

沙漠化过程中科尔沁沙地植物-土壤系统碳氮储量动态

李玉强¹, 赵哈林¹, 移小勇¹, 左小安¹, 陈银萍²

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2. 兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州 730070)

摘要: 研究了科尔沁沙地不同沙漠化阶段(潜在、轻度、中度、重度和严重沙漠化)植物-土壤系统的有机碳与氮储量, 以揭示沙漠化对碳氮动态的影响。结果表明, 从潜在沙漠化到轻度、中度、重度和严重沙漠化, 生物量(地上与地下)有机碳储量分别下降 26.4%、51.0%、79.0% 和 91.0%, 生物量氮储量分别下降 33.6%、66.9%、87.4% 和 93.2%; 土壤有机碳储量分别下降 52.2%、75.9%、87.0% 和 90.1%, 土壤全氮储量分别下降 43.5%、71.0%、81.3% 和 82.7%。植物-土壤系统的有机碳与氮储量大小为: 潜在沙漠化(C: $5\,266\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 N: $534\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > 轻度沙漠化(C: $2\,619\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 N: $303\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > 中度沙漠化(C: $1\,368\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 N: $156\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > 重度沙漠化(C: $715\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 N: $99\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > 严重沙漠化(C: $517\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 N: $91\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)。研究结果表明, 生物量碳氮储量的衰减在沙漠化后期(从重度到严重)快于沙漠化初期(从潜在到轻度), 而土壤碳氮储量的衰减在沙漠化初期快于沙漠化后期; 沙漠化过程中土壤有机碳储量的衰减要快于全氮, 而生物量氮储量的衰减在沙漠化初期快于碳, 在后期则相反。

关键词: 沙漠化; 植物-土壤系统; 有机碳储量; 氮储量; 科尔沁沙地

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)04-0635-06

Dynamics of Carbon and Nitrogen Storages in Plant-Soil System During Desertification Process in Horqin Sandy Land

LI Yu-qiang¹, ZHAO Ha-lin¹, YI Xiao-yong¹, ZUO Xiao-an¹, CHEN Yin-ping²

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Organic carbon and nitrogen storages in plant-soil system were measured at different desertification stages (potential, light, moderate, severe, and most-severe) in Horqin sandy land. From potential desertification to light, moderate, severe, and most-severe desertification, total biomass (aboveground and belowground) carbon storages decrease by 26.4%, 51.0%, 79.0%, and 91.0%, respectively, while total biomass nitrogen storages decrease by 33.6%, 66.9%, 87.4%, and 93.2%, soil organic carbon storages by 52.2%, 75.9%, 87.0%, and 90.1%, and soil nitrogen storages by 43.5%, 71.0%, 81.3%, and 82.7%, respectively. The carbon and nitrogen storages in plant-soil system are in the order: potential (C: $5\,266\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and N: $534\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > light (C: $2\,619\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and N: $303\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > moderate (C: $1\,368\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and N: $156\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > severe (C: $715\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and N: $99\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > most-severe (C: $517\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and N: $91\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). The biomass carbon and nitrogen storages decline more rapidly at later desertification stage (from severe to most-severe) than initial stage (from potential to light), while soil carbon and nitrogen decline more rapidly at initial stage. There is a greater proportional decline in soil carbon than in nitrogen during desertification process. The biomass nitrogen storages decline more rapidly than carbon at initial stage, however, the case is reverse at later stage.

Key words: desertification; plant-soil system; organic carbon storage; nitrogen storage; Horqin sandy land

科尔沁沙地是我国众多沙漠(地)中唯一一个水热条件较好, 又同时毗邻东北和华北平原的沙地。从生物气候条件讲, 这里是森林与草原的过渡地带, 本应是水草丰美的疏林草原景观, 但是由于较早的农业开发使天然植被破坏严重, 加之最近百余年来农牧交错带在这里大规模北侵, 导致沙漠化急剧发展, 成为我国现代沙漠化最严重的地区之一^[1]。近年来, 全球气候变化与土地沙漠化之间存在的密切关系以及碳氮生物地球化学循环在全球气候变化研究中的核心地位, 使沙漠化过程中土壤碳氮动态成为相关研究领域的热点问题^[2~4]。对于科尔沁沙地气候变化与土地沙漠化的关系^[5]、沙漠化过程中生物

多样性的变化^[6,7]、沙漠化过程中土壤有机碳和氮的衰减及其机理等方面已有较多的研究^[8~11], 但在植被-土壤系统层次上揭示沙漠化对碳氮储量影响的研究未见报道。

1 研究方法

1.1 研究区域

研究区位于科尔沁沙地中南部内蒙古通辽市奈

收稿日期: 2005-05-08; 修订日期: 2005-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40471004); 中国科学院野外台站基金项目(1731690200015)

作者简介: 李玉强(1975~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为干旱区恢复生态学, E-mail: yqli1975@yahoo.com.cn

曼旗境内(N42°55′, E120°42′), 海拔 345m. 本区属温带大陆性半干旱气候, 年均温 6.4℃, ≥10℃的积温为 3 000~ 3 400℃; 年均降水量 364.6mm, 主要集中在 6~ 8 月; 年均蒸发量 1 972.8mm; 年平均风速 3.5 m·s⁻¹, 大风日数 20~ 60d. 地带性土壤为沙质栗钙土, 但在风蚀作用下多已退化为风沙土. 地貌以平缓的流动沙丘、半流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘与丘间甸子地镶嵌分布为特征. 植被为次生的沙生植被.

1.2 样地类型划分

表 1 科尔沁沙地不同沙漠化阶段植物群落类型及其主要特点

Table 1 Plant community types and main characteristics at different desertification stages in Horqin sandy land

样地	优势植物	植被盖度 / %	土壤粒级组成/ %		
			粘粉粒(< 0.05mm)	极细沙(0.1~ 0.05mm)	中粗沙(1~ 0.1mm)
PD	小叶锦鸡儿(<i>Caragana microphylla</i>)、冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>)、糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i>)、胡枝子(<i>Lespedeza davurica</i>)、狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)	> 70	35.54±9.73	54.03±7.63	10.43±2.57
LD	小叶锦鸡儿、黄蒿(<i>Artemisia scoparia</i>)、狗尾草、猪毛菜(<i>Salsola collina</i>)、灰绿藜(<i>Chenopodium glaucum</i>)	50~ 70	8.39±3.48	15.89±3.45	75.71±5.93
MD	差巴嘎蒿(<i>Artemisia halodendron</i>)、狗尾草、扁蓿豆(<i>Melissitus ruthenicus</i>)、地锦(<i>Euphorbia humifusa</i>)	30~ 50	4.02±2.75	7.49±5.73	88.49±6.24
SD	差巴嘎蒿、狗尾草、白草(<i>Pennisetum centasiaticum</i>)	10~ 30	2.51±1.15	3.72±1.24	93.77±6.92
MSD	沙米(<i>Agriophyllum squarrosum</i>)	< 10	1.74±0.84	2.12±0.71	96.14±8.56

1.3 取样与分析

取样时间为 2004-08 下旬. 在每个类型样地内, 随机设置 3 个 10m×10m 的样方用标准丛法^[12]调查灌木地上生物量, 随机设置 6 个 1m×1m 的样方用收获法调查小半灌木、草本、立枯和凋落物地上生物量; 在收获后的每个样方内, 分 0~ 10cm, 10~ 20cm, 20~ 30cm 和 30~ 40cm 4 层, 每层用直径 8cm 的土钻取土柱 5 个组成 1 个混合样, 带回室内过 2mm 筛, 分离出的植物残体用水洗法区分出活根和混入土壤的凋落物(含死根和无法区分的根毛); 土壤分 0~ 10cm, 10~ 20cm, 20~ 30cm, 30~ 40cm, 40~ 60cm, 60~ 80cm 和 80~ 100cm 7 层用直径 3cm 的土钻取样, 每层由 5 点组成 1 个混合样, 每样地 6 个重复, 同时采用环刀法测定土壤容重. 地上和地下植物组分在 65℃下烘干称重, 土壤样品风干后过 2mm 筛; 用于有机碳和全氮测定的土壤和植物样品进一步磨细过 0.1mm 筛.

土壤和植物组分中有机碳测定用重铬酸钾、硫酸氧化-外加热法, 全氮测定用开氏法(意大利产 DK6, UDK140 分析仪).

1.4 数据计算与分析

根据中国科学院寒区旱区环境与工程研究所对沙漠化不同阶段的划分标准^[1]以及科尔沁沙地的实际情况, 本研究中样地类型划分为 5 个阶段, 即: 潜在沙漠化(potential desertification, PD)、轻度沙漠化(light desertification, LD)、中度沙漠化(moderate desertification, MD)、重度沙漠化(severe desertification, SD) 和严重沙漠化(most-severe desertification, MSD). 各阶段植物群落类型及其主要特点见表 1.

生物量碳氮储量由地上和地下各植物组分生物量乘以其碳氮含量后累加而得, 土壤碳氮储量由土壤碳氮含量、容重和取样深度计算. 统计分析和绘图在 EXCEL2003 和 Origin 6.0 系统下完成.

2 结果与分析

2.1 生物量

调查结果表明(表 2), 植物群落生物量随沙漠化的进展呈现明显下降趋势. 从潜在沙漠化分别到轻度、中度、重度和严重沙漠化, 地上生物量分别下降了 26.4%、34.1%、75.4% 和 90.1%, 地下生物量分别下降了 26.6%、63.4%、81.6% 和 90.4%, 地上与地下生物量总量分别下降了 26.5%、53.5%、79.5% 和 90.3%. 各沙漠化阶段, 地上部分中植物活体(灌木+草本)生物量所占比例较高(范围: 50.6%~ 90.5%); 地下部分中地下凋落物所占比例较高(范围: 57.2%~ 76.5%).

2.2 有机碳和氮储量

2.2.1 植物有机碳和氮储量

表 3 为各沙漠化阶段不同植物组分有机碳和全氮含量. 可以看出, 随着沙漠化的进展: 草本与活根

表 2 不同沙漠化阶段植物群落地上和地下生物量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$

Table 2 Total aboveground and belowground biomass at different desertification stages/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$

生物量组分	PD	LD	MD	SD	MSD
地上生物量					
草本	106.21±16.42	103.63±9.13	25.74±19.35	3.22±2.30	24.81±21.65
灌木 ¹⁾	67.33±23.9	41.33±10.30	127.72±36.19	70.25±38.16	6.02±8.26
立枯	67.43±25.84	46.13±32.82	64.89±23.08	9.63±9.50	2.51±1.96
地表凋落物	102.05±25.17	61.51±13.56	7.82±4.76	1.27±0.87	0.71±0.46
地上部小计	343.02	252.60	226.17	84.37	34.05
地下生物量					
活根	234.87±111.85	116.55±56.82	82.49±14.71	51.75±21.69	27.73±23.78
地下凋落物	441.23±98.52	380.02±122.11	165.16±90.61	72.36±54.69	37.04±22.10
地下部小计	676.10	496.57	247.65	124.11	64.77
地上与地下合计	1 019.12	749.17	473.82	208.48	98.82

1) 包括小灌木和半灌木

的有机碳含量呈现下降趋势,但变化范围较小;活根与地下凋落物的氮含量也呈现下降趋势;其余植物组分的碳氮含量没有规律性的变化.在潜在、轻度和严重沙漠化阶段,地上植物组分中有机碳含量的大小为灌木>立枯>草本>地表凋落物,而在中度和重度沙漠化阶段表现为立枯>灌木>地表凋落物>草本;地下组分中有机碳含量在各阶段均表现为活根>地下凋落物.地上组分中氮含量在各阶段均表现为活体植株>地表凋落物>立枯;地下组分中氮含量在潜在、轻度和中度沙漠化阶段表现为地下凋

落物>活根,在重度和严重沙漠化阶段表现为活根>地下凋落物.

随沙漠化的进展地上生物量碳氮储量的变化趋势为(图 1):①有机碳储量从 $137.49\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 下降到 $12.52\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$;从潜在沙漠化分别到轻度、中度、重度和严重沙漠化,碳储量分别下降 25.1%、30.9%、73.8% 和 90.9%.②氮储量从 $4.49\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 下降到 $0.57\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$;从潜在沙漠化分别到轻度、中度、重度和严重沙漠化,氮储量分别下降 27.6%、46.5%、80.6% 和 87.3%.③活体生物量碳储量占地上总碳

表 3 不同沙漠化阶段植物组分有机碳(C)与氮(N)含量/%

Table 3 Organic carbon and nitrogen concentrations in plant components at different desertification stages/%

组分	PD		LD		MD		SD		MSD	
	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N
地上部分										
灌木	42.24±0.95	2.30±0.12	43.49±0.43	1.80±0.13	41.53±1.88	1.26±0.14	42.87±0.41	1.04±0.11	40.32±0.24	1.53±0.02
草本	40.87±1.16	1.48±0.13	39.88±0.75	1.42±0.24	37.96±0.88	1.13±0.22	36.26±0.18	1.36±0.02	35.97±0.43	1.86±0.16
立枯	40.91±1.20	0.77±0.25	42.87±2.30	0.73±0.04	44.82±1.19	0.66±0.13	43.67±0.61	0.85±0.25	36.73±0.04	0.45±0.05
地表凋落物	37.29±1.11	0.83±0.09	38.91±1.42	1.13±0.37	39.65±1.58	0.88±0.08	38.10±2.13	1.06±0.12	34.73±0.79	0.92±0.11
地下部分										
活根	41.99±2.23	1.51±0.03	40.26±1.18	1.34±0.05	40.14±1.25	1.15±0.02	39.71±1.63	1.10±0.02	37.42±1.41	1.02±0.04
地下凋落物	34.45±0.60	1.82±0.05	35.68±0.59	1.54±0.02	37.56±1.52	1.19±0.04	34.68±1.15	0.81±0.04	32.82±1.95	0.64±0.03

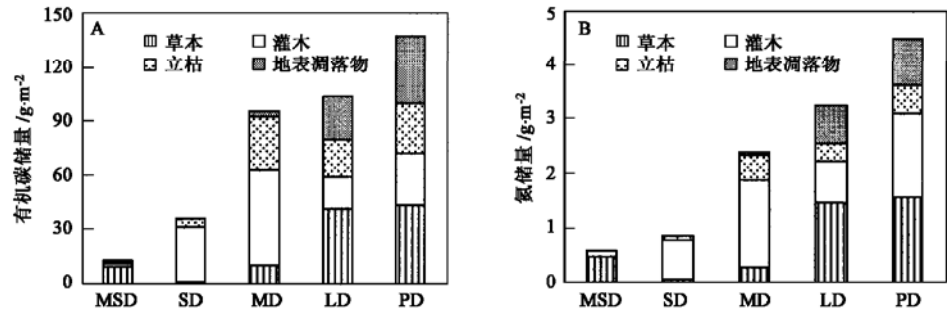


图 1 不同沙漠化阶段地上生物量碳(A)与氮(B)储量

Fig. 1 Total aboveground biomass carbon (A) and nitrogen (B) storages at different desertification stages

储量的比例从 52.3% 增加到 90.7%, 活体生物量氮储量占地上总氮储量的比例从 69.6% 增加到 96.9%。④立枯与凋落物碳储量占地上总碳储量的比例从 47.7% 下降到 9.3%, 立枯与凋落物氮储量占地上总氮储量的比例从 30.4% 下降到 3.1%。

图 2 分析表明, 从潜在沙漠化分别到轻度、中度、重度和严重沙漠化, 地下生物量有机碳储量分别下降 27.2%、62.0%、81.8% 和 91.0%, 氮储量分别下降 35.9%、74.9%、90.0% 和 95.5%; 从潜在沙漠化到严重沙漠化, 活根碳储量占地下生物量总碳储量的比例从 39.3% 增加到 46.0%, 活根氮储量占地下生物量总氮储量的比例从 30.7% 增加到 54.5%;

地下凋落物的碳氮储量随沙漠化的进展呈现明显下降趋势。

随沙漠化的进展地上与地下生物量有机碳总量大小为潜在 ($388.13 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) > 轻度 ($285.53 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) > 中度 ($190.14 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) > 重度 ($81.62 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) > 严重 ($35.05 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$), 氮总量大小为潜在 ($16.05 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) > 轻度 ($10.66 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) > 中度 ($5.31 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) > 重度 ($2.02 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) > 严重 ($1.09 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$)。从潜在沙漠化分别到轻度、中度、重度和严重沙漠化, 地上与地下生物量有机碳总量分别下降 26.4%、51.0%、79.0% 和 91.0%, 氮总量分别下降 33.6%、66.9%、87.4% 和 93.2%。

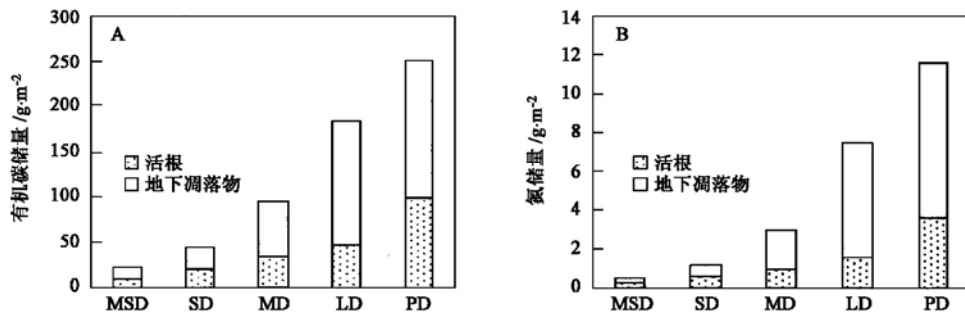


图 2 不同沙漠化阶段地下生物量碳(A)与氮(B)储量

Fig. 2 Total belowground biomass carbon (A) and nitrogen (B) storages at different desertification stages

2.2.2 土壤有机碳和氮储量

随沙漠化的进展, 土壤表层 0~10cm 有机碳含量(图 3)从 (5.165 ± 1.945) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 下降到 (0.490 ± 0.151) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 100cm 深有机碳平均含量从 (3.708 ± 1.089) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 下降到 (0.310 ± 0.032) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 0~10cm 全氮含量(图 3)从 (0.553 ± 0.213) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 下降到 (0.072 ± 0.003) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 100cm 深全氮平均含量从 (0.394 ± 0.111) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

下降到 (0.056 ± 0.010) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。土壤碳氮含量在各阶段都表现为 0~10cm 表层最高, 但不随深度增加而线性降低, 垂直分布上有机碳含量间的差异要大于全氮。对所有阶段各层土壤有机碳与全氮含量之间进行相关性分析, 表明有机碳与全氮含量间有极显著 ($r = 0.997, p < 0.01$) 的正相关关系。土壤 C/N 比随沙漠化进展呈现递减的趋势, 其比值按阶段顺序是: $9.4 \rightarrow 8.2 \rightarrow 8.0 \rightarrow 6.7 \rightarrow 5.5$ 。

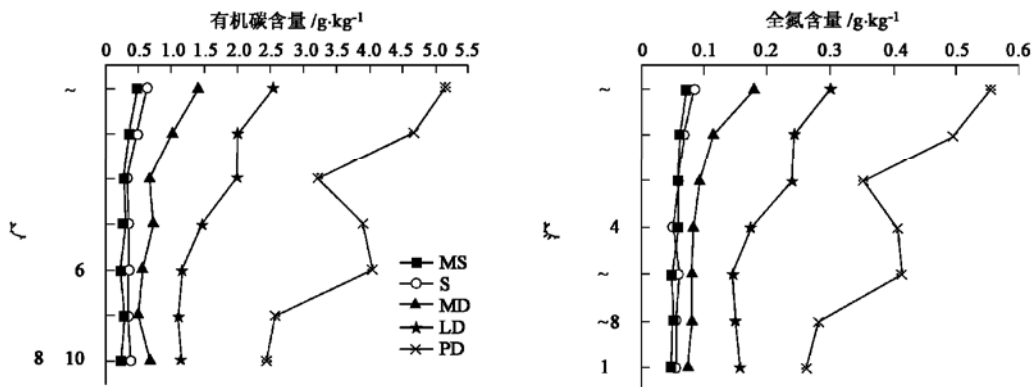


图 3 不同沙漠化阶段土壤有机碳与全氮含量

Fig. 3 Soil organic carbon and nitrogen concentrations at different desertification stages

类似于生物量, 土壤有机碳与全氮储量也是随着沙漠化的进展呈现下降趋势(表 4). 从潜在沙漠化分别到轻度、中度、重度和严重沙漠化, 土壤有机碳储量分别下降 52.2%、75.9%、87.0% 和 90.1%, 土壤全氮储量分别下降 43.5%、71.0%、81.3% 和 82.7%. 各沙漠化阶段 0~20cm 深土壤有机碳和氮储量占

100cm 深有机碳和氮储量的比例, 潜在分别为 27.3% 和 27.4%, 轻度分别为 31.0% 和 29.4%, 中度分别为 33.5% 和 31.4%, 重度分别为 29.0% 和 25.5%, 严重分别为 29.1% 和 24.5%. 该结果相符于大部分土壤类型 20cm 深有机碳储量占 100cm 深有机碳储量的比例介于 20%~40% 之间的结论^[13].

表 4 不同沙漠化阶段植物-土壤系统有机碳和氮储量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$

Table 4 Plant-soil system carbon and nitrogen storages at different desertification stages/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$

项目	PD	LD	MD	SD	MSD
有机碳储量					
地上部分	137.49	103.01	95.00	35.97	12.52
根系和地下凋落物	250.64	182.52	95.14	45.64	22.53
土壤	4 877.86	2 333.14	1 177.39	633.61	481.81
总计	5 265.99	2 618.67	1 367.53	715.22	516.86
氮储量					
地上部分	4.49	3.25	2.40	0.87	0.57
根系和地下凋落物	11.57	7.41	2.91	1.15	0.52
土壤	517.99	292.42	150.43	96.92	89.42
总计	534.05	303.08	155.74	98.94	90.51

2.2.3 植物-土壤系统

沙漠化过程中植物-土壤系统有机碳和氮储量(表 4)的变化特征为: ①从潜在沙漠化到严重沙漠化有机碳储量下降了 90.2%, 氮储量下降了 83.1%; ②各沙漠化阶段地上部有机碳储量占系统有机碳总量的比例潜在为 2.6%, 轻度为 3.9%, 中度为 6.9%, 重度为 5.0%, 严重为 2.4%, 地上部氮储量占系统氮总量的比例潜在为 0.8%, 轻度为 1.1%, 中度为 1.5%, 重度为 0.9%, 严重为 0.6%; ③土壤有机碳储量占系统有机碳总量的比例潜在为 92.6%, 轻度为 89.1%, 中度为 86.1%, 重度为 88.6%, 严重为 93.2%, 土壤氮储量占系统氮总量的比例潜在为 97.0%, 轻度为 96.5%, 中度为 96.6%, 重度为 98.0%, 严重为 98.8%.

3 讨论

沙漠化过程是植被退化和土壤退化 2 过程的统一, 植被的退化降低对地表的保护作用, 给风蚀提供了前提条件, 而风蚀又促使土壤环境恶化, 直接或间接地危及植物的生存和繁衍, 加速了植被的退化, 使系统失去了维持稳定的物质基础^[1, 14, 15]. 本研究结果表明, 沙漠化不仅导致沙地植物群落生物量的明显下降, 而且引起植物群落生活型和生物量组成结构发生改变, 地表凋落物的积累量和向土壤的输入量显著减少, 从而影响土壤有机碳氮储量及系统内的物质循环. 而土壤环境的恶化又进一步引起群落生物量下降, 使生态系统的生命支持系统的服务功

能减弱甚至完全丧失.

土壤是陆地生态系统中最大的碳库载体, 全球 100cm 深土壤有机碳储量是陆地植被碳储量的 4 倍^[16, 17]. Jaramillo 等^[18]报道的森林土壤有机碳与氮分别占系统有机碳与氮储量的 37%~54% 和 85%~86%, 草原土壤有机碳与氮分别占系统有机碳与氮储量的 90% 和 98%; Hughes 等^[19]报道的森林土壤有机碳与氮分别占系统有机碳与氮储量的 51% 和 92%, 草原土壤有机碳与氮分别占系统有机碳与氮储量的 94% 和 99%. 本研究中, 科尔沁沙地土壤有机碳占系统有机碳储量的 86%~93%, 土壤氮占系统氮储量的 97%~99%.

尽管中国北方的土地沙漠化仍处于进展中, 但对此已采取了许多积极的防治措施. 近期的一些研究^[20~22]认为, 半干旱区沙漠化土地的治理有着较高的碳截存潜力, 持续的恢复可以逐渐提高土壤有机质含量. 中国北方在过去的 40 多年里因沙漠化的逆转而截存 59.12 Mt C, 大约有 10% 的沙漠化土地已恢复到接近于其初始状态的碳含量水平^[16]. 如果中国所有的沙漠化土地能够逆转一个等级, 土壤可以截存 236.04 Mt C, 对应的 CO_2 量为中国因土地沙漠化而释放的 CO_2 总量的 15.7%; 如果中国所有的沙漠化土地能够完全逆转, 则土壤截存的碳量将更为可观^[2].

4 结论

(1) 随沙漠化的进展, 科尔沁沙地植物-土壤系

统的有机碳与氮储量变化动态为: 潜在沙漠化(C: $5\,266\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 N: $534\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > 轻度沙漠化(C: $2\,619\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 N: $303\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > 中度沙漠化(C: $1\,368\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 N: $156\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > 重度沙漠化(C: $715\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 N: $99\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) > 严重沙漠化(C: $517\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 N: $91\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$).

(2) 从潜在沙漠化到严重沙漠化阶段, 科尔沁沙地地上生物量有机碳与氮储量分别下降 90.9% 和 87.3%, 地下生物量有机碳与氮储量分别下降 91.0% 和 95.5%, 土壤有机碳与全氮储量分别下降 90.1% 和 82.7%.

(3) 沙漠化程度每加重一级, 即从潜在退化到轻度, 轻度退化到中度, 中度退化到重度, 重度退化到严重, 科尔沁沙地生物量(地上与地下)有机碳储量分别下降 26.4%、33.4%、57.1% 和 57.0%, 生物量氮储量分别下降 33.6%、50.2%、61.8% 和 46.1%, 土壤有机碳储量分别下降 52.2%、49.5%、46.2% 和 24.0%, 土壤全氮储量分别下降 43.5%、48.6%、35.6% 和 7.7%.

(4) 沙漠化过程中, 生物量碳与氮储量在沙漠化后期(从重度到严重沙漠化阶段)的衰减快于沙漠化初期(从潜在到轻度沙漠化阶段), 而土壤有机碳与氮储量在沙漠化初期的衰减快于沙漠化后期; 在沙漠化初期生物量氮储量的衰减快于生物量碳的衰减, 而在沙漠化后期生物量碳的衰减快于生物量氮的衰减; 在整个沙漠化过程中土壤有机碳储量的衰减快于土壤全氮的衰减.

参考文献:

- [1] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 科尔沁沙地沙漠化过程及其恢复机理[M]. 北京: 海洋出版社, 2003. 47~ 48.
- [2] Duan Z H, Xiao H L, Dong Z B, *et al.* Estimate of total CO₂ output from desertified sandy land in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**: 5915~ 5921.
- [3] 史作民, 刘世荣, 程瑞梅. 内蒙古鄂尔多斯地区四个植物群落类型的土壤碳氮特征[J]. *林业科学*, 2004, **40**(2): 21~ 27.
- [4] 刘颖茹, 杨持, 朱志梅, 等. 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): 1604~ 1606.
- [5] 赵哈林, 张铜会, 崔建垣, 等. 近 40a 我国北方农牧交错区气候变化及其与土地沙漠化的关系——以科尔沁沙地为例[J]. *中国沙漠*, 2000, **20**(增刊): 1~ 6.
- [6] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 北方农牧交错区沙漠化的生物过程研究[J]. *中国沙漠*, 2002, **22**(4): 309~ 315.
- [7] 常学礼, 邬建国. 科尔沁沙地沙漠化过程中的物种多样性[J]. *应用生态学报*, 1997, **8**(2): 151~ 156.
- [8] 赵哈林, 根本正之, 大黑俊哉, 等. 内蒙古科尔沁沙地放牧草地的沙漠化机理研究[J]. *中国草地*, 1997, **18**(3): 15~ 23.
- [9] 赵学勇. 科尔沁沙地沙丘土壤有机质动态分析[J]. *中国沙漠*, 1997, **17**(增刊 1): 60~ 63.
- [10] 赵哈林. 沙地土壤理化性质的演变研究[J]. *土壤学报*, 1996, **33**(3): 38~ 42.
- [11] 苏永中, 赵哈林. 农田沙漠化过程中土壤有机碳和氮的衰减及其机理研究[J]. *中国农业科学*, 2003, **36**(8): 928~ 934.
- [12] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996. 69~ 71.
- [13] 解宪丽, 孙波, 周惠珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J]. *土壤学报*, 2004, **41**(1): 35~ 43.
- [14] 苏永中, 赵哈林, 文海燕. 退化沙质草地开垦和封育对土壤理化性状的影响[J]. *水土保持学报*, 2002, **16**(4): 5~ 8.
- [15] 李克让. 土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳循环[M]. 北京: 气象出版社, 2000. 180~ 183.
- [16] 段争虎, 刘新明, 屈建军. 中国土地沙漠化对大气 CO₂ 含量的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 1996, **10**(2): 89~ 94.
- [17] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳储量[J]. *中国科学*, 2003, **33**(1): 72~ 80.
- [18] Jaramillo V J, Kauffman J B, Lyliana R R, *et al.* Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes [J]. *Ecosystems*, 2003, **6**: 609~ 629.
- [19] Hughes R F, Kauffman J B, Cummings D L. Dynamics of aboveground and soil carbon and nitrogen stocks and cycling of available nitrogen along a land-use gradient in Rondônia, Brazil [J]. *Ecosystems*, 2002, **5**: 244~ 259.
- [20] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会. 我国北方农牧交错带沙漠化的成因、过程和防治对策[J]. *中国沙漠*, 2000, **20**(增刊): 22~ 28.
- [21] Lal R. Carbon sequestration in drylands [J]. *Annals of Arid Zone*, 2000, **39**: 1~ 10.
- [22] 苏永中, 赵哈林. 持续放牧和围封对科尔沁退化沙地草地碳截存的影响[J]. *环境科学*, 2003, **24**(4): 23~ 28.