

# 不同容重梯度下不同改良材料对土壤结构特性的影响

张静<sup>1,2,3,4\*</sup>, 孙增慧<sup>1,2,3,4</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

<sup>3</sup>自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

<sup>4</sup>陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

收稿日期: 2023年9月16日; 录用日期: 2023年10月17日; 发布日期: 2023年10月24日

## 摘要

针对关中地区土壤过于紧实、犁底层增厚上移、土壤团聚体数量减少、结构稳定性变差等生态环境问题, 采用野外实地监测、室内模拟实验相结合的方法, 分析1.0、1.1、1.2、1.3、1.4、1.5六个不同容重水平下草木灰、有机肥、生物炭添加对土壤结构改良情况。结果表明: 随容重逐渐增加, 土壤紧实度、压实密度呈增加趋势, 土壤孔隙度呈降低趋势, 土壤含水量在土壤容重为1.1时变为下降趋势, 到容重1.4时转为上升趋势, 土壤容重为1.2和1.3时, 作物株高较高; 在容重不同梯度下, 草木灰对作物株高影响最大, 生物炭对土壤压实密度、含水量影响最大, 有机肥对土壤孔隙度影响最大。在关中地区土壤紧实化治理中, 若该区水分供应充足则添加草木灰的土壤环境对植物生长发育更有利, 若该区水分为主要限制因子, 则添加生物炭是土壤结构改良的最佳措施。

## 关键词

改良材料, 容重, 土壤结构

# Effects of Different Improved Materials on Soil Structural Characteristics under Different Unit Weight Gradients

Jing Zhang<sup>1,2,3,4\*</sup>, Zenghui Sun<sup>1,2,3,4</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

\*通讯作者。

<sup>3</sup>Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

<sup>4</sup>Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Received: Sep. 16<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 17<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 24<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

**In view of the ecological and environmental problems, such as excessive soil compactness, thickening of the bottom layer of the plough and upward shift, reduction of the number of soil aggregates, and deterioration of structural stability in Guanzhong area, combined with field monitoring and indoor simulation experiments, the improvement of soil structure by the addition of plant ash, organic fertilizer and biochar at different bulk density levels of 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 and 1.5 was analyzed. With the gradual increase of bulk density, soil compactness and compaction density show an increasing trend, and soil porosity shows a decreasing trend. The soil water content becomes a downward trend when the soil bulk density is 1.1, and an upward trend when the soil bulk density is 1.4. When the soil bulk density is 1.2 and 1.3, the plant height of crops is higher. Under different gradients of unit weight, plant ash has the greatest impact on plant height of crops, biochar has the greatest impact on soil compaction density and water content, and organic fertilizer has the greatest impact on soil porosity. In the process of soil compaction in Guanzhong area, if the water supply is sufficient in this area, the soil environment with plant ash is more favorable for plant growth and development. If water is the main limiting factor, adding biochar is the best measure to improve soil structure.**

## Keywords

Improved Materials, Unit Weight, Soil Structure

Copyright © 2023 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

关中地区是位于陕西中部秦岭以北、黄土高原南缘的渭河冲积平原, 雨热同季, 气候适宜, 已经成为陕西乃至全国重要的旱作农业区和人口聚集地[1] [2]。然而, 随着关中地区土地高强度、集约化及化学物质的大量使用, 土壤物理退化问题越来越突出, 已成为制约粮食安全生产的主要瓶颈[3] [4] [5]。关中地区土壤物理退化导致 10 cm 以下农田土壤紧实化问题严重, 土壤团聚体数量减少, 结构稳定性变差, 土壤侵蚀及物理退化问题加剧等一系列生态环境问题[6] [7] [8]。土壤紧实性结构特征作为影响农田土壤质量和作物生长的关键障碍因子之一, 已经成为影响粮食安全生产的重要科学问题, 亟需改善土壤紧实化等不良结构, 提高土壤质量。

土壤结构是具有生命力的实体, 在其中不断进行着物质和能量的交换过程, 其自身也在运动和变化[9] [10]。良好的土壤结构对土壤养分含量、养分转化、水分固持、植物微生物的生长发育起到积极作用, 对于提高作物产量尤为重要。土壤微形态结构作为土壤结构组成的基本单元, 其动态变化可以反映耕作、施肥、种植等人为活动在改变土壤结构中的作用[11] [12]。土壤容重和土壤孔隙度作为衡量土壤疏松度和土壤结构的重要指标, 其直接影响土壤的通气性和蓄水保肥能力。紧实度偏大的土壤, 水分入渗困难,

肥料利用率降低, 影响植物根系生长。由于长期施用单一化肥加重土壤板结情况, 致使土壤微生物多样性降低, 土壤环境变差。为探明土壤结构内部机理, 改善土壤结构, 学者对生物炭、有机肥、草木灰等不同改良材料进行了大量研究。罗松平[13]、齐瑞鹏[14]研究生物炭添加对土壤养分状况的影响, 明确最优生物炭添加量, 李元元[15]关注生物炭添加对驱动坡面土壤侵蚀特征变化的影响, 明确其机制, 张宁[16]和张梦雪[17]研究生物炭、膨润土、有机肥对风沙土的生态化学计量特征、土壤微生物特性的影响。目前, 学者的研究普遍集中于单一改良材料或者不同改良材料对土壤养分及微生物的影响, 对多种改良材料在不同容重水平下对土壤结构的研究仍较缺乏。评判土壤结构的指标多为常规的土壤理化指标, 对土壤微观结构了解不透彻, 对土壤结构发生机理不明晰。我们土壤结构指标, 以不同容重水平下不同改良材料添加的土壤为研究对象, 对比研究不同容重下不同改良材料添加对土壤结构特性的影响, 评估不同改良材料添加后作物生长特性与结构特征各指标之间的相关关系, 以期筛选出适宜的改良材料和容重, 为土壤结构特性的调优提供科学参考。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 实验设计

在秦岭野外监测中心站温室布设盆栽实验。选择关中农田典型壤土, 容重设置  $1.0 \text{ g/cm}^3$ 、 $1.1 \text{ g/cm}^3$ 、 $1.2 \text{ g/cm}^3$ 、 $1.3 \text{ g/cm}^3$ 、 $1.4 \text{ g/cm}^3$  和  $1.5 \text{ g/cm}^3$  6 个水平, 使用中型塑料盆, 盆栽土壤均过  $5 \text{ mm}$  筛, 每盆装土约  $10 \text{ kg}$ , 试验施肥水平保持一致, 各处理重复 3 次, 选取草木灰、生物有机肥、生物炭 3 种有机物料作为土壤紧实化障碍改良剂, 共计 18 个试验处理。种植作物为小白菜或者油菜, 有机物料的施加量均为等碳量( $3200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )施入土壤。

### 2.2. 样品采集与测定

在作物生长期用卷尺测定株高; 在每个盆栽内用土壤紧实度仪(SC900)测定土壤紧实度, 用土壤湿度计测定土壤水分; 将同一盆栽不同取样点的相同土层土壤样品混匀, 作为一个土壤样品, 在室内风干、研磨、过筛后, 用于土壤质地测定。另外, 在每个盆栽内各取 3 个点, 用镶有  $100 \text{ cm}^3$  环刀的取原状土, 测定土壤容重和土壤孔隙度。

土壤的压实密度( $PD$ )采用式(1)进行计算

$$PD = BD + 0.009C \quad (1)$$

式(1)中  $BD$  是土壤容重,  $C$  是粘粒含量,  $PD$  为土壤压实密度。

### 2.3. 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 22.0 软件对所有试验数据进行统计、方差分析, 采用 LSD 法进行不同处理间多重比较( $P < 0.05$ )。

## 3. 研究结果

### 改良剂和容重对土壤质量提升的影响

由图 1 可知, 土壤容重为 1.2 和 1.3 时, 作物株高较高, 1.1 和 1.4 时株高次之, 1.0 和 1.5 时株高显著降低, 且不同改良材料之间均表现为草木灰对株高的影响最大, 生物炭对促进作物生长的影响最小。

除生物炭的紧实度在土壤容重从 1.4 到 1.5 呈现降低趋势外, 同一类改良剂随着土壤容重的增加紧实度也在增加。容重为 1.0、1.1、1.2、1.3 时草木灰的紧实度最大, 生物炭的紧实度最小, 土壤容重为 1.4 时, 草木灰和生物炭的紧实度较大, 有机肥的紧实度最小, 容重为 1.5 时, 草木灰紧实度最大, 有机肥

的紧实度最小。

随着土壤容重逐渐增加, 不同改良剂的土壤含水量先上升, 在容重 1.1 时变为下降趋势, 到容重 1.4 时转为上升趋势, 且相同容重条件下不同改良剂之间表现为生物炭的含水量最大, 草木灰的含水量最小, 这证明了土壤容重在增加到一定程度后, 土壤更紧实, 团聚体和孔隙度更低, 透水透气性变差, 由于水分不畅通, 表现为土壤含水量的上升, 但易产生渍涝危害, 不利于作物的生长。

随着土壤容重逐渐增加, 不同改良剂的土壤压实密度也呈逐步递增趋势, 且不同改良剂之间压实密度无明显差异, 这可能由于土壤机械组成较为一致, 黏粒含量差别不大。

随着土壤容重逐渐增加, 不同改良剂的土壤孔隙度呈逐渐降低趋势, 在土壤容重为 1.0 和 1.1 时, 生物炭的孔隙度最大, 草木灰的孔隙度最小, 这可能由于生物炭对土壤紧实结构有较好的优化功能, 较其他改良材料更能增加土壤孔隙度。

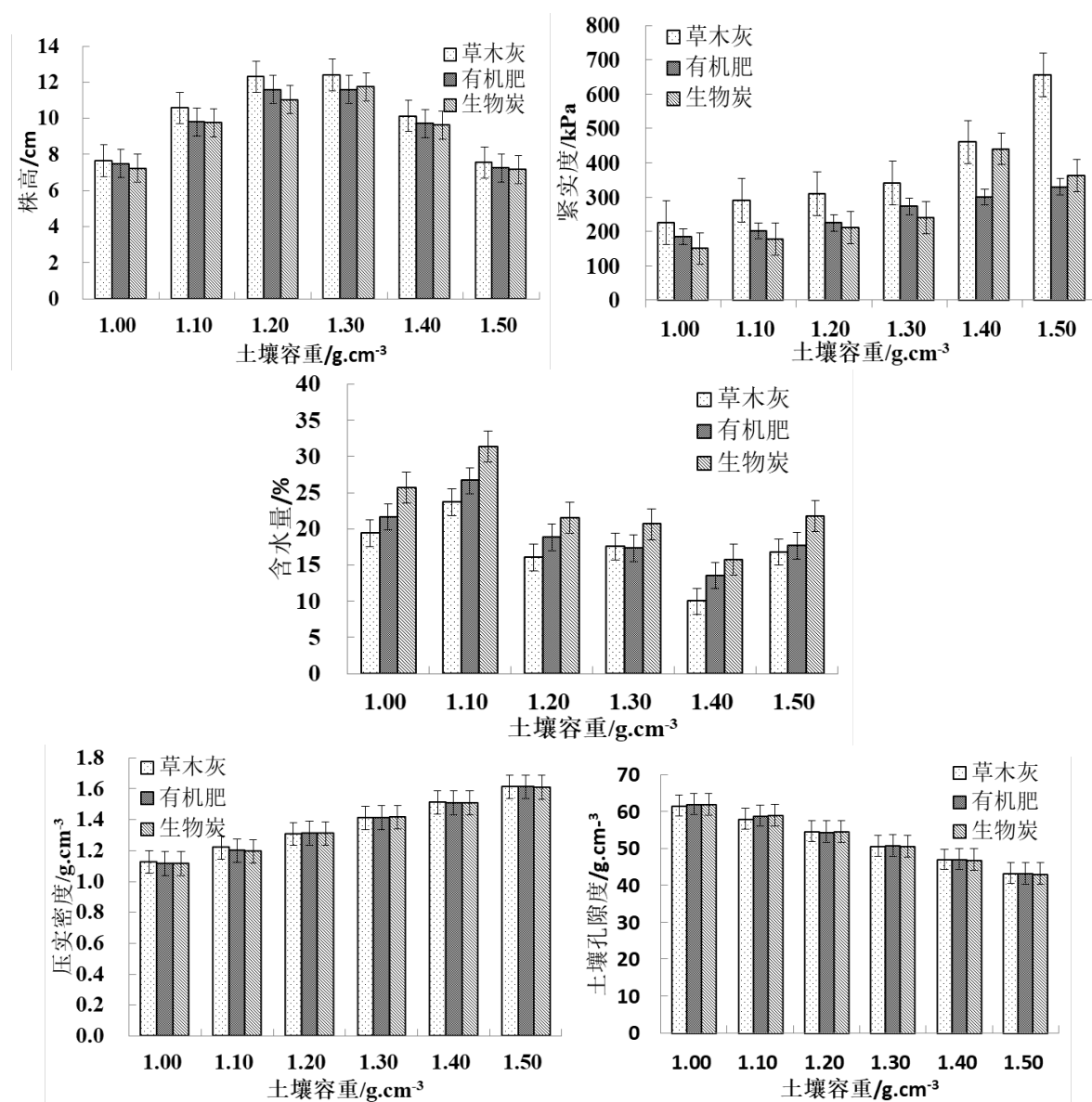


Figure 1. Effect of different modifiers and unit weight on various indexes

图 1. 不同改良剂和容重对各指标的影响

## 4. 结论

1) 从作物的生长特性来看, 不同土壤容重水平梯度下, 添加草木灰作为改良材料的土壤更适宜作物生长, 对作物的高度、产量等均有较明显的影响;

2) 从土壤含水量来看, 不同改良剂都表现出土壤水分随着土壤容重的增加出现先增加后减小的趋势, 但生物炭疏松多孔结构对固持水分起到积极作用, 固持水分能力最强, 有机肥次之, 草木灰对土壤含水量的影响最弱。由此可见, 土壤作物若能够适应干旱环境, 不是高耗水作物, 草木灰的土壤环境更适应其生长;

3) 若作物种植区域种植其他高耗水作物时, 且土壤结构较为紧实, 建议使用生物炭作为添加剂, 在提升土壤肥力促进作物生长的前提下, 充分满足对水分的高需求, 确保既保证数量又保证质量。

## 基金项目

西安市科技计划项目(22NYGG0001); 陕西省土地工程建设集团内部科研项目(DJNY-YB-2023-25)。

## 参考文献

- [1] 张育林. 关中地区农田土壤疲劳状况研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2010.
- [2] 祝飞华, 王益权, 胡卫光, 张润霞, 冉艳玲. 关中农田土壤剖面的主要物理性状研究[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(4): 145-150.
- [3] Hallett, P.D., Loades, K.W. and Mmelbein, J.K. (2013) Soil Physical Degradation: Threats and Opportunities to Food Security. In: Hester, R.E., Harrison, R.M., Harrison, R. and Hester, R., Eds., *Soils and Food Security*, The Royal Society of Chemistry, London, 198-226. <https://doi.org/10.1039/9781849735438-00198>
- [4] 魏彬萌, 王益权. 渭北果园土壤物理退化特征及其机理研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 694-701.
- [5] 王加旭. 关中农田土壤物理质量退化特征[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2016.
- [6] Nunes, M.R., Denardin, J.E., Pauletto, E.A., Faganello, A. and Spinelli Pinto, L.F. (2015) Effect of Soil Chiseling on Soil Structure and Root Growth for a Clayey Soil under No-Tillage. *Geoderma*, **259-260**, 149-155. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.003>
- [7] 石磊, 王娟铃, 许明祥, 刘京. 陕西省农田土壤紧实度空间变异及其影响因素[J]. 西北农业学报, 2016, 25(5): 770-778.
- [8] 孙蕾, 王益权, 张育林, 李建波, 胡海燕. 种植果树对土壤物理性状的双重效应[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 19-23.
- [9] 孙增慧, 韩霁昌, 刘哲, 吕贻忠. 种植方式对华北平原典型农田土壤微形态特征的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(5): 282-289.
- [10] Costantini, E., Pellegrini, S., Vignozzi, N. and Barbetti, R. (2006) Micromorphological Characterization and Monitoring of Internal Drainage in Soils of Vineyards and Olive Groves in Central Italy. *Geoderma*, **131**, 388-403. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.03.029>
- [11] Zhou, H., Li, B.G. and Lu, Y.Z. (2009) Micromorphological Analysis of Soil Structure under No Tillage Management in the Black Soil Zone of Northeast China. *Journal of Mountain Science*, **6**, 173-180. <https://doi.org/10.1007/s11629-009-1034-2>
- [12] Pang, J.L. and Huang, C.C. (2006) Mid-Holocene Soil Formation and the Impact of Dust Input in the Middle Reaches of the Yellow River, Northern China. *Soil Science*, **171**, 552-563. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000228040.65023.tb>
- [13] 罗松平. 喀斯特黄壤养分化学计量和微生物群落对生物炭添加的响应[D]: [博士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2021.
- [14] 齐瑞鹏. 壤土添加生物炭对小麦产量的影响及其机理研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2015.
- [15] 李元元. 生物炭添加对黄绵土坡面土壤侵蚀的影响及机制研究[D]: [博士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021.
- [16] 张宁. 生物炭、膨润土、有机肥改良风沙土中土壤生态化学计量特征研究[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2021.
- [17] 张梦雪. 生物炭、膨润土、有机肥改良风沙土对土壤微生物量的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2020.