

牦牛放牧活动范围对高寒草甸冷季牧场植被群落结构和土壤理化性质的影响

景媛媛,徐长林,鱼小军*

(甘肃农业大学草业学院,草业生态系统教育部重点实验室,甘肃省草业工程实验室,中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】揭示家畜放牧过程中植物群落格局的变化趋势及放牧家畜的选择性采食和游走规律对草地的干扰范围和程度,为草地管理和草牧业生产提供参考。【方法】在天祝高寒草甸研究了放牧牦牛冷季牧场出入口及其周围1 000 m范围内的植被演替规律和土壤变化情况。【结果】600 m以外的草地植被多样性显著高于牧场出入口200 m范围的草地植被多样性,平均草层高度以600~800 m的范围较低,以出入口周围200 m的草层高度最高,在400~600 m的范围内的地上生物量变化较大。随着放牧牦牛的活动范围距离出入口渐远,植被地下生物量和植被盖度显著增加,可食性牧草的种类和数量显著增加($P<0.05$)。土壤以牧场出入口周围100 m内的容重最大,土壤水分、土壤渗透速率和土壤饱和持水量最低。土壤全效养分在家畜活动频繁的出入口具有较低的含量,而在家畜活动范围较远的区域具有较高的含量。土壤速效养分在100 m和 >800 m的范围具有较高的含量。【结论】距离牧场出入口较近的草地受践踏和采食频度的影响较高,使得植被物种单一,土壤易被侵蚀,造成了牧场出入口及200 m附近的草地植被结构发生变化。高寒草地牧场出入口及附近的草地植被和土壤特性变化反映了植被和土壤对放牧强度的响应,在实际的牧场管理中可对出入口进行更换,或在出入口进行补播,以防止草地退化。

关键词:高寒草甸;牦牛;放牧范围;植被群落;土壤特性

中图分类号:S812.95 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)04-0054-10

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2024.04.007



青藏高原被誉为世界屋脊、亚洲水塔,地球第三极^[1],拥有世界最大的高山草地生态系统,在维持全球生态系统平衡中至关重要^[2-4]。牦牛放牧是青藏高原重要的人为干扰形式^[5],对青藏高原的经济发展与生态环境具有重要影响^[6],合理健康的放牧管理方式对维持草地健康具有重要作用。为了合理地利用草地,一般在草地利用时会划分冬季牧场(也称冷季牧场)

和夏季牧场。由于冷季牧场常常面临饲草料的缺乏^[7-8],冷季牧场的管理备受关注^[9]。草地和牦牛在草地生态系统中相互依存和作用。探究青藏高原地区冷季牧场的牦牛放牧草地与可持续发展利用、草地生态健康的评价具有重要的生态、生活生产和社会意义。

自实施草原承包政策以来,草原被划区围封承包给牧户,畜牧业生产经营方式由游牧式逐渐转向半舍饲状态,在临近居民点的草场设置了露天饮水点和饲草补给点,以应对极端天气和草料不足等问题。在所有围封的放牧草地中,每块草地通常留有一个出入口,这就使得家畜需要每日通过出入口出入草场。我们在野外调查中发现牧场出入口及附近植被也因此发生了变化,但这一现象却很少被单独研究。尽管相

收稿日期:2023-02-13;**修回日期:**2023-02-22

基金资助:甘肃天然草原打草场培育利用关键技术研发与示范(2022CYZC-50)

作者简介:景媛媛,女,甘肃定西人,博士研究生。

E-mail:jabigail@126.com

*通信作者。E-mail:yuxj@gsau.edu.cn

对于整个高寒草地牧场出入口面积占比小,但这一变化可以很好地反映放牧家畜的选择性采食及游走规律,揭示家畜活动干扰的不同范围和程度下植被和土壤的变化规律。

有研究表明放牧家畜的活动区范围随着放牧强度的增加而显著增加,并且放牧强度改变了植被的群落结构特征^[10]。放牧强度增加会降低植被的高度和盖度^[10],但在物种丰富的草地上,地上可见植物群落草层高度和盖度并不能准确地评价草地“土一草”的变化,并且,不同家畜种类的采食行为和游走范围具有差异性^[11],如牛具有更高的采食效率和食物耐受能力,而绵羊对食物质量的要求较高^[12],这使得草地物种因不同家畜种类的采食习性而产生变化,也使草地土壤养分发生变化^[13]。家畜种类和家畜的活动范围、采食习性均是影响草地植被和土壤的关键因素。本文通过研究天祝高寒草地以典型冷季牧场出入口及周围的植被群落演替和土壤理化性质,旨在揭示放牧牦牛活动对高寒草地冷季牧场的健康作用范围及放牧牦牛干扰下青藏高原高寒草甸的植物群落和土壤随牧场出入口距离的变化特征,为高寒草地冷季牧场的合理利用提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地设于青藏高原东缘、东祁连山的高寒草甸(37°40' N, 102°32' E),行政区域属于甘肃省武威市天祝藏族自治县抓喜秀龙镇。该地区海拔为2 960 m,大陆性高原季风气候,且昼夜温差大。年均温-0.1℃,温度变化幅度在-18.3℃(1月)到12.7℃(7月),0℃以上年积温约1 380℃。由于地形原因,多为地形雨,且季节分配不均匀,降水主要集中在7—9月;年均降水量416 mm,年蒸发量达到1 592 mm。仅有冷暖两季之分,冷季为10月至翌年5月,暖季为6—9月。研究区属于高寒草甸冷季牧场(11月至翌年返青期)^[14]。

1.2 试验设计

选择典型的冷季牧场样地,样地自1982年草地被围封以来,一直按照冷季牧场使用,草场地势平坦,放牧家畜为牦牛,放牧强度为中等强度,放牧时间为每年11月至翌年5月,其他月份家畜转移至暖季牧场放

牧。试验取样点的布置以冷季牧场的出入口为中心点,向周围4个方向辐射,设置4条取样路线,代表4个重复。取样路线远离围栏5 m,在牧场出入口向4周以100,200,400,600,800,1 000 m进行等距离样点布置,在0~100 m范围内随机设置4个取样点,共计28个样点,进行植被和土壤取样调查。测定牧场出入口及距离出入口不同范围内植被群落和土壤物理性质。试验地条件及取样路线如图1所示。

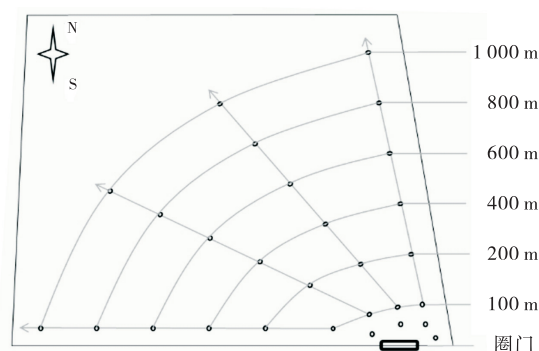


图1 试验取样路线图

Fig. 1 Test conditions and sampling route

1.3 试验方法

1.3.1 植被调查 于2021年8月对调查样地的植被种类、高度、盖度、地上地下生物量进行测定。每个样点重复3次样方,样方面积大小为50 cm×50 cm。调查统计如下指标:

种类:统计并记录每个样方中植物的种类数。

高度:用卷尺测量每种植物的自然高度。

盖度:使用针刺法测定样方各功能群植物的分盖度。

地上生物量:将样方中的植物分种类齐地面剪下,带回实验室60℃烘干至恒重并称重。

地下生物量:在每个样方内,使用直径为3.5 cm的根钻,分0~10 cm,10~20 cm和20~30 cm取根样,3钻合一,装入根袋,置于流水中冲洗干净,挑选砾石和杂质后于60℃烘干至恒重并称重。

香农-维纳指数(Shannon):

$$H = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

辛普森指数(Simpson): $D = 1 - \sum_{i=1}^s N_i / N$

式中:S为物种数; P_i 为属于种*i*的个体在全部个体中的比例; N_i 为种*i*的个体数; N 为群体中全部物种的个体数; H 为Shannon指数; D 为Simpson指数^[15]。

1.3.2 土壤特性 于在2021年8月进行土壤取样,土壤取样与植被样方同位置进行。物理性质:土壤容重(环刀法)、土壤水分(称重法)、土壤饱和持水量(环刀浸泡法),土壤入渗速率以平均渗透速率(mm/min)表示,为达到稳渗时的渗透总量(mm)/达到稳渗时的时间(min)。土壤全氮(TN)使用凯氏定氮法测定,全磷(TP)和速效磷(AP)用钼锑抗显色法,全钾(TK)和速效钾(AK)使用火焰光度计灼烧的方法进行,有机质SOM使用重铬酸钾外加热法,土壤铵态氮(NH_4^+-N)和硝态氮(NO_3^--N)用KCl浸提—靛酚蓝比色法^[16]。

1.4 统计与分析

使用Microsoft Excel 2017整理数据,IBM SPSS Statistics 19.0进行显著性差异分析,Origin 2021进行

图像绘制。

2 结果与分析

2.1 牦牛活动范围对植被群落特征的影响

2.1.1 植被物种数多样性 草地植被物种及其多样性是评价草地植被群落演替的重要指标。以牧场出入口为中心,随着放牧牦牛活动范围向远处延伸,植被物种总数逐渐增加,主要体现在禾草、杂类草和不可食牧草的种类数目增加(表1)。随着放牧牦牛活动范围向远处延伸,香农维纳指数(图2-A)和辛普森指数(图2-B)均呈逐渐增加的趋势,并以活动范围大于600 m以外的草地植被多样性显著高于牧场出入口200 m范围的草地植被多样性。可见,高寒草地放牧牦牛的活动范围显著影响了草地植被群落结构,距离出入口较远的草地具有较高的草地植被多样性。

表1 距离牧场出入口不同范围的草地植被物种数

Table 1 Number of vegetation species in different range from pasture gate

科	物种数						
	0 m	100 m	200 m	400 m	600 m	800 m	1000 m
禾本科	2	3	4	4	4	3	6
莎草科	1	1	1	1	1	3	4
豆科	1	1	1	1	1	1	1
杂类草	3	3	3	4	5	11	9
不可食牧草	0	0	0	0	0	2	6
总计	7	8	9	10	11	20	26

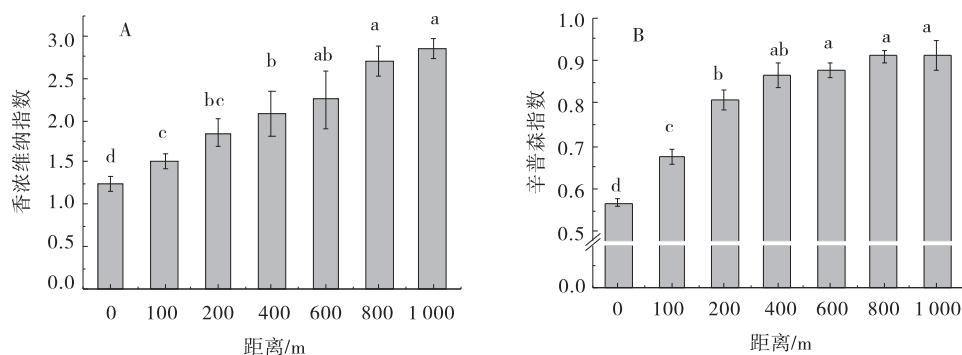


图2 距离牧场出入口不同范围的草地植被多样性

Fig. 2 Diversity of plant species in different range from pasture gate

2.1.2 植被生物量 草地植被的地上、地下生物量随家畜的采食和活动范围发生了明显的变化(图3)。随着放牧牦牛活动范围的扩大,地下生物量呈明显的上升趋势,地上生物量与地下生物量之比呈下降趋势。但地上生物量的变化随着范围的增大,呈现出两个曲线,并在100 m和1 000 m时均显著高于其他范

围,400~600 m范围内,放牧牦牛的活动对植被地上生物量的影响较大,使地上生物量显著降低,主要是杂类草和禾草的生物量显著降低。

随着放牧牦牛活动范围的增大,禾本科植物的地上生物量逐渐降低,而莎草科和不可食牧草的生物量呈增加趋势;杂类草的变化则呈现出2个峰值位

置,在 200 m 和 1 000 m 时较大(表 2)。可见,随着放牧牦牛活动范围的增加,莎草科和杂类草的生物量

逐渐增加,禾草的生物量降低;而地下生物量呈逐渐递增。

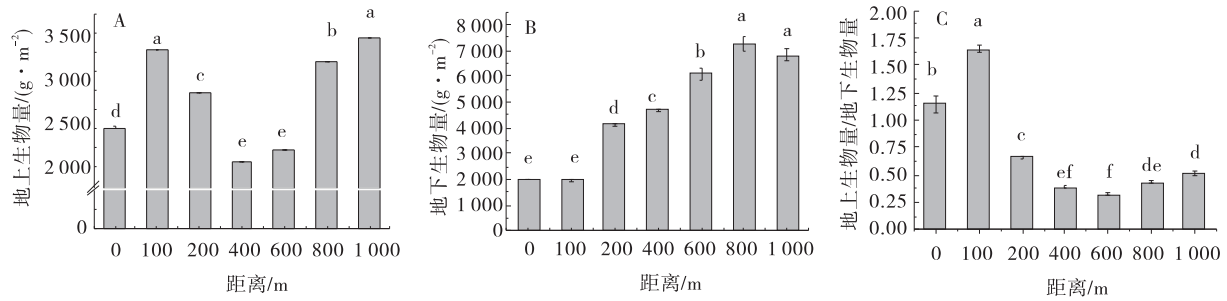


图 3 距离牧场出入口不同范围的草地植物地上地下生物量

Fig. 3 Biomass of above-ground and below-ground in different range from pasture gate

注:不同小写字母表示处理间差异显著,下同。

表 2 距离牧场出入口不同范围的草地功能群植物地上生物量

Table2 Biomass of functional group plants in different range from pasture gate

距离/m	地上生物量				
	禾本科	莎草科	豆科	杂类草	不可食牧草
0	506.01±27.06 ^a	11.00±1.91 ^g	27.43±2.52 ^{ab}	24.54±1.63 ^f	0.00±0.00 ^e
100	495.12±20.12 ^a	24.12±2.63 ^f	29.64±2.34 ^a	273.67±12.12 ^c	0.00±0.00 ^e
200	163.23±17.91 ^c	75.01±7.91 ^e	10.76±2.89 ^c	433.23±17.19 ^a	0.00±0.00 ^e
400	206.74±12.58 ^b	91.78±8.12 ^d	12.87±1.63 ^c	148.65±11.32 ^d	13.06±2.03 ^c
600	151.24±14.51 ^c	153.34±9.52 ^c	22.65±1.15 ^b	121.45±29.52 ^e	44.78±2.63 ^b
800	96.44±9.63 ^d	232.88±15.89 ^b	23.24±2.18 ^b	271.96±13.65 ^e	154.92±8.65 ^a
1000	76.16±7.58 ^d	311.28±16.64 ^a	23.64±4.98 ^b	318.96±15.89 ^b	129.72±6.76 ^b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著,下同。

2.1.3 植被盖度和草层高度 草地植被盖度和草层高度是衡量草地质量的重要因素。如表 3 所示,随着放牧牦牛活动范围的扩大,禾本科植被盖度逐渐降低;莎草科、杂类草和不可食牧草的植被盖度逐渐增加;豆科植被盖度具有逐渐增加的趋势,以牧场出入

口的最低,以最远距离 1 000 m 的盖度最大。平均草层高度以 600~800 m 的高度较低,以距离出入口周围 200 m 的草层高度最高。可见牦牛的活动范围显著改变了植被功能群特征和草层高度,而草层高度主要由草地植被种类影响所致。

表 3 距离牧场出入口不同范围的草地功能群植物盖度

Table 3 Coverage of functional group plants in different range from pasture gate

距离 m/	盖度/%					草层高度/cm
	禾本科	莎草科	豆科	杂类草	不可食牧草	
0	90.65±5.01 ^a	3.52±0.34 ^e	2.68±0.21 ^d	11.51±1.43 ^c	0.00±0.00 ^e	25.46±2.01 ^b
100	92.14±6.13 ^a	4.01±0.89 ^e	7.18±0.45 ^c	11.83±1.53 ^c	0.00±0.00 ^e	26.08±2.13 ^b
200	98.78±5.89 ^a	12.68±1.78 ^d	9.29±0.98 ^{ab}	30.83±3.41 ^b	0.00±0.00 ^e	33.67±1.89 ^a
400	78.62±5.43 ^b	22.39±2.15 ^c	10.23±1.02 ^a	31.33±4.21 ^b	2.30±0.33 ^c	25.78±1.43 ^b
600	18.51±2.67 ^c	31.23±3.12 ^b	9.23±1.01 ^{ab}	33.11±3.20 ^b	5.21±1.20 ^b	13.43±2.67 ^{cd}
800	23.14±3.01 ^c	59.62±5.23 ^a	9.01±1.03 ^b	47.41±4.51 ^a	12.12±2.34 ^b	18.17±2.01 ^c
1000	13.13±1.54 ^{cd}	68.61±3.56 ^a	12.21±1.21 ^a	51.21±5.22 ^a	35.21±3.41 ^a	20.35±2.54 ^{bc}

2.2 牦牛活动范围对土壤理化特性的影响

2.2.1 土壤物理特性 随着牦牛活动范围的增大,土壤水分逐渐增大,以牧场出入口 100 m 范围内的土壤水分最低(图 4-A)。土壤容重随着牦牛活动范围的

增加而降低(图 4-B),土壤饱和持水量(图 4-C)和土壤稳定渗水速率(图 4-D)均体现出逐渐增大的趋势。牦牛的活动范围显著影响了土壤的物理结构特征,在活动频繁的范围,土壤水分含量低,容重高。

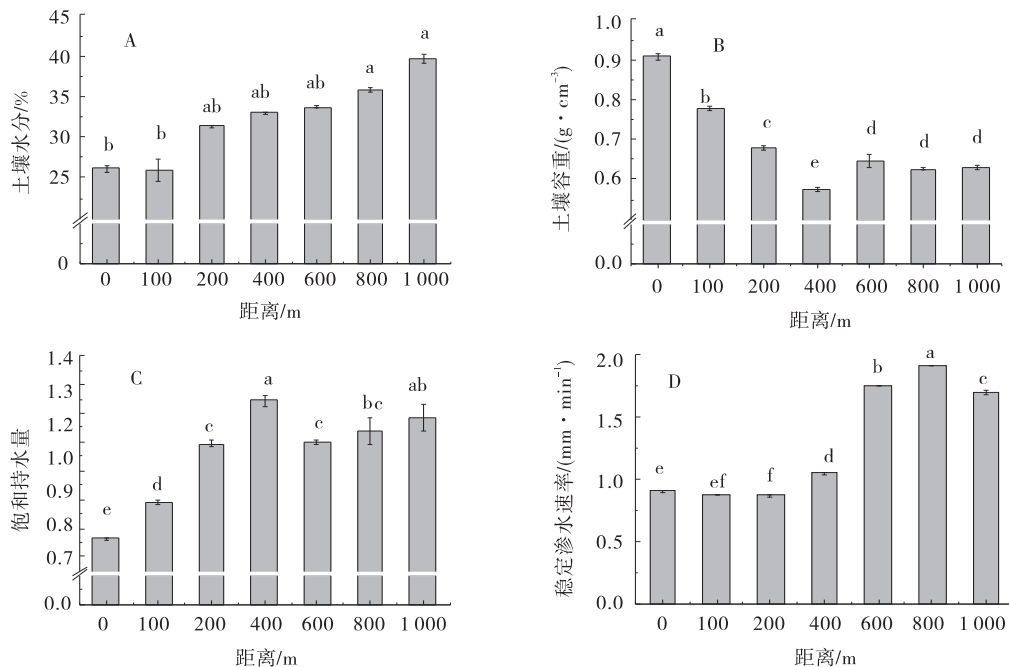


图 4 距离牧场出入口不同范围的草地土壤物理性质

Fig. 4 Soil physical properties in different range from pasture gate

2.2.2 土壤养分 家畜活动范围变化使土壤养分产生了显著影响。而土壤全氮含量在牧场出入口 100 m 范围内和 >400 m 的范围具有较高的含量,且差异不

显著(图 5-A)。土壤全磷呈现出先增后减的趋势,以 600 m 的土壤全磷最高,显著高于牧场出入口(图 5-B)。土壤全钾(图 5-C)和土壤有机质含量(图 5-D)呈

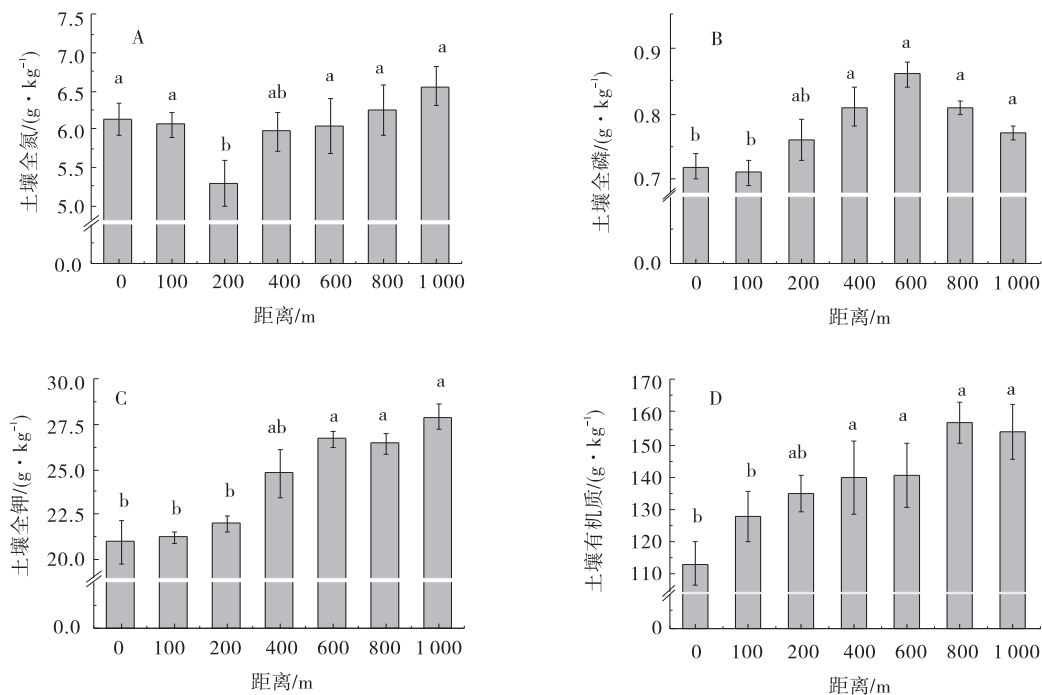


图 5 距离牧场出入口不同范围的草地土壤全效养分

Fig. 5 Soil total nutrient in different range from pasture gate

现出逐渐递增的趋势,且均以牧场出入口的含量最低。除了土壤全氮以外,土壤的其他养分含量均是在家畜活动频繁的牧场出入口周围具有较低的含量,而在家畜活动范围较远的区域具有较高的土壤全效养分和速效养分含量。

土壤铵态氮(图 6-A),硝态氮(图 6-B)的变化趋势一致,随着家畜活动范围的扩大先降低后增加;速效

磷(图 6-C)则表现出先增加后降低再增加的趋势;而速效钾(图 6-D)则为逐渐增加的趋势。土壤速效养分表现出在牧场出入口和 400 m 范围内较低的水平,但是在 100 m 和 >800 m 的范围具有较高的含量。速效养分的变化随着家畜活动范围的变化表现出较为复杂的趋势。牧场出入口家畜践踏、粪尿显著沉积,改变了土壤养分循环。

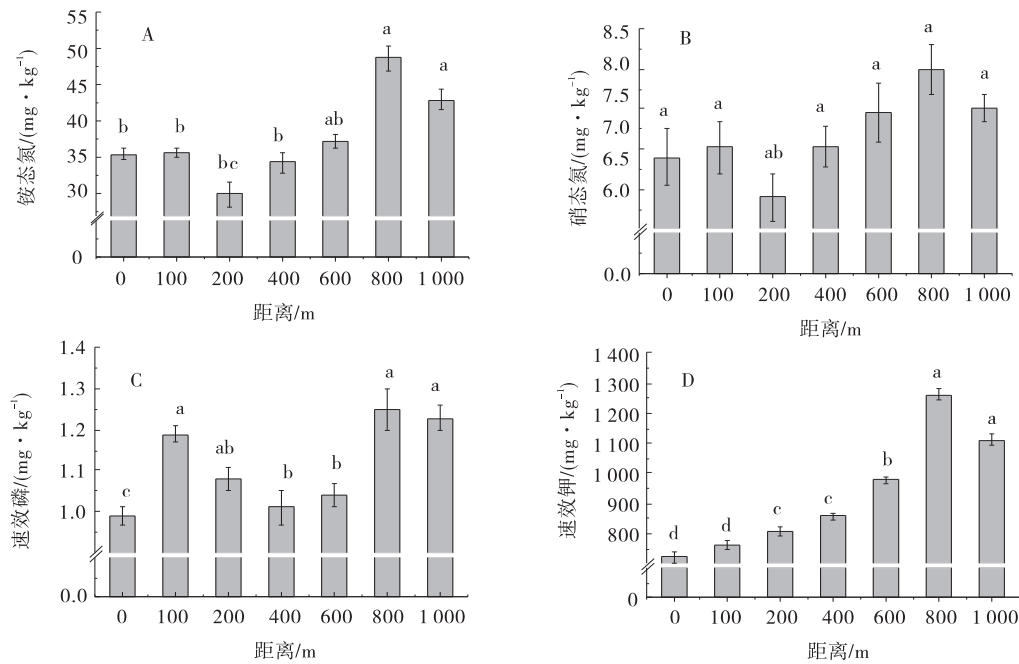


图 6 距离牧场出入口不同范围的草地土壤速效养分

Fig. 6 Soil available nutrients in different range from pasture gate

地上植被的变化显著影响了土壤的理化性质。PCA 分析显示(图 7-A),PC1 和 PC2 轴的载荷值达

80.8%。Shannon—Weiner、Simpson 指数主要与平均草层高度、杂草生物量、莎草科生物量和不可食牧草

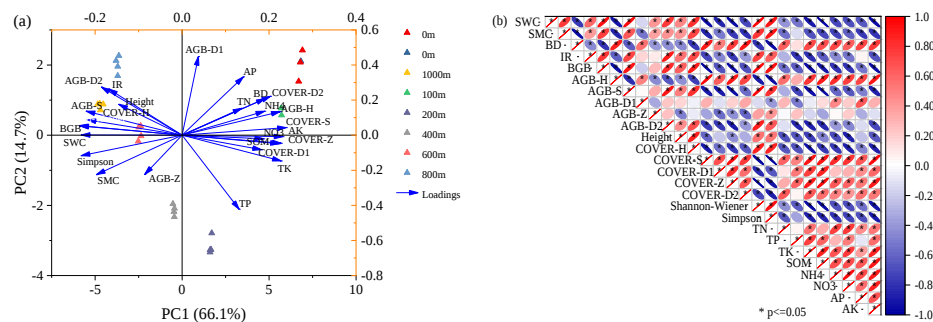


图 7 距离牧场出入口不同范围的草地植被特征与土壤特性的主成分分析和相关性分析

Fig. 7 Principal component analysis and correlation analysis of vegetation characteristics and soil characteristics in different range from pasture gate

注:SWC 土壤含水量;SMC 土壤饱和持水量;BD 土壤容重;IR 土壤渗透速率;BGB 总地下生物量;AGB-H 禾草地上生物量;AGB-S 莎草科地上生物量;AGB-D1 豆科地上生物量;AGB-Z 杂类草地上生物量;AGB-D2 不可食牧草地上生物量;Height 平均草层高度;COVER-H 禾草盖度;COVER-S 莎草科盖度;COVER-D1 豆科盖度;COVER-Z 杂类草盖度;COVER-D2 不可食牧草盖度;Shannon—Weiner 香农—维纳指数;Simpson 辛普森指数;TN 土壤全氮;TP 土壤全磷;TK 土壤全钾;SOM 土壤有机质;NH₄ 铵态氮;NO₃ 硝态氮;AP 速效磷;AK 速效钾。

生物量正相关性较高,与地下生物量正相关性较大,与土壤水分、饱和持水量和渗透速率这几项土壤的物理性质正相关性较高。土壤速效养分:铵态氮、硝态氮、全钾、全磷含量与植被盖度相关性较高。除禾草盖度外,Shannon—Weiner、Simpson指数与其余草的盖度显著负相关,与不可食牧草和莎草科植物的生物量显著正相关。除禾草外,其余草与土壤养分含量显著正相关,地上生物量与土壤养分含量负相关(图7-B)。

3 讨论

3.1 牦牛活动范围对高寒草甸植被特征的影响

高寒草地放牧家畜的活动范围显著影响了草地植被群落结构特征和功能群植被的生长特性^[17-18]。研究结果显示,植被功能群盖度、生物量、草层高度和地上、地下生物量比及草地植被多样性都随着放牧牦牛的活动范围发生显著变化。草层高度和草地生物量主要受草地植被种类影响。在牧场出入口,草地植被以禾本科(垂穗披碱草和赖草)为主,其枯死茎秆适口性差,家畜不喜采食^[19];但由于在牧场出入口受践踏干扰程度较大,降低了其高度。在家畜活动范围较远的区域(大于400 m),莎草科植被盖度增加。包括矮生嵩草和线叶嵩草在内的莎草科植物属于小叶上矮小型植被,造成莎草科盖度高的区域草层高度降低,这也体现在生物量上。600 m后,草地草层高度开始增加,地上生物量也显著增加,是因为杂类草和不可食牧草数量的上升。杂类草和不可食牧草大多具有地面侵占型特征,具有较大的地上组织。这表明植被的地上生长特性与植被种类的功能特征有很大的关系。莎草科植物是典型的根茎型植物,具有密集的地下草毡层^[9],这就导致距离较远的区域莎草科植被生物量增大的同时,地下总生物量也增加,鉴于此,高寒草甸的地下生物量主要由莎草科植被主导,并且随着家畜活动范围的扩大,草地植被多样性增加,各功能群植被的种类数目均随着放牧范围的扩大而增加。可见,家畜过度践踏和采食使植被的物种数量减少。

食草动物通过放牧、啃食、践踏、排便和排尿对植物群落和生产产生强烈的直接和间接影响^[20]。耐食草植物通常在水源和补饲点附近占优势,而可食性强的植物在远离水源的地方更常见^[21]。与放牧一起,践

踏会影响草本植物群落的组成^[22],践踏可以导致更丰富的耐践踏植物,这些植物的原位丰度可以作为草原上的践踏压力的代表^[21]。耐牧和耐践踏植物的盖度和生物量可作为衡量放牧和践踏压力的指标,调查发现赖草在距离牧场出入口较近的地方分布较多,是主要的耐践踏型地下根茎禾草。

本研究表明,家畜活动范围密集的区域主要由耐牧型禾草植物主导。产生这一现象的主要原因一方面是践踏产生耐牧的、可食性差的植被种类,另一方面是家畜排泄物和体毛携带的种子散落在停留时间较长的牧场出入口。禾草类植物属于有性繁殖较强的物种,其种子被粪便和毛被携带到牧场出入口,增加了禾草的萌发与生长。彭珍^[23]指出禾草和杂类草属于资源获取型和机遇型物种,主要靠种子繁殖。而该区域内的莎草科植物甚少,是因为高强度的践踏降低了根茎型植物的扩张,也因莎草科植物的种子发芽率极低。一些观点认为,高寒草地植物群落的演替会随着不同家畜种类的采食偏好而变化,如Guo等^[24]认为牦牛偏食杂类草,而Wang等^[25]认为放牧牦牛的样地不仅使杂类草增加,也使莎草科植被增加。本研究表明家畜活动强度太大不利于以莎草科为主的营养繁殖类植物的扩张,但促进机遇型物种,尤其是耐牧的赖草的生长。调查和研究发现,在高寒草甸放牧牦牛的活动范围引起草地植被发生变化的原因主要是家畜种类的排泄物、采食习性和践踏共同所致,距离牧场出入口近的区域存在严重的践踏,容易导致耐牧型植物禾草的发生,而这很大程度上归因于草地出入口附近家畜停留时间较长,积累了家畜排泄物和毛被携带的种子。

3.2 牦牛活动范围对高寒草甸土壤特性的影响

放牧主要影响表层土壤的理化性质^[26]。家畜放牧活动范围显著影响了高寒草甸冷季牧场的土壤物理性质、土壤全效养分和土壤速效养分含量^[27]。家畜活动范围扩大,可减少家畜对草地的干扰,增加草层高度,保持较高的土壤水分;而土壤物理性质在牧场出入口周围显著受家畜践踏的影响,践踏频次增加,容重增加,水分、渗透速率和饱和持水量降低。这与众多学者的研究结论一致。如,Dai等^[28]认为长时间的放牧使植物根系浅层化,导致表层土壤的容重降低,渗水速率增加。本研究距离出入口较近的区域产

生了重度和强度较高的长时间践踏,促进产生蹄耕作用,易造成土壤风蚀。

本研究显示,除了土壤全氮以外,土壤的其他养分在家畜活动频繁的牧场出入口附近具有较低的含量,而在家畜活动范围较远的区域土壤养分含量较高。牧场出入口附近的土壤全氮含量较高,这很可能是由于家畜粪尿的排泄所造成。而在 >400 m范围的草地上,全氮、全磷和全钾含量呈逐渐上升的趋势,主要是因为地下生物量增加,根际分泌、微生物活动增加,引起地下生物量含量增加^[29],也因为较多的凋落物为土壤提供养分来源^[30]。距离较远的区域减少了放牧干扰,也使植被更好地生长,促进土壤速效养分的循环,使其含量较高;距离出入口近则增加了放牧采食和践踏,使植被受放牧干扰,生长减弱,速效养分含量降低;同时也因为家畜的活动频次增加,增加了放牧家畜的粪便沉积,促进了速效氮的积累,这一点在Sun等^[31]的研究中也得到验证。

土壤养分的改变是一个长期的过程,放牧草地经过长期的家畜践踏和采食影响,牧场出入口附近的土壤养分已经发生了显著的变化。距离出入口越近,家畜践踏作用越强,造成的土壤侵蚀和养分流失越快^[9]。Liu等^[32]使用meta-analysis对青藏高原高寒草地土壤养分和化学计量对放牧管理的响应进行了分析,结果发现放牧显著降低了土壤有机质、全氮、全磷、速效磷含量和土壤水分,显著增加了土壤容重和土壤温度,与本研究结果相符。当草地上草少补饲的时候,家畜多会聚集在门口附近,等待开门放行补饲,或导致距离门附近的高强度践踏和排泄是造成土壤理化性质变化根本原因。

地上植被群落结构的变化会显著影响土壤理化性质的变化,如促进根际作用,凋落物分解等。本研究通过牧场出入口向周围辐射,在物种数、地上地下生物量增加的同时,促进作用最大的是土壤水分。本研究中盖度和生物量具有负相关性,这可能与采样时间和植被物种种类有关,植物含水量较高,干物质较低;物种生物量主要是由植被本身的质地决定,如植物含水量、生长外形等。莎草科植物一般都是细叶型植物,具有较小的盖度投影,而阔叶草植物具有较大的盖度投影在高寒草甸,夏季抽样调查的植被高度和

盖度相对较高,主要是由禾草和蓼科植物导致。可见草地植被覆盖度与产草量的关系应该按具体情况分析。除禾草盖度外,Shannon—Weiner、Simpson指数与其余草的盖度显著负相关,与毒草和莎草科植物的生物量显著正相关这很可能是因为不可食牧草的多样性较大,个体较小造成的。

4 结论

高寒草甸放牧牦牛在牧场出入口活动频繁,使该区域植被多样性和地下生物量降低,但增加了生物量的地上/地下比;出入口附近以耐牧型禾草居多,较远区域具有较多莎草科植物和杂类草。出入口附近的土壤含水量低,容重高,较远的区域具有较高的土壤全效养分和速效养分。家畜高频度践踏是引起高寒草地冷季牧场草地退化的主要因素,高寒草地冷季牧场管理因当避免高强度、高频次践踏。

参考文献:

- [1] 姚檀栋,陈发虎,崔鹏,等. 从青藏高原到第三极和泛第三极[J]. 中国科学院院刊,2017,32(9):924—931.
- [2] 柴锦隆,徐长林,张德罡,等. 模拟践踏和降水对高寒草甸土壤养分和酶活性的影响[J]. 生态学报,2019,39(1):333—344.
- [3] Schleuss P M, Heitkamp F, Sun Y, *et al.* Nitrogen uptake in an alpine *Kobresia* pasture on the Tibetan plateau: localization by ^{15}N labeling and implications for a vulnerable ecosystem[J]. *Ecosystems*, 2015, 18(6):946—957.
- [4] 付伟,赵俊权,杜国祯. 青藏高原高寒草地放牧生态系统可持续发展研究[J]. 草原与草坪,2013,33(1):84—88.
- [5] 王永宏,田黎明,艾鹭,等. 短期牦牛放牧对青藏高原高寒草地土壤真菌群落的影响[J]. 草业学报,2022,31(10):41—52.
- [6] Yang Y F, Wu L W, Lin Q Y, *et al.* Responses of the functional structure of soil microbial community to livestock grazing in the Tibetan alpine grassland[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(2):637—648.
- [7] Feng B F, Zhao X Q, Dong Q M, *et al.* The effect of feed supplementing and processing on the live weight gain of Tibetan sheep during the cold season on the Qinghai—Tibetan Plateau[J]. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2013, 12(3):312—315.
- [8] 周洋洋,景媛媛,徐长林,等. 覆膜种植对高寒区土壤水

- 热、养分和苜蓿越冬的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(8): 1843—1852.
- [9] Jing Y Y, Bai M M, Xu C L, *et al.* Advancing the spring rest—grazing time until the critical period when soil thaws promotes soil recovery and bacterial diversity in alpine meadows[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 139: 108929.
- [10] 侯路路. 放牧对家畜牧食行为的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [11] 韩国栋, 卫智军, 许志信. 短花针茅草原划区轮牧试验研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2001(1): 60—67.
- [12] 李直强. 草地退化和放牧时期对牛羊采食行为及采食互作关系的影响[D]. 哈尔滨: 东北师范大学, 2019.
- [13] 李杰. 家畜放牧对我国北方主要草地土壤固碳功能的影响及机制[D]. 哈尔滨: 东北师范大学, 2021.
- [14] 景媛媛, 徐长林, 陈陆军, 等. 高寒草甸冷季牧场牦牛和藏羊粪中植物种子密度和多样性[J]. 生态学杂志, 2014, 33(10): 2603—2609.
- [15] 牛翠娟, 姜安如, 孙儒泳, 等. 基础生态学 [M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 农业出版社, 2018.
- [17] 高成芬, 张德罡, 王国栋. 不同强度短期放牧对高寒草甸植被特征的影响[J]. 草原与草坪, 2021, 41(5): 9—15.
- [18] 杜凯, 康宇坤, 张德罡, 等. 放牧模式对祁连山东缘高寒草甸植被特征的影响[J]. 草原与草坪, 2021, 41(3): 9—18+25.
- [19] 张琦, 郭琛文, 姚蒙蒙, 等. 放牧强度对半干旱草地优势植物赖草功能性状的影响[J]. 草地学报, 2022, 30(8): 2108—2117.
- [20] Samantha A A, Haldre S R, Lauren L S. The effects of dispersal, herbivory, and competition on plant community assembly[J]. *Ecology*, 2022, 104(1): e3859.
- [21] Narantsetseg A, Kang S, Dongwook K. Livestock grazing and trampling effects on plant functional composition at three wells in the desert steppe of Mongolia[J]. *Journal of Ecology and Environment*, 2018, 42: 13.
- [22] Mudongo E I, Fynn R W S, Bonyongo M C. Role of Herbivore Impact and Subsequent Timing and Extent of Recovery Periods in Rangelands [J]. *Rangeland Ecology & Management*, 2016, 69(5): 327—333.
- [23] 彭珍. 春季不同时期休牧对高寒草甸线叶嵩草和垂穗披碱草繁殖及根系的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.
- [24] Guo N, Wu Q, Shi F, *et al.* Seasonal dynamics of diet—gut microbiota interaction in adaptation of yaks to life at high altitude[J]. *npj Biofilms Microbiomes*, 2021, 7, 38.
- [25] Wang L, Jing Y Y, Xu C L, *et al.* Effect of grazing treatments on phenotypic and reproductive plasticity of *Kobresia humilis* in alpine meadows of the Qinghai—Tibet plateau. *Frontiers in Environmental Science*, 2022, 10.
- [26] Greene R S B, Kinnell P I A, Wood J T. Role of plant cover and stock trampling on runoff and soil erosion from semiarid wooded rangelands [J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1994, 32(5): 953—973.
- [27] 张倩, 杨晶, 姚宝辉, 等. 放牧模式对祁连山东缘高寒草甸土壤理化特性和物种多样性的影响[J]. 草原与草坪, 2021, 41(2): 105—112.
- [28] Dai L C, Guo X W, Ke X, *et al.* Moderate grazing promotes the root biomass in Kobresia meadow on the northern Qinghai—Tibet Plateau [J]. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(16): 9395—9406.
- [29] 马源, 李林芝, 张德罡, 等. 高寒草甸根际土壤化学计量特征对草地退化的响应[J]. 应用生态学报, 2019, 30(9): 3039—3048.
- [30] 江奥, 敬路淮, 泽让东科, 等. 放牧影响草地凋落物分解研究进展[J]. 草业学报, 2023, 32(4): 208—220.
- [31] Sun J, Ma B B, Lu X Y. Grazing enhances soil nutrient effects: Trade-offs between aboveground and belowground biomass in alpine grasslands of the Tibetan Plateau [J]. *Land Degradation & Development*, 2018, 29(2): 337—348.
- [32] Liu C L, Li W L, Xu J, *et al.* Response of soil nutrients and stoichiometry to grazing management in alpine grassland on the Qinghai—Tibet Plateau [J]. *Soil & Tillage Research*, 2021, 206: 104822.

The effect of grazing yak's activity range on vegetation community structure and soil physicochemical characteristics in cold season pasture of alpine meadow

JING Yuan-yuan, XU Chang-lin, YU Xiao-jun*

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: 【Objective】 The change trend of plant community pattern and the disturbance range and degree of grazing animals' selective feeding and migration rules to grassland were revealed, which provided reference for grassland management and grassland husbandry production. 【Method】 The vegetation and soil changes of grazing yaks at gate of cold season pasture and within 1 000 m range were studied in Tianzhualpine meadow in cold season. 【Result】 The results showed that the vegetation diversity of the grassland with a range beyond 600 m was significantly higher than that of the grassland with a range around 200 m. The average grass layer height was lower at 600 to 800 m, and the highest at 200 m around. The aboveground biomass varied greatly in the range of 400 to 600m. The underground biomass and vegetation coverage increased significantly with the distance far away from pasture gate, and the species and quantity of edible herbage increased significantly ($P < 0.05$). The bulk density of soil was the largest within 100m of the ring beach, while the soil moisture, soil permeability rate and soil saturated water capacity were the lowest. The soil total nutrient content was lower in the area around the ring beach where livestock activity was frequent, and higher in the area where livestock activity was far away. The content of soil available nutrients was higher in the range of 100 m and > 800 m. 【Conclusion】 The grassland near the pasture gate is trampled and fed frequently, which makes the vegetation species simple and the soil easy to be eroded, resulting in serious degradation of the grassland near 200 m. It is of practical significance to understand the changes of vegetation and soil characteristics for more scientific use and management of alpine grassland pasture in cold season. In the actual pasture management, the entrance and exit can be replaced, or the re-seeding can be carried out at the entrance and exit to prevent the degradation of the grassland.

Key words: alpine meadow; yak; livestock activities and distance; vegetation community; soil properties

(责任编辑 刘建荣)