

# 新成土活性与惰性碳的演替特征

郭 振<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

<sup>2</sup>陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

Email: 675334047@qq.com

收稿日期: 2021年2月16日; 录用日期: 2021年3月16日; 发布日期: 2021年3月23日

## 摘 要

探析砒砂岩与沙复配土有机碳活性库和惰性库的演替特征及垂直分布规律, 对新成土的肥力提升以及土体有机重构理论具有指导意义。试验选取砒砂岩与沙复配比分别为0:1 (CK)、1:5 (C1)、1:2 (C2)和1:1 (C3)的四个处理, 种植年限分别为3年和10年。结果表明, 仅复比对重组有机碳含量有显著影响, 以C3处理的重组有机碳含量最高。种植10年较3年, 土壤易氧化有机碳含量和潜在可矿化有机碳含量呈现逐渐递增的变化趋势, 年增加速率分别为0.05 g/kg和0.06 g/kg, 0~10 cm土层显著高于其他土层( $P < 0.05$ )。在种植3年的复配土中, 潜在可矿化有机碳平均含量以C3处理最高, 随着种植年限的增加, C1处理优势显著, 较其他处理表现出明显差异。可见复配措施促进了0~10 cm土层活性碳库的积累, 以1:1复配措施较优。

## 关键词

碳库, 复配土, 砒砂岩, 风沙土, 毛乌素

# Succession Characteristics of Active and Inert Carbon of Newly Formed Soil

Zhen Guo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co. Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

Email: 675334047@qq.com

Received: Feb. 16<sup>th</sup>, 2021; accepted: Mar. 16<sup>th</sup>, 2021; published: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2021

## Abstract

Analyzing the succession characteristics and vertical distribution of organic carbon active pool and inert pool of arsenic and sand composite soil, which has guiding significance for the fertility

文章引用: 郭振. 新成土活性与惰性碳的演替特征[J]. 农业科学, 2021, 11(3): 214-220.

DOI: 10.12677/hjas.2021.113032

improvement of newly formed soil and the theory of soil organic reconstruction, the experiment selected four treatments with the compound ratio of arsenic sandstone and sand of 0:1 (CK), 1:5 (C1), 1:2 (C2) and 1:1 (C3), and the planting period was 3 years and 10 years. The results showed that only the compound ratio had a significant effect on the recombinant organic carbon content, and the C3 treatment had the highest recombinant organic carbon content. Compared with 3 years of planting for 10 years, the content of easily oxidizable organic carbon and potential mineralized organic carbon in the soil showed a gradual increase trend, with an annual increase rate of 0.05 g/kg and 0.06 g/kg, respectively, and the 0~10 cm soil layer was significant higher than other soil layers ( $P < 0.05$ ). In the compound soil planted for 3 years, the average content of potential mineralizable organic carbon was the highest in C3 treatment. With the increase of planting years, C1 treatment had a significant advantage, which showed obvious difference compared with other treatments. It can be seen that the compounding measures promoted the accumulation of activated carbon pool in the 0~10 cm soil layer, and the 1:1 compounding measure is better.

## Keywords

Carbon Pool, Composite Soil, Arsenic Sandstone, Aeolian Sandy Soil, Mu Us

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

农田中的土壤有机碳是缓解全球气候变化的潜在碳汇，并且是维持土壤肥力的基础。土壤有机碳动力学受土壤特性，土地利用和耕作实践之间的相互作用控制[1]。在这些因素中，土地利用会影响有机质投入的数量和质量，因此对土壤有机碳周转起关键作用[2]。土壤有机碳作为土壤中的重要组成部分，影响着土壤中养分的储存与供应，其数量和分布反映了地表植物群落的空间分布、时间上的演替和人为干扰，在全球碳循环中也起着至关重要的作用[3]。

土壤中不稳定、易分解、易氧化、易矿化、移动较快，对地表植物和土壤微生物有显著影响的有机碳定义为土壤活性有机碳[4]。土壤易氧化有机碳作为土壤中易被氧化且活性较高的有机碳，能够敏感反映群落植被环境与土壤环境的早期变化[5]。惰性有机碳是指周转时间为 50~3000 a，比较稳定，对土壤利用的短期变化几乎没有响应的有机碳，而重组有机碳则属于这一范畴[6]。土壤有机碳是成土的主要标志，而土壤中有有机碳的腐殖化，进而形成分子量高、相对稳定的腐殖质是土壤发育程度的主要标志。尽管关于砒砂岩与沙复配土体中有机碳积累已有学者做过研究[7] [8]，但有机碳的状态是否发生了腐殖化过程，是否与土壤矿物颗粒存在结合状态却研究较少。因此，本研究以砒砂岩与沙复配土为研究基础，分析不同种植年限砒砂岩与沙复配土体中有机碳库组分的演替规律，为实现复配土体良好的土体结构提供依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验地概况

砒砂岩与沙复配土试验小区位于富平中试基地(108°57'~109°26'E, 34°42'~35°06'N)是关中平原和陕北高原的过渡地带，自西北向东南倾斜，境内海拔 375.8~1420.7 m，属大陆性季风温暖带半干旱型气候，年总辐射量 5187.4 MJ/m<sup>2</sup>，年平均日照时数约 2389.6 h，年均气温 13.1℃，年平均降水量 527.2 mm (1990~1995)。

## 2.2. 试验设计

田间试验小区为模拟毛乌素沙地砒砂岩与沙混合层的土地状况, 试验小区在 0~30 cm 铺设砒砂岩与沙的混合物, 30~70 cm 填充风沙土。选取整治年限为 3 年和 10 年的砒砂岩与沙复配比分别为 0:1 (CK)、1:1 (C1)、1:2 (C2)、1:5 (C3) 的土壤, 每个处理重复 3 次, 共 24 个小区。小区面积为 2 m × 2 m, 根据小区立地条件, 考虑光照、微地形等因素的均一性, 试验小区采取自南向北“一”字型布设, 通常土壤耕层深度为 30~40 cm, 因此试验小区将砒砂岩与沙的混合深度设计为 0~30 cm, 模拟实地条件, 30~70 cm 完全用沙填充。试验田为玉米(金诚 508) - 小麦(小偃 22)一年两熟轮作, 全部采用人工播种。

## 2.3. 土壤样品的采集

2019 年 5 月份小麦收获后, 采集各小区 0~30 cm 土层样品, 间隔 10 cm, 每个小区均匀采集 5 点组成一个混合样。将采集的土壤样品去除动、植物残体, 过孔径 2 mm 筛后经自然风干后研磨过 0.25 mm 筛, 用于易氧化有机碳、重组有机碳和潜在可矿化有机碳的测定。易氧化有机碳采用 333 mmol/L 高锰酸钾氧化-分光光度计法测定[9], 重组有机碳采用密度浮选(1.7 g/cm<sup>3</sup> NaI) TOC-VCPH 分析仪测定[10], 潜在可矿化有机碳采用恒温室内培养法进行测定[11]。

## 2.4. 数据处理

数据采用 Microsoft Excel 2013 进行相关计算并且进行作图, 用 SPSS 13.0 软件进行 Duncan 显著性检验和相关性分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 土壤易氧化有机碳的演替与变化

多因素方差分析结果表明(表 1), 在多因素综合作用下, 复配比、种植年限、土层均对易氧化有机碳含量变化产生显著的影响。在种植 3 年的复配土中, 0~10 cm 和 10~20 cm 土层的易氧化有机碳含量在 C1、C2 和 C3 处理间均无显著性差异, 但均显著高于 CK 处理, 增幅分别为 41.83%~66.41% 和 122.63%~166.11%, 20~30 cm 土层各处理易氧化有机碳含量均无显著性差异。各土层易氧化有机碳平均含量表现为 0~10 cm (0.29 g/kg) > 10~20 cm (0.19 g/kg) > 20~30 cm (0.12 g/kg) (图 1)。在种植 10 年的复配土中, 0~10 cm 土层的易氧化有机碳含量在 CK、C1 和 C2 处理间无显著性差异, 在 C1、C2 和 C3 处理间也无显著性差异, 可见 C3 较 CK 处理的易氧化有机碳含量显著增加了 109.86%, 10~30 cm 土层各处理易氧化有机碳含量均无显著性差异。各土层易氧化有机碳平均含量表现为 0~10 cm (0.64 g/kg) > 10~20 cm (0.57 g/kg) > 20~30 cm (0.39 g/kg)。种植 10 年较 3 年, 各土层易氧化有机碳含量呈现逐渐递增的变化趋势, 年增加速率分别为 0.05 g/kg (0~10 cm)、0.05 g/kg (10~20 cm) 和 0.04 g/kg (20~30 cm)。

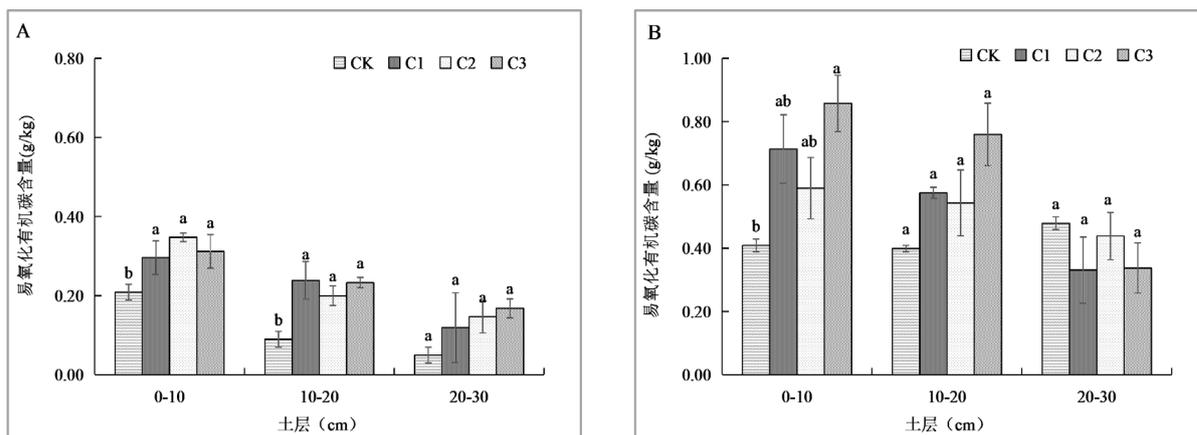
**Table 1.** Variance analysis of easily oxidizable organic carbon of arsenic sandstone and sand composite soil under the influence of multiple factors

**表 1.** 砒砂岩与沙复配土易氧化有机碳在多因素影响下的方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
年限	2.0227	1	2.0227	187.1712	0.0000
复配比	0.2733	3	0.0911	8.4302	0.0001
土层	0.5248	2	0.2624	24.2819	0.0000

Continued

年限 × 复配比	0.0392	3	0.0131	1.2102	0.3162
年限 × 土层	0.0344	2	0.0172	1.5924	0.2140
复配比 × 土层	0.1790	6	0.0298	2.7608	0.0219
年限 × 复配比 × 土层	0.1797	6	0.0300	2.7714	0.0210



**Figure 1.** The vertical distribution characteristics of the oxidizable organic carbon content of the compound soil for 3 years (A) and 10 years (B). Note: CK, C1, C2, and C3 indicate the volume ratio of arsenic sandstone to sand is 0:1, 1:5, 1:2, and 1:1, respectively

**图 1.** 复配土种植 3 年(A)和 10 年(B)土壤易氧化有机碳含量的垂直分布特征。注: CK、C1、C2 和 C3 分别表示砒砂岩与沙的体积比为 0:1、1:5、1:2 和 1:1

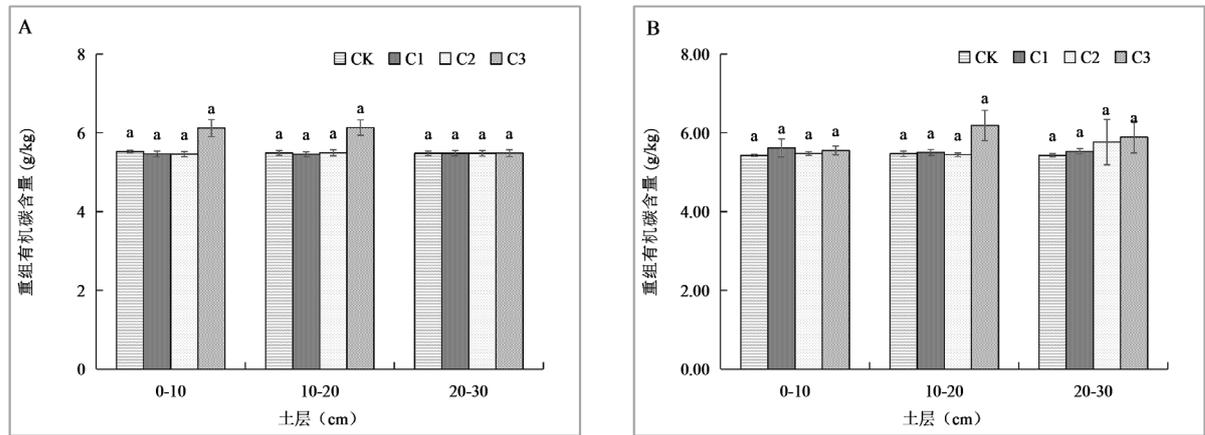
### 3.2. 土壤重组有机碳的演替与变化

多因素方差分析结果表明(表 2), 在复配比、种植年限、土层的综合作用下仅复比对重组有机碳含量变化有显著的影响。在不同种植年限下, 各土层复配土重组有机碳含量均无显著差异(图 2)。但 0~30 cm 土层中, 不同复配比处理的重组有机碳含量表现出显著差异, 以 C3 处理的含量最高, 显著高于 CK 处理, 而 C1、C2 和 C3 处理间差异不显著。

**Table 2.** Variance analysis of heavy fraction organic carbon of arsenic sandstone and sand composite soil under the influence of multiple factors

**表 2.** 砒砂岩与沙复配土重组有机碳在多因素影响下的方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
年限	0.0059	1	0.0059	0.0468	0.8296
复配比	2.1351	3	0.7117	5.6785	0.0021
土层	0.0872	2	0.0436	0.3479	0.7079
年限 × 复配比	0.0751	3	0.0250	0.1998	0.8960
年限 × 土层	0.2710	2	0.1355	1.0811	0.3473
复配比 × 土层	0.7172	6	0.1195	0.9537	0.4663
年限 × 复配比 × 土层	0.5752	6	0.0959	0.7649	0.6010



**Figure 2.** Vertical distribution characteristics of soil heavy fraction organic carbon content after 3 years (A) and 10 years (B) planting in mixed soil. Note: CK, C1, C2, and C3 indicate the volume ratio of arsenic sandstone to sand is 0:1, 1:5, 1:2, and 1:1, respectively

**图 2.** 复配土种植 3 年(A)和 10 年(B)土壤重组有机碳含量的垂直分布特征。注: CK、C1、C2 和 C3 分别表示砷砂岩与沙的体积比为 0:1、1:5、1:2 和 1:1。注: CK、C1、C2 和 C3 分别表示砷砂岩与沙的体积比为 0:1、1:5、1:2 和 1:1

### 3.3. 土壤潜在可矿化碳的演替与变化

多因素方差分析结果表明, 在多因素综合作用下, 复配比、种植年限、土层单因素及两两因素间的综合作用均对潜在可矿化有机碳含量变化产生显著的影响(表 3)。在种植 3 年的复配土中, 10~20 cm 土层潜在可矿化有机碳平均含量最高, 为 0.78 g/kg, 显著高于 0~10 cm (0.62 g/kg)和 20~30 cm (0.58 g/kg); 在种植 10 年的复配土中, 0~10 cm 土层潜在可矿化有机碳平均含量较高, 为 1.38 g/kg, 显著高于 10~20 cm 土层(0.88 g/kg)和 20~30 cm 土层(0.97 g/kg)(表 4), 20~30 cm 土层较 10~20 cm 土层也显著增加了 10.23%, 可见随着种植年限的增加, 复配土潜在可矿化有机碳含量逐年增加, 年增加速率为 0.06 g/kg, 且 0~10 cm 和 20~30 cm 土层的潜在可矿化有机碳含量变的较高。在种植 3 年的复配土中, 0~10 cm 和 20~30 cm 土层 C3 处理的潜在可矿化有机碳含量最大, 显著高于 CK 处理, 而在 10~20 cm 土层中, 以 CK 处理的潜在可矿化有机碳含量最大, 显著高于其他复配比处理; 10 年复配土中, 0~10 cm 土层的潜在可矿化有机碳含量在各处理间差异显著, 以 C1 处理最大, 其次为 CK、C3、C2, 10~20 cm 和 20~30 cm 土层中分别以 C3 处理和 CK 处理的潜在可矿化有机碳含量最大, 显著高于其他处理(图 3)。在种植 3 年的复配土中, 潜在可矿化有机碳含量平均以 C3 处理最高, 随着种植年限的增加, C1 处理的潜在可矿化有机碳含量逐渐增多, 较其他处理表现出显著差异(表 4)。

**Table 3.** Variance analysis of potential mineralizable organic carbon of arsenic and sand composite soil under the influence of multiple factors

**表 3.** 砷砂岩与沙复配土潜在可矿化有机碳在多因素影响下的方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
年限	3.1292	1	3.1292	723.0427	0.0000
复配比	1.3317	3	0.4439	102.5669	0.0000
土层	0.6894	2	0.3447	79.6505	0.0000
年限 × 复配比	1.1257	3	0.3752	86.7046	0.0000
年限 × 土层	1.3100	2	0.6550	151.3521	0.0000

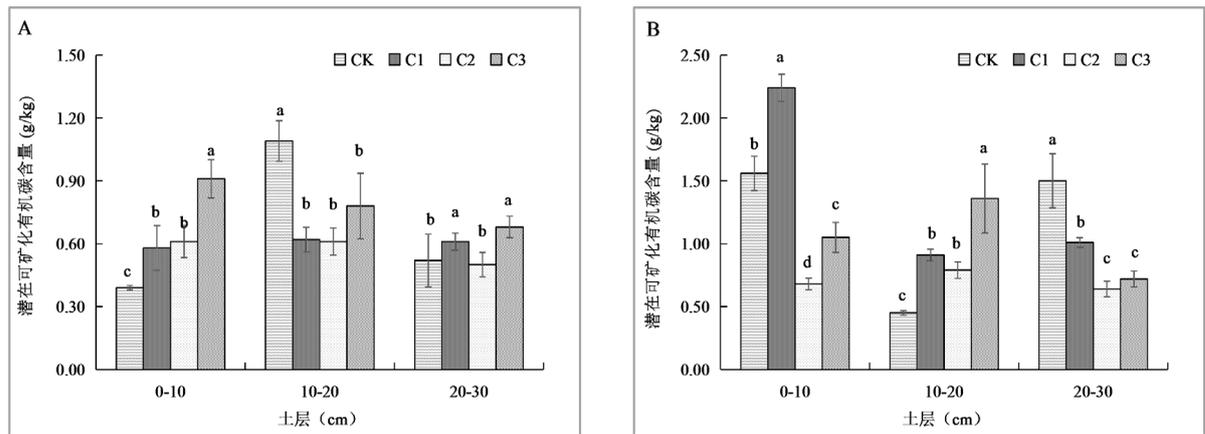
Continued

复配比 × 土层	1.5671	6	0.2612	60.3506	0.0000
年限 × 复配比 × 土层	3.6609	6	0.6102	140.9858	0.0000

**Table 4.** Significant difference (5%) of the average content of potential mineralizable organic carbon in composite soils under the influence of multiple factors

**表 4.** 复配土潜在可矿化有机碳平均含量在多因素影响下的显著性差异(5%)

处理	CK	C1	C2	C3	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
3 年	b	c	c	a	b	a	b
10 年	b	a	d	c	a	c	b



**Figure 3.** Vertical distribution characteristics of the potential mineralizable organic carbon content of compound soil for 3 years (A) and 10 years (B). Note: CK, C1, C2, and C3 indicate the volume ratio of arsenic sandstone to sand is 0:1, 1:5, 1:2, and 1:1, respectively

**图 3.** 复配土种植 3 年(A)和 10 年(B)潜在可矿化有机碳含量的垂直分布特征。注: CK、C1、C2 和 C3 分别表示砷砂岩与沙的体积比为 0:1、1:5、1:2 和 1:1

#### 4. 结论

不同种植年限下, 重组有机碳在各土层中均无显著性差异, 仅复配比对其含量有显著影响, 以 C3 处理的重组有机碳含量最高; 复配比、年限、土层均对易氧化有机碳含量变化产生显著的影响, 以 0~10 cm 土层的累积效应较好; 复配比、种植年限、土层单因素及两两因素间的综合作用均对潜在可矿化有机碳含量变化产生显著的影响。随着种植年限的增加, 复配土潜在可矿化有机碳平均含量逐年增加。

#### 参考文献

- [1] 魏鸿鹏, 李志刚, 张蕾, 等. 土地利用方式对土壤有机碳与易氧化碳的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2017, 32(3): 226-232.
- [2] 刘骞, 张腾龙, 杨成都, 等. 土地利用方式对城市草坪土壤活性有机碳组分及碳库活度的影响[J]. 北方园艺, 2020(19): 94-101.
- [3] 孔凡磊, 刘晓林, 陈伟, 等. 秸秆和菌渣改良剂对高寒沙地土壤有机碳库的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(4): 288-294.
- [4] Xiao, S.S., Zhang, J., Duan, J., et al. (2020) Soil Organic Carbon Sequestration and Active Carbon Component Changes Following Different Vegetation Restoration Ages on Severely Eroded Red Soils in Subtropical China. *Forests*, **11**, 1304-1304. <https://doi.org/10.3390/f11121304>

- 
- [5] Geng, Y.Q., Yu, X.X., Yue, Y.J., *et al.* (2009) Active Organic Carbon Pool of Coniferous and Broad-Leaved Forest Soils in the Mountainous Areas of Beijing. *Forest Ecosystems*, **11**, 225-230.  
<https://doi.org/10.1007/s11632-009-0035-0>
- [6] Wang, H., Stumpf, A.J., Stumpf, P.K., *et al.* (2018) Radiocarbon and Stable Carbon Isotopes of Labile and Inert Organic Carbon in the Critical Zone Observatory in Illinois, USA. *Radiocarbon*, **60**, 989-999.  
<https://doi.org/10.1017/RDC.2018.31>
- [7] 刘阳, 李传福, 党晓宏, 等. 毛乌素沙地砒砂岩与风沙土复配土技术研究进展[J]. 内蒙古林业科技, 2020, 46(1): 43-46.
- [8] 张卫华, 韩霁昌, 王欢元, 等. 砒砂岩对毛乌素沙地风成沙的改良应用研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(10): 122-127.
- [9] 瞿红云, 贾国梅, 向瀚宇, 等. 植被混凝土边坡修复基质易氧化有机碳组分季节动态[J]. 水土保持研究, 2019, 26(5): 28-33.
- [10] 许延昭, 马维伟, 李广, 等. 尕斯库勒湿地植被退化过程中土壤轻重组有机碳动态变化特征[J]. 水土保持学报, 2018, 32(3): 205-211.
- [11] 张昊, 孙亚萍, 李占文, 等. 干旱胁迫对灵武长枣种植园土壤矿化碳特征的影响[J]. 山东农业科学, 2019, 51(4): 105-109.