 1 Design of the grazing experiment

处理 Treatment	牦牛数量 Number of yaks/head	藏羊数量 Number of sheep/head	小区面积 Area of plot/hm ²	小区数 Number of plots
YG	1	0	0.26	3
SG	0	2	0.17	3
MG 1:2	1	2	0.43	3
MG 1:4	4	4	0.60	3
MG 1:6	1	6	0.76	3
NG	0	0	0.05	3

YG, 牦牛单牧; SG, 藏羊单牧; MG 1:2, 牦牛藏羊 1:2 混牧; MG 1:4, 牦牛藏羊 1:4 混牧; MG 1:6, 牦牛藏羊 1:6 混牧; NG, 不放牧。下同。
YG, yak single grazing; SG, Tibetan sheep single grazing; MG 1:2, yak and Tibetan sheep 1:2 mixed grazing; MG 1:4, yak and Tibetan sheep 1:4 mixed grazing; MG 1:6, yak and Tibetan sheep 1:6 mixed grazing; NG, No grazing. This is applicable to the following figures and tables as well.

每个处理共计 30 株,分别记录样带内所有生殖个体生殖枝数量、营养枝数量,并测量生殖枝数量、营养枝数量、生殖枝和营养枝高度,之后将植株个体用剪刀齐地剪起,测量生殖个体营养枝和生殖枝干重(齐地面刈割后在烘箱中 70 ℃ 下烘干至恒重,随后用精度为 0.001 g 的分析天平称量)。

1.4 数据处理

植株营养与生殖枝的高度(高度取营养枝或生殖枝中的最大长度)、数量和重量数值均使用 SPSS 25.0 软件进行处理分析,使用 SigmaPlot 12.5 软件绘图。试验数据均先进行数据方差齐性检验与正态分布检验,若不符合,则进行转换,试验数据均进行以 10 为底的对数转换,使之符合正态分布,然后进行单因素方差分析(one-way ANOVA),显著性水平设为 0.05^[19]。

用 RMSE 方法对营养枝与生殖枝数量进行标准化处理^[20]。相对效益计算如下:

$$B_A = \frac{A_{OBS} - A_{min}}{A_{max} - A_{min}}。$$

B_A 是营养枝与生殖枝数量的相对效益(即标准值),范围从 0 到 1。 A_{OBS} 是数量的观测值; A_{min} 和 A_{max} 分别是营养枝与生殖枝数量观测值的最小值和最大值。

权衡指数计算如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (B_A - \bar{B})^2}.$$

式中: *RMSE* 是权衡指数, *B_A* 是营养枝与生殖枝数量的相对效益。*B̄* 是营养枝与生殖枝数量相对效益的平均值, *RMSE* 近似于与平均收益的平均偏差, 并且在两个维度上是与零权衡的“1 : 1”的距离, 权衡大小随距离 1 : 1 线的距离而增加^[20]。

2 结果

2.1 不同放牧处理下星毛委陵菜营养枝的变化

从星毛委陵菜营养枝数量角度分析, 牦牛藏羊 1 : 6 混牧处理的营养枝数量显著高于其他处理 (*P* < 0.05), 牦牛藏羊 1 : 4 混牧处理和牦牛单牧处理与不放牧处理的营养枝数量显著低于藏羊单牧和牦牛藏羊 1 : 6 混牧处理 (*P* < 0.05), 且三者间无显著差异 (*P* > 0.05); 在营养枝高度方面, 牦牛藏羊 1 : 6

混牧处理的营养枝高度显著高于其他处理 (*P* < 0.05), 牦牛单牧处理与牦牛藏羊 1 : 4 混牧处理显著低于其他处理 (*P* < 0.05); 营养枝重量结果显示, 牦牛藏羊 1 : 6 混牧的营养枝重量显著高于其他处理 (*P* < 0.05), 牦牛藏羊 1 : 2 混牧处理和牦牛藏羊 1 : 4 混牧处理与不放牧显著低于除牦牛单牧以外的其他处理 (图 1)。

2.2 不同放牧处理下星毛委陵菜生殖枝的变化

在 6 个处理中, 从生殖枝高度方面分析, 牦牛藏羊 1 : 6 混牧处理的生殖枝高度显著高于其他处理 (*P* < 0.05), 牦牛藏羊 1 : 4 混牧处理的生殖枝高度显著低于除牦牛单牧以外的其他处理 (*P* < 0.05), 而牦牛单牧与除牦牛藏羊 1 : 6 混牧以外的其他处理均差异不显著 (*P* > 0.05); 生殖枝数量结果显示, 牦牛藏羊 1 : 6 混牧处理生殖枝数量显著高于除藏羊单牧以外的其他处理 (*P* < 0.05); 在生殖枝重量方面, 牦牛藏羊 1 : 6 混牧处理的生殖枝重量显著高于除藏羊单牧处理外的其他处理 (*P* < 0.05) (图 2)。

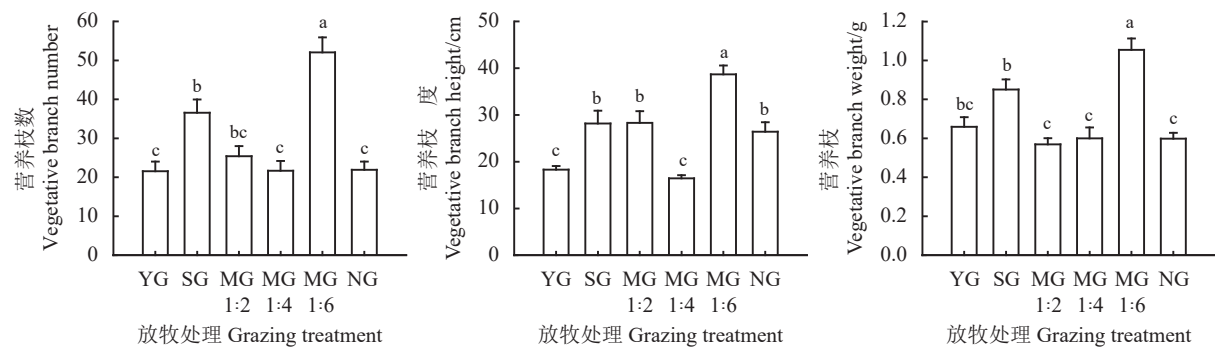


图 1 星毛委陵菜营养枝相关指标的变化

Figure 1 Changes in vegetative branch-related indexes of *Potentilla acaulis*

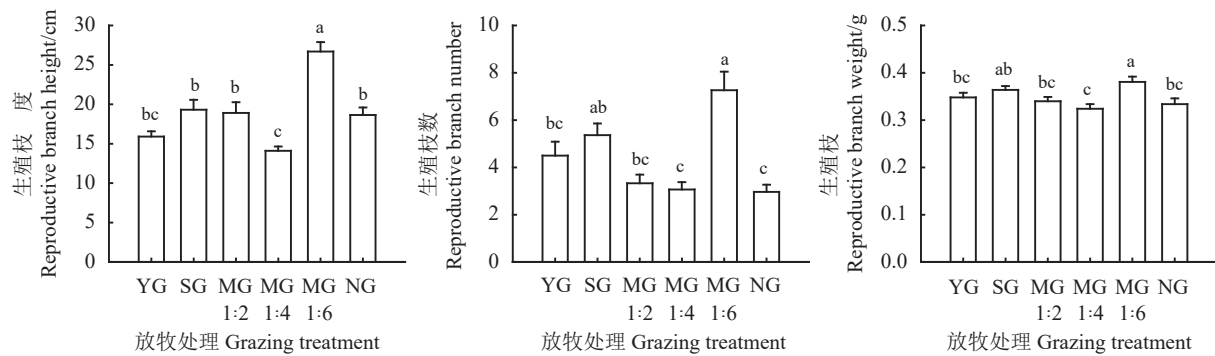


图 2 星毛委陵菜生殖枝相关指标的变化

Figure 2 Changes in reproductive branch-related indexes of *Potentilla acaulis*

2.3 不同放牧处理下星毛委陵菜营养枝与生殖枝之间的关系

相关性分析表明,星毛委陵菜的营养枝与生殖枝在高度、数量和重量间存在显著关系 ($P < 0.05$) (表 2)。不放牧处理与牦牛藏羊 1:4 混牧处理权衡指数较低,说明此时营养枝与生殖枝之间是协同生长。在牦牛藏羊 1:2 混牧处理的情况下生殖枝的权衡指数最高,表明在该种放牧方式更有利于生殖枝数量的积累,随着混合放牧中藏羊比例的增加,星毛委陵菜营养枝与生殖枝越趋向于协同生长,表明

牦牛藏羊 1:4 混合放牧下草地在进行逆性演替 (图 3)。星毛委陵菜营养枝与生殖枝的数量权衡分析结果显示,牦牛藏羊 1:6 混牧处理的点倾向于营养枝 (图 4),表明在该种放牧方式更有利于营养枝数量的积累。不放牧处理和牦牛藏羊 1:4 混牧处理的点离 1:1 线较近,表明在这 2 种处理下营养枝与生殖枝之间协同生长。牦牛藏羊 1:2 混牧处理,牦牛单牧和藏羊单牧的点靠近生殖枝线,表明在不同放牧方式下这几种组合生殖枝对营养枝有较高的相对效益。

表 2 星毛委陵菜营养枝与生殖枝偏相关性分析
Table 2 Partial correlation analysis between indexes of vegetative and reproductive branches of *Potentilla acaulis*

性状 Trait	营养枝高度 Vegetative branch height	生殖枝高度 Reproductive branch height	营养枝数量 Vegetative branch quantity	生殖枝数量 Reproductive branch quantity	营养枝重量 Vegetative branch weight	生殖枝重量 Reproductive branch weight
营养枝高度 Vegetative branch height	1					
生殖枝高度 Reproductive branch height	0.546**	1				
营养枝数量 Vegetative branch quantity	0.535**	0.424**	1			
生殖枝数量 Reproductive branch quantity	0.313**	0.412**	0.495**	1		
营养枝重量 Vegetative branch weight	0.398**	0.374**	0.874**	0.491**	1	
生殖枝重量 Reproductive branch weight	0.321**	0.506**	0.404**	0.828**	0.447**	1

**表示在0.01水平显著相关($P < 0.01$)。
** indicate significant correlation at the 0.01 level.

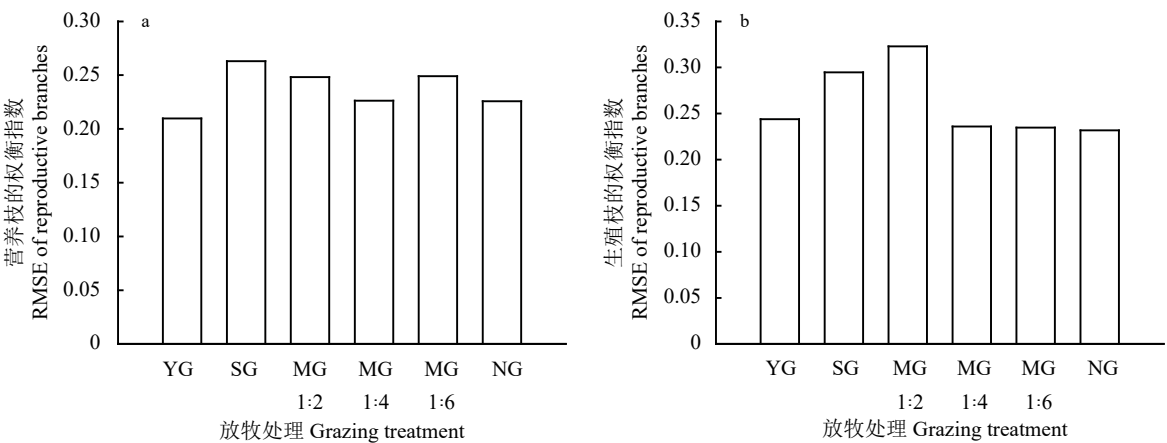


图 3 不同放牧方式下星毛委陵菜营养枝与生殖枝单因素方差分析和权衡指数
Figure 3 One way ANOVA and trade-off index of vegetative and reproductive branches of *Potentilla acaulis* under different grazing methods

RMSE: root mean square error. This is applicable to the following figure as well.

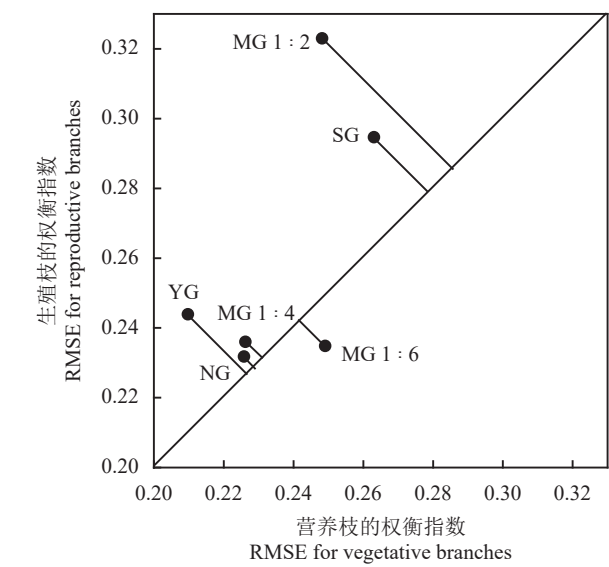


图 4 不同放牧方式下星毛委陵菜营养枝与生殖枝的权衡指数散点图

Figure 4 Scatter plot of the average value of the trade-off index between the vegetative and reproductive branches of *Potentilla acaulis* under different grazing livestock combinations

3 讨论

本研究发现,在牦牛藏羊 1:6 混牧处理中星毛委陵菜的营养枝与生殖枝在高度、数量和重量的相关指标变化显著高于其他处理,而牦牛藏羊 1:4 混牧处理的植株总体指标是低于其他处理。结果表明,在牦牛藏羊 1:6 混牧处理中星毛委陵菜生长状况较好,而在牦牛藏羊 1:4 混牧处理中对星毛委陵菜的采食情况较好。结果与张艳芬的^[3]研究结果一致,混合放牧可促进牦牛和藏羊对较高营养牧草的采食,即牦牛藏羊 1:6 混牧处理下采食牧草的营养和对各营养物质的日摄入量较高。在放牧过程中牦牛与藏羊的反复采食和践踏导致大多数植株不能正常抽穗、开花和结实,从而使开花结实的植株密度随之减少,所以相对应的植株在进行光合所固定的能量多数用于营养繁殖和生长,从而营养枝密度相应增加^[21]。在牦牛与藏羊的混合放牧方式下不同种类的放牧家畜之间的体型差异导致家畜的采食行为和习性均有差异,这也会使家畜更加充分的利用牧草^[22]。

在本研究中,不同放牧方式下对星毛委陵菜营养枝与生殖枝的影响各不相同,且它们之间的权衡随放牧方式的变化而波动,表明不同放牧方式对草

地退化的影响而不同。星毛委陵菜的营养枝与生殖枝的权衡指数随着放牧方式的改变而发生变化^[23]。从权衡指数方面分析,在不放牧状况下权衡指数是最低的,表明此时星毛委陵菜营养枝与生殖枝之间权衡最小。各点的权衡指数大小顺序为 MG 1:2 > YG > SG > MG 1:6 > MG 1:4 > NG。考虑到植物群落的变化,权衡指数可作为评价草地恢复过程的可靠指标^[20]。由图 3 可知,牦牛藏羊 1:4 混牧处理与不放牧处理在不同放牧方式下星毛委陵菜营养枝与生殖枝的权衡指数二者均处于较低的状态且接近于 1:1,表明在牦牛藏羊 1:4 混牧处理下星毛委陵菜的营养枝与生殖枝是协同生长;在牦牛藏羊 1:2 混牧处理的情况下权衡指数最高,表明在此比例放牧时营养枝对生殖枝有较高的相对效益,随着混合放牧中藏羊比例的增加,星毛委陵菜营养枝与生殖枝越趋向于协同生长。在漫长的进化过程中,放牧家畜与植物相互依存、协同进化,形成了稳定的放牧生态系统^[3]。本研究中牦牛与藏羊的不同比例对于植株营养枝与生殖枝关系的影响,表明牦牛藏羊 1:4 混牧处理下草地在进行逆性演替,对于牦牛与藏羊单独放牧会导致草地退化问题。

草地优势种在受家畜践踏行为影响的同时也受家畜采食量的影响^[24]。在不同放牧方式下,家畜的采食量主要受家畜的选择性采食行为和草地特性等因素影响^[25-26],根据家畜的选择性采食行为和采食量,才能对家畜进行有规划的科学性管理^[3],对制定合理的放牧制度也有指导意义^[21]。家畜采食行为是草地利用与家畜生产的一个重要环节,对草地资源的合理利用十分重要^[3]。牧草的高度对家畜的采食起决定性作用^[3],不同的家畜也会选择不同高度的牧草^[27]。放牧家畜的采食量同时受放牧地的草地状况的影响^[3]。星毛委陵菜是生长在不接受地下水影响的高原地带,属于贴地植物放牧型草,高原大陆性气候的大气温度高而降水量偏少,使得其生长环境干旱^[19],常在放牧退化草地中分布,是草地生态系统退化的指示性物种。混合放牧的优势因气候、放牧压力和牛羊比例的不同而不同^[28]。在混合放牧中,放牧家畜之间的择食性可能有重叠,这将导致家畜对其偏好性强的牧草采食较高^[29-30]。在草地上当食草动物的食性

重叠性较高时,会导致草地上一些植物的过度利用和一些的利用不足^[3]。然而将牛羊混合放牧时牛羊对牧草的择食具有互补性,进而抑制了家畜对草地某一种牧草的过度采食^[3]。在牛羊混合放牧下,草地上较老和茎秆较粗的牧草被牛采食,进而提高藏羊对草地上嫩绿植物的采食^[31]。牛羊混合放牧时比其单独放牧,家畜可以更有效地利用草地上的牧草^[32]。与牛羊混合放牧相比,由于家畜的选择性单独放牧更大程度地降低了牧草的营养价值^[33]。因此在混合放牧中藏羊比例增加的情况下,星毛委陵菜被采食的机率更大。该结果说明牦牛藏羊 1:4 混牧处理下对星毛委陵菜的采食情况较高,暗示了该处理方式下草地处于逆行演替状态。

健康发展的草地生态系统中其重要决定作用的就是保持草地植物种群稳定发展,进而保持群落的相对稳定性,植物种群资源分配格局在一定

程度上能反映植物对环境的响应规律和适应对策,因此更要加强对影响植物种群繁殖资源分配因素的研究^[34]。前人相关研究表明,放牧可以改善草原植物群落的物种多样性,从而改善草地环境状况^[3]。星毛委陵菜营养枝与生殖枝之间的权衡变化可能是由于牦牛与藏羊之间放牧组合变化、种群间竞争的变化以及对环境变化响应的功能之间的滞后效应造成的^[19]。放牧是通过对地上生物量的消耗、选择性采食、对植物的直接践踏及压实草地土壤等过程,是维系群落结构和生态系统功能的最重要的干扰因素^[3]。

4 结论

研究认为在中度放牧强度下,牦牛藏羊 1:4 混牧处理是较差的放牧家畜组合。对于牦牛与藏羊单独放牧会导致草地退化问题。建议牧民在放牧时采用混合放牧方式,同时适当减少藏羊数量。

参考文献 References:

- [1] 赵贯锋,余成群,武俊喜,罗黎鸣,苗彦军. 藏高原退化高寒草地的恢复与治理研究进展. 贵州农业科学, 2013, 41(5): 125-129.
ZHAO G F, YU C Q, WU J X, LUO L M, MIAO Y J. Research progress on restoration and management of degraded alpine meadow in Qinghai-Tibet Plateau. Guizhou Agricultural Sciences, 2013, 41(5): 125-129.
- [2] 杨树晶,郑群英,干友民,泽柏. 不同放牧强度下草地植物生理变化的研究. 草业与畜牧, 2016(3): 1-4,17.
YANG S J, ZHENG Q Y, GAN Y M, ZE B. The study on grassland vegetation physiological responded to different grazing intensities. Journal of Grassland and Forage Science, 2016(3): 1-4,17.
- [3] 张艳芬. 放牧方式对牦牛和藏羊采食量和表观消化率影响的研究. 西宁: 青海大学硕士学位论文, 2020.
ZHANG Y F. Effects of grazing regime on feed intake and apparent digestibility of yak and Tibetan sheep. Master Thesis. Xining: Qinghai University, 2020.
- [4] FRASER M D, MOORBY J M, VALE J E, EVANS D M, BERNHARD K. Mixed grazing systems benefit both upland biodiversity and livestock production. *PLoS One*, 2014, 9(2): e89054.
- [5] 张晓庆,罗海玲,张英俊,王硕. 限时放牧加补饲对乌珠穆沁羔羊生长发育及采食量的影响. 中国农业科学, 2013, 46(19): 4165-4172.
ZHANG X Q, LUO H L, ZHANG Y J, WANG S. Effects of restricted access time to pasture combined with indoor feeding on growth performance and feed intake of Ujumuqin lambs. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(19): 4165-4172.
- [6] 王旭. 不同放牧管理制度对家畜行为的影响. 呼和浩特: 内蒙古大学硕士学位论文, 2017.
WANG X. The effects of different grazing management system on livestock behavior. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia University, 2017.
- [7] WIESMEIER M, STEFFENS M, KÖLBL A, I K GEL-KNABNER. Degradation and small-scale spatial homogenization of topsoils in intensively-grazed steppes of northern China. *Soil and Tillage Research*, 2009, 104(2): 299-310.
- [8] 仁青吉,武高林,任国华. 放牧强度对青藏高原东部高寒草甸植物群落特征的影响. 草业学报, 2009, 18(5): 256-261.
REN Q J, WU G L, REN G H. Effect of grazing intensity on characteristics of alpine meadow communities in the eastern Qinghai-

- Tibetan Plateau. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(5): 256-261.
- [9] 董全民, 李青云, 马玉寿, 施建军, 王启基. 牦牛放牧强度对高寒草甸暖季草场植被的影响. *草业科学*, 2004, 21(2): 48-53.
DONG Q M, LI Q Y, MA Y S, SHI J J, WANG Q J. Effects of yaks stocking pates on aboveground and belowground blomass in *Kobrecia parva* alpine meadow. *Pratacultural Science*, 2004, 21(2): 48-53.
- [10] 曹建. 青藏高原地区草地可持续利用研究. 兰州: 兰州大学博士学位论文, 2011.
CAO J J. The study on the sustainable use of rangelands of the Qinghai-Tibet Plateau. PhD Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2011.
- [11] 吴鹏飞, 杨大星. 若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响. *生态学报*, 2011, 31(13): 3745-3757.
WU P F, YANG D X. Effect of habitat degradation on soil meso-and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(13): 3745-3757.
- [12] 刘文辉, 张英俊, 师尚礼, 孙建, 魏小星. 高寒地区燕麦(*Avena sativa* L.)人工草地生物量分配对施肥和混播措施的响应. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(2): 398-407.
LIU W H, ZHANG Y J, SHI S L, SUN J, WEI X X. Effect of variety, fertilization and mixture sowing on oat biomass allocation in the alpine cultivated pasture. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2017, 23(2): 398-407.
- [13] 张建瑛, 殷东生. 红松雌球果发育对枝叶营养生长和生物量积累的影响. *生态学杂志*, 2019, 38(6): 1646-1652.
ZHANG J Y, YIN D S. Effects of female cone development on the vegetative growth and biomass accumulation of shoots and needles of *Pinus koraiensis*. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(6): 1646-1652.
- [14] 林金宝. 不同利用方式下牧草生长与繁殖及种子库R动态研究. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2006.
LIN J B. Growth and reproduction of forage and dynamic of seed bank utilized by different ways. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2006.
- [15] 赵广帅, 刘珉, 石培礼, 宗宁, 张鑫, 张宪洲. 羌塘高原降水梯度植物叶片、根系性状变异和生态适应对策. *生态学报*, 2020, 40(1): 295-309.
ZHAO G S, LIU M, SHI P L, ZONG N, ZHANG X, ZHANG X Z. Variation of leaf and root traits and ecological adaptive strategies along a precipitation gradient on Changtang Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(1): 295-309.
- [16] 孙丽. 草原退化进程中植物能量功能群对水分资源梯度的响应. 呼和浩特: 内蒙古大学硕士学位论文, 2011.
SUN L. The plant function of energy is response to the water resources gradient in the process of grassland degradation. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia University, 2011.
- [17] 何丹, 李向林, 万里强, 何峰, 李向荣. 施用尿素当年对退化天然草地物种地上生物量和重要值的影响. *草业学报*, 2009, 18(3): 5.
HE D, LI X L, WAN L Q, HE F, LI X R. Influence of urea application on aboveground biomass and important value of the species in the degraded grassland. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(3): 5.
- [18] 冯斌, 杨晓霞, 刘文亭, 董全民, 张春平, 刘玉祯, 孙彩彩, 李彩弟, 时光, 杨增增, 张小芳, 魏琳娜. 不同放牧方式对高寒草地功能群生态化学计量特征的影响. *草地学报*, 2022, 30(5): 1063-1070.
FENG B, YANG X X, LIU W T, DONG Q M, ZHANG C P, LIU Y Z, SUN C C, LI C D, SHI G, YANG Z Z, ZHANG X F, WEI L N. Effects of different livestock assembly on the stoichiometry of alpine grassland functional groups. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(5): 1063-1070.
- [19] 张茜, 赵成章, 董小刚, 马小丽, 侯兆疆, 李钰. 高寒退化草地狼毒种群不同海拔花大小一数量的权衡关系. *植物生态学报*, 2014, 38(5): 452-459.
ZHANG Q, ZHAO C Z, DONG X G, MA X L, HOU Z J, LI Y. Trade-off between the biomass and number of flowers in *Stellera chamaejasme* along an elevation gradient in a degraded alpine grassland. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2014, 38(5): 452-459.
- [20] SUN J, WANG H M. Soil nitrogen and carbon determine the trade-off of the above- and below-ground biomass across alpine grasslands, Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 2016(60): 1070-1076.
- [21] 刘艳芬, 刘铀, 林红英, 孔军刚. 雷州山羊春季牧食行为的观测. *家畜生态*, 2001 (4): 34-38.

- LIU Y F, LIU Y, LIN H Y, KONG J G. Observation of grazing behavior of Leizhou goat in spring. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2001(4): 34-38.
- [22] FRASER M, GARCÍA R R. Mixed-species grazing management to improve sustainability and biodiversity. *Scientific and Technical Review*, 2018, 37(1): 247-257.
- [23] 王继伟, 赵成章, 陈静, 杜晶, 宋清华. 高寒退化草地星毛委陵菜叶大小与数量的权衡关系. *生态学杂志*, 2016, 35(4): 849-854.
WANG J W, ZHAO C Z, CHEN J, DU J, SONG Q H. Trade-off between leaf size and leaf number of *Potentilla acaulis* in degraded alpine grass land. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(4): 849-854.
- [24] 龙瑞军, 董世魁, 王元素, 郭铁瑞, JPAGELLA. 反刍动物采食量的概念与研究方法. *草业学报*, 2003(5): 8-17.
LONG R J, DONG S K, WANG Y S, GUO Y R, JPAGELLA. Concepts and investigative methods of ruminant forage intake. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003(5): 8-17.
- [25] KIMUYU D M, SENSENIG R L, RIGINOS C, VEBLEN K E, YOUNG T. Native and domestic browsers and grazers reduce fuels, fire temperatures, and acacia ant mortality in an African savanna. *Ecological Applications*, 2014, 24(4): 741-749.
- [26] LUNT I D, ELDRIDGE D J, MORGAN J W, BRADD W G. A framework to predict the effects of livestock grazing and grazing exclusion on conservation values in natural ecosystems in Australia. *Australian Journal of Botany*, 2007, 55(4): 401-415.
- [27] 王旭, 王德利, 刘颖, 巴雷, 孙伟, 张宝田. 羊草草地生长季放牧山羊采食量和食性选择. *生态学报*, 2002(5): 661-667.
WANG X, WANG D L, LIU Y, BA L, SUN W, ZHANG B T. Intake mass and diet selection for grazing goats on *Leymus chinensis* grassland. *Acta Ecologica Sinica*, 2002(5): 661-667.
- [28] SÉVERINE D'ALEXIS, SAUVANT D, BOVAL M. Mixed grazing systems of sheep and cattle to improve liveweight gain: A quantitative review. *The Journal of Agricultural Science*, 2013, 152(4): 655-666.
- [29] CELAYA R, OLIVÁN M, FERREIRA L, MARTÍNEZA, GARCÍA U, OSORO K. Comparison of grazing behaviour, dietary overlap and performance in non-lactating domestic ruminants grazing on marginal heathland areas. *Livestock Science*, 2007, 106(2-3): 271-281.
- [30] BENAVIDES R, CELAYA R, FERREIRA L, JÁUREGUI B M, OSORO K. Grazing behaviour of domestic ruminants according to flock type and subsequent vegetation changes on partially improved heathlands. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2009, 7(2): 417-430.
- [31] DE LA HOZ V M B, WILMAN D. Effects of cattle grazing, sheep grazing, cutting and swardheight on a grass-white clover sward. *The Journal of Agricultural Science*, 1981, 97(3): 699-706.
- [32] CUCHILLO M, WRAGE N, ISSELSTEIN J. Forage selectivity by cattle and sheep cograzing swards differing in plant species diversity. *Grass and Forage Science*, 2018, 73(2): 320-329.
- [33] HILARIO M C, WRAGE-MÖNNIG N, ISSELSTEIN J. Behavioral patterns of (co-) grazing cattle and sheep on swards differing in plant diversity. *Applied Animal Behaviour Science*, 2017, 191: 17-23.
- [34] 陈海军. 荒漠草原主要植物种群繁殖性状及化学计量特征对载畜率的响应. 呼和浩特: 内蒙古农业大学博士学位论文, 2011.
CHEN H J. The response of reproductive characteristics and ecological stoichiometry of main plant population to stocking rate in Inner Mongolia Desert Steppe. PhD Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.

(责任编辑 王芳)