

围封与放牧对新疆山地草原土壤特征的影响研究

李博一¹, 张宇¹, 阿斯娅·曼力克², 负静², 刘振虎^{3*}, 闫瑞瑞^{1*}

(1. 北方干旱半干旱耕地高效利用全国重点实验室 / 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 新疆畜牧科学院草业研究所, 新疆 乌鲁木齐 830000; 3. 中国农业科学院西部农业研究中心, 新疆 昌吉 831100)

摘要: 探讨围封与放牧对新疆温性草原与山地草甸土壤特征的影响, 为合理利用草地资源、保护草地生态环境提供理论支持。以围封与放牧两种利用方式下的新疆温性草原与山地草甸为研究对象, 2018年采用野外调查取样与室内处理分析相结合的方法, 对不同利用方式下土壤的理化性质进行了动态监测。研究表明: (1) 温性草原放牧的土壤水分含量普遍高于围封; 山地草甸围封的土壤水分含量普遍高于放牧。放牧增大了温性草原和山地草甸表层土的容重, 降低了表层土的土壤 pH。(2) 土壤速效养分温性草原围封低于放牧, 而山地草甸恰恰相反, 表层土的碱解氮除外; 除全磷外, 其他全量养分及硝态氮和铵态氮含量都是放牧高于围封。(3) 放牧使得温性草原全量养分含量与群落生物量和 pH 之间关系更加密切并呈现出负相关关系, 放牧使得山地草甸全量养分含量与生物多样性指数之间关系更为密切并呈现出正相关关系。同时发现, 围封与放牧对不同草地类型有不同的影响, 应将二者相结合以促进草地生态可持续发展。

关键词: 温性草原; 山地草甸; 土壤理化性质; 围封; 放牧

新疆是中国的草地资源大省, 新疆草地总面积 $5.73 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 占新疆土地总面积的 34%, 是整个国家生态安全的战略要地, 是维系中国粮食安全的重要节点, 新疆的战略地位在近些年得到了大幅提升, 新疆的草地生态也得到了前所未有的重视。新疆由于气候变化加剧和土地资源的不合理利用, 人地矛盾日益加剧, 导致草地大面积退化^[1-4], 生态环境问题日益严重, 同时, 放牧是牧民维持生计和经济收入的主要方式, 但实际载畜量普遍超过理论载畜量, 进一步加剧了草地退化。围封与放牧是草地最主要的两种利用方式, 会影响草地的生物特征以及土壤养分含量状况, 进而影响整个草地生态系统^[5-8], 但是造成的影响具有一定不确定性^[9-11], 对于一些肥沃的草原, 适当的放牧会对整体有益处, 而对于贫瘠的草原甚至退化的草原, 轻

微的放牧都会导致严重后果。

在 8 年前推行的第一轮草原生态补奖政策后, 大量的学者对草地生态进行了研究^[12-17], 新疆的草地生态得到了更好的重视, 新疆的生态环境也迎来了比较好的改善, 大量处于生态崩溃边缘的草地渐渐得到了保护, 恢复到了很好的状态。然而, 现有研究主要集中于围封与放牧对植被多样性的影响, 对土壤理化性质在不同利用方式下的响应研究相对不足, 这一领域的研究空白限制了草地可持续利用和生态补偿政策的进一步完善。

本研究依托新疆畜牧科学院天山北坡草地生态环境野外定位观测实验站, 对新疆温性草原和山地草甸放牧以及围封情况下的土壤状况实施动态监测, 新疆山地草原以温性草原和山地草甸为主, 这两类草原具有很强的代表性, 探究不同利用方式对山地草地土壤理化性质的影响, 为保护山地草地生态, 完善生态补偿机制提供了科学支撑。

放牧与围封是新疆草地的主要利用方式, 牲畜对植被的食用以及排泄物都会对土壤造成影响, 不合理的放牧会影响草地的生物特征以及土壤养分含量状况, 进而影响整个草地生态系统^[18-23]。因此, 研究围封与放牧对于新疆温性草原和山地草甸土壤理化性质的影响并总结其变化规律, 既是实现草地

收稿日期: 2024-09-09; 录用日期: 2025-03-16

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFF0703904); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (1610132024003); 第三批自治区“天池英才”引进计划。

作者简介: 李博一 (2000-), 硕士研究生, 主要研究草地生态系统碳循环。E-mail: 82101235290@caas.cn。

通讯作者: 刘振虎, E-mail: liuzhenhu@caas.cn; 闫瑞瑞, E-mail: yanrui@caas.cn。

资源合理利用的科学基础,也是完善草地生态补偿机制的重要支撑。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

温性草原研究地点位于新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市“新疆畜牧科学院天山北坡草地生态定位观测科学研究所”土圈温性草原观测样地区域(43° 33' 01.44"—43° 33' 25.44"N, 86° 56' 25.44"—86° 56' 40.56"E),海拔高度为1810~1860 m。该区域是中温带大陆干旱气候,温差比较大,年平均气温8℃,最低气温2.4℃;光照充足,年均降水310 mm。地貌以四周环山的丘陵状分布,是冬暖夏凉、季风少的优良冬季牧场。主要物种有大针茅(*Stipa grandis*)、羊茅(*Festuca ovina*)、苔草(*Carex yhibtica*)、伊犁绢蒿(*Seriphidium transiliense*)。土壤类型是黑钙土或栗钙土。

山地草甸研究地点位于天山北坡中段山地南山谢家沟与桦树沟山地草甸区域(43° 28' 53.6"—43° 29' 03.7"N, 87° 02' 31.7"—87° 02' 36.3"E),海拔高度1890 m,属于温带大陆性气候,年均降水310 mm,最高气温40℃,最低气温-29℃;无霜期110 d左右。主要物种有无芒雀麦(*Bromus inermis*)、细叶早熟禾(*Poa angustifolia*)、天山羽衣草(*Alchemilla tianschannica*)、草原老鹳草(*Geranium pratense*)、千叶蓍等(*Achillea millefolium*)。土壤为黑钙土。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计

温性草原试验设有放牧与围封两个处理,每个处理3个重复。围封处理是从2015年开始采用围栏形式进行全年围封,围栏面积为15 hm²;放牧区在围封区围栏外,属于冬季牧场,放牧牲畜为羊,冬季载畜量为3.26只/hm²,夏季3.57只/hm²。围封区群落盖度为60%~85%,放牧区群落盖度为30%~45%。

山地草甸设置放牧与围封两个处理。每个处理3个重复,围封区于2013年围栏保护,面积为3.3 hm²;放牧区放在围封区围栏外。放牧牲畜为哈萨克羊,载畜量为10只/hm²。围封区群落盖度为85%~98%,放牧区为50%~80%。

1.2.2 植被取样

2018年5—8月期间每月末在每个放牧区和围封区随机布设5个1 m × 1 m的样方,分种测定植

物高度、盖度、密度;然后将样方内的植物地上部分齐地面分种刈割,装入样品袋中,编号带回实验室,称取鲜重后装入纸袋中,在恒温(65℃)下烘干24 h,称其干重,测定群落地上生物量。将烘干的植物样品充分混匀后用植物样品粉碎机粉碎过1 mm筛备用。

群落地下生物量:在牧草生长旺盛期间(7月末)测定植物群落特征的相同地点利用根钻(直径5 cm)取0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60 cm土层的根系样品,每个地点重复5次。带回实验室后用1 mm土壤筛冲洗根系,在恒温(65℃)下烘干24 h,称其干重,计算群落地下生物量。

1.2.3 土壤取样

2018年7月末,每个样区随机选取5个1 m × 1 m的样方,齐地面刈割样方内所有植物后,采用3点取样法收集每个样方内土壤样品,分别采集0~10、10~20和20~30 cm土层土壤,将5个样方内相同深度土壤充分混匀,并且去除植物根系作为该样方土壤样品,将土壤样品置于自封袋中带回实验室进行分析。自然风干后的土壤样品碾磨过2 mm筛,用于测定土壤有机质、全氮和全磷含量;过1 mm筛土样用于测定有效磷含量;过2 mm筛土样用于测定碱解氮含量;新鲜土壤样品过2 mm筛,用于测定铵态氮和硝态氮含量。

1.2.4 土壤理化性质的测定

土壤温度采用探针法,土壤水分采用烘干法,土壤容重采用环刀法,土壤有机质采用重铬酸钾容量法加热法,土壤全氮采用半微量凯氏定氮法,土壤全磷采用钼锑抗比色法,土壤全钾采用NaOH熔融-火焰光度法,土壤碱解氮采用蒸馏法,土壤有效磷采用0.5 mol/L碳酸氢钠浸提法,土壤速效钾采用NH₄OAc浸提-火焰光度法,土壤NH₄⁺-N和NO₃⁻-N含量采用KCl浸提后流动分析仪方法。

1.3 数据处理

用Excel 2010进行数据的初步整理,通过SPSS 19.0对温度、pH、水分含量以及理化性质进行单因素分析(One-Way ANOVA)方差分析,显著性水平设为P<0.05,利用Origin 2024进行绘图和相关关系分析。

2 结果与分析

2.1 放牧与围封条件下土壤温度与水分的变化

由表1可知,温性草原,6月的时间段内,在

0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 土层, 放牧的土壤温度显著高于围封 ($P < 0.05$); 山地草甸除了 8 月, 在 0 ~ 10 cm 土层, 放牧与围封的土壤温度之间存在显著性差异 ($P < 0.05$), 而在 8 月, 在 10 ~ 20 cm 土层, 放牧与围封的土壤温度之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。温性草原和山地草甸 7 月, 在 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 土层, 围封与放牧的土壤水分之间有显著性差异 ($P < 0.05$), 温性草原在 0 ~ 10 cm 土层中围封土壤水分高于放牧, 在 10 ~ 20 cm 土层中放牧土壤水分高于围封; 而山地草甸放牧的土壤水分显著大于围封 ($P < 0.05$)。

从整体来看, 温性草原放牧的温度普遍高于围封, 山地草甸放牧的温度普遍低于围封; 温性草原的水分, 围封与放牧之间没有相关性, 山地草甸放牧的水分含量要高于围封。

从时间层面看, 温性草原 5 月是土壤含水量最高的季节, 8 月是土壤含水量最低的季节, 7 月是土壤温度最高的季节, 5 月是土壤温度最低的季节, 山地草甸 5 月是土壤含水量最高的季节, 7 月是含水量最低的季节, 8 月是土壤温度最高的季节, 5 月是土壤温度最低的季节。

表 1 不同时期温性草原与山地草甸的温度和水分变化

月份	土壤深度 (cm)	温性草原				山地草甸			
		温度 (°C)		水分 (g/kg)		温度 (°C)		水分 (g/kg)	
		围封	放牧	围封	放牧	围封	放牧	围封	放牧
5	0 ~ 10	12.78a	14.93a	17.81a	17.07a	9.35b	13.29a	29.63a	29.86a
	10 ~ 20	10.88a	11.33a	24.29a	26.27a	5.86b	11.25a	38.78a	37.95a
6	0 ~ 10	16.25b	22.76a	9.55a	10.57a	14.17b	13.10c	15.13b	18.71a
	10 ~ 20	15.60b	17.93a	11.17b	13.25a	13.31b	13.15b	20.16b	26.54a
7	0 ~ 10	31.20a	34.23a	3.77a	2.38b	17.70a	16.43c	7.29b	22.41a
	10 ~ 20	24.07a	28.56a	6.42b	9.93a	16.56a	16.28a	11.56c	34.55a
8	0 ~ 10	26.81a	22.31a	4.91a	6.05a	20.71a	13.82a	13.85a	21.61a
	10 ~ 20	25.05a	21.14a	6.16a	7.69a	17.45a	14.50b	15.82a	23.25a

注: 不同小写字母表示在两种不同利用方式间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 土壤容重与 pH 的变化

由表 2 可知, 温性草原和山地草甸在各个土层之间, 围封与放牧的土壤容重之间没有显著性差异 ($P > 0.05$), 在 0 ~ 10 cm 土层, 放牧的土壤容重高于围封, 在 10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层, 围封的土壤容重高于放牧, 而山地草甸 20 ~ 30 cm 土层却刚好相反, 放牧高于围封。

温性草原在 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 土层中, 围封的土壤 pH 显著高于放牧 ($P < 0.05$); 山地草甸在所有土层中, 放牧与围封的土壤 pH 之间没有显著性差异 ($P > 0.05$)。

从温性草原和山地草甸的比较来看, 山地草甸放牧条件下的 0 ~ 10 cm 表层土壤容重要高于温性

草原; 温性草原的 pH 要普遍高于山地草甸, 围封的差异要大于放牧。

2.3 土壤速效养分的变化

如图 1 所示, 温性草原在 0 ~ 10 cm 土层中, 围封与放牧的土壤碱解氮含量之间无显著性差异 ($P > 0.05$); 放牧比围封多 36.36 mg/kg; 10 ~ 20 cm 围封与放牧的土壤碱解氮含量之间无显著性差异 ($P > 0.05$), 在 20 ~ 30 cm 土层中, 围封的碱解氮含量显著低于放牧 ($P < 0.05$), 相差 37.56 mg/kg; 山地草甸 0 ~ 10 cm 土层中, 围封的碱解氮含量显著低于放牧 ($P < 0.05$), 相差 59.07 mg/kg; 在 10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中, 围封与放牧的碱解氮含量无显著差异 ($P > 0.05$), 围封条件下的碱解氮含量高于放牧。

表 2 温性草原与山地草甸容重与 pH 变化

土壤深度 (cm)	温性草原				山地草甸			
	容重 (g/cm^3)		pH		容重 (g/cm^3)		pH	
	围封	放牧	围封	放牧	围封	放牧	围封	放牧
0 ~ 10	1.73a	1.74a	9.01a	8.00b	1.51a	1.88a	7.01a	6.77a
10 ~ 20	2.02a	1.80a	9.08a	8.15b	1.78a	1.71a	7.01a	7.17a
20 ~ 30	1.94a	1.86a	8.84a	8.16a	1.61a	1.76a	7.15a	7.33a

温性草原 0 ~ 10 cm 土层中, 围封的速效钾含量显著低于放牧 ($P < 0.05$), 放牧比围封多 54.69 mg/kg; 在 10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中, 围封与放牧的速效钾含量之间无显著差异, 放牧比围封速效钾含量更高, 山地草甸 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30 cm 土层中, 围封的速效钾含量显著高于放牧 ($P < 0.05$), 围封

比放牧速效钾含量要高约 1 倍。

温性草原 0 ~ 10 cm 土层中, 围封的有效磷含量显著低于放牧 ($P < 0.05$), 放牧比围封多 3.92 mg/kg; 在 10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中, 围封与放牧的有效磷含量之间无显著差异, 放牧比围封有效磷含量更高, 山地草甸 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土

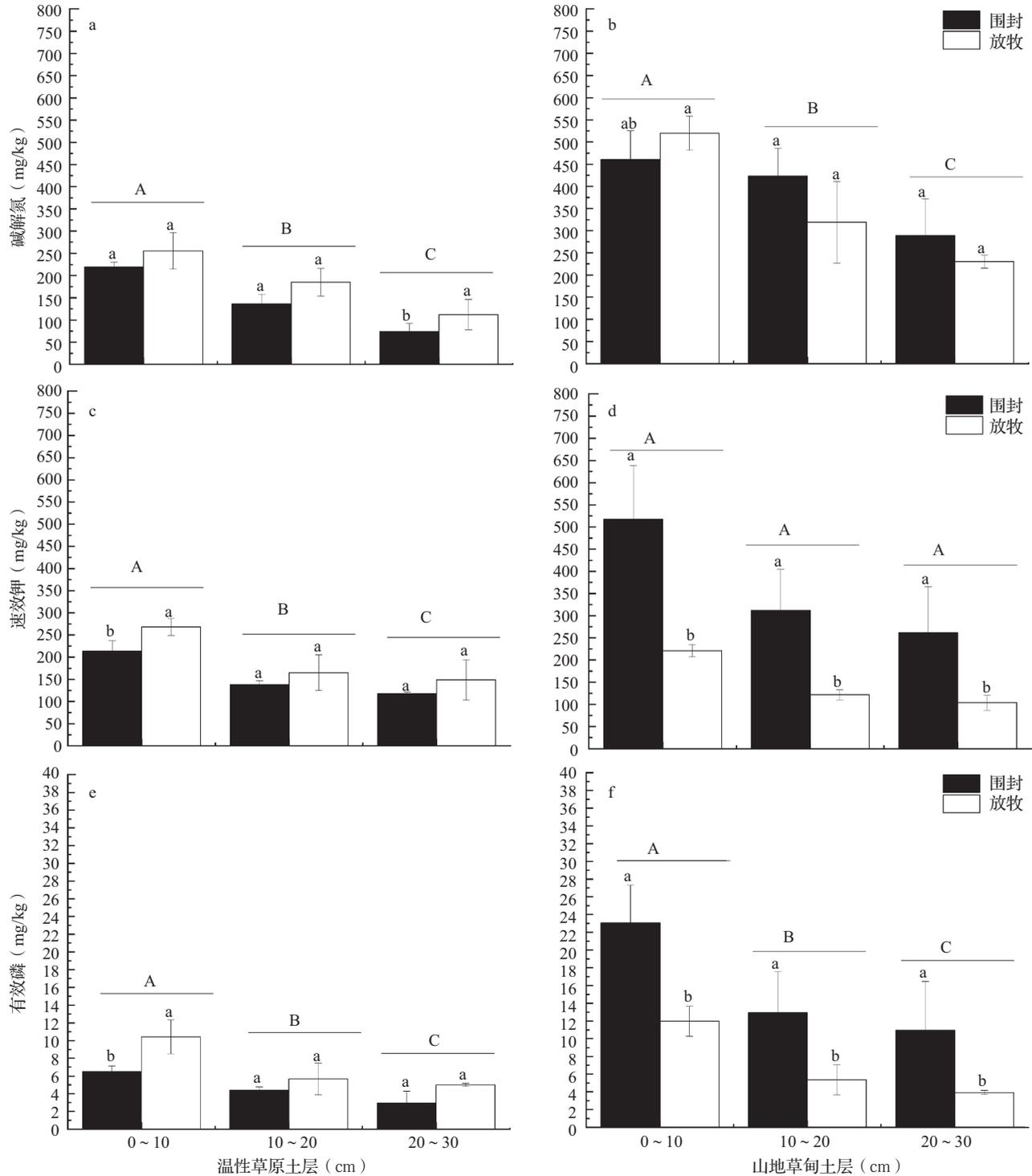


图 1 温性草原与山地草甸速效养分变化

注: 不同小写字母表示不同利用方式间差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示不同土层之间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

层中, 围封的有效磷含量显著高于放牧 ($P<0.05$), 围封是放牧有效磷含量的两倍左右。

从温性草原与山地草甸总体来看, 除了山地草甸速效钾含量, 土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量均随深度增加而显著降低 ($P<0.05$), 速效养分含量在不同草原类型上表现出很大的差异。

从温性草原与山地草甸的比较可以得出, 山地草甸的速效养分(碱解氮、有效磷、速效钾)皆高于温性草原, 而且山地草甸的速效养分含量要高出温性草原 1 倍; 与此同时, 在温性草原中, 有效磷和速效钾皆是放牧高于围封, 而山地草甸正好相反, 围封高于放牧。

2.4 土壤硝态氮和铵态氮含量的变化

由图 2 可知, 温性草原 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中, 围封的硝态氮含量显著小于放牧 ($P<0.05$), 分别比围封多 2.65、3.01、1.99 mg/kg; 山地草甸 0 ~ 10 cm 土层中, 围封的硝态氮含量显

著低于放牧 ($P<0.05$), 放牧比围封多 65.85 mg/kg。

温性草原 0 ~ 10 和 20 ~ 30 cm 土层中, 围封的铵态氮含量显著小于放牧 ($P<0.05$), 放牧分别比围封多 0.81、0.47 mg/kg。山地草甸 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中, 围封与放牧的铵态氮含量之间没有显著性差异 ($P>0.05$), 放牧的铵态氮含量普遍高于围封。

从温性草原和山地草甸整体来看, 温性草原硝态氮含量和土层深度无关, 3 个深度之间没有显著性差异, 山地草甸硝态氮含量随土壤深度增加显著降低 ($P<0.05$), 温性草原与山地草甸铵态氮含量随土壤深度增加显著降低 ($P<0.05$)。

比较温性草原和山地草甸可以得出, 山地草甸硝态氮和铵态氮含量都要明显高于温性草原, 尤其是硝态氮含量, 山地草甸比温性草原要高出 20 倍。

2.5 土壤全量养分含量的变化

由图 3 可知, 温性草原 0 ~ 10 和 20 ~ 30 cm 土

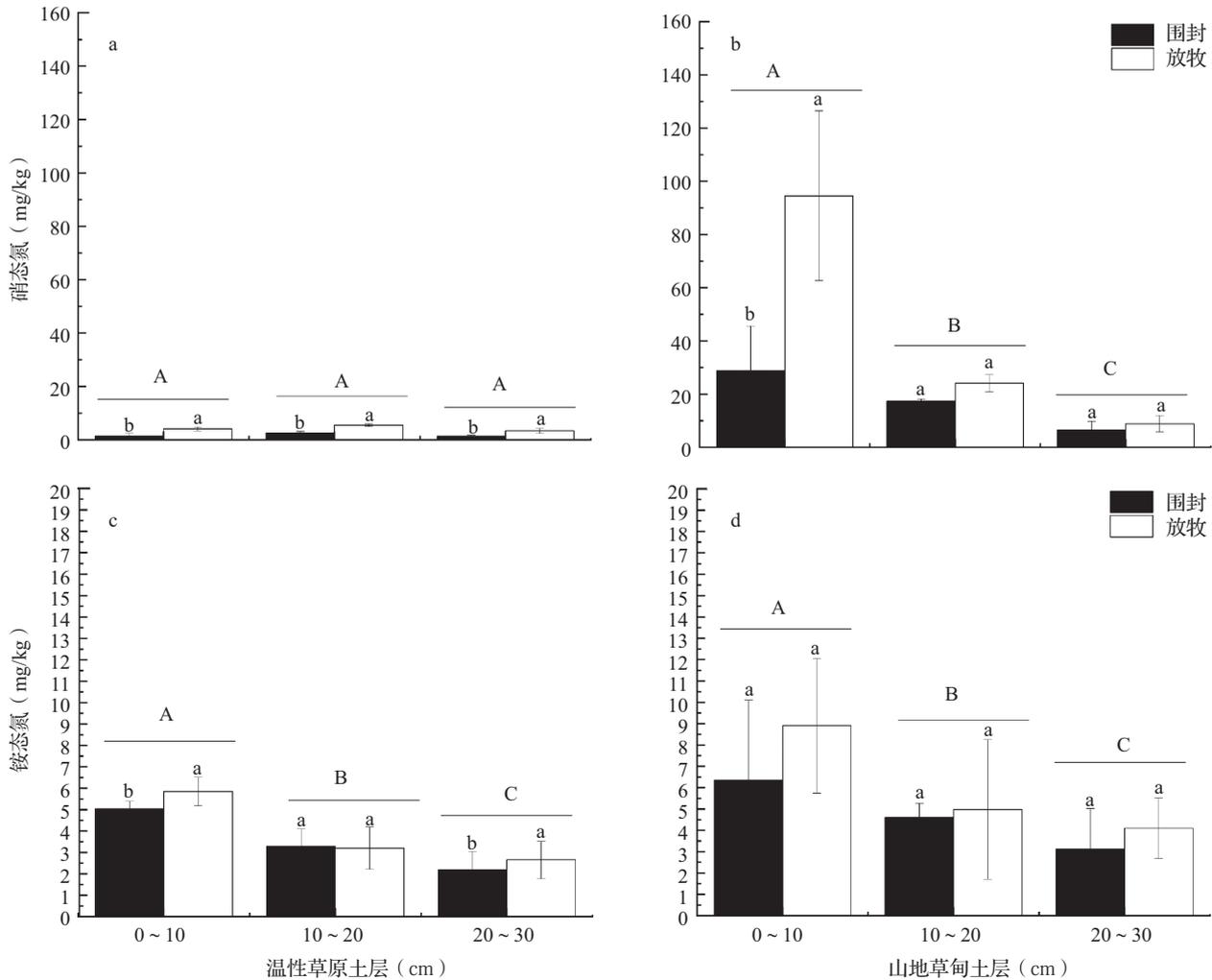


图 2 温性草原与山地草甸硝态氮与铵态氮的变化

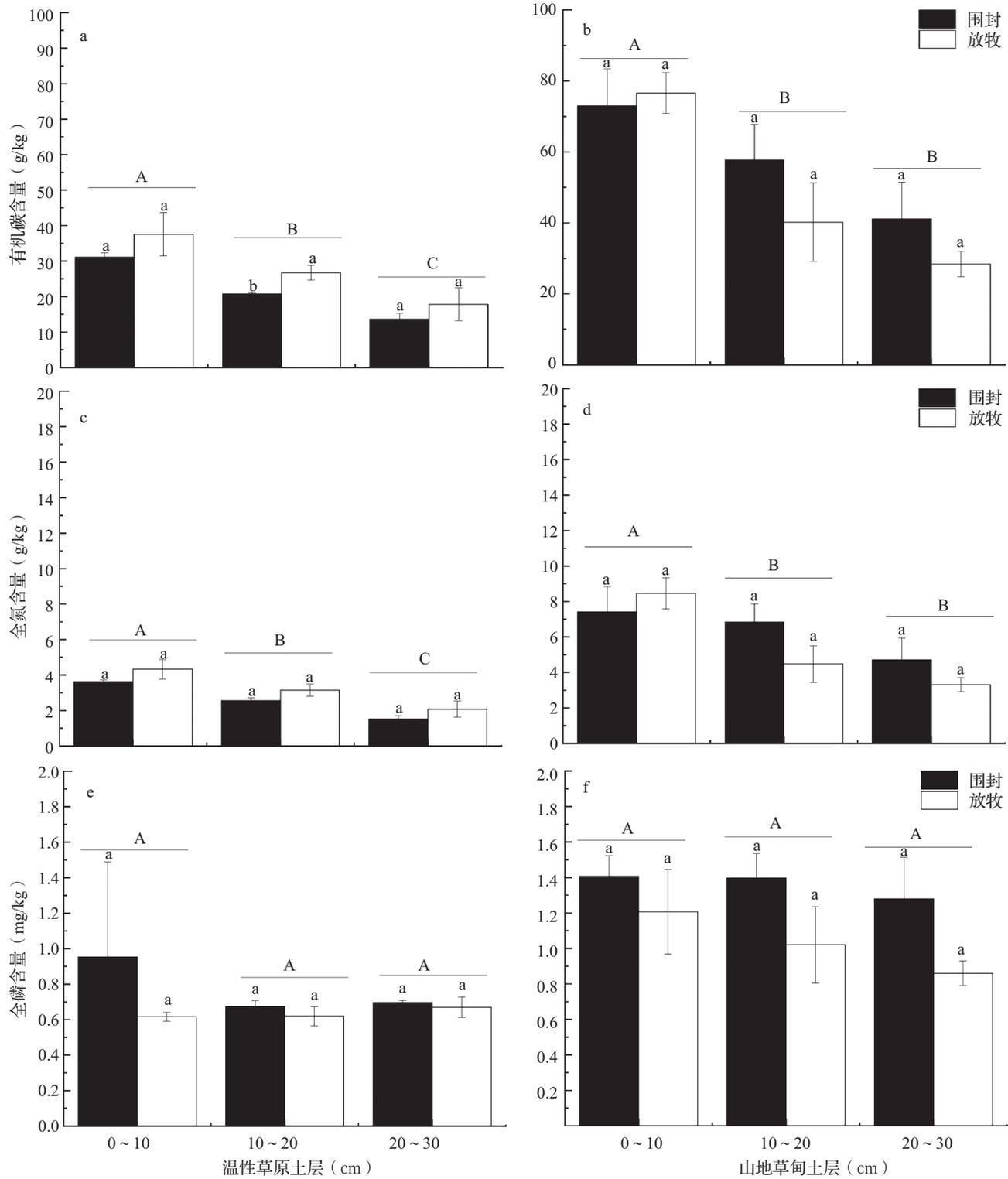


图3 温性草原与山地草甸全量养分的变化

层中，围封与放牧的有机碳含量之间没有显著性差异 ($P>0.05$)，在 10 ~ 20 cm 土层中，围封的有机碳含量显著小于放牧 ($P<0.05$)，围封比放牧低 5.96 g/kg；山地草甸在 0 ~ 10、10 ~ 20 和

20 ~ 30 cm 土层中，围封与放牧的有机碳含量之间没有显著性差异 ($P>0.05$)。

温性草原 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中，围封与放牧的全氮含量之间没有显著性差异

($P>0.05$), 在各土壤深度中, 放牧的全氮含量比围封高; 山地草甸 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中, 围封与放牧的全氮含量之间没有显著性差异 ($P>0.05$)。

温性草原 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中, 围封与放牧的全磷含量之间没有显著性差异 ($P>0.05$), 在各土壤深度中, 放牧的全磷含量比围封低; 山地草甸 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中, 围封与放牧的全磷含量之间没有显著性差异 ($P>0.05$), 在各土壤深度中, 放牧的全磷含量比围封低。

从温性草原与山地草甸整体来看, 温性草原有机碳和全氮含量都随深度增加显著降低 ($P<0.05$), 各土壤深度之间全磷含量没有显著性差异 ($P>0.05$); 山地草甸有机碳和全氮含量在 0 ~ 10 cm 与 10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层之间有显著性差异 ($P<0.05$), 而 10 ~ 20 与 20 ~ 30 cm

土层之间没有显著性差异 ($P>0.05$), 全磷含量各土壤深度之间没有显著性差异 ($P>0.05$)。

比较温性草原和山地草甸, 温性草原的有机碳、全氮、全磷含量普遍低于山地草甸, 其中山地草甸有机碳含量比温性草原有机碳含量高约 1 倍。

2.6 植被特征以及土壤物理特征与土壤全量养分特征之间的关系

由图 4 可知, 在围封条件下, 温性草原的土壤有机碳与全磷含量和群落高度之间呈显著正相关关系, 与水分、温度以及容重之间呈显著负相关关系, 全氮含量与群落高度之间呈显著正相关关系, 在放牧条件下温性草原土壤有机碳、全氮和全磷含量与密度、群落生物量、温度、容重和 pH 之间呈显著负相关关系。

由图 4 可知, 在围封条件下, 山地草甸的土壤有机碳、全磷以及全氮含量都与群落盖度、密度、土壤水分、温度和 pH 之间呈显著正相关关系, 与

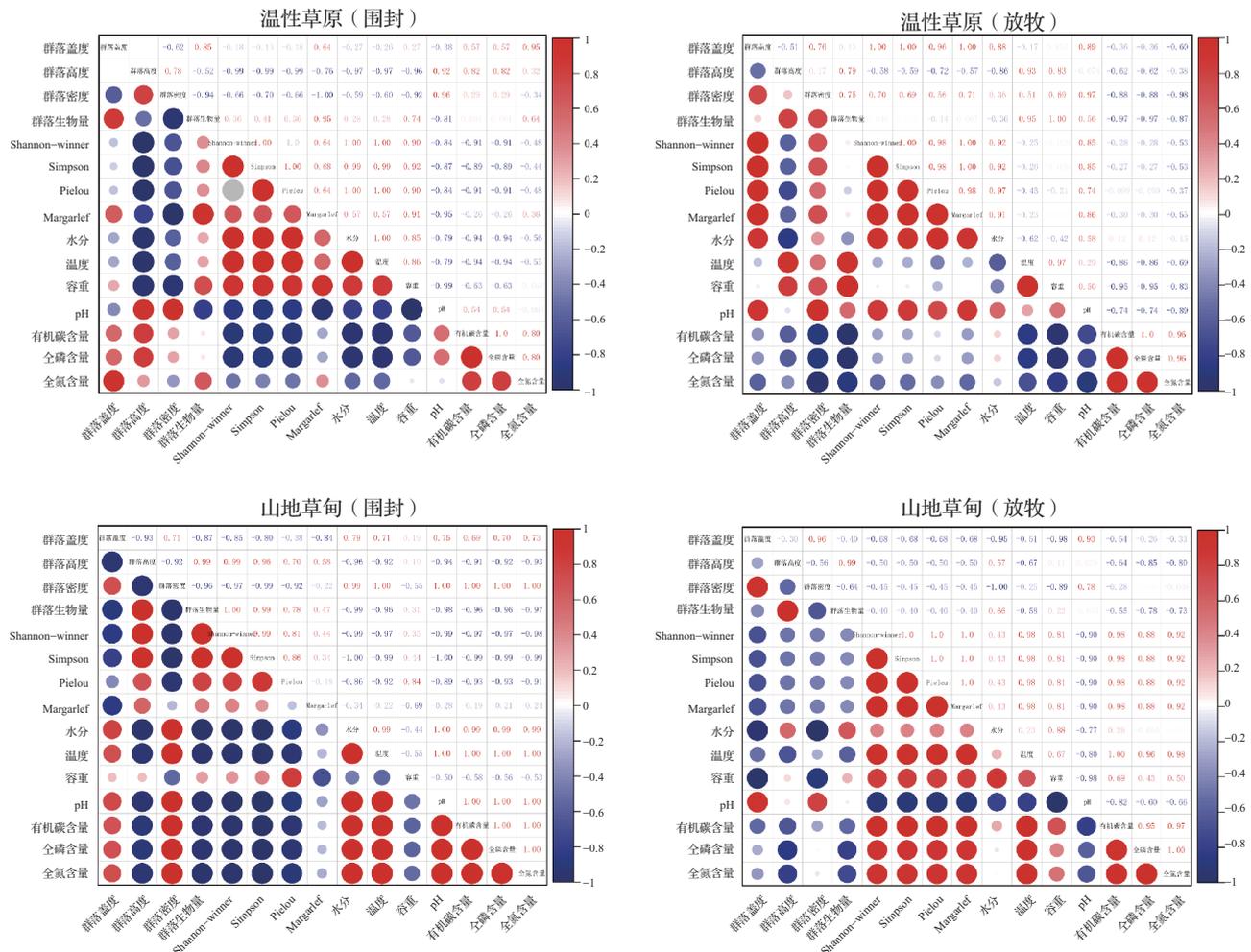


图 4 草原植被特征以及土壤物理特征与土壤全量养分特征之间的关系

群落高度和植物生物量呈显著负相关关系,在放牧条件下,山地草甸的土壤有机碳、全磷以及全氮含量与植物多样性指数和温度之间呈显著正相关关系,与群落高度、生物量和 pH 之间呈显著负相关关系。

3 讨论

3.1 不同利用方式对土壤物理性状和 pH 的影响

土壤容重、水分、温度是影响植物生长的重要因素,容重会反映出土壤的紧实程度和土壤结构,研究表明,放牧相较于围封会增大表层土壤的容重,无论是温性草原还是山地草甸都呈现这一现象,这是由于放牧使得草地受到了牛羊的踩踏,使原本疏松的土壤变得更加紧实,进而增大了土壤容重,但两种不同类型的草原容重受到的影响差异不同,放牧对山地草甸表层土壤容重影响更大,对深层土壤影响不显著,这与王玉辉等^[24]研究结果一致,可能是温性草原土壤本身紧实程度高于山地草甸,由于温性草原区域降水要低于山地草甸区域,这就使得温性草原紧实程度更高,受到践踏后,紧实的土壤抗压能力更强,波动幅度小,疏松的土壤抗压能力更弱,波动幅度大。水分反映了土壤的湿润程度,直接影响植物的水分吸收,研究表明,不同利用方式对温性草原的土壤水分影响没有单向规律,有时会增大土壤含水量,有时会减少土壤含水量,说明含水量的变化所受影响因素很多,放牧对含水量影响不具有主导性,但是山地草甸的放牧相较于围封增大了土壤含水量,董全民等^[5]认为,放牧强度增加会使土壤含水量先升高再降低,与该结论相似,其他研究得出放牧会增大容重^[24],而容重增大意味着孔隙减少,孔隙减少导致土壤含水量减少,而本研究得到了相反的结果,可能是含水量的多少不仅与容重有关,牲畜的排泄物也同样有一定的水分,如果放牧量大,土壤水分含量整体提升,还有一种假设,植被被牲畜采食,草地蒸腾作用减少,导致土壤剩余含水量增大。土壤温度反映了植物和微生物生理活动以及化学反应的整体环境温度,它会直接影响到无机有机的化学反应和植物微生物的生理活动,研究表明,温性草原放牧的土壤温度高于围封,与此相反,山地草甸放牧温度低于围封,这与两种草原不同特征有关系,温性草原因为降水不足,植被比较稀疏,山地草甸的植被却十分繁盛,温性草原由于牲畜采食植物,使得土壤表面裸露,获得了更多太阳光照,温度上升,而山

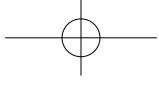
地草甸由于牲畜白天吃草遮挡了草地,加上采食并未过分减少植被对土壤的遮蔽,未使土壤接触到的阳光增加多少,加之牲畜的排泄物遮挡了阳光,使得土壤温度降低。pH 是反映土壤酸碱性的重要指标,直接影响化学反应的方向,研究表明,温性草原和山地草甸表层土壤 pH 放牧低于围封,这与益西措姆等^[25]的研究结论相近,这主要是因为围封条件下枯落物会阻碍土壤与空气之间的气体交流,土壤中二氧化碳含量会减少,导致二氧化碳与水反应生成碳酸减少,所以 pH 更大。

3.2 不同利用方式对土壤速效养分含量的影响

速效养分是植物可以直接吸收的养分,直接影响植物的生长发育,研究表明,放牧相较于围封增大了温性草原碱解氮、有效磷、速效钾的含量,氮、磷、钾是公认的 3 种必需营养元素,速效养分含量与土壤结构有一定的相关关系,结构越良好,孔隙度越合理,水分与养分的结合和流通就会效率更高,不同利用方式对温性草原表层土壤容重影响不明显,放牧总体上减少了土壤容重进而导致速效养分含量增加;放牧相较于围封增大了山地草甸表层土的碱解氮含量,这与干友民等^[26]的研究结果相似,却降低了速效钾和有效磷含量,这与付华等^[18]研究一致,山地草甸因为植物众多,受到牲畜的采食,促进了植物的抗逆性表现,促进植物更高效率的吸收了速效养分,使得土壤中的速效养分含量减少。深层土的碱解氮含量减少,表层土碱解氮之所以增加与碳含量减少有关,碳氮比一直处于动态平衡,放牧减少了枯落物,降低了有机碳含量,抑制了微生物对氮的吸收,使得表层土壤养分含量增加。铵态氮与硝态氮均为植物可吸收利用的无机氮,植物对铵态氮的吸收效率要高于硝态氮^[27],研究表明,放牧相较于围封增加了温性草原和山地草甸土壤硝态氮和铵态氮含量,并且减少了覆盖在土壤表面的有机质,使得微生物减少了对氮元素的吸收,进而促进了铵态氮和硝态氮更多地保留在土壤之中,使其更多被植物所利用。

3.3 不同利用方式对土壤全量养分含量和有机碳的影响

全量养分体现了某个元素整体的变化,研究表明,温性草原和山地草甸在放牧条件下相较于围封提高了表层土全氮含量,这与白可喻等^[28]和王淑强等^[29]研究结果相同,却降低了全磷的含量,这



与戎郁萍等^[30]研究结果一致。这是由于放牧时牲畜会采食植物,植物吸收营养物质,磷元素会从土壤转移到动物体内,进而降低了土壤的全磷含量,而全氮与碳元素保持一种动态平衡,采食植物抑制了氮元素被微生物利用,反而增加了全氮含量。土壤有机碳能反映土壤碳库的大小及其动态输入与输出,对评估草地生态系统的碳平衡有重要意义^[31],研究表明,放牧提高了温性草原有机碳的含量,温性草原由于环境限制,并没有山地草甸那么茂密的植被覆盖,适当放牧促进了植物的生长效率,牲畜对植物的适当采食会促进植物的生长,这会增大该区域的有机质的净生产量,使得有机碳含量提高;放牧相较于围封提高了山地草甸表层土的有机碳含量,降低了深层土的有机碳含量,这是由于牲畜的采食会导致更多枯落物掉落在土壤表面增大了表层土有机碳含量,但是因为牲畜的活动使得有机碳很难逐渐向下迁移,大量的有机质被牲畜所利用,使得深层土的有机碳含量降低。

3.4 不同利用方式下植被特征以及土壤物理特征对土壤全量养分特征的影响

在围封条件下,温性草原的群落高度越高,土壤全量养分含量越高,而山地草甸正好相反,推测是因为山地草甸本身惰性养分不足,使得植物的生长吸收了土壤中的全量养分,难以得到充足的补充,使其向相反的方向发展;另一种可能是因为山地草甸雨水充足,使得土壤养分向更深的土层迁移,而未被检测到。温度和水分与温性草原的土壤全量养分成负相关,而与山地草甸全量养分呈正相关,本研究推测可能是因为温性草原的环境比较好,非常适宜,而超过适宜的温度和水分会起到抑制作用,山地草甸环境还没有达到临界点,所以不会有抑制作用。在放牧条件下,温性草原和山地草甸的土壤全量养分都与群落生物量和 pH 之间呈现负相关关系,这是因为牲畜的采食,生物量越多,意味着牲畜采食越多,进而形成了补偿性生长,进一步消耗了土壤中的养分,而 pH 越高,可能导致了养分的活性变高,进而由于外界的环境影响而流失,比如通过降雨以及大风,也可能因为 pH 的升高使得植物的长势更好,进而通过牲畜采食带走了原本属于土壤的养分。

4 结论

(1) 放牧较围封提高了温性草原的温度和表层

土的容重,降低了中表层土的 pH,放牧降低了山地草甸的土壤温度和表层土 pH,提高了水分含量和表层土容重。

(2) 放牧较围封提高了温性草原的碱解氮、速效钾以及有效磷的含量,放牧提高了山地草甸表层土碱解氮的含量,降低了有效磷和速效钾的含量,放牧提高了温性草原和山地草甸硝态氮含量,显著提高了温性草原铵态氮含量,放牧提高了温性草原和草甸表层土有机碳和全氮含量,降低了全磷含量。

(3) 放牧使得温性草原全量养分含量与群落生物量和 pH 之间关系更加密切,呈负相关关系,放牧使得山地草甸全量养分含量与生物多样性指数之间关系更为密切,呈正相关关系。

(4) 总体来说,放牧与围封对于不同的草地类型其影响差异较大,对于不同土层的影响也各有不同。从放牧和围封对于不同养分影响来看,放牧对于大多养分的增加是有益的,放牧能使得养分与植被之间的关系更为密切,对于植被多的草地类型放牧有益于其养分积累,植被少的草地类型放牧可能就是威胁。因为样本时间的范围小,无法以更大的尺度证明其影响规律,有待下一步深入研究。

参考文献:

- [1] 王万林,穆晨,赵永卫,等.新疆荒漠草地现状及改良对策与建议[J].草食家畜,2017(6):43-47.
- [2] 成湘,员玫瑰,郭刚,等.新疆草地资源现状及其主要功能探讨[J].草食家畜,2012(4):23-25,28.
- [3] 达吾提阿依努尔,乃依木麦提敏.新疆草地退化现状、原因及防治对策[J].新疆畜牧业,2015(10):18-21.
- [4] 张炜,买买提祖力菲娅.浅析新疆草地资源利用与保护现状[J].新疆畜牧业,2014(2):24-27,37.
- [5] 董全民,赵新全,马玉寿,等.江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[J].草业科学,2005(6):65-70.
- [6] Török P, Penksza K, Tóth E, et al. Vegetation type and grazing intensity jointly shape grazing effects on grassland biodiversity [J]. Ecology and Evolution, 2018, 8 (20): 10326-10335.
- [7] 梁东,殷举元,石一日约,等.金阳县不同草地利用方式对植物群落多样性及生产力的影响[J].草学,2024(2):49-54.
- [8] Zhao Y, Peth S, Horn R, et al. Modeling grazing effects on coupled water and heat fluxes in Inner Mongolia grassland [J]. Soil and Tillage Research, 2010, 109 (2): 75-86.
- [9] 孙世贤,卫智军,陈立波,等.放牧强度季节调控对短花针茅荒漠草原土壤养分的影响[J].生态环境学报,2013,22(5):748-754.
- [10] 黄妙芬.大气-植被-土壤之间物质和能量输送过程与机制

- 的分析 [J]. 干旱区地理, 1997 (1): 79-83.
- [11] 侯扶江, 杨中艺. 放牧对草地的作用 [J]. 生态学报, 2006 (1): 244-264.
- [12] 胡运禄, 张明善. 中国湿地生态价值评估及生态补偿标准研究 [J]. 生态经济, 2024, 40 (1): 135-142, 187.
- [13] 王正刚, 杨磊, 依明伊丽努尔, 等. 新疆自然资源领域生态补偿制度调查研究 [J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37 (3): 113-116.
- [14] 周洁, 侯云霞, 吐拉甫祖拜旦木, 等. 新疆差异化草原生态补偿标准研究 [J]. 江西农业学报, 2019, 31 (2): 135-140.
- [15] 杨清, 南志标, 陈强强. 国内草原生态补偿研究进展 [J]. 生态学报, 2020, 40 (7): 2489-2495.
- [16] Sun S, Niu J, Wang Y, et al. Exploring the heterogeneities in the impacts of China's grassland ecological compensation program [J]. Land, 2024, 13 (2): 132.
- [17] Qiu Li, Tang Jisi. Research on the participatory assessment development evaluation of grassland ecological compensation policy based on "regulation balance" [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39 (1): 73-84.
- [18] 付华, 王彦荣, 吴彩霞, 等. 放牧对阿拉善荒漠草地土壤性状的影响 [J]. 中国沙漠, 2002 (4): 32-36.
- [19] 乌力吉, 李响, 赵萌莉, 等. 放牧对草地生态系统磷循环调控机制的研究进展与展望 [J]. 科学通报, 2020, 65 (23): 2469-2482.
- [20] 万里强, 陈玮玮, 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.
- [21] 张成霞, 南志标. 放牧对草地土壤理化特性影响的研究进展 [J]. 草业学报, 2010, 19 (4): 204-211.
- [22] 郭荣明, 苗彦军, 许赵佳, 等. 放牧对草地植物影响的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2024, 52 (8): 6-9, 22.
- [23] Cao F, Li W, Jiang Y, et al. Effects of grazing on grassland biomass and biodiversity: a global synthesis [J]. Field Crops Research, 2024, 306: 109204.
- [24] 王玉辉, 何兴元, 周广胜. 放牧强度对羊草草原的影响 [J]. 草地学报, 2002 (1): 45-49.
- [25] 益西措姆, 许岳飞, 付娟娟, 等. 放牧强度对西藏高寒草甸植被群落和土壤理化性质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2014, 42 (6): 27-33.
- [26] 干友民, 李志丹, 王钦, 等. 川西北亚高山草甸放牧退化演替研究 [J]. 草地学报, 2005 (S1): 48-52.
- [27] Gazzarrini S, Lejay L, Gojon A, et al. Three functional transporters for constitutive, diurnally regulated, and starvation-induced uptake of ammonium into Arabidopsis roots [J]. Plant Cell, 1999, 11 (5): 937-948.
- [28] 白可喻, 王培, 韩建国, 等. 放牧强度对新麦草人工草地氮素在牧草与土壤中的分配和动态的影响 [J]. 草地学报, 1999 (1): 46-53.
- [29] 王淑强, 胡直友, 李兆方. 不同放牧强度对红三叶、黑麦草草地植被和土壤养分的影响 [J]. 自然资源学报, 1996 (3): 280-287.
- [30] 戎郁萍, 韩建国, 王培, 等. 放牧强度对草地土壤理化性质的影响 [J]. 中国草地, 2001 (4): 42-48.
- [31] 于志慧, 吕广一, 王新雅, 等. 放牧强度对内蒙古荒漠草原土壤碳氮及其稳定同位素的影响 [J]. 草地学报, 2022, 30 (3): 544-552.

Effects of enclosure and grazing on soil characteristics of grassland in Xinjiang

LI Bo-yi¹, ZHANG Yu¹, ASYA Manlike², YUN Jing², LIU Zhen-hu^{3*}, YAN Rui-rui^{1*} (1. State Key Laboratory of Efficient Utilization of Arable Land in China / Institute of Agricultural Resources and Agricultural Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 2. Institute of Prataculture, Xinjiang Academy of Animal Husbandry Sciences, Urumqi Xinjiang 830000; 3. Western Agricultural Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji Xinjiang 831100)

Abstract: This study explored the effects of enclosure and grazing on soil characteristics of temperate grassland and mountain meadow in Xinjiang, and provided theoretical support for the rational utilization of grassland resources and the protection of grassland ecological environment. In 2018, the physicochemical properties of the soil under different utilization modes were dynamically monitored by combining field sampling and indoor analysis. The results showed that: (1) The soil moisture content of temperate grassland grazing was generally higher than that of enclosure. The soil moisture content of mountain meadows was generally higher than that of grazing. Grazing increased the bulk density of the topsoil in temperate steppe and mountain meadows, and decreased the soil pH of the topsoil. (2) Soil available nutrients under enclosure were lower than grazing in temperate grasslands, while it was the opposite in mountain meadows, except for the available nitrogen in topsoil; The total nutrient and nitrate and ammonium nitrogen contents of enclosure, with the exception of total phosphorus, were higher than those of grazing. (3) Grazing made the relationship between total nutrient content and community biomass and pH of temperate grassland more closely and negatively correlated, and grazing made the relationship between total nutrient content and biodiversity index of mountain meadow more closely and positively correlated. This study also found that enclosure and grazing had different impacts on different grassland types, and they should be combined to promote the sustainable development of grassland ecology.

Key words: temperate grassland; mountain meadow; soil physical and chemical properties; enclosure; grazing