**2023年度陕西省科学技术奖（自然科学奖）提名项目公示内容**

一、项目名称：**黄土高原深剖面土壤水碳氮过程与驱动机制**

二、提名者及提名意见

**提名者：**陕西省科学院

**提名意见：**

黄土高原位于我国的“心脏”位置，是国家实施黄河流域生态保护和高质量发展战略的攻坚区。全球气候变化和高强度人类活动深刻影响了黄土高原的土壤水文和生态过程。然而，由于监测技术限制和土壤时空异质性，深剖面土壤水分动态、碳氮循环过程及其驱动机制尚不清楚。该成果以黄土高原深剖面土壤水碳氮过程为核心，揭示了黄土高原典型土地利用方式下深剖面（0-21 m）土壤水分、有机碳和氮素的垂向分布规律，确定了土壤水分时间稳定性的代表性层位，查明了土地利用对深剖面土壤水碳氮含量/储量的直接或间接影响；阐明了黄土高原土壤水分、有机碳和全氮的空间分异特征与主控因素，发现土壤水碳氮空间分布格局是气候变化和人为活动长期共同作用的结果；通过集成原位观测和整合分析等方法，揭示了多个全球变化因子对土壤有机碳、全氮和微生物多样性的影响过程，证实了土壤微生物在气候变化-土壤水碳氮-植物根系耦合过程中的介导机制。这些成果为黄土高原水肥资源高效利用、植被建设合理布局等提供了科学参考，建立的土壤水碳氮数据库为构建区域碳核算评估体系提供了数据支持。5篇代表性论文引起了国内外同行较为广泛的关注和引用，目前已被SCI他引347次，单篇最高SCI他引196次，包括2篇ESI数据库1%高被引论文，其中1篇为1‰热点论文。

对照陕西省自然科学奖授奖条件，提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、项目简介

黄土高原是我国“一带一路”倡议的核心区和西部天然生态屏障，也是我国实施黄河流域生态保护和高质量发展战略的攻坚区。在全球气候变化背景下，退耕还林（草）等生态工程的实施、农业生产结构调整等使黄土高原传统的土壤水文和生态过程受到深刻影响。然而，由于缺乏长期系统的定位试验，加上观测手段限制、土壤时空异质性等原因，目前关于黄土高原深剖面土壤水分动态、碳氮循环过程及其驱动机制，尚不清楚，难以满足植被与水土资源可持续管理的决策需要。因此，项目组从2007年开始，在国家重点基础研究发展规划（973项目）课题、国家自然科学基金（面上、优青和重大国际合作）等项目/课题的持续支持下，系统开展了黄土高原深层土壤水碳氮过程及其驱动机制研究，以期为黄土高原水肥资源高效利用、生态工程固碳前景预测、植被建设优化布局提供理论依据，服务黄河流域生态保护和高质量发展、“双碳”等国家战略。取得如下重要科学发现：

**（1）采用自制深剖面土壤样品采集系统，拓深取样深度，揭示了黄土高原典型土地利用方式下深剖面（0-21 m）土壤水分、有机碳和氮素的垂向分布规律，确定了土壤水分时间稳定性的代表性层位，查明了土地利用对深剖面土壤水碳氮含量/储量的直接或间接影响，为精准评估深层土壤水碳氮累积速率及储量提供了科学支撑。**

采用自行研究和设计的深剖面土壤样品采集系统进行取样，并开展0-21 m土壤水分动态监测，揭示了不同土地利用方式对深剖面土壤水分动态演变和碳氮累积特征的影响。发现黄土高原土壤水分可划分为活跃层（0-2 m）和相对稳定层（2-21 m），活跃层土壤水分时空动态主要受降水入渗、水分再分布、蒸散发等过程影响，而相对稳定层土壤水分则受根系吸水、颗粒组成等土壤性质的影响；农地、自然草地、人工草地和灌木地0-21 m的平均土壤含水量可通过分别监测18、5、9、20 m的土壤含水量来预测，从而提高监测效率。同时，证明黄土高原深层土壤（> 1 m）存储了大量的有机碳，可占整个土壤剖面（21 m）的91%；土地利用对深层土壤有机碳、氮素数量和格局的影响主要与深层土壤水分消耗和干燥化过程密切相关。

**（2）基于高密度网格布点取样，阐明了黄土高原土壤水分、有机碳和全氮的空间分异特征与主控因素，建立了最优的半方差模型并量化其空间依赖性，发现土壤水碳氮空间分布格局是外部条件、内部因素及人为活动长期共同作用的结果，优化了土壤水碳氮的采样策略，为精确估算区域土壤水碳氮分布奠定了理论和方法基础。**

在黄土高原综合治理的基本单元内（小流域），通过高密度（648个）网格布点取样，系统研究了小流域尺度土壤水分、有机碳和全氮的空间变异特征、分布格局及其与环境因素的关系。发现各土壤特性均具有中等程度变异，地形因子、土壤类型、植被特征是控制各土壤特性空间分布格局的关键因素；不同土壤特性具有不同程度的空间依赖性，土壤水分和有机碳更易受到施肥、耕作措施等随机性因素的影响。提出了将中心极限定理与变程相结合的采样策略，为今后开展类似尺度的野外研究，特别是在采样间距、采样数目的设置方面提供了科学依据。同时，认为在利用空间变异理论对黄土高原土壤水分、养分进行精确管理分区时，应充分考虑土地利用变化的影响。

**（3）集成原位观测、整合分析等方法，揭示了多种****全球变化因子对土壤有机碳、全氮和微生物多样性的影响，证实了土壤微生物在气候变化-土壤水碳氮-植物根系耦合过程中的介导机制，为理解不同气候变化模式下土壤水碳氮联合效应及其微生物学机制提供了证据，提出了黄土高原有限水土资源高效利用下的适宜植被恢复模式。**

基于已公开发表的数据，获取了全球土壤微生物多样性、有机碳和全氮分布数据，发现全球气候变化降低了土壤微生物多样性、土壤有机碳和全氮含量，尤其是干旱和降水减少降低了土壤微生物多样性和有机碳的耦联关系，这主要是由年平均温度和土壤环境因素（尤其是土壤pH值、容重和有机碳含量）的变化引起，而非年平均降水量所致。研究结果为理解不同气候变化模式下土壤水碳氮联合效应及其微生物学驱动机制提供了科学证据。同时，通过比较黄土高原不同植被恢复措施下土壤团聚体粒径分布及稳定性、土壤团聚体中有机碳和全氮的分布特征，提出了黄土高原有限水土资源高效利用下的适宜植被恢复模式。

该项目5篇代表性论文引起了国内外同行的广泛关注，被美国、英国、德国、法国、加拿大等40多个国家的著名机构和学者引用与评价，目前已在Global Change Biology、Earth-Sciences Reviews、Journal of Ecology、Ecology、Water Resources Research、Soil Biology and Biochemistry等国际顶级期刊他引347次，单篇最高SCI他引196次。其中，2篇代表性论文入选美国ESI数据库1%高被引论文，1篇代表性论文入选1‰热点论文，体现了研究成果在相关领域具有较好的参考价值和一定学术影响。

四、客观评价（**包括国内外同行在重要学术刊物（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）**

该项目5篇代表性论文被包括美国、英国、德国、法国、加拿大等40多个国家的学者引用与评价，总SCI他人引用共347次，单篇最高SCI他引196次，包括Global Change Biology、Earth-Sciences Reviews、Journal of Ecology、Ecology、Water Resources Research、Soil Biology and Biochemistry等国际顶级刊物。发表在Geoderma的代表性论文3为ESI前1%高被引论文，发表在Soil Biology and Biochemistry的代表性论文4为ESI前1%高被引论文和1‰热点论文。

**（一）土壤学、生态水文学和碳循环领域多个国内外著名研究团队充分肯定和引用关于黄土高原深剖面土壤水分动态演变规律、碳氮累积特征的研究成果。**

（1）全国人大常委会委员、西北农林科技大学校长吴普特教授团队发表在Hydrology and Earth System Sciences（2023, 27: 123-137）和Geoderma（2018, 319: 61-69）的文章多次引用代表性论文1，将“土壤质地是影响黄土高原深层土壤水分状况的关键因素”的观点用于支撑其研究结论，并指出，在缺水地区判断某种造林方法的适宜性时，应优先考虑造林对土壤水分状况，尤其是深层土壤水分状况的影响。

（2）中国科学院生态环境研究中心傅伯杰院士团队在Journal of Hydrology（2016, 540: 873-885）上将代表性论文1中关于“土壤水分在21 m土层具有时间稳定性”作为典型案例，并在Agricultural and Forest Meteorology（2023, 109419）和Land Degradation & Development（2019, 30: 2298-2310）上多次肯定和引用代表性论文2的成果，指出：“黄土高原气候干旱、土层深厚，刺槐等人工林植被根系可进入深层土壤，从而改变土壤碳循环过程，深层土壤有机碳在土壤有机碳储量估算中十分重要”。

（3）中科院南京地理与湖泊研究所所长、国际土壤科学联合会土壤发生委员会副主席张甘霖研究员团队发表在Agriculture, Ecosystems & Environment（2022, 339: 108141）和Soil Science Society of America Journal（2019, 83: 687-696）上的文章充分肯定了代表性论文2中关于“土地利用可以影响深层土壤有机碳储量”的观点。

（4）巴西巴拉那联邦大学著名学者Cimélio Bayer教授团队发表在Agriculture, Ecosystems & Environment（2018, 268: 15-23）上的文章单独引用代表性论文2中“较轻的土壤质地有利于雨水渗透，从而促进可溶性有机碳在土壤剖面中迁移”的观点用于解释其研究结果。

**（二）美国库尔纳大学、印度尼西亚农业研究与发展署、西班牙地质调查局、北京大学等国内外著名学者和机构多次引用关于黄土高原小流域尺度土壤特性空间分异特征与主控因素的研究成果。**

（1）北京大学博雅特聘教授、中国地理学会生物地理专业委员会秘书长唐志尧教授团队发表在生态学领域顶刊Journal of Ecology（2020, 108: 1276-1286）和Ecology（2019, 100: e02624）上的文章均引用代表论文3的成果，指出土壤全氮含量可作为土壤肥力的表征指标，用来评估大空间尺度上的土壤养分状况。

（2）库尔纳大学终身教授、法国国家农业研究所所长Zulfikar Khan（Environmental Earth Sciences，2023, 82: 84）验证了代表性论文3中关于取样密度的研究结果，即为了提高空间预测精度，获取更精细的空间格局，与单一土地利用生态系统相比，增加复合土地利用生态系统的采样密度是很有必要的。

（3）印度尼西亚农业研究与发展署Aflizar教授在环境类Top期刊Geoderma（2021, 384: 114833）上的文章对代表性论文3的观点表示赞同，指出不同土地利用方式下土壤有机碳、全氮等养分具有不同的空间变异特征，绘制土壤养分空间分布图可用来指导生态环境保护与农业可持续发展。

（4）西班牙地质调查局局长Aguilera教授（Geoderma，2011, 162: 3-4）和霍恩海姆大学Cobo教授（Geoderma，2010, 158: 3-4）采用了代表性论文3中关于建立最优半方差模型的方法，并多次引用不同土地利用方式下土壤性质空间变异的研究结果，用于对比和解释不同区域、不同尺度上土壤性质的空间变异规律、变异来源等。

**（三）国内外同行充分肯定了关于土壤微生物在气候变化-土壤水碳氮-植物耦合过程中介导机制的研究成果。**

（1）荷兰瓦赫宁根大学土壤系主任、国际土壤协会委员、荷兰土壤学会会士Stefan Geisen教授发表在生态学领域顶刊Global Change Biology（2023, 29: 296-307）上的文章充分肯定了代表性论文4的研究成果，指出气候变化的交互作用对土壤微生物多样性会产生拮抗作用，土壤水碳氮的联合驱动效应导致了土壤微生物多样性的改变。

（2）浙江大学求是特聘教授、国家工程实验室副主任、国务院学位委员会学科评议组成员徐建明教授团队在环境类Top期刊Chemosphere（2022, 303: 135153）的文章积极引用并肯定了代表论文4中关于“气候变化对土壤有机碳、全氮积累具有负面影响”的结论，并解释了其内在的微生物驱动机制。

（3）荷兰瓦赫宁根大学土壤物理与土地管理研究所所长Geissen教授发表在环境类Top期刊Environmental Pollution（2023, 319: 120996）的文章充分肯定了代表性论文4的研究结论，利用其对不同气候模式下土壤微生物组成和活性对环境的敏感性进行解释，为构建气候变化模式下土壤微生物驱动的碳循环模型提供数据支撑。

（4）美国天普大学杰出/首席教授、中国教育部长江学者Subodha Kumar教授发表在Restoration Ecology（2022, 30: e13606）的文章充分肯定了代表论文5的成果，指出上覆岩层与表土混合破坏了土壤团聚体，导致土壤有机碳的损失。

五、代表性论文专著目录

**（不超过8条，其中代表性论文不超过5篇，代表性专著不超过3部）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **论文专著**  **名称** | **刊名** | **作者** | **年卷页码（xx年xx卷xx页）** | **发表时间（年月 日）** | **通讯作者（含共同）** | **第一作者（含共同）** | **国内作者** | **他引总次数** | **检索数据库** | **知识产权是否归国内所有** |
| 1 | Vertical distribution and temporal stability of soil water in 21-m profiles under different land uses on the Loess Plateau in China | Journal of Hydrology | Wang Yunqiang, Hu Wei, Zhu Yuanjun, Shao Ming’an, Xiao Shun, Zhang Chencheng | 2015年527卷543-554页 | 2015年5月14日 | Wang Yunqiang | Wang Yunqiang | 王云强，朱元骏，邵明安，肖舜，张晨成 | 55 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 2 | Soil organic carbon in deep profiles under Chinese continental monsoon climate and its relations with land uses | Ecological Engineering | Wang Yunqiang, Shao Ming’an, Zhang Chencheng, Liu Zhipeng, Zou Junliang, Xiao Jingfeng | 2015年82卷361-367页 | 2015年5月23日 | Wang Yunqiang | Wang Yunqiang | 王云强，邵明安，张晨成，刘志鹏，邹俊亮 | 32 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 3 | Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China | Geoderma | Wang Yunqiang, Zhang Xingchang, Huang Chuanqin | 2009年150卷141-149页 | 2009年2月23日 | Wang Yunqiang  Zhang Xingchang | Wang Yunqiang | 王云强，张兴昌，黄传琴 | 196 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 4 | Negative effects of multiple global change factors on soil microbial diversity | Soil Biology and Biochemistry | Yang Yang, Li Ting, Wang Yunqiang, Cheng Huan, Chang Scott X., Liang Chao, An Shaoshan | 2021年156卷108229页 | 2021年4月1日 | Wang Yunqiang  An Shaoshan | Yang Yang | 杨阳，李庭，王云强，程欢，梁超，安韶山 | 60 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 5 | Soil aggregation and aggregate-associated organic C and total N as affected by revegetation pattern at a surface mine on the Loess Plateau, China | Soil Science Society of America Journal | Zhang Pingping, Zhang Yanle, Jia Junchao, Cui Yongxing, Wang Xia, Zhang Yanjiang, Zhang Xingchang, Wang Yunqiang | 2019年83卷388-397页 | 2019年3月28日 | Zhang Pingping  Zhang Xingchang | Zhang Pingping | 张萍萍，张燕乐，贾俊超，崔永兴，王霞，张燕江，张兴昌，王云强 | 4 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 合 计 | | | | | | | | | 347 |  |  |
| **补充说明（视情填写）：无。** | | | | | | | | | | | |

六、主要完成人情况

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **排名** | **行政/技术职称** | **工作单位/完成单位** | **对本项目技术创造性贡献** |
| 王云强 | 1 | 研究员 | 中国科学院地球环境研究所 | 自主研发设计了深剖面土壤样品采集系统，明确了黄土高原土壤水碳氮在0-21 m深剖面的垂向分布特征与规律，阐明了土壤水分在垂直方向上的时间稳定性特征与代表性层位，确定了深剖面土壤水碳氮的主控因子，是代表性论文1、2、3的第一作者，论文4和5的共同作者，对重要科学发现点一、二、三均有贡献；提交陕西省科技报告1份。 |
| 杨阳 | 2 | 副研究员 | 中国科学院地球环境研究所 | 通过整合分析，阐明了多种全球变化因素对土壤有机碳、全氮和微生物多样性的影响，证实了土壤微生物在气候变化-土壤水碳氮-植物根系耦合过程中的介导机制，是代表性论文4的第一作者，对重要科学发现点三有贡献。 |
| 张萍萍 | 3 | 副研究员 | 中国科学院地球环境研究所 | 比较了黄土高原不同植被恢复措施下土壤团聚体粒径分布及稳定性、土壤团聚体中有机碳和全氮的分布特征，基于水土资源高效利用，提出了黄土高原的植被建设优化布局，是代表性论文5的第一作者，对重要科学发现点三有贡献。 |
| 张兴昌 | 4 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 明确了土壤碳氮在水平方向的空间分异特征与规律，查明了土地利用、地形等因子对土壤碳氮过程的影响机制，提出了黄土高原有限水土资源高效利用下的适宜植被恢复模式，是代表性论文3、5的共同通讯作者，对重要科学发现点二和三均有贡献。 |

七、主要完成单位情况

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **单位名称** | **排名** | **主要贡献** |
| 中国科学院地球环境研究所 | 1 | 中国科学院地球环境研究所是本项目的第一完成单位，在项目实施过程中提供了大量的人力、物力和财力支持，并在野外观测和室内分析方面提供了平台保障，保证了项目的顺利实施和完成。全面负责项目的设计、立项、分工、实施与成果鉴定。依托该单位，项目组发现了黄土高原土壤水碳氮的垂直分布特征与规律，确定了水平和垂直方向土壤水碳氮过程的主控因子，证实了土壤微生物在气候变化-土壤水碳氮-植物根系耦合过程中的介导机制，提出了黄土高原有限水土资源高效利用下的适宜植被恢复模式。 |
| 西北农林科技大学 | 2 | 西北农林科技大学作为项目参与单位，为该项目的实施与完成提供了一定的室内外科研条件支持，也是成果3的第一署名单位。在本项目中，协助开展项目的设计、立项、分工、实施与成果鉴定等，揭示了土壤碳氮在水分方向的空间分异特征、规律与归因，协助提出了黄土高原限水土资源的优化管理措施与土地利用模式。 |

八、完成人合作关系说明

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **合作方式** | **合作者/项目排名** | **合作时间** | **合作成果** | **证明材料** |
| 1 | 论文合著 | 王云强/1 | 2007-2021 | 代表性论文1、2、3、4、5 | 公开发表的相关学术论文 |
| 2 | 论文合著 | 杨阳/2 | 2019-2021 | 代表性论文4 | 公开发表的相关学术论文 |
| 3 | 论文合著 | 张萍萍/3 | 2017-2021 | 代表性论文5 | 公开发表的相关学术论文 |
| 4 | 论文合著 | 张兴昌/4 | 2007-2021 | 代表性论文3、5 | 公开发表的相关学术论文 |
| **完成人合作关系说明**  该项目第1完成人王云强研究员全面负责制定项目的总体方案、技术路线、实施计划与成果总结，第2完成人（杨阳副研究员）和第3完成人（张萍萍副研究员）均为王云强研究员的团队成员，共同开展本项目的科学研究工作，合作撰写论文并公开发表。第4完成人张兴昌研究员，曾是王云强研究员的硕士生导师、张萍萍副研究员的博士后合作导师，长期指导该项目的相关试验，特别是代表性论文3和5的研究工作。 | | | | | |