

Construction of Microbial Carbon Sequestration MRV System and Talent Training Based on International Mutual Recognition

Fei Wang¹ Jia Wang² Fangfang Li¹ Yuqian Wang¹ Hongrui Zhang³

1. Zhengzhou Yongfeng Bio-Fertilizer Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450051, China

2. Hainan Tianhu Applied Technology Co., Ltd., Haikou, Hainan, 570100, China

3. Zhengzhou Zhituo Biotechnology Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450051, China

Abstract

As climate change becomes an increasingly pressing global challenge, carbon reduction and carbon neutrality have emerged as primary objectives in international climate initiatives. In this context, microbial carbon sequestration (MC) has gained prominence as a highly efficient carbon sink solution. However, practical implementation of MC faces challenges in monitoring, reporting, and accounting. Establishing an internationally recognized Microbial Carbon Sequestration (MRV) framework—comprising monitoring, reporting, and verification—is therefore essential to facilitate the adoption of MC technologies and uphold the fairness and credibility of global carbon governance. This paper explores the significance and structural design of an internationally recognized MC MRV system, with a focus on developing a talent cultivation pathway aligned with this framework.

Keywords

microbial carbon sequestration; international mutual recognition; MRV system; talent cultivation; carbon governance

基于国际互认的微生物固碳 MRV 体系构建与人才培养

王飞¹ 王佳² 李芳芳¹ 王玉茜¹ 张红瑞³

1. 郑州永丰生物肥业有限公司, 中国·河南 郑州 450051

2. 海南天祐应用技术有限公司, 中国·海南海口 570100

3. 郑州智拓生物科技有限公司, 中国·河南 郑州 450051

摘要

随着气候变化问题的日益突出, 碳减排及碳中和是全球气候行动的主要任务, 在此背景下, 微生物固碳作为高效碳汇方式之一, 已成为碳治理领域中的重要方向。但微生物固碳在实际应用过程中存在监测、报告、核算等方面的问题, 因而建立国际认可的微生物固碳MRV(监测-报告-核查)方法是促进微生物固碳技术落地应用以及维护全球碳治理公正性与可信度的基础环节。本文探讨了国际互认的微生物固碳MRV体系构建的意义与框架, 重点分析了适配这一体系的人才培养体系的构建路径。

关键词

微生物固碳; 国际互认; MRV体系; 人才培养; 碳治理

1 引言

面对日益严峻的气候变暖问题, 降低温室气体排放及达到碳中和是世界各国共同面临的课题之一。微生物固碳是指借助于微生物对 CO₂ 的代谢将其固定到土壤等环境中的过程, 是目前极具前景的碳汇技术之一。但是由于微生物固

碳技术本身存在一些限制, 其大规模推广应用受到阻碍。其二为缺少监测、报告及核算(MRV)体系。建立国际通用的MRV体系, 对促进微生物固碳技术在全世界范围内推广应用至关重要。这不仅有助于推动微生物固碳融入全球碳治理体系, 还能提升碳交易的公平性、公信力和透明度。

2 国际互认的微生物固碳 MRV 体系构建意义

2.1 推动微生物固碳融入全球碳治理体系

微生物固碳作为新兴的碳汇方式, 其在应对气候变化以及达成碳中和目标中的作用日益凸显。但目前微生物固碳的应用推广受限于现行全球碳治理制度下的碳监测及碳核算体系。传统固碳方式包括森林固碳、农业土壤固碳等, 监

【课题项目】2025年度国际合作与交流专项课题(课题编号: GJX25Z3070)。

【作者简介】王飞(1971-), 男, 中国四川南部人, 硕士, 高级经济师, 从事生物技术、智能科技与现代农业发展研究。

测和报告已相对成熟，而微生物固碳由于作用机理及固碳过程相对特殊，并未建立统一的全球标准和技术支撑。因此，填补此空白的关键在于建立国际认可的微生物固碳 MRV 体系。这有利于推动微生物固碳技术早日纳入到全球碳治理体系中。支持微生物固碳在全球气候目标及减缓战略中的认可并作为未来全球气候变化行动的重要策略之一^[1]。

2.2 保障碳交易的公平性与公信力

随着全球范围内碳市场规模不断扩大，碳交易已成为各国完成减排任务的重要途径之一。碳市场的公平公正有赖于一个科学规范的标准、统一的核算与报告体系为基础。作为一个新型的碳汇形式，微生物固碳亟需建立统一化、规范化的方法来进行监测、报告及核算。各国地区采用的技术手段、计算方式有差异性，在进行碳交易过程中存在数据不统一以及核算差异等问题，不利于市场透明度及公平性的提高。因此，构建国际互认的微生物固碳 MRV 体系，能够在全球范围内统一监测和核算标准，避免技术差异带来的碳交易不公问题。

2.3 提升我国全球碳治理话语权

中国是世界第一大碳排放国家，在国际碳治理方面发挥着重要作用。中国的碳减排政策及行动对世界气候变化产生重要影响。随着国际碳市场以及碳交易市场的逐渐建立，中国在全球碳治理过程中发挥的作用愈加明显。通过建设国际互认的微生物固碳 MRV 体系，我国不仅可以将这项极具潜力的碳汇在全球范围进行推广，还可以通过制定和参与相关技术标准来提高我国在国际碳市场上的话语权。通过引领微生物固碳技术的全球标准制定，我国可以在推动全球碳减排的同时，确保我国在全球碳治理体系中的影响力。

2.4 赋能微生物固碳产业规模化发展

微生物固碳产业发展壮大需要有标准化体系提供硬约束并进行有效指导，国际认可的 MRV 标准是实现该行业规模化的前提条件。目前由于缺少国际认可的 MRV 规范，导致微生物固碳技术研究方向分散化、成果市场化困难，在推广应用过程中无法准确评估其固碳效益，缺乏引导企业投资的动力，上下游企业在技术衔接、效果检验等方面合作不充分。制定具有全球通用性的 MRV 标准能够统一微生物固碳观测要素、计算方式等内容，形成对碳汇量的有效评估结果，有效规避科研开发及应用过程中的失败率和盲目性。这样不但能够吸引创投、产业基金等社会资本入局，也能够让微生物菌株培育、监测设备研发、碳汇核算服务等整个链条更加成熟完善，加快产业规模化落地的步伐。此外，统一的国际标准能够消除跨国技术合作中的障碍，推动全球优质资源的整合与成果共享，促进协同发展，进而帮助形成全球产业协同发展格局，最大化地释放微生物固碳在碳减排方面的潜力。

3 国际互认的微生物固碳 MRV 体系构建框架

3.1 监测体系，构建“微观精准 + 宏观覆盖”的立体监测网络

微生物固碳过程的监测是微生物固碳管理及利用的前提条件，但是目前针对碳汇量监测的方法主要以大尺度环境变量为主，而缺乏对微生物固碳过程的高精度监测方法。由于微生物固碳过程是一个生物 - 环境耦合的过程，因此微生物固碳的监测不仅包括小尺度还包括大尺度监测。微生物固碳技术的应用离不开“微观精准 + 宏观覆盖”的监测体系支撑，在微观上精准监测是指高效传感技术、微生物活性检测技术和环境因子检测技术对微生物固碳过程及微生物 - 环境耦合关系进行动态追踪的能力。以上述信息为基础进行精细化处理，可以获得微生物固碳的机理以及固碳率等数据，在更大的尺度上则可以通过卫星遥感、无人飞机观测、固定站点网络等方式获取更大范围区域内的碳汇情况，得到更为宽泛的碳汇数据。这些数据可以帮助绘制出各区域碳固定能力的空间分布图，从而为全球范围内的碳减排策略提供支持^[2]。

3.2 核算体系，建立“统一方法 + 场景适配”的碳汇核算框架

微生物固碳的量化核算是评价及确定微生物固碳减排效果的重要组成部分，由于其技术的多样性和应用的复杂性，导致现有量化核算体系存在一定的普适性和灵活性难题。因此，首先要对微生物固碳的量化核算进行标准化处理，使得各国采用微生物固碳技术时，具有相同的技术量化标准。统一性可防止采用不同方法产生不同的碳汇量结果而影响碳交易市场公平。但鉴于微生物固碳技术应用环境的多样性，又需在保证核算方法统一的前提下，根据不同应用场景提供不同的适用体系设计。如在农业环境中，由于农作物品种、土地性质以及农事活动方式的不同，会影响微生物固碳功能的发挥；而对于湿地和森林来说，由于生态系统类型不同、气候条件的不同，可能会影响微生物固碳的作用程度，因此在核算方法上除了一般性的统一方法外，还需考虑不同的具体情景下的应用，比如土壤有机质含量、微生物种类及其分布情况、气候变化因素对固碳过程的影响等。该“通用方法 + 情景匹配”计汇体系一方面可以提高计汇精度，另一方面可保证计汇在全世界范围内各地区的适用性和科学性，使得微生物固碳技术的减缓潜力获得世界范围的认可。

3.3 报告体系，规范“标准化 + 透明化”的报告流程与内容

报告体系是微生物固碳 MRV 体系中的重要环节，用于展示核算成果，并向相关主管部门及市场披露客观、真实的碳减排信息。建立规范、透明的报告体系有助于提升微生物固碳项目的可靠性以及国际市场的认可程度。一是报告标准化，即报告的内容和形式统一化，保证数据之间有可比性及可复查性，在报告中应包含数据来源、监测方式、计算过

程和技术标准等信息,并将数据产生的采集、分析、验证等过程记录清楚以供全球核查;二是报告时间规范化,二是保证碳汇数据的定期披露以反映固碳效益变化;三是透明度原则也是报告制度的重要要求,所有监测和核算的数据都应该公开可得,并且透明度原则有利于提高社会公众及市场对微生物固碳技术的信任以及促进国际间合作和监管。实践中的透明性是指所有报告数据都要经由第三方机构进行核查认证,并公开披露。同时,在报告中提供关于气候变化、碳汇效益和环境影响等方面信息,以便让全世界监管者、碳市场及相关公众充分掌握微生物固碳的应用成效和能力。

4 适配国际互认 MRV 体系的人才培养体系构建

4.1 人才培养目标定位

在人才培养目标上,围绕国际互认的微生物固碳 MRV 体系进行适应性改造,应该把人才培养目标定位为具有国际视野、扎实科学素养及实践能力的高质量人才。首先,在知识方面,学习碳减排相关技术基础理论,了解碳减排和碳交易基本原理及全球气候变化应对机制^[1]。首先,该部分内容的学习对后期实验有铺垫作用,同时也能指导实践工作;其次,在微生物学应用方面,要求学生了解微生物固碳机理,即微生物如何利用自身代谢途径进行 CO₂ 固定以及影响微生物固碳的因素及效果评价方法等内容。另外,还需要学生有一定的碳市场监管能力,了解碳交易机制、碳信用认证、碳资产管理等内容,能够参与全球碳市场监督管理工作。通过这样的多学科交叉融合,人才将不仅仅掌握碳减排技术和微生物固碳基本技能,还可以了解并把握全球碳市场的变化与发展,能够成为从事微生物固碳技术开发应用、MRV 建设以及碳市场监管等相关工作的高素质应用型专门人才。

4.2 人才培养层次结构

面向国际互认 MRV 的人才培养应当分为初级人才、高层次人才和专门人才三个层级,从而适应各个阶段人才的需求。初级人才培养主要是针对碳减排基础知识及技术进行培训教育,培养学生基本了解气候变化、碳排放、碳减排技术的基础知识。该层次的学生需要掌握碳汇技术、碳市场技术和相应的环境科学、生物学基础,为更高层次的学习奠定坚实的理论基础。高阶目标是培养具有较强科研及创新能力的技术人才,其应该具有较高的学科专业知识水平,并能从事微生物固碳技术的研发和改进等工作;该层次学生除了要掌握先进的微生物学理论外,还应该具有进行科学研究实验的

设计和开展的能力以及分析数据和建立模型的能力,促进微生物固碳技术的科学创新及应用发展。专业层次更加侧重于培养能够真正应用到碳市场、碳核算、碳资产管理工作中的实用型人才,并通过实践训练和岗位实践获得足够的经验,在实际复杂的应用场景中掌握微生物固碳技术的实际运用方法。参与 MRV 实施。

4.3 人才培养实施路径

为保证能够适应国际互认 MRV 机制下的人才培养体系的有效推行,有必要借助于大学教学、科研院所以及企业实践力量,实现人才培养过程中产、学、研及用四位一体的教学模式。具体而言,在大学教学方面,高校可以开设相关的碳减排、微生物固碳、碳市场管理等方面的课程,提升学生的基本理论水平以及综合学科素养^[4]。另外,高校还应该通过开展科研项目和国际合作交流等方式给学生提供理论与实际结合的学习环境,在学习的过程中可以接触前沿技术和世界碳治理的问题。而在科研机构方面,则应该充分发挥其技术支撑及创新引领的作用,给学生提供参与科研项目的条件,培养学生自主探究发现问题解决问题以及创新能力。科研院所也要联合各大高校实现基础研究及技术研究的有机结合,为大学生创造更多的实习、科研条件;对于企业而言,企业作为人才使用的主力军,可以为学生们提供珍贵的岗位实习经验。通过顶岗实习及就业指导教育,让学生能够直接参与微生物固碳技术应用、MRV 实施和碳市场管理运营工作,增强学生的实践经验和市场经验。

5 结语

建立微生物固碳 MRV 国际互认体系是微生物固碳参与国际碳治理以及实际应用的保证,完善的 MRV 体系有利于微生物固碳参与全球碳市场并促进碳交易公平公开;完善的人力资源培养机制有利于 MRV 体系的应用推广,保障微生物固碳技术能被全球广泛接受并加以推广应用,助力碳减排及达成气候目标。

参考文献

- [1] 朱雪峰,孔维栋,黄懿梅,肖可青,罗煜,安韶山,梁超.土壤微生物碳泵概念体系2.0[J].应用生态学报,2024,35(1):102-110.
- [2] 卞平,郑强,李军,郑妍妍.高职产业学院人才培养质量保障体系研究[J].湖北工业职业技术学院学报,2025,38(3):7-10.
- [3] 冯丹燕,周延霞,何明珠.广东碳交易试点的MRV制度及经验[J].科技资讯,2019,17(4):107-108.
- [4] 李鹏,吴文昊,郭伟.连续监测方法在全国碳市场应用的挑战与对策[J].环境经济研究,2021,6(1):77-92.