

南方稻田生态系统产量形成期 CO₂通量的研究

曾凯¹,王尚明¹,张崇华¹,胡逢喜¹,张清霞¹,居为民²

(¹江西省农业气象试验站,南昌 330200;²南京大学国际地球系统科学研究所,南京 210093)

摘要:通过稻田生态系统3年CO₂通量的日内变化、逐日变化趋势、CO₂通量水平与产量高低的分析,以了解稻田生态系统产量形成期CO₂通量特征、对产量的影响。将稻田CO₂通量与光合有效辐射、气温进行回归分析,以掌握两者对水稻CO₂同化消耗的影响。结果显示,水稻抽穗期、齐穗-乳熟CO₂通量日变化呈较深“U”型,乳熟-成熟“U”型较浅;产量形成期白天CO₂通量的逐日均值呈“√”型;抽穗期、齐穗-乳熟水稻处生长旺盛阶段,其白天CO₂通量水平与产量高低基本一致;水稻对CO₂的同化吸收与光合有效辐射、气温有极显著相关关系;南方稻作区对CO₂的同化消耗强于三江平原等稻作区。

关键词:稻田;CO₂通量;产量;光合有效辐射;气温

中图分类号:P404 文献标识码:A 论文编号:2009-0741

Study on CO₂ Flux during the Yield Formation Stage in a Southern Paddy Rice Ecosystem

Zeng Kai¹, Wang Shangming¹, Zhang Chonghua¹, Hu Fengxi¹, Zhang Qingxia¹, Ju Weimin²

(¹Agro-meteorological Experiment Station of Jiangxi Province, Nanchang Jiangxi 330200;

²International Institute for Earth System Science of Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093)

Abstract: Based on 3-year measurements of CO₂ flux and yield taken in a paddy rice field in the suburb area of Nanchang, diurnal characteristics and temporal trend of daily CO₂ flux during the yield formation stage were analyzed to identify the major futures of CO₂ flux and to investigate the relationship between CO₂ flux and yield. The response of CO₂ flux to photosynthetically active radiation and temperature was also studied through regressive analysis. CO₂ flux shows "U" shape diurnal patterns during the period of heading and the period from full heading to milky maturity. The diurnal amplitude of CO₂ flux is larger during the heading period. The average of day-time CO₂ flux demonstrates a "√" shape temporal trend during the yield formation period. Day-time CO₂ flux is generally consistent with yield during the period of heading and the period from full heading to milky maturity. Assimilation of CO₂ by rice is significantly correlated with photosynthetically active radiation and temperature. The uptake of CO₂ by rice is stronger in southern paddy rice field than in Sanjiang plain.

Key words: paddy rice, CO₂ flux, yield, photosynthetically active radiation, temperature

0 引言

涡度相关法逐渐成为国内外农田及森林CO₂通量研究的重要研究方法^[1-2]。目前,稻田CO₂通量的研究已涉及日变化、发育期CO₂通量、净固定量、源汇关系^[3-6],以及CO₂浓度、感热潜热、动量通量与气象要素研究等^[3,4,7]。在数据插补上,有使用线性插值、或相邻日同时段数据

替代,亦有使用与气象要素拟合方程插补^[2,8]的方法。目前的研究,一般为1年^[3-8]的一季稻观测,分析多为随作物生长发育的横向比较^[3-8],未见稻田生态系统各发育期CO₂通量的多年纵向比较研究。偶有CO₂通量积累与生长发育进程生物量积累有关的报道^[5-6],未见不同年份产量与CO₂通量水平关系的分析。

基金项目:国家自然科学基金项目(40871240/D011004)、中国气象局生态监测站建设试点项目、南昌市气象防灾减灾技术研发基金项目(200611)资助。

第一作者简介:曾凯,男,1964年出生,江西南昌人,高级工程师,从事农田生态与农业气象研究工作。通信地址:330200 江西省南昌县莲良路39号, Tel: 0791-5702556, E-mail: cowin18@163.com

通讯作者:居为民,男,1963年出生,教授、博士生导师,从事国际地球系统科学研究。通信地址:210093 南京市汉口路22号, E-mail: juweimin@nju.edu.cn。

收稿日期:2009-04-09, **修回日期:**2009-04-20。

此研究通过稻田生态系统CO₂通量与生物量3年的连续观测,主要采用纵向比较方法,研究水稻生殖生长期各阶段CO₂通量的特征,以及生殖生长全程CO₂通量变化趋势,CO₂通量水平与产量的关系、CO₂通量与光合有效辐射、气温的关系,比较南方稻田CO₂通量与其他区域的差异。为更全面了解南方稻田生态系统的CO₂通量规律、丰富研究视角,为寻求提高水稻产量途径提供数据支撑都有现实意义。

1 材料与方法

稻田CO₂通量观测于2006—2008年每年6月晚稻播种至10月收获,试验安排在中国气象局南方稻田生态监测站,位于南昌敷林农田保护区(28°33'N, 115°58'E),下垫面为66 hm²平坦开阔双季水稻田^[9],附近无阻挡物。

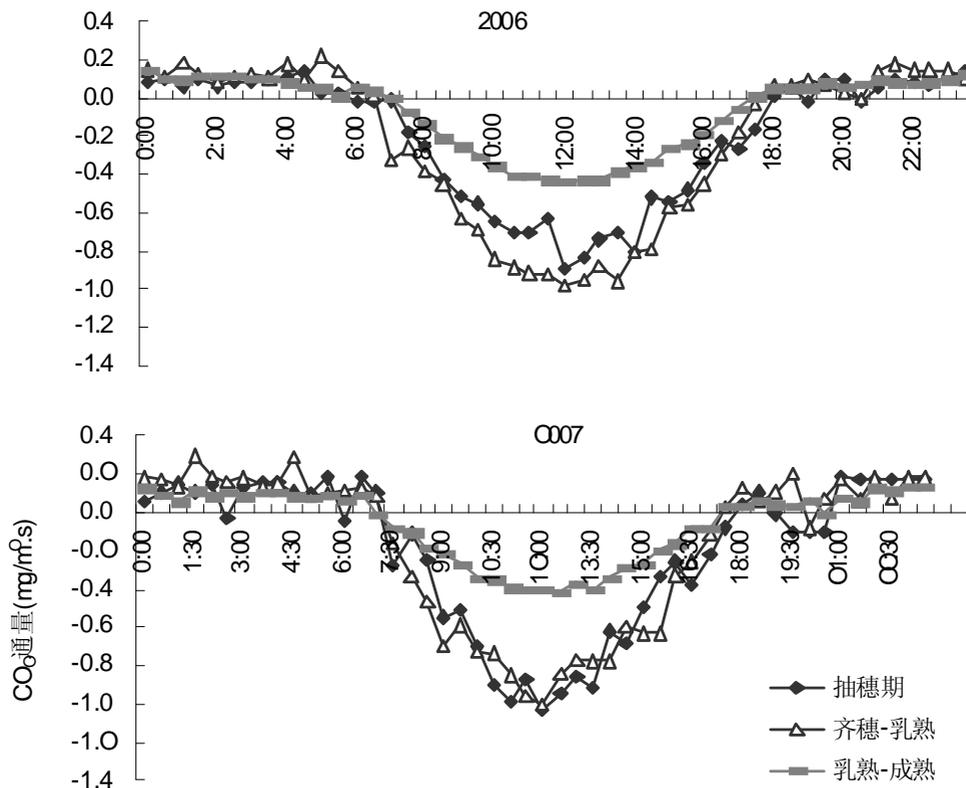
CO₂通量观测采用北京华创公司COWS800型涡度相关设备,其中CSAT3三维风速仪、Li7500开路气体分析仪、HMP45D温湿度传感器为美国Li-Cor公司产品,安装高度3m,探头朝向为盛行风向,采样频率10Hz,数据采集器内设软件在线计算出0.5 h的CO₂通量等数据。CO₂通量正、负值分别表示生态系统向大气释放CO₂、生态系统从大气吸收利用CO₂。光合有效辐射使用安装于同一田块的小气候梯度设备1.5m数据,包括整点和日均数据。所有数据通过无线发送由室内电脑适时接收。对CO₂通量数据进

行逐个审查,纠正对象为:夜间连续正值后出现负值,白天连续负值后出现正值,超出邻值平均的1倍^[8],超出前后相邻日极值的50%。纠正方法为:线性插值,或相邻日同时间值代替。剔除4个失真较大的雨日样本。3年观测作物品种分别为丰香8号、926、926,开展发育期、叶面积、干物质重量、收获后考种观测。土壤为沙壤土,土壤肥力中上,3年田间管理基本相同。

2 结果与分析

2.1 稻田CO₂通量日变化

图1分别为2006、2007、2008年南昌农田保护区双季晚稻抽穗期、齐穗-乳熟、乳熟-成熟的稻田CO₂通量日变化曲线。2007、2008年稻田CO₂通量平均在7:00左右由正值转向负值,至17:30左右由负值转为正值(2006年的平均负值范围在6:30~18:00),显示该段时间近地层CO₂向下输送,被作物光合吸收利用。CO₂通量负极值平均出现在11:30~12:00,与长江三角洲、三江平原的极值时间^[4,8]基本相同。2008年抽穗期白天平均极值达-1.27mg/m²·s,与长江三角洲测值^[4]相近,而三江平原测值^[8]仅为-0.7mg/m²·s左右,反映三江平原水稻CO₂同化消耗低于南方及靠近区域。较大正值主要出现在夜间21:00~4:30(2008年为20:00~2:30),期间下垫面向大气释放CO₂较大。夜间稻田是CO₂的源,白天是CO₂的汇,总体上是CO₂汇。



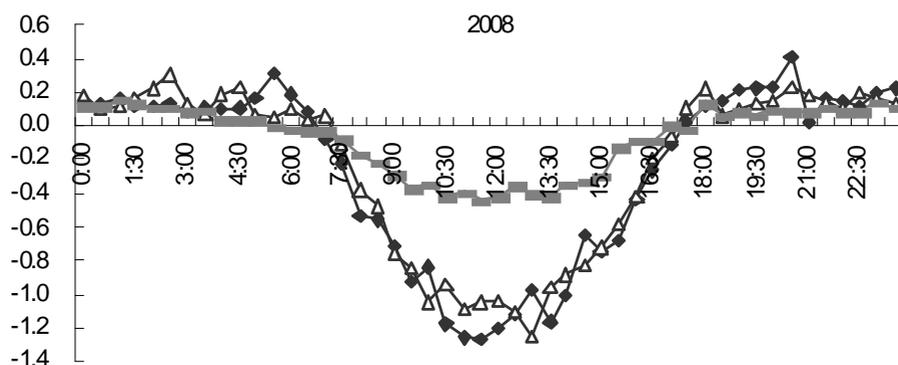


图1 3年抽穗期、齐穗-乳熟、乳熟-成熟 CO₂通量日变化

由图1可知,3年抽穗期与齐穗~乳熟的CO₂通量日变化总体上非常相近,曲线接近重叠,许多研究认为仅抽穗期消耗CO₂最强^[4],此研究3年实验均证实抽穗期、齐穗-乳熟CO₂同化消耗同处较高水平。3年的乳熟~成熟白天向下CO₂通量均显著小于的抽穗始~齐穗、抽穗后~乳熟期,反映了该期间作物同化吸收CO₂减弱、光合作用下降、籽粒大量通过茎、根输送营养进行灌浆。

2.2 产量形成期稻田CO₂通量趋势

由于7:30~17:00CO₂通量基本稳定为负值,在统计时较少受到不稳定的正值干扰,该时段能够反映白天CO₂通量的基本特征,拟用7:30~17:00CO₂通量平均值来衡量白天CO₂通量水平,图2中显示3年抽穗期、齐穗-乳熟白天向下CO₂通量较大。愈指向灌浆成熟期,曲线愈往上走,CO₂利用下降、光合作用减弱。3年产量形成期白天CO₂通量均值都表现为“√”型趋势。

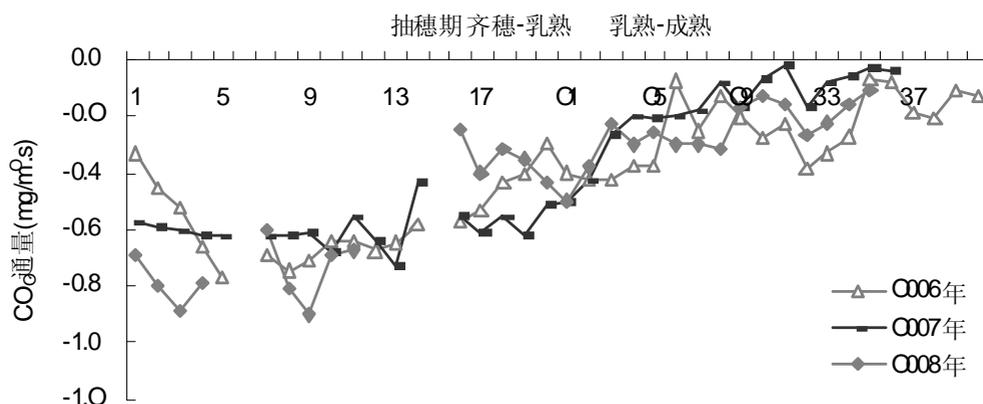


图2 产量形成期全程白天CO₂通量趋势

稻田CO₂通量趋势亦受光合有效辐射、气温的影响。白天CO₂通量均值与光合有效辐射有极显著相关关系。光合有效辐射越高,白天CO₂向下通量越大,作物对CO₂同化吸收加大。白天CO₂通量日均值(F_c)与日均光合有效辐射(PAR)拟合公式:

2008: $F_c = -0.035 - 3.779PAR$ $R = 0.547^{**}$, $F = 12.392$, $P = 0.001$

2007: $F_c = 0.013 - 3.655PAR$ $R = 0.584^{**}$, $F = 13.971$, $P = 0.001$

(2006年辐射资料有缺失)

白天CO₂通量均值与气温亦有良好的相关性,3年均均为极显著相关。但3年的相关系数由0.488~0.825,显示出较大的差异。有研究利用气象要素与CO₂通量的拟合公式^[2,5]对缺失资料、有的是对较多缺

失资料进行插补,插补效果因相关系数的大小将有较大差异。白天CO₂通量日均值(F_c)与日平均气温(T)拟合公式为:

2008: $F_c = 0.626 - 0.047T$ $R = 0.784^{**}$, $F = 46.238$, $P = 0.000$

2007: $F_c = 0.803 - 0.053T$ $R = 0.825^{**}$, $F = 57.663$, $P = 0.000$

2006: $F_c = 1.180 - 0.068T$ $R = 0.488^{**}$, $F = 11.239$, $P = 0.002$

2.3 稻田CO₂通量水平与产量

2008年抽穗期、齐穗-乳熟阶段辐射、热量条件好于其他年份,向下CO₂通量亦高于其他年份。3年的乳熟-成熟CO₂通量日变化情况则基本相同。图3可见,3年的理论产量^[10]高低与抽穗期、齐穗-乳熟阶段白天

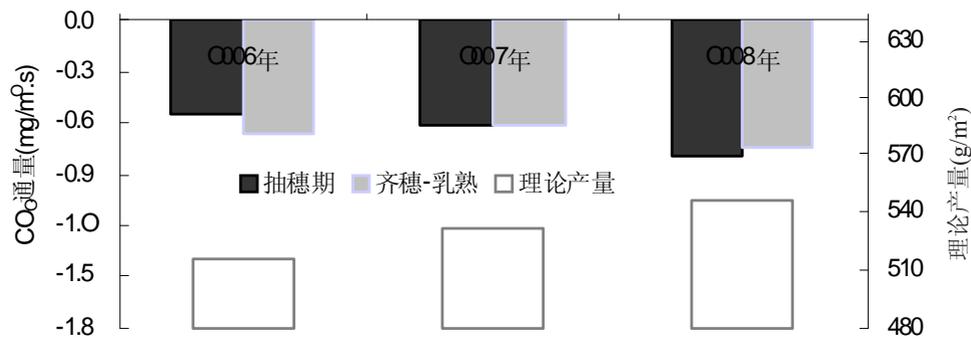


图3 理论产量与抽穗期、齐穗-乳熟的CO₂通量

CO₂通量均值大小有较好的一致性。而3年的叶面积与CO₂通量关系尚未见明显规律,可能需待更多年份的观测来分析。理论产量(L)是通过收获考种后计算所得,公式为:

$$L=(J \times Q \times M) / 1000$$

其中, J 为穗结实粒数, Q 为千粒重), M 为每平方米有效茎数。

3 结论与讨论

稻田CO₂通量日变化为一个“U”型,抽穗期、齐穗-乳熟期U型较深、乳熟-成熟U型较浅。稻田白天CO₂通量逐日均值在整个生殖生长过程呈“√”型的趋势,反映稻田对CO₂的同化利用在生殖生长后期逐步下降。

抽穗期、齐穗-乳熟期同处CO₂吸收消耗旺盛时期,与其他研究认为仅抽穗期CO₂吸收同化较大有所不同^[4]。抽穗期、齐穗-乳熟白天CO₂通量的大小与水稻理论产量的高低基本一致,国内亦有CO₂通量积累与生物量积累相关的类似观点^[6]。本站及长江三角洲稻田白天CO₂通量的平均与极值均大于三江平原^[4,8],反映南方稻作区对CO₂的同化消耗强于三江平原等稻作区。

稻田白天CO₂通量水平与光合有效辐射有极显著相关关系,在产量形成期光合有效辐射越大,白天向下CO₂通量越大,作物光合消耗CO₂水平越高;稻田白天

CO₂通量与气温亦有极显著相关关系,一定范围内气温越高、作物生长速度越快消耗CO₂越多,但各年CO₂通量与温度的相关系数差异较大,若相关系数较小宜不采用拟合公式法插值。

参考文献

- [1] Miyata A, Leuning R, Denmead O T, et al. Carbon dioxide and methane fluxes from an intermittently flooded paddy field[J].Agric. For.Meteorol., 2000, 102:287-303.
- [2] Berbigier P, Bonnefond J M, Mellmann P. CO₂ and water vapour fluxes for two years above Euro flux forest site [J]. Agric.For.Meteorol.2001, 108:183-197.
- [3] 朱咏莉,吴金水,陈微微,等.稻田生态系统CO₂通量的日变化特征[J].中国农学通报,2007,23(9):603-606.
- [4] 陆龙骅,程彦杰,卞林根,等.长江三角洲典型稻作区近地层二氧化碳等湍流通量的观测研究[J].地球物理学报,2003,46(6):751-758.
- [5] 朱咏莉,童成立,吴金水,等.亚热带稻田生态系统CO₂通量的季节变化特征[J].环境科学,2007,28(2):283-288.
- [6] 周卫军,朱良枝,郝金菊,等.红壤丘陵区晚稻生长期CO₂的排放和固定值[J].生态与农村环境学报,2007,23(1):7-11.
- [7] 朱咏莉,吴金水,童成立,等.稻田CO₂通量对光强和温度变化的响应特征[J].环境科学,2008,29(3):1040-1044.
- [8] 宋涛,王跃思,宋长春,等.三江平原稻田CO₂通量及其环境相应特征[J].中国环境科学,2006,26(6):657-661.
- [9] 曾凯,王尚明,冯敏玉,等.城市排放对南昌农田保护区酸雨的影响[J].中国农业气象,2008,29(3):358-360.
- [10] 国家气象局.农业气象观测规范[M].北京:气象出版社,1993:32-34.