

DOI: 10.5846/stxb202005191268

任强,艾鹭,胡健,田黎明,陈仕勇,泽让东科.不同强度牦牛放牧对青藏高原高寒草地土壤和植物生物量的影响.生态学报,2021,41(17): 6862-6870.

Ren Q, Ai Y, Hu J, Tian L M, Chen S Y, Mipam T D. Effects of different yak grazing intensities on soil and plant biomass in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(17): 6862-6870.

不同强度牦牛放牧对青藏高原高寒草地土壤和植物生物量的影响

任 强¹, 艾 鹭¹, 胡 健¹, 田黎明³, 陈仕勇², 泽让东科^{1,*}

1 西南民族大学青藏高原研究院, 成都 610041

2 西南民族大学畜牧兽医学院, 成都 610041

3 四川大学生命科学学院, 成都 610065

摘要:放牧作为家畜饲养方式之一,是草地最简单、有效的利用方式,放牧中的家畜对草地生态系统的影响是全球畜牧生态学研究关注的焦点。过度放牧导致草地退化严重,虽然在青藏高原地区已有较多放牧对草地影响的研究,但探究连续 4 年放牧对高寒草地生态系统影响的定位实验却鲜见报道。本研究在青藏高原东缘选取典型高寒草地,使用高原特有且分布最广的牦牛作为大型草食放牧家畜,设置了 4 个牦牛放牧强度(禁牧:无放牧、轻牧:1 头/hm²、中牧:2 头/hm²和重牧:3 头/hm²)以研究其对高寒草地土壤和植物功能的影响。开展 4 年试验后的结果表明:放牧条件下土壤含水率显著增加;而土壤容重、全磷和有机质含量对放牧强度均无显著性响应;土壤全氮和 pH 的响应主要在表层 0—20 cm,其中全氮为轻牧和重牧处理分别显著高于中牧,中牧处理下的土壤 pH 为显著高于轻牧;土壤全钾含量在禁牧处理中显著高于放牧处理;而土壤有效氮和速效钾均为中牧处理显著高于禁牧;放牧可以显著降低植物地上生物量。牦牛放牧强度显著影响土壤含水率、有效养分和植物地上生物量,而对其它土壤理化性质影响较弱。本研究结果揭示放牧对高寒草地土壤理化性质和植物地上生物量的影响,为青藏高原高寒草甸生态系统保护、可持续管理和合理放牧率提供理论依据。

关键词:青藏高原;放牧强度;土壤理化性质;地上生物量

Effects of different yak grazing intensities on soil and plant biomass in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau

REN Qiang¹, AI Yi¹, HU Jian¹, TIAN Liming³, CHEN Shiyong², MIPAM Tserang Donko^{1,*}

1 Institute of Qinghai-Tibetan Plateau, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China

2 College of Animal and Veterinary Sciences, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China

3 Key Laboratory for Bio-resource and Eco-environment of Ministry of Education, College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China

Abstract: As one of the most importance ways for supporting herds of domesticated ungulates, grazing is the simplest and most effective way of grassland utilization. The effects of grazing on grassland ecosystem are also one of the classic topics of animal ecology. In recent decades, overgrazing has caused serious grassland degradation. Although some studies have focused on the effects of grazing on grassland ecosystems on the Qinghai-Tibetan Plateau, little information on the effects of yak grazing intensity on alpine grasslands are revealed based on long-term in situ field observations, especially for experiments with more than 4 years. In this study, we selected a typical alpine meadow in the eastern of the Qinghai-Tibetan

基金项目:国家科技支撑计划(2014BAD13B03);四川省应用基础项目(2018JY0541);中央引导地方-自由探索项目(20ZYZYTS0020);西南民族大学青藏高原生态畜牧业协同创新中心项目(2020PTJS22004)

收稿日期:2020-05-19; 网络出版日期:2021-06-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tdmipam@163.com

Plateau and used yaks as our large herbivorous livestock because yaks are unique and most widely distributed on the Qinghai-Tibetan Plateau. According to local investigations and pre-experiment, we set up four yak grazing intensities (no grazing; light grazing, 1 yak/hm²; moderate grazing, 2 yaks/hm²; and heavy grazing, 3 yaks/hm²) to examine their effects on soil properties and plant growth in a typical alpine meadow of the Qinghai-Tibetan Plateau. After continuously conducting four-years experiment, we found that soil water content increased significantly under grazing treatments. Soil bulk density, total phosphorus (P) content and organic matter content showed no significant responses to grazing intensities. Soil total nitrogen (N) content was significantly higher under light and heavy grazing than that under moderate grazing at the top soil of 0—20 cm. Conversely, soil pH was significantly higher under moderate grazing than light grazing at the top soil of 0—20 cm. Soil total potassium (K) content under no grazing was significantly higher than that under grazing treatments. Soil available N and K contents were only significantly higher under moderate grazing than those under no grazing. Grazing also significantly reduced aboveground biomass of plants. In short, yak grazing intensities significantly altered soil water content, soil available N and K contents, and plant aboveground biomass, while they had weak effects on soil organic matter, total N, and total K contents. This study reveals the effects of grazing on soil physiochemical properties and plant aboveground biomass in a typical alpine meadow, though further study should be required to investigate the influences of long-term grazing experiments on the interactions of plants and soil and determine appropriate grassland managements in a long term based on our yak grazing experiments. Overall, this study provides basic data for the protection, sustainable management and reasonable grazing rate of alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau.

Key Words: Qinghai-Tibetan Plateau; grazing intensity; soil physiochemical properties; aboveground biomass

草地作为全世界分布最广、最重要的陆地植被类型之一,在维持区域生物多样性、生态系统平衡以及整个陆地生态系统物质和能量循环等方面扮演着重要的生态角色^[1-2]。我国的草地面积为 $4.0 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 约占全球陆地总面积(约 $5.0 \times 10^9 \text{ hm}^2$) 的 8%, 是我国国土总面积的约 41%, 主要包括温带草地、高寒草地和荒漠草地等三种类型^[3]。青藏高原是典型的高寒草地分布区和重要的畜牧业生产基地, 也是我国最为关键的生态安全屏障, 在水土保持、气候调节、防风阻沙等方面发挥着无可替代的作用^[4]。近年来随着气候变化和人类活动的加剧, 高寒草地生态系统正面临着生物多样性减少、植被高度降低、植物覆盖度下降、土壤裸露面积增加、土壤侵蚀加剧及土壤沙漠化盐碱化等现象, 而这些过程均与过度放牧行为有关^[5]。

放牧导致草地土壤退化一直是国内外研究关注的焦点之一^[6-7]。放牧作为天然草地利用的最主要方式, 其实质是一种生态干扰。家畜放牧主要通过采食、践踏影响土壤的物理结构(如紧实度、渗透率), 同时通过采食后畜体对营养物质的转化以及排泄物归还影响物质循环与土壤理化性质, 进而导致动植物组分、结构和多样性格局的变化^[8]。根据“中度干扰假说”理论^[9-12], 适度放牧会引起草地植物多样性升高、生产力增加和土壤理化性质改善, 从而使得营养物质的持续性供给能力得以维持, 生态系统处于健康稳定的状态。然而, 过度放牧往往会造成草地植被生产力、覆盖度和生物多样性降低, 减少植被向土壤的物质输入, 从而导致土壤养分流失, 引起土壤有机质、氮素和含水率降低^[13], 增加土壤紧实度, 减缓地表径流的下渗程度, 最终加剧草地土壤的退化^[14]。对于青藏高原高寒草地而言, 由于受长期超载放牧及气候变暖等因素的强烈影响, 大面积退化的现象频繁出现, 严重影响着草地畜牧业的可持续发展^[15-18]。近年来, 国内外在放牧对草地土壤理化特性的研究报道较多, 但在青藏高原地区, 探究大型食草动物-牦牛放牧对高寒草地土壤理化性质影响的控制实验却鲜见报道。

本研究在青藏高原东缘选取典型高寒草地, 使用高原特有且分布最广的牦牛作为大型草食放牧家畜, 开展不同牦牛放牧强度下的长期控制试验, 揭示其对土壤理化性质和地上生物量的影响, 为青藏高原高寒草地生态系统保护和可持续管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验样地位于青藏高原东缘四川省阿坝藏族羌族自治州红原县西南民族大学青藏高原基地(32°48'N, 102°33'E),海拔 3504 m,气候类型属大陆性高原寒温带季风气候,年平均气温和降雨量分别为 1.5℃和 749.1 mm,植物种类主要为禾本科植物(*Gramineae*):发草(*Deschampsia caespitosa*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)和剪股颖(*Agrostis matsumurae*)等;莎草科植物(*Cyperaceae*):高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)和薹草(*Scirpus triqueter*)等;豆科(*Leguminosae*):米口袋(*Gueldenstaedtia delavayi*)、棘豆(*Oxytropis kansuensis*)和皱黄芪(*Astragalus tataricus*)等;菊科(*Compositae*):灰苞蒿(*Artemisia roxburghiana*)、钝苞雪莲(*Saussurea nigrescens*)和火绒草(*Leontopodium wilsonii*)等;其它科(*other*):蓝玉簪龙胆(*Gentiana veitchiorum*)、草玉梅(*Anemone rivularis*)、翻白委陵菜(*Potentilla discolor*)和葛缕子(*Carum carvi*)等,其中优势植物种类为高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)和矮嵩草(*Kobresia humilis*)。

1.2 试验设计

于 2014 年在西南民族大学青藏高原基地草场内选择具有代表性、均匀度一致的高寒草甸试验样地 10 hm²,该样地在 2014 年前为传统暖季放牧草场,对该样地进行围封休牧 1 年,于 2015 年开始实施放牧强度试验。放牧强度的设置依据当地牧户实地调研和相关文献查阅,分别为:围封禁牧、轻度放牧(1 头牦牛/hm²)、中度放牧(2 头牦牛/hm²)、重度放牧(3 头牦牛/hm²)。样地设置:使用围栏将试验地划分为 12 个样地,设置 4 个放牧强度,每个放牧强度均设置 3 个重复,其中每个放牧样地面积均为 1 hm²,每个禁牧样地约为 0.33 hm²,每年放牧时间均为 5 月下旬至 9 月下旬。

1.3 样品采集与测定

2018 年 8 月底(即放牧试验的第 4 年),采集 9 个放牧样地和 3 个禁牧样地的地上生物量,每个样地均随机采集 6 个大小为 50×50 cm 的样方。生物量采集后使用圆状土钻采集 5 个 30 cm 的柱状土壤样品(晴天或雨后三天采集),并分层为 0—10 cm、10—20 cm 和 20—30 cm,土样经自然风干、碾磨、过筛后用于测定全氮、有效氮、全钾、速效钾、pH、全磷和有机质。各项指标根据标准方法进行测定^[15],其中土壤含水率使用烘干法测定、容重采用环刀法测定、全氮用凯氏定氮法测定、有效氮用碱解扩散法测定、全钾采用火焰分光光度计法测定、速效钾用乙酸铵浸提-火焰光度计法测定、pH 采用电位法测定、全磷采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定、有机质采用重铬酸钾氧化外加热法测定。

1.4 数据分析

数据均采用 Excel 2013 进行初步处理,用 SPSS 16.0 进行相关统计分析,采用双因素方差分析检验了放牧强度(禁牧、轻牧、中牧、重牧)与土层深度(0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm)对土壤含水率等理化性质的影响,采用单因素方差分析检验了放牧强度对植物地上生物量的影响,显著性水平设置为 0.05。作图均使用 SigmaPlot 12.5 软件。

2 结果

2.1 放牧强度对土壤物理性质的影响

土壤含水率仅受放牧强度的显著性影响,而对土壤深度以及放牧强度和土壤深度的交互效应均无显著性响应(表 1)。随着放牧强度的增加,土壤含水率在各土壤深度均呈现先上升后下降的趋势,除 20—30 cm 时重度放牧(HG)与禁牧(NG)不存在显著性差异外($P>0.05$),所有放牧处理(轻度放牧(LG)、中度放牧(MG)和 HG)在任意土壤深度均显著高于不放牧处理(NG, $P<0.05$),且大小均表现为 LG>MG>HG>NG(图 1)。而各放牧处理间(LG、MG 和 HG)均无显著性差异($P>0.05$)。土壤容重既受放牧强度的影响也受土壤深度的影响,而不受放牧强度和土壤深度交互效应的影响(表 1)。土壤容重在 0—20 cm 时表现为随着放牧强度的增

加而先上升后下降再上升的趋势,其大小为 LG>HG>MG>NG(图 1)。而在 20—30 cm 深度时表现为先增加后降低的趋势,大小为 LG>MG>HG>NG。土壤容重在任意深度的放牧强度间均无显著性差异($P>0.05$) (图 1)。

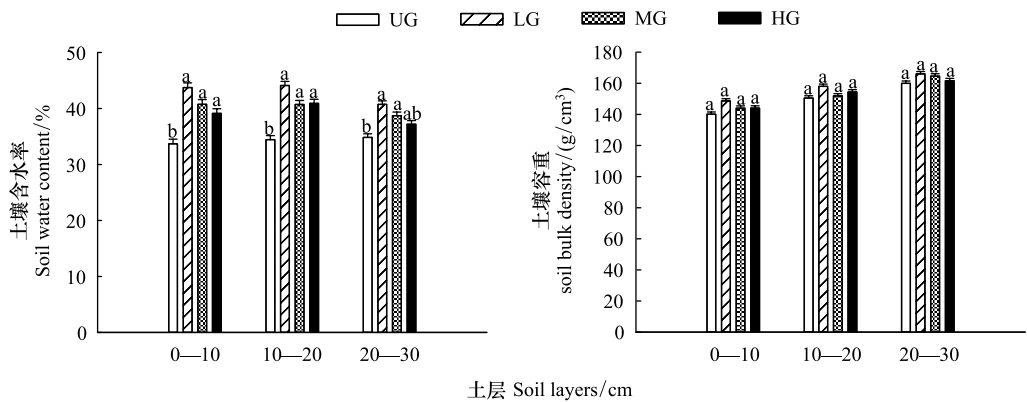


图 1 不同放牧强度下土壤含水率和容重的变化

Fig.1 Soil water content and bulk density in plots been grazed with different intensities

图中误差线表示标准误差,小写字母表示不同放牧强度间的差异显著性(a-b);NG: 禁牧 No grazing; LG: 轻度放牧 Light grazing; MG: 中度放牧 Moderate grazing; HG: 重度放牧 Heavy grazing

表 1 土壤理化性质对土壤深度和放牧强度的响应

Table 1 The differences in soil physicochemical properties among soil depth and grazing intensities

指标 Index		名称 Name		
		D	GI	D×GI
土壤含水率	<i>F</i>	2.55	15.85	0.5
Soil water content/%	<i>P</i>	0.08	<0.001	0.81
土壤容重	<i>F</i>	36.63	2.66	0.21
Soil Bulk density/(g/cm ³)	<i>P</i>	<0.001	0.05	0.97
土壤全氮	<i>F</i>	79.26	3.02	1.91
Soil Total N/(g/kg)	<i>P</i>	<0.001	0.03	0.08
土壤有效氮	<i>F</i>	43.22	14.83	1.02
Soil available N/(mg/kg)	<i>P</i>	<0.001	<0.001	0.42
土壤全钾	<i>F</i>	0.98	7.79	0.31
Soil Total K/(g/kg)	<i>P</i>	0.38	<0.001	0.93
土壤速效钾	<i>F</i>	34.49	4.92	0.29
Soil Available K/(mg/kg)	<i>P</i>	<0.001	<0.001	0.94
土壤 pH	<i>F</i>	120.25	7.24	0.28
Soil pH	<i>P</i>	<0.001	<0.001	0.95
土壤全磷	<i>F</i>	11.40	3.53	0.28
Soil Total P/(g/kg)	<i>P</i>	<0.001	0.02	0.95
土壤有机质	<i>F</i>	78.59	0.37	1.83
Soil Organic matter/(g/kg)	<i>P</i>	<0.001	0.77	0.09

D:深度 Depth;GI:放牧强度 Grazing intensities

2.2 放牧强度对土壤化学性质的影响

2.2.1 放牧强度对土壤全氮、有效氮的影响

土壤全氮主要受放牧强度和土壤深度的影响,而受其交互效应的影响较弱(表 1)。在不同放牧强度下,土壤全氮仅在 0—10 cm 土层呈显著性差异,在 10—30 cm 并无差异,但仍存在一定趋势。在 0—10 cm 土层,

随着放牧强度的增加呈现先增加后下降再增加的趋势,大小为 $HG > LG > NG > MG$ (图 2); 在 10—20 cm 土层,随着放牧强度的增加而增加,大小为 $HG > MG > LG > NG$ (图 2); 而在 20—30 cm 土层,呈现先下降后增加的趋势,大小为 $NG > HG > MG > LG$ (图 2)。且除 0—10 cm 时 MG 显著低于 LG 和 HG 外 ($P < 0.05$),各放牧处理在各土壤深度均无显著性差异 ($P > 0.05$)。土壤有效氮也受放牧强度和土壤深度的显著性影响,而不受放牧强度和土壤深度交互效应的影响(表 1)。土壤有效氮在各深度均呈现先上升再下降的趋势,在 0—20 cm 大小为 $MG > HG > LG > NG$ (图 2),而在 20—30 cm 大小为 $MG > LG > HG > NG$ (图 2)。且除 0—10 cm 深度时 MG 与 LG、HG 不存在显著性差异外 ($P > 0.05$),MG 与 NG、LG 和 HG 在任意土壤深度均差异显著 ($P < 0.05$),而 NG、LG 和 HG 间均不存在显著性差异 ($P > 0.05$)。

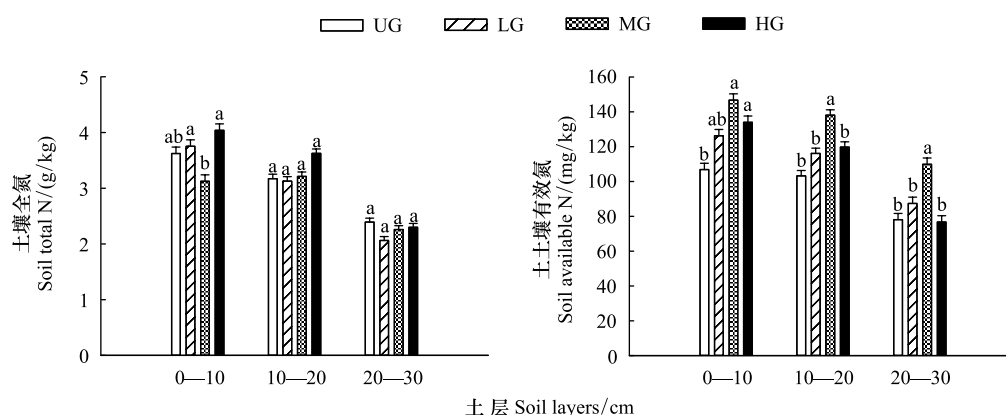


图 2 不同放牧强度对土壤全氮和有效氮的影响

Fig.2 Soil total N and available N in plots been grazed with different intensities

图中误差线表示标准误差,小写字母表示不同放牧强度间的差异显著性(a-b)

2.2.2 放牧强度对土壤全钾、速效钾的影响

土壤全钾仅对放牧强度存在显著性响应,对土壤深度以及放牧强度和土壤深度的交互效应无响应(表 1)。土壤全钾在不同深度下均随着放牧强度的增加呈现逐渐下降的趋势,大小为 $NG > LG > MG > HG$ (图 3)。其中 0—10 cm 时 NG 显著高于各放牧处理(LG、MG 和 HG, $P < 0.05$); 10—20 cm 时 NG 显著高于 HG ($P < 0.05$); 20—30 cm 时 HG 显著低于其它处理 ($P > 0.05$)。土壤速效钾受放牧强度和土壤深度的影响,而不受放牧强度和土壤深度交互效应的影响(表 1)。随着放牧强度的增加,土壤速效钾在各深度均呈现先上升后下降的趋势,大小为 $MG > HG > LG > NG$ (图 3)。在 0—10 cm 时各处理间均无显著性差异 ($P > 0.05$); 在 10—30 cm 时 MG 显著高于 NG ($P < 0.05$)。

2.2.3 放牧强度对土壤 pH、全磷、有机质的影响

土壤 pH 受放牧强度和土壤深度的影响,而不受放牧强度和土壤深度交互效应的影响(表 1)。随着放牧强度的增加,土壤 pH 在各深度均呈现先下降后上升的趋势,其大小均为 $NG > MG > HG > LG$ (图 4)。其中 0—10 cm 时 MG 显著高于 LG ($P < 0.05$); 10—20 cm 时 NG、MG 和 HG 分别显著高于 LG ($P < 0.05$); 20—30 cm 时各处理间均无显著差异 ($P > 0.05$)。土壤全磷也受放牧强度和土壤深度的影响,不受放牧强度和土壤深度交互效应的影响(表 1)。土壤全磷在 0—10 cm 和 20—30 cm 土层的变化趋势均为随着放牧强度的增加先下降后上升,大小均 $NG > LG > HG > MG$ (图 4); 而在 10—20 cm 时呈先增大后降低的趋势,大小为 $LG > HG > NG > MG$ (图 4)。土壤全磷在任意放牧处理和土壤深度均无显著性差异 ($P > 0.05$)。而土壤有机质仅对放牧强度有显著性响应,对土壤深度以及放牧强度和土壤深度的交互效应均无显著性响应(表 1)。土壤有机质在不同土层的变化趋势差异较大。在 0—10 cm 时随着放牧强度的增加先增大后降低再增大,大小为 $HG > LG > NG > MG$ (图 4); 在 10—20 cm 时随着放牧强度的增加而增大,大小为 $HG > MG > LG > NG$ (图 4); 而在 20—30 cm 时随着

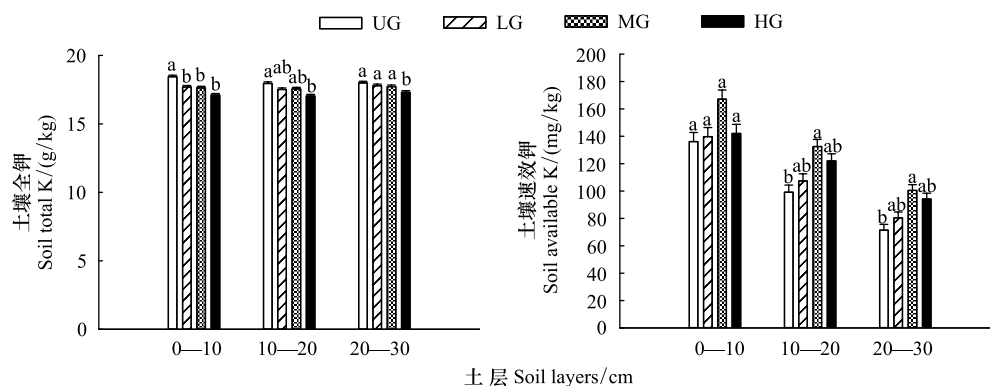


图3 土壤全钾、速效钾对不同放牧强度的响应

Fig.3 Soil total K and available K in plots been grazed with different intensities

图中误差线表示标准误差,小写字母表示不同放牧强度间的差异显著性(a-b)

放牧强度的增加先下降后增大再下降,大小为 NG>MG>LG>HG(图4)。且所有放牧处理在任意土壤深度均无显著性差异($P>0.05$)。

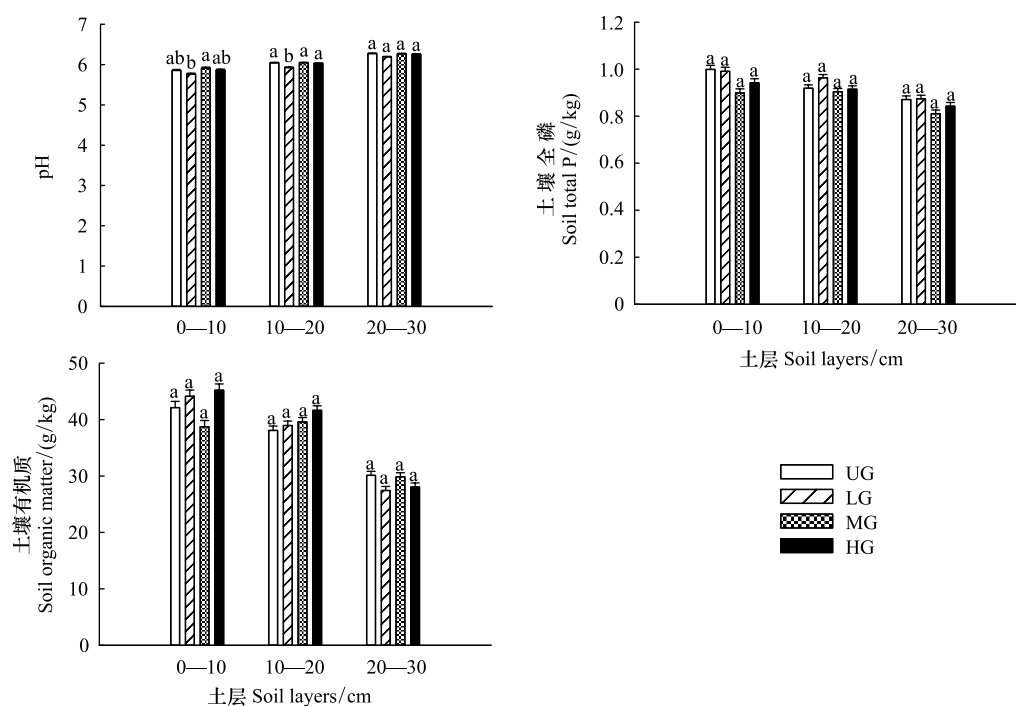


图4 不同放牧强度下土壤 pH、全磷、有机质的变化

Fig.4 Change of soil pH, total P and organic matter under different grazing intensities

图中误差线表示标准误差,小写字母表示不同放牧强度间的差异显著性(a-b)

2.3 放牧强度对植物地上生物量的影响

植物地上生物量随着放牧强度的增加而逐渐降低(图5),其中 NG 显著高于各放牧处理(LG、MG 和 HG, $P<0.05$),LG 显著高于 MG 和 HG ($P<0.05$),而 MG 和 HG 无显著性差异($P>0.05$)。

3 讨论

土壤含水率受到多方面因素的影响,其中放牧是影响草地土壤水分的重要因素之一^[9,19],本研究发现土壤含水率在放牧条件下均高于对照处理,可能在适度放牧条件下,动物踩踏扰动使得连续的土壤空隙减少,引起土壤水分扩散速率降低,从而增加了土壤的持水能力,造成放牧有利于土壤水分增加的现象^[20]。试验中还发现在放牧条件下,随着放牧强度的增加,土壤含水率逐渐下降,这一现象与土壤孔隙状况有关,特别是大孔隙分布显著影响着土壤含水率有关^[21]。当放牧强度增加时草食家畜对土壤的压实作用变强,导致土壤孔隙度降低,尤其是大孔隙的丧失,进而造成土壤含水率下降^[22]。土壤水分的损失很大程度也与地表的蒸发有关^[23],随着放牧强度的增大,地表植被盖度的不断降

低,地表温度上升,加剧土壤含水率的下降。土壤含水率不仅与土壤孔隙、地表蒸发有关,还与放牧强度增大后地上植被减小导致植物地下部分对水的吸收和利用增加有关^[24]。土壤容重是指单位容积原状土壤干重,反映土壤结构、透气性、透水性能以及保水能力的高低^[25]。研究发现随着放牧强度的增加,土壤的紧实度会增大,容重逐渐增加,且该变化主要出现在表层土壤^[26-27]。本研究中,放牧强度对土壤容重无显著性响应,表明土壤容重对放牧的响应存在一定的滞后效应,需要更长期的放牧试验才能引起土壤容重的显著性变化^[28]。

土壤氮是植物生长最重要的养分之一^[29],土壤中可利用氮主要与土壤的矿化作用、植物的吸收量和家畜排泄物量^[30]等有关,全氮通过矿化作用转化为有效氮,同时微生物将部分有效氮又固结到体内成为微生物量氮,在适当的时候可释放为有效氮,因此土壤中可利用氮主要由这部分组成^[31]。研究表明放牧家畜通过采食、踩踏、排泄等行为对土壤中氮含量有直接或间接地影响,且随着放牧强度增加土壤全氮含量降低^[32]。本试验土壤全氮、有效氮随着放牧强度的增加有逐渐增加的趋势,可能是放牧强度的增加带来家畜粪尿排泄量增加,同时家畜的踩实作用下,对植物造成机械损伤,加快凋落物的形成,加之对其具有压碎和浅埋作用,促进凋落物的分解^[33],从而导致土壤氮含量的增加,这也使得放牧家畜消耗的大部分植物养分又返回到土壤中,并随土层的加深呈下降趋势^[34]。

土壤中全钾、速效钾的含量易受到放牧强度、地理环境(温度、水分等)以及植物吸收的影响,放牧通过对土壤的践踏作用,导致土壤结构改变从而影响土壤对全钾和速效钾的缓冲能力^[35]。有研究表明放牧对土壤全钾、速效钾的影响很小^[36]。也有研究发现随着放牧强度的增加可以增加土壤全钾、速效钾含量^[34]。本研究中放牧强度对土壤全钾、速效钾含量存在一定的影响,其中放牧处理下的土壤全钾含量均低于围禁放牧,而速效钾含量则相反,由于放牧强度的增加,放牧家畜粪便的大量输入,大大增加了土壤速效钾的含量,且随着家畜的踩踏作用,促进了土壤中微生物的活性,进而使全钾的含量逐渐降低^[37]。草地植物的变化也会间接影响土壤养分有效组分含量,放牧家畜对植物的选择性采食、踩踏扰动等活动使植物凋落物、覆盖度、群落结构及地上生物量等发生变化,也是引起土壤养分变化的因素之一^[38]。

本研究中,土壤 pH 值随着放牧强度增加而升高,原因是放牧家畜的采食和践踏导致地表植物盖度降低,土壤水分蒸发加大,可溶性盐类随水分的蒸发积累于地表,导致土壤 pH 值增加。而土壤全磷含量主要受土壤类型、气候条件的影响,放牧对土壤磷的作用有降低和变化等报道^[39]。本试验中,随着放牧强度的增加,土壤中全磷的含量呈逐渐下降趋势,与宋洁等^[40]研究结果一致,主要是在放牧条件下家畜的频繁采食使磷从系统中的输出增加,引起土壤中全磷向有效成分的转移量增大,通过植物吸收后转向系统外输出,从而导致土壤

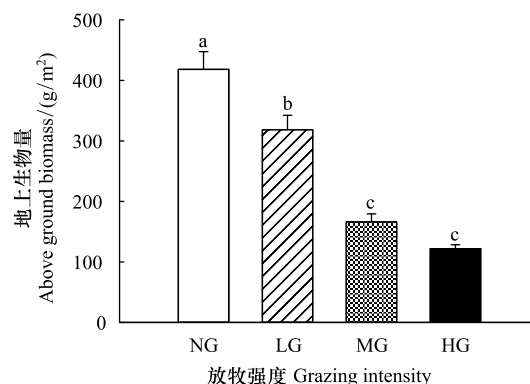


图5 不同放牧强度对植物地上生物量的影响

Fig.5 The above ground biomass under different grazing intensities

图中误差线表示标准误差,小写字母表示不同放牧强度间的差异显著性(a-c)

全磷含量减少^[35]。土壤有机质是陆地生物圈的主要成分之一,是指示土壤健康的关键指标^[41]。土壤有机质是最大的有机碳库,占整个系统有机碳的 90%左右,且土壤有机质是植物养分元素循环的中心,影响水分关系和土壤被侵蚀的潜力,是土壤结构中的一个关键因子^[42]。有机质的动态转化过程十分复杂,受很多因素的影响,如温度、降水、植被、土壤和放牧管理措施等^[43]。放牧强度是草地管理的重要措施,但不同放牧强度如何影响草地碳循环和生态分布仍不清楚。当前的研究报道表明放牧强度对土壤有机质的影响有 3 类结果:即无影响、增加和降低。有研究表明放牧对土壤有机质含量没有影响^[44]。本研究中,在放牧条件下 0—20 cm 土层有机质含量比禁牧条件下有所增加,与周国利^[45]等研究一致,可能原因是一方面家畜采食导致有机物向地下转移,提高了植物的根冠比;另一方面,植被盖度的降低增加了草地的采光面积,光合作用增大,使土壤有机质积累^[46]。当草地土壤本身有机质含量较低且土壤的缓冲性较弱时,放牧也会引起土壤有机质降低,特别是在生态环境相对脆弱的半干旱和干旱草地^[47]。

放牧在短期内会明显影响植物群落,许多研究均表明随着放牧强度的增加,植物地上生物量逐渐降低,与本研究结果一致,主要是随着放牧强度增加,放牧家畜对植物地上部分的大量啃食,特别是对地上植被群落中优势种的采食^[48],大面积的叶面损失抑制这类植物的光合作用,从而降低地上生物量的补偿,最终导致植物地上生物量下降^[49]。高寒草地作为青藏高原地区最主要的生态类型,其生物多样性和草地生产力都受到放牧干扰的极大影响^[50]。地上和地下成分通过草地生态系统中的养分循环联系在一起,它们的相互作用和反馈影响着草地生态系统的过程和功能。赵生龙等研究发现家畜对土壤微生物群落的改变会影响土壤养分的周转率和根系的养分吸收,进而影响植物群落和生产力^[51]。

4 结论

(1) 土壤含水率在放牧处理显著高于禁牧,且在放牧处理中随放牧强度的增加呈降低趋势;土壤容重对不同放牧强度无显著性响应,仅见放牧处理高于禁牧的趋势。

(2) 全磷和有机质对放牧强度均无显著性响应;对土壤全氮和 pH 的影响主要出现在表层 0—20 cm,其中全氮为 LG 和 HG 分别显著高于 MG 处理,pH 为 MG 显著高于 LG 处理;土壤全钾呈禁牧显著高于放牧处理的现象,并随着土壤深度的增加响应减弱;而土壤有效氮和速效钾响应显著,均呈 MG 处理显著高于 NG 的现象。

(3) 植物地上生物量呈禁牧处理显著高于放牧处理的现象,且随着放牧强度的增加呈逐步下降趋势。

参考文献 (References):

- [1] 张仁平,冯琦胜,郭靖,尚振艳,梁天刚. 2000—2012 年中国北方草地 NDVI 和气候因子时空变化. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1403-1412.
- [2] 韩士杰,袁志友,方运霆,王智平. 中国北方森林和草地生态系统碳氮耦合循环与碳源汇效应研究. 北京林业大学学报, 2016, 38(12): 128-130.
- [3] 通乐嘎,赵斌,吴玲敏. 放牧对内蒙古荒漠草原土壤理化性质和有机碳组分的影响. 生态环境学报, 2018, 27(9): 1602-1609.
- [4] 陈文年,陈发军. 青藏高原高山草甸群落生物量及多样性对氮素添加的响应. 草业科学, 2017, 34(5): 1082-1089.
- [5] 高英志,韩兴国,汪诗平. 放牧对草原土壤的影响. 生态学报, 2004, 24(4): 790-797.
- [6] 侯扶江,宁娇,冯琦胜. 草原放牧系统的类型与生产力. 草业科学, 2016, 33(3): 353-367.
- [7] 李永强,李治国,董智,王忠武,屈志强,韩国栋. 内蒙古荒漠草原放牧强度对风沙通量和沉积物粒径的影响. 植物生态学报, 2016, 40(10): 1003-1014.
- [8] Mipam T D, Chen S Y, Liu J Q, Mieke G, Tian L M. Short-term yak-grazing alters plant-soil stoichiometric relations in an alpine meadow on the eastern Tibetan Plateau. Plant and Soil, 2021, 458(1-2): 125-137.
- [9] Mipam T D, Zhong L L, Liu J Q, Mieke G, Tian L M. Productive overcompensation of alpine meadows in response to yak grazing in the eastern Qinghai-Tibet Plateau. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 925.
- [10] 段敏杰,高清竹,万运帆,李玉娥,郭亚奇,旦久罗布,洛桑加措. 放牧对藏北紫花针茅高寒草原植物群落特征的影响. 生态学报, 2010, 30(14): 3892-3900.
- [11] 郑伟,董全民,李世雄,李红涛,刘玉,杨时海. 放牧强度对环青海湖高寒草原群落物种多样性和生产力的影响. 草地学报, 2012, 20(6): 1033-1038.
- [12] Zhou G Y, Zhou X H, He Y G, Shao J J, Hu Z H, Liu R Q, Zhou H M, Hosseinibai S. Grazing intensity significantly affects belowground carbon and nitrogen cycling in grassland ecosystems: a meta-analysis. Global Change Biology, 2017, 23(3): 1167-1179.

- [13] 侯扶江, 杨中艺. 放牧对草地的作用. 生态学报, 2006, 26(1): 244-264.
- [14] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 代勇, 施建军, 王启基. 江河源区披碱草和星星草混播草地土壤物理性状对牦牛放牧强度的响应. 草业科学, 2005, 22(6): 65-70.
- [15] 苏淑兰, 肖建设, 裴青生, 李晓东, 苏文将. 放牧对高寒草地植被生长的影响及其生物量预测模型构建. 草业科学, 2019, 36(1): 20-26.
- [16] 罗愆, 柴林荣, 常生华, 程云湘, 侯扶江. 我国青藏高原地区牦牛草地放牧系统管理及优化. 草业科学, 2017, 34(4): 881-891.
- [17] 张亮, 韩静艳, 王道涵, 王凯, 蒙洋, 邱月, 张学耀, 布仁巴雅尔, 杜森云, 张光明, 闫彩凤, 陈全胜. 草地生态系统土壤呼吸对放牧干扰的响应研究进展. 生态科学, 2017, 36(2): 201-207.
- [18] 鲍士旦, 2000. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 22-270.
- [19] 宝音, 王忠武, 阿拉塔. 放牧对草地土壤水分的影响. 当代畜禽养殖业, 2009, (5): 11-13.
- [20] 陈政妃, 曾辉, 王钧. 青藏高原高寒草地土壤水分生态特征研究现状. 中国草地学报, 2015, 37(2): 94-101.
- [21] 徐冉, 张圣微, 朱仲元, 庞文台. 放牧对典型草原区土壤水分及其对降雨响应规律的影响. 中国草地学报, 2019, 41(3): 59-66.
- [22] 牛海山, 李香真, 陈佐忠. 放牧率对土壤饱和导水率及其空间变异的影响. 草地学报, 1999, 7(3): 211-216.
- [23] Abril A, Bucher E H. The effects of overgrazing on soil microbial community and fertility in the Chaco dry savannas of Argentina. Applied Soil Ecology, 1999, 12(2): 159-167.
- [24] 崔猛, 金武鹏, 骆岩, 王新宇, 高英志. 放牧对草原地下根系生产和根系动态影响的研究进展. 饲料研究, 2020, 43(4): 102-106.
- [25] Seithheko E M, Allen B L, Wester D B. Effect of three grazing intensities on selected soil properties in semi-arid west Texas. African Journal of Range & Forage Science, 1993, 10(2): 82-85.
- [26] Tate K W, Dudley D M, McDougald N K, George M R. Effect of canopy and grazing on soil bulk density. Journal of range management, 2004, 57(4): 411-417.
- [27] Hiernaux P, Biélers C L, Valentin C, Bationo A, Fernández-Rivera S. Effects of livestock grazing on physical and chemical properties of sandy soils in Sahelian rangelands. Journal of Arid Environments, 1999, 41(3): 231-245.
- [28] 祝景彬, 贺慧丹, 李红琴, 杨永胜, 未亚西, 罗谨, 李英年. 牧压梯度下高寒草甸土壤容重及持水能力的变化特征. 水土保持研究, 2018, 25(5): 66-71.
- [29] 林丽, 张德罡, 曹广民, 欧阳经政, 柯浔, 刘淑丽, 张法伟, 李以康, 郭小伟. 放牧强度对高寒嵩草草甸土壤养分特性的影响. 生态学报, 2016, 36(15): 4664-4671.
- [30] 杜薇, 孙楠, 周古月, 武山梅, 聂成, 李悦, 刘颖慧. 温湿度对不同管理方式高寒草甸土壤氮矿化的影响. 草原与草坪, 2018, 38(4): 1-11.
- [31] 王雪, 郭雪莲, 郑荣波, 王山峰, 刘双圆, 田伟. 放牧对滇西北高原纳帕海沼泽化草甸湿地土壤氮转化的影响. 生态学报, 2018, 38(7): 2308-2314.
- [32] 李强, 宋彦涛, 周道玮, 王敏玲, 陈笑莹. 围封和放牧对退化盐碱草地土壤碳、氮、磷储量的影响. 草业科学, 2014, 31(10): 1811-1819.
- [33] 陈蔚, 刘任涛, 常海涛, 张安宁. 放牧对草地枯落物分解和土壤动物群落及其相互关系的影响. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3482-3491.
- [34] 史印涛, 关宇, 张丞宇, 王明君, 崔国文. 放牧强度对小叶章草甸土壤理化性状的影响. 中国草地学报, 2013, 35(2): 83-88.
- [35] 戎郁萍, 韩建国, 王培, 毛培胜. 放牧强度对草地土壤理化性质的影响. 中国草地, 2001, 23(4): 41-47.
- [36] 张凤承, 史印涛, 李洪影, 王明君, 崔国文. 放牧强度对土壤物理性状和速效养分的影响. 草原与草坪, 2013, 33(1): 5-10.
- [37] Wang C T, Long R J, Wang Q L, Liu W, Jing Z C, Zhang L. Fertilization and litter effects on the functional group biomass, species diversity of plants, microbial biomass, and enzyme activity of two alpine meadow communities. Plant and Soil, 2010, 331(1): 377-389.
- [38] 马建国, 侯扶江, Bowatte S. 青藏高原高寒草甸有毒植物对土壤理化性质和土壤微生物丰度的影响. 草业科学, 2019, 36(12): 3033-3040.
- [39] 高承芳, 张晓佩, 李兆龙. 放牧对土壤理化性状及植被多样性的影响. 中国农学通报, 2020, 36(8): 98-104.
- [40] 宋洁, 王凤歌, 温璐, 王立新, 李金雷, 武胜男, 徐智超. 放牧对温带典型草原植物物种多样性及土壤养分的影响. 草地学报, 2019, 27(6): 1694-1701.
- [41] 孙宗玖, 朱进忠, 张鲜花, 郑伟, 靳瑰丽, 古伟容. 放牧强度对昭苏草甸草原土壤有机质及速效养分的影响. 草业科学, 2013, 30(7): 987-993.
- [42] 杨树晶, 唐祯勇, 赵磊, 如学. 放牧强度对川西北高寒草甸土壤理化性质的影响. 草学, 2019(1): 57-61.
- [43] 阿木日门德, 张卫青, 满都呼, 李晓佳, 赛西雅拉图, 春风, 张智尧, 乌日查呼. 典型草原定居牧户放牧对土壤有机质的影响. 安徽农学通报, 2019, 25(1): 89-91, 105-105.
- [44] 李香真, 陈佐忠. 不同放牧率对草原植物与土壤 C、N、P 含量的影响. 草地学报, 1998(2): 90-98.
- [45] 周国利, 程云湘, 马青青, 申波, 曲久, 田富, 常生华. 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. 草业科学, 2019, 36(04): 1022-1031, 918-918.
- [46] 张健文. 牦牛和藏羊放牧及模拟践踏对天祝高寒草甸凋落物化学计量特征的影响. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [47] 张法伟, 李英年, 汪诗平, 赵新全. 青藏高原高寒草甸土壤有机质、全氮和全磷含量对不同土地利用格局的响应. 中国农业气象, 2009, 30(3): 323-326, 334-334.
- [48] 梁茂伟, 梁存柱, 白雪, 苗百岭, 王英舜, 包桂荣, 王譔. 一年生植物功能群对放牧草原生物量和土壤呼吸的影响. 草业科学, 2016, 33(12): 2407-2417.
- [49] 赵丽娅, 钟韩珊, 赵美玉, 张劲. 围封和放牧对科尔沁沙地群落物种多样性与地上生物量的影响. 生态环境学报, 2018, 27(10): 1783-1790.
- [50] 高丽楠. 放牧对川西北高寒草甸植被生物量及土壤氮素的影响. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 226-231.
- [51] 赵生龙, 左小安, 张铜会, 吕朋, 岳平, 张晶. 乌拉特荒漠草原群落物种多样性和生物量关系对放牧强度的响应. 干旱区研究, 2020, 37(1): 168-177.