

生物修复技术在水环境治理中的应用与发展

陈太珂¹ 杨 赞²

1. 浙江巨化股份有限公司电化厂 浙江 衢州 324000

2. 浙江巨圣氟化学有限公司 浙江 衢州 324000

摘要: 生物修复技术作为环保利器,正朝着高效、无二次污染、多学科融合及智能化方向发展。未来,高效降解菌株与生物强化技术将提升处理效率,化学、材料科学与信息技术的融合将推动技术创新。同时,智能化监测与控制系统将实现修复过程的精准调控与自动化管理,提升整体效率与稳定性。生物修复技术的不断进步,将为解决复杂环境问题提供更为强大和灵活的技术支撑。

关键词: 生物修复技术;水环境治理;应用与发展

1 生物修复技术的基本概念

生物修复技术是一种利用自然生物过程或经过人工强化的生物体系来减少或消除环境污染物的先进环境治理手段。它基于微生物、植物或动物等生物体对污染物的吸收、转化、降解或固定能力,通过生物代谢活动将有毒有害物质转化为无害或低毒物质,甚至完全矿化为二氧化碳、水及无害的有机小分子,从而恢复受污染环境的自然生态功能和结构。生物修复技术具有成本低廉、环境友好、不产生二次污染、可持续性等优点,因此在土壤、水体、大气及固体废物等多种环境污染治理中展现出广阔的应用前景。在土壤修复中,特定微生物能降解石油烃、重金属等污染物;在水体净化方面,藻类、细菌等可去除水体中的氮、磷及有机污染物;而植物修复技术则通过超富集作用吸收土壤中的重金属元素,实现土壤的生态恢复。随着生物技术的不断进步,生物修复技术正向着高效、精准、基因工程改造生物体等方向发展,为解决日益严峻的环境污染问题提供了更加有力的技术支撑。

2 生物修复技术的分类

生物修复技术,作为环保领域的一项前沿科技,其多样性体现在利用不同生物体对环境污染物的独特处理能力上。根据所利用的生物体类型,生物修复技术可细分为多个子类,每一类都拥有其独特的优势和应用场景。

2.1 植物修复

植物修复技术,作为生物修复的一个重要分支,巧妙地利用了植物及其与微生物的共生关系来清除或降低环境中的污染物。这项技术不仅依赖于植物根系对土壤或水体中污染物的直接吸收,还涉及植物通过蒸腾作用、根系分泌物等方式改变土壤环境,从而间接促进污染物的转化或固定^[1]。例如,某些特定植物能高效吸收土

壤中的重金属元素,通过体内累积或转化为无害形态,实现土壤的净化。植物修复技术还能改善土壤结构,增加土壤有机质含量,促进土壤生态系统的整体恢复。这种技术因其绿色、可持续的特点,在重金属污染土壤、石油污染土壤等环境治理中展现出巨大潜力。

2.2 微生物修复

微生物修复技术则是利用自然界中广泛存在的微生物资源,通过其代谢活动将环境中的有机污染物、无机污染物等转化为无害或低毒物质的过程。这些微生物具有强大的降解能力,能够针对不同类型的污染物进行特异性降解。例如,某些细菌能够分解石油烃类污染物,将其转化为二氧化碳和水;而真菌则能有效降解农药、塑料等难降解物质。微生物修复技术具有成本低、效率高、无二次污染等优点,因此在土壤污染、水体污染等环境治理中得到了广泛应用,随着分子生物学技术的发展,人们还可以通过基因工程等手段对微生物进行改造,进一步提高其降解效率和适应性。

2.3 细胞生物修复

细胞生物修复技术代表了生物修复领域的一个新兴方向,它利用细胞(包括微生物细胞、植物细胞甚至动物细胞)的特定功能进行环境修复。与传统的生物修复技术相比,细胞生物修复技术更加精细和高效。通过细胞培养、基因编辑等现代生物技术手段,人们可以定向改造细胞,使其具备更强的污染物降解能力或特定的环境修复功能。例如,利用基因工程技术将降解特定污染物的基因导入微生物细胞中,构建出高效降解菌株;或者通过植物细胞培养技术培养出具有超富集能力的植物细胞系,用于重金属污染土壤的修复。细胞生物修复技术因其高度的灵活性和针对性,在解决复杂环境污染问题中展现出独特的优势。

3 生物修复技术在水环境治理中的应用

水环境治理是全球环境保护的重要议题之一，面对日益严重的水体污染问题，生物修复技术以其独特的优势逐渐成为水环境治理的重要手段。该技术通过利用自然或人工强化的生物体系，实现对水体中污染物的有效去除或转化，从而恢复水体的自然生态功能和清洁度。

3.1 植物修复技术在水环境治理中的应用

植物修复技术在水环境治理中扮演着重要角色，它主要利用水生植物或湿地植物的吸收、富集、转化和降解能力来净化水体。这类技术不仅能够有效去除水体中的氮、磷等营养盐，还能吸附重金属、有机污染物等有害物质，对于改善水质、恢复水生生态系统具有显著效果^[2]。水生植物如浮萍、芦苇等通过其庞大的根系和叶片系统，能够大量吸收水体中的营养物质，如氮、磷等，从而减少水体富营养化现象。这些植物在生长过程中将吸收的氮、磷转化为自身组织的一部分，并通过收割等方式从水体中移除，达到净化水质的目的。某些水生植物具有超富集能力，能够吸收并积累水体中的重金属元素，如镉、铅、铜等。这些重金属元素在植物体内被固定或转化为无害形态，从而防止其进入食物链，对水生生物和人类健康造成威胁。通过定期收割这些超富集植物，可以实现对水体中重金属污染的有效控制。湿地植物修复技术也是水环境治理中的重要手段之一，湿地作为自然界中重要的生态系统，具有强大的净化功能。通过构建人工湿地或恢复自然湿地，可以利用湿地植物、微生物及土壤等组成的复杂生态系统，对进入水体的进行多级净化。湿地植物通过吸收、吸附、沉淀等作用去除水体中的污染物，同时湿地中的微生物也参与污染物的降解过程，共同实现水体的净化。

3.2 微生物修复技术在水环境治理中的应用

微生物修复技术在水环境治理中同样具有重要地位，它利用微生物的代谢活动将水体中的有机污染物、无机污染物等转化为无害或低毒物质。这类技术具有高效、低成本、无二次污染等优点，在水体污染治理中得到了广泛应用。针对水体中的有机污染物，如石油烃类、农药、染料等，微生物修复技术通过筛选或培养具有高效降解能力的微生物菌株，将其投加到受污染水体中。这些微生物能够利用污染物作为碳源和能源进行生长繁殖，同时将污染物分解为二氧化碳、水等无害物质。通过微生物的降解作用，可以显著降低水体中有机污染物的浓度，改善水质。对于水体中的无机污染物，如重金属离子、硝酸盐等，微生物修复技术也展现出独特的优势。某些微生物能够通过吸附、沉淀、氧化还原

等机制将重金属离子从水体中去除或转化为无害形态。例如，一些细菌能够分泌出特殊的蛋白质或多糖类物质，与重金属离子形成稳定的络合物并沉淀下来；而另一些微生物则能够通过氧化还原反应将重金属离子转化为低毒或无毒的形态。微生物修复技术还可以与其他技术相结合，形成复合修复体系以提高治理效果。例如，将微生物修复技术与植物修复技术相结合，构建微生物-植物共生系统，通过植物根系为微生物提供生长环境并输送氧气和营养物质，同时微生物促进植物对污染物的吸收和降解，共同实现水体的净化。

3.3 细胞生物修复技术在水环境治理中的应用

细胞生物修复技术作为生物修复领域的前沿技术之一，在水环境治理中展现出巨大的潜力。该技术通过利用细胞（包括微生物细胞、植物细胞甚至动物细胞）的特定功能进行环境修复，具有高度的灵活性和针对性。细胞生物修复技术可以利用基因工程技术对微生物细胞进行改造，构建出具有高效降解能力的工程菌株。这些工程菌株能够针对特定的污染物进行高效降解，且降解效率和稳定性均优于自然存在的微生物。通过将这些工程菌株投加到受污染水体中，可以实现对水体中污染物的快速去除。植物细胞培养技术也为水环境治理提供了新的思路，通过植物细胞培养技术可以培养出大量具有特定功能的植物细胞系，如超富集细胞系、抗氧化细胞系等。这些细胞系能够高效吸收并积累水体中的污染物或产生抗氧化物质以抵抗污染物的毒性作用。将这些细胞系应用于水环境治理中，可以实现对水体中污染物的有效去除或减轻其对水生生态系统的负面影响。细胞生物修复技术还可以与其他生物技术相结合形成综合修复体系，例如将细胞生物修复技术与生物膜技术相结合构建出生物反应器系统；或将细胞生物修复技术与纳米技术相结合开发出新型的环境修复材料等。这些综合修复体系能够充分发挥各种技术的优势并弥补其不足之处，从而提高水环境治理的效果和效率^[3]。

4 生物修复技术的发展趋势

生物修复技术，作为环境科学领域的一颗璀璨明珠，正随着科技的进步和环保需求的日益增长而不断演进。其发展趋势呈现出高效化、绿色化、智能化及多学科交叉融合的特点，为解决复杂环境问题提供了更为有力的技术支撑。

4.1 高效、无二次污染的生物处理技术及产品的研发

在环境保护日益受到重视的今天，生物修复技术的高效性和环保性成为其发展的关键。未来，生物修复技术将更加注重高效、无二次污染的生物处理技术及产

品的研发。首先,针对特定污染物的降解菌株的筛选与改造将是研究重点,通过基因工程技术、代谢工程等手段,对微生物进行定向改造,使其具备更强的降解能力、更广的降解谱以及更高的环境适应性。同时,利用合成生物学技术构建新型微生物群落,实现污染物的协同降解,提高降解效率。其次,生物强化技术的研发与应用也将得到加强,生物强化技术是指通过向污染环境投加高效降解菌株、营养物质或电子受体等物质,以强化环境中原有微生物的降解能力或引入新的降解途径。未来,生物强化技术将更加注重投加物质的筛选与优化,以及投加方式的创新,以实现污染物的快速、高效去除。生物修复过程中产生的副产物及代谢产物的无害化处理也是研究的重要方向,通过优化生物修复工艺条件、引入新的降解酶系或构建微生物-植物共生系统等手段,减少或消除副产物的产生,确保生物修复过程的无二次污染。

4.2 多学科交叉融合与技术创新

生物修复技术的发展离不开多学科交叉融合与技术创新的推动。未来,生物修复技术将更加注重与化学、材料科学、信息技术、纳米技术等学科的交叉融合,以实现技术的突破与创新。化学与生物学的交叉融合将为生物修复技术提供新的思路和方法,例如,利用化学手段对微生物进行表面修饰或包埋固定化,提高其在环境中的稳定性和降解效率;或利用化学合成的生物降解材料作为微生物载体,实现污染物的原位修复。材料科学的发展将为生物修复技术提供新型的支持材料,如纳米材料、生物炭等新型材料在生物修复中的应用,不仅能够提高微生物的附着能力和降解效率,还能改善土壤或水体的理化性质,促进生物修复过程的进行。信息技术和大数据技术的引入将为生物修复技术的智能化和精准化提供可能,通过构建生物修复过程的数据采集与分析系统,实时监测污染物的浓度变化、微生物的活性及群落结构等信息,为生物修复工艺的优化和调控提供科学依据。

4.3 智能化、自动化修复技术的发展

随着人工智能、物联网等技术的快速发展,智能化、自动化修复技术将成为生物修复技术的重要发展方

向。未来,生物修复技术将更加注重与智能技术的结合,实现修复过程的智能化控制和自动化管理。智能监测系统的研发与应用将为生物修复过程提供实时、准确的数据支持,通过集成传感器、无人机、遥感技术等手段,构建全方位、多尺度的环境监测网络,实现对污染区域的高频次、高精度监测^[4]。利用大数据分析技术挖掘监测数据中的有用信息,为生物修复工艺的优化和调控提供科学依据。智能控制系统的研发将实现生物修复过程的自动化管理,通过构建智能控制系统平台,集成自动控制、远程监控、故障诊断等功能模块,实现对生物修复过程中各环节的自动化控制和远程管理。这不仅能够提高生物修复的效率和稳定性,还能降低人工成本和操作风险。智能优化算法的应用也将为生物修复工艺的优化提供有力支持,通过运用遗传算法、粒子群优化算法等智能优化算法对生物修复工艺参数进行优化设计,实现工艺参数的自动调整和最优配置,提高生物修复的效果和经济效益。生物修复技术的发展趋势呈现出高效化、绿色化、智能化及多学科交叉融合的特点。未来随着科技的不断进步和环保需求的日益增长,生物修复技术将在解决复杂环境问题中发挥更加重要的作用。

结束语

面对日益严峻的环境挑战,生物修复技术以其独特的优势展现出广阔的应用前景。随着科技的不断进步与环保理念的深入人心,有理由相信,未来的生物修复技术将更加高效、绿色、智能,成为守护地球家园的重要力量。让我们携手并进,共同推动生物修复技术的发展,为子孙后代留下一个更加美丽、健康的地球。

参考文献

- [1]王玉岭.城市水环境治理生物修复技术分析[J].城市建筑,2019,16(24):104-105.
- [2]刘国英.环保工程中生物技术的应用[J].安徽农学通报,2019,25(14):114-116.
- [3]刘奇奇.李怀正.李雪璐.生物-生态修复技术在河道治理中的研究进展[J].广东化工,2019,46(24):61-63.
- [4]蒋宇豪.李敏.唐明哲.微污染河道修复技术及其应用[J].环境生态学,2019,1(08):83-87.