

湿地生态系统保护与修复技术研究

孟凡星

(中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102)

摘要: 湿地生态系统是陆地与水域间过渡的关键生态单元, 在涵养水源、调蓄水量、净化环境、维持生物多样性及稳定区域生态格局等方面具备不可替代的核心地位。湿地生态系统的健康存续, 能够有效维系区域生态平衡, 为各类生物提供栖息繁衍空间, 同时推动生态系统服务功能持续稳定发挥, 助力生态环境质量稳步提升。开展湿地生态系统保护与修复技术研究, 有助于系统梳理现有保护模式与技术路径, 优化湿地生态治理方式, 提升湿地生态系统的稳定性与自我修复能力, 为湿地生态系统的长效保护与科学修复提供技术支撑和实践指引, 推动湿地生态系统实现可持续发展。

关键词: 湿地生态系统; 保护技术; 修复路径; 生态稳定性; 生物多样性维系

中图分类号: X171.4

文献标识码: A

文章编号: 3106-2547 (2025) 07-0021-12

DOI: 10.62022/FHR.issn3106-2547.2025.07.003

Research on Wetland Ecosystem Protection and Restoration Technology

Meng Fanxing

(Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130102)

Abstract: Wetland ecosystems are key ecological units in the transition between land and water, playing an irreplaceable core role in conserving water sources, regulating water storage, purifying the environment, maintaining biodiversity, and stabilizing regional ecological patterns. The healthy survival of wetland ecosystems can effectively maintain regional ecological balance, provide habitat and reproduction space for various organisms, and promote the sustained and stable performance of ecosystem services, helping to steadily improve the quality of the ecological environment. Conducting research on wetland ecosystem protection and restoration technologies can help to systematically sort out existing protection modes and technological paths, optimize wetland ecological governance methods, enhance the stability and self-healing capabilities of wetland ecosystems, provide technical support and practical guidance for the long-term protection and scientific restoration of wetland ecosystems, and promote the sustainable development of wetland ecosystems.

Keywords: wetland ecosystem; protecting technology; repair path; ecological stability; biodiversity maintenance

1 湿地生态系统概述

1.1 湿地生态系统的核心特征

湿地生态系统是由水生与陆生生物群落、环境因子共同构成的复杂生态综合体, 其核心特征体现在水文、土壤、生物三大维度的协同作用, 各要素相互依存、相互影响, 共同维系湿地生态系统的结构完整性与功能稳定性。水文条件是湿地生态系统形成与存续的基础, 湿地生态系统的水文特征主要表现为常年或季节性积水, 积水深度通常维持在0.5m~2.0m, 积水周期根据区域气候与地形差异呈现明显不同, 部分湿地季节性积水周期为3个月~6个月, 常年积水湿地的积水周期则可达12个月, 稳定的水文环境为湿地生物群落的生存提供了必要条件。土壤是湿地生态系统的物质载体, 湿地土壤多为沼泽土、泥炭土等, 土壤质地疏

松, 孔隙度较高, 保水保肥能力较强, 同时土壤中有有机质含量丰富, 有机质含量通常在50g/kg~300g/kg, 为植物生长提供了充足的营养物质, 且湿地土壤的通气性与透水性处于相对平衡状态, 既能够满足水生植物根系的呼吸需求, 又能有效锁住水分, 维系湿地的水文环境^[1]。

生物多样性是湿地生态系统的重要特征, 湿地生态系统涵盖了水生、湿生、中生等多种类型的生物群落, 包括高等植物、低等植物、无脊椎动物、脊椎动物等各类生物^[2]。其中, 高等植物以芦苇、香蒲、菖蒲、睡莲等湿生植物为主, 这类植物具有发达的通气组织, 能够适应湿地的积水环境, 同时其根系能够固定土壤, 减少水土流失; 低等植物包括藻类、苔藓等, 藻类能够通过光合作用产生氧气, 改善湿地水体环境, 苔藓则能够吸附水体中的污染物, 提升水体净化能力。

作者简介: 孟凡星, 博士, 研究员, 研究方向为湿地生态与保护。

湿地生态系统的另一核心特征是其强大的生态服务功能,这种功能贯穿于整个生态系统的物质循环与能量流动过程中,能够为周边环境与生物提供多方面的支撑。除了涵养水源、调蓄水量的基础功能外,湿地生态系统还具备净化水体、调节气候、固碳释氧、维持生物多样性等多种生态服务功能,这些功能相互关联、协同作用,构成了湿地生态系统不可替代的生态价值。同时,湿地生态系统具有一定的自我调节能力,当受到外界轻微干扰时,能够通过自身的物质循环与生物群落的适应,逐步恢复到稳定状态,但这种自我调节能力存在一定限度,当干扰强度超过其承载能力时,湿地生态系统的结构与功能会受到破坏,且恢复难度会显著增加。

1.2 湿地生态系统的主要类型

根据湿地的形成原因、水文特征、植被类型及分布区域,可将湿地生态系统划分为多种类型,不同类型的湿地在结构、功能及保护修复需求上存在一定差异,明确湿地类型划分有助于针对性开展保护与修复工作。按照湿地的水文特征,可将其分为常年积水湿地、季节性积水湿地与间歇性积水湿地三大类,各类湿地的特征与分布具有明显区别。常年积水湿地是指全年保持积水状态的湿地,积水深度相对稳定,通常在0.8m~2.5m,这类湿地的水文环境稳定,生物群落结构相对复杂,主要包括湖泊湿地、河流湿地、沼泽湿地中的常年积水区域,其植被以水生植物与湿生植物为主,鱼类、水鸟等生物种类丰富,生态系统稳定性较强。

季节性积水湿地是指仅在特定季节出现积水的湿地,积水周期通常为4个月~8个月,多分布在气候湿润、降水集中的区域,积水深度随季节变化明显,雨季积水深度可达0.5m~1.5m,旱季则可能出现阶段性干涸。这类湿地的植被具有明显的季节性变化,雨季时湿生植物与水生植物蓬勃生长,旱季时部分植物会进入休眠状态,生物群落结构随季节变化调整,主要包括季节性沼泽、滩涂湿地、河漫滩湿地等,这类湿地是许多迁徙鸟类的重要中途停歇地,对维持鸟类多样性具有重要意义。间歇性积水湿地是指积水状态不规律,受降水、地下水补给等因素影响较大的湿地,积水周期较短,通常为1个月~3个月,积水深度较浅,多在0.2m~0.8m,这类湿地主要分布在干旱半干旱区域或地形低洼地带,植被以耐旱、耐湿的草本植物为主,生物种类相对较少,但对涵养地下水、调节局部气候仍具有一定作用。

按照湿地的植被类型,可将其分为草本湿地、木本湿地与苔藓湿地三大类。草本湿地是最常见的湿地类型,植

被以草本植物为主,包括芦苇湿地、香蒲湿地、菖蒲湿地等,这类湿地分布广泛,无论是常年积水还是季节性积水区域均有分布,草本植物生长旺盛,覆盖度较高,通常在70%~90%,能够有效固定土壤、净化水体,是湿地生态系统中物质循环与能量流动的重要载体。木本湿地是指以木本植物为主要植被的湿地,主要包括红树林湿地、水杉湿地、池杉湿地等,这类湿地多分布在温暖湿润的区域,木本植物具有发达的根系,能够适应湿地的积水环境,同时其树干与枝叶能够为鸟类、昆虫等生物提供栖息空间,红树林湿地还能够有效抵御海浪侵蚀,保护沿岸环境^[3]。苔藓湿地是指以苔藓植物为主要植被的湿地,多分布在寒冷湿润的区域,苔藓植物覆盖度较高,能够吸附大量水分,维系湿地的湿润环境,同时苔藓植物能够分解土壤中的有机质,为其他植物生长提供营养,这类湿地的生态环境较为脆弱,对环境变化的敏感度较高。

此外,按照湿地的形成原因,还可将其分为自然湿地与人工湿地两大类。自然湿地是由自然因素形成的湿地,包括湖泊湿地、河流湿地、沼泽湿地、滩涂湿地等,这类湿地的形成与地形、气候、水文等自然条件密切相关,生态系统结构与功能相对完整,自我调节能力较强。人工湿地是指由人类活动改造或修建形成的湿地,包括人工湖、水库、稻田、人工沼泽等,这类湿地主要用于防洪、灌溉、净化污水等用途,其生态系统结构相对简单,自我调节能力较弱,需要通过人工干预维持其生态功能。不同类型的湿地生态系统具有不同的生态价值与保护需求,在开展保护与修复工作时,需结合各类湿地的特征,制定针对性的技术方案与策略。

1.3 湿地生态系统的生态价值

湿地生态系统的生态价值涵盖生态环境、生物多样性、物质循环等多个维度,不仅在生态领域发挥着核心作用,更对周边环境稳定及各类生物的生存发展提供了关键支撑,是整个生态体系中不可替代的重要构成部分。

涵养水源与调蓄水量是湿地最为基础的生态功能,它就像一座天然的蓄水设施,能够有效截留、存蓄大气降水和地表流水,减少土壤侵蚀现象,同时持续补给地下水,保障区域水资源的动态平衡。

湿地土壤具备优异的保水性能,可吸附大量水分。在降水充沛的时期,湿地能收纳多余水量,有效减轻洪涝灾害的影响;而在降水匮乏的干旱时段,湿地储存的水分会逐步释放,为河流、地下水提供补给,缓解水资源短缺的困境。据统计,湿地的调蓄水量能力约为每公顷1000立方

米至5000立方米，不同类型湿地的调蓄效能，会因土壤质地、植被覆盖程度等不同因素而有所区别。

净化环境是湿地生态系统的重要生态价值之一，湿地通过物理、化学、生物三重作用，能够有效净化水体中的污染物，改善水质。物理作用主要表现为湿地土壤与植被对污染物的截留、过滤，当污水流经湿地时，土壤颗粒与植物根系能够吸附水体中的悬浮颗粒物，减少水体浑浊度；化学作用主要表现为湿地土壤与水体中的化学物质发生反应，将污染物转化为无害物质，例如湿地土壤中的微生物能够将水体中的氮、磷等营养物质转化为自身所需的营养，减少水体富营养化现象；生物作用主要表现为湿地生物对污染物的吸收与分解，湿地植物能够吸收水体中的重金属、有机物等污染物，湿地微生物能够分解水体中的有毒有害物质，将其转化为无害的二氧化碳与水，湿地的净化能力可使水体中COD含量降低30%~60%，氮含量降低20%~50%，磷含量降低15%~40%，对改善区域水环境质量具有重要作用。

维持生物多样性是湿地生态系统最核心的生态价值之一，湿地是多种生物的栖息繁衍之地，为各类生物提供了充足的食物、水源与栖息空间，是生物多样性的“基因库”。湿地生态系统涵盖了从低等植物到高等植物、从无脊椎动物到脊椎动物的多种生物类群，其中许多生物是珍稀濒危物种，依赖湿地生存繁衍。例如，许多水鸟在迁徙过程中需要依赖湿地进行中途停歇、觅食与繁殖，湿地的破坏会直接影响鸟类的迁徙与生存；湿地中的鱼类、两栖类等生物也依赖湿地的水文环境与食物资源生存，湿地的健康存续能够有效维持生物种群的稳定，促进生物多样性保护。同时，湿地生物群落之间形成的复杂食物链与食物网，能够推动物质循环与能量流动，维持生态系统的平衡与稳定，提升生态系统的自我调节能力。

调节气候和固碳释氧，也是湿地生态系统很重要的生态作用。湿地会通过自身的蒸发，增加周围空气的湿度，进而调节局部的气候，能在一定程度上缓解该区域气候变干的趋势。与此同时，湿地里的植被会通过光合作用吸收空气中的二氧化碳，再释放出氧气，这样就能有效减少大气中二氧化碳的含量，减轻温室效应，起到固碳增汇的效果。

湿地里的植被和土壤，都是重要的碳储存载体。湿地土壤中的有机质能储存大量的碳，每公顷的碳储量大概在100吨到500吨之间。不同类型的湿地，碳储量也不一样，这主要和植被的覆盖程度、土壤的质地等因素有关。湿地植被通过光合作用，能持续吸收二氧化碳，把它转化成有

机碳，储存在植物本身和土壤里，这对维持全球的碳平衡来说，意义重大。

除此之外，湿地还能降低风速、调节气温，减少极端气候事件的发生，为周边的生物提供一个稳定的气候环境，让它们能更好地生存。

除了上面说的这些生态价值，湿地生态系统还有一定的景观价值和科研价值。湿地既有水生生态景观的特点，也有陆生生态景观的特色，风吹芦苇摇曳、水鸟翩跹起舞、湖面碧波荡漾，这样的湿地景色十分优美，能给人们提供一个舒适的休闲娱乐场所。

另外，湿地生态系统的结构和功能都比较复杂，是开展生态学、环境科学、生物学等多个学科研究的重要场所。通过对湿地生态系统的研究，我们能更深入地了解生态系统中物质循环、能量流动、生物群落演变等方面的规律，为生态环境保护和修复工作提供科学的参考依据，进而推动生态治理技术不断完善和发展。

2 湿地生态系统保护技术研究

2.1 湿地植被保护技术

调节气候和固碳释氧，也是湿地生态系统很重要的生态作用。湿地会通过自身的蒸发，增加周围空气的湿度，进而调节局部的气候，能在一定程度上缓解该区域气候变干的趋势。与此同时，湿地里的植被会通过光合作用吸收空气中的二氧化碳，再释放出氧气，这样就能有效减少大气中二氧化碳的含量，减轻温室效应，起到固碳增汇的效果。

湿地里的植被和土壤，都是重要的碳储存载体。湿地土壤中的有机质能储存大量的碳，每公顷的碳储量大概在100吨到500吨之间。不同类型的湿地，碳储量也不一样，这主要和植被的覆盖程度、土壤的质地等因素有关。湿地植被通过光合作用，能持续吸收二氧化碳，把它转化成有机碳，储存在植物本身和土壤里，这对维持全球的碳平衡来说，意义重大。

除此之外，湿地还能降低风速、调节气温，减少极端气候事件的发生，为周边的生物提供一个稳定的气候环境，让它们能更好地生存。

除了上面说的这些生态价值，湿地生态系统还有一定的景观价值和科研价值。湿地既有水生生态景观的特点，也有陆生生态景观的特色，风吹芦苇摇曳、水鸟翩跹起舞、湖面碧波荡漾，这样的湿地景色十分优美，能给人们提供一个舒适的休闲娱乐场所。

另外，湿地生态系统的结构和功能都比较复杂，是开

展生态学、环境科学、生物学等多个学科研究的重要场所。通过对湿地生态系统的研究,我们能更深入地了解生态系统中物质循环、能量流动、生物群落演变等方面的规律,为生态环境保护和修复工作提供科学的参考依据,进而推动生态治理技术不断完善和发展。

湿地植被可以说是湿地生态系统的核心部分,对保持湿地生态系统的结构完整、功能稳定有着不可替代的作用。湿地植被保护技术,主要就是围绕植被群落的保护、恢复和优化来展开的,通过科学合理的技术方法,保障湿地植被能够正常生长、顺利繁衍,提高植被的覆盖面积和群落的稳定性,从而促进湿地生态系统健康发展。这项技术的核心,就是尊重植被群落的自然演变规律,尽量减少外界的干扰,同时针对那些已经受损的植被群落,采取有针对性的保护和修复措施,确保植被群落的多样性和稳定性不受破坏。

植被群落监测技术,是湿地植被保护工作的基础。我们可以通过建立一套完善的监测体系,实时掌握湿地植被的生长情况、覆盖程度、群落结构等相关信息,为后续的植被保护工作提供科学支撑。监测的内容主要包括植被的种类、数量、覆盖度、生长状态,还有病虫害的发生情况等。监测方法主要分为人工监测和仪器监测两种。

人工监测主要是通过实地调查、样方取样的方式,定期对湿地植被进行调查,记录下植被的生长情况和群落变化。这种监测方式的好处是能直观看到植被的实际状况,适合小范围的湿地监测。监测频率一般是每个月1到2次,样方的设置数量要根据湿地面积来定,每公顷大概设置3到5个,样方面积在1米×1米到5米×5米之间。

仪器监测则是借助无人机、遥感设备、传感器等先进设备,对湿地植被进行大范围、高精度的监测。其中,无人机监测能快速获取植被的覆盖度、分布范围等信息,监测范围可以覆盖整个湿地,监测频率通常是每季度1到2次;遥感设备能实现对湿地植被的长期监测,掌握植被的生长状况和群落变化趋势,为保护决策提供数据支持;传感器则能实时监测湿地植被生长环境的温湿度、土壤含水量、光照强度等关键因素,及时摸清影响植被生长的核心条件,为植被保护提供精准的数据依据。

植被病虫害绿色防控技术是湿地植被保护的重要技术,湿地植被在生长过程中容易受到病虫害的侵袭,病虫害的大量发生会导致植被生长受阻、枯萎死亡,进而破坏湿地植被群落的稳定性,因此需要采取科学的防控技术,减少病虫害的发生,同时避免化学农药对湿地生态环境造

成污染。湿地植被病虫害绿色防控技术主要包括生物防控、物理防控与生态调控三种方式。生物防控是利用病虫害的天敌、微生物等生物因素,对病虫害进行防治,例如释放寄生蜂、瓢虫等天敌,防治蚜虫、蛾类等害虫;利用芽孢杆菌、白僵菌等微生物制剂,抑制病虫害的生长繁殖,生物防控具有环保、无污染、可持续的优势,能够有效保护湿地生态环境,同时减少病虫害对植被的危害,是湿地植被病虫害防控的首选方式。

物理防控主要通过物理手段,阻断病虫害的传播与繁殖,例如采用灯光诱杀、色板诱杀等方式,诱杀趋光性、趋色性害虫;采用人工捕捉的方式,清除病虫害的卵、幼虫与成虫;采用覆盖薄膜、设置防虫网等方式,阻止害虫进入湿地植被生长区域,物理防控方式简单易行,对环境无污染,适合小范围病虫害的防治。生态调控则通过调整湿地植被群落结构、改善植被生长环境,提升植被的抗病虫害能力,例如合理搭配植被种类,增加植被群落的多样性,减少单一植被种植,降低病虫害大规模发生的风险;改善湿地水文环境与土壤条件,提升植被的生长活力,增强植被的抗逆性,减少病虫害的发生。将生物防控、物理防控与生态调控技术结合运用,可有效遏制湿地植被病虫害的滋生蔓延,为湿地植被的健康生长提供可靠保障。

植被群落优化技术专门用于修复受损的湿地植被群落,当湿地植被群落受到外界干扰,出现退化萎缩、物种数量减少、覆盖范围降低等问题时,就需要借助这一技术,逐步恢复植被群落的多样性与稳定性。该技术主要涵盖植被补植、物种搭配、群落结构调整三个核心方面。其中,植被补植主要应用于植被覆盖稀疏、物种单一的区域,核心是补植适配湿地环境的植被品种,所选品种需具备适应湿地积水环境、生长活力强、与原有植被兼容性佳的特点,芦苇、香蒲、菖蒲等都是常用品种。补植密度需结合湿地植被的实际生长情况灵活确定,一般控制在每平方米3株至5株,补植完成后,还需做好后续养护管理工作,确保补植植被能够顺利存活。

物种搭配是指结合湿地的水文特征、土壤条件等实际环境因素,科学搭配不同类型的植被,构建结构合理、物种丰富的植被群落。比如,在常年积水的区域,可搭配水生植物与湿生植物;在季节性积水区域,则适宜搭配兼具耐旱、耐湿特性的草本植物与灌木。通过科学的物种搭配,不仅能提升植被群落的稳定性和抗干扰能力,还能推动湿地生态系统的物质循环与能量流动,增强生态系统的活力。群落结构调整则通过修剪、疏伐等实操手段,优化植被群

落的层次分布，避免植被生长过于密集，保障植被间的通风与透光条件，助力植被健康生长，同时也能为湿地内其他生物提供充足的栖息空间。通过植被群落优化技术的应用，能够有效修复受损湿地植被群落的结构与功能，提高植被覆盖度和物种多样性，为湿地生态系统的整体保护筑牢基础。

湿地植被保护技术的合理应用，能够有效维持湿地植被群落的稳定性与多样性，保障湿地生态系统各项功能的正常发挥，同时推动湿地生态系统实现自我修复与可持续发展。在实际应用过程中，需充分结合湿地的类型、植被生长状况、周边环境条件等具体因素，针对性选用合适的保护技术，通过多种技术手段的综合运用提升植被保护效果。同时，还要注重保护技术的环保性与可持续性，坚决避免因技术应用不当对湿地生态环境造成二次破坏。

2.2 湿地水体保护技术

湿地里的水体，是整个湿地生态系统的核心所在。它的质量好不好、水文状况稳不稳定，直接关系到湿地生态系统能不能保持完整，能不能正常发挥作用，更影响着湿地里所有生物的生存和繁衍。所以说，湿地水体保护技术在湿地生态保护工作中，占着特别重要的位置。这项技术主要围绕三个核心展开：改善水体质量、维持水文稳定、防控水体污染，通过科学合理的方法，让湿地水体保持清洁和稳定，为湿地生态系统的健康发展保驾护航。而它的核心目标，就是保住水体原本的自然水文规律，减少各种污染物对水体的破坏，提升水质，确保水体能满足湿地里所有生物的生存需求，也能让湿地生态系统正常发挥它的作用。

水体质量监测技术，是湿地水体保护的基础。实际应用的时候，得先搭建一套完整的水体质量监测体系，通过这个体系，实时掌握湿地水体的水质情况、各种污染物的含量，还有关键的水文参数这些核心信息。有了这些数据，后续的水体保护工作才能有科学、可靠的依据，确保采取的保护措施能精准见效。监测的内容主要有这些：水体的pH值、溶解氧含量、化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)，还有氮、磷等营养物质，以及重金属、有机物等污染物；同时，还要监测水体的水位、流速、流量这些水文参数。

监测方法主要分两种，人工监测和自动监测。人工监测就是工作人员实地采样，然后拿到实验室去检测，定期开展就可以，一般每个月测1到2次。采样点怎么设，要看湿地的大小、水体分布情况来定，关键是要保证采样点能代表整个湿地的水体情况。自动监测就不一样了，是通过

设置水质自动监测站，实时监测水体质量参数，数据会实时传到监测中心，一旦水体质量出现异常，能及时发现，给污染防控提供及时的数据支持。这种监测站一般每1到2小时就监测一次，适合大范围、长期的水体质量监测。

水体污染防控技术，是湿地水体保护的核心。它主要针对湿地水体可能遇到的点源污染和面源污染，采取有针对性的防控措施，减少污染物进入湿地，保护好水质。先说说点源污染防控，这种污染主要是工业废水、生活污水这类集中排放的污染源，我们要做的就是拦截、处理，不让污染物直接流进湿地。比如，在湿地周边的污水排放口装拦截装置，把污水里的悬浮颗粒物和杂物拦下来；建污水处理设施，把工业废水、生活污水处理好，必须达到排放标准，才能排放到湿地或者周边水体里。一般来说，污水处理设施的处理效率要达到80%到90%，这样才能有效去除污水里的COD、氮、磷这些污染物。

再来说面源污染防控，这种污染是分散排放的，比如农业面源污染、地表径流污染。我们主要从源头控制和过程拦截入手，减少污染物进入湿地。农业面源污染防控，能通过合理施肥、减少农药使用、种植缓冲带来实现。比如推广测土配方施肥，根据土壤情况合理控制化肥用量，减少化肥流失；用生物防治、物理防治这些绿色方法，减少农药使用；在农田和湿地之间种上芦苇、香蒲这些植物，形成缓冲带，拦截农田地表径流里的污染物，不让它们进入湿地。

地表径流污染防控，可通过修建截留沟、沉淀池这些设施，拦截地表径流里的悬浮颗粒物和污染物，减少对湿地水体的污染。同时，通过种植植被，减少水土流失，降低地表径流里的污染物含量。

如果湿地水体已经受到污染，就需要用到水体净化技术，通过科学的净化方法，改善水质，恢复水体的生态功能。湿地水体净化主要有三种方式：物理净化、化学净化和生物净化。其中，生物净化因为环保、可持续，还不会产生二次污染，是目前最主流的净化技术。

物理净化主要靠沉淀、过滤、曝气这些方法，去除水体里的悬浮颗粒物和异味。比如在湿地里设沉淀池，让水体里的悬浮颗粒物沉到底部，提高水体透明度；用过滤装置过滤水里的杂质和污染物；通过曝气设备增加水里的溶解氧，改善水体的氧化环境，帮助污染物分解。

化学净化是通过添加化学药剂来去除污染物。比如加絮凝剂，让水里的悬浮颗粒物和污染物凝聚在一起沉淀下来，去除水体的浑浊度和部分污染物；加氧化剂，分解水

里的有毒有害物质,改善水质。但这种方法一定要严格控制药剂用量,避免药剂对湿地生态造成二次污染,只有在水体污染很严重、生物净化效果不好的时候,才会用到。

生物净化主要利用湿地里的植物、微生物这些生物,来吸收、分解和转化水里的污染物。比如湿地植物的根系,能吸收水里的氮、磷等营养物质和重金属;湿地里的微生物,能分解水里的有机物和有毒有害物质,把它们变成无害的物质。这种方法不仅能有效改善水质,还能提高湿地生态系统的自我修复能力,是一种可持续的净化技术。

水文状况维持技术,也是湿地水体保护的重要技术。湿地的水文状况,直接影响着湿地生态系统的结构和功能,维持稳定的水文节律,才能保证湿地植被正常生长,湿地生物顺利生存繁衍。这项技术主要包括水位调控、水量补充、水流调节这几个方面。

水位调控,就是根据湿地的类型和生态需求,合理控制水位,保持稳定,避免水位太高或太低对湿地生态造成影响。比如常年积水的湿地,水位要维持在0.8米到2.5米之间;季节性积水的湿地,就要根据季节变化来调控,雨季适当提高水位,旱季适当补水,确保湿地植被能正常生长。

水量补充,主要针对缺水的湿地,通过人工补水的方式,补充湿地水量,维持正常的水文环境。补水可以用地下水、地表水,关键是要保证补水的水质,符合湿地水体的质量要求,不能因为补水而带入污染物。同时,还要控制补水的速度和水量,避免补水太快、太多,冲击湿地的植被和土壤。

水流调节,是通过修建水利设施,调节湿地水体的流速和流量,保持水体流动,促进水体的物质循环和能量流动,避免水体污浊导致水质恶化。比如修建导流渠、闸门这些设施,调节水体的流向和流速,确保水体正常流动,提高水体的自净能力。

总的来说,运用湿地水体保护技术,能有效改善湿地水质,维持稳定的水文状况,减少水体污染,保证湿地生态系统正常发挥作用,给湿地生物提供良好的生存环境。在实际应用中,我们要结合湿地的类型、水体状况、污染来源等具体情况,有针对性地选择合适的保护技术,把监测、防控、净化、调控这些技术结合起来,提高水体保护的效果。同时,还要注重技术的环保性和可持续性,让湿地水体环境能持续得到改善。

2.3 湿地土壤保护技术

湿地土壤是湿地生态系统的物质载体,承载着湿地植被的生长与湿地生物的生存,其质量与结构直接影响湿地

生态系统的稳定性与功能发挥,因此湿地土壤保护技术是湿地生态系统保护的重要组成部分,主要围绕土壤质量改善、土壤结构优化、土壤污染防控等方面展开,通过科学的技术手段,保障湿地土壤的健康,为湿地生态系统的发展提供支撑。湿地土壤保护技术的核心是维持土壤的肥力与结构,减少土壤污染与退化,提升土壤的保水保肥能力,确保土壤能够满足湿地植被的生长需求。

土壤质量监测技术是湿地土壤保护工作的基础支撑,关键在于构建一套完善的土壤质量监测体系,通过该体系实时掌握湿地土壤的理化性质、肥力水平以及污染物含量等关键信息,确保土壤保护措施更具针对性和实效性。监测内容主要包括土壤的质地、孔隙度、含水量、有机质含量、氮、磷、钾等营养物质含量,以及重金属、有机物等污染物含量,同时监测土壤的pH值、氧化还原电位等理化参数。监测方法主要通过实地采样、实验室检测的方式,对湿地土壤进行定期监测,监测频率通常为每季度1次~2次,采样点设置根据湿地的大小、土壤类型等情况确定,确保采样点的代表性,采样深度通常为0cm~30cm,能够全面反映湿地土壤的表层质量状况,深层土壤采样深度可根据实际需求确定为30cm~60cm。

土壤肥力提升技术是湿地土壤保护的核心技术,湿地土壤的肥力直接影响湿地植被的生长,当土壤肥力不足时,会导致植被生长缓慢、枯萎死亡,进而破坏湿地生态系统的稳定性,因此需要采取科学的技术手段,提升土壤肥力。土壤肥力提升技术主要包括有机肥施加、土壤改良、植被残体还田等方式。有机肥施加是指向湿地土壤中施加腐熟的有机肥,例如畜禽粪便、秸秆、堆肥等,有机肥能够增加土壤中的有机质含量,改善土壤质地,提升土壤的保水保肥能力,同时为植被生长提供充足的营养物质,有机肥的施加量根据土壤肥力状况确定,通常为每公顷15t~30t,施加时间选择在植被生长旺季前,确保有机肥能够及时被植被吸收利用。

土壤改良技术主要针对质地较差、肥力不足的湿地土壤,采取针对性的改良措施,改善土壤结构与理化性质,例如对于黏重的湿地土壤,可添加河沙、腐叶土等物质,改善土壤的通气性与透水性;对于沙质的湿地土壤,可添加黏土、有机肥等物质,提升土壤的保水保肥能力;对于酸性或碱性较强的湿地土壤,可添加石灰、石膏等物质,调节土壤的pH值,使其达到适宜湿地植被生长的范围(pH值6.0~7.5)。植被残体还田是指将湿地植被的残体(如芦苇秸秆、香蒲残体等)粉碎后,还田于湿地土壤中,植被

残体能够分解产生有机质,增加土壤肥力,同时改善土壤结构,提升土壤的通气性与透水性,植被残体还田的量根据植被生长情况确定,通常为每公顷5t~10t,还田时间选择在植被枯萎后,确保残体能够及时分解。

污染拦截是指在污染物进入湿地土壤的路径上,设置拦截设施,拦截污染物,减少污染物对土壤的污染,例如在湿地周边设置防渗层、拦截沟等设施,防止地下水、地表径流中的污染物进入土壤;种植植被缓冲带,利用植被的根系吸附污染物,减少污染物进入土壤。污染修复技术是针对已受污染的湿地土壤,采取科学的修复手段,去除土壤中的污染物,改善土壤质量,土壤污染修复技术主要包括物理修复、化学修复与生物修复三种方式。物理修复技术主要通过客土置换、土壤淋洗、深耕翻土等方式,去除土壤中的污染物,例如客土置换是指将受污染的土壤替换为未受污染的土壤,能够快速改善土壤质量,但成本较高,适合小范围严重污染土壤的修复;土壤淋洗是指用清水或化学溶液淋洗土壤,将土壤中的污染物冲洗出来,再进行处理,适合轻度至中度污染土壤的修复;深耕翻土是指将土壤深耕,使表层受污染的土壤与深层未受污染的土壤混合,降低土壤中污染物的浓度,适合轻度污染土壤的修复。

化学修复技术主要通过添加化学药剂,与土壤中的污染物发生反应,将污染物转化为无害物质或易挥发、易去除的物质,例如添加螯合剂,与土壤中的重金属结合,形成可溶于水的复合物,再通过淋洗的方式去除;添加氧化剂,氧化分解土壤中的有机物污染物,改善土壤质量,但化学修复技术需严格控制化学药剂的用量,避免化学药剂对湿地生态环境造成二次污染。生物修复技术主要利用土壤中的微生物、植物等生物因素,对土壤中的污染物进行吸收、分解与转化,例如种植能够吸收重金属的湿地植物,将土壤中的重金属吸收到植物体内,再通过收割植物的方式去除土壤中的重金属;利用土壤微生物分解土壤中的有机物污染物,将其转化为无害的二氧化碳与水,生物修复技术环保、可持续、成本较低,是湿地土壤污染修复的主流技术,适合大范围、轻度至中度污染土壤的修复。

湿地土壤保护技术的应用,能够有效改善湿地土壤质量,优化土壤结构,减少土壤污染与退化,提升土壤的保水保肥能力,为湿地植被的生长与湿地生物的生存提供良好的土壤环境,推动湿地生态系统的健康发展。在实际应用过程中,需结合湿地的土壤类型、肥力状况、污染程度等因素,针对性选择合适的保护技术,综合运用监测、肥

力提升、污染防控、结构保护等技术手段,提升土壤保护的成效,同时注重技术的环保性与可持续性,避免对湿地生态系统造成二次破坏。

2.4 湿地生物多样性保护技术

湿地生物多样性是湿地生态系统的核心价值所在,涵盖了植物、动物、微生物等多种生物类群,维持湿地生物多样性的稳定,能够推动湿地生态系统的物质循环与能量流动,提升生态系统的自我调节能力,因此湿地生物多样性保护技术是湿地生态系统保护的重要组成部分,主要围绕生物栖息地保护、生物种群监测、珍稀物种保护、生物群落优化等方面展开,通过科学的技术手段,保障各类生物的生存与繁衍,维护湿地生物多样性的稳定。湿地生物多样性保护技术的核心是维持生物栖息地的完整性与稳定性,减少外界干扰,保护生物种群的正常生长与繁衍,提升生物群落的多样性与稳定性。

生物栖息地保护技术是湿地生物多样性保护的基础技术,生物栖息地是生物生存与繁衍的场所,其完整性与稳定性直接影响生物种群的生存与发展,因此需要采取科学的技术手段,保护湿地生物栖息地的完整性,改善栖息地环境,为生物提供良好的生存空间。生物栖息地保护技术主要包括栖息地修复、栖息地保护范围划定、栖息地环境优化等内容。栖息地修复是针对受损的生物栖息地,采取针对性的修复措施,恢复栖息地的结构与功能,例如对于退化的鸟类栖息地,可通过恢复湿地植被、改善水文环境、增加食物资源等方式,为鸟类提供适宜的栖息、觅食、繁殖空间;对于受损的鱼类栖息地,可通过清理水体中的障碍物、改善水体质量、种植水生植物等方式,恢复鱼类的生存环境,提升栖息地的承载力。

栖息地保护范围划定是指根据湿地生物的分布范围、栖息地需求等,划定合理的栖息地保护范围,明确保护区域,减少人类活动对栖息地的干扰,例如对于珍稀鸟类的栖息地,可划定核心保护区与缓冲区,核心保护区内禁止任何人类活动,缓冲区内需限制人类活动,避免对鸟类的生存造成干扰;对于鱼类、两栖类等生物的栖息地,可划定专属的保护区域,禁止过度捕捞、挖掘等活动,保护栖息地的完整性。栖息地环境优化是指通过改善栖息地的水文、土壤、植被等环境因子,提升栖息地的质量,为生物提供更适宜的生存环境,例如优化湿地的水位调控,维持栖息地的适宜水文环境;提升土壤肥力,促进栖息地植被的生长,增加食物资源;改善水体质量,为水生生物提供清洁的生存环境,通过环境优化,提升栖息地的承载力,

促进生物种群的增长。

生物种群监测技术在湿地生物多样性保护工作中占据重要地位,其核心作用在于通过构建完善的监测体系,对湿地内各类生物种群实施常态化跟踪观察,全面、实时掌握不同生物的种群数量、分布区域、生长态势以及繁殖情况等关键信息,这些详实的数据能够为湿地生物多样性保护工作的科学开展提供可靠的决策依据和支撑。植物种群监测主要通过样方调查、遥感监测等方式,监测植物的种类、数量、覆盖度、生长状况等,样方调查的频率通常为每季度1次~2次,遥感监测的频率通常为每半年1次~1次,能够快速获取植物种群的分布范围与变化趋势。

动物种群监测主要通过实地观察、红外相机监测、无人机监测、标记重捕等方式,监测动物的种类、数量、分布范围、活动规律、繁殖情况等,例如对于鸟类种群,可通过实地观察、无人机监测等方式,记录鸟类的种类、数量、栖息位置等;对于兽类、两栖类等动物,可通过红外相机监测、标记重捕等方式,掌握其种群数量与活动规律,监测频率通常为每月1次~2次,确保能够及时掌握动物种群的变化情况。微生物种群监测主要通过实验室检测、微生物传感器等方式,监测湿地土壤与水体中的微生物种类、数量、活性等,了解微生物在湿地物质循环与能量流动中的作用,监测频率通常为每季度1次~2次,为生物多样性保护与湿地生态系统修复提供数据支持。

珍稀物种保护技术是湿地生物多样性保护的重点技术,湿地中存在许多珍稀濒危生物物种,这些物种的生存状况直接影响湿地生物多样性的稳定,因此需要采取针对性的保护技术,保护珍稀物种的生存与繁衍,避免物种灭绝。珍稀物种保护技术主要包括就地保护、迁地保护、人工繁育、觅食资源补充等内容。就地保护是指在珍稀物种的原生栖息地,建立保护设施,减少外界干扰,保护物种的自然生存与繁衍,例如对于珍稀鸟类,可在其栖息地设置保护围栏、警示标志,禁止人类活动干扰;对于珍稀植物,可在其生长区域设置保护区域,禁止采摘、破坏,就地保护能够维持珍稀物种的自然生存环境,有利于物种的自然繁衍,是珍稀物种保护的首选方式。

迁地保护是指当珍稀物种的原生栖息地遭到严重破坏,无法维持其生存时,将珍稀物种迁移至适宜的人工环境中进行保护与繁育,例如建立植物园、动物园、繁育基地等,对珍稀植物、动物进行迁地保护,迁地保护能够有效避免珍稀物种因栖息地破坏而灭绝,同时为物种的繁育提供良好的环境,待原生栖息地恢复后,可将迁地保护的

物种重新引入原生栖息地,实现物种的回归。人工繁育是指通过人工干预的方式,对珍稀物种进行繁育,增加物种的种群数量,例如对于珍稀植物,可通过种子繁育、扦插、组培等方式,扩大种群数量;对于珍稀动物,可通过人工配对、人工孵化等方式,提升繁育成功率,增加种群数量,人工繁育是提升珍稀物种种群数量的重要手段,能够有效保护珍稀物种的存续。

觅食资源补充,是指在珍稀物种天然觅食资源匮乏时,通过人工干预补充的方式,为其提供充足且适宜的食物来源,从而保障该类物种的生存需求与繁衍能力。具体而言,针对珍稀鸟类,可在其栖息活动区域周边,投放符合其食性的食物,弥补天然觅食资源的不足;对于珍稀水生生物,则可在湿地水体中投放适配的饵料,确保其食物供应稳定。这种补充方式能够有效提高珍稀物种的生存几率,助力其种群数量稳步增长,为湿地生物多样性保护奠定基础。

生物群落优化技术是湿地生物多样性保护的重要辅助手段,其核心是通过科学调控湿地生物群落的结构组成,提升群落的物种多样性与生态稳定性,促进各类生物和谐共生、协同发展,进而推动湿地生态系统的健康有序运转。该技术主要涵盖物种科学搭配、群落结构调控、生物协同保护三个核心方面。其中,物种搭配是结合湿地的具体环境条件,合理组合不同类型的生物物种,构建结构合理、物种丰富的生物群落,比如科学搭配湿地植被、各类动物及微生物,确保生物间形成完整的食物链与食物网,助力湿地生态系统的物质循环与能量流动,同时避免单一物种过度繁殖,防止群落结构出现失衡问题。

群落结构调整,是通过适度人工干预,优化生物群落的层次结构,增强群落的稳定性。以植被群落为例,可通过补植补种、疏伐修剪等方式,调整植被的层次分布,为各类动物提供充足的栖息空间;针对动物群落,则可通过控制优势种群的数量,避免其过度繁衍挤压其他物种的生存空间,从而维持生物群落的动态平衡。生物协同保护,重点关注不同生物物种间相互依存、相互制约的内在关系,通过对单一生物物种的保护,带动与之相关的其他生物物种共同得到保护。例如,保护湿地植被,可为鸟类、昆虫等生物提供栖息场所与食物资源,进而促进这类生物的生存与繁衍;保护湿地微生物,则能加速湿地物质循环,为植物、动物的生长发育提供必要支撑,通过这种协同保护模式,显著提升湿地生物多样性的保护成效。

湿地生物多样性保护技术的合理应用,能够有效维持湿地生物多样性的稳定状态,保护珍稀濒危物种,提升生

物群落的多样性与稳定性,推动湿地生态系统物质循环与能量流动的顺畅进行,保障湿地生态系统各项功能的正常发挥。在实际应用过程中,需结合湿地的生物种类构成、栖息地现状、珍稀物种分布特点等实际因素,针对性选用合适的保护技术,综合运用栖息地保护、种群动态监测、珍稀物种专项保护、群落结构优化等多种技术手段,提升生物多样性保护的整体效果。同时,需注重保护技术的环保性与可持续性,避免对湿地生态系统造成二次干扰,最终实现湿地生物多样性的长效保护与良性发展。

3 湿地生态系统修复技术研究

3.1 湿地植被修复技术

湿地植被作为湿地生态系统的核心组成部分,是维系整个生态系统稳定运行的基础。当湿地植被受到外界人为或自然干扰,出现生长退化、枯萎衰败乃至物种消亡等问题时,需依托科学合理的植被修复技术,逐步恢复植被群落的原有结构与生态功能,提高植被覆盖面积与物种多样性,为湿地生态系统的整体修复筑牢根基。湿地植被修复工作主要围绕退化植被复苏、植被群落重构以及植被生长环境改良三大核心方向开展,需结合湿地的具体类型、植被退化的严重程度以及周边环境条件等实际因素,制定个性化的修复方案,确保植被修复工作既能达到预期效果,又具备长期可持续性。湿地植被修复技术的核心原则,是尊重植被自然演替的内在规律,辅以适度的人工干预,推动植被实现自然恢复与健康生长,进而增强植被群落的稳定性与抗干扰能力。

退化植被恢复技术主要应用于轻度至中度退化的湿地植被场景,其核心思路是通过针对性的人工辅助措施,助力植被实现自然复苏,尽可能减少过度人工干预,在降低修复成本的同时,最大限度保留植被群落的自然属性。该技术的具体实施内容主要包括对植被生长区域进行松土处理,改善土壤透气性以促进根系生长;及时清除影响目标植被生长的杂草,减少养分争夺;科学调控湿地水分含量,为植被生长提供适宜的水分环境;以及合理补充土壤肥力,弥补土壤养分不足,为退化植被的恢复提供必要支撑。植被松土是指对湿地植被生长区域的土壤进行松土,改善土壤的通气性与透水性,促进植被根系的生长与呼吸,避免土壤板结导致植被生长受阻,松土深度通常为5cm~10cm,避免过度松土破坏植被根系,松土频率根据土壤质地与植被生长情况确定,通常为每季度1次~2次。

杂草清除是指清除湿地植被生长区域内的杂草,避免

杂草与湿地植被争夺水分、营养物质与光照,影响湿地植被的生长,杂草清除可采用人工清除与物理清除的方式,人工清除适合小范围湿地,清除频率通常为每月1次~2次;物理清除可采用覆盖、除草布等方式,阻止杂草生长,适合大范围湿地,杂草清除过程中需注意避免破坏湿地植被的根系与生长环境。水分调控是指根据湿地植被的生长需求,合理调控湿地的水位,维持适宜的水文环境,促进植被的生长,例如对于湿生植被,需维持土壤湿润,水位控制在0.2m~0.5m;对于水生植被,需维持稳定的积水,水位控制在0.5m~1.5m,通过水分调控,确保植被能够获得充足的水分,同时避免水位过高或过低对植被生长造成影响。

肥力补充是指当湿地土壤肥力不足时,通过施加有机肥、微生物菌肥等方式,补充土壤营养物质,促进植被的生长,有机肥的施加量根据土壤肥力状况确定,通常为每公顷10t~20t,微生物菌肥能够改善土壤微生物环境,促进土壤中营养物质的转化,提升土壤肥力,施加量通常为每公顷1t~2t,肥力补充需避免使用化肥,防止化肥对湿地生态环境造成污染,同时确保营养物质能够被植被充分吸收利用。

植被群落重建技术是针对重度退化或灭绝的湿地植被,采取人工重建的方式,重新构建植被群落,恢复植被的多样性与稳定性,植被群落重建技术主要包括物种选择、苗木培育、移栽种植、后期养护等内容。物种选择是植被群落重建的关键,选择的物种需适应湿地的环境条件,包括水文、土壤、气候等因素,同时选择具有较强生长能力、抗逆性强、与湿地生态系统兼容性好的物种,优先选择本地原生物种,避免引入外来入侵物种,防止外来物种对湿地生态系统造成破坏,例如芦苇、香蒲、菖蒲、睡莲等本地湿生、水生植物,都是湿地植被群落重建的适宜物种。

苗木培育是植被群落重建的基础,通过人工培育的方式,培育健康的植被苗木,确保苗木的成活率,苗木培育可采用种子培育、扦插培育、组培育苗等方式,种子培育适合大量培育苗木,扦插培育适合快速培育苗木,组培育苗适合珍稀植被苗木的培育,苗木培育过程中需模拟湿地的生长环境,控制好温湿度、光照、土壤等条件,确保苗木能够适应湿地的生长环境,培育周期通常为3个月~6个月,苗木高度达到10cm~20cm时,方可进行移栽种植。

移栽种植作为植被群落重建的核心步骤,其时间选择直接影响苗木成活率,最优时段为植被生长旺盛的春季或秋季。该时期气温温和、降水充沛,能为苗木根系扎根和枝叶生长提供适宜条件,有效提高移栽成功率。移栽密度

并非固定数值,需结合具体植被物种的生长习性,同时兼顾湿地的实际地形、土壤肥力等环境条件,一般控制在每平方米2至5株。移栽操作过程中,需重点保护苗木根系,防止根系破损、失水,移栽完成后需立即浇灌定根水,确保根系与土壤充分接触、紧密结合,进一步提升苗木存活概率。后期养护是保障植被群落稳定形成的关键环节,主要涵盖浇水、施肥、病虫害防控及杂草清理等工作。浇水频次需根据天气变化和土壤墒情灵活调整,保障苗木生长所需水分供给;施肥以有机肥为主,既能补充土壤养分、改善土壤结构,又能促进苗木健壮生长;病虫害防治优先采用绿色防控手段,杜绝化学农药使用,避免造成水体和土壤污染;杂草需及时清除,防止其与苗木争夺水分、养分和光照,影响苗木生长。后期养护周期通常为1至2年,直至苗木能够自主正常生长,形成结构稳定、功能完善的植被群落。

植被生长环境改善技术是湿地植被修复工作的重要支撑,其核心是通过优化植被生长所需的水文、土壤、气候等外部条件,增强植被自身生长活力,加速植被的自然恢复进程。该技术主要分为水文环境改善、土壤环境改善和微气候调节三个方面。其中,水文环境改善通过水位调控、水量补充、水流优化等措施,维持湿地稳定的水文状态,既满足植被生长的水分需求,又能改善水体水质,规避水体污染对植被生长的不利影响;土壤环境改善则通过土壤改良、肥力提升、污染治理等方式,优化土壤结构,改善土壤理化性质,清除土壤中的有害污染物,为植被根系生长提供良好的土壤基础;微气候调节主要通过种植防风固沙植被、设置遮阳防护设施等手段,调节湿地局部气候,抵御极端天气对植被生长的破坏。例如,在风力较大的湿地区域,可种植芦苇、香蒲等高大草本植被,发挥其防风固沙、涵养水分的作用,为周边植被生长提供保护。

湿地植被修复技术的合理应用,能够有效修复退化湿地的植被结构,恢复植被原有功能,提高植被覆盖度和物种多样性,为湿地生态系统整体修复奠定坚实基础。同时,该技术还能推动湿地生态系统内物质循环和能量流动的有序进行,增强生态系统的自我调节能力,促进湿地生态平衡的恢复。在实际应用过程中,需结合湿地植被的退化程度、当地自然环境条件等实际情况,科学筛选适配的修复技术,将退化植被恢复、植被群落重建、生长环境改善等技术手段综合运用,提升植被修复的整体效果。同时,需注重修复技术的环保性和可持续性,避免修复过程中对湿地生态系统造成二次破坏,确保修复后的植被群落能够长

期稳定发展,实现湿地生态系统的长效保护。

3.2 湿地水体修复技术

湿地水体修复是湿地生态系统修复的重要组成部分,当湿地水体因污染、水文失衡等问题出现水质恶化、水量短缺、水体浑浊等现象时,需依托科学合理的水体修复技术,改善水体质量,恢复水体原有生态功能,维持稳定的水文格局,为湿地各类生物的生存、繁衍提供良好的水体环境。湿地水体修复技术的应用,主要围绕水体污染治理、水文状况恢复、水体自净能力提升三大核心目标展开,需结合湿地类型、水体污染程度、水文条件等具体因素,制定个性化修复方案,确保修复效果的科学性和可持续性。湿地水体修复的核心要义,在于有效去除水体中的各类污染物,恢复水体自然水文节律,增强水体自身自净能力,最终实现水体生态平衡。其中,水体污染修复技术是湿地水体修复的核心支撑,主要针对受污染的湿地水体,综合运用物理、化学、生物等多种修复方法,精准去除水体中的污染物,改善水体水质,恢复水体的生态功能,为湿地生态系统的健康发展提供保障。物理修复技术是水体污染修复的基础手段,主要通过沉淀、过滤、曝气、疏浚等方式,去除水体中的悬浮颗粒物、沉积物、异味等,改善水体透明度与水质。沉淀技术是通过在湿地水体中设置沉淀池,让水体中的悬浮颗粒物与污染物沉淀下来,再通过人工清理的方式,去除沉淀物,提升水体透明度,沉淀技术适合去除水体中的大颗粒悬浮污染物,处理效率较高,成本较低,适合小范围湿地水体的修复。

过滤技术是通过设置过滤装置,过滤水体中的杂质与污染物,例如采用石英砂、活性炭等过滤材料,过滤水体中的悬浮颗粒物、有机物等污染物,提升水体质量,过滤技术适合去除水体中的细小悬浮污染物与部分溶解性污染物,处理效果较好,适合中度污染水体的修复。曝气技术是通过曝气设备,向水体中通入空气,增加水体中的溶解氧含量,改善水体的氧化还原环境,促进水体中污染物的分解,同时打破水体污浊状态,促进水体流动,提升水体的自净能力,曝气技术适合处理污浊水体与缺氧水体,能够有效改善水体的水质,提升水体的生态功能,曝气设备的选择根据湿地水体的大小与深度确定。

疏浚技术是针对水体底部沉积物较多、污染物含量较高的湿地,通过疏浚设备,清理水体底部的沉积物,去除沉积物中的污染物,减少沉积物对水体的二次污染,疏浚技术适合重度污染水体的修复,能够有效去除水体中的底泥污染物,改善水体质量,但疏浚过程中需注意避免破坏

湿地的土壤结构与植被根系，同时对疏浚的沉积物进行无害化处理，避免造成二次污染，疏浚深度通常为0.5m~1.0m，根据沉积物的厚度与污染程度确定。

化学修复技术是水体污染修复的辅助手段，主要通过添加化学药剂，与水体中的污染物发生反应，将污染物转化为无害物质或易去除的物质，例如添加絮凝剂，使水体中的悬浮颗粒物与污染物凝聚沉淀，去除水体中的浑浊度与部分污染物；添加氧化剂，氧化分解水体中的有毒有害物质，改善水体质量；添加中和剂，调节水体的pH值，使其达到适宜湿地生物生存的范围，化学修复技术处理效率较高，适合处理污染较为严重的水体，但需严格控制化学药剂的用量。

生物修复技术是水体污染修复的主流技术，具有环保、可持续、无二次污染等优势，主要利用湿地中的植物、微生物等生物因素，对水体中的污染物进行吸收、分解与转化，恢复水体的生态功能。生物修复技术主要包括植物修复、微生物修复、生物膜修复等方式。植物修复是利用湿地植物的根系吸收水体中的氮、磷等营养物质与重金属污染物，同时通过植物的光合作用，释放氧气，改善水体的氧化还原环境，促进污染物的分解，常用的湿地修复植物有芦苇、香蒲、菖蒲、水葱等，这些植物具有较强的污染物吸收能力与抗逆性，能够有效改善水体质量，植物修复适合轻度至中度污染水体的修复。

微生物修复是利用湿地中的微生物，分解水体中的有机物、有毒有害物质，将其转化为无害的二氧化碳与水，同时微生物能够将水体中的氮、磷等营养物质转化为自身所需的营养，减少水体富营养化现象，微生物修复可通过添加微生物制剂、改善微生物生长环境等方式，提升微生物的活性与数量，增强修复效果，常用的微生物制剂有芽孢杆菌、乳酸菌、光合细菌等，这些微生物能够有效分解水体中的污染物，改善水体质量，微生物修复适合各类污染水体的修复，尤其适合处理有机物污染较为严重的水体。

生物膜修复是利用生物膜的吸附与降解作用，去除水体中的污染物，生物膜是由微生物、藻类等生物组成的膜状结构，能够吸附水体中的污染物，同时微生物能够分解污染物，生物膜修复可通过设置生物膜载体，如砾石、活性炭、纤维等，让生物膜附着在载体上，提升生物膜与水体的接触面积，增强修复效果，生物膜修复适合处理低浓度、持续性污染的湿地水体，能够长期稳定地去除水体中的污染物，维持水体质量。

水文状况恢复技术是湿地水体修复的重要支撑，当湿

地水体出现水量不足、水位失衡、水流停滞等问题时，需要通过科学的技术手段，恢复湿地水体的自然水文节律，维持稳定的水文状况，为湿地生物的生存与繁衍提供保障。水位恢复技术是水文状况恢复的核心，根据湿地的类型与生态需求，通过人工补水、水利调控等方式，将湿地水位恢复至适宜范围。

水量补充技术主要针对缺水退化的湿地，通过跨区域调水、地下水补给、雨水集蓄等方式，补充湿地水量，恢复湿地的水文环境。跨流域调水可选择水质达标的地表水作为补给水源，通过输水管道或渠道将水引入湿地，补充湿地水量；地下水补给可通过人工回灌的方式，将地表水注入地下含水层，提升地下水位，进而补充湿地水量；雨水集蓄则通过修建集雨设施，收集雨水，在旱季时补充湿地水量，实现水资源的循环利用。水量补充过程中需严格控制补水量与补水速度，避免因补水过快、过多对湿地土壤与植被造成冲击，同时确保补水水质符合湿地水体质量要求。

水流调节技术是通过修建水利设施，改善湿地水体的流动状态，避免水体停滞导致水质恶化，促进水体的物质循环与能量流动。常用的水流调节设施包括导流渠、闸门、泵站等，通过导流渠引导水体流动，通过闸门控制水体的流速与流量，通过泵站提升水体流动性，确保湿地水体能够正常循环，提升水体的自净能力。对于封闭性较强的湿地，可通过修建连通渠道，将其与周边河流、湖泊等水体连通，实现水体的交换与循环，改善湿地水体环境。

4 湿地生态系统保护与修复的优化策略

4.1 优化保护与修复技术体系

针对当前湿地保护修复技术存在的不足，需进一步优化技术体系，提升技术的针对性、成熟度与协同性。一是强化技术针对性。结合不同类型、不同退化程度湿地的特点，制定个性化的保护与修复方案。例如，对于常年积水湿地，重点优化水体净化与植被养护技术；对于季节性积水湿地，重点完善水位调控与植被群落优化技术；对于受重金属污染的湿地，重点推广生物修复与物理淋洗结合的技术模式，确保技术应用效果。二是提升技术成熟度。加大对新型修复技术的研发投入，开展技术试验与示范，完善技术流程，降低修复成本，提升技术的稳定性与可靠性，推动新型技术的规模化推广。例如，优化微生物制剂的配方与应用方法，提升微生物修复技术的效果；完善生物膜修复技术的载体选择与应用工艺，扩大其应用范围。

三是加强技术协同性。构建“植被—水体—土壤—生物多样性”协同保护与修复技术体系，注重各要素之间的协同作用。例如，在修复湿地植被时，同步开展水体净化与土壤改良，为植被生长提供良好的环境；在治理水体污染时，兼顾土壤污染修复与生物多样性保护，推动湿地生态系统的整体修复。四是完善监测技术体系。建立全方位、多层次的湿地监测网络，扩大监测范围，优化监测指标，提升监测设备的精度与效率，实现对湿地生态系统的实时监测与动态跟踪，为保护与修复决策提供精准的数据支撑。例如，利用无人机、遥感设备、传感器等先进技术，实现对湿地植被、水体、土壤、生物种群的全方位监测。

4.2 完善管理机制与防控人为干扰

完善湿地保护修复的管理机制，强化人为干扰防控，为湿地保护修复工作提供制度保障。一是建立统一的管理体系。加强不同地区、不同部门之间的协调配合，明确各部门的职责分工，形成齐抓共管的工作格局，推动湿地保护修复工作的系统性开展。二是完善相关法律法规。加大对破坏湿地行为的处罚力度，明确湿地保护的范畴、责任与义务，形成有效的约束机制，严厉打击过度捕捞、狩猎、开垦、污染等破坏湿地的行为，保障湿地资源的安全。

三是加大资金投入。设立湿地保护修复专项基金，保障技术研发、设备更新、后期养护、监测监管等工作的资金需求，同时鼓励社会资本参与湿地保护修复工作，拓宽资金来源渠道。四是强化人为干扰防控。严格控制湿地周边的工业污染、农业污染与城市污染，加强对污水排放的

监管，推动工业废水、生活污水达标排放；禁止过度捕捞、狩猎、放牧、开垦等活动，保护湿地生物种群与植被群落；加强湿地保护宣传教育，增强公众的湿地保护意识，引导公众积极参与湿地保护修复工作，形成全社会共同保护湿地的良好氛围。

5 结论

湿地生态系统作为陆地与水域之间过渡的关键生态单元，拥有涵养水源、调蓄水量、净化环境、维持生物多样性等不可替代的生态价值，对维系区域生态平衡、提升生态环境质量具有至关重要的作用。湿地生态系统保护技术主要涵盖植被保护、水体保护、土壤保护、生物多样性保护四大类别，修复技术则围绕植被修复、水体修复、土壤修复、生物多样性修复四大方向推进。通过科学运用这些保护与修复技术，能够有效改善湿地生态环境，恢复湿地生态功能，提升湿地生态系统的稳定性与自我修复能力，为湿地生态系统的长效发展提供有力支撑。

参考文献：

- [1] 侯恩光, 殷旭旺, 商书芹, 等. 城市湿地生态系统的生物多样性及环境质量研究 [M]. 中国水利水电出版社: 2023: 362.
- [2] 王文卿, 石建斌, 陈鹭真. 中国红树林湿地保护修复战略研究 [M]. 北京: 中国环境出版集团: 2021: 234.
- [3] 顾丽华. 湿地生态系统保护与修复关键技术的分析 [J]. 花卉, 2018 (14): 307-308.