

# 申报 2024 年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖项目

## 公示内容

### 一、成果名称 微生物驱动林草土壤生态系统功能形成的作用机制

### 二、成果简介

本项目属于生态学领域，涉及土壤学、微生物学、林学等多个学科，在国家自然科学基金及陕西省基础研究等项目的支持下，基于黄土高原野外长期定位实验和室内盆栽实验，采用高通量测序、代谢组学和同位素示踪技术，以植被恢复过程中土壤微生物的演变特征-功能作用-内在机理为主线，系统研究了黄土高原林草土壤生态系统功能的微生物学机制，为黄土高原的生态恢复提供了重要科学依据，取得了如下创新性成果：

1. **揭示了林草生态系统恢复过程中植物-土壤-微生物的时空演替特征：**（1）发现了微生物多样性与植物协同演变具有不同步性，细菌和真菌慢于植物，归因于微生物对土壤养分依赖的滞后性。（2）明确了土壤微生物周转速率在土壤垂向上的递减规律，根系和土壤养分在土壤剖面分布的不均衡造成土壤微生物群落结构和功能的差异，表层土壤微生物周转速率高于深层，深层土壤微生物群落结构较为稳定，碳氮转化微生物丰度和活性随土壤深度逐渐降低。

2. **阐明了土壤微生物在林草生态系统恢复过程中的生态效应：**（1）明确了黄土高原森林和草地恢复过程中土壤生物多样性演变特征，恢复 30 年，土壤细菌多样提高了 43-66%，真菌和线虫多样性分别提高了 21-33%和 23-35%，土壤生物多样性的增加提高了土壤食物网的复杂性和稳定性（2）量化了微生物对水土保持功能的贡献，坡耕地种植刺槐林和撂荒后显著减少了坡面产沙量，菌根真菌对土壤抗蚀性的贡献为 9%-15%，凋落物、根系、土壤有机碳的贡献分别为 16%-22%、18%-26%和 5%-10%（3）揭示了植物-土壤-微生物之间的碳、氮、磷转化的协同机制，发现解磷菌和固氮菌是黄土高原植被恢复的关键种群。

3. **明确了土壤微生物的根际效应对植被恢复的驱动机制：**（1）阐明了植物根系驱动微生物演变的作用机制及其生态位异化特征，演替中后期微生物根际效应生态位总体上宽于前期，根系和物种竞争是驱动根际微生物群落演变的重要因子；（2）揭示了根系分泌物驱动微生物群落装配的形成机制，根系分泌物通过改变微生物产生的硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶影响土壤 N 的硝化；（3）完善了侵蚀环境土壤质量评价指标体系，提出了基于微生物功能的根际土壤指数，研发出提高土壤肥力的土著微生物菌剂（解磷菌+固氮菌）。

4. **明晰了人工措施对调控林草生态生态系统土壤功能的微生物学机理：**（1）揭示了土壤

氮素转化的代谢路径及微生物机理,氮添加提高了微生物的异化硝酸盐还原(基因 *narH*, *nrfA*, *nirB*)、生物固氮(*nifH*、*nifD*)、有机氮分解(*gdh*)及谷氨酸合成作用(*glnA*),促进了土壤有效氮的转化,从而缓解了刺槐林和撂荒草地的氮限制,并明确了参与氮转化的主要功能微生物(*Burkholderiales*、*Rhizobiales*);(2)围封禁牧、氮素添加、施用微生物菌剂改变了植物多样性和土壤碳输入,提高了腐生菌和内生菌根活性,增强了有机物的分解能力和根系吸收养分的效率,而降低了病原菌的植病风险。

该项目发表论文 100 余篇,其中 SCI 收录论文 80 篇,ESI 数据库学科领域前 1%高被引论文 2 篇,单篇最高引用 435 次。专著 3 部,授权专利 6 项,软件著作权 2 项,培养博士/硕士研究生 20 余名。项目完成人获国家林草局青年拔尖人才、中国水土保持学会青年科技奖、陕西省生态学会青年科技奖、陕西省杰出青年基金、陕西省科技新星等荣誉。通过近 20 年的系统研究,在理论上阐明了黄土高原植被恢复过程中微生物驱动林草土壤生态系统功能形成的作用机制,在实践上提出了基于土壤微生物功能的土壤质量评价方法、土壤质量改善的微生物菌剂以及适宜人工修复措施,为黄土高原生态恢复与高质量发展提供科学依据和技术支撑。

### 三、代表性论文专著或知识产权(标准规范等),总数不超过 10 项,其中代表性论文专著不超过 8 篇(部)

1. Zhang C\*, Liu GB, Xue S, Wang GL. Soil bacterial community dynamics reflect changes in plant community and soil properties during the secondary succession of abandoned farmland in the Loess Plateau. *Soil Biology & Biochemistry*, 2016, 97: 40-49. (ESI 1%高被引)
2. Liu HF, Yang XM, Liu GB, Liang CT, Xue S\*, Chen H, Coen J. Ritsema, Violette Geissen, Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil. *Chemosphere*, 2017, 185: 907-917 (ESI 1%高被引)
3. 刘国彬,上官周平,姚文艺,杨勤科,赵敏娟,党小虎,郭明航,王国梁,王兵. 黄土高原生态工程的生态成效. *中国科学院院刊*, 2017, 32(1): 11-19.
4. Zhang C, Liu GB\*, Xue S, Song ZL. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China, *Geoderma*, 2011, 161: 115-125.
5. Zhang C, Xue S, Liu GB\*, Song ZL. A comparison of soil qualities of different revegetation types in the Loess Plateau, China. *Plant and Soil*, 2011, 347(1-2): 163-178.
6. Jing H, Liu Y, Wang GL, Liu GB\*. Contrasting effects of nitrogen addition on rhizosphere soil CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub> emissions of fine roots with different diameters from *Pinus*

tabulaeformis forest using laboratory incubation, Science of the Total Environment, 2021, 780: 146298 780 (2021) 146298

7. Li BB, Li, PP, Zhang WT, Ji JY, Liu GB, Xu MX. Deep soil moisture limits the sustainable vegetation restoration in arid and semi-arid Loess Plateau. Geoderma, 2021, 399: 115122.
8. 杜盛、刘国彬（主编）等. 王国梁、许明祥、薛蕙、张超等（参编）. 黄土高原植被恢复的生态功能. 科学出版社, 2015
9. 张超, 宋籽霖, 刘国彬. 2018. 一种土壤微生物样品采集工具. 专利. L201720673281.6
10. 张超. 2019. 黄土丘陵区生态与经济互动发展分析平台 1.0. 计算机软件著作权. 2019SR0734245.

#### 四、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
张超	1	研究员	西北农林科技大学/西北农林科技大学
宋籽霖	2	副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学
薛蕙	3	研究员	西北农林科技大学/西北农林科技大学
刘国彬	4	研究员	中国科学院水利部水土保持研究所/中国科学院水利部水土保持研究所
王国梁	5	国家野外站站长/研究员	西北农林科技大学/西北农林科技大学
许明祥	6	副所长/研究员	中国科学院水利部水土保持研究所/中国科学院水利部水土保持研究所
王兵	7	国家野外站副站长/研究员	中国科学院水利部水土保持研究所/中国科学院水利部水土保持研究所
刘莹	8	副研究员	西北农林科技大学/西北农林科技大学
李彬彬	9	副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学

#### 五、主要完成单位

单位名称	排名
西北农林科技大学	1
中国科学院水利部水土保持研究所	2

#### 六、完成人合作关系情况

完成人合作关系情况表					
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	张超、宋籽霖/第 1、第 2	2011-2023	Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China	代表性论著 4
2	论文合著	张超、薛蕙/第 1、第 3	2011- 2023	Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China	代表性论著 1
1	论文合著	薛蕙、刘国彬/第 3、第 4	2012- 2023	Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil	代表性论著 2
4	论文合著	张超、刘国彬、王国梁/第 1、第 4、第 5	2012- 2023	Soil bacterial community dynamics reflect changes in plant community and soil properties during the secondary succession of abandoned farmland in the Loess Plateau	代表性论著 1
5	专著合著	张超、刘国彬、王国梁、许明祥/第 1、第 4、第 5、第 6	2013- 2023	黄土高原植被恢复的生态功能	代表性论著 8
6	论文合著	刘国彬、王国梁、王兵/第 4、第 5、第 7	2012- 2023	黄土高原生态工程的生态成效	代表性论著 3
7	论文合著	刘国彬、王国梁、刘莹/第 4、第 6、第 8	2012- 2023	Contrasting effects of nitrogen addition on rhizosphere soil CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, and CH <sub>4</sub> emissions of fine roots with different diameters from Pinus tabulaeformis forest using laboratory incubation	代表性论著 6
8	论文合著	刘国彬、许明祥、李彬彬/第 4、第 6、第 9	2017-2023	Deep soil moisture limits the sustainable vegetation restoration	代表性论著 7

				in arid and semi-arid Loess Plateau. Geoderma, 399: 115122.	
<p><b>完成人合作关系说明（限 1000 字）</b></p> <p>本项目完成人包括：张超、宋籽霖、薛蕙、刘国彬、王国梁、许明祥、王兵、刘莹、李彬彬</p> <p>西北农林科技大学的张超、宋籽霖、薛蕙、王国梁是一个良好的科研团队，均师从中国科学院水利部水土保持研究所刘国彬研究员，在科研项目、论文发表等方面有着密不可分的合作关系，长期以来在植物-土壤-微生物相互作用机制、生态系统结构改善与功能提升，区域生态修复的植被恢复技术及土壤质量提升技术等方面开展了深入的合作研究。</p> <p>中国科学院水利部水土保持研究所许明祥研究员和王兵师从刘国彬研究员，工作后加入刘国彬团队从事科研工作，揭示了植被恢复过程中土壤质量改善和植物-土壤-微生物协同演变机制，明确了黄土高原生态修复过程中的土壤质量恢复效应。</p> <p>西北农林科技大学刘莹副研究员和李彬彬副教授均师从刘国彬研究员，2020 年入职以来从事教学和科研工作，与西北农林科技大学刘国彬、王国梁团队在在黄土高原植被恢复、土壤侵蚀机制方面开展了合作，共同在《Science of the Total Environment.》、《植物营养与肥科学报》等国内外学术期刊发表学术论文多篇。</p> <p>西北农林科技大学李彬彬副教授是从许明祥研究员，与刘国彬团队在在黄土高原土壤侵蚀机制方面开展了合作，共同在《Geoderma》、《农业工程学报》等国内外学术期刊发表学术论文多篇。</p>					