

青海湖区不同植被类型草原土壤养分分布特征

刘玉萍¹, 周勇辉¹, 苏旭¹, 李以康², 岳广阳³

1. 青海师范大学 生命科学学院, 西宁 810008

2. 中国科学院 西北高原生物研究所, 西宁 810008

3. 中国科学院 西北生态环境资源研究院, 兰州 730000

摘要: 以青海湖区4种植被覆盖下的草原为研究对象, 探讨不同植被类型影响下土壤养分的分布格局. 结果表明: w (速效养分(速效氮、速效钾、速效磷))具有明显的分层特征, 表层土壤最高, 随着土层加深逐渐降低; 紫花针茅样地各层土壤 w (速效氮)、 w (速效磷)均低于其他3个样地, 但芨芨草样地各土层 w (速效钾)显著高于其他3个样地. w (全量养分(全氮、全钾、全磷))表现不同, w (全氮)表现出分层现象, 芨芨草、紫花针茅样地表层(0~10 cm)和第2层(10~20 cm) w (全氮)高, 下层迅速降低; 小嵩草草甸样地和藏嵩草沼泽草甸样地各层 w (全氮)都较高; 除紫花针茅样地 w (全钾)表层显著高于其余3层外, 所有研究样地各土层间的 w (全钾)差异不显著; w (全磷)随土层降低不存在显著差异; w (有机质)与 w (全量养分)、 w (速效养分)分别呈现出显著相关关系和极显著相关关系. 随着土层加深, w (有机质)降低, 土壤容重增高、pH升高. 同一区域植被类型不同, w (土壤养分)也有很大差异, 人类扰动和自然因素都会影响土壤养分状况.

关键词: 土壤养分; 植被类型; 草原; 青海湖

中图分类号: Q148 **文献标识码:** A **文章编号:** 0455-2059(2018)04-0480-07

DOI: 10.13885/j.issn.0455-2059.2018.04.008

Differentiation characteristics of soil nutrients in steppe of different vegetation types in the zone of the Qinghai Lake

Liu Yu-ping¹, Zhou Yong-hui¹, Su Xu¹, Li Yi-kang², Yue Guang-yang³

1. School of Life Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, China

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

3. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: Taking four steppe vegetation types around the Qinghai Lake as research objects, this paper discussed the distribution pattern of soil nutrients under different vegetation types. The results showed that the mass fraction of available nutrients, including N, K and P, had distinct layered characteristics, being the highest in surface soil. With the deepening of soil layer, the mass fraction of available nutrients gradually decreased. The mass fraction of the soil w (available N) and w (available P) of each soil layer in *Stipa purpurea* sample plots were lower than those of the other three sample plots of *Kobresia humilis*, *K. tibet-*

收稿日期: 2017-11-16 **修回日期:** 2018-01-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(31270576, 41761009, 31260052); 青海省自然科学基金项目(2016-ZJ-710); 青藏高原药用动植物资源重点实验室项目(2017-ZJ-Y13); 青海师范大学中青年科研基金项目(17ZR06)

作者简介: 刘玉萍(1980-), 女, 青海民和人, 副教授, 博士, e-mail: lyp8527970@126.com, 研究方向为植物生态学; 苏旭(1980-), 男, 山东菏泽人, 教授, 博士, e-mail: xusu8527972@126.com, 研究方向为分子生态学, 通信联系人.

ica and *Achnatherum splendens*, but the mass fraction of the soil $w(\text{available K})$ of each soil layer in *A. splendens* sample plots was significantly higher than that of the other three sample plots. The mass fraction of the soil $w(\text{total N, K and P})$ showed different layered features. The mass fraction of the soil $w(\text{total N})$ had stratification. The mass fraction of the soil $w(\text{total N})$ from the surface soil (0–10 cm) and the second soil (10–20 cm) of *A. splendens* and *S. purpurea* sample plots was high, while that from the lower layer (>20 cm) greatly decreased. In contrast, the mass fraction of the soil $w(\text{total N})$ from each layer soil of both *K. humilis* steppe and *K. tibetica* sample plots was higher. The mass fraction of the soil $w(\text{total K})$ between layer soils in all research sample plots had no obviously difference except that the mass fraction of the soil $w(\text{total K})$ from the surface layer was significantly higher than those of the other three layers in *S. purpurea* sample plots. The mass fraction of the soil $w(\text{total P})$ between layer soils in all research sample plots had no obvious difference with the decrease of soil depth. The mass fraction of the soil $w(\text{organic matter})$ had the significant and extremely significant correlations with those of the soil $w(\text{total nutrient})$ and $w(\text{available nutrient})$, respectively. With the deepening of soil layers, the mass fraction of the soil $w(\text{organic matter})$ decreased, while that of the soil pH and bulk density increased. The feature of the soil $w(\text{total nutrient})$ had also marked differences due to different vegetation types in the same region. It was thought that both human disturbance and natural factors could affect the soil nutrient status.

Key words: soil nutrient; vegetation type; grassland; Qinghai Lake

土壤为植物生长提供必要的物质基础, 植被生长也影响着土壤的形成和发育^[1-2]. 植被类型影响着土壤养分的循环, 研究土壤养分变化, 对于了解各群落土壤肥力和营养元素循环机制具有重要意义^[3-5]. 长期以来, 青海湖区在人类无序活动的剧烈影响下, 草原生态系统服务衰退、生物多样性降低、草地大面积退化^[6]、湿地退缩、关键种群丧失, 造成防风固沙和水土保持等生态屏障功能下降. 近年来, 青海湖区周围草原沙化日益严重、沙化速度逐渐加快^[7-9]、草地植被覆盖率明显下降、第一生产力降低^[6]等问题备受关注. 以往对青海湖地区的研究主要集中于群落生物量变化、生物多样性等方面, 关于不同植被被覆下土壤养分的异质性变化研究甚少^[9-11]. 本研究以青海湖区北部草原、河滩湿地为研究对象, 探讨不同植被类型被覆下样地的土壤容重、pH及土壤养分等分异变化, 明晰不同植被类型被覆下土壤养分的分异特征, 旨在为正确认识和合理利用草地提供理论依据.

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

青海湖流域位于青藏高原东北部, 地理位置为 36°15′~38°20′N, 97°50′~101°20′E, 平均海拔 3~4 km, 处于青藏高原季风区、东亚季风区和西风带的交汇带, 属半干旱温带大陆性气候^[6], 样地所在地刚察县多年平均气温 -0.5 °C, 极端最高温 25 °C, 极端最低温 -31 °C, ≥ 0 °C 的年积温 1 299 °C,

多年平均降水量 370.3 mm, 年蒸发量 607.4 mm, 平均风力 >8 级^[12], 土壤类型为栗钙土. 本研究选择青海湖北坡刚察县 4 个样地, 样地不同优势种成为不同的植被类型, 分别为小嵩草草甸样地、藏嵩草沼泽草甸样地、芨芨草样地和紫花针茅样地. 样地具体情况见表 1.

1.2 样品处理

选取 4 种植被类型草地(表 1), 样地面积均为 100 m × 100 m, 在 4 个样地内选择地势起伏较小、微地形差异小的地方取样, 采用土钻法获取土样. 利用直径为 7 cm 的土钻, 分层取样, 每个取样点取 9 个重复合为 1 个样品, 每 10 cm 为 1 层, 40~60 cm 土层作为 1 层, 小嵩草草甸样地因 40~60 cm 土层主要以母质为主, 研究意义不大, 未取样, 每个样地 5 个重复, 取样间隔 50 m. 土壤样品带回实验室摊开阴干后, 摊于聚氯乙烯板上, 剪净样品表面植物, 用橡胶辊进行粗碾, 剔除大的石块、杂物, 过 2 mm 筛后, 弃去上层根系. 将样品混匀, 用四分法, 取一半置于塑料袋中. 剩余土壤继续碾碎, 过 1 mm 筛, 弃去上层根系, 混匀, 用多点取样法, 取出约 1/3 样品全部碾碎过 0.25 mm 筛, 置于塑料袋中.

1.3 样品测定

采用半微量凯氏法测定土壤 $w(\text{全氮})$, 采用康维皿法测定土壤 $w(\text{速效氮})$, 采用硫酸-高氯酸消煮法测定土壤 $w(\text{全磷})$, 采用钼锑抗比色法测定土壤 $w(\text{速效磷})$, 采用火焰光度法测定土壤 $w(\text{全钾})$, 采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定土壤 $w(\text{速效})$

表1 样地基本情况
Table 1 Basic information of plots

地点	地理位置	h/m	草地类型	草地状况
刚察县三角城北山加洋沟山顶	37°22.841' N, 100°14.463' E	3 462	小嵩草草甸样地	主要植物种类有早熟禾(<i>Poa annua</i>)、针茅(<i>Stipa capillata</i>)、麻花苳(<i>Gentiana straminea</i>)、雪白委陵菜(<i>Potentilla nivea</i>)、二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)、小嵩草(<i>Kobresia humilis</i>)等, 植被盖度90%; 禾本科植物高120 cm, 生殖枝65 cm; 草皮层厚17 cm, 黑斑25%, 未见裂缝与剥蚀
刚察县三角城北山加洋沟山顶	37°22.817' N, 100°14.531' E	3 439	藏嵩草沼泽草甸样地	位于山下低洼处, 藏嵩草沼泽. 植物种类有金露梅(<i>Potentilla fruticosa</i>)、蒲公英(<i>Taraxacum mongolicum</i>)、早熟禾、鹅绒委陵菜(<i>Potentilla anserina</i>)、麻花苳等, 植被盖度90%, 草高8~10 cm. 冬春草场
刚察县娜仁火车站	37°14.894' N, 100°16.241' E	3 213	芨芨草样地	芨芨草分布均匀, 丛径多为15~20 cm, 盖度70%, 丛间植被主要为早熟禾、蒲公英、海乳草(<i>Glax maritima</i>)、短穗兔耳草(<i>Lagotis brachystachya</i>)、披针叶黄华(<i>Thermopsis lanceolata</i>)等, 相对其他样地, 下繁草早熟禾盖度大大降低, 不足7%
刚察县三角城羊场果洛藏村	37°16.810' N, 100°19.830' E	3 280	紫花针茅样地	芨芨草原生草地, 芨芨草盖度3%~5%, 退化为40~45 cm直径的丛斑, 高约70 cm. 植物种类有紫花针茅(<i>Stipa purpurea</i>)、披针叶黄华、线叶嵩草(<i>Kobresia capillifolia</i>)、异叶青兰(<i>Dracocephalum heterophyllum</i>)、棱子芹(<i>Pleurospermum camtschaticum</i>)、蒲公英、狼毒(<i>Stellera chamaejasme</i>)、短穗兔耳草等, 盖度45%, 草高7~10 cm. 草地状况好, 鼠类活动极轻

钾), 采用环刀法测定土壤容重, 采用重铬酸钾氧化-外加热法测定土壤 w (有机质), 采用氧化还原电位法测定土壤pH^[13].

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2007整理数据, 并用Sigmaplot 16.0绘图, 通过SPSS 16.0对不同植被覆盖下草地养分质量分数、土壤容重和pH等所有指标进行单因素方差分析, 利用Duncan检验法进行多重比较($P < 0.05$, $P < 0.01$).

2 结果与分析

2.1 不同植被被覆下土壤 w (速效钾)、 w (全钾)

速效钾是植物可以直接吸收利用的重要营养成分, 是代表土壤肥力的一个重要指标. 同一样地不同土层土壤 w (速效钾)变化表现出相同的规律, 即表层土壤最高, 底层土壤最低. 芨芨草样地各土层 w (速效钾)显著高于其他样地. 不同样地各土层之间土壤 w (速效钾)比较显示, 芨芨草样地>紫花针茅样地>藏嵩草沼泽草甸样地>小嵩草草甸样地; 同一样地不同土层相比, 表层 w (速效钾)都显著高于下面层. 藏嵩草沼泽草甸样地和小嵩草草甸样地与芨芨草样地和紫花针茅样地相比较, w (速效钾)增加较慢, 这可能与样地海拔高度具有相关性, 即海拔越高 w (速效钾)增加越慢; 芨芨草样地各层 w (速效钾)都较高, 可能是芨芨草对风沙具有滞留作用而促进各层 w (速效钾)提高(图1a).

青藏高原土壤中的 w (全钾)相对较高, 并且下

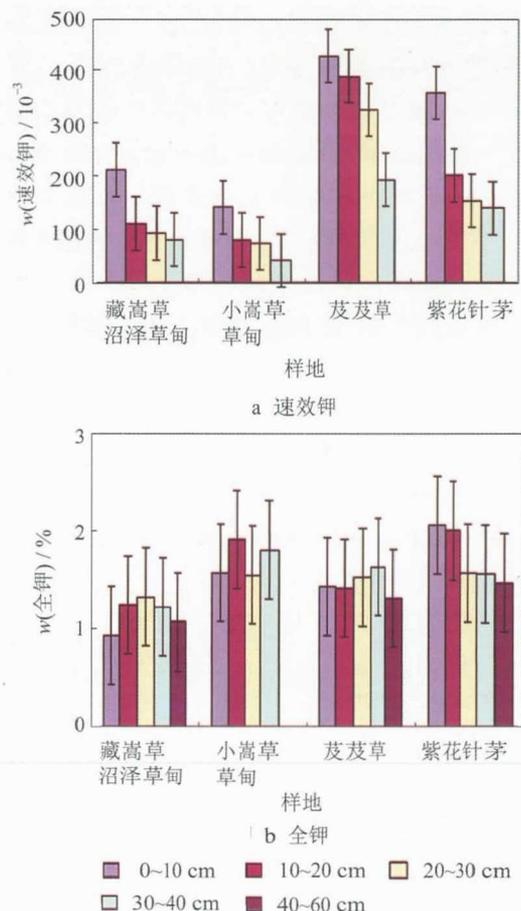


图1 不同植被被覆下土壤 w (速效钾)、 w (全钾)
Fig. 1 Soil available K content and total K content in different vegetation types

层土壤中相对稳定^[14]. 青海湖区各样地土壤 w (全钾)表现出不同规律, 各土层间 w (全钾)差异不显著(图1b); 紫花针茅样地表层土壤 w (全钾)显著高

于下面3层, 1、2层 $w(\text{全钾})$ 差异不显著; 其他3个样地各土层间 $w(\text{全钾})$ 相近, 差异不显著. 不同样地不同土层之间的 $w(\text{全钾})$ 变化也不显著. 全钾在土壤中的分布相对均匀, 不同植被被覆对土壤 $w(\text{全钾})$ 影响不大. 土壤 $w(\text{速效钾})$ 与 $w(\text{全钾})$ 之间相关性不显著.

2.2 不同植被被覆下土壤 $w(\text{速效磷})$ 、 $w(\text{全磷})$

同一样地 $w(\text{速效磷})$ 表现出分层分布的特点(图2a), 表层最高, 第2层(10~20 cm)到底层(40~60 cm)相近; 紫花针茅样地各层 $w(\text{速效磷})$ 均较低, 表层与底层间差异较小(表层为底层的3倍), 而其他3个样地表层和底层差别大(表层为底层的4~8倍). 不同样地同一土层间相比, 紫花针茅样地 $w(\text{速效磷})$ 明显低于其他3个样地, 表层仅为其他3个样地的36.8%~42.3%, 其他3个样地表层差异不显著. 各层土壤 $w(\text{速效磷})$ 均表现为藏嵩草沼泽草甸样地显著高于其他样地.

$w(\text{全磷})$ 变化与 $w(\text{速效磷})$ 不同, 同一样地各层间相近, 差异不显著(图2b). 不同样地同一土层相比, 紫花针茅样地上面3层(0~10、10~20、20~30 cm) $w(\text{全磷})$ 明显低于其他3个样地, 两者间有

显著差异, 而4个样地的底部2层不存在差异. 对4个样地的相关性分析表明, $w(\text{全磷})$ 与 $w(\text{速效磷})$ 之间呈极显著相关关系.

2.3 不同植被被覆下土壤 $w(\text{速效氮})$ 、 $w(\text{全氮})$

4个样地土壤 $w(\text{速效氮})$ 随土层加深均呈现直线下降趋势(图3a). 同一样地不同土层之间相比, 上层显著高于下层, 表层约为底层的2倍. 不同样地同一土层之间相比, 紫花针茅样地表层与小嵩草草甸样地、藏嵩草沼泽草甸样地之间差异显著, 而芨芨草样地与紫花针茅样地各层差异不显著. 4个样地间 $w(\text{速效氮})$ 大小变化为藏嵩草沼泽草甸样地>小嵩草草甸样地>紫花针茅样地>芨芨草样地, 但4个样地底层土壤 $w(\text{速效氮})$ 变化不大.

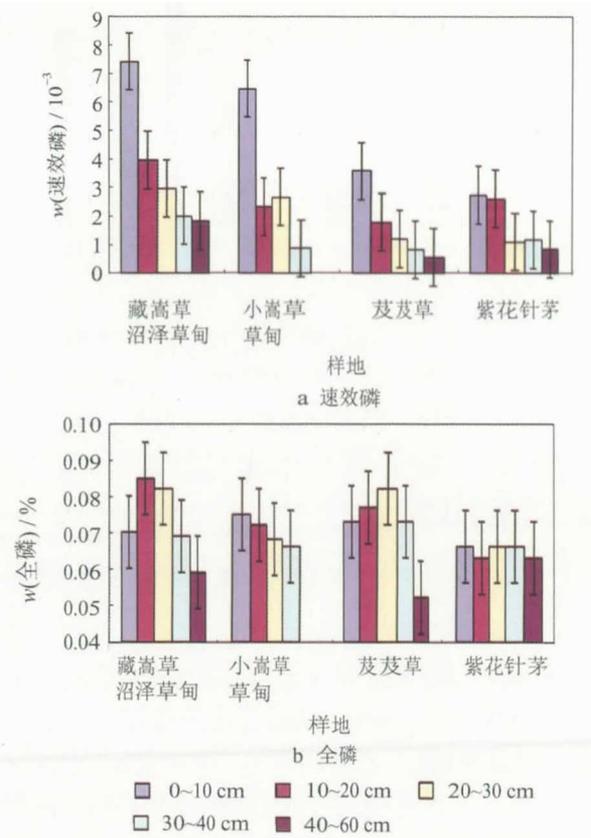


图2 不同植被被覆下土壤 $w(\text{速效磷})$ 、 $w(\text{全磷})$
Fig. 2 Soil available P content and total P content in different vegetation types

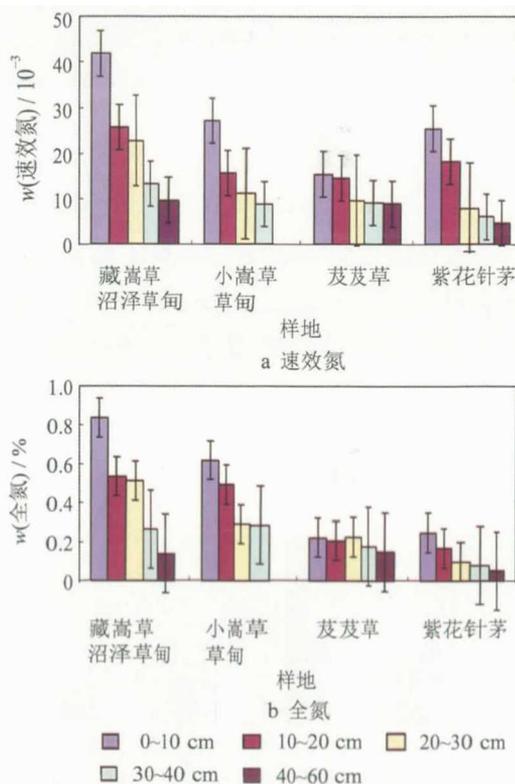


图3 不同植被被覆下土壤 $w(\text{速效氮})$ 、 $w(\text{全氮})$
Fig. 3 Soil available N content and total N content in different vegetation types

4个样地 $w(\text{全氮})$ 表现不尽相同(图3b), 芨芨草样地与紫花针茅样地表现相近, 表层和第2层较高, 2个样地从表层到底层呈逐渐下降趋势, 彼此间差异不显著. 小嵩草草甸样地与藏嵩草沼泽草甸样地 $w(\text{全氮})$ 相近, 藏嵩草沼泽草甸样地上面3层相近且较高, 但下面2层较低. 小嵩草草甸样地 $w(\text{全氮})$ 的变化趋势与藏嵩草沼泽草甸样地基本相似, 即上面2层相近且较高、底层较低. 就不

同样地同一土层土壤 $w(\text{全氮})$ 而言, 表层显著高于第2层, 小嵩草草甸样地20~30、30~40 cm土层与藏嵩草沼泽草甸样地接近, 它们显著高于芨芨草样地和紫花针茅样地. 4个样地40~60 cm土层的 $w(\text{全氮})$ 差异不显著, 这可能与草原植被的根系主要分布于土壤表层有关. $w(\text{速效氮})$ 和 $w(\text{全氮})$ 间具有极显著相关关系. 速效氮是植物生长所需的重要营养物质, 其质量分数直接影响到植物生长, 因此认为土壤表层 $w(\text{全氮})$ 的提高对植物生长具有重要意义, 可以为植物生长提供大量的速效氮.

2.4 不同植被被覆下土壤 $w(\text{有机质})$

紫花针茅样地的 $w(\text{有机质})$ 均低于其他3个样地, 不同样地同一土层 $w(\text{有机质})$ 呈现为藏嵩草沼泽草甸样地>小嵩草草甸样地>芨芨草样地>紫花针茅样地(图4). 小嵩草草甸样地底部3层与其他3个样地相比 $w(\text{有机质})$ 高, 具有显著差异. 藏嵩草沼泽草甸、芨芨草和紫花针茅3个样地上部2层 $w(\text{有机质})$ 高, 而底部2层低, 这可能与草原植被根系主要分布于土壤表层, 即土壤表层凋落物、根系生长深度与深层土壤输入的差异有关, 故对表层土壤有机质影响较大, 而对深层土壤影响效果不明显. $w(\text{有机质})$ 与 $w(\text{速效氮})$ 、 $w(\text{速效钾})$ 、 $w(\text{速效磷})$ 之间相关性极显著, 而 $w(\text{有机质})$ 与 $w(\text{全氮})$ 、 $w(\text{全钾})$ 、 $w(\text{全磷})$ 呈现显著相关关系.

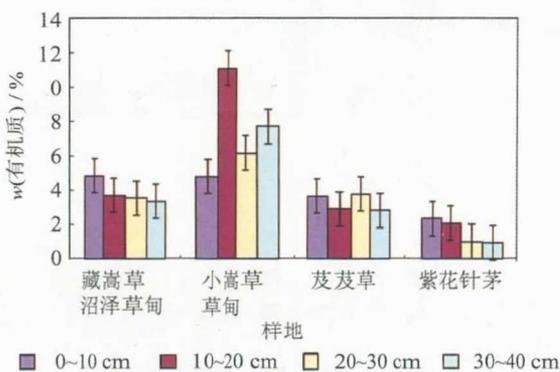


图4 不同植被被覆下土壤 $w(\text{有机质})$

Fig. 4 Soil organic matter content in different vegetation types

2.5 不同植被被覆下土壤pH及容重

土壤酸碱度同特定生物气候条件、土壤母质、地形和成土过程长短有较大的相关关系. 4个样地土壤pH均表现出相同的规律性, 各层土壤间pH相近, 无显著差异(图5), 不同样地同一土层间pH接近, 无显著差异. 土壤容重与土壤质地相关, 4个样地的土壤容重变化见图6, 藏嵩草沼泽

草甸、小嵩草草甸和芨芨草3个样地表层土壤容重均低于紫花针茅样地, 土壤容重降低2%~15%, 4个样地其他土层之间相比差异性不显著. 同一样地不同土层间相比, 土壤容重大致趋势为随土层深度加深而增高, 表层土壤的土壤容重都低于底层. 根系的增加可提高土壤中 $w(\text{有机质})$, 促使土壤容重降低. 相关性分析表明随着土壤中 $w(\text{有机质})$ 增加, 土壤容重降低, 差异性显著.

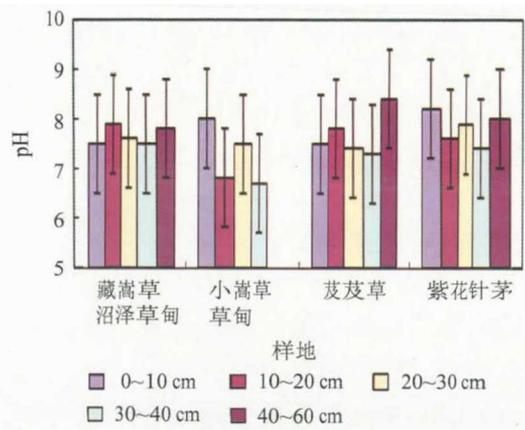


图5 不同植被被覆下土壤pH

Fig. 5 Soil pH in different vegetation types

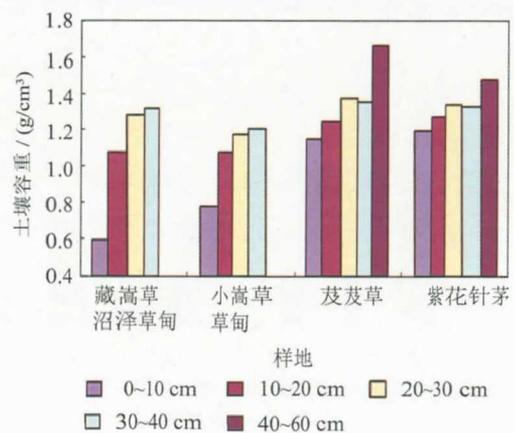


图6 不同植被被覆下土壤容重

Fig. 6 Soil bulk density in different vegetation types

3 讨论和结论

3.1 不同植被被覆生长对速效养分质量分数的影响

青藏高原青海湖流域是生态环境极具脆弱且较敏感的区域, 面临过度放牧、过度开发利用导致草地退化等生态问题. 草地退化和恢复程度不同, 其植被被覆情况、优势种演替、根系活动、土壤水分利用等不尽相同, 造成地表植被生长的大环境与根部微环境的差异. 放牧的外在扰动与植物残骸输入的差异, 逐渐加重了这种分化^[9]. 紫花针茅样地受扰动较大, 由原生优势种芨芨草退化演替

为紫花针茅草地,植被生长状况差,速效养分质量分数均不高,与其他样地研究结果一致^[15-16]。小嵩草草甸样地和藏嵩草沼泽草甸样地各层速效养分质量分数均高且稳定,芨芨草样地植被盖度较高(70%),表层土壤 w (速效钾)高于小嵩草草甸样地和藏嵩草沼泽草甸样地,而 w (速效氮)、 w (速效磷)低于小嵩草草甸样地和藏嵩草沼泽草甸样地,说明不同植被类型和植被盖度的高低,对土壤速效养分保持、恢复具有显著关系。

3.2 不同植被被覆生长对全量养分及有机质质量分数的影响

土壤 w (有机质)的变化能反映草地退化程度^[17]。植物死亡根系的分解和凋落物分解等都影响土壤 w (有机质),凋落物是增加土壤 w (有机质)的重要途径,而土壤中的 w (有机质)往往影响到系统土壤质地和其他全量养分质量分数^[18]。紫花针茅样地 w (有机质)最低,仍表现出退化趋势,与系统生产能力较低、凋落物补充系统较少有关。芨芨草样地各层土壤 w (有机质)与小嵩草草甸样地和藏嵩草沼泽草甸样地相比,因小嵩草草甸样地地下根系表层的草毡层较厚,故地表两层 w (有机质)差异显著而底层差异不显著,所以小嵩草草甸土壤中的有机质得到一定程度的补充和恢复。这与马祥华等^[18-19]对黄土丘陵地区土壤养分的研究不同,黄土丘陵草地撂荒及退耕, w (全钾)、 w (全氮)、 w (全磷)仍呈下降趋势,可能与样地类型及使用方式不同有关。小嵩草草甸样地和藏嵩草沼泽草甸样地表层土壤 w (全氮)、 w (全磷)较高,可能与放牧家畜代谢物归还有关^[20],而芨芨草样地全量养分质量分数略低于小嵩草草甸样地,但差异不显著。土壤养分的持续恢复,可促进草地优势种演替进化。土壤全量养分和有机质质量分数在40 cm以下缓慢降低且呈稳定趋势^[21]。

3.3 植被-土壤养分变化的协同关系

生态学理论认为,生物群落的结构和动态变化受生物和非生物因素影响。在生态循环系统中,植物获取的养分主要来自自动植物体的死亡分解、很少量的大气输入和母质矿物质风化^[22]。土壤养分的状况受植被类型的影响,植被类型的不同对土壤有机质及土壤全量养分的恢复存在明显差异。演替过程植被类型的更替,既可能与土壤养分质量分数导致植物对养分的不同选择利用有关^[23],也与自然环境的扰动和家畜选择性采食有关。

3.4 不同植被被覆生长对草地管理的启示

青藏高原东北部生态安全的维系主要依托于青海湖流域这个重要屏障^[24],但脆弱的高原草原生态系统和持续的外部扰动,使生态系统不断退化,并且土壤多数养分质量分数与 w (有机质)变化呈显著相关关系,所以应适度开发利用草地,而对正在恢复的退化草地应给予足够的时间才能取得较好效果,否则可能半途而废。青海湖流域生态系统脆弱,且草地受自然扰动影响较大,故加强对自然扰动的研究迫在眉睫。

参考文献

- [1] 黄昌勇,徐建明.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [2] Sanborn P. Influence of broad leaf trees on soil chemical properties: a retrospective study in the sub-boreal spruce zone, British Columbia, Canada[J]. Plant & Soil, 2001, 236(1): 75-82.
- [3] Río M D, Pretzsch H, Ruiz P R, et al. Species interactions increase the temporal stability of community productivity in *Pinus sylvestris*-*Fagus sylvatica* mixtures across Europe[J]. Journal of Ecology, 2017, 105(4): 1032-1043.
- [4] 张燕莹,张灵菲,张新中,等.不同草地恢复措施对高寒草甸植物根系特征的影响[J].兰州大学学报:自然科学版,2014,50(1): 107-111.
- [5] Yin Chuan-hua, Shi Qiu-mei, Zhao xing, et al. The role of tamarisk in the spatial heterogeneity of soil resources in the northern Tarim Basin, Xinjiang, China[J]. Plant & Soil, 2017, 420(1): 523-538.
- [6] 李洋,严振英,郭丁,等.围封对青海湖流域高寒草甸植被特征和土壤理化性质的影响[J].草业学报,2015,24(10): 33-39.
- [7] 展秀丽,严平.青海湖不同沙漠化治理区土壤含水量动态变化研究[J].甘肃农业大学学报,2015,50(1): 131-139.
- [8] 王永生.青海湖流域乡域尺度生态补偿研究[D].西宁:青海师范大学生命科学院,2012.
- [9] 李以康,张法伟,林丽,等.不同植被被覆下温性草原土壤养分分异特征[J].生态学杂志,2013,32(7): 1710-1716.
- [10] 周国英,陈桂琛,赵以莲,等.施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究Ⅱ:地上生物量季节动态[J].草业科学,2005,22(1): 59-63.
- [11] 周国英,陈桂琛,韩友吉,等.围栏封育对青海湖地区芨芨草草原群落特征的影响[J].中国草地学报,2007,29(1): 19-23.

(下转第493页)

- 学学院, 2013.
- [17] 曾永年, 勒文凭, 何丽丽, 等. 青海高原东部农业区土地利用遥感分类制图[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 225-231.
- [18] 贾伟. 面向对象的复杂地形区土地利用信息提取研究: 以湟水流域为例[D]. 西宁: 青海师范大学生命与地理科学学院, 2015.
- [19] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态分析[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [20] 安琼, 杨邦杰, 郭琳. 面向对象的多光谱图像特征遗传选优方法[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 181-185.
- [21] Price J C. An approach for analysis of reflectance spectra[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 64(3): 316-330.
- [22] 高恒振, 万建伟, 朱珍珍, 等. 基于波段子集特征提取的最小二乘支持向量机高光谱图像分类技术[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(5): 1314-1317.
- [23] 崔志杰, 郭鹏, 熊木齐, 等. 基于ASTER遥感影像武都区松散堆积物研究[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2014, 50(5): 739-744.
- [24] 李金山, 高小红. 西宁市城镇用地信息提取方法研究[J]. 测绘科学, 2014, 39(3): 48-51.

(责任编辑: 王春燕)

(上接第485页)

- [12] 周国英, 陈桂琛, 赵以莲, 等. 施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究 I: 群落结构及其物种多样性[J]. 草业学报, 2004, 13(1): 26-31.
- [13] 孙波, 施建平, 杨林章. 陆地生态系统土壤观测规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [14] 李以康, 张法伟, 林丽, 等. 青海湖区紫花针茅草原封育导致的土壤养分时空变化特征[J]. 应用与环境生物学报, 2012, 18(1): 23-29.
- [15] 张静妮, 赖欣, 李刚, 等. 贝加尔针茅草原植物多样性及土壤养分对放牧干扰的响应[J]. 草地学报, 2010, 18(2): 177-182.
- [16] 邹丽娜, 周志宇, 颜淑云, 等. 玛曲高寒草地土壤养分对不同利用方式的响应[J]. 中国草地学报, 2009, 31(6): 80-87.
- [17] 陈涛, 杨武年, 徐瑶. 那曲地区不同退化程度的草地土壤养分特征分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(9): 227-230.
- [18] 马祥华, 焦菊英. 黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植被特征及其与土壤环境的关系[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(2): 15-22.
- [19] 杜峰, 梁宗锁, 徐学选, 等. 陕北黄土丘陵区撂荒草地群落生物量及植被土壤养分效应[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1673-1683.
- [20] Devoto M, Medan D. Effects of grazing disturbance on the reproduction of a perennial herb, *Cypella herbertii* (Lindl.) Herb. (Iridaceae)[J]. Plant Systematics and Evolution, 2004, 243: 165-173.
- [21] 罗亚勇, 张宇, 张静辉, 等. 不同退化阶段高寒草甸土壤化学计量特征[J]. 生态学杂志, 2012, 31(2): 254-260.
- [22] Whitehead D C. Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships[M]. New York: CABI Publishing, 2001.
- [23] Baer S G, Blair J M, Collins S L, et al. Plant community responses to resource availability and heterogeneity during restoration[J]. Oecologia, 2004, 139: 617-629.
- [24] 李小雁, 许何也, 马育军, 等. 青海湖流域土地利用/覆被变化研究[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 285-296.

(责任编辑: 王春燕)