

# 荒漠草原沙漠化对土壤物理和化学特性的影响<sup>①</sup>

阎欣, 安慧\*, 刘任涛

(宁夏大学西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地/西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021)

**摘要:**以宁夏中北部荒漠草原不同沙漠化阶段(荒漠草地、固定沙地、半固定沙地、流动沙地)草地土壤为研究对象,研究不同沙漠化阶段土壤容重、孔隙度、土壤有机碳、全氮含量、碳密度、氮密度、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变异规律,分析荒漠草原沙漠化对土壤物理和化学性质的影响。结果表明:固定沙地、半固定沙地和流动沙地0~30 cm土层土壤容重较荒漠草地分别升高了0.3%、2.9%和2.4%。土壤孔隙度随草地沙漠化加重整体表现为线性递减趋势。同一沙漠化阶段,随着土层深度的增加,土壤容重表现出先降低后升高趋势,而土壤孔隙度表现出相反的变化。随着荒漠草原沙漠化程度加剧, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、土壤有机碳、全氮含量和碳氮密度均呈线性下降趋势。与荒漠草地相比,流动沙地0~30 cm土层土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、土壤有机碳、全氮含量和碳氮密度分别降低了27.4%、31.8%、44.8%、56.7%、43.5%和55.7%。荒漠草原沙漠化破坏了土壤物理和化学性状。

**关键词:**土壤;理化特性;沙漠化;荒漠草原

**中图分类号:**S153.6 **文献标识码:**A

土壤与大气圈、水圈、岩石圈和生物圈的变化联系紧密,是陆地生态系统中最大的养分储存体<sup>[1-2]</sup>。自然因素和人为干扰是驱动土壤物理和化学特性改变的主要动力。典型草原至荒漠草原土壤碳、氮含量因水分、温度等自然条件不同表现出下降趋势<sup>[3]</sup>;不同人为干扰形式下对典型草原土壤碳密度和储量影响不同<sup>[4]</sup>;高寒草甸、宁夏中北部荒漠草原土壤化学性质(有机碳、土壤全氮含量等)和土壤物理特性(土壤容重、土壤孔隙度等)对放牧强度的响应程度不同<sup>[5-6]</sup>;自然和人为因素联合造成草地退化过程中对土壤物理、化学性质具有相对一致的影响,如随草地退化程度的加重,土壤含水量、土壤各种营养元素含量下降,土壤容重、砂粒含量升高<sup>[7-9]</sup>。自然因素和人为因素对草地生态系统的影响究其原因主要通过改变土壤的物理结构(如土壤紧实度、孔隙度等),通过影响植物和其他有机物质的输入和有机物质周转造成的损失等影响草地生态系统营养物质的循环,进而影响草地土壤化学特性,而草地土壤物理和化学特性具有一定的交互作用<sup>[10]</sup>。

干旱、半干旱地区荒漠草原本身是一种不稳定的生态系统,随着全球气候变化和放牧等人为扰动加

剧,草地土壤粗化、贫瘠化和草地潜在生产力降低等现象日益严重,草地表现出不同程度的退化。宁夏中北部96.9%的草地出现退化和沙漠化,其中沙漠化草地面积占可利用草地面积的33%<sup>[11]</sup>。沙漠化对草地生态系统土壤物理和化学特性的影响引起国内外学者广泛关注<sup>[12-13]</sup>。近年来许多学者对高寒草甸<sup>[14]</sup>和典型草原<sup>[3-4]</sup>退化过程中土壤物理和化学特征的研究较多,但对荒漠草原沙漠化过程中土壤物理和化学特性的研究较少。因此,本研究以宁夏中北部荒漠草原不同沙漠化阶段的土壤为研究对象,采用空间序列代替时间序列的研究方法,分析土壤物理和化学特性的变异规律及两者间的相互关系,探讨草地沙漠化对土壤特性的影响机理,以为荒漠草原生态系统的恢复提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

本研究在宁夏回族自治区盐池县花马池镇皖记沟村(37°49'N, 107°27'E)进行。该区位于宁夏回族自治区东部,是温带典型草原向荒漠草原过渡区,海拔1411~1435 m。气候属于典型中温带大陆性气候,

基金项目:宁夏自然科学基金项目(NZ17004)和宁夏回族自治区西部一流学科项目(NXYLXK2017B06)资助。

\* 通讯作者(anhui08@163.com)

作者简介:阎欣(1992—),女,山西临汾人,硕士,主要从事植物生态学研究。E-mail: yanxinyx92@163.com

年平均气温 8.2 °C，四季温差大，春秋季节短，夏季干热，冬季寒冷漫长，7 月(平均气温 22.4 °C)和 1 月(平均气温 -8.7 °C)是该区最热月和最冷月， $\geq 10$  °C 年积温为 2 751.7 °C， $\geq 0$  °C 年积温为 3 430.3 °C。年均降水量为 289 mm，60% 以上降雨集中于 7—9 月，潜在多年蒸发量 2 710 mm，年际变幅大。年无霜期 165 d。年平均风速 2.8 m/s，冬春风沙天气较多，每年 17 m/s 以上的大风日数为 24.2 d。

研究区土壤类型以地带性的灰钙土和淡灰钙土为主，土壤质地多为沙壤、粉砂壤和沙土，土壤偏碱性。土壤肥力较差，植被多以旱生和中旱生为主，主要有：苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、中亚白草(*Pennisetum centrasiaticum*)、牛枝子(*Lespedeza potaninii*)、赖草(*Leymus secalinus*)、虫实(*Corispermum hyssopifolium*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、阿尔泰狗娃花(*Aster altaicus*)等。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 试验设计 根据地上植被群落特征及盖度

的一系列变化过程可推断草地沙漠化过程总体上表现为荒漠草地-固定沙地-半固定沙地-半流动沙地-流动沙地动态演化序列<sup>[15]</sup>。研究区在空间上镶嵌分布着不同沙漠化阶段草地，因此，根据地表风沙情况和植被盖度<sup>[16]</sup>(表 1)，采用空间序列代替时间演替的方法，在研究区选择不同沙漠化阶段的荒漠草地(G)、固定沙地(FD)、半固定沙地(SFD)、流动沙地(MD)作为试验样地。以荒漠草地作为对照，每个样地中设置 3 个 50 m × 50 m 的重复取样区，每个取样区间地形与环境条件基本一致。在每个取样区内随机设置 3 个 1 m × 1 m 的小样方，每个样方内按 0~10、10~20、20~30 cm 的层次，用直径 9 cm 的土钻采集土壤样品，每个样方内 5 钻土壤混合均匀装入土壤袋，放置在盛有冰袋的冷藏箱中低温保存，带回实验室后过 2 mm 土壤筛并去除枯枝落叶和肉眼可见根等杂物，-4 °C 保存，用于测定土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量。取一部分土样自然风干，用于测定土壤有机碳和全氮含量。

表 1 草地沙漠化分级指数  
Table 1 Grading index of desertification of desert grassland

沙漠化阶段	植被盖度(%)	地表景观特征(%)	优势种
荒漠草地	70~80	流沙面积<5	牛枝子( <i>Lespedeza potaninii</i> )、猪毛蒿( <i>Artemisia scoparia</i> )、中亚白草( <i>Pennisetum centrasiaticum</i> )
固定沙地	60~70	流沙面积 5~20	中亚白草( <i>Pennisetum centrasiaticum</i> )、苦豆子( <i>Sophora alopecuroides</i> )
半固定沙地	40~50	流沙面积>50	沙蓬 ( <i>Agriophyllum squarrosum</i> )、赖草 ( <i>Leymus dasystachys</i> )、狗尾草 ( <i>Setaria viridis</i> )
流动沙地	0~10	流沙面积 100	沙蓬 ( <i>Agriophyllum squarrosum</i> )

1.2.2 土壤样品测定 土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法测定，土壤全氮采用半微量凯氏定氮法测定，土壤容重采用环刀法测定，土壤孔隙度参考陈立新等<sup>[17]</sup>方法测定。

$\text{NH}_4^+\text{-N}$  利用 2 mol/L KCl 浸提法测定<sup>[18]</sup>。取过 2 mm 细筛的鲜土样 10.00 g，置于 100 ml 三角瓶中，加入 2 mol/L KCl 溶液 50 ml，塞紧瓶塞，在振荡机上振荡 30 min，取出立即过滤于 50 ml 三角瓶中。吸取滤液 25 ml 放入半微量定氮蒸馏器的蒸馏管中，再加入 10 ml 120 g/L MgO 悬浊液蒸馏，蒸出液达 30 ml 后停止蒸馏，用少量水冲洗冷凝管。取下三角瓶，用 0.005 mol/L 1/2  $\text{H}_2\text{SO}_4$  标准液滴定至紫红色。

$\text{NO}_3^-\text{-N}$  采用还原蒸馏法测定<sup>[18]</sup>。取过 2 mm 细筛的鲜土样 50 g 置于 500 ml 三角瓶中，加入  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.5 g 和 250 ml 蒸馏水，盖塞后，在振荡机上振荡 10 min。放置 5 min 后过滤于干燥洁净的

三角瓶中。吸取滤液 25.0 ml 放入定氮蒸馏器中，加入  $\text{MgCl}_2$  10 ml 以去除  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。加入硫酸亚铁锌还原剂 1.0 g，继续蒸馏，在冷凝管下端用硼酸溶液吸收还原蒸出的氨，用盐酸标准溶液滴定。

土壤碳密度计算公式<sup>[19]</sup>：

$$\text{SOC}d_i = \text{SOC}i \times B_i \times d_i \times (1 - G_i) \quad (1)$$

$$\text{SOC}D = \sum_{i=1}^n \text{SOC}i \times B_i \times d_i \times (1 - G_i) \quad (2)$$

土壤氮密度计算公式<sup>[19]</sup>：

$$\text{SND}i = \text{Ni} \times B_i \times d_i \times (1 - G_i) \quad (3)$$

$$\text{SND} = \sum_{i=1}^n \text{Ni} \times B_i \times d_i \times (1 - G_i) \quad (4)$$

式中： $\text{SOC}d_i$  表示某一土层土壤有机碳密度( $\text{kg}/\text{m}^2$ )； $\text{SND}i$  表示某一土层土壤氮密度( $\text{kg}/\text{m}^2$ )； $\text{SOC}D$  表示土壤有机碳密度( $\text{kg}/\text{m}^2$ )； $\text{SND}$  表示土壤氮密度( $\text{kg}/\text{m}^2$ )； $\text{SOC}i$  表示某一土层土壤有机碳含量( $\text{g}/\text{kg}$ )；

$N_i$  表示某一土层土壤全氮含量(g/kg);  $B_i$  表示某一土层土壤容重(g/cm);  $d_i$  表示土层厚度(cm);  $G_i$  表示粒径大于 2 mm 石砾所占体积的百分比, 本研究中土壤粒径均小于 2 mm, 因此  $G_i$  忽略不计。

1.3 数据处理

利用 SPSS 19.0 软件进行数据统计与分析, 采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)和最小差异法(LSD)分析不同沙漠化阶段各变量的差异显著性( $P < 0.05$ )。

2 结果

2.1 荒漠草原沙漠化对土壤容重和土壤孔隙度的影响

荒漠草原沙漠化显著影响土壤容重和土壤孔隙度分布( $P < 0.05$ , 表 2)。与荒漠草地相比, 固定沙地、半固定沙地和流动沙地 0~30 cm 土层土壤容重增加了 0.3%、2.9% 和 2.4%, 其中, 荒漠草地和固定沙地土壤容重显著低于半固定沙地和流动沙地。随着土

层深度的增加, 土壤容重表现出先降低后升高趋势, 均在 10~20 cm 土层出现最小值, 20~30 cm 土层土壤容重均显著高于 10~20 cm。土壤孔隙度 0~30 cm 土层随草地沙漠化加重表现出线性递减趋势, 荒漠草地和固定沙地土壤孔隙度显著高于半固定沙地和流动沙地。随着土层深度的加深, 土壤孔隙度呈先升高后降低趋势, 均在 10~20 cm 土层达到最大值。

2.2 荒漠草原沙漠化对土壤  $NH_4^+-N$  和  $NO_3^- -N$  含量的影响

随着荒漠草原沙漠化程度加剧, 土壤  $NH_4^+-N$  和  $NO_3^- -N$  表现出一定的分布规律(图 1)。固定沙地、半固定沙地和流动沙地 0~30 cm 土层土壤  $NH_4^+-N$  含量分别比荒漠草地减少了 24.3%、25.2% 和 27.4%。荒漠草地  $NH_4^+-N$  含量显著高于固定沙地、半固定沙地和流动沙地, 而固定沙地、半固定沙地和流动沙地之间差异不显著( $P < 0.05$ )。就同一沙漠化阶段土壤剖面而言, 随着土层深度的增加, 土壤  $NH_4^+-N$  含量差异不显著。

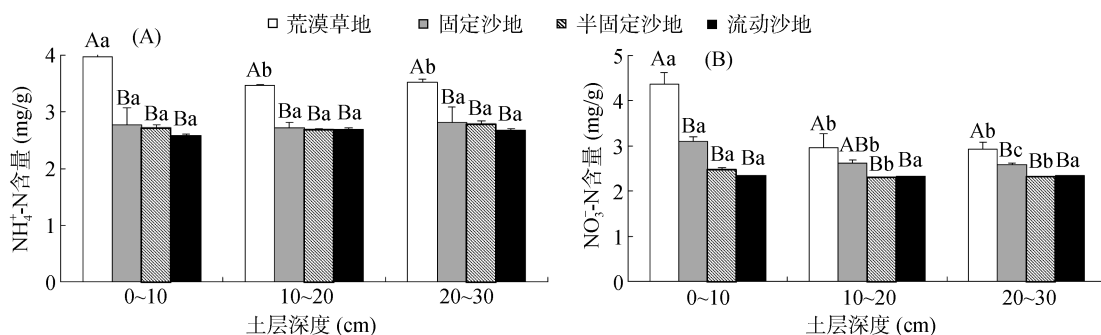
表 2 荒漠草原不同沙漠化阶段土壤容重(g/cm<sup>3</sup>)和土壤孔隙度(%)  
Table 2 Soil bulk densities and porosities in different desertification stages

沙漠化阶段	0~30 cm		0~10 cm		10~20 cm		20~30 cm	
	土壤容重	孔隙度	土壤容重	孔隙度	土壤容重	孔隙度	土壤容重	孔隙度
荒漠草地	1.48 ± 0.01 B	44.1 ± 0.14 A	1.50 ± 0.00 a	43.6 ± 0.01 b	1.46 ± 0.00 b	45.0 ± 0.06 a	1.50 ± 0.01 a	42.1 ± 0.10 b
固定沙地	1.49 ± 0.02 B	43.9 ± 0.07 A	1.48 ± 0.01 b	44.3 ± 0.18 a	1.45 ± 0.00 b	45.1 ± 0.10 a	1.53 ± 0.01 a	42.4 ± 0.08 b
半固定沙地	1.53 ± 0.01 A	42.4 ± 0.04 C	1.54 ± 0.01 a	41.9 ± 0.21 c	1.51 ± 0.00 b	42.9 ± 0.00 a	1.53 ± 0.00 a	42.3 ± 0.37 b
流动沙地	1.52 ± 0.01 A	42.7 ± 0.03 B	1.51 ± 0.00 b	43.0 ± 0.16 b	1.51 ± 0.00 b	43.0 ± 0.16 b	1.53 ± 0.00 a	43.7 ± 0.35 a

注: 表中数据不同大写字母表示不同沙漠化阶段同一土层间差异达到  $P < 0.05$  显著水平; 不同小写字母表示同一沙漠化阶段不同土层间差异达到  $P < 0.05$  显著水平, 下表同。

荒漠草地、固定沙地、半固定沙地和流动沙地 0~30 cm 土层土壤  $NO_3^- -N$  含量分别为 3.42、2.76、2.36、2.34 mg/g, 其中, 固定沙地、半固定沙地、流动沙地

土壤  $NO_3^- -N$  比荒漠草地分别减少了 19.3%、31.0% 和 31.8%。随着土层深度的加深, 土壤  $NO_3^- -N$  含量呈降低趋势, 其中, 固定沙地土层间差异显著。



(图中不同大写字母表示不同沙漠化阶段同一土层间差异达到  $P < 0.05$  显著水平; 不同小写字母表示同一沙漠化阶段不同土层间差异达到  $P < 0.05$  显著水平, 下同)

图 1 荒漠草原不同沙漠化阶段土壤  $NH_4^+-N$  和  $NO_3^- -N$  含量

Fig. 1 Contents of soil ammonium nitrogen and nitrate nitrogen in different desertification stages

### 2.3 荒漠草原沙漠化对土壤有机碳和全氮含量的影响

荒漠草原不同沙漠化阶段土壤有机碳和全氮含量差异显著( $P < 0.05$ , 图 2)。随着草地沙漠化加剧, 土壤有机碳和全氮含量 0~30 cm 土层均表现为降低趋势。固定沙地、半固定沙地和流动沙地土壤有机碳和全氮含量分别比荒漠草地减少了 18.3%、7.2%、25.4% 和 53.0%、44.8%、56.7%, 荒漠草地土壤有机碳和全氮含量均显著高于流动沙地。土层深度对土壤有机碳和全氮含量影响显著, 随着土层深度的增加, 土壤有机碳含量呈先升高后降低趋势, 10~20 cm 土层土壤有机碳含量最高; 土壤全氮含量呈降低趋势, 0~10 cm 土层有利于土壤全氮的富集。

### 2.4 荒漠草原沙漠化对土壤碳氮密度的影响

荒漠草原不同沙漠化阶段土壤碳、氮密度存在显著差异( $P < 0.05$ , 表 3)。0~30 cm 土层土壤碳密度随

沙漠化程度的加剧而递减, 荒漠草地土壤碳密度显著高于流动沙地。0~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤碳密度均随沙漠化程度的加剧而下降; 而 20~30 cm 土层除固定沙地外, 土壤碳密度随沙漠化程度的增加而降低。荒漠草原发生逆向演替过程中, 固定沙地、半固定沙地和流动沙地 0~30 cm 土壤氮密度较荒漠草地减少了 6.9%、51.6% 和 55.7%, 其中, 荒漠草地和固定沙地土壤氮密度显著高于半固定沙地和流动沙地。

荒漠草原不同沙漠化阶段土壤碳、氮密度垂直分布随土层深度的增加变化规律不同(表 3)。除荒漠草地土壤碳密度随土层深度的增加呈减小趋势外, 固定沙地、半固定沙地和流动沙地土壤碳密度均表现为先升高后降低趋势, 均在 10~20 cm 土层达到最大值。荒漠草地、固定沙地、半固定沙地和流动沙地土壤氮密度均随土层深度的增加呈降低趋势, 各土层间差异不显著。

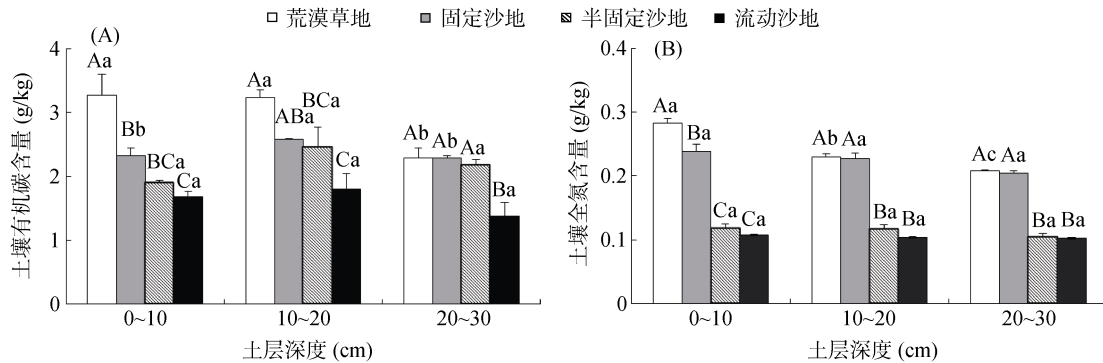


图 2 荒漠草原不同沙漠化阶段土壤有机碳和全氮含量

Fig. 2 Contents of soil organic carbon and total nitrogen in different desertification stages

表 3 荒漠草原不同沙漠化阶段土壤碳氮密度(kg/m<sup>2</sup>)

Table 3 Densities of soil organic carbon and total nitrogen in different desertification stages

沙漠化阶段	0~30 cm		0~10 cm		10~20 cm		20~30 cm	
	碳密度	氮密度	碳密度	氮密度	碳密度	氮密度	碳密度	氮密度
荒漠草地	13.04 ± 0.92 A	1.07 ± 0.01 A	4.89 ± 0.49 Aa	0.42 ± 0.01 Aa	4.72 ± 0.18 Aa	0.34 ± 0.01 Ab	3.43 ± 0.24 Ab	0.31 ± 0.00 Ab
固定沙地	10.68 ± 0.12 B	0.99 ± 0.04 A	3.42 ± 0.18 Ba	0.35 ± 0.02 Ba	3.76 ± 0.02 ABa	0.33 ± 0.1 Aa	3.51 ± 0.03 Aa	0.31 ± 0.00 Aa
半固定沙地	10.02 ± 0.53 B	0.52 ± 0.03 B	2.94 ± 0.03 Ba	0.18 ± 0.01 Ca	3.73 ± 0.46 Ba	0.18 ± 0.1 Ba	3.34 ± 0.10 Aa	0.17 ± 0.01 Ba
流动沙地	7.37 ± 0.82 C	0.47 ± 0.01 B	2.54 ± 0.13 Ba	0.16 ± 0.01 Ca	2.72 ± 0.35 Ca	0.16 ± 0.00 Ba	2.10 ± 0.34 Ba	0.16 ± 0.1 Ba

### 2.5 不同沙漠化阶段土壤物理和化学性质的相关性

荒漠草原不同沙漠化阶段土壤物理和化学性质相关性分析如表 4。其中, 土壤容重与土壤有机碳、土壤全氮、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 显著负相关( $P < 0.05$ ); 土壤孔隙度与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、土壤有机碳、全氮含量显著正相关( $P < 0.05$ ); 土壤全氮、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与土壤有机碳极显著正相关( $P < 0.01$ )。

## 3 讨论

在干旱、半干旱地区, 过度放牧和风蚀造成的荒

漠草原沙漠化是土壤退化主要形式之一<sup>[20-21]</sup>。荒漠草原沙漠化过程中, 首先表现为地上植物群落组成和结构的退化, 其次为草地生态系统的土壤物理和化学性质的改变<sup>[22]</sup>。本文研究结果表明, 荒漠草原沙漠化过程中, 土壤孔隙度、土壤有机碳氮含量和碳氮密度呈线性下降趋势, 而土壤容重呈线性升高趋势, 与赵哈林等<sup>[23]</sup>、唐庄生等<sup>[15]</sup>对干旱、半干旱区草地沙漠化对土壤物理和化学特性影响结果一致。荒漠草原退化至流动沙地的过程中, 不同沙漠化阶段对应着适合本生境的典型群落类型<sup>[24]</sup>。荒漠草原原生地带性植

表 4 不同沙漠化阶段土壤物理和化学性质的相关性分析  
Table 4 Pearson correlation coefficients between soil physical and chemical properties in different desertification stages

	土壤容重	土壤孔隙度	土壤有机碳	土壤全氮	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
土壤孔隙度	-1.000**				
土壤有机碳	-0.554**	0.554**			
土壤全氮	-0.658**	0.657**	0.717**		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	-0.347*	0.347*	0.630**	0.687**	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	-0.349*	0.347*	0.696**	0.778**	0.739**

物群落物种丰富度高,植被盖度高达 70%~80%。随着草地沙漠化程度的加剧,原生地带性植物逐渐消退,植物群落组成结构趋于简单,植被盖度下降至 0~10%。流动沙地的地上和地下生物量较荒漠草地下降 94% 和 97%<sup>[25]</sup>。植被群落物种数量及结构的改变,首先减少地表净初级生产量和枯死有机物质的滞留,直接降低土壤有机碳和土壤氮素的输入<sup>[26-27]</sup>。同时,通过降低土壤微生物数量、生物量及土壤酶活性,间接或直接减少土壤有机碳和土壤氮素含量<sup>[28]</sup>。随着地上植被盖度的减少,地表裸露程度加剧,风蚀有选择性地吹蚀土壤黏粒和粉粒。研究表明,土壤养分含量与土壤粒径组成显著相关<sup>[29-30]</sup>,其中黏粒和粉粒表面与土壤有机质结合的活性位点较多,对土壤物理吸附作用强<sup>[31-33]</sup>,荒漠草原沙漠化过程中土壤有机碳、土壤全氮含量与土壤黏粉粒含量显著正相关( $P<0.05$ ),相关系数高达 0.63 和 0.94<sup>[34]</sup>。宁夏东部荒漠草原发生逆向演替过程中,流动沙地土壤黏粒和粉粒含量较荒漠草地降低了 98.1% 和 74.4%<sup>[35]</sup>,造成土壤有机碳和土壤氮素的流失。

土壤容重和孔隙度是评估土壤质量的重要物理指标,通过调解土壤中的水、肥、气、热等因素的储存和转运影响地上植被的生长状况<sup>[36]</sup>。随着荒漠草原沙漠化程度加剧,多年生禾本科植物消失,禾本科植物根系减少,不利于土壤的固定,增加土壤的渗透阻力,使得土壤孔隙度减小<sup>[37-38]</sup>,水分不易于存留于土壤中。同时,有效增加地表热量辐射,加剧土壤水分的散失<sup>[6]</sup>。本文研究结果表明,土壤孔隙度随荒漠草原沙漠化程度加重表现出下降趋势,而土壤容重表现出上升趋势,这与前人研究结果一致<sup>[8-9]</sup>。

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 是土壤有效氮的主要成分,其含量的多少不仅影响地上植被的生长策略、群落组成及潜在生产力<sup>[39-40]</sup>,还影响土壤微生物群落的丰富度和均匀度<sup>[41]</sup>。本文研究表明,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量随着草地沙漠化加剧而减小;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量与土壤容重显著负相关,而与土壤有机碳、土壤全氮含量显著正相关,表明荒漠草原沙漠化过程中土壤潜在

生产力降低,土壤容重、土壤孔隙度的改变造成土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量的降低。不同沙漠化阶段 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量均高于 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,这是由于土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 可通过硝化作用快速转变为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N<sup>[42]</sup>。

干旱、半干旱地区土壤有机碳、全氮是存留土壤养分的关键因子,是控制土壤潜在生产力的主要因子<sup>[14]</sup>,本文研究结果表明,流动沙地 0~30 cm 土层土壤容重较荒漠草地增加了 2.4%。与荒漠草地相比,流动沙地 0~30 cm 土层土壤孔隙度、土壤有机碳含量、全氮含量、土壤有机碳密度和全氮密度分别下降了 3.1%、44.8%、56.7%、43.5% 和 55.7%,表明修复土壤物理结构和存留土壤养分是解决干旱、半干旱地区荒漠草原沙漠化的关键问题。

#### 参考文献:

- [1] Mccarl B A, Metting F B, Rice C. Soil carbon sequestration[J]. Climatic Change, 2007, 80(1): 1-3
- [2] Zheng J F, Cheng K, Pan G X. Perspectives on studies on soil carbon stocks and the carbon sequestration potential of China[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(35): 3748-3758
- [3] 朱剑兴, 王秋凤, 何念鹏, 等. 内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6320-6327
- [4] 许中旗, 李文华, 许晴, 等. 人为干扰对典型草原土壤碳密度及生态系统碳贮量的影响[J]. 自然资源学报, 2009, 24(4): 621-629
- [5] 安慧, 徐坤. 放牧干扰对荒漠草原土壤性状的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 35-42
- [6] 牛钰杰, 杨思维, 王贵珍, 等. 放牧作用下高寒草甸群落物种分布与土壤因子的关系[J]. 应用生态学报, 2017, 28(12): 3891-3898
- [7] 冯瑞章, 周万海, 龙瑞军, 等. 江河源区不同退化程度高寒草地土壤物理、化学及生物学特征研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 263-269
- [8] 秦嘉海, 张勇, 赵芸晨, 等. 祁连山黑河上游不同退化草地土壤理化性质及养分和酶活性的变化规律[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 335-346
- [9] Tang Z S, An H, Shanguan Z P. The impact of desertification on carbon and nitrogen storage in the desert steppe ecosystem[J]. Ecological Engineering, 2015, 84: 92-99

- [10] Yigini Y, Panagos P. Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and landcover changes in Europe[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 557-558: 838-850
- [11] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会. 沙漠化的生物过程及退化植被的恢复机理[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [12] Korkanç S Y, Korkanç M. Physical and chemical degradation of grassland soils in semi-arid regions: A case from Central Anatolia, Turkey[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2016, 124: 1-11
- [13] 赵哈林, 周瑞莲, 苏永忠, 等. 科尔沁沙地沙漠化过程中土壤有机碳和全氮含量变化[J]. *生态学报*, 2008, 28(3): 976-982
- [14] 王瑞永, 刘莎莎, 王成章, 等. 不同海拔高度高寒草地土壤理化指标分析[J]. *草地学报*, 2009, 17(5): 621-628
- [15] 唐庄生, 安慧, 邓蕾, 等. 荒漠草原沙漠化植物群落及土壤物理变化[J]. *生态学报*, 2016, 36(4): 991-1000
- [16] 赵哈林, 周瑞莲, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地沙漠化正、逆过程的地面判别方法[J]. *中国沙漠*, 2008, 12(1): 8-15
- [17] 陈立新. 土壤实验实习教程[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005: 17-50
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [19] 吴启华, 李红琴, 张法伟, 等. 短期牧压梯度下高寒杂草类草甸植被/土壤碳氮分布特征[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(11): 2857-2864
- [20] Zhao H L, Zhao X Y, Zhou R L. Desertification processes due to heavy grazing in sandy range land[J]. *Inner Mongolia Journal of Arid Environments*, 2005, 62: 309-319
- [21] Zhang C, McBean E A. Estimation of desertification risk from soil erosion: A case study for Gansu Province, China[J]. *Stoch Environ. Res. Risk Assess*, 2016, 30: 2215-2229
- [22] 李亚娟, 曹广民, 龙瑞军, 等. 三江源区土地利用方式对草地植物生物量及土壤特性的影响[J]. *草地学报*, 2016, 24(3): 524-529
- [23] 赵哈林, 李玉强, 周瑞莲. 沙漠化对科尔沁沙质草地生态系统碳氮储量的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2412-2417
- [24] 左小安, 赵学勇, 赵哈林, 等. 科尔沁沙地草地退化过程中的物种组成及功能多样性变化特征[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 181-185
- [25] 唐庄生, 安慧, 上官周平. 荒漠草原沙漠化对土壤养分与植被根冠比的影响[J]. *草地学报*, 2015, 23(3): 463-468
- [26] 陈朝, 吕昌河, 范兰, 等. 土地利用变化对土壤有机碳的影响研究进展[J]. *生态学报*, 2011, 31(18): 5358-5371
- [27] 高志英, 汪诗平, 韩兴国, 等. 退化草地恢复过程中土壤氮素状况以及与植被地上绿色生物量形成关系的研究[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 285-293
- [28] 舒向阳, 胡玉福, 蒋双龙, 等. 川西北沙化草地植被群落、土壤有机碳及微生物特征[J]. *草业学报*, 2016, 25(4): 45-54
- [29] Xu G C, Li Z B, Li P. Fractal features of soil particle-size distribution and total soil nitrogen distribution in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China[J]. *Catena*, 2013, 101: 17-23
- [30] 舒向阳, 胡玉福, 蒋双龙, 等. 川西北草地沙化对土壤颗粒组成和土壤磷钾养分的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(8): 173-179
- [31] Kalbitz K, Solinger S. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review[J]. *Soil Science*, 2000, 165(4): 277-304
- [32] Fullen M A, Booth C A, Brandsma R T. Long-term effects of grass ley set-aside on erosion rates and soil organic matter on sandy soils in east Shropshire, UK[J]. *Soil & Tillage Research*, 2006, 89: 122-128
- [33] 刘满强, 胡锋, 陈小云. 土壤有机碳稳定机制研究进展[J]. *生态学报*, 2007, 27(6): 2642-2650
- [34] 阎欣, 安慧. 沙化草地恢复过程中土壤有机碳物理组分和全氮含量的变化[J]. *西北植物学报*, 2017, 37(6): 1242-1251
- [35] 阎欣, 安慧. 宁夏荒漠草原沙漠化过程中土壤粒径分形特征[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(10): 3243-3250
- [36] 乔宇鑫, 朱华忠, 钟华平, 等. 内蒙古地区草地表层土壤容重空间格局分析[J]. *草地学报*, 2016, 24(4): 793-801
- [37] 周李磊, 朱华忠, 钟华平, 等. 新疆伊犁地区草地土壤容重空间格局分析[J]. *草业学报*, 2016, 25(1): 64-75
- [38] 万里强, 陈玮玮, 李向林, 等. 放牧对草地土壤含水量与容重及地下生物量的影响[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(26): 25-29
- [39] 李志萍, 李维民, 吴福忠, 等. 川西亚高山森林林窗对不同关键时期土壤硝态氮和铵态氮的影响[J]. *土壤保持学报*, 2013, 27(6): 270-274
- [40] 苗艳芳, 李生秀, 扶艳艳, 等. 旱地土壤铵态氮和硝态氮累积特征及其与小麦产量的关系[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(4): 1013-1021
- [41] 王杰, 李刚, 修伟明, 等. 贝加尔针茅草原土壤微生物功能多样性对氮素和水分添加的响应[J]. *草业学报*, 2014, 23(4): 343-350
- [42] Wang Z H, Miao Y F, Li S X. Effect of ammonium and nitrate nitrogen fertilizers on wheat yield in relation to accumulated nitrate at different depths of soil in drylands of China[J]. *Field Crops Research*, 2015, 183: 211-224

## Effects of Desertification on Soil Physiochemical Properties of Desert Grassland

YAN Xin, AN Hui\*, LIU Rentao

*(Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China/Ministry of Education Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwest China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)*

**Abstract:** The effects of different desertification stages (grasslands, fixed dunes, semi-fixed, mobile dunes) on soil bulk density, porosity, the contents and densities of organic carbon and total nitrogen, and the contents of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen were studied in desert grassland located in north central Ningxia, China. The results showed that desertification of desert grassland had significant effects on soil physiochemical properties. As compared with grasslands, soil bulk densities of the fixed, semi-fixed and mobile dunes were increased by 0.3%, 2.9% and 2.4%, respectively. Soil porosity gradually decreased with increasing desertification stage. With the increase of soil depth, soil bulk density increased first, and then decreased under different desertification stages, but soil porosity first decreased and then increased. The contents of ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, organic carbon and total nitrogen, and the densities of organic carbon and total nitrogen decreased gradually during the desertification process. As compared with grasslands, the contents of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen, the contents and densities of organic carbon and total nitrogen in mobile dunes were increased by 27.4%, 31.8%, 44.8%, 56.7%, 43.5% and 55.7%, respectively. The above results suggested that desertification of desert grassland can deteriorate soil physiochemical properties.

**Key words:** Soil; Physiochemical properties; Desertification; Desert grassland