DOI：10. 16853/j. cnki. 1009-3575. 2026. 06. 004

岱海浮游植物群落结构特征及水质评价

乌 兰，罗旭光*，王 奕，刘 洁
（内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018）

摘要：为探究岱海浮游植物群落结构季节变化特征及水质状况，本研究采用人工镜检和水化学分析法于2023年对岱海浮游植物群落结构及水环境因子进行调查，运用单因子评价法、浮游植物多样性指数和综合营养状态指数评价岱海水质。结果表明：岱海共鉴定出浮游植物7门28属45种，以硅藻门（48. 90%）和绿藻门（28. 89%）为主，其中，优势种9种，美小针杆藻为春季绝对优势种，小桩藻和弓形藻为夏、秋季绝对优势种；岱海浮游植物平均细胞密度为12. 93×10^4 个/L，平均生物量为125. 86 ug/L，夏、秋季均显著高于春季；Shannon-Wiener多样性指数和丰富度指数均值分别为1. 95和0. 96，基于生物多样性指数评价岱海营养状态，春、秋季为中度-中富营养状态，夏季为中富-富营养状态；单因子水质评价结果表明，岱海以劣Ⅴ类水质为主，且总氮、高锰酸盐指数和总磷是影响水质的主要因子，岱海综合营养状态指数均值为53. 81，指示水体各季节均处于轻度富营养状态。研究表明，岱海2023年浮游植物群落以硅藻和绿藻为主，其密度、生物量和物种多样性总体较低，水体处于轻度至中度富营养状态，需持续加强岱海生态环境的系统监测与综合保护。

关键词：岱海；浮游植物；群落结构；水质评价
中图分类号：S931. 1 **文献标志码**：A **文章编号**：1009-3575（2026）06-0022-08

Phytoplankton Community Structure and Water Quality Assessment in Daihai Lake

Wulan，LUO Xuguang*，WANG Yi，LIU Jie
（*College of Animal Science*，*Inner Mongolia Agricultural University*，*Hohhot* 010018，*China*）

Abstract：To investigate the seasonal variation characteristics of the phytoplankton community structure and water quality in Daihai Lake，the study employed the microscopic examination and hydrochemical analysis to investigate the phytoplankton community structure and water environmental factors of Daihai Lake in 2023. Single factor evaluation method，phytoplankton diversity index and comprehensive trophic status index were used to evaluate the water quality in Daihai Lake. The results showed that a total of 45 species belonging to 28 genera and seven phyla were identified in Daihai Lake，with Bacillariophyta（48. 89%）and Chlorophyta（28. 89%）being the dominant phyla. Among these，nine species were identified as dominant species. *Synedra pulchella* was the absolutely dominant species in spring，while *Characium* sp. and *Schroederia* sp. were the absolutely dominant species in summer and autumn. The average cell density of phytoplankton in Daihai Lake was 12. 93 × 10^4 cells/L，with an average biomass of 125. 86 μg/L，both indices were significantly higher in summer and autumn than those in spring. The annual average values of the Shannon-Wiener diversity index and richness index were 1. 95 and 0. 96，respectively. Based on biodiversity index evaluation，the trophic state of Daihai Lake was assessed as mesotrophic to moderate eutrophic in spring and autumn，and moderate eutrophic to eutrophic in summer. The results by single factor evaluation method showed that the water quality of Daihai Lake was inferior to Class Ⅴ，with the total nitrogen，permanganate index and total phosphorus identified as the primary influencing factors. The annual mean comprehensive trophic status index of Daihai Lake was 53. 81，indicating that the water body was in a state of light eutrophication across all seasons. In summary，the phytoplankton community of Daihai Lake was dominated by Bacillariophyta and Chlorophyta in 2023，with low levels of density，biomass and species diversity. The water body was in a state of light to moderate eutrophication. Sustained efforts should be devoted to enhancing the systematic monitoring and comprehensive protection of the ecological environment of Daihai Lake.

Key words：Daihai Lake；Phytoplankton；Community structure；Water quality assessment

岱海是内蒙古地区典型的内陆封闭咸水湖泊，是黄河流域和“一湖两海”生态环境保护与高质量发展的重要研究区域。该湖泊在涵养水源、调节气候、修复生态等方面发挥重要作用。近年来，受气候变化和农业开发利用、工业发展等高强度人类活动的影响，岱海流域出现了湖泊水位下降、湖面萎缩、生物多样性减少等环境问题[1]。水质评价是河湖水生态健康评估、水资源合理开发与保护的重要

收稿日期：2025-12-09
基金项目：内蒙古高等学校科学研究项目（NJZZ23042）；内蒙古农业大学青年教师科研能力提升专项项目（BR230153）；呼和浩特市科技创新领域人才项目（RZ2500004442）
作者简介：乌 兰（1979—），女，蒙古族，副教授，硕士，主要从事水产动物营养与水域生态方面的研究，E-mail：largewlwl@163. com；*为通信作者，罗旭光（1966—），男，副教授，硕士，主要从事水生生物学方面的研究，E-mail：luoxuguang899@163. com

依据[2]。目前有关岱海水质、水体和沉积物中营养盐及微生物的报道较多。郭鹏程等[3]认为,岱海水质变化主要受外来污染物输入量与湖区蓄水量的显著影响;杨文焕等[4]认为,岱海沉积物中总氮、总磷季节性差异不显著,沉积物氮污染指数较高;张雨晴等[5]认为,岱海入湖河流、湖水及沉积物中细菌群落结构存在明显差异。而针对岱海浮游植物群落特征及环境因子的系统研究相对薄弱,现有研究多集中于内蒙古高原多个湖泊浮游植物群落特征的区域差异分析[6-7]。虽然郭宇鹏[8]研究了岱海生态补水前后浮游植物群落结构特征及其环境影响因子,但全年多季节连续观测数据仍显不足。浮游植物是水生态系统最重要的初级生产者,因其发育周期短且对水环境变化敏感,浮游植物群落结构作为水域生态环境的指示群落[9],在水环境修复、生态保护和健康养殖中发挥重要作用[10]。本研究于2023年对岱海湖水体浮游植物与水环境因子进行周年调查研究,采用浮游植物多样性指数和综合营养状态指数分析其水环境质量,旨在全面了解岱海浮游植物群落结构特征及水质状况,研究结果对岱海水生态保护及修复具有重要的理论意义与实践价值。

1　材料与方法

1.1　采样点设置

2023年5月(春季)、7月(夏季),9月(秋季)对岱海湖进行取样调查,依据岱海湖形态特征、地理状况、水文条件,共在水域内设置7个采样点,分别为弓坝河(S1)、步量河(S2)、天成河(S3)、大河沿河(S4)、湖心最深处(S5)、索代沟(S6)、三苏木水位站(S7),采样点位置分布见图1。

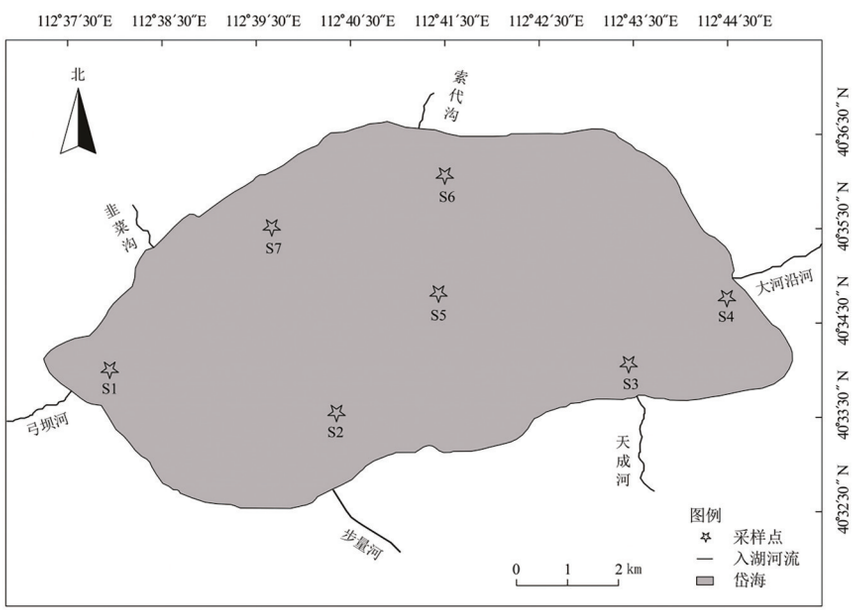


图1　岱海采样点位置

Fig. 1　Location of sampling points in Daihai Lake

1.2　样品的采集与测定

浮游植物样品:浮游植物定性样品采集使用25号浮游生物网,在水面下约0.5 m处作“∞”字形来回拖动3~5 min,并将网内浓缩样品置于样品瓶中,用4%甲醛溶液固定。浮游植物定量样品使用1 L有机玻璃采水器根据水深分层采样。当水深≤5 m时,取表层水样;5 m<水深≤10 m时,分上、下2层采样,各层水样等量混合后取1 L加入15 mL鲁哥试液固定。样品带回实验室静置48 h,吸取上清液浓缩并定容至50 mL。在光学显微镜下借助Algae C软件对样品进行种类鉴定和细胞计数。物种分类鉴定主要依据《中国淡水藻类:系统、分类及生态》和《中国常见淡水浮游藻类图谱》等资料[11-12]。采用0.1 mL计数框在10×40倍显微镜下观察计数,每个样品计数3片,取平均值即为计数结果。

理化因子样品:水质检测样品采集与浮游植物定量样品采集同时进行,现场测定水温(WT)、溶解氧(DO)、pH值、盐度(Sal)和透明度(SD)。参照《水和废水监测分析方法》(第四版)[13]测定氨氮(NH_3-N)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、总氮(TN)、总磷(TP)和叶绿素a(Chl-a)。

1.3 数据处理

采用计数框行格法计算浮游植物密度,细胞体积法计算浮游植物生物量[14]。利用Shannon-Wiener多样性指数(H')、物种丰富度指数(Margalef指数,D)评价浮游植物物种多样性[15];采用优势度(Y)判断浮游植物的优势种,且$Y\geq 0.02$为优势种,$Y>0.1$为绝对优势种[16]。以Chl-a、TN、TP、SD和COD_{Mn}为参数,利用综合营养状态指数(TLI)和浮游植物H'和D评价湖泊营养状态[17-18]。使用SPSS Statistics 24.0对浮游植物群落参数及水环境因子进行单因素方差分析(one-way ANOVA)。使用Excel 2016和Origin 2021整理数据并作图。

2 结果与分析

2.1 浮游植物群落特征

2.1.1 物种组成与优势种

调查期间岱海共鉴定出浮游植物7门28属45种(表1),以硅藻(Bacillariophyta)为主,共有9属22种,占比48.90%;其次为绿藻(Chlorophyta,10属13种)和蓝藻(Cyanophyta,5属6种),占比分别为28.89%和13.33%;甲藻(Pyrrophyta)、裸藻(Euglenophyta)、金藻(Chrysophyta)和隐藻(Cryptophyta)均为1种,各占2.22%。不同季节浮游植物物种组成见图2,秋季种类最多(31种),夏季次之(23种),春季最少(19种)。各季节浮游植物物种组成均以硅藻门、绿藻门和蓝藻门为主,硅藻门在各季节占比最高,分别为73.68%、65.22%和38.71%,绿藻门和蓝藻门随季节变化呈增高趋势,其他门类仅在秋季少量出现。

表1 岱海浮游植物门类组成

Table 1 Composition of phytoplankton phyla in Daihai Lake

门类	种数	占比/%
绿藻门	13	28.89
硅藻门	22	48.90
蓝藻门	6	13.33
甲藻门	1	2.22
裸藻门	1	2.22
金藻门	1	2.22
隐藻门	1	2.22
总数	45	100

由表2可知,调查期间岱海共出现浮游植物优势种9种,隶属于2门6属。春季优势种最多,主要为硅藻门种类,美小针杆藻(*Synedra pulchella*)为绝对优势种。夏、秋季优势种主要为绿藻门种类,小桩藻(*Characium* sp.)和弓形藻(*Schroederia* sp.)为绝对优势种。

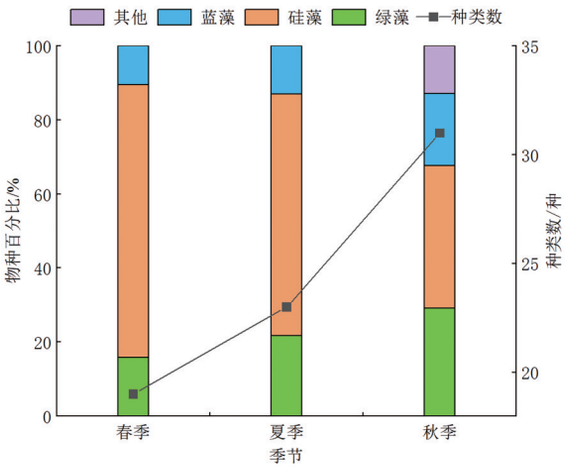


图2 岱海不同季节浮游植物物种组成

Fig. 2 Phytoplankton species composition in different seasons in Daihai Lake

表2 岱海浮游植物优势种及优势度

Table 2 Dominant species and dominance of phytoplankton in Daihai Lake

门类	优势种	优势度		
		春季	夏季	秋季
硅藻门	双头针杆藻(*Synedra amphicephala*)	0.07		
	美小针杆藻(*Synedra pulchella*)	0.22		
	针杆藻(*Synedra* sp.)	0.06		0.08
	短小舟形藻(*Navicula exigua*)	0.10		
	喙头舟形藻(*Navicula rhynchocephala*)	0.07		
	针形纤维藻(*Ankistrodesmus acicularis*)	0.09		
绿藻门	小桩藻(*Characium* sp.)		0.35	0.54
	弓形藻(*Schroederia* sp.)		0.55	0.12
	卵囊藻(*Oocystis* sp.)			0.04

2.1.2 密度、生物量及多样性指数

岱海浮游植物密度和生物量分布特征见图3。各季节浮游植物平均细胞密度依次为0.28×10^4个/L、25.79×10^4个/L和12.37×10^4个/L,夏、秋季均显著高于春季($P<0.05$)。春季硅藻门密度最高(87.35%),其次是绿藻门(10.82%),夏、秋季绿藻门密度最高(夏季:94.47%;秋季:66.22%),硅藻门次之(夏季:5.36%;秋季:30.53%),各季节蓝藻门密度均较低,调查期间仅秋季出现少量其他门类藻类。各采样点浮游植物密度,除弓坝河(S1)和天成河(S3)附近秋季浮游植物密度最高外,其余采样点均夏季最高,春季最低;春、秋季峰值位于天成河(S3)附近,夏季索代沟(S6)附近最高。

各季节浮游植物平均生物量依次为21.55 ug/L、151.07 ug/L和204.97 ug/L,夏、秋季均显著高于春季($P<0.05$)。硅藻门和绿藻门的生物量在各季节均占明显优势,春季以硅藻门为主,占总生物量的比例高达99.69%,夏季绿藻门生物量最高(76.26%),硅

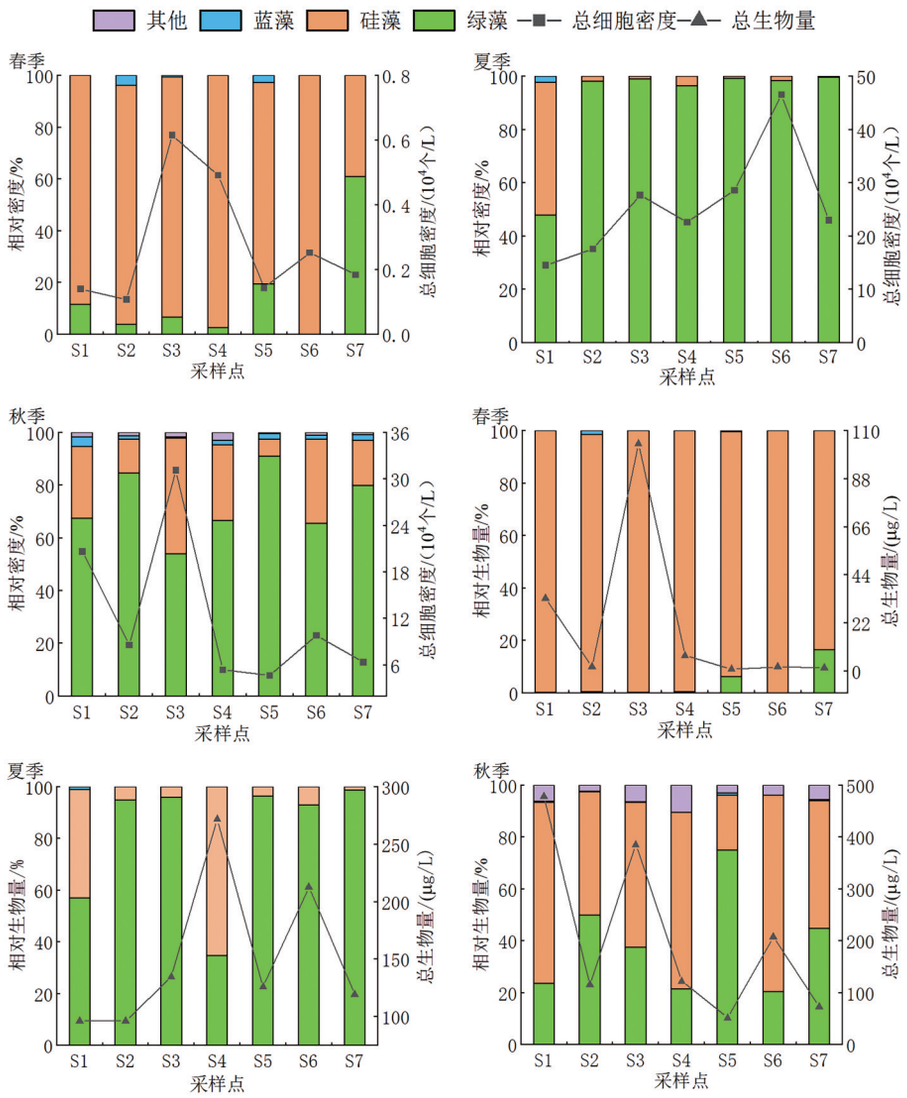


图 3　岱海不同季节浮游植物密度、生物量分布

Fig. 3　Distribution of phytoplankton abundance and biomass in different seasons in Daihai Lake

藻门次之(23.62%)，秋季硅藻门生物量最高(62.09%)，绿藻门次之(31.74%)，各季节蓝藻门生物量较低。各采样点浮游植物总生物量均春季最低，弓坝河(S1)、步量河(S2)和天成河(S3)附近秋季生物量最高，其余采样点夏季生物量最高；春、秋季天成河(S3)和弓坝河(S1)附近生物量较高，夏季苜花河(S4)和索代沟(S6)附近生物量较高。

岱海浮游植物多样性指数结果如表3。各样点Shannon-Wiener多样性指数(H')为0.89~3.11，春季天成河附近(S3)最高，夏季湖心处(S5)最低。各样点Margalef指数(D)为0.16~1.94，秋季步量河(S2)附近最高，夏季三苏木水位站附近(S7)最低。H'和D的各季节均值均表现为春、秋季显著高于夏季(P<0.05)。

2.2　水环境因子的变化特征

由表4可知，研究期间，DO、SD、TN、叶绿素a的变化范围分别为5.80~13.70 mg/L、0.55~3.48 m、3.50~4.94 mg/L和0.13~4.00 ug/L，且各因子季节间均无显著差异(P>0.05)；水温变化范围为14.30~25.10 ℃，夏季最高，春季最低，且各季节间差异显著(P<0.05)；pH的变化范围为8.95~9.15，春季显著高于夏季(P<0.05)；盐度和NH_3-N变化范围分别为15.4‰~18.5‰和0.33~0.51 mg/L，二者均表现为夏、秋季显著高于春季(P<0.05)；TP变化范围为0.08~0.17 mg/L，秋季显著高于春、夏季(P<0.05)；COD_{Mn}的变化范围为22.7~28.3 mg/L，春季显著高于秋季(P<0.05)；综合营养状态指数(TLI)各季节均值处于50~60之间，季节差异不显著，水体均处于轻度富营养状态。

表3 岱海浮游植物多样性指数的季节变化

Table 3 Seasonal variation of phytoplankton diversity indices in Daihai Lake

多样性指数	季节	点位							平均值±标准差
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
H′	春季	2.46	2.65	3.11	2.95	2.73	1.88	2.11	2.55±0.44^{a}
	夏季	1.81	1.17	1.01	1.16	0.89	0.96	1.01	1.14±0.31^{b}
	秋季	2.30	1.50	1.97	2.60	2.13	2.35	2.22	2.15±0.35^{a}
D	春季	1.10	1.00	1.49	1.18	1.10	0.51	0.80	1.02±0.31^{a}
	夏季	1.01	0.41	0.40	0.97	0.40	0.31	0.16	0.52±0.33^{b}
	秋季	1.39	1.94	1.26	1.56	1.21	1.04	1.08	1.35±0.31^{a}

注：同列数据上标字母不同表示组间差异显著（$P<0.05$）。

表4 岱海水环境因子的季节变化

Table 4 Seasonal variations of water environmental factors in Daihai Lake

水质参数	春季	夏季	秋季
WT/℃	15.81±1.09^{c}	23.61±1.22^{a}	20.16±0.96^{b}
DO/（mg/L）	8.74±0.60^{a}	7.32±2.84^{a}	7.93±0.50^{a}
pH	9.08±0.01^{a}	8.97±0.04^{b}	9.06±0.04^{a}
盐度/‰	16.10±0.46^{b}	17.98±0.33^{a}	18.17±0.28^{a}
SD/m	1.88±0.89^{a}	2.19±0.80^{a}	2.16±0.49^{a}
NH_3-N/（mg/L）	0.38±0.04^{b}	0.43±0.05^{a}	0.46±0.05^{a}
TP/（mg/L）	0.10±0.01^{b}	0.09±0.01^{b}	0.13±0.02^{a}
TN/（mg/L）	4.41±0.14^{a}	4.37±0.48^{a}	4.06±0.44^{a}
COD_{Mn}/（mg/L）	27.33±0.63^{a}	25.96±1.55^{ab}	24.16±0.91^{b}
Chl-a/（μg/L）	0.83±0.40^{a}	1.18±1.39^{a}	0.95±0.64^{a}
TLI	54.65±2.53^{a}	53.19±2.60^{a}	53.60±2.88^{a}

注：同行数据上标字母不同表示组间差异显著（$P<0.05$）。

3 讨论

3.1 岱海浮游植物群落结构特征

浮游植物群落是水生态系统的重要组成部分，其种类组成、丰度及生物量分布通常呈季节性变化[19]，且不同生境中浮游植物的群落组成具有一定的差异[20]。本研究于岱海2023年共鉴定出浮游植物7门28属45种，其中，绿藻门和硅藻门在所有门类中总占比为77.79%，各季节浮游植物中硅藻门占比最高，其次为绿藻门。因此，调查期间岱海浮游植物群落结构类型为硅藻-绿藻型。这与同属内蒙古的高原湖泊呼伦湖和乌梁素海的浮游植物群落组成相似[21-22]。岱海秋季种类最多（31种），夏季次之（23种），春季最少（19种），且春季浮游植物密度和生物量均最低，可能与夏、秋季水温（23.61 ℃和20.16 ℃）显著高于春季水温（15.81 ℃），更适合大多数浮游植物的生长有关。水温可通过调控浮游植物光合作用的酶促反应和呼吸作用的强度直接影响浮游植物的生长，也可通过影响浮游植物的生长水环境间接影响其生长[23]。在一定范围内，水温升高可加快浮游植物的光合作用与呼吸作用速率，改善其生存环境和营养资源，促进浮游植物大量繁殖和快速增长[24-25]。本研究在岱海共检出浮游植物优势种2门6属9种，且优势种为硅藻门和绿藻门种类，这与该湖泊浮游植物种群结构特征相吻合。硅藻喜冷水，绿藻喜好温度较高的水环境，且硅藻的硅质外壳较重，缺乏运动鞭毛，在静水中易沉降，在混合水中易保持悬浮状态[26-27]。春季优势种以硅藻门种类为主，可能与岱海春季水温偏低、水体受风力作用流速较大有关。小桩藻和弓形藻为岱海夏、秋季的绝对优势种，可能与该季节水温升高、适合绿藻门植物生长有关，也与水体蒸发强烈，导致盐度升高，小桩藻和弓形藻耐盐性更强有关。

岱海夏季浮游植物细胞密度高于秋季，但生物量低于秋季，夏季呈现绿藻门密度最高、硅藻门次之，秋季则以硅藻门生物量最高。其原因可能为夏季绿藻门的小桩藻和弓形藻数量较多，该藻类细胞极小、湿重较低，而秋季增加的硅藻门针杆藻属个体细胞相对较大湿重较高。岱海浮游植物历史调查结果显示，2011年8月吴东浩等[28]共鉴定出浮游植物19种，平均密度1.35×10^{7}个/L；2019年和2020年7月王世欢等[18]共鉴定出浮游植物44种，平均密度0.18×10^{5}个/L；2022年9月郭宇鹏[8]共鉴定出浮游植物40种，平均密度33.39×10^{5}个/L，平均生物量2.257 mg/L。本研究2023年对岱海共鉴定浮游植物45种，夏、秋季浮游植物平均密度和平均生物量分别为1.908×10^{5}个/L和178.02 ug/L，与历史调查结果对比，种类数较2011年增多26种，与2019—2022年调查结果相近，平均密度相比2011年和2022年下降1~2个数量级，平均生物量较2022年明显下降。岱海是内陆封闭型咸水湖，近年来湖区盐

度、矿化度及有机污染物浓度逐渐升高可能在一定程度上抑制了适宜淡水生境的浮游植物生长[29-30]。本研究岱海盐度和COD_{Mn}浓度均较高，年均值分别为17.47‰和25.81 mg/L。盐度通过调节浮游植物渗透压影响其生长，高盐环境中，浮游植物需消耗更多能量来维持渗透压平衡，但其调节能力有限，当环境盐度持续升高，导致胞外渗透压超过生理耐受阈值时，多数种类将逐渐丧失活性直至死亡[31-32]。COD_{Mn}主要指示水体中有机污染物的浓度，其浓度升高可加速营养盐再生，促进浮游植物繁殖，但当有机污染负荷过高时，可能会抑制浮游植物的生长[30]。此外，据文献报道和实际调查，岱海湖中未发现鱼类，但其浮游动物生物量较高，且以枝角类和桡足类数量居多[33]。浮游动物以浮游植物为食，而鱼类摄食浮游动物。因此，本研究认为岱海浮游植物密度和生物量较低也与湖中无鱼类、浮游动物数量较多且大量摄食浮游植物有关。

岱海H'各季节均值分别为2.55、1.14和2.15，D各季节均值分别为1.02、0.52和1.35。与密度和生物量在夏、秋季显著增加不同，岱海夏季H'和D均显著低于春、秋季。通常，多样性指数降低，意味着浮游植物群落结构趋于简单，稳定性变差[34]。夏季H'和D降低，可能因夏季较高的水温和盐度，强化了具有快速生长、强竞争能力的小桩藻和弓形藻的优势[35]，导致水体物种多样性下降，群落结构趋于简单。此外，有研究认为高TN/TP的湖泊中绿藻更易成为优势种[36]。本研究岱海夏季TN/TP达48.5，远高于浮游植物生长需要的16∶1[37]，这可能是夏季小桩藻和弓形藻大量繁殖的原因之一。本研究结果显示，岱海浮游植物细胞密度、生物量和多样性指数的高值区位于天成河、索代沟、弓坝河入湖河流附近，这可能与入湖河流输入大量外源性营养物质有关。此外，孟爽等[38]认为，湖区风向、风力、水动力和水深等因素也会影响浮游植物的空间分布。

3.2　岱海水环境的季节变化及水质评价

本研究发现，WT、pH、盐度、NH_3-N、TP和COD_{Mn}为岱海季节变化较大的环境因子，且WT在不同季节间差异均显著，这与内蒙古呼伦湖2023年的水环境特征相似[21]。本次调查期间水体pH在8.95~9.15之间，夏季最低，这与王芳[39]对岱海2019年5—9月的水质监测结果（pH 8.70~9.36，春季5月最高，夏季降低）和郭宇鹏[8]对岱海2021—2022年秋季的监测结果相似（pH 8.97~9.00），夏季pH降低，可能与该季节降雨量增大导致湖泊的稀释有关。本研究盐度和NH_3-N夏、秋季显著高于春季，其原因可能与岱海夏、秋季温度高、光照强和蒸发量大，以及该季节农田退水和人类活动频繁引起湖泊外源性营养物质输入增加有关[40]。侯元松等[41]认为COD值越高，水体受各种有机物等还原性物质的污染程度越高。本研究COD_{Mn}春季高于夏、秋季，可能因为岱海冬季冰封期长，冰下沉积物中积累了大量有机物，春季水温升高，风力增强，沉积物受风浪作用将储存的有机质释放到上覆水中，以及春季初雨形成地表径流，将流域内冬季积累的秸秆、畜禽粪便等有机污染物带入水体。本研究调查期间DO和NH_3-N含量均达到Ⅱ类水质标准，TP含量达到Ⅳ~Ⅴ类水质标准，而TN和COD_{Mn}含量均超过Ⅴ类水质标准，pH 8.95~9.15，盐度15.4‰~18.5‰，基于单因子评价法[42]，岱海总体上盐碱度偏高且以劣Ⅴ类水质为主，这与杨文焕等[43]的研究结果基本一致。本研究TLI表明岱海全年处于轻度富营养状态，H'和D表明岱海春、秋季处于中营养-中富营养状态，夏季处于中富-富营养状态。两种指数对岱海春、秋季水体富营养程度评价结果相近，而夏季多样性指数的评价结果略高。其原因可能与夏季各样点浮游植物种类少，除优势种小桩藻和弓形藻外，其余藻类数量较少有关。杜红春等[44]认为，多样性指数是基于浮游植物的种类和数量来评价水体，水体浮游植物种类和数量少，可能会得出富营养化程度或污染程度较高的结论。综合两种评价结果，本研究认为岱海2023年水体处于轻度-中度富营养状态。这与岱海2020—2023年水体为轻度-中度富营养状态的研究结果相近[7,43]。本研究期间岱海TP含量达到Ⅳ~Ⅴ类水质标准，而TN达到劣Ⅴ类标准。氮磷作为浮游植物生长的必要元素和引起湖泊富营养化的重要因子，其污染可能源于农业退水、工业废水和城镇生活污水的外源性营养物质输入，以及湖泊沉积物的内源性释放[4,45]。针对岱海富营养化问题及流域生态修复需求，建议通过生态补水与工农业节水稳固湖体水量，依托全流域多源污染管控体系削减营养盐入湖通量，借助湖滨湿地修复与关键生物群落重建提升水体自净能力，为岱海水生态系统的持续改善奠定基础。

4　结论

2023年岱海3次调查共鉴定浮游植物7门28属

45种,种类组成以硅藻门和绿藻门为主,其中,美小针杆藻为春季绝对优势种,小桩藻和弓形藻为夏、秋季绝对优势种。岱海浮游植物平均细胞密度为12.93×10^4 个/L,平均生物量为125.86 ug/L,夏、秋季密度和生物量均显著高于春季。Shannon-Wiener多样性指数和丰富度指数年均分别为1.95和0.96,综合营养状态指数年均为53.81。岱海总体上盐碱度偏高且以劣Ⅴ类水质为主,水体处于轻度-中度富营养状态,湖泊水质主要受TN、COD_{Mn}和TP影响。

参考文献:

[1] 马 芳,冯金朝. 人类活动对内蒙古岱海湖影响[J]. 中央民族大学学报(自然科学版),2017,26(1):77-83.

[2] 朱挺兵,杜红春,胡晓娜,等. 基于水质综合指数的澜沧江西藏段水质评价及其影响因素[J]. 淡水渔业,2022,52(5):104-111.

[3] 郭鹏程,杨司嘉. 岱海水质变化规律及成因分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2021,42(1):40-46.

[4] 杨文焕,张晓学,姚 植,等. 岱海沉积物营养盐时空分布特征及污染评价[J]. 环境科学与技术,2022,45(9):153-159.

[5] 张雨晴,邵克强,胡 洋,等. 岱海水体及沉积物细菌多样性及群落组成特征[J]. 湖泊科学,2022,34(6):2070-2082.

[6] 徐兆安,马桂芬,吴东浩,等. 内蒙古典型湖泊夏季浮游植物群落特征及与环境变量的关系[J]. 水生态学杂志,2012,33(4):58-62.

[7] 张翔宇. 内蒙古自治区湖泊富营养化进程及浮游植物群落结构空间变化的驱动因素[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2023.

[8] 郭宇鹏. 岱海补水前后水生生物群落结构变化及其驱动因子[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2024.

[9] 王飞虎,杨 越,张 洋,等. 黄河流域河南段浮游藻类功能群分布特征及影响因子[J]. 水生生物学报,2024,48(3):513-523.

[10] 耿志远,赵乐乐,贾 欣,等. 山西省册田水库浮游生物群落结构的季节差异及功能群特征[J]. 大连海洋大学学报,2024,39(1):101-113.

[11] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类:系统、分类及生态[M]. 北京:科学出版社,2006.

[12] 翁建中,徐恒省. 中国常见淡水浮游藻类图谱[M]. 上海:上海科学技术出版社,2010.

[13] 魏复盛. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.

[14] 中华人民共和国农业部. 淡水浮游生物调查技术规范:SC/T 9402—2010[S]. 北京:中国农业出版社,2011.

[15] 包跃先,滕学灵,乌 兰. 前窑子水库网箱养殖区浮游植物群落结构的初步研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2021,42(5):16-19.

[16] 王贞珍,刘 敏. 乌梁素海浮游植物群落特征及湖区富营养状态研究[J]. 水文,2024,44(4):98-103.

[17] 王明翠,刘雪芹,张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测,2002,18(5):47-49.

[18] 王世欢,张 生,武 蓉,等. 寒旱区湖泊浮游植物特征及其对营养状态的指示作用[J]. 中国环境科学,2023,43(1):311-320.

[19] 吴 洁,虞左明. 西湖浮游植物的演替及富营养化治理措施的生态效应[J]. 中国环境科学,2001,21(6):540-544.

[20] REYNOLDS C S. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability[J]. Freshwater Biology,1984,14(2):111-142.

[21] 张 轶,白 凯,史李萍,等. 呼伦湖浮游植物群落结构特征及其驱动因子[J]. 生态学杂志,2025,44(7):2123-2131.

[22] 梁 帅,邹清洋,田世民,等. 乌梁素海浮游植物群落及其对生态补水的响应特征[J]. 环境科学研究,2025,38(11):2549-2560.

[23] 王三秀,魏 莱,王 爽,等. 上海水源地毗邻湖库浮游植物群落结构的季节变化及其影响因子[J]. 湖泊科学,2022,34(4):1127-1139.

[24] 王锦旗,宋玉芝,黄 进. 水温升高对水体性质及水生生物的影响研究进展[J]. 水生态学杂志,2020,41(1):100-109.

[25] 白海锋,贺旭波,张红强,等. 沙漠湖泊红碱淖浮游植物群落季节变化及其与环境因子的关系[J]. 湿地科学,2024,22(2):155-168.

[26] 刘晓曦,陈 丽,蒋伊能,等. 抚仙湖浮游植物群落时空变化特征及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学,2020,32(3):793-803.

[27] 马桂英. 祁连山六大流域浮游生物群落结构特征及其影响因素研究[D]. 兰州:兰州大学,2022.

[28] 吴东浩,徐兆安,马桂芬,等. 内蒙古典型湖泊夏季浮游植物群落结构特征及变化[J]. 水文,2012,32(6):80-85.

[29] 杨文焕,甄 玉,姚 植,等. 高原盐化湖泊沉积物氮代谢特征解析[J]. 中国环境科学,2023,43(3):1328-1339.

[30] 孙彩涓,张明珠,陈玉鹏,等. 黄陂湖浮游生物群落结

构及影响因素[J]. 中山大学学报(自然科学版),2026,65(1):116-123.

[31] 李立群. 长江口海域浮游生物群落结构特征及其影响因素研究[D]. 沈阳:沈阳大学,2024.

[32] SUN C C, WANG Y S, WU M L, et al. Seasonal variation of water quality and phytoplankton response patterns in *Daya* Bay, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2011, 8(7): 2951-2966.

[33] 马　鑫,高　峰,杨　宇,等. 岱海水质及水生物状况分析[J]. 广东水利水电,2023(9):8-12.

[34] 谭　香,夏小玲,程晓莉,等. 丹江口水库浮游植物群落时空动态及其多样性指数[J]. 环境科学,2011,32(10):2875-2882.

[35] 毕列爵. 中国淡水藻志[M]. 北京:科学出版社,2004.

[36] BERNARDI AUBRY F, ACRI F, FINOTTO S, et al. Phytoplankton dynamics and water quality in the Venice lagoon[J]. Water, 2021, 13(19): 2780.

[37] COLLINS S M, OLIVER S K, LAPIERRE J F, et al. Lake nutrient stoichiometry is less predictable than nutrient concentrations at regional and sub-continental scales[J]. Ecological Applications, 2017, 27(5): 1529-1540.

[38] 孟　爽,姚亦鹏,胡冰涛,等. 蒙新高原岱海夏季叶绿素a浓度空间分布及影响因子[J]. 湖泊科学,2023,35(4):1255-1267.

[39] 王　芳. 岱海湖泊水质时空分布特征分析及富营养化评价[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.

[40] DE MELLO K, VALENTE R A, RANDHIR T O, et al. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone[J]. CATENA, 2018, 167: 130-138.

[41] 侯元松,谢志磊,田永莉,等. 2003—2020年黄河内蒙古段干流水质演变趋势[J]. 环境科学,2024,45(7):3965-3972.

[42] 乌　兰,王　俊. 基于两种评价方法的内蒙古哈素海水环境质量评价分析[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学版),2024,53(4):427-433.

[43] 杨文焕,李艳芳,张明宇,等. 基于长时间序列内蒙古典型湖泊水质变化特征及趋势分析[J]. 湖泊科学,2025,37(4):1249-1265.

[44] 杜红春,王晓宁,吴　虎,等. 汉江中下游浮游植物群落结构、功能群特征及水质评价[J]. 长江流域资源与环境,2021,30(8):1839-1847.

[45] 高静淅,汤世科,刘文理,等. 不同类型湖泊DOM光谱特征及来源的季节性变化[J]. 环境科学,2025,46(4):2154-2164.