

不同强度放牧对东祁连山高寒灌丛土壤理化特征的影响

李文, 李小龙, 刘玉祯, 王文虎, 乔欢欢, 师尚礼, 王世林,
王小军, 王金兰, 尹国丽, 曹文侠

(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:为明晰高寒灌丛土壤理化性质对不同强度放牧的响应,在东祁连山选取连续30年以不同强度放牧(轻度(LG)、中度(MG)和重度放牧(HG))的高寒灌丛,研究其土壤理化特征的变化规律。结果表明:(1)随放牧强度的增加,0~30 cm各土层土壤含水量、全氮均呈现出降低趋势,而土壤容重和紧实度均呈增加趋势。(2)随放牧强度增加,0~30 cm各土层土壤有机碳、速效氮和全钾含量均呈先增后降的单峰性变化趋势。(3)随放牧强度增加,0~10和10~20 cm土层速效磷含量均呈先增后降的单峰型变化趋势,且各样地间差异显著。(4)土壤理化因子相关性分析表明,土壤全氮、速效磷和速效钾在不同放牧强度样地均呈极显著正相关。综上,长期重度放牧致使高寒灌丛草地土壤肥力低下,而长期中等强度放牧利用能有效增加高寒灌丛草地土壤的养分含量,是该区乃至相似生态区域的理想放牧选择。

关键词:东祁连山;高寒灌丛;放牧强度;土壤物理性质;土壤化学性质

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)04-0008-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.04.002

草地作为最大的陆地生态系统之一,约占地球陆地面积的40%^[1]。草地不仅是重要的畜牧业生产基地,而且具有重要的生态服务功能^[2]。近年来,受气候暖干化和不合理放牧管理方式等因素的影响,我国90%的草地已经出现不同程度的退化^[3]。青藏高原东北缘的祁连山国家级自然保护区是青藏、蒙新、黄土3大高原交汇地带,地理位置特殊,气候条件独特,是中国西部重要的生态安全屏障,也是敏感响应和影响全球变化的关键区域,同时也是多民族聚居和赖以生存

的畜牧业生产基地^[4-6]。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,是祁连山区的原生植被,对当地草地畜牧业发展及区域生态系统稳定性起着重要作用^[7-8]。然而,受自然和人为因素的影响,近年来,祁连山区草地退化严重,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^[9]。

放牧通过采食改变草地的形态特征,此外,还会通过践踏及排泄物归还等方式影响草地生态系统营养物质的循环,从而影响草地生态系统的健康状况^[9-11]。放牧干扰对高山植被尤为敏感,是高寒草地生态系统最主要的人为干扰,也是导致高寒草地退化的主要因素^[12-13]。研究放牧对土壤特征的影响,对认识放牧过程中土壤演变机制、草地生态系统合理发展及资源可持续利用具有重要意义。然而,土壤养分特征对放牧反应的敏感性一直颇受争议^[14]。有研究表明,过度放牧在显著降低草地植物高度、盖度和生物量的同时,也显著降低了土壤养分含量^[15-16],例如,Li等^[17-18]研究

收稿日期:2019-09-16;修回日期:2019-10-09

基金项目:青藏高原社区生态畜牧业技术与集成示范(2018YFD0502400);国家自然科学基金(31360569);国家现代牧草产业技术体系(CARS-35);青藏高原饲草生产与供给项目

作者简介:李文(1987-),男,甘肃会宁人,在读博士。

E-mail:670410113@qq.com

曹文侠为通讯作者。

E-mail:caowx@gsau.edu.cn

表明,相较于禁牧,全年连续放牧显著降低了高寒草甸土壤含水量、大颗粒团聚体含量、全氮和有机碳含量;但也有研究认为放牧对土壤性质特征的影响具有不确定性,因为放牧家畜的采食、践踏及粪尿回归对土壤养分具有正反馈效应^[19],同时,受放牧家畜践踏影响,一定强度的放牧能够增加凋落物的质量,从而促进植被—土壤生态界面的养分循环^[20]。

目前,有关放牧对草地土壤理化特征影响研究较多,但主要集中在荒漠草原、典型草原和高寒草地生态系统^[17-18,21-23],而对高寒灌丛草地土壤养分研究较少,且都是短期放牧干扰^[24],长时间尺度下不同强度放牧后高寒灌丛草地土壤理化特征变化的研究少之又少。长期不同强度放牧利用下高寒灌丛土壤理化特征的变化尚不明确。因此,本研究以连续30年不同强度放牧的高寒灌丛草地为研究对象,研究其土壤理化特征的变化规律及其相互间的关系,以期为祁连山国家公园建设与生态保护规划提供研究数据。

1 材料和方法

1.1 试验区自然概况

试验区位于青藏高原东北边缘的甘肃省天祝藏族自治县抓喜秀龙乡,地理坐标 N 37°11', E 102°46'。境内海拔从 2 950 m 的河谷地带延伸至海拔 4 300 m 的马牙形石峰(图 1)。研究区气候寒冷潮湿,空气稀薄,昼夜温差较大,太阳辐射强烈,雨热同期,无绝对无霜期,仅分冷、热两季。近 55 年(1951~2016 年)年均气温为 0.13℃,其中最冷月(1 月)平均气温为 -11.4℃,最暖月(7 月)平均气温为 11.2℃^[18]。1951~2016 年年均降水量为 414.98 mm,63.3%~88.2%降水集中于 7~9 月^[18]。植物生长季约为 120~140 d。土壤类型为高山黑钙土。在研究区海拔 3 000 m 以上的山地阴坡和半阴坡分布着高寒灌丛草地,优势种为千里香杜鹃(*Rhododendron thymifolium*)与头花杜鹃(*Rhododendron capitatum*),矮生嵩草(*Kobresia humilis*)。亚优势种为山生柳(*Salix oritrepha*),伴生种主要有鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、烈香杜鹃(*Rhododendron anthopogonoides*)、高山绣线菊(*Spiraea alpina*)、红花岩生忍冬(*Lonicera rupicola*)、刚毛忍冬(*Lonicera hispida*)等,灌下草本植物主要有珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、问荆(*Equisetum arvense*)和苔草(*Carex* spp.)。

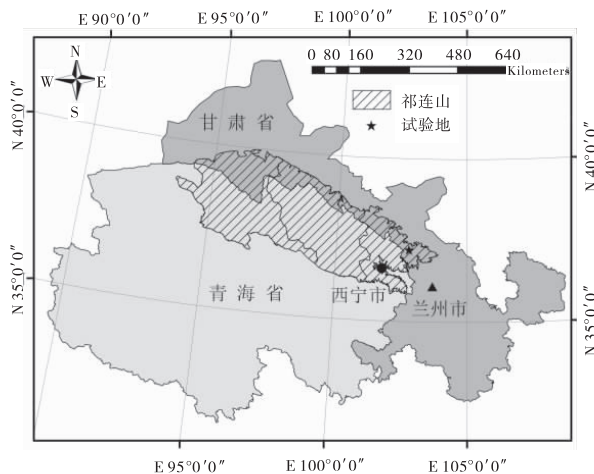


图 1 试验地理位置图

Fig. 1 The location of the study area

1.2 样地的设置及取样方法

通过走访当地牧民,并综合考虑可食灌木、灌下草本植物的利用程度及土壤践踏程度,于 2014 年在抓喜秀龙乡下八刺沟海拔 2 980~3 040 m 的阴坡地带(坡度为 30±2°)选择轻度放牧(LG)、中度放牧(MG)和重度放牧(HG)样地,各样地 3 个重复,样地面积均为 2 hm²,相邻样地相距为 50 m。通过走访当地牧民得知,研究区灌丛草地在 1984 年前属公共牧场,并未建立围栏,且放牧时间、放牧家畜种类及数量相同,植被较为一致。而 1984 年以后,研究区灌丛草地承包到牧户,并建立围栏。由于各牧户对草地的经营策略不同,导致放牧家畜数量和放牧时间发生变化,至 2014 年,经过 30 年累计放牧效应,各灌丛草地植被群落和土壤特征分异明显,从而形成一个天然放牧梯度。从 1984~2014 年的 30 年间, LG 样地于 3 月初至 4 月初、9 月初至 11 月初放牧(共 90 d), MG 样地于 3 月初至 5 月初、9 月初至 12 月初放牧(共 150 d), HG 全年放牧。放牧期内, LG 样地放牧率为 4~5 羊单位/hm²(轻于理论载畜量), MG 放牧率为 9~10 羊单位/hm²(略重于理论载畜量), HG 放牧率为 18~20 羊单位/hm²(理论载畜量的 2.5 倍)。各样地的植物群落特征如表 1 所示。

于 2014 年 9 月初,在各样地用环刀(高 5 cm,直径 5 cm)分层取 0~10、10~20 和 20~30 cm 土样,各样地分别重复 15 次。土样带回实验室后立即称重,然后在烘箱 105℃ 烘至恒重,称其质量,计算土壤含水率和土壤容重。用土壤紧实度仪(USA SC-900 数显式土壤紧实度仪)测定 0~30 cm 土壤紧实度,各样地重

表 1 植物群落特征

Table 1 Theplant community composition under different grazing intensities

样地	优势种	灌木高度/cm	灌木盖度/%	草本植物高度/cm	草本植物盖度/%
LG	千里香杜鹃 头花杜鹃	54.67±1.76 ^a	89.00±1.53 ^a	21.67±2.03 ^a	38.00±2.08 ^a
MG	千里香杜鹃 头花杜鹃	51.00±3.46 ^a	83.67±0.88 ^b	21.00±1.53 ^a	52.67±2.33 ^b
HG	矮生嵩草	11.33±2.03 ^b	6.67±0.88 ^c	3.33±0.33 ^b	79.67±4.33 ^c

注:表中同列不同小写字母表示显著差异($P<0.05$)。LG:轻度放牧, MG:中度放牧, HG:重度放牧

复 30 次。同时,用内径为 3.5 cm 的土钻在各样地随机采集 0~10、10~20 和 20~30 cm 土样,相邻 4 个取样点同层土样混合后作为 1 个重复,各样地重复 15 次。剔除土样中的根系和石块等杂物后带回实验室,在阴凉处风干、碾碎并过筛,用于土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷和速效钾的测定。有机碳采用总有机碳分析仪(Germany, analytikjena, multi N/C 2100s)测定;全氮采用凯氏定氮法测定;全磷采用钼锑抗比色法测定;全钾采用 NaOH 熔融-火焰光度计法测定;速效氮采用碱解扩散法测定;速效钾采用 NH_4OAc 浸提-火焰光度法测定;速效磷采用高锰酸钾氧化-葡萄糖还原法测定,以上方法均参照鲍士旦土壤农化分析^[25]。

1.3 数据分析与处理

采用 SPSS 17.0 for Windows(IBM Corporation, Chicago, USA)进行统计分析,采用单因素方差分析法(one-way ANOVA)对不同放牧强度样地土壤理化性质进行比较。为弱化土壤理化因子间自相关性所致误差,并对土壤理化性质进行精确评估,采用 R-6.1.7601(<https://www.R-project.org/>)对不同放牧强度高寒灌丛草地土壤理化因子的进行主成分分析(Principle Component Analysis, PCA)。利用 Origin 8.5(OriginLab Corporation, MA, USA)作图。

2 结果与分析

2.1 不同放牧强度高寒灌丛草地土壤理化性质变化

LG、MG 和 HG 样地土壤容重在 0~10 cm 土层差异显著($P<0.05$)。10~20 和 20~30 cm 土层土壤容重均表现为 HG 样地显著高于 LG 和 MG 样地(图 2A)。0~10 cm 土层土壤紧实度在 LG、MG 和 HG 样

地差异显著。10~20 和 20~30 cm 土层土壤紧实度 HG 样地显著低于 LG 和 MG 样地,而 LG 和 MG 样地间无显著差异(图 2B)。随土层深度增加, LG 样地的土壤容重和紧实度呈增加趋势,而 MG 和 HG 样地的土壤容重和紧实度呈降低趋势。在 0~30 cm 各层土壤中, LG 样地土壤含水量显著高于 MG 和 HG 样地($P<0.05$),而 MG 和 HG 样地间无显著差异(图 2C)。在 0~30 cm 各土层, LG、MG 和 HG 样地土壤有机碳含量差异显著($P<0.05$),均表现为 $\text{MG}>\text{LG}>\text{HG}$ (图 2D)。在 0~30 cm 各土层, LG、MG 和 HG 样地土壤全氮含量差异显著($P<0.05$),且均表现为 $\text{LG}>\text{MG}>\text{HG}$ (图 2E)。在 0~10、10~20 和 20~30 cm 土层,土壤速效氮含量均在 MG 显著高于 LG 和 HG。LG 和 HG 速效氮含量在 0~10 和 20~30 cm 土层差异显著,而在 10~20 cm 土层无显著差异(图 2F)。0~10 cm 土层全磷含量在 LG 样地显著高于 MG 和 HG 样地,而 MG 和 HG 样地全磷含量无显著差异(图 2G)。在 0~10 和 10~20 cm 土层, LG、MG 和 HG 样地速效磷含量差异显著,而 20~30 cm 土层各样地速效磷含量无显著差异(图 2H)。在 0~30 cm 各土层, MG 样地土壤全钾含量最高, HG 样地土壤全钾含量最低(图 2I)。0~30 cm 各土层速效钾含量均在 LG 和 MG 样地显著高于 HG 样地,而 LG 和 MG 样地无显著差异(图 2J)。

2.2 不同放牧强度高寒灌丛土壤理化因子相关性分析

不同放牧强度高寒灌丛土壤理化因子的相关性不尽相同(图 3)。全氮、速效磷和速效钾在 3 个放牧强度样地均呈极显著正相关($P<0.01$),且相关性系数均大于 0.79。在轻度和重度放牧样地,土壤容重和土壤含水

量均呈极显著负相关($P < 0.01$);在轻度和中度放牧样地,全氮、速效磷、速效氮、有机碳和速效钾呈极显著正

相关($P < 0.01$),且相关性系数均大于0.79。

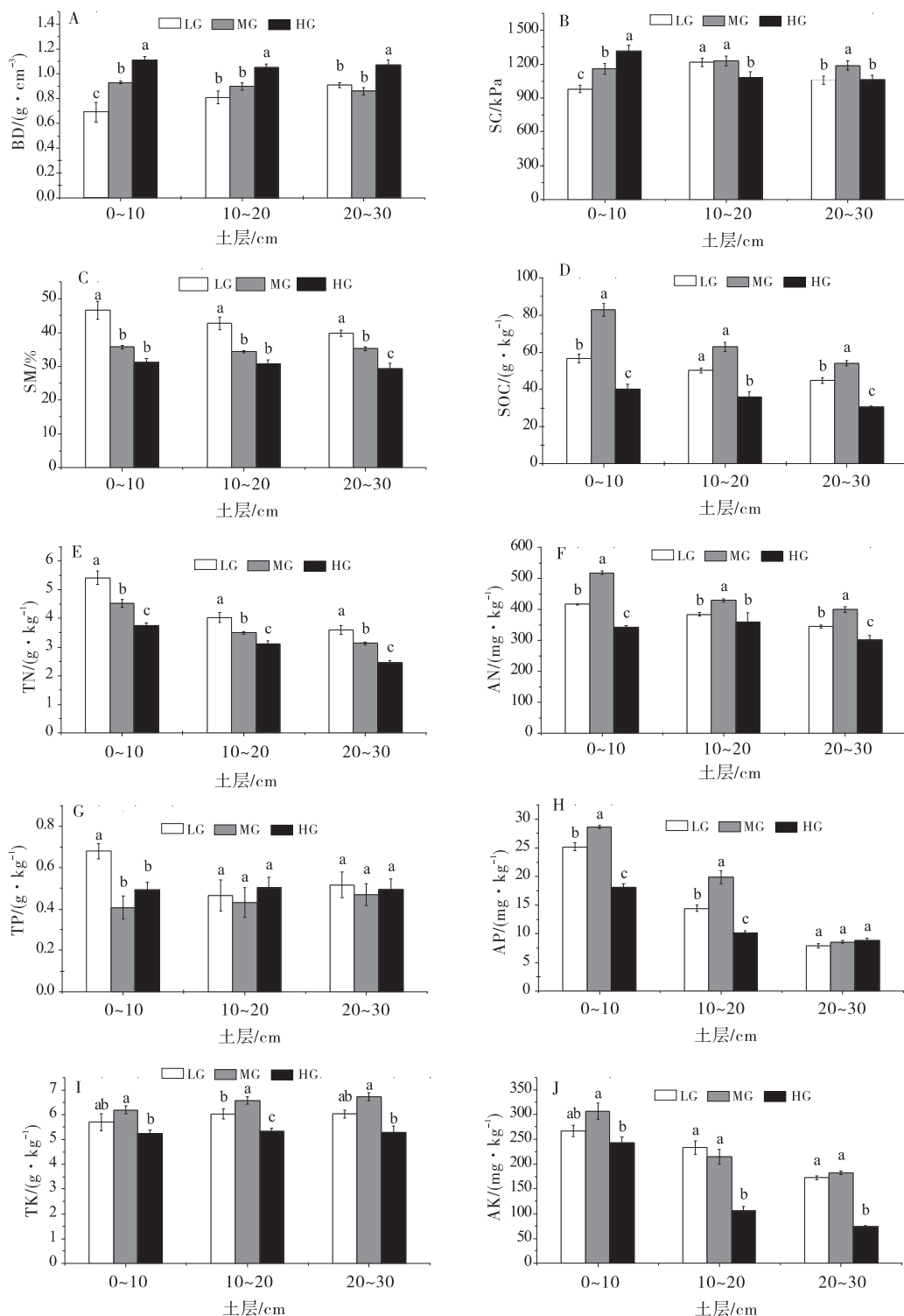


图2 不同放牧强度下高寒灌丛土壤理化特征变化

Fig. 2 Changes in soil physicochemical characteristics under different grazing degree in alpine shrubs

注:BD-土壤容重,SC-土壤紧实度,SM-土壤含水率,SOC-土壤有机碳,TN-全氮,AN-速效氮,TP-全磷,AP-速效磷,TK-全钾,AK-速效钾。图中不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著

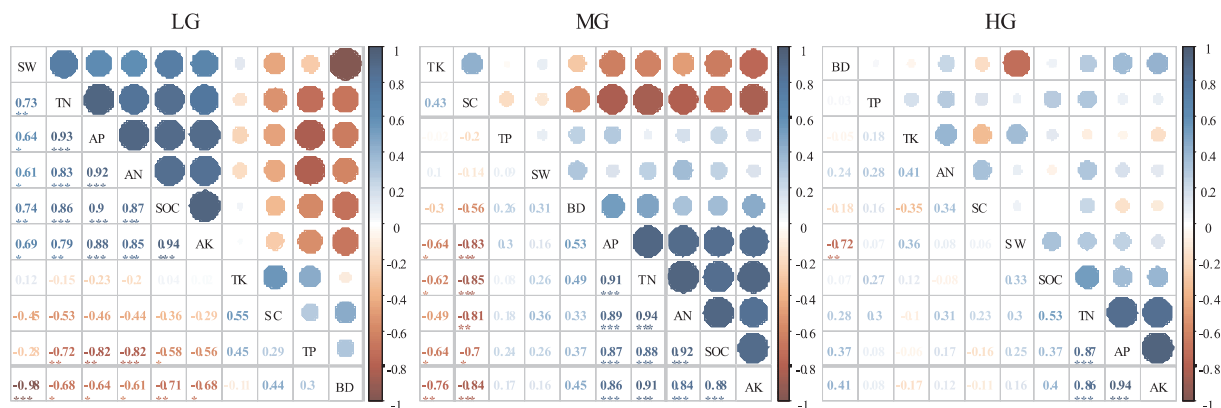


图3 不同放牧强度高寒灌丛土壤理化因子间的相关性

Fig. 3 Correlation analysis of the soil physicochemical properties under different grazing degree in alpine shrubs

注: ***表示在0.001水平上显著相关, **表示在0.01水平上显著相关, *表示在0.05水平上显著相关。TP-全磷, SW-

土壤含水率, TN-全氮, AK-速效钾, AP-速效磷, SOC-土壤有机碳, AN-速效氮, TK-全钾, SC-土壤紧实度, BD-土壤容重。下同

2.3 不同放牧强度高寒灌丛草地土壤理化因子 PCA 分析

高寒灌丛土壤理化因子主成分分析, 第一主成分轴的方差贡献率为 50.9%, 第二主成分轴的方差贡献率为 17.2%, 前两轴累积贡献率为 68.1% (图 4)。全

氮、速效钾、速效磷和有机碳在第一主成分轴上具有较高的因子载荷(载荷值 > 0.80) (表 2)。因此, 全氮、速效钾、速效磷和有机碳可以敏感的反映不同强度放牧对草地土壤质量的影响。

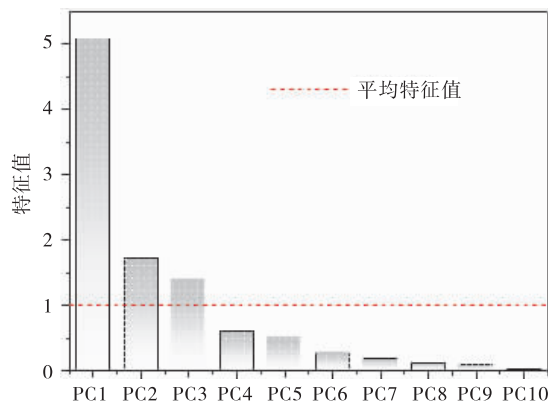
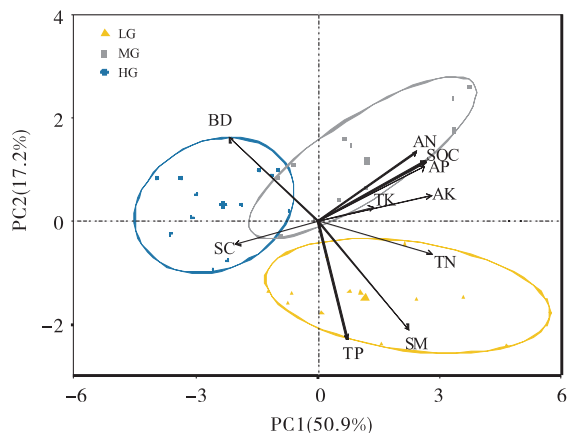


图4 土壤理化因子主成分分析

Fig. 4 Principal component analysis of soil physical and chemical factors

3 讨论

放牧是一种人为干扰因素, 家畜选择性采食影响植物形态和功能的同时, 家畜的采食、践踏、排泄物也会直接影响土壤, 或者通过三者对植被和微生物的作用间接影响土壤^[24, 26]。青藏高原高寒草地植被特征发生分异的主要驱动力是超载放牧, 其演替的方向是退化^[27]。研究区高寒灌丛草地在 1984 年前属公共牧场, 并未建立围栏, 放牧模式统一, 植被分布均匀; 而在 1985 年, 实施草地承包到户政策, 研究区灌丛草地分配到不同的牧户, 并建立围栏, 各牧户对草地的经营策

略发生分异, 导致放牧家畜数量和放牧时间发生变化, 至 2014 年, 经过 30 年的累计效应, 形成一个天然放牧梯度。随放牧强度的增大, 植被特征发生了明显的变化, 灌木的密度、高度和盖度显著降低, 在重度放牧样地, 灌木几乎完全消失, 植被由高寒灌丛完全转化为矮生蒿草草甸 (表 1)。在草地生态系统中, 土壤是地境—牧草—家畜相互作用的产物, 展示了放牧生态系统的历史^[25], 是评价草地生态系统能否可持续发展的重要指标^[14]。因此, 研究不同强度放牧条件下草地土壤理化特征的变化规律, 能够为制定可持续的草地利用管理策略提供科学依据。牛钰杰等^[21]研究表明, 经

表 2 主成分分析(PCA)前 3 轴土壤因子变量的
载荷及解释方差

Table 2 The loadings and explained variance of soil variables
in the first three axes in principal component analysis (PCA)

土壤因子	PC1	PC2	PC3
有机碳	0.83	0.36	0.21
全氮	0.88	-0.19	-0.28
全磷	0.23	-0.72	-0.23
全钾	0.43	0.09	0.23
速效氮	0.76	0.42	0.19
速效磷	0.82	0.33	-0.35
速效钾	0.87	0.15	-0.14
含水量	0.70	-0.66	0.12
容重	-0.69	0.51	-0.33
紧实度	-0.63	-0.14	0.45
特征根	5.09	1.71	1.39
方差比例	0.51	0.17	0.14
累积方差比例	0.51	0.68	0.82

过 3 年不同强度放牧,土壤速效磷和有机质含量无明显变化。Li 等^[17]研究表明,经过 4~5 年的不同强度放牧仅对 0~20 cm 土层土壤物理性状有显著影响,但对深层土壤无显著影响。魏巍等^[24]对高寒杜鹃灌丛研究发现,经过 10 年左右的放牧,土壤有机碳、全氮以及 N、P 速效养分均随放牧压的增加而呈现上升趋势,而全磷含量相对稳定。目前关于放牧对土壤理化特征影响主要集中在短期或中长期^[17,21,24],而对长期放牧条件下,土壤理化特征变化的研究很少,尤其是对高寒灌丛草地。本研究表明,经过 30 年不同强度放牧后,中度和重度高寒灌丛土壤表层容重和紧实度随土层加深呈显著增加趋势,这主要是因为植被的变化引起的。随放牧强度的增大,高寒灌丛植被向高寒矮生嵩草草甸演替,而由于矮生嵩草特殊的生物学特性(高地下/地上比)引起的草毡表层极度加厚作用致使表层土壤容重和紧实度显著增加^[14]。随土层深度的增加,轻度放牧样地灌丛草地的容重和紧实度呈现增加趋势,表明放牧对土壤容重、紧实度等物理结构性指标有累积效应。而重度放牧灌丛草地的容重和紧实度随土层的加深呈不变或降低趋势,这主要是因为加厚的草毡层具有一定的弹性,能够有效保护下层土壤的物理结构。

放牧对高寒草甸土壤化学性质的影响具有不确定性^[21],这可能是由研究区的气候、土壤类型、植被组成等引起的^[28],也可能是由于放牧历史和放牧时间的长

短不同引起的。长期过度放牧促进了青藏高原高寒草地退化^[14],但也有研究表明,围封禁牧也不利于草地资源的更新与利用^[17-18],而适当强度放牧有利于高寒草地的生物多样性保护和牧草利用^[17]。本研究表明,在长达 30 年的不同强度放牧条件下,土壤有机碳、全氮、速效氮、速效磷和速效钾等养分随土层的加深呈降低趋势,这与前人研究结果一致^[14,21]。中度放牧样地土壤有机碳、速效氮、速效磷、全钾和速效钾等养分含量高于轻度和重度放牧样地。中度放牧在研究区属适度放牧,是一个合理的高寒灌丛放牧强度,放牧家畜的排泄物对土壤养分的提高具有正反馈效应^[29]。此外,适度强度的践踏能够增加凋落物质量,并通过践踏糅合,加速了凋落物进入土壤,从而增加养分的循环速率。而重度放牧样地的养分含量最低,主要是因为长时间的过度放牧,植被由灌木演替为嵩草草甸,减少了枯枝落叶及凋落物等养分输入来源。此外,长时间、高强度的家畜放牧活动,致使大量的植物生物量随家畜的采食被带出草地生态系统,土壤养分流失严重。

土壤物理性质和化学性质之间关系密切^[30]。研究发现长期不同强度放牧高寒灌丛土壤物理和化学性质相关性不尽相同,但总体上还是有一定的相似规律,如土壤全氮、速效磷和速效钾含量在不同放牧样地中均显著正相关,这主要是因为氮素、磷素和钾素主要来源于有机质的分解及矿化积累^[30]。土壤有机质是土壤中各种营养元素的重要来源,表层凋落物以及动物残体的分解会增加土壤养分^[31]。在轻度和中度放牧样地,大量的灌木枝叶及灌下草本植物枯落在地表,有效地补充了土壤养分,而由于长时间的重度放牧,在重牧样地,灌丛几乎消失,灌下草本植物低矮(表 1),凋落物的生物量极低,未能有效的补充土壤营养消耗。因此,在轻度和中度放牧样地,土壤有机碳与土壤全氮、速效氮和速效磷呈极显著正相关。利用降维思想,主成分分析可以弱化变量间的自相关性所引起的误差,把多指标转化为少数几个综合指标,从而达到对土壤理化性质的精确评估^[30]。本研究发现第一主成分中土壤有机碳、全氮、速效磷和速效钾载荷值较高(>0.80),因此,可以利用土壤有机碳、全氮、速效磷和速效钾对研究区不同程度放牧的高寒灌丛土壤质量进行评价。

4 结论

长期重度放牧致使高寒灌丛草地土壤肥力下降,

而长期中等强度放牧利用能有效增加高寒灌丛草地土壤的养分含量,是该区乃至相似生态区域的理想放牧选择。

参考文献:

- [1] Suttie J M, Reynolds S G, Batello C. Grasslands of the world. 2005.
- [2] Orwin K H, Bardgett R D. Effects of species evenness and dominant species identity on multiple ecosystem functions in model grassland communities[J]. *Oecologia*, 2014, 174: 979—992.
- [3] Dong S K, Li J P, Li X Y, *et al.* Application of design theory for restoring the "black beach" degraded rangeland at the headwater areas of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2010(5): 3542—3552.
- [4] Shen M, Zhang G, Cong N, *et al.* Increasing altitudinal gradient of spring vegetation phenology during the last-decade on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Agricultural & Forest Meteorology*, 2014, 189: 71—80.
- [5] 张富广, 曾彪, 杨太保. 近 30 年祁连山东段冷龙岭地区寒冻荒漠分布范围及其对气候变化的响应[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(6): 305—312.
- [6] SUN Meiping, LIU Shiyin, YAO Xiaojun, *et al.* Glacier changes in the Qilian Mountains in the past half-century: Based on the revised First and Second Chinese Glacier Inventory[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(2): 206—220.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 周华坤, 赵新全, 温军, 等. 黄河源区高寒草原的植被退化与土壤退化特征[J]. *草业学报*, 2012, 21(5): 1—11.
- [11] 杜子银, 蔡延江, 王小丹, 等. 放牧牲畜粪便降解及其对草地土壤养分动态的影响研究进展[J]. *生态学报*, 2019, 39(13): 4627—4637.
- [12] 侯扶江, 宁娇, 冯琦胜. 草原放牧系统的类型与生产力[J]. *草业科学*, 2016, 33(3): 353—367.
- [13] 林丽, 张德罡, 曹广民, 等. 高寒嵩草草甸植物群落数量特征对不同利用强度的短期响应[J]. *生态学报*, 2016, 36(24): 8034—8043.
- [14] 林丽, 张德罡, 曹广民, 等. 放牧强度对高寒嵩草草甸土壤养分特性的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(15): 4664—4671.
- [15] Kulmatiski A, Beard K H, Stevens J R, *et al.* Plant-soil feedbacks: a meta-analytical review[J]. *Ecology Letters*, 2008, 11(9): 980—992.
- [16] Moretto A S, Distel R A, Didoné N G. Decomposition and nutrient dynamic of leaf litter and roots from palatable and unpalatable grasses in a semiarid grassland[J]. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18(1): 31—37.
- [17] Li Wen, Cao Wenxia, Wang Jinlan, *et al.* Effects of grazing regime on vegetation structure, productivity, soil quality, carbon and nitrogen storage of alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Ecological Engineering*, 2017, 98: 123—133.
- [18] Li Wen, Liu Yuzhen, Wang Jinlan, *et al.* Six years of grazing exclusion is the optimum duration in the alpine meadow-steppe of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Scientific reports*, 2018, 8: 17269.
- [19] Maharning A R, Mills A A S, Adl S M. Soil community changes during secondary succession to naturalized grasslands[J]. *Applied Soil Ecology*, 2009, 41(2): 137—147.
- [20] Clegg C D. Impact of cattle grazing and inorganic fertilizer additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils[J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, 31(1): 78—82.
- [21] 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.
- [22] 苗翻, 杨新国, 古君龙, 等. 放牧干扰下短花针茅植丛对表层土壤性质的影响[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(3): 49—57.
- [23] 王晓光, 乌云娜, 霍光伟, 等. 放牧对呼伦贝尔典型草原植物生物量分配及土壤养分含量的影响[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(6): 1230—1236.
- [24] 魏巍, 曹文侠, 祁娟, 等. 放牧干扰对高寒杜鹃灌丛草地地下养分库化学计量特征的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(8): 1024—1029.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [26] 侯扶江, 杨中艺. 放牧对草地的作用[J]. *生态学报*, 2006, 36(1): 244—264.
- [27] 林丽, 曹广民, 李以康, 等. 人类活动对青藏高原高寒矮

嵩草草甸碳过程的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4012—4018.

[28] McNaughton S J. Promotion of the Cycling of Diet-Enhancing Nutrients by African Grazers[J]. *Science*, 1997, 278(5344): 1798—1800.

[29] Northup B K, Brown J R, Holt J A. Grazing impacts on the spatial distribution of soil microbial biomass around tussock grasses in a tropical grassland[J]. *Applied Soil*

Ecology, 1999, 13(3): 259—270.

[30] 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.

[31] 王新英, 史军辉, 刘茂秀. 塔里木河流域不同龄组胡杨林土壤理化性质及相关性[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(9): 63—68.

Effects of long-term grazing with different intensities on soil physicochemical characteristics of alpine shrub in the eastern Qilian Mountains

LI Wen, LI Xiao-long, LIU Yu-zhen, WANG Wein-hu, QIAO Huan-huan, SHI Shang-li, WANG Shi-lin, WANG Xiao-jun, WANG Jin-lan, YIN Guo-li, CAO Wen-xia

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

Abstract: In order to clarify the response of soil physical and chemical properties to long-term grazing with different intensities, alpine shrub grassland with different grazing intensities (light grazing (LG), moderate grazing (MG) and heavy grazing (HG)) for 30 consecutive years in the eastern Qilian Mountains was selected as the research object to study the changes of soil physical and chemical characteristics. The results showed that: (1) With the increase of grazing intensity, the soil moisture content and soil total nitrogen content in all soil layers of 0~30 cm showed a decreasing trend, while the soil bulk density and compactness showed an increasing trend. (2) The soil organic carbon content, available nitrogen and total potassium in 0~10, 10~20 and 20~30 cm soil layer exhibited a hump-shaped pattern of increasing first and then decreasing in response to the increase of grazing intensity. (3) With the increase of grazing intensity, the content of available phosphorus in 0~10 and 10~20 cm soil layer showed a hump-shaped pattern of increasing first and then decreasing, and there were significant differences among different plots. (4) Correlation analysis of soil physical and chemical factors showed that soil total nitrogen, available potassium and available phosphorus were positively significantly correlated in plots with different grazing intensities. In conclusion, long-term heavy grazing resulted in low soil fertility in alpine shrub grassland, while long-term moderate intensity grazing could effectively increase the nutrient content in alpine shrub grassland, which was an ideal grazing choice for this area or even similar ecological areas.

Key words: eastern Qilian Mountains; alpine shrub; grazing intensity; soil physical properties; soil chemistry properties