

天津北大港水库大型水生植物群落结构调查研究

鲍炜然¹, 郑心怡², 宋兵魁^{2*}, 孙金辉¹

¹天津农学院水产学院, 天津

²天津市生态环境科学研究院, 天津

收稿日期: 2026年5月12日; 录用日期: 2026年6月4日; 发布日期: 2026年6月16日

摘要

大型水生植物群落结构可有效指示水生态系统健康状况。本研究通过对北大港水库三期调查, 分析大型水生植物的物种组成、生物多样性及群落结构特征, 以评估水库水环境质量与生态系统健康状况。研究基于三期调查数据, 共采集大型水生植物16种, 分属10科13属, 设置5个采样点位, 重点分析物种组成、密度、生物量及优势种动态。运用Shannon-Wiener多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J)、Margalef丰富度指数(D)等生物指标, 结合科属占比及季节变化, 揭示了水库大型水生植物的时空分布特征。结果显示, 第二期群落结构最优($H' = 1.73, J = 0.75, D = 1.19$), 第三期因物种单一化, 生态状况为三期最差。研究验证了大型水生植物多样性指数对水库湖泊生态系统的重要指示作用, 为北方水库水生态管理及季节性环境适应研究提供了科学依据。

关键词

天津, 大型水生植物, 生物多样性, 群落结构

Investigation on Community Structure of Aquatic Plants in Tianjin Beidagang Reservoir

Weiran Bao¹, Xinyi Zheng², Bingkui Song^{2*}, Jinhui Sun¹

¹College of Fisheries, Tianjin Agricultural University, Tianjin

²Tianjin Academy of Environmental Sciences, Tianjin

*通讯作者。

文章引用: 鲍炜然, 郑心怡, 宋兵魁, 孙金辉. 天津北大港水库大型水生植物群落结构调查研究[J]. 水产研究, 2026, 13(2): 173-182. DOI: 10.12677/ojfr.2026.132020

Abstract

The structure of large aquatic plant communities can serve as an effective indicator of the health of aquatic ecosystems. This study analyzed the species composition, biodiversity, and community structure of large aquatic plants based on the third phase of surveys conducted at the Beidagang Reservoir, with the aim of assessing the reservoir's water quality and ecosystem health. Based on data from three survey phases, a total of 16 species of large aquatic plants were collected, representing 10 families and 13 genera. Five sampling sites were established, and the study focused on analyzing species composition, density, biomass, and the dynamics of dominant species. Using biological indices such as the Shannon-Wiener diversity index (H'), Pielou evenness index (J), and Margalef richness index (D), and combining these with family and genus proportions as well as seasonal variations, this study revealed the spatiotemporal distribution characteristics of large aquatic plants in the reservoir. The results showed that the community structure was optimal in the second phase ($H' = 1.73, J = 0.75, D = 1.19$), while the third phase exhibited the poorest ecological condition of the three phases due to species homogenization. The study confirmed the important indicative role of the large aquatic plant diversity index for reservoir and lake ecosystems, providing a scientific basis for water ecological management and research on seasonal environmental adaptation in northern reservoirs.

Keywords

Tianjin, Macrophyte, Biodiversity, Community Structure

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大型水生植物是一个生态学范畴上的类群，是不同分类群植物通过长期适应水环境而形成的趋同性适应类型，主要包括两大类：水生维管束植物和高等藻类。大型水生植物作为淡水生态系统的核心组成部分，在维持水体功能与生态平衡中发挥着不可替代的作用[1]。它们通过光合作用吸收水体中的二氧化碳并释放氧气，不仅为水体提供了必要的溶解氧，还通过光合产物为水生动物提供丰富的食物资源，构建了独特的水生食物网。此外，大型水生植物的根系和茎叶结构能够固持沉积物，减少水体浑浊度，抑制藻类过度繁殖，从而起到重要的水体净化作用。

北大港位于天津滨海新区的东南部，属海河流域大清河系，周边主要河流有独流减河、马厂减河、马圈引河等，是国家重要湿地和天津市市级自然保护区，也是天津市备用水源地，保护区面积 349 km²。北大港湿地具有多类型的湿地特征，生态系统保存完整，有着良好的生物多样性特征。近年来，随着全球气候变化和人类活动的加剧，大型水生植物面临着水位波动、富营养化及重金属污染等多重压力[2]。研究表明，大型水生植物的群落组成和生长状态对生态系统的响应具有高度敏感性，尤其是在闸控湖泊和湿地修复中，水位的微调对植物的恢复和生物多样性维持至关重要。因此，深入探讨大型水生植物的生态功能及其对环境胁迫的响应机制，不仅对理解淡水生态系统的动态变化具有理论意义，更对指导水资源管理和生态修复实践提供了重要的科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 调查时间及调查点位设置

按照代表性、可行性和一致性原则，北大港水库的水生态调查监测共布设 5 个点位。水生态调查监测点位图如图 1 所示。基于 2021 年 6 月、9 月和 11 月对北大港水生态系统状况的三期调查监测。



Figure 1. Map of the distribution of macrophyte survey stations at Beidagang reservoir

图 1. 北大港水库大型水生植物调查点位的分布示意图

2.2. 样品的采集和处理

样品采集与处理流程如下：定性样品采集时，挺水植物用手采集，浮叶植物和沉水植物用水草采集耙采集，漂浮植物直接用手或带柄手抄网采集，且应尽量在开花和(或)果实发育的生长高峰季节采集完整样品(包括根、茎、叶、花、果)。定量样品采集方面，挺水植物一般用 1 m^2 采样方框从基部割取方框内全部植物；沉水植物、浮叶植物和漂浮植物则用采样面积为 0.25 m^2 的水草定量夹采集，采集时将水草夹张开插入水底夹紧，连根带泥夹起后冲洗淤泥，洗净后装入编有号码的水草袋内，每个采样点需采集两个平行样品，除去污泥等杂质后装入样品袋，沉水植物须放入盛水的容器中。

标本制作分为干制和浸制两种方法：干制标本需选取完整植株，用镊子展开枝叶花并整齐自然置于吸水纸上，叶片有背腹差异时需翻转部分叶片使其背面朝上，个体较大的植株可选取具有分类鉴定特性的部位压制，枝叶纤细、质地柔软的植物先放入水中整形，再用玻璃板或白板托出水面，滴去积水后置于吸水纸上；浸制标本适用于质地柔软的水生植物，先用浸制液浸泡，待叶片由绿变褐再变绿后取出，置于 5% 甲醛溶液中保存，过分柔软标本需用玻璃棒固定，制成的标本均需及时粘贴各类信息的标签。种类鉴定时，将固定好的样品趁新鲜进行鉴定，所有标本要鉴定到种。

2.3. 数据处理

计算不同大型水生植物多样性指数，包括大型水生植物优势度指数(Y)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀性指数(J)、Margalef 丰富度指数(D)对大型水生植物的群落特征进行分析，见式(1)~(4)，计算方法参照相关文献[3]-[5]。

优势度指数(Y)按下式计算：

$$Y = (N_i/N) \times f_i \tag{1}$$

式中： Y 为优势度， N_i 为第*i*种的个体数， N 为样品中所有个体总数， f_i 为第*i*种在各采样位点出现的频率， $Y \geq 0.02$ 为优势种。

Shannon-Wiener 多样性指数(H')按下式计算：

$$H' = -\sum (N_i/N) \log_2 (N_i/N) \tag{2}$$

Pielou 均匀度指数(J)按下式计算：

$$J = H' / \log_2 S \tag{3}$$

式中： H' ——多样性指数； S ——总种类数。

Margalef 丰富度指数(D)按下式计算：

$$D = (S-1) / \log_2 N \tag{4}$$

式中： S ——调查生物的种类数； N ——全部生物个体总数。

3. 结果与分析

3.1. 物种组成

北大港水库三期调查共采集到大型水生植物 16 种，分属 10 科 13 属，其中以莎草科为主，占三期调查物种总数的 18.75%，其次为蓼科、香蒲科、千屈菜科和眼子菜科，各占三期调查物种总数的 12.50%。其中，第一期调查以莎草科为主，占当期调查物种总数的 21.43%；第二期调查仍以莎草科为主，占当期调查物种总数的 27.27%；第三期仅调查到眼子菜科 1 种。

北大港水库大型水生植物物种组成如图 2 所示，禾本科在第一期、第二期的物种数都为 1 种；金鱼藻科在第一期、第二期的物种数为 1 种；蓼科在第一期的物种数为 2 种，第二期为 1 种；千屈菜科在第一期物种数为 2 种；莎草科在第一期、第二期的物种数都为 3 种；天南星科仅在第一期出现，物种数为 1 种；香蒲科在第一期的物种数为 1 种，第二期的物种数为 2 种；小二仙草科在第一期、第二期的物种数都为 1 种；眼子菜科在第一期的物种数为 2 种，第二期为 2 种，第三期为 1 种。

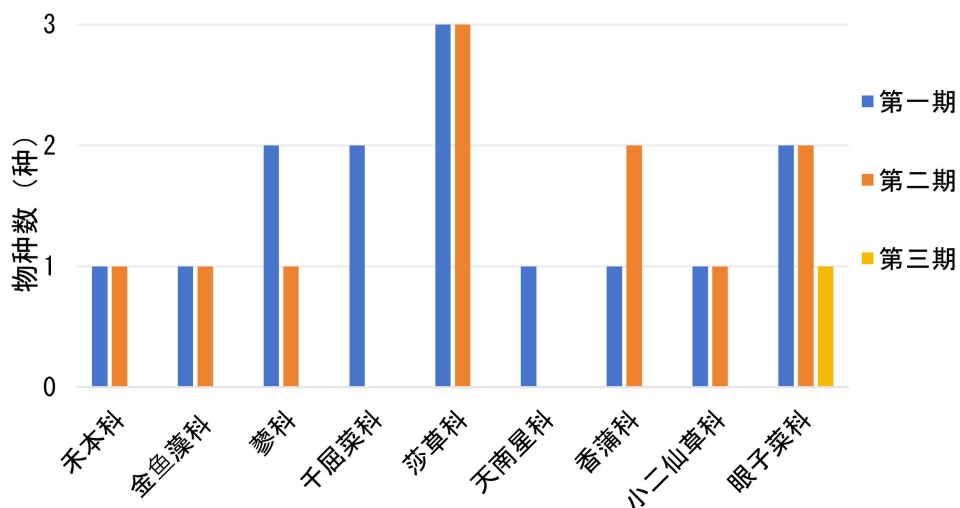


Figure 2. Species composition of macrophyte in Beidagang reservoir
图 2. 北大港水库大型水生植物物种组成^①

3.2. 大型水生植物物种丰富度

大型水生植物物种丰富度如图 3 所示。结果显示，北大港水库三期共调查到 16 种水生植物。在北大港水库的三期调查中，第一期调查到 14 种，第二期调查到 11 种，第三期调查到 1 种。

大型水生植物丰富度百分组成如图 4 所示。结果显示，在第一期调查中，禾本科、金鱼藻科、蓼科、千屈菜科、莎草科、天南星科、小二仙草科和眼子菜科在北大港水库的占比分别为 7.14%、7.14%、14.29%、14.29%、21.43%、7.14%、7.14%和 14.29%。在第二期调查中，蓼科、莎草科和香蒲科在北大港水库的占比最大，分别为 9.09%、27.27%和 18.18%。在第三期调查中，眼子菜科在北大港水库占比最大为 100%。

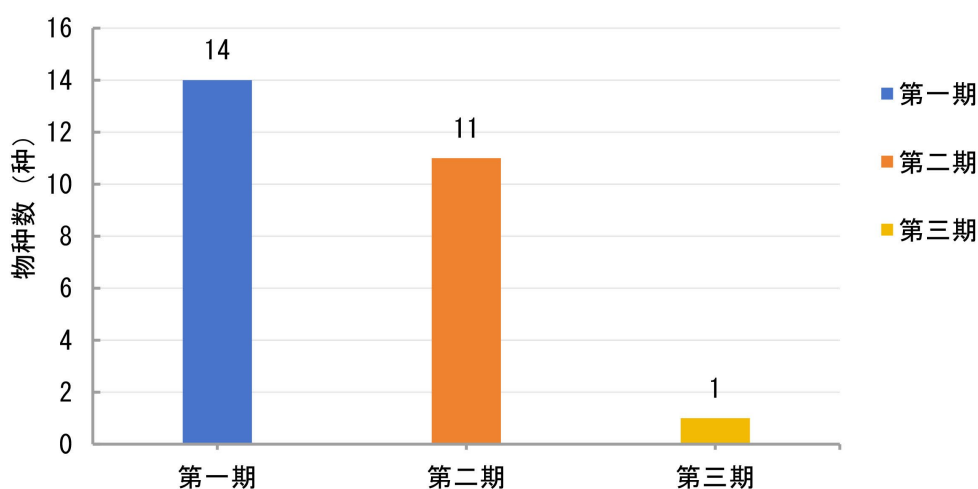


Figure 3. Species richness of macrophyte in Beidagang reservoir

图 3. 北大港水库大型水生植物的物种丰富度

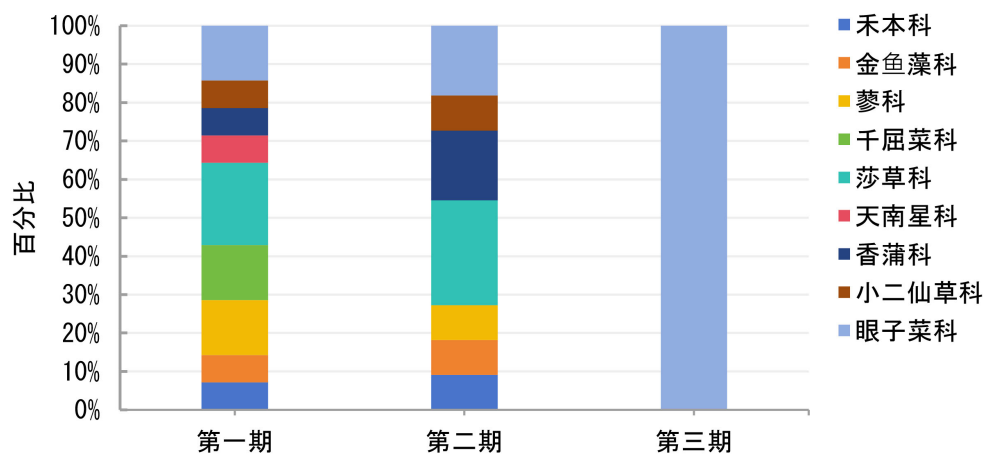


Figure 4. Percentage composition of macrophyte species diversity in Beidagang reservoir

图 4. 北大港水库大型水生植物物种丰富度百分组成

3.3. 大型水生植物物种密度

北大港水库大型水生植物密度见图 5。第一期北大港水库大型水生植物平均密度为 30.40 株/m²，第二期为 31.00 株/m²，第三期为 0.60 株/m²。

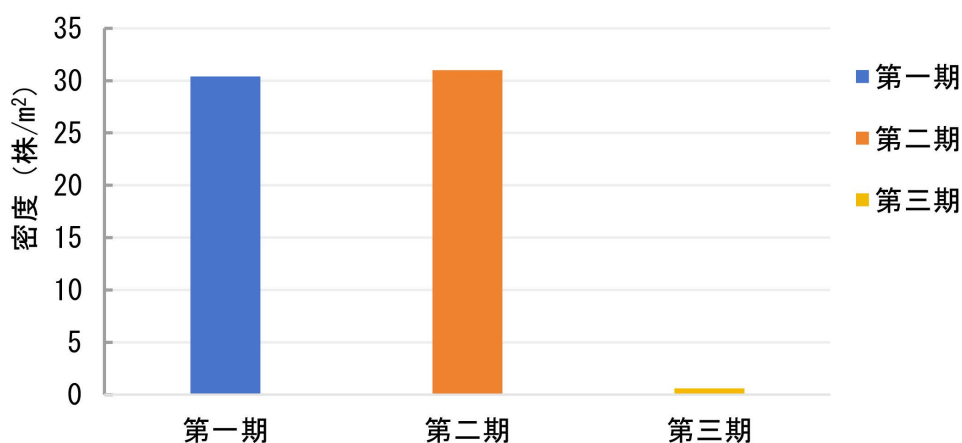


Figure 5. Macrophyte in Beidagang reservoir
图 5. 北大港水库大型水生植物密度

北大港水库大型水生植物密度百分组成如图 6 所示。在北大港水库第一期调查中，平均密度最高的是香蒲科，为 9.20 株/m²，占总密度的 30.26%；其次是禾本科，为 7.00 株/m²，占总密度的 23.03%；平均密度最低的是千屈菜科，为 0.60 株/m²，占总密度的 1.97%。在北大港水库第二期调查中，平均密度最高的是禾本科，为 17.60 株/m²，占总密度的 56.77%；其次是金鱼藻科，为 4.00 株/m²，占总密度的 12.90%；平均密度最低的是蓼科，为 0.20 株/m²，占总密度的 0.65%。在北大港水库第三期调查中，仅有眼子菜科，平均密度为 0.6 株/m²。

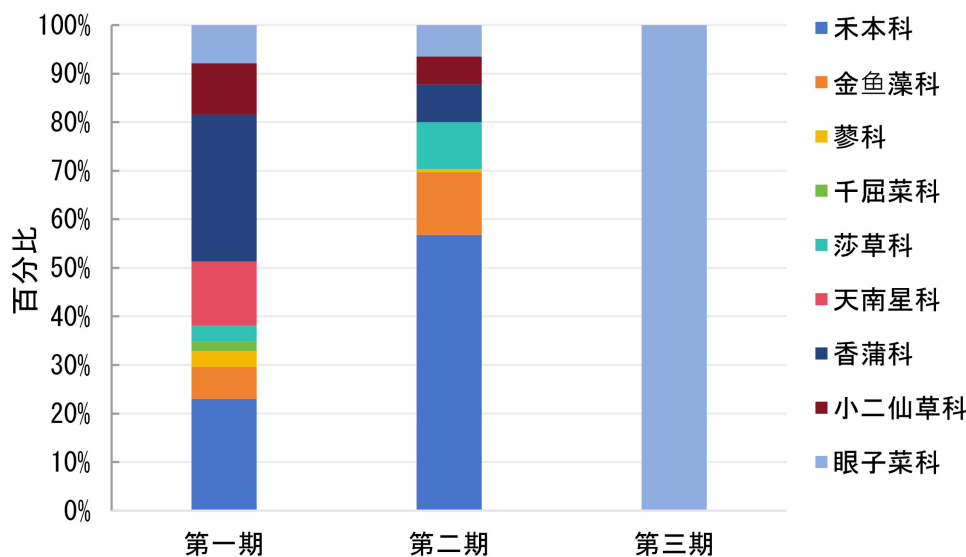


Figure 6. Percentage composition of macrophyte density in Beidagang reservoir
图 6. 北大港水库大型水生植物密度百分组成

3.4. 大型水生植物生物量

大型水生植物的平均生物量空间特征如图 7 所示。第一期调查结果显示，北大港水库的平均生物量为 1122.70 g/m²。第二期调查结果显示，北大港水库的平均生物量为 1498.00 g/m²；第三期调查结果显示，北大港水库的平均生物量为 14.30 g/m²。

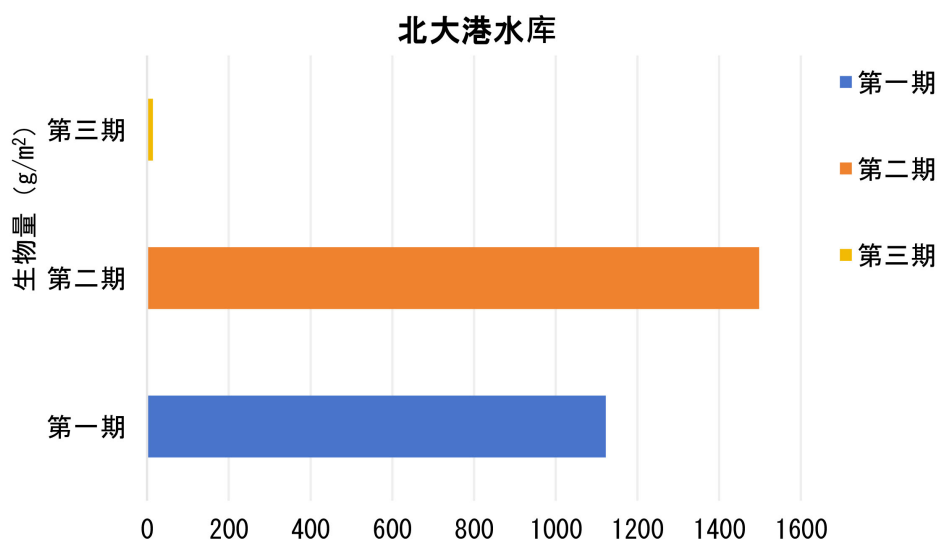


Figure 7. Average biomass of macrophyte in Beidagang reservoir
图 7. 北大港水库大型水生植物平均生物量

大型水生植物生物量百分组成如图 8 所示。北大港水库第一期香蒲科生物量所占百分比最大，为 45.42%，其次是禾本科，占比为 42.96%，天南星科占比最小，为 0.04%。北大港水库第二期禾本科生物量所占百分比最大，为 75.99%，其次是香蒲科，占比为 16.36%，蓼科占比最小，为 0.32%。北大港水库第三期仅有眼子菜科，占比为 100%。

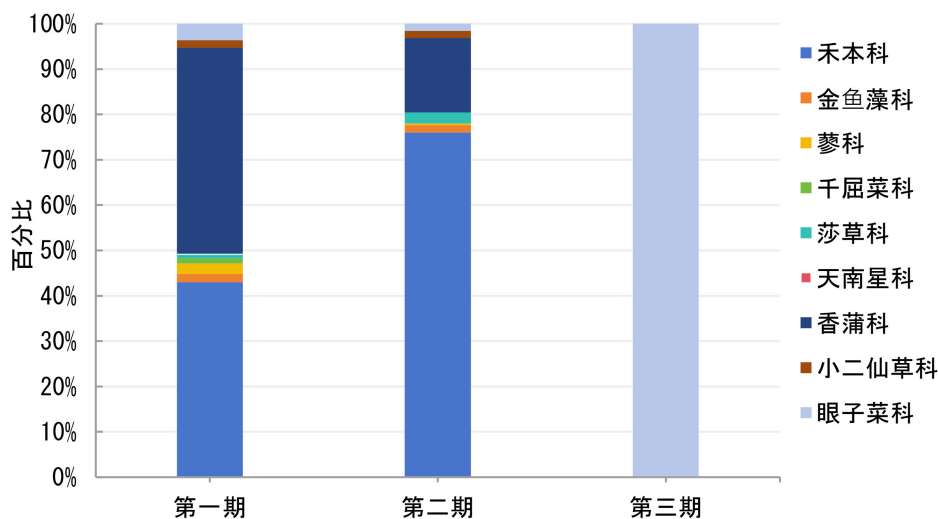


Figure 8. Percentage of macrophyte biomass in Beidagang reservoir
图 8. 北大港水库大型水生植物生物量百分比

3.5. 大型水生植物土著种及分布情况

在调查区域内，芦苇和欧菱属于土著种植物，其中芦苇的生长动态与季节更替呈现显著关联性。在采集到大型水生植物的 11 个点位中，第一期(夏季)为高温多雨的生长旺季，有 5 个点位采集到芦苇，出现率为 45.45%；其中在 DL09 点位采集到芦苇 27 株，DL10 点位采集到芦苇 2 株，DL11 点位采集到芦

苇 3 株, DL12 点位采集到芦苇 1 株, DL13 点位采集到芦苇 2 株; 仅在点位 DL10 采集到欧菱 2 株, 出现率为 9.09%, 此时两种植物均处于营养生长旺盛阶段。第二期(秋季)水温逐渐降低, 芦苇通过提升单株生物量维持种群稳定[6], 有 5 个点位采集到芦苇, 出现率为 45.45%, 其中在 DL09 点位采集到芦苇 36 株、DL10 点位采集到芦苇 12 株、DL11 点位采集到芦苇 5 株、DL12 点位采集到芦苇 28 株、DL13 点位采集到芦苇 7 株; 没有点位采集到欧菱。第三期(冬季)随着水温降低, 芦苇地上部分枯死, 地下根茎进入休眠状态, 欧菱则完成生命周期, 因此均未在调查点位采集到活体植株, 体现了温带水生植物对季节性环境变化的适应性响应。相关研究显示, 吉林省西部地区芦苇地上部生物量的动态曲线表现为典型的单峰式, 生物量的增长速率与植株的生长速率均有明显的季节变化[7]; 三江平原沼泽湿地芦苇种群不同构件生物量在生长季节中也存在明显的季节动态差异, 叶鞘和叶的生物量最大值分别出现在 6 月、7 月, 茎秆生物量和芦苇种群地上部生物量最大值则出现在 9 月[8]。

3.6. 大型水生植物优势种特征

北大港水库大型水生植物优势种及优势度的结果如表 1 所示。结果显示, 北大港水库优势种较多, 有 6 种。第二期北大港水库优势种较多, 有 4 种。第三期北大港水库优势种较少, 有 1 种。不同时期北大港水库大型水生植物优势种既有交叉又有演替, 芦苇、金鱼藻和穗状狐尾藻在第一、二期处于主要优势种地位, 篦齿眼子菜是第三期主要优势种。北大港水库第一期优势种涵盖挺水植物、漂浮植物和沉水植物三大类, 第二期优势种以挺水植物和沉水植物为主, 第三期优势种则均为沉水植物。北大港水库第一期的优势度范围在 0.02~0.23 之间; 芦苇的优势度为 0.23, 水烛的优势度为 0.18, 穗状狐尾藻的优势度为 0.04, 浮萍、金鱼藻的优势度均为 0.03, 篦齿眼子菜的优势度为 0.02。第二期优势度范围在 0.02~0.57 之间; 芦苇的优势度为 0.57, 金鱼藻的优势度为 0.13, 荆三棱、穗状狐尾藻的优势度都为 0.02。综合三次调查结果来看, 北大港水库第一期大型水生植物优势种的种类更为丰富, 但各物种的优势度普遍较低。

Table 1. Dominant species of macrophyte in Beidagang reservoir

表 1. 北大港水库大型水生植物优势种

第一期优势种	第二期优势种	第三期优势种
芦苇(<i>Phragmites australis</i>)	芦苇(<i>Phragmites australis</i>)	篦齿眼子菜(<i>Stuckenia pectinata</i>)
水烛(<i>Typha angustifolia</i>)	金鱼藻(<i>Ceratophyllum demersum</i>)	
穗状狐尾藻(<i>Myriophyllum spicatum</i>)	荆三棱(<i>Bolboschoenus yagara</i>)	
金鱼藻(<i>Ceratophyllum demersum</i>)	穗状狐尾藻(<i>Myriophyllum spicatum</i>)	
浮萍(<i>Lemna minor</i>)		
篦齿眼子菜(<i>Stuckenia pectinata</i>)		

3.7. 大型水生植物物种多样性特征

本次调查主要从 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数三个方面对环境作出评价, 结果如表 2 所示。

大型水生植物物种多样性指数越高, 其群落结构越复杂, 稳定性越大, 水质越好; 反之, 指数越低, 群落结构越简单, 稳定性越差, 说明水体污染越严重[9]。对于 Shannon-Wiener 多样性指数, 北大港水库第一期 DL13 点位多样性最高, 为 2.47; DL09 点位多样性最低, 为 0.86; 水库平均值为 1.58。北大港水库第二期 DL13 点位多样性最高, 为 2.84; DL09 点位多样性最低, 为 0.80; 水库平均值为 1.73。北大港水库第三期仅有 DL13 点位检测到一种大型水生植物, 多样性为 0。总体来看, 三期数据对比北大港水库

第二期多样性最高, 第三期多样性最低。

大型水生植物种类的个体数越接近, Pielou 指数越高, 水质越好; 反之, 指数越低, 水质越差。若 Pielou 指数在 0~0.3 之间, 则为重污染; 在 0.3~0.5 之间, 则为中污染; 在 0.5~0.8 之间, 则为轻污染或无污染[10]。对于 Pielou 均匀度指数, 北大港水库第一期 DL13 点位均匀度最高, 为 0.88; DL09 点位均匀度最低, 为 0.43; 水库平均值为 0.70。北大港水库第二期 DL11 点位均匀度最高, 为 0.99; DL09 均匀度最低, 为 0.51; 水库平均值为 0.75。北大港水库第三期仅一个点位检测到 1 种大型水生植物, 不满足均匀度指数计算条件, 故未开展相关计算。总体来看, 北大港水库第二期均匀度最高, 第三期均匀度最低。

大型水生植物种类越多, 个体数量分布就越均匀, Margalef 指数就越大, 指示环境就越稳定; 反之, 指数越小, 指示环境就越差。若 Margalef 指数小于 3, 则水质重污染; 在 3~4 之间, 则为中污染; 在 4~5 之间, 则为轻污染; 大于 5, 则为无污染[11]。对于 Margalef 丰富度指数, 北大港水库第一期 DL13 点位丰富度最高, 为 1.65; DL09 点位丰富度最低, 为 0.87; 水库平均值为 1.14。北大港水库第二期 DL13 点位丰富度最高, 为 2.23; DL09 点位丰富度最低, 为 0.53; 水库平均值为 1.19。北大港水库第三期 DL13 点位丰富度为 0。总体来看, 北大港水库第二期丰富度最高, 第三期丰富度最低。

Table 2. Macrophyte diversity index

表 2. 大型水生植物多样性指数

水库	点位	Shannon-Wiener 多样性指数			Pielou 均匀度指数			Margalef 丰富度指数		
		第一期	第二期	第三期	第一期	第二期	第三期	第一期	第二期	第三期
北大港 水库	DL09	0.86	0.80	-	0.43	0.51	-	0.87	0.53	-
	DL10	1.45	1.80	-	0.72	0.77	-	1.04	1.31	-
	DL11	1.61	1.98	-	0.81	0.99	-	1.14	1.08	-
	DL12	1.51	1.23	-	0.65	0.61	-	1.02	0.82	-
	DL13	2.47	2.84	0.00	0.88	0.89	-	1.65	2.23	0.00
	均值	1.58	1.73	0.00	0.70	0.75	-	1.14	1.19	0.00

4. 讨论与结论

北大港水库大型水生植物的三期调查揭示了水体生态环境随季节的波动规律。前两期物种多样性较高, 莎草科为优势科; 第三期仅记录到眼子菜科 1 种, 优势度极端集中, 这常是生态系统退化的预警。该现象与冬季水温急剧下降、代谢减缓及底质冻结相关。冬季低温敏感植物活性降低或死亡, 而耐寒耐盐碱的眼子菜科得以存活并占优, 导致群落单一化[12]。

多样性指数变化显示, 第二期 Shannon-Wiener、Pielou 均匀度和 Margalef 丰富度指数均优于第一期, 群落结构更均匀, 可能与秋季水温适中、营养充足有关[13]。第三期因水温降低, 生境单一化, 仅眼子菜科存活, 生物量骤降, 体现环境胁迫的压制作用[14]。优势种动态方面, 第一期芦苇优势度高, 夏季高温多雨期间通过提升光合作用效率迅速占领优势地位[15]; 第二期其优势度进一步上升, 适应干旱胁迫维持稳定。第三期优势种变为篦齿眼子菜, 反映低温、水位下降下其竞争优势增强[16]。这种从多样优势种向单一优势种的转变, 与北方寒冷地区湖泊冬季眼子菜科占优的共性规律一致, 可能标志水生植被从稳定向退化演变, 需管理者重视以防生态系统不可逆退化。

基于冬季大型水生植物群落脆弱性特征, 建议采取三项针对性管理措施: (1) 水位调控方面, 在 11 月上旬将水位维持在 1.2~1.5 m, 避免底质裸露导致的篦齿眼子菜栖息地丧失[17]; (2) 生态修复上, 春季

适度引入沉水植物先锋种(如狐尾藻), 通过生态位互补增强群落抗干扰能力[18]; (3) 建立季节性监测机制, 重点关注水温骤降期(10~11月)的优势种转换预警。这些措施可有效提升生态系统对季节波动的恢复力, 为北方水库的可持续管理提供实践参考。

注 释

① 图 2~8 基于 2021 年 6 月、9 月和 11 月对北大港水生态系统状况的三期调查监测

参考文献

- [1] Li, J. (2024) Research on the Ecology of Aquatic Plants. *Journal of Building Technology*, 6, 318-322. <https://doi.org/10.32629/jbt.v6i2.2953>
- [2] 秦腾, 骆辉, 陈厉旻, 等. 水生植物对微污染水体生态修复的研究综述[J]. 应用化工, 2024, 53(2): 398-402.
- [3] 刘懂, 陈晨, 王莉, 等. 象山港海洋牧场示范区浮游植物的群落特征及其与环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(5): 1024-1032.
- [4] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 62-75.
- [5] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I α 多样性的测度方法(下) [J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [6] 吕家铭, 邵克强, 汤祥明. 太湖北部湖滨带湿地夏季芦苇种群动态研究[J]. 水资源开发与管理, 2024, 10(9): 1-9+28.
- [7] 鲍志娟, 盖平. 吉林省西部地区芦苇地上部生物量季节动态的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2002(5): 31-34.
- [8] 张友民, 杨允菲, 王立军. 三江平原沼泽湿地芦苇种群生产与分配的季节动态[J]. 中国草地学报, 2006(4): 1-5.
- [9] 王晶, 焦燕, 任一平, 等. Shannon-Wiener 多样性指数两种计算方法的比较研究[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1257-1263.
- [10] Li, J., Gao, M., Liu, B., Fan, Y., Wei, J., Zhang, Y., et al. (2025) Seasonal Dynamics of Phytoplankton Community Structure and Environmental Drivers in the Coastal Waters of the Leizhou Peninsula, China. *Diversity*, 17, Article No. 867. <https://doi.org/10.3390/d17120867>
- [11] 秦娇娇, 王艳. 浮游植物多样性指数的应用及评价[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2014, 32(4): 502-505.
- [12] 常素云, 吴涛, 赵静静. 不同沉水植物组配对北大港水库水体净化效果的影响[J]. 环境工程学报, 2016, 10(1): 439-444.
- [13] 毛亚宁, 黄佳欣, 王庆泉, 等. 天津北大港湿地浮游植物调查[J]. 河北渔业, 2019(1): 31-35+57.
- [14] 汪星, 宫兆宁, 井然, 等. 基于连续统去除法的水生植物提取及其时空变化分析——以官厅水库库区为例[J]. 植物生态学报, 2018, 42(6): 640-652.
- [15] 宫少军, 叶思源, 詹华明, 等. 天津市滨海湿地生态系统健康研究进展[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(7): 52-58.
- [16] 白世红, 马风云, 侯栋, 等. 黄河三角洲植被演替过程种群生态位变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 581-587.
- [17] 王丽虹, 杨磊, 刘玲, 等. 南四湖沉水植物物种多样性和功能多样性对水深梯度的响应[J]. 生态学报, 2020, 40(17): 6233-6242.
- [18] 王寿兵, 徐紫然, 张洁. 滇池高等沉水植物 50 年变迁状况对生态修复的启示[J]. 水资源保护, 2016, 32(6): 1-5+18.