

肃北高寒草原不同放牧强度土壤养分变化特征^①

杨红善¹, 常根柱¹, 周学辉¹, 路远¹, 那·巴特尔²

(1 中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所, 兰州 730050; 2 全球环境基金 (GEF) 项目肃北县项目办公室, 甘肃肃北 736300)

摘要: 研究了肃北高寒草原不同放牧强度下不同土层土壤养分及 5 种微量元素有效态含量变化特征。结果表明: ①高寒草原土壤物理性质的变化对土壤养分及微量元素具有重要的调控作用; ②随着放牧强度的提高, 0~10、10~20 cm 土层土壤体积质量均呈不同程度的增加, 土壤孔隙度和土壤含水量则呈显著的递减趋势; ③轻度放牧草地土壤有机质、土壤全 N 含量高于中度放牧和重度放牧草地; 20~30 cm 土层有机质随放牧强度的增大呈明显下降趋势, 即随放牧强度的增大深层土壤肥力呈退化趋势; 肃北高寒草原的速效养分以多 N 少 P 富 K 为特点, 土壤速效 N、P、K 含量在总体上随放牧强度的增加呈下降趋势; ④肃北高寒草原 5 种微量元素的高低顺序依次是: Na>Fe>Mn>Cu>Zn, 不同放牧强度下各微量元素的变化一致, 顺序依次是: 轻度放牧>对照>中度放牧>重度放牧; ⑤放牧强度对 10~20 cm 的土层影响最大, 随放牧强度的增大, 地表植物营养吸收层土壤营养成分、微量元素呈降低, 导致地表植被生长能力降低, 最终导致地表土壤沙化, 最后使草地大面积退化。

关键词: 高寒草原; 放牧强度; 土壤养分; 微量元素

中图分类号: S158.3

高寒草原是我国面积最大的一个草地类型^[1]。土壤退化是草地退化的核心问题^[2], 天然草地过度放牧引起植被的破坏及土壤结构变化, 两者相互作用致使土壤养分发生变化; 长期以来, 在肃北高寒草原不合理的放牧制度已导致区域生态环境恶化, 草地退化现象日趋严重^[4-5]。土壤中微量元素的含量反映了土壤对植物矿物质营养的供给水平, 直接关系着天然和人工植被的生长发育, 但对天然草地土壤中有效态微量元素含量的研究较少, 且主要集中在植被构成与生物量变化方面, 且土壤物理、化学方面的报道比较少, 尤其是对肃北高寒草原土壤养分及有效态微量元素的研究未见报道^[6-7, 9]。肃北县对草地资源的开发利用一直处于粗放状态, 高寒草原超载过牧极为严重, 牲畜践踏、嚼食草根等极大地加剧了以沙化为主的草地退化过程, 不仅导致草地土壤结构、土壤肥力、土壤生物区系的严重受损、衰退和破坏, 以及严重的植被退化, 更为严峻的是加剧了气候旱化、沙漠化、沙尘暴等环境问题, 已成河西走廊西段草地退化较为严重的区域。本文以河西走廊西段肃北蒙古族自治县南部祁连山区主要草地类型为研究对象, 探讨了不同放牧强度下地上生物量及植被状况、土壤养分及有效态微量元素

Fe, Mn, Zn, Na 和 Cu 含量的分布特征及变化特征, 旨在为该区草地的恢复及评价提供基础数据。

1 研究区概况

肃北蒙古族自治县地处河西走廊西段, 隶属酒泉地区, 总土地面积 7.091 6 万 km², 本试验区位于肃北县石包城乡属于南部祁连山区, 海拔 2 030~2 080 m, 面积 339.75 万 hm²。祁连山区属高寒半干旱气候, 年日照 2 841.1 h, 年均温 6.3℃, 地表最高温度 58.2℃, 最低温度 -42.5℃, 无霜期 136~186 天, 牧草生长期 60~210 天, 年均降雨量 86~280 mm。

2 样品采集与分析方法

2.1 样品采集

于 95°36'~97°64'E, 39°07'~39°91'N 之间, 以高寒草原中最具代表性、典型性的紫花针茅 (*Stipa purpurea*) 草原 (土壤类型为高山草原土) 为研究对象, 由肃北县 GEF 项目区选定的 4 块不同放牧强度试验样地。放牧强度通过现场调查牲畜数量、土地面积调查而获得, 各处理为: 样地 1, 轻度放牧, 每公顷一只羊; 样地 2, 中度放牧, 每公顷两只羊; 样地 3,

①基金项目: 全球环境基金 (GEF) 项目 (052456 CHA-GS-Y-2) 和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (BRF100202) 资助。

作者简介: 杨红善 (1981-), 男, 甘肃兰州人, 硕士, 助理研究员, 主要从事旱生牧草育种研究。E-mail: yanghsh123@126.com

重度放牧，每公顷 3 只羊；样地 4，禁牧对照区。试验时间是 2007 年牧草返青后，在 3 个样地经过 5 个月的放牧，于 10 月份在各地选择植被群落具有代表性的，按网格法采集土壤样品，即在 3 个样地分别以每个取样点为中心，在半径 3 m 的范围内，用内径 4 cm 的土钻分别按 0~10、11~20、21~30 cm 土层各随机取 10 钻土样，以每 10 钻土样组成 1 个混合土样，装入新的无菌塑料袋中，带回实验室备用。

2.2 测定项目和方法

土壤样品经自然风干，过 0.5 mm 筛，土壤含水量测定采用烘干法；土壤体积质量测定用环刀取样法；土壤 pH 值的测定用电位法；土壤有机质用重铬酸钾容量法测定；全 N 用半微量凯氏定氮法测定；速效 N 用碱解扩散法测定；速效 P 用碳酸氢钠浸提比色法测定；土壤速效 K 用 $\text{NH}_4\text{-OAc}$ 浸提，火焰光度计法测定；土壤过氧化氢酶的测定采用高锰酸钾滴定法^[3]；土壤有效态微量元素由甘肃省农产品质量安全监督检测中心采用 DTPA 提取，原子吸收分光光度计测定。上述各项测定均重复 3 次。

2.3 分析统计方法

相关分析、差异显著性检验分别采用 SPSS 软件和 LSR 法。

3 结果与讨论

3.1 高寒草原不同放牧强度地上生物量、地被物及土壤状况

不同放牧强度对肃北高寒草原地上生物量的影响（表 1）：轻度放牧草地地上生物量中，禾本科占 66.7%、豆科占 16.7%、杂类草占 12.3%、毒草类占 4.4%；中度放牧草地地上生物量中，禾本科占 69.7%、豆科占 18.2%、杂类草占 12.1%、毒草类占 1.2%；重度放牧草地地上生物量中，禾本科占 41.7%、豆科占 29.2%、杂类草占 25.0%、毒草类占 4.2%。对地下生物量的影响：地下生物量比地上生物量平均高 4.85 倍；地下生物量中，0~10 cm 地下生物量占 0~30 cm 总地下生物量的 88.04%~89.37%，10~20 cm 占 7.14%~9.34%，20~30 cm 占 2.25%~3.5%。

表 1 高寒草原不同放牧强度植被地上生物量及土壤状况

Table 1 Above-ground biomass, surface cover and soil conditions of alpine grasslands different in grazing intensities

草地状态	植被盖度	地上生物量 (g/m^2)	0~10 cm 土层状况
禁牧对照	植物生长正常，植被盖度>95%	163.2	正常
轻度放牧	下降 15%~30%，地被物明显减少	138.6	轻度沙化
中度放牧	下降 30%~60%，地被物显著下降	66.4	中度沙化
重度放牧	下降 60%~85%，地表呈裸露状态	22.2	严重沙化

3.2 高寒草原不同放牧强度土壤物理性质的变化特征

过度放牧首先改变土壤的紧实度，并继而引发土壤水分等其他理化、生物性质的变化^[2,5-6]。作为土壤紧实度的主要指标，土壤体积质量则是表征土壤质量的一个重要参数^[2,6]。表 2 可见，0~10、10~20、20~30 cm 土层体积质量均随草地放牧强度的增强而呈增大趋势，即重度放牧>中度放牧>轻度放牧>CK，尤其是 0~10 cm 的表层土壤各处理间土壤体积质量均呈极显著差异 ($p<0.01$)；10~20 cm 土层体积质量对照区与其他处理间有极显著差异 ($p<0.01$)，轻牧区与重牧区间呈显著差异 ($p<0.05$)，其他处理间差异不显著，20~30 cm 各处理间差异性以及土壤体积质量变化趋势均与 10~20 cm 土层一致。就高寒草

原而言，一般随着放牧强度和牲畜践踏作用的增加，土壤孔隙度（特别是大孔隙）减小，土壤体积质量增加，渗透阻力加大^[5-9]。因此，土壤体积质量大通常表明土壤存在着退化趋势，且体积质量愈大，土壤退化愈为严重^[7-8]。0~10、10~20 cm 土层土壤孔隙度、土壤含水量随草地放牧强度的增大呈不断减小的趋势，但土壤含水量变幅远大于土壤孔隙度，且 10~20 cm 土层各处理间含水量差异极显著 ($p<0.01$)，而 20~30 cm 土层含水量则是重度放牧>中度放牧>CK>轻度放牧；可见，土壤放牧强度加大，使土壤退化加快，土壤退化很大程度上取决于土壤水分条件，即随草地退化程度的提高，土壤含水量大幅度下降，牲畜“蹄耕”表土并导致土壤孔隙度逐步下降的效应非常明显^[13-14]。

表 2 高寒草原不同放牧强度土壤物理性质的变化特征

Table 2 Evolution of soil physical fertility of alpine grasslands different in grazing intensities

草地状态	土壤体积质量 (g/cm ³)			土壤孔度 (%)			土壤含水量 (g/kg)		
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
禁牧对照	1.206 D	1.220 c B	1.234 c B	54.48 A	53.96 a A	53.43 a A	201.0 a A	219.2 A	182.7 c C
轻度放牧	1.223 C	1.275 b A	1.281 b A	53.85 B	51.89 ab A	51.64 ab A	192.8 b A	201.8 B	177.2 d C
中度放牧	1.254 B	1.278 ab A	1.286 ab A	52.67 C	51.76 b A	51.47 b A	191.8 b A	165.8 C	242.8 b B
重度放牧	1.281 A	1.290 a A	1.294 a A	51.66 D	51.32 c B	51.18 c B	179.8 c B	136.0 D	253.3 a A

注：同列数据小写字母不同表示差异显著 ($p<0.05$)，大写字母不同表示差异极显著 ($p<0.01$)。

3.3 高寒草原不同放牧强度土壤全量与有效养分的变化特征

全 N 量在不同土层间的差异明显加大，并在不同放牧强度下呈不同的变化趋势，但均低于正常草地；对照区和中度放牧草地不同土层间的分布相对均衡，

轻度放牧和重度放牧草地差异较大（表 3）。土壤有机质对土壤全 N 量养分具有重要贡献，不同土层全 N 与有机质均呈不同程度的正相关。20~30 cm 土层全 N 量随放牧强度的增大呈下降趋势，与有机质变化趋势相同。

表 3 不同放牧强度高寒草原 0~30 cm 土层养分变化

Table 3 Profile distributions of soil nutrients of alpine grasslands different in grazing intensities

草地状态	全 N (g/kg)			有效养分 (g/kg)								
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
				0~10	10~20	20~30	0~10	10~20	20~30	0~10	10~20	20~30
				cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
禁牧对照	0.24	0.27	0.30	55.00	57.00	57.35	2.22	3.29	2.64	273.65	249.82	227.11
轻度放牧	0.17	0.23	0.29	58.90	59.80	64.12	2.29	4.13	2.48	274.35	213.16	168.86
中度放牧	0.20	0.21	0.23	60.70	69.58	74.60	2.61	2.34	2.85	160.03	142.66	159.58
重度放牧	0.27	0.29	0.17	104.05	140.06	83.53	3.08	3.14	2.44	275.13	227.21	224.28

轻度放牧和中度放牧草地各土层有效 N 均呈提高，并以 20~30 cm 土层增幅较大，土壤通透性能一定程度的提高和相对干燥的土壤环境对土壤有机 N 矿化的促进作用较为明显，这在很大程度上反映了有机质显著降低对有效 N 的不利影响^[10-12]。作为有机质的结构成分，土壤有效 P 的变化则缺乏明显的规律性，不同土层上轻度放牧和重度放牧草地有效 P 在 10~20 cm 最高，除对照区与轻度放牧区无显著差异外，其他各处理间均差异显著。试验区土壤的供 K 能力较高，速效 K 含量最高达 283.65 mg/kg，最低的也有 142.66 mg/kg，草地上不缺 K，各土层对照、轻度放牧与中度放牧样地土壤速效 K 的含量逐渐减少。严重退化草地土层有效 N、P、K 个别指标较其他草地高的现象尚待进一步研究证实。

3.4 高寒草原不同放牧强度土壤微量元素的变化特征

不同放牧强度下土壤中有效态微量元素 Cu、Zn、Fe、Mn、Na 的含量详见表 4。不同放牧强度可以影响土壤中有效态微量元素 Cu 的含量，且不同土层含量呈明显差异，由试验结果可以得出：肃北高寒草原不同放牧强度下 Cu 的含量顺序次序是：轻度放牧>禁牧对照>中度放牧>重度放牧 ($p<0.5$)，可见适度放牧可以通过改变土壤体积质量，pH 值，有机质，有效 N、P、K 含量来改变土壤中微量元素的含量。不同土层微量元素 Cu 的含量顺序次序是：20~30 cm>10~20 cm>0~10 cm，同一土层不同放牧强度 Cu 含量的变幅分别在 1.02~1.23、0.82~1.55 和 1.67~1.71 mg/kg，其中 10~20 cm 土层变化幅度最大，20~30 cm 变化幅度最小。

表 4 不同放牧强度高寒草原微量元素的变化特征

Table 4 Available contents of trace elements in alpine grasslands different in grazing intensities

微量元素	土层 (cm)	禁牧对照	轻度放牧	中度放牧	重度放牧
Cu (mg/kg)	0 ~ 10	1.23 ± 0.017 b	1.38 ± 0.014 a	1.18 ± 0.018 b	1.02 ± 0.014 c
	10 ~ 20	1.55 ± 0.008 b	1.69 ± 0.020 a	1.15 ± 0.014 c	0.82 ± 0.008 d
	20 ~ 30	1.71 ± 0.014 a	1.69 ± 0.019 a	1.70 ± 0.012 a	1.67 ± 0.011 a
Zn (mg/kg)	0 ~ 10	0.38 ± 0.029 a	0.42 ± 0.009 a	0.29 ± 0.012 b	0.24 ± 0.013 c
	10 ~ 20	0.37 ± 0.018 a	0.42 ± 0.009 a	0.30 ± 0.014 b	0.16 ± 0.006 c
	20 ~ 30	0.40 ± 0.009 a	0.44 ± 0.006 a	0.36 ± 0.012 b	0.32 ± 0.015 c
Fe (mg/kg)	0 ~ 10	11.23 ± 0.029 b	11.64 ± 0.035 a	10.70 ± 0.089 c	10.25 ± 0.013 d
	10 ~ 20	16.85 ± 0.023 b	17.32 ± 0.009 a	12.88 ± 0.030 c	9.61 ± 0.023 d
	20 ~ 30	17.89 ± 0.020 b	18.82 ± 0.009 a	17.75 ± 0.020 c	16.12 ± 0.029 d
Mn (mg/kg)	0 ~ 10	5.21 ± 0.015 b	6.58 ± 0.032 a	4.56 ± 0.010 d	4.64 ± 0.009 c
	10 ~ 20	5.28 ± 0.013 b	6.49 ± 0.018 a	3.84 ± 0.012 c	2.72 ± 0.009 d
	20 ~ 30	4.96 ± 0.018 b	5.09 ± 0.015 a	4.24 ± 0.035 c	4.22 ± 0.010 c
Na (g/kg)	0 ~ 10	0.35 ± 0.015 b	0.50 ± 0.018 a	0.01 ± 0.000 c	—
	10 ~ 20	1.25 ± 0.010 b	1.50 ± 0.015 a	0.01 ± 0.000 c	—
	20 ~ 30	1.35 ± 0.015 b	1.50 ± 0.018 a	1.00 ± 0.009 c	0.02 ± 0.003 d

注：同行数据小写字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$)。

不同放牧强度下有效态微量元素 Zn 的含量顺序变化与 Cu 一致，但总体含量明显低于 Cu，平均相差 0.8 左右。不同土层 Zn 的含量顺序次序是：20 ~ 30 cm > 10 ~ 20 cm > 0 ~ 10 cm，同一土层不同放牧强度 Zn 含量的变幅分别在 0.32 ~ 0.44、0.16 ~ 0.37 和 0.24 ~ 0.42 mg/kg，各土层的变幅相差不大，其中 10 ~ 20 cm 土层变化幅度略高，20 ~ 30 cm 变化幅度最小。

有效态微量元素 Fe 的含量显著高于 Cu 和 Zn，不同放牧强度下变化顺序与 Cu 和 Zn 一致，不同土层 Fe 的含量顺序次序是：20 ~ 30 cm > 10 ~ 20 cm > 0 ~ 10 cm，同一土层不同放牧强度 Fe 含量的变幅分别在 16.12 ~ 18.82、9.61 ~ 17.32 和 10.25 ~ 11.64 mg/kg，其中 10 ~ 20 cm 土层变化幅度最大。

有效态微量元素 Mn 的含量高于 Cu 和 Zn，但低于 Fe，不同放牧强度下顺序变化与 Fe 一致，不同土层 Mn 的含量顺序次序是：20 ~ 30 cm > 10 ~ 20 cm > 0 ~ 10 cm，同一土层不同放牧强度 Mn 含量的变幅分别在 4.22 ~ 5.09、2.72 ~ 6.49 和 4.64 ~ 6.58 mg/kg，其中 10 ~ 20 cm 土层变化幅度最大，20 ~ 30 cm 的变幅最小。

有效态微量元素 Na 的含量最高，是其他 4 种微量元素的百倍以上，不同放牧强度下顺序变化与其他一致，其中 0 ~ 10 cm 土层与对照相比中度放牧区相对含量很低，且重度放牧区 Na 未检出，由此可见不

同放牧强度对微量元素 Na 的影响最大。不同土层微量元素 Na 的含量顺序次序是：20 ~ 30 cm > 10 ~ 20 cm > 0 ~ 10 cm，同一土层不同放牧强度 Na 含量的变幅分别在 0.02 ~ 1.50、0.01 ~ 1.25 和 0.01 ~ 0.50 g/kg，其中 10 ~ 20 cm 土层变化幅度最大。

4 小结

(1) 肃北高寒草原土壤有机质含量、全 N 含量随放牧强度的增加和土壤深度的增加均表现出逐渐减小的趋势。

(2) 肃北高寒草原的速效养分以多 N 少 P 富 K 为特点，土壤速效 N、P、K 含量在总体上随放牧强度的增加呈下降趋势。

(3) 肃北高寒草原 5 种微量元素的高低顺序依次是：Na > Fe > Mn > Cu > Zn；不同放牧强度下，0 ~ 30 cm 土层，5 种微量元素的变化一致，顺序依次是：轻度放牧 > 对照 > 中度放牧 > 重度放牧；随着放牧强度的加大，各微量元素降低的顺序依次是：Na > Fe > Mn > Zn > Cu；放牧强度对 10 ~ 20 cm 的土层影响最大。

(4) 随放牧强度的增大使得地表植被盖度减小及地表土壤物理结构变化，从而导致表层土壤养分降低、破坏土壤与地表植被间的营养循环，最终导致地表土壤沙化，最后使草地大面积退化。因此过度放牧破坏了地表植被、土壤结构及两者间的营养循环，导致植

被和土壤的双重退化。

参考文献:

- [1] Li SL, Chen YJ, Guan SY, Kang SA. Relationships between soil degradation and rangeland degradation. *Journal of Arid land Resources and Environment*, 2002, 16 (1): 92-95
- [2] 杨红善, 刘瑞凤, 张俊平, 王爱勤. 复合保水剂对土壤持水性及其物理性能的影响. *水土保持学报*, 2005, 19(3): 38-41
- [3] 南京农业大学主编. 土壤农化分析. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 1996
- [4] Melinda AW, TrlicaMJ, Frasier GW. Seasonal grazing affects soil physical properties of a montane riparian community. *J. Range Manage*, 2002, 55: 49-56
- [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] 张建平, 刘淑珍, 周麟. 西藏那曲地区主要土壤退化分析. *水土保持学报*, 1998, 4(3): 6-11
- [7] 沈慧, 姜凤歧, 杜晓军, 郭浩, 王世忠. 水土保持林土壤肥力及其评价指标. *水土保持学报*, 2000, 14(2): 60-65
- [8] 巩杰, 陈利顶, 傅伯杰, 虎陈霞, 卫伟. 黄土丘陵区小流域植被恢复的土壤养分效应研究. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 93-96
- [9] 周华昆, 赵新全, 周立. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究. *草业学报*, 2005, 14(3): 31-40
- [10] 李绍良, 陈有君, 关世英, 康师安. 土壤退化与草地退化关系的研究. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(1): 92-95
- [11] 贾树海, 王春枝, 孙振涛, 李绍良, 陈有君, 勒存旺. 放牧强度和时期对内蒙古草原土壤压实效应的研究. *草地学报*, 1999, 7(3): 217-221
- [12] 吴彩霞, 傅华, 裴世芳, 秦燕. 不同草地类型土壤有效态微量元素含量特征. *干旱区研究*, 2008, 25(1): 137-144
- [13] 胡斌, 段昌群, 王震洪, 张世彪, 起连春. 植被恢复措施对退化生态系统土壤酶活性及肥力的影响. *土壤学报*, 2002, 39(4): 604-608
- [14] 唐玉姝, 慈恩, 颜廷梅, 魏朝富, 杨林章, 沈明星. 太湖地区长期定位试验稻麦两季土壤酶活性与土壤肥力关系. *土壤学报*, 2008, 45(5): 1 000-1 006

Study on Contents of Soil Nutrients in Different Grazing Intensities on Subei Alpine Steppes

YANG Hong-shan¹, CHANG Gen-zhu¹, ZHOU Xue-hui¹, LU Yuan¹, NA Bate²

(1 Lanzhou Institute of Animal & Veterinary Pharmaceutics Sciences, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou 730050, China;

2 Global Environment Facility, The Project Area of Subei, Subei, Gansu 736300, China)

Abstract: Na, Fe, Mn, Cu and Zn contents in soil samples in 0-10, 10-20 and 20-30 cm layers in Subei alpine steppe were studied under four kinds of grazing intensities, i.e., no grazing, light grazing, middle grazing and high grazing. The results indicated that: 1) grazing intensity had consistent effect on soil physical, chemical and biological fertilities, which were associated with each other and determined the evolution direction of soil fertility; 2) With the increase of steppe grazing intensity, soil bulk density at both 0-10 cm and 10-20 cm layers increased, while soil porosity and moisture content decreased significantly, steppe grazing intensity influenced soil moisture content more strongly than soil porosity; 3) Soil organic matter and total N contents of light grazing steppes were higher than those of middle grazing and high grazing steppes, soil available N, P and K contents increased with the increase of steppe standard of grazing intensity; 4) The nutrient content order was Na>Fe>Mn>Cu>Zn, they shared the same changing order, i.e., light grazing>no grazing>middle grazing>high grazing; 5) With the increase of steppe grazing intensity, the decreasing extent of soil nutrients was 10-20cm>0-10cm>20-30cm.

Key words: Alpine grassland, Grazing intensity, Soil nutrient, Available trace element