

水文情势变化与水生植物群落演替的耦合机制研究

穆尼热·赛买提 肖开提·阿不都热依木
新疆维吾尔自治区巴音郭楞水文勘测中心

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6741

[摘要] 水文情势作为水生生态系统的核心驱动力,其要素(流量、水位、频率)的动态变化影响着水生植物群落的演替路径与生态功能。为揭示干旱区内陆湖泊水文情势变化与水生植物群落演替的内在关联,以博斯腾湖为研究载体,基于长序列水文监测数据与植物群落调查资料,系统分析流量、水位、水文事件频率三大核心水文要素变化对水生植物群落物种组成、结构特征、优势种更替的影响规律,阐明两者间的耦合机制。

[关键词] 水文情势变化; 流量; 水位; 水文频率; 水生植物群落演替
中图分类号: P331 文献标识码: A

Study on the Coupling Mechanism Between Hydrological Regime Change and Aquatic Plant Community Succession

Munijeh, Saimaiti Shaokaiti, Abudureyim

Bayingolin Hydrological Survey Center, Xinjiang Uygur Autonomous Region

[Abstract] As the core driving force of aquatic ecosystems, the dynamic changes of hydrological regime elements (discharge, water level, frequency) profoundly regulate the succession path and ecological functions of aquatic plant communities. To reveal the inherent correlation between hydrological regime change and aquatic plant community succession in inland lakes of arid regions, taking Bosten Lake as the research object, this study systematically analyzed the influence laws of three core hydrological elements (discharge, water level and hydrological event frequency) on the species composition, structural characteristics and dominant species replacement of aquatic plant communities based on long-term series of hydrological monitoring data and plant community survey data, and clarified the coupling mechanism between them.

[Key words] hydrological regime change; discharge; water level; hydrological frequency; aquatic plant community succession;

引言

水生植物作为湖泊生态系统的核心组成部分,在水质净化、维持生物多样性和稳定湖岸等方面具有关键作用,其群落演替是湖泊健康状况的重要指标。水文情势通过流量、水位等要素动态变化,直接驱动水生植物群落的物种组成、结构与演替方向。博斯腾湖作为中国最大内陆淡水湖,地处干旱区,水文受冰川融水与人类活动双重影响,波动显著。该湖分布400多种水生植物,拥有400km²芦苇湿地和8万余亩野生睡莲群落,构成重要生态屏障。研究其水文变化与植被演替的耦合机制,可揭示干旱区湖泊水文-植被互动规律,为生态水位调控、植被修复与水资源管理提供科学依据,对维持区域生态平衡具有重要理论与实践意义。

1 研究区概况

博斯腾湖地处新疆焉耆盆地东南部,是中国最大的内陆淡

水吞吐湖,在区域水循环与生态平衡中扮演着关键角色。湖泊主要依赖发源于天山的开都河补给,其入湖水量占总量的85%以上;出湖河流为孔雀河,由此构成了“开都河-博斯腾湖-孔雀河”的完整水文循环体系,并向塔里木河下游输水。湖泊形态动态变化,2020年湖面面积约1646km²,最大水深13.9m,蓄水量约52.65亿立方米。湖水呈弱碱性(pH7.5~8.5),透明度为1.5~2.5m。区域气候为典型的温带大陆性气候,其特征是光照强、降水少、蒸发极强。年日照时数超过3000小时,但年降水量仅50~80mm,而年蒸发量高达1800~2000mm。这种巨大的水分亏缺使得湖泊水量平衡和水质状况极为脆弱,对入湖流量变化高度敏感。在此环境下,湖泊孕育了丰富的水生植物资源,形成了由芦苇、长苞香蒲(挺水植物)、雪白睡莲(浮叶植物)以及眼子菜、苦草(沉水植物)等构成的完整水生植被生态序列,它们是维持湖泊生态健康的核心基础。

2 水文情势变化与水生植物群落演替

2.1 水文情势变化

水文情势是指水体在自然与人类活动影响下,水文要素(流量、水位、流速、水温、含沙量等)的时空变化特征,其核心要素包括流量、水位与水文事件频率。本文所指的水文情势变化,特指博斯腾湖入湖流量(主要为开都河来水)、湖泊水位及极端水文事件(洪水、枯水)频率的动态演变过程。其中,流量变化包括年际变化、年内季节性分配变化与日内波动;水位变化包括年际变幅、年内波动幅度、高水位与低水位持续时间;水文事件频率变化包括洪水发生频次、枯水期持续时间与发生频率等。博斯腾湖作为内陆吞吐湖,其水文情势变化主要受开都河冰川融水、山区降水等自然因素与农业灌溉引水、生态输水等人类活动因素的共同驱动,呈现出显著的波动性与阶段性特征。

2.2 水生植物群落演替

水生植物群落演替是指在湖泊生态系统演变过程中,水生植物群落的物种组成、结构特征、优势种类型等随时间推移发生有规律变化的过程,是生态系统自我调节、自我优化的重要表现形式。根据演替起点的不同,可分为初生演替与次生演替:初生演替是指在从未有过植被覆盖或植被被彻底消灭的裸地(如新生湖滩)上发生的演替过程;次生演替是指在原有植被被破坏但土壤条件与繁殖体保留的区域发生的演替过程。博斯腾湖水生植物群落演替以次生演替为主,其演替过程主要受水文情势、水质条件、土壤理化性质等环境因子的调控,表现为优势种从先锋物种向顶极物种的逐步更替,群落结构从简单向复杂、从不稳定向稳定的演变趋势。

3 水文情势变化与水生植物群落演替的耦合机制

3.1 流量变化与植物群落演替的耦合作用

流量作为水文情势的核心要素之一,通过调控营养盐输移、水体扰动强度、栖息地水分供应等方式,与水生植物群落演替形成耦合关系,其耦合机制主要体现在三个方面:

(1) 流量调控营养盐输移,影响植物生长养分供应。博斯腾湖的营养盐主要通过开都河输入,流量的季节性分配与年际波动直接决定营养盐的输移通量与时空分布。汛期(6~9月)流量大,携带大量泥沙与氮、磷等营养盐入湖,其中总氮输移通量占全年的80%以上,总磷输移通量占全年的75%以上,充足的营养盐为水生植物生长提供了物质基础,促进芦苇、长苞香蒲等挺水植物的快速生长,生物量显著增加;同时,流量大导致水体交换频繁,营养盐分布均匀,有利于浮叶植物、沉水植物的广泛分布。枯水期(11~3月)流量小,营养盐输入不足,且湖水交换缓慢,营养盐在湖内积累,局部水域可能出现富营养化,导致浮游植物大量繁殖,与水生高等植物争夺光照、养分,抑制水生高等植物生长,尤其是沉水植物受光照影响更为显著,覆盖度下降。

(2) 流量影响水体扰动强度,调控植物群落结构。流量的大小直接决定水体流速,博斯腾湖近岸区流速随入湖流量变化而波动,汛期流速可达0.2~0.3m/s,枯水期流速仅0.05~0.1m/s。流速超过0.5m/s时,多数水生植物的覆盖度会显著降低,而博斯

腾湖的流速范围总体适宜水生植物生长,但流速的波动会影响植物的受力与根系固着能力。汛期流速较大,对挺水植物的茎秆产生一定的机械扰动,导致部分生长脆弱的植株倒伏,同时扰动湖底沉积物,增加水体悬浮物含量,降低水体透明度,影响沉水植物的光合作用;但适度的扰动可促进水体氧气交换,有利于植物根系呼吸,且可抑制藻类过度繁殖,为水生高等植物生长创造良好条件。枯水期流速较小,水体相对平静,沉积物沉降,水体透明度高,有利于沉水植物光合作用,但水体氧气交换不足,可能导致植物根系缺氧,生长受到抑制。

(3) 流量决定栖息地水分供应,影响植物分布范围。开都河入湖流量的变化直接决定博斯腾湖的水量平衡,进而影响湖滨湿地的水分供应。入湖流量大时,湖泊水位上升,湖滨湿地淹没面积扩大,为水生植物提供了广阔的生长空间,芦苇、长苞香蒲等挺水植物的分布范围向湖岸扩张,雪白睡莲、眼子菜等浮叶、沉水植物的生长区域扩大;入湖流量小时,湖泊水位下降,湖滨湿地干涸,水生植物生长空间缩小,耐干旱的植物(如芦苇)可通过根系深扎获取水分,而不耐干旱的植物(如部分眼子菜物种)则会死亡,分布范围缩小。同时,入湖流量的年际波动导致栖息地水分供应不稳定,迫使水生植物调整生长策略,例如芦苇通过增加根系生物量提高耐旱能力,雪白睡莲通过种子休眠度过干旱期,这种适应性调整推动了植物群落的演替。

3.2 水位变化与植物群落演替的耦合作用

水位变化是影响水生植物群落演替的最直接、最关键的水文要素,通过改变栖息地水深、土壤理化性质、水体矿化度等环境因子,与植物群落演替形成紧密的耦合关系,其耦合机制主要体现在以下四个方面:

(1) 水位决定栖息地水深梯度,调控植物群落的水平分布。水生植物的生长对水深具有严格的适应性,不同物种的适宜水深存在显著差异。博斯腾湖湖滨区域的水深梯度随水位变化而改变,水位上升时,水深梯度向湖岸推移,浅水区(水深0~0.6m)面积扩大,适宜芦苇、长苞香蒲等挺水植物生长;中水区(水深0.6~1.5m)面积扩大,适宜雪白睡莲等浮叶植物生长;深水区(水深1.5~2.5m)面积扩大,适宜眼子菜、苦草等沉水植物生长。水位下降时,水深梯度向湖心收缩,浅水区、中水区、深水区面积均缩小,各物种的生长空间受到挤压,分布范围向湖心收缩,不耐干旱的物种(如沉水植物)生长受到抑制,甚至死亡。

(2) 水位波动影响植物生长周期,驱动群落演替。水位的年内波动与年际波动直接影响水生植物的生长周期(萌芽、生长、繁殖、休眠)。以芦苇为例,其萌芽期(3~4月)需要适宜的浅水环境(水深0m),若此时水位过高(超过0.3m),则萌芽率下降;生长期(5~7月)需要水深0.3~0.6m,若水位低于0.3m或高于0.8m,则生长缓慢,生物量降低;抽穗期(8~9月)需要稳定的水深环境(0.3~0.6m),若水位剧烈波动,则抽穗率下降,繁殖能力降低。博斯腾湖1966~1996年的低水位波动期,芦苇萌芽期、生长期水位均低于适宜范围,导致其生长缓慢,而2005年以后的水位波动回落期,水位频繁超出适宜范围,导致芦苇繁殖能力下降,覆盖度波动。

(3) 水位变化调控水体矿化度, 影响植物物种选择。 博斯腾湖作为内陆湖, 水位变化与矿化度变化呈显著负相关, 水位上升时, 湖水稀释, 矿化度降低; 水位下降时, 湖水蒸发浓缩, 矿化度升高。 不同水生植物的耐盐碱能力存在显著差异, 芦苇、多枝怪柳等物种耐盐碱能力强, 矿化度在1.0~2.0g/L范围内均可正常生长; 长苞香蒲、雪白睡莲耐盐碱能力中等, 矿化度超过1.6g/L时生长受到抑制; 眼子菜、苦草等沉水植物耐盐碱能力弱, 矿化度超过1.4g/L时生长受到显著抑制。 1966~1996年, 博斯腾湖矿化度高达2.2g/L, 导致耐盐碱能力弱的沉水植物、浮叶植物大量减少, 而芦苇成为绝对优势种; 1996~2005年, 矿化度降至1.2g/L, 耐盐碱能力中等、较弱的物种逐步复苏, 群落物种丰富度提升。

(4) 水位变化改变土壤理化性质, 影响植物根系生长。 水位变化直接影响湖滨湿地土壤的含水量、通气性、含盐量等理化性质。 水位上升时, 土壤含水量增加, 通气性降低, 土壤盐分被稀释, 有利于植物根系吸收水分与养分, 但通气性不足可能导致根系缺氧, 影响根系发育; 水位下降时, 土壤含水量降低, 通气性增强, 土壤盐分浓缩, 盐分过高会对植物根系造成毒害, 抑制根系生长。 博斯腾湖低水位期(1966~1996年), 湖滨湿地土壤含水量不足15%, 含盐量超过0.8%, 导致长苞香蒲、雪白睡莲根系生长受阻, 而芦苇通过深扎根系(深度可达1.5m)获取深层水分, 适应了土壤环境的变化。

3.3 水文事件频率变化与植物群落演替的耦合作用

洪水、枯水等极端水文事件频率的变化, 通过对植物群落的扰动、筛选作用, 与植物群落演替形成耦合关系, 其耦合机制主要体现在扰动-适应-进化三个层面:

(1) 极端水文事件的扰动作用, 改变群落结构。 洪水事件对植物群落的扰动主要表现为机械破坏与环境重塑, 博斯腾湖汛期洪水发生时, 高水位、高流速导致湖滨挺水植物倒伏、根系松动, 部分植株被冲刷流失, 群落覆盖度下降; 同时, 洪水漫滩带来大量泥沙与营养盐, 重塑湖滨湿地的地形与土壤环境, 为先锋物种的入侵创造条件。 例如2019年博斯腾湖洪水事件后, 局部区域芦苇覆盖度下降30%, 但洪水过后, 土壤养分充足, 芦苇的萌芽率显著提升, 群落逐步恢复。 枯水事件的扰动主要表现为水分胁迫, 持续低水位导致湖滨湿地干涸, 植物根系缺氧、缺水, 不耐干旱的物种死亡, 群落物种丰富度下降。

(2) 植物群落的适应性响应, 优化群落结构。 面对极端水文事件频率的变化, 博斯腾湖水生植物群落通过调整物种组成、生长策略等方式进行适应性响应。 对于洪水事件频率升高, 植物群落逐步筛选出耐冲击、根系固着能力强的物种, 如芦苇通过增加

茎秆韧性、加深根系深度提高抗冲击能力, 长苞香蒲通过丛生生长方式增强群体稳定性; 对于枯水事件频率升高, 植物群落筛选出耐干旱、耐盐碱的物种, 如芦苇通过减少蒸腾作用、积累渗透调节物质提高耐旱能力, 多枝怪柳通过肉质化叶片、发达的根系提高耐干旱、耐盐碱能力。 这种适应性响应使得群落结构逐步优化, 更适应变化后的水文环境。

(3) 长期扰动驱动群落进化, 形成稳定耦合关系。 极端水文事件频率的长期变化, 驱动水生植物群落发生进化性演替, 形成与水文情势相适应的稳定群落结构。 博斯腾湖长期的水位波动与极端水文事件扰动, 使得水生植物群落逐步形成了“耐扰动、多物种共存”的特征, 芦苇作为核心优势种, 具有较强的适应性与抗干扰能力, 能够在不同水文环境下稳定生长; 长苞香蒲、雪白睡莲等物种作为伴生优势种, 能够在适宜的水文环境下快速复苏; 多枝怪柳等物种作为过渡物种, 能够在水文环境恶化时侵入, 维持群落的基本功能。 这种进化性演替使得水文情势变化与植物群落演替形成稳定的耦合关系, 共同推动湖泊生态系统的演化。

4 结束语

本文初步揭示了博斯腾湖水文情势变化与水生植物群落演替的耦合机制, 未来研究需在以下方面深化:

(1) 多尺度整合研究, 加强野外长期定位观测、控制实验与机理模型(如个体基模型、生态系统模型)的结合, 定量刻画跨尺度的耦合关系。

(2) 阈值量化, 针对不同类型的水生植物群落, 定量确定关键水文要素的生态阈值, 为管理提供精确“标尺”。

(3) 全球变化情境下的预测, 耦合气候模型、水文模型与生态模型, 预测未来气候变化情景下水文情势的改变将如何影响水生植被的分布与功能, 为前瞻性适应策略提供支撑。 深化这些研究, 将有力推动生态水文学理论发展, 并提升我国水生生态系统保护与修复的实践成效。

[参考文献]

- [1]刘建康. 湖泊生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [2]朱金格, 张奇, 李根保. 湖泊水动力对水生植物分布的影响——以博斯腾湖为例[J]. 水科学进展, 2012, 23(4): 545-552.
- [3]吴敬禄, 王苏民. 博斯腾湖水质水量演化特征及其对生态环境的影响[J]. 环境科学学报, 2005, 25(10): 1353-1360.

作者简介:

穆尼热·赛买提(1987--), 女, 维吾尔族, 新疆库尔勒市人, 研究生, 工程师, 研究方向为水质水生态水资源。