

# 高寒草地土壤理化性质特征及质量评价

杨冲<sup>1,2</sup>, 王文颖<sup>2</sup>, 刘攀<sup>1</sup>, 周华坤<sup>3</sup>, 毛旭锋<sup>1</sup>

(1. 青海师范大学地理科学学院, 青海 西宁 810008; 2. 青海师范大学生命科学学院, 青海 西宁 810008;  
3. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008)

**摘要:**以黄河源区4类高寒草地为研究对象,测定了0~20 cm 土层土壤理化性质,并运用主成分分析法对土壤质量进行评价,结果表明:1)土壤容重和pH值表现均为高寒草原>人工草地>高寒草甸>沼泽草甸;土壤含水量、有机碳、全碳、氮氮、全氮含量均表现为沼泽草甸>高寒草甸>人工草地>高寒草原;土壤硝氮含量表现为人工草地>沼泽草甸>高寒草原>高寒草甸;土壤速效磷和全磷含量均表现为沼泽草甸>高寒草甸>人工草地>高寒草原;土壤速效钾和全钾含量均表现为人工草地>高寒草原>高寒草甸>沼泽草甸;2)土壤有机碳含量与全碳、氮氮、全氮、速效磷、全磷含量之间呈极显著正相关关系( $P<0.01$ ),土壤全碳含量与氮氮、全氮、速效磷、全磷含量之间呈极显著正相关关系( $P<0.01$ ),土壤碳氮磷元素呈强相关关系,三者之间高度耦合;3)在0~10、10~20以及0~20 cm 土层,土壤质量高低排序均为沼泽草甸>高寒草甸>人工草地>高寒草原,各草地0~10 cm 土层土壤质量均高于10~20和0~20 cm 土层,0~20 cm 土层土壤质量高于10~20 cm 土层。

**关键词:**黄河源区;高寒草地;土壤理化性质;土壤质量;主成分分析

**中图分类号:**S812;S158 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)01-0001-12

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cycp.2022.01.001



土壤作为一种重要的自然资源,是植物生长、发育的物质基础,能够控制和调节植物生长的生态过程,是陆地生态系统的重要组成部分,也是人类赖以生存的物质基础,其质量状况直接关系到人类的健康和社会经济的可持续性发展<sup>[1-4]</sup>。土壤质量是土壤的固有属性,指一种特定类型的土壤在自然或有管理的生态系统边界内发挥作用的能力,是土壤维持生态系统生物生产力、保护环境质量和促进动植物健康能力的综合衡量指标,能反映自然因素和人类活动对土壤的影

响<sup>[5-8]</sup>。土壤的形成、分布、人为干扰以及其所处的综合自然环境等因素均能导致土壤质量的时空分异格局<sup>[9-10]</sup>。目前,土壤质量评价的相关研究已经取得了丰硕成果,但仍没有一个普适的、统一的评价标准<sup>[11]</sup>,不同的研究区域、不同的评价目的和对土壤不同功能的侧重决定了评价指标的差异,不同的评价方法也会对土壤质量评价结果产生显著影响<sup>[12]</sup>。常用的土壤质量评价方法包括土壤质量卡片及监测系统<sup>[13]</sup>、土壤质量指数法<sup>[14]</sup>、主成分分析法<sup>[15]</sup>、模糊关联法<sup>[16]</sup>、动态土壤质量模型<sup>[17]</sup>、管理评估法<sup>[18]</sup>等。土壤质量受多个因素影响,且各个因素之间存在一定的相关性,致使反映土壤质量状况的若干指标之间存在信息重叠<sup>[19]</sup>。主成分分析就是把多个指标化为少数几个综合指标的一种统计分析方法,将多个影响土壤质量的因素进行降维分析,提取主成分,弱化变量之间的自相关引起的误差,被广泛应用在土壤质量的评价研究中<sup>[20]</sup>。

黄河源区是青藏高原的重要组成部分,是黄河上游主要的产流区、水源涵养区和水源补给区,提供了约三分之一的黄河干流水量<sup>[21-22]</sup>,是我国重要的生态安

**收稿日期:**2021-10-09; **修回日期:**2021-10-24

**基金项目:**国家自然科学基金(41761107);青海省2021年度第一批中央引导地方科技发展专项资金(2021ZY002)

**作者简介:**杨冲(1983-),男,河南邓州人,博士研究生,主要从事青藏高原生态环境保护研究。

E-mail: vvvonion@163.com

王文颖为通信作者。

E-mail: wangwy0106@163.com

全屏障。黄河源区植被主要以草地为主,高寒草原、高寒草甸和沼泽草甸是黄河源区 3 种主要的天然草地类型,占该区可利用草地面积的 80% 以上<sup>[23]</sup>,人工草地作为黄河源区草地恢复的一项重要措施,有助于提高植被生产力、改善土壤理化性质,提高土壤质量,同时对畜牧业的发展和草地生态的恢复有重要作用,已成为研究高寒草地生态问题的重要组成部分<sup>[24-25]</sup>。为了保护黄河源区的生态环境以及草地资源,需要了解黄河源区主要草地生态系统的土壤理化性质特征并评价其土壤质量的状况,进而才能制定科学合理的高寒草地利用、保护、恢复措施。本试验以黄河源区不同类型高寒草地为研究对象,在总结和参考前人研究的基础上,选择 12 个土壤指标(土壤含水量、pH、容重、有机碳、全碳、氨氮、硝氮、全氮、速效磷、全磷、速效钾、全钾)对土壤理化性质特征进行研究,运用主成分分析方法对土壤质量进行评价,以期能够客观、全面地反映该区土壤状况的真实面貌,为黄河源区高寒草地的合理利用、人工草地的建植与改良以及畜牧业的可持续发展提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区域概况

研究地点位于青海省果洛藏族自治州(图 1),地处黄河源区,地理坐标 E 97°54′~101°50′,N 32°31′~35°40′,境内平均海拔 4 200 m,是“中华水塔”的重要组成部分。一年只有冷暖两季,没有四季之分,冷季持续时间长达 7~8 个月,全年无绝对无霜期,年平均气温 -4℃~2℃,年降水量 235.0~974.6 mm,属高寒半湿润和半干旱气候区。境内植被类型主要以高寒

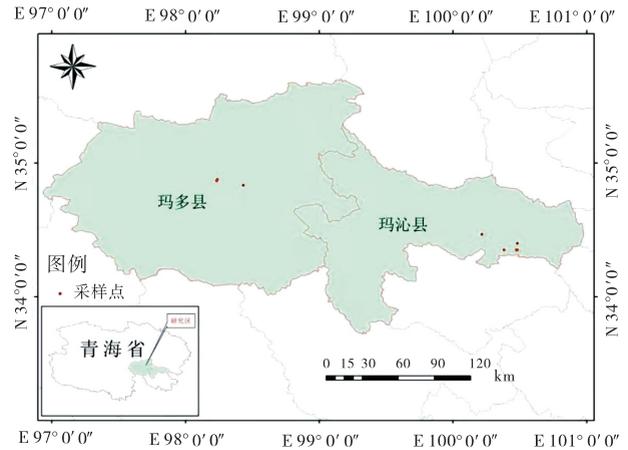


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

草原、高寒草甸、高寒灌丛和藏嵩草沼泽草甸为主,局部地区有少量林地、耕地和人工草地分布,畜牧业为当地主要生产方式,放牧家畜主要为藏绵羊和牦牛。

### 1.2 样地设置

本研究中,共设置高寒草原(G1)、高寒草甸(G2)、沼泽草甸(G3)、人工草地(G4)等 4 种不同类型的高寒草地(表 1)。其中人工草地是高寒草甸极度退化后,人工翻耕种植垂穗披碱草的草地。播种时用磷酸二胺和羊板粪作基肥,磷酸二胺施用量 150~300 kg/hm<sup>2</sup>,后期无施肥措施。人工草地建植后第 1 年到第 2 年的返青期绝对禁牧,之后作为冬季牧场。每个草地类型包括 3 个 10 m×10 m 的重复样地,重复样地彼此间尽可能使它们有相近的地形、植被和土壤类型(样地之间空间距离 1~3 km,避免假重复),共计 12 个样地。G1 草地在禁牧区(禁牧年限为 7 年),无放牧。G2、G3、G4 草地为冬季牧场。G1 草地在玛多县,G2、G3、G4 草地在玛沁县。

表 1 样地信息

Table 1 Details of sampling locations

编号	草地名称	海拔/m	东经	北纬	群落高度/cm	群落盖度/%	优势种
G1	高寒草原	4 227	98°14′	34°52′	8.5	67	紫花针茅( <i>Stipa purpurea</i> )、垂穗披碱草( <i>Elymus nutans</i> )
G2	高寒草甸	3 946	100°23′	34°21′	9.6	94	矮嵩草( <i>Kobresia humiblis</i> )
G3	沼泽草甸	3 730	100°13′	34°28′	25.2	93	藏嵩草( <i>K. tibetica</i> )、华扁穗草( <i>Blysmus sinocompressus</i> )
G4	人工草地(5 龄)	3 953	100°29′	34°21′	25.4	91	垂穗披碱草、洽草( <i>K. litvinowii</i> )

### 1.3 样品采集与处理

2017 年 8 月中旬,在每个类型样地采用随机步程法设置 3 个样方,对每个样方用全球定位系统(GPS)

进行定位,在样方上用土钻采集土壤样品,测定深度为 20 cm,每 10 cm 为 1 层,重复 3 次,将 3 次重复分层混和为一个混合样,然后将土样分层分别用自封袋封装

带回实验室,用孔径 2 mm 土筛剔除植物根系和石砾等杂物,将筛分出来的土样风干后过 1 mm 和 0.15 mm 土筛进一步分样,然后进行土壤理化性质测定。另在该样方做土壤剖面,用铝土盒和容积 100 cm<sup>3</sup> 环刀在每层中间取样,每个样方 3 个重复,做好标记用自封袋封装带回实验室,分别用于测定土壤含水量和容重。

#### 1.4 分析方法

土壤含水量和容重用烘干法测定,土壤 pH 用酸度计法测定,土壤全氮、全碳、有机碳(酸熏处理)通过 Elementar Vario EL III 元素分析仪测定,土壤氨氮、硝氮、速效磷、全磷通过 CleverChem Anna 全自动间断化学分析仪测定,土壤速效钾、全钾通过岛津 A6300 原子吸收仪测定。

#### 1.5 数据处理及评价方法

数据记录用 Excel 2007 完成,作图用 ArcGIS 完成,数据统计分析及评价用 SPSS 21 完成,用平均值和标准差表示测定结果,用方差分析(ANOVA, LSD)、独立样本 *T* 检验来比较不同处理间差异显著性。主成分分析方法<sup>[26]</sup>: (1) KMO 和 Bartlett 球形度检验,判定选取指标是否可以主成分分析。(2) 用标准化法消除不同指标间由于量纲不同而造成的数量级上的差异。(3) 提取特征值大于 1, 累计方差贡献率大于 90% 的主成分。(4) 主成分特征向量与相应指标的乘积求和,求得主成分方程。(5) 将标准化后的值代入各主成分方程得到各主成分得分,主成分得分与相应的主成分贡献率的乘积求和为综合得分。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同类型高寒草地土壤理化性质特征的变化

2.1.1 土壤容重、pH 和含水量变化 在 0~10 cm 土层,不同草地类型土壤容重为 0.78~1.35 g/cm<sup>3</sup>,具体表现为 G1>G4>G2>G3, G2 草地与其他草地

之间差异显著( $P<0.05$ ), G3 草地与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ ); 土壤 pH 值在各草地为 5.6~7.8, 具体表现为 G1>G4>G2>G3, 各草地之间均差异显著( $P<0.05$ ); 土壤含水量在各草地的变化为 7.6%~87.6%, 具体表现为 G3>G2>G4>G1, 各草地之间均差异显著( $P<0.05$ )。

在 10~20 cm 土层,不同草地类型土壤容重 0.93~1.57 g/cm<sup>3</sup>, 具体表现为 G1>G2>G4>G3, G1 草地与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ ), G3 草地与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ ); 土壤 pH 值在各草地为 5.8~7.9, 具体表现为 G1>G4>G2>G3, G1 草地与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ ), G4 草地与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ ); 土壤含水量在各草地为 9.6%~77.7%, 具体表现为 G3>G2>G4>G1, G2 草地与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ ), G3 草地与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ )。

在 0~20 cm 土层,土壤容重在各草地为 0.86~1.46 g/cm<sup>3</sup>, 具体表现为 G1>G4>G2>G3, G1 草地与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ ), G3 草地与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ ); 土壤 pH 值在各草地为 5.7~7.85, 具体表现为 G1>G4>G2>G3, 各草地之间均差异显著( $P<0.05$ ); 土壤含水量在各草地为 8.6%~82.65%, 具体表现为 G3>G2>G4>G1, 各草地之间均差异显著( $P<0.05$ )。

在同一草地的不同土壤深度,土壤容重随土壤深度的增加呈增大趋势,其中在 G1、G2 草地,10~20 cm 土层的土壤容重显著高于 0~10 cm 土层( $P<0.05$ ); 土壤 pH 值随土壤深度的增加呈增大趋势,但在各草地不同土壤深度均差异不显著; 土壤含水量在 G1 草地随土壤深度的增加呈增大趋势,在其他草地随土壤深度的增加呈减小趋势,其中在 G2 草地 0~10 cm 土层的土壤含水量显著高于 10~20 cm 土层( $P<0.05$ ),其他草地差异不显著(图 2)。

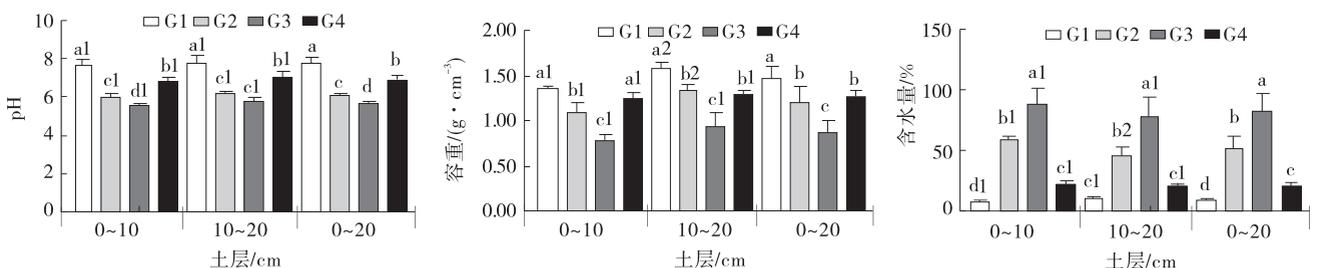


图 2 土壤容重、pH 和含水量

Fig. 2 Soil bulk density, pH and water content in soil

2.1.2 土壤有机碳、全碳含量变化 在0~10 cm 土层,土壤有机碳含量在各草地为 12.06~161.53 g/kg,在10~20 cm 土层,土壤有机碳含量在各草地为 8~131.76 g/kg,在0~20 cm 土层,土壤有机碳含量在各草地为 10.03~146.65 g/kg,具体表现均为 G3>G2>G4>G1,其中 G1 与 G4 草地之间差异

不显著,G2 与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ ), G3 与其他草地之间差异显著( $P<0.05$ )。在同一草地的不同土壤深度,土壤有机碳和全碳含量随着土壤深度的增加有减少的趋势,各草地0~10 cm 土层和10~20 cm 土层的土壤有机碳、全碳含量均差异不显著(图3)。

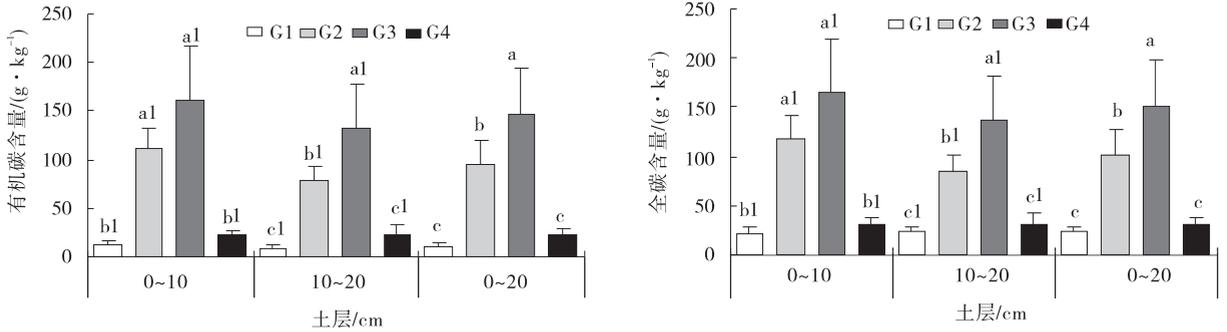


图3 土壤有机碳、全碳含量

Fig. 3 Contents of organic carbon and total carbon in soil

2.1.3 土壤氨氮、硝氮和全氮含量变化 在0~10 cm 土层,土壤氨氮含量在各草地为 5.32~50.10 mg/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,G1 草地与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ ),G4 草地与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ );土壤硝氮含量在各草地为 5.31~15.71 mg/kg,具体表现为 G4>G3>G1>G2,G2 与 G3 草地之间差异显著( $P<0.05$ ),G4 与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ );土壤全氮含量在各草地为 1.38~11.51 g/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,G1 与 G2 草地之间差异显著( $P<0.05$ );G3 与其他草地之间均差异显著( $P<0.05$ )(图4)。

氮含量在各草地为 3.42~13.22 mg/kg,具体表现为 G4>G3>G1>G2,G2 与 G3 间差异显著( $P<0.05$ ), G4 与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ );土壤全氮含量在各草地为 1.33~8.58 g/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,G1 与 G2 草地之间差异显著( $P<0.05$ );G3 与其他草地之间均差异显著( $P<0.05$ )(图4)。

在10~20 cm 土层,土壤氨氮含量在各草地为 3.33~41.55 mg/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,G1 草地与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ ),G4 草地与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ );土壤硝氮含量在各草地为 4.37~14.47 mg/kg,具体表现为 G4>G3>G1>G2,G2 与 G3 草地之间差异显著( $P<0.05$ ),G4 与其他草地之间均差异显著( $P<0.05$ );土壤全氮含量在各草地为 1.36~10.05 g/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,各草地之间均差异显著( $P<0.05$ )。

在0~20 cm 土层,土壤氨氮含量在各草地为 4.33~45.74 mg/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,G1 草地与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ ),G4 草地与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ );土壤硝氮含量在各草地为 4.37~14.47 mg/kg,具体表现为 G4>G3>G1>G2,G2 与 G3 草地之间差异显著( $P<0.05$ ),G4 与其他草地之间均差异显著( $P<0.05$ );土壤全氮含量在各草地为 1.36~10.05 g/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,各草地之间均差异显著( $P<0.05$ )。

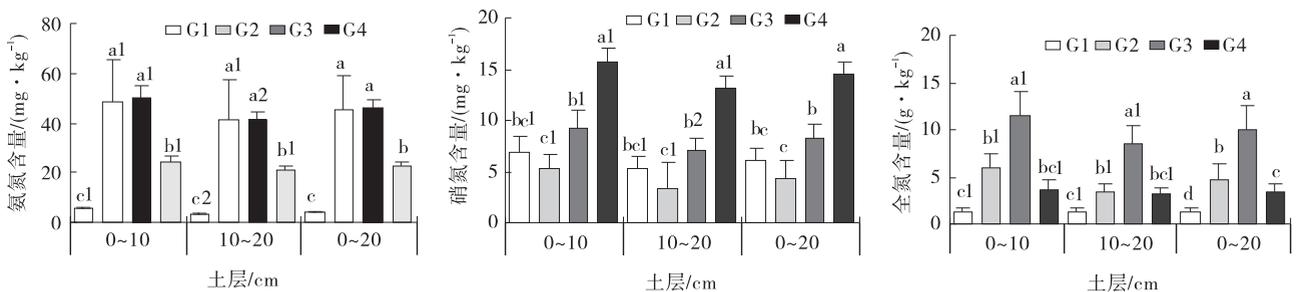


图4 土壤氨氮、硝氮、全氮含量

Fig. 4 Contents of ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and total nitrogen in soil

在同一草地的不同土壤深度,土壤氨氮、硝氮和全氮含量随着土壤深度的增加均有减少的趋势,其中 G1 草地土壤氨氮含量在 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层之间差异显著( $P<0.05$ );G2 草地土壤全氮含量在 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层之间差异显著( $P<0.05$ );G3 草地土壤氨氮和硝氮含量在 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层之间差异显著( $P<0.05$ )。

2.1.4 土壤速效磷、全磷含量变化 在 0~10 cm 土层,土壤速效磷含量在各草地为 4.73~11.25 mg/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,G1、G2 草地与 G3、G4 草地之间差异显著( $P<0.05$ );土壤全磷含量在各草地为 0.43~1.72 g/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,各草地之间差异显著( $P<0.05$ )(图 5)。

在 10~20 cm 土层,土壤速效磷含量在各草地为 2.41~6.79 mg/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,G3 与 G4 草地之间差异显著( $P<0.05$ ),G1 与其他草

地之间差异均显著( $P<0.05$ );土壤全磷含量在各草地为 0.45~1.49 g/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,G1、G2 草地分别与 G3、G4 草地之间差异显著( $P<0.05$ )(图 5)。

在 0~20 cm 土层,土壤速效磷含量在各草地为 3.57~9.02 mg/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,G1 与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ ),G4 与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ );土壤全磷含量在各草地的变化为 0.44~1.61 g/kg,具体表现为 G3>G2>G4>G1,各草地之间差异显著( $P<0.05$ )。

在同一草地的不同土壤深度,土壤速效磷和全磷含量随着土壤深度的增加均有减少的趋势,其中 G1、G2、G3 草地土壤速效磷含量在 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层之间差异显著( $P<0.05$ );各草地土壤全磷含量在 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层之间差异不显著(图 5)。

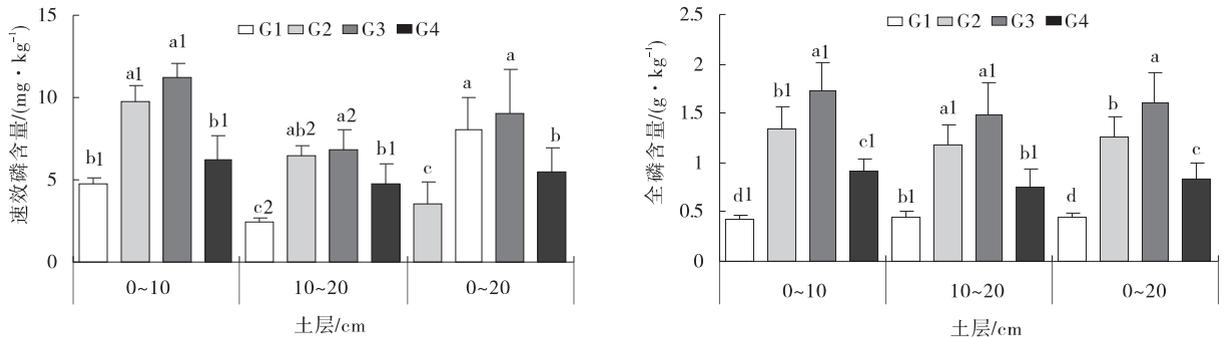


图 5 土壤速效磷、全磷含量

Fig. 5 Contents of available phosphorus and total phosphorus in soil

2.1.5 土壤速效钾、全钾含量 在 0~10 cm 土层,土壤速效钾含量在各草地的变化为 101.15~216.32 mg/kg,具体表现为 G4>G2>G1>G3,其中 G3 与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ );土壤全钾含量在各草地的变化为 8.23~17.25 g/kg,具体表现为 G4>G1>G2>G3,G2 与 G4 间差异显著( $P<0.05$ ),G3 与其他草地间均差异显著( $P<0.05$ )(图 6)。

在 10~20 cm 土层,土壤速效钾含量在各草地的变化为 82.45~154.96 mg/kg,具体表现为 G4>G1>G2>G3,G3 与 G4 草地之间差异显著( $P<0.05$ );土壤全钾含量在各草地的变化为 7.24~18.76 g/kg,具体表现为 G4>G2>G1>G3,G3 与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ ),G4 与其他草地之间均差异显著

( $P<0.05$ )。

在 0~20 cm 土层,土壤速效钾含量在各草地为 91.8~185.64 mg/kg,土壤全钾含量各草地为 7.74~18.01 g/kg,两者变化趋势相同,具体表现为 G4>G1>G2>G3,G3 与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ ),G4 与其他草地之间差异均显著( $P<0.05$ )。

在同一草地的不同土壤深度,土壤速效钾含量随着土壤深度的增加均有减少的趋势,土壤全钾含量随着土壤深度的增加变化趋势不明显;其中 G1 和 G4 草地土壤速效钾含量在 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层之间差异显著( $P<0.05$ );各草地土壤全钾含量在 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层之间差异均不显著(图 6)。

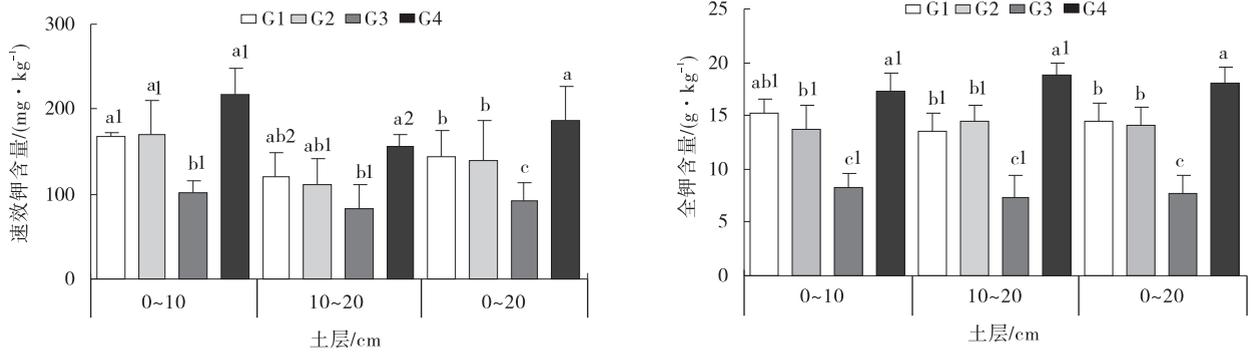


图 6 速效钾、全钾含量

Fig. 6 Contents of available potassium and total potassium in soil

## 2.2 不同高寒草地 0~20 cm 土壤理化成分之间的相关性分析

土壤 pH 值与土壤容重呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ), 与土壤含水量、有机碳、全碳、氮氮、全氮、速效磷、全磷含量之间呈极显著负相关关系 ( $P < 0.01$ ), 与土壤全钾含量之间呈显著正相关关系 ( $P < 0.05$ ); 土壤容重与土壤含水量、有机碳、全碳、氮氮、全氮、速效磷、全磷含量之间呈极显著负相关关系 ( $P < 0.01$ ), 与土壤速效钾含量呈显著正相关关系 ( $P < 0.05$ ), 与土壤全钾含量呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ); 土壤含水量与土壤有机碳、全碳、氮氮、全氮、速效磷、全磷含量之间呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ), 与土壤速效钾含量呈显著负相关关系 ( $P < 0.05$ ), 与土壤全钾含量呈极显著负相关关系 ( $P < 0.01$ ); 土壤有机碳含量与土壤全碳、氮氮、全氮、速效磷、全磷含量之间呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ), 与土壤速效钾含量呈显著

负相关关系 ( $P < 0.05$ ), 与土壤全钾含量呈极显著负相关关系 ( $P < 0.01$ ); 土壤全碳含量与土壤氮氮、全氮、速效磷、全磷含量之间呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ), 与土壤速效钾含量呈显著负相关关系 ( $P < 0.05$ ), 与土壤全钾含量呈极显著负相关关系 ( $P < 0.01$ ); 土壤氮氮含量与土壤全氮、速效磷、全磷含量之间呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ); 土壤硝氮含量与其他土壤理化成分之间相关性均不显著; 土壤全氮含量与土壤速效磷、全磷含量之间呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ), 与土壤速效钾含量呈显著负相关关系 ( $P < 0.05$ ), 与土壤全钾含量呈极显著负相关关系 ( $P < 0.01$ ); 土壤速效磷含量与土壤全磷含量呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ), 土壤速效钾含量与土壤全钾含量呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ); 土壤全磷含量与土壤全钾含量呈显著负相关关系 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

表 2 土壤理化指标之间的相关性

Table 2 Correlation between soil physical and chemical indexes

	pH 值	容重	含水量	有机碳含量	全碳含量	氮氮含量	硝氮含量	全氮含量	速效磷含量	全磷含量	速效钾含量
容重	0.864**										
含水量	-0.948**	-0.908**									
有机碳含量	-0.918**	-0.864**	0.978**								
全碳含量	-0.903**	-0.855**	0.969**	0.999**							
氮氮含量	-0.892**	-0.798**	0.839**	0.856**	0.846**						
硝氮含量	0.102	-0.035	-0.204	-0.285	-0.295	-0.132					
全氮含量	-0.896**	-0.965**	0.945**	0.919**	0.914**	0.795**	-0.005				
速效磷含量	-0.969**	-0.830**	0.923**	0.935**	0.930**	0.933**	-0.146	0.880**			
全磷含量	-0.956**	-0.865**	0.943**	0.961**	0.957**	0.891**	-0.114	0.911**	0.972**		
速效钾含量	0.564	0.591*	-0.667*	-0.633*	-0.635*	-0.362	0.474	-0.675*	-0.518	-0.525	
全钾含量	0.621*	0.743**	-0.785**	-0.760**	-0.760**	-0.441	0.455	-0.775**	-0.568	-0.620*	0.887**

注: \* 表示在 0.05 水平上显著相关; \*\* 表示在 0.01 水平上极显著相关

## 2.3 基于主成分分析的不同高寒草地 0~20 cm 土壤质量综合评价

2.3.1 KMO 和 Bartlett 球形度检验 KMO 检验用于检查变量间的相关性和偏相关性, Bartlett 球形度检验用于检验相关阵中各变量间的相关性。KMO 统计量的取值在 0 和 1 之间, 当所有变量间的简单相关系数平方和远远大于偏相关系数平方和时, KMO 值接近 1, KMO 值越接近于 1, 意味着变量间的相关性越强, 原有变量越适合作因子分析; 当所有变量间的简单相关系数平方和接近 0 时, KMO 值接近 0, KMO 值越

接近于 0, 意味着变量间的相关性越弱, 原有变量越不适合作因子分析。KMO 度量标准: 0.9 以上表示非常适合; 0.8 表示适合; 0.7 表示一般; 0.6 表示不太适合; 0.5 以下表示极不适合。将土壤含水量、pH 值、容重、土壤有机碳、全碳、氨氮、硝氮、全氮、速效磷、全磷、速效钾、全钾含量等 12 个土壤指标经 KMO 和 Bartlett 检验, KMO 值为 0.810, Bartlett 的球形度检验的相伴概率  $P < 0.01$  (极显著水平), 说明本研究选取的土壤质量评价指标间存在较强的相关性, 采用主成分分析法来评价各样地的土壤质量状况是可行的 (表 3)。

表 3 KMO 和 Bartlett 球形度检验  
Table 3 KMO and Bartlett sphericity test

取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量	Bartlett 的球形度检验		
	近似卡方	df	Sig.
0.810	800.528	66	0.000

2.3.2 计算贡献率和主成分提取 对主成分进行提取时, 依据主成分特征值大于 1 的原则。从表 4 结果共提取 2 个主成分, 第 1 主成分对总方差的贡献率为

78.037%, 第 2 主成分对总方差的贡献率为 13.783%, 累积贡献率为 91.820%, 说明这 2 个主成分代表了该试验中原始数据 91.820% 的信息。

表 4 方差分解主成分提取分析

Table 4 Extraction analysis of principal components by variance decomposition

成份	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	总方差贡献率/%	累积贡献率/%	合计	总方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	9.364	78.037	78.037	9.364	78.037	78.037
2	1.654	13.783	91.820	1.654	13.783	91.820
3	0.667	5.559	97.379			
4	0.226	1.887	99.266			
5	0.059	0.493	99.760			
6	0.024	0.202	99.961			
7	0.005	0.038	100.000			
8	7.424E-006	6.187E-005	100.000			
9	7.210E-007	6.008E-006	100.000			
10	9.346E-008	7.788E-007	100.000			
11	1.413E-009	1.177E-008	100.000			
12	1.000E-013	1.002E-013	100.000			

2.3.3 计算综合得分并排序 应用主成分分析法对不同高寒草地土壤质量进行综合评价, 就是利用主成分综合得分的大小来评价土壤质量的高低, 主成分综合得分越大土壤质量越高, 反之则越低。在 0~10、10~20 以及 0~20 cm 土层, 土壤质量高低排序均为  $G3 > G2 > G4 > G1$ ; 各草地 0~10 cm 土层土壤质量均高于 10~20 和 0~20 cm 土层, 0~20 cm 土层土壤质量高于 10~20 cm 土层 (表 5)。

## 3 讨论

本研究中, 4 种不同类型高寒草地的土壤理化性状存在差异。其中, 沼泽草甸的土壤容重最小, 可能的原因是藏嵩草沼泽化草甸土壤环境有明显的高湿和低温特征, 且根系发达, 土壤中存在大量未分解或半分解的有机残体, 使土壤容重变小<sup>[27-28]</sup>。沼泽草甸和高寒草甸的土壤 pH 值比较低, 可能是因为土壤的 pH 值

表 5 不同高寒草地土壤质量综合得分及排序

Table 5 Comprehensive scores and ranking of soil quality for different alpine grasslands

草地	土层/cm	因子 1	因子 2	主成分 1	主成分 2	综合得分	排序
G1	0~10	-1.031 29	-0.385 41	-3.155 75	-0.495 68	-2.368 64	10
	10~20	-1.096 73	-1.529 43	-3.355 99	-1.967	-2.945 03	12
	0~20	-1.063 84	-0.957 28	-3.255 35	-1.231 16	-2.656 42	11
G2	0~10	0.626 47	0.450 01	1.916 998	0.578 758	1.521 024	4
	10~20	0.145 65	-0.847 4	0.445 689	-1.089 84	-0.008 7	6
	0~20	0.386 23	-0.197 94	1.181 864	-0.254 57	0.756 818	5
G3	0~10	1.615 32	0.344 82	4.942 879	0.443 473	3.611 514	1
	10~20	1.098 11	-0.719 3	3.360 217	-0.925 09	2.092 175	3
	0~20	1.355 84	-0.188 34	4.1488 7	-0.242 22	2.849 541	2
G4	0~10	-0.633 35	1.867 09	-1.938 05	2.401 264	-0.654	7
	10~20	-0.724 61	0.818 23	-2.217 31	1.052 326	-1.249 8	9
	0~20	-0.677 8	1.344 94	-2.074 07	1.729 727	-0.948 49	8

与土壤含水量之间存在较强的负相关关系<sup>[29]</sup>,而沼泽草甸和高寒草甸有着较高的土壤含水量。沼泽草甸和高寒草甸两处草地的土壤含水量较高,可能是因为两处样地位于河谷低洼处,降水较多,并且均有河流经过,且两处草地植物根系发达,使得土壤孔隙度增大,土壤毛管持水量上升,保水力增加,另外,两处草地植被茂盛,一定程度上阻止了土壤表层水分的蒸发。沼泽草甸土壤有机碳和全碳含量最高,可能是因为沼泽土水分过多,湿生植物生长旺盛,植物根系十分发达,根系脱落物和分泌物较多,且土壤处于缺氧状态,有机物质分解缓慢,土壤有机碳含量较高<sup>[30]</sup>;高寒草原的土壤有机碳含量较低,一方面可能是因为高寒草原土壤的沙化程度较高,土壤通透性及含氧量相对较高,土壤呼吸作用强烈,导致土壤有机碳有降低的趋势<sup>[31]</sup>,另一方面土壤有机质主要来源于植物地上部分的凋落物及地下的根系,植物每年都有大量有机物质进入土壤,并通过微生物的活动,逐渐变为土壤有机碳,而高寒草原植物有着相对较低的地上和地下生物量。沼泽草甸土壤全氮含量显著高于其他草地,可能是因为土壤全氮的 95% 来源于土壤有机质<sup>[32]</sup>,而沼泽草甸的土壤有机质含量最高。土壤速效磷、全磷含量在各草地均呈现出普遍匮乏状态,这可能是因为黄河源区地势高、温度较低,较低的气温抑制了有机物分解和矿化,造成土壤磷含量较低;沼泽草甸由于水分大,有助于速

效磷的形成,其速效磷含量最高,这与慕军鹏<sup>[33]</sup>在若尔盖的研究结果一致。沼泽草甸土壤速效钾和全钾含量较低,可能是因为钾化合物一般都不挥发,但在水中具有较高的溶解度,它的代换量比磷大,容易从土壤胶体上代换出来<sup>[34]</sup>,而沼泽草甸的土壤水分过多,容易造成钾元素淋失,本研究结果与刘玉萍<sup>[35]</sup>在青海湖区的研究结果一致;此外, $\text{NH}_4^+$ 和 $\text{K}^+$ 具有相似的化学性质、电负性和相近的离子半径,在同时存在这两种离子的环境中, $\text{K}^+$ 和 $\text{NH}_4^+$ 的吸收存在拮抗作用, $\text{NH}_4^+$ 的存在会抑制 $\text{K}^+$ 的释放,常观察到 $\text{NH}_4^+$ 和 $\text{K}^+$ 在晶格中会共同占据某一原子位置并形成相互取代的现象<sup>[36]</sup>,而沼泽草甸的氮含量较高,可能也是沼泽草甸速效钾和全钾含量较低的原因。

本研究中,高寒草地的不同土层之间土壤理化性状存在差异。其中,土壤容重随土壤深度的增加呈增大趋势,这与前人<sup>[37-38]</sup>的研究结果一致,可能的原因是由于植被对土壤的保护作用,使得土壤表层受水力和风力及冻融作用的侵蚀作用较小,且植被的增加相应增加了凋落物的输入,使得土壤表层的有机质和其他植物残体等腐殖质含量比较多,土壤容重较小。同一样地不同土层间 pH 值没有显著差异,可能是由于土壤的缓冲特性使得土壤 pH 在一定的土壤深度上总体上保持稳定<sup>[39]</sup>。高寒草原土壤含水量随土壤深度的增加呈增加趋势,在其他高寒草地随土壤深度的增

加呈降低趋势,可能的原因是土壤含水量不仅与降水关系密切,而且还受蒸发、太阳辐射等因素的制约;在一定的时期内,高寒草原的降水较少,蒸发旺盛,导致土壤上层含水量低于土壤下层;沼泽草甸和高寒草甸两处草地的土壤含水量较高,可能是因为两处样地位于河谷低洼处,降水较多,并且均有河流经过,且两处草地植物根系发达,使得土壤孔隙度增大,土壤毛管持水量上升,保水力增加,另外,两处草地植被茂盛,一定程度上阻止了土壤表层水分的蒸发。土壤氨氮、硝氮、全氮含量在不同土层间的变化趋势一致,均随着土层深度的增加呈减少趋势,原因可能是土壤淋溶过程使氮素在土壤不同深度含量不同,根系和地表凋落物中碳氮比和微生物区系也会使土壤氮分解不同<sup>[40-41]</sup>。土壤速效磷、全磷、速效钾、全钾含量均随着土壤深度的增加呈降低趋势,但速效磷和速效钾含量在各土层之间变化较大,全磷和全钾含量在不同土层之间变化不大,相对比较稳定,可能是因为全磷和全钾含量主要与成土母质关系较大。

相关性分析的结果表明,土壤有机碳含量与土壤全碳、氨氮、全氮、速效磷、全磷含量之间呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ ),土壤全碳含量与土壤氨氮、全氮、速效磷、全磷含量之间呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ ),此结果与已有的研究结果<sup>[42-43]</sup>相一致,土壤碳氮通常高度耦合,另外,土壤中的粘土矿物、碳酸盐和有机质能缓慢固定来自基岩的磷,反过来,较高的土壤磷含量可进一步加强固氮作用和有机质的积累过程<sup>[44]</sup>,最终导致三者之间的强相关关系。

土壤质量状况数值化的综合评价,能较好地反映土壤质量的实际情况。土壤质量的评价体系和方法很难建立统一的标准,研究区域和尺度的不同,侧重的土壤功能不同,决定了选取评价指标和方法的差异。本研究通过主成分分析对不同类型高寒草地土壤质量进行了评价,

选取的 12 个土壤指标经 KMO 和 Bartlett 检验, KMO 值为 0.810, Bartlett 的球形度检验的相伴概率  $P < 0.01$ ,说明本研究选取的土壤质量评价指标间存在较强的相关性,共提取 2 个主成分,这 2 个主成分代表了该试验中原始数据 91.820% 的信息,说明采用主成分分析法来评价各草地的土壤质量状况是准确可行

的。评价结果显示,土壤质量高低依次为沼泽草甸 > 高寒草甸 > 人工草地 > 高寒草原,各草地 0~10 cm 土层土壤质量均高于 10~20 和 0~20 cm 土层,此结果与前人的研究结果<sup>[45-47]</sup>相一致。高寒草原的土壤质量最差,可能是因为高寒草原土壤的土层较薄,一般在 10~25 cm 左右,缺少淀积层,发育程度弱,土壤受水分限制严重并且有沙化趋势,植被稀疏且根系不发达,土壤有机质和其他成分含量较少,导致土壤养分较低,土壤质量差。高寒草甸土壤质量较好,可能是因为相比于高寒草原,高寒草甸土壤 A 层会形成 10~15 cm 的腐殖层,有利于营养物质的形成和转换,提高了土壤质量。沼泽草甸土壤质量最好,可能是因为沼泽草甸植被生产力较高,根系发达,有机物质输入多,会形成一层厚厚的毛毡状腐质化土层,土壤矿化能力较强,土壤养分含量较高。退化高寒草甸建植人工草地土壤质量低于高寒草甸,可能是因为高寒草地生态系统是一个脆弱的生态系统,发生严重退化后,建植人工草地尽管短期内可有效恢复地上植被,但土壤质量的恢复则是一个长期的过程。各草地 0~10 cm 土层土壤质量均高于 10~20 cm 土层,即表层土壤质量最好,这与表层土壤碳氮磷钾总含量和速效养分含量高密切相关,也与植被养分输入多密切相关,另外也说明一旦表层剥蚀,土壤质量将严重下降,因此要预防水土流失以及过载过牧对表层土壤的破坏。

## 4 结论

在 0~20 cm 土层土壤特征方面,土壤含水量、土壤有机碳、全碳、氨氮、全氮、速效磷以及全磷含量高度耦合,具体表现均为沼泽草甸 > 高寒草甸 > 人工草地 > 高寒草原;土壤硝氮含量表现为人工草地 > 沼泽草甸 > 高寒草原 > 高寒草甸;土壤 pH 值与土壤容重呈极显著正相关关系,具体表现均为高寒草原 > 人工草地 > 高寒草甸 > 沼泽草甸;土壤速效钾与全钾含量表现均为人工草地 > 高寒草原 > 高寒草甸 > 沼泽草甸。

基于主成分分析的评价结果显示,在 0~10、10~20 及 0~20 cm 土层,土壤质量高低排序均为沼泽草甸 > 高寒草甸 > 人工草地 > 高寒草原;各草地均为 0~10 cm 土层土壤质量最高。

## 参考文献:

- [1] 王邵军. 植物—土壤相互反馈的关键生态学问题: 格局、过程与机制[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(2): 1—9.
- [2] Karlen D L, Ditzler C A, Andrews S S. Soil quality: why and how? [J]. *Geoderma*, 2003, 114(3—4): 145—156.
- [3] 刘世梁, 傅伯杰, 刘国华, 等. 我国土壤质量及其评价研究的进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 138—142.
- [4] 刘鑫, 王一博, 杨文静. 青藏高原植被退化背景下土壤质量评价方法研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2020, 56(2): 144—152.
- [5] 温仲明, 焦峰, 刘宝元, 等. 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2025—2029.
- [6] 董文斌, 马玉寿, 张德罡, 等. 改良措施对退耕还草高寒草甸人工草地群落组成及生产力的影响[J]. 草原与草坪, 2011, 31(2): 44—48.
- [7] 韩永伟, 韩建国, 王堃, 等. 利用年限对农牧交错带退耕还草地土壤化学性质的影响[J]. 草业科学, 2005, 22(3): 50—53.
- [8] 杨洪钧, 吴克宁, 冯喆, 等. 大空间尺度土壤质量评价研究进展与启示[J]. 土壤学报, 2020, 57(3): 565—578.
- [9] Badiane N, Chotte J L, Pate E, *et al.* Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions[J]. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18(3): 229—238.
- [10] Lagomarsino A, Moscatelli M C, Tizio A D, *et al.* Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment[J]. *Ecological Indicators*, 2009, 9(3): 518—527.
- [11] 周天阳, 高景, 王金牛, 等. 基于群落结构及土壤理化性质对围封7年青藏高原东南缘高山草地的综合评价[J]. 草业学报, 2018, 27(12): 1—11.
- [12] 王华, 黄宇, 汪思龙, 等. 中亚热带区域几种典型生态系统土壤质量评价—不同生态系统对土壤性质的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1100—1106.
- [13] Ditzler C A, Tugel A J. Soil Quality Field Tools: Experiences of USDA—NRCS soil quality institute [J]. *Agronomy Journal*, 2002, 94(1): 33—38.
- [14] Late, Robert L. Defining soil quality for a sustainable environment [J]. *Soil Science*, 1995, 159(1): 77—81.
- [15] 贾希洋, 马红彬, 周瑶, 等. 基于主成分分析对退化高寒草甸不同恢复方式下草地质量的综合评价[J]. 中国草地学报, 2019, 42(2): 76—82.
- [16] Xue Y J, Liu S G, Hu Y M, *et al.* Soil quality assessment using weighted fuzzy association rules [J]. *Pedosphere*, 2010, 20(3): 334—341.
- [17] 王博文, 陈立新. 土壤质量评价方法述评[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 120—126.
- [18] Karlen D L, Tomer M D, Neppel J, *et al.* A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA [J]. *Soil & Tillage Research*, 2008, 99(2): 291—299.
- [19] 陈留美, 桂林国, 吕家珑, 等. 应用主成分分析和聚类分析评价不同施肥处理条件下新垦淡灰钙土土壤肥力质量[J]. 土壤, 2008, 40(6): 971—975.
- [20] 张子龙, 王文全, 缪作清, 等. 主成分分析在三七连作土壤质量综合评价中的应用[J]. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1636—1644.
- [21] 刘霜. 基于条件估值法的甘南黄河水源补给区生态补偿标准的确定[D]. 兰州: 西北师范大学, 2011: 6—12.
- [22] 周春丽, 林丽, 朋措吉, 等. 不同演替状态下高寒高草草甸植物功能群分异特性[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(1): 136—144.
- [23] Zhou H K, Zhao X Q, Tang Y H, *et al.* Alpine Grassland Degradation and its Control in the Source Region of the Yangtze and Yellow Rivers, China [J]. *Grassland Science*, 2005, 51(3): 191—203.
- [24] 文金花, 马玉寿, 施建军, 等. 利用草地早熟禾改建江河源区“黑土型”退化草地的研究[J]. 草原与草坪, 2006(2): 41—44.
- [25] 王长庭, 曹广民, 王启兰, 等. 三江源地区不同建植期人工草地植被特征及其与土壤特征的关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2426—2431.
- [26] 周天阳, 高景, 王金牛, 等. 基于群落结构及土壤理化性质对围封7年青藏高原东南缘高山草地的综合评价[J]. 草业学报, 2018, 27(12): 1—11.
- [27] 李英年, 赵新全, 赵亮, 等. 祁连山海北高寒湿地气候变化及植被演替分析[J]. 冰川冻土, 2003, 25(3): 243—249.
- [28] 王彦龙, 马玉寿, 施建军, 等. 黄河源区高寒草甸不同植被生物量及土壤养分状况研究[J]. 草地学报, 2011, 19(1): 2—5.
- [29] 高海峰, 白军红, 王庆改, 等. 霍林河下游典型洪泛区湿地土壤pH值和土壤含水量分布特征[J]. 水土保持研

- 究, 2011, 18(1): 268—271.
- [30] 常小峰. 三江源区高寒草地土壤有机碳空间分布及影响因素[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012: 37—55.
- [31] 曹裕松, 李志安, 江远清, 等. 陆地生态系统土壤呼吸研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(1): 138—143.
- [32] 何贵永, 孙浩智, 史小明, 等. 青藏高原高寒湿地不同季节土壤理化性质对放牧模式的响应[J]. 草业学报, 2015, 24(4): 12—20.
- [33] 慕军鹏, 付荣华, 谭露. 不同退化演替阶段高寒草甸土壤理化性质对功能群植物地上生物量的影响[J]. 草学, 2018(2): 41—47.
- [34] 董全民, 赵新全, 马玉寿. 放牧强度对高寒混播草地土壤养分含量的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 553—557.
- [35] 刘玉萍, 周勇辉, 苏旭, 等. 青海湖区不同植被类型草原土壤养分分布特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2018, 54(4): 481—485.
- [36] 孙小茗. 钾离子跨细胞膜吸收过程受铵影响的机理探讨[D]. 扬州: 扬州大学, 2006: 27—41.
- [37] 陈敏, 冯勤亮. 典型黑土水物理性质的垂直变化规律研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(13): 6847—6848.
- [38] 伍星, 李辉霞, 傅伯杰, 等. 三江源地区高寒草地不同退化程度土壤特征研究[J]. 中国草地学报, 2013, 35(3): 77—84.
- [39] 郑淑华, 曾宇斌, 张汉萍, 等. 模拟酸雨中离子强度与 pH 值影响土壤缓冲力[J]. 广州化工, 2011, 39(9): 81—82.
- [40] 顾振宽, 杜国祯, 朱炜歆, 等. 青藏高原东部不同草地类型土壤养分的分布规律[J]. 草业科学, 2012, 29(4): 507—512.
- [41] 李亚娟, 曹广民, 龙瑞军. 青海省海北州不同草地利用方式土壤基本理化性状研究[J]. 草地学报, 2012, 20(6): 1039—1043.
- [42] 曹建军, 王雪艳, 李梦天, 等. 青藏高原草地管理方式对土壤养分及其空间分布的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1839—1845.
- [43] 张立勇. 药乡小流域林地土壤有机碳和氮磷空间分布特征[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015: 39—55.
- [44] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京: 农业出版社, 1983: 46—73.
- [45] 杨文静, 王一博, 刘鑫, 等. 基于 BP 神经网络的青藏高原土壤养分评价[J]. 冰川冻土, 2019, 41(1): 215—226.
- [46] 王启兰, 王溪, 曹广民, 等. 青海省海北州典型高寒草甸土壤质量评价[J]. 应用生态学报, 2011, 22(6): 1416—1422.
- [47] 王一博, 王根绪, 张春敏, 等. 高寒植被生态系统变化对土壤物理化学性状的影响[J]. 冰川冻土, 2007, 29(6): 921—927.

## Characteristics of soil physical and chemical properties and evaluation of soil quality of different types of alpine grasslands

YANG Chong<sup>1,2</sup>, WANG Wen-ying<sup>2</sup>, LIU Pan<sup>1</sup>, ZHOU Hua-kun<sup>3</sup>, MAO Xu-feng<sup>1</sup>

(1. *The College of Geography Sciences, Qinghai Normal University, Xining 810008, China*; 2. *The College of Life Sciences, Qinghai Normal University, Xining 810008, China*; 3. *The Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China*)

**Abstract:** Different types of alpine grasslands in the source area of the Yellow River were research objects. The physical and chemical properties of 0~20 cm soil layer were measured and the soil quality was also evaluated by principal component analysis. The results showed that: 1. The soil bulk density and pH from high to low both were alpine steppe > artificial grassland > alpine meadow > swamp meadow; the soil water content, organic carbon, total carbon, ammonia nitrogen and total nitrogen from high to low were all ranked as: swamp meadow

>alpine meadow >artificial grassland>alpine steppe;the nitrate content from high to low was artificial grassland>swamp meadow > alpine steppe> alpine meadow;the contents of available phosphorus and total phosphorus from high to low were both as: swamp meadow > alpine meadow >artificial grassland >alpine steppe; the contents of available potassium and total potassium from high to low were both as: artificial grassland>alpine steppe> alpine meadow>swamp meadow. 2. There was a significant positive correlation between soil organic carbon content and soil total carbon, ammonia nitrogen, total nitrogen, available phosphorus and total phosphorus content ( $P < 0.01$ ). There was a significant positive correlation between soil total carbon content and soil ammonia nitrogen, total nitrogen, available phosphorus and total phosphorus content ( $P < 0.01$ ). There was also a strong correlation between soil carbon, nitrogen and phosphorus, and the three were highly interconnected. 3. In 0~10 cm, 10~20 cm and 0~20 cm soil layers, the order of soil quality from high to low was swamp meadow > alpine meadow >artificial grassland > alpine steppe. For each grassland the soil quality of 0~10 cm soil layer was higher than that of 10~20 cm and 0~20 cm soil layers, and the soil quality of 0~20 cm soil layer was higher than that of 10~20 cm soil layer.

**Key words:** source area of the Yellow River; alpine grasslands; soil physical and chemical properties; soil quality; principal component analysis

## 中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊 收录证书

### 草原与草坪

依据文献计量学的理论和方法,通过定量与定性相结合的综合评审,贵刊被收录为中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊,特颁发此证书。

证书编号: CSCD2021-0281

有效期: 2021年-2022年

发证日期: 2021年4月

查询网址: [www.sciencechina.cn](http://www.sciencechina.cn)

