

祁连山高寒草甸植被和土壤养分对放牧模式的响应

安海涛,曹文侠*,李文,刘玉祯,王世林,辛雨琼,王金兰

(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】合理放牧对高寒草地的可持续发展具有重要意义,而不同放牧模式对高寒草甸植被特征和土壤养分的影响仍有争议。【方法】选取东祁连山全年连续放牧、休眠季放牧以及禁牧3种模式高寒草甸为研究对象,对不同放牧模式下植被和土壤指标的变化进行系统分析。【结果】植被高度和地上生物量均在禁牧样地最高,休眠季放牧样地次之,且禁牧样地显著增加了禾本科植物的盖度和密度。土壤含水量、有机质、全氮以及速效养分含量均在0~10 cm土层差异显著($P<0.05$),且均为禁牧样地含量最高。速效氮含量与全氮和有机质含量显著正相关,与容重显著负相关,与速效钾含量和含水量极显著正相关($P<0.01$)。【结论】全年连续放牧公共草场并未完全退化,需要政府及牧民进行科学管理和有效恢复,而短期禁牧和休眠季放牧有利于草地生产力提升和土壤养分保持,退化较重的草场选择短期禁牧,休眠季放牧草场建议配套补饲和提前转场,从而改良东祁连山区草甸类草地植被和土壤。

关键词:祁连山;草甸草地;植被;土壤养分;相关性分析

中图分类号:S812.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)04-0097-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2023.04.013



在全球气候变化和人为过度干扰的情况下,草地退化情况日益严重,主要表现在草地生产力下降,土壤养分含量降低^[1-2]。合理的放牧模式下,家畜的踩踏可以促进枯枝落叶和动物残肢的分解,提高土壤质量^[2];相反,家畜过分的踩踏使草地裸露面积增大,通透性和含水量降低,植被和土壤退化,水土流失情况严重^[3]。目前,广大牧区对草地不合理利用现象较为普遍,部分牧民往往整个季节甚至全年连续放牧^[5]。有研究指出:在全年放牧样地,土壤全磷、全氮含量降低,有机质含量以全年放牧样地最低,全年放牧不利于草地的可持续发展^[7-8]。围封7年的样地与重度放

牧样地相比,鲜草产量、物种数、根系生物量以及全氮和速效养分含量均有所提高,但相比于冬季轻度放牧和夏季中度放牧来说,差异不显著,甚至有所降低,说明围封可以改善重度退化草地^[9-10]。禁牧样地相比生长季放牧样地,土壤含水量降低,微生物量碳、氮含量以及速效碳、全氮含量较低^[11-12],且禁牧样地中各指标的含量均高于进行放牧处理的样地,表明过度放牧不利于土壤养分的吸收以及生态系统的恢复^[13]。虽然,不同放牧模式对草地的影响研究较为丰富,但仍然是现在的研究重点,再加上祁连山地区冬季牧场放牧活动将持续至返青初期,与生长季休牧存在一定程度的时间差,对休眠季放牧与生长季休牧和禁牧的差异研究,是明确研究区草地保护和修复的重要课题。

祁连山横跨中国青海和甘肃两省,是中国境内的主要山脉之一,生态功能独特,资源丰富,气候寒冷潮湿,也是我国草原畜牧业的重要基地^[14]。探索科学合理的放牧方式和放牧时期对草地的健康发展和草地

收稿日期:2022-01-27; 修回日期:2022-03-19

基金项目:国家自然科学基金(32060269)

作者简介:安海涛(1995-),男,裕固族,甘肃肃南人,硕士研究生。E-mail:528900242@qq.com

*通信作者。E-mail:caowx@gsau.edu.cn

可持续利用具有非常重要的意义。因此,本研究以保护和恢复草甸草地的角度,深入分析祁连山草甸草地在不同放牧模式下土壤理化性质的变化特征,旨在为草甸草地土壤放牧管理模式的优化提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省武威市天祝藏族自治县抓喜秀龙乡(N 37°10′16.97", E 102°47′17.31"),平均海拔2 960 m,气候多寒冷潮湿,昼夜温差较大,太阳辐射强,年均降水量416.8 mm,多为地形雨,且集中在7—9月,土壤含水量35%~60%,土壤pH值为7.0~8.2,年均气温为0.16℃,7月的平均温度为11.2℃,1月平均气温为-11.5℃,全年 ≥ 0 ℃的积温为1 580℃,无绝对无霜期,土壤类型为高山黑钙土。研究区优势种植物有垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)和珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)等。

1.2 试验设计与样品采集

通过对牧民走访调查得知,研究区主要的放牧模式有3类,分别为公共草地全年连续放牧(Continuous grazing, CG),冬季草地休眠季放牧(Grazing in the dry season, SG)和禁牧(CK)。选取3类典型放牧模式草地作为不同处理,CG样地主要放牧家畜为藏羊和牦牛,重复3次,草地面积均在0.5 hm²以上,全年连续放牧,年均放牧率为5.0~5.4羊/hm²;SG样地主要放牧家畜为藏羊和牦牛,草地面积在20 hm²以上,每年11月至次年5月份青初期进行放牧活动,放牧期内放牧率为4.5~5.5羊/hm²,重复3次;NG样地为对照,自2013年实行禁牧,全年无放牧,且禁牧前轻度退化,面积为2 hm²,在同一样地的不同位置重复3次。CG、SG和NG样地均已经按照上述方式放牧8年以上,且在实行不同放牧模式前草地基况基本一致。

于2019年8月,在研究区上八刺沟坡向和海拔基本一致的地段选择上述3种放牧样地,进行植被调查和土壤样品采集。在各样地中随机设置5个0.5 cm×0.5 cm的样方,鉴别并记录样方内所有出现的植被种类,测定其自然高度、密度和盖度,然后齐地面刈割,带回实验室。在105℃的温度下烘30 min,然后转至70℃,直至烘干,并称量。在刈割后的样方内,以内径

为4 cm的土钻采集0~10、10~20和20~30 cm土层土样,将同一样方内同一土层6钻土样混合,作为一个土样带回实验室,在阴凉处自然风干后碾碎过筛,用于测定土壤化学性质。另外,在每个样方内用环刀(容积100 cm³)分层采取0~10、10~20、20~30 cm土层样品,称重后带回实验室,在105℃烘箱内烘干至恒重后称重,计算土壤容重和含水量。

1.3 测定指标及方法

植被高度为自然高度,每种植物做10次重复;植被密度以株丛为单位测定;盖度采用针刺法测定,且均按功能群进行分类。地上生物量采用刈割法,物种重要值以种进行分类,计算公式如下:

$$\text{物种重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度}) / 3$$

土壤含水量和土壤容重的测定采用环刀法,有机质含量用重铬酸钾容量法测定,全氮含量用半微量凯氏定氮法测定,全磷含量用硫酸—高氯酸消解法测定,全钾含量用氢氟酸—高氯酸消煮后,火焰光度计法测定^[15]。速效氮含量用碱解扩散法测定,速效磷含量采用碳酸氢钠提取—钼锑抗比色法测定,速效钾含量用乙酸铵浸提—火焰光度法测定^[17]。

1.4 数据分析

采用IBM SPSS Statistics 26单因素方差分析对不同放牧模式下同一个土层的同一个指标进行显著性分析(95%置信区间)。采用Person相关性对土壤理化性质间的相关性分析,采用Origin Pro 8.5进行绘图。

2 结果与分析

2.1 植被特征对不同放牧模式的响应

2.1.1 植物组成变化特征 各样地共统计到10科,22种植物(表1)。全年连续放牧样地的优势植物主要为平车前(*Plantago depressa*)和异针茅(*Stipa aliena*);休眠季放牧样地的优势植物为垂穗披碱草、冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、扁蓿豆(*Medicago ruthenia*)、冷草(*Koeleria cristata*)和赖草(*Leymus secalinus*);全年禁牧样地的优势植物为垂穗披碱草和冷地早熟禾。出现物种数最多的为休眠季放牧样地,为17种,其次为全年连续放牧样地和禁牧样地,均为9种。

2.1.2 植被高度变化特征 不同放牧模式下,研究

表 1 不同放牧模式下植物物种重要值

Table 1 The species composition under different grazing modes

物种 Species	科	CG	SG	CK
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	禾本科	—	0.53	0.94
冷地早熟禾 <i>Poa crymophila</i>	禾本科	—	0.48	0.67
异针茅 <i>Stipa aliena</i>	禾本科	0.11	0.16	0.27
冷草 <i>Koeleria cristata</i>	禾本科	—	0.32	0.25
赖草 <i>Leymus ecalinus</i>	禾本科	—	0.31	—
醉马草 <i>Achnatherum inebrians</i>	禾本科	0.08	—	—
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	莎草科	0.09	0.28	0.21
红棕苔草 <i>Carex vulpina</i>	莎草科	—	0.19	—
扁蓿豆 <i>Medicago ruthenia</i>	豆科	0.04	0.34	0.15
黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>	豆科	—	0.17	—
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	蔷薇科	0.04	—	—
翻白委陵菜 <i>Potentilla discolor</i>	蔷薇科	0.16	0.1	0.09
多裂委陵菜 <i>Potentilla multifida</i>	蔷薇科	0.12	—	0.08
平车前 <i>Plantago depressa</i>	车前科	0.27	—	—
迷果芹 <i>Sphallerocarpus gracilis</i>	伞形科	—	0.07	—
草原老鹳草 <i>Geranium pratense</i>	牻牛儿苗科	—	0.14	—
矮火绒草 <i>Leontopodium nanum</i>	菊科	—	0.03	—
乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	菊科	—	0.17	—
狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	菊科	—	0.15	—
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	菊科	—	0.04	—
线叶龙胆 <i>Gentiana farreri</i>	龙胆科	0.11	—	0.01
麻花艽 <i>Gentiana straminea</i>	龙胆科	—	0.21	—
物种数	—	9	17	9

注：“—”表示没有该物种,CG - 连续放牧,SG - 休眠季放牧,NG - 禁牧。下同

区禾本科、莎草科、豆科和杂类草的高度变化趋势基本一致(图1),均在NG中最高,而且显著高于其他样地,其次为SG,最低为CG($P < 0.05$)。禾本科高度在NG和SG样地较CG样地分别增加了6.4和3.3倍,莎草科高度分别增加了7.1和1.0倍,豆科高度分别增加了9.5和3.7倍,杂类草的高度分别增加了4.1和2.1倍。

2.1.3 植被盖度变化特征 不同放牧模式下,植被盖度表现出了不同的变化趋势(图2)。禾本科盖度NG>SG>CG,且NG和SG较CG分别显著增加了9.0和3.1倍($P < 0.05$)。莎草科和豆科盖度变化规律相似,均为CG>SG>NG,且莎草科盖度在NG样地较SG和CG样地显著减少了0.7和0.9倍($P < 0.05$),豆科盖度在NG样地较SG和CG样地显著减少了0.6和0.7倍($P < 0.05$)。杂类草盖度在SG样地显著高于其他样地,其次为CG,最低为NG,NG较CG

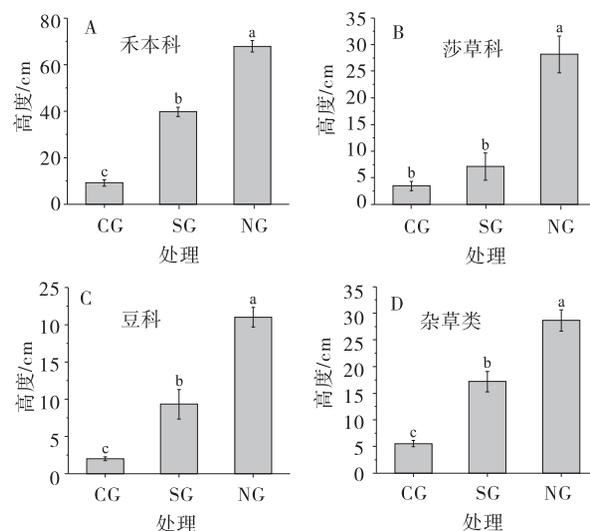


图 1 不同放牧模式下各功能群植被高度变化

Fig. 1 Vegetation height of each functional group under different grazing modes

注:图中不同小写字母代表各指标在3种放牧方式间差异显著($P < 0.05$)。下同

和SG减少了0.7和0.5倍,CG较SG减少了0.4倍($P < 0.05$)。

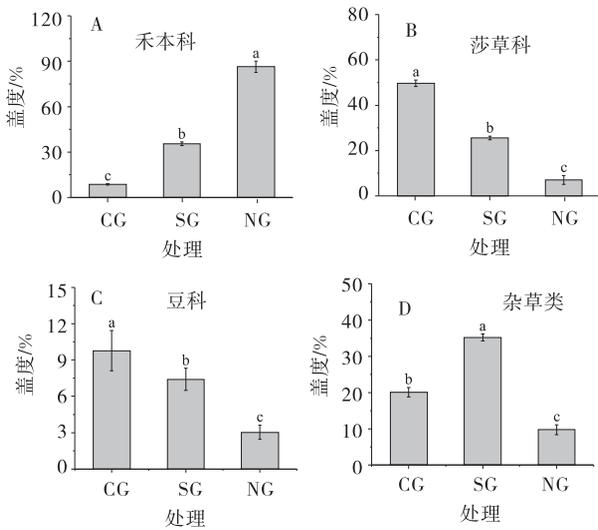


图2 不同放牧模式下各功能群植被盖度变化

Fig. 2 Vegetation coverage of each functional group under different grazing modes

2.1.4 植被密度变化特征 各功能群密度变化规律在不同放牧模式下差异显著(图3)。禾本科密度在NG样地最大,而CG样地最小,且NG样地较SG和CG显著增加了1.4和5.0倍($P < 0.05$)。莎草科植物密度在CG和SG样地中差异不显著,且CG和SG均显著高于NG,较NG分别增加了1.9和1.8倍。豆科植物密度在CG样地最大,NG样地最小,且SG和NG差异不显著,NG较CG和SG减少了0.5和0.2倍。杂类草密度在CG和NG样地无明显差异,但均显著

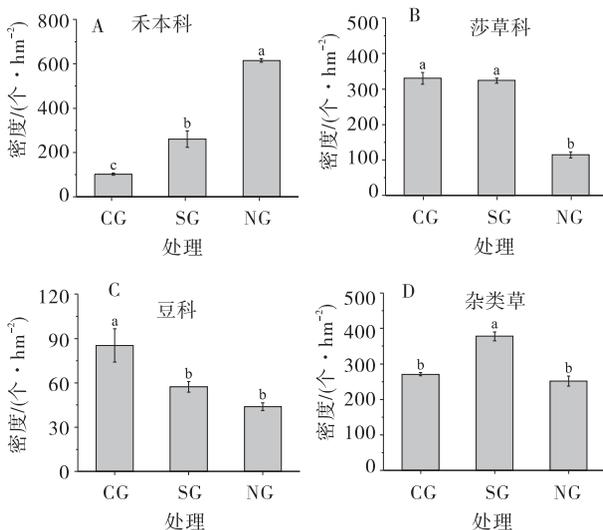


图3 不同放牧模式下各功能群植被密度变化

Fig. 3 Vegetation density of each functional group under different grazing modes

低于SG,而且较SG样地均显著减少了0.3倍($P < 0.05$)。

2.1.5 植被生物量变化特征 地上总生物量在不同放牧模式下差异显著(图4-A),在NG样地生物量最高,其次为SG,CG生物量最低,且CG样地较SG和NG样地显著减低了0.6和0.7倍($P < 0.05$)。功能群生物量仅在禾本科和杂类草中差异显著(图4-B),莎草科和豆科植物生物量差异不明显,且CG样地各功能群生物量均显著低于SG和NG样地($P < 0.05$)。禾本科植物生物量在NG样地最大,其次为SG和CG样地,CG较SG和NG显著降低了0.7和0.9倍($P < 0.05$)。杂类草植物生物量在SG样地最大,其次为NG和CG样地,且CG较SG和NG显著降低了0.6和0.5倍。

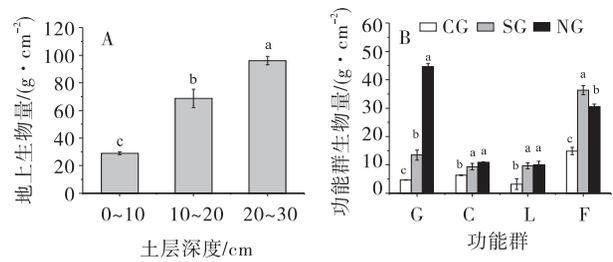


图4 不同放牧模式下植被和功能群生物量

Fig. 4 Biomass of vegetation and functional groups under different grazing modes

注:G 禾本科,C 莎草科,L 豆科,F 杂类草

2.2 土壤理化性质对不同放牧模式的响应

2.2.1 土壤物理性质变化特征 不同放牧模式仅对0~10 cm土层水分含量有显著影响,对10~20 cm和20~30 cm土层含水量无明显差异(图5-A)。0~10 cm土层含水量在NG样地最高,SG样地次之,CG样地最低,且CG较SG和NG均显著减少了30.1%和39.5%($P < 0.05$)。

0~10 cm土层中,土壤容重仅在CG样地和SG样地差异显著(图5-B),且CG样地容重最大,SG样地容重最小($P < 0.05$);10~20 cm土层土壤容重在CG分别与SG和NG差异显著($P < 0.05$),容重大小依次为CG>NG>SG;20~30 cm土层土壤容重仅在CG样地和NG样地差异显著($P < 0.05$),容重大小依次为CG>SG>NG。

2.2.2 土壤有机质和pH的变化特征 不同放牧模式仅对0~10 cm和10~20 cm土层有机质具有显著影

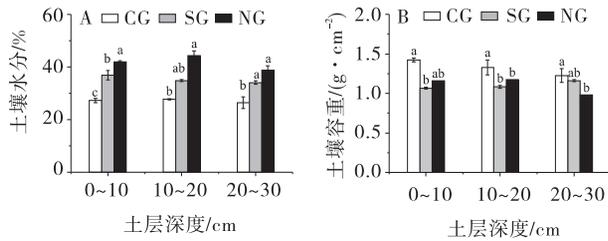


图5 不同放牧模式对土壤物理性质的影响

Fig. 5 Effects of different grazing modes on soil physical properties

响(图6-A)。在0~10 cm和10~20 cm土层中,土壤有机质含量均在NG样地最高,CG样地最低,且CG较SG和NG显著降低了10.4%和30.3% ($P < 0.05$)。随土层深度的增加,土壤有机质含量均不断减少。由图(图6-B)可知,0~10 cm土层pH值差异不显著。在10~20 cm土层中,CG样地pH值显著高于SG样地,在20~30 cm土层中,CG样地pH值显著高于SG和NG样地 ($P < 0.05$)。

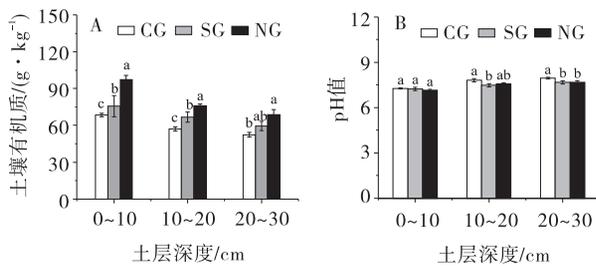


图6 土壤有机质含量和pH值

Fig. 6 Soil organic matter content and pH values

2.2.3 土壤全氮和速效氮的变化特征 不同放牧模式下,土壤全氮和速效氮含量变化趋势一致,均在0~10 cm土层差异显著 ($P < 0.05$),且3个土层均为NG样地含量最高,其次为SG样地,CG样地含量最低,随土层深度的增加而增加(图7)。0~10 cm土层中,土壤全氮和速效氮含量在CG样地较SG和NG样地分别显著降低了30.2%、49.7%和10.4%、19.8% ($P < 0.05$)。10~20 cm和20~30 cm土层土壤全氮含量仅在CG样地和SG样地、CG样地和NG样地差异显著(图7-A),土壤速效氮含量仅在CG样地和NG样地差异显著(图7-B)。

2.2.4 土壤全磷和速效磷的变化特征 不同放牧模式下,土壤全磷和速效磷含量在0~10、10~20和20~30 cm土层中均具有显著差异 ($P < 0.05$),且均为NG样地含量最高,SG样地次之,CG样地最低(图8)。0~10 cm土层中,全磷和速效磷含量在CG样地较SG

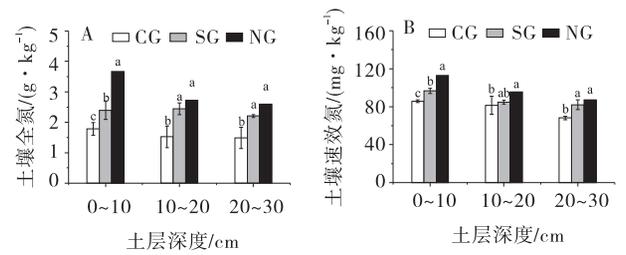


图7 土壤全氮和速效氮含量

Fig. 7 Soil total nitrogen and available nitrogen contents

和NG样地显著降低了9.9%、17.1%和52.2%、47.1% ($P < 0.05$);10~20 cm土层中,全磷和速效磷含量在CG样地较SG和NG样地显著降低了9.9%、18.2%和31.2%、60.6% ($P < 0.05$);20~30 cm土层中,全磷和速效磷含量在CG样地较SG和NG样地显著降低了7.3%、15.8%和34.5%、56.6% ($P < 0.05$)。

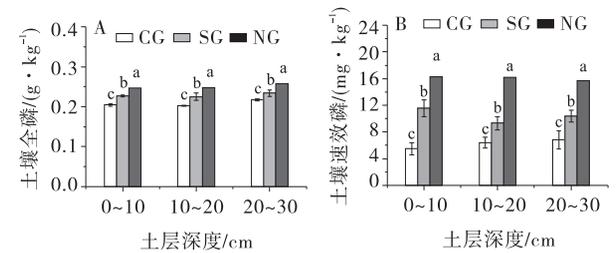


图8 土壤全磷和速效磷含量

Fig. 8 Soil total phosphorus and available phosphorus contents

2.2.5 土壤全钾和速效钾的变化特征 土壤全钾和速效钾含量仅在0~10 cm土层差异显著,且NG样地含量最高,SG样地次之,CG样地最低(图9)。0~10 cm土层中,土壤全磷和速效磷含量在CG样地较SG和NG样地分别降低了11.6%、20.0%和29.2%、39.6%。

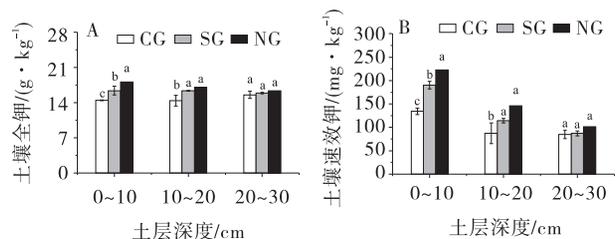


图9 土壤全钾和速效钾含量

Fig. 9 Soil total potassium and available potassium contents

2.3 土壤理化性质的相关性分析

在不同放牧模式下土壤理化性质的相关性不尽相同,但总体上还是表现出了一定的规律(表2)。在0~30 cm土层,速效氮含量与全氮和有机质含量显著

正相关,与容重显著负相关,与速效钾含量和含水量极显著正相关($P<0.01$),相关性系数均为0.88;速效磷与全氮含量显著正相关($P<0.05$),速效钾与全氮

含量和含水量显著正相关,与容重显著负相关($P<0.05$);速效钾含量与有机质含量显著正相关,含水量与容重显著负相关($P<0.05$)。

表2 土壤理化性质相关性分析

Table 2 Correlation analysis of soil physical and chemical properties

0~30 cm	AN	AP	AK	TN	TP	TK	SOC	SM	BD
AN	1								
AP	0.49	1							
AK	0.88**	0.52	1						
TN	0.77*	0.8*	0.82*	1					
TP	-0.56	-0.17	-0.56	-0.42	1				
TK	0.43	-0.22	0.4	0.04	-0.34	1			
SOC	0.73*	0.2	0.59	0.42	-0.21	0.73*	1		
SM	0.88**	0.17	0.73*	0.56	-0.53	0.56	0.63	1	
BD	-0.73*	-0.06	-0.79*	-0.61	0.65	-0.6	-0.63	-0.74*	1

注:TK 全钾,TP 全磷,TN 全氮,AK 速效钾,AP 速效磷,AN 速效氮,BD 土壤容重,SOC 有机质,SM 土壤含水量;* $P<0.05$,

** $P<0.01$

3 讨论

3.1 植被对不同放牧模式的响应

群落结构和植被组成对于评价退化草场的恢复具有重要意义^[18]。生物量能够有效地反映植被的群落结构和植被生长状况,而家畜不同程度的采食和践踏行为会影响生物量^[19]。放牧对草地的影响主要包括家畜对植被的选择性采食和践踏,从而降低喜食植物的生物量以及过度放牧使土壤板结^[20]。本研究发现,休眠季放牧样地物种数最多,相比全年连续放牧样地,休眠季放牧显著增加了植被生物量、高度以及禾本科植物的盖度和密度。可能是由于与全年连续放牧样地相比,休眠季放牧样地放牧时间更短,牲畜对于地上植被的采食作用更小,有利于植被的生长。全年连续放牧样地中,更长时间的放牧使得牲畜践踏和排泄物输入对植物的机械作用以及对土壤结构的破坏更显著^[20]。通过降低土壤渗透速率和生物活性来降低植被的高度、盖度以及生物量。也可能是因为休眠季放牧样地在取样期(8月)不存在放牧压力,而全年连续放牧样地正处于放牧压力之下,致使植被不能够及时的恢复和再生性^[22]。休眠季放牧包含了一部分返青初期的放牧活动,家畜对萌发初期的植被被家畜采食践踏后,一部分禾本科及莎草科植被坏死后凋落,为部分竞争力较强、较低矮的阔叶型杂类草植物

提供生存环境^[23]。因此,休眠季放牧应与牧草补饲配套进行,并在临近返青时期提前转场,降低家畜活动对返青植被的消极影响^[24]。禁牧样地消除了家畜活动的影响,禾本科等高大植物生长不受干扰,生物量显著增加,而全年连续放牧样地植被高度、禾本科盖度和密度均最低,表明部分草地因疏于管理退化情况较重,家畜过度采食和践踏行为严重破坏了植被生境,改变了植被优势种及物种组成。

3.2 土壤对不同放牧模式的响应

土壤生态系统是一个非常复杂的系统,不同利用方式对其产生的影响也存在一定的差别^[25]。草地退化对于土壤容重的影响非常显著,能够有效的反映草地退化的数量特征。本研究发现:全年连续放牧样地的土壤容重最高,而土壤含水量在禁牧样地最高,全年连续放牧样地中植被盖度更低。土壤暴露程度高,增加了土壤压实和风雨侵蚀的可能性^[26-28]。土壤有机质、全磷和全钾含量高低均依次为禁牧样地>休眠季放牧样地>全年连续放牧样地。相比禁牧草地,休眠季放牧草地中土壤速效氮含量逐渐减小,这与王建林等^[29]研究结果不同,可能是由于家畜的粪便为土壤归还了大部分氮素,尤其是速效氮含量,但因为放牧强度过大,致使植物对土壤提供的氮素减少,两者抵消形成了氮素减少的现象^[30]。与全年连续放牧样地相比,休眠季放牧显著提高草甸草地有机质含量,在

返青初期进行放牧活动,家畜采食返青植被的可能性较大,植物为避免被采食,根系由土壤表层向深层生长^[31],死亡分解后有机质含量增加^[32],也可能因为放牧家畜时间较长,牲畜粪便数量增大^[33],经雨水淋溶渗入土层所导致。全年连续放牧会加重草地的退化程度,也直接作用于土壤有机质的含量^[34],退化越严重,地上生物量以及地下根系所提供的有机质数量也随之减少^[35]。

相关性分析表明:速效氮含量与全氮和有机质含量显著正相关,与容重显著负相关,与速效钾和含水量极显著正相关。长时间的牲畜活动虽能增加排泄物的输入,但践踏时间的增加和植被盖度的降低,增加了土壤压实和风雨侵蚀的可能性,导致土壤物理结构恶化。这不仅不利于土壤养分的输入,也不利于凋落物和根系微生物等生态组分的相互作用促进土壤养分恢复,尤其是速效养分恢复^[36]。

综上,在不同放牧模式下,土壤养分在禁牧样地和休眠季放牧样地均优于全年连续放牧样地,同时休眠季放牧样地显著低于禁牧样地,是因为休眠季放牧虽然生长季休牧有利于土壤养分的保持,但返青前期放牧还是对养分含量就有影响,对草甸草地的压力依旧较大^[37]。要想保持草甸草地的持续发展,需要重新确定载畜量,采取相关措施进行控制^[37]。

4 结论

全年连续放牧公共草地的植被生物量、物种数以及土壤养分含量均显著低于休眠季放牧和禁牧样地,有退化为裸地或黑土滩的风险,建议当地有关部门需及时围封并配合培育改良措施。草地休眠期的较重放牧使土壤养分含量也有所降低,但由于生长季休牧,禾本科等优质牧草尚可有效恢复生长,仍能维持较高的产量与群落稳定性,可有效保持良好的土壤养分状况。禁牧样地显著增加了植被高度、生物量以及禾本科植物的盖度和密度,对于退化较重的草场应根据退化情况选择短期禁牧实现自我恢复,同时,建议禁牧草地能采取一些人为干预措施,如非生长季放牧利用等。

参考文献:

[1] Li Jinsheng, Shao Xinqing, Huang Ding, *et al.* The addi-

tion of organic carbon and nitrogen accelerates the restoration of soil system of degraded alpine grassland in Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Ecological Engineering*, 2020, 158(516):106084.

[2] Liu Xiang, Ma Zhiwen, Huang Xiaotao, *et al.* How does grazing exclusion influence plant productivity and community structure in alpine grasslands of the Qinghai-Tibetan Plateau? [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 23: e01066.

[3] 王云英,裴薇薇,辛莹,等. 放牧对中国北方草地生态系统水分利用效率的影响[J]. *草原与坪*, 2021, 41(04): 49-55.

[4] 卞莹莹,张志敏,付镇,等. 荒漠草原区不同植被恢复模式土壤微生物菌落分布特征及其与土壤理化性质的相关性[J]. *草地学报*, 2021, 29(4):655-663.

[5] 刘进娣,马红彬,周瑶,等. 轮牧时间对荒漠草原土壤种子库特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(7): 2378-2388.

[6] Hou X, Wang Z, Michael S P, *et al.* The response of grassland productivity, soil carbon content and soil respiration rates to different grazing regimes in a desert steppe in northern China[J]. *The Rangeland Journal*, 2014, 36(6): 573-582.

[7] 吕广一,徐学宝,高翠萍,等. 放牧对内蒙古不同类型草原植物和土壤总氮与稳定氮同位素的影响[J]. *草业学报*, 2021, 30(3):208-214.

[8] 刘玉祯,曹文侠,王金兰,等. 祁连山东段不同类型灌丛斑块土壤特征对围封的响应[J]. *草业学报*, 2019, 28(11): 32-45.

[9] 李文,曹文侠,徐长林,李小龙,刘皓栋,冯今,师尚礼. 不同休牧模式对东祁连山高寒草甸草原植被特征变化的影响[J]. *西北植物学报*, 2014, 34(11):2339-2345.

[10] 牛钰杰,杨思维,王贵珍,等. 放牧强度对高寒草甸土壤理化性状和植物功能群的影响[J]. *生态学报*, 2018, 38(14):5006-5016.

[11] 杜雅仙,樊瑾,李诗瑶,等. 荒漠草原不同植被微斑块土壤粒径分布分形特征与养分的关系[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(11):3716-3724.

[12] Reinecke J, Askastina K, Kienast F, *et al.* Effects of large herbivore grazing on relics of the presumed mammoth steppe in the extreme climate of NE-Siberia[J]. *Scientific reports*, 2021, 11(1): 12962.

[13] You Yaqi, Ken Aho, Kathleen A Lohse, *et al.* Biological

- Soil Crust Bacterial Communities Vary Along Climatic and Shrub Cover Gradients Within a Sagebrush Steppe Ecosystem [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 12: 569791.
- [14] Du Lingtong, Zeng Yijian, Ma Longlong, *et al.* Effects of anthropogenic revegetation on the water and carbon cycles of a desert steppe ecosystem [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2021, 300:108339.
- [15] 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.
- [16] Cheng Jianwei, Li Frank Yonghong, Liu Xiamin, *et al.* Seasonal patterns of the abundance of ground-dwelling arthropod guilds and their responses to livestock grazing in a semi-arid steppe [J]. *Pedobiologia - Journal of Soil Ecology*, 2021, 85:150711.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [18] Tang B, Man J, Jia R, *et al.* Arbuscular Mycorrhizal Fungi Mediate Grazing Effects on Seasonal Soil Nitrogen Fluxes in a Steppe Ecosystem [J]. *Ecosystems*, 2021, 24(5):1171-1183.
- [19] 陈利军. 滩羊放牧对陇东典型草原土壤种子库与实生苗更新的影响 [D]. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [20] 侯扶江, 杨中艺. 放牧对草地的作用 [J]. *生态学报*, 2006, 26(1):244-264.
- [21] 赵如梦. 围栏封育对内蒙古草原生态系统化学计量特征的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [22] 潘涛涛, 吴玉宝, 徐长林, 等. 模拟条件下藏羊、牦牛践踏和降水对东祁连山高寒草甸地上植被生长的影响 [J]. *草原与草坪*, 2019, 39(1):60-68.
- [23] 马玉寿, 李世雄, 王彦龙, 等. 返青期休牧对退化高寒草甸植被的影响 [J]. *草地学报*, 2017, 25(2):290-295.
- [24] 侯钰荣, 李学森, 任玉平, 等. 牧压对草地植物养分和土壤理化性质的影响 [J]. *草业科学*, 2014, 31(3):375-380.
- [25] 姚鸿云, 李小雁, 郭娜, 等. 多年放牧对不同类型草原植被及土壤碳同位素的影响 [J]. *应用生态学报*, 2019, 30(2):553-562.
- [26] 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.
- [27] 唐庄生, 安慧, 邓蕾, 等. 荒漠草原沙漠化植物群落及土壤物理变化 [J]. *生态学报*, 2016, 36(4):991-1000.
- [28] 梁士楚, 苑晓霞, 卢晓明, 等. 漓江水陆交错带土壤理化性质及其分布特征 [J]. *生态学报*, 2019, 39(8):2752-2761.
- [29] 王建林, 钟志明, 王忠红, 等. 青藏高原高寒草原生态系统土壤碳氮比的分布特征 [J]. *生态学报*, 2014, 34(22):6678-6691.
- [30] 曹文侠, 徐长林, 张德罡, 等. 杜鹃灌丛草地土壤容重与水分特征对不同休牧模式的响应 [J]. *草业学报*, 2011, 20(3):28-35.
- [31] 昂伦. 内蒙古阿巴嘎旗典型草原季节性轮牧对土壤质量的影响研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2017.
- [32] 焦婷, 赵生国, 祁娟, 等. 放牧强度对温性荒漠草原土壤全氮和有机质的影响 [J]. *草原与草坪*, 2012, 32(5):22-25.
- [33] 吴则焰, 林文雄, 陈志芳, 等. 武夷山不同海拔植被带土壤微生物 PLFA 分析 [J]. *林业科学*, 2014, 50(7):105-112.
- [34] 许庆民, 王云英, 辛莹, 等. Meta 分析放牧对中国北方草地生态系统蒸散量的影响 [J]. *草业科学*, 2020, 37(10):1952-1958.
- [35] 泽让东科, 文勇立, 艾鹭, 等. 放牧对青藏高原高寒草地土壤和生物量的影响 [J]. *草业科学*, 2016, 33(010):1975-1980.
- [36] 刘孝颖. 放牧强度对山西右玉草地生态系统土壤真菌多样性的影响 [D]. 北京: 中国地质大学, 2020.
- [37] 周国利, 程云湘, 马青青, 等. 牦牛放牧强度对青藏高原东缘高寒草甸群落结构与土壤理化性质的影响 [J]. *草业科学*, 2019, 36(4):1022-1031+918.

rhamnoides was far greater than that of herb communities. This was consistent with the existing research results that shrubs contributed the most to the stability of slope vegetation. **【Conclusion】** The conclusion could provide reference for plant community design, highway maintenance management and vegetation carbon sink benefit evaluation of highway slopes.

Key words: highway; cutting slope; ecological restoration; vegetation carbon sequestration; biomass

(上接 104 页)

Responses of alpine meadow vegetation and soil nutrients to different grazing methods in Qilian Mountains

AN Hai-tao, CAO Wen-xia*, LI Wen, LIU Yu-zhen, WANG Shi-lin,
XIN Yu-qiong, WANG Jin-lan

(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】** Rational grazing is of great significance in the sustainable development of alpine meadows, but the effects of different grazing patterns on vegetation characteristics and soil nutrients in alpine meadows are still controversial. **【Method】** In this study, three alpine meadows with continuous grazing throughout the year, grazing in dormant season, and no grazing were selected as the research objects. The changes of vegetation and soil indexes under different grazing patterns were systematically analyzed. **【Result】** The results showed that the vegetation height and aboveground biomass were the highest in the grazing prohibition plots, followed by grazing in the dormant season. The grazing prohibition significantly increased the coverage and density of grasses. The soil water content, organic matter, total effective and available nutrient contents were significantly different in the 0~10 cm soil layer ($P < 0.05$), and all the contents of the prohibited grazing plots were the highest. Available nitrogen content was significantly positively correlated with total nitrogen and organic matter content, significantly negatively correlated with bulk density, and extremely significantly positively correlated with available potassium and water content ($P < 0.01$). **【Conclusion】** Continuous grazing throughout the year has not completely degraded public pastures, which requires scientific management and effective restoration by the government and herdsmen. Short-term grazing prohibition and grazing in dormant seasons are beneficial to the improvement of grassland productivity and soil nutrient retention. Pasture with heavy degradation should be banned for a short time. For dormant grazing pastures, supplementary feeding and early transfer are recommended to improve meadow-like grassland vegetation and soil in the East Qilian Mountains.

Key words: Qilian Mountains; meadows and grasslands; vegetation; soil nutrients; correlation analysis