

水分梯度下高寒草甸土壤功能性状对放牧强度的响应

魏琳^{1,2}, 王娅琳^{1,2}, 徐田伟¹, 徐世晓¹, 赵娜^{1*}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:【目的】揭示青藏高原暖湿化背景下放牧与水分二者的耦合效应对高寒草甸土壤功能性状的影响。【方法】于2019年6—8月在青海省海北地区低(A)、中(B)、高(C) 3个水分梯度的高寒草甸实验样地进行不同放牧试验数据的采集。【结果】1)除磷外,各水分梯度土壤全氮和土壤有机质含量均有显著差异,且B、C样地土壤全氮含量明显高于A样地;2)3种水分梯度下土壤全氮含量随放牧强度的变化趋势基本一致,均随放牧强度增加呈下降趋势;3)土壤有机质含量表现为随水分梯度增加土壤有机质含量增加,C样地土壤有机质含量最高而A样地最低;4)各水分梯度下地下生物量对放牧强度的响应不甚一致,与CK相比,A样地表现为放牧后地下生物量增加,B和C样地表现为放牧后降低。【结论】土壤功能性状受多因子共同调控,需综合考虑,但对于未退化的高寒草甸生态系统,轻度至中度放牧仍是最优利用策略。

关键词:高寒草甸;水分梯度;放牧强度

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)05-0037-09

DOI:10.13817/j.cnki.cyyep.2023.05.006



青藏高原是我国重要的高原畜牧业生产区,在提高区域经济发展和维护民族团结等方面发挥着不可替代的作用^[1]。畜牧业生产是高原牧区牧民最主要的经济来源,以放牧为主的传统养殖方式目前在高原畜牧业生产中仍占据重要地位^[2]。高寒草甸作为青藏高原特有的植被类型,因其优良的牧草供给、水源涵养和养分固持能力而成为放牧生产的重要植被基础,对

青藏高原生态保护和经济发展意义重大^[3-4]。但近年来受放牧干扰及全球变化等多种因素影响,高寒草甸已呈现出不同程度的退化趋势,对当地畜牧业发展和生态安全构成严重威胁^[5-6]。

全球变化背景下,青藏高原气候变化已呈现暖湿化趋势^[7],在此趋势下水分条件与人为干扰对生态系统影响的研究至关重要。研究表明,土壤水分含量对土壤养分及植物生物量等影响较大^[8],不同水分含量的草地对放牧的响应也呈现出较大差异^[9-11]。现有研究多针对不同放牧强度及不同放牧类型对草地的影响^[12-14],其研究地点集中于温带草原和荒漠草原,对青藏高原高寒草甸的研究相对较少,且缺乏对不同水分环境下草地生态系统对放牧的响应特征研究。因此本研究将土壤水分梯度与放牧处理相结合,以青海海北三种水分梯度高寒草甸为研究对象,研究放牧与水分协同作用对高寒草甸土壤功能性状的影响,为高寒牧区不同水分类型草地的放牧生产实践提供理论依据。

收稿日期:2022-03-04; **修回日期:**2022-04-12

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究(2019 QZKK040104);三江源国家公园联合专项(LH ZX-2020-02);中国科学院战略性先导科技专项(XDA23060603、XDA2005010406);国家自然科学基金(31402120)、中国科学院西部之光跨学科创新团队项目(CASLWC-2021);青海省科技厅重点研发项目(2020-NK-166);青海省重大专项项目(2018-NK-02)

作者简介:魏琳(1996-),女,河北唐山人,硕士研究生。

E-mail: weilin@nwipb. cas. cn

*通信作者。E-mail: zhao88na@163. com

1 材料和方法

1.1 研究区概况

本研究在青海省海北藏族自治州门源县境内青海海北高寒草地生态系统国家野外科学观测研究站进行。该站位于青藏高原东北隅的祁连山谷地(N 37° 29′~37° 45′, E 101° 12′~101° 23′),海拔 3 200~3600 m,属于典型的高原大陆性气候,一年中无明显的四季之分,年平均气温-1.7℃,年极端最高温27.6℃,极端最低温-37.1℃,年降水量426~860 mm,80%的降水分布于5—9月生长季,年平均日照时数2 462.7 h。植被以高寒草甸分布最广,植被类型多样,以嵩草属(*Kobresia*)植物建群。本研究以海北高寒草地为研究对象,样地植被以异针茅(*Stipa aliena*)和矮嵩草(*Kobresia humilis*)为建群种,常见伴生种有垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、早熟禾(*Poa annua*)、美丽风毛菊(*Saussurea superba*)、青海苜蓿(*Medicago archiducis-nicolai*)、麻花艽(*Gentiana straminea*)等。

1.2 试验设计

选取海北高寒草地生态系统国家野外科学观测研究站内地势平坦、植被类型比较均一的3块草地(A、B、C)(图1),于2009年进行围封并实施不同强度的放牧处理。样地兼有暖季(6—9月)和冷季(10月至次年1月)放牧,本试验只采用暖季放牧。A、B、C样地分别为山地半阳坡、河流沿岸滩地及沼泽化草甸边

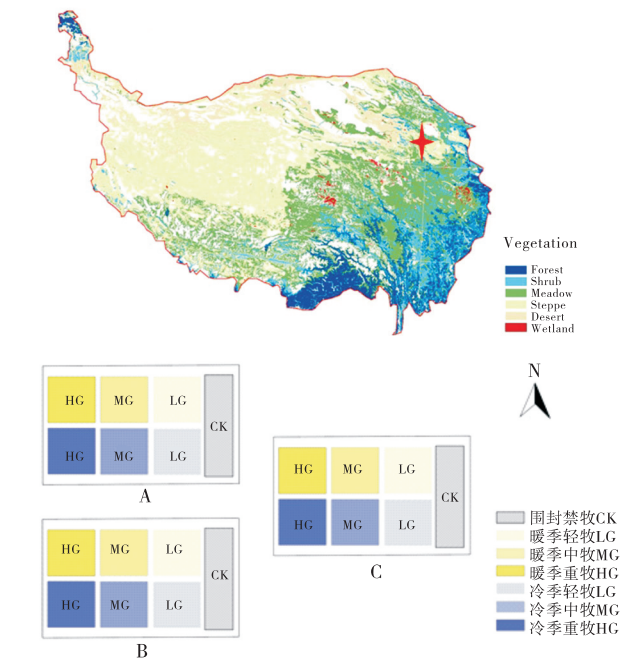


图1 样地布局图

Fig. 1 Sample plot layout

缘。每个样地内部均设置围封禁牧(CK)、轻度放牧(LG)、中度放牧(MG)和重度放牧(HG)4种不同放牧强度,样地布局图见图1和图2,样地详细信息见表1。围封禁牧小区为对照组(CK),面积为3 m×15 m,每个放牧小区面积为9 m×9 m,放牧家畜为藏系绵羊。轻度、中度和重度放牧处理小区内分别在每年6—9月每月月初放牧3、5、12只年龄、体态均一致的藏系绵羊,使其自由采食,连续放牧时间为2天。每月月末进行土壤样品及地下生物量样品采集。

表1 研究区基本信息

Table 1 Basic information of the sample plots

指标类型	A	B	C
经度坐标	E 101°18'51"	E 101°18'55"	E 101°19'27"
纬度坐标	N 37°36'45"	N 37°36'49"	N 37°36'44"
海拔/m	3 250	3 216	3 190
植被类型	高寒矮嵩草草甸	高寒矮嵩草草甸	高寒藏嵩草+帕米尔苔草沼泽化草甸
地理位置	山地半阳坡	河谷沿岸滩地	沼泽化草甸
土壤类型	亚高山草甸土	亚高山草甸土	亚高山草甸土
鲜土含水量/%	21.28±1.05	48.02±0.95	55.08±1.21
主要物种组成	垂穗披碱草、异针茅、矮嵩草	矮嵩草、羊茅、青藏苔草	黑褐苔草、青藏苔草

样地A、B、C及其样地内不同草地管理方式的设置见图2。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤及地下生物量样品采集 分别于6—8月



图 2 试验样地

Fig. 2 The photos of sample plot

对 3 块草地内的暖季放牧(轻度和重度)试验处理小区采用 S 形取样法,去除地上部植被及凋落物覆盖,用直径 3.5 cm 土钻于次级处理样地内分土层取样。通过前期数据分析发现,样地表层 0~20 cm 土层是本试验样地内植物根系及土壤养分的集中分布区域,故本次试验分取 0~10、10~20 cm 2 个土层,各层分别取 6 钻,为 6 个重复。将所采各层土样用无菌自封袋封装并运回实验室进行土壤养分分析。地下生物量样品的采集利用直径 10 cm 的根钻混合采集根系土壤,采集方法同上,自封袋封装后于实验室内进行地下生物量测定,土钻和跟钻取土后用样地外土壤回填。

1.3.2 样品实验室处理 将 6—8 月每月放牧处理后采集的各水分梯度分层土样于实验室自然风干,并去除小石头和砂砾等杂质后研磨,分别对各水分梯度下各放牧强度处理小区内不同土层的土壤有机质、全氮及全磷含量进行测定。土壤有机质采用重铬酸钾法氧化法^[15]。土壤全氮含量采用凯氏定氮法^[15]。土壤全磷含量采用 $\text{HClO}_4\text{—H}_2\text{SO}_4$ 外消煮法进行测定^[15]。将采集的土根样品洗根后称取根鲜重,称重后于 105 °C 烘箱中烘干至质量恒定后称取其干重为地下生物量。

1.4 数据分析

将测得的数据用 Microsoft excel 录入并进行整

理,所得数据以平均值±标准误(mean±SE)表示。使用 SPSS 23.0 软件中的单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 氏法进行显著性检验, $P<0.05$ 为显著差异, $P<0.01$ 时为极显著差异。采用 GLM—Multivariate 分析水分梯度、放牧强度、土层深度对土壤养分及根系生物量的单独效应及其交互效应。用 Graphpad Prism 8.4.3 作图,图像中数据显著性标注 $P<0.05$ 为*, $P<0.01$ 为**, $P<0.001$ 为***, $P<0.0001$ 为****,ns 表示 $P>0.05$ 即无显著性差异。

2 结果与分析

2.1 水分梯度下不同放牧强度对高寒草地土壤养分含量的影响

2.1.1 土壤全 N 含量分析 A、B、C 3 种不同水分梯度土壤全 N 含量分别为 5.91、8.92 和 11.80 g/kg,且 3 组之间呈现极显著差异($P<0.01$)。土壤全氮含量在不同水分梯度上变化较大,水分含量高的 B、C 样地土壤全氮含量明显高于 A 样地(图 3)。但 3 种水分梯度下的土壤全氮含量随放牧强度的变化趋势基本一致,各土层深度土壤氮含量均随放牧强度增加呈现出下降趋势, $\text{HG}<\text{LG}<\text{CK}$,样地 B 变化趋势最为明显;样地 A 中,10~20 cm 土层氮含量与 B、C 变化趋势相反,随放牧强度增加呈上升趋势。

2.1.2 土壤有机质含量分析 A、B、C 3 种不同水分梯度土壤有机质含量分别为 85.81、162.05 和 199.90 g/kg,3 组之间差异极显著($P<0.01$),表现为随水分梯度增加土壤有机质含量增加(图 4)。C 样地土壤有机质含量明显高于其他 2 个样地,A 样地土壤有机质含量最低。各水分梯度对放牧的响应也不一致,A 和 C 样地土壤有机质含量均表现为 0~10 cm 土层放牧干扰不会显著降低土壤有机质含量,且在 A 样地中出现重度放牧干扰下土壤有机质含量高于 CK;C 样地 10~20 cm 土层在放牧干扰下土壤有机质含量呈现下降趋势,重度放牧土壤有机质含量高于轻度放牧;A 样地 10~20 cm 土层的土壤有机质含量表现为随放牧强度增加土壤有机质含量增加,重度放牧下的土壤有机质含量最高,轻度放牧次之而 CK 最低;B 样

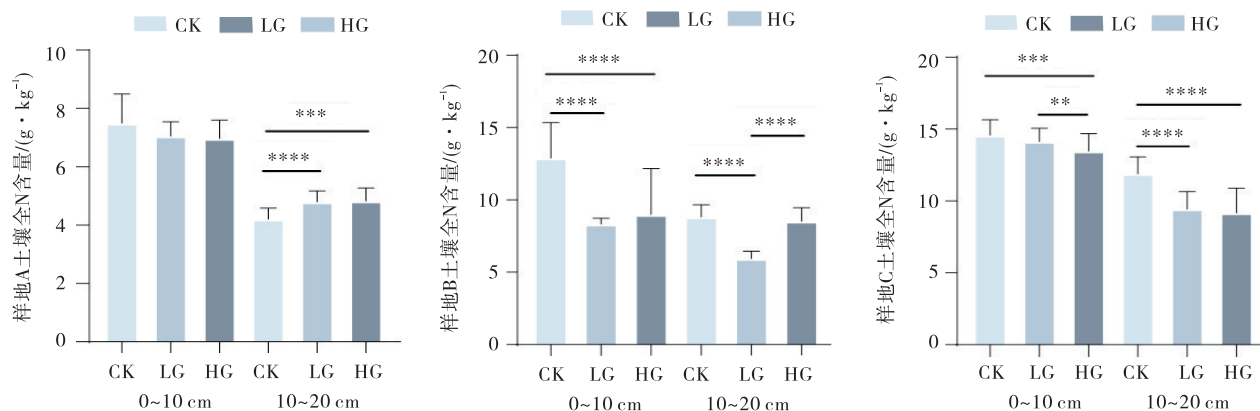


图3 各水分梯度土壤全N含量

Fig. 3 Soil total N content in each water gradient

地与其他两个样地变化趋势不同,呈现出与土壤全氮含量一致的变化趋势,随放牧强度的增加土壤有机质

含量显著下降,各土层的土壤有机质含量表现为重度放牧<轻度放牧<CK。

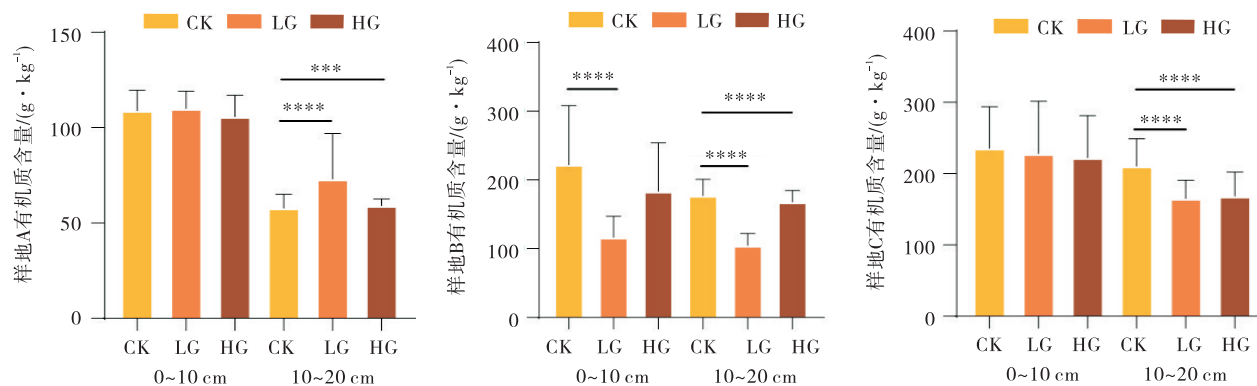


图4 各水分梯度土壤有机质含量

Fig. 4 Soil organic matter content of each water gradient

2.1.3 土壤全P含量分析 A、B、C 3种不同水分梯度土壤全P含量分别为0.79、0.99和0.77 g/kg, B样地与A、C样地差异极显著($P<0.01$), A、C样地之间无显著相关性(图5)。各水分梯度下土壤全磷含量随放牧强度的变化无显著差异,仅B样地表现为10~20 cm土层土壤全磷含量较0~10 cm土层降低且无显著性差异;磷的总含量表现为B样地最高, A样地次之, C样地最少;通过对比各样地土壤磷含量的不同月份数据发现变化趋势一致,均表现为6月最低, 7月显著增加, 8月降低(图5)。

2.2 水分梯度下不同放牧强度对高寒草甸总地下生物量的影响

3组水分梯度的总地下生物量分别为0.39、0.36和0.55 g/kg, C样地与A、B样地差异显著($P<$

0.05), A、B两样地之间无显著性差异。对比不同土层的地下生物量和总地下生物量,其随水分梯度及放牧强度的变化一致,均表现为随水分梯度的增加而增加, C样地最高, B样地次之, A样地最低;地下生物量随土层的加深递减, 0~10 cm土层的地下生物量显著高于10~20 cm土层(图7);各水分梯度下地下生物量对放牧强度的响应不甚一致,与CK相比, A样地表现为放牧后地下生物量增加, B和C样地表现为放牧后降低(图8)。

2.3 放牧强度、土层深度、水分梯度与高寒草甸土壤养分及地下生物量的相关关系

对测得的土壤养分含量及地下生物量数据采用SPSS软件中的GLM—Multivariate分析水分梯度、放牧强度、土层深度3因素对其的影响及交互效应,结果

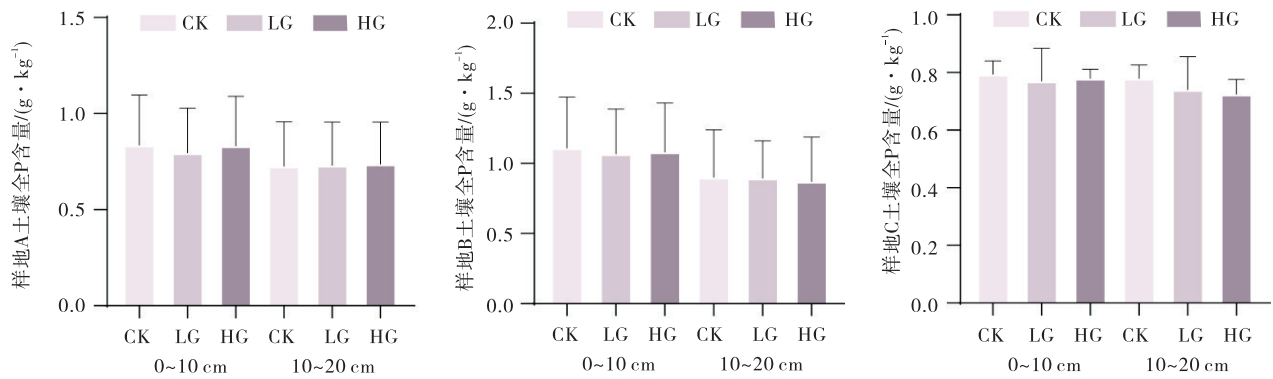


图 5 各水分梯度土壤全磷含量

Fig. 5 Soil total phosphorus content in each water gradient

显示,土壤全 N 含量与水分梯度、放牧强度、土层深度及其交互效应之间均存在极显著相关性($P<0.01$);土壤有机质含量与水分、放牧和土层深度之间具有极显著相关性($P<0.01$),但与其交互效应无显著相关性;土壤全 P 含量与水分梯度和土层深度之间存在极显著相关性($P<0.01$),与放牧强度之间无显著性;总地下生物量与水分梯度和土层深度之间存在极显著

相关性($P<0.01$),与放牧强度呈现出显著相关性($P<0.05$)(表 2)。

3 讨论

青藏高原高寒草甸是高寒地区重要的畜牧业资源,对区域经济发展及生态环境保护都具有重要意义,由于其特殊的地理位置及植被特性导致该草地对放牧干扰及全球变化极其敏感,同时由于恢复能力较弱,而出现大面积退化问题,已经成为制约高原畜牧业生产的严重威胁^[16]。为缓解放牧压力,高寒地区实行了一系列措施^[17],对包括高寒草甸在内的优良草地资源进行深入研究及合理保护以达到生态和经济效益的均衡发展。于此背景开展放牧对不同水分类型高寒草甸土壤及地下生物量的研究,对合理利用及发掘高寒放牧资源、改善高寒草甸退化及区域经济发展均有重要指导意义。

本研究表明,土壤养分除磷外,有机质含量、全氮

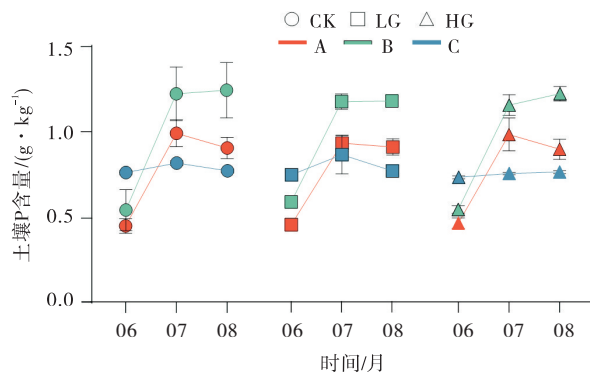


图 6 土壤全磷含量随月份的变化趋势

Fig. 6 Variation trend of soil total phosphorus content with month

表 2 高寒草甸土壤养分含量及地下生物量与水分梯度、放牧强度及土层深度之间的相关性

Table 2 Correlation between soil nutrient content, underground biomass and water gradient, grazing intensity and soil depth in alpine meadow

指标	P 值						
	水分	放牧	土层	水分*放牧	水分*土层	放牧*土层	三者交互
土壤全 N 含量	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000
土壤有机质含量	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084	0.962	0.086
土壤全 P 含量	0.000	0.850	0.001	0.936	0.018	0.682	0.987
总地下生物量	0.000	0.033	0.000	0.000	0.010	0.702	0.072

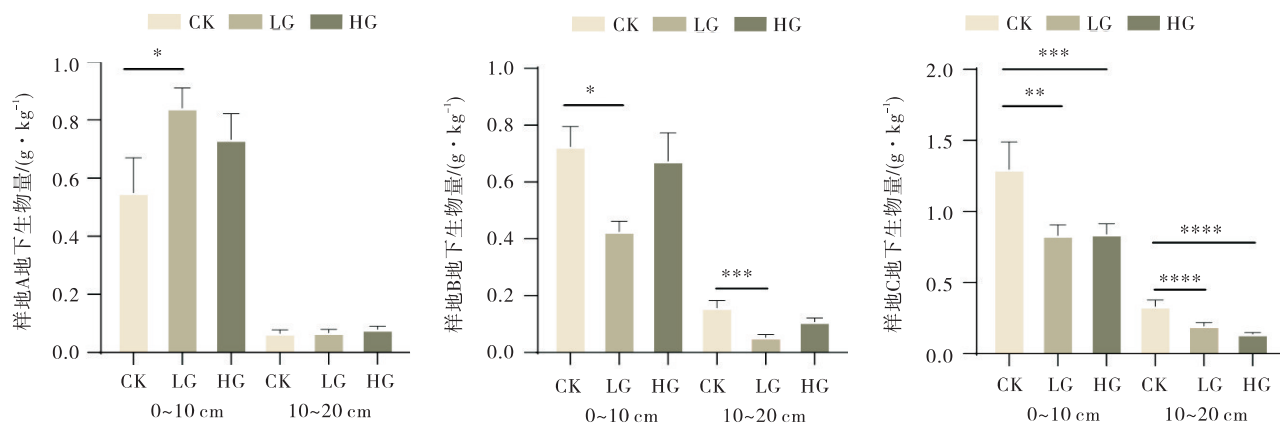


图7 各水分梯度不同土层地下生物量

Fig. 7 Underground biomass of different soil layers in different water gradients

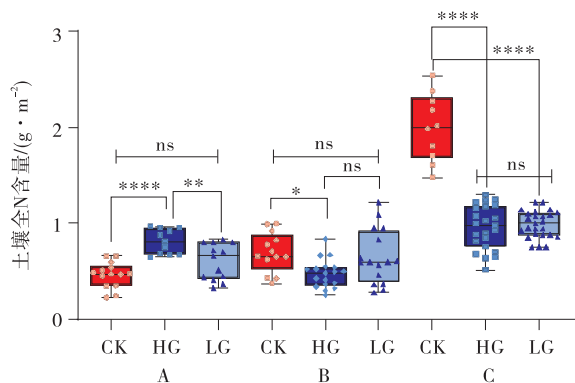


图8 总地下生物量

Fig. 8 Total underground biomass

含量及总地下生物量均与水分及放牧梯度呈现显著相关关系 ($P < 0.05$), 土层深度对土壤养分及总地下生物量具有极显著相关关系 ($P < 0.01$), 这与高俊琴等^[18-19]多数学者的研究结果一致。水分对高寒草甸土壤养分积累及地下生物量均有重要影响, 放牧活动通过干扰地上部分的植被生长、凋落物的养分归还、植物根系的生长以及土壤微生物活性等多种重要的生态系统过程而影响到土壤理化性质及养分周转^[20-22], 直接关系到生态系统功能。本研究发现, 全氮含量更容易受到试验处理的影响产生显著变化, 而磷含量反应最迟钝, 土壤全氮含量可能受其他多个因子调控, 今后需重点关注。从水分梯度的处理结果看, 水分充足的高寒草甸相较其他草地拥有更高的土壤有机质含量和土壤全氮含量, 在合理的载畜量下能产生较高的生态及经济效益且拥有巨大的固碳潜力。土壤含水量可能只是影响土壤养分动态的原因之一, 养分周转同时受系统内多环节、多因子的共同调控, 今后应全面关注。

从各水分梯度土壤养分总量来看, 土壤有机质和土壤全氮含量之间具有一定的关联性, 这与徐国荣等^[23]学者的研究结果一致。土壤有机质和土壤全氮主要来源于植物根系及枯落物的分解^[22], 土壤全氮的绝大部分为有机态氮, 主要来自于土壤有机质的分解和转化^[24], 这可能是二者相关性的来源。各水分梯度土壤有机质含量表现为C样地最高而A样地最少, 土壤全氮含量则表现为B样地最高而A样地最少, 据阿旺^[25]等对高寒草甸凋落物分解的研究, 水分显著影响高寒草甸的凋落物分解, 分解速率随湿度的增加而增加。B样地水分含量适中, 拥有良好的环境条件, 植被生长良好, 凋落物数量大且质量高, 拥有更高的养分周转率, 因此氮含量较高。C样地位于高寒沼泽化草甸, 过高的土壤含水量造成厌氧环境, 有机质分解困难, 放牧家畜的排泄产物对植物的影响较小, 土壤容重增加, 通透性变差, 不益于植物根系的生长发育, 从而造成生物量降低而土壤养分存留较高。今后还应关注生态系统因子的综合效应, 更加系统的理解植物生长与养分循环对放牧干扰的响应。

各样地土壤全磷总量差别不大, 但对比各样地土壤磷含量的月份变化发现土壤全磷含量随植物生长季变化明显, 这与于子博等^[26]在黄河三角洲湿地的研究结果一致, 夏季土壤磷含量最高, 呈现出先增后降的趋势, 磷的增加主要来自于上一个生长季积累及雨季的输入^[26], 7月再次进入生长季后由于植物的吸收利用而显著下降。此外, 土壤养分含量与土层深度之间表现出极显著相关关系 ($P < 0.01$), 具有明显的“表聚现象”, 即表层土壤养分含量最高, 随土层深度的增

加而递减,马维伟等^[27-28]多数学者在不同地区的研究均表现出这一现象。土壤养分的垂直分布主要受到凋落物及根系的影响^[19],其主要来源为地上部植被枯死后凋落物在土壤表层的聚集,且受到水分环境的显著影响,植被在良好的水分环境下生长良好,表层土壤接受的有机质较多且分解时间较短,因此表层土壤的养分含量高,此外,较高的土壤含水量还可能导致土壤微生物的分解速率下降而形成表层土壤养分的聚集^[29]。

从放牧对土壤养分及地下生物量的影响看,各水分梯度对放牧强度的响应不甚一致,B样地表现为随放牧强度增加土壤养分含量及地下生物量显著下降, $HG < LG < CK$,这与杜凯等^[30]在高寒草甸的放牧实验结果一致。C样地土壤养分及地下生物量虽表现为随放牧强度增加而下降,但其 $HG > LG$ 。而A样地则表现为土壤养分含量及地下生物量随放牧强度增加而增加 $HG > LG > CK$ 的相反结果,在何贵永等^[31]对青藏高原湿地的放牧研究结果中也曾出现这种相反的结果。在各水分梯度处理的地下生物量结果中同样发现了A样地随放牧强度的增加地下生物量增加的相反趋势。一般情况下,放牧活动通过家畜啃食、践踏、排泄等影响到地上部植被的生长,随放牧强度的增加,容易造成植株矮化、地表裸露等草地退化现象^[32],导致植被透光率增加及土壤表层温度上升,加速土壤侵蚀及土壤理化性质恶化,从而导致土壤养分含量的下降。但是在A样地中出现的重度放牧干扰下土壤有机质含量高于CK,可能是重度放牧下外部养分输入最高,土壤含水量较低因此土壤通气性较B、C样地好,粪尿等养分可以快速分解被植物根系吸收利用,所以根系生物量在放牧下显著增加,进而增加了土壤中碳氮含量。A样地环境条件相对较差,又受到重度干扰,因此可能出现植物和土壤微生物的应激效应,植物为继续存活而抵抗放牧对其的影响,表现为地上部分植株矮化且纤维含量增加,地下部分根系生物量增加,这也是地下生物量随放牧强度增加的原因之一。水分含量也会影响土壤微生物活性、养分周转速率及养分有效性,都会对土壤养分含量及植被生长情况产生影响,应重点关注。

4 结论

本研究监测了青海海北高寒草甸10年放牧样地内不同水分梯度下土壤功能性状及地下生物量随不同放牧强度的响应,通过分析水分梯度下围封禁牧、轻度放牧和重度放牧3种不同放牧强度的土壤全氮含量、土壤有机质含量、土壤全磷含量及植被地下生物量及其作用关系,得出以下结论:1)土壤含水量低,重度放牧下土壤养分及地下生物量最高,但是这并不是最好的草地利用状态;2)土壤养分周转是十分复杂的地化循环过程,同时受到系统内多环节、多因子的共同调控,水分梯度下的变化对解释土壤功能性状及植被对放牧的响应还需综合考虑,但可以肯定的是,对于未退化的高寒草甸生态系统,轻度至中度的放牧利用仍是最优策略。

参考文献:

- [1] 徐田伟,赵炯昌,毛绍娟,等. 青海省海北地区高寒草甸群落特征和生物量对短期休牧的响应[J]. 草业学报,2020,29(4):1-8.
- [2] 田莉华,周青平,王加亭,等. 青藏高原草地畜牧业生产现状、问题及对策[J]. 西南民族大学学报(自然科学版),2016,42(2):119-126.
- [3] 谢高地,鲁春霞,肖玉,等. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估[J]. 山地学报,2003(1):50-55.
- [4] 李军豪,杨国靖,王少平. 青藏高原区退化高寒草甸植被和土壤特征[J]. 应用生态学报,2020,31(6):2109-2118.
- [5] 李明森. 青藏高原环境保护对策[J]. 资源科学,2000(4):78-82.
- [6] 赵成章,樊胜岳,殷翠琴,贺国宝. 祁连山区退化草地植被群落结构特征的研究[J]. 中国草地,2004(2):27-31+36.
- [7] 吴云华. 青藏高原气候暖湿变化条件下生态建设面临的机遇与挑战[J]. 中南林业调查规划,2019,38(1):19-22.
- [8] 王长庭,曹广民,王启兰,等. 青藏高原高寒草甸植物群落物种组成和生物量沿环境梯度的变化[J]. 中国科学(C辑:生命科学),2007,37(5):585-592.
- [9] 张子胥,于倚龙,李永强,等. 放牧强度对内蒙古荒漠草原土壤有机碳及其空间异质性的影响[J]. 生态学报,2021,41(15):6257-6266.

- [10] 罗方林,张法伟,张光茹,等. 放牧强度对高寒草甸群落特征及植被生存状态的影响[J]. 草业科学, 2021, 38(11):2097—2105.
- [11] 赵宁,张洪轩,王若梦,等. 放牧对若尔盖高寒草甸土壤氮矿化及其温度敏感性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(15):4234—4241.
- [12] 李娜娜,杨九艳,贾喆亭,等. 不同放牧方式对阿拉善左旗主要草场类型群落特征和土壤养分的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(5):991—1003.
- [13] 崔猛,冯媛媛,王新宇,等. 不同放牧方式对松嫩草地地下、地上生物量及其分配比例的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2021, 53(4):144—150.
- [14] 张晓玲,徐田伟,谭攀柱,等. 季节放牧对高寒草原植被群落和生物量的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(10):1576—1582.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000:30—76.
- [16] 郝爱华,薛娟,彭飞,等. 青藏高原典型草地植被退化与土壤退化研究[J]. 生态学报, 2020, 40(3):964—975.
- [17] 晏和飘,李文龙,梁天刚,等. 青藏高原退化高寒草地恢复对不同措施响应的Meta分析[J]. 草地学报, 2021, 29(S1):190—198.
- [18] 高俊琴,徐兴良,张锋,等. 水分梯度对若尔盖高寒湿地土壤活性有机碳分布的影响[J]. 水土保持学报, 2008(3):126—131.
- [19] 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.
- [20] 姚喜喜,才华,李长慧. 封育和放牧对高寒草甸植被群落特征和土壤特性的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(S1):128—136.
- [21] 王悦骅,靳宇曦,王忠武,等. 8年围封对内蒙古荒漠草原植物和土壤的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(10):2339—2345.
- [22] 王芳芳,徐欢,李婷,伍星. 放牧对草地土壤氮素循环关键过程的影响与机制研究进展[J]. 应用生态学报, 2019, 30(10):3277—3284.
- [23] 徐国荣,马维伟,宋良翠,等. 植被不同退化状态下尕斯库勒湖湿地土壤氮含量及酶活性特征[J]. 生态学报, 2020, 40(24):8917—8927.
- [24] 陈瑜,潮洛濛,周延林,等. 放牧强度对内蒙古温性草甸草原土壤碳、氮及其转化的影响[J]. 中国草地学报, 2022, 44(2):24—32.
- [25] 阿旺,吕汪汪,周阳,等. 温度和湿度对高寒草甸凋落物分解的影响[J]. 生态学报, 2021, 41(17):6846—6853.
- [26] 于子博,庄涛,白军红,等. 黄河三角洲潮间带盐地碱蓬湿地土壤磷含量和储量的季节动态变化特征[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(3):633—640.
- [27] 马维伟,李广,宋捷,等. 植被退化对尕斯库勒湖湿地土壤有机碳库及碳库管理指数的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(3):687—694.
- [28] Kaibo Wanget, *et al.* Grazing exclusion significantly improves grassland ecosystem C and N pools in a desert steppe of Northwest China [J]. *Catena*, 2016, 137 : 441—448.
- [29] 孟妍君,秦鹏. 珠江三角洲滨海湿地土壤微生物群落多样性与养分的耦合关系[J]. 水土保持研究, 2020, 27(6):77—84.
- [30] 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.
- [31] 何贵永,孙浩智,史小明,等. 青藏高原高寒湿地不同季节土壤理化性质对放牧模式的响应[J]. 草业学报, 2015, 24(4):12—20.
- [32] 李强,宋彦涛,周道玮,等. 围封和放牧对退化盐碱草地土壤碳、氮、磷储量的影响[J]. 草业科学, 2014, 31(10):1811—1819.

Response of alpine meadow soil functional traits to grazing intensity under water gradient

WEI Lin^{1,2}, WANG Ya-lin^{1,2}, XU Tian-wei¹, XU Shi-xiao¹, ZHAO Na^{1*}

(1. Northwest Institute of plateau biology, Chinese Academy of Sciences, xining 810008, China; 2. University of Chinese Academy of Science, Beijing, 100049, China)

Abstract:【Objective】In order to reveal the influence of the coupling effect of grazing and water on the soil functional properties of Alpine Meadow under the background of warm and humid Qinghai Tibet Plateau.【Method】Grazing experiments with different intensities were carried out in the alpine meadow experimental plots with three water gradients of low (A), medium (B) and high (C) in Haibei area of Qinghai Province from June to August 2019.【Result】The results showed that: 1) except for phosphorus, the contents of soil total nitrogen and soil organic matter in each water gradient were significantly different, and the contents of soil total nitrogen in sample plots B and C were significantly higher than that in sample plot A. 2) the variation trend of soil total nitrogen content under the three water gradients was basically the same with the increase of grazing intensity, and decreased with the increase of grazing intensity. 3) The content of soil organic matter increased with the increase of water gradient. The content of soil organic matter in sample C was significantly higher than those in the other two samples, and the content of soil organic matter in sample A was the lowest. 4) The response of underground biomass to grazing intensity under each water gradient was not very consistent. Compared with CK, the underground biomass of sample plot A increased after grazing, and those of sample plots B and C decreased after grazing.【Conclusion】Soil functional properties are regulated by multiple factors and need to be considered comprehensively. However, for the undegraded alpine meadow ecosystem, light to moderate grazing is still the best utilization strategy.

Key words: alpine meadow; water gradient; grazing intensity