

一种简易的土壤透气速率测定方法及其应用^①

毕利东^{1,2}, 赵琪^{1,2}, 柳开楼³

(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 210098; 2 河海大学水利水电学院, 南京 210098;

3 江西省红壤研究所, 南昌 330046)

摘要: 以原状土壤为试验对象, 基于传统常压测定法设计出一种简单而准确的土壤透气速率测定方法。研究表明: 该方法克服了传统常压测定法变压测定过程导致精度降低的问题, 同时又具备简单易行的优点。运用该方法对长期定位试验土壤进行研究, 发现长期配施有机无机肥可提高红壤稻田耕作层土壤透气速率, 改良土壤通透性。

关键词: 土壤透气速率; 达西定律; 红壤性水稻土; 多孔介质

中图分类号: S152

土壤透气性是指土壤气体和大气交换的能力, 其优劣直接影响土壤空气成分的变化, 因此对土壤微生物的生长发育以及土壤养分转化具有重要影响^[1-2]。土壤透气速率作为评价土壤透气性的指标其测定方法通常分为两种, 一种是压力计法(或压力气室法), 另一种为常压测定方法。压力计法通常需要复杂的调压设备或精密仪表装备较难^[3-5], 而传统常压测定方法又存在变压测定过程导致精度较低的问题^[6]。为此, 作者基于传统常压测定方法设计出一套新的恒压测定装置, 它既规避了压力计法在精密设备上的需求, 同时还具备传统常压测定方法简单易行的优点。

1 原理及测定方法

1.1 原理

根据达西定律, 土壤透气量 Q 与土壤通气面积 S 、空气压差 P 、时间 t 成正比, 与土层厚度 h 、空气黏滞系数 μ 成反比, 即:

$$Q = K \frac{S \cdot \Delta P \cdot \Delta t}{h \cdot \mu} \quad (1)$$

式中: K 为土壤透气速率; Q 为土壤透气量; S 为土壤通气面积; P 为空气压差; t 为时间; h 为土层厚度; μ 为空气黏滞系数。实验测定土壤透气速率的关键和难点在于测定单位时间土壤的透气量 Q 。

1.2 测定方法

1.2.1 仪器设备 如图 1 所示, 除传统常压测定方法所需的玻璃瓶、玻璃管、乳胶管、秒表、温度计、

止血钳、升降台、游标卡尺、凡士林等必备器材外, 改进后的方法需要普通电子天平(精度 0.01g)1 台。

1.2.2 操作步骤 传统常压测定方法装置如图 1a 所示。试验开始前调节瓶 中水位与瓶 出水口水位相等, 打开 和 处阀门使瓶 中水向瓶 流动; 同时, 瓶 中水也开始滴入量筒, 记下时间 t ; 测定过程中需不断调节瓶 水位高度以防止 处水位剧烈变化。量筒 中滴水量即相当于通过土体空气的数量 Q 。该方法详细步骤参见《土壤物理研究方法》^[6]。

改进后的装置如图 1b 所示。试验开始后打开装置图中 和 处阀门, 保持 处阀门关闭, 检查装置气密性。待电子天平读数稳定, 打开 处阀门, 调节 处升降台使 处水头达到设定值, 待 处水头稳定后按下电子天平“Tare”按键并计时, 测定结束后关闭 处阀门, 同时记录测定时间(t), 电子天平读数(m), 处水位差(h_1), 实验温度(T), 最后用游标卡尺测定土壤样品高度(h), 直径(R)。

1.2.3 结果计算 式(1)中土壤通气面积 S 、空气压差 P 、时间 t 、土层厚度 h 均由实验直接记录或测量获得, 空气黏滞系数 μ 可根据实验温度(T)查《物理化学手册》^[7] 获得。在温度不变情况下, 土壤透气量 Q 可根据玻意耳-马略特定律 $P_1 V_1 = P_2 V_2$ 计算得出^[8]。

$$Q = V_1 = P_2 V_2 / P_1 \quad (2)$$

式中: P_1 为标准大气压; P_2 为标准大气压与 处水头压力之和, V_2 可根据电子天平读数及纯水密度计算获得。

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

作者简介: 毕利东(1980—), 男, 贵州桐梓人, 博士, 讲师, 主要从事土壤结构以及土壤肥力演变方面研究。E-mail: bilidong@hhu.edu.cn

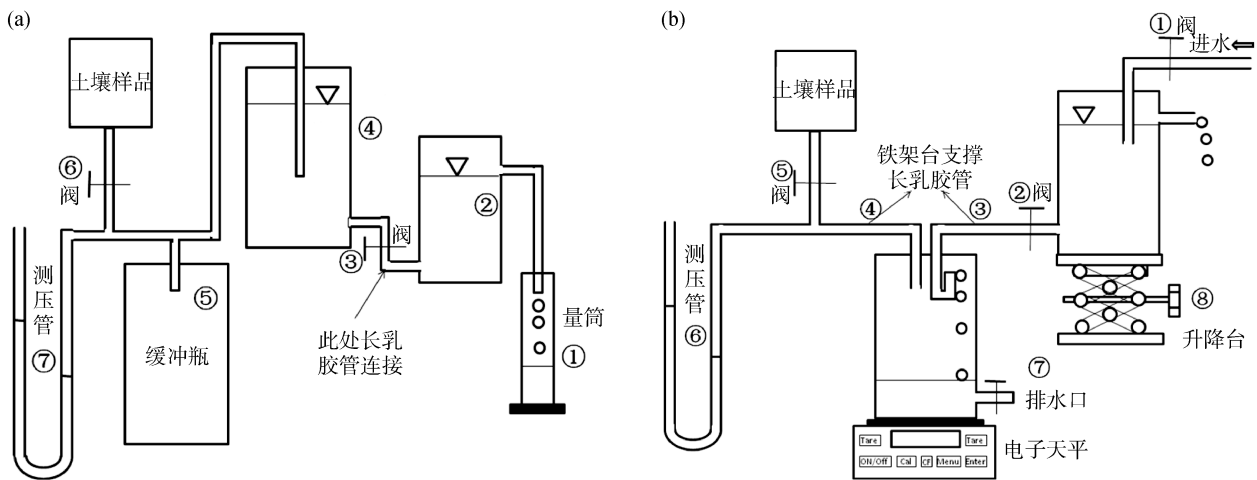


图 1 土壤透气速率常压测定方法(a)和改进后方法(b)装置示意图

Fig. 1 Sketch of the traditional(a) and improved(b) equipment for measuring soil gas permeability

1.2.4 供试土壤 土壤样品为红壤性水稻土，采自江西省红壤研究所(28°21'N, 116°10'E)化肥长期定位试验地。试验处理选择无肥对照(CK)、全量氮磷钾(NPK)以及有机无机配施(NPKOM)3 个处理。水稻收获后用 100 cm³ 环刀采集耕作层原状土壤带回室内用沙盘(-30 cm 水头)平衡 24 h 后测定，每个试验处理采样重复 9 次，每个样品分别采用传统方法和改进后的方法测定 5 次。土壤性质及试验区详细信息参考相关研究报道^[9-10]。

2 试验结果

表 1 结果表明，同一肥料处理采用传统方法和改进后的方法测定结果相近，但同一样品采用改进后的方法重复测定结果间变异较小。同一样品采用传统方法测定结果的变异系数在 2.2%~7.5% 之间，而采

用改进后的方法变异系数在 0.5%~2.3% 之间。与无肥对照(CK)处理相比，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(NPK)对土壤透气性无显著影响。以上结果都较好地反映了实际情况。

3 讨论与结论

与土壤水分渗透过程相比，土壤透气过程更加复杂，原因在于气体的可压缩性以及气体透过土壤孔隙时的克林肯勃格效应^[11]。传统常压测定法(图 1a)在整个测定过程中均需要不断调节瓶 水位高度以维持恒压状态，这不仅加大了试验操作的难度，同时还会因为气体的可压缩性导致对 处水位调节存在明显的滞后作用，降低测定精度。改进后的装置(图 1b)在整个测定过程中均保持静止，多个样品连续测定时

表 1 红壤性水稻土耕作层土壤透气速率(cm/s)
Table 1 Gas permeability of paddy soil in cultivated horizon

样品编号	CK		NPK		NPKOM	
	传统方法	改进方法	传统方法	改进方法	传统方法	改进方法
1	1.36 ± 0.04	1.37 ± 0.01	1.57 ± 0.07	1.54 ± 0.03	1.96 ± 0.09	1.96 ± 0.04
2	1.46 ± 0.03	1.45 ± 0.02	1.36 ± 0.06	1.34 ± 0.02	2.21 ± 0.08	2.21 ± 0.04
3	1.51 ± 0.06	1.51 ± 0.01	1.43 ± 0.08	1.46 ± 0.03	2.68 ± 0.07	2.71 ± 0.03
4	1.96 ± 0.05	1.97 ± 0.02	2.24 ± 0.08	2.21 ± 0.05	2.20 ± 0.10	2.14 ± 0.03
5	3.31 ± 0.12	3.38 ± 0.04	1.08 ± 0.08	1.10 ± 0.02	4.17 ± 0.18	4.12 ± 0.08
6	1.14 ± 0.06	1.14 ± 0.01	1.86 ± 0.07	1.89 ± 0.04	2.52 ± 0.06	2.55 ± 0.05
7	1.41 ± 0.06	1.43 ± 0.03	2.08 ± 0.10	2.22 ± 0.03	2.45 ± 0.10	2.46 ± 0.05
8	1.31 ± 0.06	1.31 ± 0.01	1.77 ± 0.06	1.78 ± 0.04	2.50 ± 0.08	2.45 ± 0.04
9	0.98 ± 0.05	0.99 ± 0.01	1.99 ± 0.10	1.99 ± 0.05	3.12 ± 0.09	3.14 ± 0.03
平均	1.60 b	1.62 b	1.71 b	1.72 b	2.64 a	2.64 a

注：透气速率测定样品高 5.1 cm，底面直径 5.0 cm，压力水头 10 cm。“±”后为同一样品 5 次测定值的标准方差，“平均”行中不同小写字母表示均值在 P<0.05 水平差异显著。

仅需打开 处开关排出气室内多余水分。而透气过程是否达到平稳亦可通过观测单位时间内电子天平读数的增量判断。电子天平通常预留有数据接口,简单连接计算机后就可以实现动态采集数据^[12],减少人为读数所导致的误差。试验研究中长期有机无机肥配施(NPKOM)对土壤通透性的改良主要是由于其土壤体积质量降低和土壤孔隙率增加,而单施化肥处理(NPK)对土壤体积质量及孔隙率的影响相对较小(数据未列)。

因此,本研究设计的装置既克服了传统常压测定法实验操作难、精度相对较低的问题,同时又具备测定速度快和装备简单易行的优点。试验研究结果佐证该测定方法切实可行。

参考文献:

- [1] Hillel D. Environmental Soil Physics[M]. San Diego, USA: Academic Press, 1998
- [2] Schjønning P, Thomsena IK, Møberg JP, Jongea H, Kristensenc K, Christensena BT. Turnover of organic matter in differently textured soils: I. Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils[J]. Geoderma, 1999, 89(3/4): 177-198
- [3] Dane JH, Topp GC. Methods of Soil Analysis-Part 4, Physical Methods[M]. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America Inc, 1996
- [4] Carter MR. Soil Sampling and Methods of Analysis[M]. Florida, USA: CRC Press, 1993
- [5] 周传槐译. Green RD 等. 土壤透气性田间测定法[J]. 土壤学进展, 1980(4): 41-49
- [6] 依艳丽. 土壤物理研究方法[M]. 北京: 北京大学出版社, 2009
- [7] 姚允斌, 解涛, 高英敏. 物理化学手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985
- [8] 程守洙, 江之永. 普通物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982
- [9] Li JT, Zhang B. Paddy soil stability and mechanical properties as affected by long-term application of chemical fertilizer and animal manure in Subtropical China[J]. Pedosphere, 2007, 17(5): 568-579
- [10] 黄欠如, 胡锋, 袁颖红, 刘满强, 李辉信. 长期施肥对红壤性水稻土团聚体特征的影响[J]. 土壤, 2007, 39(4): 608-613
- [11] Arthur AL, Hult MF. Evaluation of unsaturated zone air permeability through pneumatic tests[J]. Water Resources Research, 1991, 27(10): 2 065-2 617
- [12] 刘志海, 高洪阁, 鲁青. 电子天平数据的计算机网络化采集与处理[J]. 计算机与数字工程, 2008, 36(8): 162-165

A Simple Method for Soil Gas Permeability Measurement and Its Application

BI Li-dong^{1,2}, ZHAO Qi^{1,2}, LIU Kai-lou³

(1 Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China, Ministry of Education, Nanjing 210098, China; 2 College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3 Jiangxi Institute of Red Soil, Nanchang 330046, China)

Abstract: New equipment was built to measure the soil gas permeability, compared with the traditional recommended method, the accuracy of the measurement was significantly improved as gas flow was managed to be constant in the new method. A case study showed that long-term application of organic amendments not only increased soil porosity, but improved soil gas permeability.

Key words: Soil gas permeability, Darcy's law, Red paddy soil, Porous medium