

放牧对荒漠草原土壤养分及微生物量的影响

孙海燕¹, 万书波², 李林¹, 刘登望¹

(1. 湖南农业大学 生物科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 山东省农业科学院, 山东 济南 250100)

摘要: [目的] 探讨不同放牧强度对荒漠草原植被多样性、土壤理化性状、土壤养分及土壤微生物量的影响。[方法] 以围封禁牧草地为对照, 采用野外调查和室内分析的方法, 对不同放牧强度下的草地土壤及植被展开调查。[结果] 随放牧强度的增加, 荒漠草原植被盖度、物种多样性、地上生物量、土壤养分和微生物量显著降低, 土壤容重和 pH 值呈增加趋势, 土壤电导率呈先增加后降低趋势, 地下生物量则没有明显变化趋势; 在植被作用下土壤养分和微生物量垂直方向表现递减规律并且在表层富集, “表聚性”较为明显; 在放牧干扰下土壤全磷变异系数最高; 放牧并没有改变荒漠草原土壤养分和微生物量的垂直分布特征; 相关分析表明, 放牧干扰下土壤微生物量与土壤养分之间具有较强的相关性, 二者与土壤含水量也有较强的相关性。[结论] 放牧强度对土壤全磷的空间变异影响较大, 并且土壤微生物量对于放牧干扰的敏感性高于土壤养分全量; 土壤养分和微生物量等地下生态系统各指标之间具有统一性。

关键词: 荒漠草原; 放牧干扰; 土壤养分; 土壤微生物量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)02-0082-07

中图分类号: S158.3

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.016

Effects of Grazing on Soil Nutrients and Microbial Biomass in Desert Steppe

SUN Haiyan¹, WAN Shubo², LI Lin¹, LIU Dengwang¹

(1. College of Bioscience and Biotechnology, Hu'nan Agricultural University, Changsha, Hu'nan 410128, China; 2. Shandong Academy of Agricultural Science, Ji'nan, Shandong 250100, China)

Abstract: [Objective] This study aimed to explore the effects of grazing disturbance on soil nutrients and microbial biomass in desert steppe. [Methods] The impacts of grazing disturbance (high disturbance, HD; middle disturbance, MD; lower disturbance, LD) on soil nutrients and microbial biomass was analyzed based on the field investigation and the laboratory analysis. [Results] The vegetation coverage, species diversity, ground biomass, soil nutrients and microbial biomass significantly reduced. The soil bulk density and pH value increased. The soil conductivity firstly increased and then decreased with the increase of grazing intensity, while the underground biomass had no obvious trend. The soil nutrient and microbial biomass decreased progressively with the increase of soil depth and showed enrichment in the surface soil layer, the “surface accumulation” was observed obvious. The variation coefficient of soil total phosphorus was the highest, which implied that the spatial variability of soil total phosphorus was mostly influenced by grazing intensity. The vertical distributions of soil nutrients and microbial biomass were not affected by razing or not, and were independent on the grazing intensity. Microbial biomass had significant correlation with soil nutrients though grazing disturbed. The two items also had obvious correlations with soil moisture. [Conclusion] Soil total phosphorus showed more spatial heterogeneous than other nutrients under grazing conditions. And soil microbial biomass was more sensitive than soil nutrients to grazing disturbance. The variation responses of soil nutrients, microbial biomass and other indicators to grazing showed a consistency trait.

Keywords: desert steppe; grazing disturbance; soil nutrient; soil microbial biomass

放牧是当前天然草地利用的主要方式之一, 放牧导致的草原土壤退化始终是草地生态学家关注的问 题^[1-3]。由于长期受超载过牧、不合理的放牧制度及气候 变化等因素的影响, 天然草地出现大面积的退

收稿日期: 2014-03-31

修回日期: 2014-04-14

资助项目: 湖南省研究生科研创新基金项目“基于循环经济的花生产业发展研究”(CX2012B310)

第一作者: 孙海燕(1979—), 女(汉族), 陕西省西安市人, 博士研究生, 研究方向为农业生态、生态经济。E-mail: sunhaiyan425@163.com。

通信作者: 万书波(1963—), 男(汉族), 山东省栖霞市人, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业生态、生态经济方面的研究。E-mail: fhgreat@126.com。

化,严重影响了我国生态安全和草地畜牧业的良性发展^[4-5]。放牧过程中草地、土壤是一个有机整体,它们之间互相影响和制约,放牧除了直接影响草地生产力、生物多样性以及导致种群特征变化以外,是否通过影响草地群落组成植物形态和土壤养分状况而导致植物养分利用策略变化等问题还有待进一步探究。因此,研究放牧对植被和土壤性质特征的影响,对认识放牧过程中土壤演变机制、草地生态系统合理发展及资源可持续利用具有重要意义^[1-3]。

对于气候干旱、波动频繁、土壤基质极不稳定的荒漠草原,放牧对草地—土壤生态系统的影响更为明显,持续的过度放牧是该区域草地退化的主要成因^[1-2,6-7]。近年来,对荒漠草原生态系统的放牧干扰已有大量研究,但对不同放牧强度下植被多样性、土壤养分、理化性质和土壤微生物量垂直分布特征尚缺乏系统的研究报道。鉴于此,本试验从植被多样性和土壤养分特征等方面研究放牧对荒漠草原植被和土壤养分特征影响,旨在揭示植被对放牧干扰的响应和探讨放牧对草地生态系统土壤养分循环的影响机制,为荒漠草原生态系统功能维持、植被恢复和资源合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区乌兰察布市四子王旗典型荒漠草原区(41°46′35″N,112°01′50″E),该区具有典型荒漠植被特征,代表了荒漠草原干旱半干旱区的基本特征,海拔 1 450 m,属于典型大陆性气候,春季干旱多风,夏季炎热,年均气温 6.3 °C,极端最高气温 39.2 °C,极端最低气温 -28.3 °C,≥10 °C 的年积温为 2 200~2 500 °C,年均降雨量 280 mm,主要集中在 5—9 月,湿润度 0.16~0.31,月平均温度最高月为 6 月(20.3 °C)、7 月(24.6 °C)和 8 月(24.8 °C),地带性土壤为灰钙土和淡栗钙土,非地带性土壤主要有风沙土、盐碱土和草甸土等,无霜期 142 d,年平均风速 3.1 m/s,每年 5 m/s 以上的扬沙达 340 多次。试验区主要草地类型为短花针茅+无芒隐子草荒漠草原,建群种为短花针茅(*Stipa breviflora*),优势种为无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)、冷蒿(*Artemisia frigid*)等,伴生种有银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)、阿尔泰紫苑(*Heteropappus altaicus*)、木地肤(*Kochia prostrata*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及植物采集

察布市四子王旗典型荒漠草原试验区选取了 4 个样点,围栏放牧试验于 2012 年开始,每年 5 月开始放牧,10 月放牧终止,根据草地地上生物量、家畜采食量和草场面积及放牧时间,分别设置 4 个放牧处理。围封禁牧(NG,0 尾/hm²)、轻度放牧(LG,0.4 尾/hm²)、中度放牧(MG,0.8 尾/hm²)、重度放牧(HG,1.2 尾/hm²),各放牧试验小区面积均为 15 hm²,各样地地理位置相差不大,保证草地生长环境因子的一致。2013 年 10 月全面开展草地生物量、群落结构和土壤调查研究,每个样地设置一条 50 m 的样线,沿样线每隔 8 设置一个 1 m×1 m 的样方 5 个。调查样方中物种组成高度、盖度和多度;物种地上生物量用收割法获取,随机挑选 3 个样方齐地面物种将植物剪下带回实验室,在 105 °C 下杀青 30 min 后 65 °C 下烘至恒重,称其干重,获取每个样方地上和地下生物量。

选用 Shannon—Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数,其计算公式^[8]为:

Patrick 丰富度指数 P_a :

$$P_a = S \quad (1)$$

Shannon—Wiener 多样性指数(H):

$$H = -\sum P_i \ln P_i \quad (2)$$

Simpson 优势度指数(D):

$$D = 1 - \sum (P_i)^2 \quad (3)$$

Pielou 均匀度指数(J_p):

$$J_p = H / \ln S \quad (4)$$

式中: S ——样方内物种数目; P_i ——样方内种的相对重要值;相对重要值(P_i)=(相对覆盖度+相对高度+相对多度)/3

1.2.2 土样采集及测定 在调查完植被后分别在每个样地的 3 个样方将土层分为 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,取个样方按对角交叉取样法 5 点取样,分别装入干净塑料袋,封口盛装在保温箱内 4 °C 保存以测定土壤微生物量及含水量,然后风干后过 0.15 mm 筛去除有机碎片用作土壤养分分析。土壤养分含量的测定:土壤有机碳含量(g/kg)测定采用重铬酸钾氧化外加热法;土壤容重(g/cm³)采用环刀法;土壤电导率(5:1 水土比浸提液;EC, μ S/cm)采用 P4 多功能测定仪测定(Germany),土壤含水量(%)采用烘干法;土壤全氮(g/kg)采用凯氏定氮法;土壤全磷(g/kg)用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法;有效磷采用 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定;碱解氮采用 NaOH—H₃BO₃ 法测定;土壤微生物量碳、氮、磷采用氯仿熏蒸—K₂SO₄ 浸提法^[9]。

1.3 数据处理

利用 Excel 和 SPSS 18.00 软件对数据进行处理分析,显著性分析采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著法(LSD),对土壤养分及微生物量之间相关系数采用 Pearson 相关法,所有数据均采用平均值±标准误差,作图采用 Origin 7.5 软件。

2 结果与分析

2.1 荒漠草原不同放牧强度下植被多样性及生物量

通过分析不同放牧强度下植物多样性发现(表 1),放牧对荒漠草原植被多样性具有显著的影响。随着放牧强度的增加,荒漠草原植被覆盖度、丰富度指数、均匀度指数、多样性指数、优势度指数均降低,其

中 LG, MG 和 HG 均与 NG 达到显著差异水平($p < 0.05$),并且均表现出 $NG > LG > MG > HG$ 变化趋势;轻度放牧丰富度指数、均匀度指数和多样性指数与中度放牧没有显著差异。

放牧对荒漠草原植物群落地上生物量具有显著影响(图 1),4 种处理植被地上生物量均达到显著差异水平($p < 0.05$),并且地上生物量随放牧强度的增加呈下降趋势,与 NG 相比, LG, MG 和 HG 分别下降了 14.28%, 26.37% 和 71.42%; 但由图 1 可知,放牧对荒漠草原植物群落地下生物量并没有显著影响, NG, LG 和 HG 地下生物量差异不显著, NG 与 MG 地下生物量差异不显著, MG 与 NG, LG, HG 差异显著($p < 0.05$)。

表 1 荒漠草原不同放牧强度下生物多样性各指数

项目	植被覆盖度	丰富度指数	均匀度指数	多样性指数	优势度指数
NG	75±7 ^a	11.3±1.24 ^a	0.93±0.11 ^a	2.65±0.32 ^a	0.83±0.12 ^a
LG	52±8 ^b	9.8±1.96 ^b	0.86±0.19 ^{ab}	2.17±0.23 ^{ab}	0.71±0.08 ^b
MG	48±5 ^c	7.6±2.56 ^b	0.80±0.15 ^b	1.96±0.31 ^b	0.64±0.05 ^c
HG	18±5 ^d	5.2±1.37 ^c	0.62±0.09 ^c	1.35±0.19 ^c	0.43±0.09 ^d

注: NG, LG, MG, HG 分别表示禁牧、轻度、中度和重度放牧; 同列不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

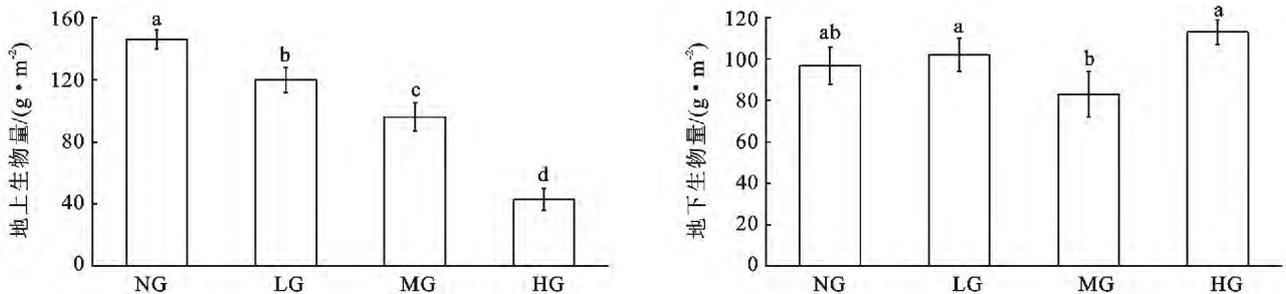


图 1 荒漠草原不同放牧强度下生物量

2.2 荒漠草原不同弃耕地土壤理化性质

图 2 反映了荒漠草原不同弃耕地土壤理化性质(图中数值代表了每个样地土壤垂直方向和重复取样的平均值,下同),土壤容重是土壤紧实度和土壤结构的评价指标。随放牧强度的增加土壤容重增加,这与植物根系在土壤中的空间分布有关,因为植物根系主要分布在土壤表层,所以表层土壤比较疏松,随着土层深度,增加根系逐渐减少,土壤通气性变差,使得土壤紧实度增加,土壤容重变大,而放牧地的容重随土层深度增加而降低,因为其植被盖度小,地上生物量小,根系随之减少,加上牲畜的踩踏,使得土壤紧实度增加,土壤结构变差,图 2 的结果说明放牧对上层土壤的压实作用更显著,使土壤容重增加。

土壤含水量受大气降水蒸发,植物吸收蒸腾及土壤特性等影响是决定植物生长及系统构成的重要指标。土壤含水量都随放牧强度增加而降低,主要是由于 NG 植被高度和盖度均高于其他样地土壤入渗和持水能力增大土壤含水量增大,而放牧地由于牲畜的践踏使土壤变得紧实从而降低对水分的渗透与蓄积能力土壤含水量最小(图 2)。

由图 2 可以明显地看出,放牧强度显著影响了土壤电导率,土壤电导率随着放牧强度的增加呈先增加后降低趋势,在轻度放牧达到最大值,在重度放牧最小值。土壤 pH 值也受放牧强度的影响,随着放牧强度的增加和土壤 pH 均表现出 $NG > LG > MG > HG$ 的变化趋势。

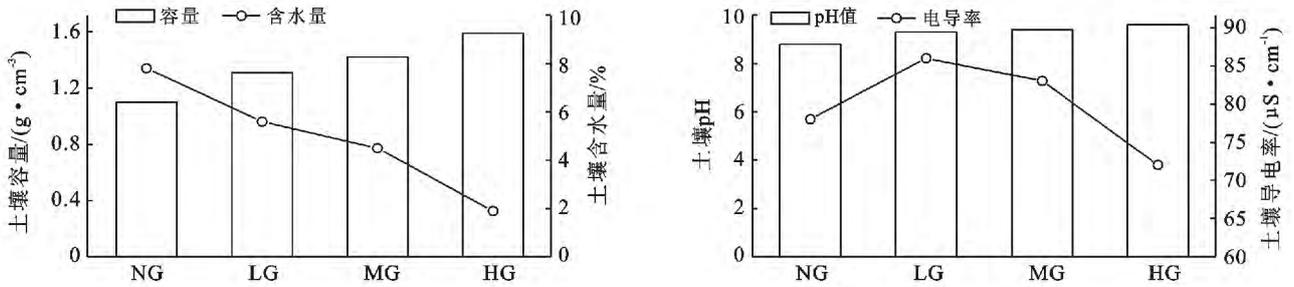


图 2 荒漠草原不同放牧强度下土壤理化性质比较

2.3 荒漠草原不同放牧强度土壤养分垂直分布

放牧干扰对荒漠草原土壤有机碳、全氮、全磷、土壤微生物量碳、氮、磷垂直分布影响均显著(图 3),随土层深度的增加而逐渐降低趋势,各放牧强度下土壤表层养分均高于土壤亚表层,表现出明显的“表聚性”;同层土壤各养分相比,基本出现 NG>LG>MG

>HG 规律,局部有所波动。

2.4 荒漠草原不同放牧强度土壤速效养分垂直分布

由图 4 可知,放牧干扰对荒漠草原土壤有效养分影响显著,土壤有效养分与土壤养分的垂直变化规律相一致,表现出明显的“表聚性”;同层相比,基本出现 NG>LG>MG>HG 规律,局部有所波动。

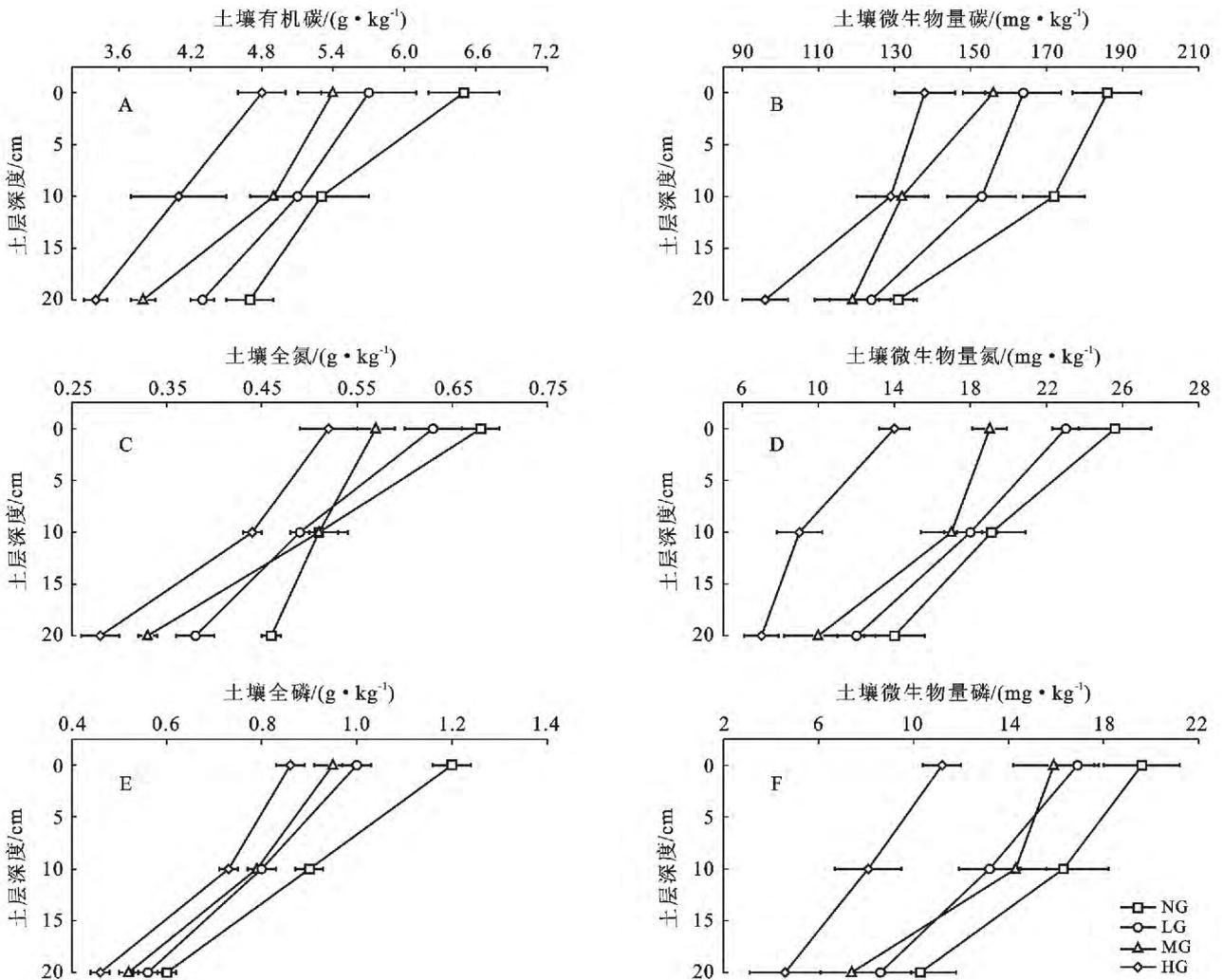


图 3 荒漠草原不同放牧强度下土壤养分垂直分布

2.5 荒漠草原不同放牧强度下土壤养分含量比较

由表 2 可知,放牧干扰对土壤养分有很大影响,随放牧强度的增加,土壤养分平均含量明显降低,土

壤养分各指标表现为:NG>LG>MG>HG,土壤养分的 8 个指标在 3 种不同放牧强度下与 CK 基本达到差异显著($p<0.05$);其中,土壤微生物量碳、氮、磷

在 3 种不同放牧强度和 NG 之间差异最为显著;土壤有效养分 LG 和 MG 之间差异不显著,与 NG 和 HG 差异达到显著水平;土壤有机碳和全氮 NG 与 MG, HG 之间差异显著,与 LG 差异不显著;土壤全磷 NG 与 HG 之间差异显著,与 LG, MG 差异不显著。相对于 NG, 随放牧强度的增加, 有机碳分别减少了 8.54%, 14.54%, 25.45%; 全氮分别减少了 9.09%, 14.55%, 25.24%; 全磷分别减少了 12.22%, 16.67%, 24.44%; 有效磷分别减少了 8.16%, 16.33%, 27.55%; 碱解氮分别减少了 10.76%, 13.74%, 26.72%; 微生物量碳分别减少了 9.82%, 16.56%, 25.77%; 微生物量氮分别减少了 9.69%,

21.94%, 47.96%, 微生物量磷分别减少了 16.23%, 18.83%, 48.70%, 表明放牧干扰严重影响了荒漠草原土壤养分含量, 具体表现为: 降低了土壤各养分含量; 经计算可得, 在放牧干扰下土壤全磷变异系数最高, 磷素是一种迁移率很低的沉积性矿物, 在整个空间中分布较均匀, 来源于枯落物分解和根系分泌物以及垂直分布, 说明放牧强度对土壤全磷的空间变异影响较大, 这可能是由于放牧严重干扰了枯落物分解等过程而严重影响了土壤全磷的空间分布, 也是荒漠草原对当地气候条件的适应的一种必然结果。综合来看, 重度放牧干扰对荒漠草原土壤养分影响最大, 而有效磷的减小幅度最大, 对放牧干扰表现最为敏感。

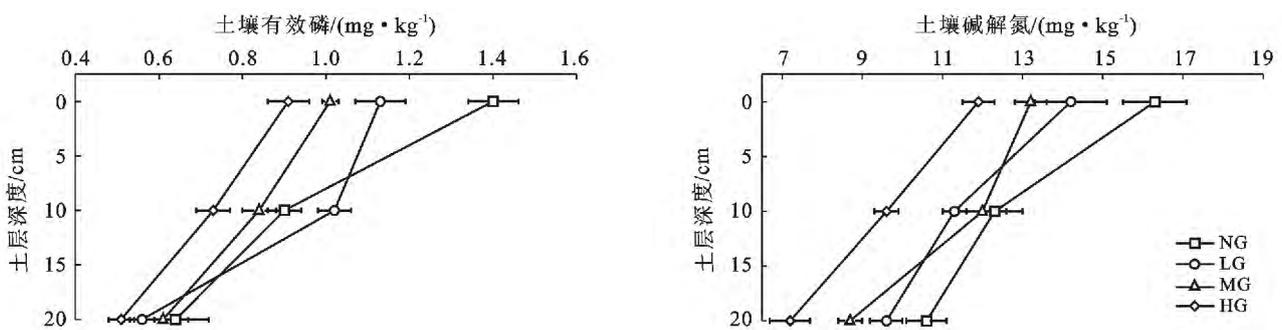


图 4 荒漠草原不同放牧强度下土壤速效养分垂直分布

表 2 荒漠草原不同放牧强度下土壤养分含量比较

项目	有机碳	全氮	全磷	有效磷	碱解氮	微生物量碳	微生物量氮	微生物量磷
NG	5.50±0.30 ^a	0.55±0.02 ^a	0.90±0.03 ^a	0.98±0.06 ^a	13.1±0.7 ^a	163±7.3 ^a	19.6±1.7 ^a	15.4±1.7 ^a
LG	5.03±0.23 ^{ab}	0.50±0.02 ^{ab}	0.79±0.03 ^{ab}	0.90±0.04 ^b	11.7±0.5 ^b	147±10.0 ^b	17.7±1.0 ^b	12.9±1.2 ^b
MG	4.70±0.20 ^b	0.47±0.17 ^b	0.75±0.02 ^{ab}	0.82±0.04 ^b	11.3±0.4 ^b	136±8.3 ^c	15.3±1.4 ^c	12.5±1.4 ^b
HG	4.10±0.23 ^c	0.41±0.02 ^c	0.68±0.02 ^b	0.71±0.03 ^c	9.6±0.4 ^c	121±7.7 ^d	10.2±0.9 ^d	7.9±1.2 ^c

2.6 荒漠草原放牧强度下土壤养分与土壤微生物量之间的关系

荒漠草原不同放牧强度下土壤养分与土壤理化性质 Pearson 相关关系详见表 3。由表 3 可以看出, 土壤有机碳与全氮、微生物量碳和含水量呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 与全磷、有效磷和碱解氮呈显著正相关 ($p < 0.05$); 土壤全氮与碱解氮、微生物量氮和含水量呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 与微生物量磷呈显著正相关 ($p < 0.05$); 全磷与有效磷、微生物量磷和含水量呈极显著正相关 ($p < 0.01$); 有效磷与微生物量磷呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 与含水量呈显著正相关 ($p < 0.05$); 碱解氮与含水量呈极显著正相关 ($p < 0.01$); 微生物量碳与微生物量氮和含水量呈极显著正相关 ($P < 0.01$); 微生物量氮与微生物量磷和含水量呈极显著正相关 ($p < 0.01$); 微生物量磷与含水量呈显著正相关 ($p < 0.05$)。

3 结论与讨论

荒漠草原不合理的放牧制度导致了生态系统各组分及其协调关系的破坏^[10]。由表 1 可知, 放牧使荒漠草原植被的组成和结构发生了较大的变化, 草地植被重要值降低, 对应的植被覆盖度、丰富度指数、均匀度指数、多样性指数和优势度指数均表现为: NG > LG > MG > HG。由此可见, 禁牧是保护荒漠草原植物多样性、维护土壤养分以及提高草地生产力的有效途径。大量研究^[11-12]表明, 中度放牧是维持草地生态系统稳定的最佳选择, 而本研究从植被多样性和土壤养分的角度得出禁牧优于放牧处理, 其可能的原因是荒漠草原脆弱的气候和环境条件对于地上植被和土壤微生物理论上已经达到中度干扰程度, 即使轻度放牧会加大对荒漠草原的干扰, 而在禁牧下其植物多样性指数和土壤各养分指标均达到最佳状态。

表 3 荒漠草原放牧强度下土壤养分与土壤微生物量之间的关系

项目	有机碳	全氮	全磷	有效磷	碱解氮	微生物量碳	微生物量氮	微生物量磷	含水量
有机碳	1.000								
全氮	0.980**	1.000							
全磷	0.370*	0.217	1.000						
有效磷	0.623*	0.114	0.852**	1.000					
碱解氮	0.593*	0.612**	0.139	0.138	1.000				
微生物量碳	0.877**	-0.186	-0.214	-0.182	0.188	1.000			
微生物量氮	0.343	0.603**	-0.198	-0.273	0.194	0.823**	1.000		
微生物量磷	0.372	0.478*	0.651**	0.637**	0.165	0.257	0.773**	1.000	
含水量	0.843**	0.798**	0.712**	0.588*	0.648**	0.776**	0.525**	0.423*	1.000

注: **表示相关性在 0.01 水平上显著(双尾), *表示相关性在 0.05 水平上显著(双尾)。

放牧不仅影响植物群落的物种组成和群落结构,对草地生态系统的土壤物理结构与化学性状也会产生影响^[1-3,13]。土壤容重可以反映土壤结构的好坏,影响着土壤中水、肥气热等肥力因素的变化和协调^[14],本研究重度放牧后土壤容重显著高于其它处理,并且土壤容重随着放牧强度的增加呈线性增加趋势,说明重度放牧使土壤物理性状恶化,与其它学者的结果一致^[1,15-16],土壤容重降低的主要是由于重度放牧导致土壤失去了大中等孔隙,而土壤含水量随着放牧强度的增加呈下降趋势,随着放牧强度的增大地表的裸露程度增大,地表蒸发随之增大,土壤水分不易保持,呈逐渐下降的趋势。同时,由于家畜践踏作用增加,草地植被随家畜啃食而减少,植物对土壤的保水能力下降,土壤的渗透阻力加大,土壤容重随之增加,从而导致土壤保水和持水能力下降^[15-17]。因此,随放牧强度的增加,土壤容重与水分变化趋势相反,而禁牧在一定程度上可以改善土壤的通透性,从而使土壤有很好的保水和持水能力。土壤 pH 值随放牧强度的增加而增加,主要是由于放牧造成的植被盖度和地表凋落物量减小,进一步加速了土壤水分蒸发量加大使土壤中的部分盐分聚积到土表以及尿素水解过程产生的碳酸根离子与水作用形成大量的氢氧根离子均导致土壤 pH 值升高^[18-19]。

放牧对土壤养分影响的过程比较复杂,其影响程度与放牧强度、频度、方式、时间以及草地本身的土壤特性等有关^[20-21]。本研究试验区具有相同的土壤基质和环境条件,重度放牧下土壤养分各指标均显著低于中牧、轻牧和禁牧,并且随放牧强度的增加而降低,主要是由于重度放牧导致了生态系统结构和功能的破坏并引起了草地沙漠化,土壤结构和养分状况是度量生态系统生态功能恢复与维持的关键指标之一,家畜的践踏和采食导致归还土壤的养分减少,破坏了土壤的物理性状,也减少了土壤养分的部分来源^[1-3,20,22-23]。

综合图 3 的结果表明,重度放牧干扰已超出了荒漠草原承载能力和承受干扰的阈限,导致土壤养分及理化性状严重退化,草原生态系统中植被与土壤之间构成一个相互作用和影响的统一系统,土壤退化会引起植被的变化,而植被的演替也会引起土壤性状的改变^[24-25],这也是导致草地生物多样性降低的主要原因之一。本研究禁牧后土壤生物学性状及化学性状均优于放牧试验区,表明禁牧有利于植被—土壤系统营养物质的循环和腐殖质的形成等,有利于土壤有效养分的提高(图 4),从而对于本研究而言禁牧有利于荒漠草原系统生态结构和功能的恢复。从土壤养分的垂直分布规律来看,无论放牧与否,表层土壤养分“表聚性”较为明显,并且土壤养分和微生物量随土层深度的加深呈降低趋势(图 4),同时放牧也并未影响荒漠草原土壤养分垂直分布特征和规律。

由表 2 可知,本研究在放牧干扰下荒漠草原土壤养分变化幅度较大,随放牧强度的增加,土壤养分降低且降低幅度逐渐增加,其中微生物量碳氮磷的减小幅度高于土壤养分全磷减小幅度,说明荒漠草原土壤系统内部因子处于动态变化和平衡中,放牧通过畜体采食、践踏和排泄物归还等一系列方式影响草地群落组成、植物形态和土壤养分,而植物通过改变养分利用策略适应环境变化,它们之间可以看做相互作用和影响的一个有机整体,并且土壤微生物量对于放牧干扰的敏感性高于土壤养分含量。综合表 3 的结果可知,放牧干扰下土壤微生物量与土壤养分之间具有较强的相关性,二者与土壤含水量也有较强的相关性,更加说明了荒漠草原土壤养分和微生物量等地下生态系统各指标之间的统一性,同时也说明了土壤内部各因子相互影响和作用^[26-27]。

由于草地生态系统具有滞后性和弹性以及地区的气候环境差异等^[28-29],导致土壤养分在草地生态系统的转化和循环具有复杂性,并且目前放牧强度的定

性指标难以定量和制度难以划分,最终导致放牧对土壤养分含量影响的研究结果不尽相同^[1-3,20-21]。从国内外的研究^[28,30]结果来看适度放牧对草地土壤生态系统没有负面影响,长期重度放牧会使草地生态系统退化和崩溃,实施合理的放牧管理方式使草地生态系统的物质循环与能量流动保持相对平衡才能达到草地资源的可持续发展利用。因此,在未来的研究中应融入相关的环境因子探究放牧强度、方式、轮牧、时间和制度等对草地地上—地下生态系统的响应。

[参 考 文 献]

- [1] Neff J C, Reynolds R L, Belnap J, et al. Multi-decadal impacts of grazing on soil physical and biogeochemical properties in southeast Utah [J]. *Ecological Applications*, 2005, 15(1): 87-95.
- [2] Hamilton E W, Frank D A. Can plants stimulate soil microbes and their own nutrient supply? Evidence from a grazing tolerant grass [J]. *Ecology*, 2001, 82(9): 2397-2402.
- [3] Tessema Z K, De Boer W F, Baars R M T, et al. Changes in soil nutrients, vegetation structure and herbaceous biomass in response to grazing in a semi-arid savanna of Ethiopia [J]. *Journal of Arid Environments*, 2011, 75(7): 662-670.
- [4] Fan Jiangwen, Shao Quanqin, Liu Jiquan, et al. Assessment of effects of climate change and grazing activity on grassland yield in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai—Tibet Plateau, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, 170(1/4): 571-584.
- [5] Cao Shixiong, Wang Xiuqing, Song Yuezhen, et al. Impacts of the natural forest conservation program on the livelihoods of residents of Northwestern China: Perceptions of residents affected by the program [J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1454-1462.
- [6] Lin Yang, Hong Mei, Han Guodong, et al. Grazing intensity affected spatial patterns of vegetation and soil fertility in a desert steppe [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 138(3): 282-292.
- [7] Liu Nan, Zhang Yingjun, Chang Shujuan, et al. Impact of grazing on soil carbon and microbial biomass in typical steppe and desert steppe of Inner Mongolia [J]. *PloS one*, 2012, 7(5): e36434.
- [8] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 [J]. *生物多样性*, 1994, 2(4): 231-239.
- [9] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [10] Sandor M A. Maxim. Considerations concerning the role and functions of soil biodiversity in ecosystems [J]. *Proenvironment Promediu*, 2008, 1(1): 44.
- [11] Fuhlendorf S D, Engle D M. Restoring heterogeneity on rangelands: Ecosystem management based on evolutionary grazing patterns we propose a paradigm that enhances heterogeneity instead of homogeneity to promote biological diversity and wildlife habitat on rangelands grazed by livestock [J]. *BioScience*, 2001, 51(8): 625-632.
- [12] Georgiadis N J, Ruess R W, McNaughton S J, et al. Ecological conditions that determine when grazing stimulates grass production [J]. *Oecologia*, 1989, 81(3): 316-322.
- [13] McNaughton S J. Biodiversity and Function of Grazing Ecosystems [M] // *Biodiversity and Ecosystem Function*. Berlin: Springer, 1994: 361-383.
- [14] Donato D C, Kauffman J B, Murdiyarso D, et al. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics [J]. *Nature Geoscience*, 2011, 4(5): 293-297.
- [15] He Jing, Yang Tingting, Shi Tao, et al. Microbial dynamic changes under different grazing intensities in growing seasons of desert steppe [J]. *Advanced Materials Research*, 2014, 864: 2635-2638.
- [16] Liu Yanyan, Gong Yanmin, Wang Xin, et al. Volume fractal dimension of soil particles and relationships with soil physical-chemical properties and plant species diversity in an alpine grassland under different disturbance degrees [J]. *Journal of Arid Land*, 2013, 5(4): 480-487.
- [17] Mekuria W. Conversion of communal grazing lands into exclosures restored soil properties in the semi-arid lowlands of Northern Ethiopia [J]. *Arid Land Research and Management*, 2013, 27(2): 153-166.
- [18] Bai Gegen, Bao Yuying, Du Guoxin, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with vegetation and soil parameters under rest grazing management in a desert steppe ecosystem [J]. *Mycorrhiza*, 2013, 23(4): 289-301.
- [19] Shan Yumei, Chen Dima, Guan Xuanxuan, et al. Seasonally dependent impacts of grazing on soil nitrogen mineralization and linkages to ecosystem functioning in Inner Mongolia grassland [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(9): 1943-1954.
- [20] Pineiro G, Paruelo J M, Oesterheld M, et al. Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen [J]. *Rangeland Ecology & Management*, 2010, 63(1): 109-119.
- [21] Gass T M, Binkley D. Soil nutrient losses in an altered ecosystem are associated with native ungulate grazing [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(4): 952-960.

存在着不显著的正相关关系,这可能是由于土壤含水量未对林木需水产生干旱胁迫造成的,这在一定程度上说明喀斯特区土壤含水量对林木树干液流的影响应该有一个阈值,而不同树种存在的阈值大小和差异有待进一步研究。此外,开展类似研究应针对不同物种(常绿或落叶)选择不同的测定时间;对林木树干液流相关研究在常态地貌已取得许多卓有成效的研究成果^[5,7-8],有关喀斯特区不同生境中林木树干液流研究由于科研条件和其它因素的限制,并未取得太多的研究成果^[17],因此,应对喀斯特区适生乡土树种的树干液流相关研究给予更多的关注和重视,相关研究结果将为解决喀斯特区困难立地造林树种的选择提供科学依据。

[参 考 文 献]

- [1] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究[M]. 贵州 贵阳:贵州科技出版社[J]. 1993.
- [2] 喀斯特森林生态研究[M]. 贵州 贵阳:贵州科技出版社, 2003.
- [3] 杨瑞,喻理飞,安明态. 喀斯特区小生境特征现状分析:以茂兰自然保护区为例[J]. 贵州农业科学, 2009, 36(6): 168-169.
- [4] 朱守谦,祝小科. 贵州喀斯特区植被恢复的理论和实践[J]. 贵州环保科技, 2000, 6(1): 31-35.
- [5] 樊敏,马履一,王瑞辉. 刺槐春夏季树干液流变化规律[J]. 林业科学, 2008, 44(1): 41-45.
- [6] 聂立水,李吉跃. 应用 TDP 技术研究油松树干液流流速[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(6): 49-56.
- [7] 徐军亮,马履一. 土壤温度对油松(*Pinustabulaeformis*) 树干液流活动的影响[J]. 生态学报, 2009, 28(12): 6107-6112.
- [8] 张小由,康尔泗,司建华,等. 胡杨蒸腾耗水的单木测定与林分转换研究[J]. 林业科学, 2006, 42(7): 28-32.
- [9] 孙龙,王传宽,杨国亭,等. 应用热扩散技术对红松人工林树干液流通量的研究[J]. 林业科学, 2008, 43(11): 8-14.
- [10] 孙慧珍,周晓峰,赵惠勋. 白桦树干液流的动态研究[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1387-1391.
- [11] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements[J]. Tree Physiology, 1987, 3(4): 309-320.
- [12] 张雷,孙鹏森,刘世荣. 树干液流对环境变化响应研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5600-5610.
- [13] 陈晓燕,谷忠厚,田有亮,等. 大青山油松人工林树干液流特征及其与主要气象因子的关系[J]. 水土保持研究, 2009, 16(6): 97-101.
- [14] 奚如春,马履一,王瑞辉,等. 林木耗水调控机理研究进展[J]. 生态学杂志, 2006, 25(6): 692-697.
- [15] 张友焱,周泽福,党宏忠,等. 利用 TDP 茎流计研究沙地樟子松的树干液流[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 78-80.
- [16] 胡伟,杜峰,徐学选,等. 黄土丘陵区刺槐树干液流动态分析[J]. 应用生态学报, 2010(6): 1367-1373.
- [17] 杨瑞,肖卫平,喻理飞. 喀斯特区不同生境中云南鼠刺树干液流研究[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(4): 94-97.
- [22] Zheng Shuxia, Ren Haiyan, Li Wenhui, et al. Scale-dependent effects of grazing on plant C : N : P stoichiometry and linkages to ecosystem functioning in the inner mongolia grassland[J]. PLoS one, 2012, 7(12): e51750.
- [23] Schlüter S, Weller U, Vogel H J. Soil-structure development including seasonal dynamics in a long-term fertilization experiment[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2011, 174(3): 395-403.
- [24] Jangid K, Williams M A, Franzluebbers A J, et al. Land-use history has a stronger impact on soil microbial community composition than aboveground vegetation and soil properties[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43(10): 2184-2193.
- [25] Bochet E, García-Fayos P. Combined effect of soil erosion and climate change induces abrupt changes in soil and vegetation properties in semiarid Mediterranean shrublands[C] // EGU General Assembly Conference Abstracts, 2013.
- [26] Brockett B F T, Prescott C E, Grayston S J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 44(1): 9-20.
- [27] Enwall K, Throbäck I N, Stenberg M, et al. Soil resources influence spatial patterns of denitrifying communities at scales compatible with land management[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2010, 76(7): 2243-2250.
- [28] Chapin III F S, Chapin M C, Matson P A, et al. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology[M]. Berlin: Springer, 2011.
- [29] Hurrell J W, Deser C. North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation[J]. Journal of Marine Systems, 2010, 79(3): 231-244.
- [30] Dame R F. Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem Approach[M]. Boca Raton: CRC Press, 2011.

(上接第 88 页)