

# 陕北黄土区不同土地利用方式对深层土壤水和碳分布的影响

张阳阳 (陕西省土地工程建设集团有限责任公司延安分公司, 陕西延安 716000)

**摘要** 综述了陕北黄土区不同土地利用方式对深层土壤水和碳分布的影响, 以期科学利用土地、改善土壤水碳环境、提高土壤水碳利用率、保证区域土地可持续利用等研究提供参考。研究发现: 不同土地利用方式对陕北黄土区深层土壤水分布有不同程度的影响; 陕北黄土区深层土壤中均存在干层, 继续不合理利用土地将对深层土壤水环境造成严重的影响; 陕北黄土区深层土壤碳含量主要受土壤母质、古气候、大气变化等客观因素影响, 但其中 SIC、SOC 含量更容易受人为因素影响。

**关键词** 陕北黄土区; 土地利用方式; 深层土壤; 水碳分布

中图分类号 S152.7 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)20-0022-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.20.006



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Effects of Different Land Use Patterns on the Distribution of Deep Soil Water and Carbon in the Loess Area of Northern Shaanxi Province

ZHANG Yang-yang (Yan'an Branch of Shaanxi Land Engineering Construction Group, Yan'an, Shaanxi 716000)

**Abstract** The article reviewed the effects of different land use patterns on the distribution of soil water and carbon in the deep soil of the Loess Plateau in northern Shaanxi, in order to provide reference for scientific use of land, improvement of soil water and carbon environment, improvement of soil water and carbon utilization, and ensuring sustainable use of regional land. The study found that different land use patterns have different effects on the distribution of deep soil water in the loess area of northern Shaanxi. There are dry layers in the deep soil of the loess area in northern Shaanxi. Continued irrational use of land will have a serious impact on the deep soil water environment. The carbon content of deep soil in the loess area of northern Shaanxi is mainly affected by objective factors such as soil parent material, paleoclimate and atmospheric changes, but the SIC and SOC contents are more susceptible to human factors.

**Key words** Loess area in northern Shaanxi; Land use method; Deep soil; Water and carbon distribution

陕北黄土区面积占世界黄土总面积的 70%, 拥有独特的气候特征、土地利用方式、植被资源以及土壤特性。近几十年来, 随着陕北黄土区土地利用方式的变化, 不仅受人类剧烈活动作用影响的浅层土壤中水和碳的空间分布发生了巨大变化, 而且深层土壤水和碳的空间分布也开始发生显著变化。目前已有不少学者研究了陕北黄土区不同土地利用方式对表层土壤水碳含量及空间分布变化情, 但由于采样观察分析存在一定难度, 对深层土壤开展的相关研究还显不足, 大部分研究土壤取样深度小于 10 m, 且多为一次性抽样调查, 缺乏长期定位研究<sup>[1]</sup>。笔者综述了已开展的陕北黄土区不同土地利用方式下深层土壤水碳变化的主要研究成果, 以期学者继续深入开展相关研究提供一定的参考。

### 1 陕北黄土区深层水土资源现状

地球上约 1/3 陆地处于半干旱、干旱气候区, 陆地上有 40% 的耕地年降水量不足 500 mm, 我国陕北黄土区即属于此区域。受限于先天禀赋, 陕北黄土区水资源严重匮乏, 若农业生产不根据土地性质合理利用水资源, 将对该区域农业生产造成重大影响<sup>[2]</sup>。陕北黄土区是我国典型水资源不足地区, 气候干旱、降水稀少、地下水埋藏深、土壤层深厚, 降水是其土壤水分的主要来源, 深厚的土层为植被水分利用、土壤储水提供了良好的条件, 同时深厚土层对该地区水分在土壤中的循环又有着较大的影响<sup>[3]</sup>。陕北黄土区属于季风气候区, 年内降水分布不均匀, 降水年际变化大, 深厚黄土层对水分的调蓄作用, 可缓解因降水空间分布不均、降水不足造

成的旱情。土壤水作为陕北黄土区主要水资源, 雨季是其主要补给时期, 补给深度在 1.5~3.0 m, 而 3.0 m 以下深度基本不受降水影响<sup>[4]</sup>。Fang 等<sup>[5]</sup>研究了黄土丘陵区 0~10 m 黄土剖面水分含量受不同植被的影响, 并通过实验指出, 不同植被类型消耗土壤水深度存在差异。

有植被覆盖的土地因长期受植被蒸腾作用影响, 会出现深层土壤干燥化现象, 不仅对陆地水文循环造成影响, 同时也不利于植被自身生长<sup>[6]</sup>。因此, 学术界对深层土壤水循环的关注度也越来越高。在贫水年, 陕北黄土区 0~2 m 土层内水分大量消耗, 使土壤水分含量急剧下降, 表层土壤中水分经蒸腾、蒸发作用, 几乎能将全部降水消耗完。许多研究均显示, 黄土高原半湿润地区对于裸地而言, 0~2 m 土层水分在雨季可自行恢复, 消除水分亏损情况, 而全年内仍存在一定水分缺损; 半干旱地区, 除丰水年外, 即便雨季后裸地仍存在水分亏缺。

陕北黄土区土壤干燥化的主要表现形式为“土壤干层”。黄土高原地区绝大部分土壤处于半湿润、半干旱状态, 由于人工种植植被, 广泛存在土壤水分亏缺情况, 逐渐形成“土壤干层”, 是黄土高原生态修复需要解决的关键问题<sup>[7]</sup>。有学者指出, 陕北黄土区受极端降水影响, 部分人工林 0~4 m 土壤干燥化基本消失, 而土壤干层依然存在于 4 m 以下土层中, 说明人工植被对土壤干层消除作用受不同年限降水情况影响较大<sup>[8]</sup>。陕北黄土区部分年平均降水量 600 mm 的地区, 土层中存在的土壤干层消除较为困难, 成为该地区恢复生态系统的主要阻碍因子。土壤干燥化是过度消耗土壤水分的一种表现, 土壤干层阻碍了土壤上下层水分的交换, 阻碍了大气、植被、土壤间的水文循环, 严重破坏生态系统水平

**作者简介** 张阳阳(1990—), 女, 陕西西安人, 助理工程师, 硕士, 从事土地工程研究。

**收稿日期** 2019-06-29

衡。同时,土壤干燥层的存在,对土壤储存水分也造成严重影响,加重植被、土壤退化现象。大量调查显示,“小老头树”大面积存在于陕北黄土区,造成这一现象的主要原因就是土壤水分的亏损,与土壤干层存在显著相关性<sup>[9-10]</sup>。

## 2 深层土壤水分与土地利用方式关系

陕北黄土区深层土壤中水分分布、储存与土地利用方式存在必然联系。研究表明,人工经济林(如枣树)根系最深可蔓延至地下 13 m,大多分布于 0~5 m 土层,在 4 m 深度土壤中,相比于未矮化枣树区域,矮化枣树土壤含水量明显较低<sup>[11]</sup>。矮化枣树土壤 4.2~5.6 m 土层内含水量约 6.7%,形成中度干层,而未矮化枣树土层 5~8 m 土壤含水量仅 4.79%,出现干燥花现象,加重了土壤干层<sup>[12]</sup>。即便雨季到来,也只是对 0~2 m 土壤水分进行补充,而深层土壤无法得到补给水,形成长期干燥化土层,不利于植被可持续生长<sup>[13]</sup>。枣树矮化有助于缓解深层水分消耗,改善土壤水分储存情况。

荒草地与防风固沙樟子松林在 1 m、2 m 土层水分受重力势对沙土土壤水分作用以及降雨和地下水补给联合影响,深层土壤水分整体保持升高趋势,局部土层中含水量波动与土壤黏粒、粉粒变化存在一定相关性<sup>[9]</sup>。有文献指出,樟子松林土层 10~40 cm 内存在大量细根生物,提示其耗水层仅 0~1 m,在 0~2 m 土层中荒草地储水量约 64.8 mm,樟子松约 40.8 mm,提示樟子松耗水能力更高<sup>[14]</sup>。雨季可补充砂土土壤水分,但受限于沙土特性,且自身持水、保水性较差。降雨可对沙土深层土壤水分快速补充,但由于重力势作用,存在土壤水分渗漏情况。因此,在砂土区域种植适合的植被,不仅不会过度消耗土壤水分,反而有利于保持并合理利用土壤水分。

退化人工草地深层土壤含水量为 4.6%,退耕柠条林深层土壤含水量 5.1%,两者在 4~6 m 土层耗水并无较大差异,均会加重土壤干层形成<sup>[15]</sup>。有研究指出,雨季过后柠条林土壤水分补给深度最多 2 m,无法补给 2 m 以下土壤水分,深层土壤水分受退化人工草地、柠条林消耗,大面积形成水分连续性断裂,而降水量不足无法补给深层土壤水分,进一步加剧土壤干化,严重破坏大气、植被、土壤连续体平衡<sup>[9]</sup>。

田间持水率是反应土壤持水能力的重要指标之一,土壤无效水分与有效水分的分界点通过萎蔫湿度区别。一般而言,可通过实验测定田间萎蔫湿度、持水率,但由于深层土壤取样困难,无法通过实验获取。整体而言,陕北黄土区农田土壤持水率平均 13.44%,单位有效储水 134.44 mm,农田土壤含水率相对较高,但在不同土地利用方式影响下存在一定差异<sup>[16]</sup>。相比于其他农作物,玉米地蒸腾耗水量相对较高,但梯田玉米地、坝田玉米地深层土壤储水量相对较高,这与坡面径流、沟道水流补给存在相关,梯田有助于增加降水渗入量。糜子地深层土壤含水量低于其他农作物,是因为黄土丘陵地区多出现暴雨,坡度越大,土壤储水能力越小,坡面径流损失水分越多,而糜子地普遍坡度较大<sup>[17]</sup>。总之,农田土壤深层含水率,受到农作物、地形等多种因素影响。

## 3 深层土壤碳分布与土地利用方式的关系

### 3.1 土壤有机碳与土地利用方式关系

刘梦云等<sup>[18]</sup>对黄土台塬土壤酶活性、有机碳氧化稳定性进行研究,指出土壤碳库管理指数(CPMI)可作为评价土地利用方式对碳固定、土壤影响的重要因子。深层土壤剖面中有机碳(SOC)的分布受到土地管理措施、土壤理化性质、剖面中古土壤分布、土地利用方式等因素影响<sup>[19]</sup>。陕北黄土高原干旱、半干旱地区,深层土壤中SOC垂直分布特征受到土地利用方式影响,且不同土地利用方式下其分布存在巨大差异。陕北黄土区深层土壤中SOC主要来源取决于土地利用方式,人类活动可对土壤中SOC分布造成剧烈影响。另外,降雨后随着降水,可溶性有机碳渗入土壤以及早期土壤层形成阶段也会输入SOC。深层土壤中的SOC不仅包括下渗的可溶性SOC,也包括根系脱落物、氨基酸、有机酸等根系分泌物产生的SOC。此外,深层土壤中SOC含量也受植被根系下生物增加影响,生物地球化学过程也是影响深层土壤SOC含量的因素。SOC可通过植物根系生长被送至深层土壤,大量SOC的输入,可增加土壤微生物活性,促进降解土层中原有物,进而再影响深层土壤SOC含量。深层土壤中SOC水平受不同土地利用方式影响,且随着土层深度变化,土壤中SOC含量呈现下降趋势,表层SOC含量最高,这可能与表层覆盖枯枝落叶,降解后为土壤提供了SOC。防风固沙区、退耕还林区、人工经济林区深层土壤中SOC含量水平与土壤质地存在紧密联系。对此,有文献显示,土壤中SOC含量水平随着土壤粉粒、黏粒变化而变化,土壤黏粒越多,极大地提高了土壤水分有效性,同时,黏粒胶结、枯枝落叶分解SOC、植被根系生长分泌物等均会补充土壤SOC<sup>[20]</sup>。

陕北黄土区土壤含量与林分存在关系,在土壤系统、各植被类型综合作用下,土壤SOC含量存在较大差异,且各林分土壤随深度增加,有机碳密度、含量均不断下降。从植被类型角度分析,阔叶落叶林土壤SOC含量约 11.42 kg/m<sup>2</sup>,而针叶落叶林土壤SOC含量约 10.07 kg/m<sup>2</sup><sup>[21]</sup>。而从土壤类型分析,黄绵土土壤SOC含量约 4.50 kg/m<sup>2</sup>,黑垆土土壤SOC含量约 7.75 kg/m<sup>2</sup><sup>[22-23]</sup>。因此,不同土层、不同土壤类型、不同林分、不同的人类干预活动等都是影响深层土壤SOC含量的因素。

草地土壤SOC主要源于根系分泌、微生物残体、动物、植物、人类活动等,各因素间存在相互效应。陕北黄土区草地生态系统在中等放牧、正常气候条件下,0~20 cm 土层土壤SOC平均密度约 65.78 t/hm<sup>2</sup>,相对高于水稻土地SOC密度,提示草地生态系统中土壤SOC经历过一个长期、缓慢的积累过程<sup>[23]</sup>。

荒漠土与潮土是陕北黄土区主要耕作土,在长期的耕作活动中,土壤SOC含量、土壤颗粒组成等均被改变。农耕地多在坡下、沟底分布,土地疏于管理,连续耕作,土壤结构较为松散,深层土SOC含量相对较低。而农耕地又受人为因素影响,如施肥、耕作等,变异系数较高,一般而言表层土壤SOC含量也较低。

**3.2 土壤无机碳与土地利用方式关系** 气候、土壤母质、土壤理化性质等是影响土壤中无机碳(SIC)含量水平的主要因素。有研究指出,在不同土地利用方式下,退耕还林区域与人工经济林区深层土壤 SIC 水平无差异,而与防风固沙林区间存在明显差异<sup>[24]</sup>。大气降水、土壤剖面类型与土壤 SIC 含量也存在联系,且土壤中 SIC 分布受到碳酸盐累积、沉淀影响,导致黄土母质发育土壤中 SIC 水平较高。在半干旱、干旱地区,土壤 SIC 分布还受植被根系分泌物、土壤微生物活动等影响较大。

人工经济林区深层土壤中 SIC 平均含量较高,并不受矮化、未矮化枣树影响,主要是土壤母质中碳酸盐含量丰富,而降雨后空气中 CO<sub>2</sub> 溶于水,促使碳酸盐快速溶解,增加了土壤 SIC 含量,受植被生长、降水作用影响,0~0.4 m 表层土壤中碳酸盐淋溶,渗入下层土壤中,使其 SIC 含量降低,对于 4 m 左右的深层土壤 SIC,未矮化枣树林区存在较大波动,可能与土壤母质、古气候条件相关<sup>[25]</sup>。退耕还林区深层土壤 SIC 变化剧烈,也与古气候变化相关。在气候湿润季节,土壤中碳酸盐出现累积、淋溶现象,形成“料浆层”,使局部区域土壤 SIC 水平升高。在防风固沙区域樟子松林,2 m 以下土壤 SIC 含量是 2 m 以上土壤的 9.75 倍,可能与樟子松林土壤粉粒增加有关<sup>[11]</sup>。荒草地土壤层中 SIC 含量波动较小,因荒草地土壤以沙土为主,对于 SIC 保存效果较差,说明土壤中 SIC 含量还受土壤土质影响。

土地管理措施与耕作方式可能改变土壤微气候及生物、化学、物理性质等,也影响土壤 SIC 储存与含量。有学者研究了 4 种不同施肥条件下土壤 SIC 分布的响应,显示土壤施肥可增加 Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 水平,增加土壤 SIC 含量,但是另一方面,土壤施肥可降低土壤 SIC 储量,同时可造成土壤酸化,导致土壤中 SIC 流失速度、淋溶速度加快<sup>[26]</sup>。此外,农业灌溉可使土壤中 SIC 含量增加,主要是灌溉有利于促进植物有机质降解、呼吸作用,提高 CO<sub>2</sub> 分压,形成 SIC<sup>[27]</sup>。

#### 4 结语

该研究检索了相关文献,研究了陕北地区林地、草地、耕地等不同利用方式对深层土壤水、SOC、SIC 分布的影响,发现不同土地利用方式对陕北黄土区干旱、半干旱地区深层水分布有着不同程度的影响。林地、耕地、草地深层土壤中均存在干层,继续不合理利用土地将对深层土壤水环境造成严重的影响。深层土壤碳含量,虽然主要受土壤母质、古气候、大气变化等客观因素影响,但 SIC、SOC 受人为因素影响较大。深层土壤水碳分布仍需长期监测,并应采取合理措施,依据立地条件,科学利用土地,改善土壤水碳环境,提高陕北黄土区土壤水碳利用率,保证区域土地的可持续利用。

#### 参考文献

[1] 贺美娜. 黄土丘陵沟壑区深层土壤水分动态特征及影响因子分析[D].

- 西安:长安大学,2018.
- [2] 张帅,许明祥,张亚锋,等.黄土丘陵区土地利用变化对深层土壤有机碳储量的影响[J].环境科学学报,2014,34(12):3094-3101.
- [3] WANG Y Q, HU W, ZHU Y J, et al. Vertical distribution and temporal stability of soil water in 21-m profiles under different land uses on the Loess Plateau in China[J]. Journal of hydrology, 2015, 527:543-554.
- [4] 李民义,张建军,王春香,等.晋西黄土区不同土地利用方式对土壤物理性质的影响[J].水土保持学报,2013,27(3):125-130,137.
- [5] FANG X N, ZHAO W W, WANG L X, et al. Variations of deep soil moisture under different vegetation types and influencing factors in a watershed of the Loess Plateau, China[J]. Hydrology and earth system sciences, 2016, 20(8):3309-3323.
- [6] 张娇阳,梁楚涛,董昌平,等.黄土丘陵区不同土地利用下土壤碳组分及碳库管理指数特征[J].水土保持研究,2016,23(4):66-69,76.
- [7] LI C Z, ZHAO L H, SUN P S, et al. Deep soil C, N, and P stocks and stoichiometry in response to land use patterns in the loess hilly region of China[J]. PLoS One, 2016, 11(7):1-15.
- [8] 程立平. 黄土塬区深剖面土壤水分特征及其补给地下水过程研究[D]. 咸阳:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2013.
- [9] 兰志龙,潘小莲,赵英,等.黄土丘陵区不同土地利用模式对深层土壤含水量的影响[J].应用生态学报,2017,28(3):847-855.
- [10] 赵明月,赵文武,钟莉娜.土地利用和环境因子对表层土壤有机碳影响的尺度效应:以陕北黄土丘陵沟壑区为例[J].生态学报,2014,34(5):1105-1113.
- [11] 兰志龙. 陕北黄土区不同土地利用方式对深层土壤水和碳分布的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [12] 蒋跃利,赵彤,闫浩,等.黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮磷的影响[J].水土保持通报,2013,33(6):62-68.
- [13] 倪盼盼. 黄土塬区降水变化对麦田土壤水分及水分利用效率的影响[D].咸阳:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2016.
- [14] 樊文会. 毛乌素沙地三典型造林树种蒸腾耗水特性研究[D].北京:北京林业大学,2012.
- [15] 余冬立. 黄土高原水蚀风蚀交错带小流域植被恢复的水土环境效应研究[D].咸阳:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2009.
- [16] 杨开宝. 黄土丘陵区不同农业技术措施的土壤水分效应研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [17] 路海东. 坡地粮草带状间作模式的水土保持效果与作物的生理生态效应[D].杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [18] 刘梦云,付东磊,常庆瑞,等.黄土台塬不同土地利用方式对土壤有机碳氧化稳定性及酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(12):2415-2424.
- [19] 白一茹. 黄土丘陵区枣林土壤性质时空特征研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [20] FAN J, WANG Q J, JONES S B, et al. Soil water depletion and recharge under different land cover in China's Loess Plateau[J]. Ecohydrology, 2016, 9(3):396-406.
- [21] 赵溪竹. 小兴安岭主要森林群落类型土壤有机碳库及其周转[D].哈尔滨:东北林业大学,2010.
- [22] 高海东. 黄土高原丘陵沟壑区沟道治理工程的生态水文效应研究[D].咸阳:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2013.
- [23] 赵建民. 基于生态系统服务理论的水土保持综合效益评价研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [24] 程立平,刘文兆,李志.黄土塬区不同土地利用方式下深层土壤水分变化特征[J].生态学报,2014,34(8):1975-1983.
- [25] 张宏,刘建军.黄土沟壑区不同土地利用方式下土壤养分及其与土壤颗粒组成关系[J].中南林业科技大学学报,2016,36(11):80-85.
- [26] 张永春. 长期不同施肥对土壤酸化作用的影响研究[D].南京:南京农业大学,2012.
- [27] 李雄,张旭博,孙楠,等.不同土地利用方式对土壤有机无机碳比例的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(6):1508-1519.