

# 土地整治工程对土壤碳固持的影响

曹婷婷<sup>1,2,3</sup>, 孙婴婴<sup>1,2,3</sup>, 花东文<sup>1,2,3</sup>, 王欢元<sup>1,2,3</sup>

(1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安 710075;

2. 陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安 710075;

3. 国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安 710075)

**摘要:** 为了探求土地整治工程对土壤碳固持的效应, 分析在改善土地利用形式和条件的同时, 对生态环境效应的影响等。本研究开展了盐碱地、风沙地和黄土废弃宅基地等3类土地整治工程对土壤碳固持的作用和影响研究。结果表明, 盐碱地、风沙地和废弃宅基地等3类土地整治类型土壤剖面总碳含量均得到提高; 风沙地、废弃宅基地整治类型, 土壤有机碳含量的变化显著影响土壤剖面总碳含量; 而盐碱地整治类型, 无机碳含量的变化显著影响土壤剖面总碳含量。3类整治类型不同程度地促使0~100 cm土壤剖面碳密度的提升; 盐碱地、风沙地整治类型土壤剖面上的总碳含量和总碳密度变化趋势较一致; 废弃宅基地整治类型因土壤容重变化较大, 土壤剖面上的土壤总碳含量与总碳密度变化趋势不一致。由此可以得出, 土地整治对增加农田土壤碳库容量有着重要意义, 研究不同类型土地整治对土壤碳固持的影响有助于精确评估土壤碳库的总储量。

**关键词:** 土地整治; 总有机碳; 总碳; 碳固持

**中图分类号:** S157.3 **文献标志码:** A

## Effects of land remediation on soil carbon fixation

CAO Ting-ting<sup>1,2,3</sup>, SUN Ying-ying<sup>1,2,3</sup>, HUA Dong-wen<sup>1,2,3</sup>, WANG Huan-yuan<sup>1,2,3</sup>

(1. Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an, Shaanxi 710075, China; 2. Institute of Land Engineering & Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Co. Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China; 3. Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Xi'an, Shaanxi 710075, China)

**Abstract:** In order To explore the effect of land remediation engineering on soil carbon fixation and ecological environment, this paper analyzed the impacts on the eco-environment effects while improving the land use and patterns conditions. In This study, the effect and functions of three types of land remediation including saline soil, sandy land and loess abandoned house base on soil carbon fixation. The results showed that the total carbon content of the soil profile of these three types of land reconsolidation types was all improved. The changes of soil organic carbon content in sandy land and abandoned house base significantly affected the total carbon content of soil profile. The changes of inorganic carbon content in saline land significantly affected the total carbon content of soil profile. The three types of remediation made the carbon density of 0~100 cm soil profile improved in different degree. The change trend of total carbon content and total carbon density in saline soil and sandy land remediation was consistent. Because of the soil bulk density in waste house base, the soil carbon content in the soil profile was not consistent with the changes of the total carbon density. It can be concluded that land remediation is of great significance to increase the soil carbon storage capacity of farmland. It is helpful to study the effect of different types of land remediation on soil carbon fixation to evaluate the total stock of soil carbon pool accurately.

**Keywords:** land remediation; total organic carbon; total carbon; carbon fixation

土地整治是以优化土地资源结构, 开垦那些未利用和难利用土地为目标, 对土地资源及其利用方式再组织的一项工程, 在改善土地利用形式和条件

的同时, 对生态环境效应也带来了一定的正效应<sup>[1-2]</sup>。在土地整治的研究初期人们的主要工作集中在土地整理的内容及意义方面, 学者们只是对土

地整治前后土壤养分的变化<sup>[3-5]</sup>、新增耕地土壤养分演替及改善情况进行了富有成效地探讨<sup>[6-8]</sup>,但对整治前后土壤碳库的变化及土壤的碳固持能力和固碳潜力的研究报道较为鲜见。农田生态系统在陆地碳循环中具有重要地位,土地整治过程中“植入”碳和新增耕地对土壤有机碳固定能力的提升、减缓向大气释放 CO<sub>2</sub> 浓度等方面均具有重要意义<sup>[9]</sup>。有机碳作为土壤质量的重要指标,在改善土壤团聚体状况、增加孔隙度、提高田间持水量和饱和导水率<sup>[10]</sup>等方面是其他物质无法替代的。土壤有机碳作为全球碳循环的重要组成部分,对加强人类预测和降低气候变化所导致的灾难有重要作用<sup>[11]</sup>。研究不同土地整治类型条件下的新增耕地对土壤碳固持的影响无疑具有重要意义。有研究表明土地整治通过直接影响土壤的理化性质及相关生态过程,间接地对土壤有机碳含量产生影响,该影响可能为正向或负向效应<sup>[12-14]</sup>。土壤碳密度是土壤含碳量和土壤物理状态共同决定的碳库指标,在施行土地工程措施之后,不仅改变了作物、微生物以及动物生存的营养条件,也改变了它们的生存环境条件,尤其是物理状态,为此,开展不同土地类型整治工程条件下土壤碳密度的变化显得更为重要。本研究是以沙地、盐碱地、废弃宅基地等低效利用或未利用土地经综合整治前后的土壤为对象,以土壤碳含量和碳密度为指标,研究不同土地类型在整治前后土壤碳固持的演变规律,企图进一步明确土地整治对土壤固碳效应影响效果和土地整治对土壤质量的作用情况。

## 1 材料与方 法

### 1.1 土地整治工程概况

本研究主要以陕西榆林市榆阳区风沙地、定边

县盐碱地和渭南市澄城县空心村整治 3 个不同类型项目地为 例,分析不同土地整治类型对土壤碳固持能力的影响研究。

榆林市定边县盐碱地土地整治项目针对定边盐碱地的地势低洼、地下水位偏高、水渍和盐渍危害较重、土层板结、生态环境极度脆弱的问题,项目实施了明沟排水工程措施和地面覆沙措施,实现了降低地下水位、改善耕层土壤通透性和抑制地面蒸发、防止返盐等土壤改良工程,满足作物生长需求。项目于 2012 年竣工,新增耕地 667.4 hm<sup>2</sup>,土壤质地类别属于轻壤土,已经 4 年种植玉米、牧草和糜子等作物。

榆林市榆阳区的风沙土整治项目针对风沙土结构松散、保水保肥能力差、易漏水漏肥,难以满足植被生长的问题,采用了将砒砂岩中胶体物质移植到沙地中,按不同的比例与沙复配成土的技术手段,促使沙土团聚,改善了耕层物理性状,提高了保水保肥性,满足了作物生长的基本需求。项目于 2011 年竣工,新增耕地 319.6 hm<sup>2</sup>,土壤质地类别属于紧沙土类。距本次采样期已经历时 5 年,其间主要种植马铃薯和玉米,获得了很好的经济效益和生态效益。

澄城县的空心村废弃宅基地土地整治项目,针对渭北黄土干旱台塬区废弃的土窑洞、土坯房屋等生土建筑物占地,实施了以立地整理、拆除废弃建筑物、平整地面、土壤培肥等为主要技术手段的土地整治。项目实施后,提高了土地利用效率,使原有废弃宅基地具备了作物生长的基本条件。项目于 2009 年竣工,新增耕地面积 868.4 hm<sup>2</sup>,土壤质地类别属于中壤质。历时耕种小麦、玉米等粮食作物达 7 年时间。

各项目治理区的基本概况见表 1。

表 1 样地概况

Table 1 Sampling point overview

土地整治项目地点 Land remediation project location	整治类型 Remediation type	技术手段 Technical means	栽培作物 Cultivated crops	竣工时间 Completion time
榆林市定边县堆子梁镇 Duiziliang town of Dingbian County in Yulin City	盐碱地整治 Saline and alkali land remediation	明沟排水抑盐、地面铺沙压盐 Through the open channel drainage to inhibit salt, Lay the sand on the ground to suppress salt	糜子/玉米 Millet/corn	2012
榆林市榆阳区大纪汗村 Dajihan Village of Yuyang District in Yulin City	风沙地整治 Sandy land remediation	砒砂岩与沙复配成土 Sandstone and sand mixed with soil	马铃薯/玉米 Potato/corn	2011
渭南市澄城县安里乡 Anli Village of Chengcheng County in Weinan City	废弃宅基地整治 Abandoned homestead remediation	宅基地拆除土地整治与培肥 Homesteadremoval, land remediation and fertilization	小麦/玉米 Wheat/corn	2009

## 1.2 样品采集与分析

1.2.1 样品采集 根据研究对象及其研究任务,在风沙土、盐碱地、废弃宅基地土地整治 3 个地域内,于 2016 年 4 月在 3 个项目地域内,各选择整治了的和未曾整治的田块各 3 个块地,作为采样的空间重复,并在每个样地沿对角线随机选取 5 个点,用土钻按照 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80 cm 和 80~100 cm 逐层采集土壤剖面样品,将 5 个样点的相同土层样品混合成,再按照四分法预留土样约 1 kg,共采集土样 108 个。将采集的样品经过风干研磨,通过 2 mm 筛孔后贮存,供有机碳等分析测定。采用总有机碳分析仪(Multi N/C® 3100)进行了土壤总碳含量和总有机碳含量的测定,其差值为无机碳含量。为了研究各项目地土壤储量,同时用挖掘剖面的方法,用环刀法采集样品测定了相应土层的土壤容重。

1.2.2 土壤碳密度计算 土壤碳密度是指单位面积一定深度土层中土壤碳的绝对储量,它是评价和衡量不同处理土壤中碳固定量的重要指标。依据土壤碳类型,土壤碳密度也分为总碳密度、总有机碳密度和总无机碳密度等 3 个指标。以土壤有机碳密度为例,某一土层土壤有机碳的密度( $SOC_i, t \cdot hm^{-2}$ )由公式(1)计算:

$$SOC_i = C_i \times D_i \times E_i \times (1 - G_i) / 10 \quad (1)$$

若测定的土壤剖面范围由  $m$  个土层组成( $m = 6$ ),该剖面土壤总有机碳密度( $SOC_i, t \cdot hm^{-2}$ )计算用式(2):

$$SOC_i = \sum_1^m C_i \times D_i \times E_i \times (1 - G_i) / 10 \quad (2)$$

其中, $i$  为土层代号, $C_i$  为  $i$  层土壤有机碳含量( $g \cdot kg^{-1}$ ), $D_i$  为  $i$  层土壤容重( $g \cdot cm^{-3}$ ), $E_i$  为  $i$  土层的厚度(cm), $G_i$  为  $i$  层内直径  $> 2$  mm 石砾所占的体积百分比(%)。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地整治对盐碱地土壤剖面碳库的影响

榆林市定边县盐碱地区,在施行土地整治前后土壤剖面(0~100 cm)总碳、有机碳、无机碳的含量如图 1 所示,其中土壤剖面 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 各处土壤总碳含量分别增加了 84.72%、111.17%、199.32%、149.62%、210.45%、87.18%,经过差异性检验,0~100 cm 剖面范围内土壤总碳含量差异均明显;土壤剖面有机碳含量在各土层间虽然也有差异,尤其在表层 0~10 cm 显得明显,但经差异性检验分析均未达到显著差异标准;土壤剖面无机碳含量在 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 处分别显著增高 111.18%、156.88%、267.24%、186.68%、227.58%、110.51%,差异性检验与分析,其差异达到显著水平。

定边地区盐碱地土壤经过整治并耕种 4 年之后,土壤剖面各层土壤总碳含量显著提升,其主要源于土壤无机碳的提升,而不是源于有机碳的提升,这与地面覆有富含碳酸盐的细沙量,碳酸盐淋失有着

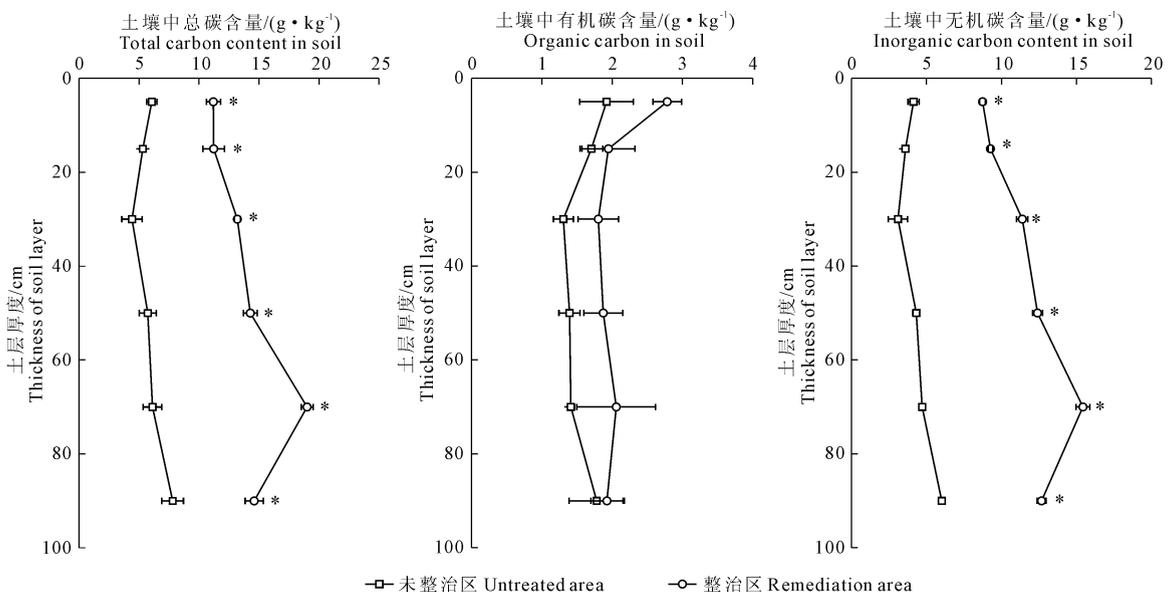


图 1 榆林定边盐碱地土壤剖面总碳含量、有机碳含量、无机碳含量变化

Fig. 1 Variation of total carbon content, organic carbon content and inorganic carbon content in soil profile of saline soil in Yulin

直接关系。剖面各层土壤有机碳含量整体上有增加趋势,只是暂未能达到显著差异,这与植被种植时间短,有机肥投入量少有直接关系。土地整治后土壤剖面各层无机碳含量均显著增高,且随土层深度的递增有明显的增高趋势,说明土地整理期间的表层覆细沙土措施,给土壤植入了大量无机碳,在4年耕种期内碳酸钙的深层淋溶过程也很明显。

榆林市定边县的盐碱地整治区和未整治区0~100 cm土壤剖面总碳密度、有机碳密度、无机碳密度如表2所示,从中可以看出,其土壤剖面上不同土层处土壤各类碳密度的变化规律与土壤碳含量变化特征相似,依然是整理措施明显增加了0~100 cm各层土壤的总碳密度和无机碳密度,但对各层土壤有机碳密度的影响不够明显,可是,0~100 cm范围内土壤的总有机碳密度差异性却已达到了显著性水准,体现了盐渍化土壤在施行土地整治措施以后,土壤有机碳确有积累趋势,只是在目前情况下其积累的程度暂时未能达到统计检验的标准而已。0~100

cm整个土层范围内土壤总碳密度增加了154.18%,有机碳密度增加了54.50%,无机碳密度增加了188.68%,其中无机碳密度增加最为显著,土壤无机碳是以碳酸钙和碳酸镁的形式进入土壤的,不仅增加了盐渍化土壤碳库的储量,更重要的是给盐渍化土壤输入了钙和镁等元素,有利于抑制盐害。盐渍化土壤无论是整治前还是整治后,土壤无机碳含量和碳密度均高于有机碳含量和碳密度的结果,再次证实了“土壤在盐碱化过程中能够导致土壤无机碳的累积”<sup>[16]</sup>结论,也验证了Xie等<sup>[17]</sup>对新疆内陆盐碱地的研究得出的,土壤可能通过一种非生物的无机碳吸收过程固定碳,而且其规模相当大;Wohlfahrt等<sup>[18]</sup>的研究也发现美国盐碱化地区也存在较大的C吸收过程,而生物量累积过程很难对这一过程进行解释,很可能存在无机碳固定过程<sup>[19-20]</sup>等结论。地面覆沙和明沟排盐等土地工程措施更加大了无机碳的累积作用,也在一定程度上增加了有机碳的累积。

表2 榆林定边盐碱地土壤剖面碳密度变化

Table 2 Variation of carbon density in soil profile of saline soil in Yulin

土层厚度 Thickness of soil layer/cm	总碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> ) Total carbon density		有机碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> ) Organic carbon density		无机碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> ) Inorganic carbon density	
	未整治区 Untreated area	整治区 Remediation area	未整治区 Untreated area	整治区 Remediation area	未整治区 Untreated area	整治区 Remediation area
0~10	8.29 ± 0.63b	15.84 ± 0.12a	2.62 ± 0.79a	3.46 ± 0.21a	5.66 ± 0.51b	12.37 ± 0.98a
10~20	7.98 ± 0.58b	17.16 ± 0.51a	2.56 ± 0.24a	2.98 ± 0.58a	5.42 ± 0.60b	14.19 ± 0.47a
20~40	13.16 ± 0.72b	42.08 ± 0.74a	3.90 ± 0.42a	5.75 ± 0.56a	9.26 ± 0.88b	36.33 ± 0.60a
40~60	17.39 ± 0.85b	47.09 ± 0.73a	4.23 ± 0.46a	6.18 ± 0.57a	13.16 ± 0.83b	40.92 ± 0.57a
60~80	19.75 ± 0.95b	61.72 ± 1.63a	4.56 ± 0.15b	11.62 ± 0.51a	15.19 ± 0.93b	50.10 ± 1.12a
80~100	25.83 ± 0.27b	50.96 ± 1.76a	5.89 ± 0.63a	6.72 ± 0.79a	19.94 ± 0.26b	44.24 ± 1.02a
剖面碳储量 Profile carbon reserves	92.40 ± 8.74b	234.86 ± 3.81a	23.76 ± 1.55b	36.71 ± 1.89a	68.64 ± 1.87b	198.15 ± 2.95a

注:不同小写字母表示整治区和未整治区的相同指标在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between remediation area and unreserved area about the same index at  $P < 0.05$  level. The same below.

## 2.2 土地整治对风沙地土壤碳库的影响

榆林市榆阳区风沙地整治前后0~100 cm剖面上土壤总碳、有机碳、无机碳含量如图2所示,其中土壤剖面0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm各处土壤总碳含量分别增加了101.86%、103.83%、115.56%、104.40%、85.89%、84.96%;土壤剖面有机碳含量在0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm处均分别增高了163.52%、146.78%、143.21%、101.89%、104.88%、102.96%;经过差异性检验0~100 cm范围内土地整理后,土壤总碳含量、总有机碳含量均达到显著性水准,而0

~100 cm土壤无机碳含量未有显著性差异,均变化在0~5 g·kg<sup>-1</sup>左右。

显然,风沙地经过土地整治并经仅5年时间的耕种后,其土壤总碳含量在0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm土层中有显著增高,其中源于土壤剖面有机碳的增高。施行土地整理时虽然添加了一定比例的砒砂岩,但砒砂岩中无机碳矿物质含量较少,不足以改变沙土无机碳库,添加砒砂岩主要是给沙地植入欠缺的无机粘土矿物胶体。土壤总碳和有机碳含量显著增加的事实充分证实了,沙地经过土地整治,引入砒砂岩中无机胶体与沙复

配,使之初步具备种植条件,作物根系分泌物和植物根系残留物逐年积累,必然会促使孕育土壤微生物数量的递增。沙地土壤有机碳的提升,就标志着沙地从固有的母质属性开始了微弱的成土和成壤过程。给沙地输入一定量的无机胶体,营造植被生长基础,就能换得土壤有机胶体的积累,逐步改善土壤胶体数量和品质,这就是沙地整理的科学依据和技术路线。

榆林市榆阳区风沙地在整治前后土壤剖面(0~100 cm)总碳密度、有机碳密度、无机碳密度如表 3 所示,其中 0~100 cm 各土层处总碳密度增高了 83.27%、96.30%、113.40%、104.89%、91.03%、83.71%;在 0~100 cm 各土层处土壤有机碳密度增高 139.25%、137.67%、140.79%、102.39%、110.54%、101.61%;0~100 cm 各处土壤无机碳密

度有增也有减,但没有达到显著水准。各层土壤有机碳密度的增幅明显高于总碳密度的增幅,是无机碳密度在部分土层中有所递减的缘故,尤其在 0~20 cm 耕作土层内,伴随着土壤有机碳的累积,存在无机碳的递减。0~100 cm 整个土层范围内土壤总碳密度、有机碳密度均成倍地递增,无机碳密度虽也有增加,但未能达到显著水准。在砒沙岩与沙复配的土层厚度只有 0~30 cm 的情况下,却换来了 0~100 cm 土壤有机碳含量和碳密度的显著增加,结果清楚地彰显着沙地整治的质量效益,也体现着作物根系在沙地延伸较深的基本特征。

### 2.3 土地整治对黄土旱地废弃宅基地土壤碳库的影响

位于黄土渭北旱原的澄城县废弃宅基地,在土地整治前后 0~100 cm 土壤剖面总碳、有机碳、无机

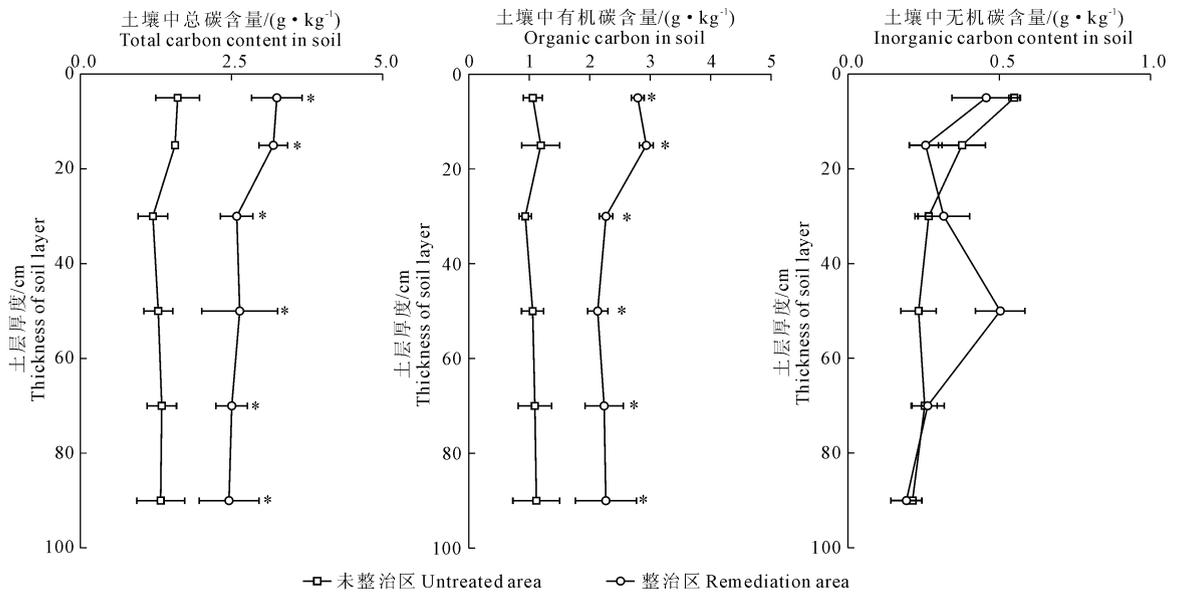


图 2 榆林榆阳区风沙地土壤剖面总碳含量、有机碳含量、无机碳含量变化

Fig. 2 Variation of total carbon content, organic carbon content and inorganic carbon content in soil profile of sandy soil in Yulin

表 3 榆林市榆阳区风沙地土壤剖面碳密度变化

Table 3 Variation of carbon density in soil profile of sandy land in Yuyang district

土层厚度 Thickness of soil layer/cm	总碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> ) Total carbon density		有机碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> ) Organic carbon density		无机碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> ) Inorganic carbon density	
	未整治区 Untreated area	整治区 Remediation area	未整治区 Untreated area	整治区 Remediation area	未整治区 Untreated area	整治区 Remediation area
0~10	2.62 ± 0.59b	4.80 ± 0.62a	1.72 ± 0.25b	4.12 ± 0.15a	0.89 ± 0.05a	0.67 ± 0.05a
10~20	2.52 ± 0.08b	4.96 ± 0.37a	1.92 ± 0.51b	4.56 ± 0.18a	0.61 ± 0.03a	0.40 ± 0.04a
20~40	3.85 ± 0.79b	8.21 ± 0.86a	2.99 ± 0.32b	7.21 ± 0.35a	0.86 ± 0.04a	1.01 ± 0.06a
40~60	4.19 ± 0.78b	8.59 ± 0.20a	3.44 ± 0.59b	6.95 ± 0.54a	0.76 ± 0.02a	1.64 ± 0.16a
60~80	4.21 ± 0.77b	8.04 ± 0.84a	3.42 ± 0.86b	7.19 ± 0.10a	0.79 ± 0.01a	0.85 ± 0.02a
80~100	4.27 ± 0.27b	7.84 ± 0.16a	3.59 ± 0.23b	7.23 ± 0.16a	0.68 ± 0.04a	0.62 ± 0.02a
剖面碳储量 Profile carbon reserves	21.66 ± 1.39b	42.44 ± 2.31a	17.07 ± 0.92b	37.26 ± 0.31a	4.59 ± 0.65a	5.18 ± 0.89a

碳含量如图3所示,其中仅在0~10、40~60、60~80、80~100 cm各层土壤总碳含量分别显著增高21.64%、11.56%、7.24%、11.20%,其它土层增幅不明显;土壤有机碳含量仅在0~10、10~20、40~60、60~80、80~100 cm处分别显著增高79.11%、

77.89%、39.20%、89.07%、99.71%,其它土层增幅不明显;土壤剖面无机碳含量仅在0~10 cm处显著增高12.05%、在10~20 cm处显著降低11.56%,其它土层变化不明显。土壤剖面总碳、有机碳、无机碳的变化不一致,体现了土地整理的填埋痕迹。

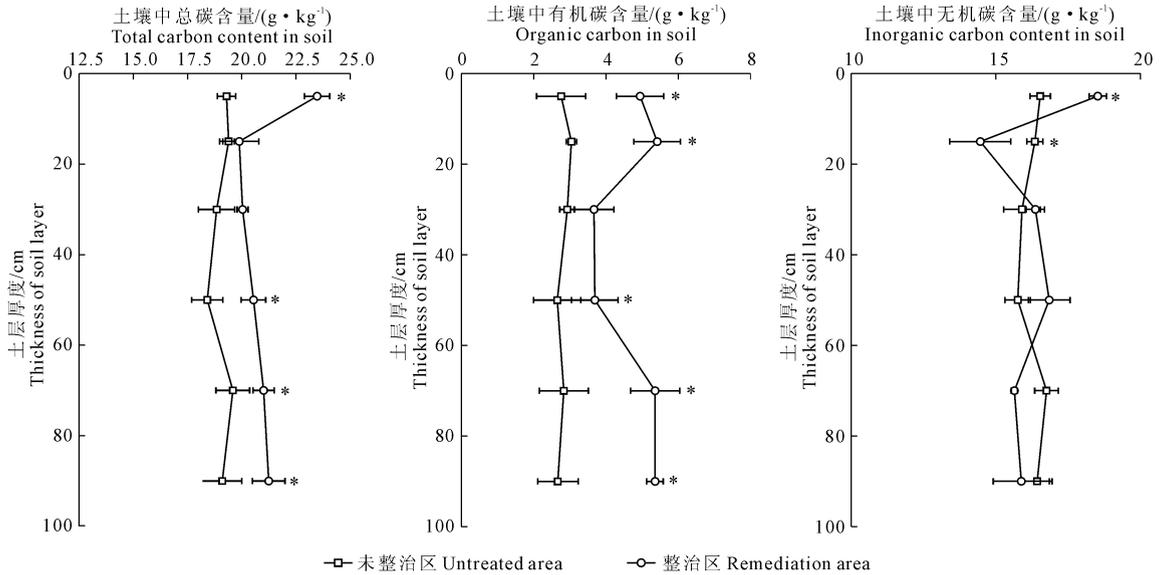


图3 渭南澄县废弃宅基地土壤剖面总碳含量、有机碳含量、机碳含量变化

Fig.3 Variation of total carbon content, organic carbon content and inorganic carbon content in soil profile of abandoned house soil in Weinan

废弃宅基地整治类型土壤在经过7年耕作后,其剖面土壤总碳含量仅在0~10 cm和40~100 cm处显著增高,其中0~10 cm处土壤总碳含量提升是有机碳和无机碳共同递增结果,而在10~20 cm处虽然有机碳含量有明显递增,但因为在早原地区该土层属于土壤湿度相对稳定土层,成为作物根系主要分布土层,作物根系呼吸积累,土壤空气中积累了高浓度的CO<sub>2</sub>,它促使难溶性无机碳酸转变为易溶性的、可迁移的碳酸盐,该层土壤无机碳酸盐随水分蒸发移动到表层使表层0~10 cm无机碳递增,也有可能随水分入渗向深层移动,结果该层无机碳含量明显递减。这些过程都是土壤正常的生物地球化学过程,尽管只有7年的耕种时间,说明经过土地整治以后,土壤在植被作用下已经启动了固有的生物地球化学演化与发育过程。在30 cm以下各土层处土壤总碳含量的变化完全依附于有机碳的含量,所呈现的无规律性变化特征是废弃旧村庄复垦期间土地整理工程的历史痕迹。

澄县废弃宅基地在整治前后0~100 cm土壤剖面上总碳密度、有机碳密度、无机碳密度如表4所示。从中可以看出,经过整治后土壤剖面总碳密度在不同土层深度处的变化方向不一致,尤其是在0

~20 cm分别有17.91%、24.27%的递减幅度;土壤有机碳密度在0~100 cm剖面均有所增加,增幅变化在30.78%~96.75%,无机碳密度在0~20 cm范围内递减,其20 cm以下土层绝大部分有所增加。0~100 cm整个土层总碳密度、无机碳密度分别递减2.14%和7.01%、土壤总有机碳的密度递增了48.98%。

同时结合图3可以看出,在土壤总碳含量、有机碳含量有所递增的情况下,有的土层碳密度却有所递减,显然是小幅度递增的有机碳,使得土壤容重极为显著地减小的结果所致。

### 3 结论

1) 定边盐碱地整治类型整治区和未整治区土壤剖面在0~100 cm各层总碳含量均显著增高,增幅在84.72%~210.45%之间,土壤剖面有机碳含量在各层均未有显著差异;土壤剖面无机碳含量在0~100 cm各层均显著增高,增幅在111.18%~267.24%之间。榆阳区风沙地整治类型整治区和未整治区土壤剖面0~100 cm各层总碳、有机碳含量均显著增加,增幅分别在84.96%~115.56%、102.96%~163.52%之间;无机碳含量在各层未有

表 4 渭南澄县废弃宅基地土壤剖面碳密度变化

Table 4 Variation of carbon density in soil profile of abandoned house in Cheng County

土层厚度 Thickness of soil layer/cm	总碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> ) Total carbon density		有机碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> ) Organic carbon density		无机碳密度/(t·hm <sup>-2</sup> ) Inorganic carbon density	
	未整治区 Untreated area	整治区 Remediation area	未整治区 Untreated area	整治区 Remediation area	未整治区 Untreated area	整治区 Remediation area
0~10	31.53±0.69a	25.88±2.66b	4.51±1.11b	6.05±0.78a	26.48±0.38a	21.87±1.07a
10~20	34.59±2.26a	26.20±1.45b	5.43±0.25a	6.70±0.76a	29.16±2.10a	21.79±0.70b
20~40	49.22±2.21b	54.67±0.68a	7.65±0.55b	10.01±1.50a	41.57±1.66a	43.74±2.78a
40~60	46.83±3.71b	51.96±1.44a	6.51±0.85b	9.34±1.63a	39.50±1.90a	42.62±1.81a
60~80	62.05±2.46a	54.26±1.27b	8.98±0.78b	13.85±1.76a	49.90±1.21a	40.67±2.66a
80~100	59.14±3.60b	64.45±2.29a	8.27±0.35b	16.26±0.68a	50.87±1.67a	51.22±1.76a
剖面碳储量 Profile carbon reserves	283.36±3.47a	277.43±4.03b	41.36±0.94b	61.62±1.91a	237.47±6.93a	221.92±1.52a

显著差异。澄县废弃宅基地整治类型整治区和未整治区总碳、有机碳含量在 0~100 cm 显著增加,增加量分别在 7.24%~21.64%、39.20%~94.21% 之间,土壤无机碳含量在 0~10 cm 处显著增高 12.05%、在 10~20 cm 显著降低 11.56%。

2) 定边盐碱地整治类型总碳密度在 20~100 cm 各层显著增高,增幅在 97.28%~219.76%,土壤剖面无机碳密度在 0~100 cm 各层分别显著增加,增幅在 121.87%~292.32% 之间。榆阳区风沙地整治类型土壤剖面总碳密度在 0~100 cm 各层显著增高,增幅在 83.27%~113.40% 之间;土壤剖面有机碳密度在 0~100 cm 各层显著增高,增幅在 101.61%~140.79% 之间;土壤剖面各层无机碳密度无显著变化。澄县废弃宅基地整治类型土壤剖面总碳密度在 0~10、10~20 cm 分别显著降低 17.91%、24.27%; 20~40、40~60 cm 处增高了 11.06%、10.96%; 在 60~80 cm 处降低了 12.54%, 80~100 cm 处显著增高 8.99%,土壤剖面有机碳密度在 0~10、20~100 cm 均显著增高,增幅在 30.78%~96.75% 之间。

3) 综合对比分析可知,风沙地、废弃宅基地整治类型,有机碳密度的变化显著影响土壤剖面的总碳密度。盐碱地整治类型,无机碳密度的变化显著影响土壤剖面总碳密度。其原因应是作物种植与工程措施实施两方面的综合效应。

#### 参考文献:

- [1] Post W M, Izaurralde R C, Mann L K, et al. Monitoring and verifying changes of organic carbon in soil[J]. *Climatic Change*, 2001, 51(1): 73-99.
- [2] Houghton R A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850—1990[J]. *Tellus*, 1999, 51(2): 299-313.
- [3] 王媛玲,赵庚星,李占军.土地整理项目后综合评价研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(4): 58-61.
- [4] 叶艳妹,吴次芳.土地整理对土壤性状的影响及其重建技术和工艺研究[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2002, 28(3): 267-271.
- [5] 马超群,刘铁铭,杨梅焕.高陵县土地整理中新增耕地土壤养分现状研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2010, 38(5): 175-180.
- [6] 孟会生,王静,郭建奎,等.黄土区土地整理压实土壤物理性状的初步研究[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(24): 549-552.
- [7] 张雯雯,李新举,陈丽丽,等.泰安丘陵地区土地整理项目区土壤质量时空变异研究[J]. *安全与环境学报*, 2007, 7(6): 61-64.
- [8] 潘根兴,赵其国.我国农田土壤碳库演变研究:全球变化和国家粮食安全[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(4): 384-393.
- [9] 丁雪丽,韩晓增,乔云发,等.农田土壤有机碳固存的主要影响因素及其稳定机制[J]. *土壤通报*, 2012, 43(3): 737-744.
- [10] 黄耀,孙文娟,张稳,等.中国陆地生态系统土壤有机碳变化研究进展[J]. *中国科学(生命科学)*, 2010, 40(7): 577-586.
- [11] 韩冰,王效科,逯非,等.中国农田土壤生态系统固碳现状和潜力[J]. *生态学报*, 2008, 28(2): 612-619.
- [12] 谭梦,黄贤金,钟大洋,等.土地整理对农田土壤碳含量的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(8): 324-329.
- [13] 罗明,张惠远.土地整理及其生态环境影响综述[J]. *资源科学*, 2002, 24(2): 60-63.
- [14] 祖元刚,李冉,王文杰,等.我国东北土壤有机碳、无机碳含量与土壤理化性质的相关性[J]. *生态学报*, 2011, 31(18): 5207-5216.
- [15] 王媛玲,赵庚星,王庆芳,等.丘陵区土地整理对土壤理化性状的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(9): 311-315.
- [16] 梁启鹏,余新晓,庞卓,等.不同林分土壤有机碳密度研究[J]. *生态环境学报*, 2010, (4): 889-893.
- [17] Xie J, Yan L, Zhai C, et al. CO<sub>2</sub> absorption by alkaline soils and its implication to the global carbon cycle[J]. *Environmental Geology*, 2008, 56(5): 953-961.
- [18] Wohlfahrt G, Fenstermaker L F, Arnone J A III. Large annual net ecosystem CO<sub>2</sub> uptake of a desert ecosystem[J]. *Global Chang Biology*, 2008, 14(7): 1475-1487.
- [19] Stone R. Have desert researchers discovered a hidden loop in the carbon cycle[J]. *Science*, 2008, 320(5882): 1409-1410.
- [20] 徐畅,高明,谢德体,等.土地整理年限对紫色丘陵区土壤质量的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(8): 242-248.