

水库消落带乔木耐淹性研究进展

段锡璐

仲恺农业工程学院

DOI:10.12238/as.v7i2.2342

[摘要] 本文围绕三峡库区水库消落带的生态环境特征及其对乔木生长的影响进行了深入分析。通过考察不同海拔消落带的土壤养分特征,文章揭示了消落带与未淹没区域在土壤有机质、总氮、总磷和总钾含量上的显著差异。进一步,研究探讨了乔木耐淹性的生理和分子机制,发现不同树种在淹水后的恢复过程呈现显著差异,强调了环境因素如水位波动和气候变化对乔木耐淹性的重要影响。另外,文章还指出了当前研究的不足,并建议未来应加强使用先进技术的长期监测和生态恢复策略研究,以维护和改善水库消落带的生态环境。

[关键词] 水库消落带; 乔木耐淹性; 生态修复; 土壤养分

中图分类号: TV62 **文献标识码:** A

Flood resistance of trees in reservoir fluctuation zone

Xilu Duan

Zhongkai College of Agricultural Engineering

[Abstract] This paper focuses on the ecological environment characteristics of the reservoir fluctuation zone and its influence on the growth of trees. By examining the soil nutrient characteristics of different altitude zones, the paper reveals the significant differences of organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium in soil zones and unsubmerged areas. Further, the study explored the physiological and molecular mechanisms of tree flooding tolerance, and found that the recovery process of different tree species after flooding showed significant differences, emphasizing the important effects of environmental factors such as water level fluctuation and climate change on tree flooding tolerance. In addition, the paper points out the shortcomings of the current research, and suggests that long-term monitoring and ecological restoration strategies using advanced technologies should be strengthened in the future to maintain and improve the ecological environment of the reservoir drop-fluctuation zone.

[Key words] reservoir fluctuation zone; tree flooding resistance; ecological restoration; soil nutrients

引言

水库消落带是指水库水位上下波动时,交替出现的水陆交界区域。这一区域的生态环境复杂多变,对植被生长提出了特殊挑战。其中,乔木作为消落带重要的生态组成部分,其耐淹性研究对于水库生态系统的稳定和生物多样性的维护具有重要意义。耐淹乔木不仅能有效防止水土流失,还能改善区域生态环境,因此成为了近年来生态学和环境科学领域的研究热点。^[1]然而,目前在这一领域的研究仍面临诸多挑战,如耐淹机制的复杂性、不同树种间耐淹性的差异以及环境变化对耐淹性的影响等。

1 水库消落带的环境特征

1.1 水文条件

水库消落带的环境特征,尤其是水文条件,对乔木生长有显

著影响。在三峡水库这一典型案例中,水库蓄水运行形成的极端生境胁迫深刻改变了消落带植被结构和功能。植被生境在高程梯度上具有典型的异质性,其中适生植被以草本为主,共有15科25种23属,其中禾本科种类较多。研究发现,物种多样性指数与高程呈正相关趋势,在145-150m范围内较低,在160-170m范围内较高。此外,植被生物量随高程增加而显著增加,但由于多种生境因素的复合胁迫影响,生物量在高程上存在局部波动。此外,一般认为水淹强度越大,出陆时间越短,植物多样性越低;水淹强度越小,出陆时间越长,植物多样性越高。三峡水库消落带的研究显示,库区物种多样性随海拔梯度的变化呈现“单峰”分布格局,即随着海拔的升高,物种丰富度、多样性、均匀度和优势度均表现先增加后降低的趋势,中等海拔(155-165m)的植物物种多样性最高。这可能是由于中海拔区段资源组合呈现最优

化状态,就资源可利用性而言,物种多样性的海拔梯度分布格局表达了多样性-资源生产力之间的单调关系内涵。

1.2 土壤特性

孙阔等人的研究针对三峡库区不同海拔消落带(155175米)及未淹没区(175185米)的土壤养分和生态化学计量特征进行了分析。研究发现,消落带(155175米)的土壤有机质(SOM)、总氮(TN)、总磷(TP)和总钾(T)含量普遍低于未淹没区,显示出明显的养分流失。在化学计量比方面,消落带的碳氮比(C/N)、碳磷比(C/P)高于未淹没区。特别是在165175米海拔范围内,SOM和TN含量分别为 $21.27\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1.14\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,明显低于155165米海拔和对照组相应的土壤养分含量。同时,这一区域的碳氮比(T/N)为11.07,氮磷比(N/P)为2.68,与对照组相比存在显著差异。SOM的变异性最小(6%),而TP的变异性最高(24%)。此外,二峡库区上游《涪陵区》和中游《忠县、万州区、云阳县、奉节县》的土壤养分含量显著高于下游《巫山县和种归县》地区。研究强调了自2010年175米蓄水以来,消落带土壤养分流失的持续问题,尤其是下游及165175米海拔区域的土壤保养能力较弱,需要重点关注。^[2]

2 乔木耐淹性的影响因素

2.1 树种特性

表1-1·国内消落带植被恢复工程中选择的主要植物

植物名称	生活型	消落带植物生长状况	适生性评价
水翁	乔木	叶片数较多,根系较长。设区域半淹时水翁在水位淹没茎秆处长出新根,全淹没区域叶片全部凋落,退水适生先锋植物后2天内发芽,且新叶生长迅速,成活率较高。	适应先锋植物
水杉	乔木	水杉在未淹没区域易受干旱的影响,在种植初期死亡率较高,达到50%以上。在淹没区域,半淹时并未见死亡且,在退水后迅速长出新芽嫩叶。成活率80%以上。	适应辅助植物
水蒲桃	乔木	水蒲桃在未淹没区域的生长同水翁类似,但在淹没区域,其生长明显受到抑制,叶片全部凋落,且在退水后较适生辅助植物长时间才发芽长新叶,但成活率较高,为80%以上。	适应辅助植物
水石榕	乔木	未淹没区域植株基本成活。但在淹没区域植株叶片全部凋落,且在退水后长时间并未发芽恢复生长,水石榕,乔木本死亡。	不适生植物

根据中山大学肖仕团队的研究,植物对淹水的适应性机制包括对多重胁迫的响应和调节。在淹水后的恢复阶段,植物面临着复氧、脱水、光抑制、加速衰老和营养匮乏等多种因素造成的损伤。不同树种在淹水后的恢复机制中存在差异,例如模式植物拟南芥和水稻在淹水后恢复期各种调节通路之间的相互作用以及植物和动物缺氧后的复氧应答机理的比较。这些研究

揭示了不同树种的耐淹性差异以及它们在生理和生态特性上的适应性。

2.2 环境因素

环境因素对乔木耐淹性的影响是多方面的。首先,水位波动是湿地生态系统的一个关键影响因素。水位的改变直接影响植物的形态、生长发育、多样性、繁殖和生存策略,并最终影响群落的形成和演替。例如,河岸带的植被和土壤响应水文变化,这会影响河岸带生态系统的结构和生态系统服务。水文变化还是河岸带土壤中氮磷迁移转化及其截留、养分循环的关键影响因素。

此外,全球气候变化导致的极端气候事件频发,如洪涝灾害的增加,对植物生长发育和生态分布产生极大影响。植物淹水后的恢复过程至关重要,这涉及到植物体内的生理活动重新激活和正常生长的恢复。洪水退去后,植物恢复到正常的氧气和光照条件,必须面对复氧、脱水、光抑制、加速衰老和营养匮乏等多种因素造成的损伤。这些因素的适应和应对机制直接决定了植物的耐淹性。

3 乔木耐淹性的机制研究

3.1 生理机制

乔木在淹水胁迫下的生理响应和适应机制是复杂的。淹水胁迫通常会引起弱光环境,限制气体扩散,导致叶片细胞膜脂过氧化加剧,体内保护酶系统受损,叶绿素降解,丙二醛含量积累,光合速率下降。为了适应淹水环境,乔木通过生理生化机制的调节来保证淹水条件下的生命活动。这包括细胞内各种抗氧化酶活性的增加,以清除自由基,避免或减轻细胞受到伤害;改变代谢途径和激素调节以保持能量储备和低的代谢速率。^[3]

3.2 分子机制

关于乔木耐淹性的分子生物学研究,特别是在基因表达和蛋白质调控方面,已经取得了一些进展。对此,本文尤其关注了马缨杜鹃幼苗叶片在水淹胁迫下的生理和分子响应,通过转录组分析,深入探讨水淹胁迫引发的基因表达变化并揭示了与耐淹性相关的关键基因和信号传导路径。这些基因主要参与氧化还原平衡、能量代谢和细胞保护等过程,得出了马缨杜鹃通过调整分子机制以适应水淹环境的策略。此外,中国科学院遗传与发育生物学研究所开发出了一种可预测地精细下调目标基因蛋白表达的新方法,通过编辑上游开放阅读框(uORF)进行设计,可以有效地将主效开放阅读框(pORF)的翻译抑制到不同的水平,这种方法为精准设计育种提供了重要的技术手段,对于未来的耐淹性分子设计育种具有重要意义。

4 实验研究与实践应用

4.1 实验方法

关于评估乔木耐淹性的实验方法和技术,有几种主要的方法:

遗传多样性分析:利用分子标记技术,如ISSR、SSR等,分析乔木种群的遗传多样性,从而推断其耐淹性。这些技术有助于理解不同种群之间的遗传差异,为耐淹性育种提供基础信息。

转录组学研究:通过分析淹水胁迫下乔木的转录组变化,

我们能够揭示基因表达的调整和调控网络。这种方法不仅能识别在淹水胁迫响应中起核心作用的基因,还能揭示基因表达的时序变化和类别。例如,通过研究淹水胁迫下植物的转录组表达模式,可以发现哪些信号通路被激活,以及哪些代谢途径在适应淹水胁迫中发挥关键作用。

生理生化指标测试: 测定乔木在淹水条件下的膜保护酶活性等指标,以评估其对淹水胁迫的响应和耐受能力。

基因编辑技术应用: 利用CRISPR-Cas9等基因编辑技术对基因的表达进行调控,以研究特定基因在耐淹性中的作用。这种方法可以用于深入理解乔木耐淹性的分子机制,并为育种提供新途径。

4.2 实践案例

本文引入李建兴等人的研究,旨在探讨乔木在三江并流区水库消落带的生态适应性,为该区生态修复优势造林树种的筛选提供科学依据。^[4]该研究选取了四种树种:中山杉(Taxodium hybrid)、枫杨(Pterocaryastenoptera)、竹柳(Salix americana)、池杉(Taxodium ascendens),在澜沧江黄登水库消落带进行小区造林试验。试验观测了树木的成活率、基本生长情况,并在移栽两年后观测了树冠形态结构、树梢及枝条特征,以及测取了生物量。研究结果显示,移栽初期中山杉、枫杨、池杉随消落带淹水落干次数增加而成活率明显下降。移栽两年后,四种乔木的成活率表现为:竹柳(100%)>池杉(48.78%)>枫杨(40.19%)>中山杉(32.86%),其中竹柳的生长情况极显著优于其他三个树种。枫杨和中山杉出现了枯梢、枯枝的现象,导致树高和冠幅降低。竹柳的总生物量及其各组成器官的生物量均显著高于其他三个树种,且各组成器官在总生物量的占比较为均衡。这表明竹柳是三江并流区水库消落带植被恢复的优势树种,适合在该区推广应用。

5 存在问题与未来研究方向

当前关于三峡库区消落带土壤养分研究存在若干问题和挑战。首先,由于区域环境的复杂性和动态变化,现有研究可能无法全面捕捉到长期和季节性变化对土壤养分的影响。此外,研究

多侧重于短期数据收集,缺乏长期连续监测,使得对消落带生态系统动态变化的理解受限。再者,现有研究主要集中于土壤化学性质,而对于生物多样性和生态系统服务功能的影响研究不足。未来研究方向应包括采用先进的实验技术和方法,如遥感监测和高通量测序技术,以更精确地评估环境变化对土壤养分和生态系统的影响。^[5]

6 总结

本研究深入探讨了水库消落带环境特征对乔木生长的影响,特别是在三峡库区这一典型案例中。研究揭示了消落带土壤养分的显著流失,以及不同树种在耐淹性方面的差异。乔木耐淹性的生理和分子机制研究表明,植物对淹水胁迫的适应性涉及复杂的生理和分子调节机制。实验研究和实践应用强调了对乔木耐淹性评估的重要性,为生态恢复和造林筛选提供了科学依据。研究还指出了当前研究的不足,并建议未来采用先进技术进行长期监测和生态恢复策略研究,以维护水库消落带和水生生态系统的健康。

[参考文献]

- [1] 窦文清,贾伟涛,张久红.三峡水库消落带植被现状、适生策略及生态修复研究进展[J].生态学杂志,2023,42(1):208-218.
- [2] 孙阔,袁兴中,王晓锋.三峡水库消落带土壤养分含量及生态化学计量特征[J].长江流域资源与环境,2023,32(2):403-414.
- [3] 李娜泽,王雨春,张家晖.三峡消落带土壤-植物-微生物作用下的氮循环关键过程研究进展[J].湖泊科学,2023,35(2):398-410.
- [4] 李建兴,黄广杰,熊寿德.4种乔木在三江并流区水库消落带生态修复中的适应性[J].水土保持通报,2022,42(6):182-189.
- [5] Khurram Dil, et al. Flooding Depth and Flooding Duration with the Zonation of Riparian Plant Communities in the Three Gorges Reservoir of China[J]. Water, 2023, 15(18):

作者简介:

段锡璐(1999--),女,汉族,广东人,硕士研究生,研究方向:水土保持与荒漠化防治。