

长期放牧下不同家畜对高寒灌丛饲草生物量和品质的影响

宋美娟,徐长林,汪鹏斌,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:于2020年7—8月在东祁连山天祝高寒地区测定了放牧甘肃马鹿(*Cervus elaphus kansuensis*)、混牧牦牛(*Bos grunniens*)和藏羊(*Ovis aries*)34年的灌丛草地的饲草生物量和营养品质,以期为高寒灌丛草地放牧管理提供科学依据。结果表明:马鹿样地的饲用草本总生物量为1 423.78 kg/hm²,灌木总生物量为107 789.72 kg/hm²,而混牧牦牛和藏羊样地的饲用草本总生物量为342.63 kg/hm²,灌木的总生物量为176 279.54 kg/hm²;放牧马鹿样地中饲用草本的可溶性糖、酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维分别为8.12%、36.70%和52.71%,均显著高于混牧牦牛和藏羊样地($P < 0.05$),分别高46.31%、6.53%和10.98%;杯腺柳(*Salix cupularis*)叶片的中性洗涤纤维含量、小叶金露梅(*Potentilla fruticosa*)叶片的酸性洗涤纤维含量、小叶金露梅枝条和高山绣线菊(*Spiraea alpine*)叶片的相对饲喂价值分别为58.96%、51.31%、41.48%和76.94%,均显著高于混牧牦牛和藏羊样地($P < 0.05$),但高山绣线菊枝条的粗蛋白、高山绣线菊叶片的中性洗涤纤维、小叶金露梅枝条的酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维以及杯腺柳叶片、小叶金露梅叶片和饲用草本的相对饲喂价值相反;放牧马鹿样地饲用草本的30小时中性洗涤纤维消化率、体外30、48 h干物质的消化率均显著低于牦牛和藏羊样地($P < 0.05$),分别低12.22%、12.42%和5.20%,其余指标均无显著性差异。综上所述,长期放牧马鹿有利于提高草地生产性能。

关键词:牦牛;藏羊;马鹿;高寒灌丛;饲草产量;品质

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)01-0049-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2022.01.006



高寒草地是我国重要的草地类型之一,可利用草地面积达到 1.13×10^8 hm²,占国土总面积的46.4%^[1]。甘肃省高寒草地面积 3.99×10^6 hm²,占全省草地面积的24.8%^[2]。位于祁连山东段的天祝藏族自治县是甘肃省重要的高寒草地分布地区,总面积为 7.15×10^5 hm²,其中天然草原面积为 3.91×10^5

hm²^[3],主要分布有典型草原、山地草甸草原、疏林草甸草原、灌丛草甸草原和高寒草甸草原5种类型,其中典型草原、山地草甸草原和灌丛草甸草原面积最大,总计 2.95×10^5 hm²,占天然草原面积的75.44%^[4]。高寒灌丛是在高寒环境土壤的冻结和融化作用下塑造出来的独特冷生生境和植被系统^[5],作为祁连山主体植被之一,它对青藏高原大气和地面之间的能量平衡、水气交换、生物地球化学循环有着极其重要的作用^[6],对祁连山东段高寒地区水土保持、高寒生境的维持与恢复也具有重要生态功能^[7],并对当地草地畜牧业的发展发挥着重要作用^[8-9]。祁连山牧区不仅是我国北方牧区的重要组成部分^[10],也是当地GDP增长的主要依靠区^[11]。

目前,随着人类生活、生产方式的转变和自然因素

收稿日期:2020-01-19; **修回日期:**2021-02-27

基金项目:国家自然科学基金(31760695)

作者简介:宋美娟(1995-),女,内蒙古喀喇沁旗人,硕士研究生。

E-mail:2915059627@qq.com

鱼小军为通信作者。

E-mail:yuxj@gsau.edu.cn

的影响,高寒灌丛生态系统也发生了较多改变,不但影响牧区经济的可持续发展,甚至还威胁到社会稳定和生态安全^[12]。近年来,针对灌丛的分布^[13]、生物量^[14-15]、放牧影响^[16-17]、灌丛草地的土壤特征^[5]和微生物特性^[18]已有较多研究。其中高寒灌丛草地放牧活动的影响多侧重在植被生长特性、群落结构和生产力等方面^[19-21],缺乏植被生物量和营养品质方面的研究,尤其是不同家畜与灌丛草地的关系报道更少。因此,本研究以连续 34 年放牧不同家畜的高寒灌丛草地为研究对象,研究其植被的生物量和营养品质的差异性、变化规律及其相互关系,评估长期放牧不同家畜在青藏高原土地利用模式中的地位,以为高寒灌丛草地资源的合理利用与管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验地设在青藏高原东北缘的甘肃省武威市天祝县红疙瘩村河谷附近(图 1)。该地位于 N 36°31'~37°55',E 102°07'~103°46',海拔 2 960~3 050 m。雨热同步,昼夜温差较大,日照强烈,气候寒冷又潮湿,年均气温-0.3~0℃,其中温度最低月和最高月分别为 1 月和 7 月,平均气温分别为-12.2℃和 11.3℃,≥0℃和≥10℃的年积温分别为 1 581℃和 1 026℃,年降水量为 416 mm,多集中在生长季节,年蒸发量为 1 590 mm,是降水量的 4 倍,无绝对无霜期,植物生长期 120~140 d^[22]。

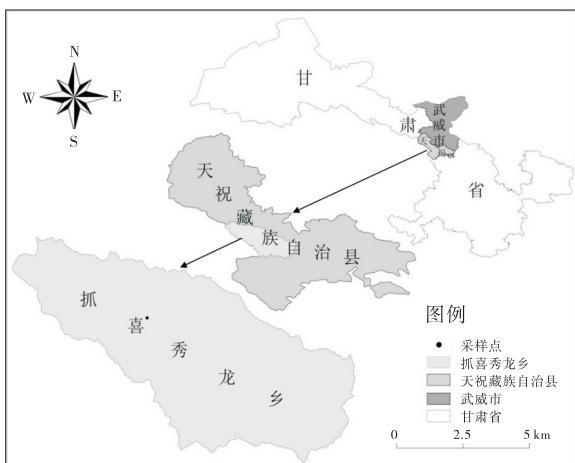


图 1 试验地区位图

Fig. 1 Map of the test area

1.2 试验设计

从试验地的草地利用、管护以及植被群落特征等

方面进行入户访谈和实地调查(表 1)。根据调查结果可知该地自 1985 年至今进行围栏放牧,且植被群落为灌丛,总盖度达 42%左右,其中杯腺柳(*Salix cupularis*)、小叶金露梅(*Potentilla fruticosa*)和高山绣线菊(*Spiraea alpina*)盖度分别为 27%、12%和 3%。1985 年之前样地的群落类型均为杯腺柳+小叶金露梅+高山绣线菊灌丛。

试验样地为高寒灌丛草地冷季牧场,地形开阔,坡度约 15°。自 1985 年开始按照不同家畜进行围栏放牧,已有 34 年,虽载畜量略有波动,但差异不显著(图 1)。两种放牧样地为:放牧甘肃马鹿样地(Gansu wapiti,简称 GWP)、混合放牧牦牛和藏羊样地(yak and Tibetansheep,简称 YTSP)。GWP 和 YTSP 分别用高为 3 m 和 1.5 m 的网围栏围封,草地面积均为 10 hm²。单牧马鹿 17 头,牦牛和藏羊混合放牧,分别为 17 头和 18 只。根据传统放牧方式下的放牧率进行折算,放牧马鹿样地放牧率为 8.5 羊单位/hm²(1 头鹿=5 羊单位),牦牛和藏羊样地放牧率为 8.6 羊单位/hm²(1 头牛=4 羊单位),两块样地放牧率基本一致。放牧时间从 12 月初到次年 5 月初,为期 180 d。根据当地养殖习惯,冬春季进行补饲,补饲时间为 1 月初到 5 月底,为期 150 d。[注:家畜头数按体重换算,以 1 只活体重为标准体重(40 kg/只)的 2 岁藏羊换算为 1 羊单位,以 1 头活体重为标准体重(180 kg/头)的 4 岁成年牦牛换算为 4 羊单位;以 1 头活体重为标准体重(200 kg/头)的 4 岁甘肃马鹿换算为 5 羊单位]。

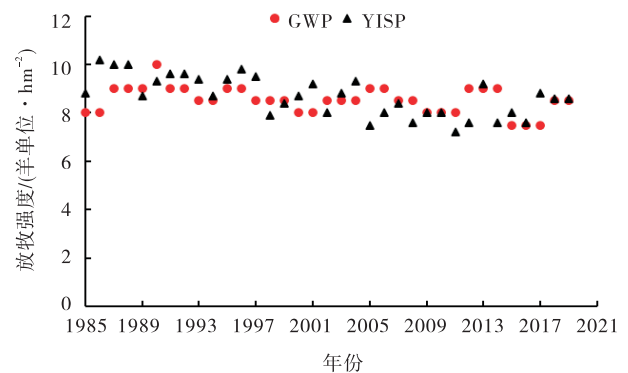


图 2 近 34 年各样地载畜量变异状况

Fig. 2 Variation of grazing capacity in each plots in recent 34 years

1.3 样品采集及营养成分测定

2020 年 7 月中旬在试验样地采用刈割法测定灌丛草地地上生物量,灌木样方为 5m×5m,按物种测

表 1 放牧下不同家畜样地灌丛植被

Table 1 Shrub vegetation in different livestock grazing plots

样地	灌丛植被状况	灌丛密度/ (clump · m ⁻²)	灌丛高度/cm	灌丛生物量/ (kg · hm ⁻²)	灌丛总盖度/%
GWP	杯腺柳+小叶金露梅+高山绣线菊	0.23	39.90	3 592.99	36.86
YTSP	杯腺柳+小叶金露梅+高山绣线菊	0.37	84.63	5 875.99	75.04

注:表中 GWP 代表单牧甘肃马鹿样地, YTSP 代表混牧牦牛和藏羊样地。下同

表 2 放牧下不同家畜样地饲用草本物种

Table 2 Grassland communities in different grazing plots

植物名	拉丁名	GWP	YTSP	植物名	拉丁名	GWP	YTSP
珠芽蓼	<i>Polygonum viviparum</i>	+	+	长叶火绒草	<i>Leontopodium longifolium</i>	+	-
垂穗披碱草	<i>Elymus nutans</i>	+	+	高山唐松草	<i>Thalictrum alpinum</i>	+	+
发草	<i>Deschampsia caespitosa</i>	+	-	短穗兔耳草	<i>Lagotis brachystachya</i>	+	-
海乳草	<i>Glau xmaritima</i>	+	-	铃铃香青	<i>Anaphalis hancockii</i>	+	-
葛缕子	<i>Carum carvi</i>	+	-	异燕麦	<i>Helictotrichon schellianum</i>	+	-
华扁穗草	<i>Blysmus sinocompressus</i>	+	-	长花马先蒿	<i>Pedicularis longiflora</i>	+	+
鹅绒委陵菜	<i>Potentilla anserine</i>	+	-	西藏大戟	<i>Euphorbia tibetica</i>	+	-
平车前	<i>Plantago depressa</i>	+	+	长毛凤毛菊	<i>Saussurea hieracioides</i>	+	+
叠裂银莲花	<i>Anemone imbricata</i>	+	+	黄芪	<i>Astragalus propinquus</i>	+	-
高原毛茛	<i>Ranunculus tanguticus</i>	+	+	湿生扁蕾	<i>Gentianopsis paludosa</i>	+	+
刺芒龙胆	<i>Gentiana aristata</i>	+	+	叠裂黄堇	<i>Corydalis dasyptera</i>	+	+
小米草	<i>Euphrasia pectinata</i>	+	+	蔗草	<i>Scirpus triquetter</i>	+	-
蒲公英	<i>Taraxacum mongolicum</i>	+	+	长叶微孔草	<i>Microula trichocarpa</i>	-	+
矮生嵩草	<i>Kobresia humilis</i>	+	+	草原老鹳草	<i>Geranium pratense</i>	-	+
肋柱花	<i>Lomatogonium carinthiacum</i>	+	-	黑紫披碱草	<i>Elymus atratus</i>	-	+
矮火绒草	<i>Leontopodium nanum</i>	+	+	蓝翠雀花	<i>Delphinium caeruleum</i>	-	+
问荆	<i>Equisetum arvense</i>	+	+	兰石草	<i>Lancea tibetica</i>	-	+
早熟禾	<i>Poa pratensis</i>	+	+	黄帚橐吾	<i>Ligularia virgaurea</i>	-	+
阴山扁蓿豆	<i>Medicago ruthenica</i> var. <i>inschanica</i>	+	+	苔草	<i>Carex</i> spp.	-	+
甘肃棘豆	<i>Oxytropis kansuensis</i>	+	-	伞花繁缕	<i>Stellaria umbellata</i>	-	+
雪白委陵菜	<i>Potentilla nivea</i>	+	+	篷子菜	<i>Galium verum</i>	-	+
针茅	<i>Stipa capillata</i>	+	-	兰花韭	<i>Allium beesianum</i>	+	-
球花蒿	<i>Artemisia smithii</i>	+	-				

注:表中数字“+”代表样地中有该植物,数字“-”代表样地中无该植物。

定,饲用草本样方为 0.5 m×0.5 m,重复 5 次,齐地面刈割,去除杂物,现场称重后低温保存,然后带回实验室先放入 105 ℃干燥箱内杀青 30 min,后降至 65 ℃烘干称重至恒重,取出样品中可食草本和灌木粉碎后过 1 mm 筛装袋密封保存,用于指标测定。

干物质采用烘干法;粗蛋白质采用半微量凯氏定氮法测定^[23];粗脂肪采用索氏提取法^[24];粗灰分采用灰化法;糖类、果聚糖、可溶性糖采用蒽酮比色法和苯酚-硫酸法^[25];木质素、酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)测定均采用范式纤维分析法^[26]。

采用近红外光谱法^[27]测定可食草本和灌木体外 30、48 h 的 NDF 和干物质的可消化率。

1.4 数据分析

用 Microsoft Excel 2013 对所测数据进行整理并绘图,用 SPSS 20.0 对所有数值进行独立样本 T 检验分析和差异显著性分析($P < 0.05$)。

$$\text{相对饲喂价值(RFV)}: \text{RFV} = \frac{\text{DMI} \times \text{DDM}}{1.29}$$

$$\text{干物质采食量 DMI} = \frac{120}{\text{NDF}}, \text{可消化性干物质}$$

$$\text{DDM} = 88.9 - 0.77\text{ADF}^{[26]}。$$

2 结果与分析

2.1 长期放牧下不同家畜对饲用草本和灌木生物量的影响

长期放牧下不同家畜对饲用草本和灌木生物量具有一定影响,GWP中禾草、杂类草及饲用草本总生物量均显著高于YTSP($P < 0.05$),分别高605.38、

461.74和1081.15 kg/hm²,两样地间的莎草和毒草生物量无显著性差异($P > 0.05$)(表3);GWP中杯腺柳、高山绣线菊及灌木总生物量均显著低于YTSP($P < 0.05$),分别低59996.10、4870.28和68489.82 kg/hm²,两样地间小叶金露梅生物量无显著性差异($P > 0.05$)(表4)。

表3 长期放牧下不同家畜样地饲用草本功能群生物量

Table 3 Biomass of grassland functional groups in different grazing plots

样地	禾草 (kg · hm ⁻²)	莎草/ (kg · hm ⁻²)	杂类草/ (kg · hm ⁻²)	毒草/ (kg · hm ⁻²)	总生物量 / (kg · hm ⁻²)
GWP	626.35 ± 10.21 ^a	39.15 ± 1.77 ^a	752.04 ± 11.20 ^a	6.25 ± 0.04 ^a	1423.78 ± 4.97 ^a
YTSP	20.97 ± 0.58 ^b	25.46 ± 0.60 ^a	290.30 ± 5.63 ^b	5.91 ± 0.22 ^a	342.63 ± 6.49 ^b

注:表中同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同

表4 长期放牧下不同家畜样地灌木生物量

Table 4 Biomass of shrub in different grazing plots

样地	杯腺柳生物量/ (kg · hm ⁻²)	小叶金露梅生物量/ (kg · hm ⁻²)	高山绣线菊生物量/ (kg · hm ⁻²)	总生物量/ (kg · hm ⁻²)
GWP	44418.36 ± 1098.60 ^b	32915.38 ± 1556.78 ^a	30455.98 ± 1324.56 ^b	107789.72 ± 1839.88 ^b
YTSP	104414.46 ± 1570.93 ^a	36538.82 ± 1115.66 ^a	35326.26 ± 1503.11 ^a	176279.54 ± 1823.82 ^a

2.2 长期放牧下不同家畜对饲用草本和灌木品质的影响

放牧下不同家畜样地间的饲用草本营养成分具有一定的差异性。其中,干物质含量和相对饲喂价值表现为YTSP > GWP($P > 0.05$),分别高0.15%和15.39%;而粗蛋白、粗脂肪、粗灰分、木质素及糖类含量均表现为GWP > YTSP($P > 0.05$);粗蛋白产量、糖类产量、可溶性糖、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量均表现为GWP > YTSP($P < 0.05$)(表5)。

GWP中杯腺柳叶片的中性洗涤纤维显著高于YTSP($P < 0.05$),高24.41%;相对饲喂价值显著低于YTSP($P < 0.05$),低25.03%;而两样地间杯腺柳枝条的营养价值无显著变化($P > 0.05$)。GWP中小叶金露梅叶片的酸性洗涤纤维含量显著高于YTSP($P < 0.05$),高27.64%;相对饲喂价值显著低于YTSP($P < 0.05$),低27.35%;GWP中小叶金露梅枝条的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量均显著低于YTSP($P < 0.05$),分别低5.17%和13.84%,但相对饲喂价值显著高于YTSP($P < 0.05$),高35.64%。GWP中高山绣线菊叶片的中性洗涤纤维含量显著低

表5 长期放牧下不同家畜样地饲用草本营养成分含量

Table 5 Nutrient content of pasture in grazing different livestock plots

营养成分	样地	
	YTSP	GWP
干物质/%	94.92 ± 0.12 ^a	94.78 ± 0.14 ^a
粗蛋白/%	13.90 ± 0.07 ^a	14.08 ± 0.13 ^a
粗蛋白产量/ (kg · hm ⁻²)	46.81 ± 0.87 ^b	199.59 ± 0.70 ^a
粗脂肪/%	3.10 ± 0.06 ^a	3.24 ± 0.08 ^a
粗灰分/%	8.47 ± 0.06 ^a	8.90 ± 0.17 ^a
木质素/%	4.45 ± 0.05 ^a	4.60 ± 0.06 ^a
糖类/%	1.29 ± 0.08 ^a	2.77 ± 0.14 ^a
糖类产量/ (kg · hm ⁻²)	4.34 ± 0.08 ^b	39.27 ± 0.14 ^a
可溶性糖/%	5.55 ± 0.31 ^b	8.12 ± 0.30 ^a
中性洗涤纤维/%	47.01 ± 0.79 ^b	52.71 ± 0.92 ^a
酸性洗涤纤维/%	34.45 ± 0.32 ^b	36.70 ± 0.35 ^a
相对饲喂价值	122.91 ± 2.56 ^a	106.52 ± 2.35 ^b

注:表中同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

表 6 放牧下不同家畜样地灌木枝叶营养成分含量

Table 6 Nutrient content of shrub branches and leaves in different livestock plots

营养成分	样地	杯腺柳叶片	杯腺柳枝条	小叶金露梅叶片	小叶金露梅枝条	高山绣线菊叶片	高山绣线菊枝条
粗蛋白/%	GWP	11.82±0.22 ^a	6.61±2.26 ^a	9.07±0.64 ^a	3.19±0.34 ^a	9.91±0.00 ^a	3.75±0.11 ^b
	YTSP	11.98±0.70 ^a	4.70±0.44 ^a	9.91±0.34 ^a	3.64±0.20 ^a	9.18±0.31 ^a	4.26±0.11 ^a
可溶性糖/%	GWP	5.28±1.75 ^a	5.15±1.13 ^a	3.29±1.31 ^a	3.91±0.84 ^a	6.6±1.47 ^a	2.94±0.76 ^a
	YTSP	6.61±2.08 ^a	3.12±0.68 ^a	3.74±1.02 ^a	2.76±0.97 ^a	2.47±0.92 ^a	2.54±1.00 ^a
中性洗涤纤维/%	GWP	58.96±0.13 ^a	83.21±4.07 ^a	71.55±5.58 ^a	83.51±0.02 ^b	61.15±0.31 ^b	84.14±2.01 ^a
	YTSP	47.39±1.31 ^b	93.51±1.21 ^a	59.83±0.97 ^a	88.06±0.27 ^a	70.56±0.35 ^a	84.52±2.35 ^a
酸性洗涤纤维/%	GWP	34.27±2.38 ^a	72.54±4.00 ^a	51.31±1.57 ^a	66.32±0.94 ^b	49.19±1.04 ^a	64.34±4.07 ^a
	YTSP	28.74±0.76 ^a	85.73±1.38 ^a	40.20±2.27 ^b	76.97±0.71 ^a	53.11±1.49 ^a	61.94±1.21 ^a
相对饲喂价值	GWP	98.17±3.14 ^b	36.99±5.29 ^a	65.18±6.68 ^b	41.48±0.82 ^a	76.94±0.84 ^a	43.19±4.54 ^a
	YTSP	130.95±4.78 ^a	21.97±0.78 ^a	89.72±4.21 ^a	30.58±0.68 ^b	62.64±1.21 ^b	44.75±0.21 ^a

于 YTSP ($P < 0.05$), 低 13.34%, 相对饲喂价值显著高于 YTSP ($P < 0.05$), 高 22.83%; GWP 中高山绣线菊枝条的粗蛋白含量显著低于 YTSP ($P < 0.05$), 低 11.97% (表 6)。

2.3 放牧下不同家畜对饲用草本消化率的影响

YTSP 的 30 h NDF 可消化率显著高于 GWP ($P < 0.05$), 高 13.92%; 48 h NDF 的可消化率无显著性差异 ($P > 0.05$); 对于体外 30、48 h 干物质的消化率, YTSP 均显著高于 GWP ($P < 0.05$), 分别高 14.14% 和 5.49% (表 7)。

表 7 放牧下不同家畜样地饲用草本消化率比较

Table 7 Comparison of pasture digestibility in grazing different livestock plots %

项目	样地	
	YTSP	GWP
NDF(30 h)	23.08±0.35 ^a	20.26±0.19 ^b
NDF(48 h)	27.12±0.26 ^a	27.66±0.04 ^a
干物质(体外 30 h)	71.65±1.35 ^a	62.75±0.91 ^b
干物质(体外 48 h)	78.46±0.30 ^a	74.38±1.21 ^b

3 讨论

天然草地是家畜采食的重要场所, 为家畜生长发育提供主要的营养^[28], 而放牧是影响草原群落结构与功能的主要途径^[29]。放牧主要通过家畜的采食和践踏对牧草个体形态产生影响。其中, 就采食行为而言, 不同的家畜其喜食性有所差异, 适口性好的植物会被草食动物大量采食, 叶面积减少, 生长受限, 竞争能力降低, 为其他类型草本提供有利生长条件, 使其在整个

草地群落中比例增加^[30]。本研究中发现在放牧强度相同的情况下, 甘肃马鹿样地的禾草、莎草、杂类草生物量均高于放牧牦牛和藏羊样地, 而杯腺柳、高山绣线菊及灌木总生物量均低于牦牛和藏羊样地。主要原因是家畜采食习性的不同, 鹿科动物喜食木本植物, 其中采食木本植物和禾草各占 65.1% 和 7%^[31], 牦牛喜食嵩草, 相对采食频率最高达到 31.96%, 藏羊喜食杂类草, 如高山紫菀、星状风毛菊和翻白委陵菜的相对采食频率之和达到 62.51%^[32]。另外, 马鹿善于奔跑, 对灌木的机械碰撞程度远高于牦牛和藏羊, 使得灌木小型化, 生物量降低, 而牦牛和藏羊将大部分践踏干扰放在草本上, 降低草本植物的盖度和生物量, 促进灌木植物的生长和发育^[33]。因此, 在长期的放牧过程中, 草食动物的行为差异导致了两样地间草地群落结构的不同。

植物被草食动物采食后会诱导产生补偿性生长, 被采食的植物生物量累计速率会大幅度增加, 或生长出更多的新鲜枝条叶片, 且能够使植物体内的营养物质发生变化^[34]。饲用草本的可溶性糖含量直接影响其消化率, 酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量则影响反刍动物采食量和饲草转化效率, 同时也是影响动物生产性能的重要因素^[35-36]。本研究发现放牧牦牛和藏羊样地饲用草本的可溶性糖含量、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量均显著低于放牧甘肃马鹿样地。主要原因是植物为了适应放牧干扰, 会经过进化建立起抵御动物干扰的机制, 如木质化的代谢产物, 进而改变其营养价值的空间异质性^[37]。牦牛和藏羊对饲用草本

植物的频繁采食,使得饲用草本植物的生存受到严重威胁,在长期放牧过程中,草本植物建立起木质化的机制改变了自身的营养分配,为其自身创造生存环境提供保障。

牧草消化率是评价牧草营养品质的重要指标之一,牧草所含营养成分的不同使家畜利用的程度也不尽相同^[38]。消化率越高,为家畜提供的营养价值就越大,故越容易被采食。一般评价消化率的指标为 NDF 的体外消化率^[38-40]和体外干物质消化率。有研究认为放牧能够促进牧草的再生,提高牧草的营养价值和消化率^[9]。本研究发现放牧牦牛和藏羊样地中饲用草本的 30 h NDF 可消化率、体外 30 和 48 h 干物质的消化率均显著高于放牧马鹿样地($P < 0.05$)。这与张艳芬^[41]研究认为牦牛和藏羊混合放牧加大了对牧草的采食频度,促进对较高营养牧草的采食,提高了牧草的消化率的结果相似。另外,牦牛和藏羊喜食草本植物^[32],而马鹿对木本植物采食较多^[31],使得草本植物再生性降低,木质化程度高,消化率相应较低。因此,长期放牧牦牛和藏羊有利于草本植物的更新和营养价值的提高。家畜在整个放牧系统中扮演着主动者的角色,植物虽然不能主动规避家畜的干扰,但可以通过逐步进化形成一些特殊机制,如增加再生速度、补偿性生长或者形态特征变化以及体内化学成分的改变,以此来减轻或避免被家畜的采食影响^[42]。在牧草资源匮乏时,家畜也会对灌木进行采食。不同家畜的食性不同,对灌木的采食程度也存在差异。本研究结果与盛海彦^[20]和徐嘉^[43]研究发现的对于灌木的采食,牦牛喜食小叶金露梅枝叶,马鹿较喜食杯腺柳和小叶金露梅叶片的这一结果相似。灌木也会通过改变其自身的营养成分,抵御家畜长期的采食压力。因此,本研究中马鹿样地中杯腺柳叶片的中性洗涤纤维和小叶金露梅叶片的酸性洗涤纤维含量升高,相对饲喂价值均显著低于牦牛和藏羊样地($P < 0.05$)。

综合灌丛草地的草本植物生物量及其粗蛋白产量、糖类产量和其它营养成分等方面,放牧马鹿更有利于草地生产性能的发挥,有益于区域生态系统的健康。

4 结论

长期放牧不同家畜会使草地群落结构发生变化,牦牛和藏羊样地的禾草、杂类草及总生物量均显著低于甘肃马鹿样地,但是杯腺柳、高山绣线菊和灌木总生

物量均高于放牧马鹿样地。牦牛和藏羊样地杯腺柳叶片的中性洗涤纤维、小叶金露梅叶片酸性洗涤纤维、小叶金露梅枝条和高山绣线菊叶片的相对饲喂价值均低于马鹿样地,而饲草相对饲喂价值和干物质消化率、杯腺柳叶片和小叶金露梅叶片的相对饲喂价值、小叶金露梅枝条和高山绣线菊叶片的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维、以及高山绣线菊粗蛋白含量均高于放牧马鹿样地。因此,在高寒灌丛草地中,长期放牧马鹿更有利于发挥草地的生产价值。

参考文献:

- [1] 杨正礼,杨改河. 中国高寒草地生产潜力与载畜量研究[J]. 资源科学, 2000, 22(4): 72-77.
- [2] 王效科,冯宗炜. 中国森林生态系统中植物固定大气碳的潜力[J]. 生态学杂志, 2000, 19(4): 72.
- [3] 王树青. 甘肃省天祝县草地资源及其开发利用[J]. 中国草地, 1999, 21(6): 66-68.
- [4] 高超. 东祁连山不同退化程度高寒草甸草原土壤有机质特性及其对草地生产力的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.
- [5] 李文,李小龙,刘玉祯,等. 不同强度放牧对东祁连山高寒灌丛土壤理化特征的影响[J]. 草原与草坪, 2020, 40(4): 8-15.
- [6] 王爱东,尚占环,鱼小军,等. 东祁连山北坡高寒灌丛草地围栏与放牧干扰下 CO₂ 释放速率的比较研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(1): 120-124+146.
- [7] 赵锦梅,徐长林,马瑞,等. 东祁连山不同高寒灌丛草地土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持学报, 2016, 30(5): 119-123.
- [8] 张德罡,胡自治. 东祁连山杜鹃灌丛草地灌木种群分布格局研究[J]. 草地学报, 2003, 11(3): 234-239.
- [9] 曹文侠,张德罡,徐长林,等. 杜鹃灌丛草地响应休牧的植被特征变化[J]. 中国草地学报, 2008, 30(6): 94-98.
- [10] 姚喜喜,宫旭胤,张利平,等. 放牧和长期围封对祁连山高寒草甸优势牧草营养品质的影响[J]. 草地学报, 2018, 26(6): 1354-1362.
- [11] Kang L, Han X, Zhang Z, *et al.* Grassland ecosystems in China: review of current knowledge and research advancement[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 2007, 362(1482): 997-1008.
- [12] Ren J Z, Hu Z Z, Zhao J, *et al.* A grassland classification system and its application in China[J]. Rangeland Journal, 2008, 30: 199-209.
- [13] 刘旻霞. 亚高寒草甸不同坡向金露梅种群的空间分布格局及空间关联[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6): 1817-

- 1823.
- [14] 于应文,胡自治,张德罡,等.金露梅株丛的植物量及其空间分布的研究[J].甘肃农业大学学报,1999,34(3):237-242.
- [15] 赵申申,刘龙,杨晶晶,等.青海黄土丘陵区金露梅灌丛生物量的研究[J].广东农业科学,2013,40(5):179-182.
- [16] 盛海彦,张春萍,曹广民,等.放牧对祁连山高寒金露梅灌丛草甸土壤环境的影响[J].生态环境学报,2009,18(3):1088-1093.
- [17] Demalach N, Kigel J, Voet H, *et al.* Are semiarid shrubs resilient to drought and grazing? Differences and similarities among species and habitats in a long-term study[J]. *Journal of Arid Environments*, 2014, 102(3):1-8.
- [18] 韦应莉,曹文侠,刘玉祯.不同放牧强度和围封对高寒灌丛草地土壤微生物量的影响[J].草原与草坪,2018,38(5):1-7.
- [19] 周华坤,赵新全,汪诗平,等.青藏高原高寒灌丛植被对长期放牧强度试验的响应特征[J].西北植物学报,2009,28(10):2080-2093.
- [20] 盛海彦,曹广民,李国荣,等.放牧干扰对祁连山高寒小叶金露梅灌丛草甸群落的影响[J].生态环境学报,2009,18(1):235-241.
- [21] 周华坤,赵新全,唐艳鸿,等.长期放牧对青藏高寒灌丛植被的影响[J].中国草地,2004,26(6):1-11.
- [22] Xiao H, Peng Z, Xu C L, *et al.* Yak and Tibetan sheep trampling inhibit reproductive and Photosynthetic Traits of *Medicago ruthenica* var. *inschanica* [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2018, 190(9):507.
- [23] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:北京农业大学出版社,1996.
- [24] 董全民,赵新全,马玉寿.放牧强度和放牧时间对高寒混播草地牧草营养含量的影响[J].中国草地学报,2007,29(4):67-73.
- [25] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:北京农业大学出版社,2000:110-129.
- [26] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:北京农业大学出版社,2003:69-72.
- [27] 严旭,白史且,鄢家俊,等.近红外光谱法测定老芒麦营养价值[J].光谱学与光谱分析,2015,35(8):39-43.
- [28] 申芳丽.粗饲料在反刍动物上的功用[J].四川畜牧兽医,2018,45(5):46-47.
- [29] McIntye S, Lavorel S, Landsberg J. Disturbance response in vegetation-towards a global perspective on functional reait[J]. *Vegetation Science*, 1990, 10(5):621-630.
- [30] 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[J].草业学报,2009,18(5):256-261.
- [31] 侯扶江.草地-马鹿系统的草地表现[D].兰州:甘肃农业大学,2000.
- [32] 潘多锋.青藏高原高寒草甸草食动物间的相互作用关系及机制[D].长春:东北师范大学,2019.
- [33] Browning D M, Archer S R, Asner G P, *et al.* Woody plants in grasslands: post-encroachment stand dynamics [J]. *Ecological Applications A Publication of the Ecological Society of America*, 2008, 18(4):928-944.
- [34] Zhu Y, Zhong Z W, Pagès J F, *et al.* Negative effects of vertebrate on invertebrate herbivores mediated by enhanced plant nitrogen content [J]. *Journal of Ecology*, 2019, 107(2):901-912.
- [35] McDonald P, Edwards R A, Greenhalgh J F D, *et al.* *Animal Nutrition* [M]. London, UK: Pearson Education, 2011.
- [36] Mekuriaw Y, Asmare B. Nutrient intake, digestibility and growth performance of Washera lambs fed natural pasture hay supplemented with graded levels of *Ficus thonningii* (Chibha) leaves as replacement for concentrate mixture [J]. *Agriculture & Food Security*, 2018, 7(1):30.
- [37] 周道玮.绵羊营养[M].北京:中国农业出版社,2004:6-14.
- [38] 余苗,王卉,问鑫,等.牧草品质的主要评价指标及其影响因素[J].中国饲料,2013,(13):1-3+7.
- [39] Oba M, Allen M S. Evaluation of the Importance of the Digestibility of Neutral Detergent Fiber from Forage: Effects on Dry Matter Intake and Milk Yield of Dairy Cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 1999, 82(3):589-596.
- [40] 韩建国.草地学[M].北京:中国农业出版社,2004:87-96.
- [41] 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[D].西宁:青海大学,2020.
- [42] 赵钢,崔泽仁.家畜的选择性采食对草地植物的反应[J].中国草地,1999,21(1):62-67.
- [43] 徐嘉,暴旭,刘振生,等.贺兰山同域分布高山麝和阿拉善马鹿秋季食性的比较研究[J].生态学报,2018,38(10):3705-3711.

The effect of long-term grazing of different livestock on the biomass and quality of forage grass in alpine shrubland

SONG Mei-juan, XU Chang-lin, WANG Peng-bin, YU Xiao-jun

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

Abstract: In order to provide a scientific basis for grazing management of alpine shrub grassland, the biomass and nutrient quality of shrub grassland grazed by Gansu wapiti (*Cervus elaphus kansuensis*) and the mixedly grazed by yak (*Bos grunniens*) and Tibetan sheep (*Ovis aries*) were studied from July to August in 2020 in the Tianzhu alpine region of east Qilian Mountains where grazing has lasted for 34 years. The results showed that the total biomass of herbs and shrubs were 1 423.78 kg/hm² and 107 789.72 kg/hm² in Gansuwapiti plot respectively, whereas the total biomass of herbs and shrubs were 342.63 kg/hm² and 176 279.54 kg/hm² in yak-Tibetan sheep plot respectively. The soluble sugar, acid detergent fiber and neutral detergent fiber of forage herbs in the grazing wapiti plots were 8.12%, 36.70% and 52.71%, respectively, which were significantly higher than those in the mixed grazing yak and Tibetan sheep plots ($P < 0.05$), and were 46.31%, 6.53% and 10.98% higher, respectively. The neutral detergent fiber of leaves of *Salix cupularis*, the acidic detergent fiber of leaves of *Potentilla fruticosa*, the relative feeding value of branches of *Potentilla fruticosa* and leaves of *Spiraea alpine* were 58.96%, 51.31%, 41.48% and 76.94% respectively, which were significantly higher than those in yak-Tibetan sheep plot ($P < 0.05$). But the crude protein of branches and the neutral detergent fiber of leaves of *Spiraea alpine*, the acid detergent fiber and neutral detergent fiber of branches of *Potentilla fruticosa* and the relative feeding value of leaves of *Salix cupularis*, *Potentilla fruticosa* and herbs showed the opposite trend. The 30 hour neutral detergent fiber digestibility, the 30 hour and 48 hour dry matter digestibility in vitro of herbs were significantly lower than those in yak-Tibetan sheep plot ($P < 0.05$), which were 12.22%, 12.42% and 5.20% lower, respectively. There was no significant difference in other indexes. In conclusion, long-term grazing of Gansu wapiti is beneficial to improve the productivity of grassland.

Key words: yak; Tibetan sheep; Gansu wapiti; alpine shrub; forage grass yield; quality