

# 引黄灌区轮作农田生态系统水碳通量观测及模型适用性评价

王廷煜<sup>1</sup>, 杨松林<sup>2</sup>, 吴光辉<sup>2</sup>, 王云霏<sup>3</sup>, 王富强<sup>1</sup>, 焦天一<sup>1</sup>

(1.华北水利水电大学 水资源学院,河南 郑州 450046; 2.河南省豫东水利保障中心,河南 开封 475000; 3.郑州大学,河南 郑州 450001)

**摘要:**【目的】针对引黄灌区冬小麦/夏玉米轮作体系中水分胁迫频发、碳汇特征不明的问题,本研究结合长期通量观测与 STEMMUS-SCOPE 模型模拟,揭示农田生态系统水碳通量的变化特征,并对模型在复杂灌溉条件下的适用性进行评估。【方法】本研究以典型引黄灌区—人民胜利渠灌区为研究区域,基于涡度相关观测数据分析了灌区冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统的水碳通量变化特征,并利用 STEMMUS-SCOPE 耦合模型对该农田生态系统水碳通量的变化过程进行模拟。【结果】观测期内人民胜利渠灌区蒸散发(ET)主要受  $R_n$  的影响;冬小麦和夏玉米净生态系统碳交换(NEE)月平均日变化表现为“U”型变化,总初级生产力(GPP)和生态系统呼吸( $R_e$ )则表现为倒“U”型变化,三者夜间变化比较稳定,正午时分达到峰值,并且峰值易受温度影响而出现短暂波动;STEMMUS-SCOPE 耦合模型可以较好的模拟水分胁迫时植物水碳通量变化,但由于模型未充分考虑土壤湿度对土壤呼吸计算的影响,导致模型对 NEE 的模拟精度相对较低,需要进一步对模型进行优化。【结论】本研究厘清了引黄灌区冬小麦/夏玉米轮作农田水碳通量的日尺度动态特征,明确了轮作系统生长季的强碳汇属性,量化了 STEMMUS-SCOPE 耦合模型在引黄灌区复杂灌溉与轮作条件下的模拟能力,可为农业高效用水提供参考。

**关键词:**STEMMUS-SCOPE 模型;水碳通量;涡度相关;引黄灌区;冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统

**中图分类号:**X171.1

**文献标识码:**A

农田生态系统是陆地三大植被生态系统(草地、林地、耕地)之一,农田面积约占全球陆地的 10.5%<sup>[1]</sup>,在保障粮食安全和缓解气候变化等方面发挥着重要作用。同时,农田生态系统作为碳循环系统中最为活跃的碳库之一<sup>[2]</sup>,对大气  $CO_2$  浓度变化具有重要影响。已有研究表明,农田生态系统的固碳潜力通常被低估甚至是忽视<sup>[3]</sup>。

近年来,随着对农田生态系统水碳通量模拟研究的不断深入,依据相关理论构建了多种农田生态系统能量及水碳通量耦合模型,并在部分地区进行了应用与验证。SHUO L<sup>[4]</sup>利用 SPACSYS 模型对英国东南部冬小麦连作系统在不同气候情景以及施肥处理的生长进行模拟并进行敏感性分

析。BAYAT B<sup>[5]</sup>将土壤含水量和表面阻力以及叶片水势和羧化作用引入 SCOPE 模型,对长期处于干旱、半干旱地区的植被进行水碳通量模拟。ABI S<sup>[6]</sup>通过 STEMMUS 模型对水汽通量进行模拟,探讨了喀拉哈里南部水文地层的变化。XUN Y H<sup>[7]</sup>针对干旱季节性冻土区,在 SPAC 模型的基础上新增冠层生长模拟、浅层地下水溶质运移描述等功能,提出改进的耦合模型 SHAW-SC,可有效量化该区全年水热盐及作物生长耦合过程。TANG E<sup>[8]</sup>使用基于 SPAC 的 STEMMUS-SCOPE 耦合模型评估了宁夏植被恢复对荒漠草原能量、水和碳通量的影响。

**收稿日期/Received:** 2025-08-11

**修回日期/Revised:** 2025-12-19

**基金项目:**国家自然科学基金项目(U2443203,52279014,52409025);河南省重点研发与推广专项(科技攻关)(232102320257);流域生态水文效应与水安全创新型科技团队培育项目(CXTDPY-3)。

**第一作者:**王廷煜(2000—),男,硕士研究生,从事水文学、水资源与环境生态等方面的研究。E-mail:15036488438@163.com。

**通信作者:**王富强(1979—),男,教授,博导,博士,从事流域生态水文与水安全、区域水资源规划与管理等方面的研究。E-mail:wangfuqiang@ncwu.edu.cn。

现有农田水碳通量研究多集中于雨养农田或设施农田。对于引黄灌区这类受人工灌溉显著干扰、季节性水热条件波动剧烈的一年两熟轮作农田,其水碳通量动态特征、主控因子及碳源汇效应仍缺乏系统研究。尤其是在轮作周期内,不同作物季之间水碳过程的差异及其耦合机制尚不明确。中国作为农业大国,拥有约占国土面积 14% 的农业生产用地<sup>[9]</sup>,灌溉农田占中国农田的 50%,农业用水占比为 63.5%<sup>[10]</sup>,其中农业灌溉水占据了总量的 60% 以上<sup>[11]</sup>。河南省作为中国粮食主产区之一,不仅是维持耕地红线的主力军,同时也关系着中国粮食安全<sup>[12]</sup>。结合以往研究,河南省沿黄引黄灌区是全省粮食生产的重要地区,但受温带大陆性季风气候影响,区域降水时空分布极不均匀<sup>[13]</sup>,农业生产对灌溉依赖程度高,水资源高效利用需求突出。因此,阐明该区域轮作农田生态系统水碳通量变化特征及其模拟规律,对于优化农业水资源管理具有重要意义。

人民胜利渠灌区是黄淮海平原引黄灌区的典型代表,其气候条件、种植模式和灌溉管理方式在黄河中下游引黄灌区具有较强代表性。该灌区面临的冬春干旱、水分胁迫频发及灌溉效率提升需求等问题,也是引黄灌区农业生产中的共性问题。因此,本研究以人民胜利渠灌区冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统为研究对象,结合实地通量观测数据与 STEMMUS-SCOPE 耦合模型,分析农田水碳通量的动态变化规律,评估模型在复杂灌溉条件下的适用性与模拟精度。本研究可为 STEMMUS-SCOPE 模型在季节性灌区农田系统中的应用提供验证案例,并为精准灌溉管理及农田碳水耦合过程研究提供实证依据。

## 1 研究区域与涡度相关观测

### 1.1 研究区域

河南省人民胜利渠灌区地处河南省北部黄河北岸,东经 113°40′~114°30′,北纬 34°50′~35°20′,南起黄河,北至卫河,总控制面积 1 486 km<sup>2</sup>,属于温带大陆性季风气候。年均气温为 14.5 °C,无霜期 210~220 d。年均降水量为 580~620 mm,年均水面蒸发量约为 1 300 mm。降雨年内分布不均,70%~80% 的降水集中在 6 月至 9 月,冬春易旱、夏秋易涝<sup>[14]</sup>。灌区设计灌溉面积为 9.9 万公顷,目前实际灌溉面积约为 8.13 万公顷,覆盖新乡、焦作、安阳三市 12 个县(市、区)共 47 个乡镇,受益人口达 265 万人。自建成以来,在推动区域农业发展和社会经济进步方面发挥了基础性支撑作用。

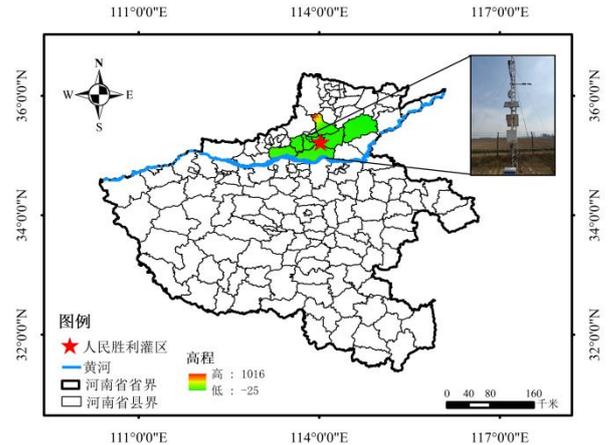


图 1 研究区域图

Fig.1 Geographical Location Map of the Study Area

本研究以冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统为对象,小麦生长季为 10 月中下旬至次年 6 月上旬,通常进行 3~4 次灌溉;玉米生长季为 6 月中旬至 9 月下旬,主要依赖自然降水,仅需 1-2 次补充灌溉。其中小麦种植面积约 58.3 万亩(占耕地总面积 89%),玉米约为 39 万亩(占 60%)。

### 1.2 观测仪器及数据采集

涡度相关观测仪器安装在河南省豫北灌溉试验重点站西南角处,主体结构为高度 8 m 左右的钢制塔身。试验站内及其周边主要种植小麦、玉米等粮食作物。所采用的涡度相关观测设备主要由美国 Campbell Scientific 公司开发,包括开路式 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 红外气体分析仪(LI-7500A),三维风速仪(CSAT-3A),CR3000 数据采集器。在涡度系统附近 2 米范围内,同步部署了常规气象监测设备,记录空气温度、相对湿度、土壤含水率、降水量、气压、辐射等。所有仪器以 10 Hz 频率进行同步采样。通量计算以半小时为时间步长,数据通过 LoggerNet 软件实时采集并进行初步处理,最终保存在 CR3000 采集器及配套的 PC 卡中。观测期间,每两个月对 PC 卡中的通量数据进行一次导出与备份,以保证数据的完整性和后续质量控制处理的连续性。本研究选取通量数据的范围为 2024 年 4 月 1 日至 2025 年 3 月 31 日。

## 2 研究方法

### 2.1 涡度相关数据处理

本研究遵循国际通量观测联盟(FLUXNET)和中国生态系统研究网络(CERN)共同建立的涡度相关数据处理标准流程,对通量观测数据进行处理。本研究中整套数据处理流程由 CR3000 数据采集器配合 LoggerNet 软件平台完成,其核心算法已通过多生态系统验证。

通量数据经过综合质量评价和一系列的修正计算后,还需要进行质量控制和插补操作。采用中位数绝对偏差法对通量数据的异常值进行统计和检验。剔除部分无效通量观测数据之后,短时段数据缺失采用线性插值补齐,持续时间较长的数据缺失,则基于月平均日变化法(MDV)进行插补,具体插补操作通过 Python 代码实现。

白天通量数据缺失率为 11.2%~31.6%(含仪器故障导致的数据缺失情况),夜间通量数据缺失率为 30.5%~83.4%,在 FLUXNET 等观测站点及相关研究数据缺失的合理范围之内。

## 2.2 能量闭合验证

根据能量守恒定律,生态系统中的各能量分量基本满足能量平衡方程:

$$LE + H = R_n - G - S - Q \quad (1)$$

式中:LE 为潜热通量;H 为感热通量; $R_n$  为净辐射; $G$  为土壤热通量; $S$  为植被冠层热储量; $Q$  为附加能量项。

在能量平衡计算中, $Q$  值一般较小,在多数情况下忽略不计<sup>[15]</sup>,对于小麦和玉米等冠层高度较低的作物类型, $S$  通常也被忽略<sup>[16]</sup>。因此,在冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统的能量平衡方程可简化为<sup>[17]</sup>:

$$LE + H = R_n - G \quad (2)$$

当  $LE + H = R_n - G$  时,认为能量处于闭合状态。理想状态下,湍流通量( $LE+H$ )和有效能量( $R_n - G$ )之间的回归关系呈现出斜率为 1、截距为 0 的线性特征。即:

$$LE + H = K(R_n - G) + C \quad (3)$$

式中: $K$  为回归直线斜率; $C$  为截距。

## 2.3 蒸散发计算

本研究采用 Priestley-Taylor 系数( $\alpha$ )揭示冬小麦/夏玉米生长过程中蒸散发  $ET$  的变化特征。其定义为实测蒸散发( $ET_a$ )与平衡蒸散发( $ET_{eq}$ )的比值。平衡蒸散发计算如下:

$$\gamma ET_{eq} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad (4)$$

式中: $\gamma$  为干湿表常数( $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ ); $\Delta$  为饱和蒸气压与温度曲线的斜率( $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ ); $R_n$  为净辐射( $W \cdot m^{-2}$ ); $G$  为土壤热通量( $W \cdot m^{-2}$ )。

## 2.4 碳通量计算

本研究采用 Reichstein  $M$ <sup>[18]</sup>提出的净生态系统碳交换量拆分方法,主要计算内容包括摩擦风速阈值的检验、数据插补(MDS 法)和 NEE 短期温度关系分解等,其中,夜间生态系统呼吸( $Re$ )与  $T_a$  的相关关系的函数表达式可以用公式(5)来描述:

$$Re = R_{ref} \exp \left( E_0 \left( \frac{1}{T_{ref} - T_0} - \frac{1}{T_a - T_0} \right) \right) \quad (5)$$

式中: $T_0$  为常数; $E_0$  为自有参数; $T_{ref}$  为参考温度, $T_a$  为空气温度。

涡度相关系统观测得到 NEE 即为  $Re$  与 GPP 之差(在本研究中 NEE 小于 0 时表示向下的通量,即为碳汇过程):

$$NEE = Re - GPP \quad (6)$$

## 2.5 STEMMUS-SCOPE 耦合模型

### 2.5.1 耦合模型构建

本研究基于 STEMMUS-SCOPE 模型,模拟了冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统中的水碳通量过程。该模型将 SCOPE 在冠层辐射传输与光合作用模拟方面的优势<sup>[19]</sup>,并与 STEMMUS 对土壤水热运移模拟方面相结合<sup>[20]</sup>,并针对干旱条件下 SCOPE 模型通量高估的不足进行了优化<sup>[21]</sup>。

1)根系生长模型。根系生长模块主要负责两大核心内容的模拟:一是根区深度的动态变化模拟,二是根长生长动态的模拟。播种深度在模型中设定为根区深度的初始边界条件,提供生长模拟所需的起始参数。模型自作物萌芽阶段起,模拟各生育期根区深度扩展与根长增长过程,表征作物根系生长动态及其土壤资源利用模式。

$$\Delta z = \begin{cases} 0, & T_a < T_{min} \\ (T_a - T_{min}) \cdot RGR, & T_{min} < T_a < T_{max} \\ (T_{max} - T_{min}) \cdot RGR, & T_{max} < T_a \end{cases} \quad (7)$$

$$D_z(i) = D_z(i-1) + \Delta z \quad (8)$$

式中: $D_z(i)$  为根区深度在第  $i$  个时间段的变化量( $cm \cdot day^{-1}$ ); $D_z$  为根区的深度( $cm$ ); $T_a$  为气温( $^\circ C$ ); $T_{max}$  和  $T_{min}$  分别是根系生长的边界温度( $^\circ C$ ); $RGR$  为根区深度增长率( $cm \cdot ^\circ C^{-1} day^{-1}$ )。

$$\Delta Rl_{tot} = \frac{A_n f r_{root}}{R_C R_D \pi r_{root}^2} \quad (9)$$

式中: $f r_{root}$  为根系光合作用产物分配系数; $A_n$  为作物净同化速率( $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ); $R_C$  为有机质碳含量; $R_D$  为根长密度( $m \cdot m^{-3}$ ); $\Delta Rl_{tot}$  为某一时间间隔内总根长的变化量( $m \cdot m^{-3}$ )。

2)根系吸水模型。根系吸水及作物蒸腾计算公式如下:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\psi_{s,i} - \psi_l}{r_{s,i} + r_{r,i} + r_{x,i}} = \frac{0.622}{P} \cdot \frac{\rho_a}{\rho_w} \left( \frac{e_i - e_a}{r_c + r_a} \right) = T \quad (10)$$

式中: $\psi_{s,i}$  为第  $i$  层土壤水势( $m$ ); $\psi_l$  为叶片木质部水势( $m$ ); $r_{s,i}$  为土壤水力抗阻( $s \cdot m^{-1}$ ); $r_{r,i}$  为根系径向抗阻( $s \cdot m^{-1}$ ); $r_{x,i}$  为植物轴向抗阻( $s \cdot m^{-1}$ ); $e_i$  为叶片气孔下腔水汽压( $hPa$ ); $e_a$  为大气水汽压( $hPa$ )。

### 2.5.2 模型参数设置

本研究采用的 STEMMUS-SCOPE 耦合模型参数体系涵盖大气物理、土壤水力学特性、根系分布及冠层生理生态四个关键维度。其中,大气边界条件由站点实测气象数据驱动。针对 SCOPE 与 STEMMUS 子模型中涉及的土壤-植被系统参数,已

有研究表明多数参数对模拟结果的敏感性较低,最大化速率( $V_{cmax}$ )、叶面积指数(LAI)、 $V_G$  模型参数  $n$  与  $\alpha$ 、土壤饱和含水量( $\theta_{sat}$ )及残余含水量( $\theta_r$ )敏感性较高。基于此,本研究参照既有研究成果确立参数化方案(见表 1),不再重复进行敏感性分析,对低敏感性参数在模型预设范围内赋值。

表 1 STEMMUS-SCOPE 耦合模型主要参数设置

Table 1 Main Parameter Settings of the STEMMUS-SCOPE Coupled Model

分区	参数含义/单位	参数取值	
		小麦	玉米
冠层	叶片叶绿素含量 $C_{ab}/(\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$	50	80
	叶类胡萝卜素含量 $C_{ca}/(\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$	10	20
	叶片含水量 $C_w/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$	0.015	0.009
	叶片干物质含量 $C_{dm}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$	0.01	0.012
	衰老物质含量 $C_s$	0	0
	冠层高度 $h_c/\text{m}$	[0~0.7]	[0~1.95]
	消光系数 $K_e$	0.15	0.15
	叶面积指数 $\text{LAI}/(\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2})$	(0.1~3.2)	(0.2~0.26)
	叶倾角分布系数 LIDF	[0.1,-0.2]	[-1,0]
	Ball-Berry 气孔导度模型参数 $m$	9	4
根系	一个特定深度的分数,定义为连续的根数 $f$	0.22	0.22
	根轴向阻抗 $P_a/(\text{s} \cdot \text{m}^{-1})$	$1.5 \times 10^{12}$	$6.5 \times 10^{11}$
	根径向阻抗 $P_r/(\text{s} \cdot \text{m}^{-1})$	$1 \times 10^{11}$	$1 \times 10^{10}$
	根区深度变化速率 $\text{RGR}/(\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{day}^{-1})$	0.075	0.09
	同化产物对根的最小分配系数 $r_{min}$	0.15	0.15
	无胁迫同化产物对根的分配系数 $r_0$	0.3	0.3
	根直径 $r_{root}/\text{m}$	$1.2 \times 10^{-3}$	$0.15 \times 10^{-3}$
	根干物质含碳量 $R_C$	0.488	0.488
	根系生长的最小温度 $T_{min}/^\circ\text{C}$	8	10
	根系生长的最大温度 $T_{max}/^\circ\text{C}$	40	40
土壤	液态水比热容 $C_L/(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	$4.186 \times 10^3$	$4.186 \times 10^3$
	水汽比热容 $C_v/(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	$1.870 \times 10^3$	$1.870 \times 10^3$
	干空气比热容 $C_a/(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	$1.255 \times 10^3$	$1.255 \times 10^3$
	Henry 常数 $H_c$	0.02	0.02
	饱和水力导度 $K_s/(\text{cm} \cdot \text{day}^{-1})$	24	24
	参考温度时的汽化潜热 $L_0/(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$	249 790	249 790
	空气粘度 $m_a/\text{kg} \cdot (\text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	$1.846 \times 10^{-5}$	$1.846 \times 10^{-5}$
	参考温度 $T_r/^\circ\text{C}$	20	20
	润湿差热 $W/(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$	$1.001 \times 10^3$	$1.001 \times 10^3$
	土壤田间持水量 $\theta_f/(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3})$	0.241	0.241
液态水密度 $\rho_L/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	1 000	1 000	
土壤孔隙度 $\varepsilon/(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3})$	0.5	0.5	

### 2.5.3 模拟精度分析

以观测站气象资料及小麦、玉米的生理参数为驱动输入,针对观测期模拟水碳通量,以涡度相关

数据验证模拟结果,并通过均方根误差(RMSE)与决定系数( $R^2$ )评估模型精度,计算公式如下:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (11)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{|\bar{O}|} \quad (12)$$

式中: $P_i$ 为第*i*个模拟值, $O_i$ 为第*i*个观测值, $\bar{O}$ 为观测平均值, $n$ 为样本长度。

### 3 结果分析与讨论

#### 3.1 冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统能量闭合验证

观测期内能量闭合结果如图2所示。小麦生长季能量闭合度为0.93,截距为 $0.87 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,截距变化范围为-0.52至 $2.26 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,决定系数 $R^2$ 为0.87;玉米生长季能量闭合度为0.98,截距为 $29.88 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,变化范围为26.63至 $33.13 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,决定系数 $R^2$ 为0.84。

FLUXNET大部分观测站点的观测数据能量闭合度范围为0.53至0.99(均值为 $0.79 \pm 0.01$ );截距范围为-32.9至 $36.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (均值为 $3.7 \pm 2.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ )<sup>[68]</sup>。ChinaFLUX站点观测数据的拟合斜率分布于0.49至0.81之间,均值为0.67;截距在10.8至 $79.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 范围内,均值为 $28.90 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。综合来看,本研究的观测数据能量闭合度及其截距皆位于合理区间,且能量闭合度表现较好。

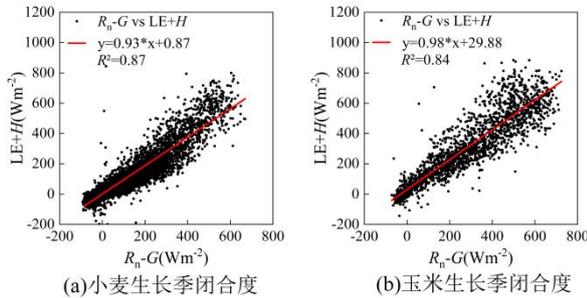


图2 作物生长季能量闭合度分析

Fig.2 Analysis of Energy Closure during Crop Growth Season

#### 3.2 冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统水碳通量特征分析

##### 3.2.1 冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统蒸散发变化特征

基于2024年4月1日至2025年3月31日的半小时数据,绘制观测期内实际蒸散发量( $ET_a$ )和平衡蒸散发量( $ET_{eq}$ )变化散点图,分析其在日尺度上的演变特征,如图3(a)所示。 $ET_a$ 、 $ET_{eq}$ 在观测期内总体呈阶段性波动特征。冬小麦播种后,从刚出苗到分蘖期, $ET$ 出现一个短期波动,从12月至次年1月期间 $ET_a$ 和 $ET_{eq}$ 均达到观测期最低值;在玉米生长季中,随着拔节期间玉米的快速生长, $ET_a$ 从6月中下旬至8月中旬快速增大。在8月底与9月初(玉米成熟收获期), $ET_{eq}$ 与 $ET_a$ 逐渐降低。小麦 $ET_a$ 的最

大日值约为 $8.69 \text{ mm/day}$ ,玉米 $ET_a$ 最大日值约为 $7.54 \text{ mm/day}$ 。

由图3(b)可知,观测期内 $\alpha$ 随着小麦的生长而增长,在5月中旬前后达到阶段性的峰值,随着小麦进入成熟期而逐渐减小,在轮作月份达到一个较低值。 $\alpha$ 变化范围为0.48~5.12,小麦和玉米生长季 $\alpha$ 值均大于0,平均值分别为1.60、1.12。由于研究区在6~8月份降水比较集中,并且灌溉次数相对较多,土壤水分比较充足,此时 $ET_a$ 主要受到可利用能量的限制。随着灌溉次数和降水量的减少,水分成为 $ET_a$ 的主要限制因素<sup>[22]</sup>。

分别对小麦和玉米 $ET_a$ 和 $ET_{eq}$ 进行线性拟合分析,如图4所示。在小麦生长季 $ET_a$ 和 $ET_{eq}$ 拟合斜率为1.27, $ET_{eq}$ 能够解释小麦生长季 $ET_a$ 日变化91%的变异性,说明在小麦生长季,农田的蒸散发过程很大程度上受能量(如太阳辐射、气温)的控制,水分供给的限制作用相对较弱;玉米生长季斜率为1.02, $ET_{eq}$ 能够解释玉米生长季 $ET_a$ 日变化62%的变异性,说明在玉米生长季,农田的蒸散发过程也主要受能量的影响,而图中相较于拟合线比较分散的点说明 $ET_a$ 的变化还受到其他生物或者气象因子的影响<sup>[23]</sup>。许多研究表明,在冬小麦/夏玉米轮作农田中造成两者拟合斜率不同的主要原因是小麦和玉米两种作物在水分利用效率上存在差异性<sup>[24]</sup>,在华北平原冬小麦夏玉米典型农田生态系统开展的的其他相关研究中也发现了类似结果<sup>[25]</sup>。

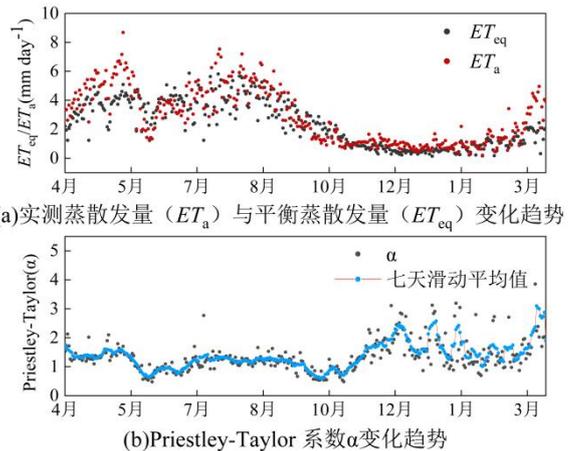


图3 蒸散发量及 Priestley-Taylor 系数 $\alpha$ 变化趋势  
Fig.3 (a) Trends of measured evapotranspiration ( $ET_a$ ) and equilibrium evapotranspiration ( $ET_{eq}$ ), (b) Trends of Priestley-Taylor coefficient

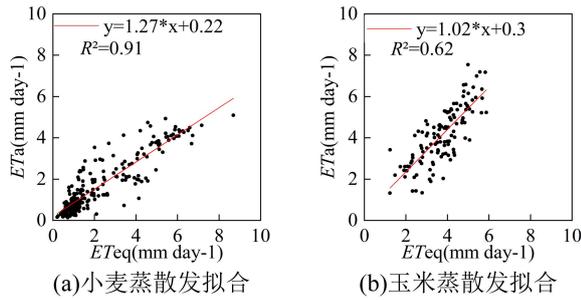


图4 实测蒸散发量( $ET_a$ )与平衡蒸散发量( $ET_{eq}$ )拟合关系

Fig.4 Fitting relationship between measured evapotranspiration ( $ET_a$ ) and equilibrium evapotranspiration ( $ET_{eq}$ )

### 3.2.2 冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统碳通量变化特征

观测期内碳通量月平均日变化特征如图5所示,冬小麦和夏玉米农田碳通量在日变化过程表现出相似的特征。观测期内小麦和玉米生长季的GPP日变化趋势均呈现出明显的倒“U”型,变化范围为 $-3.82\sim 43.70\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,不同月份的峰值变化范围为 $0.98\sim 43.70\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,生长季峰值水平较高,并在生长中期达到最高水平。在非生长季,特别是冬小麦和夏玉米的轮作月份,GPP的日内波动幅度较小,白天仍有碳吸收情况的发生,这可能与农田在生长有少量杂草等植物有关<sup>[26]</sup>,观测区域存在部分大蒜种植区,大蒜的生长也可能是导致碳吸收现象发生<sup>[27]</sup>。

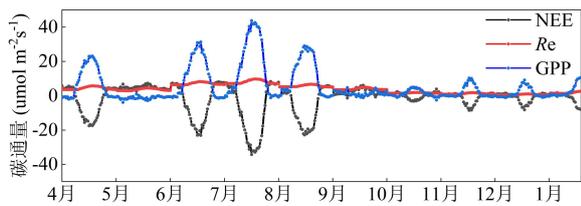


图5 冬小麦夏玉米碳通量月平均日变化趋势  
Fig.5 Monthly average daily trend of carbon fluxes between winter wheat and summer maize

在小麦和玉米生长旺季,GPP昼夜波动明显,小麦日内峰值出现在4月份( $43.34\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,如图6(a)),玉米日内峰值出现在8月份( $43.70\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,如图6(b));在作物快速生长阶段,GPP的日变化特征表现出一定的复杂性,尤其是在正午前后,GPP的峰值会出现明显的波动现象,甚至可能出现两个及以上的峰值点。这种现象的出现是受到多种环境因素的综合影响。一方面,作物受到高温胁迫的影响,气孔出现短时期的关闭现象,限制了二氧化碳的吸收和转换,导致GPP下降,形成峰值波动

[28]。另一方面,温度过高或光照过强时,相关酶的活性降低,导致光合作用速率降低,而后随着温度、光照强度的下降,相关酶活性逐渐恢复,光合作用增强,GPP又一次达到波峰<sup>[29]</sup>。这是由于作物生长旺季温度高、太阳辐射强而具备的变化特征,这种类似现象在对华北平原的相关研究中也同样发生<sup>[30]</sup>。

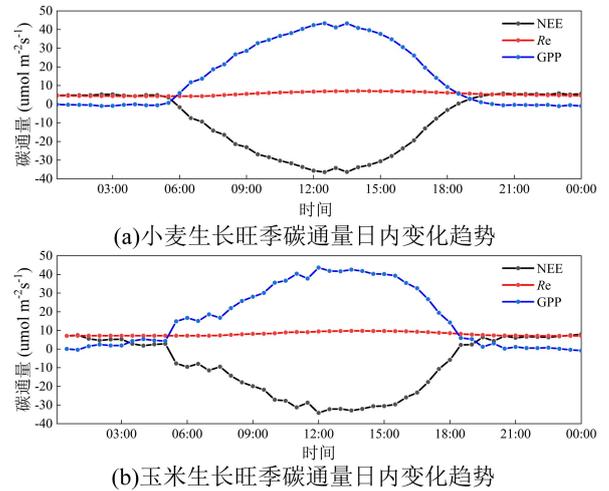


图6 生长旺季碳通量日内变化趋势

Fig.6 Daily trend of carbon flux during the growing season

观测期内,冬小麦/夏玉米的变化特征 $Re$ 也较为相似。在作物的非生长季,受植被覆盖率或者低温的影响,生态系统呼吸以土壤呼吸为主,日内变幅较小,接近于0。进入生长季,小麦和玉米的 $Re$ 呈现出倒“U”型变化趋势,小麦峰值为 $7.07\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,而玉米的峰值则为 $9.76\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,由于玉米对温度和光照的响应更为敏感,其呼吸峰值明显高于小麦。4月和8月分别处于冬小麦和夏玉米的生长旺季,此时土壤微生物活动加速,作物的呼吸作用也因温度升高而升高,使得该生态系统 $Re$ 在4月份和8月份达到峰值水平。

NEE为 $Re$ 与GPP之差,故NEE与GPP呈现出相反的变化趋势,为“U”型变化,变化范围为 $-36.45\sim 8.38\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (负值为碳汇)。夜间作物光合作用停止,NEE等于 $Re$ ,此时生态系统主要表现为净碳排放(碳源);日间,随着GPP的增加,NEE逐渐减小为负值,生态系统开始表现为净碳吸收(碳汇)。最大碳吸收效率出现在13:00左右;观测期内冬小麦和夏玉米NEE的日内峰值分别出现在4月份和8月份,峰值分别为 $-36.45\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $-34.24\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

## 3.3 STEMMUS-SCOPE 耦合模型模拟结果分析

### 3.3.1 土壤含水量和蒸散发模拟

图7为STEMMUS-SCOPE耦合模型对不同深度土壤含水量模拟值与观测值对比情况,模型在模

拟后期普遍高估了不同深度的土壤含水量,对降水和灌溉事件引起的土壤水分动态响应模拟精度较低。

造成耦合模型土壤含水量模拟值与观测值出现较大偏差的原因大致有两个:(1)土壤水分传感器的校正会对观测值产生一定程度影响;(2)本研究中忽略了不同深度土壤性质的变异性(包括土壤容重和土壤饱和导水率),导致模拟值产生一定的偏差。

STEMMUS-SCOPE 耦合模型对蒸散发日值的模拟结果如图 8(a)所示(斜率为 1.19, $R^2=0.81$ )。特别是在玉米生长季,水热条件充足时会更大程度的高估蒸散发,耦合模型参数等条件需进一步改进。

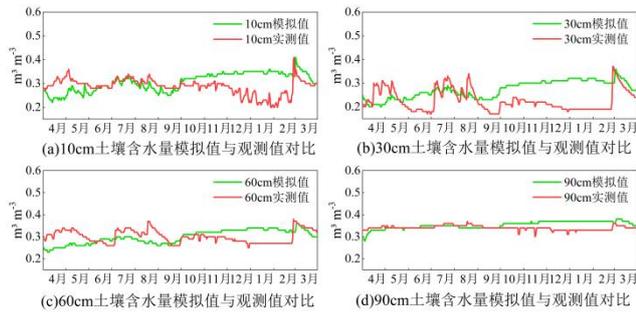


图 7 不同深度土壤含水量模拟值和观测值对比

Fig.7 Comparison of simulated and observed soil moisture content values at different depths

### 3.3.2 净生态系统碳交换模拟

图 8(b)展示了 STEMMUS-SCOPE 耦合模型对研究区冬小麦/夏玉米农田生态系统 NEE 的模拟情况。从模拟值与观测值的拟合情况可知,模拟精度略低(斜率为 0.72, $R^2=0.51$ )。但从时间变化上来看,本研究基本模拟出 NEE 在观测期间的变化趋势,8 月和 12 月至次年 1 月的模拟情况较好,但不能精确模拟 NEE 在小麦生长季的变化情况且峰值出现时间也与观测值不匹配;而在玉米生长季的模拟情况较好,基本可以准确描述玉米快速生长阶段碳汇过程变化情况。由于 NEE 是由 GPP 和  $R_e$  计算得出,因此 NEE 的误差可能源于模型在特定时期对土壤呼吸的模拟精度不足。土壤呼吸与土壤温度和湿度密切相关,该模型在模拟土壤呼吸时仅考虑了土壤温度这一因素,而未充分考虑土壤湿度对土壤呼吸的影响,可能是导致 NEE 误差的一个重要原因。

### 3.3.3 总初级生产力模拟

由图 8(c),STEMMUS-SCOPE 耦合模型对 GPP 的模拟可知,本研究的模拟结果(斜率为 0.57, $R^2=0.57$ ),模拟精度略低。但从对 GPP 模拟的整体趋势上来看,模拟值与观测值在时间上的变化趋势保持一致,对小麦生长季的模拟较玉米生长季较好。GPP 模拟误差可能与冠层参数设置、作物生

长阶段参数化以及水分胁迫响应机制刻画不足有关。与此同时, $R_e$  模拟误差会进一步影响 NEE 的估算精度。

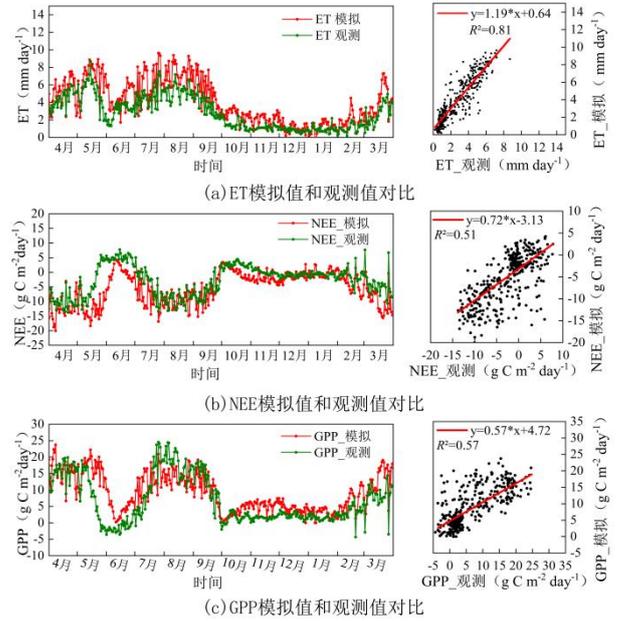


图 8 模拟值和观测值对比

Fig.8 Comparison of simulated and observed values

### 3.4 模型创新与不足

本研究将 STEMMUS-SCOPE 耦合模型引入典型引黄灌区冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统,基于 2024 年 4 月 1 日至 2025 年 3 月 31 日的连续通量观测资料,对该农田生态系统水碳通量变化进行模拟。人民胜利灌区属温带大陆性季风气候,冬春干旱显著、夏季降水集中且年内变率较大,本研究以涡度相关系统观测的逐半小时气象要素和通量数据为驱动,构建了冬小麦/夏玉米轮作周期的连续大气条件,并将净辐射、空气温度、相对湿度等变化特征引入模型计算,相比已有针对半干旱草原或荒漠生态系统的应用,更加符合研究区域内季节性干湿转换与作物生长阶段相耦合的气候特征。本研究将 STEMMUS 模拟的土壤水分动态与 SCOPE 模型相耦合,提升了在复杂水分胁迫条件下的模拟能力,更适用于引黄灌区冬小麦/夏玉米农田灌溉所引起的土壤水分剧烈变化的过程。冬小麦与夏玉米生育周期差异显著、叶面积指数(LAI)增长速率不同、气孔调控策略存在差异,本研究采用基于气孔导度理论的蒸散发计算方案,同时将 SCOPE 模拟的表面土壤温度作为上边界条件输入 STEMMUS,有效增强了土壤-植被系统相互作用的物理一致性。此外,引入的根系动态模块,在根系模块中采用与作物生育进程一致的根区深度演变和根系分布参数,使模型能够精细刻画根系生长与土壤水分的反馈机制。

尽管该模型能够较好地刻画研究区水碳通量

的总体变化规律,但在提升土壤水分—碳循环交互机制的动态表达方面仍需进一步完善,以增强其在复杂灌溉管理条件下的模拟精度。该耦合模型在模拟 NEE 和 GPP 的日变化趋势方面具有较好的适用性,能够较准确地反映作物旺盛生长期碳通量的变化过程。尽管模型整体拟合效果较好,但其对 NEE 和 GPP 的模拟在部分时段仍存在偏差,主要原因是模型在当前参数化过程中未充分考虑土壤湿度对碳通量变化的调控效应。模型在整个观测期内,尤其是后期阶段,对各深度土壤水分的模拟普遍存在高估趋势。同时,模型在模拟土壤对降水与灌溉等水分输入事件的响应方面表现出一定的滞后性,对捕捉短期水分动态变化方面的精度有待提升。在后续的研究中需要对该区域通量数据进行长期观测,引入多源观测(如 LAI、SIF、土壤水分遥感等)约束关键参数,量化并降低不同数据源的不确定性。增加土壤湿度对土壤呼吸的响应函数,并进一步考虑土壤湿度在土壤呼吸计算中的影响权重,完善水分—碳循环的耦合机理,提高对高含水状态下土壤水分动态及相关碳通量过程的模拟精度。

## 4 主要结论

本研究基于涡度相关系统对人民胜利灌区冬小麦/夏玉米轮作生态系统的水碳通量开展连续观测,采用 2024 年 4 月 1 日至 2025 年 3 月 31 日的通量观测数据在日尺度上解析了能量与水碳通量的动态变化特征。采用 STEMMUS-SCOPE 耦合模型,对水碳通量进行模拟,利用通量观测数据验证耦合模型模拟精度并分析耦合模型适用性。研究结论如下:

1) 通量观测站观测数据缺失率在合理范围之内,蒸散发方面冬小麦生长季 $\alpha$ 平均大于 1,此时系统主要受有效能量驱动;夏玉米生长季 $\alpha$ 略低于冬小麦生长季,其差异可能与作物生理特性及气孔调控行为不同有关。

2) 在碳通量方面,观测期内农田生态系统碳通量总体上呈现出阶段性波动的趋势,在生长季波动明显,表现出明显的碳汇,秋冬季趋于平稳。GPP 与  $Re$  日变化呈现倒“U”型,而 NEE 则呈“U”型结构。夜间 NEE 趋于正值,此时生态系统主要以呼吸释放为主。这种碳交换特征与气温波动高度同步,尤其在夏玉米快速生长期,温度对  $Re$  的响应最为敏感。

3) 该耦合模型能够较好再现 NEE 和 GPP 的总体变化趋势,但对其幅值及部分峰值时段的模拟精度仍有限。但由于灌区土壤性质原因,该耦合模型对观测期间的土壤温湿度模拟结果较差,在土壤水

分动态变化对降水和农业灌溉的响应程度的模拟方面精度较低。

本研究基于现场涡度相关观测数据,结合 STEMMUS-SCOPE 耦合模拟,揭示了农田生态系统的能量以及水碳通量在日尺度上的动态特征,并评估了该模型在复杂灌溉与轮作条件下的适用性。研究结果不仅深化了对半干旱灌区农田通量规律的认识,也为精准灌溉管理、碳汇评估与过程模型改进提供了坚实的科学依据。

## 参 考 文 献

- [1] CHEN X,DONG J,LI Z,et al.Same soybean policy,different responses of agricultural systems:Comparing effectiveness of cropping pattern adjusting in state farms and rural household farms of Heilongjiang, China[J].Geography and Sustainability,2025,6(5):187-196.
- [2] 杨帆,魏兴萍,令狐小钰,等.中国西南地区陆地生态系统碳密度空间格局及驱动因子[J/OL].环境科学,(2025-11-04)[2025-12-18].[https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=jpN\\_MAf5WI7TNWB1By9uoNfiIW4Ulh8P9ZtqcEPUdAdFc4vaRLMHoiDXW80MwXM2kyJkPUIVVSki7mUveAFCrm0VleRXv5TjkbeESHnt7NrHRuL1kzANsvwkBN1c-3zAm-vpW3XWx-MEcaCVHRHILhwkkeyIp0m8K9S6x8pFCzwBHEKjLZLBQ==&uniplatform=NZKPT&language=CHS](https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=jpN_MAf5WI7TNWB1By9uoNfiIW4Ulh8P9ZtqcEPUdAdFc4vaRLMHoiDXW80MwXM2kyJkPUIVVSki7mUveAFCrm0VleRXv5TjkbeESHnt7NrHRuL1kzANsvwkBN1c-3zAm-vpW3XWx-MEcaCVHRHILhwkkeyIp0m8K9S6x8pFCzwBHEKjLZLBQ==&uniplatform=NZKPT&language=CHS).[YANG F,WEI X P,LINGHU X Y, et al.Spatial Pattern and Driving Factors of Carbon Density in Terrestrial Ecosystems in Southwest China [J/OL].Environmental Science,(2025-11-04)[2025-12-18].[https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=jpN\\_MAf5WI7TNWB1By9uoNfiIW4Ulh8P9ZtqcEPUdAdFc4vaRLMHoiDXW80MwXM2kyJkPUIVVSki7mUveAFCrm0VleRXv5TjkbeESHnt7NrHRuL1kzANsvwkBN1c-3zAm-vpW3XWx-MEcaCVHRHILhwkkeyIp0m8K9S6x8pFCzwBHEKjLZLBQ==&uniplatform=NZKPT&language=CHS](https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=jpN_MAf5WI7TNWB1By9uoNfiIW4Ulh8P9ZtqcEPUdAdFc4vaRLMHoiDXW80MwXM2kyJkPUIVVSki7mUveAFCrm0VleRXv5TjkbeESHnt7NrHRuL1kzANsvwkBN1c-3zAm-vpW3XWx-MEcaCVHRHILhwkkeyIp0m8K9S6x8pFCzwBHEKjLZLBQ==&uniplatform=NZKPT&language=CHS)].
- [3] MISHRA A K,GROVER D,DAS R,et al.Carbon Sequestration Potential in Agricultural Systems[M].Springer,Singapore:2022:87-111.
- [4] SHUO L,NAN S,MEERSMANS J,et al.Impacts of climate change on crop production and soil carbon stock in a continuous wheat cropping system in southeast England[J].Agriculture,Ecosystems and Environment,2024,365:108909.
- [5] BAYAT B,TOL D V C,YANG P Q,et al.Extending the SCOPE model to combine optical reflectance and soil

- moisture observations for remote sensing of ecosystem functioning under water stress conditions[J].Remote Sensing of Environment,2019,221:286-301.
- [6] ABI S,ZENG Y J,YU L Y,et al.Reconstructing rainfall using dryland dunes:Assessing the suitability of the southern Kalahari for unsaturated zone hydrostratigraphies[J].Frontiers in Earth Science,2022:1034671.
- [7] XUN Y H,XIAO X,SUN C,et al.Modeling heat-water-salt transport,crop growth and water use in arid seasonally frozen regions with an improved coupled SPAC model[J].Journal of Hydrology,2022,615:128703.
- [8] TANG E,ZENG Y,WANG Y,et al.Understanding the effects of revegetated shrubs on fluxes of energy,water, and gross primary productivity in a desert steppe ecosystem using the STEMMUS - SCOPE model[J].Biogeosciences,2024,21(4):17.
- [9] 姜玲玲,罗岚,邢贞成,等.中国耕地面积的时空变化及其对温度和降水的响应研究[J].大气科学学报,2025,48(5):818-827.[JIANG L L,LUO L,XING Z C,et al.Research on the Spatiotemporal Changes of Cultivated Land Area in China and Its Responses to Temperature and Precipitation[J].Transactions of Atmospheric Sciences,2025,48(5):818-827.]
- [10] 朱兴宇.内陆干旱区水-农业-生态协同配置与优化调控[D].杨凌:西北农林科技大学,2024.[ZHU X Y.Coordinated Allocation and Optimal Regulation of Water-Agriculture-Ecology in Arid Inland Regions[D].Yangling:Northwest A&F University,2024.]
- [11] WANG M L,SHI W J.The annual dynamic dataset of high-resolution crop water use in China from 1991 to 2019[J].Scientific Data,2024,11(1):1373.
- [12] 黄进,张方敏.河南省冬小麦关键阶段降水致灾的解析与预判[J].生态学杂志,2026,45(2):644-652.[HUANG J,ZHANG F M.Analysis and Prediction of Disaster Caused by Precipitation during Key Stages of Winter Wheat in Henan Province [J].Chinese Journal of Ecology,2026,45(2):644-652.]
- [13] ZHANG D,LUO D.Evolutionary Characteristics Extraction and Catastrophic Years Prediction of Agricultural Drought Disaster in Henan Province,China[J].Pure and Applied Geophysics,2024,182(2):1-21.
- [14] 韩宇平,柴奕,刘中培,等.人民胜利渠灌区地下水氮含量时空分布特征研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2018,39(1):25-30,96.[HAN Y P,CHAI Y,LIU Z P,et al.Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen Content in the Groundwater of People's Victory Canal Irrigation District [J].Journal of North China University of Water Resources and Electric Power(Natural Science Edition),2018,39(1):25-30:96.]
- [15] XU Y H,SONG L S,KUSTAS W P,et al.Application of the two-source energy balance model with microwave-derived soil moisture in a semi-arid agricultural region[J].International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2022,112:102879.
- [16] LIANG F,STRUIK C P,YIN X Y,et al.Canopy carbon- and water-use efficiencies in response to temperature and water deficit for wheat[J].Plant,Cell & Environment,2025,48(12):8674-8687.
- [17] KATO T,TANG Y,GU S,et al.Carbon dioxide exchange between the atmosphere and an alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau,China[J].Agricultural and Forest Meteorology,2004,124(1/2):121-134.
- [18] REICHSTEIN M,FALGE E,BALDOCCHI D,et al.On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration:review and improved algorithm[J].Global Change Biology,2005,11(9):1424-1439.
- [19] ZHU K,CHEN J H,WANG S Q,et al.Characterization of the layered SIF distribution through hyperspectral observation and SCOPE modeling for a subtropical evergreen forest[J].ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2023,201:78-91.
- [20] YU L Y,ZENG Y J,SU Z B.Understanding the mass,momentum,and energy transfer in the frozen soil with three levels of model complexities[J].Hydrology and Earth System Sciences,2020,24(10):4813-4830.
- [21] MAHEAUX H,LEAVITT P R,JACKSON L J.Asynchronous onset of eutrophication among shallow prairie lakes of the northern Great Plains,Alberta,Canada[J].Global Change Biology,2016,22(1):271-283.
- [22] MIGUEL B,BLAI V,V. R S,et al.Ecological mechanisms underlying aridity thresholds in global drylands[J].Functional Ecology,2021,36(1):4-23.
- [23] MA L,YU G,CHEN Z,et al.Cascade effects of climate and vegetation influencing the spatial variation of evapotranspiration in China[J].Agricultural and Forest Meteorology,2024,344:109826.
- [24] 赵健.基于无人机遥感的农田土壤水分模拟研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2024.[ZHAO J.Soil Moisture

- Modeling Using UAV Remote Sensing Technology at Farmland Scale[D].Yangling:Northwest A&F University,2024.]
- [25] LEI H,YANG D.Interannual and seasonal variability in evapotranspiration and energy partitioning over an irrigated cropland in the North China Plain [J].Agricultural and Forest Meteorology,2010,150(4):581-589.
- [26] MONSERRAT V,M E B,M D B,et al.Understanding the combined impacts of weeds and climate change on crops [J].Environmental Research Letters,2021,16(3):034043.
- [27] CHEN Q,HU N J,ZHANG Q,SUN H W,ZHU L Q.Effects of biodegradable plastic film mulching on the global warming potential,carbon footprint, and economic benefits of garlic production[J].Agronomy,2024,14(3):504.
- [28] GRADY P.Glycosylation in the Golgi guides cellulose synthesis at the cell wall[J].The Plant Journal,2022,111(4):921-922.
- [29] WITKOWSKI W T,LUCKA M,GUZY A,et al.Impact of mining-induced seismicity on land subsidence occurrence [J].Remote Sensing of Environment,2024,301:113934.
- [30] 郑泽梅,于贵瑞,温学发,等。温度和生物因子对农田生态系统呼吸的影响:以华北平原冬小麦-夏玉米复种农田生态系统为例(英文)[J].资源科学,2009,31(4):656-662.[ZHENG Z M,YU G R,WEN X F,et al.Temperature and biotic factor control the seasonal and interannual variations of ecosystem respiration:a case study of winter wheat-summer maize double agroecosystem[J].Resources Science,2009,31(4):656-662.]

## Water and Carbon Fluxes in a Rotation Cropland Ecosystem in the Yellow River Irrigation District and Evaluation of Model Applicability

WANG Tingyu<sup>1</sup>, YANG Songlin<sup>2</sup>, WU Guanghui<sup>2</sup>, WANG Yunfei<sup>3</sup>, WANG Fuqiang<sup>1\*</sup>, JIAO Tianyi<sup>1</sup>

(1. College of Water Resources, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 2. Henan Yudong Water Conservancy Guarantee Center, Kaifeng 475000, China; 3. Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** **【Objective】** Water stress occurs frequently in the winter wheat–summer maize rotation system in the Yellow River irrigation district, while its carbon sink characteristics remain unclear. This study combined long-term flux observations with STEMMUS–SCOPE simulations to examine the variation in water and carbon fluxes in the cropland ecosystem and to assess model applicability under complex irrigation conditions. **【Methods】** The study was carried out in the People’s Victory Canal Irrigation District, a typical Yellow River irrigation district. Eddy covariance data were used to analyze the variation in water and carbon fluxes in the winter wheat–summer maize rotation cropland ecosystem. The coupled STEMMUS–SCOPE model was then applied to simulate the dynamics of these water and carbon fluxes. **【Results】** During the observation period, evapotranspiration (ET) in the People’s Victory Canal Irrigation District was mainly controlled by net radiation (R<sub>n</sub>). For both winter wheat and summer maize, the mean diurnal pattern of monthly net ecosystem exchange (NEE) was “U”-shaped, whereas gross primary productivity (GPP) and ecosystem respiration (R<sub>e</sub>) showed inverted “U”-shaped patterns. All three fluxes were relatively stable at night and reached peak values around noon. Peak values showed short-term fluctuations under temperature effects under the influence of temperature. The coupled STEMMUS–SCOPE model performed well in simulating plant water and carbon fluxes under water stress. However, the model did not fully account for the effect of soil moisture on soil respiration. As a result, its simulation accuracy for NEE was relatively low and still needs improvement. **【Conclusion】** This study clarified the diurnal dynamics of water and carbon fluxes in the winter wheat–summer maize rotation cropland of the Yellow River irrigation district. It confirmed that the rotation system acted as a strong carbon sink during the growing season. It also quantified the performance of the coupled STEMMUS–SCOPE model under the complex irrigation and rotation conditions of the Yellow River irrigation district. These results provide a reference for improving agricultural water use efficiency.

**Keywords:** STEMMUS-SCOPE model; water and carbon flux; eddy correlation; Yellow River irrigation area; winter wheat/summer corn rotation farmland ecosystem