

农田土壤二氧化碳释放问题的研究*

杜宝华 杨 平 仝乘风

(中国农业科学院农业气象研究所·北京·100081)

摘 要 根据作物冠层内碳循环和 CO₂源、汇及流的关系,利用大田试验结果,分析农田土壤 CO₂释放引起作物冠层内 CO₂浓度的垂直梯度变化,以及环境温度、湿度及作物根系呼吸等因素对 CO₂释放量的影响。

关键词 农田土壤 CO₂释放 梯度变化 环境因子

The Study of CO₂ Releasing from the Soil in Agro-economical System

Du Baohua Yang Ping Tong Chengfeng

(Institute of Agrometeorology, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing, 100081)

Abstract On base of the relation between the element carbon circle and the source, sink, flow of the carbon dioxide, using the results of trial in the field, analyses the variation of CO₂ concentration in the canopy causing by the CO₂ releasing from the soil, and also analyses the effect of environmental temperature, humidity and plant root respiration on the quantity of CO₂ releasing from soil.

Key words soil in field CO₂ releasing variable gradient enviroment factor

在农田,作物群体的生长发育需要通过湍流交换不断从大气和土壤中得到 CO₂,以满足其光合作用物质生产的需要,尤其在密植作物群体内部,因受空间条件的限制,常出现植株间 CO₂大量消耗,浓度降低,产生供需矛盾。为此,研究作物—土壤—大气间 CO₂源、汇、流的动态变化,探索改善农田 CO₂环境的途径十分必要。通常 CO₂农作物与大气间起着源、汇交替的调节作用;而土壤表面则是永久的源。1964年 Monteith 曾提出作物由土壤提供的 CO₂相当于光合作用消耗总量的20%左右,阴天比例更大些^[1]。日本户刘义次认为:土壤 CO₂释放与作物光合作用关系的问题,特别在旱地条件下更不容忽视^[2]。

土壤 CO₂释放通常又称作“土壤呼吸”。由于土壤中有机的分解,微生物的活动及作物根系的呼吸作用,放出大量 CO₂气体,可使其中 CO₂浓度升高到3 000mg/kg,约是大气中的10~50倍。土气间的浓度差形成了 CO₂释放。近年来国内外学者作了许多研究,在测试方法、通量计算及排

① 收稿日期:1995—09—10 * 本项目研究得到国家自然科学基金的资助。

放强度、影响因子等方面取得了有意义的结果^[4~7]。为进一步了解土壤 CO₂参与农田系统的碳循环过程和提高 CO₂释放量在农业生产中的作用,本文对农田 CO₂释放状况与一些有关环境条件的影响,进行初步分析。

1 土壤 CO₂释放与农田 CO₂浓度分布

研究表明,土壤 CO_2 释放量有明显的季节变化和日变化,白天在茂密的作物冠层内,由于群体光合作用,环境 CO_2 被消耗,使之浓度降低。在接近大气的作物层上部,可以借助于风力大气湍流交换作用,得到 CO_2 的补充,但很难达到群体内部,原因是植株间阻力大,湍流交换受到限制。这种情况下,土壤释放出 CO_2 ,向上输送给作物中下层叶片光合作用需求,显得很重要。作者1993年冬小麦灌浆期试验结果是:图1,5月27日8:00~12:00的5条 CO_2 浓度廓线呈“C”型,在距地表50cm,即约1/2株高处 CO_2 浓度最低,约340~370mg/kg;90cm作物冠顶约355~380mg/kg;地表约370~400mg/kg。表1看出,07:00~19:00时地表比10cm处 CO_2 浓度平均值高28.7mg/kg,可见梯度很大。夜间,由于作物本身的暗呼吸加强和大气的层结稳定逆温状态,冠层内部 CO_2 浓度明显升高,使其近地表梯度变化比白天小,土壤释放值也相对小一些^[8]。

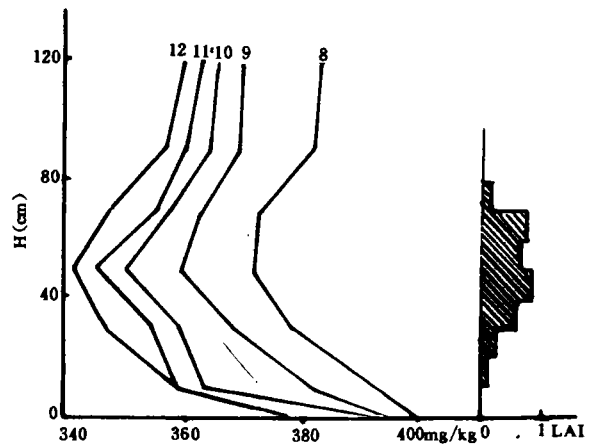


图1 麦田 CO₂浓度垂直分布

表1 近地表 CO₂浓度(mg/kg, 1993. 5. 27小麦灌浆期)

| 时 间 | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|
| H(cm) | 07:00 | 07:30 | 08:00 | 08:30 | 09:00 | 09:30 | 10:00 |
| 0 cm | 419.5 | 412.4 | 399.2 | 405.8 | 443.0 | 418.0 | 392.2 |
| 10 cm | 396.4 | 392.3 | 378.5 | 400.8 | 368.9 | 370.7 | 359.9 |
| Δ | 23.1 | 20.1 | 20.7 | 5.0 | 74.1 | 47.3 | 32.3 |
| 时 间 | | | | | | | |
| H(cm) | 10:30 | 11:00 | 11:30 | 12:00 | 12:30 | 13:00 | 13:30 |
| 0 cm | 398.8 | 376.6 | 373.2 | 378.9 | 370.9 | 379.2 | 387.6 |
| 10 cm | 337.1 | 354.9 | 353.6 | 346.7 | 354.3 | 360.7 | 360.0 |
| Δ | 41.7 | 18.7 | 19.6 | 32.2 | 16.6 | 18.5 | 27.6 |
| 时 间 | | | | | | | |
| H(cm) | 14:00 | 14:30 | 15:00 | 15:30 | 16:00 | 16:30 | 17:00 |
| 0 cm | 390.8 | 383.6 | 384.9 | 384.6 | 383.9 | 375.6 | 389.6 |
| 10 cm | 358.7 | 357.0 | 355.7 | 349.6 | 347.6 | 348.0 | 389.6 |
| Δ | 32.1 | 26.6 | 29.2 | 35.2 | 36.3 | 27.6 | 34.7 |
| 时 间 | | | | | | | |
| H(cm) | 17:30 | 18:00 | 18:30 | 19:00 | 19:30 | | |
| 0 cm | 388.1 | 385.9 | 392.1 | 391.8 | 397.9 | | |
| 10 cm | 358.6 | 361.1 | 366.0 | 370.3 | 371.7 | | |
| Δ | 29.5 | 24.8 | 26.0 | 21.5 | 26.2 | $\Delta x = 28.7$ | |

上述农田土壤 CO_2 释放特征在作物群体中普遍存在,尤其是密植作物。因此,研究充分利用滞留在作物冠层底部的高 CO_2 浓度资源和提高土壤 CO_2 释放强度,解决农田碳循环中心供需矛盾,改善整个作物群体的 CO_2 环境,是提高农田生产力的一个有意义的课题。

2 影响农田 CO_2 释放量的因子

农田土壤 CO_2 释放受各种环境条件的综合影响,使目前的测试结果数值变化比较大,主要因子有(1)作物的根量及根活性;(2)土壤中有机质含量;(3)土壤微生物及其活性;(4)土壤的温度、湿度、酸度及土壤结构通气状况等。本文仅对作物根系呼吸及土壤温、湿度等环境条件进行分析。

2.1 作物的根系呼吸

植物的根系是土壤呼吸的主要参与者,其根量与根的活性决定其呼吸强弱和排出 CO_2 的数量。有资料表明:根系及其紧密相联的微生物群落排出的 CO_2 相当土壤释放总量的20%~50% (Jonene, 1974和 Dejong Daul, 1979)^[3]。作物各生育期根代谢活动不同,农田土壤 CO_2 释放量变化很大。表2列出1983年冬小麦各生育期的试验结果。在有些生育期里,由于群体光合速率高,植株代谢与根呼吸旺盛,土壤 CO_2 释放量比较大;小麦生长后期则因根衰老,土壤 CO_2 释放量明显减少。

表2 冬小麦田间土壤 CO_2 释放量(1993年)

| 项目 | D | P | T_s | T_D |
|-----|---|--|--------------------|--------------------|
| 生育期 | $\text{CO}_2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ | $\text{CO}_2 \text{ g}/(\text{cm}_2 \cdot \text{h})$ | $^{\circ}\text{C}$ | $^{\circ}\text{C}$ |
| 拔节 | 15.36 | 3.41 | | 15.0 |
| 孕穗 | 21.76 | 8.29 | 25.9 | 17.9 |
| 开花 | 11.40 | 5.97 | 23.7 | 20.6 |
| 灌浆 | 23.20 | 8.38 | 34.0 | 22.7 |
| 乳熟 | 2.88 | 2.72 | 30.6 | 23.6 |

D:土壤呼吸速率;P:群体光合速率; T_s :10cm土温; T_D :气温。

2.2 土壤温度的影响

环境温度的升高,可以提高作物根系呼吸,加速土壤中有机质的分解和微生物活性,从而增加了土壤中 CO_2 浓度及向地表的扩散速率,温度对 CO_2 释放量的影响是通过多种途径起间接作用的。国外许多学者曾利用周年的季节温度变化,长期观测得出一些定量关系。C. L. Kucera 等在1968~1970年草原连续观测得到土壤 CO_2 释放随温度升高呈指数增加的关系:^[7]

$$\ln y = a + b \ln(T + 10)$$

式中: y ——土壤 CO_2 释放; a ——常数; b ——温度系数(10~30 $^{\circ}\text{C}$ 时取1.6~2.3); T ——土壤温度($^{\circ}\text{C}$)。

Monteith 经历长时间观测发现:在冬季因低温,土壤 CO_2 释放量约1.5g/($\text{cm}^2 \cdot \text{d}$),初春后逐渐增加,当土温升到最高的8月, CO_2 释放量为7.0g/($\text{cm}^2 \cdot \text{d}$)^[2]。农田 CO_2 释放有明显的日变幅,主要是气温变化的作用。例如:冬小麦春季生长中,白天作物冠层内近地表气温比夜间高10 $^{\circ}\text{C}$ 以上;而夜间作物暗呼吸又使冠层内 CO_2 浓度较白天高几十至上百 mg/kg,相对减小了地表 CO_2 浓度梯度及其扩散速率。生物与环境间的关系密切而复杂,用一般的状态模型描述尚不能反应出规律的本质,因此需进一步进行综合性研究。

2.3 土壤湿度的影响

一般测到的土壤中 CO_2 ,主要指团粒结构大孔隙间的浓度,受土壤含水量的影响。因为 CO_2

在水中能被离子化,溶解度高,约为每升 0.9cm^3 (O_2 约 0.031cm^3)^[3],一般土壤湿度越大, CO_2 浓度越高。当淹水时,其浓度可达 $1\sim 3$ 万 mg/kg 。Dejong 等人提供的资料表明:土壤中 CO_2 浓度最高的深度接近蓄水最多的地方,地表以下 $35\sim 60\text{cm}$ 处浓度梯度最大,这与植被生长发育中根系结构的变化有关系。Birch 试验得出:在黑土地区,土壤含水量为 $22\%\sim 27\%$ (即最大田间持水量 70% 以上)时, CO_2 释放量最高;当土壤水分长期低于 11% 时,土壤呼吸会停止^[7]。

表3 草地生长期 CO_2 浓度(Dejong et al. 1974)

| 土深 cm | $\text{CO}_2(\text{mg/kg}\times 10^2)$ | | | | | |
|----------|--|-----|-----|----|----|-------|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10(月) |
| 15 | 15 | 109 | 161 | 33 | 10 | 3 |
| 30 | 12 | 41 | 123 | 73 | 9 | 4 |
| 45 | 10 | 14 | 40 | 92 | 6 | 4 |
| 90 | 10 | 13 | 30 | 23 | 14 | 33 |
| 150 | 7 | 18 | 24 | 30 | 38 | 29 |

农业上的水肥管理及耕作栽培方式,直接影响农田土壤 CO_2 释放量。一般培肥土壤和调节农田小气候的措施,都有增加土壤 CO_2 释放和改善农田 CO_2 供应的作用。例如:适当施用有机肥,控制合理的作物群体结构以及喷灌、秸秆覆盖等等。

3 结 语

综上所述,土壤 CO_2 释放是农田碳循环中一个重要组成部分,在参与作物冠层源、汇、流的动态平衡中起着重要作用。近年来,国外对此作了大量研究工作,但由于涉及到农田系统中作物群落、生态环境及土壤生化等多个领域,不是哪一学科可以独立研究深透的。尤其需要自然环境多因子条件下的同步监测与人工模拟条件下的试验相结合。为了进一步探明土壤 CO_2 释放在农田系统碳循环中的作用和对农业生产力的贡献,建立以作物群体为尺度的综合模式十分必要。为此,今后应进行更广泛学科间的协作,在相互交叉渗透中取得深入进展。

参考文献

- 1 N. J. Rosenberg. 农业气候资源译丛. 北京:农业出版社,1981,P148~156
- 2 户刘义次. 作物的光合作用与物质生产. 北京:科学出版社,1979,P241~242
- 3 Edgar R Lemon. CO_2 and plants. 1983,P67~79
- 4 郑洪元,张德生. 土壤动态生物化学研究法. 北京:科学出版社,1982,P 1~25
- 5 F. S. Nakayama et al. Soil Carbon Dioxide Distribution and Flux within the Open-top chamber. *Agronomy. J.*, 1988 Vol. 80.P 394~398
- 6 E. T. Kanemasu et al. Field chamber Measurements of CO_2 Flux from Soil Surface. *Soil Science*, 1974, Vol 118, No 4,P233~237
- 7 C. L. Kucera et al. Soil Respiration Studies in Tallgrass Prairie in Missoui. *Ecology*, 1971, Vol 52, No5, P 912~915
- 8 杜宝华等. 农田土壤 CO_2 释放量的测定. 农业气象, 1985, No 2, P63~64