

淮河流域稻麦轮作农田甲烷通量变化特征

李侠丽^{1,2} 段春锋^{3*} 冯颖⁴ 潘先洁⁵ 王雅正⁵ 邵陈丽⁵
燕少威^{1,2} 张国玲^{1,2}

(1 安徽省寿县国家气候观象台/中国气象局淮河流域典型农田生态气象野外科学试验基地, 寿县 232200;

2 安徽省寿县气象局, 寿县 232200; 3 安徽省气候中心, 合肥 230031;

4 安徽省气象台, 合肥 230031; 5 安徽省淮南市气象局, 淮南 232000)

摘要 利用寿县国家气候观象台开路式甲烷气体分析仪的观测数据, 分析了淮河流域稻麦轮作农田不同生育期甲烷通量变化特征及其影响因素。结果表明: 淮河流域甲烷通量一年中呈单峰型分布, 峰值出现在夏季。甲烷通量日变化呈单峰型分布, 峰值出现在午后, 白天高于夜间。水稻生育期甲烷通量明显高于小麦生育期; 小麦出苗期甲烷通量最小, 成熟期最大, 达到 $0.14 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; 水稻拔节期甲烷通量最大, 达到 $3.02 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 成熟期最小, 为 $0.12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。作物生物量对甲烷通量影响明显, 水稻和小麦收割前后 24 h 甲烷通量降幅达到 50% 和 30%。甲烷通量与降水、相对湿度、水汽压、土壤温度、气温均呈显著的正相关关系。降水量越大, 湿度越大, 温度越高, 甲烷通量就越大。

关键词 甲烷通量; 稻麦轮作; 气象要素; 淮河流域

中图分类号: P49 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20220213 **文献标识码:** A

引言

甲烷(CH_4)是仅次于二氧化碳(CO_2)的重要温室气体。大气中甲烷的主要来源是天然湿地、稻田、化石燃料、垃圾处理及浅水湖沼, 据估计每年有 30%~45% 的甲烷来自土壤, 而稻田又是土壤生态系统温室气体释放的重要来源^[1-2]。我国是世界上水稻种植面积最大的国家之一, 因此研究稻田甲烷通量有着重要的意义^[1]。

研究发现不同时空分布^[3-8], 不同下垫面类型^[9-11], 甲烷通量存在显著差异。杨萌等^[5]发现: 修建水库明显提高该区域的 CH_4 排放通量。孙晓新等^[7]发现: 7 种类型的湿地, 甲烷排放量的日变化规律不一致。周文昌等^[8]研究若尔盖高原湿地甲烷通量和张裴雷等^[12]研究青藏高原高寒草甸甲烷通量存在显著差异。甲烷通量的变化不仅受时空分布、

下垫面特征的影响, 同时与气候变化紧密相关^[3-5]。随着全球极端气候事件的增多以及气候要素时空分布模式的改变, 导致光合作用和土壤的呼吸作用以及土壤微生物的活性等都发生变化, 目前较多学者深入研究气候变化对甲烷排放量的影响^[12-17]。

淮河流域是我国典型的稻麦轮作区和主要的粮食生产区, 粮食产量占中国粮食总产量的 18%^[18], 该流域的农田生态系统对区域碳收支具有重要影响, 研究其通量变化特征对区域碳平衡估算具有重要意义^[18]。寿县国家气候观象台自 2007 年 6 月安装了开路式涡度相关系统, 用于测量农田生态系统与大气间的通量交换, 基于通量观测资料, 已连续开展较多的农田生态系统 CO_2 通量研究^[18-24]。2019 年 7 月寿县国家气候观象台安装 LI-7700 开路式甲烷气体分析仪, 用于大气中甲烷气体含量的测定。由于仪器安装较晚, 至今还没有甲烷通量的研究。

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

淮南市科技计划项目(2021A281)、安徽省气象局研究型业务科技攻关项目(YJG202005)共同资助

作者简介: 李侠丽, 女, 1988 年生, 硕士, 工程师, 主要从事地面气象观测与预报工作, Email: 964933806@qq.com

收稿日期: 2022 年 5 月 19 日; 定稿日期: 2023 年 7 月 24 日

* 通信作者, Email: dcf118@126.com

©《气象科技》编辑部 (CC BY-NC-ND 4.0)

本研究基于寿县国家气候气象台2020年5月到2021年5月的甲烷通量观测资料,分析淮河流域稻麦轮作农田生态系统不同时间尺度和不同生育期甲烷通量的变化特征及其影响因素,为淮河流域农田甲烷通量的估算和相关碳模型参数修正提供参考,为政府制订减排决策提供依据。

1 资料与方法

1.1 观测场地概况

寿县国家气候气象台属于中国气候观测系统确定的黄淮农业生态观测区,代表了东亚季风区的主要气候条件和生态环境状况,也是我国农业生产经营活动的典型区域之一^[19]。寿县国家气候气象台位于城区中心以南12 km处,占地面积24 hm²,四面均为大片农田;观测塔立于基准气候观测区东北侧,下垫面平坦开阔,周边植被类型为当地典型的稻麦轮作农田。观测场的环境30~50年不受破坏,周边无污染源、无高层建筑,因此是研究农田生态系统各要素变化规律及其物理过程的理想观测试验区^[18]。

1.2 研究资料

寿县近地面层通量观测系统由湍流观测分系统和梯度观测分系统组成。湍流观测分系统主要包括三维超声风温仪和红外H₂O/CO₂分析仪,仪器安装高度为4 m;梯度观测系统中通量塔高32 m,由安装在梯度塔上的5层温度、湿度、风速传感器,1层风向传感器,四分量长、短波(向上、向下)辐射传感器,光合有效辐射传感器,气压、红外地表温度传感器,5层铂电阻地温传感器,5层土壤水分观测传感器和1层3点土壤热通量传感器组成。

2019年7月寿县观象台安装了LI7700开路式甲烷气体分析仪,安装在通量塔4 m处,用于测量农田生态系统与大气间的通量交换。它主要采用波长调制光谱技术来测定大气中甲烷气体的含量,采样频率为10 Hz,同时在线计算30 min通量并把结果存储在数据采集器内。由于甲烷气体分析仪信号强度会影响数据的准确度,该仪器配有自动清洗系统。日常工作中,观象台业务员上、下午会对仪器进行全面巡视一次,发现自洁后信号强度仍低于40%时,值班员会登塔用镜头专用试纸擦拭上下镜头(雨天除外),保障数据的准确度。

1.3 数据处理

研究表明,通量观测过程中,受仪器故障、天气

状况、大气稳定性和供电系统故障等影响造成大量数据的异常和缺失,数据不可用比例通常17%~50%^[11]。本研究观测时间为2020年5月至2021年5月,有效观测数据13249个,约占70%,不可用数据(例如降水期间)、异常数据剔除2566个,约占13%,缺测数据3193个,约占17%。

本文使用的是10 Hz数据在线质控后的30 min数据。30 min通量数据奇异值剔除主要采用:降水同期数据剔除、经验阈值剔除、摩擦风速剔除、3倍标准差剔除等^[17]。缺失数据插补方法主要采用查表法、线性内插、平均日变化法插补^[17-18]。由于半小时尺度的通量数据缺失数据过多,直接用平均日变化、线性内插不能插补完全,因此先用查表法插补,剩余缺失数据采用线性内插和平均日变化法插补,不超过2 h缺测的数据采用线性内插,超过2 h缺测的数据采用7 d、14 d的平均日变化插补上,超过14 d的缺测值按缺测处理^[18]。

本文小时、日、季节变化的数据均为半小时均值处理所得,四季按照春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)、冬季(12—2月)进行划分。

文中辐射、温度、水汽压、相对湿度是32 m通量塔的梯度数据处理所得,其中10 cm土壤温度有部分数据缺测,缺测时段用寿县国家基准站的数据代替,由于通量塔没有降水量数据,文中降水数据从寿县国家基准站所得。

采用Python语言进行数据质量控制,采用SPSS22.0软件对数据进行相关性和回归分析,采用Excel2010和Origin8.5软件绘图。

2 农田甲烷通量的变化特征

2.1 甲烷通量日变化

图1为寿县农田甲烷通量日变化图。由图可知,寿县稻麦轮作农田甲烷通量存在明显的日变化,呈单峰型,白天的甲烷通量高于夜间。从年均值来看,甲烷通量表现为甲烷的源,14:00甲烷通量最大,为0.63 μg·m⁻²·s⁻¹,夜间甲烷通量波动较小。如图1所示,日出后地面温度升高,甲烷通量明显增加,14:00达到峰值,20:00至次日06:00甲烷通量在0.25 μg·m⁻²·s⁻¹左右。

四季变化中,甲烷通量日变化均呈单峰型。夏季显著高于其他季节,14:00达2.06 μg·m⁻²·s⁻¹,是年均值的3倍多,夜间甲烷通量在1.0 μg·m⁻²·s⁻¹左

右。春季、秋季、冬季甲烷通量均低于年平均且波动较小,冬季甲烷通量最小。秋季甲烷通量表现为甲烷的源,峰值 $0.19 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 出现在 12:00。春季白天表现为甲烷的源,峰值 $0.22 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 出现在 13:00,夜间表现为甲烷的汇。甲烷排放量差异主要与气象条件和作物生育期有关。夏季和春季分别是水稻和小麦的关键生育期,气温高、太阳辐射强,光合作用强,作物生长迅速,致使春夏季白天甲烷排放大于其他季节;冬季小麦处于越冬期,生长缓慢、光合作用弱,同时温度低,甲烷排放量小^[7,25]。

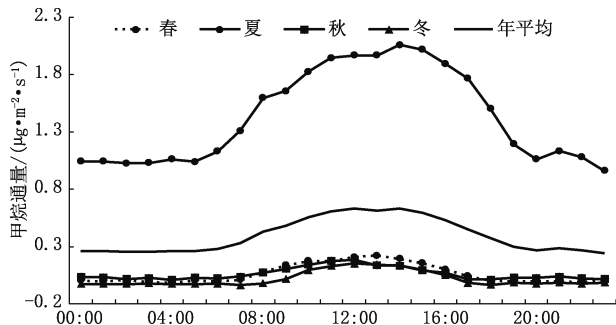


图 1 甲烷通量的年平均和季节平均日变化

Fig. 1 Hourly variation of annual and seasonal CH₄ fluxes

2.2 甲烷通量逐日变化

结合淮河流域农田稻麦轮作生产周期,水稻生育期 2020 年 5 月 6 日至 10 月 18 日,小麦生育期 2020 年 11 月 9 日至 2021 年 5 月 30 日,分析 2020 年 5 月到 2021 年 5 月寿县甲烷通量逐日变化(图 2)。寿县稻麦轮作农田甲烷通量存在明显的季节变化,呈单峰分布特征,7 月 20 日甲烷通量最大达到 $3.75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。6 月下旬至 8 月上旬甲烷排放量最大,这一时期是

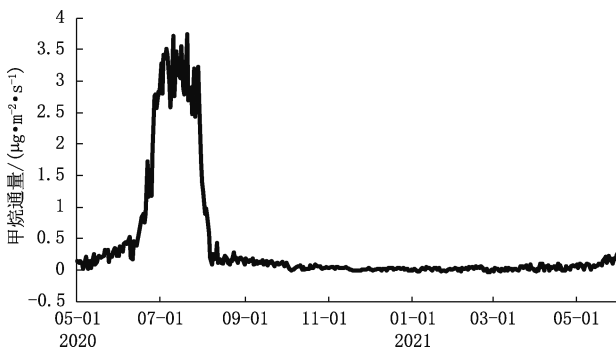


图 2 2020 年 5 月至 2021 年 5 月甲烷通量逐日变化

Fig. 2 Daily variation of CH₄ flux from May 2020 to May 2021

水稻的分蘖—拔节—孕穗期。其他时段甲烷通量波动较小,甲烷排量基本处于 $0\sim 0.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,仅冬季个别天数表现为甲烷的汇。

2.3 水稻和小麦不同生育期甲烷通量的变化

水稻生育期平均甲烷通量为 $1.03 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,小麦生育期平均甲烷通量为 $0.38 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,水稻生育期甲烷排放量约是小麦生育期的 3 倍。

图 3a 为小麦不同生育期甲烷通量的变化,小麦出苗期甲烷通量最小,这一时期无论是光、温、水的配合,还是作物的生产活动都较弱,致使这一阶段甲烷通量较小,甲烷通量为 $0.007 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,基本不排放。分蘖—拔节甲烷排放量逐渐增大,此时处于 12 月至翌年 2 月(冬季),这一时期光、温、水不足,但冬小麦处于起身发育阶段,作物的生长活动大于出苗期。乳熟、成熟期甲烷通量最大,乳熟期甲烷通量 $0.05 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,成熟期甲烷通量最大,达到 $0.14 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。成熟期甲烷排放量最大,这与贾仲君等^[10]研究的结论不一致,这可能是由于淮河流域冬小麦成熟期主要处于 5 月,虽然成熟期作物的活动量减弱,但此时淮河流域的光、温、水条件较好,促使甲烷排放量达到最大,可见气候条件对甲烷

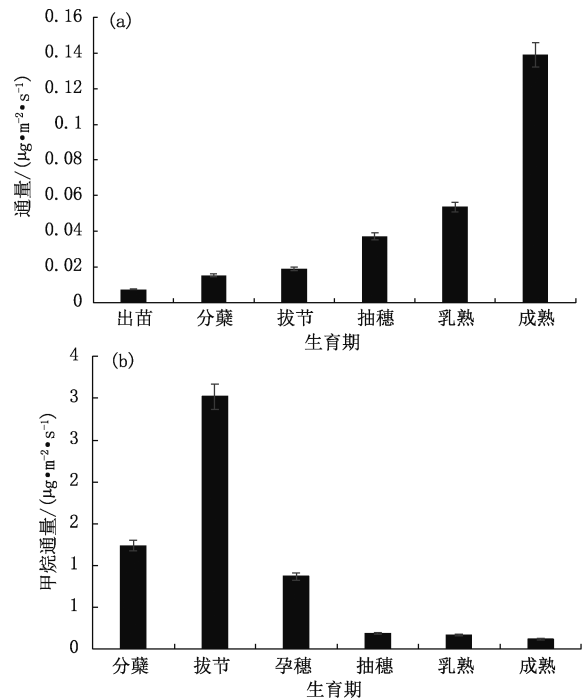


图 3 小麦(a)和 水稻(b)各生育期甲烷通量及 5% 标准误差

Fig. 3 CH₄ flux with 5% standard error during different growth stages of wheat (a) and rice (b)

排放量有很大影响。

图 3b 为水稻不同生育期甲烷通量的变化,水稻拔节期甲烷通量最大,达到 $3.02 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,拔节期处于水稻生产活动较为旺盛的时刻,同时 6 月下旬至 7 月下旬,淮河流域光、温、水条件较好。最小值出现在成熟期,为 $0.12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,成熟期作物的生长活动减弱,水热条件逐渐转差。这与杨光明等^[1]研究水稻生长期甲烷排放量的峰值出现在拔节—孕穗期的结论基本一致。通过小麦和水稻不同生育期甲烷通量的变化特征,可以发现:甲烷排放量大小不仅和作物活动强弱有关,同时与气候条件也有密切的关系^[3]。

3 甲烷通量影响因素的研究

3.1 甲烷通量与植株的关系

植株会影响甲烷的产生、氧化和传输,是导致甲烷排放变化的重要因素^[10]。为了解淮河流域稻—麦的植株对甲烷排放的影响,对比分析作物收割前后 24 h 的甲烷通量变化。如表 1 所示,水稻收割前甲烷通量为 $0.08 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,收割后 24 h 其甲烷通量降至 $0.04 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,降幅达到 50%;小麦收割前 $0.10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,收割后 24 h 其甲烷通量降至 $0.07 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,降幅达到 30%。这与杨萌等^[5]研究北京密云水库甲烷通量,发现去除植物地上部分组织 24 h 后,其甲烷通量降幅达到 75.5% 的结论差异较大。由此可知,下垫面不同作物收割前后甲烷降幅量也不同。

表 1 作物收割前后甲烷通量变化

Table 1 Changes in CH_4 flux before and after harvesting

	收割前/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	收割后/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	降幅/%
水稻	0.08	0.04	50
小麦	0.10	0.07	30

3.2 甲烷通量与气象要素的关系

通过前文研究发现:除了作物活动量和生物量影响甲烷排放量,同时该地气候条件,比如光、温、水的配合也会影响甲烷排放量。因此,本文利用 2020—2021 年日平均数据,分析辐射、温度、降水、湿度、水汽压与甲烷通量的相关性。计算净辐射、光合有效辐射、10 cm 土壤温度、10 m 气温、10 m 相对湿度、10 m 水汽压、降水量和甲烷通量进行皮尔森(Pearson)双变量相关系数(表 2),通过分析发现:净辐射和光合有效辐射未通过相关性检验,10 m 相对湿度、10 m 水汽压、降水量通过 0.01 相关性检验,相关性极好,呈正相关。10 m 气温、10 cm 土壤温度与甲烷通量通过了 0.05 相关性检验,相关性较好,呈正相关关系。

表 2 气象要素与甲烷通量的 Pearson 相关系数 r

Table 2 Pearson's r of meteorological elements and CH_4 flux

净辐射	光合有效辐射	土壤温度	气温	水汽压	相对湿度	降水量
0.521	0.342	0.675*	0.669*	0.867**	0.856**	0.892**

注: ** 在 0.01 级别(双尾),相关性显著, * 在 0.05 级别(双尾),相关性显著。

进一步对通过相关性检验的气象要素做回归分析,假设降水量(P)、10 m 相对湿度(R)、10 cm 土壤温度(T_a)、10 m 气温(T)、10 m 水汽压(e)和甲烷通量(Y)进行归一化处理,并建立回归方程如表 3。结果表明:寿县甲烷通量的变化与降水、相对湿度、气温、土壤温度、水汽压存在显著的正相关关系,其中降水、相对湿度、水汽压通过 99% 的置信度检验。土壤温度、气温通过 95% 的置信度检验。通过多元回归分析,表明多要素与甲烷通量有较高的相关性,相关系数为 0.954,通过 99% 的置信度检验。通过以上分析得出,降水量越大、湿度越大、温度越高,则甲烷排放量也越大^[25]。

表 3 气象要素与甲烷通量的回归方程

Table 3 Regression equation between meteorological elements and CH_4 flux

要素	回归方程	相关系数	是否通过 95% 置信度检验	是否通过 99% 置信度检验
降水量	$Y=0.196P-0.215$	0.892	是	是
10 cm 相对湿度	$Y=0.072R-4.977$	0.855	是	是
10 m 土壤温度	$Y=0.071T-0.592$	0.674	是	否
10 m 气温	$Y=0.056T_a-0.585$	0.669	是	否
10 m 水汽压	$Y=0.057e-0.525$	0.867	是	是
多要素	$Y=0.092P+0.122T+0.028T+0.015R+0.094e+0.916$	0.954	是	是

从回归方程看,水汽压、降水量对甲烷通量影响最大。将 2020—2021 年数据进行月平均发现(图 4):甲烷通量、水汽压和降水量 6—8 月是大值区,其余季节波动较小,甲烷通量和水汽压及降水量的相关性较好。

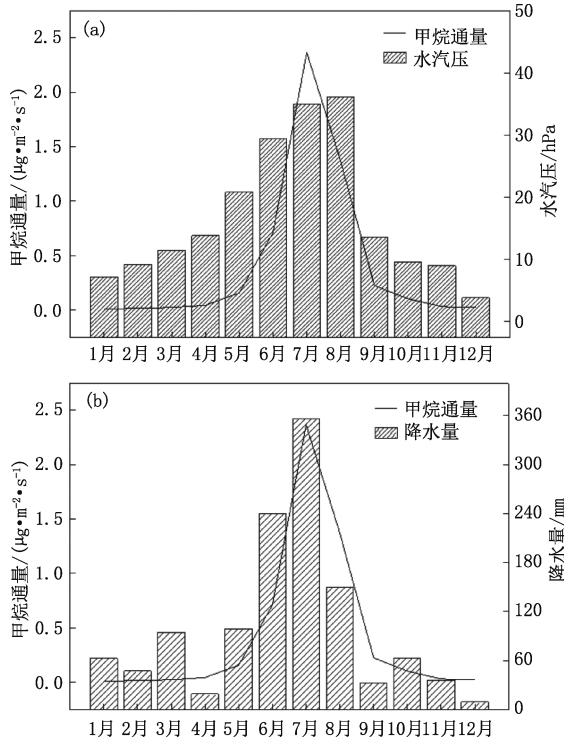


图 4 甲烷通量与水汽压(a)、降水量(b)逐月变化
Fig. 4 Monthly variation of CH₄ flux and water vapor pressure (a), precipitation (b)

由图 5 可知,相对湿度 >90% 时甲烷通量最大,为 1.05 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,次大值 0.3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 出现在 81%~90%,而相对湿度 <70% 时,甲烷排通量波动较小在 0.09 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。

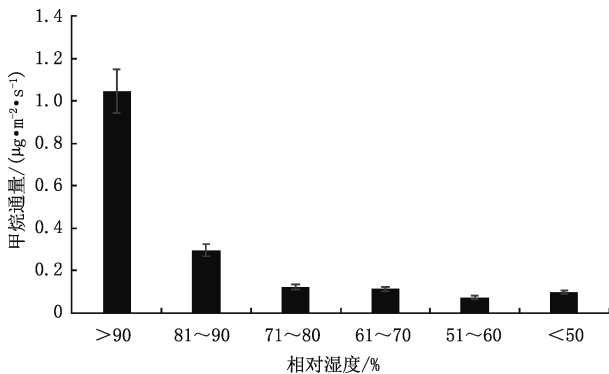


图 5 不同相对湿度下甲烷通量及 5% 标准误差
Fig. 5 CH₄ flux with 5% standard error under different relative humidity

4 结论

(1)淮河流域稻麦轮作农田年和四季均表现为甲烷的源,夏季甲烷通量显著高于其他季节,冬季最小。甲烷通量存在明显的日变化,呈现为日间单峰型,峰值出现于午后,白天高于夜间。

(2)水稻生育期甲烷通量明显高于小麦生育期。小麦出苗期甲烷通量最小,为 0.007 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,分蘖一拔节期开始逐渐增大,乳熟一成熟期达到高峰,成熟期最大,达到 0.14 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。水稻拔节期甲烷通量最大,达到 3.02 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,成熟期最小,为 0.12 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。稻一麦植株对甲烷排放影响十分明显,水稻和小麦收割前后 24 h 甲烷通量降幅达到 50% 和 30%。

(3)甲烷通量与气象要素有密切关系。甲烷通量与净辐射、光合有效辐射、降水、相对湿度、气温、土壤温度、水汽压呈正相关关系,其中降水、相对湿度、水汽压、土壤温度、气温通过显著性检验。相对湿度 >90% 时甲烷通量最大,达到 1.05 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,而相对湿度 <70% 时,甲烷排通量波动较小,在 0.09 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。降水量越大、湿度越大、温度越高,甲烷通量就越大。

参考文献

[1] 杨光明,武文明,沙丽. 西双版纳地区稻田甲烷的排放通量[J]. 山地学报 2007, 25(4): 461-468. Yang G M, Wu W M, Sha L. CH₄ Emission from paddy fields in Xishuangbanna [J]. Journal of mountain science (in Chinese), 2007, 25(4): 461-468.

[2] 李佩佩,张桂玲,赵玉川,等. 夏季渤海溶解甲烷的分布与通量研究[J]. 海洋科学进展 2010, 28(4): 278-288. Li P P, Zhang G L, Zhao Y C, et al. Study on distributions and flux of methane dissolved in the bohai sea in summer [J]. Advances in marine science (in Chinese), 2010, 28(4): 278-288.

[3] 潘占磊,王忠武,韩国栋,等. 短花针茅荒漠草原甲烷通量对增温和施氮的响应[J]. 生态环境学报 2016, 25(2): 209-216. Pan Z L, Wang Z W, HAN G D, et al. Responses of methane fluxes on warming and nitrogen addition in Stipa breviflora fescue steppe [J]. Ecology and Environmental Sciences (in Chinese), 2016, 25(2): 209-216.

[4] 刘绕,李煜斌,高志球. 稻麦轮作农田去大气边界层高度的日变化和季节特征[J]. 气象科技, 2017, 45(3): 526-534. Liu R, Li Y B, Gao Z Q. Diurnal and seasonal variations of atmospheric boundary layer heights over rice-wheat rotation cropping field [J]. Meteorological Science and Technology (in Chi-

- nese), 2017, 45(3): 526-534.
- [5] 杨萌,李红丽,雷霆,等.北京密云水库甲烷排放通量时空特征及其影响因素研究[J].湿地科学 2011,9(2):191-197. Yang M, Li H L, Lei T, et al. spatial-temporal characteristics of methane emission flux and its influence factors at Miyun reservoir in Beijing [J]. Wetland Science (in Chinese), 2011, 9(2): 191-197.
- [6] 张强,蒋国庆,孙睿,等.张掖湿地甲烷通量动态特征及其影响因素[J].生态学报,2017,37(17):5681-5690. Zhang Q, Jiang G Q, Sun R, et al. Dynamic characteristics and influencing factors of methane flux in Zhangye wetland [J]. Acta Ecologica Sinica (in Chinese), 2017, 37(17): 5681-5690.
- [7] 孙晓新,牟长城,闵长林,等.小兴安岭沼泽甲烷通量日变化分析[J].东北林业大学学报,2009,37(11):92-95. Sun X X, Mou C C, Min C L, et al. Analysis of daily variation of methane flux in lesser khingan marsh [J]. Journal of Northeast Forestry University (in Chinese), 2009, 37(11): 92-95.
- [8] 周文昌,崔丽娟,王义飞,等.若尔盖高原湿地不同微地貌区甲烷排放通量特征[J].植物生态学报,2016,40(9):902-911. Zhou W C, Cui L J, Wang Y F, et al. Characteristics of methane emission flux in different micro geomorphic areas of Zoige Plateau wetland [J]. Journal of Plant Ecology (in Chinese), 2016, 40(9): 902-911.
- [9] Chen W W, Wolf B, Zheng X H, et al. Annual methane uptake by temperate semiarid steppes as regulated by stocking rates, above ground plant biomass and top soil air permeability [J]. Global Change Biology, 2011, 17(9): 2803-2816.
- [10] 贾仲君,蔡祖聪.水稻植株对稻田甲烷排放的影响[J].应用生态学报,2003,14(11):2049-2053. Jia Z J, Cai Z C. Effects of rice plants on methane emissions from paddy fields [J]. Chinese Journal of Applied Ecology (in Chinese), 2003, 14(11): 2049-2053.
- [11] 孙小祥,常志州,杨桂山,等.长三角地区稻麦轮作生态系统净碳交换及其环境影响因子[J].中国生态农业学报,2015,23(7):803-811. Sun X X, Chang Z Z, Yang G S, et al. Net carbon exchange and environmental impact factors of rice wheat rotation ecosystems in the Yangtze River Delta region [J]. Chinese Journal of Ecological Agriculture (in Chinese), 2015(7): 15-23.
- [12] Dijkstra F A, Morgan J A, Follett R F, et al. Climate change reduces the net sink of CH₄ and N₂O in a semiarid grassland [J]. Global Change Biology, 2013, 19(6): 1816-1826.
- [13] Lin X G, Wang S P, Hu Y G, et al. Experimental warming increases seasonal methane uptake in an alpine meadow on the Tibetan Plateau [J]. Ecosystems, 2014, 18(2): 274-286.
- [14] Phoenix G K, Emmett B A, Britton A J, et al. Impacts of atmospheric nitrogen deposition: responses of multiple plant and soil parameters across contrasting ecosystems in long-term field experiments [J]. Global Change Biology, 2012, 18(4): 1197-1215.
- [15] 张裴雷,方华军,程淑兰,等.增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响[J].生态学报,2013,33(13):4101-4110. Zhang P L, Fang H J, Cheng S L, et al. The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica (in Chinese), 2013, 33(13): 4101-4110.
- [16] 刘智媛,周筠珺,李瀚,等.藏东南森林穿透雨氮沉降通量变化特征及其影响因素[J].气象科技,2016,44(5):834-840. Liu Z Y, Zhou J J, Li H, et al. Variation features of nitrogen deposition flux in forest throughfall and its influencing factors in southeastern Tibet [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2016, 44(5): 834-840.
- [17] 吴利禄,高翔,褚建民,等.民勤绿洲-荒漠过渡带梭梭人工林净碳交换及其影响因素[J].应用生态学报,2019,30(10):3336-3346. Wu L L, Gao X, Chu J M, et al. Net carbon exchange and its driving factors of Haloxylon ammodendron plantation in the oasis-desert ecotone of Minqin, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology (in Chinese), 2019, 30(10): 3336-3346.
- [18] 段春锋,田红,黄勇,等.淮河流域稻麦轮作农田生态系统CO₂通量多时间尺度变化特征[J].气象科技进展,2020,10(5):138-145. Duan C F, Tian H, Huang Y, et al. Multi-time scale variation of net ecosystem CO₂ flux over rice-wheat rotation agroecosystems in the Huaihe River Basin [J]. Advances in Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2020, 10(5): 138-145.
- [19] 王有恒,景元书,郭建侠,等.涡度相关通量修正方法比较[J].气象科技,2011,39(3):363-368. Wang Y H, Jing Y S, Guo J X, et al. Contrast research on flux correction methods for Eddy-Covariance Measurement [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2011, 39(3): 363-368.
- [20] 童应祥,王东,田红,等.淮河流域农田光合有效辐射(PAR)的基本特征[J].中国农学通报,2010,26(23):331-335. Tong Y X, Wang D, Tian H, et al. Basic characteristics of photosynthetic active radiation (PAR) in farmland of the Huai River Basin [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin (in Chinese), 2010, 26(23): 331-335.
- [21] 谢五三,田红,童应祥,等.基于淮河流域农田生态系统观测资料的通量研究[J].气象科技,2009,37(5):601-606. Xie W S, Tian H, Tong Y X, et al. Flux of cropland ecosystem in Huai River Basin [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2009, 37(5): 601-606.
- [22] 余予,李扬云,童应祥,等.寿县地区小麦和水稻田地表反照率观测分析[J].气候与环境研究,2009,14(6):639-645. Yu Y, Li Y Y, Tong Y X, et al. Observation and analysis of surface albedo of wheat and rice fields in Shouxian region [J]. Climatic and Environment Research (in Chinese), 2009, 14(6): 639-645.
- [23] 田红,伍琼,童应祥.安徽省寿县农田能量平衡评价[J].应用气象学报 2011,22(3):356-361. Tian H, Wu Q, Tong Y X.

Evaluation of energy balance in farmland in Shouxian County, Anhui Province [J]. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2011, 22(3): 356-361.

- [24] 胡雪, 王文, 李理, 等. 太平洋潜热通量及其与黄淮夏季降水的关系[J]. *气象科技*, 2015, 43(3): 482-487. Hu X, Wang W, Li L, et al. Latent heat flux over Pacific and its relationship with summer precipitation in Huanghuai region [J]. *Meteorological Science And Technology* (in Chinese), 2015, 43(3): 482-487.

logical Science And Technology (in Chinese), 2015, 43(3): 482-487.

- [25] 谢冰, 张华, 杨冬冬. 甲烷浓度变化的有效辐射强迫及其对气候的影响[J]. *气候变化研究进展* 2017, 13(1): 83-88. Xie B, Zhang H, Yang D D. Effective Radiative forcing of methane concentration change and its impact on climate [J]. *Climate Change Research* (in Chinese), 2017, 13(1): 83-88.

Characteristics of CH₄ Flux over Rice-Wheat Rotation Fields in Huaihe River Basin

LI Xiali^{1,2} DUAN Chunfeng³ FENG Ying⁴ PAN Xianjie⁵ WANG Yazheng⁵
SHAO Chenli⁵ YAN Shaowei^{1,2} ZHANG Guoling^{1,2}

(1 Shouxian National Climatology Observatory, Huaihe River Basin Typical Farm Eco-meteorological Experiment Field of CMA, Anhui, Shouxian 232200; 2 Meteorological Bureau of Shouxian, Anhui, Shouxian 232202;

3 Anhui Climate Center, Hefei 230031; 4 Anhui Meteorological Observatory, Hefei 230031;

5 Meteorological Bureau of Huainan City, Anhui, Huainan 232000)

Abstract: Based on the observation data of the open-circuit CH₄ gas analyzer at Shouxian National Climatological Observatory, we analyze the variation characteristics and influencing factors of CH₄ flux in different growth periods of rice-wheat rotation farmland in the Huaihe River Basin. The results show that CH₄ flux in the Huaihe River Basin has a single peak distribution throughout the year, with the peak occurring in summer. The diurnal variation of CH₄ flux shows a single peak during the day, and the peaks mostly appear in the afternoon. CH₄ flux during the day is higher than at night. CH₄ flux in the rice growth period is significantly higher than that in the wheat growth period. During the wheat growth period, CH₄ flux is the smallest during the seedling period but the largest during the mature period, reaching $0.14 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$. During the rice growth period, the maximum CH₄ flux during the jointing period is $3.02 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and the minimum during the maturity stage is $0.12 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$. CH₄ flux decreases by 50% and 30% before and after the harvest of rice and wheat. This study shows that crop biomass has a significant impact on CH₄ flux. CH₄ flux is positively correlated with precipitation, relative humidity, water vapour pressure, soil temperature, and air temperature. When precipitation, humidity, or air temperature is higher, the CH₄ flux will be greater.

Keywords: CH₄ flux; rice-wheat rotation; meteorological element; Huaihe River Basin

Received: 2022-05-19 Accepted: 2023-07-24

© Editorial Office of *Meteorological Science and Technology* (CC BY-NC-ND 4.0)