

DOI: 10.5846/stxb201501090073

林丽 张德罡 曹广民 欧阳经政 柯浔 刘淑丽 张法伟 李以康 郭小伟. 放牧强度对高寒嵩草草甸土壤养分特性的影响. 生态学报, 2016, 36(15): 4664-4671.

Lin L, Zhang D G, Cao G M, Ouyang J Z, Ke X, Liu S L, Zhang F W, Li Y K, Guo X W. Responses of soil nutrient traits to grazing intensities in alpine *Kobresia* meadows. Acta Ecologica Sinica 2016, 36(15): 4664-4671.

放牧强度对高寒嵩草草甸土壤养分特性的影响

林 丽^{1,2}, 张德罡^{1,*}, 曹广民², 欧阳经政², 柯 浔², 刘淑丽², 张法伟², 李以康², 郭小伟²

1 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070

2 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008

摘要: 植物-土壤系统是草地生态和生产服务价值实现的基础, 放牧是草地植物群落演替的重要因素。植物、土壤亚系统对放牧的敏感性是评价草地稳定性和提高草地恢复力的重要依据。以不同放牧强度下的高寒嵩草(*Kobresia*) 草甸为研究对象, 探讨土壤养分特征对放牧强度的响应及作用位点。结果表明: 改变放牧强度可以明显改变植物群落数量特征, 但没有明显改变土壤层次分类特征, 说明土壤养分特征对一定范围内放牧强度具有自我稳定维持功能; 但放牧干扰强度不同时, 土壤剖面过渡层养分含量存在差异, 说明长期放牧强度的差异会对土壤剖面养分性质产生影响, 且这种影响起源于土壤剖面过渡层。在放牧高寒嵩草草甸植物-土壤系统中土壤剖面养分特征较植物群落数量特征更稳定; 土壤剖面过渡层养分特征是土壤亚系统对放牧的敏感因素; 而放牧引起土壤剖面养分特征的改变主要表现在各过渡层上, 并构成土壤发生层迁移的风险, 因此推测, 更为持久和更高强度的放牧干扰将最终改变土壤剖面特征及养分性质。

关键词: 退化草地生态系统; 超载放牧; 土壤养分; 土壤发生层

Responses of soil nutrient traits to grazing intensities in alpine *Kobresia* meadows

LIN Li^{1,2}, ZHANG Degang^{1,*}, CAO Guangmin², OUYANG Jingzheng², KE Xun², LIU Shuli², ZHANG Fawei², LI Yikang², GUO Xiaowei²

1 Pratacultural College of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China

Abstract: Soil-Plant system is the base of eco-economic production in grassland system. Livestock grazing is the most important disturbance factor in plant community succession in Qinghai-Tibet plateau. Soil traits will become considerable indices when the plant community characteristics are different by livestock grazing. There are some relationships between soil and plant community traits, in vegetation cover, vegetation diversity, soil development, soil erosion, soil degradation, and geomorphological and hydrological behaviour of alpine meadow system. The health of plant-soil system is the focus issue in natural eco-system, and plant and soil properties can reflect the healthy of the ecosystem. So in the alpine meadow system which factor is more sensitive in grazing disturbing, soil nutrient characters or plant community characters. In our studies, we first investigated 4 plots in Haibei states, Qinghai province, China, which had the same geographical unit and climatic region but in different livestock grazing intensities. We inquired details information about stocking rates, grazing time and livestock species in these plots. In the same time, soil samples were collected to the laboratory to analyze

基金项目: 青海省 2013 基本科技计划项目(2013-N-540); 国家自然科学基金青年项目(31500368); 国家自然科学基金面上项目(31270576); 国家公益性行业(农业)科研专项(210203006); 国家牧草产业技术体系岗位科学家基金(CAR35)

收稿日期: 2015-01-09; 网络出版日期: 2015-11-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangdg@gsau.edu.cn

<http://www.ecologica.cn>

characters of soil nutrient contents (containing organism , total nitrogen , total phosphorous , total potassium , slowly release potassium , ammonium nitrogen , nitrate nitrogen , available phosphorous , available potassium , pH value , and inorganic carbon) . The results showed that: the soil parent materials were in the same style in different livestock grazing intensities , it illustrated that those plots had the same pedogenic basis. The discrimination of plant community characters were come from environmental disturbing intensities , like livestock grazing. Plant community characters were differences , but soil layers' nutrient characters were consistent in the same soil layer under the different grazing intensities. In soil system , characters of soil profile transition layers were more sensitive to grazing disturbing , for example 5—10cm was a transition layer of matic epipedon and leached layer , matic epipedon would grow thickly when the livestock grazing intensity increasing to a certain extent , as a result , the plant community succession changed the root distribution length and density , and affected nutrient under the matic epipedon soil layer (the leached soil layer) , so 5—10cm had some transition characters between matic epipedon and leached soil layer , it became the soil profile transition layers , those layers would more sensitive on livestock grazing intensities. It was inconformity between plant community characteristics and soil nutrient traits under different livestock pressure. Soil nutrient system were more stable than plant community system in different livestock intensities , meanwhile the different livestock intensities would not change soil profile nutrient classification , but it would more or less change the soil nutrients content in soil transition layer , and roots distributed condition could effect the soil nutrients by soil rhizosphere microbe , root exudates and so on. So in the soil-plant system , soil sub-system was more steady than plant community sub-system. In soil sub-system , soil transition layers were more sensitive than soil profile characters in livestock intensities. So plant community characters and the soil transition layers may become the discrimination index in livestock intensities in alpine meadows.

Key Words: degradation of grassland ecological system; overgrazing; soil nutrient; soil profile

高寒嵩草草甸是青藏高原放牧生态系统的主体 ,具有生产、生活、生态的三生服务功能。放牧是高寒嵩草草甸上进行最持久、影响最深远的人类经济活动之一,过度放牧可以造成产草量大幅度降低^[1],土壤物理结构遭受破坏^[2],土壤化学养分失衡^[3-4],甚至草地生态系统崩溃^[5]。高寒嵩草草地退化已经成为威胁当地及周边地区生态安全、限制区域经济发展的瓶颈因素。

放牧草地生态系统生产服务能力评价的基础是畜产品生产以及如何维持畜产品可持续生产。而畜产品生产的基础是植物-土壤系统,放牧可以改变植物群落物质能量分配模式^[6-10]、土壤养分平衡和转化特征^[11]。但植物群落数量和土壤养分特征对放牧反应的敏感性颇受争议。有些研究认为过度放牧在改变草地植物群落物种组成的同时,改变了土壤养分特征^[12-13],如甘南嵩草放牧草地与禁牧草地相比,前者显著的降低了土壤有机质、全氮、速效氮、全磷和速效磷的含量^[14];但有些研究认为,放牧对土壤养分的影响具有不确定性,因为采食、践踏、粪尿回归^[15-16]对土壤养分的提高有可能具有正反馈效应^[17-19],且一定强度的放牧可以增加凋落物质量,增加土壤微生物的数量和活性,从而增加养分的循环速率^[20-21]。植物-土壤系统对放牧强度的反馈效应在一定程度上可以维持植物群落的相对稳定^[12]。

草地放牧演替过程植物群落同土壤养分的变化顺序一直是生态扰动学理论研究的热点。本研究以青藏高原东北部典型高寒嵩草(*Kobresia* spp.)草甸不同放牧干扰强度下的植被演替系列为研究对象,通过分析其土壤剖面分层和土壤性质特征,探讨植物群落数量特征同土壤性质特征的协同演化关系,以为深入剖析草地稳定性维持机制提供实证和理论依据^[22]。

1 研究方法

1.1 样地的选择

研究区域设置于青海省海北藏族自治州门源县皇城乡,中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站辅助观

测场 地处祁连山北支冷龙岭东段南麓的大通河谷山间滩地 属典型的高原大陆性气候 年均气温 -1.7°C , 最冷月(1月)平均气温为 -14.8°C , 最热月(7月)平均温度为 9.8°C , 绝对最低气温可降至 -37°C 。年降水量 618 mm , 主要集中于 5—9 月 , 占年降水量的 80% 左右。植物生长季 雨热同期。

在该区域选择具有相同气候条件和立地条件的 4 户冬春牧场 分别标记为 A、B、C 和 D。1995 年前 植物生长盛期草场以禾草和矮嵩草(*Kobresia humilis*) 为优势种 整个草场植被分布较为均一。1995 年后该草场分给 4 个牧户分别经营 由于各牧户经营策略不同 导致载畜量、畜群组成、放牧时间发生分异(表 1) 经过近 20 年的累计效应 使得各围栏内草场地表特征、植物群落组成结构发生明显分异 进而形成了一个天然的放牧梯度。样地概况见表 1。

表 1 样地概况

Table 1 Plots general situation

样地 Sample	载畜量 Stocking capacity	地理位置 Location	样地概况 Plot general situation
A	3.65 羊单位/hm ²	37°39.023' N, 101°10.638' E, 3230m	草地类型为禾草-矮嵩草草甸, 具有明显的片层结构, 上层以针茅(<i>Stipa</i> spp.) 和羊茅(<i>Festuca</i> spp.) 等禾本科植物为优势种, 下层矮嵩草(<i>Kobresia humilis</i>) 等莎草为优势种, 禾本科植物出现的频率和盖度高于莎草科植物; 草毡表层厚度不高于 5cm; 放牧时间为每年 3 月至 5 月底; 放牧家畜主要为藏系绵羊
B	7.50 羊单位/hm ²	37°40.155' N, 101°10.021' E, 3241m	草地类型为矮嵩草草甸, 草地片层结构较为明显, 上层以针茅(<i>Stipa</i> spp) 和羊茅(<i>Festuca</i> spp) 等禾本科植物为优势种, 下层以矮嵩草(<i>K. humilis</i>) 等莎草科植物为优势种, 矮嵩草植物的频度及盖度高于禾本科植物; 表层厚度 5cm 左右; 放牧时间为前一年的 12 月至次年的 5 月底; 放牧家畜主要为藏系绵羊
C	8.25 羊单位/hm ²	37°40.054' N, 101°10.620' E, 3239m	草地类型为小嵩草草甸, 演替所处阶段为小嵩草草甸草毡表层加厚期; 草地为单片层结构, 禾本科植物出现的频率小, 小嵩草(<i>K. pygmaea</i>) 等莎草科植物为优势种, 并呈明显的斑块化分布, 小嵩草斑块边缘出现一定深度的裂缝, 裂缝面积不超过样地总面积的 5%, 裂缝内矮嵩草(<i>K. humilis</i>) 和禾本科植物分布较多; 放牧时间为前一年的 12 月至次年的 5 月底; 放牧家畜主要为藏系绵羊
D	11.25 羊单位/hm ²	37°42.089' N, 101°15.928' E, 3278m	草地类型为小嵩草草甸, 演替所处阶段为小嵩草草甸草毡表层开裂期; 草地为单片层结构, 禾本科植物出现的频率小, 小嵩草(<i>K. pygmaea</i>) 等莎草科植物为优势种, 并呈明显的斑块化分布, 小嵩草斑块中心区域存在大量空地, 其上附着黑色或白色休眠或死亡的生物结皮, 边缘裂缝宽度较 C 样地大, 裂缝交接处出现大量水蚀三角区, 区域内偶有裸露底土层, 裂缝面积一般在 5%—30%; 放牧时间为前一年的 12 月至次年的 5 月底; 放牧家畜主要为藏系绵羊和牦牛

1.2 采样方法

采样时间为 2013 年 9 月初, 土壤样品采集利用土钻法($\Phi = 6\text{ cm}$) , 每 5 钻合为 1 个重复, 每样地 6 个重复, 风干, 去根系, 分别过 0.25mm 和 2mm 土壤筛备用。

土壤养分特征测定指标及方法: 全碳(元素分析仪 Perkin Elmer 2400II)、全氮(元素分析仪 Perkin Elmer 2400II)、全磷(酸溶-钼锑抗比色法)、全钾(酸溶-火焰光度法)、硝态氮(氯化钾浸提-酚二磺酸比色法)、氨态氮(氯化钾浸提-靛酚兰比色法)、速效磷(碳酸氢钠浸提-分光光度法)、速效钾(醋酸铵浸提-火焰光度法)、pH(水土比 2.5:1)、无机碳(土壤碳酸盐测定仪 Eijkelkamp Calcimeter)、有机质[有机质含量=(全碳含量-无机碳含量) $\times 1.724$]^[23]。

1.3 数据分析处理

(1) 载畜量调查 通过调查牲畜数量、载畜时间和土地面积获得。

(2) 植物群落演替过程土壤养分差异分析 采用 spss11.5 对 4 个样地相同土壤层次 11 种土壤理化性质分别进行单因素方差分析, 显著性系数为 0.05。

(3) 同一植物群落土壤剖面分类 以 11 种土壤理化性质含量为属性, 分别对 4 个样地土壤分布层进行欧式聚类, 分析该区土壤层次的归属关系。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面分层特征

以 11 种土壤养分性质为因子对 A、B、C 和 D 各样地 0—5cm、5—10cm、10—15cm、15—20cm、20—30cm 和 30—40cm 土层进行聚类,发现研究区域土层主要分为 4 类,分别为 0—5cm、5—10cm、10—20cm 和 20—40cm。其中 4 样地 0—5cm 土层归为一类,从欧式距离看,各样地之间土壤性质有出现分异的趋势;5—10cm 土层 A 和 B 样地欧式距离较为接近,而 C 和 D 样地欧式距离较为接近,但总体上各样地 5—10cm 土层可以归为一类;10—15cm 和 15—20cm 两层土壤各自成一类,但两者之间的欧式距离均衡,可以归为一大类。20—30cm 和 30—40cm 两层次土壤欧式距离差异较小,且互有包含,如 C 样地 20—30cm 和 A、B、C 和 D 样地 30—40cm 土壤可归为一大类(图 1)。

以 11 种土壤养分性质为因子对 A 样地土壤剖面层次进行聚类,可将其剖面划分成 4 层,即 0—5cm、5—15cm、15—30cm、30—40cm,通过剖面特征调查发现它们分别隶属于草毡表层、淋溶层、淋溶层和淀积层的过渡层、淀积层和母质层(图 2)。

以 11 种土壤理化性质为因子对 B 样地土壤剖面层次进行聚类,发现可将其垂直剖面划分成 5 层,即 0—5cm、5—10cm、10—20cm、20—30cm、30—40cm,通过剖面特征调查,它们分别隶属于土壤发生层的草毡表层、淋溶层、淀积层、淀积层与母质层的过渡层以及母质层(图 3)。

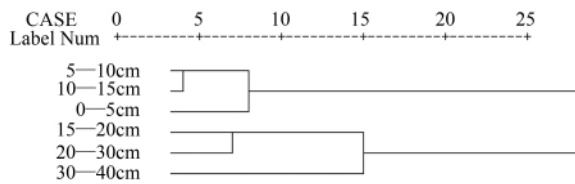


图 2 A 样地土壤垂直剖面分层特征
Fig.2 Soil profiles features in plot A

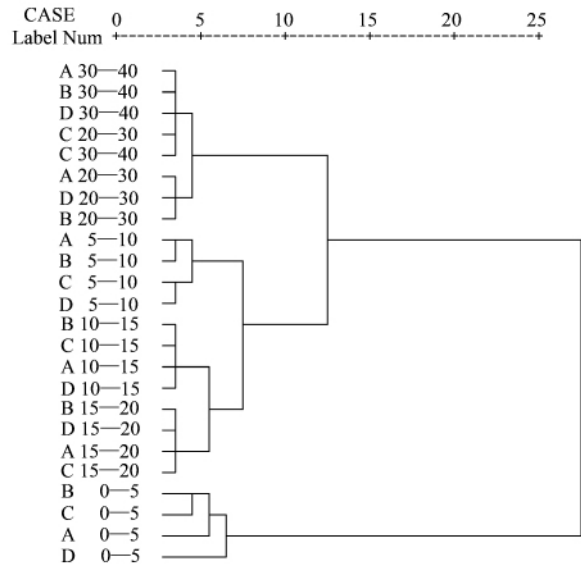


图 1 研究区域土壤养分垂直分层特征聚类分析

Fig.1 Soil profiles features classification in experiment area
0—5 代表 0—5cm 土层,5—10 代表 5—10cm 土层,10—15 代表 10—15cm 土层,15—20 代表 15—20cm 土层,20—30 代表 20—30cm 土层,30—40 代表 30—40cm 土层;A、B、C 和 D 依次代表 A、B、C 和 D 样地

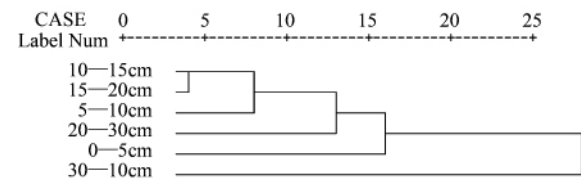


图 3 B 类型样地土壤垂直剖面分层特征
Fig.3 Soil profiles features in plot B

以 11 种土壤理化性质对 C 样地土壤剖面层次进行聚类,发现可将其垂直剖面划分成 4 层,即 0—5cm、5—10cm、10—20cm、20—40cm,通过剖面特征调查,它们分别隶属于土壤发生层的草毡表层、淋溶层、淀积层和母质层(图 4)。

以 11 种土壤理化性质对 D 样地土壤剖面层次进行聚类,发现可将其垂直剖面划分成 4 层,0—5cm、5—10cm、10—30cm 和 30—40cm,通过剖面特征调查,它们分别隶属于草毡表层、淋溶层、淀积层、母质层(图 5)。

2.2 放牧强度对土壤全量养分的影响

放牧强度对土壤有机质和全氮含量的影响主要表现在表层和母质层。随放牧强度增大,0—5cm 土壤有机质含量 B 样地显著高于 D 样地 ($P < 0.05$),土壤全氮含量 A 和 B 样地显著高于 D 样地 ($P < 0.05$);5—30cm 土壤有机质和全氮各层次含量在不同样地之间差异不显著 ($P < 0.05$),但 30—40cm 土壤有机质含量 D

样地显著低于 A、B 和 C 样地 ($P < 0.05$)。

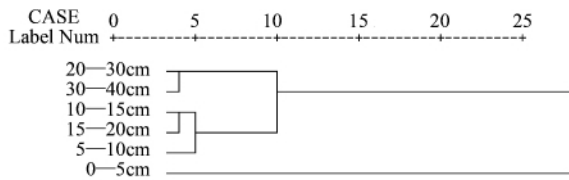


图 4 C 类型样地土壤垂直剖面分层特征

Fig. 4 Soil profiles features in plot C

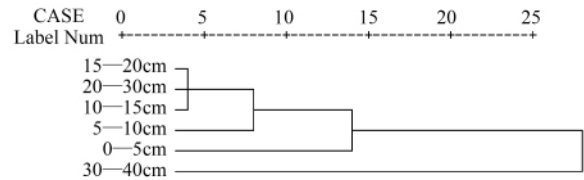


图 5 D 类型样地土壤垂直剖面分层特征

Fig. 5 Soil profiles features in plot D

放牧强度对土壤全磷、全钾、无机碳含量的影响主要表现在土壤过渡层。即随放牧强度增大,10—15cm 土层中土壤全磷含量 A 和 B 样地显著高于 C 和 D 样地 ($P < 0.05$);5—10cm 土层土壤全钾含量 B 样地显著低于 A、C 和 D 样地 ($P < 0.05$);而不同放牧强度下 相同土壤发生层全磷和全钾含量差异不显著 ($P > 0.05$)。15—20cm 土层土壤无机碳 C 样地显著低于 D 样地 ($P < 0.05$) ,余者在不同放牧强度下均差异不显著 ($P > 0.05$)。

放牧强度对土壤各层次 pH 值含量影响不明显。A、B、C 和 D4 样地 0—30cm 各土层 pH 值在不同放牧强度下无明显差异 ($P > 0.05$);30—40cm 土层土壤 pH 在 A、B、D 样地无显著差异 ($P > 0.05$) ,但略高于 C 样地 ($P < 0.05$) (图 6)。

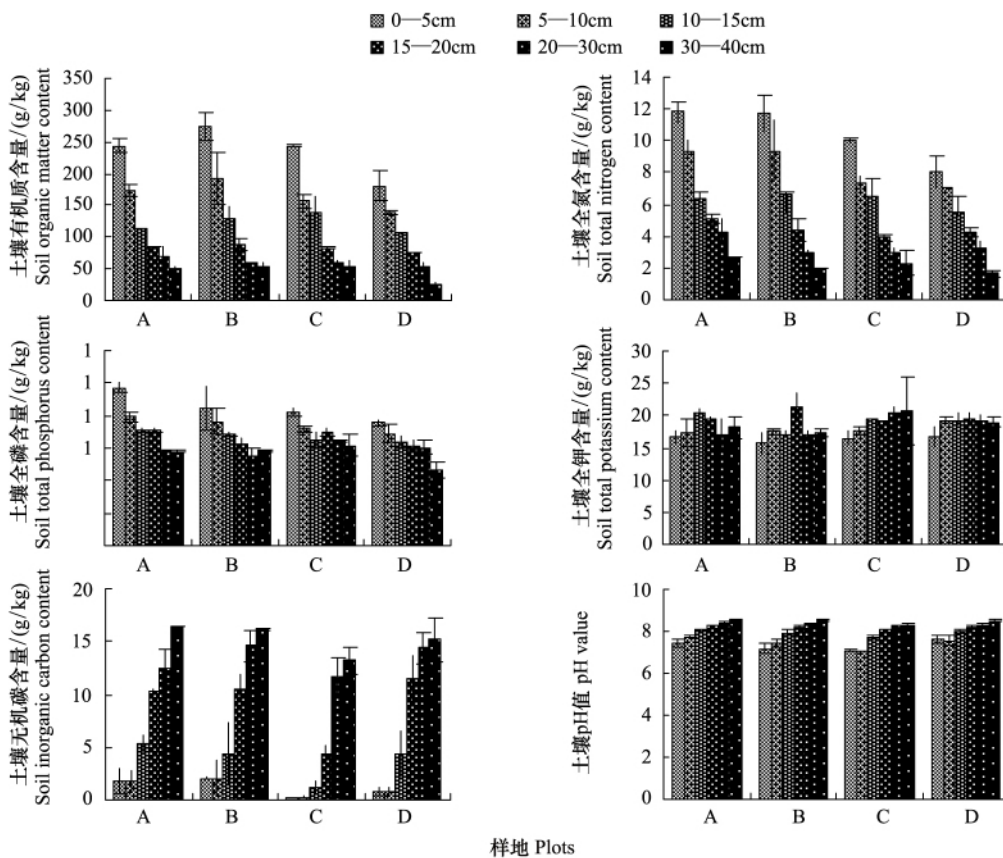


图 6 不同放牧强度土壤全量养分含量及 pH 值分层特征

Fig. 6 The nutrient content and pH value in different soil layers and different grazing intensity

采用的统计方法为单因素方差分析,显著性系数为 0.05

2.3 放牧强度对土壤缓效养分的影响

放牧强度对土壤缓效钾含量的影响主要表现在过渡层,即随放牧强度增大,15—20cm 土层中 B 样地缓效钾显著高于 A 样地 ($P < 0.05$),A、C、D 样地差异不显著 ($P > 0.05$);20—30cm 土层中 B 样地缓效钾显著高于 C 样地 ($P < 0.05$),A、C、D 样地差异不显著 ($P > 0.05$) (图 7)。

2.4 放牧强度对土壤速效养分的影响

放牧强度对土壤速效养分含量的影响高于全量及缓效养分。从剖面垂直特征看,速效养分总体表现为自表层向下逐渐降低。

放牧强度对土壤速效钾含量的影响主要表现在 0—20cm 土层,即 A 样地 0—20cm 各层次土壤速效钾含量均显著高于 B、C、D 样地 ($P < 0.05$),20—30cm 土层 A 和 C 样地高于 B 和 D 样地 ($P < 0.05$),30—40cm 土层 A、B、C 和 D 类型样地间差异不显著 ($P > 0.05$)。

放牧强度对土壤速效磷含量的影响主要表现在 0—30cm 土层,即 0—10cm 土层各层速效磷含量 A 和 B 样地显著高于 C 和 D 样地 ($P < 0.05$);10—15cm 土壤速效磷含量 A 样地显著低于 C 和 D 样地 ($P < 0.05$),B、C 和 D 样地差异不显著 ($P > 0.05$);15—20cm 土壤速效磷含量 B 样地显著低于 C 和 D 样地 ($P < 0.05$),但同 A 样地差异不显著 ($P > 0.05$),A 样地同 B、C 和 D 样地差异不显著 ($P > 0.05$);20—30cm 土壤速效磷含量 A 和 B 样地同 C 和 D 样地之间差异显著 ($P < 0.05$),而 A 和 B 样地以及 C 和 D 样地差异不显著 ($P > 0.05$);30—40cm A、B、C 和 D 土壤速效磷含量差异不显著 ($P > 0.05$)。

放牧强度对土壤硝态氮和氨态氮的含量的影响主要表现在非表层和母质层的各土层中。即随放牧强度增加 0—5cm 和 30—40cm 土壤硝态氮和氨态氮含量无显著差异 ($P > 0.05$),5—10cm 土壤氨态氮差异不显著 ($P > 0.05$),土壤硝态氮含量 A、D 样地高于 B、C 样地 ($P < 0.05$);10—15cm 氨态氮含量 A 样地显著高于 B、C 和 D 样地 ($P < 0.05$),硝态氮含量 A 和 D 样地显著高于 B 和 C 样地,15—20cm 土壤氨态氮含量从高到低依次为 A > C 和 D > B,且各组之间差异显著 ($P < 0.05$),硝态氮含量 B 样地最低,显著低于 A 和 C 样地 ($P < 0.05$),同 D 样地差异不显著 ($P > 0.05$);20—30cm 土壤氨态氮含量 C 样地显著高于 A、B 和 D 样地,硝态氮含量从大到小依次为 A > C > B 和 D 样地;30—40cm 土壤硝态氮和氨态氮含量在各样地之间差异不显著 (图 8)。

3 讨论

3.1 放牧干扰对植物群落数量特征的影响

植物群落数量特征同放牧强度改变具有协同性,植物对放牧干扰应对策略的分异改变了植物群落的生活型,进而影响了草地斑块的分格局。草地生态系统是一个集动物-微生物-植物-土壤-环境-人类管理于一体的多界面自然-社会复合体,生态环境的脆弱性是其退化的自然内营力,人为干扰和不合理利用是草地退化的加速器^[23-24]。青藏高原高寒高草甸牧场植物群落特征发生分异的主要驱动力是超载放牧,其演替的主流方向是退化^[3]。高寒草甸在抵御超载放牧等外界干扰的过程中形成了一套独特、有效的稳定性维持机制^[25]。具体表现:放牧强度导致植物群落的组成结构发生分异,研究区域 1995 年以前未建设围栏,草地的放牧模式统一,草场平坦,植物群落物种分布均匀;1995 年后,由于分配给不同的牧户,使得其对草场的经营策略(家畜

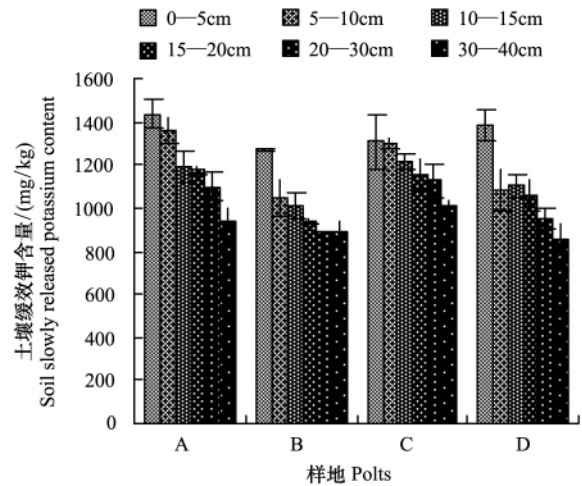


图 7 不同放牧强度土壤缓效钾含量分层特征

Fig. 7 Soil slowly released potassium content in different soil layers and grazing intensity

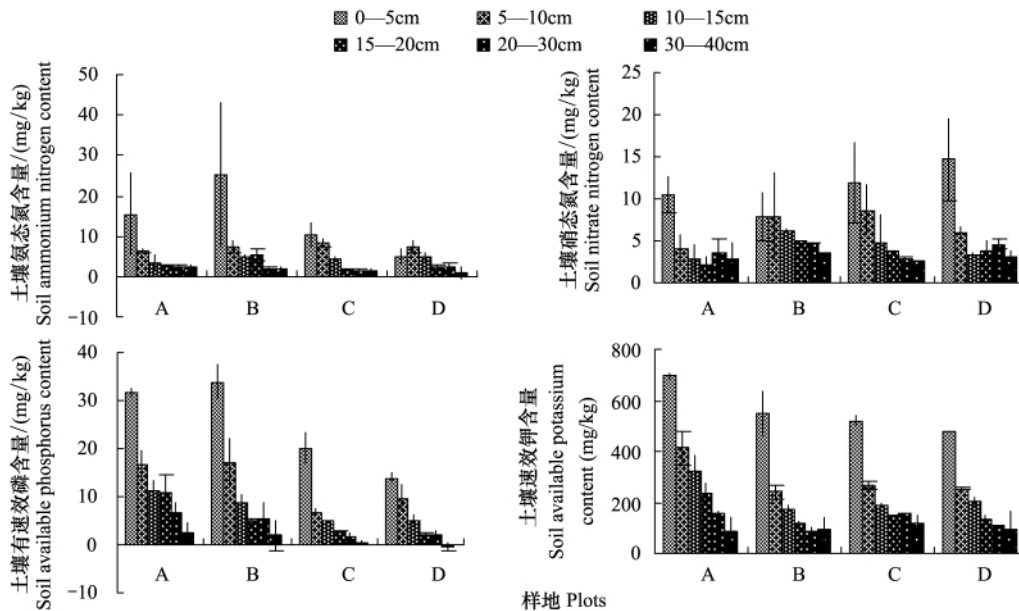


图8 不同放牧强度土壤硝态氮、氨态氮、速效磷和速效钾分层特征

Fig.8 Soil ammonium nitrogen, soil nitrate, soil available phosphorus and soil available potassium content different soil layers and different grazing intensity

采用的统计方法为单因素方差分析,显著性系数为0.05

种类、放牧时间、载畜量)发生分歧,形成了天然的放牧梯度。在不同的放牧强度下,植物群落数量特征发生了明显改变,且随放牧强度加大,草地可食性牧草优势种逐渐由禾草、矮嵩草(*K. humilis*)共优种草甸转化为矮嵩草(*K. humilis*)单优种草甸,最终转变为小嵩草(*K. pygmaea*)单优种草甸。此外,放牧强度加大导致高寒嵩草草甸植物群落生活型改变,根茎密丛型植物比例增多,根冠比增高,其结果使草毡表层加厚,植物群落斑块破碎化加剧,地表裂缝增多,加速了草地的空间异质性、增加了草地退化的风险性^[26]。

3.2 放牧干扰对土壤性质特征的影响

土壤氮、磷、钾、有机质含量及pH值等土壤养分特性是评价土壤系统质量优劣的重要指标,也是评价草地生态系统能否可持续发展的基础。该区高寒草地生态系统土壤类型为高山草甸土,依据土壤养分特征对研究区域土壤层次进行归类发现,该区放牧草场土壤层次分为4类,分别为0-5cm,5-10cm,10-20cm,20-40cm。但土壤养分在不同放牧强度下的分类特征略有差别。0-5cm土层为草毡表层的主要分布层,其根系饱和度高^[27],土壤养分特征较为一致。但受到放牧干扰强度不同的影响,其草毡表层厚度不同,草毡表层加厚和土壤紧实度增加容易降低降雨的入渗能力,而春秋季节昼融夜冻的交替作用,将草毡表层在脆弱处撕裂,形成不同宽度、深度的裂缝,当降雨灌入裂缝时,草毡表层下方土壤因水分丰富而变得疏松,最终导致草毡表层同土体剥离^[26],这是导致5-10cm土壤养分在不同放牧强度下发生分异的原因之一。10-15cm、15-20cm和20-30cm土层是连接根系主要分布区(0-10cm)同母质层(30cm以下)的过渡区域。受到土壤草毡表层厚度不同的影响,其土壤养分特征有随退化程度加深而下移的趋势,但同一层次土壤养分总体特征在不同样地间的差异较小,且该差异不影响土壤养分层次分类。其原因是研究区域草地80%-90%土壤根系分布在0-20cm土层内,20-30cm及30cm以下土层根系较少或无^[3],该类土层基本接近或保持土壤母质特性,即根系少、土壤微生物量低、土壤pH值高,硝态氮、铵态氮、速效磷含量低等,其养分含量特征不容易因放牧强度的变化而变化,说明放牧强度的改变对土壤过渡层养分含量的改变同根系分布状况具有一定的关联性,土壤根系通过根系分泌物、根际微生物以及根系对土壤结构的改变等作用直接或间接的影响土壤性质特征^[28],但这种作用十分缓慢,且受到放牧强度、持续时间和频度的强烈影响,最终导致土壤养分特征对放牧强度的敏感性弱于植物系统。虽然放牧强度改变无法在一定时间范围内改变土壤养分层次的归属,但可以改

变土壤过渡层养分特征,并有可能对整个土壤剖面养分特征产生深远影响。因此土壤是退化草地生态系统中较为稳定的因素,其变化过程始于过渡层,但一旦土壤养分性质发生明显的恶化,土壤系统也将成为草地生态系统恢复的瓶颈因素。

4 结论

放牧强度不同的退化高寒高草草甸,土壤养分特征变化较植物群落特征滞后,放牧强度不容改变高寒草甸土壤发生层养分特征,但可以改变土壤过渡层养分含量和特征,进而对土壤剖面养分的再分配产生深远影响。过度放牧引起的高寒高草草甸的退化,土壤因素较为稳定,但该稳定性一旦被破坏,亦将成为草地恢复过程的瓶颈因素。

参考文献(References):

- [1] Dumont B, Garel J P, Ginane C, Decuq F, Farruggia A, Pradel P, Rigolot C, Petit M. Effect of cattle grazing a species-rich mountain pasture under different stocking rates on the dynamics of diet selection and sward structure. *Animal*, 2007, 1(7): 1042-1052.
- [2] 郑淑华, 赵萌莉, 韩国栋, 红梅, 贵满全, 乌力吉. 不同放牧压力下典型草原土壤物理性质与植被关系的研究. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(7): 199-203.
- [3] 林丽, 曹广民, 李以康, 张法伟, 郭小伟, 韩道瑞. 人类活动对青藏高原高寒矮高草草甸碳过程的影响. *生态学报*, 2010, 30(15): 4012-4018.
- [4] 林丽, 李以康, 张法伟, 杜岩功, 郭小伟, 李婧, 刘淑丽, 曹广民. 高寒矮高草群落退化演替系列氮、磷生态化学计量学特征. *生态学报*, 2013, 33(17): 5245-5251.
- [5] 牛亚菲. 青藏高原生态环境问题研究. *地理科学进展*, 1999, 18(2): 163-171.
- [6] Mills A, Adl M S. The effects of land use intensification on soil biodiversity in the pasture. *Canadian Journal of Plant Science*, 2006, 86(S): 1339-1343.
- [7] Bezemer T M, van Dam N M. Linking aboveground and belowground interactions via induced plant defenses. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005, 20(11): 617-624.
- [8] Zhao W, Chen S P, Han X G, Lin G H. Effects of long-term grazing on the morphological and functional traits of *Leymus chinensis* in the semiarid grassland of Inner Mongolia, China. *Ecological Research*, 2009, 24(1): 99-108.
- [9] Zolda P. Nematode communities of grazed and ungrazed semi-natural steppe grasslands in Eastern Austria. *Pedobiologia*, 2006, 50(1): 11-22.
- [10] Ilmarinen K, Mikola J, Nieminen H, Vestberg M. Does plant growth phase determine the response of plants and soil organisms to defoliation?. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(3): 433-443.
- [11] Ehrenfeld J G. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes. *Ecosystems*, 2003, 6(6): 503-523.
- [12] Kulmatiski A, Beard K H, Stevens J R, Cobbold S M. Plant-soil feedbacks: a meta-analytical review. *Ecology Letters*, 2008, 11(9): 980-992.
- [13] Moretto A S, Distel R A, Didoné N G. Decomposition and nutrient dynamic of leaf litter and roots from palatable and unpalatable grasses in a semi-arid grassland. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18(1): 31-37.
- [14] Wu G L, Du G Z, Liu Z H, Thirgood S. Effect of fencing and grazing on a Kobresia-dominated meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau. *Plant and Soil*, 2009, 319(1/2): 115-126.
- [15] Mahaming A R, Mills A S, Adl S M. Soil community changes during secondary succession to naturalized grasslands. *Applied Soil Ecology*, 2009, 41(2): 137-147.
- [16] Kohler F, Hamelin J, Gillet F, Gobat J M, Butler A. Soil microbial community changes in wooded mountain pastures due to simulated effects of cattle grazing. *Plant and Soil*, 2005, 278(1/2): 327-340.
- [17] Bardgett R D, Wardle D A, Yeates G W. Linking above-ground and below-ground interactions: how plant responses to foliar herbivory influence soil organisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(14): 1867-1867.
- [18] Holt J A. Grazing pressure and soil carbon, microbial biomass and enzyme activities in semi-arid northeastern Australia. *Applied Soil Ecology*, 1997, 5(2): 143-149.
- [19] Northup B K, Brown J R, Holt J A. Grazing impacts on the spatial distribution of soil microbial biomass around tussock grasses in a tropical grassland. *Applied Soil Ecology*, 1999, 13(3): 259-270.
- [20] Clegg C D. Impact of cattle grazing and inorganic fertiliser additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *Applied Soil Ecology*, 2006, 31(1/2): 78-82.
- [21] Alonso I, Hartley S E. Effects of nutrient supply, light availability and herbivory on the growth of heather and three competing grass species. *Plant Ecology*, 1998, 137(2): 203-212.
- [22] 周丽艳, 王明玖, 韩国栋. 不同强度放牧对贝加尔针茅草原群落和土壤理化性质的影响. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(7): 182-187.
- [23] 刘光祿. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [24] 龙瑞军, 董世奎, 胡自治. 西部草地退化的原因分析与生态恢复措施探讨. *草原与草坪*, 2005, (6): 3-7.
- [25] 曹广民, 龙瑞军. 放牧高寒高草草甸的稳定性及自我维持机制. *中国农业气象*, 2009, 30(4): 553-559.
- [26] 梁东营, 林丽, 李以康, 王溪, 曹广民. 三江源退化高寒草甸草毡表层剥蚀过程及发生机理的初步研究. *草地学报*, 2010, 18(1): 31-36.
- [27] 曹广民, 龙瑞军, 张法伟, 李以康, 林丽, 郭小伟, 韩道瑞, 李婧. 青藏高原高寒矮高草草甸碳增汇潜力估测方法. *生态学报*, 2010, 30(23): 6591-6597.
- [28] Angassa A. Effects of grazing intensity and bush encroachment on herbaceous species and rangeland condition in southern Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 2014, 25(5): 438-451, doi: 10.1002/ldr.2160.