试验研究

流动沙丘造林对土壤物理组分有机碳分配的影响

陈银萍[1]，李玉强[2]，赵学勇[2]，尚 雯[2]，罗永清[1]，韩娟娟[2]
(1. 兰州交通大学 环境与市政工程学院，甘肃 兰州 730070；
2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所，甘肃 兰州 730000)

摘 要：以科尔沁沙地为研究区域，测定分析了流动沙丘栽植 22 a 的樟子松林和 24 a 的小叶锦鸡儿灌木林对土壤物理组分有机碳分配的影响。结果表明，(1) 流动沙丘造林后土壤粗砂、极细砂和黏粉粒含量增加，细砂含量减少，土壤容重降低。(2) 流动沙丘栽植樟子松和小叶锦鸡儿林后，全土有机碳储量分别增加 357 和 514 g/m^2，增幅为 729%和 1 050%。(3) 流动沙丘、樟子松和小叶锦鸡儿林地土壤轻组质量分别为 0.08%，1.24%和 1.14%，轻组碳储量分别为 9.7，182.5 和 185.9 g/m^2，占其全土碳储量的比例依次为 20%，45%和 33%。(4) 土壤有机碳在不同粒级土壤中的分配状况为，流动沙丘：细砂＞粗砂＞极细砂＞黏粉粒；樟子松林地：粗砂＞细砂＞极细砂＞黏粉粒；小叶锦鸡儿林地：粗砂＞极细砂＞细砂＞黏粉粒。(5) 流动沙丘造林后，轻组有机碳储量的变化比总有机碳的变化更为明显，粗砂组分中非保护性有机质的增加是引起土壤总有机碳变化的主要原因。

关键词：科尔沁沙地；固沙林；土壤物理组分；有机碳分配
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2011)01-0001-05 **中图分类号**：S151.9，S153.6

Allocation of Soil Organic Carbon in Physical Fractions as Affected by Plantation in Mobile Sand Dune

CHEN Yin-ping[1], LI Yu-qiang[2], ZHAO Xue-yong[2], SHANG Wen[2], LUO Yong-qing[1], HAN Juan-juan[2]
(1. *School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*;
2. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu* 730000, *China*)

Abstract: Allocation of soil organic carbon in physical fractions was measured in mobile sand dune, and stabilized sand dune using *Pinus sylvestris* var. *Mongolica* (22 year forest land) and *Caragana microphylla* (24 year shrub land) in Horqin sandy land. Results show that (1) the contents of coarse sand, very fine sand and clay+silt, and electric conductivity increased while fine sand content and soil bulk density decreased in woodland, compared with mobile sand dune, (2) the whole SOC storage increased by 729% with an increment of 357 g/m^2 in forest land, and by 1 050% with an increment 514 g/m^2 in shrub land, (3) dry organic matters in light fractions account for 0.08%, 1.24% and 1.14% of the total soil weights, while carbon storages in light fractions are 9.7, 182.5 and 185.9 g/m^2, accounting for 20%, 45% and 33% of whole SOCs in the mobile sand dune, forest land, and shrub land, respectively, (4) the allocations of SOC in particle-size fractions were in orders as fine sand>coarse sand>very fine sand>clay+silt for the mobile sand dune, coarse sand>fine sand>very fine sand>clay+silt for the forest land, and coarse sand>very fine sand>fine sand>clay+silt for the shrub land, and (5) the variations of light fraction carbon were more sensitive than the whole SOC after sand dune stabilization. Also, the increase of unprotected organic matter within coarse sand fraction played an important role in the change of whole SOC.

Keywords: **Horqin sandy land; sand-fixation plantation; soil physical fraction; soil organic carbon allocation**

土壤有机碳具有复杂的组织结构，根据其分解性可以划分为易变和稳定 2 大组分[1]。易变碳库通常包括轻组有机碳、颗粒有机碳、微生物碳和可矿化有机碳等。易变有机碳易于被微生物利用，周转时间短

收稿日期：2010-05-06 **修回日期**：2010-07-08
资助项目：国家自然科学基金项目“沙漠化土地生态恢复的土壤碳截存潜力及其机理研究”(40901049)；中国科学院西部之光西部博士项目(O828881001)；国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421303)；兰州交通大学青蓝人才工程基金项目(QL-08-14A)；内蒙古科技支撑项目(20071926)
作者简介：陈银萍(1974—)，女(汉族)，甘肃省榆中县人，博士，副教授，主要从事环境生态学研究。E-mail：yinpch@yahoo.com.cn。

(几周到几个月),能够直接影响植物的营养供应[2],因此,相对于总的土壤有机碳(SOC),易变有机碳含量的变化能够更迅速地指示土地利用变化或管理措施引起的土壤质量变化[3-5]。轻组有机碳和颗粒有机碳通过物理分组技术来分离。由于物理分组方法对有机质结构破坏程度极小,分离的有机碳组分能够反映原状有机质结构与功能,尤其反映有机质周转特征[6]。因此,用物理方法分离土壤有机碳不同组分,对揭示土壤碳过程和碳动态变化机理具有重要的意义。

植树造林和禁牧围封是干旱半干旱区最受推荐的2种碳截存方式[7]。科尔沁沙地位于我国北方半干旱农牧交错区的东端,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,成为我国现代沙漠化发展最严重的区域之一。近些年来,由于当地政府及农牧户个体都意识到了该区沙漠化发展的严重性,通过实施调整土地利用结构和强度,退耕种草种树,草场封育,抑制过度放牧等措施,不仅有效减缓了沙漠化土地的蔓延速度,而且使相当面积的沙漠化土地得到了治理[8]。在全球气候变暖背景下,有关该区沙漠化发展过程中碳氮衰减动态的研究取得了不少结果[9-11],但是在生态恢复过程中土壤碳截存潜力及机理方面的研究还是非常少。本文通过测定分析科尔沁沙地流动沙丘造林后土壤有机碳储量变化及有机碳在不同物理组分中的分配,以期揭示沙漠化草地生态恢复过程中土壤碳截存的机理。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古奈曼旗中部的中国生态系统研究网络奈曼沙漠化研究站附近(42°55′N,120°42′E),海拔345 m。该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364.6 mm,主要集中在6—8月;年均潜在蒸发量1 972.8 mm;年平均风速3.5 m/s,大风日数20～60 d/a。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。地貌以平缓的沙丘与甸子地镶嵌分布为特征。受滥垦、滥牧等因素的影响,该区沙漠化土地已占土地总面积的50%以上。

2 研究方法

2.1 研究样地

位于科尔沁沙地奈曼旗的尧勒甸子等村在20世纪70年代中期开始在流动沙丘上栽植小叶锦鸡儿和樟子松,以防治沙漠化的发展。本研究中设置3类样地:(1) 24 a的小叶锦鸡儿灌木林地,栽植于1984年,株行距1.0 m×1.5 m;(2) 22 a的樟子松林地,栽植于1986年,当年所栽幼苗为2年生,株行距1.0 m×1.5 m,试验取样时调查林木密度为793株/hm^2;(3) 流动沙丘,作为小叶锦鸡儿和樟子松人工林栽植之前的对照样地,植被盖度小于5%。

2.2 土壤取样

2008年5月,在每一类型样地选择3个30 m×30 m的小区,每个小区随机选取6个样点取0—5 cm土壤,每样点取1个混合样(由临近的10点组成),每样地共计18个样品。用环刀(高5 cm,体积100 cm^3)测定土壤容重。土样带回实验室过2 mm筛并风干后,部分供机械组成分析及轻组分离,部分进一步磨细过0.1 mm筛用于总有机碳的测定。

2.3 测定方法

轻组分离参照Janzen等[12]的方法:称取过2 mm筛的风干土样25 g置于100 ml离心管中,加入密度1.6 g/cm^3 NaI溶液50 ml,用手轻轻摇动离心管30 s,在往复震荡机上震荡1 h;分散后的悬浮液以3 000 r/min离心10 min,倾倒悬浮物质于滤纸上过滤;在剩余的重组残留物中加入30 ml NaI,重复上述过程2～3次;留在滤纸上的轻组先用0.01 mol/L $CaCl_2$冲洗4～5次,再用去离子水冲洗5～6次,然后将轻组从滤纸冲洗到预先称重的器皿中,在55 ℃下烘干16 h称重后研磨过0.1 mm筛。每个土样分离轻组时的重复次数根据试验分析测定所需样品量来确定。每个样品称取10 g土壤在105 ℃烘干24 h测定含水量。

土壤机械组成用干筛法分为4级:粗砂(2～0.25 mm),细砂(0.25～0.1 mm),极细砂(0.1～0.05 mm)和黏粉粒(<0.05 mm)。全土和不同组分有机碳测定用重铬酸钾氧化—外加热法。

2.4 数据分析与计算

应用SPSS13.0软件进行数据的统计分析,应用Microsoft Excel 2003软件进行绘图。土壤有机碳储量(g/m^2)=土壤有机碳含量(g/kg)×土壤容重(g/cm^3)×取样深度(cm)×10,土壤不同物理组分碳储量根据其占全土的质量百分比和有机碳含量来计算。

3 结果与分析

3.1 土壤机械组成与容重变化

流动沙丘建立小叶锦鸡儿和樟子松人工林后,土壤机械组成与容重发生不同程度的变化(图1)。造林后粗砂(2～0.25 mm)、极细砂(0.1～0.05 mm)和黏粉粒(<0.05 mm)含量增加,细砂(0.25～0.1 mm)含量减少。樟子松和小叶锦鸡儿林地土壤粗砂含量分别为流动沙丘的1.8和1.5倍,极细砂分别为

5.1 和 10.7 倍,黏粉粒分别为 11.8 和 14.4 倍,而细砂含量比流动沙丘分别降低 31%和 42%。本研究中 3 类样地土壤类型均为风沙土,流动沙丘土壤粗砂部分全为单个的砂粒,造林后土壤非水稳性团聚体的形成,以及正在腐解的植物残体含量的增加导致粗砂的比例上升,但并非单个砂粒含量的增加。土壤容重从流动沙丘的 1.60 g/cm^3 降低到樟子松林地的 1.47 g/cm^3 和小叶锦鸡儿林地的 1.43 g/cm^3。

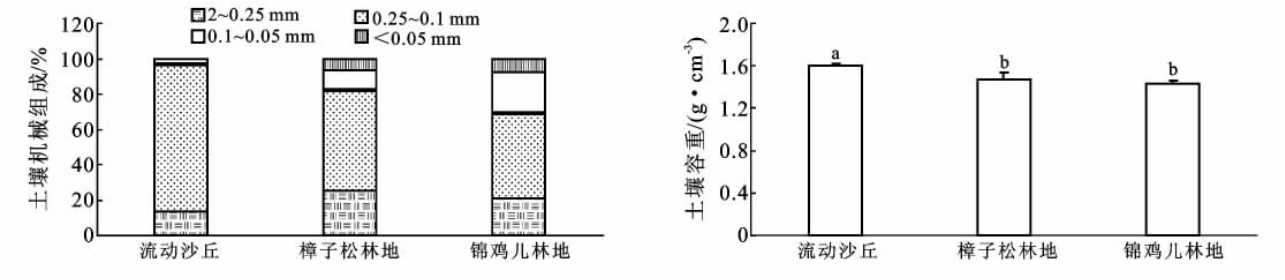


图 1　流动沙丘造林后土壤机械组成与容重变化

注:样地间字母不同者表示差异显著($p<0.05$)。下同。

3.2　全土及不同组分有机碳含量

流动沙丘、樟子松和小叶锦鸡儿林地全土及不同物理组分有机碳含量存在差异(图 2)。全土、轻组、粗砂、细砂和黏粉粒有机碳含量均表现为小叶锦鸡儿林地>樟子松林地>流动沙丘,且 3 类样地间存在显著性差异($p<0.05$)。两类林地土壤极细砂有机碳含量显著高于流动沙丘,小叶锦鸡儿林地略微低于樟子松林地,但二者无显著差异。流动沙丘全土有机碳平均含量为 0.61 g/kg,仅为樟子松林地的 11%,小叶锦鸡儿林地的 8%。

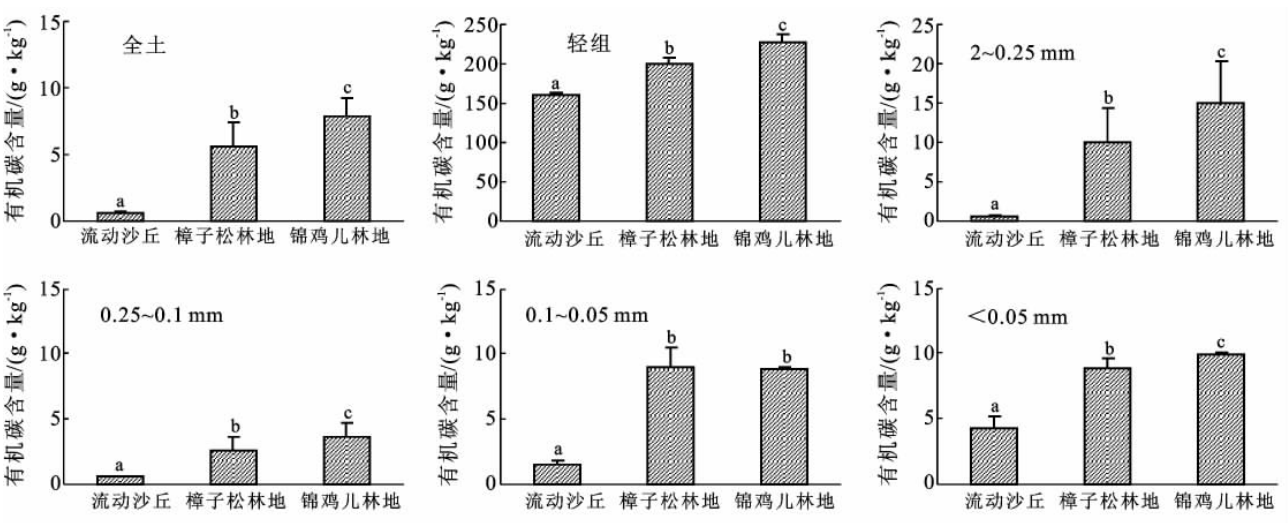


图 2　流动沙丘与林地土壤全土及不同组分有机碳含量

各类样地土壤物理组分中轻组有机碳的含量最高,变化范围为 161~227 g/kg。土壤不同粒级有机碳含量,流动沙丘表现为黏粉粒>极细砂>粗砂>细砂,樟子松林地为粗砂>极细砂>黏粉粒>细砂,而小叶锦鸡儿林地为粗砂>黏粉粒>极细砂>细砂。3 类样地的一个共同点是细砂的有机碳含量均表现为最低。2 类林地中粗砂的有机碳含量最高,其原因是流动沙丘造林后植被盖度增加,凋落物累积,粗砂粒级中结合的非保护性有机质增加。而在严重沙漠化的沙质土壤中,黏粉粒对有机碳的富集程度最高[13]。统计分析表明,流动沙丘黏粉粒有机碳含量显著高于其它 3 个粒级($p<0.05$),樟子松林地粗砂、极细砂和黏粉粒 3 者的有机碳含量无显著差异,小叶锦鸡儿林地极细砂和黏粉粒的有机碳含量无显著差异。

3.3　有机碳在不同物理组分中的分配

3 类样地土壤全土碳储量、轻组质量百分含量、轻组碳储量及其占全土碳储量的比例如图 3 所示。流动沙丘轻组有机质干物质占土壤质量的 0.08%,樟子松和小叶锦鸡儿林地土壤轻组分别是流动沙丘的 16.5 倍和 15.2 倍,2 类林地间无显著差异($p>0.05$)。流动沙丘造林后,22 年生的樟子松林地 0—5 cm 全土有机碳储量增加 357 g/m^2,24 年生的小叶锦

鸡儿林地增加 514 g/m^2，增加幅度分别为 729％和 1 050％。土壤轻组是指小于一定密度(1.6～2.5 g/cm^3)的土壤有机质，是由相对新鲜、简单、分解程度较轻的有机残体组成[2]。土壤轻组占土壤质量的比例很小，但轻组碳含量明显高于全土，因而土壤轻组有机碳占土壤有机碳的相对比例较高[14]。流动沙丘、樟子松和小叶锦鸡儿林地土壤轻组碳储量分别为 9.7，182.5 和 185.9 g/m^2，占其全土碳储量的比例依次为 20％，45％和 33％。樟子松和小叶锦鸡儿林地土壤轻组碳储量的增幅分别为 1 782％和 1 818％。可见流动沙丘造林后，轻组有机碳的变化比总有机碳的变化更为明显。

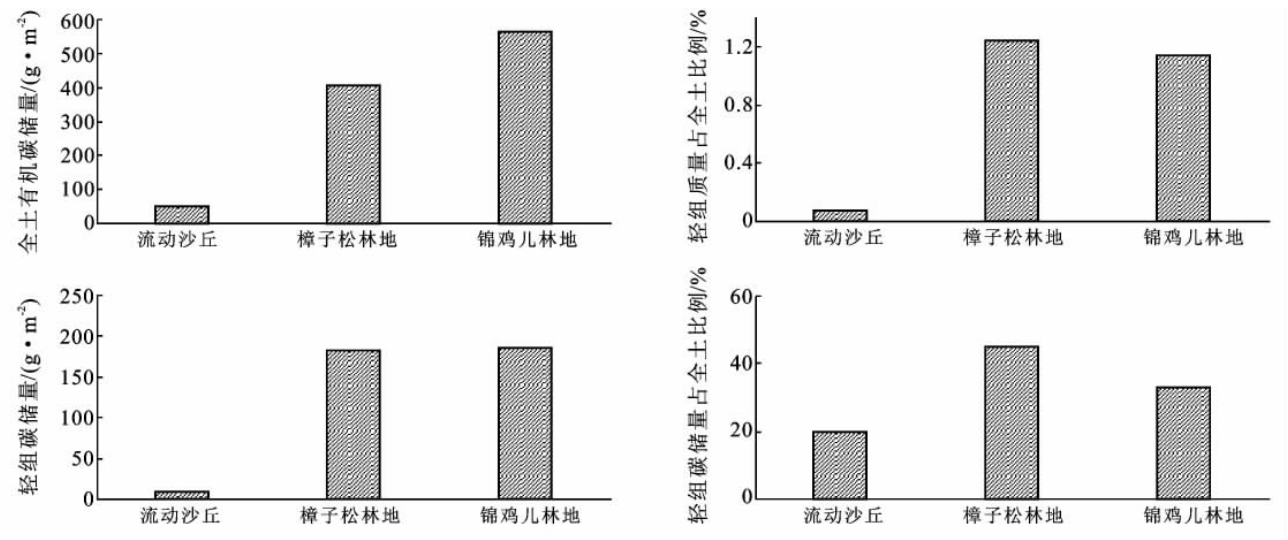


图 3 流动沙丘与林地土壤全土及轻组碳储量变化

对比每一土壤粒级有机碳储量，均表现为小叶锦鸡儿林地＞樟子松林地＞流动沙丘(图 4)。樟子松和小叶锦鸡儿林地粗砂有机碳储量分别为流动沙丘的 27 和 33 倍，细砂分别为 3.0 和 3.4 倍，极细砂分别为 28 和 56 倍，黏粉粒分别为 23 和 30 倍。土壤有机碳在不同粒级土壤中的分配，流动沙丘为细砂＞粗砂＞极细砂＞黏粉粒，樟子松林地为粗砂＞细砂＞极细砂＞黏粉粒，小叶锦鸡儿林地为粗砂＞极细砂＞细砂＞黏粉粒。造林后不同粒级土壤有机碳的分配比例，粗砂、极细砂和黏粉粒均表现为增加，而细砂中的分配比例显著降低。流动沙丘细砂中有机碳占全土碳的比例高达 76％，粗砂为 14％，极细砂为 6％，黏粉粒为 4％；樟子松和小叶锦鸡儿林地中粗砂有机碳占全土碳的比例最高，分别为 47％和 42％，细砂分别为 26％和 23％，极细砂分别为 17％和 26％，黏粉粒分别为 10％和 9％。这说明流动沙丘造林后，与粗砂粒级结合的非保护性有机碳的增加是引起土壤总有机碳变化的主要原因。

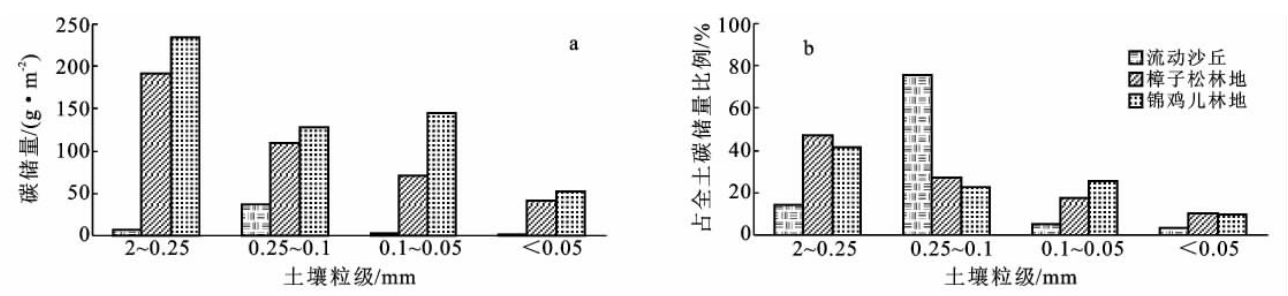


图 4 流动沙丘与林地不同土壤粒级碳储量(a)及其占全土碳储量的比例(b)

4 结 论

(1) 科尔沁沙地流动沙丘人工栽植樟子松和小叶锦鸡儿林后，土壤性状得到改善，土壤粗砂、极细砂和黏粉粒含量增加，细砂含量减少；土壤容重降低，电导率增加。

(2) 樟子松和小叶锦鸡儿林地全土及各物理组分有机碳含量均高于流动沙丘；土壤物理组分中轻组有机碳含量最高；不同土壤粒级有机碳含量，流动沙丘为：黏粉粒＞极细砂＞粗砂＞细砂，樟子松林地为：

粗砂>极细砂>黏粉粒>细砂,小叶锦鸡儿林地为:粗砂>黏粉粒>极细砂>细砂。

(3) 流动沙丘造林后土壤有机碳储量显著增加,樟子松和小叶锦鸡儿林地全土有机碳增量分别为 357 g/m^2 和 514 g/m^2,增幅为 729%和 1 050%。

(4) 流动沙丘、樟子松和小叶锦鸡儿林地轻组占土壤质量的比例分别为 0.08%,1.24%和 1.14%,轻组碳储量分别为 9.7, 182.5 和 185.9 g/m^2,占其全土碳储量的比例依次为 20%,45%和 33%;樟子松和小叶锦鸡儿林地土壤轻组碳储量的增幅分别为 1 782%和 1 818%。

(5) 土壤有机碳在不同土壤粒级中的分配,流动沙丘为细砂>粗砂>极细砂>黏粉粒,樟子松林地为粗砂>细砂>极细砂>黏粉粒,小叶锦鸡儿林地为粗砂>极细砂>细砂>黏粉粒。造林后不同粒级土壤有机碳的分配比例,粗砂、极细砂和黏粉粒均表现为增加,而细砂中的分配比例降低。

[参 考 文 献]

[1] Wander M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function[C]// Magdoff F, Weil R R. Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. Boca Raton, F L: CRC Press, 2004:67-102.

[2] Six J, Conant R T, Paul E A, et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils [J]. Plant and Soil, 2002,241:151-176.

[3] Wright A L, Hons F M. Tillage impacts on soil aggregation and carbon and nitrogen sequestration under wheat cropping sequences [J]. Soil & Tillage Research, 2005,84:67-75.

[4] Ding G W, Liu X B, Herbert S, et al. Effect of cover crop management on soil organic matter [J]. Geoderma, 2006,130:229-239.

[5] Zimmermann M J, Leifeld M W, Schmidt I, et al. Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model [J]. European Journal of Soil Science, 2007,58:658-667.

[6] 卢红梅,王世杰.喀斯特石漠化过程中的土壤物理组分有机碳氮研究[J].水土保持通报,2009,29(5):50-55.

[7] Nosetto M D, Jobbágy E G, Paruelo J M. Carbon sequestration in semi-arid rangelands: Comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia [J]. Journal of Arid Environments, 2006,67: 142-156.

[8] 王涛.我国沙漠化现状及其防治的战略与途径[J].自然杂志,2007,29(4):204-211.

[9] 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.

[10] 李玉强,赵哈林,移小勇,等.沙漠化过程中科尔沁沙地植物:土壤系统碳氮储量动态[J].环境科学,2006,27(4):34-39.

[11] Zhou Ruilian, Li Yuqiang, Zhao Halin, et al. Desertification effects on C and N content of sandy soils under grassland in Horqin, Northern China [J]. Geoderma, 2008,145:370-375.

[12] Janzen H H, Campbell C A, Brandt S A, et al. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations [J]. Soil Science Society of America Journal, 1992,56:1799-1806.

[13] Su Yongzhong, Zhao Halin, Zhao Wenzhi, et al. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification [J]. Geoderma, 2004,122:43-49.

[14] 谢锦升,杨玉盛, 解明曙,等.土壤轻组有机质研究进展[J].福建林学院学报,2006,26(3):281-288.