

文章编号:1001-8166(2011)07-0779-08

内蒙古东部两大沙地土壤理化特性沙漠化演变规律的比较*

赵哈林¹, 李玉强¹, 周瑞莲², 赵学勇¹, 张铜会¹, 王进²

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所奈曼沙漠化研究站, 甘肃 兰州 730000;

2. 鲁东大学生命学院, 山东 烟台 264025)

摘要:为了了解不同地带沙地土壤理化特性沙漠化演变规律的差异及其机制, 研究比较了科尔沁沙地和呼伦贝尔沙地土壤理化特性的沙漠化演变特征, 得到以下结论: 沙漠化过程中, 2个沙地的土壤黏粉粒含量均大幅度下降, 沙粒含量明显增加, 但科尔沁沙地土壤机械组成的变化幅度要大于呼伦贝尔沙地, 而且前者黏粉粒主要释放期早于后者; 科尔沁沙地土壤温度趋于下降, 呼伦贝尔沙地土壤温度的变化趋势不明显, 但土壤含水量均略有增加; 土壤有机碳、氮、磷含量、碳/氮均显著下降, 其中科尔沁沙地下降幅度大于呼伦贝尔沙地; 表层土壤pH值均显著下降, 下层土壤pH值变化不显著; 导致两沙地土壤理化特性变化存在差异的主要原因是其背景土壤质地和土壤粗化速率不同。

关键词:科尔沁沙地; 呼伦贝尔沙地; 沙质草地; 土壤特性; 沙漠化

中图分类号:Q948.11

文献标志码:A

1 引言

沙漠化是干旱、半干旱地区土地退化最严重的类型之一^[1]。在风的作用下, 通过风蚀风积活动, 沙漠化不仅能够造成土地生产潜力的大幅度下降和土地资源的大面积丧失, 还会导致生态环境的明显恶化, 严重危害工农业生产和当地居民的生存, 甚至危及国家的社会经济发展和生态安全^[2,3]。因此, 近些年来随着沙漠化在许多国家的迅速蔓延以及对国计民生的严重影响, 沙漠化研究也日益受到国际社会的普遍关注^[4]。

有关沙漠化的研究, 已有很多报道。在我国, 过去的研究主要集中于沙漠化土地的分类、沙漠化发展动态、沙漠化的成因和危害, 沙漠化的防治对策、治理技术和模式以及治理区划等^[3,5]。近些年来, 随着相关研究的深入, 沙漠化的过程和机制研究得到更多重视, 沙漠化的物理、生物及历史三大过程的

研究有了较快发展^[6,7]。特别是有关沙漠化过程中土壤环境的演变过程和机制研究也有了一些报道^[8,9], 但迄今为止, 对于不同水热地带沙漠化过程和机制的比较研究还很少见到报道。

本文选择处于我国东部同一经度不同纬度的呼伦贝尔和科尔沁2个沙地, 通过设置沙漠化梯度样地, 取样研究了沙漠化过程中水热条件不同的2个沙地土壤理化特性的变化规律及其差异, 分析探讨了其成因和机制, 以期为我国东部地区沙漠化的综合治理提供科学依据。

2 研究方法

2.1 研究区自然概况

研究区分别选择科尔沁沙地中西部的通辽市奈曼旗(42°14'~43°32'N, 120°19'~121°35'E)和呼伦贝尔沙地中北部的呼伦贝尔市陈巴尔虎旗(48°48'~50°12'N, 118°22'~121°02'E)。其中, 科尔沁

* 收稿日期:2011-02-14; 修回日期:2011-05-03.

* 基金项目:国家重点基础研究发展计划项目“荒漠化的水、土、气、生过程及其相互作用机制研究”(编号:2009CB421303)资助。

作者简介:赵哈林(1954-), 男, 安徽马鞍山人, 研究员, 主要从事荒漠生态学研究. E-mail: resdiv@lzb. ac. cn

沙地位于内蒙古东南部,呼伦贝尔沙地位于内蒙古东北部,二者经度相近,但纬度相差 $6 \sim 7^\circ$ 。2 个研究区均属于半干旱大陆性气候。其中,奈曼旗年均降水量 351.6 mm,年均气温 6.9°C , $\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温 3190°C ,无霜期 140~151 d。地带性土壤为沙质栗钙土,受沙漠化影响大部分已演变为风沙土。沙地天然植物群落以中旱生植物为主,主要植物种有差巴嘎蒿 (*Artemisia halodendron*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、白草 (*Pennisetum centrasiacicum*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、黄蒿 (*Artemisia scoparia*)、猪毛菜 (*Salsola collina*) 等。陈巴尔虎旗年均降水量 323.3 mm,年均气温 2.5°C , $\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温 2100°C ,无霜期 90~105 d。地带性土壤也为沙质栗钙土,在沙漠化地区已大部分退化为风沙土。地带性植被为典型草原,沙地中主要优势种有扁穗冰草 (*Agropyron cristatum*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、差巴嘎蒿 (*Artemisia halodendron*)、虫实 (*Corispermum macrocarpum*)、猪毛菜 (*Salsola collina*) 等。

2.2 野外调查取样方法

2009 年 7 月在 2 个研究区分别选择一典型沙漠化区域。根据朱震达等^[3]有关沙漠化土地类型划分标准,将草地划分为非沙漠化 (ND)、轻度沙漠化 (LD)、中度沙漠化 (MD)、重度沙漠化 (HD) 和严重沙漠化 (SD) 5 个梯度样地。在每个样地中,选择典型地段设立 3 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 样方。样方主要用于测定盖度、高度和地上地下生物量等群落特征。在样方附近,随机设置 5 个点,采取烘干称重法测定土壤含水量,用环刀 (100 cm^3) 法测定土壤容重,用硬度计测定土壤硬度 (紧实度)。同时,提取土壤样品带回实验室用于土壤理化特性分析。另外,在样方附近,设置地温计,自早上 6:00 开始每隔 2 小时测定一次土壤温度,下午 6:00 结束,连续观测 2 天,取平均值。

2.3 室内样品分析和数据分析

先将土壤样品置于阴凉处风干后过 2 mm 筛,一部分供土壤颗粒的粒级分析,另一部分进一步磨细用于土壤其他理化性质的测定。土壤各项理化指标采用的具体分析方法^[7]:土壤颗粒组成采用湿筛加吸管法;比重采用比重瓶法;土壤有机碳含量的测定采用重铬酸钾氧化—外加加热法;全氮采用凯氏法 (意大利产 DK6, UDK140 分析仪);全磷采用高氯酸、硫酸硝化—钼锑抗比色法 (日产 UV-1601 分光光度计)。土壤 pH 以 1:1 水土比悬液用德产 Mul-

tiline F/ SET23 分析仪直接测定。

应用 SPSS13.0 软件进行数据的统计分析,应用 Microsoft Excel 2003 软件进行图表制作,采用单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD) 比较不同数据组间的差异,用 Pearson 相关系数评价不同因子间的相互关系。

3 研究结果和分析

3.1 土壤机械组成变化的比较

从图 1 可以看出,非沙漠化草地的土壤黏粉粒含量是科尔沁沙地明显高于呼伦贝尔沙地,沙粒含量是呼伦贝尔沙地高于科尔沁沙地。2 个沙地非沙漠化草地表层 ($0 \sim 10\text{ cm}$) 土壤的黏粉粒含量均高于下层 ($10 \sim 20\text{ cm}$),但 2 层土壤黏粉粒含量的差异,科尔沁沙地明显大于呼伦贝尔沙地。随着沙漠化的发展,2 个沙地土壤黏粉粒含量均明显下降,沙粒含量明显增加 ($P < 0.05$)。与非沙漠化草地相比,严重沙漠化草地表层和下层土壤的黏粉粒含量,在科尔沁沙地分别下降了 99.8% 和 99.1%,在呼伦贝尔沙地分别下降了 59.5% 和 52.0%,而前者的沙粒含量分别增加了 13.5% 和 9.3%,后者分别增加了 5.5% 和 4.1%。另外,从图 1 还可以看出,科尔沁沙地土壤黏粉粒含量在轻度沙漠化阶段即已明显下降,至严重沙漠化阶段已接近于零,而呼伦贝尔沙地的黏粉粒含量在中度沙漠化阶段才明显下降,在严重沙漠化阶段其黏粉粒含量远高于科尔沁沙地。

3.2 土壤温度变化的比较

从表 1 可以看出,在非沙漠化草地,2 个沙地地表温度较为相近,仅差 1.5°C ,但科尔沁沙地下层土壤温度要远高于呼伦贝尔沙地,其中 5 cm 土壤温度高 4.9°C ,20 cm 土壤温度高 6.6°C 。随着沙漠化的发展,科尔沁沙地的各层土壤温度均呈波动式下降,严重沙漠化草地 0、5 和 20 cm 土壤温度和非沙漠化草地相比分别下降了 1.9°C 、 1.1°C 和 1.1°C ,而且各样地间差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。沙漠化过程中,呼伦贝尔沙地是除了表层土壤 (0 cm) 在重度和严重沙漠化草地明显下降外 ($P < 0.05$),其他各层土壤温度在各样地间的差异未达到显著水平 ($P > 0.05$)。

3.3 土壤含水量变化的比较

从表 2 可以看出,在非沙漠化草地,2 个沙地 $0 \sim 20\text{ cm}$ 层土壤平均含水量没有差异,但呼伦贝尔沙地表层土壤含水量高于科尔沁沙地,下层土壤则相反。随着沙漠化的发展,呼伦贝尔沙地 $0 \sim 20\text{ cm}$

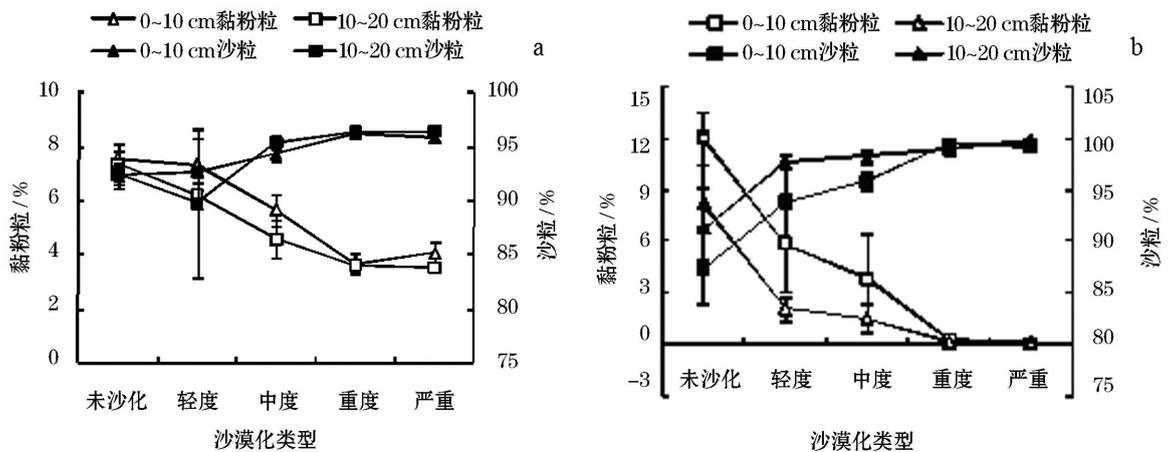


图1 呼伦贝尔沙地(a)和科尔沁沙地(b)土壤机械组成变化的比较

Fig. 1 Comparison on changes of soil texture in desertification processes between Hulunbeir (a) and Horqin (b) sand lands

表1 2个沙地沙漠化过程中土壤温度变化的比较

Table 1 Comparison on changes of soil temperature in desertification processes between the two sand lands

沙地名称	土壤深度/m	非沙化草地	轻度沙化草地	中度沙化草地	重度沙化草地	严重沙化草地
呼伦贝尔沙地	0	36.9±2.1a	36.8±0.3ac	37.5±2.1a	34.4±0.8bc	33.6±0.8b
	5	23.3±2.1a	24.3±2.1a	24.2±0.7a	23.5±0.6a	22.5±1.5a
	20	20.8±0.5a	21.9±0.6a	22.5±0.4a	21.4±0.2a	20.9±0.2a
科尔沁沙地	0	35.4±0.31a	32.4±0.42bc	31.7±0.50b	32.6±0.30c	33.6±0.44d
	5	28.2±0.10a	27.7±0.35b	26.4±0.25c	27.4±0.32bd	27.1±0.10d
	20	27.4±0.09a	26.8±0.06b	26.4±0.10cd	26.5±0.09c	26.3±0.00d

注: 横栏字母相同表示无显著性差异($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)

表2 2个沙地沙漠化过程中土壤含水量变化的比较

Table 2 Comparison on changes of soil moisture in desertification processes between the two sand lands

沙地名称	土壤深度/cm	非沙化草地	轻度沙化草地	中度沙化草地	重度沙化草地	严重沙化草地
呼伦贝尔沙地	0~10	1.82±0.88a	2.06±0.0.24a	1.51±0.23a	2.22±0.51a	1.97±0.04a
	10~20	2.13±0.33a	2.43±2.10b	2.80±0.33bc	2.74±0.27bc	3.23±0.61c
	平均	1.97±0.57a	2.24±0.93ab	2.15±0.07a	2.48±0.17ab	2.60±0.28b
科尔沁沙地	0~10	1.29±0.16a	1.32±0.06a	1.09±0.04ab	0.70±0.19b	1.45±0.46a
	10~20	2.63±0.29a	1.78±0.42b	1.70±0.47b	2.64±0.48a	2.83±0.17a
	平均	1.96±0.22a	1.55±0.24b	1.39±0.25c	1.67±0.22ab	2.14±0.18a

注: 横栏字母相同表示无显著性差异($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)

土壤层的平均水分含量趋于增加, 但只有严重沙漠化草地的土壤水分增加量达到了显著水平($P<0.05$)。科尔沁沙地0~20 cm 平均土壤含水量先是明显下降, 后又明显回升, 严重沙漠化草地与非沙漠化草地的土壤含水量没有明显差别。分层看, 呼伦贝尔沙地表层(0~10 cm)土壤含水量在5个样地之间差异不显著($P>0.05$), 而下层(10~20 cm)土壤含水量各沙漠化草地均显著高于非沙漠化草地

($P<0.05$)。在科尔沁沙地, 上层和下层土壤含水量均呈先下降后回升, 但表层土壤含水量只在重度沙漠化草地, 下层土壤含水量只在轻度和中度沙漠化草地与其他草地间的差异达到显著水平($P<0.05$)。

3.4 土壤有机碳和全养分含量变化的比较

从表3可以看出, 在非沙漠化草地, 科尔沁沙地土壤有机碳、全氮和全磷含量均明显高于呼伦贝尔沙地, 且2个沙地表层土壤(0~10 cm)的有机碳、

全氮、全磷含量均高于下层土壤(10~20 cm)。随着沙漠化的发展,2个沙地的土壤有机碳、全氮和全磷含量均显著下降($P<0.05$),其下降幅度都是上层土壤大于下层土壤。2个沙地相比,无论是上层土壤,还是下层土壤,土壤有机碳、全氮和全磷含量的下降幅度都是科尔沁沙地大于呼伦贝尔沙地。另外,从表3还可以看出,在非沙漠化草地,科尔沁沙地土壤的碳/氮比要高于呼伦贝尔沙地。随着沙漠化的发展,2个沙地无论是表层土壤,还是下层土

壤,土壤碳/氮比均显著下降($P<0.05$),且下降幅度也是科尔沁沙地大于呼伦贝尔沙地,表层土壤大于下层土壤。

3.5 土壤有效氮、磷和 pH 变化的比较

从表4可以看出,无论是沙漠化草地,还是非沙漠化草地,2个沙地的土壤有效氮、有效磷均是表层土壤高于下层土壤。其中,在非沙漠化草地,表层土壤的有效氮是科尔沁沙地高于呼伦贝尔沙地,下层则相反;土壤有效磷无论是表层土壤,还是下层土壤,

表3 沙漠化过程中土壤有机碳和全养分含量变化的比较

Table 3 Comparison on changes of soil SOC and nutrients in desertification processes between the two sand lands

项目	有机碳(g/kg)		全氮(g/kg)		全磷(g/kg)		碳氮比	
	呼伦贝尔	科尔沁	呼伦贝尔	科尔沁	呼伦贝尔	科尔沁	呼伦贝尔	科尔沁
0~10 cm 土层								
非沙漠化	3.18a	5.13a	0.35a	0.54a	0.20a	0.43a	9.09	9.50
轻度	2.54b	4.39a	0.29a	0.37b	0.18b	0.29b	8.75	11.86
中度	1.57c	1.58b	0.20b	0.18c	0.16c	0.22c	5.42	8.78
重度	0.72d	0.61b	0.16b	0.05c	0.12d	0.10d	4.50	3.39
严重	0.70d	0.20c	0.14b	0.05c	0.11d	0.08d	4.46	4.00
0~20 cm 土层								
非沙漠化	2.54a	3.29a	0.31a	0.38a	0.18a	0.35a	8.19	8.66
轻度	2.14a	2.06b	0.28a	0.25ab	0.15b	0.17b	7.64	8.24
中度	1.27b	0.87c	0.20b	0.12b	0.1c	0.15b	6.35	7.25
重度	0.63c	0.78cd	0.13c	0.06b	0.11d	0.09c	4.84	13.00
严重	0.68c	0.20d	0.14c	0.04b	0.10d	0.08c	5.24	5.00

注:竖栏字母相同表示无显著性差异($P>0.05$),字母不同表示差异显著($P<0.05$)

表4 沙漠化过程中土壤有效氮、有效磷和 pH 变化的比较

Table 4 Comparison on changes of soil available N and P and pH in desertification processes between the two sand lands

项目	有效氮/(mg/kg)		有效磷/(mg/kg)		pH	
	呼伦贝尔	科尔沁	呼伦贝尔	科尔沁	呼伦贝尔	科尔沁
0~10 cm 土层						
非沙漠化	34.7±2.7a	40.3±2.9a	16.6±1.4a	14.4±2.6a	7.5±0.3a	8.5±0.2a
轻度	32.0±3.3a	45.9±8.7a	10.9±0.9a	11.5±4.5ab	7.0±0.4b	7.8±0.4b
中度	24.0±1.8b	36.3±7.2a	8.2±0.1b	9.6±2.0b	6.9±0.4c	8.2±0.4b
重度	17.2±0.5c	18.7±2.1b	6.7±1.6c	6.7±1.7b	6.8±0.1c	8.2±0.4b
严重	15.6±0.5c	11.8±2.4b	5.2±0.7c	6.6±1.5b	6.7±0.2c	8.3±0.2b
10~20 cm 土层						
非沙漠化	30.9±2.6a	27.2±3.1a	11.6±2.5a	4.9±0.9a	7.0±0.5a	8.4±0.3a
轻度	28.7±3.7a	30.5±4.8a	6.9±2.6b	5.1±2.6a	7.0±0.1a	8.0±0.8a
中度	24.2±2.2b	15.1±1.3b	8.0±2.5b	4.6±1.6a	7.3±0.3b	8.4±0.5a
重度	15.3±0.8c	15.1±1.3b	6.7±2.3c	5.5±0.5a	7.1±0.3a	8.3±0.2a
严重	16.5±1.4c	13.3±2.8b	4.9±0.2d	6.2±0.9a	7.3±0.5b	8.5±0.2a

注:竖栏字母相同表示无显著性差异($P>0.05$),字母不同表示差异显著($P<0.05$)

均是呼伦贝尔沙地高于科尔沁沙地。随着沙漠化的发展,2个沙地表层土壤的有效氮和有效磷均显著下降($P<0.05$),下层土壤除了科尔沁沙地的有效磷呈波动式增加外,其他也是显著下降的($P<0.05$)。

而有效氮的下降幅度,无论是表层土壤还是下层土壤,都是科尔沁沙地大于呼伦贝尔沙地,有效磷的下降幅度在表层土壤也是科尔沁沙地大于呼伦贝尔沙地。另外,从表4还可以看出,科尔沁沙地的土壤

pH 值要高于呼伦贝尔沙地。随着沙漠化的发展,2 个沙地表层土壤的 pH 值均呈波动式下降,下层土壤 pH 值均呈波动式增高,变化幅度是呼伦贝尔沙地大于科尔沁沙地。

3.6 2 个沙地土壤理化特性之间相关分析的比较

为了比较 2 个沙地沙漠化过程中土壤不同理化特性变化的关系,对一些主要土壤理化特性的变化进行了相关分析(表 5)。结果表明,沙漠化过程中,2 个沙地土壤黏粉粒含量变化与土壤沙粒含量变化呈显著负相关关系($P < 0.05$);土壤温度均与土壤黏粉粒变化呈正相关,与沙粒含量变化呈负相关关系,但只有科尔沁沙地的相关系数达到显著水平($P < 0.05$)。土壤水分和 pH 值与土壤质地的相关系数,

在 2 个沙地均未达到显著水平($P > 0.05$)。2 个沙地的土壤有机碳、全氮、全磷、有效氮、有效磷含量的变化均与土壤黏粉粒含量变化呈显著正相关关系($P < 0.05$),与土壤沙粒含量变化呈显著负相关关系,其中有机碳和全氮全磷与土壤质地的相关系数是科尔沁沙地高于呼伦贝尔沙地,而有效氮、有效磷与土壤质地变化的相关系数是呼伦贝尔沙地高于科尔沁沙地。土壤有机碳、养分与土壤水热状况、pH 的相关系数,除了呼伦贝尔沙地全磷和有效氮与土壤温度相关性达到显著水平($P < 0.05$),科尔沁沙地只有有机碳、全氮和全磷与土壤温度的相关性达到显著水平($P < 0.05$),其他均未达到显著水平($P > 0.05$)。

表 5 2 个沙地土壤理化特性的相关系数的比较

Table 5 Correlation coefficients among different soil chemical and physical properties

项目	呼伦贝尔沙地					科尔沁沙地				
	黏粉粒	沙粒	土温	水分	pH	黏粉粒	沙粒	土温	水分	pH
黏粉粒	-	-0.963 **	0.485	-0.049	0.240	-	-0.982 **	0.736 **	0.105	0.078
沙粒	-0.963 **	-	-0.535	-0.035	-0.108	-0.982 **	-	-0.750 **	-0.084	0.011
有机碳	0.896 **	-0.867 **	0.436	-0.560	0.363	0.905 **	-0.889 **	0.677 **	-0.072	-0.060
全氮	0.903 **	-0.853 **	0.399	0.019	0.444	0.902 **	-0.898 **	0.637 **	0.017	-0.086
全磷	0.906 **	-0.871 **	0.531 *	-0.132	0.381	0.966 **	-0.971 **	0.714 **	0.200	0.005
速效氮	0.920 **	-0.894 **	0.518 *	-0.057	0.367	0.668 **	-0.654 **	0.158	-0.504	-0.268
速效磷	0.774 **	-0.685 *	0.191	-0.356	0.291	0.540 *	-0.471 *	0.440	-0.077	0.260

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

4 讨论

已有研究表明,在以风沙活动为主要特征的陆地沙漠化过程中,由于风的分选和吹蚀作用,土壤中的细颗粒含量会大幅度降低,沙粒所占比例明显增加^[3,10]。我们的研究结果也表明,随着沙漠化的发展,2 个沙地的土壤黏粉粒含量均大幅度下降,沙粒含量明显增加,土壤显著粗化。但 2 个沙地土壤粗化过程有较大差异,如科尔沁沙地黏粉粒下降幅度和沙粒的增加幅度均明显大于呼伦贝尔沙地,科尔沁沙地土壤黏粉粒含量在轻度和中度沙漠化阶段即已急剧下降,而呼伦贝尔沙地土壤黏粉粒在中度和重度沙漠化阶段才出现大幅度下降;在严重沙漠化阶段,呼伦贝尔沙地土壤黏粉粒含量明显高于科尔沁沙地,而沙粒含量是科尔沁沙地明显高于呼伦贝尔沙地。另外,科尔沁沙地土壤黏粉粒含量的下降幅度是表层土壤(0~10 cm)略大于下层土壤(10~20 cm),而呼伦贝尔沙地是下层土壤大于表层土壤。这一方面说明,沙漠化过程中,2 个沙地土壤机

械组成的变化趋势是相同的,都是随着沙漠化的发展而趋于粗化,其中科尔沁沙地土壤粗化主要形成于轻度和中度沙漠阶段,而呼伦贝尔沙地黏粉粒的吹蚀主要发生于中度和重度沙漠化阶段;另一方面说明,沙漠化过程中,2 个沙地土壤质地的演变速率具有较大差异,科尔沁沙地土壤的粗化速率和沙漠化对土壤机械组成的危害程度要明显大于呼伦贝尔沙地。沙漠化过程中,2 个沙地土壤质地变化之所以存在这些异同,可能主要源于 3 种机制,一是 2 个沙地的沙漠化过程都以风沙活动为主要特征,由于风的分选作用导致土壤中的细颗粒被吹蚀,致使土壤粗化,因而土壤机械组成的沙漠化演变趋势是相同的^[2,10];二是 2 个沙地背景土壤(非沙漠化草地)的土壤机械组成存在较大差异,科尔沁沙地背景土壤的黏粉粒含量要明显高于呼伦贝尔沙地,而且前者表层土壤的黏粉粒含量明显高于下层,后者土壤黏粉粒含量在表层和下层土壤间差异很小,虽然这意味着科尔沁沙地土壤的耐风蚀能力强于呼伦贝尔沙地,特别是其表层土壤耐风蚀能力更强^[1,3],但也

意味着一旦开始出现沙漠化,其受到吹蚀时黏粉粒损失会更多,土壤粗化速率更快^[1,12];三是风对土壤颗粒的分选作用会受到风速、土壤水分、温度等众多环境条件的影响,两地环境条件的差异可能也是导致其土壤机械组成沙漠化演变规律存在差异的重要因素^[3,13]。

我们的研究结果还表明,随着沙漠化的发展,2个沙地土壤有机碳、全氮、全磷、有效氮、有效磷含量均明显下降,其下降幅度几乎也都是表层土壤大于下层,这与戴万宏等^[14]、杨梅焕等^[8]、刘树林等^[9]在毛乌素和浑善达克沙地的研究结果是一致的。但是,沙漠化过程中,2个沙地土壤有机碳和氮、磷含量的变化规律也有较大差别。例如,科尔沁沙地土壤有机碳、全氮、全磷、有效氮、有效磷含量以及土壤碳/氮比的下降幅度均明显大于呼伦贝尔沙地,特别是在严重沙漠化草地,除了有效磷外,科尔沁沙地的土壤有机碳和土壤养分均明显低于呼伦贝尔沙地。在科尔沁沙地,上下层土壤各项指标下降幅度大小的排序是有机碳>全氮>全磷>有效氮>有效磷;而在呼伦贝尔沙地是有机碳>有效磷>总氮>有效氮>有效磷。另外,2个沙地表层土壤的pH值均随着沙漠化的发展而趋于下降,而下层土壤的pH值略有增加,但其变化幅度是呼伦贝尔沙地大于科尔沁沙地。这一方面说明,沙漠化过程中2个沙地土壤有机碳和养分均损失严重,土壤贫瘠化过程显著^[2,5],但科尔沁沙地土壤贫瘠化速率和贫瘠化程度要明显大于呼伦贝尔沙地。另一方面说明,随着沙漠化的发展,2个沙地各土壤化学特性的变化速率有很大不同,不仅导致沙地间土壤碳、氮、磷含量差异的增大,也使呼伦贝尔沙地土壤的酸碱度更加低于科尔沁沙地。沙漠化过程中,土壤有机碳的大幅度下降,特别是碳/氮比的大幅度降低,不仅意味着土壤固碳能力的降低,土壤有机碳矿化程度的加剧,土壤难以储存更多的碳^[2,8],而且表明土壤有机碳在促进土壤团粒结构形成,维持土壤稳定,保障土壤养分供给中的作用明显降低,土壤的稳定性变差,因而更容易遭受风蚀^[3,9]。另外,由于碳氮比的下降和氮、磷关系的失调,也会导致土壤氮素的利用率降低和土壤氮素的流失,不仅会严重影响土地的生产潜力,也会对环境产生负面影响^[1,15]。

关于沙漠化过程中土壤有机碳和养分含量大幅度下降的机制,已有较多研究。普遍认为,土壤有机碳和养分主要是和土壤黏粉粒结合在一起的,沙漠化过程中土壤有机碳和养分含量的下降与土壤黏粉

粒的大量吹失密切相关,即土壤的粗化总是伴随着土壤的贫瘠化^[11,16]。我们的研究结果表明,沙漠化过程中,2个沙地的土壤有机碳、全氮、全磷、有效氮和有效磷含量的变化均与土壤黏粉粒含量呈显著正相关关系,与土壤沙粒含量变化存在显著负相关关系。这说明,沙漠化过程中,土壤黏粉粒含量的下降确实是导致土壤有机碳和氮、磷含量下降的主要原因^[1,2,10]。根据何燕宁等^[13]的研究,在内蒙古,自北向南、自东向西,土壤有机碳具有随着降水量增加而增加,随着温度的增加而下降的规律。而戴万宏等^[14]的研究指出,土壤有机质含量有随pH升高而降低的趋势,二者间呈极显著的负相关关系。但我们的测定结果却表明,在年均降水量和年均温较低的呼伦贝尔沙地,非沙漠化草地的土壤有机碳、全氮、全磷、有效氮和有效磷均低于年均降水量和年均温较高的科尔沁沙地,这显然与何燕宁等^[13]的研究结果不符。这说明,温度和降水可能不是导致两地土壤有机碳和养分含量存在差异的主要原因^[3,16]。我们的相关分析结果也表明,呼伦贝尔沙地土壤有机碳、养分含量变化与土壤温度、水分和pH变化的相关性均未达到显著水平,在科尔沁沙地土壤有机碳、全氮和全磷与土壤温度变化的相关性达到了显著水平,但与土壤水分含量、pH变化的相关性,以及土壤有效养分与土壤温度、pH变化的关系均未达到显著水平。因此,我们认为只有2个沙地背景土壤质地的差异,以及沙漠化过程中土壤机械组成演变规律的不同,才是导致2个沙地之间土壤有机碳和土壤养分含量存在明显差异,以及沙漠化过程中土壤有机碳和养分含量演变规律存在差异的主要原因^[3,17]。但对于科尔沁沙地而言,沙漠化过程中,土壤有机碳、全氮和全磷含量的变化也受到了土壤温度变化的影响。

5 结 论

根据上述研究结果的分析 and 讨论,可以得到以下几点结论:

(1) 沙漠化过程中,2个沙地的土壤黏粉粒含量均大幅度下降,沙粒含量明显增加,但科尔沁沙地土壤机械组成的变化幅度要大于呼伦贝尔沙地,并且前者黏粉粒的主要释放期要早于后者。

(2) 科尔沁沙地的土壤温度和含水量均高于呼伦贝尔沙地,但随着沙漠化的发展,科尔沁沙地土壤温度趋于下降,呼伦贝尔沙地土壤温度的变化趋势不明显,而土壤含水量均略有增加。

(3) 随着沙漠化的发展,2个沙地土壤有机碳、氮、磷含量、碳/氮均显著下降,表层土壤的下降幅度均大于下层,但科尔沁沙地有机碳、全氮、有效氮和全磷含量的下降幅度大于呼伦贝尔沙地,有效磷则相反。

(4) 随着沙漠化的发展,2个沙地表层土壤 pH 均显著下降,下层土壤 pH 变化不显著。

(5) 导致2个沙地土壤理化特性演变规律不同的主要原因是2个沙地背景土壤的质地和土壤粗化速率的差异,而土壤有机碳和土壤全养分含量的变化在科尔沁沙地还受到土壤温度变化的显著影响。

参考文献(References):

- [1] Ci Longjun. Desertification and Its Control in China [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005. [慈龙骏. 中国的荒漠化及其防治[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.]
- [2] Zhao H L, He Y H, Zhou R L, et al. Effects of desertification on soil organic C and N content in sandy farmland and grassland of Inner Mongolia[J]. *Catena*, 2009, 77:187-191.
- [3] Zhu Zhenda, Chen Guangting. Sandy Desertification [M]. Beijing: Science Press, 1994. [朱震达,陈广庭. 中国沙质荒漠化[M]. 北京: 科学出版社, 1994.]
- [4] Zhang Yongmin, Zhao Shidong. Desertification: Current state and trends, scenarios and response option [J]. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(3): 306-342. [张永民, 赵士洞, 全球荒漠化的现状、未来情景及防治对策[J]. 地球科学进展, 2008, 23(3):306-342.]
- [5] Wang Tao, Zhao Halin, Xiao Honglang. Advances in desertification research of China [J]. *Journal of Desert Research*, 1999, 19(5): 299-312. [王涛, 赵哈林, 肖洪浪. 中国沙漠化研究的进展[J]. 中国沙漠, 1999, 19(5): 299-312.]
- [6] Wang Tao, Zhao Halin. Fifty-year history of China desert science [J]. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(2): 145-166. [王涛, 赵哈林. 中国沙漠科学 50 年[J]. 中国沙漠, 2005, 25(2): 145-166.]
- [7] Wang Tao. Review and prospect of research on oasisification and desertification in arid regions [J]. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(1): 1-9. [王涛. 绿洲化、荒漠化研究的进展与趋势[J]. 中国沙漠, 2009, 29(1): 1-9.]
- [8] Yang Meihuan, Cao Mingming, Zhu Zhimei, et al. Soil physical and chemical properties in the process of desertification on the southeastern edge of Mu Us Sandy Land[J]. *Bulleton of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(2): 169-174. [杨梅焕, 曹明明, 朱志梅, 等. 毛乌素沙地东南缘沙漠化过程中土壤理化性质分析[J]. 水土保持通报, 2010, 30(2): 169-174.]
- [9] Liu Shulin, Wang Tao, Qu Jianjun. Soil characteristics changes in desertification processes in Hunshandake Sandy land, Northern China[J]. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(4): 611-617. [刘树林, 王涛, 屈建军. 浑善达克沙地土地沙漠化过程中土壤粒度与养分变化研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 611-617.]
- [10] Zhao H L, Yi X Y, Zhou R L, et al. Wind erosion and sand accumulation effects on soil properties in Horqin sandy farmland, Inner Mongolia[J]. *Catena*, 2006, 65: 71-79.
- [11] Zhao Halin, Zhao Xueyong, Zhang Tonghui, et al. Bio-processes of Desertification and Restoration Mechanism of Degradation Vegetation[M]. Beijing: Sciences Press, 2007. [赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 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] Li Xiaobing, Chen Yunhao, Zhang Yunxia. Impact of climate change on desert steppe in northern China [J]. *Advances in Earth Science*, 2002, 17(2): 254-261. [李晓兵, 陈云浩, 张云霞. 气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 254-261.]
- [13] He Yanning, Yang Fang. Study on background values of environment and soil organic matter in Inner Mongolia[J]. *Inner Mongolia Environmental Protection*, 1996, 8(1): 9-10. [何燕宁, 杨芳. 内蒙古自治区环境土壤有机质背景值研究[J]. 内蒙古环境, 1996, 8(1): 9-10.]
- [14] Dai Wanhong, Huang Yao, Wu Li, et al. Relationships between soil organic matter contents and pH in topsoil of zonal soils in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(15): 851-861. [戴万宏, 黄耀, 武丽, 等. 中国地带性土壤有机质含量与酸碱度的关系[J]. 土壤学报, 2009, 46(15): 851-861.]
- [15] Zhao H L, Zhou R L, Zhang T H, et al. Effects of desertification on soil and crop growth properties in Horqin sandy farmland of Inner Mongolia[J]. *Soil & Tillage Research*, 2006, 87: 175-185.
- [16] Liu Yingru, Yang Chi, Zhu Zhimei. Soil C and N dynamics during desertification of grassland in Northern China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(9): 1 604-1 606. [刘颖茹, 杨持, 朱志梅. 我国北方草原沙漠化过程中土壤碳、氮变化规律研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1 604-1 606.]
- [17] Zhu Zhimei, Yang Chi, Cao Mingming, et al. Changes of soil physical and chemical properties in sandy desertification on the Duolun Prairie [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2007, 27(1): 1-5. [朱志梅, 杨持, 曹明明, 等. 多伦草原土壤理化性质在沙漠化过程中的变化[J]. 水土保持通报, 2007, 27(1): 1-5.]

Comparison on Soil Physicochemical Properties in Desertification Process between Two Sand Lands in East of Inner Mongolia

Zhao Halin¹, Li Yuqiang¹, Zhou Ruilian², Zhao Xueyong¹,
Zhang Tonghui¹, Wang Jin²

(1. *Cold and Arid Regions Environment and Engineering Institute, CAS, Naiman Desertification Research Station, Lanzhou 730000, China*; 2. *Faculty of Life Sciences, Ludong University, Yantai 264025, China*)

Abstract: A field investigation on soil chemical and physical properties in different kinds of desertified grassland was conducted during July, 2009 simultaneously in Hulunbeir and Horqin sand lands with same longitude and different Latitude to understand the differences and mechanisms on changes of soil chemical and physical properties in desertification processes in sandy grassland of different regions. The results showed that ①with desertification developing, soil clay and silt contents decreased and sand content increased significantly in the two sand lands, but changing range on soil texture was greater in the Horqin Sand Land than that in the Hulunbeir Sand Land, and primary emission period of clay and silt was easier in the former than the later. ②Soil temperature and water content were higher in the Horqin Sand Land than that in Hulunbeir Sand Land. With desertification development, soil temperature decreased in Horqin Sand Land and changing trend of soil temperature was not obvious in Hulunbeir Sand Land, but soil water contents increased slightly in both the two sand lands. ③With desertification development, soil organic carbon, nitrogen, phosphorus contents and C/N decreased significantly and the declined range was greater in topsoil than that in subsoil. The declined range of soil organic carbon, total N, total P and available N were greater in the Horqin Sand Land than that in Hulunbeir Sand Land, but available P was the exact opposite. ④With desertification development, soil pH decreased significantly in the topsoil and changes of soil pH was not significantly in the subsoil in both of the two sand lands. ⑤ Primary reasons to cause the differences in changes of soil physicochemical properties resulted from differences of background soil texture and speed of soil coarseness between the two sand lands, and changes in soil organic carbon and total nutrient contents also were subject to changes in soil temperature in the Horqin Sand Land.

Key words: Horqin Sand Land; Hulunbeir Sand Land; Sandy grassland; Soil properties; Desertification.