

# 科尔沁沙地沙漠化过程中土壤有机碳和全氮含量变化

赵哈林<sup>1</sup>, 周瑞莲<sup>2</sup>, 苏永中<sup>1</sup>, 李玉强<sup>1</sup>

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃兰州 73000; 2. 鲁东大学生命科学学院, 山东烟台 264025)

**摘要:**通过地面调查,研究了沙漠化对科尔沁沙地农田和草地土壤有机碳和全氮含量的影响。结果表明,随着沙漠化的发展,科尔沁沙地土壤碳、氮含量明显下降。和非沙漠化农田相比,轻度、中度、重度和严重沙漠化农田土壤有机碳和全氮含量分别下降 12.3% 和 15.3%、22.2% 和 24.7%、39.5% 和 44.7%、64.4% 和 63.5%; 和非沙漠化草地相比,轻度、中度、重度和严重沙漠化草地土壤有机碳和全氮含量分别下降了 56.3% 和 48.7%、78.4% 和 74.4%、88.9% 和 84.6%、91.6% 和 84.6%。截至 2000 年,科尔沁沙漠化总面积已经达到 50197.5 km<sup>2</sup>,由于沙漠化而导致的土壤有机碳和全氮损失总量分别为 36.39 Mt 和 7.89 Mt,其中草地分别占 91.12% 和 86.06%,农田分别占 8.88% 和 13.94%。相关分析结果表明,土壤有机碳和全氮的损失主要源于风蚀所引起的土壤粘粉粒的减少。因此,在科尔沁沙地,防治土壤风蚀对于减少农田和草地土壤碳、氮损失极为重要。

**关键词:**半干旱区;沙漠化;有机碳;全氮;损失量

文章编号:1000-0933(2008)03-0976-07 中图分类号:Q948.11 文献标识码:A

## Changes of soil organic C and total N contents as affected by desertification in Horqin Sand Land, North China

ZHAO Ha-Lin<sup>1,\*</sup>, ZHOU Rui-Lian<sup>2</sup>, SU Yong-Zhong<sup>1</sup>, LI Yu-Qiang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cold and Arid Regions Environment and Engineering Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

<sup>2</sup> Faculty of Life Sciences, Eastern Shandong University, Yantai 264025, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 0976 ~ 0982.

**Abstract:** Using a field investigation data, we analyzed changes of organic C and total N contents in relation to land desertification, compare difference of organic C and total N amount lost as affected by desertification between farmland and grassland. The results showed that soil C and total N concentration decreased significantly with increased desertified degrees, which decreased by 12.3% and 15.3%, 22.2% and 24.7%, 39.5% and 44.7%, 64.4% and 63.5% in the light, moderate, heavy and severe desertified farmland compared to undesertified farmland, and by 56.3% and 48.7%, 78.4% and 74.4%, 88.9% and 84.6%, 91.6% and 84.6% in the light, moderate, heavy and severe desertified grassland compared to undesertified grassland. Desertified areas was spreaded to 50197.5 km<sup>2</sup> in 2000 in Horqin Sand Land, which total organic C and N amount lost by desertification was 36.39 Mt and 7.89 Mt, of which account for 91.12% and 86.06% in the desertified grassland, and for 8.88% and 13.94% in the desertified farmland, respectively. Correlation analysis indicated that the loss of soil organic C and N results mainly from decreased soil fine particles caused by wind erosion in the desertification process. So combating desertification to protect the farmland and grassland against wind erosion is very importance to decrease loss of C and N store in semiarid Horqin Sand Land.

**基金项目:**中国科学院寒区旱区环境与工程研究所创新资助项目(0650444001);国家自然科学基金资助项目(40601008)

**收稿日期:**2006-12-24; **修订日期:**2007-08-23

**作者简介:**赵哈林(1954~),男,安徽马鞍山人,博士,研究员,主要从事荒漠生态学研究。E-mail: zhaohalin666@hotmail.com

**Foundation item:** The project was financially supported by one of the CAREES Innovation Projects (No. 0650444001) and National Natural Science Foundation of China (No. 40601008)

**Received date:** 2006-12-24; **Accepted date:** 2007-08-23

**Biography:** ZHAO Ha-Lin, Professor, mainly engaged in desert ecology and restoration ecology. E-mail: zhaohalin666@hotmail.com

**Key Words:** semiarid areas; land desertification; organic C and total N; storages and lost amount

土地沙漠化是世界许多干旱半干旱地区最严重的社会与环境问题之一<sup>[1]</sup>,它不仅能够导致土壤沙化和风沙地貌的形成,而且还可导致土地生产潜力明显降低<sup>[2]</sup>。因此,土地沙漠化被认为是干旱半干旱地区土地退化的最严重的一种类型,越来越受到世界的关注<sup>[3]</sup>。

土壤有机碳和全氮含量及其与土地沙漠化的关系,对于评估区域、陆地、全球等不同尺度的土地退化都是极为重要的<sup>[1,4]</sup>。特别是土壤中的碳,不仅是碳生物化学过程中重要的碳源,而且也是陆地生态系统的主要碳库,是评价土地退化程度的重要指数<sup>[5]</sup>。了解沙漠化过程中土壤有机碳和全氮含量和储量的变化,对于掌握沙漠化对土壤肥力的影响及其机制,是十分重要的<sup>[6]</sup>。

目前,关于沙漠化对土壤有机碳和氮的研究报道已有不少。研究已经证实,沙漠化主要发生于多风,具有沙质土壤的干旱半干旱地区<sup>[7,8]</sup>。沙漠化过程中,风蚀导致了土壤中细颗粒的损失,产生了更沙质的土壤结构<sup>[9]</sup>。伴随着这种土壤细颗粒的损失,土壤有机质大量损失,进而使土壤容重增加、土壤毛管孔隙度和持水力降低,土壤结构和团粒的稳定性受到破坏,土壤养分含量及有效性降低,最终导致土地生产潜力部分或全部的破坏<sup>[10]</sup>。一些研究者还通过多种方法,对区域土壤有机碳和全氮储量进行了估算,分析了由于沙尘暴而排放的土壤细颗粒及碳对气候变化的影响<sup>[11,12]</sup>。但是,关于沙漠化对中国北方农田和草地土壤有机碳和全氮含量和储量的影响研究,还很少见有报道<sup>[5]</sup>。

科尔沁沙地位于我国北方半干旱农牧交错区的东段。过去几十年,由于过度放牧和滥垦,科尔沁沙地的土地沙漠化迅速发展。一些研究者已经监测了该区沙漠化土地的变化,分析了沙漠化的机制<sup>[13,14]</sup>。本文的目的是分析土地沙漠化过程中农田和草地土壤质地及碳、氮含量的变化,估算该区有机碳和全氮的总损失量,分析其损失量与土地沙漠化的关系。

## 2 材料与方法

### 2.1 研究区自然概况

研究区位于内蒙古东部科尔沁沙地腹地的奈曼旗境内(42°55'~42°57'N, 120°41'~120°45'E,海拔340~370 m)。该区属温带半干旱大陆性气候,年均温6.5℃,≥10℃年积温3190℃;年均降水量369.8 mm,年均蒸发量1900 mm,无霜期151 d;年均风速3.4 m·s<sup>-1</sup>,年均扬沙天气20~30 d。地貌以高低起伏的沙丘地、平缓草甸和沙质农田交错分布为特征,土壤多为风沙土或沙质草甸土。植被以沙生植物为主,主要植物种包括黄柳(*Salix gordejewii*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)、白草(*Pennisetum centrasiaticum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、黄蒿(*Artemisia scoparia*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、虫实(*Corispermum spp.*)、狗尾草(*Setaria viridis*)等。由于受滥垦、滥牧等因素的影响,该区沙漠化土地已占总土地面积的50%以上。

### 2.2 试验设计

根据已有的2000年沙漠化遥感资料(TM图像),结合朱震达等关于沙漠化土地的分类标准<sup>[14]</sup>,2002~2003年在研究区的农田和草地中,按照非沙漠化、轻度沙漠化、中度沙漠化、重度和严重沙漠化5种沙漠化类型分别选择典型样地。其中,农田分为大片甸子地和小片丘间低地两种,前者较为平坦开阔,后者多为缓坡地;草地分为沙丘地和平坦草地,前者为高低起伏的沙丘,后者为平缓波状沙质草地。每种样地设置3个重复,每个样地设置取样点10个,每个点用土钻提取0~30 cm深土样5个,混合后装入土壤袋内。土样品带回实验室后,风干并过2 mm筛,一部分供土壤机械组成分析,一部分进一步磨细用于土壤其它物理、化学性质分析。在取样的同时,用环刀(体积100 cm<sup>3</sup>)取土芯测定土壤容重。

### 2.3 样品分析和数据处理

土壤颗粒组成采用湿筛加吸管法<sup>[10]</sup>;土壤有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法<sup>[16]</sup>;全氮采用凯式定氮法(意大利产DK6,UDK140分析仪)<sup>[17]</sup>。土壤有机碳、全氮储量及损失量的计算方法为<sup>[5]</sup>:

土壤有机碳(氮)现存储量 = 土地面积 × 所测土壤深度 × 土壤平均容重 × 平均土壤有机碳(氮)含量

沙漠化土地损失的碳(氮)储量 = 非沙漠化土地碳(氮)储量 - 沙漠化土地现存碳(氮)储量

所有数据采用 SPSS 软件进行处理和分析。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。

### 3 结果和分析

#### 3.1 沙漠化土壤质地的变化

随着沙漠化的发展,农田和草地土壤中粗沙含量明显增加,土壤细颗粒明显减少( $P < 0.05$ ),土壤容重趋于增加(表 1)。和非沙漠化农田相比,轻度、中度、重度和严重沙漠化农田的粗沙含量分别增加了 6.57%、12.12%、24.53% 和 35.0%,细颗粒含量分别减少了 13.74%、24.92%、53.04% 和 76.04%,土壤容重分别增加了 2.14%、5.71%、9.29% 和 12.85%。和非沙漠化草地相比,轻度、中度、重度和严重沙漠化草地的粗沙含量分别增加了 4.55%、22.23%、29.55% 和 32.73%,细颗粒含量分别减少了 11.96%、58.33%、77.53% 和 86.23%,土壤容重分别增加了 17.78%、18.52%、20.74% 和 22.22%。结果表明,以风蚀为主要特征的土地沙漠化导致了该区土壤质地的明显粗化,其中沙漠化对草地土壤质地的危害程度要高于农田。

表 1 沙漠化过程中草地和农田土壤颗粒组成的变化

Table 1 Changes on soil particle size distribution as affected by desertification

沙漠化程度 Desertified degrees	农田土壤 Farmland (mm, %)			土壤容重 Bulk density ( $g \cdot cm^{-3}$ )	草地土壤 Grassland (mm, %)			土壤容重 Bulk density ( $g \cdot cm^{-3}$ )
	粗沙 Coarse sand	细沙 Fine sand	粘粉粒 Clay + silt		粗沙 Coarse sand	细沙 Fine sand	粘粉粒 Clay + silt	
非沙漠化 Undesertified	68.5 ± 2.1a	24.3 ± 0.6a	7.0 ± 1.7a	1.40a	72.4 ± 3.3a	18.1 ± 2.6a	9.5 ± 3.7a	1.35a
轻度 Light	73.0 ± 2.4b	21.1 ± 3.0b	5.9 ± 2.1b	1.43a	75.7 ± 4.2b	15.9 ± 2.0b	8.4 ± 3.2b	1.59b
中度 Moderate	76.8 ± 3.0c	18.4 ± 2.4c	5.1 ± 2.9b	1.48ab	88.5 ± 8.8c	7.5 ± 6.3c	4.0 ± 2.5c	1.60b
重度 Heavy	85.3 ± 2.5d	11.7 ± 2.2d	3.0 ± 1.1c	1.53b	93.8 ± 1.4d	3.7 ± 0.4d	2.5 ± 1.3d	1.63c
严重 Severe	92.5 ± 3.5e	5.4 ± 3.7e	2.1 ± 1.0d	1.58b	96.1 ± 0.5e	2.1 ± 0.4e	1.7 ± 0.6e	1.65c

字母相同的值表示差异未达到显著水平( $P < 0.05$ );下同 Values with the same letters within columns are not significantly different at  $P < 0.05$ ; the same below

#### 3.2 土壤颗粒中有机碳和全氮分布的变化

在科尔沁沙地,土壤有机碳和全氮主要分布于土壤粘粉粒中(表 2)。在非沙漠化土地中,粘粉粒中所含碳和氮分别占总量的 63.3% 和 59.7%,而粗沙中的碳和氮量分别只占总量 10.3% 和 11.9%。随着沙漠化的发展,分布于粘粉粒中的碳和氮比重明显下降( $P < 0.05$ ),粗沙中的碳、氮比重趋于增加。和非沙漠化土地相比,轻度、中度、重度和严重沙漠化土地粘粉粒中的碳、氮比重分别下降了 0.63% 和 -0.84%、6.95% 和 15.1%、16.9% 和 18.59%、28.12% 和 31.349%,而分布于粗沙中的碳和氮比重分别增加了 2.62% 和 10.08%、11.65% 和 1.68%、28.16% 和 23.53%、151.46% 和 147.06%。分布于细沙中的碳、氮比重也是随之沙漠化的发展有所增加,但增加幅度小于粗沙中碳、氮的增加幅度。

表 2 沙漠化过程中不同粒径土壤颗粒中有机碳和全氮分布的变化

Table 2 Changes of organic C and total N in the particle size fractions

沙漠化程度 Desertified degrees	有机碳分布 Distribution of organic C (%)			全氮分布 Distribution of total N (%)		
	粗沙 Coarse sand	细沙 Fine sand	粘粉粒 Clay + silt	粗沙 Coarse sand	细沙 Fine sand	粘粉粒 Clay + silt
非沙漠化 Undesertified	10.3 ± 2.0a	26.4 ± 7.9a	63.3 ± 8.9a	11.9 ± 3.2a	28.3 ± 6.3a	59.7 ± 9.3a
轻度 Light	11.6 ± 3.0a	25.5 ± 7.6a	62.9 ± 6.9a	13.1 ± 4.0a	26.7 ± 6.4a	60.2 ± 4.5a
中度 Moderate	11.5 ± 4.8a	29.6 ± 9.0b	58.9 ± 9.2ab	12.1 ± 2.6a	29.1 ± 9.9a	58.8 ± 6.9a
重度 Heavy	13.2 ± 2.2b	34.2 ± 8.7c	52.6 ± 9.7bc	14.7 ± 1.8a	36.6 ± 5.4b	48.6 ± 4.1ab
严重 Severe	25.9 ± 6.4c	28.6 ± 3.5b	45.5 ± 11.7c	29.4 ± 10.0b	29.8 ± 4.3a	40.9 ± 13.0b

### 3.3 沙漠化对土壤有机碳和全氮含量的影响

受沙漠化影响,农田和草地土壤中有有机碳和全氮含量明显下降 ( $P < 0.05$ ) (表3)。和非沙漠化农田相比,轻度、中度、重度和严重沙漠化农田土壤有机碳和全氮含量分别下降了 12.34% 和 15.29%、22.22% 和 24.71%、39.51% 和 44.71%、64.35% 和 63.53%。和非沙漠化草地相比,轻度、中度、重度和严重沙漠化草地土壤有机碳和全氮含量分别下降了 49.89% 和 44.68%、76.09% 和 72.34%、88.97% 和 85.11%、91.49% 和 87.23%。受沙漠化的影响,农田和草地土壤的 C/N 存在不同的变化趋向。其中,草地土壤的 C/N 比是随着沙漠化的发展明显下降,而农田土壤的 C/N 比从非沙漠化农田到重度沙漠化农田是增加的,只有到严重沙漠化阶段才明显下降。这些结果表明,沙漠化对草地有机碳和全氮含量的影响要大于农田,农田土壤中氮的损失速度要快于碳(严重沙漠化农田除外),草地土壤中碳的损失速度要比氮慢。

表3 农田和草地土壤有机碳和氮浓度的变化  
Table 3 Changes on soil C and N concentration as affected by desertification

沙漠化程度 Desertified degrees	农田土壤 Farmland soil (g/kg soil)			草地土壤 Grassland soil (g/kg 注:soil)		
	有机碳 Organic C	全氮 Total N	C/N	有机碳 Organic C	全氮 Total N	C/N
非沙漠化 Undesertified	6.48 ± 0.64a	0.85 ± 0.15a	7.77 ± 0.93a	4.35 ± 1.09a	0.47 ± 0.11a	9.26 ± 0.12a
轻度 Light	5.68 ± 1.02ab	0.72 ± 0.14b	7.91 ± 0.38b	2.18 ± 0.27b	0.26 ± 0.04b	8.38 ± 0.41b
中度 Moderate	5.04 ± 0.81b	0.64 ± 0.12b	7.92 ± 0.85b	1.04 ± 0.06c	0.13 ± 0.01c	8.00 ± 0.47b
重度 Heavy	3.92 ± 1.32c	0.47 ± 0.12c	8.12 ± 0.96c	0.48 ± 0.06d	0.07 ± 0.01c	6.85 ± 1.06c
严重 Severe	2.31 ± 0.66d	0.31 ± 0.08d	7.30 ± 1.13d	0.37 ± 0.03e	0.06 ± 0.01c	6.16 ± 0.45c

### 3.4 沙漠化对单位面积有机碳和全氮储量的影响

在科尔沁沙地,单位面积土壤有机碳和全氮储量较低(表4)。非沙漠化农田 0~30 cm 深土壤碳、氮储量分别为  $2.72 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $0.36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,非沙漠化草地相应只有  $1.76 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $0.19 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。受沙漠化的影响,单位面积有机碳和全氮储量(0~30 cm 深)明显下降 ( $P < 0.05$ )。和非沙漠化农田相比,轻度、中度、重度和严重沙漠化农田单位面积有机碳和全氮储量分别下降了 10.47% 和 13.47%、17.78% 和 21.39%、33.89% 和 39.58%、59.77% 和 58.85%。和非沙漠化草地相比,轻度、中度、重度和严重沙漠化草地单位面积的有机碳和全氮储量分别下降了 40.56% 和 33.94%、71.50% 和 67.23%、86.68% 和 81.94%、89.43% 和 83.22%。显然,沙漠化过程中,草地土壤碳、氮储量所受影响要比农田更严重。

表4 沙漠化过程中土壤碳和氮储量  
Table 4 Changes on soil C and N stores as affected by desertification

沙漠化程度 Desertified degrees	农田 Farmland ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 0~30 cm)		草地 Grassland ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 0~30 cm)	
	有机碳 Organic C	全氮 Total N	有机碳 Organic C	全氮 Total N
非沙漠化 Undesertified	2721.6 ± 268.8a	357.0 ± 63.0a	1755.5 ± 289a	188.3 ± 112a
轻度 Light	2436.7 ± 437.6ab	308.9 ± 60.1b	1043.4 ± 177b	124.4 ± 86b
中度 Moderate	2237.8 ± 359.6b	284.2 ± 53.3b	500.3 ± 110c	61.7 ± 12c
重度 Heavy	1799.3 ± 605.9c	215.7 ± 55.1c	233.9 ± 65d	34.0 ± 5d
严重 Severe	1094.9 ± 312.8d	146.9 ± 37.9d	185.6 ± 33c	31.6 ± 4d

### 3.5 单位面积有机碳和全氮储量的损失量

单位面积有机碳和全氮损失量随着沙漠化程度的加剧而明显增加 ( $P < 0.05$ ) (表5)。和非沙漠化农田相比,轻度沙漠化农田单位面积的有机碳和全氮损失量为  $284.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $48.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,而至严重沙漠化阶段时分别迅速增至  $1626.7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $210.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,增加了 4.71 倍和 3.37 倍。和非沙漠化草地相比,轻度沙漠化草地单位面积的有机碳和全氮损失量为  $712.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $63.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,而至严重沙漠化阶段分别迅速增至  $1569.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $157.7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,分别增加了 1.10 倍和 1.47 倍。显然,在沙漠化初期,单位面积草地有机碳和全氮的损失量要明显高于农田的损失量,而至严重沙漠化阶段,单位面积农田有机碳和全氮损失量则明显高

于草地的损失量。

表 5 单位面积沙漠化土地有机碳和全氮损失量

Table 5 Lost amount of soil organic C and N in unit area (0~30 cm depth)

沙漠化程度 Desertified degrees	农田 Farmland (g/m <sup>2</sup> )		草地 Grassland (g/m <sup>2</sup> )	
	有机碳 Organic C	全氮 Total N	有机碳 Organic C	全氮 Total N
非沙漠化 Undesertified	0.0	0.0	0.0	0.0
轻度 Light	284.9	48.1	712.1	63.9
中度 Moderate	483.8	72.8	1255.2	126.6
重度 Heavy	922.3	141.3	1521.6	154.3
严重 Severe	1626.7	210.1	1569.9	157.7

### 3.6 科尔沁沙地沙漠化面积和碳、氮损失量

遥感监测数据表明<sup>[15]</sup>,截至 2000 年科尔沁沙地的沙漠化面积已达 50197.5 km<sup>2</sup>(表 6),其中沙漠化农田和草地分别占 39.93% 和 60.07%。在沙漠化总面积中,轻度、中度、重度和严重沙漠化面积的比重分别为 61.16%、17.95%、11.58% 和 9.31%。根据单位面积碳、氮损失量(表 5)和现有沙漠化面积,可以计算出多年来科尔沁沙地因土地沙漠化损失的土壤有机碳和全氮量分别为 39.95 Mt 和 4.34 Mt(表 6)。在碳的总损失量中,草地和农田分别占 91.12% 和 8.88%。在全氮的总损失量中,草地和农田分别占 86.06% 和 13.94%。在碳和氮的总损失量中,轻度、中度、重度和严重沙漠化土地分别占 29.38% 和 71.35%、25.41% 和 16.34%、23.74% 和 8.75%、21.46% 和 3.55%。显然,科尔沁沙地的沙漠化土地以沙漠化草地为主,损失的碳、氮量也主要源于沙漠化草地。损失的氮量绝大部分源于轻度沙漠化土地,来源于其它类型沙漠化土地的较少。各类沙漠化土地之间损失的碳量虽有差异,但差异远不如氮明显。

表 6 2000 年科尔沁沙地沙漠化面积和碳、氮损失量

Table 6 Desertified areas (km<sup>2</sup>) in 2000 and lost amount of carbon and nitrogen in Horqin Sand Land

沙漠化程度 Desertified degrees	轻度 Light	中度 Moderate	重度 Heavy	严重 Severe	合计 Total
沙漠化草地 Grassland	13772.1	6693.7	5163.7	4523.2	30152.7
损失碳量 Lost C	9.81	8.40	7.85	7.10	33.16
损失氮量 Lost N	4.82	1.12	0.60	0.25	6.79
沙漠化农田 Farmland	16927.2	2315.1	651.7	150.8	20044.8
损失碳量 Lost C	0.88	0.85	0.79	0.71	3.23
损失氮量 Lost N	0.81	0.17	0.09	0.03	1.10
总沙漠化总面积 Total	30699.3	9008.8	5815.4	4674.0	50197.5
损失总碳量 Total lost C	10.69	9.25	8.64	7.81	36.39
损失总氮量 Total lost N	5.63	1.29	0.69	0.28	7.89

## 4 讨论

### 4.1 草地和农田土壤碳、氮含量的差异

Bouwman 指出,开垦几乎在所有的情况下都会造成草地土壤碳、氮含量的降低,如温带地区草原开垦为农田后碳、氮损失量可达 20%~40%,加拿大的草原开垦后土壤碳、氮含量减少了 50% 以上<sup>[18]</sup>,我国河北坝上草原开垦 8a 后碳氮损失量可达 40%~55%<sup>[13]</sup>。因此,一般情况下同一地区草地的碳、氮含量被认为要高于农田<sup>[5,6,18]</sup>。但在科尔沁沙地,大多数农田的土壤质地和养分含量要好于草地<sup>[10,15]</sup>。本测定结果也表明,非沙漠化农田土壤细颗粒含量和有机碳、全氮含量均高于非沙漠化草地,而土壤粗沙含量则相反。在科尔沁沙地只所以会出现这种情况,与其原始地形地貌特征和农业开发过程有关。在科尔沁沙地,其原始景观以固定、半固定沙丘和沙质草甸交错分布为主要特征<sup>[10]</sup>。其中,草甸区的水热条件要好于沙丘区,不仅植物生长旺盛,土壤有机质和养分积累速度快于沙丘地,而且其植被防风滞尘作用也高于沙丘植被<sup>[15]</sup>。因此,一般情况

下草甸土壤的细颗粒含量和有机质、养分含量均明显高于沙丘草地土壤<sup>[19]</sup>。在科尔沁沙地,历史上以牧为主,大规模的农业开发不过百年历史<sup>[15]</sup>。最初的农业开垦起始于水热条件和土壤条件最好的草甸区,之后随着人口的增加和农垦力度的加大,水热条件和土壤条件相对较差的草甸也逐步得到开垦。因此,目前那些未被开垦的草地,绝大多数是土壤质地较差、养分含量较低沙丘草地和劣质草甸草地<sup>[19]</sup>。虽然草地开垦成农田后土壤碳、氮含量会趋于下降,但农民通过建设农田防护林和施肥、灌溉等措施也会尽量降低其下降速度。因此,迄今为止科尔沁沙地的大部分农田土壤质地和养分含量还是明显好于草地。

#### 4.2 沙漠化过程中土壤有机碳和全氮损失量

已有研究表明,沙漠化之所以被认为是干旱半干旱地区土地退化最严重的类型之一,是因为土壤风蚀能通过对富含养分的土壤细颗粒的选择性吹蚀,导致了土壤的粗化、贫瘠化和干旱化,进而严重影响土地的生产潜力<sup>[20, 21]</sup>。通过对科尔沁沙漠化草地和农田土壤质地、有机碳和全氮含量及损失量变化的研究,证实了沙漠化对土壤质地和养分含量具有明显危害作用的结论。研究表明,随着沙漠化的发展,无论是农田,还是草地,土壤粘粉粒、有机碳和全氮含量均明显下降。但在不同沙漠化阶段和不同土地利用方式(农田和草地)之间,其下降幅度有很大差别。例如,和非沙漠化土地相比,在轻度沙漠化阶段,农田土壤有机碳和全氮分别下降了 12.35% 和 15.29%,草地分别下降了 49.89% 和 44.68%;在严重沙漠化阶段,农田土壤有机碳和全氮分别下降了 64.35% 和 63.53%,草地分别下降了 91.49% 和 87.23%。显然,在沙漠化初期,沙漠化对草地土壤有机碳和全氮含量的影响较农田更为严重;而在严重沙漠化阶段,虽然沙漠化对草地土壤有机碳和全氮的影响仍较农田严重,但差异已经明显减小。这和 Su 等和 Duan 等人的研究结果是一致的<sup>[5, 10]</sup>。究其原因,主要与草地和农田土壤质地和养分含量的原始状况有关。如上所述,非沙漠化农田的质地和养分状况要明显好于非沙漠化草地,因而其抗风蚀能力要强于草地,所以在沙漠化初期其土壤碳、氮含量下降速度较慢。但沙漠化发展到一定阶段后,其土壤质地明显恶化,抗风蚀能力减弱,随其土壤细颗粒、碳、氮含量下降速度的加快,所受沙漠化影响与草地也就较为相近了<sup>[15]</sup>。

土壤有机碳和全氮含量的下降,意味着单位面积土壤中有有机碳和全氮储量的减少<sup>[5, 10, 11]</sup>。但在不同沙漠化阶段和不同土地利用方式(农田和草地)之间,其减少幅度有很大差别。对于沙漠化农田来说,从轻度沙漠化到严重沙漠化,其土壤有机碳和全氮储量减少量(0~30 cm 深)分别为 284.9~1626.7 g·m<sup>-2</sup>和 48.1~210.1 g·m<sup>-2</sup>,平均分别为 829.4 g·m<sup>-2</sup>和 118.1 g·m<sup>-2</sup>;对于沙漠化草地来说,从轻度沙漠化到严重沙漠化,其土壤有机碳和全氮储量减少量(0~30 cm 深)分别为 772.1~1569.9 g·m<sup>-2</sup>和 63.9~157.7 g·m<sup>-2</sup>,平均分别为 264.7 g·m<sup>-2</sup>和 125.63 g·m<sup>-2</sup>。就整个区域来讲,截至 2000 年科尔沁沙地沙漠化土地已经发展到了 50197.5 km<sup>2</sup>,因沙漠化损失的有机碳和全氮总量分别达到了 36.39 Mt 和 7.89 Mt。

#### 4.3 土壤有机碳和全氮损失量与土地沙漠化的关系

一些研究报道指出,风蚀能够引起土壤细颗粒的损失,导致土壤的粗化<sup>[1, 3, 7]</sup>。由于土壤有机质和养分主要分布于土壤细颗粒中,土壤细颗粒的损失会引起土壤有机碳和养分含量的下降,因而土壤在粗化的同时也发生了贫瘠化<sup>[5, 7]</sup>。研究表明,在科尔沁沙地,63.3% 有机碳和 59.7% 全氮分布于土壤粘粉粒中。沙漠化过程中,伴随着土壤粘粉粒的减少,土壤有机碳和全氮含量也明显降低。相关分析结果表明,无论是农田土壤,还是草地土壤,其土壤有机碳和全氮含量的下降与土壤细颗粒含量的减少呈明显正相关,而与粗沙含量的增加呈明显负相关( $P < 0.01$ ) (表 7),而土壤全氮变化又与土壤有机碳含量变化呈明显正相关。这一结果支持了 Lowery 等和 Lal 的观念:由风蚀引起的土地沙漠化是通过对富含养分的土壤细颗粒选择性吹蚀,而影响土壤有机碳和全氮含量的<sup>[20, 21]</sup>。

### 5 结论

科尔沁沙地是我国北方沙漠化最严重的地区之一。2000 年沙漠化面积已达 50197.5 km<sup>2</sup>,占其土地总面积的 47.55%。受沙漠化的影响,该区土壤有机碳和全氮含量明显下降。单位面积有机碳和全氮损失量(0~30 cm),农田平均为 829.4 g/m<sup>2</sup>和 118.1 g/m<sup>2</sup>;草地平均为 264.7 g/m<sup>2</sup>和 125.63 g/m<sup>2</sup>。从整个区域来讲,

表 7 碳氮储量与土壤颗粒组成的相关系数  
Table 7 Pearson coefficients among particle size distribution and C and N storages

项目 Items	农田 Farmland		草地 Grassland	
	土壤有机碳 Soil organic C	土壤全氮 Soil total N	土壤有机碳 Soil organic C	土壤全氮 Soil total N
粗沙 Coarse sand	-0.913 **	-0.895 **	-0.914 **	-0.901 **
细沙 Fine sand			0.829 **	0.819 **
粘粉粒 Clay + silt	0.908 **	0.890 **	0.965 **	0.951 **
土壤有机碳 Soil organic C		0.854 **	-	0.997 **
土壤全氮 Soil Total N	0.854 **		0.997 **	-

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$

截至 2000 年因沙漠化损失的有机碳和全氮总量分别达到了 36.39Mt 和 7.89 Mt。在碳的总损失量中,草地和农田分别占 91.12% 和 8.88%;在全氮的总损失量中,草地和农田分别占 86.06% 和 13.94%。土壤有机碳和全氮的损失,主要源于风蚀过程中土壤细颗粒的吹蚀。因此,在科尔沁沙地,防治土壤风蚀对于减少农田和草地土壤碳、氮损失极为重要。

#### References:

- [ 1 ] Gomes L, Arrue J L, Lopez M V, Sterk G, Richard D, Gracia R, Sabre J M, Gaudichet A, Frangi J P. Wind erosion in a semiarid area of Spain: the WELSONS project. *Catena*, 2003, 52: 235—256.
- [ 2 ] Gad A, Abdel S. Study on desertification of irrigated arable lands in Egypt. *Egyptian Journal of Soil Science*, 2000, 40 (3): 373—384.
- [ 3 ] Okin G S, Murray B, Schlesinger W H. Degradation of sandy arid shrub-land environments: observations, process modeling, and management implications. *Journal of Arid Environments*, 2001; 47 (2), 123—144
- [ 4 ] Feng Q, Endo K N, Cheng G D. Soil carbon in desertified land in relation to site characteristics. *Geoderma*, 2002, 106: 21—43.
- [ 5 ] Duan Z H, Xiao H L, Dong Z B, He X D, Wang G. Estimate of total CO<sub>2</sub> output from desertified sandy land in China. *Atmospheric Environment*, 2001, 35: 5915—5921.
- [ 6 ] Robin H K. Soil organic matter and nutrient availability responses to reduced plant inputs in shortgrass steppe. *Ecology*, 1996, 77(8): 2516—2527.
- [ 7 ] Lopez M V, Gracia R, Arrue J L. Effects of reduced tillage on soil surface properties affecting wind erosion in semiarid fallow lands of Central Aragon. *European Journal of Agronomy*, 2000, 12: 191—199.
- [ 8 ] Potter K N. Estimating wind-erodible materials on newly crusted soils. *Soil Sciences*, 1990, 150: 771—776.
- [ 9 ] Hennessy T, Kies B. Soil sorting by Forty-five years of wind erosion on a Southern New Mexico Range. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1986, 56: 391—394.
- [ 10 ] Su Y Z, Zhao H L, Zhang T H, Li Y L. Processes and characteristics of soil degradation in rainfed farmland in the Hoenqin sandy land. *Journal of Soil Water Conservation*, 2002, 16: 25—28.
- [ 11 ] Dixon P K, Brown S, Houghton RA, Solomon A M, Trexler M C, Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystem. *Sciences*, 1994, 263: 185—190.
- [ 12 ] Homann P S, Sollins P, Fiorella M, Thorson T, Kern J S. Regional soil organic Carbon storage estimates for western Oregon by multiple approaches. *Soil Science Society of the American Journal*, 1998, 62: 789—796.
- [ 13 ] Wang T. Land use and sandy desertification in the north China. *China Journal of Desert Research*, 2000, 20 (2): 103—113.
- [ 14 ] Zhu Z D and Chen G T. *Sandy Desertification in China*. Beijing: Science Press, 1994.
- [ 15 ] Zhao H L, Zhao X Y, Zhang T H, Wu W. *Desertification processes and its restoration mechanisms in the Horqin Sand Land*. Beijing: Ocean Press, 2003.
- [ 16 ] Nelson D W and Sommers L E. *Total carbon, organic carbon and organic matter*. Agronomy, Madison. WI, 1982.
- [ 17 ] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences (ISSCAS). *Physical and Chemical Analysis Methods of Soils*. Shanghai: China Shanghai Science Technology Press, 1978.
- [ 18 ] Bouwman R A, Vigil M F, Nielsen D C. *et al.* Soil organic matter changes in intensively cropped dryland systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1999, 63: 186—191.
- [ 19 ] Liu X M, Zhao H L, Zhao A F. *Wind-sand environment and vegetation*. Beijing: Science Press, 1994.
- [ 20 ] Lal R. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Crit. Rev. Plant Sciences*, 1998, 17: 319—464.
- [ 21 ] Lowery B, Swan J, Schumacher T, Jones A. Physical properties of selected soils by erosion class. *Journal of Soil Water Conservation*, 1995, 50: 306—311.

#### 参考文献:

- [ 13 ] 王涛. 中国北方土地利用与沙漠化. *中国沙漠*, 2000. 20 (2): 103~113.
- [ 14 ] 朱震达, 陈广庭. *中国土地沙质荒漠化*. 北京: 科学出版社, 1994. 240~253.
- [ 15 ] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 吴薇主编. *科尔沁沙地的沙漠化过程及恢复机理*. 北京: 海洋出版社, 2003.
- [ 17 ] 中国科学院南京土壤所. *土壤理化性质分析方法*. 北京: 中国科技出版社, 1978. 7~59.
- [ 19 ] 刘新民, 赵哈林, 赵爱芬. *科尔沁风沙环境与植被*. 北京: 科学出版社, 1996.