

# 毛乌素沙地 3 种人工植被类型对土壤颗粒组成和固碳的影响

王丽梅<sup>1</sup>, 张 谦<sup>1</sup>, 白利华<sup>1</sup>, 马爱生<sup>1</sup>, 张 红<sup>1</sup>,  
李利敏<sup>1</sup>, 张建国<sup>1,2</sup>, 付广军<sup>3</sup>, 董 强<sup>3</sup>

(1.西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学  
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3.陕西省治沙研究所, 陕西 榆林 719000)

**摘 要:**植被恢复会对干旱半干旱区土壤固碳过程产生重要影响,探讨植被恢复对不同土壤颗粒碳含量的影响有利于进一步揭示荒漠土壤演变过程。选择毛乌素沙地东南缘人工植被恢复区的乔木林、灌木林、草地和流沙地为样地,对 0—30 cm 的土壤进行了分层取样分析。结果表明:乔木、灌木和草地的恢复均会降低土壤粗颗粒(细砂粒、粗砂粒)含量,增加团聚体和粉黏粒含量;植被恢复后土壤有机碳(SOC)和无机碳(SIC)含量均显著增加,其中最大值均出现在乔木样地,分别达到流沙地的 3.96 倍和 2.08 倍;植被恢复对土壤有机碳密度(SOCD)的影响较土壤无机碳密度(SICD)更为明显;乔木有利于粗砂粒和细砂粒有机碳的累积,灌木更有利于粉黏粒和团聚体有机碳的累积;各粒级 SOC 含量在细砂粒中增幅最为明显;SIC 含量在粉黏粒中增幅最为明显;粉黏粒有机碳对总有机碳的贡献率较为显著。总之,不同类型植被的恢复均会提高土壤有机和无机含量,从增加土壤固碳的角度出发,乔木为毛乌素沙地的最佳植被恢复类型。

**关键词:**植被恢复; 土壤有机碳; 土壤无机碳; 土壤颗粒组成; 毛乌素沙地

**中图分类号:**S151<sup>+</sup>3; S728.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2020)01-0088-07

## Effects of Three Artificial Vegetation Types on Soil Particle Composition and Carbon Fixation in the Mu Us Sandy Land

WANG Limei<sup>1</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, BAI Lihua<sup>1</sup>, MA Aisheng<sup>1</sup>, ZHANG Hong<sup>1</sup>,  
LI Limin<sup>1</sup>, ZHANG Jianguo<sup>1,2</sup>, FU Guangjun<sup>3</sup>, DONG Qiang<sup>3</sup>

(1.College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3.Desert Control Research Institute of Shaanxi Province, Yulin, Shaanxi 719000, China)

**Abstract:**Vegetation restoration has an important impact on soil carbon sequestration in arid and semi-arid regions. Exploring the effects of vegetation restoration on soil carbon content of different particles is helpful to further reveal the evolution process of desert soils. The arbor forest, shrub forest, grassland and shifting sandy land were selected in the artificial vegetation restoration area on the southeastern margin of the Mu Us Sandy Land, and top 0—30 cm soils were collected and analyzed layer by layer. The results showed that the restoration of arbors, shrubs and grassland can reduce the content of soil coarse particles (fine and coarse sand particles) and increase the content of aggregates, silt and clay; the contents of soil organic carbon (SOC) and soil inorganic carbon (SIC) significantly increased after vegetation restoration, and the highest values of soil carbon were observed in the arbor forest, which were 3.96 times and 2.08 times higher than that of shifting sandy land; the effect of vegetation restoration on SOC density was more obvious than SIC density; arbor forest was beneficial for organic carbon accumulation in coarse sand and fine sand, and shrub forest was more beneficial for organic carbon accumulation in silt and clay and aggregates; SOC contents of

**收稿日期:**2019-02-28

**修回日期:**2019-04-08

**资助项目:**国家自然科学基金“塔克拉玛干沙漠咸水滴灌林地土壤碳时空分布与淋溶过程研究”(41877541);“塔里木沙漠公路防护林土壤盐结皮的生态环境效应与作用机制”(41471222);中科院水土保持研究所青年人才专项

**第一作者:**王丽梅(1992—),女,山东潍坊人,硕士研究生,主要研究方向为荒漠土壤环境。E-mail:wanglimei@nwafu.edu.cn

**通信作者:**张建国(1981—),男,山东菏泽人,博士,副教授,博士生导师,主要研究方向为荒漠化防治。E-mail:zhangjianguo21@nwafu.edu.cn

each particle size increased most obviously in fine sand and SIC contents of each particle size increased most obviously in silt and clay; the contribution rate of organic carbon in silt and clay to total organic carbon was more significant. In summary, the restoration of three different types of vegetation can increase the SOC and SIC, planting arbor is the best choice for vegetation restoration from the perspective of increasing soil carbon sequestration in the Mu Us Sandy Land.

**Keywords:** vegetation restoration; soil particle composition; soil organic carbon; soil inorganic carbon; Mu Us Sandy Land

我国北方干旱半干旱区的土地沙漠化问题一直备受关注。沙漠化会导致土壤结构破坏、土壤生物多样性降低、土壤质地粗化等一系列生态环境问题<sup>[1]</sup>,还会导致土壤碳库衰减。研究表明沙漠化导致的全球碳库损失量为  $1.9 \times 10^{10} \sim 2.9 \times 10^{10} \text{ t}$ <sup>[2]</sup>。人工植被建设是沙漠化防治的重要措施之一,沙地植被恢复过程中,随着其生物多样性的提高,SOC,SIC 含量逐渐增加,促进了土壤团粒结构的形成,减少了粉粒和土壤养分的流失,使退化沙地发育程度增强,土壤结构得到改善<sup>[3]</sup>,最终形成结构比较复杂且稳定的沙地生态系统<sup>[4]</sup>,有利于加快退化土壤的碳固定过程和减缓大气 CO<sub>2</sub> 浓度增加的速度<sup>[5]</sup>。

土壤碳库包括 SOC 库和 SIC 库,二者均对全球土壤碳存储和缓解 CO<sub>2</sub> 浓度升高过程具有重要意义<sup>[6-7]</sup>。近年来,人们对植被恢复过程中 SOC 库的变化进行了较为深入的研究<sup>[8-10]</sup>,但对于 SIC 库的研究相对较少<sup>[11]</sup>。研究表明,SIC 在干旱半干旱地区的储量远高于 SOC<sup>[12]</sup>,且更新时间更长,对减少大气 CO<sub>2</sub> 浓度具有不可忽视的长期效应。此外,土壤颗粒组成中各粒级结合碳的研究亦逐渐受到重视<sup>[13-14]</sup>。蔡岸冬等<sup>[15]</sup>的研究表明,砂粒(53~2 000 μm)中的有机碳属于活性有机碳,两者结合并不紧密;而粉黏粒(<53 μm)中的有机碳属于惰性矿物结合有机碳,不易被微生物分解和矿化<sup>[16]</sup>,是土壤固持有机碳的重要碳组分库。该分组方法在研究农业措施<sup>[17-18]</sup>、植被类型<sup>[19]</sup>等对土壤碳库变化的影响上已有较多应

用,但是关于退化沙地土壤碳库变化研究的有关报道极少。本研究以毛乌素沙地同一恢复年限的 3 种植被类型为样地,对 0—30 cm 土层颗粒组成、SOC 和 SIC 的含量进行系统分析,旨在探讨沙地植被恢复类型对土壤颗粒组成的影响及不同颗粒碳含量的影响,以为半干旱区沙地的植被恢复建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于毛乌素沙地东南缘的人工植被林区(38°19′—22′N,109 °37′—49′E),海拔 1 098~1 158 m。该区属于温带半干旱大陆性季风气候,年均降雨量 250~400 mm,且主要集中在 7—9 月份,年均气温 6~8.5 ℃。地表景观以固定、半固定沙地为主,植被覆盖率达到 33%。土壤类型以成土作用极为微弱的风沙土为主,呈弱碱性<sup>[20]</sup>。人工植被主要包括樟子松(*Pinus sylvestris* var.*mongolica*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)和野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia* DC.)等。

1.2 样地选择

植物园总面积 133.3 hm<sup>2</sup>,主要植被类型包括乔木、灌木和草本植物。其中灌木和草本植物于 1970 年前后通过飞播混播造林恢复,飞播后 6 a 成林;1985 年在飞播林地进行樟子松造林,造林面积 6.06 hm<sup>2</sup>;灌木和草地交错分布,两者面积基本相当。分别选取地势平坦的上述人工植被区作为研究样地,植物园外附近流沙地作为对照,所选样地的基本特征见表 1。

表 1 样地基本特征

样地 编号	植被 类型	样地 面积/hm <sup>2</sup>	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	主要植被种类
I	乔木	6.06	1.40	樟子松( <i>Pinussylvestris</i> var. <i>mongolica</i> )
II	灌木	60	1.32	柠条锦鸡儿( <i>Caragana korshinskii</i> )、 盐蒿( <i>Artemisia halodendron</i> Turcz.ex Bess)
III	草本	60	1.33	野艾蒿( <i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC)
IV	流沙地	—	1.60	—

1.3 样品采集及测定

土壤样品采集分别于 2016 年 9 月上旬、2017 年 4

月下旬和 2017 年 9 月上旬进行。选择具有代表性的样点(乔木和灌木样地,选取四株长势基本一致且具有代

表性植物的对角线交叉点,草地内随机选取 1 m×1 m 典型样方的对角线交叉点)进行取样,数据分析取三次分析结果的平均值,即重复数为 3。为了降低空间变异误差,不同植被类型之间采样点距离不超过 500 m。在所选择地内用直径 6 cm 的土钻分四层(0—5 cm,5—10 cm,10—20 cm,20—30 cm)进行土壤样品的采集。

样品先过 2 mm 筛后风干。SOC 采用重铬酸钾—外加加热法测定,SIC 采用气量法测定<sup>[21]</sup>,土壤 pH(水土比为 2.5:1)用电极法测定,电导率(水土比为 5:1)用电导率仪测定。按照中国土粒分级标准将土壤颗粒组成为团聚体、粗砂粒(>0.25 mm)、细砂粒(0.05~0.25 mm)和粉黏粒(<0.05 mm),各粒级土壤颗粒含量用于筛法测定。其中团聚体的筛分方法为:将初次筛分出来的>0.25 mm 的大颗粒组分(包括团聚体和>0.25 mm 单粒)于研钵轻轻磨碎后再次过 0.25 mm 筛,被筛下的组分即为团聚体,未通过筛孔的即为>0.25 mm 组分。由于沙地土壤黏粒含量极低,故将粉粒和黏粒合为一组。将环刀取回的土样于实验室内 105 ℃下烘干 24 h,计算土壤容重。

SOCD 和 SICD 计算公式为<sup>[22]</sup>:

$$\text{SOCD}_i(\text{SICD}_i) = \frac{(1-\delta\%) \times C_i \times h \times \gamma_i}{100}$$

式中:SOCD<sub>i</sub>为第*i*层土壤有机碳密度(kg/m<sup>2</sup>);SICD<sub>i</sub>为第*i*层土壤无机碳密度(kg/m<sup>2</sup>);δ为砾石的含量(%) (各样地砾石含量为 0);C<sub>i</sub>为第*i*层 SOC 或 SIC 含量(g/kg);h 为土层厚度(cm);γ<sub>i</sub>为第*i*层土壤容重(g/cm<sup>3</sup>);100 为转换系数。

某粒级有机/无机碳对土壤总有机/无机碳含量的贡献率为<sup>[9]</sup>:

$$R_{\text{SOC}_i(\text{SIC}_i)} = \frac{C_{\text{SOC}_i(\text{SIC}_i)} \times A_i}{C_{\text{TSOC}(\text{SIC})}} \times 100\%$$

式中: $R_{\text{SOC}_i(\text{SIC}_i)}$ 为*i*粒级有机(无机碳)贡献率(%); $C_{\text{SOC}_i(\text{SIC}_i)}$ 为*i*粒级有机(无机碳)含量(g/kg); $A_i$ 为*i*粒级所占比例(%); $C_{\text{TSOC}(\text{SIC})}$ 为土壤总有机碳(总无机碳)含量(g/kg)。

用 Excel 2016 和 SPSS 19.0 软件进行统计分析。用 Pearson 法对 SOC 含量、SIC 含量、pH 和电导率进行相关分析。用 OriginPro 2016 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被类型对土壤颗粒组成的影响

植被类型对土壤各粒级的含量具有不同程度的影响。由图 1 可知,3 种植被类型样地均形成了土壤团聚体,且只有 0—5 cm 和 5—10 cm 土层含有团聚

体。草地中团聚体含量最高(3.59%),其次是乔木样地(3.15%),灌木样地最低(3.14%)。与流沙地相比,乔木样地粉黏粒含量最高(4.82%),其次是草地(4.06%)和灌木样地(3.53%)。乔木样地、灌木样地和草地的细砂粒含量分别比流沙地降低了 4.51%,1.53%和 6.07%。乔木样地(23.83%)、灌木样地(22.15%)和草地(25.17%)的粗砂粒含量均低于流沙地(26.81%)。总之,植被恢复后土壤团聚体和粉黏粒含量均明显增加,细砂粒和粗砂粒含量均有所降低。

### 2.2 植被类型对土壤有机与无机碳含量的影响

不同植被类型 0—30 cm 土层平均 SOC 含量(图 2)在乔木样地达到最高值(3.81 g/kg),其次是灌木样地(3.59 g/kg)、草地(3.37 g/kg)和流沙地(0.96 g/kg),分别达到流沙地的 3.96 倍、3.72 倍和 3.50 倍。即乔木对 SOC 的累积影响最大,其次是灌木和草本植物。此外,3 种植被类型样地 SOC 含量由表层到下层均呈递减的趋势。由图 2 可知,不同植被类型样地乔木样地平均 SIC 含量最高,是流沙地的 2.08 倍;其次是草地和灌木样地,分别是流沙地的 1.15 倍和 1.30 倍。但各植被类型样地不同土层之间的 SIC 含量无明显变化规律。

### 2.3 植被类型对土壤有机碳与无机碳密度的影响

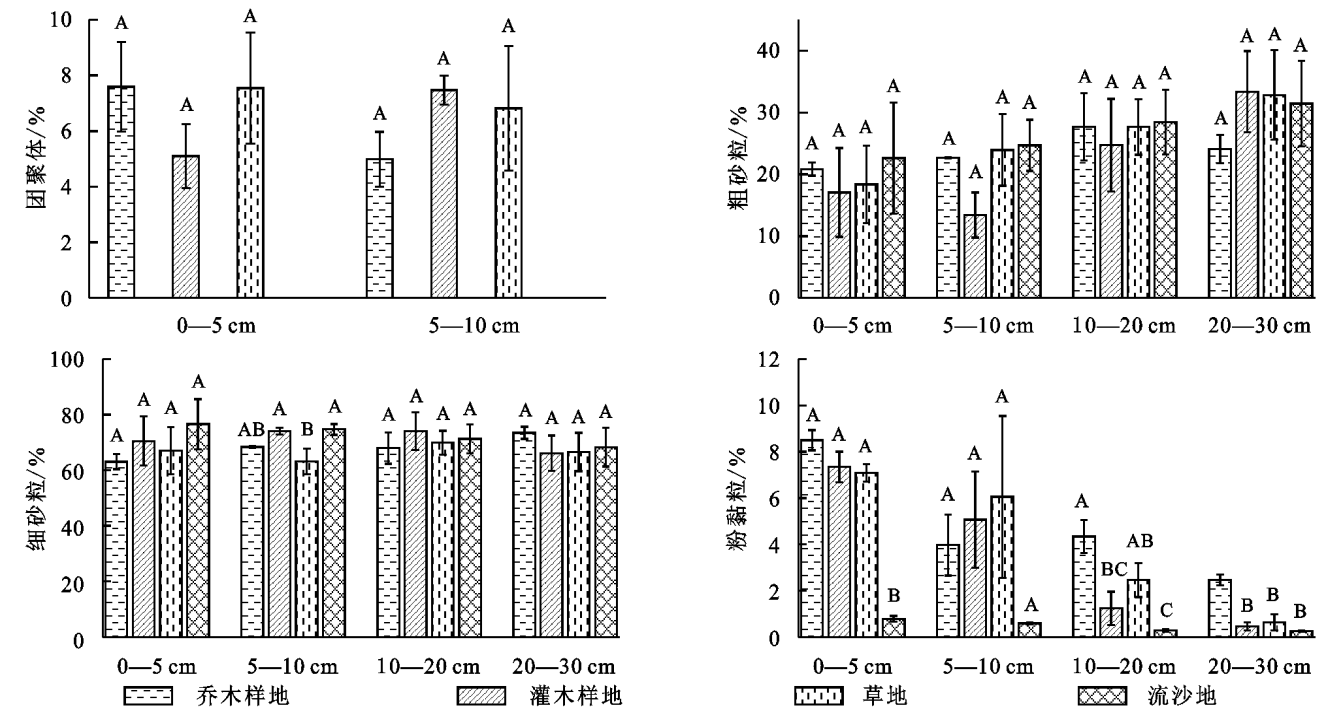
各样地 0—30 cm SOCD 与 SICD 存在一定差异(图 3),且 SICD 均高于 SOCD。SOCD 在乔木样地达到最大值(1.32 kg/m<sup>2</sup>)其次是灌木样地(1.09 kg/m<sup>2</sup>)、草地(1.05 kg/m<sup>2</sup>)和流沙地(0.45 kg/m<sup>2</sup>)。SICD 同样在乔木样地达到最大值(2.05 kg/m<sup>2</sup>)其次是流沙地(1.14 kg/m<sup>2</sup>)、草地(1.14 kg/m<sup>2</sup>)和灌木样地(1.03 kg/m<sup>2</sup>)。可见 SOCD 和 SICD 最大值均出现在乔木样地,即乔木样地的总碳密度最大。乔木样地、草地和流沙地 SICD 分别是 SOCD 的 1.55,1.08,2.51 倍。而灌木样地两者之间差异不大。各样地的 SOCD 均高于流沙地,而 SICD 除乔木样地明显高于流沙地以外,其他样地与流沙地相比均无明显变化。

### 2.4 植被类型对土壤各粒级有机碳与无机碳含量的影响

2.4.1 土壤有机碳 由图 4 可知,各粒级 SOC 含量均随土层的加深呈递减趋势。其中,0—10 cm 团聚体平均 SOC 含量最大值出现在灌木样地(17.20 g/kg)其次是草地(16.99 g/kg)和乔木样地(14.94 g/kg)。对粗砂粒而言,0—30 cm 土层不同植被类型样地平均 SOC 含量最大值出现在乔木样地(4.84 g/kg)其次是灌木样地(2.41 g/kg)、草地(1.62 g/kg)和流沙地(0.65 g/kg),分别是流沙地的 7.49 倍、3.73 倍和 2.50 倍。对细砂粒而言,各植

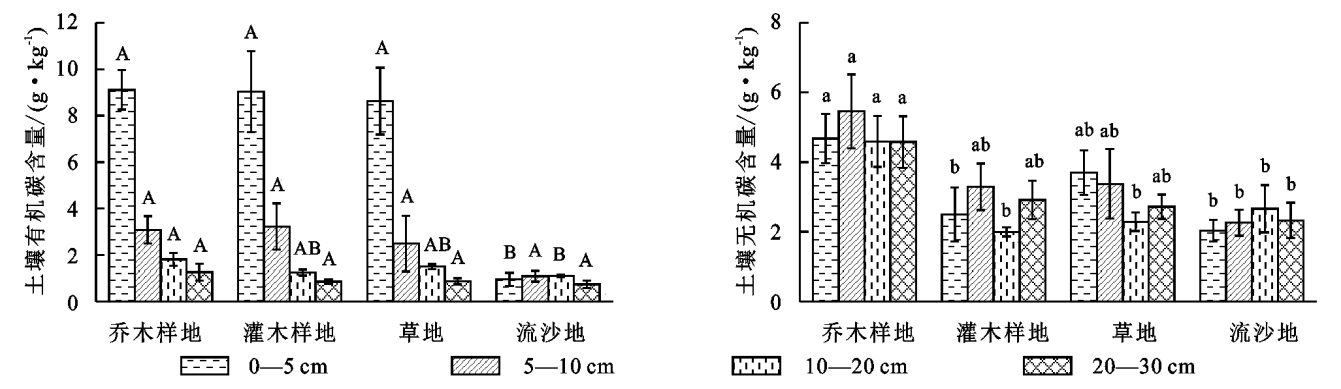
被类型样地平均 SOC 含量最大值出现在乔木样地(3.64 g/kg)其次是灌木样地(2.81 g/kg)、草地(2.69 g/kg)和流沙地(0.63 g/kg),分别是流沙地的 5.75 倍、4.43

倍和 4.24 倍。对粉黏粒而言,不同植被类型样地中,各样地平均 SOC 含量均高于流沙地,其中灌木样地粉黏粒含量最高(12.40 g/kg)。



注:不同大写字母代表各植被类型不同土层之间差异性显著。

图 1 不同类型植被下不同土层各粒级含量

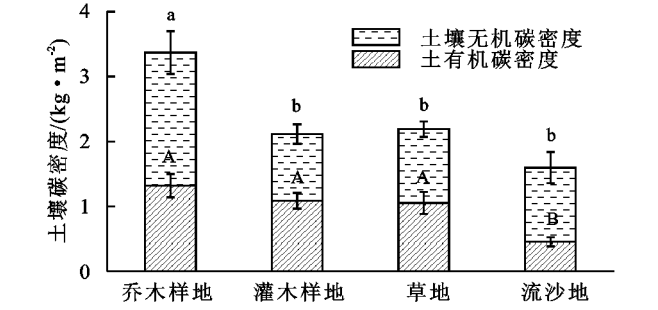


注:不同大写字母代表不同植被类型各土层之间 SOC 含量差异性显著;不同小写字母代表不同植被类型各土层之间 SIC 含量差异性显著。

图 2 不同植被类型样地各土层有机碳、无机碳含量

2.4.2 土壤无机碳 由图 5 可知,乔木样地团聚体平均 SIC 含量最高(1.80 g/kg),其次是草地(0.88 g/kg)和灌木样地(0.73 g/kg)。粗砂粒 0—30 cm 土层平均 SIC 含量最大值出现在乔木样地(1.37 g/kg)其次是灌木样地(0.72 g/kg)、流沙地(0.69 g/kg)和草地(0.65 g/kg),其中乔木样地和灌木样地平均 SIC 含量分别是流沙地的 1.99 倍和 1.05 倍。细砂粒平均 SIC 含量均高于流沙地,其中乔木样地含量最高(1.20 g/kg),其次是草地(0.63 g/kg)和灌木样地(0.52 g/kg),分别是流沙地的 3.45 倍、1.80 倍和 1.49 倍。粉黏粒平均 SIC 含量最大值出现在草地(3.08 g/kg)其次是乔木样地(2.83 g/kg)、灌木样地(1.77

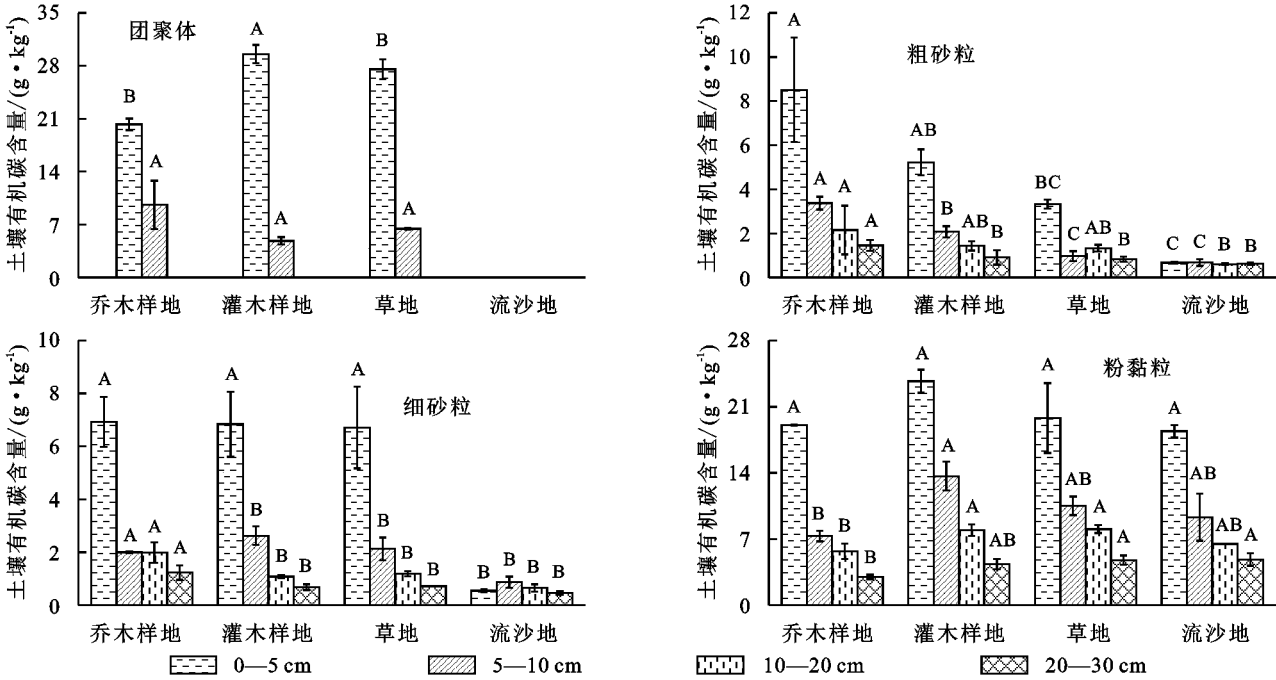
g/kg)和流沙地(0.87 g/kg),分别是流沙地的 3.56 倍、3.27 倍和 2.05 倍。



注:不同大写字母代表各植被类型之间有机碳密度差异性显著;不同小写字母代表各植被类型之间无机碳密度差异性显著。

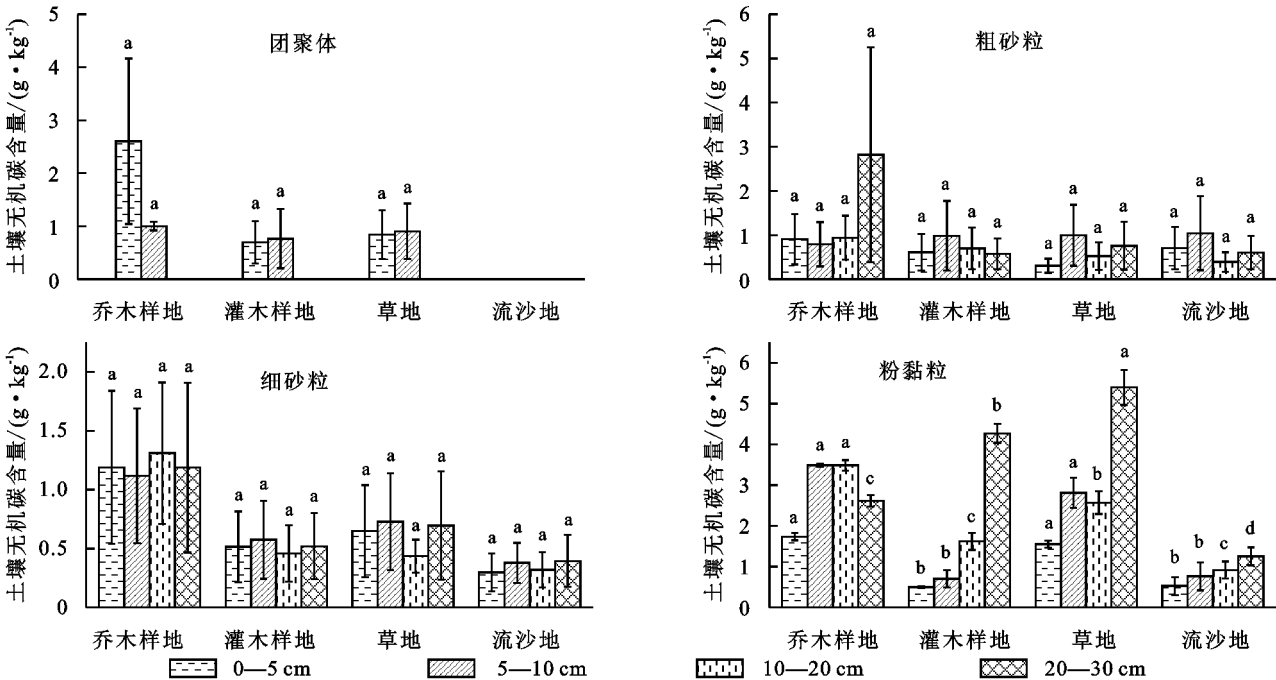
图 3 不同植被类型样地 0—30 cm 土壤碳密度





注:不同大写字母代表各植被类型不同土层之间 SOC 含量差异性显著。

图 4 不同植被类型各粒级土壤有机碳含量



注:不同小写字母代表各植被类型不同土层之间 SIC 含量差异性显著。

图 5 不同植被类型各粒级土壤无机碳含量

### 3 讨论

#### 3.1 土壤理化性质与土壤颗粒组成的相关关系

团聚体含量与有机碳含量密切相关(表 2)。不同恢复模式对土壤团聚体的形成和 SOC 含量的影响具有一定的差异<sup>[23]</sup>。各样地土壤团聚体含量与 SOC 含量之间的相关关系说明植被类型的改变对土壤团聚体的形成影响不大,这与李秋嘉等<sup>[24]</sup>的研究结果不一致,可能跟恢复时间较短有关。灌木样地中,粉

黏粒含量与有机碳含量之间呈显著正相关关系,而草地和乔木样地两者相关性不明显。相关研究表明细颗粒含量与 SOC 含量存在显著相关性<sup>[25]</sup>,也有研究表明两者之间并无严格的对应关系<sup>[26]</sup>。Callesen 等<sup>[27]</sup>认为粉黏粒含量是影响有机碳含量的关键因素,它通过吸附有机碳从而形成稳定的有机-无机复合物,能够抵抗微生物的分解并减小矿化风险,因而具有较强的固碳能力,这也是粉黏粒组分在土壤中含量较少但是含碳量却较高的原因。各样地粗砂粒含

量与有机碳含量呈负相关关系,表明粒径大的土壤颗粒不利于有机碳的累积。

与流沙地相比,各粒级 SIC 含量也表现出一定的差异。乔木样地 SIC 含量增幅较大,而其他样地之间差异不明显,这可能与有机碳的含量有关<sup>[7]</sup>,因为 SOC 的分解是 SIC 的主要成因之一<sup>[28]</sup>。各样地各粒级含量与无机碳含量的相关关系说明植被恢复过程中,团聚体含量与 SIC 含量关系密切。此外,各粒级组分含量与 pH 值之间相关性均在团聚体组分达到显著水平,魏彬萌等<sup>[29]</sup>的研究也指出土壤 pH 与团聚体之间存在一定关系。团聚体组分只在乔木样地与电导率的相关关系达到显著水平,其他样地各组分与电导率之间相关性均不显著。即 pH 和电导率均不是影响土壤各粒级组分含量的主要因素。

表 2 土壤各粒级含量与 SOC,SIC 及 pH 和 EC 的相关性					
样地	粒级	SOC	SIC	pH	EC
乔木样地	团聚体	0.984 *	0.962 *	0.959 *	0.994 *
	粗砂粒	-0.686	0.093	-0.037	-0.585
	细砂粒	-0.884	-0.042	0.947	-0.789
	粉黏粒	0.985 *	-0.671	-0.878	0.888
	团聚体	0.495	0.982 *	0.975 *	0.911
灌木样地	粗砂粒	-0.596	-0.689	0.688	-0.938
	细砂粒	0.077	-0.058	-0.312	0.165
	粉黏粒	0.973 *	-0.819	-0.826	0.783
	团聚体	0.797	0.993 **	0.995 **	0.867
	粗砂粒	-0.828	0.454	0.848	-0.754
草地	细砂粒	-0.053	-0.904	0.550	-0.508
	粉黏粒	0.883	-0.828	-0.842	0.662
	粗砂粒	-0.886	-0.518	-1.000 **	0.407
流沙地	细砂粒	0.419	-0.591	-0.948	-0.938
	粉黏粒	0.949	-0.916	0.596	0.290

注: \* 表示  $p<0.05$ , \*\* 表示  $p<0.01$ 。

3.2 植被恢复对土壤固碳的影响

固沙植物可以通过增加地面粗糙度来降低风蚀作用,同时更有利于大气降尘的截留。而且随着植被的恢复,枯落物不断累积,植物根系分泌物增加,土壤微生物活动逐渐活跃,有机物积累和矿化分解过程加快,土壤性质逐渐发生改变,从而导致土壤各粒级的含量发生改变<sup>[30]</sup>。各样地粉黏粒含量与流沙地相比均有所增加,砂粒含量均有所减少,土壤质地随着植被恢复呈逐渐细化的趋势,且在垂直方向上表层质地比下层质地更细,这与热依拉等<sup>[30]</sup>、李少华等<sup>[31]</sup>的研究结果一致。研究区乔木林郁闭度较高,林下下生物量较少,土壤母质的风化作用较弱,而草地的地表、地下生物量较大,更加有利于土壤母质的风化,且草本植物捕获的大气降尘能随着枯落物直接进入土壤中<sup>[1]</sup>。所以,相同恢复年限的草地团聚体含量及其有机碳含量比乔木林地高,更有利于风沙土的改良,这

与华瑞等<sup>[32]</sup>的观点相一致。

SOC 在各样地均出现明显的表聚效应,乔木样地 SOC 含量的增幅比灌木样地和草地更大。相对于乔木,土壤微生物更容易分解利用灌木和草本植物的枯落物,而枯落物是 SOC 的主要来源<sup>[14]</sup>,所以乔木样地 SOC 含量较高。各样地 SIC 均无明显的表聚现象,可能是疏松的表层结构有利于无机碳向下层淋溶迁移所致<sup>[7]</sup>。各样地 SIC 含量具有一定差异,说明 SIC 含量受植被类型的影响较大。

SOC 和 SIC 含量的一致变化趋势说明两者的累积速率和相互转化关系较为密切<sup>[27]</sup>。以往研究中,干旱半干旱地区 SICD 远大于 SOCD<sup>[33]</sup>。而灌木样地的 SICD 小于 SOCD,可能与恢复时间有关。土壤碳酸盐的转化周期较长,累积过程较为缓慢,而研究区各样地恢复时间较短,从而导致 SICD 低于 SOCD<sup>[22]</sup>。

3.3 各粒级土壤有机碳与无机碳对总碳的贡献率

相关分析表明:团聚体有机碳含量与总有机碳含量呈极显著正相关关系,粉黏粒有机碳对总有机碳的贡献率最为显著。说明 SOC 含量主要受到团聚体和粉黏粒组分的影响。因为团聚体的复杂结构能够有效保护有机碳不被分解和矿化,粉黏粒的吸附作用也有利于有机碳的累积。

各粒级 SIC 含量与总 SIC 含量之间无显著相关关系,且各粒级无机碳对总无机碳的贡献率均不显著。

4 结论

植被恢复后毛乌素沙地土壤质地呈逐渐细化的趋势,而各样地粗砂粒和细砂粒组分总体上呈减少的趋势。其中草地对于团聚体的形成影响最大,且各样地团聚体主要分布于 0—10 cm 土层;粉黏粒含量在乔木样地增加最为明显。

植被恢复后,土壤总有机碳和总无机碳含量均显著增加,最高值均出现在乔木样地,且植被类型对 SOC 的影响比 SIC 更为明显。此外,乔木更有利于 SOC 和 SIC 的积累。各样地 SOC 均表现出明显的表聚效应,SIC 含量在各植被类型之间具有一定差异。

土壤各粒级含碳量随着植被的恢复均有所增加,其中细砂粒 SOC 含量的增幅明显高于粗砂粒和粉黏粒;粉黏粒 SIC 含量的增幅明显高于细砂粒和粗砂粒。SOC 含量主要受团聚体和粉黏粒组分影响,各组分对 SIC 含量的影响不大。乔木有利于粗砂粒和细砂粒有机碳的累积,灌木更有利于粉黏粒和团聚体有机碳的累积。总之,从土壤固碳的角度出发,毛乌素沙地植被恢复应以乔木为主。

参考文献:

[1] 苏志珠,刘蓉,梁爱民,等.晋西北沙化土地土壤机械组成与

- 有机质的初步研究[J].水土保持研究,2018,25(6):61-67.
- [2] Lal R. Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect[J]. Climatic Change, 2001,51(1):35-72.
  - [3] Wang Z H, Daun C, Yuan L, et al. Assessment of the restoration of a degraded semi-humid evergreen broad-leaf forest ecosystem by combined single-indicator and comprehensive model method[J]. Ecological Engineering, 2010,36(6):757-767.
  - [4] Wei Y, Yu L F, Zhang J C, et al. Relationship between vegetation restoration and soil microbial characteristics in degraded karst regions: A case study[J]. Pedosphere, 2011,21(1):132-138.
  - [5] 李玉进,胡澍,焦菊英,等.黄土丘陵区不同侵蚀环境下土壤有机碳对植被恢复的响应[J].生态学报,2017,37(12):4100-4107.
  - [6] 陈永乐,张志山,赵洋.人工固沙区土壤碳分布及其与土壤属性的关系[J].中国沙漠,2017,37(2):296-304.
  - [7] 余健,房莉,卞正富,等.土壤碳库构成研究进展[J].生态学报,2014,34(17):4829-4838.
  - [8] Paul K I, Polglase P J, Nyakuengama J G, et al. Change in soil carbon following afforestation[J]. Forest Ecology and Management, 2002,168(1):241-257.
  - [9] 许冬梅,许新忠,王国会,等.宁夏荒漠草原自然恢复演替过程中土壤有机碳及其分布的变化[J].草业学报,2017,26(8):35-42.
  - [10] 李衍青,蒋忠诚,罗为群,等.植被恢复对岩溶石漠化区土壤有机碳及轻组有机碳的影响[J].水土保持通报,2016,36(4):158-163.
  - [11] Gao Y, Tian J, Pang Y, et al. Soil inorganic carbon sequestration following afforestation is probably induced by pedogenic carbonate formation in Northwest China[J]. Frontiers in Plant Science, 2017,8:1282.
  - [12] Lal R. Carbon sequestration in dryland ecosystems[J]. Environmental Management, 2004,33(4):528-544.
  - [13] He N P, Ling W, Wang Y S, et al. Changes in carbon and nitrogen in soil particle-size fractions along a grassland restoration chronosequence in northern China[J]. Geoderma, 2009,150(3):302-308.
  - [14] von Lützow M, Kögel-Knabner I, Ekschmitt K, et al. SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007,39(9):2183-2207.
  - [15] 蔡岸冬,徐香茹,张旭博,等.不同利用方式下土壤矿物结合态有机碳特征与容量分析[J].中国农业科学,2014,47(21):4291-4299.
  - [16] 武天云,Jeff J, Schoenau,等.土壤有机质概念和分组技术研究进展[J].应用生态学报,2004,15(4):717-722.
  - [17] 樊红柱,张建辉,王勇,等.川北山区坡耕地侵蚀耕作对土壤团聚体碳的影响[J].农业机械学报,2015,46(11):157-164.
  - [18] 花可可,朱波,杨小林,等.长期施肥对紫色土旱坡地团聚体与有机碳组分的影响[J].农业机械学报,2014,45(10):167-174.
  - [19] Hirotsugu A, Naoko T. Soil organic carbon accumulation following afforestation in a Japanese coniferous plantation based on particle-size fractionation and stable isotope analysis[J]. Geoderma, 2010,159(3):425-430..
  - [20] 马建业,佟小刚,李占斌,等.毛乌素沙地沙漠化逆转过程土壤颗粒固碳效应[J].应用生态学报,2016,27(11):3487-3494.
  - [21] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.30-34,202-204.
  - [22] 兰志龙,赵英,张建国,等.陕北黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤碳剖面分布特征[J].环境科学,2018,39(1):339-347.
  - [23] Gale W J, Cambardella C A. Carbon dynamics of surface residue and root-derived organic matter under simulated no-till[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000,66(1):190-195.
  - [24] 李秋嘉,薛志娟,周正朝.宁南山区植被恢复对土壤团聚体养分特征及微生物特性的影响[J].应用生态学报,2019,30(1):137-145.
  - [25] 张铜会,赵哈林,白户,等.沙质草地连续放牧后某些土壤性质的变化[J].中国草地,2003,25(1):9-12.
  - [26] Harry J P, Roger L P, Neal A S. Factors controlling soil carbon levels in New Zealand Grasslands: Is clay content important[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000,64(5):1623-1630.
  - [27] Callesen I, Liski J, Raulund - Rasmussen K, et al. Soil carbon stores in Nordic well drained forest soils: Relationships with climate and texture class[J]. Global Change Biology, 2003,9(3):358-370.
  - [28] 邓彩云,王玉刚,牛子儒,等.开垦年限对干旱区土壤理化性质及剖面无机碳的影响[J].水土保持学报,2017,31(1):254-259.
  - [29] 魏彬萌,王益权,李忠徽.种植苹果树对渭北果园土壤胶结物质分布的影响[J].中国生态农业学报,2018,26(11):1692-1700.
  - [30] 热依拉·木民,玉米提·哈力克,塔依尔江·艾山,等.基于分形维数的不同林龄新疆杨对土壤理化特性的影响分析[J].土壤通报,2018,49(2):313-319.
  - [31] 李少华,王学全,高琪,等.植被恢复对高寒沙区土壤性质的影响[J].林业科学研究,2016,29(4):553-559.
  - [32] 华瑞,徐学选,张少妮,等.不同退耕年限林草地土壤颗粒分形特征研究[J].水土保持学报,2016,30(4):206-209.
  - [33] Wu H B, Guo Z T, Gao Q, et al. Distribution of soil inorganic carbon storage and its changes due to agricultural land use activity in China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008,129(4):413-421.