

# 团体标准

编制说明

《江苏太湖稻麦两熟区作物丰产高效与土壤固碳减排  
技术规范》

标准编制组

2025-7-6

**标准名称：**江苏太湖稻麦两熟区作物丰产高效与土壤固碳减排技术规范

**标准起草单位：**苏州市农业科学院（江苏太湖地区农业科学研究所）、南京农业大学、江苏省农业科学院、苏州市农业技术推广中心、苏州市耕地质量保护站

**标准起草人：**施林林、董林林、王松寒、张岳芳、吴正贵、陈吉、刘文秀、江瑜、盛雪雯、陆阳、王海候、陆长婴

## 1. 工作简介

### 1.1 任务来源

团体标准《江苏太湖稻麦两熟区作物丰产高效与土壤固碳减排技术规范》获得了以下项目支持，国家重点研发计划项目子课题（2016YFD0300903-05）“水旱轮作稻田丰产增效和环境友好耕作关键技术”、江苏省碳达峰碳中和科技创新专项资金（农业农村领域重大关键技术攻关）课题（BE2022308-2）“水稻高产高效与固碳减排协同关键技术研发”和苏州市碳达峰碳中和科技支撑计划项目（ST202228）“基于丰产高效的农田生态系统固碳增汇技术集成与示范”等科技项目。根据 2024 年 4 月中国土壤学会第十四届理事会议通过 2024 年 5 月 6 日起实施的《中国土壤学会团体标准制修订项目管理办法（试行）》通知，苏州市农业科学院（江苏太湖地区农业科学研究所）联合南京农业大学、江苏省农业科学院、苏州市农业技术推广中心和苏州市耕地质量保护站等单位，开展了江苏太湖稻麦两熟区作物丰产高效与土壤固碳减排相关技术规范的制定工作。

### 1.2 协作单位

#### （1）牵头单位

苏州市农业科学院（江苏太湖地区农业科学研究所），组织实施标准起草工作及各起草单位之间的协调工作。

#### （2）参加单位

南京农业大学、江苏省农业科学院、苏州市农业技术推广中心、苏州市耕地质量保护站，参与标准起草及应用和验证工作。

### 1.3 主要编制过程

为使制定的标准具有先进性和科学性，标准起草工作组进行了大量的工作，主要工作过程包括：

时间	主要推进工作
2024-1-1~2024-5-30	开展技术标准的前期调研工作，查询国内外相关标准及研究报道，并召开标准启动会与相关行业内专家交流标准规范的编制思路。
2024-6-1~2024-10-30	验证实验方案，实验室内进行样品均匀性验证，并组织

	协同实验室开展方法验证工作,收集并整理验证方法数据。
2024-11-1~2024-12-1	结合调研和实验室工作情况,开发并建立标准方法,组织行业内专家审查标准草案,修订编制草案及编制说明。
2025-1-1~2025-5-30	形成征求意见稿和编制说明。

## 1.4 起草组成员及其所做的主要工作

起草成员	所做的主要工作
施林林	负责标准整体结构的设计和技术内容的确定,协调标准编制过程中各起草单位之间的工作;负责标准整体结构的设计和技术内容的确定,组织专家评审及意见修改工作。
董林林	
王松寒	
张岳芳	
吴正贵	负责资料收集、文献检索、样品采集与分析、标准编写等工作。负责资料收集,数据归纳整理,参与标准起草和标准论证工作。参与标准起草和标准论证,协助组织专家评审及意见修改工作。
陈吉	
刘文秀	
江瑜	
盛雪雯	
陆阳	
王海候	调度起草组成员推荐标准制定程序和进度,组织协调标准制定所需资源。
陆长婴	

## 2 标准编制原则和确定主要内容的论据

### 2.1 编制原则

本标准的编制原则为以科学发展观为指导,以实现经济、社会的可持续发展为目标,以土壤相关法律、法规、规章、政策和规划为根据,积极借鉴国内外先进标准,遵循“科学性、先进性、可行性、规范性”的原则,通过制定和实施标准,促进社会效益、经济效益和生态效益的统一。

#### (1) 科学性

标准制定前,起草组首先搜集了国内外先进标准和前沿的科学研究,并以农

业生态学、土壤学、作物栽培学等学科理论为基础，结合江苏稻麦两熟区长期试验数据和研究成果，确保技术内容的科学性和可靠性。所有技术指标和参数基于田间试验、示范推广及文献数据，采用统计分析等方法验证其有效性。技术措施符合了农田生态系统规律，兼顾作物丰产高效与土壤固碳减排的双重目标，避免片面追求产量而忽视土壤健康（张洪程等, 2022; 张卫建等, 2021）。

### **（2）先进性**

标准制定过程中标准起草组查阅了国际、国内针对作物丰产高效与土壤固碳减排的相关法律法规、标准资料和科研论文，并在制定过程中多次与行业内专家进行了咨询和讨论，确保了技术的先进性。

### **（3）可行性**

本标准在参考国内外相关标准及研究报道的基础上，针对太湖地区环境气候、土壤、栽种作物、耕作制度等实际特点，基于实际生产特点，做到因地制宜。本标准的制定充分听取了各地推广部门、种植农户、行业专家的意见，采用现有成熟配套技术，降低操作门槛，提高标准的实际可行性。

### **（4）规范性**

本标准依据 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写》和 GB/T 20001.4-2015《标准编写规则第 4 部分：试验方法标准》的要求进行编制，保证了标准的规范性。同时，术语定义、技术指标、测量方法等参考行业规范，确保与现有农业标准体系衔接。

## **2.2 确定标准主要内容的论据**

### **（1）本标准适用范围的论据**

本标准中江苏太湖稻麦两熟区主要包括江苏省苏州市、无锡市和常州市内行政区域。目前该区域农业面临作物丰产的政治要求、耕地地力退化问题与土壤固碳的双重压力（胡明成,等, 2025）。本标准聚焦区域内“稻麦两熟”种植模式，针对性提出通过优化施肥、秸秆还田、耕作方式、水分管理等技术途径（严圣吉,等 2022），系统性解决本区域作物丰产和土壤碳库提升的问题。

### **（2）本标准碳库分级管理的论据**

在围绕作物丰产与碳库提升管理过程中，由于我国不同地区种植技术与环境差异大，采用单一标准或规范难度较大，因此亟需围绕种植区域制定针对性措施。

在上述背景下，本标准以太湖稻麦两熟区作为应用范围，边界清晰，提出区域化和精细化的“因碳施策”分级管理。同时，最新的研究表明，土壤中现有有机碳对土壤进一步固碳具有举足轻重的作用（King et al., 2025）。根据团队已有的研究结果，对太湖稻麦两熟区按土壤有机碳水平进行分级（高/中/低），并对分级田块设定作物目标产量，同时提出针对性技术路径，使其符合“因碳施策”的科学管理原则。具体而言，“低碳库”田块应侧重有机物料（秸秆、有机肥、生物质炭），执行“调氮固碳”的策略，快速补充土壤碳库，增加作物产量；“中碳库”田块应侧重适量秸秆和有机肥，执行“稳氮固碳”的策略，在确保作物产量的同时，避免土壤有机碳的矿化损失；“高碳库”田块应允许秸秆离田再利用，并在旱季采用有机肥替代化肥，降低甲烷排放，执行“减氮固碳”的策略，兼顾作物丰产与固碳减排。

### （3）“高/中/低”土壤碳库水平划分论据

为界定太湖地区稻麦两熟农田土壤碳库水平，在国家重点研发计划项目子课题（2016YFD0300903-05）“水旱轮作稻田丰产增效和环境友好耕作关键技术”、江苏省碳达峰碳中和科技创新专项资金（农业农村领域重大关键技术攻关）课题（BE2022308-2）“水稻高产高效与固碳减排协同关键技术研发”和苏州市碳达峰碳中和科技支撑计划项目（ST202228）“基于丰产高效的农田生态系统固碳技术集成与示范”等科技项目支持下，项目团队持续监测太湖稻麦两熟区典型稻麦农田土壤 4025 个、国家和省级长期定位观测点 65 个，其中 10 年以上长期观测点位 5 个，40 年以上长期观测点位 1 个。在上述观测数据的支持下，对土壤碳库水平进行科学划分。

采用机器学习方法对土壤碳库水平进行划分，首先基于  $3\sigma$  原则去除离群值，清洗土壤有机碳数据；然后通过手肘法（Elbow method）确定最佳聚类数，并采用 K 均值算法（K-means）进行无监督聚类分析，确定不同聚类中心的土壤有机碳水平。进一步利用随机森林模型（Random Forest）对土壤有机碳库数据库进行建模，所构建模型可用来进一步评价和划分土壤“高/中/低”碳库水平。模型所获取的土壤碳库高、中、低阈值线如下，低碳库水平农田：土壤有机碳含量  $< 13.3$  g/kg；中碳库水平农田：土壤有机碳含量  $13.3$  g/kg~ $17.9$  g/kg；高碳库水平农田：土壤有机碳含量  $> 17.9$  g/kg。

#### **(4) 关键技术内容的论据**

##### **①不同碳库水平下化学施肥量、种类和施肥方式的论据**

太湖稻麦两熟农田丰产固碳适宜施肥量依据团队获得的第九届江苏省农业技术推广三等奖《江苏沿江农田养分库容优化与化肥减量耦合增效技术集成及推广》、苏州市科学技术进步三等奖《水稻土肥力演变规律及培肥技术与应用》相关成果，实际不同碳库水平下，依据碳库分级管理的要求，对氮磷钾的施用量进行增减。建议“高碳库”田块“减氮磷肥稳钾肥”，“中碳库”田块“减氮稳磷补钾肥”，“低碳库”田块“增氮磷肥补钾肥”。肥料选择缓混肥，并采用一次性施肥技术，相关技术来源为本标准合作起草单位南京农业大学《水稻机插缓混一次施肥技术》。

##### **②不同碳库水平下秸秆还田与耕作方式的论据**

太湖稻麦两熟农田丰产固碳的秸秆还田与耕作方式依据项目参考成果 2021 年度中国农业绿色发展研究会科学技术奖一等奖《水稻丰产优质与甲烷减排关键技术及应用》，详细技术参数参考《稻田秸秆还田技术手册》。依据上述成果，本标准建议在不同碳库水平下选择差异化秸秆还田方式，其中“高碳库”水平下建议秸秆全量离田，降低秸秆还田负生态效应，提高作物稳产性；在“中碳库”水平下建议稻秸秆还田，麦秸秆离田，长期提升作物丰产性，确保固碳减排效应；在“低碳库”水平下建议稻麦秸秆全量还田，长期提高作物产量，确保土壤固碳。同时，秸秆还田中建议犁耕还田，将秸秆深翻入 20~25cm，相关技术参考稻麦秸秆机械化全量还田技术规范（DB3205/T 197-2018）。

##### **③不同碳库水平下有机物料还田的论据**

太湖稻麦两熟区有机物料投放的主要种类、数量依据团队获得的第九届江苏省农业技术推广三等奖《江苏沿江农田养分库容优化与化肥减量耦合增效技术集成及推广》、苏州市科学技术进步三等奖《水稻土肥力演变规律及培肥技术与应用》相关成果。详细的技术参数参考团队参与编著的《中国土壤肥力演变》第二版、《农田土壤有机质提升理论与实践》和《典型稻作区土壤肥力时空变化与提升原理》。依据上述成果，本标准建议在不同碳库水平下投入不同数量有机物料促进作物丰产与土壤固碳。其中，“高碳库”田块不建议继续增施有机肥，以缓混肥替代有机肥；“中碳库”田块建议在麦季采用有机肥替代 20%~30%化学氮

肥，有机肥优选商品有机肥、腐熟粪肥和沼液肥；“低碳库”田块建议在麦季采用有机肥替代 20%~30%化学氮肥的基础上，稻麦两季均再增施总氮量 15%~20%的有机肥料，有机肥优选商品有机肥、腐熟粪肥和沼液肥，并增施生物炭。上述有机物料作为基肥一次性施入，实施过程参考畜禽粪便还田技术规范（GB/T 25246）、肥料合理使用准则通则（NY/T 496）和沼液施用技术规范（NY/T 2065）等技术规程。

### 3 主要试验论证及分析

#### 3.1 “高碳库”农田作物丰产高效与土壤固碳减排技术

太湖地区稻麦两熟“高碳库”农田土壤类型通常为经过多年耕作的典型水稻土，土地类型以永久基本农田和高标准农田为主，具有保水保肥效果好、土壤有机碳含量高、作物丰产性好等特点。团队研究表明，太湖地区“高碳库”土壤有机碳含量趋近“饱和”（Shen et al., 2007），土壤碳库继续提升潜力较小，因此，“高碳库”农田应重点聚焦稳定土壤碳库、降低环境负荷（减少氮投入）、优化栽培措施和提高作物丰产性。目前，针对“高碳库”农田，研究团队提出以缓混肥为突破口、水密协同为配套，研发“高碳库”水平下农田丰产高效与固碳减排协同的“减氮固碳”技术。

项目组通过多年试验，提出在太湖地区“高碳库”农田中使用“缓混肥+侧深施肥+水密协同技术”替代传统栽培技术。针对太湖地区以常规粳稻为主，建议选用缓混肥替代传统化肥以提高氮肥利用率，如采用  $N:P_2O_5:K_2O=30:6:12$  的缓混肥做基肥一次施用，建议施用量为 40-50 公斤/亩。为保证水稻丰产，辅助后期叶色诊断施肥。在水稻倒 3 叶期根据叶色诊断补施穗肥。叶色褪淡明显（顶 4 叶浅于顶 3 叶），则施用 5 公斤以内的氮肥。叶色正常（顶 4 叶与顶 3 叶叶色相近），则不施用穗肥（丁艳锋等., 2020）。在上述技术基础上，辅以精细平地、精确灌溉、增加播种密度和绿色防控等多种栽培技术，确保土壤碳库稳定和作物丰产。经过 2022~2024 年的大田试验示范，采用以缓混肥为突破口、水密协同为配套的农田丰产高效与固碳减排协同的“减氮固碳”技术，在氮肥施用量减少 1.2 公斤/亩的前提下，水稻产量可以提升 5.3%；与此同时，氮肥利用率提升了 13.2 个百分点，土壤有机碳含量提升了 7.19%。

### 3.2 “中碳库”农田作物丰产高效与土壤固碳减排技术

太湖地区稻麦两熟“中碳库”农田土壤主要为一般农田，土地类型包括水田和水浇地等，土壤保水保肥性能较好，土壤肥力和土壤有机碳含量中等，作物丰产性常受施肥水平、栽培措施、种植制度和耕作方式等多重因素共同影响。团队通过研究发现，太湖地区“中碳库”农田土壤有机碳具有较大提升空间，合理的有机物料投入有助于作物丰产与土壤碳库提升。目前，针对“中碳库”农田，研究团队提出“稳氮固碳”的策略，主要通过有机肥替代化肥和秸秆还田，并结合机械化犁耕和旋耕等技术模式来实现。

项目组通过对持续 34 年的有机肥替代化肥效应的定位跟踪和观测，发现太湖稻麦两熟区“中碳库”土壤有机碳施用有机肥替代化肥土壤固碳速率稳定在 0.11~0.40 吨/每公顷/每年，固碳效率为 6.3%，土壤有机碳库提升潜力达 23.5% 以上（He et al., 2021），且水稻产量提升 3.0%，小麦产量提升 8.1%（Shen et al., 2007）。同时，项目组通过对持续 9 年的稻麦秸秆还田效应的定位跟踪与观测，发现太湖稻麦两熟区“中碳库”土壤中麦秸秆全量还田土壤有机碳累计提升 32.4%，稻秸秆全量还田土壤有机碳累计提升 44.6%，稻麦秸秆全量还田土壤有机碳累计提升 58.1%。同时，麦秸秆全量还田稻麦产量提升 3.2%，稻秸秆全量还田稻麦产量提升 9.9%，稻麦秸秆全量还田稻麦产量提升 10.5%（Wang et al., 2019）。另外，研究团队通过对持续 10 年的秸秆还田观测后发现，秸秆还田配合犁耕深翻后，土壤有机碳含量提升 3.7%，稻麦产量提升 12.9%（Zhang et al., 2015）。

### 3.3 “低碳库”农田作物丰产高效与土壤固碳减排技术

太湖地区的“低碳库”农田主要来源为复垦地块和围垦新增耕地等，总体地块肥力低、土壤有机碳含量低、土壤氮磷钾及中微量元素含量不均衡、土壤酸碱失衡、板结不爽水，稻麦作物常常减产。但与此同时上述“低碳库”农田具有极高的有机碳和作物产量提升空间。针对上述问题，研究团队提出了“调氮固碳”的技术模式，通过在“低碳库”田块开展增施有机肥和生物炭、秸秆还田和机械化犁耕+旋耕等技术模式。同时，结合化肥优化施用，提高土壤固碳效率和作物肥料利用率。

2022-2024 年项目团队在太湖稻麦两熟区新围垦试验田块进行试验，采用有

机肥替代 20%化肥，另每隔 3 年增施生物炭 1000 kg/667m<sup>2</sup>，同时稻麦秸秆全量深翻还田。结果表明，采用“低碳库”技术模式土壤有机碳含量从 10.01 g/kg 增加至 11.35g/kg，有机碳增幅达 13.39%，且稻麦作物产量保持稳定（数据尚未发表）。团队在围垦地块的田间试验结果也表明采用秸秆还田与生物炭还田后，土壤有机碳含量增加了 26.9%~65.3%，提高了土壤肥力水平（Dong et al., 2022）。同时，最新研究表明，稻季施用生物炭可降低 13.5%甲烷的排放（Yang et al., 2025）。

#### 4 标准涉及的相关知识产权说明

同时，通过检索发现，与本标准内容有关的编写团队发表的重要论文有 8 篇，已获授权的专利 2 项，详细清单如下：

##### 论文：

- [1] Xu, Y., Sheng, J., Zhang, L., Sun, G., Zheng, J., 2025. Organic fertilizer substitution increased soil organic carbon through the association of microbial necromass C with iron oxides. *Soil and Tillage Research* 248, 106402.
- [2] Zhang, N., Wang, L., Wang, X., Liu, Zhuoshu, Huang, S., Wang, Z., Chen, C., Qian, H., Li, G., Liu, Zhenghui, Ding, Y., Zhang, W., Jiang, Y., 2024. Effects of warming on greenhouse gas emissions from China's rice paddies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 366, 108953.
- [3] Dong, L., Wang, H., Shen, Y., Wang, L., Zhang, H., Shi, L., Lu, C., Shen, M., 2023. Straw type and returning amount affects SOC fractions and Fe/Al oxides in a rice-wheat rotation system. *Applied Soil Ecology* 183, 104736.
- [4] He, F., Shi, L., Tian, J., Mei, L., 2021. Effects of long-term fertilisation on soil organic carbon sequestration after a 34-year rice-wheat rotation in taihu lake basin. *Plant, Soil and Environment* 67, 1–7.
- [5] Shi, L., Dong, L., Zhang, J., Huang, J., Shen, Y., Tao, Y., Wang, H., Lu, C., 2024. Rotary tillage plus mechanical transplanting practices increased rice yields with lower CH<sub>4</sub> emission in a single cropping rice system. *Agriculture* 14, 1065.
- [6] Wang, H., Shen, M., Hui, D., Chen, J., Sun, G., Wang, X., Lu, C., Sheng, J., Chen, L., Luo, Y., Zheng, J., Zhang, Y., 2019. Straw incorporation influences soil organic carbon sequestration, greenhouse gas emission, and crop yields in a Chinese rice

(*Oryza sativa* L.) –wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping system. Soil and Tillage Research 195, 104377.

[7] Zhang, L., Zheng, J., Chen, L., Shen, M., Zhang, X., Zhang, M., Bian, X., Zhang, J., Zhang, W., 2015. Integrative effects of soil tillage and straw management on crop yields and greenhouse gas emissions in a rice–wheat cropping system. European Journal of Agronomy 63, 47–54.

[8] 施林林, 柳开楼, 董林林, 沈园, 陈培峰, 沈明星, 王海侯, 2024. 太湖地区稻麦轮作系统有机氮肥替代率的演变特征及其影响因素. 中国农学通报 40, 1–6.

专利:

[1] 沈明星, 沈园, 金梅娟, 陶玥玥, 董林林, 施林林, 周新伟, 王海侯, 陆长婴. 一种稻茬旱作物移栽的清秸开沟起垄打穴施肥五位一体机 (CN 211580564 U).

[2] 王海侯, 沈明星, 何胥, 陆长婴, 金梅娟, 施林林, 周新伟, 朱兴连. 一种炭基辅料及其制备方法和在禽畜粪便堆肥中的应用 (CN 211580564 U).

## 5 采用国际标准的程度与水平的简要说明

### 5.1 与国内外同类标准水平对比情况

由于本标准围绕太湖稻麦两熟农田制定, 因此无国际标准可类比。本标准的制定主要是规范江苏太湖稻麦两熟区作物丰产高效与土壤固碳减排协同生产的技术标准, 做到了与现有相关标准的有效衔接, 包括粮食作物种子第 1 部分: 禾谷类 (GB 4404.1-2008)、畜禽粪便还田技术规范 (GB/T 25246)、肥料合理使用准则通则 (NY/T 496)、稻麦秸秆机械化全量还田技术规范 (DB3205/T 197-2018)、有机肥料 (NY/T 525)、测土配方施肥技术规范 (NY/T 1118)、沼肥施用技术规范 (NY/T 2065) 和水稻机插缓混一次施肥技术规程 (DB32/T 4136-2021)。

同时, 经查询, 围绕稻麦丰产高效与土壤固碳减排, 与本技术标准类似的相关现有标准如下, 稻田固碳减排栽培技术 (DB21/T)、农田土壤固碳评价技术规范 (T/CGDF00035-2022) 和气候智慧型农业作物生产固碳减排监测与核算规范 (NY/T4300)。上述标准中稻田固碳减排栽培技术 (DB21/T) 重点围绕固碳减排, 并未强调作物丰产高效, 同时也未对田块进行分级管理; 农田土壤固碳评价

技术规范（T/CGDF00035-2022）和气候智慧型农业作物生产固碳减排监测与核算规范（NY/T4300）重点强调了农田固碳减排的监测、核算与评价，未针对稻麦农田作物丰产高效与土壤固碳减排提出技术措施。因此，目前国内尚无针对太湖稻麦两熟区的作物丰产高效与土壤固碳减排的相关标准发布，且本编制标准目标明确、适用范围清晰、关键技术成熟可靠、操作性强，对实际生产具有较好指导意义。

## 5.2 与有关的现行法律法规和强制性标准的关系

本文件符合现行的法律法规要求，无与本文件有冲突、矛盾和相关的强制性（国家、行业、地方）标准，与相关强制性标准具备协调一致性。

## 6 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准目前未收到重大分歧意见。

## 7 其他应予说明的事项

（1）本标准为推荐性标准，不具有强制性，任何单位均有权决定是否采用。

（2）为了贯彻实施本标准，建议本标准从发布到正式实施留有 6 个月的过渡期，在这段时间内开展一系列的推广和宣传活动，使推广部门能意识到分碳库容量制定稻麦丰产高效与固碳减排措施的内在含义和作用。

## 8 实施推广建议

该技术适宜推广区域为江苏省沿太湖地区的稻麦轮作农田种植区域。

针对本文件的实施推广，建议充分利用会议、论坛、新媒体等多种形式，开展标准宣传、解读、培训等工作。（1）开展培训，对实施单位或其他单位目标用户开展标准培训，包括专题培训、举办论坛等；（2）会议解读宣传，依托各学术年会及相关会议，解读宣传标准；（3）媒体宣传，利用互联网及相关媒体，对标准的发布及应用情况进行宣传。让更多的从业者了解标准内容，不断提高行业内对太湖稻麦两熟农田丰产固碳技术规范的认识，促进标准推广和实施。确保各标准相关实施单位准确把握本标准的指标参数和要求，在生产中积极采纳、引用、实施本标准，发挥地方标准指导促进太湖地区稻麦产业可持续发展的作用。

同时，在标准推广过程中，及时总结梳理标准应用效果和情况。（1）标准应用情况及效果。标准发布后，具体实施的单位有哪些，取得怎样的社会效益和

经济效益；（2）文件引用情况。本文件发布后，被国家有关政策文件、规范性文件及其他相关文件的引用情况；（3）树立典型案例。对于推广实施效果较好的标准应用单位，进行重点宣传，作为典型案例进一步宣传。

## 参考文献

- Dong, L., Wang, H., Shen, Y., et al. Straw Type and Returning Amount Affects SOC Fractions and Fe/Al Oxides in a Rice-Wheat Rotation System. *Applied Soil Ecology* **2023**, 183, 104736.
- He, F., Shi, L., Tian, J., et al. Effects of Long-Term Fertilisation on Soil Organic Carbon Sequestration after a 34-Year Rice-Wheat Rotation in Taihu Lake Basin. *Plant, Soil and Environment* **2021**, 67, 1–7.
- King, A.E., Sokol, N.W. Soil Carbon Formation Is Promoted by Saturation Deficit and Existing Mineral-Associated Carbon, Not by Microbial Carbon-Use Efficiency. *Science Advances* 11, eadv9482.
- Ming-Xing Shen, Lin-Zhang Yang, Yue-Ming Yao, et al. Long-Term Effects of Fertilizer Managements on Crop Yields and Organic Carbon Storage of a Typical Rice–Wheat Agroecosystem of China. *Biol Fertil Soils* **2007**, 44, 187–200.
- Wang, H., Shen, M., Hui, D., et al. Straw Incorporation Influences Soil Organic Carbon Sequestration, Greenhouse Gas Emission, and Crop Yields in a Chinese Rice (*Oryza Sativa* L.) –Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Cropping System. *Soil and Tillage Research* **2019**, 195, 104377.
- Yang, J., Xia, L., Van Groenigen, K.J., Zhao, X., Ti, C., Wang, W., Du, Z., Fan, M., Zhuang, M., Smith, P., et al. Sustained Benefits of Long-Term Biochar Application for Food Security and Climate Change Mitigation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **2025**, 122, e2509237122.
- Zhang, L., Zheng, J., Chen, L., et al. Integrative Effects of Soil Tillage and Straw Management on Crop Yields and Greenhouse Gas Emissions in a Rice–Wheat Cropping System. *European Journal of Agronomy* **2015**, 63, 47–54.
- 丁艳锋, 李刚华, 李伟玮, 等. 水稻机插缓混一次施肥技术的研发与示范. *中国稻米* **2020**, 26(05):11-15.

胡明成, 邱子健, 王洲章, 等. 农田土壤地力提升和固碳减排协同研究进展. 农业环境科学学报 **2025**, 44(02): 275-286.

严圣吉, 邓艾兴, 尚子吟, 等. 我国作物生产碳排放特征及助力碳中和的减排固碳途径. 作物学报 **2022**, 48(04): 930-941.

张洪程, 胡雅杰, 戴其根, 等. 中国大田作物栽培学前沿与创新方向探讨. 中国农业科学 **2022**, 55(22):4373-4382.

张卫建, 严圣吉, 张俊, 等. 国家粮食安全与农业双碳目标的双赢策略. 中国农业科学 **2021**, 54(18): 3892-3902.