

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201710002

引文格式: 张宝成, 白艳芬, 李宪碧, 等. 汉中盆地秸秆还田撂荒和林地对土壤碳的影响 [J]. 广西植物, 2018, 38(8): 1081-1087  
ZHANG BC, BAI YF, LI XB, et al. Effects of straw returning farmland, abandoned land and woodland on soil carbon in Hanzhong basin [J]. *Guihaia*, 2018, 38(8): 1081-1087

## 汉中盆地秸秆还田撂荒和林地对土壤碳的影响

张宝成<sup>1</sup>, 白艳芬<sup>1</sup>, 李宪碧<sup>1</sup>, 王平<sup>2</sup>, 邓忠菊<sup>1</sup>, 金星<sup>3</sup>, 丁奎婷<sup>1</sup>

( 1. 遵义师范学院 生物与农业科技学院, 贵州 遵义 563002; 2. 海南热带海洋学院 海洋科学技术学院, 海南 三亚 572022; 3. 遵义师范学院 物理与电子科学学院, 贵州 遵义 563002 )

**摘要:** 农业活动是温室气体重要的排放源, 土壤碳库[土壤有机碳(SOC)和无机碳(SIC)]稍微变化会对大气CO<sub>2</sub>产生很大影响。汉中盆地是南水北调的重要水源涵养地, 在该区域秸秆还田、农田撂荒和林地是目前常见土地利用方式, 但缺乏不同利用方式对SIC和SOC影响的研究。该研究采集该区域典型样地土壤, 用滴定法和有机碳分析仪分别测定其SIC和SOC含量, 研究3种土地利用方式对土壤碳库的影响。结果表明: SOC随土层深度最为敏感的是农田, 其次是撂荒地, 林地最不敏感。0~140 cm土层SOC碳密度, 林地最大, 是撂荒田的2.26倍, 农田是撂荒田的1.37倍。深土层SOC碳密度, 林地是撂荒田的2.44倍, 农田是撂荒田的1.07倍。撂荒田的SIC密度最大, 其次是农田, 林地的SIC碳密度最低。在0~140 cm土层中, SIC密度依次为12.37、11.68和9.77 kg·m<sup>2</sup>, 撂荒田的SIC碳密度是林地的1.27倍。随着我国农村发展, 土地利用管理出现新的方式, 今后在估算土地利用管理方式对土壤碳影响时还需要综合考虑SOC和SIC。

**关键词:** 土壤有机碳, 秸秆还田, 林地, 土壤无机碳, 农田撂荒

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)08-1081-07

## Effects of straw returning farmland, abandoned land and woodland on soil carbon in Hanzhong basin

ZHANG Baocheng<sup>1</sup>, BAI Yanfen<sup>1</sup>, LI Xianbi<sup>1</sup>, WANG Ping<sup>2</sup>,  
DENG Zhongju<sup>1</sup>, JIN Xing<sup>3</sup>, DING Kuiting<sup>1</sup>

( 1. *College of Life & Agriculture Science, Zunyi Normal University, Zunyi 563002, Guizhou, China*; 2. *School of Science & Technology, Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572022, Hainan, China*; 3. *School of Physics and Electronic Science, Zunyi Normal University, Zunyi 563002, Guizhou, China* )

**Abstract:** Due to the increase of atmospheric gas concentration in greenhouse, climate warming caused great inconvenience to people's production and living. Therefore, soil carbon pool [soil organic carbon (SOC) and soil inorganic carbon

收稿日期: 2018-03-21

基金项目: 国家自然科学基金(31660106); 贵州省千层次创新型人才项目(遵市科合人才[2016]4号); 遵义师范学院博士基金(遵师BS[2014]06和BS[2014]07号); 贵州省科技厅合作项目(黔科合LH字[2017]7063号); 贵州省教育厅高校自然科学研究项目(黔教合KY字[2017]052); 海南省自然科学基金(417151); 海南热带海洋学院博士科研启动项目(RHDXB201613); 院教学改革项目(RDJGb2016-18); 海南省特色重点学科建设方案项目(2017) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31660106); Thousand-Level Innovative Talents in Guizhou Province ([2016]4); Doctoral Foundation of Zunyi Normal University ([2014] 06, 07); Science and Technology Cooperation Program of Guizhou Province (LH [2017] 7063); Natural Science Research Program of Guizhou Province (KY [2017] 052)]; Hainan Provincial Natural Science Foundation of China (417151); Scientific Research Starting Foundation for Doctors of Hainan Tropical Ocean University (RHDXB201613); School Teaching Reform Program (RDJGb2016-18); Hainan Provincial Key Discipline Construction Program (2017)。

作者简介: 张宝成(1978-), 男, 陕西南郑人, 博士, 副教授, 主要从事碳循环与资源生态研究, (E-mail) bc Zhang@fudan.edu.cn。

(SIC)] has attracted much attention. Straw returning farmlands and abandoned farmland changed the input carbon, which affected the SIC and SOC conversion processes and soil carbon pool. SIC has a long retention time, and SOC plays an important role in the formation of soil aggregates and the adsorption of mineral nutrients for plants. With rural population reduction, straw returning farmland, abandoned land and woodland are very common. There is lack of research on the effects of land use change on different soil carbons. The results showed that SOC is the most sensitive to the soil depth of the farmland, followed by abandoned land, the lowest sensitive forest land. The density of SOC in the topsoil of forest land was the largest, followed by farmland, and the smallest was abandoned. The SOC carbon density in woodland was 2.26 times of that in abandoned land. SOC carbon density in farmland was 1.37 times of that in abandoned land in 0–140 cm soil. The abandonment farmland SIC density was the biggest, followed by farmland, with the lowest SIC carbon density in forestlands. In the 0–140 cm soil layer, the SIC densities were 12.37, 11.68 and 9.77 kg · m<sup>-2</sup>, respectively. SIC carbon density in abandoned fields was 1.27 times that of woodland. With the development of rural areas in China, a new way of land use management has emerged, estimating the impact of land use on soil carbon needs to consider SOC and SIC.

**Key words:** soil organic carbon, straw returning farmland, woodland, soil inorganic carbon, abandoned land

大气温室气体增加造成气候变暖,对我们生产生活产生诸多不便。全球 SOC 1 500 Pg, SIC 为 1 000 Pg,土壤碳库的稍微变化对大气 CO<sub>2</sub>产生很大影响。土地利用方式 (Zhang et al, 2010)是影响土壤碳库(Caspersen et al, 2000)的重要因素,因此土壤碳库倍受关注 (Zhang et al, 2015; 张宝成等, 2017a, 2017b)。土地利用方式改变 SOC 的输入和矿化过程 (Fang et al, 2001; Lal, 2002; Richter et al, 1999; Zhang et al, 2010)。SIC 在碳库中占有重要位置,但是关于 SIC 的研究却比较缺乏 (Mikhailova & Post, 2006)。全球 SIC 占土壤碳库的 61.29% (Lal, 2008),但有研究者认为这低估了 SIC (Díaz-Hernández, 2010)。土地利用方式可改变地表植被的覆盖、土壤物质的输入以及对土壤酸碱度 (Wu et al, 2009)、影响 SIC (Mikhailova & Post, 2006)。如灌溉 (Denef et al, 2008)、施肥 (Doney et al, 2007; Vitousek et al, 2009; 曾骏等, 2008)等造成土壤酸化 (Díaz-Hernández, 2010; Hicks et al, 2008)。植物凋落物能增加土壤碳库的输入,随着这些输入物的腐殖化使土壤 pH 降低,影响了 SIC 含量。农田秸秆还田增加地表输入,农田撂荒影响地表植物组成进而影响到地表凋落物的数量,因此影响到土壤碳过程。

随着工业化发展,农村人口减少,我国每年撂荒的耕地近 200 万 hm<sup>2</sup>,今后农村耕地撂荒要持续很久。农作物秸秆还田是一种重要的土地管理/

利用模式,因此农田撂荒、秸秆还田和林地是常见的土地利用方式。SOC 在土壤团聚体的形成具有重要作用,有机碳可吸附植物所需氮、磷、钾等营养物质。SIC 在土壤中的滞留时间长,这对减缓大气温室气体具有重要作用。目前缺乏不同土地利用方式对土壤 SIC 和 SOC 的变化以及深土层之间平衡方面的研究 (Gurwick et al, 2008),这制约了土地利用对土壤碳的认识。

汉中盆地水田约占全省的 75%,水稻和油菜产量约是全省的 80%和 70%,也是南水北调项目重要的水源涵养区。在该区域,林地、农田撂荒和农田秸秆还田比较普遍,随着人口外出,这 3 种土地利用在变化。目前缺乏这几种方式转化后对土壤碳库变化的研究。因此,本研究以秸秆还田、农田撂荒和林地典型样地为对象,研究土地利用对土壤 SIC 和 SOC 的影响以及深土层 SIC 和 SOC 的密度变化。这为今后土地合理利用管理、综合评价人类活动对总碳库的影响以及应对全球气候变化提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

研究区处于陕西省南郑县红旗村 (106.85°E, 33.02°N),龙门—龙门大巴台缘隆褶带中的汉中盆地,海拔 840~890 m。该区位于北亚热带湿润

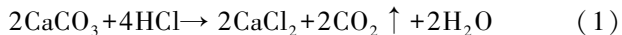
季风气候区, 年均气温 14.2 °C, 年均降水量 970.4 mm。采样点位于该盆地典型的林地(为杨树和刺槐人工林, 林龄 25 a), 农田和撂荒田在撂荒前农业耕作方式和施肥模式相同, 土壤肥力一致。农田在研究期种植模式为水稻-油菜, 在 10 a 试验期间水稻和油菜秸秆还田模式; 农田在撂荒 10 a 期间无人扰动, 3 种利用类型土壤为粘性壤土。

采样方法采用挖取土壤剖面。在农田、撂荒田和林地中, 每种类型的样地选择典型有代表的地段挖长 1.8 m, 宽 1 m, 深 1.4 m 的剖面 3 个, 与之相对的坑壁挖成阶梯状, 以便操作。然后分层采取土壤样品, 土壤分层参照标准 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120 和 120~140 cm 分层取样, 并用土壤环刀采集样品测定土壤容重。不同土层样品在室内风干, 去除石砾和植物残体并进行土壤样品的分析测试。

## 1.2 分析测定及数据处理

1.2.1 有机质测定 土壤有机碳的测定, 土壤去除碳酸盐后用 vario EL 元素分析仪测定土壤有机碳。

1.2.2 无机碳测定 土壤样品中的无机碳与盐酸作用产生 CO<sub>2</sub>。用酸碱滴定法, 根据化学式(1)消耗的盐酸计算出待测样品中的无机碳, 具体步骤和计算参见 Bashour & Sayegh(2007)。



1.2.3 样品测定及计算 用 SPSS 11.5 对数据进行处理, 并对其进行方差分析。用 Sigmpalot 10.0 软件绘制图。土壤有机碳密度的计算公式:

$$Cd = \frac{\sum_{i=1}^n H_i B_i O_i}{\sum_{i=1}^n H_i}$$

式中,  $H_i$  是  $i$  层土壤的厚度(cm),  $B_i$  是  $i$  层土壤的容重( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),  $O_i$  是  $i$  层土壤的有机碳含量(%)。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机碳含量变化

由图 1 可知, 研究区表层(0~20 cm)SOC 林地的含量最高, 其次是农田系统, 撂荒田最小, SOC 含量在 1.29%~3.16%之间波动。农田、撂荒田和

林地深土层 SOC 分别在 0.21%~0.42%、0.22%~0.41%和 0.64%~1.02%之间波动。0~20 cm 土壤有机碳含量最高, 尤其是林地高达 3.16%。农田、撂荒田和林地 SOC 均随土壤层的增加而降低。根据其变化规律拟合线性回归方程, 方程  $r^2$  能够解释 57%~71%。根据敏感系数(回归方程系数数值), 农田最敏感, 其次是撂荒地 and 林地。林地 20~40 cm 的 SOC 高于 1%, 撂荒田和农田 SOC 在 20 cm 以下剖面层的含量均低于 1%。

### 2.2 无机碳含量分布特征

由图 2 可知, 不同土地利用方式下表层(0~20 cm)SIC 含量差异较大, 总无机碳含量从大到小的顺序依次为撂荒田、农田和林地。林地 SIC 土壤中明显分 3 个层次, 在 60~100 cm 土层中含量最高, 其次分别是 0~60 cm 和 100~140 cm。

### 2.3 不同土地利用对土壤碳密度的影响

由图 3 可知, 表层土壤碳库是土壤碳的重要组成部分。农田和撂荒田表层 SOC 密度差异显著( $P < 0.05$ ), 而 SIC 无显著差异。由图 4 可知, 林地 0~140 cm 和 20~140 cm 的 SIC 与撂荒田和农田差异显著( $P < 0.05$ )。撂荒田的 SIC 密度最大, 其次是农田, 林地的 SIC 碳密度最低。深土层 SIC 碳密度也呈现出类似规律, 从大到小依次为 10.40、10.15 和 8.75  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在 0~140 cm 土层中, 不同的土地利用方式下, 土壤无机碳密度从大到小分别为 12.37、11.68 和 9.77  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。由图 4 可知, 3 种不同土地利用管理模式下 0~140 cm SOC 密度差异显著( $P < 0.05$ )。林地 20~140 cm 的 SOC 与撂荒田和农田差异显著( $P < 0.05$ )。0~140 cm 土层中农田、撂荒田和林地间差异显著( $P < 0.05$ )。林地 SOC 碳密度是撂荒田的 2.26 倍, 农田 SOC 碳密度是撂荒田的 1.37 倍。深土层间 SOC 碳密度差异较小, 林地 SOC 碳密度是撂荒田的 2.44 倍, 农田是撂荒田的 1.07 倍。

### 2.4 无机碳占总碳比值特征

由表 1 可知, 表层土壤 SIC 占总碳的 12.59%~35.34%, 平均值为 22.19%。深土层(20~140 cm) SIC 含量在 37.85%~63.45%, 平均值为 54.30%, 说明 SIC 主要储藏于土壤深层。按照土地利用方式, 无机碳含量在总碳中的比例最小的只有林地,

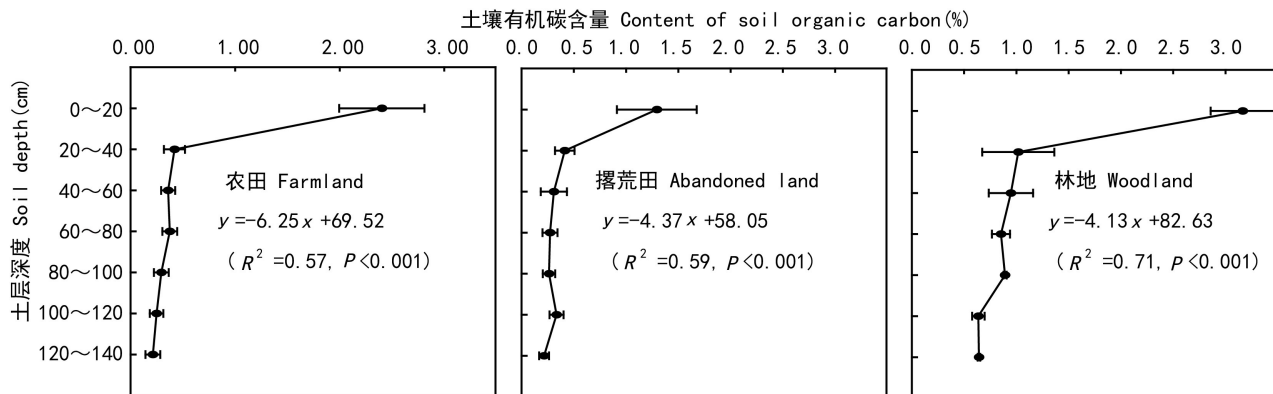


图1 不同土地利用方式下土壤有机碳垂直变化

Fig. 1 Profile variation of soil organic carbon under different land uses

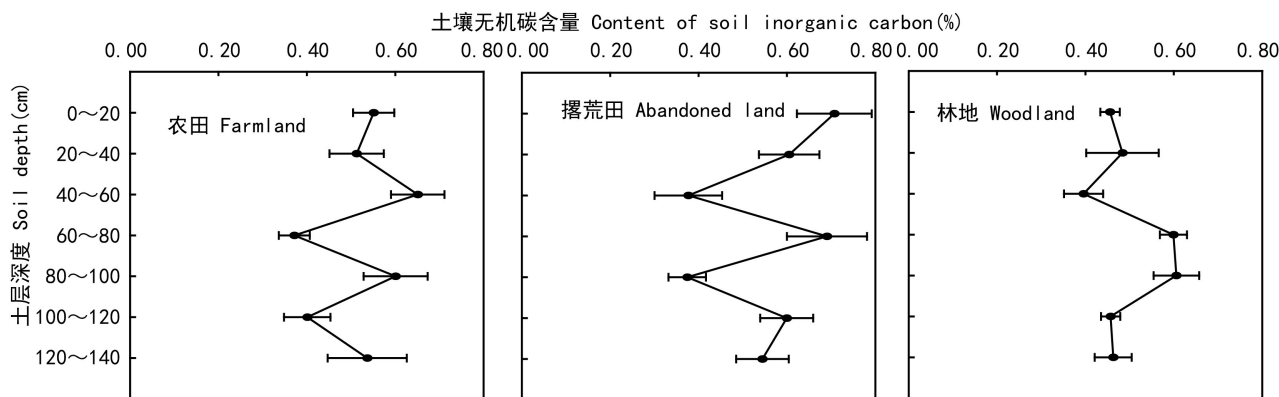


图2 不同土地利用方式下土壤无机碳垂直变化

Fig. 2 Profile variation of soil inorganic carbon under different land uses

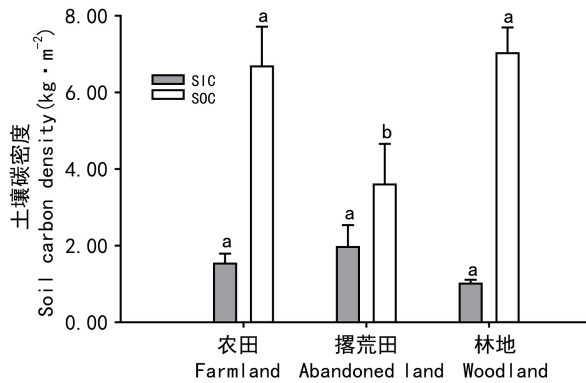
为 34.24%，其余不同土地利用类型的百分比在 49.75%~59.44% 之间波动。说明研究的 3 种土地利用方式对汉中盆地 SIC 的影响比较明显 (Mikhailova & Post, 2006)。3 种不同土地利用方式下，表层与深层土壤中 SIC/TC 比值变化明显。深土层 (100~140 cm) 比值林地与耕田和撂荒田差异较大 ( $P < 0.05$ )；撂荒田与农田相差较小。

### 3 讨论

#### 3.1 不同土地利用方式对土壤有机碳的影响

SOC 主要受土壤团聚体的保护，农业耕作中容易破碎土壤团聚体，促进土壤碳排放

(Rasmussen et al, 2005) 导致农田 SOC 碳密度比林地小。与撂荒田和林地相比，汉中盆地农田为水旱轮作，大于 10 °C 积温在 4 320~4 700 °C 之间，持续 7 个多月；大于 20 °C 积温在 2 426~2 907 °C 之间，持续时间 4 个月。种植水稻后，农作物秸秆返田后在水中处于厌氧的状态有利于 SOC 的形成 (杨翔宇等, 2013)。大量还田的秸秆为农田表土层的土壤动物和微生物提供了重要的食物来源，温度较高引起土壤生物的大量繁殖，加速了还田秸秆的腐殖化转化为 SOC 的能力，从而增加了土壤碳 (谭羽等, 2017)。由表土层和深土层 SOC 密度可知，土壤表层 SOC 储量较大 (Song et al, 2005)。秸秆还田促进了农田土壤 SOC 的增加 (Armstrong,



注: SOC. 土壤有机碳; SIC. 土壤无机碳。  
不同字母间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: SOC. Soil organic carbon; SIC. Soil inorganic carbon.  
Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

图 3 不同土地利用表土层 (0~20 cm) 碳密度  
Fig. 3 Surface soil (0-20 cm) carbon densities  
under different land uses

表 1 不同剖面深度无机碳占总碳比值  
Table 1 Ratio of soil inorganic carbon to total  
carbon under different depths

土层深度 Soil depth (cm)	林地 Woodland (%)	撂荒田 Abandoned land (%)	农田 Farmland (%)
0~20	12.59	35.34	18.65
20~40	32.21	59.41	54.98
40~60	29.46	54.95	64.46
60~80	41.28	71.73	49.77
80~100	40.46	58.78	67.15
100~120	41.8	64.16	61.71
120~140	41.9	71.68	71.59
平均 Mean (0~140)	34.24	59.44	55.47
平均 Mean (20~140)	37.85	63.45	61.61

2008; Lu et al, 2009; Nie et al, 2007), 由于秸秆还田和汉中盆地特殊的气候环境因子促成了农田 SOC 高于撂荒田, 低于林地。

除了林地 20~40 cm 的 SOC 高于 1% 外, 其它撂荒田、耕田 SOC 在 20 cm 以下剖面层的含量均

低于 1%。虽然农作物秸秆还田, 但是农业耕作层较浅, 通常农业耕作小于 25 cm, 在深耕时犁地的深度要达到 25~35 cm, 撂荒农田植物为草本植物。它们与林地的林木根系相比, 根系较浅作用也较小, 林地地表掉落枯枝落叶相对较多 (高嵩, 2010), 是深层 SOC 的重要来源, 这促进了林地 20~40 cm 土层 SOC 含量增加。与农田撂荒相比, 农业活动是增加土壤碳贮量的重要因子之一 (吴乐知和蔡祖聪, 2007)。农田中肥料的投入促进了大量的生物量, 汉中盆地每亩每年水稻和油菜秸秆平均输入量分别达 500 和 300 kg, 远高于撂荒田凋落物补给这促进了农田 SOC 碳的吸收, 因此汉中盆地农田 SOC 含量明显高于撂荒田。

### 3.2 不同土地利用管理方式对土壤无机碳的影响

不同土地利用方式影响到土壤无机碳 (Wu et al, 2009)。由于林地大量根系和林木凋落物以及农田秸秆还田这些物质在腐殖质过程中形成胡敏酸和富里酸 (杨翔宇等, 2013) 与土壤中无机碳酸盐发生反应抑制了 SIC 吸收 (贾宇平和段建南, 2003; 杨黎芳等, 2007)。在汉中盆地由于林地和秸秆还田系统地表有机物的输入较大, 这些腐殖质转化中的土壤 pH 降低, 因此导致林地和秸秆还田系统土壤表层 SIC 密度小于农田撂荒。

环境温度和降水等因子是影响不同深度土层 SIC 含量变化的重要因素 (Caspersen et al, 2000; Yang et al, 2010)。不同土地利用管理方式改变土壤水分和土壤温度, 在土壤水分作用下碳转化为无机碳在土层中迁移 ( $\text{SOC} \rightarrow \text{CO}_2 \rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3$ ), 在合适的条件下沉淀凝结形成 SIC, 进而影响土层中无机碳的分布 (贾宇平和段建南, 2003) 和 SIC 含量 (杨黎芳等, 2010)。土壤表层碳酸盐在淋溶作用下土壤无机碳迁移到土壤的较深剖面层, 发生溶解的逆过程而重新沉淀, 影响到不同土层 SIC。如我国西部和北方干旱半干旱区域, 农业灌溉增加农田 SIC 的吸收 (Mi et al, 2008)。在美国大平原 (Denef et al, 2008) 和俄罗斯黑钙土农田, 由于农业耕作和灌溉促进了 SIC 的吸收 (Mikhailova & Post, 2006)。综上可知, 这些因素是导致汉中盆地农田撂荒田 SIC 最高, 其次是耕田, 林地最低。

### 3.3 不同土地利用方式对土壤无机碳占总碳比值的影响

凋落物和生物残体是土壤碳的重要来源。这些物质通过土壤微生物和动物转化为 SOC, 在转化分解中产生的气体 CO<sub>2</sub> 形成土壤碳酸盐储藏于土壤中(曾骏等, 2008)。深层植物的根系通过根系分泌和根表皮死亡物质的输入, 促进了深层土壤生物的活动, 它们呼吸释放的 CO<sub>2</sub> 通过水分的作用形成碳酸根与土壤中的钙镁等物质结合沉淀在深层土壤, 影响 SIC。林地通过林木根系的作用增加土壤空隙, 有利于表层无机碳酸盐通过雨水的淋溶进入深层土壤。土地利用时间、植物种类、气候和土层深度等因素影响到 SIC/TC, 导致本研究的比值低于兰州灰钙土的 61.62%, 内蒙古的 74.69% (杨黎芳等, 2007), 与我国的平均值 51.82% 接近(Li et al, 2007)。由于汉中的水热环境因子以及土地利用的管理模式差异, 导致汉中土壤中有机碳和无机碳的特殊分配比。

### 参考文献:

- ARMSTRONG A, 2008. Carbon cycle: A return to Soviet soils [J]. *Nature Geosci*, 1: 810-810.
- BASHOUR II, SAYEGH AH, 2008. Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions [D]. Khartoum: University of Khartoum: 80-85.
- CASPEREN JP, PACALA SW, JENKINS JC, et al, 2000. Contributions of land-use history to carbon accumulation in US forests [J]. *Science*, 290(5494): 1148-1151.
- DÍAZ HERNÁNDEZ JL, 2010. Is soil carbon storage underestimated? [J]. *Chemosphere*, 80(3): 346-349.
- DENEK K, STEWART CE, BRENER J, et al, 2008. Does long-term center-pivot irrigation increase soil carbon stocks in semi-arid agro-ecosystems? [J]. *Geoderma*, 145(1-2): 121-129.
- DONEY SC, MAHOWALDN, LIMA I, et al, 2007. Impact of anthropogenic atmospheric nitrogen and sulfur deposition on ocean acidification and the inorganic carbon system [J]. *PNAS*, 104(37): 14580-14585.
- FANG JY, CHEN AP, PENG CH, et al, 2001. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. *Science*, 292(5525): 2320-2322.
- GAO S, 2010. Evaluation of net biological productivity of different patterns of returning cropland to woodland [J]. *Mod Agric Sci Technol*, (7): 215-216. [高嵩, 2010. 不同模式退耕还林地上净生物生产力评价 [J]. *现代农业科技*, (7): 215-216.]
- GURWICK NP, GROFFMAN PM, YAVITT JB, et al, 2008. Microbially available carbon in buried riparian soils in a glaciated landscape [J]. *Soil Biol Biochem*, 40: 85-96.
- HICKS WK, KUYLENSTIERNA JCI, OWEN A, et al, 2008. Soil sensitivity to acidification in Asia: Status and prospects [J]. *Ambio*, 37(4): 295-303.
- JIA YP, DUAN JN, 2003. The effects of land use on calcium carbonate in hilly loess soils [J]. *Chin J Soil Sci*, 34(4): 319-321. [贾宇平, 段建南, 2003. 土地利用方式对黄土丘陵土壤 CaCO<sub>3</sub> 含量及分布的影响 [J]. *土壤通报*, 34(4): 319-321.]
- LAI R, 2002. Soil carbon sequestration in China through agricultural intensification, and restoration of degraded and desertified ecosystems [J]. *Land Degrad Dev*, 13(6): 469-478.
- LAI R, 2008. Carbon sequestration [J]. *Philosoph Trans Biol*, 363(1492): 815-830.
- LI ZP, HAN FX, SU Y, et al, 2007. Assessment of soil organic and carbonate carbon storage in China [J]. *Geoderma*, 138(1-2): 119-126.
- LU F, WANG X, HAN B, et al, 2009. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's cropland [J]. *Glob Change Biol*, 15(2): 281-305.
- MI N, WANG SQ, LIU JY, et al, 2008. Soil inorganic carbon storage pattern in China [J]. *Glob Change Biol*, 14(10): 2380-2387.
- MIKHAILOVA EA, POST CJ, 2006. Effects of land use on soil inorganic carbon stocks in the Russian Chernozem [J]. *J Environ Qual*, 35(4): 1384-1388.
- NIE J, ZHOU JM, WANG HY, et al, 2007. Effect of long-term rice straw return on soil glomalin, carbon and nitrogen [J]. *Pedosphere*, 17(3): 295-302.
- VITOUSEK PM, NAYLOR R, CREWS T, et al, 2009. Nutrient imbalances in agricultural development [J]. *Science*, 1519-1520.
- RASMUSSEN C, TORN MS, SOUTHARD RJ, 2005. Mineral assemblage and aggregates control soil carbon dynamics in a California conifer forest [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 69: 1711-1721.
- RICHTER DD, MARKEWITZ D, TRUMBORE SE, et al, 1999. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest [J]. *Nature*, 400(6739): 56-58.
- SONG GH, LI, LQ, PAN GX, et al, 2005. Top soil organic carbon storage of China and its loss by cultivation [J]. *Biogeochemistry*, 74(1): 47-62.

- TAN Y, YANG WQ, LIAO S, et al, 2017. Effects of soil fauna on winter litter humification along altitudinal gradient in cold ecosystem in western Sichuan [J]. *Acta Ecol Sin*, 37(5): 1595–1602. [谭羽, 杨万勤, 廖姝, 等, 2017. 川西高寒生态系统不同海拔土壤动物对冬季凋落叶腐殖化过程的影响 [J]. *生态学报*, 37(5): 1595–1602.]
- WU H, GUO Z, GAO Q, et al, 2009. Distribution of soil inorganic carbon storage and its changes due to agricultural land use activity in China [J]. *Agric Ecosyst Environ*, 129(4): 413–421.
- WU LZ, CAI ZC, 2007. Effect of agricultural cultivation on soil organic carbon in China [J]. *J Soil Water Conserv*, 21(6): 118–134 [吴乐知, 蔡祖聪, 2007. 农业开垦对中国土壤有机碳的影响 [J]. *水土保持学报*, 21(6): 118–134.]
- YANG LF, LI GT, LIN QM, et al, 2010. Active carbonate of chestnut soils in different lands [J]. *Ecol Environ Sci*, 19(2): 428–432. [杨黎芳, 李贵桐, 林启美, 等, 2010. 栗钙土不同土地利用方式下土壤活性碳酸钙 [J]. *生态环境学报*, 19(2): 428–432.]
- YANG LF, LI GT, ZHAO XR, et al, 2007. Profile distribution of soil organic and inorganic carbon in chestnut soils of Inner Mongolia [J]. *Ecol Environ*, 16(1): 158–162. [杨黎芳, 李贵桐, 赵小蓉, 等, 2007. 栗钙土不同土地利用方式下有机碳和无机碳剖面分布特征 [J]. *生态环境*, 16(1): 158–162.]
- YANG XY, LIN XW, DOU S, 2013. Effect of O<sub>2</sub> concentration on humification of corn stalk in soil [J]. *J NE For Univ*, 41(1): 106–108. [杨翔宇, 林学巍, 窦森, 2013. 不同氧气条件对玉米秸秆在土壤中腐殖化的影响 [J]. *东北林业大学学报*, 41(1): 106–108.]
- YANG YH, FANG JY, JI CJ, et al, 2010. Soil inorganic carbon stock in the Tibetan alpine grasslands [J]. *Glob Biogeochem Cycle*: 24
- ZENG J, GUO TW, BAO XG, et al, 2008. Effects of soil organic carbon and soil inorganic carbon under long-term fertilization [J]. *Soil Fert Sci Chin*, 2: 11–14. [曾骏, 郭天文, 包兴国, 等, 2008. 长期施肥对土壤有机碳和无机碳的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2: 11–14.]
- ZHANG BC, LI DH, WANG P, et al, 2017a. Study on the change of carbon source of farmland ecosystem in Zunyi City [J]. *J S Agric*, 48(S): 188–190 [张宝成, 李德辉, 王平, 等, 2017a. 遵义市农田生态系统碳源汇变化研究 [J]. *南方农业学报*, 48(S): 188–190.]
- ZHANG BC, XIANG YZ, BAI YF, et al, 2017b. Study on forest soil organic carbon storage in different successional stages of north Guizhou Karst [J]. *SW Chin J Agric Sci*, 30(11): 2548–2551. [张宝成, 向仰州, 白艳芬, 等, 2017b. 黔北喀斯特不同演替阶段森林土壤有机碳储量研究 [J]. *西南农业学报*, 30(11): 2548–2551.]
- ZHANG BC, ZHOU XL, ZHOU LY, et al, 2015. A global synthesis of below-ground carbon responses to biotic disturbance: a meta-analysis [J]. *Global Ecol Biogeogr*, 24(2): 126–138.
- ZHANG K, TAN S, CHENG X, et al, 2010. Change in soil organic carbon following the “Grain for Green” Project in China [J]. *Land Degradation Dev*, 21(1): 13–23.