

国家自然科学基金提名书

(2018 年度)

一、项目基本情况

学科评审组:

序号:

编号:

提名者		蔡祖聪、丁仲礼、刘从强			
项目名称	中文名	亚热带稻田土壤长期固碳的关键生物地球化学机理			
	英文名	Mechanisms in the key geo-biochemical processes of long-term carbon sequestration of the subtropical paddy soils			
主要完成人		吴金水（中国科学院亚热带农业生态研究所），魏文学（中国科学院亚热带农业生态研究所），葛体达（中国科学院亚热带农业生态研究所），李勇（中国科学院亚热带农业生态研究所），肖和艾（中国科学院亚热带农业生态研究所）			
学科分类名称	1	环境地学	代码	6101030	
	2	土壤生态学	代码	2105030	
	3	土壤生物学	代码	2105025	
任务来源		部委计划，国家自然科学基金			
具体计划、基金的名称和编号： 国家自然科学基金杰出青年基金项目：土壤有机质和养分循环与优化管理（49925102） 国家自然科学基金重点项目：典型稻田生态系统碳循环过程与模拟（40235057） 国家自然科学基金面上项目：亚热带稻田生态系统碳氮循环耦合机制研究（40971180）、水稻土反硝化功能微生物种群演变及反硝化基因表达与 N ₂ O 释放的耦合机理（40771115）、典型水稻土干湿交替过程中 N ₂ O 释放的微生物驱动机制（41071181） 中科院知识创新工程重要方向项目：稻田生态系统持续生产力与生态功能协调机制研究（KZCX2-YW-423）、亚热带农业生态圈生物过程驱动的碳氮磷循环研究（KZCX3-SW-426）					
已提交的科技报告编号：					
项目起止时间		起始： 2000 年 1 月 1 日		完成： 2015 年 1 月 1 日	

国家科学技术奖励工作办公室制

三、项目简介

(限 1 页)

我国亚热带水稻土面积达 2500 万公顷，在农业生产中具突出地位，突破水稻土肥力提升和温室气体减排的科技瓶颈，是一项重大且迫切的科研任务。目前对于稻田土壤有机碳积累过程与其生物地球化学机理之间的关系仍然缺乏深入的认识。项目瞄准土壤有机碳矿化“激发效应”、水稻土固碳的关键生物地球化学内在机理等土壤学和水稻土研究领域前沿的重要科学问题，运用自主创建的土壤有机碳微生物转化系列测定方法与最新的土壤生物化学方法，历经 10 多年系统研究，取得以下重要科学发现：

创建水稻土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，使其适用于水稻土；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，为深入研究水稻土有机碳转化关键过程提供方法学基础。

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。提出了稻草“易地还土”（旱地覆盖、耕翻）既能保持稻草的固碳效应，又可根除其直接还田产生大量 CH_4 的弊端，成为丘陵区农田固碳减排的可行对策并广泛应用。

发现水稻土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。该项目研究发现水稻土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水稻土持续固碳的重要碳输入途径；运用分子技术探明水稻土光合微生物主要种群与数量、功能基因丰度、功能酶活性及其与同化速率的定量关系，阐明水稻土微生物光合固碳分子机理。

该项目在国际顶级地学和土壤学期刊，包括 *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *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 篇代表性论文平均 $\text{IF}=3.87$ ，他引 898 次，其中 SCI 他引 387 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（1999 年）获国家基金委杰出青年科学基金资助、葛体达获优秀青年基金和英国皇家学会牛顿高级学者基金资助（2015 年）。

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 3 个重要发现获得重大学术反响，可为提升稻田土壤肥力，实现温室气体减排提供强有力的理论支撑。

四、重要科学发现

1. 重要科学发现（限 5 页）

我国亚热带区水稻土总面积达 2500 万公顷，贡献了约占全国总产 35% 的粮食。自确立水稻土作为一个独立的土壤类型以来，一直是我国土壤学的特色研究领域，反映我国土壤学整体研究水平。近十多年来，我国水稻新品种不断刷新高产记录，但稻田地力整体处于退化状态，不足以满足高产品种的土壤肥力要求，其优势难以发挥，水稻单产提升缓慢。另一方面，稻田是全球 CH₄ 的主要排放源之一，一直是 IPCC 和欧盟等国际组织对我国温室气体排放的重大关切之一。

IPCC 报告（1995 和 2007 年）指出，包括稻田在内的湿地生态系统在抵抗大气 CO₂ 浓度的升高起着不可忽视的作用。我国是世界上稻田面积最大的国家，迫切需要自主掌握我国稻田对抵消大气 CO₂ 的贡献，从而在履行 UNFCCC 公约中处于更有利的地位。此外，稻田生态系统碳循环是我国陆地生态系统碳循环的重要组成部分，研究稻田生态系统碳循环的主要过程通量与碳收支动态变化规律是全面掌握我国陆地生态系统碳收支动态不可缺少的资料。项目完成人所在团队收集的我国南方 13 个长期定位监测点资料、以及基于景观单位的有机碳含量动态变化的结果显示，近 30 年来我国亚热带稻田生态系统中土壤有机碳含量普遍呈升高趋势；说明亚热带稻田生态系统是一个重要的固碳场所。但是，由于目前我国对水稻土长期固碳的生物地球化学机理的研究不够深入，对水稻土有机碳升高的确切原因尚未明确。因此，突破水稻土肥力提升和温室气体减排面临的科技瓶颈，是一项重大且迫切的科研任务，也是土壤学和水稻土研究领域的前沿和难点。土壤碳氮循环是农田肥力的物质基础。该项目以探讨水稻土固碳（肥力提升）与减排科学原理为目标，瞄准土壤有机碳矿化的“控制阀”假说与“激发效应”、水稻土固碳与温室气体排放的生物地球化学过程机理等前沿性的重要基础科学问题，遵照以典型案例（典型景观单元）揭示区域水稻土有机碳演变基本规律与固碳潜力，以模拟试验阐明水稻土长期固碳的生物的生物地球化学机理的整体研究思路，运用自主建立的土壤生物化学方法结合同位素示踪和生物分子技术，历经 10 多年，取得以下 3 个方面的重要科学发现：

1.1 创建水稻土碳氮微生物转化过程基本参数测定方法

所属学科：环境地学、土壤生态学、土壤生物学；代表性材料：代表作 1、2。

问题提出：土壤微生物对碳氮源的利用是碳氮转化的直接动因，以该项目第一完成人为主创建、国际通用的土壤微生物量碳氮测定氯仿熏蒸-浸提法是土壤生物化学研究的方法基础；由于水稻土处于水分饱和状态，使氯仿蒸汽难以扩散进入土壤，熏蒸效果不佳；该方法也不能直接定量土壤碳氮的微生物转化速率和产物比率等基本动力学参数（自然微生物碳为 ¹²C）。

1) 改进土壤微生物碳氮测定的熏蒸过程使其适用于水稻土

通过正常熏蒸前向水稻土样品注入少量液态氯仿（0.05 ml g⁻¹ 土），经反复实验确定达到最佳熏蒸效果的条件为样品散展厚度 < 2 cm，真空度 < -0.07 Mpa；并确定水稻土提取碳氮与微生物碳氮的转换系数 K_C 、 K_N 与原方法一致（0.45、0.57）。

2) 创建土壤微生物碳氮周转速率的测定方法

发现 ^{14}C 和 ^{15}N 标记底物（葡萄糖、硫酸铵）诱导的土壤微生物量碳氮在稳定衰减阶段的衰减状况遵循一级热力学规律，以此建立基于 ^{14}C 和 ^{15}N 标记底物诱导、100 天培养、间隔熏蒸-浸提法测定、一级热力学方程拟合获得微生物量碳氮衰减速率常数 (k) 的土壤微生物量碳氮表观周转速率测定方法。采用该方法，发现水稻土 k 值比旱作土壤大 2 倍多，转换为标准条件下 (25 °C, 100% 湿度) 前者的微生物量碳氮周转时间分别仅有 123 d 和 115 d, 而后者超过一年, 充分反映水稻土的微生物量碳氮周转与旱作土壤存在极大差异。

3) 创建土壤释放 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的微生物与非微生物来源比率测定方法

CO_2 是土壤有机碳好氧分解的最终产物, 存在微生物纯呼吸 (不经其转化所消耗的有机碳) 和微生物生物量碳周转两种途径, 区分其产生的 CO_2 比率, 可直接反映微生物对土壤有机碳矿化的内在机理。该项目完成人运用 ^{14}C 标记原理, 建立了微生物来源的 CO_2 比率与 $\text{CO}_2\text{-C}$ 、土壤微生物 C 和可提取有机 C (可被微生物直接利用) 的 ^{14}C 丰度之间的关系式, 并利用以往土壤干湿交替实验数据, 得到土壤干湿交替过程激发出的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的土壤微生物碳来源的比率约为 0.3, 获得土壤干湿交替过程同时激发土壤有机碳的矿化和微生物生物量碳的周转, 前者为主导的重要科学结论。

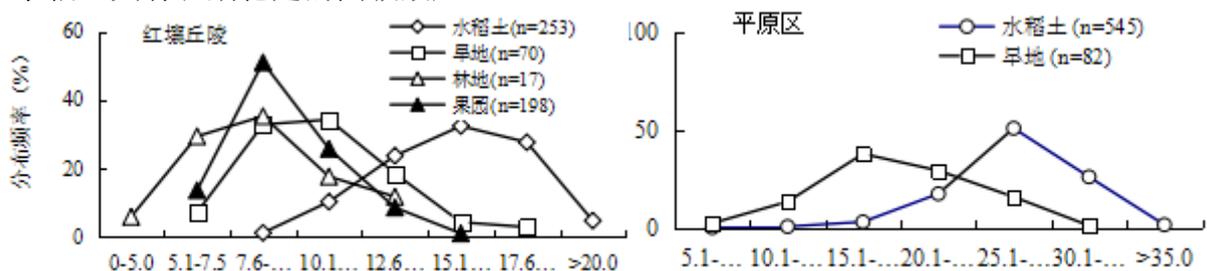
1.2 发现水稻土有机碳矿化的阻滞效应, 明确持续固碳机理和减排机制

所属学科: 环境地学、土壤生态学、土壤生物学; 代表性材料: 代表作 3、4、5、6。

问题提出: 前人长期和大量研究认为水稻土有利于有机碳积累 (即固碳效应), 但对其机理一直未形成普遍接受的科学阐释; 而反映我国水稻土固碳效应的证据主要通过高量投入稻草和有机肥处理的田间试验, 存在“人为作和”的学术质疑。Kemmitt 等提出的土壤有机碳矿化“控制阀”假说, 解释了土壤中有有机碳矿化为何呈现稳定、缓慢的速率; 新鲜有机碳进入土壤通常刺激原有有机碳的矿化 (称为“激发效应”)。显然, 二者都不能解释水稻土固碳效应机理。

1) 发现亚热带水稻土的稳定、持续的固碳效应

为克服“人为作和”弊端, 选择亚热带 4 种典型景观类型 (平原、红壤丘陵和低山、喀斯特低山) 单元通过高密度取样, 地统计学方法分析土壤有机碳分布规律, 发现 4 种景观类型都呈现出稻田表层土壤有机碳含量显著高于其它生态系统的基本规律, 充分反映出亚热带不同类型区水稻土都具有较强固碳效应 (图 1)。利用红壤丘陵单元的分析数据与 1979 和 1990 两个时段的数据对比, 发现过去 30 年间 (1979~2013) 水稻土有机碳含量稳定增加 (1.8 倍, 达 77%; 图 2), 年平均固碳速率为 0.21 g kg^{-1} , 但旱作土壤仅在近 10 年有所增加, 林地和果园土壤基本保持不变, 这就真实地反映了我国亚热带水稻土具有长期稳定的固碳效应。



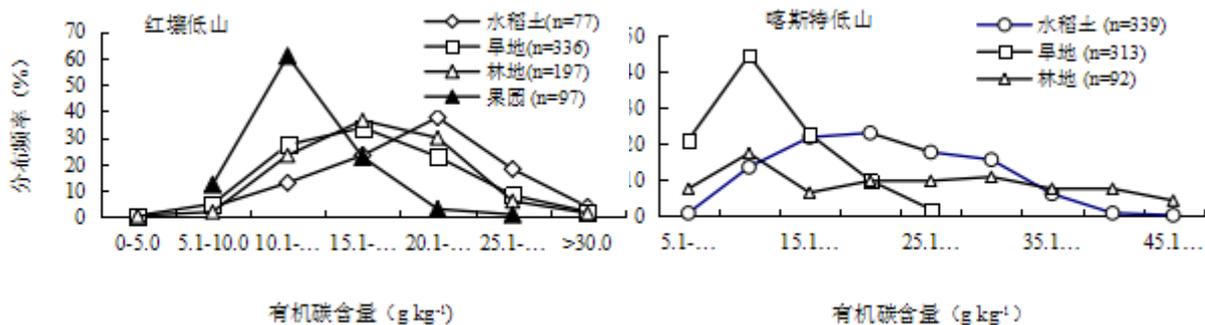


图1 亚热带4个类型典型景观单元不同利用方式下的土壤有机碳含量分布概率

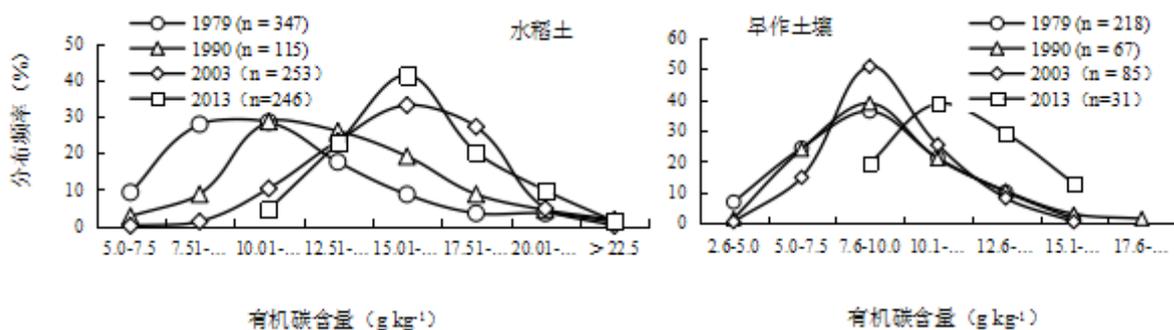


图2 亚热带水稻土和旱作土壤有机碳频度分布的时间动态变化

2) 发现水稻土有机碳矿化存在“阻滞效应”

¹⁴C 标记底物（以葡萄糖和稻草分别代表简单有机物和作物残体）实验发现，水稻土新鲜有机碳的累积矿化率显著低于旱作土壤（差异达三个百分点）；底物在旱作土壤产生显著的“激发效应”，而水稻土无显著“激发效应”（图3）。水稻 ¹⁴C 连续标记实验发现水稻根系光合碳对土壤有机碳的形成有直接贡献，且对原有有机碳矿化有抑制作用（负“激发效应”；图4）。两种现象反映出水稻土的“控制阀”作用较旱作土壤更强，否定了水稻土的“激发效应”问题，充分证实水稻土具备固碳的生物地球化学内在机理；据此提出水稻土有机碳矿化存在“阻滞效应”的学术观点，科学地解释了水稻土稳定、持续固碳效应的机理。

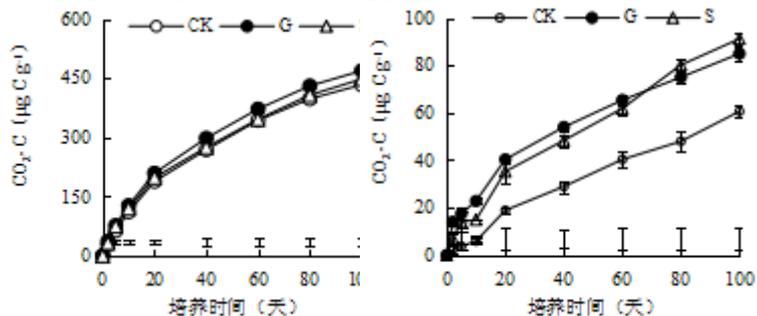


图3 添加葡萄糖(G)和稻草(S)对水稻土(左)和旱作土壤(右)原有有机碳矿化的影响

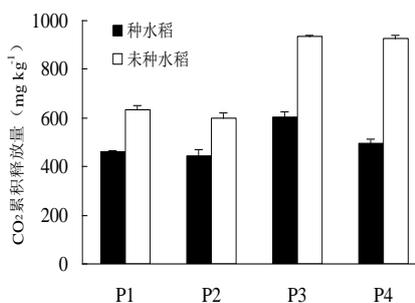


图4 水稻光合碳输入对水稻土原有有机碳矿化的“负激发效应”

3) 提出基于丘陵区稻草“易地还土”的固碳减排新措施并广泛应用

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%（图 5），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。该项措施已在南方广泛应用（2005 年达 106 万公顷）。

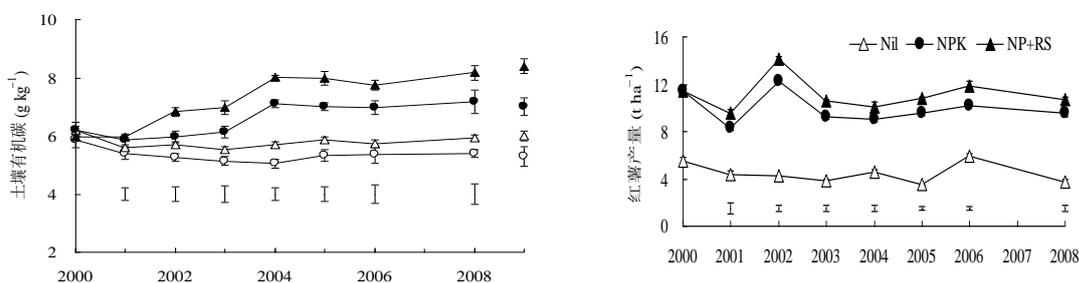


图 5 稻草“易地还土”的固碳效应（左）与增产效果（右）

1.3 发现水稻土微生物光合固碳功能，揭示其微生物学机理与固碳潜力

所属学科：环境地学、土壤生态学、土壤生物学；代表性材料：代表作 7、8。

问题提出：文献报道我国许多稻田长期定位试验中不施肥处理的土壤有机碳含量仍出现缓慢但稳步增加的趋势，这与旱作土壤试验结果截然相反；其隐含的科学内涵是在水稻碳输入有限的状况下，是何种输入途径能够维持土壤有机碳增加？其最有可能是土壤光合微生物的作用，但以往一直未被认知。

1) 发现水稻土光合微生物的大气 CO_2 同化功能，并确定对固碳效应起重要作用

经多次 ^{14}C - CO_2 标记空气中 CO_2 进行水稻土与旱作土壤的曝光和遮光同步对比试验后，经 80 d 模拟培养实验表明曝光土壤的 ^{14}C 标记有机碳含量达 $8.4\sim 64.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ， CO_2 -C 日同化速率为 $0.01\sim 0.1 \text{ g C m}^{-2}$ ， ^{14}C 在微生物和非微生物碳组分中均有分布，且水稻土远高于旱作土壤（图 6a），但遮光土壤均未检测到 ^{14}C 标记有机碳。经计算表明水稻土微生物年碳同化量达 $100\sim 450 \text{ kg C ha}^{-1}$ ，占土壤有机碳含量的比例达 0.9~4.1%，与一般生态系统中植物对土壤的年输入量几乎相当。这项研究确认土壤中光合微生物具备同化大气 CO_2 的能力，为反映我国亚热带水稻土的稳定、长期固碳效应提供了新的重要科学证据，深化了水稻土固碳的生物地球化学过程内在机理，以及土壤微生物在全球碳循环中起重要碳输入作用的认识。

2) 明确土壤光合微生物主要种群及其光合固碳的分子机理

综合运用克隆文库、T-RFLP 及定量 PCR 等分子生物学方法,发现水稻土固碳细菌、蓝细菌和藻类的 CO₂ 光合同化功能基因 *cbbL* 拷贝数分别为 0.04~1.3×10⁸、0.2~1.9×10⁶ 和 0.02~1.8×10⁶ copies g⁻¹; 水稻土中光合细菌发挥同化 CO₂ 的主要作用,其优势种群为兼性自养菌; 水稻土微生物光合同化碳与细菌 *cbbL* 基因拷贝数和 RubisCO 酶活性均呈显著的正相关(图 6 b、c), RubisCO 酶活性测定可作为土壤微生物碳同化速率的估算指标。

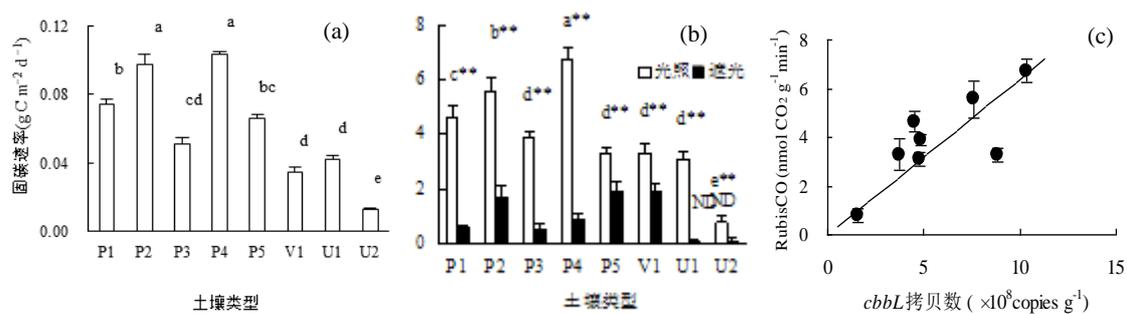


图 6 水稻土 (P) 与旱作 (V, U) 土壤微生物光合固碳速率 (a) 及其与细菌 *cbbL* 基因拷贝数 (b) 和 RubisCO 酶活性 (c) 之间的关系

2. 研究局限性（限 1 页）

该项目在以土壤生物地球化学过程为核心的水稻土碳氮循环关键过程机理方面取得了重大进展，但受研究手段和项目完成人的水平限制，仍然存在一定的局限性。

尽管在项目研究中大量采用了同位素示踪技术，创建了土壤微生物量碳氮周转速率和释放 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的微生物与非微生物来源比率等参数的测定方法，但仍有诸多重要指标和层次研究的方法学尚不具备。其一是对碳氮在土壤中转化的中间产物的种类及其比例的测定。其二参与土壤碳氮转化的关键微生物功能种群的机理研究方法，熏蒸-浸提法和同位素示踪方法都将土壤微生物作为一个整体（即用微生物生物量来反映），不能直接反映功能种群层次的过程机理，而当前的生物分子（DNA、RNA 和蛋白组学）指标尚未建立起与土壤生物化学参数的定量关系。其三是基于自然土体的研究方法，目前的测定方法只适用于经过前处理使样品颗粒和水分状况基本均匀，其结构遭到一定程度的破坏，有可能使其生物化学状况与自然土体产生偏差。其四是土壤的生物化学过程被认为主要发生在土壤微结构之中，包括颗粒表面、团聚体内部、植物根系等界面，这些层面的研究方法有待于建立。

另一方面是该项目属于基础研究，主要研究目的是从理论上认知水稻土碳氮转化过程特点及其生物地球化学过程。尽管科学认知能够指导应用技术研发，但这是今后努力的目标。

该项目今后的主要研究方向如下：

1) 土壤有机质的实际分解和矿化速率与微生物的能力在理论上存在几个数量级的差异，其原因在于：土壤有机质主要存在于土壤微结构内部，由于可能是微生物不能直接进入，或者受到土壤颗粒表面的强烈吸附作用，使微生物难于分解，还有可能是土壤表面的强电荷是微生物难以直接接触到有机质，如此土壤有机碳矿化应当存在两个过程，前一过程由结构内部释放到微生物可以接触的空间，这个过程是纯粹的物理化学过程（速率低），后一微生物利用过程导致其分解和矿化，前者控制着土壤有机碳分解与矿化的速率，这是土壤有机碳矿化的“控制阀”假说的科学内涵。验证这一假说是解开土壤有机碳矿化生物地球化学过程的关键，必将成为土壤生物化学领域的研究热点。

2) 由深层次进一步探索水稻土有机碳及与土壤肥力相关元素（如 N、P）的生物化学过程、相关耦合机制及其与土壤肥力、固碳作用与温室气体排放之间的关系。其研究应力图建立在解决上述 4 个方面方法学问题的基础之上。值得指出的是，项目近两年对这些方面的研究方法开展了探索，建立了土壤微芯片-X 衍射的技术，初步应用反映土壤微结构层次土壤有机碳的微生物转化状况。

五、客观评价

（限 2 页。围绕科学发现点的原创性、科学价值、国内外自然科学界公认度以及推动学科发展的作用进行客观、真实、准确评价。填写的评价意见要有客观依据，主要包括国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议等公开发表的学术性评价意见，国内外重要科技奖励等，可在附件中提供证明材料。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据。）

自 1999 年以来，该研究在“土壤微生物生物量测定方法及其应用”、“亚热带耕作土壤有机质与主要养分优化调控”、“亚热带稻田土壤碳循环关键过程的微生物作用机理”等方面取得了重要科学发现。截止 2015 年 1 月 1 日已发表论文 259 篇，其中 SCI 论文 69 篇，top 类杂志收录 28 篇，CSCD 收录论文 190 篇，出版专著 1 部，编制国家标准 1 项，已获授权专利 2 项。8 篇代表性论著平均 IF=3.87，他引 898 次（其中 SCI 他引 387 次）；已培养“优青”、英国皇家学会牛顿高级学者基金获得者各 1 名、博硕士研究生百余名。

基于该项目的研究，第一完成人两次受邀合作组织香山科学会议并做大会报告，应邀在国际土壤学大会等国际学术会议作特邀和口头报告 10 余次，应邀在中国土壤学会第十二次全国会员代表大会作大会报告，产生了广泛学术影响。

该项目的相关研究成果“亚热带耕作土壤碳氮磷等养分优化调控研究与应用”获湖南省科技进步一等奖（2005）、“土壤微生物生物量测定方法及其应用”获湖南省自然科学二等奖（2011）、“亚热带稻田土壤碳氮循环关键过程的微生物作用机理研究”获湖南省自然科学一等奖（2015），其第一完成人均与该项目相同；项目第一完成人获国家自然科学基金杰出青年基金和中国土壤学会奖；第三完成人获国家自然科学基金优秀青年基金和英国皇家学会牛顿高级学者基金。

综合评价

承担的中科院知识创新工程重点项目“亚热带农业生态圈生物过程驱动的碳氮磷循环研究”验收评估为“优秀”，项目验收专家组一致认为“首次系统阐明了亚热带地区主要耕作类型土壤碳氮磷变化的基本规律与机理，提升了我国区域土壤生态学研究水平和国际影响，丰富和发展了土壤生物地球化学理论和方法”。

中国土壤学会和领域权威专家的评价：该项目部分成果“亚热带稻田土壤碳氮循环关键过程的微生物作用机理研究”邀请中国土壤学会和我国土壤学权威专家赵其国院士对该项成果进行学术评价。评价认为：项目第一完成人吴金水研究员领衔的研究团队的研究，率先确立了我国亚热带水稻土具有长期持续的固碳效应，揭示了水稻土长期持续固碳的生物地球化学机理是维持高生产力的关键内在机制；发现水稻土微生物对土壤“原有”有机碳的矿化表现为负激发效应，提出了水稻土有机碳矿化存在“阻滞效应”的观点；在国际上首次发现水稻土微生物具有光合同化大气 CO₂ 并将其转化为土壤有机碳的能力，并阐明了水稻土微生物光合固碳的分子生物学机理，为水稻土固碳与减排的双重目标提供了重要科学依据；该项目的研究总体达到国际先进水平，其中水稻土微生物光合固碳功能与生物学机理研究达到国际领先水平。

同行引用和评价

水稻土碳微生物转化过程基本参数测定方法：著名土壤学家 Brookes 教授在为专著《土壤微生物生物量测定方法及其应用》（代表作 1）的序言中指出：“在从繁琐的湿消化方法测定土壤微生物生物量碳发展到自动仪器法测定微生物生物量碳的方法方面，吴金水做出了重要的贡献”。该专著自 2006 年出版以来，被引 665 次，为该领域国内首本专著，并在国内被广泛采用，有 12 个高等学校和科研机构派出研究人员和研究生前来进修和学习土壤微生物生物量测定方法并进行应用，而且湖南农业大学将该专著选为土壤学硕士和博士研究生《土壤生物与生物化学》课程教材。国家自然科学基金委员会地球科学部宋长青等在地球科学进展（2013）发表的综述文章对代表作 1 的引句：“我国学者建立了土壤微生物量碳周转率测定方法、土壤释放 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的微生物与非微生物来源比例测定方法。这些方法的建立，标志着土壤微生物量研究从定性到定量的跨越，显著推动了我国土壤微生物总体生物量（碳）和养分储量及其周转研究”。

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：Bruce 在 *Global Change Biology*（影响因子 8.502）发表的论文对代表作 2 的引句：“水稻土比其他好氧环境下的土壤具有更高的固碳潜力”。地球科学进展（2013）发表的综述文章对代表作 2 的引句：“基本明确了我国农田土壤有机碳近 40 年来的演变态势，从区域景观单元尺度证实了我国亚热带稻田的明显固碳效应，并阐明了亚热带稻田有利于有机碳积累和维持持续生产力的特殊的生物地球化学机理”。Tian 等在 *Soil Biology & Biochemistry* 发表的论文对代表作 4 的引句：“水稻光合碳（主要通过根际沉积）的微生物转化的量化研究还鲜见报道”。

水稻土微生物光合固碳功能与生物学机理：Pankaj 在 *Trends in Microbiology*（影响因子 11.020）发表的综述文章对代表作 5 的引句：“在水稻土微生物光合固碳功能方面的首次发现提供了对土壤微生物功能重新认识的直接证据，土壤微生物的固碳功能应该纳入到植物-土壤-大气系统的模型中”。2012 年代表作 5 率先报道土壤微生物自养作用在土壤固碳的重要作用，从 2014 年起，国际著名的学术期刊 *Environmental Science and Technology*、*Applied and Environmental Microbiology* 和 *the ISME Journal* 等陆续报道了在中国、美国、爱尔兰、日本、印度等国家的草地、湿地、森林、沙漠等生态系统开展了土壤微生物自养作用固碳研究，证实了土壤微生物光合固碳的普遍性和在不同生态系统碳循环过程中的重要性。这些文献都以代表作 5 为研究背景，采用与其相同的研究方法（同位素示踪和微生物分子技术），表明代表作 5 在土壤光合微生物固碳功能与机理研究方面发挥了引领作用。

六、代表性论文专著目录（不超过 8 篇）

序号	论文专著名称/刊名/作者	影响因子	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间 年 月 日	通讯作者	第一作者	国内作者	SCI 他 引次数	他引总 次数	知识产权 是否归国 内所有
1	土壤微生物生物量测定方法及其应用 /气象出版社/吴金水,林启美,黄巧云, 肖和艾		2006 年 1-150 页	2006 年 07 月 01 日	吴金水	吴金水	吴金水, 林 启美, 黄巧 云, 肖和艾	41	502	是
2	Carbon accumulation in paddy ecosystems in subtropical China: evidence from landscape studies/ European Journal of Soil Science /Wu J	3.475	2011 年 62 卷 29-34 页	2011 年 02 月 01 日	Wu J	Wu J	Wu J	29	36	是
3	The proportional mineralisation of microbial biomass and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grassland soil/ Soil Biology and Biochemistry /Wu J, Brookes PC	4.857	2005 年 37 卷 507-515 页	2005 年 03 月 01 日	Brookes PC	Wu J	Wu J	172	176	是
4	Biological carbon assimilation and dynamics in a flooded rice-soil system/ Soil Biology and Biochemistry /Ge TD, Yuan HZ, Zhu HH, Wu XH, Nie SA, Liu C, Tong CL, Wu J	4.857	2012 年 48 卷 39-46 页	2012 年 05 月 01 日	Wu J	Ge TD	Ge TD, Yuan HZ, Zhu HH, Wu XH, Nie SA, Liu C, Tong CL, Wu J	15	16	是

5	Significant Role for Microbial Autotrophy in the Sequestration of Soil Carbon/ Applied and Environmental Microbiology /Yuan HZ, Ge TD, Chen CY, O'Donnell AG, Wu J	3.807	2012 年 78 卷 2328-2336 页	2012 年 04 月 05 日	Wu J	Yuan HZ	Yuan HZ, Ge TD, Chen CY, Wu J	33	37	是
6	Long-term field fertilization alters the diversity of autotrophic bacteria based on the ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase (RubisCO) large-subunit genes in paddy soil/ Applied Microbiology and Biotechnology /Yuan HZ, Ge TD, Wu XH, Liu SL, Tong CL, Qin HL, Wu MN, Wei WX, Wu J	3.420	2012 年 95 卷 1061-1071 页	2012 年 08 月 01 日	Wu J	Yuan HZ	Yuan HZ, Ge TD, Wu XH, Liu SL, Tong CL, Qin HL, Wu MN, Wei WX, Wu J	21	27	是
7	Impact of long-term fertilization on the composition of denitrifier communities based on nitrite reductase analyses in a paddy soil/ Microbial Ecology /Chen Z, Luo XQ, Wu MN, Wu J, Wei WX	3.630	2010 年 60 卷 850-861 页	2010 年 11 月 09 日	Wei WX	Chen Z	Chen Z, Luo XQ, Wu MN, Wu J, Wei WX	43	61	是
8	Improving fertility and productivity of a highly-weathered upland soil in subtropical China by incorporating rice straw/ Plant and Soil /Zhu HH, Wu J, Huang DY, Zhu QH, Liu SL, Su YR, Wei WX, Syers JK, Li Y	3.052	2010 年 331 卷 427-437 页	2010 年 06 月	Wu J	Zhu HH	Zhu HH, Wu J, Huang DY, Zhu QH, Liu SL, Su YR, Wei WX, Li Y	33	43	是

合 计	387	898	
-----	-----	-----	--

补充说明（视情填写）：

承诺：上述论文专著用于提名国家自然科学奖的情况，已征得未列入项目主要完成人的作者的同意。知识产权归国内所有，且不存在争议。

第一完成人签名：

七、代表性论文专著被他人引用的情况（不超过8篇）

序号	被引代表性论文专著序号	引文名称/作者	引文刊名/影响因子	引文发表时间 (年 月 日)
1	2	An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops/Linquist B, van Groenigen KJ, Adviento-Borbe MA, Pittelkow C, van Kessel C	Global Change Biology/8.502	2012年01月10日
2	2	The carbon count of 2000 years of rice cultivation/Kalbitz K, Kaiser K, Fiedler S, Koelbl A, Amelung W, Braeuer T, Cao ZH, Don A, Grootes P, Jahn R	Global Change Biology/8.502	2013年04月08日
3	4	Microbial response to rhizodeposition depending on water regimes in paddy soils/Tian J, Dippold M, Pausch J, Blagodatskaya E, Fan MS, Li XL, Kuzyakov Y	Soil Biology & Biochemistry/ 4.857	2013年06月12日
4	5	Microbial modulators of soil carbon storage: integrating genomic and metabolic knowledge for global prediction/Trivedi P, Anderson IC, Singh BK	Trends in Microbiology/ 11.020	2013年10月18日
5	6	Analysis of microbial communities in the oil reservoir subjected to CO ₂ -flooding by using functional genes as molecular biomarkers for microbial CO ₂ sequestration/Liu JF, Sun XB, Yang GC, Mbadanga SM, Gu JD, Mu BZ	Frontiers in Microbiology/ 4.076	2015年05月01日
6	7	Resource effects on denitrification are mediated by community composition in tidal freshwater wetlands soils/Morrissey EM, Franklin RB	Environmental Microbiology/5.395	2015年05月
7	7	土壤氮素转化的关键微生物过程及机制/贺纪正, 张丽梅	微生物学通报/1.223	2013年01月20日
8	8	Black carbon accrual during 2000 years of paddy-rice and non-paddy cropping in the Yangtze River Delta, China/Lehndorff E, Roth PJ, Cao ZH, Amelung W	Global Change Biology/8.502	2014年4月12日

八、主要完成人情况表

姓 名	吴金水	性 别	男	排 名	第一	国 籍	中国
出生年月	1961.06	出生地	湖北		民 族	汉	
身份证号	430111196106300450	归国人员	是		归国时间	1998.02	
技术职称	研究员	最高学历	研究生		最高学位	博士	
毕业学校	英国雷丁大学	毕业时间	1990.01		所学专业	土壤生物学	
电子邮箱	jswu@isa.ac.cn	办公电话	07318461522 4		移动电话	13973126172	
通讯地址	湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号				邮政编码	410125	
工作单位	中国科学院亚热带农业生态研究所				行政职务	所长	
二级单位	区域农业生态研究中心				党 派	群众	
完成单位	中国科学院亚热带农业生态研究所				所 在 地	湖南	
					单位性质	事业单位	
参加本项目的起止时间	2000 年 01 月 01 日 至 2012 年 08 月 01 日						
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>本项目的总设计人，研究成果的主要贡献者，在水稻土碳氮微生物转化过程基本参数测定方法的创建、水稻土有机碳关键过程机理（有机碳矿化的阻滞效应、水稻土微生物光合固碳功能和稻草“易地还土”的固碳减排机制等）方面做出了创造性的直接贡献（重要科学发现 1、2、3、4、5）。本项目研究占本人工作量的 70%。代表性论文 1、2、3、4、5、6、7、8。</p>							
<p>曾获国家科技奖励情况：</p> <p style="text-align: center;">无。</p>							
<p>声明：本人同意完成人排名, 遵守《国家科学技术奖励条例》及其实施细则的有关规定, 承诺遵守评审工作纪律, 保证所提供的有关材料真实有效, 且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被提名的唯一项目。如有材料虚假或违纪行为, 愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议, 保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">本人签名:</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>				<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效, 且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议, 愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>			

姓名	魏文学	性别	男	排名	第二	国籍	中国
出生年月	1960.02			出生地	湖北	民族	汉
身份证号	42010619600228561X			归国人员	是	归国时间	2006.11
技术职称	研究员			最高学历	研究生	最高学位	博士
毕业学校	英国 Wolverhampton 大学			毕业时间	2001.06	所学专业	土壤微生物学
电子邮箱	wenxuewei@isa.ac.cn			办公电话	07318461521 0	移动电话	13755091605
通讯地址	湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号					邮政编码	410125
工作单位	中国科学院亚热带农业生态研究所					行政职务	桃源农业生态 站站长
二级单位	区域农业生态研究中心					党派	中国共产党
完成单位	中国科学院亚热带农业生态研究所					所在地	湖南
						单位性质	事业单位
参加本项目的起止时间	2006 年 11 月 07 日 至 2012 年 08 月 01 日						
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>参与本项目研究计划的制订和项目的组织和实施，是研究成果的主要贡献者。在水稻微生物光合固碳功能、水稻土氮素循环关键微生物过程机理与水稻土 N₂O 减排途径等方面的科学发现有直接贡献（重要科学发现 3、4、5）。本项研究占本人工作量的 60%。代表性论文 6、7、8。</p>							
<p>曾获国家科技奖励情况：</p> <p>无。</p>							
<p>声明：本人遵守《国家科学技术奖励条例》及其实施细则的有关规定和国家科学技术奖励工作办公室对推荐工作的具体要求，保证所提交材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被推荐的唯一项目。如有虚假，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>				<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>工作单位声明：本单位对该完成人报奖无异议。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>			

姓名	葛体达	性别	男	排名	第三	国籍	中国
出生年月	1980.10			出生地	浙江	民族	汉
身份证号	330226198010274951			归国人员	是	归国时间	2010.03
技术职称	研究员			最高学历	研究生	最高学位	博士
毕业学校	上海交通大学			毕业时间	2008.07	所学专业	蔬菜学
电子邮箱	gtd@isa.ac.cn			办公电话	07318461973 6	移动电话	18673122782
通讯地址	湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号					邮政编码	410125
工作单位	中国科学院亚热带农业生态研究所					行政职务	无
二级单位	区域农业生态研究中心					党派	中国共产党
完成单位	中国科学院亚热带农业生态研究所					所在地	长沙
						单位性质	事业单位
参加本项目的起止时间	2008 年 08 月 01 日 至 2012 年 08 月 01 日						
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>参与本项目研究计划的制订和项目的组织和实施，是研究成果的主要贡献者。在水稻土有机碳矿化阻滞效应和水稻土微生物光合固碳功能等方面的科学发现有直接贡献（重要科学发现 2、3）。本项研究占本人工作量的 80%。代表性论文 4、5、6。</p>							
<p>曾获国家科技奖励情况：</p> <p>无。</p>							
<p>声明：本人遵守《国家科学技术奖励条例》及其实施细则的有关规定和国家科学技术奖励工作办公室对推荐工作的具体要求，保证所提交材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被推荐的唯一项目。如有虚假，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>				<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>工作单位声明：本单位对该完成人报奖无异议。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>			

姓名	李勇	性别	男	排名	第四	国籍	中国
出生年月	1967.01			出生地	江苏	民族	汉
身份证号	320113196701074918			归国人员	是	归国时间	2009.07
技术职称	研究员			最高学历	研究生	最高学位	博士
毕业学校	澳大利亚墨尔本大学			毕业时间	2002.06	所学专业	资源管理
电子邮箱	yli@isa.ac.cn			办公电话	07318461529 1	移动电话	13107488562
通讯地址	湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号					邮政编码	410125
工作单位	中国科学院亚热带农业生态研究所					行政职务	站长
二级单位	区域农业生态研究中心					党派	群众
完成单位	中国科学院亚热带农业生态研究所					所在地	长沙
						单位性质	事业单位
参加本项目的起止时间		2009年08月01日至2012年08月01日					
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>参与本项目研究计划的制订和项目的组织和实施，是研究成果的主要贡献者。在水稻土 N₂O 减排途径方面的科学发现有直接贡献（重要科学发现 5）。本项研究占本人工作量的 60%。代表性论文 8。</p>							
<p>曾获国家科技奖励情况：</p> <p>无。</p>							
<p>声明：本人遵守《国家科学技术奖励条例》及其实施细则的有关规定和国家科学技术奖励工作办公室对推荐工作的具体要求，保证所提交材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被推荐的唯一项目。如有虚假，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>				<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>工作单位声明：本单位对该完成人报奖无异议。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>			

姓 名	肖和艾	性别	男	排 名	第六	国 籍	中国
出生年月	1962.05			出 生 地	湖南	民 族	汉
身份证号	430111196205160414			归国人员	否	归国时间	-
技术职称	副研究员			最高学历	本科	最高学位	学士
毕业学校	华中农业大学			毕业时间	1984.07	所学专业	微生物
电子邮箱	haxiao@isa.ac.cn			办公电话	07318461520 7	移动电话	13974162869
通讯地址	湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号					邮政编码	410125
工作单位	中国科学院亚热带农业生态研究所					行政职务	无
二级单位	区域农业生态研究中心					党 派	中国共产党
完成单位	中国科学院亚热带农业生态研究所					所 在 地	长沙
						单位性质	事业单位
参加本项目的起止时间		2000 年 01 月 01 日 至 2012 年 08 月 01 日					
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>参与本项目研究计划的制订和项目的组织和实施，是研究成果的主要贡献者。对水稻土碳氮微生物转化过程基本参数测定方法的构建有直接贡献（重要科学发现 1）。本项研究占本人工作量的 80%。代表性论文 1。</p>							
<p>曾获国家科技奖励情况：</p> <p>无。</p>							
<p>声明：本人遵守《国家科学技术奖励条例》及其实施细则的有关规定和国家科学技术奖励工作办公室对推荐工作的具体要求，保证所提交材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被推荐的唯一项目。如有虚假，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>				<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>工作单位声明：本单位对该完成人报奖无异议。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>			

附表 1

完成人合作关系说明

魏文学、葛体达、李勇、童成立、肖和艾均为吴金水研究员研究团队的成员，在项目执行期间共同承担团队的研究任务并合作发表研究论文，其中魏文学、葛体达、李勇分别于 2006 年、2008 年和 2009 年开始参与项目，肖和艾、童成立均于 2000 年项目初期即参与项目。第一完成人吴金水研究员是代表性论文 1、2、3 的第一作者，是代表性论文 1、2、4、5、6、8 的通讯作者，是代表性论文 7 的共同作者。魏文学研究员是代表性论文 7 的通讯作者，代表性论文 6、8 的共同作者。葛体达研究员是代表性论文 4 的第一作者，代表性论文 5、6 的共同作者。李勇研究员是代表性论文 8 的共同作者。童成立是代表性论文 4、6 的共同作者。肖和艾是代表性论文 1 的共同作者。

袁红朝、朱捍华均为吴金水研究员的博士研究生，分别于 2007-2010 年和 2008-2011 年开展了“稻草易地还土对红壤旱地的改良及其固碳减排效应”和“水稻土微生物及其固碳功能种群结构和数量研究”。袁红朝以第一作者发表的 2 篇 SCI 论文被列为本项目的代表性论文 5、6)，朱捍华以第一作者发表的 1 篇 SCI 论文被列为本项目的代表性论文 8，吴金水研究员是以上 3 篇论文的通讯作者。陈哲为魏文学研究员的博士研究生，于 2007-2010 年开展了“长期施肥对水稻土反硝化作用和反硝化功能微生物的影响机理”研究，以第一作者发表的 1 篇 SCI 论文被列为本项目的代表性论文 7，魏文学研究员为通讯作者。

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：