

申报 2020 年度国家自然科学基金提名公示

1、项目名称

中文名称：亚热带耕作土壤有机碳积累机理的基础研究

英文名称：Studies on Mechanisms in Soil Organic Carbon Sequestration of Croplands in the Chinese Subtropical Region.

2、提名机构与提名意见

提名机构：湖南省科学技术厅

提名意见：我国亚热带区域稻田、旱地总面积达 5000 万公顷，在我国粮食生产中地位突出，揭示区域耕作土壤有机碳积累规律，可为高质量实施高产农田建设工程，有效地提升耕地土壤质量，保障农产品供应和质量安全提供有力的理论指导，意义重大。项目历经 20 年系统研究，创建了系列土壤微生物转化过程基本参数的测定方法，为揭示以往被称为“黑箱”的土壤微生物过程研究提供了关键手段，被国内外广泛采用；率先明确了自 1980s 以来我国亚热带稻田土壤有机碳含量持续提高，而旱地土壤处于低含量稳定状态的基本规律，率定了 1980~2008 年期间亚热带稻田土壤有机碳固定的年平均速率 (0.21 g kg^{-1})；聚焦稻田土壤长期积累机理研究，发现水稻土微生物生物量显著高于旱作土壤，而有机碳的矿化率显著低于旱作土壤，且秸秆和水稻光合碳输入对“原有”有机碳矿化均起抑制作用等特点，据此提出水稻土有机碳矿化的“阻滞效应”的论点，率先确定了微生物光合固碳速率与光合微生物种群数量、cbbL 基因丰度和光合酶活性之间的定量关系，率定了微生物光合固碳对稻田土壤有机碳积累的贡献；发现了稻田富余稻草在旱地覆盖、耕翻在 3~5 年中使旱地土壤有机碳含量提高 10%~20%，土壤氮磷含量及玉米、红薯、油菜的产量同幅度增加，据此率先提出了稻草“易地还土”的亚热带丘陵区旱作土壤有机碳提升措施，并在区域内得到广泛推广应用。成果总体达到国际领先水平，提名为自然科学二等奖候选项目。

3、项目简介

项目取得的主要科学发现如下：

1) 创建土壤有机碳微生物转化过程基本参数测定方法：改进土壤微生物生物量

碳测定方法的熏蒸过程，使其适用于耕作土壤；运用同位素示踪技术，创建土壤微生物量碳周转速率与和释放 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的微生物与非微生物来源比率等参数的测定方法，解决了土壤微生物生物量碳周转速率、有机底物的“激发效应”机理、矿化碳的构成等以往长期未明的土壤科学重大学术问题，为深入研究耕作土壤有机碳转化关键过程提供方法学基础。

2) 发现水稻土有机碳矿化的阻滞效应，明确持续固碳机理与减排机制：率先研究景观单元土壤有机碳时空演变，发现亚热带 4 个主要类型区水稻土有机碳含量高于其它利用方式，并在近 30 年中稳定增加的基本规律（年均 0.21 g kg^{-1} ，碳库扩大 77%）；发现水稻土微生物生物量显著高于旱作土壤，而有机碳的矿化率显著低于旱作土壤，且秸秆和水稻光合碳输入对“原有”有机碳矿化均起抑制作用等特点，据此提出水稻土有机碳矿化的“阻滞效应”的论点。这既对水稻土持续固碳的内在机理系统阐释的理论升华，亦是对水稻土持续固碳的生物地球化学内在机理的深入归纳。

3) 发现耕作土壤微生物光合固碳功能，揭示其微生物学机理与固碳潜力：土壤光合微生物是否具备固碳功能，以前未予研究。该项目研究发现耕作土壤光合微生物具有同化大气 CO_2 的能力（年同化速率 $100\sim 450 \text{ kg C ha}^{-1}$ ），从而确定微生物光合碳同化过程是维持耕作土壤持续固碳的重要碳输入途径；运用分子技术，阐明耕作土壤微生物光合固碳分子机理。

4) 提出基于丘陵区稻草“易地还土”的固碳减排新措施并推广应用

利用丘陵区稻田、旱地毗邻的特色，将稻草转移到旱地和园地土壤（即稻草“易地还土”），既可彻底消除其直接还田诱发大量 CH_4 排放的弊端，又可解决旱地改良有机资源不足的问题。定位试验表明稻草“易地还土”8 年新垦旱地的耕层土壤有机碳含量增加 10~15%，其固碳量比施用化肥高 2.2 t ha^{-1} ，增产幅度达 10%，明确稻草投入对旱土有机碳和微生物生物量碳、氮、磷的显著提升作用、对低磷红壤的磷素活化效应，从而阐释了稻草“易地还土”的科学内涵，为使其在南方扩大应用提供了坚实的科学依据。该项措施已在南方推广应用（2005 年达 106 万公顷）。

该项目在国际土壤学排名第一的 *Soil Biology and Biochemistry* 等刊物上发表论文 259 篇（其中 SCI 69 篇），专著 1 部，编制国家标准 1 项；8 篇代表性论文他引 1350 余次；该项目研究成果获得湖南省自然科学一等奖（2015）、二等奖（2011）和湖南省科技进步一等奖（2005）。项目完成人吴金水获国家基金委杰出青年科学基

金资助、葛体达获国家基金委优秀青年基金和英国皇家学会牛顿高级学者基金资助。

该项目建立的测定方法已被大量应用于土壤研究和教学，对深化土壤生物地球化学过程研究发挥重要作用；取得的 4 个重要发现获得重大学术反响，可为高质量实施亚热带耕作土壤地力提升提供强有力的科学基础。

4、代表性论文专著目录

- 1) 吴金水, 林启美, 黄巧云等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 中国气象科学出版社, 2006.
- 2) **Wu Jinshui** and Brookes Philip C. The proportional mineralisation of microbial biomass and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grassland soil. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37: 507-515.
- 3) Zhu Hanhua, **Wu Jinshui***, Huang Daoyou, Zhu Qihong, Liu Shoulong, **Su Yirong**, Wei Wenxue, J. Keith Syers, Li Yong. Improving fertility and productivity of a highly-weathered upland soil in subtropical China by incorporating rice straw. Plant and Soil, 2010, 331: 427-437.
- 4) **Wu Jinshui**. Carbon accumulation in paddy ecosystems in subtropical China: evidence from landscape studies. European Journal of Soil Science, 2011, 62: 29-34.
- 5) Ge Tida, Yuan Hongzhao, Zhu Hanhua, Wu Xiaohong, Nie San'an, Liu Chang, Tong Chengli, **Wu Jinshui***, Phil Brookes. Biological carbon assimilation and dynamics in a flooded rice – soil system. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 48: 39-46.
- 6) Yuan Hongzhao, Ge Tida, Chen Caiyan, O'Donnell A.G, **Wu Jinshui***. Significant role for microbial autotrophy in the sequestration of soil carbon. Applied and Environmental Microbiology, 2012, 78:2328-2336.
- 7) Ge Tida, Wu Xiaohong, Chen Xiaojuan, Yuan Hongzhao, Zou Ziyang, Li Baozhen, Zhou Ping, Liu Shoulong, Tong Chengli, Phil Brookes, **Wu Jinshui***. Microbial phototrophic fixation of atmospheric CO₂ in China subtropical upland and paddy soils. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2013, 113: 70-78.
- 8) **Wu Jinshui**, Zhou Ping, Li Ling, Su Yirong, Yuan Hongzhao, J Keith Syers. Restricted mineralization of fresh organic materials incorporated into a subtropical paddy soil. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92: 1031-1037

5、主要完成人（完成单位）

姓名	排名	技术职称	完成单位
吴金水	1	研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所
苏以荣	2	研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所
肖和艾	3	副研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所
葛体达	4	研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所
朱捍华	5	副研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所