

DOI:10.11686/cyxb2018540

http://cyxb.magtech.com.cn

张苗苗, 陈伟, 林丽, 等. 青海省不同高寒草地土壤主要养分及可溶性有机碳特性研究. 草业学报, 2019, 28(3): 20—28.

Zhang M M, Chen W, Lin L, *et al.* A study of soil nutrient characteristics and soil soluble organic carbon levels in different types of alpine grassland in Qinghai Province. Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28(3): 20—28.

## 青海省不同高寒草地土壤主要养分及 可溶性有机碳特性研究

张苗苗<sup>1</sup>, 陈伟<sup>2</sup>, 林丽<sup>3</sup>, 张德罡<sup>1\*</sup>, 吴玉鑫<sup>1</sup>, 肖海龙<sup>1</sup>

(1. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州城市学院地理与环境工程学院, 甘肃 兰州 730070;

3. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

**摘要:**为探索不同高寒草地类型中土壤有机碳、养分和可溶性有机碳的含量差异以及可溶性有机碳分布特征,以青海省4个高寒草地类型土壤0~10 cm和10~20 cm土层为研究对象,分析了土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、可溶性有机碳含量,以及可溶性有机碳芳香性指数和腐殖化指数,并进一步探讨了可溶性有机碳含量与土壤有机碳、各养分含量之间的相关性。结果表明,不同高寒草地类型各土层土壤中全氮、有机碳、可溶性有机碳含量由高到低的顺序依次为:高寒草甸类>高寒草甸草原类>高寒草原类>高寒荒漠类,且不同类型之间差异显著( $P<0.05$ )。随着土层的加深,土壤全氮、有机碳含量有降低趋势。不同类型高寒草地各土层土壤中可溶性有机碳的芳香性指数和腐殖化指数表现出与此相同的变化趋势。不同高寒草地各土层中可溶性有机碳与土壤全氮、有机碳含量之间均呈现出显著正相关关系( $P<0.05$ )。综上所述,高寒草甸和高寒草甸草原土壤有机碳、全氮、可溶性有机碳含量较高,结构复杂。可溶性有机碳的芳香性指数和腐殖化指数在一定程度上能够反映土壤养分状况。

**关键词:**高寒草地;土壤有机碳;土壤养分;可溶性有机碳

### A study of soil nutrient characteristics and soil soluble organic carbon levels in different types of alpine grassland in Qinghai Province

ZHANG Miao-miao<sup>1</sup>, CHEN Wei<sup>2</sup>, LIN Li<sup>3</sup>, ZHANG De-gang<sup>1\*</sup>, WU Yu-xin<sup>1</sup>, XIAO Hai-long<sup>1</sup>

1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Geography and Environmental Engineering College, Lanzhou City University, Lanzhou 730070, China; 3. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China

**Abstract:** This study aimed to explore the differences in soil carbon, soil nutrients and soluble organic carbon, and their correlation with soil nutrient levels in 4 different types of alpine grassland in Qinghai province. Measurements made included: soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, and soluble organic carbon in the 0—10 cm and 10—20 cm soil layers. Correlations between soluble organic carbon and organic carbon and nutrients were determined. The results showed that the ranking of the grassland types for contents of total nitrogen, organic carbon and soluble organic carbon in tested soil layers was alpine meadow>alpine meadow steppe>alpine steppe>alpine desert, with the differences being significant ( $P<0.05$ ). As expected,

收稿日期:2018-08-29;改回日期:2018-10-29

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0501900,2016YFC0501902),自然科学基金青年基金项目(31500368)和中国农业科学院科技创新工程专项资金项目(CAAS-ASTIP-08-LIHPS-08)资助。

作者简介:张苗苗(1985-),女,山东嘉祥人,在读博士。E-mail:187342041@qq.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail:zhangdg@gsau.edu.cn

ted, the soil total nitrogen and organic carbon content tended to decrease with increasing soil depth. The soluble organic carbon aromaticity and humus indexes for the different alpine grassland types had the same rankings as for total nitrogen and organic carbon, above. There was a significant positive correlation between soluble organic carbon and soil total nitrogen and organic carbon ( $P < 0.05$ ). It was concluded that the contents of organic carbon, total nitrogen and soluble organic carbon in alpine meadow and alpine meadow steppe were high, and the structure of organic matter was complex. The soluble organic carbon aromaticity and humus indices were, to a certain degree, indicative of soil nutrient status.

**Key words:** alpine grassland; soil organic carbon; soil nutrient; soil soluble organic carbon

土壤作为草地生态系统重要的组成部分<sup>[1]</sup>, 贮藏着大量的碳、氮、磷、钾等营养物质, 对于植物生长起着至关重要的作用, 不仅能保持土壤肥力, 也对保护草地生态系统物质和能量的平衡具有重要作用<sup>[2-4]</sup>。土壤中所含有的有机碳和氮素, 是草地生态系统中极为重要的生态因子<sup>[5]</sup>, 一直倍受研究者的关注, 成为草地生态系统可持续发展研究的核心内容之一<sup>[6-7]</sup>。研究表明, 草地类型的变化可以引起许多自然因素和生态过程的变化<sup>[8]</sup>, 因此草地类型是影响土壤有机碳和全氮含量的重要因素之一<sup>[9]</sup>。彭舜磊等<sup>[10]</sup>和王邵军等<sup>[11]</sup>研究发现, 不同草地的土壤有机碳和全氮含量不同, 这主要是由于不同草地地上植被的丰富度和覆盖度的差异, 导致土壤中凋落物和根系分泌物不同, 进而影响微生物对土壤养分的分解速度。不同草地类型土壤有机碳和主要养分含量差异已成为草地健康评价和可持续发展以及草地生态系统平衡研究的重要内容。

高寒草地在青海省分布广泛, 是适应高原隆起与长期低温条件而形成的特殊环境<sup>[4]</sup>。其生境条件恶劣, 在维持高寒区域经济发展、保护生物多样性、固持碳元素等生态功能的发挥上起到了非常重要的作用<sup>[12-13]</sup>。土壤有机碳和养分含量的高低直接影响草地植被的生长和发育<sup>[4]</sup>。研究表明, 在外界环境和人类活动的共同影响下, 有机碳库的分布、累积以及循环模式发生了改变, 对大气温室气体的源汇效应也会因草地类型与利用方式的不同而发生变化<sup>[14-15]</sup>。可溶性有机质是土壤中一种重要的有机质存在形态<sup>[16]</sup>, 以可溶性有机碳为主<sup>[17]</sup>, 是土壤有机碳库中最为活跃的部分, 它能比较敏感地反映土壤有机质的变化, 其质量和数量状况反映着土壤养分的有效性和流动性<sup>[18]</sup>, 对草地类型变化的响应更为迅速。

本研究以青海省主要的 4 个高寒草地类型即高寒草甸类、高寒草甸草原类、高寒草原类和高寒荒漠类为对象, 分析不同草地类型土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、可溶性有机碳含量以及可溶性有机碳的结构特性, 并通过相关性分析, 探索可溶性有机碳与土壤养分、有机碳之间的联系和一致性变化规律, 为高寒草地健康、可持续发展和充分发挥生态功能提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

青海省位于我国西北内陆地区, 地处青藏高原东北部, 其西北与干旱荒漠区连接, 东部紧邻湿润季风区。全省地域广阔, 草地类型丰富。平均海拔 3500 m 以上, 境内各地区年均气温  $-5.6 \sim 8.9$  °C, 年降水量为 100~500 mm, 主要集中在夏季<sup>[19]</sup>。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 样地选择** 本次研究区域主要集中在青海省境内的刚察县、玉树县和玛多县等县区, 草地类型为高寒草甸类、高寒草甸草原类、高寒草原类、高寒荒漠类, 草地利用方式为天然放牧(表 1)。

**1.2.2 土壤样品采集** 本次采样时间集中于 2017 年 7-8 月植物生长旺盛期。在上述 4 种高寒草地的典型分布区选择样地, 每个样地设置一条 60 m 的样线, 每隔 20 m 设 1 个样点, 在每个样点周围重复 4 次采样, 用土钻按 0~10 cm 和 10~20 cm 土层取样后分别混合作为一个样品, 装入样袋内, 带回室内风干后备用, 每个样地每层共取 3 个土样。

表 1 样地概况

Table 1 Description of sampling sites

草地类型	样地区域	经纬度	海拔	成土母质	植被概况	盖度
Grassland type	Sample area	Latitude and longitude	Elevation (m)	Parent material	Vegetation situation	Coverage (%)
高寒草甸类 Alpine meadow	刚察县 Gangcha county	100°02.137' E 37°38.919' N	3200	沼泽土 Bog soil	由苔草属( <i>Carex</i> )、嵩草属( <i>Kobresia</i> )和小丛禾草、小杂类草植物组成。It is composed of <i>Carex</i> , <i>Kobresia</i> , small clumps of grasses and small hybrid plants.	95
高寒草甸原类 Alpine meadow steppe	玉树县 Yushu county	96°85.9526' E 33°07.4247' N	3882	亚高山高原土 Subalpine steoee soil	由寒旱生丛生禾草和中旱生杂类草组成,优势种为紫花针茅( <i>Stipa purpurea</i> )与高山嵩草( <i>Kobresia pygmaea</i> )、杂类草。It is composed of drought-bearing grasses and hybrid grasses, and the dominant species are <i>S. purpurea</i> , <i>K. pygmaea</i> and hybrid grasses.	60
高寒草原类 Alpine steppe	玛多县 Maduo county	97°84.390' E 35°12.196' N	4260	高山沙化草原土 Alpine sandy grassland soil	草群稀疏、低矮,以寒旱生丛生禾草为主,紫花针茅、矮火绒草( <i>Leontopodium nanum</i> )为优势种。The grasses are sparse and low which are mainly composed of cold and drought clumping grass, <i>S. purpurea</i> and <i>L. nanum</i> as the dominant species.	16
高寒荒漠类 Alpine desert	玛多县 Maduo county	97°66.857' E 34°13.429' N	4714	高山寒漠土 Alpine frost desert soil	由垫状小半灌木组成的矮草地,优势种为垫状驼绒藜( <i>Ceratoides compacta</i> )。It is short grassed which is composed of padded half shrubs, <i>C. compacta</i> as the dominant specie.	6

1.2.3 指标测定 土壤养分:全碳和全氮采用元素分析仪 Perkin Elmer 2400 II 进行测定,全磷采用钼锑抗比色法进行测定,全钾采用火焰光度法进行测定,无机碳采用土壤碳酸盐测定仪 Eijkelkamp Calcimeter 进行测定。有机碳含量(soil organic carbon, SOC)=全碳含量-无机碳含量<sup>[20]</sup>。

土壤可溶性有机碳(soluble organic carbon, DOC):提取按照 Zhang 等<sup>[21]</sup>的方法进行。将过 2 mm 筛的风干土样 3 g 与 30 mL 去离子水混合均匀(水:土=10:1),在恒温振荡器上 25 °C 震荡 60 min,悬浊液以 4000 r·min<sup>-1</sup> 的速度离心 20 min,上清液过 0.45 μm 滤膜。利用总有机碳分析仪(vario TOC SELECT)测定可溶性有机碳的含量。

芳香性指数(aromaticity index, AI):紫外-可见光光谱测定采用紫外-可见分光光度计(UV-2450)进行扫描。样品在波长 254 nm 处的吸收值(UV<sub>254</sub>)可用于计算芳香性指数(AI),计算公式为:AI=(UV<sub>254</sub>/DOC)×100<sup>[18]</sup>。

腐殖化指数(humus index, HIX):荧光光谱分析采用荧光分光光度计(RF-5301PC)。选择激发波长在 254 nm 处,对 280~500 nm 的发射波长进行扫描,从荧光强度曲线和发射光谱 435~480 nm 与 300~345 nm 所包围面积的比值计算腐殖化指数<sup>[22]</sup>。

### 1.3 数据分析处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件分析处理数据并制图。采用单因素方差分析法比较不同类型高寒草地土壤养分、有机碳、可溶性有机碳及其结构特性之间的差异显著性,用双变量 Person 相关系数法比较土壤可溶性有机碳与土壤养分、有机碳含量之间的相关性( $\alpha=0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤养分含量

不同类型高寒草地 0~10 cm 土层中,土壤全氮含量由高到低的顺序为高寒草甸>高寒草甸草原>高寒草原>高寒荒漠,且不同类型之间差异显著( $P<0.05$ )。土壤全磷含量高寒草甸显著高于其他 3 种草地类型( $P<0.05$ ),高寒荒漠、高寒草甸草原和高寒草原 0~10 cm 土层中全磷含量差异不显著( $P>0.05$ )。土壤全钾含量高

低顺序为高寒荒漠>高寒草甸草原>高寒草原>高寒草甸,且不同类型之间差异显著( $P<0.05$ )(表 2)。

不同类型高寒草地 10~20 cm 土层中,土壤全氮含量的高低顺序为高寒草甸>高寒草甸草原>高寒草原>高寒荒漠,且不同类型之间差异显著( $P<0.05$ )。土壤全磷含量高寒荒漠显著高于高寒草原( $P<0.05$ ),其余各草地类型间土壤全磷含量差异不显著( $P>0.05$ )。土壤全钾含量的高低顺序为高寒荒漠>高寒草甸草原>高寒草原>高寒草甸,且不同类型之间差异显著( $P<0.05$ )(表 2)。

随着土层的加深,不同养分含量变化存在差异。高寒草甸、高寒草甸草原和高寒荒漠土壤全氮含量均呈现出 0~10 cm 显著高于 10~20 cm 土层的变化趋势( $P<0.05$ ),高寒草原土壤变化趋势刚好相反。全磷含量除了高寒草甸土壤表现出 0~10 cm 土层显著高于 10~20 cm 土层外( $P<0.05$ ),其他草地类型随着土层的加深变化不显著( $P>0.05$ )。高寒草甸 0~10 cm 土层全钾含量显著高于 10~20 cm 土层( $P<0.05$ ),其他草地类型随着土层的加深变化不显著( $P>0.05$ )(表 2)。

不同土层深度下,高寒草甸和高寒草甸草原土壤全氮含量均较高,高寒草原次之,高寒荒漠最低。全磷含量在不同土层和不同草地类型间表现出的差异性较小。高寒荒漠土壤全钾含量较高,高寒草甸土壤全钾含量则较低(表 2)。

表 2 不同类型草地土壤全氮、全磷、全钾含量

Table 2 Content of soil total N, P and K of different grassland types (mean±SD,  $n=3$ ) (%)

草地类型 Grassland type	土层 Soil layer (cm)	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
高寒草甸类 Alpine meadow	0~10	0.75±0.02A*	0.13±0.02A*	0.95±0.02D*
	10~20	0.49±0.02a	0.06±0.01ab	0.76±0.01d
高寒草甸草原类 Alpine meadow steppe	0~10	0.55±0.01B*	0.07±0.01B	1.53±0.12B
	10~20	0.37±0.01b	0.07±0.02ab	1.46±0.12b
高寒草原类 Alpine steppe	0~10	0.13±0.02C	0.06±0.01B	1.17±0.08C
	10~20	0.26±0.01c*	0.05±0.01b	1.03±0.02c
高寒荒漠类 Alpine desert	0~10	0.07±0.01D*	0.08±0.01B	1.91±0.06A
	10~20	0.01±0.00d	0.09±0.02a	1.99±0.07a

注:同列不同大写字母表示 0~10 cm 土层差异显著( $P<0.05$ ),不同小写字母表示 10~20 cm 土层差异显著( $P<0.05$ ),\*表示同一草地类型不同土层间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: The values with different capital letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level in 0–10 cm layers while small letters in the same column indicate significant difference between different grassland types at 0.05 level in 10–20 cm layers, \* indicates significant difference at 0.05 level between different layers in the same grassland type.

## 2.2 土壤有机碳含量

随着土壤深度和草地类型的变化,不同草地类型土壤有机碳含量在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层由高到低的排列顺序是一致的,依次是高寒草甸>高寒草甸草原>高寒草原>高寒荒漠,且不同类型之间差异显著( $P<0.05$ )。高寒草甸、高寒草甸草原土壤有机碳含量随着土层的加深显著降低( $P<0.05$ )(图 1)。

## 2.3 土壤可溶性有机碳含量及其结构特性

在 0~10 cm 土层中,不同类型草地土壤可溶性有机碳含量从高到低排序为高寒草甸>高寒草甸草原>高寒草原>高寒荒漠,除了高寒草原和高寒荒漠土壤可溶性有机碳含量差异不显著外( $P>0.05$ ),其余各草地类型间土壤可溶性有机碳含量均差异显著( $P<0.05$ )(图 1)。在 10~20 cm 土层中,不同类型草地土壤可溶性有机碳的含量从高到低的顺序为高寒草甸>高寒草甸草原>高寒草原>高寒荒漠,且不同类型之间差异显著( $P<0.05$ )。随着土层加深,高寒草甸土壤可溶性有机碳显著降低( $P<0.05$ ),其余 3 种高寒草地类型土壤可溶性有机碳均显著升高( $P<0.05$ )。

不同土层中,土壤可溶性有机碳的芳香性指数和腐殖化指数从高到低的顺序均为高寒草甸>高寒草甸草

原>高寒草原>高寒荒漠。各草地类型 0~10 cm 土层的芳香性指数均显著高于 10~20 cm 土层( $P<0.05$ ) (图 1)。高寒草甸和高寒草甸草原 0~10 cm 土层腐殖化指数显著低于 10~20 cm 土层( $P<0.05$ ),高寒草原和高寒荒漠 0~10 cm 土层腐殖化指数则显著高于 10~20 cm 土层( $P<0.05$ )。

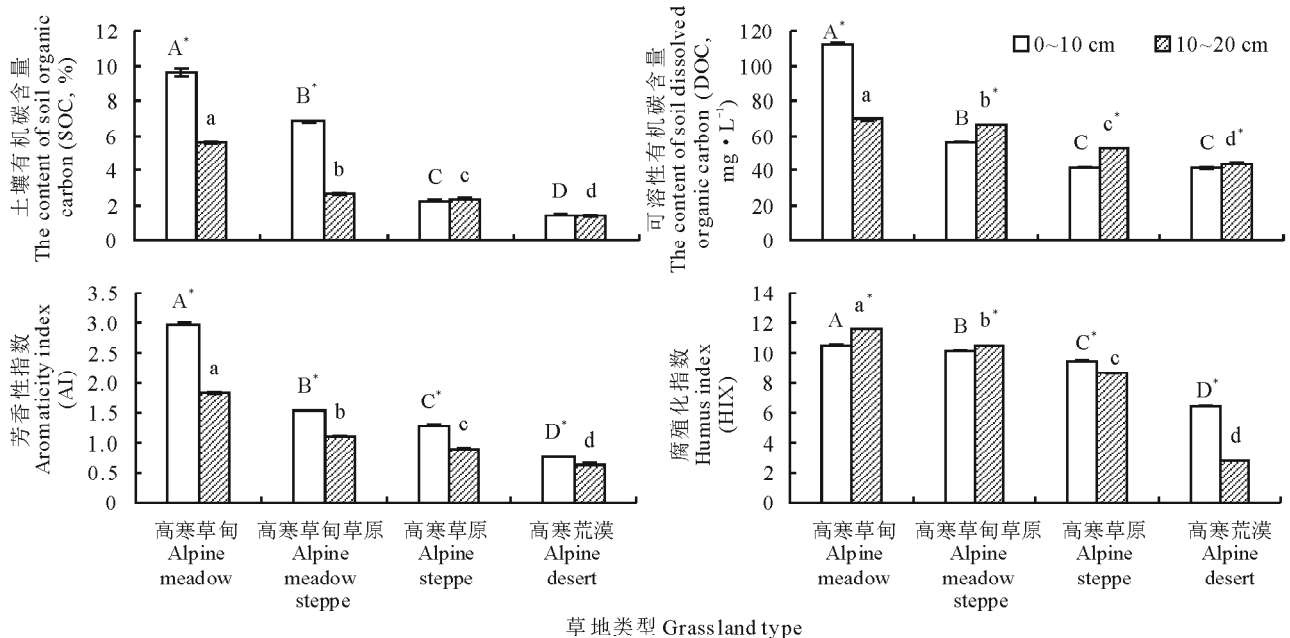


图 1 不同类型草地土壤有机碳、可溶性有机碳含量、芳香性指数和腐殖化指数

Fig.1 Content of soil organic carbon, soluble organic carbon, aromaticity index and humus index of soil soluble organic carbon in different types of alpine grasslands (mean±SD,  $n=3$ )

误差线为标准差。不同大写字母表示 0~10 cm 土层差异显著( $P<0.05$ ),不同小写字母表示 10~20 cm 土层差异显著( $P<0.05$ ),\*表示同一草地类型不同土层间差异显著( $P<0.05$ )。Error bar means standard deviation. Different capital letters indicate significant difference at 0.05 level in 0~10 cm layers while small letters indicate significant difference at 0.05 level in 10~20 cm layers, \* indicates significant difference at 0.05 level between different layers in the same grassland type.

#### 2.4 可溶性有机碳含量与土壤养分、有机碳的关系

将不同高寒草地类型土壤可溶性有机碳含量与土壤养分、有机碳含量之间进行相关性分析可以看出,在 0~10 cm 土层中,不同高寒草地土壤可溶性有机碳与土壤全氮、全磷和有机碳含量之间均呈显著正相关关系( $P<0.05$ ),与全钾含量之间的相关性不显著( $P>0.05$ ) (图 2)。

在 10~20 cm 土层中,不同高寒草地土壤可溶性有机碳与土壤全氮和有机碳含量之间呈显著正相关关系( $P<0.05$ ),与全磷和全钾含量之间相关性不显著( $P>0.05$ ) (图 3)。

### 3 讨论

土壤有机碳和全氮含量是衡量土壤肥力的重要指标,主要受气候、植被等因素的影响<sup>[23]</sup>。高寒草甸、高寒草甸草原、高寒草原和高寒荒漠同属于高海拔地区、气候寒冷条件下的草地类型,但由于具体的海拔、植被类型、温湿度等综合气候因素不同,其土壤养分、有机碳等的含量及他们在不同土层上的分布均有差异。高寒草甸和高寒草甸草原是在高寒偏湿润气候条件下发育形成的草地类型,降水量相对于高寒草原和高寒荒漠较高,海拔较低,植被种类较多,盖度大,能够较大程度地为土壤输送养分。高寒草甸和高寒草甸草原各土层土壤中全氮和有机碳含量均较高。相反,高寒草原和高寒荒漠土壤中全氮和有机碳含量则较低。顾振宽等<sup>[24]</sup>研究表明,高寒草甸土壤中有有机碳和全氮含量较高,而荒漠化草原由于土壤比较干燥,且植物稀疏,种类较少,所以有机碳和全氮含量低。从土壤有机碳和全氮含量情况来看,高寒草甸、高寒草甸草原、高寒草原和高寒荒漠依次呈现出植被种类逐

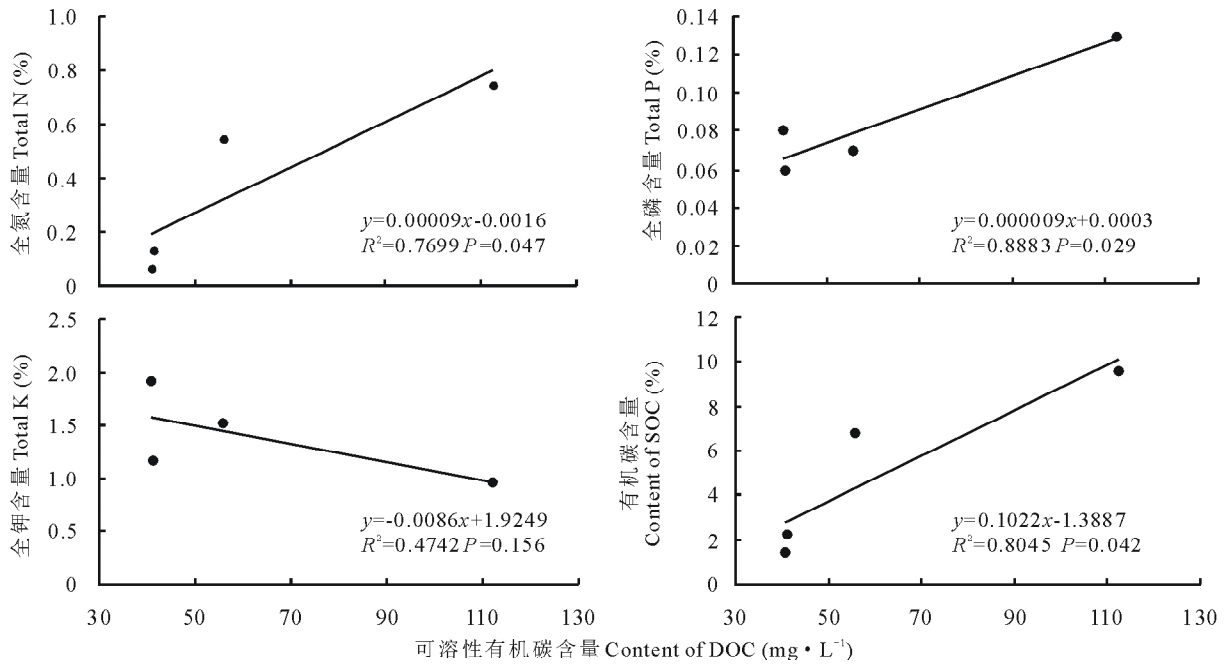


图 2 不同类型草地 0~10 cm 土壤可溶性有机碳与全氮、全磷、全钾以及有机碳之间的关系

Fig.2 Correlation between soil soluble organic carbon and total N, P, K and soil organic carbon in 0—10 cm soil layers of different types of alpine grasslands

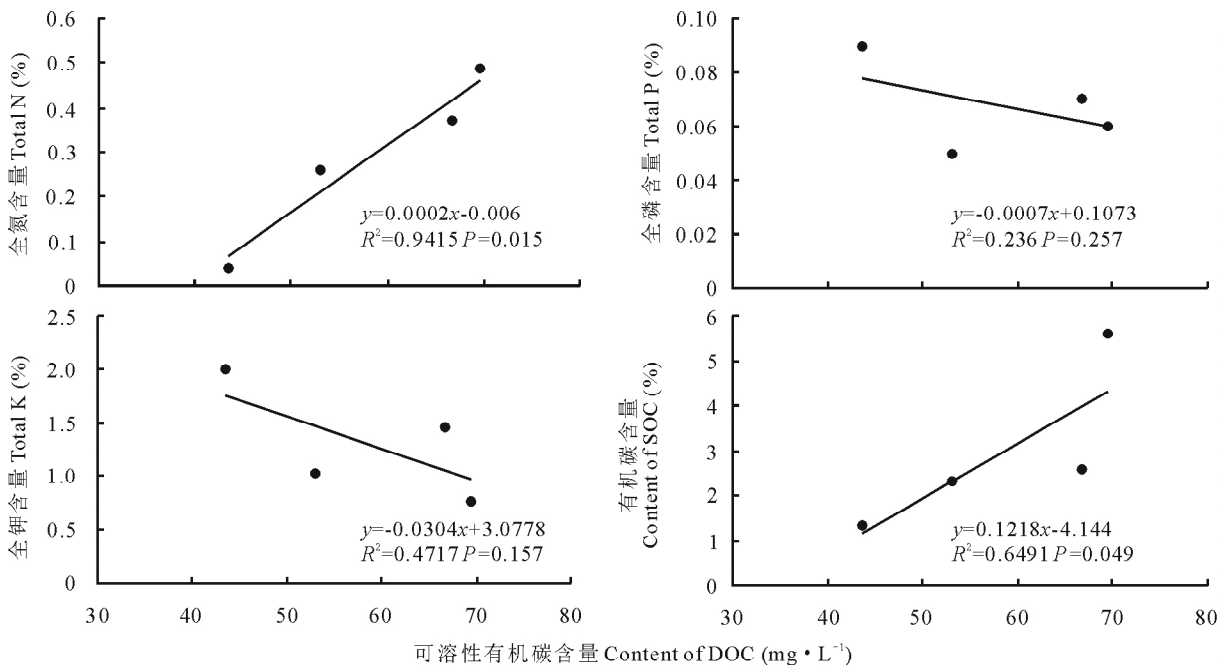


图 3 不同草地土壤 10~20 cm 土层可溶性有机碳与全氮、全磷、全钾以及有机碳之间的关系

Fig.3 Correlation between soil soluble organic carbon and total N, P, K and soil organic carbon in 10—20 cm soil layers of different types of alpine grasslands

渐减少,盖度逐渐降低的趋势,这种情况可以类比为同一草地类型的不同退化阶段,当土壤养分的空间异质性发生改变的时候,生态系统的功能也会发生一定程度的改变,从而一定程度上揭示出草地发生退化的趋势<sup>[25]</sup>。

随着土层的加深,高寒草甸、高寒草甸草原和高寒荒漠土壤中全氮和有机碳含量呈降低趋势,这与顾振宽等<sup>[24]</sup>、王清奎等<sup>[26]</sup>、何贵永等<sup>[27]</sup>、青焯等<sup>[28]</sup>的研究结论一致。主要原因可能在于土壤上层集中了大量的植物根系、凋落物和死亡的植物残体,微生物活性较强,养分含量丰富。随着土层的加深,养分来源逐渐减少,使得全氮

和有机碳含量逐渐降低。

不同高寒草地土壤全磷和全钾含量变化规律无一致性。高旭升等<sup>[29]</sup>在对三江源区高寒草原草地不同退化程度土壤养分变化的研究中指出,随着草地退化程度的增加,土壤全磷含量变化较小,不能作为草地退化的主要指标依据。由此看出,土壤全磷在外部条件发生变化时的反应不够敏感。土壤全钾含量可能更大程度上与成土母质有关,具体影响因素还有待进一步研究。

可溶性有机碳是土壤有机碳中极小的一部分<sup>[30]</sup>,因其容易被土壤微生物分解,在为土壤提供养分方面起着重要作用,所以成为土壤中重要的活性碳库和养分库,能更敏感地反映不同草地类型间养分与质量状况<sup>[17,26]</sup>。从总体上来说,4种高寒草地土壤可溶性有机碳含量高低顺序与土壤有机碳和全氮含量高低顺序一致,且与土壤全氮、有机碳之间均呈显著正相关关系( $P < 0.05$ ),说明土壤养分是影响土壤可溶性有机碳含量的主要因素。这与李明堂等<sup>[31]</sup>、刘翥等<sup>[32]</sup>结论一致,但与董扬红等<sup>[33]</sup>的研究结论不完全一致,更深层次的原因剖析还有待进一步研究。同时,由于高寒草甸和高寒草甸草原土壤湿润度较高,也可能是导致其土壤可溶性有机碳含量较高的原因之一。有研究表明,土壤在含水量较高的条件下,团聚体分散导致土壤有机碳溶出,从而提高土壤可溶性有机碳浓度<sup>[34-37]</sup>。高寒草甸和高寒草甸草原以禾本科植物为主,分布到土壤中的细根较多,含有的木质素、纤维素少,较简单的可溶性有机碳含量高。而以半灌木为主的高寒荒漠土壤中则聚积的根系较粗,含有的木质素等难分解的物质较多,可溶性有机碳含量低。从不同土层深度条件来看,除了高寒草甸外,其他3种草地土壤可溶性有机碳含量均是10~20 cm土层大于0~10 cm土层,这与目前部分研究结果不完全一致<sup>[38]</sup>,可能与土壤中可溶性养分的向下淋溶有关。

本研究结果表明,高寒草甸土壤可溶性有机碳的芳香性指数和腐殖化指数均较高,而高寒草原和高寒荒漠土壤则较低,说明高寒草甸土壤可溶性有机碳含有较多数量的包括芳香性化合物在内的具有不饱和碳碳双键的化合物,同时具有更高的腐殖化程度,高寒草原和高寒荒漠可溶性有机碳结构较简单,腐殖化程度不高。土壤腐殖化的前提是有机质分解成简单的有机化合物及中间产物,在一定条件下转化成更复杂的、稳定的、特殊的高分子有机化合物<sup>[39]</sup>。高寒草原、高寒荒漠所处环境海拔高,温度低,微生物活动受限,不利于有机质的分解,无法为土壤腐殖化过程提供足够的中间产物,植被为了完成生命周期,将大量小分子营养物质吸收利用,能够用来进一步转化的物质较少,在有机质腐殖化过程中也需要大量微生物的参与,这可能是高寒草原和高寒荒漠土壤可溶性有机碳芳香性指数和腐殖化指数较低的原因。

#### 4 结论

综上所述,不同类型高寒草地土壤全氮、全磷、全钾、有机碳、可溶性有机碳及其特性各有不同。高寒草甸和高寒草甸草原土壤有机碳、养分和可溶性有机碳含量较高,土壤有机质结构复杂,对抵抗微生物分解、稳定土壤肥力、固持碳素具有极其重要的作用,而高寒草原和高寒荒漠土壤的有机碳、养分和可溶性有机碳不仅含量较低,有机质的结构也更加简单,抗干扰能力弱。因此,在草地保护和利用过程中需要根据这一特征采取相应的技术措施。

#### 参考文献 References:

- [1] Tian H, Zhang D D. Review on the factors affecting the forage phytomass. *Grassland and Turf*, 2003, (3): 15-18, 22.  
田宏, 张德罡. 影响牧草植物量形成的因素. *草原与草坪*, 2003, (3): 15-18, 22.
- [2] Orodho A B, Trlica M J. Clipping and long-term grazing effects on biomass and carbohydrate reserves of Indian ricegrass. *Journal of Range Management*, 1990, 43(1): 52.
- [3] Wang C T, Long R J, Cao G M, *et al.* The relationship between soil nutrients and diversity-productivity of different type grasslands in alpine meadow. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, (1): 1-8.  
王长庭, 龙瑞军, 曹广民, 等. 高寒草甸不同类型草地土壤养分与物种多样性——生产力关系. *土壤通报*, 2008, (1): 1-8.
- [4] Yao X X, Gong X Y, Bai B, *et al.* Study of grassland vegetation characteristics and soil nutrient and their correlation between different grassland types in alpine pastoral area of Qilian mountains. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(2): 371-379.  
姚喜喜, 宫旭胤, 白滨, 等. 祁连山高寒牧区不同类型草地植被特征与土壤养分及其相关性研究. *草地学报*, 2018, 26(2):

- 371—379.
- [5] Yang Y H, Fang J Y, Tang Y H, *et al.* Storage, patterns and controls of soil organic carbon in the Tibetan grasslands. *Global Change Biology*, 2010, 14(7): 1592—1599.
- [6] Wendu R L. Study on vegetation characteristics, soil properties and microbial diversity of main grassland types in Hulunbeier. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.  
文都日乐. 呼伦贝尔主要草地类型植被特征、土壤特性与微生物多样性研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [7] Luan J W, Cui L J, Xiang C H, *et al.* Different grazing removal enclosures effects on soil C stocks among alpine ecosystems in east Qinghai—Tibet plateau. *Ecological Engineering*, 2014, 64: 262—268.
- [8] Zhang W S, Li X X, Huang W J, *et al.* Comprehensive assessment methodology of soil quality under different land use conditions. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(12): 311—318.  
张汪寿, 李晓秀, 黄文江, 等. 不同土地利用条件下土壤质量综合评价方法. *农业工程学报*, 2010, 26(12): 311—318.
- [9] Lü S L. Study on spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen of alpine grassland and the influencing factors in Qinghai-Tibet Plateau. Lanzhou: Lanzhou University, 2018.  
吕韶利. 青藏高原高寒草地土壤有机碳、全氮的空间异质性及其影响因素的研究. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [10] Peng S L, Wang H T, Chen C D, *et al.* Distribution patterns of soil organic carbon and nitrogen storage in forestland of Baotianman nature reserve. *Research of Soil and Water Conservation*, 2015, 22(5): 30—34.  
彭舜磊, 王华太, 陈昌东, 等. 宝天曼自然保护区森林土壤碳氮储量分布格局分析. *水土保持研究*, 2015, 22(5): 30—34.
- [11] Wang S J, Cao Z L, Li X Y, *et al.* Spatiotemporal distributions of soil carbon and nitrogen under the four riparian zones in the Dianchi Lake. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2013, 37(5): 55—59.  
王邵军, 曹子林, 李小英, 等. 滇池湖滨带不同植被类型土壤碳、氮时空分布特征. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2013, 37(5): 55—59.
- [12] Sun H L, Zheng D, Yao T D, *et al.* Protection and construction of the national ecological security shelter zone on Tibet plateau. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(1): 3—12.  
孙鸿烈, 郑度, 姚檀栋, 等. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设. *地理学报*, 2012, 67(1): 3—12.
- [13] Liu S L, Lin L, Guo X W, *et al.* The variation feature of soil inorganic carbon storage in alpine grassland in Qinghai province. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(20): 5953—5961.  
刘淑丽, 林丽, 郭小伟, 等. 青海省高寒草地土壤无机碳储量空间分异特征. *生态学报*, 2014, 34(20): 5953—5961.
- [14] Lin L, Cao G M, Li Y K, *et al.* Effects of human activities on organic carbon storage in the *Kobresia hummilis* meadow ecosystem on the Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4012—4018.  
林丽, 曹广民, 李以康, 等. 人类活动对青藏高原高寒矮嵩草草甸碳过程的影响. *生态学报*, 2010, 30(15): 4012—4018.
- [15] Li Y M, Cao G M, Xu R H. Effects of different land use modes on organic carbon and its component in alpine meadow soil. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(14): 5951—5953, 6010.  
李月梅, 曹广民, 徐仁海. 土地利用方式对高寒草甸土壤有机碳及其组分的影响. *安徽农业科学*, 2008, 36(14): 5951—5953, 6010.
- [16] Yang X H, Peng L J, Li S Y, *et al.* Effect of mangrove leaf litter decomposition on soil dissolved organic matter. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(6): 924—930.  
杨秀虹, 彭琳婧, 李适宇, 等. 红树植物凋落叶分解对土壤可溶性有机质的影响. *生态环境学报*, 2013, 22(6): 924—930.
- [17] Chang D N, Cao W D, Bao X G, *et al.* Long-term different fertilizations changed the chemical and spectrum characteristics of DOM of the irrigation-desert soil in north-western China. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2016, 36(1): 220—225.  
常单娜, 曹卫东, 包兴国, 等. 西北灌漠土长期不同施肥改变土壤可溶性有机质的化学及光谱学特性. *光谱学与光谱分析*, 2016, 36(1): 220—225.
- [18] Liu Z, Yang Y S, Zhu J M, *et al.* Comparative study on quantities and spectroscopic characteristics of soil dissolved organic matter between two economic forests in Subtropical China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(5): 170—175.  
刘翥, 杨玉盛, 朱锦懋, 等. 中亚热带 2 种经济林土壤可溶性有机质数量与光谱学特征比较. *水土保持学报*, 2014, 28(5): 170—175.
- [19] Zhong C, Yang Z F, Xia X Q, *et al.* Estimation of soil organic carbon storage and analysis of soil carbon source/sink factors in Qinghai province. *Geoscience*, 2012, 26(5): 896—909.  
钟聪, 杨忠芳, 夏学齐, 等. 青海省土壤有机碳储量估算及其源汇因素分析. *现代地质*, 2012, 26(5): 896—909.
- [20] Lin L, Zhang D G, Cao G M, *et al.* Responses of soil nutrient traits to grazing intensities in alpine *Kobresia* meadows. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(15): 4664—4671.  
林丽, 张德罡, 曹广民, 等. 放牧强度对高寒高草草甸土壤养分特性的影响. *生态学报*, 2016, 36(15): 4664—4671.
- [21] Zhang A F, Zhou X, Li M, *et al.* Impacts of biochar addition on soil dissolved organic matter characteristics in a wheat-maize rotation system in Loess Plateau of China. *Chemosphere*, 2017, 186: 986—993.



- [22] Wang Y T. Spectrofluorometric characterization of soil dissolved organic matter with different vegetation in Loess Plateau. Xi'an; Xi'an University of Architecture and Technology, 2015.  
王玉涛. 黄土高原不同植被条件下土壤可溶性有机质的荧光特性. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
- [23] Gao A S, Zheng S H, Zhao M L, *et al.* Soil organic carbon and total nitrogen content in different steppes. *Grassland of China*, 2005, 27(6): 44–45, 65.  
高安社, 郑淑华, 赵萌莉, 等. 不同草原类型土壤有机碳和全氮的差异. *中国草地*, 2005, 27(6): 44–50, 65.
- [24] Gu Z K, Du G Z, Zhu W X, *et al.* Distribution pattern of soil nutrients in different grassland types and soil depths in the eastern Tibetan Plateau. *Pratacultural Science*, 2012, 29(4): 507–512.  
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. *草业科学*, 2012, 29(4): 507–512.
- [25] Dunkerley D. Hydrologic effects of dry land shrubs: Defining the spatial extent of modified soil water uptake rates at an Australian desert site. *Journal of Arid Environments*, 2000, 45(2): 159–172.
- [26] Wang Q K, Wang S L, Feng Z W, *et al.* A study on dissolved organic carbon and nitrogen nutrients under Chinese fir plantation relationships with soil nutrients. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1299–1305.  
王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 杉木人工林土壤可溶性有机质及其与土壤养分的关系. *生态学报*, 2005, 25(6): 1299–1305.
- [27] He G Y, Sun H Z, Shi X M, *et al.* Soil properties of Tibetan Plateau alpine wetland affected by grazing and season. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(4): 12–20.  
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. *草业学报*, 2015, 24(4): 12–20.
- [28] Qing Y, Sun F D, Li Y, *et al.* Analysis of soil carbon, nitrogen and phosphorus in degraded alpine wetland, Zoige, south-west China. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(3): 38–47.  
青焯, 孙飞达, 李勇, 等. 若尔盖高寒退化湿地土壤碳氮磷比及相关性分析. *草业学报*, 2015, 24(3): 38–47.
- [29] Gao X S, Tian Z C, Hao X N, *et al.* The changes of alpine grassland soil nutrition at different deteriorate degree on high mountain meadow of Three River Source. *Journal of Qinghai University (Nature Science Edition)*, 2006, 24(5): 37–40.  
高旭升, 田种存, 郝学宁, 等. 三江源区高寒草原草地不同退化程度土壤养分变化. *青海大学学报(自然科学版)*, 2006, 24(5): 37–40.
- [30] Fan C H, Zhang Y C, He L, *et al.* Effect of straw incorporation on three-dimensional fluorescence spectrum of dissolved organic matter in arid loess. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, 33(7): 1820–1823.  
范春辉, 张颖超, 贺磊, 等. 秸秆还田对旱田黄土可溶性有机质三维荧光光谱的影响. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(7): 1820–1823.
- [31] Li M T, Wang J H, Zhao L P. Composition and structure of water extractable organic matter in soil with high yield maize. *Journal of Northeast Forestry University*, 2013, 41(6): 88–92.  
李明堂, 王继红, 赵兰坡. 玉米高产田土壤水溶性有机物组成和结构特征. *东北林业大学学报*, 2013, 41(6): 88–92.
- [32] Liu Z, Yang Y S, Zhu J M, *et al.* Effects of forest conversion on quantities and spectroscopic characteristics of soil dissolved organic matter in subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(19): 6288–6297.  
刘翥, 杨玉盛, 朱锦懋, 等. 中亚热带森林转换对土壤可溶性有机质数量与光谱学特征的影响. *生态学报*, 2015, 35(19): 6288–6297.
- [33] Dong Y H, Zeng Q C, Li Y Y, *et al.* The characteristics of soil active organic carbon composition under different vegetation types on the Loess Plateau. *Acta Agrestia Sinica*, 2015, 23(2): 277–284.  
董扬红, 曾全超, 李娅芸, 等. 黄土高原不同植被类型土壤活性有机碳组分分布特征. *草地学报*, 2015, 23(2): 277–284.
- [34] Biederbeck V O, Janzen H H, Campbell C A, *et al.* Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil Biology & Biochemistry*, 1994, 26(12): 1647–1656.
- [35] Zak D R, Grigal D F, Gleeson S, *et al.* Carbon and nitrogen cycling during old-field succession: Constraints on plant and microbial biomass. *Biogeochemistry*, 1990, 11(2): 111–129.
- [36] Liechty H O, Kuuseoks E, Mroz G D. Dissolved organic carbon in Northern Hardwood Stands with differing acidic inputs and temperature regimes. *Journal of Environmental Quality*, 1995, 24(5): 927–933.
- [37] Li S S, Du Y X. Study advance on dissolved organic matter in soil. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 2010, (3): 23–26.  
李少生, 杜有新. 土壤可溶性有机质研究进展. *江西林业科技*, 2010, (3): 23–26.
- [38] Yang M Y, Yang N. Comparison of soil active organic carbon components between different vegetation types on sloping land of purple soil. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(2): 380–385.  
杨满元, 杨宁. 紫色土丘陵坡地不同植被类型土壤活性有机碳组分的比较. *草地学报*, 2018, 26(2): 380–385.
- [39] Sun X Y. *Soil Science*. Beijing: China Forestry Press, 2013.  
孙向阳. *土壤学*. 北京: 中国林业出版社, 2013.