

土壤呼吸、农田 CO₂ 排放及 NEE 的比较研究

胡立峰, 王宝芝, 李洪文*

中国农业大学工学院, 北京 100083

摘要: 在农田温室效应研究中存在着对土壤呼吸、农田 CO₂ 排放及 NEE 界定不明确、混淆概念的现象。利用箱法在一年两熟及一年一熟区对三者进行了原位测定, 结果表明, 一年两熟区冬小麦 (*Triticum aestivum* L.) 拔节孕穗期土壤呼吸占农田 CO₂ 排放的 20% 左右, 作物呼吸排放在此期是主要的 CO₂ 排放源, 由于光合作用固定 CO₂ 速率高于呼吸作用排放 CO₂ 的速率, NEE 平均值为 -319.88 mg·m⁻²·h⁻¹, 农田表现为大气 CO₂ 的汇; 在一年一熟的农牧交错区, 土壤呼吸、农田 CO₂ 排放通量均明显低于一年两熟农田, NEE 平均值为 142 mg·m⁻²·h⁻¹, 表现为大气 CO₂ 的源。本研究通过对土壤呼吸、农田 CO₂ 排放及 NEE 的比较, 指出通过技术方法的改进, NEE 是今后的研究方向。

关键词: 静态箱; 土壤呼吸; CO₂ 排放; NEE

中图分类号: X142

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 02-0578-04

农田是陆地生态系统与大气圈碳素交换的重要场所, 一方面, 绿色植物通过光合作用固定大气中的 CO₂, 表现为汇; 另一方面, 农田通过土壤呼吸向大气释放 CO₂, 表现为源。据估计, 大气中 30% 的 CO₂ 来源于农业活动和土地利用方式的转变等过程。深入研究农田生态系统与大气 CO₂ 净交换通量的变化规律及其动态变化, 对于评估农业生态系统碳排放及其对大气中含 C 温室气体浓度变化的贡献, 具有重大意义。

目前, 静态箱法对土壤呼吸及农田 CO₂ 排放的研究较多, 但将二者进行对比研究以及它们与 NEE (net ecosystem exchange CO₂ 净交换) 相互关系的研究尚不多见。土壤呼吸是指包括土壤动物、土壤微生物以及植物根系在内的土壤释放二氧化碳的过程; 农田 CO₂ 排放是土壤呼吸与作物呼吸等所有向大气释放 CO₂ 的过程; NEE 为生态系统 CO₂ 净交换, 是经农田 CO₂ 排放 (土壤呼吸与植物呼吸) 与 CO₂ 固定 (植物光合作用) 之后农田与大气之间的 CO₂ 通量。在进行该类研究中, 静态箱或置于作物行间^[1-2]或剪去作物地上部分^[3]之后安置于农田, 这种方法的测定结果显然没有包含作物呼吸排放, 在结果中往往以农田土壤 CO₂ 排放通量表测定值, 实际上测定结果均为土壤呼吸, 容易造成农田 CO₂ 排放的误解; NEE 是直接对大气 CO₂ 浓度产生影响的指标, 但由于缺乏直接观测 CO₂ 地气交换的成熟方法^[4], 此类研究报道较少。本研究以北方一年两熟及一年一熟农田为背景, 利用静态箱/红外 CO₂ 分析仪法进行了土壤呼吸, 农田 CO₂ 排放及

NEE 的对比观测, 分析三者差异的原因以及相互之间的关系, 以期为我国北方典型农田生态系统碳通量及土壤-植物系统 CO₂ 排放量的研究提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

一年两熟区对比试验在北京大兴与河北曲周进行, 一年一熟农田 CO₂ 排放试验在内蒙古农牧交错区进行。

(1) 北京市大兴区中国农业大学保护性耕作试验站 (116°E, 39°N), 年平均气温 10~12 °C, 气候为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候, 年平均降水量 516.4 mm, 土壤发育于永定河的冲积平原上, 地势平坦, 质地偏沙, 土壤本底有机质含量较低, 保水保肥性较差, 土壤整体肥力水平较低。种植模式以小麦 (*Triticum aestivum* L.) - 玉米 (*Zea mays* L.) 一年两熟为主。

(2) 河北省曲周县 (114°E, 36°N), 位于河北省邯郸地区的东北部, 属华北冲积平原区, 气候属暖温带、半湿润、大陆性季风气候区。年平均气温 13.2 °C, 年平均降水量 556 mm, 盐渍土区经过多年的综合治理, 土壤养分得到提高, 有机质含量较高, 土壤肥力达中等水平。种植模式以小麦 - 玉米一年两熟为主。

(3) 农牧交错区一年一熟农田温室气体排放试验选择在内蒙古自治区武川县 (110°E 31°N) 农机试验站进行, 属中温带大陆性季风气候, 年平均气温 2.5 °C, 年平均降水量为 360.4 mm, 土壤为栗钙土, 质地偏砂, 易受侵蚀。有机质含量较低。试验地

基金项目: 农业部 948 项目 (2004-Q1); 农业部重点项目

作者简介: 胡立峰 (1972 年生), 男, 博士, 研究方向为农田生态。E-mail: hlf@cau.edu.cn

*通讯作者: 李洪文, 教授, 山东理工大学“泰山学者”, 特聘教授。E-mail: lhwen@cau.edu.cn

收稿日期: 2009-02-13

农田栽培作物为莠麦 (*Avena nuda* L.)。

1.2 研究方法

静态箱-红外 CO₂ 分析仪法测定。测定仪器为 GXH-3010E1 便携式红外线 CO₂ 分析仪, 试验前用 CO₂ 标准气对仪器进行了严格的标定和预试验。静态箱用有机玻璃制成, 分遮光和透光两种, 箱体 30 cm×30 cm×60 cm。试验前在各小区分别安装静态箱底座, 底座入土 5 cm, 除测定土壤呼吸的底座外, 其余底座内均含生长小麦。测定土壤呼吸及 NEE 的为透光静态箱, 测定农田 CO₂ 排放的为遮光静态箱。

一年两熟区选择在 5 月份冬小麦拔节-孕穗期间进行试验, 一年一熟区选择在 9 月初莠麦孕穗-抽穗期进行试验。这两个时段分别为冬小麦和莠麦生长旺盛期, 易于观测到三者之间的差异。取样时间为上午 09:00-11:00 之间, 每一指标测定 3 次重复, 扣箱时间为 8 min, 对分析仪进行采样时间、待机时间和采样次数的设定分别为 20 s、60 s 和 6 次。取样时静态箱垂直安放在底座凹槽内并用水密封, 保证箱内气体与大气不进行气体交换。采样之前将箱内顶部风扇打开, 使箱内气体混合均匀。静态箱与红外线 CO₂ 分析仪联接现场直接测定。

2 结果与分析

2.1 一年两熟区的比较研究

由表 1 可以看出, 土壤呼吸值显著低于与农田 CO₂ 排放值, 仅是农田 CO₂ 排放的 20% 左右, 说明此期农田作物呼吸强烈, 占全部农田 CO₂ 排放的 80%。本试验条件下所获得的土壤呼吸值在 500 这是由于小麦拔节孕穗期叶面积达到最大, 生命活动旺盛, 作物呼吸是与生命活动密切相关的生理指标。土壤呼吸只是农田 CO₂ 的一部分来源, 在作物呼吸作用强烈时, 土壤呼吸只占农田 CO₂ 排放很小的比例, 但是在作物生命过程处于较弱的阶段或休闲期, 农田 CO₂ 排放将主要甚至全部来自土壤呼吸。

NEE 测定值两地均为负值, 与段晓男等^[5]研究结果一致。虽然作物有强烈的呼吸作用, 排放大量的 CO₂, 并且土壤呼吸也维持在较高水平, 但作物的光合作用消耗大量的 CO₂, 并且, 在作物生长季,

土壤排放的 CO₂ 不及所覆盖植被净光合作用同化 CO₂ 的 1/3^[6], 由本试验可知, 在静态箱密闭时间内, 光合作用消耗掉土壤呼吸及作物呼吸排放的 CO₂, 同时还要消耗箱内原有的 CO₂, 因此, 箱内 CO₂ 浓度逐渐降低。此期, 农田表现为大气 CO₂ 的汇。

2.2 一年一熟区的比较研究

测定结果见图 1, 测定期土壤呼吸、农田 CO₂ 排放、NEE 平均值分别为 118.24 mg·m⁻²·h⁻¹, 393.51 mg·m⁻²·h⁻¹, 176.55 mg·m⁻²·h⁻¹。由图 1 可知, 农田 CO₂ 排放随土壤呼吸的增加而增加, 这符合土壤呼吸是农田 CO₂ 排放构成部分的事实; NEE 与土壤呼吸的变化规律并不一致, 以 9 月 1 日与 9 月 2 日的观测值为例, 土壤呼吸为 170 mg·m⁻²·h⁻¹ 时, NEE 为 215 mg·m⁻²·h⁻¹, 当土壤呼吸为 172 mg·m⁻²·h⁻¹ 时, NEE 测定值反而降低为 142 mg·m⁻²·h⁻¹, 可见, 土壤呼吸对 NEE 的影响不存在必然关系。

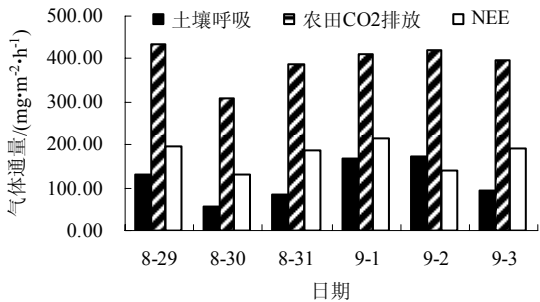


图 1 内蒙农牧交错区一年一熟农田土壤呼吸、农田 CO₂ 排放及 NEE 比较

Fig. 1 compare of soil respiration, CO₂ emission and NEE at agro-pastoral regions

一年一熟区土壤呼吸在农田 CO₂ 排放中的比例占 30% 以上, 高于一年两熟区结果; NEE 测定值与一年两熟区也有完全相反的结果, 一年一熟区的 NEE 为正值, 这说明测定期农田 CO₂ 排放通量超出作物光合作用所需, 农田向大气排放 CO₂, 是大气 CO₂ 的源。分析原因认为, 农牧交错区温度低、降雨少, 长期广种薄收, 这些自然和社会因素均造成了该区农田土壤肥力处于较低的水平, 贫瘠的土壤也影响了作物的生长发育, 群体结构不良, 光合作用弱。

3 结论与讨论

3.1 土壤呼吸与农田 CO₂ 排放之间的关系

通过对三地土壤呼吸与农田 CO₂ 排放的观测表明, 农田 CO₂ 排放通量均显著高于土壤呼吸值, 其中, 一年两熟区土壤呼吸占农田 CO₂ 排放来源的 20% 左右, 一年一熟区占 30% 以上。这是由于农田 CO₂ 排放来自作物呼吸和土壤呼吸两部分, 除农田休闲或作物成熟期不进行呼吸作用外, 农田 CO₂ 排放必然高于土壤呼吸; 一年两熟区较一年一熟区有

表 1 一年两熟区土壤呼吸、农田 CO₂ 排放及 NEE 比较

Table 1 compare of soil respiration, CO₂ emission and NEE at double cropping area mg·m⁻²·h⁻¹

测试项目	河北曲周	北京大兴
土壤呼吸	531.09 ^A	486.64 ^A
农田 CO ₂ 排放	2 567.58 ^B	2 448.36 ^B
NEE	-256.65 ^C	-383.1 ^C

注: 肩字母相同表示差异不显著, 肩字母不同表示差异显著, 小写字母表示 5% 显著水平, 大写字母表示 1% 极显著水平。

较好的光、温、水等作物生长的自然环境,表现在较高的土地生产力,作物的光合作用和呼吸作用也强烈。

3.2 NEE 与农田 CO₂ 排放

农田 CO₂ 是包括土壤呼吸在内的土壤、作物向大气释放 CO₂ 的过程,由于作物光合作用同化大量的 CO₂,而农田 CO₂ 排放是以暗箱测得的土壤-作物系统 CO₂ 排放,包括了土壤表观呼吸和作物呼吸^[7],并未将光合固定 CO₂ 的过程计算在内,因此,其值并不能反映农田在温室气体 CO₂ 上的源汇关系,而 NEE 则定量表达了 CO₂ 在生物圈和大气圈之间的交换,本研究使用了透光与遮光静态箱分别进行农田 CO₂ 排放及 NEE 的测定,结果表明一年两熟区农田 CO₂ 排放数值较高,但 NEE 结果为负值,表明农田具有碳汇的功能;一年一熟区农田 CO₂ 排放虽然远低于一年两熟区,但 NEE 测定结果为正,表明该区农田为大气 CO₂ 的源。

3.3 NEE 测定方法的讨论

采用涡度法进行 NEE 的研究是较为理想的方法,也有利用此技术进行了试验研究^[8-9],但涡度相关技术要求足够面积的均匀下垫面以及适宜的湍流交换,且仪器设备昂贵,因而该方法的普及应用受到很大的限制。静态暗箱-气象色谱法估算 NEE 的理论基础为 $NEE = RH$ (土壤异养呼吸) - NPP (净初级生产力)^[10],利用暗箱法直接测定农田 CO₂ 排放与涡度相关法的结果具有较好的一致性^[11],但利用暗箱法测定 NEE 操作困难,工作量大,除测定 RH 外,还需对 NPP 进行动态观测。本研究采用的是透光箱对 NEE 进行的观测,段晓男等^[5]也已利用此方法对内蒙古河套地区春小麦农田 NEE 进行了研究,证明此方法在测定 NEE 上的可行性。

透光箱测定 NEE 固然具有很多缺点,比如,罩箱后箱内 CO₂ 浓度增加对气压的影响,箱内温度升高对光合作用和呼吸作用的影响,箱体材料的透光率等,但透光箱测定 NEE 原理简单,操作方便,可以通过控制罩箱时间,改善箱体透光率等技术措施,提高透光箱测定 NEE 的精度。在提高箱式法观测精度的同时,由于箱式法不能连续观测,并且仍然存在人工操作费时的问题,因此,有必要开发高频率、多通道、全自动、对观测对象扰动小的连续观测系统,并且国内已经对研发的自动通量箱进行了实证研究,结果表明系统稳定,数据可靠^[12]。

3.4 展望

目前,国内已经进行了包括水田、旱田、一熟、两熟、三熟等多类型农田土壤呼吸的研究,但关于农田 CO₂ 排放及 NEE 研究积累较少,随着相关技术方法的开发应用,此类研究是今后发展方向,减

少农田 CO₂ 排放和实现农田 C 汇功能的技术措施也将成为热点研究领域。

参考文献:

- [1] 李琳,张海林,陈阜,等.不同耕作措施下冬小麦生长季农田二氧化碳排放通量及其与土壤温度的关系[J].应用生态学报,2007,18(2):2765-2770.
LI Lin, ZHANG Hailin, CHEN Fu, et al. CO₂ flux and its correlation with soil temperature in winter wheat growth season under different tillage measures[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(2): 2765-2770.
- [2] 董玉红,欧阳竹,李鹏.长期定位施肥对农田土壤温室气体排放的影响[J].土壤通报,2007,38(1):97-100.
DONG Yuhong, OUYANG Zhu, LI Peng. Influence of long-term fertilization on greenhouse gas fluxes from agricultural soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(1): 97-100.
- [3] 张国明,郭李萍,史培军,等.农田生态系统冬小麦夏玉米轮作 CO₂ 排放特征研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2007,43(4):457-460.
ZHANG Guoming, GUO Liping, SHI Peijun, et al. A study of the characteristics of CO₂ emission of winter-wheat and summer-corn in the ecological system of upland soil[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2007, 43(4): 457-460.
- [4] 郑循华,徐仲均,王跃思,等.开放式空气 CO₂ 浓度增高影响稻田大气 CO₂ 净交换的静态暗箱法观测研究[J].应用生态学报,2002,13(10):1240-1244.
ZHENG Xunhua, XU Zhongjun, WANG Yuesi, et al. Determination of net exchange of CO₂ between paddy fields and atmosphere with static opaque-chamber-based measurements[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(10): 1240-1244.
- [5] 段晓男,王效科,冯兆忠,等.内蒙古河套灌区春小麦苗期生态系统 CO₂ 通量变化研究[J].环境科学学报,2005,25(2):166-171.
DUAN Xiaonan, WANG Xiaoke, FENG Zhaozhong, et al. Study of net ecosystem exchange for seedling stage of spring wheat ecosystem in Hetao Irrigation District, Inner Mongolia[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(2): 166-171.
- [6] 刘允芬.青藏高原农田土壤 CO₂ 排放研究初报[J].自然资源学报,1998,13(2):181-186.
LIU Yunfen. A tentative study of CO₂ emission from farmland soil in Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 1998, 13(2):181-186.
- [7] 孙文娟,黄耀,陈书涛,等.稻麦作物呼吸作用与植株氮含量、生物量和温度的定量关系[J].生态学报,2005,25(5):1152-1158.
SUN Wenjuan, HUANG Yao, CHEN Shutao, et al. Quantitative relationship of wheat and rice respiration with tissue nitrogen, biomass and temperature[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(5): 1152-1158.
- [8] 张法伟,李英年,李红琴,等.青藏高原3种主要植被类型的表观量子效率和最大光合速率的比较[J].草地学报,2007,15(5):442-448.
ZHANG Fawei, LI Yingnian, LI Hongqin, et al. The comparative study of the apparent quantum yield and maximum photosynthesis rates of 3 typical vegetation types on Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Acta Agrestia Sinica, 2007, 15(5): 442-448.
- [9] SHI PEILI, SUN XIAOMIN, XU LINGLING, et al. Net ecosystem

- CO₂ exchange and controlling factors in a steppe-Kobresia meadow on the Tibetan plateau[J]. Science in China Series D, 2006, 49(Supp II): 207-218.
- [10] 郝庆菊, 王跃思, 宋长春, 等. 三江平原农田生态系统 CO₂ 收支研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1556-1560.
- HAO Qingju, WANG Yuesi, SONG Changchun, et al. CO₂ Budget in Agro-ecosystems in the Sanjiang Plain[J]. Journal of Agro- Environment Science, 2007, 26(4): 1556-1560.
- [11] 郑泽梅, 于贵瑞, 孙晓梅, 等. 涡度相关法和静态箱/气相色谱法在生态系统呼吸观测中的比较[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 290-298.
- ZHENG Zemei, YU Guirui, SUN Xiaomei, et al. Comparison of eddy covariance and static chamber/gas chromatogram methods in measuring ecosystem respiration[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(2): 290-298.
- [12] 张红星, 王效科, 冯宗炜, 等. 用于测定陆地生态系统与大气间 CO₂ 交换通量的多通道全自动通量箱系统[J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1273-1282.
- ZHANG Hongxing, WANG Xiaoke, FENG Zongwei, et al. Multi-channel automated chamber system for continuously monitoring CO₂ exchange between agro-ecosystem or soil and the atmosphere[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(4): 1273-1282.

The comparative study of the soil respiration, CO₂ emission and NEE from the farmland in the north of China.

Hu Lifeng, Wang Baozhi, Li Hongwen

College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

Abstract: The study of greenhouse effect has received wide attention, however, there are still confusion and misunderstanding in the concepts of soil respiration, CO₂ emission and NEE in farmland greenhouse effect research. This study used static chamber method in double cropping and one crop per-year areas. The results show that soil respiration accounted for 20% of the total CO₂ emission at the jointing stage and booting stage of winter wheat (*Triticum aestivum* L.), while crop respiration was the main CO₂ emission source. Because the photosynthetic fixation rate of CO₂ was higher than its emission rate, the mean value of NEE was about -319.88 mg·m⁻²·h⁻¹, so the farmland was the CO₂ sink of the atmosphere. Whereas, in the agro-pastoral regions, both the soil respiration and the CO₂ emission flux from farmland were obviously lower than the double cropping area, with the mean value of NEE being about 142 mg·m⁻²·h⁻¹, acting as CO₂ source. Through comparison of soil respiration, CO₂ emission and NEE, this paper points out that the main research direction of greenhouse gas emission is NEE in the future.

Key words: static chamber; soil respiration; CO₂ emission; NEE