

The Effects of Long-Term Fertilization on Gas Permeability of Paddy Soil Derived from Quaternary Red Clay

Lidong Bi^{1,2*}, Fangshun Li^{1,2}, Kailou Liu³, Dan Chen^{1,2}

¹Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China, Ministry of Education, Nanjing

²College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing

³Jiangxi Institute of Red Soil, Nanchang

Email: *bilidong@hhu.edu.cn

Received: Sep. 1st, 2014; revised: Sep. 20th, 2014; accepted: Oct. 9th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In the present study, soil samples derived from quaternary red clay were taken and analyzed from long-term fertilization experiment under rice cropping systems. The purposes were to analyze the effects of long-term different fertilization managements on the soil structural characteristics and soil gas permeability. The results showed that: 1) compared with those of no fertilization control (Control), little impacts of soil bulk density, soil porosity and soil gas permeability were observed in the treatment N ($p > 0.05$); however, 2) application NPK and 2NPK significantly decreased soil bulk density and increase soil macropores ($p < 0.05$), but had little effect on soil gas permeability; at last 3) significant positive correlation was observed between soil gas permeability and rice yield, and application of NPK plus organic amendments (NPKOM) not only decreased soil bulk density and increase soil macropores, but improved soil gas permeability ($p < 0.05$).

Keywords

Soil Gas Permeability, Fertilization Management, Paddy Field, Soil Structure

长期施肥对红壤性水稻土透气性的影响研究

毕利东^{1,2*}, 李方顺^{1,2}, 柳开楼³, 陈丹^{1,2}

*通讯作者。

¹南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 南京

²河海大学水利水电学院, 南京

³江西省红壤研究所, 南昌

Email: bilidong@hhu.edu.cn

收稿日期: 2014年9月1日; 修回日期: 2014年9月20日; 录用日期: 2014年10月9日

摘要

以红壤性水稻土长期定位试验为对象, 采用田间调查结合室内测定方法研究不同施肥处理下红壤性水稻土的物理结构状况及其透气特征。结果表明: 1) 与不施肥(Control)相比, 长期单施氮肥(N)处理对土壤容重、孔隙率以及土壤透气性均无显著影响($p > 0.05$); 2) 氮磷钾配施(NPK)以及2倍氮磷钾配施(2NPK)仅对土壤容重以及非毛管孔隙率影响显著($p < 0.05$), 但对土壤透气速率的影响未达显著水平($p > 0.05$); 3) 相关分析结果表明土壤透气速率与水稻产量存在显著相关关系, 而有机肥无机肥配施(NPKOM)不仅能够显著降低土壤容重, 增加土壤孔隙, 同时还能改良土壤通透性。

关键词

土壤透气速率, 肥料管理, 稻田, 土壤结构

1. 引言

土壤透气性是重要的基础土壤物理性质, 它决定着土壤空气和大气交换的速率。土壤透气性优劣直接影响土壤空气成分的变化, 因此对土壤有机质分解, 土壤养分转化以及作物生长具有重要影响[1] [2]。国内外学者对稻田长期定位试验土壤的研究主要集中在土壤化学养分的变化[3]-[5]、土壤微生物群落组成[6] [7]以及土壤物理结构稳定性[8] [9]等方面, 而对土壤透气性的研究相对匮乏。为此, 本研究以江西省红壤研究所水田化肥长期定位试验土壤为对象, 采用田间调查结合室内分析的方法分别测定其原状土壤基本物理特性及土壤透气速率, 目的在于揭示长期不同肥料管理方式对红壤性水稻土土壤容重、孔隙率以及土壤透气性的影响规律, 以期为区域土壤资源保护与培育提供基础数据和理论参考。

2. 材料与方法

2.1. 试验区概况

红壤性水稻土肥料长期定位试验设在江西省红壤研究所内(江西省进贤县张公镇), 地理位置为 $28^{\circ}21'N$, $116^{\circ}10'E$, 区域平均海拔高度 26 m。研究区属亚热带季风气候, 年平均气温 $18.1^{\circ}C$, 月平均最高气温 $29.9^{\circ}C$ (七月), 月平均最低气温 $5.5^{\circ}C$ (一月), 年均降雨量 1727 mm。试验始于 1981 年早稻, 试验前为双季稻绿肥轮作制, 土壤为第四纪红色粘土母质发育的潴育性水稻土。耕作层初始土壤性质如表 1 所示。

试验处理包括以下 5 种: 1) 无肥对照(Control); 2) 单施氮肥(N); 3) 氮、磷钾配施(NPK); 4) 2 倍氮、磷钾配施(2NPK); 5) 有机无机配施(NPKOM)。每种施肥处理田间重复 3 次, 每个小区用混凝土土埂隔开, 面积为 $46.7 m^2$ 。定位试验个处理肥料用量如表 2 所示, 氮肥品种为尿素, 磷肥为钙镁磷肥, 钾肥为氯化钾, 有机肥中早稻施新鲜紫云英, 晚稻为新鲜猪粪。所有有机肥和钙镁磷肥作基肥施用, 尿素和氯化钾在水稻返青后和分蘖盛期分两次追肥。

Table 1. Selected soil properties of cultivated horizon before the start of the long-term experiments**表 1.** 试前耕层土壤基本性质表

| 土壤质地 | pH | SOC | 全氮 全磷 全钾 | | | 速效氮 | 速效磷 | 速效钾 |
|------|-----|-------|---------------------------------------------|-----|------|-----|------|------|
| | | | -----($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)----- | | | | | |
| 壤土 | 5.4 | 16.31 | 1.49 | 144 | 0.49 | 9.5 | 10.4 | 41.2 |

Table 2. Amount of fertilizers added for the long-term experiment**表 2.** 肥料长期定位试验施肥量表

| 处理 | 每季的肥料用量 | | | |
|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) | P ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) | K ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) | 有机肥($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) |
| Control | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N | 90 | 0 | 0 | 0 |
| NPK | 90 | 19.7 | 62.2 | 0 |
| 2NPK | 180 | 39.4 | 124.4 | 0 |
| NPKOM | 90 | 19.7 | 62.2 | 2250/7900 |

注：有机肥早稻为紫云英 $2250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ，晚稻为猪粪 $7900 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (折合烘干重)。

2.2. 样品采集与测定

2.2.1. 样品采集

供试土样于 2013 年早稻收割前采集，所有样品均采自 0~15 cm 的耕层土壤。其中，土壤容重、土壤孔隙测定所用原状土采用 100 cm^3 环刀采集，每个试验处理 9 次重复。采集原状土过程中另取部分样品带回实验室风干，风干后挑去植物残根和石块，过 2 mm 筛，供养基本化学性质测定。

2.2.2. 测定方法

土壤容重及孔隙率：土壤容重及孔隙率采用环刀法进行。毛管孔隙率的测定时将不锈钢环刀平口一端用橡皮筋扎上 300 目尼龙网纱布后放入盛薄层水的容器内，保持容器水平且让水深保持在 1~2 mm 左右浸泡 24 h 后立即称重。随后取 10 g 土测土壤含水率，经换算得出毛管孔隙度。土壤总孔隙度根据土壤容重和土壤密度计算获得。非毛管孔隙度(>0.02 mm)为土壤总孔隙度与毛管孔隙度之间差值。具体计算方法参见“土壤理化分析” [10]。

土壤透气速率：土壤透气速率采用改良后的恒压测定方法进行。测定前先将原状土样品在沙盘(-30 cm 水头)平衡 24 h，在整个测定过程中保持装置静止，待测定系统达到稳定恒压后记录单位时间内天平读数。以上数据采集工作通过计算机连接天平 R232 接口实现，土壤透气性总量则通过电子天平记录容器中水的变化量换算获得。具体方法参见相关研究报道[11]。

2.3. 数据处理

数据处理采用 Microsoft Excel 2007 进行；不同肥料处理间土壤性质的差异性(ANOVA)运用最小显著差数法(Fisher's LSD)检验($p < 0.05$)，相关分析采用 Pearson 简单相关，以上过程通过采用 SAS 8.0 软件进行；图形结果采用 Origin Pro 8.0 软件绘制。

3. 结果与分析

3.1. 长期肥料管理对土壤容重及孔隙的影响

长期不同肥料管理方式对土壤容重的影响如图 1 所示。与试验前相比($1.06 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)，各肥料处理土壤

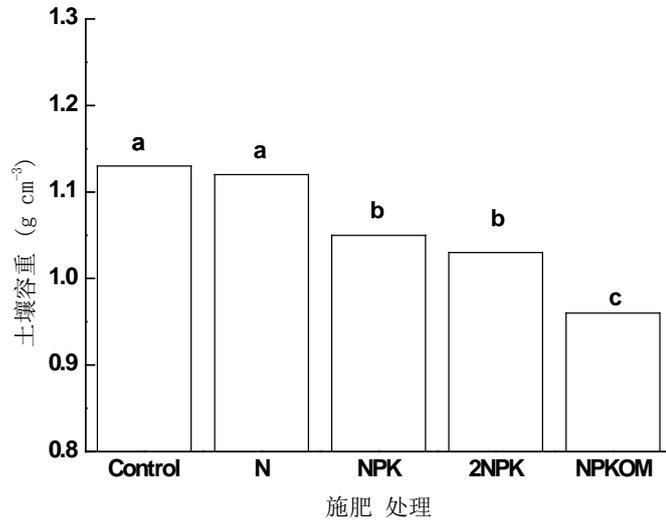


Figure 1. The effects of long-term fertilization on soil bulk density
图 1. 长期不同肥料管理对土壤容重的影响

容重均有不同程度的变化。各肥料处理土壤容重在 0.96~1.13 g·cm⁻³ 之间，其中以无肥对照(Control)以及单施氮肥处理(N)最高，有机肥无机配施处理(NPKOM)最低。单施氮肥处理和单肥对照间以及 NPK 处理与 2NPK 处理间土壤容重差异不显著($p > 0.05$)。长期不同肥料管理方式对土壤孔隙率的影响如图 2 所示。各肥料处理土壤总孔隙率在 0.552~0.612 之间，其中有机肥无机肥配施处理土壤总孔隙率显著大于无肥对照。与无肥对照以及单施氮肥处理相比，氮磷钾配施以及有机肥无机肥配施均能显著提高其非毛管孔隙率($p < 0.05$) (图 2)。

有机肥无机肥配施能够降低土壤容重(图 1)，增加土壤孔隙(图 2)，这与文献研究中的报道结果较为一致[12]。虽无有机肥施入，NPK 以及 2NPK 处理对土壤容重的降低以及孔隙率的提高亦存在显著影响，这主要归因于其较高的根茬返还量。由于无肥料对照处理(Control)与各化肥处理间(N, NPK, 2NPK)土壤有机碳含量没有显著差异(数据未列)，因此可以推断出 NPK 处理以及 2NPK 处理土壤容重的降低与孔隙的变化可能受到水稻残茬分解过程的影响。水稻残茬分解过程中一方面可以形成许多胶结物质[13]，促进土壤团粒结构的形成，另一方面可以促进田间土壤动物活动，使土壤朝着多孔结构发展[14]。

3.2. 长期施肥对土壤透气性的影响

长期施肥对土壤透气速率的影响如图 3 所示。与无肥对照(CK)相比，长期有机无机配施(NPKOM)能够显著提高土壤透气速率，改良土壤通透性，而长期施用化肥(N, NPK, 2NPK)对土壤透气速率无显著影响($p > 0.05$)。

在土壤水势控制一致情况下，土壤透气速率的高低主要取决于土壤的孔隙状况，然而本研究中各肥料处理土壤透气速率变化趋势与土壤孔隙率变化趋势并不完全一致，这一结果说明传统采用土壤孔隙率间接评价水稻土土壤通透性的方法存在不足。土壤的通透性一方面决定于土壤的孔隙率，另一方面更取决于土壤孔隙的连通性[1]。水稻土土壤孔隙的形成有着与旱地土壤截然不同的特征。移栽水稻前稻田土壤通常需要进行高强度的水耕制浆，即在放水泡田将土壤软化数天后再进行旋耕，最后在犁底层之上形成松软的泥浆层。由于长期处于淹水还原状态，在水的分散应力，胶结物软化以及氧化还原等多重作用下使得耕作层土壤矿质颗粒多呈现为单粒或微团聚体状态，因此落干后形成的土壤较为密实，孔隙的连通性也较差[15]。

3.3. 土壤透气性与水稻产量的关系

土壤透气速率与2013年水稻平均产量关系如图4所示。相关分析结果表明长期定位试验水稻产量与土壤透气速率成极显著相关关系($p < 0.01$, $n = 15$), 土壤通透性越好, 水稻产量也越高。土壤透气性是影响作物生长发育、产量以及品质形成的重要因素。在作物生产中, 土壤透气性不同将导致其土壤养分转化以及植物根系呼吸出现显著差异, 这些差异可能对作物的生长发育以及产量产生影响。生产实践证明水稻高产不仅需要土壤中各种养分充足与平衡, 还需要各项物理性状适宜协调[16]。

4. 结论

1) 土壤容重及土壤孔隙研究表明, 肥料管理对水稻土土壤物理性状的改良不仅可以通过施用有机肥直接实现, 同时还能通过增加单位面积水稻残茬的返还量间接实现;

2) 对于水稻土而言, 传统采用土壤容重以及土壤孔隙率间接表征土壤通透性的方法存在明显不足, 因此在条件许可情况下应尽量直接测定土壤的透气速率;

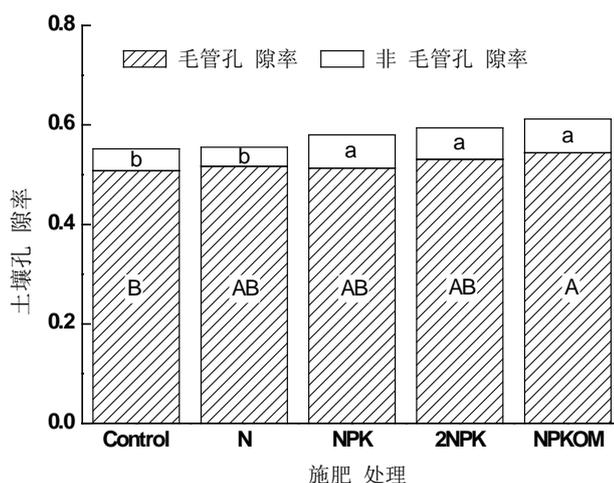


Figure 2. The effects of long-term fertilization on soil porosity
图2. 长期不同肥料管理对土壤孔隙的影响

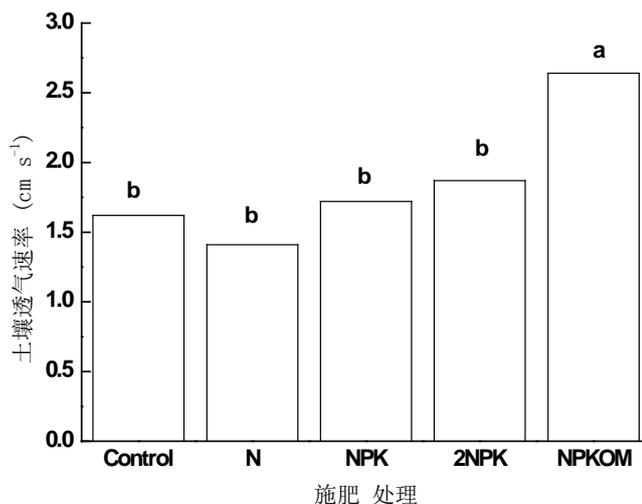


Figure 3. The effects of long-term fertilization on gas permeability
图3. 长期不同肥料管理对土壤透气速率的影响

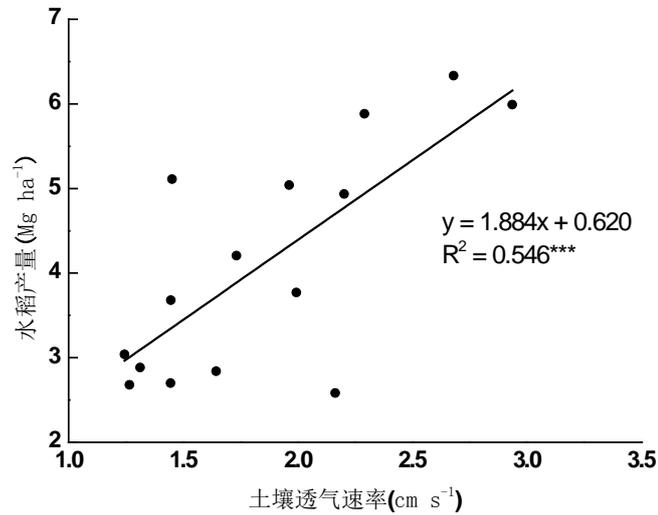


Figure 4. Correlations between gas permeability and rice yield in the year 2013

图 4. 土壤透气速率与 2013 年水稻产量关系图

3) 土壤透气速率与水稻产量存在显著的正相关关系，因此从提高水稻产量角度讲，肥料管理不仅应该满足土壤养分充足与平衡，同时还应考虑土壤物理性状改良。

基金项目

国家自然科学基金青年项目(NSFC41101198)和中央高校基本科研业务费专项资金(2009B08914)资助。

参考文献 (References)

- [1] Hillel, D. (1998) Environmental soil physics. Academic Press, San Diego.
- [2] Schjøning, P., Thomsena, I.K., Møberg, J.P., Jongea, H., Kristensena, K. and Christensena, B.T. (1999) Turnover of organic matter in differently textured soils: I. Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. *Geoderma*, **89**, 177-198.
- [3] 张夫道 (1996) 长期施肥条件下土壤养分的动态和平衡. I. 对土壤氮的有效性和腐殖质氮组成的影响. *植物营养与肥料学报*, **1**, 39-48.
- [4] 曲均峰, 李菊梅, 徐明岗, 等 (2008) 长期不施肥条件下几种典型土壤全磷和 Olsen-P 的变化. *植物营养与肥料学报*, **1**, 90-98.
- [5] 高菊生, 黄晶, 董春华, 等 (2014) 长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响. *土壤学报*, **2**, 314-324.
- [6] 李秀英, 赵秉强, 李絮花, 等 (2005) 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系. *中国农业科学*, **8**, 1591-1599
- [7] 乔洁, 毕利东, 张卫健, 等 (2007) 长期施用化肥对红壤性水稻土中微生物生物量、活性及群落结构的影响. *土壤*, **5**, 772-776
- [8] Li, J.T. and Zhang, B. (2007) Paddy soil stability and mechanical properties as affected by long-term application of chemical fertilizer and animal manure in subtropical China. *Pedosphere*, **17**, 568-579.
- [9] 李江涛, 张斌, 彭新华, 等 (2004) 施肥对红壤性水稻土颗粒有机物形成及团聚体稳定性的影响. *土壤学报*, **6**, 912-917.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所编 (1978) 土壤理化分析. 上海科学技术出版社, 上海.
- [11] 毕利东, 赵琪, 柳开楼 (2014) 一种简易的土壤透气速率测定方法及其应用. *土壤*, **4**, 766-768.
- [12] 高菊生, 徐明岗, 王伯仁, 等 (2005) 长期有机无机肥配施对土壤肥力及水稻产量的影响. *中国农学通报*, **8**, 211-214, 259.
- [13] Sollins, P., Homann, P. and Caldwell, B.A. (1996) Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms

and controls. *Geoderma*, **74**, 65-105.

- [14] Fonte, S.J., Konga, A.Y.Y., Kessel, C., Hendrix, P.F. and Six, J. (2006) Influence of earthworm activity on aggregate-associated carbon and nitrogen dynamics differs with agroecosystem management. *Soil Biology & Biochemistry*, **39**, 1014-1022.
- [15] 周虎, 彭新华, 张中彬, 等 (2011) 基于同步辐射微 CT 研究不同利用年限水稻土团聚体微结构特征. *农业工程学报*, **12**, 343-347.
- [16] 姚贤良, 赵渭生, 于德芬, 等 (1978) 高产水稻土结构特性的初步研究. *土壤学报*, **15**, 1-11.