LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统及其应用

赵广东[1]　王　兵[1]　杨　晶[2]　张志坚[2]

(1 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,北京 100091; 2 基因有限公司农业环境科学部, 北京 100035)

摘要　在介绍土壤呼吸测量方法的基础上,介绍了最新 LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统的组成、主要特点、测量原理、典型的测量过程、数据输出等。实验结果表明:LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统,具有测量精确、自动化程度高、可进行长期的野外测量和可重复的短期测量、测量室内部的扰乱最小化、在周围 CO_2 浓度或接近周围 CO_2 浓度下进行测量等特点,在全球碳循环的研究中必将具有广泛的应用前景。

关键词　LI-8100　开路　土壤碳通量　测量系统

引言

土壤呼吸是指土壤释放 CO_2 的过程,主要是由生物氧化有机物和根系呼吸产生,另有极少部分是由土壤动物和化学氧化释放。地面碳积累是陆地生态系统结构和功能综合作用的产物,全球陆地土壤的碳库量约为 1300～2000 Pg(C),是全球陆地植被碳库 500～600 Pg(C)的 2～3 倍和大气碳库 750 Pg(C)的 2 倍多[1],因此在全球碳素收支平衡中具有极为重要的地位。通过土壤呼吸作用向大气释放 CO_2 的过程是导致全球气候变化的关键性生态学过程,已经成为全球碳循环研究中备受关注的核心问题[2],而且土壤呼吸是目前国内外已经建立的森林长期监测 CO_2 通量网站的重要研究对象[3]。美国 LI-COR 公司的 6400-09 土壤呼吸室在土壤碳循环研究中被广泛应用[4~10],已经成为研究土壤碳通量的首选仪器之一。2004 年 5 月,在 6400-09 土壤呼吸室的基础上,美国 LI-COR 公司研发成功了最新 LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统(以下简称 LI-8100)。目前国内学者对 LI-8100 的了解还不够深入,而且国内目前尚未检索到 LI-8100 的应用文章,但 LI-8100 具有其它土壤碳通量测量仪器所无法比拟的优点,本文在介绍土壤呼吸的不同测量方法的基础上,对 LI-8100 的系统组成、主要特点、测量原理、典型的测量过程、数据输出等方面进行说明,以期使 LI-8100 成为今后国内土壤碳通量研究的重要工具之一,提高土壤碳通量观测数据的准确性和可比性。

1　土壤呼吸的测量方法

1.1　间接测量方法

间接方法是通过测定其它相关指标来推算土壤呼吸速率,这种方法需要建立所测指标(土壤总的新陈代谢、温度和水分、腺苷(ATP)含量等)与土壤间的定量关系,而这种关系一般只适用于特定的生态系统。因此这种方法的应用具有较大的时空局限性,并且测定结果难以和其它方法的测定结果进行比较。

1.2　直接测量方法

直接测定土壤呼吸的方法基本可分为静态气室法、动态气室法和微气象法 3 种,其中静态气室法包括静态碱液吸收法和静态密闭气室法。

1.2.1　静态气室法

静态法是以土壤排放的 CO_2,经过一定时间的积累进入到收集容器,再对容器内的 CO_2 进行定量计算,由此得到单位时间内土壤释放的 CO_2 量。

静态碱液吸收法:有些研究者用碱液(NaOH 或者 KOH 溶液),也有研究者用固体碱粒研究森林、

国家林业局森林生态环境重点实验室基金项目资助

作者简介:赵广东,男,1974 年生,博士,助理研究员,主要从事生态系统观测与植物生理生态学研究, Email:zhaogd@forestry.ac.cn

收稿日期:2005 年 2 月 28 日;定稿日期:2005 年 4 月 15 日

草原和农田生态系统的土壤呼吸。碱液吸收法的优点是操作简便,不需要复杂的设备,利于进行多次重复测定,但碱液吸收法测定的精度不理想。

密闭气室法:密闭气室法包括气相色谱法和红外 CO_2 分析法两种。密闭气室法所需的仪器设备费用相对比较高。

1.2.2 动态气室法

动态气室法通常包括动态密闭气室法和开放气流红外 CO_2 分析法。由于动态法比静态法更能准确的测定土壤排放 CO_2 的真实值,因此它更适合于测定瞬间和整段时间的 CO_2 排放速率,但空气流通速率和测量室内外的压力差对测定结果有负面影响。由于这种方法所需设备费用昂贵,同时必须有电力供应,故其在野外的使用受到了一定的限制。

1.2.3 微气象法

涡度相关法是依据微气象学原理测定地表气体排放通量。一般在允许植物的冠层高度范围内,涡度相关法测定 CO_2 排放不受生态系统类型的限制,特别适合测定大尺度内土壤 CO_2 排放,同时对土壤系统几乎不造成干扰。但涡度相关法要求土壤表面的异质性和地形条件要相对简单,其测定土壤 CO_2 排放的准确度很大程度上受大气、土壤表面和仪器设备的影响。

2 LI-8100 的组成

LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统由主机,短期测量室和长期测量室组成,详见图 1。

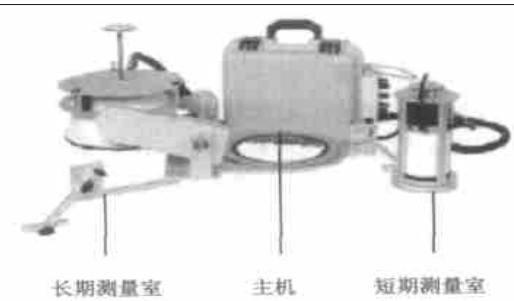

图 1 LI-8100 土壤碳通量测量系统

2.1 主机

LI-8100 的核心部分是主机。主机被完全密封并且不受天气条件影响,包括系统的电子设备和红外气体分析仪(IRGA)。LI-8100 的红外气体分析仪是一个绝对的、非扩散的、单光路、双波长的检测系统,用于检测测量室中 CO_2 浓度和 H_2O 的变化。LI-8100 光路的压力补偿和温度调节使量程和零点的漂移最小化。当需要时,用户可以自行拆除并清洗光路,而且不需要返回厂家重新校正。

密封的辅助传感器界面与主机相连接。在传感器界面上可以连接用户选配的传感器或电源。辅助传感器界面最多可连接 4 个热电偶,其中 3 个为输入电压通道,另一个则为土壤含水量通道。所有传感器的输入均成为用户测量数据的一部分,从而实现土壤碳通量、土壤温度和土壤湿度的同步测量。

LI-8100 具备无线保真(Wi-Fi)的功能,因此可与 PDA(Personal Digital Assistant)等手持式装置进行无线通讯。

2.2 测量室

2.2.1 短期测量室

当主机与短期测量室连接时,LI-8100 能够在多个位置快速测量土壤碳通量,实现空间变异性较大条件下土壤碳通量的准确测量。

在测量时,短期测量室独特的压力/真空空气流量系统扩张,同时风箱升高,降低了土壤圈上部的测量室空间。这种新颖的叶室设计使测量室内的微环境波动最小化,提高了测量结果的准确性和重复性,同时在测量过程中不再使用化学过滤器。

2.2.2 长期测量室

当主机与长期测量室连接时,LI-8100 能够在同一位置,长期测量土壤碳通量的日变化。长期测量室的设计独特,使其对自然土壤条件的影响最小化,从而保证了测量数据的可靠性。

3 LI-8100 的主要特点

LI-8100 开路式土壤碳通量系统具有如下 10 个主要特点:

①测量精确、自动化程度高;②可进行连续、长期的野外测量;③可进行快速、可重复的短期测量;④开路式土壤通量测量;⑤测量室内部的扰乱最小化;⑥在周围 CO_2 浓度或接近周围 CO_2 浓度下进行测量;⑦独特的通风口保证了测量室内外的压力平衡,防止了因通风口而引起的 CO_2 泄漏[11];⑧特有的进气口设计可使测量室中的气体完全混合;⑨测量室的材料和覆盖物使温度对测量结果的影响最小化;⑩测量时空气流量的稳定性高、一致性强、波动性低。

4　LI-8100 的测量原理

LI-8100 利用测量室内 CO_2 浓度的增加速率推算测量室外土壤 CO_2 扩散到空气中的速度。为了保证推算结果的正确,测量室内外的浓度梯度、气压、土壤温湿度应该相似。测量室内外的土壤表层与空气间的 CO_2 浓度梯度并不完全一样,这个问题可以通过估算测量室关闭后 CO_2 浓度增加的原初速率来解决。

测量室能够改变土壤 CO_2 浓度的梯度,从而导致 CO_2 流量估算的误差[12]。LI-COR 公司建议测量时间应该限制在 0.5 ~ 3 min 之间,以保证测量室中 CO_2 浓度变化尽可能小。

在推算土壤碳通量时利用的模型、公式和方程在 LI-8100 使用手册中有详细介绍,限于篇幅,本文不再赘述。

5　LI-8100 的典型测量过程

因为土壤空间的变异性和环境条件随时间的多变性,测量土壤碳通量时必须要进行大量取样。LI-8100 能够快速进行土壤碳通量的重复测量。图 2 为 LI-8100 的 1 次测量的 3 次重复。

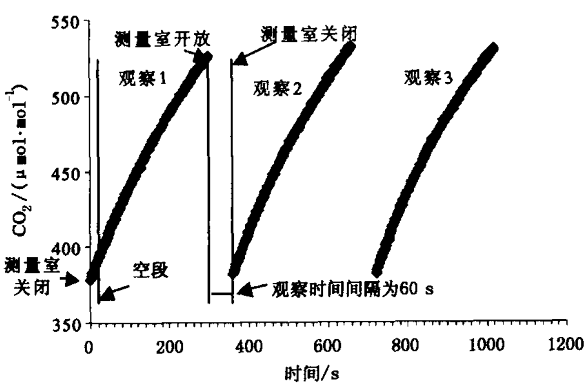

图 2　LI-8100 的 1 次测量 3 次重复

(1) 在进行测量前的恰当时间,将测定基座(Soil Collars) 插入多个要测量的位置,以进行多个重复性测量并防止测量时对土壤的干扰。

(2) 启动 LI-8100 软件,以定义测量时的各种参数,主要包括每个测量中观察的数量、每一个观察循环的持续时间、观察中收集数据的频率(最大为 1 Hz)、两个观察之间的间隔时间。

(3) 输入测定基座高出土壤表面的距离。

(4) 输入测量标记和观察的数量。

(5) 开始进行测量。

短期测量室或长期测量室将自动关闭,LI-8100 主机将开始记录测量数据。观察结束后,测量室打开,LI-8100 主机开始进行数据计算。土壤碳通量在空气 CO_2 浓度下计算获得,空气 CO_2 浓度由最初的几个 CO_2 数据点估计得到。

6　数据输出

利用 LI-8100 的应用软件可以将测量数据输出到计算机上。LI-8100 软件包括设定仪器、校正仪器、收集数据和数据作图的所有功能。通过与串行电缆或无线 PC 卡连接,计算机可以运行 LI-8100 的应用软件。另外,利用 Palm OS,也可以实现对 LI-8100 应用软件的操作。

利用 LI-COR 提供的数据处理软件,用户可以进一步检查野外收集的土壤碳通量数据或对实验数据进行重新计算。

7　结束语

本文在介绍土壤呼吸不同测量方法的基础上,对 LI-8100 的系统组成、主要特点、测量原理、典型的测量过程、数据输出等方面进行说明。

LI-8100 具有土壤碳通量观测数据准确和可比的优点。作为研究土壤碳通量的一种重要手段,LI-8100 开路式土壤 CO_2 通量测量系统在今后全球碳循环的研究中必将具有广泛的应用前景。

参考文献

1　汪业勖,赵士洞,牛栋. 陆地土壤碳循环的研究动态. 生态学杂志,1995, 18(5):29 - 35

2　崔骁勇,陈佐忠,陈四清. 草地土壤呼吸研究进展. 生态学报, 2001,21(2):316 - 325

3　Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle. Biogeochemistry,2000, 48:7 - 20

4　Luo Y, Wan S, Hui D, et al. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. Nature,2001, 413:622 - 625

5　Craine J M, Wedin D A, Reich P B. The response of soil CO_2 flux to changes in atmospheric CO_2, nitrogen supply and plant diversity. Global Change Biology,2001, 7:947 - 953

6　Craine J M, Wedin D A. Determinants of growing season soil flux in a Minnesota grassland. Biogeochemistry,2002, 59:303 - 313

7　Parsons A N, Barrett J E, Wall D H, et al. Soil carbon dioxide flux in Antarctic dry valley ecosystems. Ecosystems, 2004,7:286 - 295

8 Yukihiro Yazaki, Shigeru Mariko, Hiroshi Koizumi. Carbon dynamics and budget in a Miscanthus sinensis grassland in Japan. Ecological Research, 2004, 19: 511 - 520

9 崔骁勇,刘世荣,赵广东. 甘肃民勤绿洲 - 流沙过渡带植物群落光合和呼吸特征的比较研究(英文). 林业科学, 2003, 39(3): 6 - 14

10 杨晶,黄建辉,詹学明,等. 农牧交错区不同植物群落土壤呼吸的日动态观测与测定方法比较. 植物生态学报, 2004, 28(3): 318 - 325

11 McDermitt D, Xu L, Furtaw M, et al. On equalizing pressure in a soil respiration chamber with pressure in the ambient air under windy conditions. Geophysical Research Abstracts, 2005, 7: 05841

12 Healy R W, Striegl R G, Russell T F, et al. Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: Identification of physical process. Soil Science Society of America Journal, 1996, 60: 740 - 747

LI-8100 Automated Soil CO_2 Flux System and Its Application

Zhao Guangdong[1] Wang Bing[1] Yangjing[2] Zhang Zhijian[2]

(1 Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091;
2 Division of Agriculture and Environment, Gene Company Limited, Beijing 100035)

Abstract: Based on the soil respiration measurement methods, an introduction was made to the components, main characteristics, measurement principles, a typical measurement process and data output of the LI-8100 Automated Soil CO_2 Flux System. The LI-8100 has the flowing characteristics: high measuring precision; automated, continuous, unattended long-term measurements; fast, convenient, repeatable survey measurements; open path soil CO_2 flux measurements; designed to minimize perturbations within the chamber during measurements; measurements made at or near ambient CO_2 concentrations. The LI-8100 will play an important role in the researches on global carbon cycling.

Key words: LI-8100, open path, soil carbon flux, measuring system