

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2024.05.012

引用格式:吕卫东,董全民,孙彩彩,等.牦牛和藏羊放牧对青藏高原高寒草地植物群落氮库的影响[J].草地学报,2024,32(5):1420—1428

LYU Wei-dong, DONG Quan-min, SUN Cai-cai, et al. Effects of Yak and Tibetan Sheep Grazing on Nitrogen Pool of Plant Communities of Alpine Grassland in the Qinghai Tibet Plateau[J]. Acta Agrestia Sinica, 2024, 32(5): 1420—1428

牦牛和藏羊放牧对青藏高原高寒草地植物群落氮库的影响

吕卫东,董全民,孙彩彩,刘文亭,冯斌,刘玉祯,张振祥,杨晓霞*

(青海大学畜牧兽医学院,青海省高寒草地适应性管理重点实验室,三江源区高寒草地生态教育部重点实验室,青海西宁 810016)

摘要:放牧是青藏高原高寒草地最主要的利用方式,牦牛和藏羊是青藏高原最常见的放牧家畜,家畜通过采食植物地上部分会使地上生物量减少,进而对植物群落氮库产生影响。本研究依托青海省高寒草地一家畜系统适应性管理技术平台的放牧试验样地,探讨不同家畜类型放牧对高寒草地植物群落氮库的影响。研究结果表明:未放牧处理下高寒草地地上生物量为 $180.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,藏羊单独放牧显著降低了植物群落地上生物量。对未放牧处理下不同功能群氮素含量的研究发现:豆科植物($26.4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)>杂类草($17.0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)>禾草($12.9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)≈莎草($11.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。放牧显著增加了禾草和莎草氮含量,对杂类草氮含量影响较小。放牧对群落水平植物地上部分氮含量的影响变化小于对各功能群的变化影响,因为植物群落具有稳定性。当高寒草地植物群落处于放牧压力下,会从土壤中获取更多的氮以维持生长,放牧会进一步加剧青藏高原高寒草地植物生长的氮限制。

关键词:放牧;高寒草地;植物群落;功能群;氮库

中图分类号:S821.4+3

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2024)05-1420-09

Effects of Yak and Tibetan Sheep Grazing on Nitrogen Pool of Plant Communities of Alpine Grassland in the Qinghai Tibet Plateau

LYU Wei-dong, DONG Quan-min, SUN Cai-cai, LIU Weng-ting, FENG Bin, LIU Yu-zhen, ZHANG Zhen-xiang, YANG Xiao-xia*

(Qinghai Academy of Animal and Veterinary Science, Qinghai Provincial Key Laboratory of Adaptive Management on Alpine Grassland, Key Laboratory of Alpine Grassland Ecosystem in the Three-River-Source (Qinghai University), Ministry of Education, Xining, Qinghai Province 810016, China)

Abstract: Grazing is the predominant use way of alpine meadows in the Qinghai-Tibet Plateau, with yaks and Tibetan sheep being the most common grazers. These livestock consume the aboveground portions of plants, leading to reduction in aboveground biomass and subsequently impact on plant community nitrogen pools. This study utilized grazing experimental sites within the Alpine-Grassland Livestock Adaptive Management Technology Platform to investigate the effects of different livestock types on nitrogen pools of alpine grassland communities. The results indicated that under no-grazing condition, alpine grassland aboveground biomass was $180.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. Tibetan sheep grazing significantly decreased the aboveground biomass of plant communities. In ungrazed treatment, nitrogen content among functional groups was the following order: Legumes ($26.4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) > Forbs ($17.0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) > Grass ($12.9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) ≈ Sedge ($11.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$). Grazing significantly increased nitrogen content in grass and sedge, while had a smaller

收稿日期:2023-12-22;修回日期:2024-03-11

基金项目:国家自然科学基金联合基金项目(U20A2007);国家自然基金地区科学基金项目(32160343);2021 年度“西部之光”人才培养计划项目资助

作者简介:吕卫东(1997-),男,汉族,甘肃静宁人,硕士研究生,主要从事放牧草地生态学研究,E-mail:1913612253@qq.com; * 通信作者
Author for correspondence, E-mail:xyyang@qhu.edu.cn

effect on forbs. The influence of grazing on nitrogen content of the community level was less pronounced than on individual functional groups, due to the inherent stability of plant communities. When subjected to grazing pressure, alpine grassland plant communities obtained more nitrogen from the soil to sustain growth, and grazing further exacerbated nitrogen limitation in these high-elevation ecosystems.

Key words: Grazing; Alpine grassland; Plant community; Functional group; Nitrogen pool

草地生态系统作为陆地最大的生态系统之一,其面积约为全球陆地总面积的24%^[1]。我国是一个草原大国,天然草地面积为 $4 \times 10^8 \text{ hm}^2$,约占国土总面积的41%^[2]。青藏高原是典型的高寒地区,面积 $2.5 \times 10^6 \text{ km}^2$,平均海拔超过4 000 m,因易受气候影响而被称为“全球气候火炉”和“全球变化预警区”^[3]。高寒草地是青藏高原上主要的植被类型,提供了各种生态系统功能,例如养分循环、固碳、生物多样性保护等^[4]。放牧是青藏高原高寒草地最主要利用方式之一,家畜可通过采食和践踏对高寒草地植物产生一定的影响。牦牛和藏羊是青藏高原高寒草地最常见的放牧家畜,两者采食习性不同,对草地造成的影响也存在差异。牛一般情况下采食较多的禾草和莎草,而羊更偏向于采食豆科植物和杂类草来满足自身的营养需求,牛、羊采食后的留茬高度也存在差异,羊采食的留茬高度约为2~3 cm,牛采食的留茬高度约为5~6 cm,因此单种家畜放牧时容易造成采食不均的现象。羊单独放牧时对植物采食过低不利于草地恢复,牛单独放牧时采食不充分对草地利用效率较低^[5-6]。

植物氮库是植物生物量和植物氮含量的乘积,表示植物从土壤中吸收、利用氮素的能力。植物氮库含量由植物氮含量和植物生物量共同决定,会随着生物量和氮含量的改变而发生相应的变化^[7],王森等^[8]研究发现,植物氮库与植物生物量呈显著正相关关系而与植物体元素含量无显著关系,外界因素对氮库的影响主要是通过影响植物生物量造成的。放牧家畜可通过采食对植物氮库产生影响。有学者对不同放牧方式下祁连山地区高寒草甸研究表明,禁牧处理下的植物氮库相比于连续放牧显著增加,而根系氮库则在划区轮牧处理下最高^[9-11]。对西藏地区嵩草草甸的研究表明:相比于放牧处理,禁牧三年后植物群落地上部分氮库增加了29.7%^[12]。Xiong等^[13]的研究结果也表明围封之后高寒草地生态系统植物氮库显著增加。禁牧处理下植物氮库显著增加是因为禁牧保证了牧草再生,增强了地上植物群落的光和能力,促进了地上、地下植物群落的干物质积累能力^[14],而放牧对植物地上部分的移除则会导致地上植物氮库的减少。

按照功能群可将植物群落分为禾草、莎草、豆科植物和杂类草,由于不同功能群植物生物量、氮含量不同,氮库也存在差异。对不同功能群植物氮含量研究表明,豆科植物氮含量显著高于其他功能群,莎草、禾草氮含量相近且低于杂类草氮含量^[15]。牛、羊由于植物养分含量的不同对不同功能群的植物做出选择,牛偏向于对禾草的采食,羊较喜欢采食含氮量较高的豆科植物和杂类草^[16]。以往的研究多集中于单一畜种不同放牧方式对植物群落氮库的研究,不同家畜组合对植物群落及不同功能群氮库的影响的研究较少。本试验研究了牦牛、藏羊单独放牧和牦牛藏羊以不同比例混合放牧对植物群落氮库的影响,可以为该区域今后的放牧或者草地管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究依托青海省高寒草地-家畜系统适应性管理技术平台(<https://ghcd.agiot.cn/>)进行。平台位于青海省海北藏族自治州海晏县西海镇(36°92' N, 100°93' E),海拔高度3 100 m,年均温1.4°C,年降水量为330~370 mm,气候类型属大陆高原寒温带季风气候。研究区域属草甸化草原,土壤类型为高山草甸土。主要优势物种有:禾本科植物紫花针茅(*Stipa purpurea*)和赖草(*Leymus secalinus*)、莎草科植物矮生嵩草(*Carex alatauensis*)以及蔷薇科植物星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)。

1.2 试验设计

放牧试验样地建立于2014年,共设置了6个处理,包括5个放牧处理和1个不放牧对照处理(表1),5个放牧处理包括2个家畜单独放牧处理,即藏羊单独放牧(Only Tibetan sheep grazing, SG)和牦牛单独放牧(Only yak grazing, YG),以及3个家畜混合放牧处理,即牦牛藏羊分别以1:2, 1:4和1:6混合放牧(Mixed grazing with ratio of yak to Tibetan sheep as 1:2, 1:4 and 1:6, MG1:2, MG1:4 and MG1:6)。每一个放牧处理设置3个

重复,共18个放牧小区。5个放牧处理的放牧强度一致,均为中度放牧,即50%~55%的牧草利用率。每年放牧时间从6月开始,至10月中旬结束,每月放牧时间为10天,每月其余时间所有试验家畜在样地以外的临近草地进行放牧,以保证对试验样地牧

草50%~55%的采食率,放牧期间不补饲,每两天饮水一次以保障家畜水分需求^[15-16]。放牧强度为3.86 sheep·ha⁻¹。

本研究中所用牦牛为18月龄,藏羊为1岁龄,根据其采食量,1头牦牛为3个羊单位^[15]。

表1 放牧试验设计

Table 1 Design of the grazing experiment

处理 Treatment	牦牛数量 Number of yaks/head	藏羊数量 Number of sheep/head	小区面积 Area of plot/hm ²	小区重复个数 Number of plots
YG	1	0	0.26	3
SG	0	2	0.17	3
MG1:2	1	2	0.43	3
MG1:4	1	4	0.6	3
MG1:6	1	6	0.76	3
CK	0	0	0.05	3

注:YG,牦牛单独放牧;SG,藏羊单独放牧,MG1:2,牦牛藏羊1:2混合放牧;MG1:4,牦牛藏羊1:4混合放牧;MG1:6,牦牛藏羊1:6混合放牧;CK,不放牧

Note: YG, Only yak grazing; SG, Only Tibetan sheep grazing, MG1:2, Mixed grazing with ratio of yak to Tibetan sheep as 1:2, MG1:4, Mixed grazing with ratio of yak to Tibetan sheep as 1:4, MG1:6, Mixed grazing with ratio of yak to Tibetan sheep as 1:6, CK, No Grazing

1.3 植物样品采集和测定方法

本研究的采样于2022年8月进行。

1.3.1 植物群落地上生物量和地下生物量采集及其测定 在每个处理下的每个重复小区设置3个0.5 m×0.5 m的样方,每个将样方内植物划分为四个功能群:禾草、莎草、豆科植物和杂类草。齐地部分功能群刈割植物地上部分杀青后于65℃下烘干至恒重并称量后,用以计算单位面积内功能群水平和群落水平的地上生物量。

在同一样方位置,以直径7 cm的根钻,以0~10 cm,10~20 cm和20~30 cm,分层取样,每层3钻土样。将每个样方同一层次的3个土样混合后进行根系清洗、烘干和称重后,计算单位面积内0~30 cm土层的地下生物量。

1.3.2 植物氮含量测定 称量后的植物地上样品和地下根系以球磨仪MM400粉碎后,过200目筛,用元素分析仪(FLASHAMART)测定氮含量。为获得功能群水平和群落水平植物氮含量,称重后的植物地上样品分为两份,其中一份以功能群水平进行粉碎和测定,另外一份将四个功能群的样品混合后进行粉碎和测定,得到群落水平植物氮含量。

1.3.3 植物氮库(N_v)的计算

$$N_v = B \times N_f / 1000$$

式中 N_v 、 B 和 N_f 分别表示植物氮库($g \cdot m^{-2}$)、生物量($g \cdot m^{-2}$)和氮含量($mg \cdot g^{-1}$)。

1.4 数据分析

所有数据均经过正态性和方差齐性检验,用单

因素方差分析和Tukey多重比较来确定不同放牧方式之间植物生物量、植物氮含量、地上地下生物量比值、植物氮库、地上地下植物氮库比值的差异,在 $P \leq 0.05$ 的水平上评估显著差异。所有统计分析均在R4.2.2中完成,统计图形在SigmaPlot 14.0中完成。

2 结果与分析

2.1 不同放牧方式下高寒草地植物群落和功能群生物量

未放牧处理下,高寒草地植物群落地上现存生物量为180.0 g·m⁻²(表2),SG显著降低了植物群落地上生物量,地上现存生物量为108.4 g·m⁻²($P < 0.05$),YG和3个混合放牧处理对植物群落地上现存生物量无显著影响。未放牧处理下,高寒草地植物群落地下生物量为1707.5 g·m⁻²,SG显著增加了植物群落地下生物量(1872 g·m⁻², $P < 0.05$),而MG1:4和MG1:6显著降低了植物群落地下生物量(1034 g·m⁻²和1134 g·m⁻², $P < 0.05$)。

高寒草地群落总生物量为1815 g·m⁻²,各放牧处理对植物群落总生物量无显著影响(表2),但放牧处理影响到了生物量在地上和地下间的分配(图1)。未放牧处理下,地上地下生物量比值为0.121,地下生物量在总生物量中的占比为90.1%,SG处理下地上地下生物量比值和地下生物量在总生物量中的占比分别为0.064和94.5%,即SG促进了光合产物向地下分配。

表2 放牧处理下高寒草地植物群落和功能群生物量

Table 2 Biomass of plant communities and functional groups in alpine grassland under grazing treatments

单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$

	CK	SG	YG	MG1:2	MG1:4	MG1:6
群落 Community						
地上生物量 Aboveground biomass	180.0±11.37 ^a	108.4±6.03 ^b	182.5±19.16 ^a	168.6±14.20 ^a	158.6±14.11 ^a	188.5±15.18 ^a
地下生物量 Belowground biomass	1 708±289.62 ^{ab}	1 872±226.96 ^a	1 722±267.83 ^{ab}	1 298±111.57 ^{ab}	1 075±152.04 ^b	1 134±171.80 ^b
总生物量 Total biomass	1 887±291.15 ^a	1 980±227.82 ^a	1 904±265.46 ^a	1 467±120.91 ^a	1 841±260.52 ^a	1 817±268.56 ^a
功能群 Function community						
禾草 Grass	51.1±9.31 ^a	10.7±2.38 ^b	11.8±2.88 ^b	2.2±0.48 ^b	3.9±0.84 ^b	13.6±5.09 ^b
莎草 Sedge	81.5±7.86 ^a	37.7±5.09 ^{bc}	85.3±9.33 ^a	55.4±7.77 ^b	33.5±4.37 ^c	28.8±6.42 ^c
豆科植物 Legume	8.3±2.56 ^a	3.1±1.00 ^b	5.0±1.53 ^{ab}	5.0±1.05 ^{ab}	3.1±0.86 ^b	5.7±1.80 ^{ab}
杂类草 Forb	39.1±5.29 ^d	56.9±5.81 ^{cd}	80.3±11.92 ^{bc}	106.0±14.23 ^{ab}	118.1±13.6 ^a	140.4±14.9 ^a

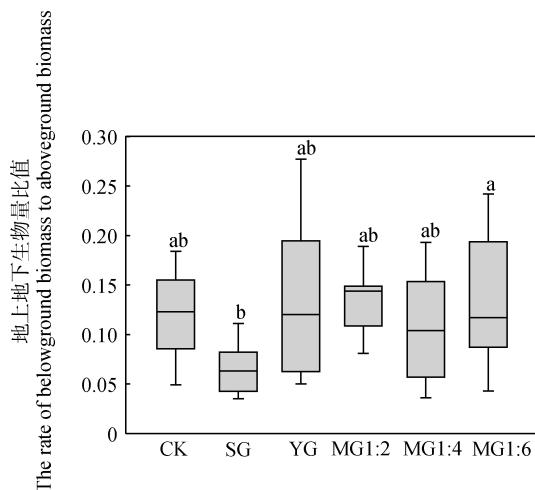
注: 不同小写字母表示同一指标在不同放牧处理间差异显著, $P<0.05$, 下同Note: Different lowercase letters represent significant differences in the same index between different grazing treatments, with $P<0.05$, the same as below

图1 放牧对植物生物量在地面上地下间分配的影响

Fig. 1 The effects of grazing on the allocation of plant biomass between aboveground and belowground

就功能群而言,未放牧处理下,禾草、莎草、豆科植物和杂类草地上生物量分别为 $51.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, $81.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, $8.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, $39.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,在群落生物量中的占比分别为: 28.4%, 45.3%, 4.7% 和 21.7%。作为家畜喜食的牧草,禾草和莎草的生物量及其在群落中的占比在各放牧处理均显著降低(表2和图2),其中禾草在 MG1:2 和 MG1:4 处理下降幅度最大,而莎草则在 SG、MG1:4 和 MG1:6 下降低幅度最大。各放牧处理下,豆科生物量及其在群落中占比均降低,而杂类草生物量及其在群落中占比均显著增加。

2.2 不同放牧方式下高寒草地植物群落和功能群氮含量

未放牧处理下,高寒草地植物群落地上部分氮含量为 $16.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,3个混合放牧处理均显著增加了植物群落地上氮含量,尤其是在 MG1:4 下,氮含量增加了 11%,2 个单独放牧处理则没有影响(表3)。相较于地上部分,高寒草地植物地下部分氮含量较低,未放牧处理下,植物地下部分氮含量为 $9.3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,除 YG 和 MG1:4 以外,其他放牧处理均显著降低了地下部分氮含量(表2),降幅为 8%~13%。

从表3可知,各功能群植物地上部分氮含量差异显著,未放牧处理下,豆科植物氮含量最高,达到 $26.4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,杂类草氮含量次之,禾草和莎草氮含量相近且最低,豆科植物氮含量约是禾草和莎草氮含量的 2 倍。各放牧处理均增加了禾草和莎草的氮含量,禾草氮含量在放牧处理下增加了 19.6%~31.4%,其中在 YG 和 MG1:4 下增加幅度最大,SG 和 MG1:6 下增加幅度最小;莎草氮含量在放牧处理下增加了 17.7%~63.5%,其中在 MG1:6 下增加幅度最大,SG 下增加幅度最小;对于豆科植物,除 MG1:6 外,其余处理降低了豆科植物氮含量,在 MG1:6 下增加了 5.5%,在其余放牧处理下降低了 11.9%~23.4%,其中在 MG1:2 下降低最多;除 YG 降低了杂类草氮含量(降低 11.9%)以外,其余放牧处理对杂类草氮含量没有影响。

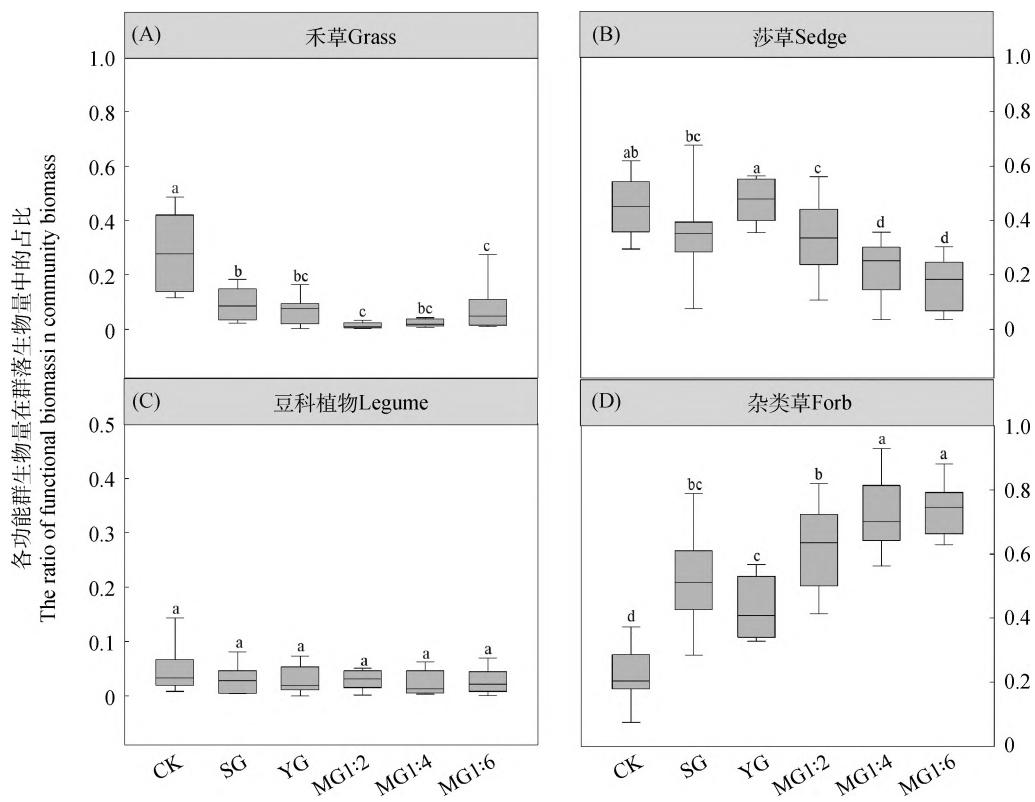


图2 放牧对各功能群在群落中占比的影响

Fig. 2 The effects of grazing on the proportion of each functional group in the plant community

表3 不同放牧处理下高寒草地植物群落和功能群氮含量

Table 3 Nitrogen content of plant communities and functional groups in alpine grassland under different grazing treatments

单位: $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

	CK	SG	YG	MG1:2	MG1:4	MG1:6
群落 Community						
地上 Aboveground	16.7 \pm 0.01 ^d	16.9 \pm 0.13 ^{cd}	16.7 \pm 0.06 ^d	17.2 \pm 0.07 ^c	18.5 \pm 0.11 ^a	17.6 \pm 0.09 ^b
地下 Belowground	9.3 \pm 0.40 ^a	8.6 \pm 0.19 ^{bcd}	9.0 \pm 0.08 ^{ab}	8.1 \pm 0.11 ^d	8.8 \pm 0.15 ^{abc}	8.3 \pm 0.09 ^{cd}
功能群 Function Community						
禾草 Grass	12.9 \pm 0.23 ^{cd}	15.5 \pm 0.24 ^{bc}	17.0 \pm 0.28 ^{aB}	16.9 \pm 0.05 ^{aB}	16.7 \pm 0.06 ^{aBC}	15.5 \pm 0.30 ^{bD}
莎草 Sedge	11.8 \pm 0.08 ^{cd}	13.8 \pm 0.30 ^{dD}	14.5 \pm 0.22 ^{cd}	14.6 \pm 0.14 ^{cC}	16.2 \pm 0.23 ^{bC}	19.2 \pm 0.12 ^{aB}
豆科植物 Legume	26.4 \pm 0.17 ^{aA}	21.8 \pm 0.11 ^{dA}	22.1 \pm 0.14 ^{dA}	20.2 \pm 0.27 ^{eA}	23.3 \pm 0.22 ^{cA}	27.8 \pm 0.06 ^{aA}
杂类草 Forb	17.0 \pm 0.20 ^{abB}	16.7 \pm 0.14 ^{bbB}	15.0 \pm 0.15 ^{cc}	17.0 \pm 0.21 ^{bbB}	17.5 \pm 0.41 ^{aB}	16.6 \pm 0.17 ^{bC}

注:不同小写字母表示同一功能群在不同放牧处理间差异显著,不同大写字母表示同一处理下,不同功能群间差异显著

Note: Differences between different lowercase letters represent significant variations in functional groups across different grazing treatments. Differences between different uppercase letters represent significant variations in functional groups within the same treatment

2.3 不同放牧方式下植物群落和功能群氮库

未放牧处理下,植物群落地上部分氮库为 $3.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \text{ N}$, SG 处理降低了植物群落地上部分氮库($1.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \text{ N}$, $P < 0.05$),其余放牧处理则对植物群落地上部分氮库没有影响(图 3)。未放牧处理下,植物地下部分氮库为 $15.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \text{ N}$,各放

牧处理对地下植物氮库均无影响,不同放牧处理下, MG1:2 地下植物氮库最低($10.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$), SG 地下植物氮库最高($16.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$)。未放牧处理下,植物群落总氮库为 $18.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \text{ N}$, MG1:4 和 MG1:6 显著降低了植物群落总氮库(12.5 和 $12.7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, $P < 0.05$)(图 3)。

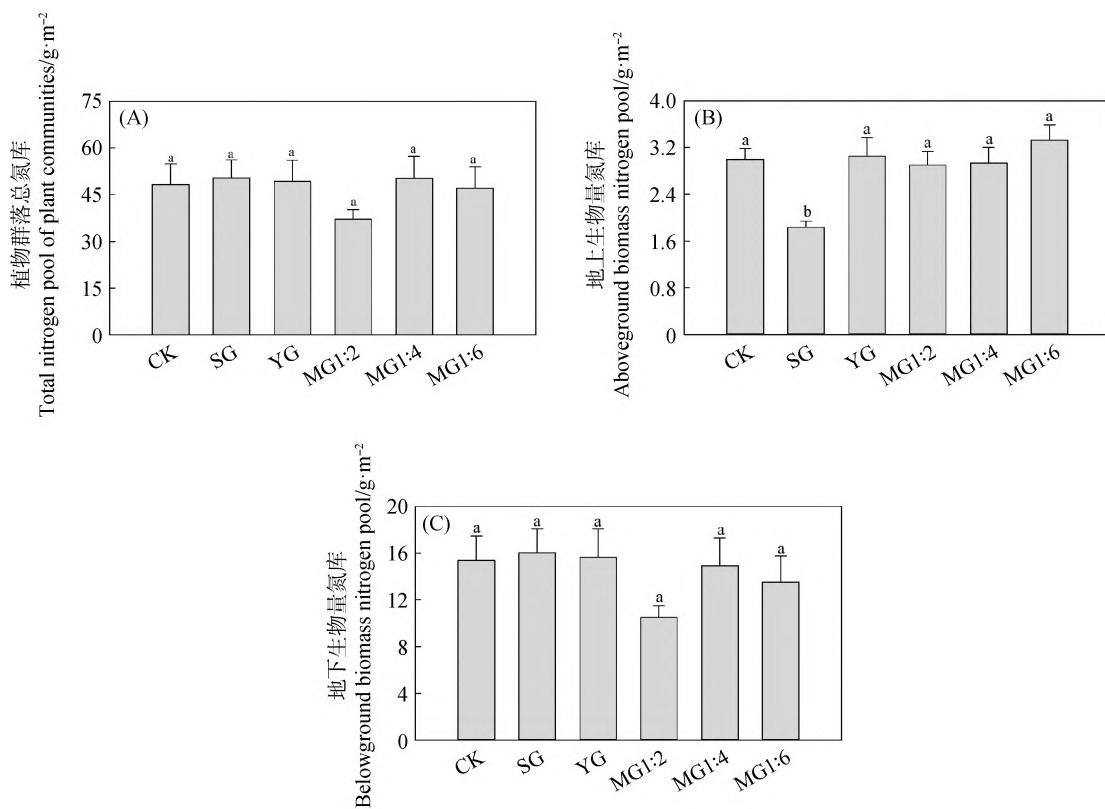


图3 放牧处理对高寒草地植物群落总氮库(A)、地上氮库(B)和地下氮库(C)的影响

Fig. 3 Effects of grazing treatments on total nitrogen pool (A), aboveground nitrogen pool (B), and belowground nitrogen pool (C) of plant community in an alpine grassland

未放牧处理下,地上地下植物氮库比值为0.217,即高寒草地植物群落氮主要贮存在地下,达到了总氮库的82.2%,各放牧处理对地上地下氮库比值没有显著影响,SG处理下地上地下植物氮库比值最低(0.129),地下氮库占总氮库的88.6%。YG处理和3个混牧处理下,地上地下植物氮库比值均高于未放牧,但未达显著水平,其中MG1:6处理下地上地下植物氮库比值最高达到了0.328,地下氮库占总氮库的75.3%。

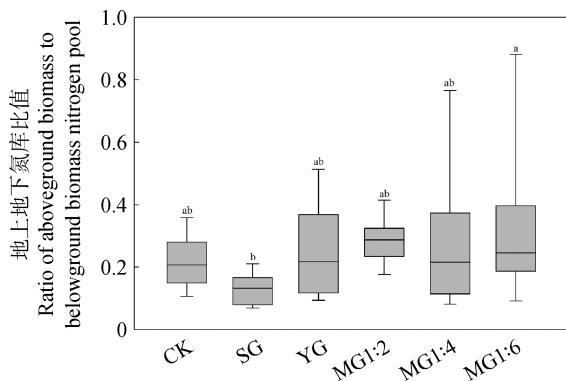


图4 放牧处理对高寒草地植物氮库在地面上地下间分配的影响
Fig. 4 The effect of grazing on the allocation of nitrogen pool between aboveground and belowground in an alpine grassland

未放牧处理下,莎草地上部分氮库最高,达到0.960 g·m⁻² N,禾草和杂类草次之,而豆科植物最低,放牧对各功能群地上部分氮库具有不同的影响(图5)。各放牧处理均显著降低了禾草地上部分氮库($P < 0.05$),其中MG1:2处理下最低(0.038 g·m⁻² N),不足未放牧(0.665 g·m⁻² N)处理的10%;SG, MG1:4和MG1:6处理显著降低了莎草植物氮库($P < 0.05$),而YG处理下莎草地上氮库有所增加但未达显著水平;SG和MG1:4显著降低了豆科植物氮库($P < 0.05$),其中SG豆科植物氮库最低(0.072 g·m⁻² N);YG和SG处理对杂类草氮库无影响,3个混合放牧处理均显著增加了杂类草氮库($P < 0.05$),且杂类草氮库随着藏羊比例的增加而增加。

3 讨论

3.1 放牧对植物群落生物量的影响

SG显著降低了植物群落地上生物量,其原因是:放牧家畜对植物地上部分的啃食,相比于牛的采食,羊的采食留茬高度更低,尤其是对地上植物

群落中优势物种的采食^[17],植物叶片的损失抑制这类植物的光合作用,导致地上生物量下降^[18]。对不同功能群植物生物量研究发现,不同放牧方式均显著降低了禾草生物量,除YG外其他放牧方式均降低了莎草生物量,不同放牧方式均增加了杂类草生物量。该试验地中优势物种矮生嵩草和紫花针茅为家畜喜食的物种、家畜采食使莎草和禾草地上部分的减少会导致该优势物种的光合作用降低,最终导致地上生物量下降。禾草和莎草的生物量在群落中

的占比在各放牧处理均显著降低,而杂类草生物量及其在群落中占比均显著增加。一般来说禾草和莎草处于群落的上层,具有较强的光竞争优势,放牧家畜采食禾草和莎草后处于群落底层的杂类草的光限制会得到减缓,获得相比于原来更多的光照,从而提高生存优势,生物量增加。羊采食留茬高度低于牛,对降低植物光竞争更具有优势,所以混合放牧处理下杂类草生物量高于牛、羊单独放牧,且随着羊比例的增加杂类草生物量持续增加。

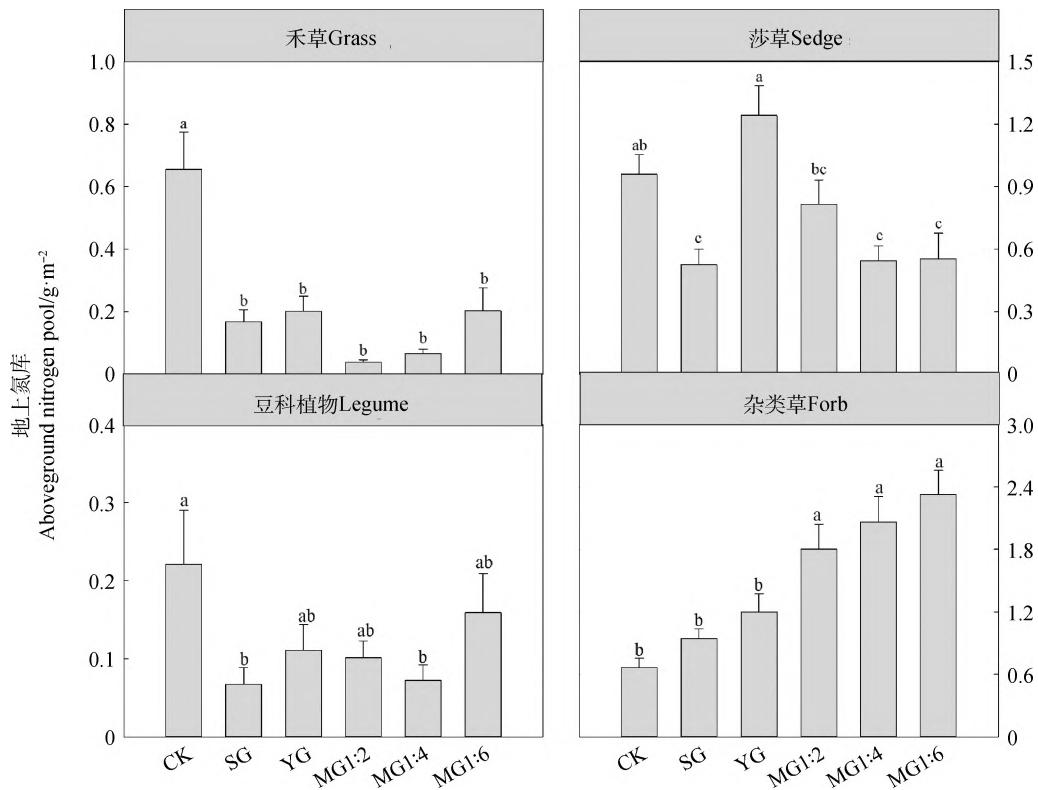


图 5 放牧处理对高寒草地不同功能群植物氮库的影响

Fig. 5 The effect of grazing treatment on nitrogen pool of each functional group in an alpine grassland

地下生物量对放牧存在不同的响应,有降低^[19]、升高^[20]、无影响^[21]三种结果。本研究结果发现 SG 显著增加了植物群落地下生物量,改变了生物量在地面上和地下的分配,促进了光合产物向地下分配^[22]。中等放牧强度下植物将较多的光合产物向地下分配,增加了根系生物量,这是牧草对家畜采食的一种自我保护机制^[23],即受到家畜采食后牧草光合作用发生改变,植物体内贮藏的营养物质会重新分配^[24-25]。

3.2 放牧对植物群落氮含量和植物群落氮库的影响

未放牧处理下,各功能群植物地上部分氮含量差异显著,不同功能群氮含量由高到低依次为豆科植物>杂类草>禾草>莎草^[26]。禾草和莎草具有

较高的无氮浸出物,而豆科植物蛋白质含量较高且根瘤固氮作用是其氮素的主要来源,因此豆科植物氮含量远高于其他功能群^[27]。对不同放牧方式下植物群落氮含量研究发现,混合放牧显著增加了植物群落地上部分氮含量,显著降低了植物群落地下部分氮含量。植物群落地上部分氮含量增加的原因可能是:(1)植物被家畜采食后会重新生长出幼嫩器官,进而调节由于家畜采食产生的不利影响^[28],家畜采食后的部位会重新生长出幼嫩组织,幼嫩组织的氮含量远远高于较老的植物组织;(2)另一方面家畜放牧可以提高牧草的氮同化能力^[29]。本试验研究结果发现混合放牧处理下植物群落地上部分氮含量增加和植物群落地下部分氮含量呈下降趋势,这

可能根家畜的采食和排泄物有关。牛偏向于对禾草的采食,羊较喜欢采食含氮量较高的豆科植物和杂类草,混合放牧增加了草地的利用效率,所以混合放牧时植物群落地上部分氮含量增加幅度高于单独放牧^[16]。家畜排泄物作为天然草地土壤养分的主要来源对植物群落氮含量也具有重要影响。李书田等^[30]研究表明,牛粪氮含量高于羊粪,分别是1.56%和1.31%,牛粪返还给土壤的氮素越多植物吸收到的氮素越多,牛单独放牧时植物群落地上部分氮含量高于羊单独放牧但无显著差异。混合放牧时家畜数量增加,且随着藏羊比例的增加排泄物更为分散,所以混合放牧时植物所吸收的氮素更多。

对不同放牧方式下植物群落氮库的研究表明,SG显著降低了植物群落地上部分氮库,不同放牧方式对植物群落地下部分氮库无影响,混合放牧显著降低了植物群落总氮库。未放牧处理下,植物生物量在全年均保持最高,较高的生物量使得光合作用向地下部分输入的能量增加及时补充了植物氮库^[31]。在不同放牧方式下仅有SG显著降低了地上生物量,SG处理下的氮库也显著减低,因此,家畜的采食是植物群落地上部分氮库降低的最主要原因。未放牧处理下,地上地下植物氮库比值为0.217,可以得出高寒草地植物氮主要贮存在地下,这与其他人研究结果一致^[32],根系是植物群落保留氮素的主要力量。就功能群氮库而言,不同放牧方式显著降低了禾草和莎草地上现存氮库,牦牛藏羊混合放牧显著增加了杂类草氮库,且杂类草氮库随着藏羊比例的增加而增加,因为羊采食留茬高度更低解除上层植物光竞争的效果更加明显,导致杂类草生物量显著增加,因此混合放牧处理下随着羊比例的增加杂类草氮库显著增加,放牧对植物氮储量最直接的影响是其地上生物量^[33]。家畜的选择性采食和践踏,禾草和莎草等富含碳水化合物的植物优先被采食,使得禾草、莎草与杂类草生物量呈现相反的变化趋势^[34],因此禾草植物和莎草植物现存氮库均显著降低。植物群落氮库相比于功能群氮库变化幅度较小是因为植物群落具有稳定性,对外界压力有较高的抵抗力稳定性和恢复力稳定性^[35]。

4 结论

藏羊单独放牧显著降低了植物群落地上生物量。对未放牧处理下不同功能群氮素含量的研究发现:豆科植物>杂类草>禾草≈莎草。放牧显著增

加了禾草和莎草氮含量,对杂类草氮含量影响较小。放牧对群落水平植物地上部分氮含量的影响变化小于对各功能群的变化影响,植物群落具有稳定性。当高寒草地植物群落处于放牧压力下,会从土壤中获取更多的氮以维持生长,放牧会进一步加剧青藏高原高寒草地植物生长的氮限制。

参考文献

- 陈佐忠,汪诗平,王艳芬,等.中国典型草原生态系统[M].北京:科学出版社,2000:1-2
- 任继周.《中国草地生态保障与食物安全战略研究》专著总序[J].草业科学,2016,33(6):1019-1020
- 王根绪,程国栋,沈永平.青藏高原草地土壤有机碳库及其全球意义[J].冰川冻土,2002,24(6):693-700
- DONG S K, GAO H W, XU G C, et al. Farmer and professional attitudes to the large-scale ban on livestock grazing of grasslands in China[J]. Environmental Conservation, 2007, 34(4): 246-254
- LUIS LOPEZ-M, ALICE A, MARIANO O, et al. Grazing increases below-ground biomass and net primary production in a temperate grassland[J]. Plant and Soil, 2015, 392, 155-162
- LIU J, FENG C, WANG D L, et al. Impacts of grazing by different large herbivores in grassland depend on plant species diversity[J]. Journal of Applied Ecology, 2015, 52(4): 1053-1062
- ZHANG X Z, LI M, WU J S, et al. Alpine grassland aboveground biomass and theoretical livestock carrying capacity on the Tibetan Plateau[J]. Journal of Resources and Ecology, 2022, 13(1): 129-141
- 王森,张宇,张楚,等.放牧强度对草甸草原植物群落主要功能群碳氮磷贮量的影响[J].草地学报,2022,30(1):125-133
- 杜凯.祁连山高寒草甸植被、土壤特征和碳氮库对不同放牧方式的响应[D].兰州:甘肃农业大学,2020:35-38
- Li W, CAO W X, WANG J L, 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
- FAN Y J, HOU X Y, SHI H X, et al. Effects of grazing and fencing on carbon and nitrogen reserves in plants and soils of alpine meadow in the three headwater resource regions[J]. Russian Journal of Ecology, 2013, 44(1): 80-88
- SUN Y, PER-MARTEN S, JOHANNA P, et al. Nitrogen pools and cycles in Tibetan *Kobresia* pastures depending on grazing[J]. Biology and Fertility of Soils, 2018(54):569-581
- XIONG D P, SHI P L, SUN Y L, et al. Effects of grazing exclusion on plant productivity and soil carbon, nitrogen storage in Alpine Meadows in northern Tibet, China[J]. Chinese Geographical Science, 2014, 11(4):488-498
- BI X, LI B, FU Q, et al. Effects of grazing exclusion on the grassland ecosystem of mountain meadows and temperature typical steppe in a mountain-basin system in Central Asia's ar-

- id regions, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 630: 254-263
- [15] 韩建国,毛培胜,董宽虎,等.草地学[M].北京:中国农业出版社,2008;84-86
- [16] 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].长春:东北师范大学,2019;34-38
- [17] 梁茂伟,梁存柱,白雪,等.一年生植物功能群对放牧草原生物量和土壤呼吸的影响[J].草业科学,2016,33(12):2407-2417
- [18] 赵丽娅,钟韩珊,赵美玉,等.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[J].生态环境学报,2018,27(10):1783-1790
- [19] 万里强,陈玮玲,李向林,等.放牧对草地土壤含水量与容重及地下生物量的影响[J].中国农学通报,2011,27(26):25-29
- [20] 王艳芬,汪诗平.不同放牧率对内蒙古典型草原地下生物量的影响[J].草地学报,1999,7(3):198-203
- [21] 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(10):1975-1980
- [22] COUGHENOUR M B. Graminoid responses to grazing by large herbivorous: Adaptation, exaptations, and interacting processes[J]. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 1985, 72(4):852-863
- [23] 侯扶江.放牧对牧草光合作用、呼吸作用和氮、碳吸收与转运的影响[J].应用生态学报,2001,12(6):938-942
- [24] GAO Y Z, GIESE M, LIN S, et al. Belowground net primary productivity and biomass allocation of a grassland in Inner Mongolia is affected by grazing intensity[J]. *Plant and Soil*, 2008, 307:41-50
- [25] 陈锦,宋明华,李以康.¹³C脉冲标记揭示放牧对高寒草甸同化碳分配的影响[J].植物生态学报,2019,43(7):576-584
- [26] 冯斌,杨晓霞,刘文亭,等.不同放牧方式对高寒草地功能群生态化学计量特征的影响[J].草地学报,2022,30(5):1063-1070
- [27] 白正.季节性放牧对内蒙古典型草原植被与土壤影响的研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2020;31-33
- [28] GONG J R, WANG Y, LIU M, et al. Effects of land use on soil respiration in the temperate steppe of Inner Mongolia, China [J]. *Soil and Tillage Research*, 2014, 144(6):20-31
- [29] 刘柏.不同放牧方式对草地土壤氮矿化速率的作用及调控机制[D].长春:东北师范大学,2018;20-26
- [30] 李书田,刘荣乐,陕红.我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析[J].农业环境科学学报,2009,28(1):179-184
- [31] BI X, LI B, FU Q, et al. Effects of grazing exclusion on the grassland ecosystems of mountain meadows and temperate typical steppe in a mountain-basin system in Central Asia's arid regions, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 630:254-263
- [32] 杜宝红,高翠萍,哈达朝鲁.不同放牧强度对锡林郭勒典型草原生产力及碳储量的影响[J].水土保持研究,2018,25(1):139-146
- [33] KING J W, LEGG A J, SMITH P A. Observations of spread ionization in the topside of the ionosphere[J]. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 1967, 29(11):1373-1376
- [34] 宋珊珊,张建胜,郑天立,等.围栏封育对青海海北高寒草甸植被碳储量的影响[J].草业科学,2020,37(12):2414-2421
- [35] 张继义,赵哈林.植被(植物群落)稳定性研究评述[J].生态学杂志,2003,22(4):42-48

(责任编辑 彭露茜)