

ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会  
科学出版社

主办  
出版

2015

第52卷 第4期

Vol.52 No.4



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

## 目 次

### 综述与评论

亚硝酸盐型甲烷厌氧氧化微生物生态学研究进展····· 沈李东 (713)

### 土壤科学与现代农业

近30年江西省耕地土壤全氮含量时空变化特征····· 赵小敏 邵 华 石庆华等 (723)

北京市土壤重金属潜在风险预警管理研究····· 蒋红群 王彬武 刘晓娜等 (731)

秸秆深还对土壤团聚体中胡敏酸结构特征的影响····· 朱 姝 窦 森 陈丽珍 (747)

生物炭添加对酸化土壤中小白菜氮素利用的影响····· 俞映惊 薛利红 杨林章等 (759)

水肥对高产无性系油茶果实产量的影响····· 张文元 郭晓敏 涂淑萍等 (768)

### 研究论文

基于VRML的土壤电导率三维空间变异性虚拟现实建模研究····· 李洪义 顾呈剑 但承龙等 (776)

不同样点数量对土壤有机质空间变异表达的影响····· 海 南 赵永存 田 康等 (783)

基于稳定同位素的土壤水分运动特征····· 靳宇蓉 鲁克新 李 鹏等 (792)

中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究····· 吴良泉 武 良 崔振岭等 (802)

不同施肥方式下滩涂围垦农田土壤有机碳及团聚体有机碳的分布····· 候晓静 杨劲松 王相平等 (818)

长期施肥对浙江稻田土壤团聚体及其有机碳分布的影响····· 毛霞丽 陆扣萍 何丽芝等 (828)

不同时期施用生物炭对稻田N<sub>2</sub>O和CH<sub>4</sub>排放的影响····· 李 露 周自强 潘晓健等 (839)

秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响····· 刘 园 M. Jamal Khan 靳海洋等 (849)

单一电解质体系下恒电荷土壤胶体扩散双电层中滑动层厚度的计算····· 丁武泉 朱启红 王 磊等 (859)

化工厂遗留地铬污染土壤化学淋洗修复研究····· 李世业 成杰民 (869)

离子型稀土矿尾砂地植被恢复障碍因子研究····· 刘文深 刘 畅 王志威等 (879)

辽东与山东半岛土壤中有机氯农药残留特征研究····· 朱英月 刘全永 李 贺等 (888)

长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性····· 高嵩涓 曹卫东 白金顺等 (902)

豆科间作对番茄产量、土壤养分及酶活性的影响····· 代会会 胡雪峰 曹明阳等 (911)

### 研究简报

蚕豆根系分泌物中氨基酸含量与枯萎病的关系····· 董 艳 董 坤 汤 利等 (919)

小麦与蚕豆间作对根际真菌代谢功能多样性的影响····· 胡国彬 董 坤 董 艳等 (926)

不同年限毛竹林土壤固氮菌群落结构和丰度的演变····· 何冬华 沈秋兰 徐秋芳等 (934)

长期不同施肥模式下砂姜黑土的固碳效应分析····· 李 玮 孔令聪 张存岭等 (943)

果园生草对<sup>15</sup>N利用及土壤累积的影响····· 彭 玲 文 昭 安 欣等 (950)

封面图片: 离子型稀土矿废弃地全景 (由汤叶涛、刘文深提供)

DOI: 10.11766/trxb201407150356

# 长期不同施肥模式下砂姜黑土的固碳效应分析\*

李 玮<sup>1, 2</sup> 孔令聪<sup>1, 2</sup> 张存岭<sup>3</sup> 姜 涛<sup>1</sup> 陈 欢<sup>1, 2</sup> 乔玉强<sup>1, 2</sup>  
杜世州<sup>1, 2</sup> 赵 竹<sup>1, 2</sup> 曹承富<sup>1, 2†</sup>

(1 安徽省农业科学院作物研究所, 合肥 230031)

(2 安徽省农作物品质改良重点实验室, 合肥 230031)

(3 安徽省濉溪县科学技术协会, 安徽淮北 235100)

**摘 要** 以安徽淮北 32 a 的定位试验为平台, 运用土壤等质量方法对土壤耕层的固碳效应进行了研究。结果表明, 较不施肥和单施化肥, 施用有机肥显著降低了表层土壤容重。长期施用有机肥和单施化肥均对提高土壤有机质和活性有机质含量有显著作用, 但以高量有机肥和化肥配施的效果最明显。土壤碳库管理指数以有机肥和化肥配施的效果显著, 而长期单施化肥降低了土壤碳库管理指数, 表明化肥长期施用下土壤肥力下降。0~20 cm 土层的有机碳储量有机肥化肥配施的最高, 其次为单施有机肥、单施化肥, 不施肥最低。有机肥有助于提高土壤质量, 且有机肥和化学氮肥分别以高于 N 262.5 kg hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> 配施的效果最佳。

**关键词** 土壤有机碳; 有机碳活性; 固碳效应; 施肥模式; 砂姜黑土

**中图分类号** S156.93 **文献标识码** A

土壤有机质 (SOM) 是土壤质量评价和土壤持续生产能力的重要表征<sup>[1-3]</sup>, 是持续利用土地和作物高产稳产的先决条件<sup>[4]</sup>。近几年, 土壤有机碳库和固碳机制研究, 已成为碳积累和碳循环研究中的一个极其活跃的领域<sup>[5]</sup>。施肥尤其是施用有机肥作为最常见的一种固碳措施, 其固碳能力在国内外已得到广泛的研究<sup>[6-8]</sup>。长期试验表明, 良好施肥管理下, 农田生态系统排放 CO<sub>2</sub> 的 50%~75% 可以固定于土壤中<sup>[9]</sup>; 化学氮肥能提高作物残留物还田量, 而对增加土壤有机碳的固定量没有显著作用<sup>[10]</sup>; 有机肥或有机无机肥配施可以增加土壤碳的固定<sup>[11]</sup>, 尤其有机肥与化肥配施可减缓土壤有机质的矿化速率<sup>[12]</sup>; 秸秆还田和化学氮肥同时施用才可增加土壤有机碳, 提高土壤碳的固定<sup>[13]</sup>。农田土壤有机碳的固定受气候、土壤结构、耕作方

式、种植制度等因素的影响, 研究长期不同施肥模式下土壤的固碳效应对粮食安全和气候变化的影响具有重要意义。为此, 本文依托长期定位施肥试验, 分析了长期不同施肥措施对 32 年 (1981—2013) 后 0~20 cm 土层的土壤容重、有机质和活性有机质变化的影响以及土壤的固碳量, 为完善砂姜黑土区施肥技术体系和培肥制度的建立提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验设于安徽省农业科学院作物研究所濉溪县杨柳试验站, 供试土壤为砂姜黑土, 成土母质为黄土性古河沉积物。试验始于 1981 年, 试验前耕层土

\* 国家自然科学基金 (41401244) 国家科技支撑计划项目 (2012BAD04B09, 2011BAD16B06, 2013BAD07B08) 资助

† 通讯作者, E-mail: caocfu@126.com

作者简介: 李 玮 (1980—), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事土壤物理及作物栽培生理生态方面的研究。E-mail: jtlw2007@163.com

收稿日期: 2014-07-15; 收到修改稿日期: 2015-02-05

壤(0~20 cm)基础理化指标如下: pH 7.6, 有机质 $10.22 \text{ g kg}^{-1}$ , 全氮 $0.78 \text{ g kg}^{-1}$ , 全磷 $0.47 \text{ g kg}^{-1}$ , 碱解氮 $64.10 \text{ mg kg}^{-1}$ , 有效磷 $2.50 \text{ mg kg}^{-1}$ 。

### 1.2 田间试验设计

本试验设5个处理(表1), 每个处理4个重复, 小区面积 $30 \text{ m}^2$ 。小区间筑水泥永久性田埂作分离, 中间有管灌溉渠道通各小区。种植方式为小麦-玉米轮作, 种植品种为当年的主栽品种, 每季作物收获后将地上部秸秆移除, 实施根茬还田。

施肥的4个处理实行定氮, 磷、钾素不实行统

一定量。处理II~IV的总施氮量相等, 处理IV和处理V施入的氮素采用有机与无机各半计量。所施用化肥为复合肥(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O含量均为 $150 \text{ g kg}^{-1}$ ), 氮素不足用尿素补齐。有机肥为豆饼肥, 水分含量 $100 \sim 150 \text{ g kg}^{-1}$ , 有机质 $300 \sim 400 \text{ g kg}^{-1}$ 、N $60 \sim 70 \text{ g kg}^{-1}$ 、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> $10 \sim 30 \text{ g kg}^{-1}$ 、K<sub>2</sub>O $20 \sim 30 \text{ g kg}^{-1}$ , 有机肥施量均按当季肥料养分分析后的实际含量折算。有机肥和磷钾肥全部用作基肥, 氮基追比小麦为6:4(拔节期追肥), 玉米为3:5(大喇叭口期追肥)。

表1 不同处理的肥料施用量

Table 1 Fertilizer application rate in different treatments

处理Treatments	施肥量Fertilization rate
I CK 不施肥 No fertilization application	0
II NPK 单施化肥 Application of single chemical fertilizer	N $525 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> $210 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ , K <sub>2</sub> O $210 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$
III M 单施有机肥 Application of single organic fertilizer	折合N $525 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ Equivalent to N $525 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$
IV MNPK 有机肥与化肥配施(等氮) Mixed application of organic and chemical fertilizer (with the same amount of nitrogen)	处理II、III施肥量总和的50% Equivalent to 50% of sum of the amount of fertilizer in treatment II and III
V HMNPK 有机肥与化肥配施(高氮) Mixed application of organic and chemical fertilizer (with the larger amount of nitrogen)	处理II、III施肥量总和的80% Equivalent to 80% of sum of the amount of fertilizer in treatment II and III

### 1.3 测定指标及方法

土壤样品采集: 2013年玉米收获后, 取0~5、5~10、10~20 cm深度土样, 每个样品均为多点采集混合而成, 然后用四分法取出足够的样品, 风干, 过筛备用。

土壤容重: 分层采集0~20 cm原状土壤样品, 环刀法测定。

土壤总有机碳(TOC)测定: 称取过0.149 mm筛的风干土 $0.2000 \text{ g}$ , 采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法测定<sup>[14]</sup>。

土壤活性有机碳(LOC): 称取过0.25 mm筛的风干土 $1.50 \text{ g}$ 于100 ml离心管中, 加入 $333 \text{ mmol L}^{-1}$  KMnO<sub>4</sub>  $25 \text{ ml}$ , 在室温(25℃)条件下震荡1 h,  $2000 \text{ r min}^{-1}$ 离心5 min, 取上清液用去离子水按1:250稀释, 在风光光度计565 nm波长处进行比色<sup>[15]</sup>。由不加土壤的空白与土壤样品的吸光率之差, 计算出高锰酸钾浓度的变化, 进而计算出氧化的碳量或有机质(氧化过程中高锰酸钾浓度每减少 $1 \text{ mmol L}^{-1}$ 代表碳减少量为 $0.75 \text{ mmol L}^{-1}$ 或

$9 \text{ mg kg}^{-1}$ 或者 $9 \text{ mg L}^{-1}$ )。

所有处理均以CK土壤为参照土壤, 计算各处理的CPMI<sup>[15]</sup>:

$$A = LOC / NLOC$$

$$AI = A / A_0$$

$$CPI = TOC / TOC_0$$

$$CPMI(\%) = CPI \times AI \times 100$$

式中: A为碳库活度; LOC为样本活性有机碳含量( $\text{g kg}^{-1}$ ); NLOC为样本非活性有机碳含量( $\text{g kg}^{-1}$ ); AI为碳库活度指数; A<sub>0</sub>为对照碳库活度指数; CPI为碳库活度; TOC为样本总有机碳含量( $\text{g kg}^{-1}$ ); TOC<sub>0</sub>为对照总有机碳含量( $\text{g kg}^{-1}$ ); CPMI为碳库管理指数。

### 1.4 有机碳储量计算

本文参考Ellert和Bettany<sup>[16]</sup>的方法, 采取等质量方法计算土壤有机碳储量。国内外研究多以1 m深度为计算参照标准, 这样有利于结果比较。但本文仅研究不同施肥处理下耕作层的土壤有机碳库储量的变化, 故土壤剖面深度以20 cm计算。

等质量土壤有机碳储量指土壤有机碳储量与增加土壤质量中有机碳储量之和，算式为：

$$M_{\text{element}} = \left[ \sum_{i=1}^n M_{\text{soil},i} \times \text{conc}_i + (M_j - \sum_{i=1}^n M_{\text{soil},i}) \times \text{conc}_{\text{extra}} \right] \times 0.001$$

$$M_{\text{soil},i} = \rho_{b,i} \times T_i \times 10\ 000$$

式中， $M_{\text{element}}$ 为等质量土壤有机碳储量 ( $\text{Mg hm}^{-2}$ )； $M_{\text{soil},i}$ 为土层的土壤质量 ( $\text{Mg hm}^{-2}$ )； $\text{conc}_i$ 为土层土壤有机碳含量 ( $\text{kg Mg}^{-1}$ )； $M_j$ 为已确定的相等土壤质量，以不同处理下土壤质量最大值作为统一的土壤质量； $\text{conc}_{\text{extra}}$ 为增加土壤质量部分的有机碳含量 ( $\text{kg Mg}^{-1}$ )； $\rho_{b,i}$ 为土层土壤容重 ( $\text{Mg m}^{-3}$ )； $T_i$ 为土壤厚度 (m)；0.001为质量单位kg换算成Mg的系数。

### 1.5 数据处理

试验数据采用SPSS 16.0和Excel 2010软件进行处理和作图。单因素方差分析多重比较采用最小显著差异法 (LSD, Least significant difference)。

## 2 结 果

### 2.1 土壤容重变化

不同施肥模式对砂姜黑土耕层土壤容重的影响存在明显差异 (图1)。32 a的田间试验结果显示，施用有机肥明显降低了土壤容重，相比CK (不施肥) 处理，0~5 cm土层的容重显著下降7.20%~9.65%；而相比NPK (单施化肥) 处理，土壤容重下降幅度较低，为2.65%~5.22%

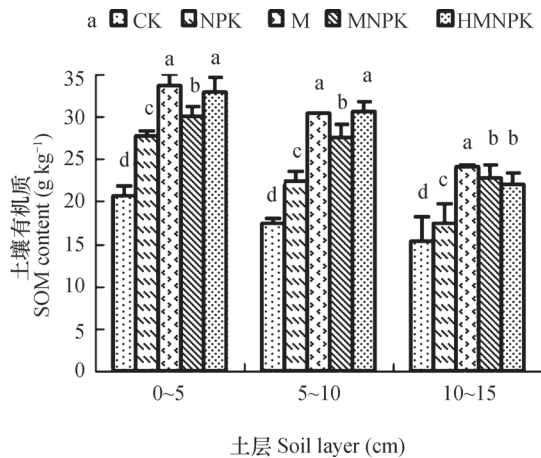


图2 长期不同施肥模式下土壤总有机质和活性有机质的含量变化特性

Fig. 2 Change in content of soil organic matter and active organic matter in soils under long-term fertilization relative to fertilization pattern  
注：a图表示土壤有机质含量，b图表示土壤活性有机质含量。Note: a, b figure indicate soil organic matter content and active soil organic matter content, respectively

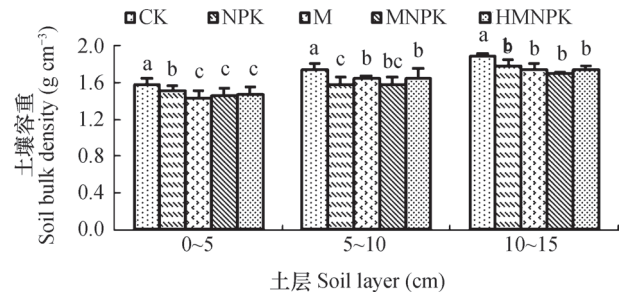


图1 长期不同施肥模式对土壤容重的影响

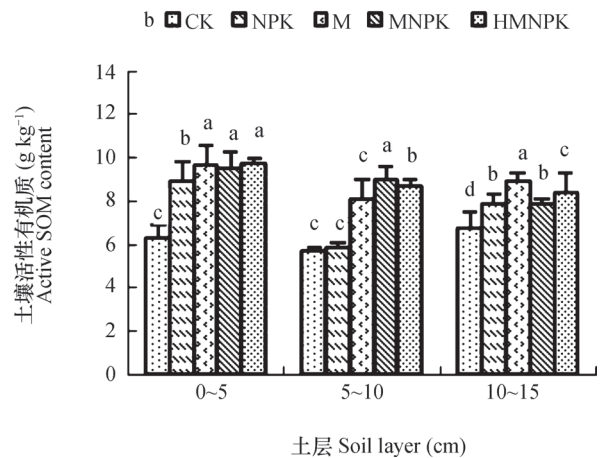
Fig. 1 Effect of long-term fertilization on soil bulk density relative to fertilization pattern

注：同一土层深度柱上不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。下同  
Notes: Different letters on top of the bars mean significant difference at 0.05 level. The same below

( $p < 0.05$ )。5~10 cm和10~20 cm土层的土壤容重与0~5 cm土层的变化规律一致。土壤不同层次间，土壤容重随土壤层次的下移而增加。

### 2.2 土壤有机质变化

图2表明，施用有机肥增加了土壤总有机质 (SOM) 和活性有机质 (LOM) 含量，CK处理较1981年也有所增加，主要是因为根茬还田向土壤补充了碳源而提高了有机质含量和有机质的活性。由图2可知，0~5 cm土层，M、MNPK和HMNPK较CK处理SOM分别提高62.32%、44.82和58.34%，对于5~10 cm和10~20 cm土层，SOM含量提高幅度分别为74.71%、58.64%、75.85%和56.71%、48.48%、43.36%。NPK处理不同土层的SOM含量均显著低于有机肥处理，而高于CK处理。



LOM含量和SOM含量的变化趋势基本相似(图2)。有机肥处理的LOM含量均显著高于CK和NPK处理,0~5 cm和5~10 cm土层增加幅度较10~20 cm土层高;单施化肥显著增加了0~5 cm土层的活性有机质含量。

### 2.3 土壤有机质含量与土壤容重的关系

施用不同类型的肥料对土壤结构产生直接或间接

的作用,可改变土壤的物理特性及局部小气候,进而对土壤有机质的矿化分解速率产生影响。本文分别对SOM、LOM含量与土壤容重进行了相关分析(图3),可知,SOM含量随土壤容重的减小而增加,呈线性负相关关系,相关系数为0.665 8,达极显著( $p < 0.05$ )水平,而LOM与土壤容重无显著相关性。

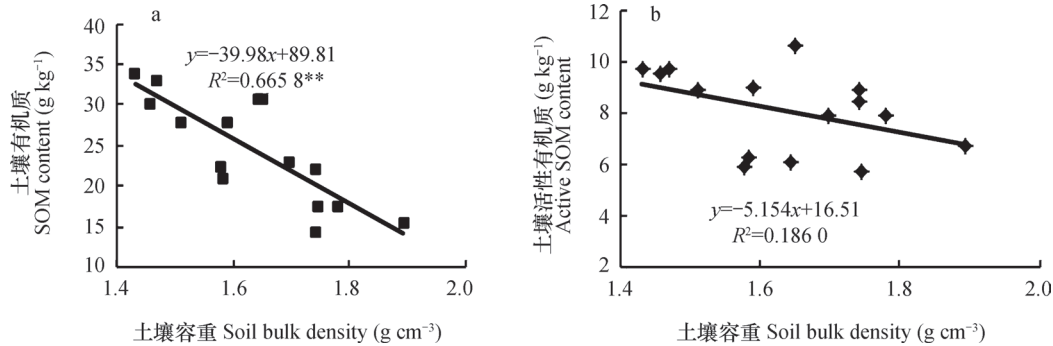


图3 土壤有机质含量与土壤容重的关系

Fig. 3 Relationship between soil organic matter content and soil bulk density

注: a图表示土壤有机质含量与土壤容重的关系, b图表示土壤活性有机质含量与土壤容重的关系。Note: a chart indicate the relationship between soil organic matter content and soil bulk density, b chart sign between active soil organic matter content and soil bulk density

### 2.4 施肥模式对土壤碳库管理指数的影响

碳库管理指数(CPMI)受施肥模式的影响显著(图4)。结果表明,施用有机肥可提高土壤的CPMI。与长期不施肥相比,有机肥处理0~5 cm土层CPMI显著增加28.10%~58.6%,5~10 cm为4.32%~18.85%,10~20 cm为15.84%~58.75%;有机肥处理间,不同土层CPMI均表现为MNPK>HMNPK>M,有机肥与化肥配施显著高于单施有机肥。与长期施用有机肥相反,长期单施化肥显著降低了土壤CPMI。

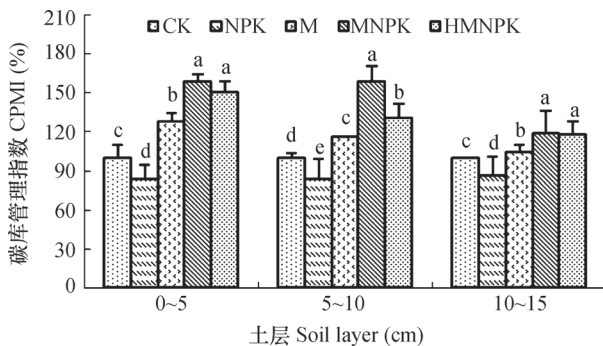


图4 长期不同施肥模式对土壤碳库管理指数的影响

Fig. 4 Effects of long-term fertilization on soil carbon pool management index

### 2.5 施肥模式对砂姜黑土有机碳储量的影响

用等质量方法计算土壤有机碳库储量,首先需要明确不同施肥模式下研究目标土层的最大土壤质量。本研究中经过32 a的长期施肥,0~20 cm土层的最大土壤质量为3 657 Mg hm<sup>-2</sup>,以此作为不同施肥处理下最大土壤质量代入等质量方法计算方程,计算土壤有机碳库储量。由图5可以看出,施

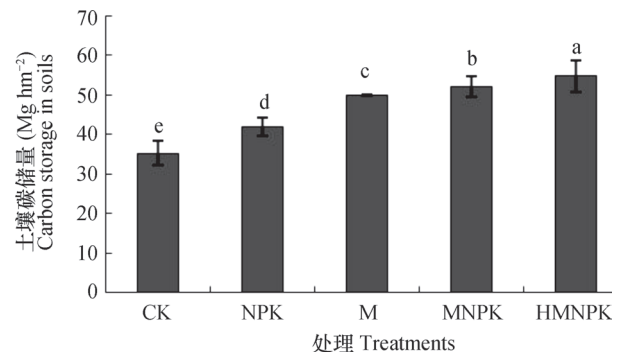


图5 施肥模式对等质量耕层土壤有机碳储量的影响

Fig. 5 Effects of fertilization pattern on soil organic carbon stock in the soil plough layers equivalent in soil mass

注:图中不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ ) (LSR法检验)

Note: Different letters in the figure mean significant difference at  $p < 0.05$  according to LSR test.

用有机肥和化肥可增加0~20 cm土层的土壤有机碳储量。M、MNPK和HMNP处理土壤有机碳储量为50.09、52.19和54.74 Mg hm<sup>-2</sup>，相比CK，分别增加42.30%、48.27%和55.51%；虽然单施氮肥也可提高土壤的有机碳库储量，但不及有机肥施用的效果明显，提高幅度仅为19.20%。

### 3 讨 论

土壤容重是土壤的基本物理性质之一，综合反映了土壤的松紧度与孔隙度，对土壤中的水、肥、气、热状况和农业生产有显著影响。朱平等<sup>[17]</sup>对30 a的土壤定位培肥进行研究，发现施用有机肥可以降低土壤容重，下降幅度在0~0.06 g cm<sup>-3</sup>，不施肥和单施化肥土壤容重呈增加趋势；韩秉进等<sup>[18]</sup>通过多年定位观测试验研究表明，连年施用有机肥能显著降低土壤容重。众多研究表明，施用有机肥对降低土壤容重有显著作用<sup>[19-21]</sup>。本研究中，耕层土壤容重表现为有机肥施用低于单施化肥或不施肥，施用有机肥相对不施肥和单施化肥，0~5 cm土层的土壤容重下降7.20%~9.65%和2.65%~5.22%，与上述研究结论一致。

农田土壤有机碳含量的增加主要归因于有机物的输入、增加化肥投入与合理的养分配比以及适宜的耕作措施<sup>[22]</sup>。土壤有机碳是进入土壤的有机物在微生物作用下分解矿化的产物，施用有机肥或有机无机配合施用，均向土壤中输入了外源有机质，显著增加了土壤有机碳含量<sup>[23-25]</sup>。从长期不同施肥模式土壤有机质含量的变化来看，不施肥处理耕层的土壤有机质含量较1981年提高7.70 g kg<sup>-1</sup>，增幅达75.34%。单施化肥的NPK处理土壤有机质含量比试验开始前增加了12.40 g kg<sup>-1</sup>，增幅为121.33%，但显著低于施用有机肥处理163.70%~188.91%的增幅。单施化肥没有外源有机物的输入，施用化学氮肥后，能够促进作物的生长，增加地下部分的生物量和作物根茬等残留物自然还田，即向土壤中增加了有机碳的输入而提高土壤有机质含量<sup>[26]</sup>。单施有机肥或有机无机配施在提高作物产量的同时向土壤增加了碳的投入，从而增加了土壤有机质的积累。本研究结果也证明，长期施用有机肥对增加土壤有机质有积极效应。从不同施肥处理的变化趋势看，单施有机肥或有机无机配施（M、MNPK、HMNPK）的土壤有机质含量均

大于单施化肥处理（NPK）。

本研究中，肥料的施用提高了耕层土壤活性有机质含量，但施用有机肥对有机质活性的影响主要发生在耕层土壤，而单施化肥主要影响表层土壤；单施化肥降低了耕层土壤碳库管理指数，施用有机肥对增加土壤有机碳的活性与碳库管理指数均有显著促进作用，与前人研究结果一致<sup>[27]</sup>。不同施肥管理措施下，施用有机肥的土壤固碳水平显著高于单施化肥和不施肥。

### 4 结 论

对砂姜黑土上32 a长期定位不同施肥模式的研究表明，肥料的施用能够明显降低土壤容重、改善土壤结构，提高土壤有机质含量、增强土壤有机碳活性，土壤的固碳能力显著增加。尽管，施肥对土壤结构、土壤肥力有积极效应，但施肥模式的综合结果表明，有机无机肥配施更有利于增加土壤碳储量、提高土壤质量，最终达到提高土壤肥力和农田可持续生产能力的效果。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Paustian K, Andren O, Janzen H H, et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. *Soil Use and Management*, 1997, 13 ( 4 ) : 230—244
- [ 2 ] Lal R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environment International*, 2005, 31 ( 4 ) : 575—584
- [ 3 ] Wallace A, Wallace G A, Cha J W. Soil organic-matter and the global carbon-cycle. *Journal of Plant Nutrition*, 1990, 13 ( 3/4 ) : 459—466
- [ 4 ] 赵其国. 我国东部红壤区土壤退化的时空变化、机理及调控对策. 北京：科学出版社，2002. Zhao Q G. Spatial and temporal variations, mechanism and control countermeasures of soil in degraded red soil region of eastern China ( In Chinese ). Beijing: Science Press, 2002
- [ 5 ] Russell A E, Laird D A, Parkin T B, et al. Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69 ( 2 ) : 413—422
- [ 6 ] Smith P, Powlson D, Glendining M, et al. Potential for carbon sequestration in European soils: Preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. *Global Change Biology*, 1997, 3 ( 1 ) : 67—79

- [ 7 ] 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. 生态学报, 2008, 28 ( 2 ) : 612—619. Han B, Wang X K, Lu F, et al. Soil carbon sequestration and its potential by cropland ecosystems in China ( In Chinese ). *ActaEcologicaSinica*, 2008, 28 ( 2 ) : 612—619
- [ 8 ] Lu F, Wang X K, Han B, et al. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's cropland. *Global Change Biology*, 2009, 15 ( 2 ) : 281—305
- [ 9 ] Dumanski J, Desjardins R L, Tarnocai C, et al. Possibilities for future carbon sequestration in Canadian agriculture in relation to land use changes. *Climatic Change*, 1998, 40 ( 1 ) : 81—103
- [ 10 ] Halvorson A D, Wienhold B J, Black A L. Tillage, nitrogen, and cropping system effects on soil carbon sequestration. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66 ( 3 ) : 906—912
- [ 11 ] Syswerda S P, Corbin A T, Mokma D L, et al. Agricultural management and soil carbon storage in surface vs. deep layers all rights reserved. *Soil Science Society of America Journal*, 2011, 75 ( 1 ) : 92—101
- [ 12 ] Srinivasarao C H, Venkateswarlu B, Lal R, et al. Long-term manuring and fertilizer effects on depletion of soil organic carbon stocks under pearl millet-cluster base-castor rotation western India. *Land Degradation & Development*, 2014, 25 ( 2 ) : 173—183
- [ 13 ] Dalal R C, Allen D C, Wang W J, et al. Organic carbon and total nitrogen stocks in a Vertisol following 40 years of no-tillage, crop residue retention and nitrogen fertilisation. *Soil and Tillage Research*, 2011, 112 ( 2 ) : 133—139
- [ 14 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1997. Bao S D. *Soil agro-chemistry analysis ( In Chinese )*. Beijing: China Agriculture Press, 1997
- [ 15 ] Blair G J, Lefroy R B D, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, 46 ( 7 ) : 1459—1466
- [ 16 ] Ellert B H, Bettany J R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 1995, 75 ( 4 ) : 529—538
- [ 17 ] 朱平, 彭畅, 高洪茵, 等. 长期培肥对土壤肥力及玉米产量的影响. 玉米科学, 2009, 17 ( 6 ) : 105—108. Zhu P, Peng C, Gao H J, et al. The effects of long-term fertilization on corn yields and soil fertility ( In Chinese ). *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17 ( 6 ) : 105—108
- [ 18 ] 韩秉进, 陈渊, 乔发云, 等. 连年施用有机肥对土壤理化性状的影响. 农业系统科学与综合研究, 2005, 20 ( 4 ) : 294—296. Han B J, Chen Y, Qiao F Y, et al. Effect of long-term application organic fertilizer on soil physiochemical properties ( In Chinese ). *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2005, 20 ( 4 ) : 294—296
- [ 19 ] Celik I, Gunal H, Budak M, et al. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 2010, 160 ( 2 ) : 236—243
- [ 20 ] Hemmat A, Aghilinategh N, Rezaiejad Y, et al. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil and Tillage Research*, 2010, 108 ( 1/2 ) : 43—50
- [ 21 ] Ogunwole J O, Jwuafor E N O, Eche N M, et al. Effect of organic and inorganic soil amendments on soil physical and chemical properties in a west Africa Savanna agroecosystem. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2009, 12 ( 2 ) : 247—255
- [ 22 ] Diacono M, Montemurro F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2010, 30 ( 2 ) : 401—422
- [ 23 ] 高会议, 郭胜利, 刘文兆, 等. 施肥措施对黄土旱塬区小麦产量和土壤有机碳积累的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 ( 6 ) : 1333—1338. Gao H Y, Guo S L, Liu W Z, et al. Effects of fertilization on wheat yield and soil organic carbon accumulation in rainfed loessial tablelands ( In Chinese ). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15 ( 6 ) : 1333—1338
- [ 24 ] Gong W, Yan X Y, Wang J Y, et al. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat - maize cropping system in northern China. *Geoderma*, 2009, 149 ( 3 ) : 318—324
- [ 25 ] 罗璐, 周萍, 童成立, 等. 长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究. 环境科学, 2013, 34 ( 2 ) : 692—697. Luo L, Zhou P, Tong C L, et al. Study on mechanism of SOM stabilization of paddy soils under long-term fertilizations ( In Chinese ). *Environmental Science*, 2013, 34 ( 2 ) : 692—697
- [ 26 ] Ma L, Yang L Z, Xia L Z, et al. Long-term effects of inorganic and organic amendments on organic carbon in a paddy soil of the TaihuLake region, China. *Pedosphere*, 2011, 21 ( 2 ) : 186—196
- [ 27 ] Liang Q, Chen H, Gong Y S, et al. Effects of 15



years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the North

China Plain. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012, 92 ( 1 ) : 21—33

## EFFECT OF LONG-TERM FERTILIZATION ON CARBON SEQUESTRATION IN LIME CONCRETION BLACK SOIL RELATIVE TO FERTILIZATION PATTERN

Li Wei<sup>1, 2</sup> Kong Lingcong<sup>1, 2</sup> Zhang Cunling<sup>3</sup> Jiang Tao<sup>1</sup> Chen Huan<sup>1, 2</sup> Qiao Yuqiang<sup>1, 2</sup>

Du Shizhou<sup>1, 2</sup> Zhao Zhu<sup>1, 2</sup> Cao Chengfu<sup>1, 2†</sup>

( 1 *Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China* )

( 2 *Anhui Key Laboratory of Improved Varieties of Crops, Hefei 230031, China* )

( 3 *Suixi Association for Science and Technology, Huaibei, Anhui 235100, China* )

**Abstract** To explore effects of different N fertilizer application types on quality and quantity of soil organic matter, soil samples were collected from plots under a long-term ( 32 a ) fertilization field experiment in Huaibei City, Anhui Province, China, for analysis of soil organic carbon storage. Results show that compared CK ( no fertilization ) and Treatment NPK ( chemical fertilizer ), Treatment OM ( organic manure only ) significantly decreased soil bulk density. Although, Treatment NPK and Treatment OM both had obvious positive effects on contents of soil organic matter and active soil organic matter, Treatment HMNPK ( high rate of organic manure plus NPK ) was the most significant in the effect. The treatment also showed significant positive effect on soil carbon pool management index ( CPMI ), while Treatment NPK lowered CPMI, indicating that soil fertility decreased under the effect of Treatment NPK. In terms of soil organic carbon storage in the 0 ~ 20 cm soil layer, Treatment HMNPK was the highest and followed Treatment OM, Treatment NPK and CK, sequently. Therefore, it can be concluded that long-term application of organic manure helps build up soil quality, especially, when in combination with application of chemical fertilizer, both at a rate higher than  $N\ 262.5\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}\ \text{a}^{-1}$ .

**Key words** Soil organic carbon; Active organic carbon; Carbon storages; Application of fertilizer; Lime concretion black soils

( 责任编辑：汪叔生 )

CONTENTS

**Reviews and Comments**

A review of study on microbial ecology of nitrite-dependent anaerobic methane oxidation ..... Shen Lidong ( 721 )

**Soil Science and Modern Agriculture**

- Spatio-temporal variation of total N content in farmland soil of Jiangxi Province in the past 30 years ..... Zhao Xiaomin, Shao Hua, Shi Qinghua, et al. ( 730 )
- Early warning of heavy metals potential risk governance in Beijing ..... Jiang Hongqun, Wang Binwu, Liu Xiaona, et al. ( 745 )
- Effect of deep application of straw on composition of humic acid in soil aggregates ..... Zhu Shu, Dou Sen, Chen Lizhen ( 758 )
- Effect of biochar application on pakchoi (*Brassica chinensis* L.) utilizing nitrogen in acid soil ..... Yu Yingliang, Xue Lihong, Yang Linzhang, et al. ( 766 )
- Effects of water and fertilizer on fruit yield of high-yielding clonal *Camellia oleifera* Abel ..... Zhang Wenyuan, Guo Xiaomin, Tu Shuping, et al. ( 774 )

**Research Articles**

- VRML-based virtual reality modeling of three dimensional variation of soil electrical conductivity ..... Li Hongyi, Gu Chengjian, Dan Chenglong, et al. ( 781 )
- Effect of number of sampling sites on characterization of spatial variability of soil organic matter ..... Hai Nan, Zhao Yongcun, Tian Kang, et al. ( 790 )
- Research on soil water movement based on stable isotopes ..... Jin Yurong, Lu Kexin, Li Peng, et al. ( 800 )
- Basic NPK fertilizer recommendation and fertilizer formula for maize production regions in China ..... Wu Liangquan, Wu Liang, Cui Zhenling, et al. ( 816 )
- Effects of fertilization on soil organic carbon and distribution of SOC in aggregates in tidal flat polders ..... Hou Xiaojing, Yang Jingsong, Wang Xiangping, et al. ( 827 )
- Effect of long-term fertilizer application on distribution of aggregates and aggregate-associated organic carbon in paddy soil ..... Mao Xiali, Lu Kouping, He Lizhi, et al. ( 837 )
- Effects of biochar on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from paddy field under rice-wheat rotation during rice and wheat growing seasons relative to timing of amendment ..... Li Lu, Zhou Ziqiang, Pan Xiaojian, et al. ( 847 )
- Effects of successive application of crop-straw biochar on crop yield and soil properties in cambosols ..... Liu Yuan, M. Jamal Khan, Jin Haiyang, et al. ( 857 )
- Calculation of thickness of shear plane in diffuse double layer of constant charge soil colloid in single electrolyte system ..... Ding Wuqun, Zhu Qihong, Wang Lei, et al. ( 867 )
- Effect of chemical leaching remedying chromium contaminated soil in deserted chemical plant site ..... Li Shiye, Cheng Jiemin ( 877 )
- Limiting factors for restoration of dumping sites of ionic rare earth mine tailings ..... Liu Wenshen, Liu Chang, Wang Zhiwei, et al. ( 887 )
- Residues of organochlorine pesticides in soils of Liaodong and Shandong Peninsulas ..... Zhu Yingyue, Liu Quanyong, Li He, et al. ( 900 )
- Long-term application of winter green manures changed the soil microbial biomass properties in red paddy soil ..... Gao Songjuan, Cao Weidong, Bai Jinshun, et al. ( 909 )
- Effects of intercropping with leguminous crops on tomato yield, soil nutrients and enzyme activity ..... Dai Huihui, Hu Xuefeng, Cao Mingyang, et al. ( 917 )

**Research Notes**

- Relationship of free amino acids in root exudates with wilt disease (*Fusarium oxysporum*) of faba bean ..... Dong yan, Dong Kun, Tang Li, et al. ( 924 )
- Effects of intercropping of wheat and faba bean on diversity of metabolic function of rhizosphere fungal community ..... Hu Guobin, Dong Kun, Dong Yan, et al. ( 933 )
- Evolvement of structure and abundance of soil nitrogen-fixing bacterial community in *Phyllostachys edulis* plantations with age of time ..... He Donghua, Shen Qiulan, Xu Qiufang, et al. ( 941 )
- Effect of long-term fertilization on carbon sequestration in lime concretion black soil relative to fertilization pattern ..... Li Wei, Kong Lingcong, Zhang Cunling, et al. ( 949 )
- Effects of interplanting grass on utilization, loss and accumulation of <sup>15</sup>N in apple orchard ..... Peng Ling, Wen Zhao, An Xin, et al. ( 955 )

**Cover Picture:** Full view of ionic rare earth mine desert (by Tang Yetao, Liu Wenshen)

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 4 July, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156