

## 球囊霉素在向家坝水电站生态修复边坡土壤团聚体稳定性中的作用

蒋佳媛<sup>1,2</sup>, 马佳鑫<sup>1,2</sup>, 夏 栋<sup>1,2,3</sup>, 刘 芳<sup>2,3</sup>, 闫书星<sup>2,3</sup>, 段晓明<sup>1,2</sup>

(1 三峡大学生物与制药学院, 湖北 宜昌 443002; 2 水泥基生态修复技术湖北省工程研究中心, 湖北 宜昌 443002; 3 三峡大学水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002)

**摘 要:**【目的】本研究旨在探讨球囊霉素相关土壤蛋白在向家坝水电站生态修复边坡土壤团聚体稳定性中的作用。土壤团聚体稳定性是土壤结构和功能的关键指标, 而土壤蛋白是影响团聚体稳定性的重要生物分子。球囊霉素作为一种土壤蛋白, 其在土壤团聚体形成和稳定性中的作用尚不明确。因此, 本研究通过分析球囊霉素相关土壤蛋白的分布特征及其与土壤团聚体稳定性的关系, 以为生态修复边坡土壤结构的优化和土壤碳库管理提供科学依据。【方法】研究选取了向家坝水电站的四种不同生态修复边坡: 植被混凝土(CBS)、厚层基材喷播(TB)、框格梁覆土(FB)、客土喷播(SS), 以及两种自然恢复边坡: 天然林(NF)和弃渣地(AS)作为对照组。球囊霉素相关土壤蛋白的提取和定量分析采用酶联免疫吸附测定(ELISA)方法。此外, 通过土壤物理和生物化学分析, 评估土壤团聚体的稳定性, 并使用统计软件进行相关性分析, 以揭示球囊霉素相关土壤蛋白与土壤团聚体稳定性之间的相互关系。【结果】①不同修复模式边坡土壤中易提取球囊霉素相关土壤蛋白(EE-GRSP)和总提取球囊霉素相关土壤蛋白(T-GRSP)含量分布范围分别为0.33~0.75mg/g 和 0.54~1.12mg/g, 人工生态修复后土壤蛋白含量显著增高, 但客土喷播和弃渣地改善不明显; EE-GRSP 和 T-GRSP 含量随粒径减小呈先增后减趋势, 其中厚层基材样地含量最高, 天然林次之, E-GRSP 在 1-0.5mm 粒径达到最大值, 而 T-GRSP 在不同样地的最大值粒径有所不同。②Pearson 相关性分析显示, 球囊霉素含量与土壤团聚体稳定性呈正相关, 破坏率呈负相关, 且 1-0.5mm 粒径的 T-GRSP 和 2-1mm 粒径的 EE-GRSP 对团聚体稳定性指标的解释效果最佳, 揭示了球囊霉素相关土壤蛋白与土壤有机碳指标的正向关联, 表明其对土壤有机碳形成和固定的积极作用。③偏最小二乘路径模型(PLS-PM)分析显示球囊霉素对土壤团聚体稳定性的影响(路径系数 1.608)大于土壤碳库(路径系数 0.781), 且球囊霉素的两个潜在变量 T-GRSP 和 EE-GRSP 对团聚体稳定性的影响程度相同(载荷量均为 0.987)。【结论】研究结果表明, 人工生态修复显著提高了土壤中易提取和总提取球囊霉素相关土壤蛋白的含量, 尽管客土喷播和弃渣地的改善效果有限。球囊霉素含量与土壤团聚体稳定性正相关, 且不同粒径团聚体中球囊霉素含量分布有其特定规律。此外, 球囊霉素相关土壤蛋白对土壤有机碳的形成和固定具有积极作用, 尤其在 1-0.5mm 和 5-2mm 粒径团聚体中表现突出。偏最小二乘路径模型分析进一步证实了球囊霉素对土壤团聚体稳定性的显著影响, 且其影响程度大于土壤碳库, 其中 T-GRSP 和 EE-GRSP 对团聚体稳定性的贡献相当。