

藏北高原土壤和植物硫含量及其与牦牛硫营养需求的关系

孙建平¹,阿旺^{1,3},吕汪汪¹,刘云霞²,贾跃凤²,斯确多吉¹,汪诗平^{1*}

(1. 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统、资源环境国家重点实验室,北京 100101;2. 西藏低碳草牧科技有限公司,西藏 拉萨 850000;3. 中国科学院大学,北京 100094)

摘要:【目的】探究藏北高原植物和土壤硫含量能否满足放牧家畜生长和生产对硫营养的需求。【方法】通过对藏北高原4种主要高寒草地类型13种主要植物、群落以及土壤全硫含量的分析,结合主要放牧家畜牦牛硫营养需求标准,综合评价了高寒草地硫的营养状况。【结果】4种主要高寒草地0~10 cm土壤中有有机硫的含量变化很大,平均为0.01%~0.20%,有机硫的含量与土壤中有有机碳和全氮含量呈极显著正相关($P<0.001$)。所测定的13种优势植物64个样品中,有70%的植物体内硫含量低于0.16%,有90%以上的植物氮:硫比大于14。【结论】与主要放牧家畜牦牛的硫营养需要相比,约有70%~90%的植物缺硫,说明青藏高原北部植物硫元素含量普遍较低,可能限制了家畜的生产性能,未来亟需对放牧动物的硫营养需求进行评估。

关键词:藏北高原高寒草地;土壤;植物;硫含量;放牧家畜;硫营养需求

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2025)01-0008-07

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2025.01.002



硫是植物生长和发育所需要的重要元素之一^[1],且主要来源于土壤^[2-3],因此植物中硫的含量与土壤中硫的含量之间密切相关^[4]。而且植物中硫含量对食草动物的生长发育及生产性能等均会产生重要影响,特别是放牧家畜(如绵羊、山羊、黄牛和牦牛等)所食植物中,硫的含量对家畜氮、硫代谢以及毛绒的产量和品质均有显著影响^[5-7]。以往在内蒙古开展了较多有关土壤、植物硫含量以及施硫肥对植物影响的研究^[4-6],有关青藏高原植被硫含量的空间分布也有所报道^[8],但土壤硫含量与植物硫含量及其与主要放牧

家畜硫营养需要、特别是与牦牛绒品质(如细度和伸直长度)的关系如何还知之甚少。

为了解藏北高寒草原植物和土壤硫元素含量是否限制放牧家畜生产性能,本研究于2022年6月在藏北高原12个县的牦牛主要分布区,同时采集了土壤、主要植物和植物群落、以及牦牛绒样品,探讨土壤、植物的硫含量,影响硫含量的主要因素,以及硫含量与主要放牧家畜硫营养需要和牦牛绒细度以及伸直长度的关系,为提高放牧家畜生产性能提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 牦牛绒取样

于2022年6月23—7月5日对藏北高原牦牛主要分布区(包括安多县、巴青县、班戈县、比如县、当雄县、丁青县、嘉黎县、尼玛县、聂荣县、色尼区、申扎县和索县12个县(区)40个行政村)(表1),1107头牦牛的肩胛部位进行了牦牛绒取样,其中公牦牛428头、母牦牛679头,公牦牛年龄1~12岁、母牦牛1~20岁,5

收稿日期:2024-02-27;修回日期:2024-15-21

基金资助:西藏自治区科技厅重点研发计划(XZ202201ZY0012N);西藏自治区那曲市区域科技协同创新专项“幼龄牦牛产绒性能提升技术研究与示范”。

作者简介:孙建平(1993-),男,山西临汾人,博士研究生。
E-mail:jpsun@itpcas.ac.cn

*通信作者,研究方向为气候变化及草地畜牧业可持续发展。E-mail:wangsp@itpcas.ac.cn

岁以下公牦牛占84.3%、8岁以下母牦牛占87.3%。

1.2 土壤和植物样品取样

于2022年7月下旬,在获取上述牦牛绒样品的相应地点,按照高寒草甸、高寒草原、沼泽草甸和灌丛草甸等植被类型,每个地点利用5个50 cm×50 cm的样方齐地面剪下所有地上植物(表1),共获得194个植物群落混合植物样品(有一个样品运输过程中丢失),并用土钻法获取相应的0~10 cm土壤样品;同时在5个样方附近采集主要优势植物样品64个,所有植物样品均在60℃下烘干、过60目筛粉碎;同时,在上述样方中利用3.5 cm直径的土钻获取0~10 cm的土壤样品,风干备分析用。

1.3 牦牛绒细度和伸直长度测定方法

首先将采集的牦牛绒样品用自来水洗涤,再用蒸馏水洗涤,水洗后的牦牛绒样品在65℃烘箱中烘干,烘干后的牦牛绒样品在四氯化碳中浸泡,在通风橱中过夜,然后将牦牛绒取出,在通风橱中自然晾干,用于后续分析牦牛绒细度和伸直长度。

然后参考GB/T 10685—2007和GB/T 18267—2013的方法,采用光学显微投影法测量牦牛绒纤维细度,每个牦牛绒样品测量150根羊绒纤维,计算均值作

为牦牛绒细度。参考DB 15/T 1101—2017的方法,采用钢尺测量羊绒伸直长度,每个牦牛绒样品测量100根绒纤维,计算均值作为伸直长度。

1.4 土壤和植物碳、氮和硫含量分析方法

土壤总碳含量、以及土壤和植物总氮含量分别利用燃烧法和元素分析仪(Flash SMART, USA)进行测定;土壤中全磷含量利用硫酸—高氯酸消解法以及岛津紫外UV-1900i(日本)仪器进行测定,而植物全磷含量利用H₂SO₄-H₂O₂消煮钼锑抗比色法以及岛津紫外UV-1900i(日本)仪器进行测定;土壤全硫含量测定步骤如下:首先将土壤样品用Mg(NO₃)₂消化,然后用HNO₃在水浴锅上消煮,氧化成SO₄²⁻,然后加BaCl₂晶粒,再用比浊—分光光度法测定;植物全硫含量利用HNO₃-HClO₄消煮法和分光光度法测定。

1.5 数据统计分析

计算不同植被类型表层土壤、主要植物及群落的C、N、S含量和它们之间的比例等数据。用SPSS 22.0软件,利用回归分析探讨影响植物及其群落硫含量的主要因素;依据有关家畜的硫营养标准,判断藏北高原主要放牧家畜牦牛硫的营养状况;同时,利用简单回归分析探讨植物硫含量与牦牛绒伸直长度与

表1 牦牛绒和土壤及植物样品取样点信息

Tbale 1 Information of sampling points of yak wool and soil and plant samples

县	村编号	经度(E)	纬度(N)	县	村编号	经度(E)	纬度(N)
安多	1	91°47'	32°17'	嘉黎	21	93°08'	30°39'
安多	2	91°47'	32°17'	嘉黎	22	92°45'	30°44'
安多	3	91°42'	32°11'	尼玛	23	87°24'	31°53'
安多	4	91°40'	32°16'	尼玛	24	87°07'	31°53'
安多	5	91°40'	32°16'	尼玛	25	87°17'	31°30'
巴青	6	94°15'	32°06'	尼玛	26	88°09'	31°54'
巴青	7	94°03'	31°54'	聂荣	27	92°04'	31°44'
巴青	8	94°28'	31°49'	聂荣	28	92°10'	32°03'
班戈	9	89°44'	31°25'	聂荣	29	92°27'	32°02'
班戈	10	90°09'	31°29'	色尼区	30	92°00'	31°27'
比如	11	93°10'	31°15'	色尼区	31	92°09'	31°30'
比如	12	93°40'	31°33'	色尼区	32	92°14'	31°36'
比如	13	93°47'	31°26'	申扎	33	88°40'	30°54'
当雄	14	91°05'	30°31'	申扎	34	88°47'	30°55'
当雄	15	91°08'	30°47'	申扎	35	88°50'	30°53'
当雄	16	91°06'	30°48'	申扎	36	88°44'	31°11'
丁青	17	94°52'	31°40'	申扎	37	88°47'	30°56'
丁青	18	94°46'	31°40'	索	38	93°52'	31°48'
丁青	19	95°28'	31°26'	索	39	93°49'	31°56'
嘉黎	20	92°56'	31°06'	索	40	93°54'	31°55'

细度的关系。

2 结果与分析

2.1 土壤中的全硫含量及其与土壤有机碳和全氮含量的关系

高寒草甸、灌丛草甸、高寒草原和沼泽草甸 0~10

表 2 不同植被类型土壤有机碳、全氮和全硫含量及其比例

Table 2 Concentrations of organic carbon, total nitrogen and total sulfur in different soils

草地类型	样品数	C/%	N/%	S/%	N:S	C:N:S
高寒草甸	129	8.46±0.39	0.77±0.03	0.13±0.01	8.00±0.29	113.05:10:1.49
灌丛草甸	16	8.00±0.62	0.82±0.07	0.09±0.01	10.21±0.52	98.94:10:1.05
高寒草原	15	1.19±0.06	0.10±0.01	0.01±0.00	11.52±0.73	130.37:10:1.11
沼泽草甸	30	10.82±1.76	0.93±0.16	0.20±0.03	5.53±0.48	136.35:10:2.24

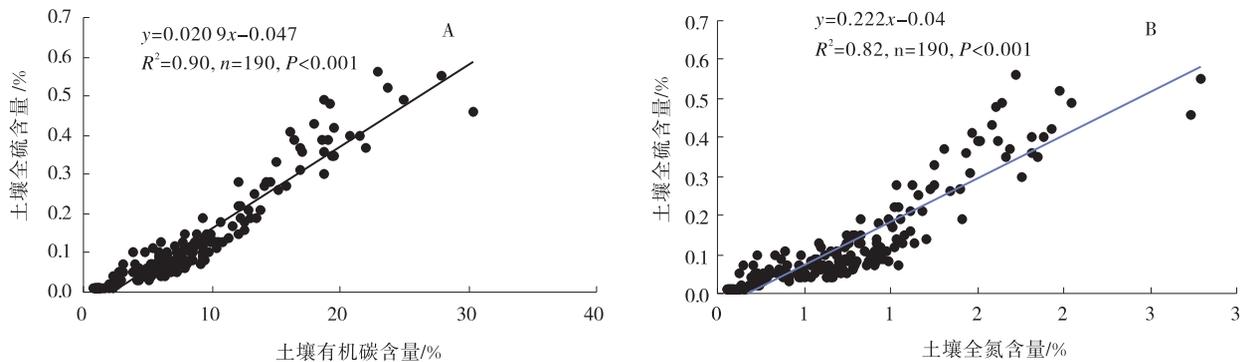


图 1 土壤全硫含量与土壤有机碳和全氮含量的关系

Fig. 1 Relationships between total sulfur and organic carbon (A) and total nitrogen (B) in soil

2.2 不同植物和植物群落硫含量以及与土壤硫含量的关系

通过对上述 4 种草地类型 13 种植物的 64 份植物样品进行分析,结果表明,硫含量 $\leq 0.10\%$ 的样本 15 个(占总样本量的 23.4%)、 $0.11\% \sim 0.16\%$ 的样本 30 个(占总样本量的 46.9%)、 $0.17\% \sim 0.27\%$ 的样本 13 个(占总样本量的 20.3%)以及 $\geq 0.27\%$ 的样本 6 个(占总样本量的 9.4%)(图 2-A)。在所监测的 64 个植物样品中,有 59 个植物样品(占总样本量的 92.2%)的 N:S 比大于 10:1 和 14:1(图 2-A)。其中有 5 种主要植物的硫含量大于 0.13%,但 N:S 均大于 14:1。

另外,通过对上述 4 种草地类型的 194 个植物群落混合样品分析发现,硫含量 $\leq 0.10\%$ 的样品 41 个(占总样本量的 21.1%)、 $0.11\% \sim 0.16\%$ 的样品 105 个(占总样本量的 54.1%)、 $0.17\% \sim 0.27\%$ 的样品 38 个(占总样本量的 19.6%)以及 $\geq 0.27\%$ 的样品 10 个

cm 土壤中,平均硫的含量分别为 0.13%、0.09%、0.01% 和 0.20%;其 C:N:S 比分别为 113.05:10:1.49、98.94:10:1.05、130.37:10:1.11 和 136.35:10:2.24(表 2)。土壤全硫含量与土壤有机碳(图 1-A)和全氮含量(图 1-B)显著正相关($P < 0.001$)。

(占总样本量的 5.2%)(图 2-B)。而在所监测的 194 个群落样品中,分别有 177 个(占总样本量的 91.2%)和 192 个样品(占总样本量的 99.0%)的 N:S 大于 14:1 和 10:1(图 2-B)。

总体上,土壤全硫含量与主要植物和群落全硫含量之间没有显著相关关系(图 3-A),但土壤 N:S 与植物 N:S 之间呈显著正相关($P < 0.001$)(图 3-B)。特别是发现主要植物和群落全硫含量及其 N:S 比与牦牛绒细度(图 4-A,4-B)和伸直长度之间均不存在显著相关性(图 4-C,4-D)。

3 讨论

本研究结果表明,藏北高原土壤硫含量($0.01\% \sim 0\%$)显著低于内蒙古草原土壤硫含量($0.14\% \sim 0.43\%$)^[7],与澳大利亚的土壤全硫含量相当或稍低

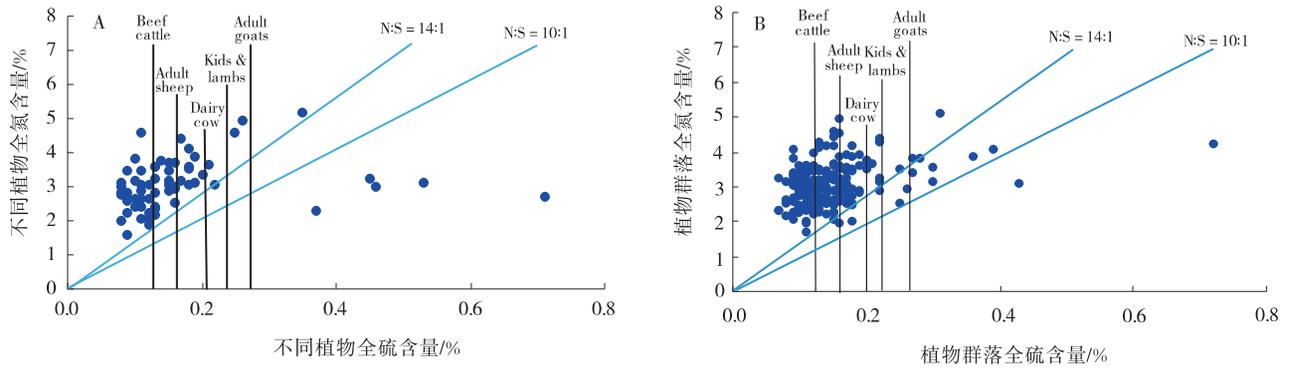


图 2 主要植物(A)和植物群落混合样品(B)全氮和全硫含量以及不同家畜硫含量的需要量

Fig. 2 Total nitrogen and sulfur concentrations in main plants and communities and the sulfur nutrition requirements of different livestock

注:图中垂直线分别为肉牛^[14]、绵羊^[15]、奶牛^[16]和山羊^[17-18]硫营养的需求量。斜线分别是家畜所需要的N:S比为10:1和14:1^[22]。图中各点分别代表主要植物的64个样品(A)和194个植物群落混合样品(B)中的全氮和全硫含量。在垂直线左边或斜线以上的点表示低于某一种家畜硫的需求。

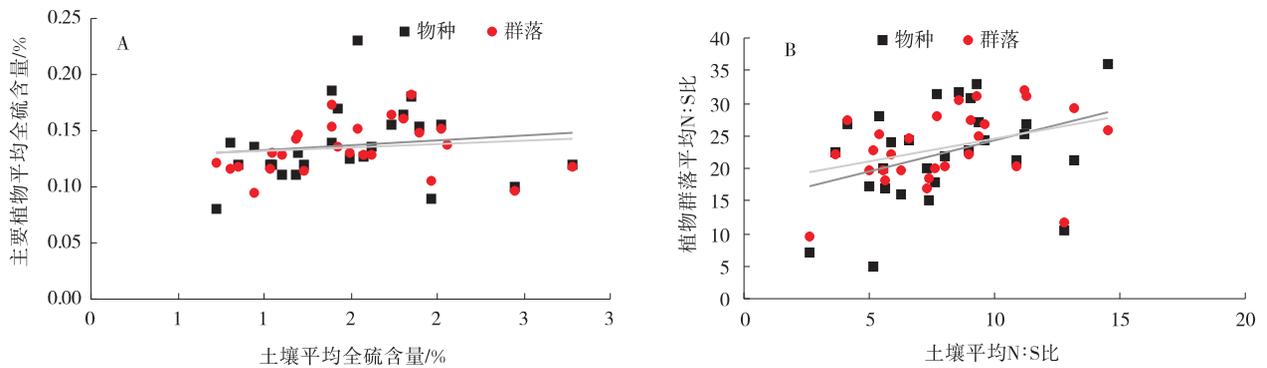


图 3 主要植物及其群落全硫含量和 N:S 比与土壤表层全硫含量和 N:S 比的关系

Fig. 3 Relationships between sulfur concentration and N:S ratio in plants and surface soils

(平均 0.19%)^[9],但远低于美国明里苏达州草地土壤全硫含量(平均 0.50%)^[10]和爱荷华州草地土壤全硫含量(平均 0.29%)^[11]。然而,藏北高原土壤中的 C:N:S 比与其他早期研究的结果相比基本相当^[12-13]。尽管植物全硫含量与土壤全硫含量的相关性不显著(图 3-A),但植物 N:S 与土壤中的 N:S 呈显著正相关(图 3-B),说明植物硫营养可能主要受土壤有效硫含量的影响^[7]。

根据国内外肉牛^[14]、绵羊^[15]、奶牛^[16]、羔羊和山羊^[17-18]等家畜硫营养需求标准,植物全硫含量 < 0.10% 时对于所有反刍动物都缺硫;当植物全硫含量 > 0.10% 时可以满足肉牛的硫营养需要;当植物全硫含量 > 0.16% 时可以满足成年绵羊的硫营养需要;当植物全硫含量 > 0.20% 时,则可以满足奶牛和羔羊的硫营养需要;而当植物全硫含量 > 0.27% 时,则可以

满足山羊硫营养需要(图 2-A)。尽管本研究的结果显示主要植物全硫含量与牦牛绒细度和伸直长度的关系不显著,但这种相关性受到多种因素的影响,并不能说明植物硫含量对牦牛绒的品质没有影响。除全硫含量外,植物中的 N:S 也是判断家畜硫营养的重要指标^[19]。一般的,当植物全氮含量比较合适时,植物 N:S 比为 14:1~16:1 时可以满足反刍动物的硫营养需要^[19-20],10:1~14:1 被认为是最合适的^[15-16,21-22],而也有研究认为安哥拉山羊的 N:S 比以 7.2:1 比较合适^[17]。因此,无论是主要植物还是主要植物群落,发现藏北高原 90% 以上的植物样品硫含量和 N:S 比均不能满足山羊的需求(图 2)。

目前国内牦牛营养需要的研究相对较薄弱,硫营养的研究则更少,但对绵羊和山羊而言(毛绒生长需求),对硫营养的需求水平较高。所以,推测牦牛绒毛

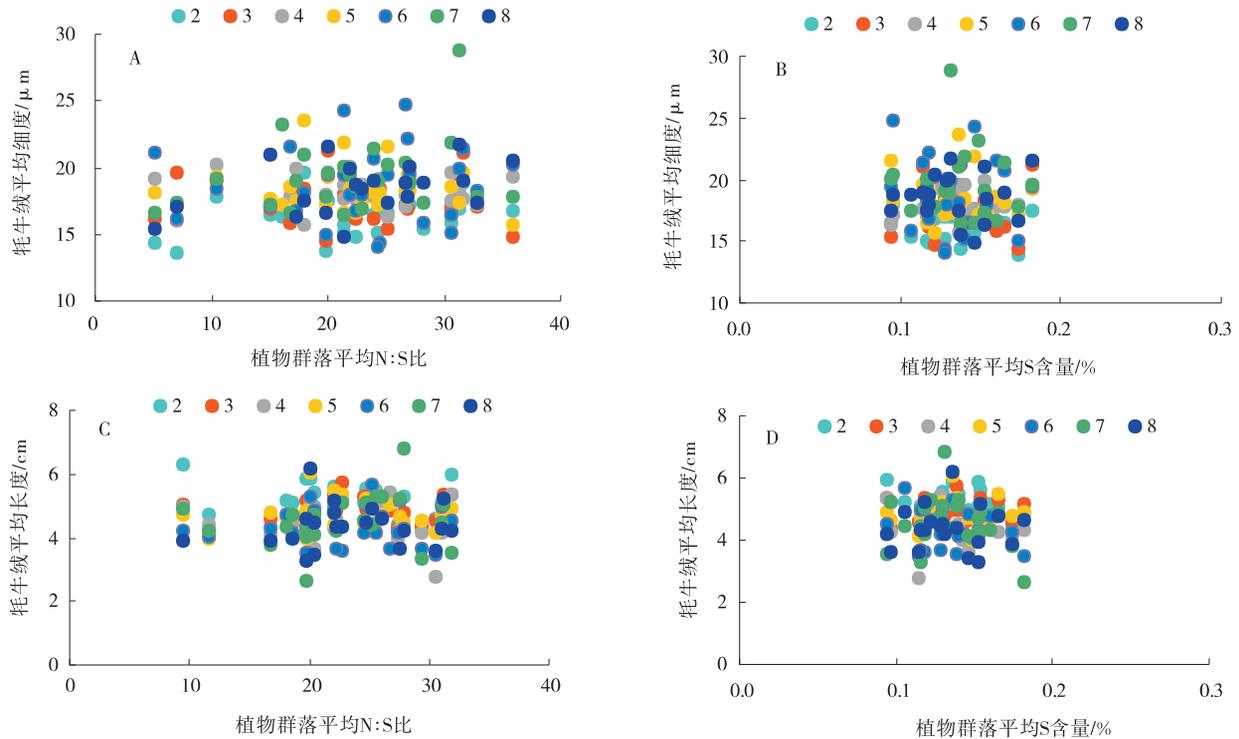


图4 耗牛绒细度和伸直长度与植物群落N:S比和硫含量的关系

Fig. 4 Relationships between fineness and stretched length of yak wool and N:S ratio and sulfur concentration in plants

注:图中不同数字和颜色代表牦牛不同年龄。

生长对硫营养的要求也可能较高,即藏北高原主要植物全硫含量不能满足牦牛的营养需要。以往相关研究均表明,天然草原上施硫肥可以显著改善绵羊的氮和硫营养水平^[5]、提高山羊绒的生产性能^[7]。牦牛绒作为我国特有的天然动物绒毛纤维之一,光泽柔和、手感糯滑,因其髓质层含量少^[23],比传统毛纺织产品更加保暖、蓬松性能好、耐起毛起球,是近些年来毛纺工业生产中不可或缺的特种动物毛纤维^[24],在国际市场上备受青睐,具有较好的生产潜力和市场前景、以及较高的经济价值。因此,迫切需要加强牦牛的硫营养标准研究,以提高牦牛绒质量和品质。

4 结论

对藏北高原高寒草地生态系统而言,土壤硫含量存在很大的空间异质性,而且无论是在物种,还是在群落水平上,绝大多数植物硫含量均不能满足放牧家畜生长发育对硫元素的营养需求,进而可能抑制了家畜的生长或生产性能。因此,在未来推动藏北高原畜牧业发展过程中,家畜对硫营养的需求是要考虑的必要条件之一。

参考文献:

- [1] Abou Seeda M A, Abou Ei-Nour E A A, Yassen A A, *et al.* Importance of sulfur and its roles in plants physiology: A review [J]. *Current Science International*, 2020, 9(2): 198-231.
- [2] Davidian J C, Kopriva S. Regulation of sulfate uptake and assimilation—The same or not the same [J]. *Molecular Plant*, 2010, 3(2): 314-325.
- [3] Mazid M, Khan T A, Mohammad F. Response of crop plants under sulfur stress tolerance: A holistic approach [J]. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 2011, 7(3), 23-57.
- [4] Wang S P, Wang Y F, Chen Z Z, *et al.* Sulphur concentration of soils and plants and its requirement for ruminants in the Inner Mongolia steppe of China [J]. *Grass and Forage Science*, 2001, 56: 418-422.
- [5] 汪诗平, 王艳芬, 姚依群. 内蒙古典型草原施硫肥对绵羊氮硫代谢和生产性能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2000, 12(2): 53-56.
- [6] Wang S P, Wang Y F, Schnug E, *et al.* Effects of nitrogen and sulphur fertilization on oats yield and quality and digestibility, nitrogen and sulphur metabolism by sheep in the Inner Mongolia steppes of China [J]. *Nutrient Cycling in*

- Agroecosystems, 2002, 62:195–202.
- [7] 周步峰, 薛科邦, 张建军, 等. 硫营养补饲对陇东绒山羊产绒量的影响[J]. 畜牧兽医杂志, 2013, 32(1):29–30.
- [8] Zhao W, Xiao C, Li M, *et al.* Biogeographic patterns of sulfur in the vegetation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2023, 128: e2022JG007051.
- [9] Spencer K, Freney J R. A comparison of several procedures for estimating the sulphur status of soils[J]. Australia Journal of Agricultural Research, 1960, 11:948–959.
- [10] Rehm G W, Caldwell A C. Sulfur Supplying Capacity of Soils and the Relationship to Soil Type[J]. Soil Science, 1968, 105:355–361.
- [11] Tabatabai M A, Bremner J M. Distribution of Total and Available Sulfur in Selected Soils and Soil Profiles[J]. Agronomy Journal, 1972, 64:40–44.
- [12] Walker T W, Adams A F R. Studies on soil organic matter: I. Influence of phosphorus content of parent materials on accumulations of carbon, nitrogen, sulfur, and organic phosphorus in grassland soils[J]. Soil Science, 1958, 85:307–318.
- [13] Williams C, Steinbergs A. Sulphur and phosphorus in some Eastern Australian soils[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1958, 9(4), 483–491
- [14] National Research Council. Nutrient Requirements of Beef Cattle [S]. National Research Council, National Academy Press, Washington DC, 1984.
- [15] National Research Council. Ruminant Nitrogen Usage [S]. Washington, DC: The National Academies Press, 1985.
- [16] National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle [S]. National Academies Science, Washington, DC, 1989.
- [17] Qi K, Lu C D, Owens F N. Sulfate supplementation of alpine goats: effects on milk yield and composition, metabolites, nutrient digestibilities, and acid-base balance [J]. Journal of Animal Science, 1992, 70(9):3541–3550.
- [18] Qi K, Lu C D, Owens F N. Sulfate supplementation of growing goats: effects on performance, acid-base balance, and nutrient digestibilities[J]. Journal of Animal Science, 1993, 71(6):1579–1587.
- [19] Metson A J. Iron pyrites as sulphur fertilisers [J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2012, 15:565–584.
- [20] Pumphrey F Y, Moore D P. Sulphur and nitrogen content of alfalfa herbage during growth [J]. Agronomy journal, 1965, 57:237–239, 364–366.
- [21] Tisdale S L. Sulphur in forage quality and ruminant nutrition [J]. Technical bulletin no 22, The Sulphur Institute, 1725 K Street, N. W., Washington, D. C. 1977.
- [22] Agricultural Research Council. 1980. The nutrients requirements of ruminant livestock [S]. 4th Edition, CAB International, Wallingford.
- [23] 李蔚, 刘新金, 徐伯俊, 等. 牦牛绒与骆驼绒及羊绒的物理性能对比[J]. 纺织学报, 2015, 36(8):1–5.
- [24] 章莉莉, 刁秋宇, 张姚真. 牦牛绒材料与传统工艺的创新研发途径[J]. 上海工艺美术, 2021(1):54–57.

Relationships between sulphur status of soils and plants and its requirements of ruminants in the northern Tibetan Plateau

SUN Jian-ping¹, A Wang^{1,3}, LYU Wang-wang¹, LIU Yun-xia², JIA Yue-feng²,
TSECHOE Dorji¹, WANG Shi-ping^{1*}

(1. State Key Laboratory of Tibetan Plateau Earth System, Environment and Resources (TPESER), Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Tibet Low Carbon Grass and Animal Husbandry Technology Co., Ltd. Lasa 850001, Tibet; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract:【Objective】 This study aims to assess whether the sulfur content of plants and soils of the northern Tibetan Plateau meets the sulfur nutrition requirements for growth and production of grazing livestock. 【Method】 The sulphur content in the main plants, plant communities, and soils of 4 alpine steppes were investigated. The sulfur nutrient status of these alpine steppes was evaluated in relation to the sulfur requirements of the primary livestock species. 【Result】 The mean organic sulphur content ranged from 0.01% to 0.20% in the 0~10cm soils. A strong positive correlation was found between the ratio of nitrogen-to-sulphur (N:S) in soils and in plants. The sulfur content of 70% of the plants was lower than 0.16%, and more than 90% of the plants had an N:S ratio greater than 14. 【Conclusion】 More than 70%~90% of the plants were sulfur-deficient for grazing livestock, suggesting that sulphur deficiency is widespread in the northern Tibetan Plateau. This deficiency limits the production performance of livestock. Future evaluations of sulphur nutritional requirements for grazing animals are recommended.

Key words: alpine grassland in northern Tibetan Plateau; soil; plant; sulphur content; grazing livestock; sulfur nutrition requirements

(责任编辑:新奇峰)