

一种简易的土壤呼吸速率原位测定方法

胡智勇, 陈孝杨, 陈敏, 刘本乐, 邢雅珍, 张凌霄

(安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: [目的] 结合传统静态气室密闭法的优缺点, 探索一种简易静态气室土壤呼吸速率测定方法。[方法] 针对传统静态气室密闭法测量过程中需补充密闭气室同体积被抽取出的气体样本、仪器设备成本比较高等缺点, 设计出本测量方法所需要测量装置。装置主要由静态密闭气室底座、静态密闭气室(桶)以及泵吸式 CO₂ 浓度检测仪组成。试验按照给定的实施步骤在野外进行, 并以碱液吸收法测量值为标准验证了该方法测量结果的有效性。[结果] 该方法不仅克服了传统静态气室密闭法测量过程中的缺点, 且测量结果准确, 成本低廉, 操作更为简捷。[结论] 可以运用于各种野外环境条件下的土壤呼吸速率原位测定。

关键词: 土壤呼吸速率; 静态密闭气室法; 碱液吸收法; 原位测定

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2018)02-0258-04

中图分类号: S718.5

文献参数: 胡智勇, 陈孝杨, 陈敏, 等. 一种简易的土壤呼吸速率原位测定方法[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2):258-261. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.042. Hu Zhiyong, Chen Xiaoyang, Chen Min, et al. A simple method of in-situ measuring soil respiration rate[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2):258-261.

A Simple Method of In-situ Measuring Soil Respiration Rate

HU Zhiyong, CHEN Xiaoyang, CHEN Min, LIU Benle, XING Yazhen, ZHANG Lingxiao

(School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China)

Abstract: [Objective] A simple closed air chamber method that was expected to overcome the disadvantages of traditional method, was proposed to measure soil respiration rate statically. [Methods] To solve the shortcoming of the traditional static and closed air chamber method, such as refill process of the same volume of gas sample that was taken out and the higher cost of equipment, this measurement method was designed. The apparatus consists of three parts, including a base that was used to set the static closed chamber, a barrel shaped body of static closed chamber and a suction pump detector CO₂ concentration of. According to the specific implementation steps, the test was carried out in the field, and compared with the measured value of the alkali absorption method, validity of this method was verified. [Results] The test results showed that this method not only can overcome the shortcomings in measurement process of traditional static closed chamber method, but also is accurate, low-cost, and easy to use. [Conclusion] This method can be applied to various field conditions in soil respiration rate measurement in situ.

Keywords: soil respiration rate; static closed chamber method; alkali absorption method; in-situ measurement

土壤呼吸(soil respiration)是指土壤中生物和植物地下部分产生二氧化碳的过程, 严格意义上讲是指土壤中产生二氧化碳的所有代谢作用, 包括 3 个生物学过程(即土壤微生物呼吸、根系呼吸、土壤动物呼吸)和一个非生物学过程(含碳矿物质的化学氧化作用)^[1-2], 其呼吸速率是表征土壤质量和土壤养分的重要

指标之一, 也是土壤生物活性及其物质代谢强度的判断依据^[3-4], 因此, 土壤呼吸速率的准确测量至关重要。随着专家学者们对土壤呼吸的研究不断加深, 对土壤呼吸速率测定的精密性、可靠性以及经济实用性也提出了更高的要求。所以, 有必要对土壤呼吸速率测量方法进行进一步研究, 降低测量过程的费用并提

收稿日期: 2017-09-19

修回日期: 2017-11-06

资助项目: 国家自然科学基金项目“煤矸石充填重构土壤气热梯度的表土呼吸响应机理及环境意义”(41572333), “基于黄铁矿氧化的煤矸石充填复垦土壤 CO₂ 运移机理”(51274013); 安徽理工大学研究生创新基金项目“重构土壤植物根系呼吸研究方法及其影响因素”(2017CX2059)

第一作者: 胡智勇(1994—), 男(汉族), 安徽省霍邱县人, 硕士研究生, 研究方向为矿山生态环境修复研究。E-mail: 1115671775@qq.com。

通讯作者: 陈孝杨(1976—), 男(汉族), 安徽省肥西县人, 博士, 教授, 主要从事矿山生态环境修复与土地复垦研究。E-mail: chenxy@austr.edu.cn。

升测量结果的准确性及高效性。

现有的土壤呼吸速率测量方法主要包括静态箱碱液吸收法、密闭气室法及动态密闭气室法等^[5-7]。碱液吸收法简单方便,设备简单,测定费用低、便于野外测定,但由于其测定的精度不理想,与实际土壤呼吸速率存在差异,且易受多种因素影响(碱液用量、碱液吸收面积、碱液距地面高度等),限制了其在应用方面的推广;动态密闭气室法虽弥补了测量精度上的不足,但测定过程中对仪器要求苛刻且价格及其昂贵,同时必须有电力供应,使它在野外使用受到一定的限制^[8-9];由于静态密闭气室法测量原理先进、操作简便且精度高,并可连续进行监测,成为了目前使用最广泛的一种土壤呼吸速率测量方法,其核心思想是土壤排放的 CO₂ 被收集到静态密闭气室中,经过一定时间的积累后测量静态密闭气室中的 CO₂ 浓度变化量,再通过定量计算得到单位时间、单位面积内土壤呼吸速率^[10-11]。目前,静态密闭气室法依旧存有不足,一方面在测量过程中需要补充密闭气室同体积被抽取出得同体积气体样本,另一方面仪器设备成本比较高。

为解决这些问题,本方法结合静态密闭气室法的优缺点,提出了一种简易的静态密闭气室测量方法。基于此,本文阐述了该测量方法的原理,设计了实现该方法的系统装置,并在实地进行试验测量,对测量的误差进行分析,评估了该测量方法准确度,并对本测量方法的可行性及有效性进行了验证。

1 测量方法

1.1 测量原理

传统静态密闭气室法一般用针状连接器每隔一定时间抽取密闭气室内空气样品,使用气相色谱仪测定其中 CO₂ 的体积分数变化,从而计算得出土壤呼吸速率^[12]。不同于传统静态密闭气室法,本方法直接将泵吸式 CO₂ 浓度检测仪插入静态密闭气室中抽取空气样品测定其 CO₂ 的体积分数。密闭气室预留口径与泵吸式 CO₂ 浓度检测仪泵头直径必须保持一致,保证试验过程完全封闭,从而实现与传统静态密闭气室法一致的测量效果。

1.2 测量装置

为了实现上述测量原理并具有一定精度的测量方法,设计了测量装置。该系统由静态密闭气室底座,静态密闭气室(桶)和泵吸式 CO₂ 浓度检测仪组成。泵吸式 CO₂ 浓度检测仪内置微型采样泵及原装进口高精度二氧化碳浓度传感器,仪器可自动抽取气体样本实时检测其所含二氧化碳的体积分数。试验使用的泵吸式 CO₂ 浓度检测仪可在市场上购买,目前其精度可以达到 1 ppm,量程为 0~50 000 ppm;静

态密闭气室底座可专门定制,其环刀部位可直接插入被测土壤中,内外铁环焊接在一起形成水槽,密闭气室(定制体积一定的桶)可倒扣入水槽中(桶口径与水槽口径完全吻合);桶顶留有小孔,测量前用标签纸密封。

1.3 测量步骤

选定试验区域后切除表土植物,待被切除的植物根系呼吸稳定后将静态密闭气室底座环刀完全插入土壤内,静态密闭气室底座面积计为 S;而后将桶倒扣入底座上部水槽中,加水漫过桶边缘处(防止 CO₂ 在收集过程出现侧漏);收集土壤释放的 CO₂ 前首先测量静态密闭气室底座内的初始 CO₂ 体积分数,待收集完成后(1~2 h),将泵吸式 CO₂ 浓度检测仪插入桶内抽取气体样品测量收集后的 CO₂ 体积分数(确保插入过程中无气体泄漏);最后根据 CO₂ 体积分数的变化,通过公式(1)计算土壤呼吸速率。

$$F(\text{CO}_2) = \frac{\rho \cdot \Delta C \cdot V}{S \cdot \Delta t} \times \frac{273 + T}{273} \quad (1)$$

式中: ρ ——标准状态下 CO₂ 的密度; ΔC ——CO₂ 收集前后体积分数的变化; Δt ——采集时间。上述计算公式所得土壤呼吸速率单位为 mg/(m²·h),可通过单位换算转换成 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,或通过公式(2)计算土壤呼吸速率直接得出上述单位。

$$F(\text{CO}_2) = \frac{\Delta C \cdot V}{22.4 \cdot S \cdot \Delta t} \times \frac{273 + T}{273} \quad (2)$$

式中:22.4——标准大气压下气体摩尔体积(mol/L)

2 测量精度评估

测量方法是否可靠与测量结果是否准确密切相关。相对而言,静态箱碱液吸收法经济、操作简单,且在野外可进行多点重复土壤碳通量,因此,试验运用碱液吸收法验证本文所述方法测量结果的准确性,碱液吸收法工作原理及计算公式详见参考文献[13-14]。

2.1 试验布置

试验地点设在安徽理工大学校外农业用田,以碱液吸收法测量值作为标准来判定简易静态气室法测量结果是否准确。试验采用密闭静态气室为 PVC 圆桶,圆桶内直径 29.5 cm,高 30 cm,PVC 圆桶底座全部插入土壤中。碱液吸收法采用盛有 20 mL 浓度为 1 mol/L 的 NaOH 溶液的广口瓶吸收 2 h 后再取出 NaOH 溶液,用浓度为 1mol/L 的 HCL 标准溶液滴定至终点,计算土壤二氧化碳释放量。为了测量方便,试验场地选择表土植被稀疏区域,试验时间从 14:00 开始至次日 14:00 结束,共做 15 个对比测量,分别记录两种方法在不同时间段土壤呼吸速率,每次同时做 3 个对比,测量时段分别为 14:00—16:00,

17:00—19:00, 20:00—22:00, 9:00—11:00, 12:00—14:00, 每次对比保证两种测量方法同时进行。采用随机区组排列, 其测量装置的实物如图 1 所示。为了保证试验在实际测量中的精确性, 防止测量时间差异引起的误差, 试验准备 3 个滴定台和 3 台泵吸式 CO_2 浓度检测仪, 确保每次 3 个对比处理同时进行。



图 1 测量装置实物图

2.2 试验数据的整理

本次测量试验共设置 15 个对比, 为了便于观察测量结果是否准确。记录简易静态气室法测量值与碱液吸收法测量值, 然后计算两组数据方差及均方差, 并对两种方法测量数据作相关分析。经过上述处理后, 对碱液吸收法和简易静态气室法两组测量数据进行整理, 结果详见表 1—2, 图 2。

表 1 土壤呼吸速率测量结果 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

测量编号	碱液吸收法/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	简易静态气室法/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	0.030 4	0.063 8
2	0.039 3	0.037 6
3	0.016 0	0.020 4
4	0.018 1	0.018 2
5	0.017 2	0.019 3
6	0.037 5	0.021 7
7	0.034 8	0.034 0
8	0.035 7	0.037 3
9	0.042 8	0.039 9
10	0.050 0	0.062 3
11	0.059 8	0.034 3
12	0.049 1	0.028 7
13	0.065 0	0.089 6
14	0.035 3	0.063 0
15	0.035 7	0.029 4

表 2 土壤呼吸速率测量结果相关分析

误差分析	方差	均方根误差	相关性显著性水平
分析结果	0.001 01	0.001 01	0.020 16

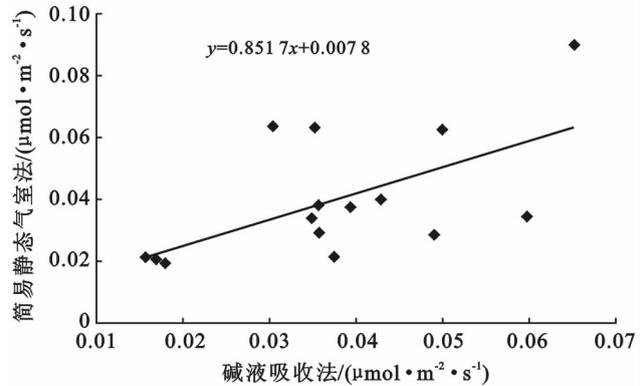


图 2 两种方法的拟合曲线

2.3 评估结果

表 1 整理出两种不同方法测量值结果及其差异, 在此基础上对数据进行相关分析(表 2), Significance F 值小于 0.05, 表示两组测量数据具有显著的相关性; 方差(SS)及均方差(MS)值均在 0.1% 左右。为了更为直观地观察两组数据的拟合程度, 用 Excel 对两组测量结果进行了方程拟合(图 4), 得到:

$$y = 0.8517x + 0.0078 \quad (3)$$

可知其方程斜率为 0.8517, 其与理想曲线 $y=x$ 的差值只有 14.83%, 且截距也仅仅只有 0.78%, 显示这种简易静态密闭气室法测量值与实际结果差距小, 可信度高。

通过对 15 组现场环境下的测量试验结果对比及数学分析, 这种简易静态密闭气室测量方法的有效性以及测量结果的准确性完全可以得到可靠客观地评估。这里需要特别指出, 表 2 中所显示的方差(SS)和均方根误差(RMS)数值并非仅仅是测量方法本身的误差, 还包括了测量布点、测量操作、测量装置等整个测量方法系统运行过程中所造成的总体误差。除此之外, 表 1 中土壤呼吸速率数据差值程度, 也有一部分因素在于测量方法的不同而产生这种误差。

3 讨论

土壤呼吸通量测量主要是利用固定体积仪器收集 CO_2 气体, 再通过红外分析仪或者气相色谱仪测定所收集的 CO_2 的量, 计算出 CO_2 的排放速率。然而, 现有的测量方法不是仪器价格昂贵就是测量数据准确度低, 而且许多精密的测量仪器还必须配备专业

操作人员或委托专业单位来进行,目前为止还没有一种经济实用的土壤呼吸速率测量方法。本方法成本低廉、经济实用、便于携带、适用于各种环境且测量精度相对较高,在实际研究试验区域内很容易被直接用于土壤呼吸的测量。

土壤呼吸速率实地测量会收到空间和土地类型的影响,实地测量前必须考察现场情况,根据场地选择和调整土壤呼吸测量方案,这就必须要求测量装置简单且测量结果精确,可以在1 h内或几十分钟时间内快速地实施,而且测量成本低。本文提出的测量方法就具备了这个优势。研究表明,在实地测量过程中,大可不必要一味地追求高精度,不同的土壤呼吸测量方法所得出的测量结果均有不同,甚至会差生较大的差异。因此,保证各测量结果与参考值相比差异小且显著性相关就完全能够满足土壤呼吸速率的测量要求。试验数据显示本方法的完全满足土壤呼吸速率的测量。

此外,本方法在实地测量过程中在不同时间序列可进行连续监测,但无法完成区域土壤呼吸的瞬间测量,另外土壤所释放的二氧化碳在密闭气室的不均匀性也可能影响测量的准确性,在测量过程中需要耗费人力,因此新的方法仍然存在缺陷,这些问题在日后都需要更好的解决方法。

4 结论

本文结合传统静态密闭气室测量方法的特点,提出了一种简易的静态密闭气室测量方法,以泵吸式CO₂浓度检测仪为基础,设计出实现本测量方法的系统测量装置,在此基础上详细介绍其主要实施步骤。通过现场条件下的试验验证,本测量方法测量结果与真值(碱液吸收法测量值)之间显著性超过95%,拟合方程相关系数为0.8517,方差(SS)及均方根误差(RMSE)值都仅仅在0.1%左右。整个测量过程及结果显示,本方法完全能满足现有国内土壤呼吸速率测量的需求,理论上能适用于各种土壤、环境类型,在传统静态密闭气室测量法的基础上同时

也实现了操作简捷、低成本要求,具有重要的科学意义和实用价值。

[参 考 文 献]

- [1] 孙旭生,高丽,王铁娟,等. 土壤水分和温度对库布齐沙地土壤呼吸的影响[J]. 中国科技论文在线,2010.
- [2] Singh J S. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems[J]. Botanical Review, 1977, 43(4):449-528.
- [3] Liebig M A, Doran J W, Gardner J G. Evaluation of a field test kit for measuring select soil quality indication[J]. Agronomy Journal, 1996,88(4):683-686.
- [4] 范艳春. 三峡库区两种森林土壤微生物呼吸与土壤酶特性研究[D]. 湖北 武汉:华中农业大学,2012.
- [5] 闫美杰,时伟宇,杜盛. 土壤呼吸测定方法述评与展望[J]. 水土保持研究,2010,17(6):148-152.
- [6] 苏永红,冯起,朱高峰,等. 土壤呼吸与测定方法研究进展[J]. 中国沙漠,2008,28(1):57-65.
- [7] 栾军伟,向成华,骆宗诗,等. 森林土壤呼吸研究进展[J]. 应用生态报,2006,17(12):2451-2456.
- [8] Harrison R. Measuring soil respiration in the field: An automated closed chamber system compared with portable IRGA and alkali absorption methods[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 2002, 33(3/4):403-423.
- [9] 陈宝玉,王洪君,杨建,等. 土壤呼吸组分区及其测定方法[J]. 东北林业大学学报,2009,37(1):96-99.
- [10] 魏书精,罗碧珍,魏书威,等. 森林生态系统土壤呼吸测定方法研究进展[J]. 生态环境学报,2014,23(3):504-514.
- [11] Gupta S R, Singh J S. Soil respiration in a tropical grassland[J]. Soil Biology&Biochemistry, 1981, 13(4):261-268.
- [12] 赵宁伟,郝春花,李建华,等. 土壤呼吸研究进展及其测定方法概述[J]. 山西农业科学,2011,39(1):91-94.
- [13] 王芳. 覆土厚度对矿区重构土壤呼吸特征的影响研究:以淮南潘集矿区为例[D]. 安徽 合肥:安徽理工大学,2017.
- [14] 陈孝杨,王芳,严家平,等. 覆土厚度对矿区复垦土壤呼吸昼夜变化的影响[J]. 中国矿业大学学报,2016,45(1):163-169.