

李世龙. 青藏高原东缘玛曲沙化高寒草地土壤理化性质[J]. 中国沙漠, 2022, 42(6): 44-52.

# 青藏高原东缘玛曲沙化高寒草地土壤理化性质

李世龙

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 陕西 西安 710043)

**摘要:** 沙漠化是青藏高原东缘高寒草地退化的重要指征, 土壤理化性质是反映草地沙化过程的重要特征参数。以青藏高原东缘玛曲县为例, 分析天然草地和轻度、中度、重度、极重度沙化草地土壤粒度组成、温湿度、有机碳和养分等因子的差异特征, 旨在阐明高寒草地沙化过程中土壤理化性质的变化。结果表明: 草地土壤黏土和粉沙含量随着沙化的发展显著减小, 而沙颗粒含量(细沙和中沙)随着沙化程度的增加而增大; 5—8月生长季, 重度沙化土壤相比轻度沙化土壤温度明显升高, 土壤含水量明显降低; 随着沙化程度的增加, 土壤有机碳含量显著降低, 轻度沙化减少50%以上, 中度至极重度沙化草地减少91%—99%; 土壤全氮(TN)、碱解氮(AN)、全磷(TP)、有效磷(AP)等含量在轻度以上沙化草地中显著降低, 而全钾(TK)变化不明显, 速效钾(AK)仅在中度至极重度沙化草地中含量降低。高寒草地沙化进程中, 随着植被盖度的不断降低, 表层细颗粒物逐渐风蚀、土壤养分流失, 粗颗粒物保留下来, 土壤含水量降低, 在风的分选作用下不断堆积形成流动性沙丘。

**关键词:** 高寒草地; 沙漠化; 土壤理化性质; 玛曲

**文章编号:** 1000-694X(2022)06-044-09

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00040

**中图分类号:** S15

**文献标志码:** A

## 0 引言

高寒草地是青藏高原东缘地区最重要的生态系统, 对河流补给、气候调节和水循环具有重要的作用<sup>[1]</sup>。生态环境退化是气候变化背景下青藏高原主要环境问题。受过度放牧、鼠害和虫害等影响, 高寒草地出现严重退化, 部分草地已完全沙化<sup>[2]</sup>。草地沙化指一定生境条件下的草地植被与该生境的顶级或亚顶级植被状态的背离, 是草地生态系统严重退化的表现形式<sup>[3]</sup>。近年来, 青藏高原高寒草地沙化日趋严重, 高寒草地沙化问题已引起人们的关注和重视, 学者对青藏高原沙漠化类型、面积、分布、成因、发展趋势及防治对策与措施等方面开展了大量研究<sup>[4-10]</sup>。

甘肃省玛曲县位于黄河第一弯, 是黄河径流的主要汇集区和黄河上游至源头的重要水源涵养区<sup>[4]</sup>。自20世纪80年代以来, 玛曲县天然草地沙化呈现迅速扩展态势, 2000年后出现逆转<sup>[11]</sup>。全球气候变化背景下, 过度放牧等人类不合理的活动和鼠、虫害的泛滥是造成玛曲县土地沙漠化的主要原因<sup>[6]</sup>。土壤退化是草地沙化的一个重要指征。土壤

沙化影响着土地的生物生产力, 进而影响着生态系统的生产力<sup>[12]</sup>。在土壤沙化过程中, 大量的细颗粒物不断被吹蚀而流失, 使得土壤粗化, 孔隙度减小, 土壤的持水性下降; 与此同时, 流失的细颗粒物带走了大量的土壤养分, 土壤贫瘠化<sup>[13-14]</sup>。目前, 相比于玛曲高寒沙化草地现状、成因及时空变化等方面的研究, 高寒草地沙化过程中土壤理化性质的变化研究较少<sup>[14]</sup>。

通过实地监测和取样分析等手段, 对玛曲县黄河阶地天然草地、轻度、中度、重度和极重度沙化草地土壤颗粒物组成、土壤温湿度、土壤有机碳和养分等土壤理化性质参数进行了对比分析, 系统总结了高寒草地退化过程中, 土壤理化性质参数随沙化程度的变化规律。本研究可为高寒沙化草地治理和草地生态系统修复提供科学依据。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

玛曲县位于甘肃省西南部, 甘、青、川三省交界

收稿日期: 2022-04-06; 改回日期: 2022-04-21

资助项目: 中铁第一勘察设计院集团有限公司科研(软件)项目“西成铁路高原湿地路基绿色生态防护体系研发及应用”

作者简介: 李世龙(1984—), 男, 甘肃武威人, 工程师, 主要研究方向为铁路路基工程及生态环境效应。E-mail: slli21@163.com

处,总面积 10 109.67 km<sup>2</sup>,地理位置属青藏高原东端,境内海拔 3 300—4 806 m。黄河从南、东、北三面绕县境而过,流程 433 km,形成黄河第一弯,故称黄河首曲。

玛曲县属青藏高原大陆性季风气候类型,多年平均气温为 1.8 °C,年平均最高气温为 9.2 °C,年平均最低气温为 -4 °C;年均降水量为 593.4 mm,年均蒸发量为 1 257.9 mm。风多风大是玛曲县固有的气候特征,多年平均风速 2.5 m·s<sup>-1</sup>,最大风速 36 m·s<sup>-1</sup>,全年 8 级以上大风日数 77.1 d<sup>[14]</sup>。玛曲县冬、春季较为干燥,地面裸露以及黄河两岸流沙堆积,遇到大风天气,很容易形成沙尘暴,年沙尘暴发生的日数为 4 d<sup>[9]</sup>,集中在 2 月和 3 月。玛曲县土壤类型有高山草甸土、亚高山草甸土、草甸土、沼泽土、泥炭土、黑钙土、暗棕壤,以亚高山草甸土分布面积最大<sup>[6]</sup>。玛曲县植被主要为亚高山草甸和沼泽草地,山地周围分布有灌木林和冷杉林<sup>[9]</sup>。

## 1.2 研究方法

本研究根据全国荒漠化和沙化监测技术规定,选取玛曲黄河阶地无沙化天然草地和轻度、中度、重度、极重度沙化草地分别建立观测样方(33°56′20.96″N、102°08′35.59″E),挖取土壤剖面对不同深度土壤进行采样,经室内分析,获取天然草地和轻度沙化、中度沙化、重度沙化、极重度沙化草地土壤理化性质数据。不同沙化程度草地土壤采集深度为 0—5、5—10、10—20、20—30 cm。将所采集土壤样品自然晾干,过 2 mm 和 0.5 mm 筛子过滤掉土壤中杂质如植物根系以及其他凋落物等,测试有机碳(TOC)、全氮(TN)、碱解氮(AN)、全磷(TP)、有效磷(AP)、全钾(AP)、有效钾(AK)等含量。土壤 TOC 含量采用重铬酸钾-浓硫酸消煮法进行测定;土壤 TN 含量采用凯氏定氮法进行测定;土壤碱解氮含量采用碱解扩散法进行测定;土壤 TP 和 AP 含量采用紫外光度计比色法进行测定;土壤 AP 含量采用碱熔-火焰光度计法进行测定;土壤 AK 含量采用火焰光度计法进行测定。土壤粒度组成利用马尔文激光粒度仪(Model 2000, Malvern Instruments, Malvern, 英国)进行测试。

沙化草地土壤温湿度特征,利用 HOBO-U30 土壤水分和温度传感器监测,分析沙化高寒草地土壤温湿度变化特征,温湿度探头布设深度为 5、10、20、50 cm,仪器布设位置与取样所在区域一致。对轻

度沙化草地和重度沙化草地土壤温湿度进行了同步监测,监测时间为 2018 年 6 月至 2019 年 5 月,数据采集间隔为 10 min。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同沙化程度高寒草地土壤物理性质

#### 2.1.1 土壤颗粒组成

随着沙化程度的增加,细颗粒组分粉沙和黏土含量显著降低,而粗颗粒组分如细沙含量显著增加,而中沙在重度沙化和极重度沙化土壤中含量显著增大(图 1)。以 0—5 cm 表层土壤为例,天然高寒草地粉沙和黏土百分含量分别为 63.10% 和 8.02%,到极重度沙化草地,两者含量分别减少到 6.01% 和 1.47%,分别减少了 90.48% 和 81.67%;而天然高寒草地中沙和细沙百分含量分别为 5.32% 和 10.96%,到极重度沙化草地,两者含量分别增加到 16.85% 和 69.34%,分别增加了 2.2 倍和 5.3 倍。

这主要是由于土壤沙化后,表层细颗粒物很容易经风蚀或水蚀而流失<sup>[15]</sup>,细颗粒物质不断流失后,粗颗粒物质被保留下来并不断堆积,导致土壤进一步沙化,随着沙化程度的增加,颗粒较粗的沙粒比例增加,在风的分选作用下,不断积累形成流动性沙丘。

#### 2.1.2 土壤温湿度

在 0—50 cm 土壤深度范围内,轻度沙化和重度沙化草地土壤温度均随土壤深度的增加而降低,且土壤温度日变化总体上呈现波状曲线变化的特征,白天温度高、夜间温度低(图 2),这与太阳辐射日变化一致。监测时段内重度沙化草地相比轻度沙化草地,0—10 cm 土壤温度波峰值更大,而土壤温度波谷值更小;即沙化程度越严重,植被覆盖度降低导致白天土壤表层升温快,而夜间降温也快。在 5 cm 深度,重度沙化草地白天和夜间最大土壤温差为 19.0 °C,而轻度沙化最大温差为 11.0 °C;10 cm 深度重度沙化草地白天和夜间最大土壤温差为 13.4 °C,而轻度沙化草地最大温差为 7.6 °C。在 20 cm 深度,重度沙化草地相比轻度沙化草地白天土壤升温快,峰值更大,但夜晚土壤温度波谷值相差不大。50 cm 深度土壤相比 0—20 cm 深度受太阳辐射影响程度显著降低,温度日变化波幅显著减小,重度沙化土壤比轻度沙化土壤温度高,差值

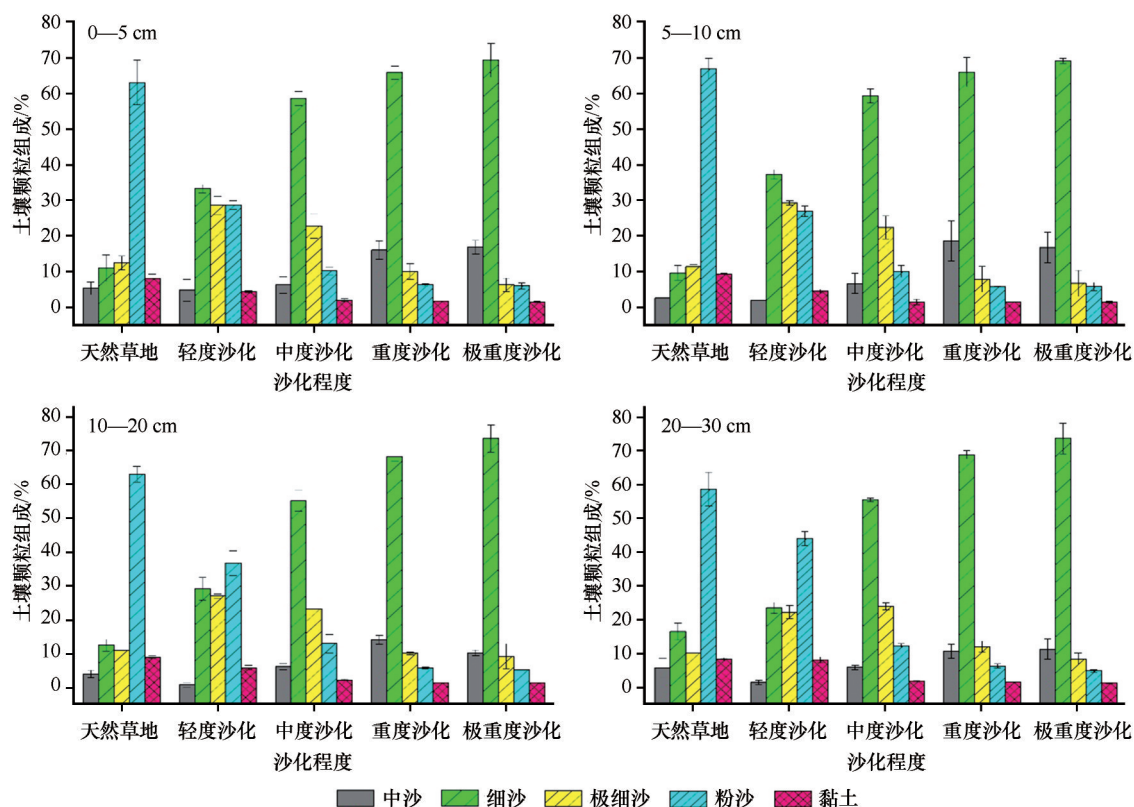


图1 高寒草地不同深度土壤颗粒组成随沙化程度的变化

Fig.1 Variation of soil particle composition at different depths of grassland with the desertification degree

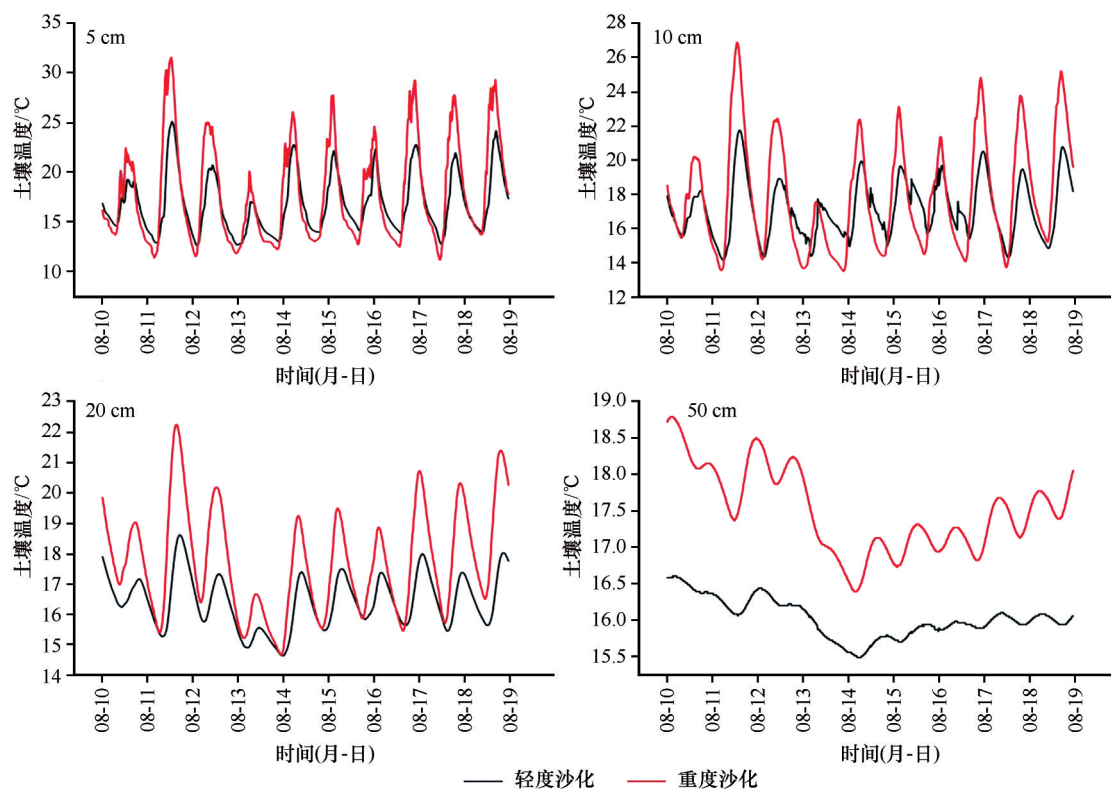


图2 2018年8月10日至19日轻度和重度沙化草地土壤温度日变化

Fig.2 Diurnal changes of soil temperature in light and severe desertification grassland from August 10 to 19, 2018



0.9—2.2 °C(图2)。

草地沙化对月均土壤温度的影响主要表现在生长季,5—8月生长季重度沙化土壤相比轻度沙化土壤温度明显升高(图3)。5月,轻度沙化土壤5—50 cm月均温度7.9—9.8 °C,重度沙化土壤月均温度10.9—11.7 °C,重度沙化相比轻度沙化5、10、20、50 cm土壤温度分别增加2.3、1.9、2.7、3.0 °C;6月,轻度沙化土壤5—50 cm月均温度11.0—12.7 °C,重度沙化月均土壤温度12.9—14.2 °C,重度沙化相比轻度沙化5、10、20、50 cm土壤温度分别增加1.5、

1.7、1.7、1.9 °C;7月,轻度沙化土壤5—50 cm月均温度14.9—17.3 °C,重度沙化土壤月均温度16.9—18.9 °C,重度沙化相比轻度沙化5、10、20、50 cm土壤温度分别增加1.6、1.8、1.9、1.9 °C;8月,轻度沙化土壤5—50 cm月均温度16.1—17.2 °C,重度沙化土壤月均温度17.7—18.1 °C,重度沙化相比轻度沙化5、10、20、50 cm土壤温度分别增加1.0、0.9、1.4、1.6 °C。因此,轻度沙化和重度沙化土壤月均温度最大差值出现在5月,月均温度最小差值出现在8月,6月和7月介于5月和8月,且两者相差不大。

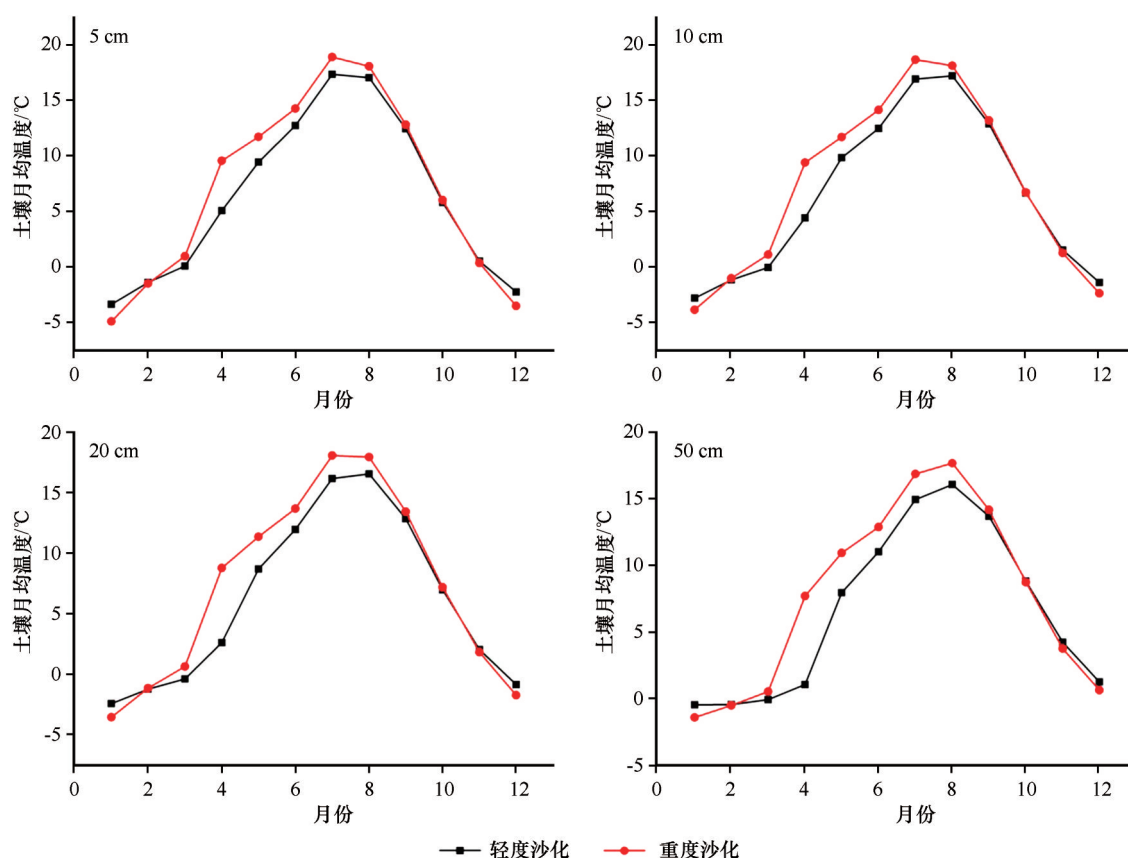


图3 不同深度土壤月均温度随月份变化

Fig.3 Monthly mean soil temperature at different depths changes with each month

而从土壤含水量月均值可以看出,沙化程度对其影响非常明显,轻度沙化相比重度沙化土壤含水量明显升高(图4)。轻度沙化土壤含水量随着土壤深度的增加而增大,而重度沙化土壤5—20 cm含水量较大。具体分析生长季,5月,轻度沙化土壤5—50 cm月均含水量14.1%—28.1%,重度沙化土壤月均含水量6.5%—9.7%,重度沙化相比轻度沙化5、10、20、50 cm土壤含水量分别减少4.9、12.0、16.8、21.7个百分点;而6月与5月土壤含水量相差不大;7

月,轻度沙化土壤5—50 cm月均含水量12.9%—29.2%,重度沙化土壤月均含水量5.5%—9.4%,重度沙化相比轻度沙化5、10、20、50 cm土壤含水量分别减少5.4、13.4、19.8、23.8个百分点;8月与7月土壤含水量相差不大。因此,随着沙化程度的增加,土壤含水量显著降低,主要原因是土壤沙化后植被盖度降低,土壤容重增大,孔隙度减小<sup>[16]</sup>,土壤结构逐渐恶化,透气性、透水性和保水性下降,土壤含水量和持水量明显降低。

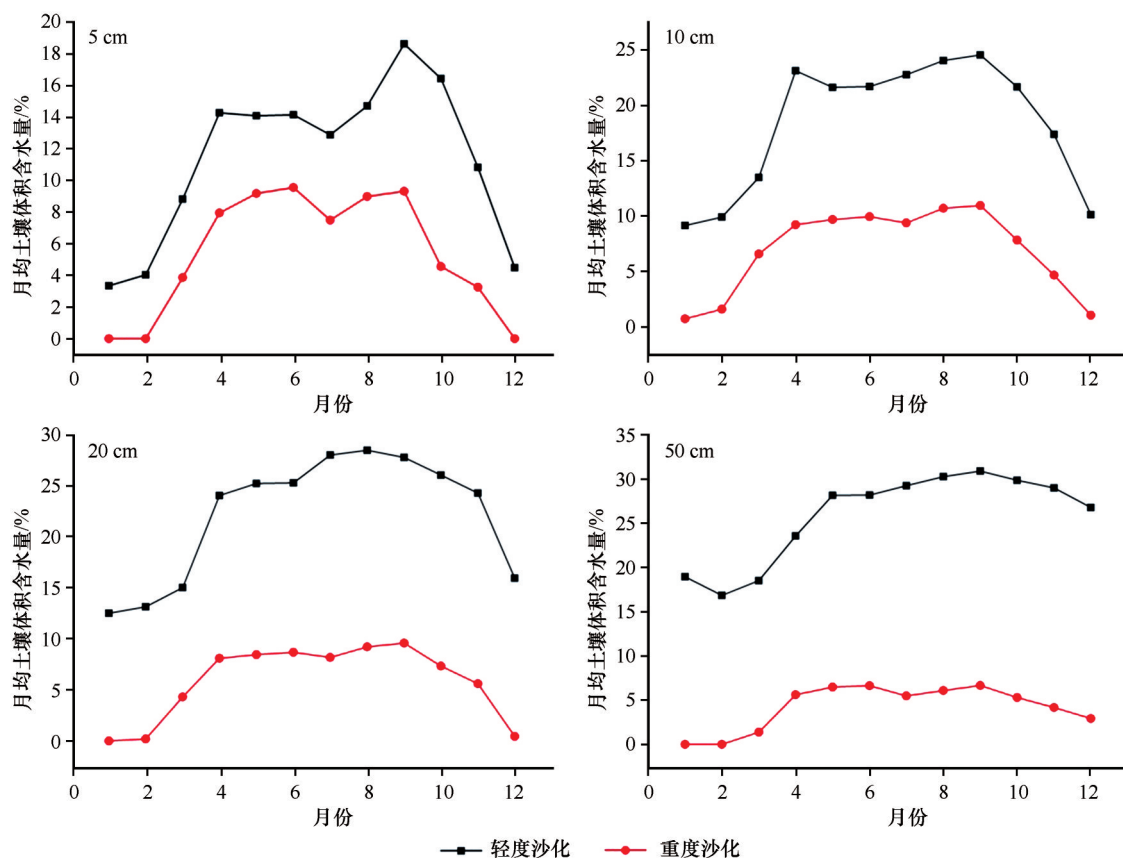


图4 不同深度沙化草地土壤月均含水量逐月变化

Fig.4 Monthly mean soil moisture content of grassland at different depths changes with each month

## 2.2 不同沙化程度高寒草地土壤有机碳及养分含量

### 2.2.1 土壤有机碳

土壤有机碳(SOC)是土壤肥力的主要表征。草地沙化导致0—30 cm深度土壤SOC含量大幅减少(图5)。具体来说,天然草地0—5、5—10、10—20、20—30 cm土壤SOC含量分别为174.55、135.11、

81.91、53.91  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,而轻度沙化草地土壤SOC含量分别为22.52、18.71、24.44、26.75  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,分别减少87.10%、86.15%、70.16%、50.38%;中度沙化草地土壤SOC含量分别为7.07、7.59、4.49、4.66  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,相比天然草地分别减少95.95%、94.38%、94.52%、91.36%;重度沙化草地SOC含量分别为1.88、1.69、1.58、1.45  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,相比天然草地分别减少98.92%、98.75%、98.07%、97.31%;而极重度沙化草地土壤SOC含量分别为1.48、1.58、1.37、1.82  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,相比天然草地分别减少99.15%、98.83%、98.33%、96.62%。可见,轻度沙化相比天然草地,特别在0—10 cm,大部分土壤SOC已被侵蚀,而中度沙化、重度沙化和极重度沙化土壤有机碳基本侵蚀殆尽。天然草地和不同程度沙化草地在0—30 cm深度均存在显著差异( $P < 0.05$ );轻度沙化草地和中度、重度和极重度沙化草地在0—10 cm深度不存在显著差异,而在10—30 cm深度存在显著差异( $P < 0.05$ );而中度、重度和极重度沙化草地在0—30 cm土壤SOC均不存在显著性差异( $P > 0.05$ ),表明中度以上沙化后高寒草地土壤SOC风蚀殆尽。以上结果表明,高寒草地出

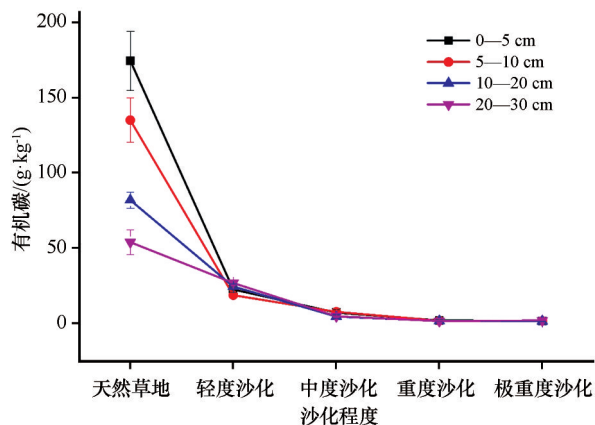


图5 高寒草地不同深度土壤有机碳含量随沙化程度的变化  
Fig.5 Variation of the soil organic carbon of alpine grassland at different depth with the degree of desertification

现轻度沙化时,0—30 cm 土壤 SOC 含量相比天然草地显著降低,与天然高寒草地土壤 SOC 含量存在显著性差异,而中度、重度和极重度沙化草地 0—30 cm 土壤 SOC 风蚀殆尽,土壤 SOC 均不存在显著性差异。

沙化对高寒草地土壤有机碳含量有显著影响,随着沙化程度的增加,土壤有机碳含量显著降低,这与以往研究<sup>[13,17-18]</sup>结果一致。沙化导致植被盖度降低以及土壤质地的退化是土壤碳流失的主要原因。土壤表层的碳积累主要来源于植物地上生物量和根系生物量的碳输入<sup>[19]</sup>,而沙化过程中,植被覆盖度和生物量降低,植物向土壤中输入的碳随之减少,最终导致土壤有机碳减少;另一方面,植物盖度降低后,土壤风蚀带走大量细颗粒,细颗粒的减少削弱了土壤中碳的保持能力,从而加速了土壤碳的损失。

### 2.2.2 土壤养分

除全钾外,草地沙化导致 0—30 cm 土层土壤养分显著减少,但具体减少程度呈现出差异性(表 1)。天然草地 0—30 cm 土壤全氮含量为  $8.17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,而轻度沙化草地土壤全氮含量为  $1.99 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,减少 75.64%,并与无沙化草地全氮含量存在显著差异( $P < 0.05$ ),相应地中度沙化、重度沙化和极重度沙化草地土壤全氮含量分别为  $0.47$ 、 $0.21$ 、 $0.18 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,相比天然草地分别减少 94.24%、97.42%、97.79%,轻度沙化与中度、重度和极重度沙化间土壤全氮也存在显著性差异( $P < 0.05$ )。可见,轻度沙化相比天然草地,土壤全氮已大部分侵蚀,而中度沙化及以上沙化草地土壤全氮基本侵蚀殆尽。0—30 cm 土壤碱解氮随沙化程度的变化规律与土壤全氮的变化规律相同。

0—30 cm 无沙化天然草地土壤全磷含量为  $0.95 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,而轻度沙化草地土壤全磷含量为  $0.61 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,减少 35.79%,与天然草地土壤全磷含量存在显著差异( $P < 0.05$ );而中度、重度和极重度沙化草地土壤全磷含量分别为  $0.47$ 、 $0.45$ 、 $0.42 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,相比天然草地减少 50.53%、52.63%、55.79%,而中度、重度和极重度沙化草地土壤全磷含量不存在显著差异( $P > 0.05$ )。0—30 cm 土壤有效磷随沙化程度的变化规律与土壤全磷的变化规律相同。

与其他土壤养分参数相比,0—30 cm 土壤全钾在天然草地和各阶段沙化草地差异不显著( $P > 0.05$ ),天然草地土壤全钾含量为  $22.92 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,而轻

度、中度、重度和极重度沙化草地土壤全钾含量为 21.29、23.58、23.44、 $22.88 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。而 0—30 cm 有效钾在轻度沙化草地和天然草地差异不显著( $P > 0.05$ ),而在中度、重度和极重度沙化草地土壤含量与天然草地存在显著差异( $P < 0.05$ )。

研究表明,高寒草地沙化进程中,土壤氮、磷含量明显降低,钾含量变化不明显<sup>[20]</sup>,这与本文研究结果一致。沙化土壤养分含量的减小与细颗粒物(黏粒和粉粒)的流失密切相关<sup>[15,21-22]</sup>。黏土和粉沙相比沙粒具有更高的土壤持水性以及土壤养分携带能力<sup>[23]</sup>。草地沙化过程中,草地植被覆盖度持续性减小,土壤养分不断流失,不利于植被的生长和生物量的积累。另外,随着草地地上生物量的减小,可供微生物分解的凋落物减少,导致进入土壤中的有机质含量降低,土壤养分含量也随之减少。

## 3 讨论

高寒草地沙化后土壤级配粗化,土壤含水量、有机碳和养分显著降低。土地沙漠化主要由气候变化和人类活动造成,干旱、多风、沙物质丰富等环境条件是一个地区出现沙漠化过程的基础<sup>[24]</sup>。玛曲土地沙漠化是自然与人为因素共同作用的结果,以过度放牧为主导因素<sup>[6,25]</sup>。随着全球气候变化,升温成为玛曲县高寒草地沙化的主要气候因素:温度升高导致地表蒸发、冻土退化,改变了地表水循环,造成草场退化<sup>[25]</sup>。同时,长期过度放牧造成草地植被覆盖度降低,群落构成发生明显变化,杂毒草所占比例增加,优良牧草产量下降<sup>[3]</sup>。植被逐渐退化导致地表裸露面积增大,为风蚀提供有利条件。草地沙化进程中,随着植被盖度不断降低,在风蚀作用下,表层细颗粒物,如黏土和粉沙逐渐风蚀夹带,土壤养分随着细颗粒物的风蚀而流失,而粗颗粒物保留下来并不断堆积,土壤逐渐粗化,随着沙化程度的进一步发展最终形成流动性沙丘。

为有效治理沙化草地,建议采用围封、禁牧等措施对轻度沙化草地进行沙化防治,而对重度沙化草地可通过围封并补播草本植物进行沙化治理,必要时可采用草方格或植物纤维固沙障等固沙措施对裸露沙化地表进行固定,促进高寒沙化草地植被恢复,达到修复高寒草地生态系统的目的。

## 4 结论

高寒草地沙化后,在土壤颗粒组成上表现为黏

表 1 不同沙化程度高寒草地 0—30 cm 土壤养分含量( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )变化Table 1 Variation of soil nutrient contents ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) in 0—30 cm with the desertification degree of alpine grassland

土壤养分	土壤深度/cm	天然草地	轻度沙化	中度沙化	重度沙化	极重度沙化
全氮	0—5	12.80±1.14 <sup>a</sup>	1.84±0.05 <sup>b</sup>	0.37±0.04 <sup>b</sup>	0.21±0.01 <sup>b</sup>	0.18±0.01 <sup>b</sup>
	5—10	9.96±0.87 <sup>a</sup>	1.54±0.02 <sup>b</sup>	0.50±0.10 <sup>b</sup> <sup>c</sup>	0.21±0.03 <sup>c</sup>	0.19±0.02 <sup>c</sup>
	10—20	6.39±0.34 <sup>a</sup>	2.13±0.16 <sup>b</sup>	0.51±0.11 <sup>c</sup>	0.19±0.01 <sup>c</sup>	0.18±0.02 <sup>c</sup>
	20—30	3.54±0.39 <sup>a</sup>	2.45±0.10 <sup>b</sup>	0.51±0.02 <sup>c</sup>	0.22±0.01 <sup>c</sup>	0.15±0.01 <sup>c</sup>
	平均值	8.17±0.69 <sup>a</sup>	1.99±0.08 <sup>b</sup>	0.47±0.10 <sup>c</sup>	0.21±0.02 <sup>c</sup>	0.18±0.02 <sup>c</sup>
碱解氮	0—5	1.40±0.04 <sup>a</sup>	0.27±0.005 <sup>b</sup>	0.061±0.023 <sup>c</sup>	0.014±0.001 <sup>c</sup>	0.011±0.008 <sup>c</sup>
	5—10	1.18±0.08 <sup>a</sup>	0.18±0.007 <sup>b</sup>	0.070±0.019 <sup>bc</sup>	0.023±0.004 <sup>c</sup>	0.010±0.004 <sup>c</sup>
	10—20	0.85±0.19 <sup>a</sup>	0.23±0.003 <sup>b</sup>	0.061±0.018 <sup>c</sup>	0.012±0.001 <sup>b</sup>	0.008±0.002 <sup>c</sup>
	20—30	0.32±0.04 <sup>a</sup>	0.24±0.006 <sup>b</sup>	0.070±0.027 <sup>c</sup>	0.013±0.003 <sup>c</sup>	0.006±0.003 <sup>c</sup>
	平均值	0.94±0.09 <sup>a</sup>	0.23±0.005 <sup>b</sup>	0.066±0.022 <sup>c</sup>	0.016±0.002 <sup>c</sup>	0.009±0.004 <sup>c</sup>
全磷	0—5	1.08±0.10 <sup>a</sup>	0.70±0.02 <sup>b</sup>	0.46±0.05 <sup>c</sup>	0.46±0.04 <sup>c</sup>	0.40±0.03 <sup>c</sup>
	5—10	1.25±0.04 <sup>a</sup>	0.64±0.09 <sup>b</sup>	0.47±0.04 <sup>c</sup>	0.44±0.01 <sup>c</sup>	0.40±0.02 <sup>c</sup>
	10—20	0.72±0.36 <sup>a</sup>	0.55±0.07 <sup>a</sup>	0.48±0.03 <sup>a</sup>	0.43±0.05 <sup>a</sup>	0.43±0.04 <sup>a</sup>
	20—30	0.75±0.05 <sup>a</sup>	0.56±0.05 <sup>b</sup>	0.48±0.04 <sup>b</sup>	0.45±0.01 <sup>b</sup>	0.43±0.04 <sup>b</sup>
	平均值	0.95±0.14 <sup>a</sup>	0.61±0.06 <sup>b</sup>	0.47±0.04 <sup>b</sup>	0.45±0.02 <sup>b</sup>	0.42±0.04 <sup>b</sup>
有效磷	0—5	0.025±0.009 <sup>a</sup>	0.012±0.0005 <sup>b</sup>	0.006±0.0009 <sup>b</sup>	0.004±0.0005 <sup>b</sup>	0.003±0.0007 <sup>b</sup>
	5—10	0.007±0.0006 <sup>a</sup>	0.004±0.0001 <sup>b</sup>	0.004±0.0004 <sup>b</sup>	0.003±0.0003 <sup>b</sup>	0.003±0.0008 <sup>b</sup>
	10—20	0.004±0.00008 <sup>a</sup>	0.004±0.0001 <sup>a</sup>	0.003±0.0003 <sup>a</sup>	0.003±0.001 <sup>a</sup>	0.003±0.001 <sup>a</sup>
	20—30	0.003±0.0002 <sup>b</sup>	0.004±0.0002 <sup>ab</sup>	0.005±0.001 <sup>a</sup>	0.003±0.0006 <sup>b</sup>	0.003±0.001 <sup>b</sup>
	平均值	0.01±0.0025 <sup>a</sup>	0.006±0.0002 <sup>b</sup>	0.005±0.0007 <sup>b</sup>	0.003±0.0004 <sup>b</sup>	0.003±0.0009 <sup>b</sup>
全钾	0—5	20.43±1.44 <sup>c</sup>	25.20±0.23 <sup>a</sup>	24.00±0 <sup>ab</sup>	24.03±0.12 <sup>ab</sup>	22.70±0.95 <sup>b</sup>
	5—10	23.73±0.64 <sup>a</sup>	17.13±2.61 <sup>b</sup>	24.05±0.57 <sup>a</sup>	23.37±0.22 <sup>a</sup>	23.39±0.38 <sup>a</sup>
	10—20	23.20±0.61 <sup>a</sup>	20.90±1.56 <sup>a</sup>	22.72±1.88 <sup>a</sup>	22.87±0.38 <sup>a</sup>	22.44±0.44 <sup>a</sup>
	20—30	24.30±0.23 <sup>a</sup>	21.93±1.59 <sup>a</sup>	23.54±1.94 <sup>a</sup>	23.47±0.44 <sup>a</sup>	22.97±0.13 <sup>a</sup>
	平均值	22.92±0.73 <sup>a</sup>	21.29±1.50 <sup>a</sup>	23.58±1.10 <sup>a</sup>	23.44±0.29 <sup>a</sup>	22.88±0.48 <sup>a</sup>
有效钾	0—5	0.26±0.02 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>b</sup>	0.07±0.004 <sup>c</sup>	0.05±0.003 <sup>cd</sup>	0.04±0.005 <sup>d</sup>
	5—10	0.10±0.002 <sup>a</sup>	0.10±0.003 <sup>a</sup>	0.07±0.005 <sup>b</sup>	0.05±0.007 <sup>c</sup>	0.04±0.002 <sup>c</sup>
	10—20	0.07±0.003 <sup>ab</sup>	0.08±0.006 <sup>a</sup>	0.06±0.008 <sup>b</sup>	0.04±0.006 <sup>c</sup>	0.04±0.002 <sup>c</sup>
	20—30	0.05±0.004 <sup>b</sup>	0.07±0.004 <sup>a</sup>	0.05±0.006 <sup>b</sup>	0.04±0.003 <sup>c</sup>	0.04±0.004 <sup>c</sup>
	平均值	0.12±0.007 <sup>a</sup>	0.11±0.006 <sup>a</sup>	0.06±0.006 <sup>b</sup>	0.05±0.005 <sup>b</sup>	0.04±0.003 <sup>b</sup>

不同小写字母表示不同沙化程度土壤养分含量差异显著( $P<0.05$ )。

土和粉沙含量随着沙化的发展显著减少,而细沙和中沙含量随着沙化程度的增加而增大。

在 5—8 月生长季,重度沙化草地白天土壤温度相比轻度沙化草地明显升高,土壤含水量明显降低。

沙化对高寒草地土壤有机碳含量有显著影响,随着沙化程度的增加,土壤有机碳含量显著降低;相比天然高寒草地,0—30 cm 土壤 SOC 轻度沙化时

减少 50%—87%,中度沙化减少 91%—96%,重度和极重度沙化减少 97%—99%。

土壤全氮(TN)、碱解氮(AN)、全磷(TP)、有效磷(AP)等在轻度沙化草地含量中显著降低,而全钾(TK)变化不明显,速效钾(AK)仅在中度及以上沙化草地中含量降低。

草地沙化进程中,随着植被盖度不断降低,土



壤养分随着细颗粒物的风蚀而流失,而粗颗粒物质保留下来并不断堆积,土壤逐渐粗化,蒸发增强,土壤含水量降低。

#### 参考文献:

- [1] 王庆辉, 窦学诚, 龚大鑫. 高寒牧区草地沙化问题研究: 以玛曲草原为例[J]. 干旱区地理, 2012, 35(2): 302-308.
- [2] 陈秋捷, 张楠楠, 仲波, 等. 若尔盖高寒草地退化沙化过程中土壤养分与团聚体结构的变化特征[J]. 生态科学, 2019, 38(4): 13-20.
- [3] 张有佳, 李昌龙, 金红喜, 等. 甘肃玛曲高寒草原沙化草地植物多样性研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(18): 7929-7932.
- [4] 王辉, 任继周, 袁宏波. 黄河源区天然草地沙化机理分析研究[J]. 草业学报, 2006(6): 19-25.
- [5] Dong Z B, Hu G Y, Yan C Z, et al. Aeolian desertification and its causes in the Zoige Plateau of China's Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Environmental Earth Sciences, 2010, 59(8): 1731-1740.
- [6] 逯军峰, 董治宝, 胡光印, 等. 甘肃省玛曲县土地沙漠化发展及其成因分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 604-609.
- [7] Hu G Y, Jin H J, Dong Z B, et al. Driving forces of aeolian desertification in the source region of the Yellow River: 1975-2005 [J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 70(7): 3245-3254.
- [8] Hu G Y, Dong Z B, Lu J F, et al. The developmental trend and influencing factors of aeolian desertification in the Zoige Basin, eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. Aeolian Research, 2015, 19: 275-281.
- [9] 张余, 张克存, 孟宪红, 等. 高寒草地沙化过程的气候因子分析[J]. 高原气象, 2019, 38(1): 187-195.
- [10] 安志山, 史博源, 谭立海, 等. 玛曲高寒草甸风沙环境与沙化类型研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 1058-1064.
- [11] 胡光印, 董治宝, 逯军峰, 等. 黄河源区 1975-2005 年沙漠化时空演变及其成因分析[J]. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1079-1086.
- [12] Le Houérou, Henry N. Climate change, drought and desertification [J]. Journal of Arid Environments, 1996, 34(2): 133-185.
- [13] Lu J, Dong Z, Li W, et al. The effect of desertification on carbon and nitrogen status in the northeastern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 71(2): 807-815.
- [14] 安富博, 李银科, 纪永福, 等. 黄河首曲高寒草甸的土壤特征及其对沙化的响应[J]. 中国水土保持, 2014(12): 48-51.
- [15] Wang X M, Lang L L, Hua T, et al. Effects of aeolian processes on soil nutrient loss in the Gonghe Basin, Qinghai-Tibet Plateau: an experimental study [J]. Journal of Soils and Sediments, 2018, 18(1): 229-238.
- [16] 万婷, 涂卫国, 席欢, 等. 川西北不同程度沙化草地植被和土壤特征研究[J]. 草地学报, 2013, 21(4): 650-657.
- [17] Zuo X, Zhao X, Zhao H, et al. Spatial heterogeneity of soil properties and vegetation-soil relationships following vegetation restoration of mobile dunes in Horqin Sandy Land, Northern China [J]. Plant and Soil, 2009, 318(1): 153-167.
- [18] Allington G R H, Valone T J. Reversal of desertification: the role of physical and chemical soil properties [J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74(8): 973-977.
- [19] 蔡晓布, 彭岳林, 魏素珍, 等. 高寒草原土壤有机碳与腐殖质碳变化及其微生物效应[J]. 土壤学报, 2014, 51(4): 834-844.
- [20] 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.
- [21] Jin Z, Dong Y S, Qi Y C, et al. Characterizing variations in soil particle-size distribution along a grass-desert shrub transition in the ordos plateau of Inner Mongolia, China [J]. Land Degradation & Development, 2013, 24(2): 141-146.
- [22] Su Y Z, Zhao H L, Zhao W Z, et al. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification [J]. Geoderma, 2004, 122(1): 43-49.
- [23] Liu X, Zhang G C, Heathman G C, et al. Fractal features of soil particle-size distribution as affected by plant communities in the forested region of Mountain Yimeng, China [J]. Geoderma, 2009, 154(1/2): 123-130.
- [24] 王涛. 中国沙漠与沙漠化 [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2003.
- [25] 胡光印, 董治宝, 王文丽, 等. 近 30 a 玛曲县土地利用/覆盖变化监测[J]. 中国沙漠, 2009, 29(3): 457-462.



## Soil physicochemical properties of alpine grasslands under different desertification degrees in Maqu, Gansu, China

Li Shilong

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

**Abstract:** Desertification is one of the important indicators of alpine grassland degradation in the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau, and soil physical and chemical properties are important characteristic parameters reflecting grassland desertification process. Taking Maqu County in the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau as an example, the differences of soil grain size, temperature and humidity, organic carbon and nutrients in natural, light desertification, moderate desertification, severe desertification, and very severe desertification grasslands were compared and analyzed in order to clarify the change process of soil physical and chemical properties during the desertification process of alpine grassland. The results showed that the contents of clay and silt decreased significantly with the development of desertification, while the contents of sand increased with the increase of desertification. During the growing season from May to August, the temperature of severe desertification soil was significantly higher than that of light desertification soil, and the soil water content was significantly lower. With the increase of desertification degree, the soil organic carbon content decreased significantly, the light desertification decreased by more than 50%, and moderate to very severe desertification decreased by 91%–99%. The contents of soil total nitrogen (TN), alkali-hydrolyzable nitrogen (AN), total phosphorus (TP) and available phosphorus (AP) decreased significantly in light and over light desertification grasslands, while total potassium (TK) did not change significantly, and available potassium (AK) decreased only in moderate to very severe desertification grassland. The results indicate that in the process of alpine grassland desertification, with the continuous decrease of vegetation coverage, the surface fine particles are gradually eroded by wind, resulting in the loss of soil nutrient, while coarse particles retain, and soil water content decreases; under the action of wind sorting, continuous accumulation of sand particles forms mobile dunes. The results can provide theoretical basis for alpine desertification grassland management and grassland ecosystem restoration.

**Key words:** alpine grassland; desertification; soil physicochemical properties; Maqu