

淮河流域江苏段浮游植物优势种时空生态位

黄艳芬 刘凌 张顺婷 姜丰

SPATIO-TEMPORAL NICHE OF PHYTOPLANKTON DOMINANT SPECIES IN JIANGSU SECTION OF HUAIHE RIVER BASIN

HUANG Yan-Fen, LIU Ling, ZHANG Shun-Ting, JIANG Feng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0171>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长湖浮游植物优势种季节演替及生态位分析

SEASONAL SUCCESSION AND ECOLOGICAL NICHE ANALYSIS OF THE DOMINANT SPECIES OF PHYTOPLANKTON IN CHANGHU LAKE

水生生物学报. 2020, 44(3): 612–621 <https://doi.org/10.7541/2020.075>

浙南近海头足类种类组成及生态位分析

ANALYSIS ON SPECIES COMPOSITION AND ECOLOGICAL NICHE OF CEPHALOPOD IN THE COASTAL AREA OF SOUTH ZHEJIANG

水生生物学报. 2021, 45(2): 428–435 <https://doi.org/10.7541/2021.2018.262>

仙女湖及入湖河流浮游植物功能类群与环境因子的相互关系

RELATIONSHIP BETWEEN PHYTOPLANKTON MORPHOLOGY-BASED FUNCTIONAL GROUPS AND ENVIRONMENTAL FACTORS OF DIFFERENT HABITAT IN THE LAKE XIANN AND INFLOW RIVERS

水生生物学报. 2018, 42(3): 622–634 <https://doi.org/10.7541/2018.078>

稻虾共作水体浮游植物群落结构特征分析

CHARACTERISTICS OF COMMUNITY STRUCTURE OF PHYTOPLANKTON IN THE INTEGRATED RICE-CRAYFISH SYMBIOSIS FARMING SYSTEM

水生生物学报. 2019, 43(2): 415–422 <https://doi.org/10.7541/2019.051>

河南省淮河流域亚科5种鱼形态差异分析

MORPHOLOGICAL DIFFERENCES AMONG FIVE SPECIES IN RHODEINAE IN HUAIHE RIVER BASIN IN HENAN PROVINCE

水生生物学报. 2019, 43(1): 123–132 <https://doi.org/10.7541/2019.16>

长江中游湖泊不同鱼类养殖方式对浮游植物群落的影响

EFFECTS OF AQUACULTURE ON PHYTOPLANKTON COMMUNITIES OF LAKES IN THE MIDDLE REACH OF THE YANGTZE RIVER BASIN

水生生物学报. 2018, 42(6): 1135–1143 <https://doi.org/10.7541/2018.139>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2024.2023.0171

淮河流域江苏段浮游植物优势种时空生态位

黄艳芬 刘 凌 张顺婷 姜 丰

(河海大学水文水资源学院, 南京 210098)

摘要: 为了探究淮河流域江苏段浮游植物时空不同维度上的物种间关系及其对环境资源的利用程度, 文章选取淮河流域江苏段的5条河流为研究对象, 设置18个采样点, 于2019—2022年丰水期进行调查。共鉴定出浮游植物8门89属238种, 通过计算优势度指数、生态位宽度、生态位重叠值和生态响应速率, 分析时间、空间和时空3个维度浮游植物优势种生态位特征。结果表明: 研究期间共鉴定出浮游植物优势种12种, 其中, 给水颤藻*Oscillatoria irriguum*、浮游席藻*Phormidium planctonica*和铜绿微囊藻*Microcystis aeruginosa*是四年共有的优势种, 均为蓝藻门。优势种生态位宽度表明, 时间生态位宽度值最大, 为0.406—0.945, 空间次之, 为0.175—0.647, 时空宽度值最小, 为0.054—0.396, 各维度上宽度值最小的均为点形平裂藻*Merismopedia punctata*, 时间、时空生态位宽度值最大的均为近细微丝藻*Ulothrix subtilissima*, 表现出较强的生态适应性。生态位重叠值在时间、空间和时空三个维度上 $O_{ik}>0.6$ 的分别占57.58%、27.27%和15.15%, 分别以高度、中度和低度重叠为主。生态响应速率之和在时间、空间维度上均为正数, 时空维度上为负数, 表明群落结构在时空维度上较时间和空间维度更加稳定。综合而言, 淮河流域江苏段浮游植物时间变化较小、优势种较为重叠; 空间变化较大、优势种差异较大; 总体浮游植物群落生态位分化程度较高, 种间竞争较弱, 群落结构较为稳定。

关键词: 淮河流域; 浮游植物; 优势种; 生态位宽度; 生态位重叠; 时空生态位

中图分类号: S932.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2024)03-0436-08



浮游植物作为水生态系统中的初级生产者, 在物质循环和能量流动的过程中起到基础性作用。优势种生态位是研究浮游植物群落结构及种间竞争的常用方法^[1]。生态位是物种在时间和空间上所占据的位置及其与相关物种间的功能关系与作用^[2], 反映了群落中物种对资源的利用状况及种间的相互作用关系^[3], 在群落结构、种间关系和群落演替等方面的研究中有广泛的应用^[4]。目前应用最广的方法是生态位宽度和生态位重叠。近年来生态位宽度和重叠多见于研究动物群落^[5]和陆生植物群落^[6]上, 而关于浮游植物生态位的研究多集中在湖泊、海洋等水域, 对河流的研究相对较少, 对河流浮游植物时空生态位的研究则更为缺乏。

淮河流域位于我国东部, 流域周围城市和人口集中, 是我国水污染较为严重的区域, 其水质的好

坏严重影响着社会经济的发展。目前对于淮河流域浮游植物的研究主要集中在中上游^[7-9], 对淮河下游的调查和研究较少。江苏省是淮河下游的主要流经地区, 该流域周围地形多为平原, 拥有着丰富的江河湖泊资源, 是典型的生态交错带流域^[10]。本文以淮河流域江苏段为研究对象, 分析浮游植物群落优势种的时空生态位, 分析不同维度下优势种之间相互作用的生态关系, 及其对时间、空间等环境资源的利用状况, 以期对淮河浮游植物的种间关系、生存状况、资源保护与利用提供基础资料, 为该流域生态系统健康发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 样点设置

本研究选取的研究对象为淮河流域江苏段的

收稿日期: 2023-05-27; 修订日期: 2023-09-25

基金项目: 国家自然科学基金(52170160和51879085)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (52170160 and 51879085)]

作者简介: 黄艳芬(1998—), 女, 硕士研究生; 研究方向为水生态环境保护与修复。E-mail: 2715086361@qq.com

通信作者: 刘凌(1964—), 女, 教授; 主要从事生态水文与水环境保护研究。E-mail: lingliu@hhu.edu.cn

5条河流,共设置18个采样点,分别为淮河的H1—H3,分淮入沂的H4—H6,淮河入江水道H7—H11,淮河入海水道H12—H14,苏北灌溉总渠的H15—H18,采样时间为2019—2022年的丰水期(图1)。

1.2 样品采集与处理

浮游植物定量样本用1 L的采水器分别在表层至0.5 m和0.5—1.0 m深处采样,充分混合后取1 L加入15 mL鲁哥氏液固定,带回实验室后沉淀、浓缩至30—50 mL用以定量计数^[11]。根据《中国淡水藻类-系统、分类及生态》^[12]中的方法在显微镜下对浮游植物样本进行种类鉴定和细胞计数,且所有种类鉴定到种。

1.3 数据处理

优势种 用Mcnaughton优势度指数(Y)^[13]来确定优势种,公式为:

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

式中, n_i 为第*i*种的数量, N 为各个采样点的物种总密度, f_i 为第*i*种的出现频率, $Y > 0.02$ 时为优势种。

生态位宽度 用修正的Levins指数计算^[14]生态位宽度(B_i),公式为:

$$B_i = \frac{1}{r \sum_{j=1}^r P_{ij}^2}$$

式中, P_{ij} 为物种*i*利用资源状态*j*的个体数占该种个体总数的比例, $P_{ij} = N_{ij}/N_i$, i 表示物种, j 表示资源, N_{ij} 为种群*i*利用资源状态*j*的数量, N_i 为种群*i*的总数量, r 为资源状态总数。

生态位重叠与生态响应速率 用Pianka指数

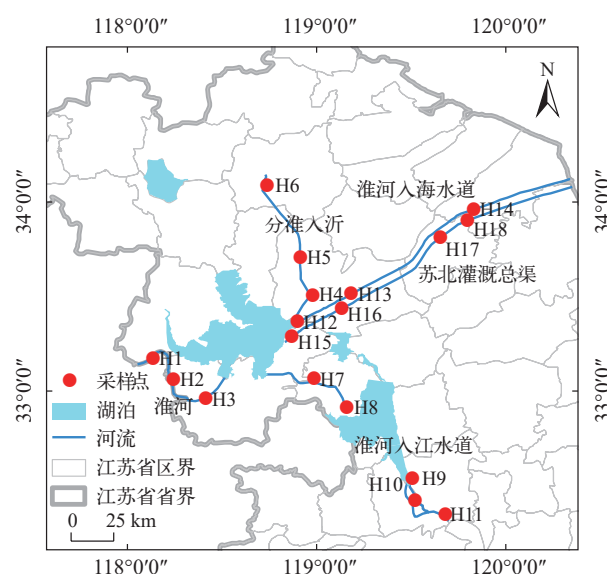


图1 淮河流域江苏段样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling points in Jiangsu section of Huaihe River Basin

计算^[15]生态位重叠指数(O_{ik}),公式为:

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^r (P_{ij} P_{kj})}{\sqrt{\sum_{j=1}^r P_{ij}^2 \sum_{j=1}^r P_{kj}^2}}$$

$$\Delta O_{ik} = \sum_{k=1} O_{ik} - \sum_{i=1} O_{ik}$$

$$R = B_i / \Delta O_{ik}$$

式中, O_{ik} 为物种*i*与物种*k*的生态位重叠指数,取值范围为0—1; P_{kj} 为物种*k*利用资源状态*j*的个体数占该种个体总数的比例。当*i=k*时, $\Delta O_{ik} < 0$,该种处于衰退期; $\Delta O_{ik} > 0$,该种处于发展期; $\Delta O_{ik} = 0$,为中性。 R 为生态响应速率。

时空生态位 时空二维生态位宽度、重叠可利用不同维度生态位宽度、重叠值的乘积来表示,即时空生态位宽度(重叠)=时间生态位宽度(重叠)×空间生态位宽度(重叠)。

1.4 数据统计分析

采样点布置图用ArcGIS软件绘制,浮游植物出现频率、优势度及丰度用Excel计算,优势种生态位宽度和重叠值用R4.2.1软件中的spaa包进行计算,优势种生态位宽度聚类图用SPSS软件绘制,生态位重叠图用Origin软件绘制。

2 结果

2.1 优势种

淮河流域江苏段2019—2022年夏季的18个样点共鉴定出浮游植物8门89属238种。2019年丰水期共鉴定出浮游植物115种,隶属于6门57属;2020年丰水期共鉴定出110种,隶属于6门49属;2021年丰水期共鉴定出123种,隶属于7门60属;2022年丰水期共鉴定出155种,隶属于8门74属。

2019—2022年丰水期共鉴定出优势种12种,蓝藻门有6种、绿藻门有2种,硅藻门有4种。其中,给水颤藻(*Oscillatoria irriguum*)、浮游席藻(*Phormidium planctonica*)和铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)是4个年份共有的优势种,均为蓝藻门。2019年共鉴定出8种浮游植物优势种;2020年共鉴定出6种浮游植物优势种;2021年共鉴定出4种浮游植物优势种;2022年共鉴定出7种浮游植物优势种。2019—2020年浮游植物优势种出现频率(f)、优势度(Y)及丰度(A)如表1所示。

2.2 生态位宽度

如表2所示,时间生态位的变化范围为0.406—0.945,平均值为0.589,生态位宽度最大的是近细微丝藻(*Ulothrix subtilissima*);空间生态位的变化范

表 1 2019—2022年浮游植物优势种出现频率(*f*)、优势度(*Y*)及丰度(*A*, ×10⁴ cells/L)

Tab. 1 Frequency (*f*), dominance (*Y*) and abundance (*A*, ×10⁴ cells/L) of phytoplankton dominant species during 2019—2022

优势种Dominant species	2019年			2020年			2021年			2022年		
	<i>f</i>	<i>Y</i>	<i>A</i>	<i>f</i>	<i>Y</i>	<i>A</i>	<i>f</i>	<i>Y</i>	<i>A</i>	<i>f</i>	<i>Y</i>	<i>A</i>
给水颤藻 <i>Oscillatoria irriguum</i>	0.471	0.038	17.689	0.722	0.120	51.569	0.667	0.083	6.342	0.833	0.194	8.991
浮游席藻 <i>Phormidium planctonica</i>	0.706	0.095	29.494	0.722	0.062	26.509	0.778	0.131	8.520	0.722	0.024	1.300
双点席藻 <i>Phormidium geminata</i>	0.529	0.033	13.742	0.167	0.002	3.797	0.167	0.004	1.179	—	—	—
类颤鱼腥藻 <i>Anabaena oscillarioides</i>	—	—	—	0.556	0.069	38.383	0.056	0.0002	0.173	0.667	0.024	1.365
点形平裂藻 <i>Merismopedia punctata</i>	0.353	0.020	12.426	0.111	0.001	1.657	0.278	0.004	0.740	0.500	0.064	5.096
铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	0.529	0.063	26.205	0.611	0.085	43.112	0.611	0.292	24.277	0.722	0.088	4.778
颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>	0.353	0.009	5.373	0.444	0.015	10.528	0.722	0.004	0.282	0.722	0.032	1.711
谷皮菱形藻 <i>Nitzschia palea</i>	0.765	0.020	5.848	0.556	0.002	0.863	0.222	0.00008	0.017	0.556	0.001	0.084
冠盘藻 <i>Stephanodiscus</i>	0.353	0.001	0.877	1.000	0.040	12.357	0.944	0.006	0.314	1.000	0.037	1.442
小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.	0.765	0.007	2.010	0.333	0.002	1.726	1.000	0.020	1.032	0.944	0.019	0.845
近细微丝藻 <i>Ulothrix subtilissima</i>	0.588	0.027	10.160	0.444	0.020	13.910	0.333	0.005	0.830	0.667	0.019	1.119
小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>	0.647	0.024	8.150	0.667	0.007	3.210	0.500	0.001	0.150	0.833	0.019	0.875

注: —表示该物种未在该年份出现

Note: — indicates that the species do not occur in that year

表 2 淮河流域江苏段浮游植物优势种生态位宽度

Tab. 2 Niche width of dominant phytoplankton species in Jiangsu section of Huaihe River Basin

物种 编号 No.	优势种 Dominant species	时间生态位 Temporal niche	空间生态位 Spatial niche	时空生态位 Spatio-temporal niche
S1	给水颤藻	0.706	0.259	0.183
S2	浮游席藻	0.528	0.481	0.254
S3	双点席藻	0.575	0.254	0.146
S4	类颤鱼腥藻	0.523	0.175	0.091
S5	点形平裂藻	0.406	0.134	0.054
S6	铜绿微囊藻	0.437	0.472	0.206
S7	颗粒直链藻	0.602	0.503	0.303
S8	谷皮菱形藻	0.488	0.553	0.270
S9	冠盘藻	0.585	0.473	0.277
S10	小环藻	0.603	0.647	0.391
S11	近细微丝藻	0.945	0.419	0.396
S12	小球藻	0.669	0.545	0.365

围为0.175—0.647, 平均值为0.410, 生态位宽度最大的是小环藻(*Cyclotella* sp.); 时空生态位的变化范围为0.054—0.396, 平均值为0.245, 生态位宽度最大的是近细微丝藻。在3个生态位指标中, 生态位宽度最小的均为点形平裂藻(*Merismopedia punctata*), 时间、时空生态位宽度值最大的均为近细微丝藻。

根据不同维度的生态位宽度, 对浮游植物优势种聚类, 可将优势种分为3类: 广生态位、中生态位和窄生态位类群(图 2)。

在时间维度上, 广生态位类群为近细微丝藻, 窄生态位类群为点形平裂藻和铜绿微囊藻, 中生态位类群为给水颤藻和浮游席藻等; 在空间维度上,

广生态位类群为小环藻, 窄生态位类群为给水颤藻、双点席藻(*Phormidium geminata*)、类颤鱼腥藻(*Anabaena oscillarioides*)和点形平裂藻, 中生态位类群为浮游席藻和铜绿微囊藻等; 在时空维度上, 广生态位类群为小环藻、近细微丝藻和小球藻(*Chlorella vulgaris*), 窄生态位类群为类颤鱼腥藻和点形平裂藻, 中生态位类群为给水颤藻和浮游席藻等。

2.3 生态位重叠

如图 3 所示, 在时间维度上, 重叠值最大(0.988)的是铜绿微囊藻和浮游席藻, 重叠值最小(0.167)的是铜绿微囊藻与谷皮菱形藻(*Nitzschia palea*)。在空间维度上, 重叠值最大(0.948)的是给水颤藻和类颤鱼腥藻; 重叠值最小(0.128)的是点形平裂藻和双点席藻。在时空维度上, 重叠值最大(0.777)的是冠盘藻(*Stephanodiscus*)和点形平裂藻, 重叠值最小(0.025)的是点形平裂藻和双点席藻。

如表 3 所示, 时间、空间和时空维度上分别以高度、中度和低度重叠为主。

2.4 生态响应速率

如表 4 所示, 在时间维度上, 近细微丝藻的正 ΔO_{ik} 最大, 说明近细微丝藻在该维度上为发展型, 且发展空间最大, 在时间资源的利用上与其他优势种相比更具有竞争优势。谷皮菱形藻有最大的负 ΔO_{ik} , 表示该种为衰退型且衰退空间最大。在空间维度上, 小环藻有最大的正 ΔO_{ik} , 其次是颗粒直链藻(*Melosira granulata*)的发展空间, 点形平裂藻有最大的负 ΔO_{ik} 。在时空维度上, 小环藻有最大的发展空间, 大于其他优势种, 衰退空间最大的是谷皮菱形藻。

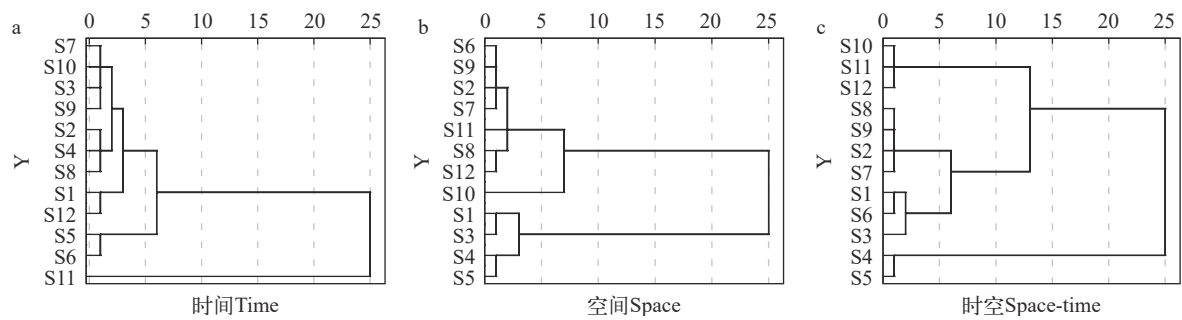


图2 淮河流域江苏段浮游植物优势种生态位宽度聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of niche width of dominant phytoplankton species in Jiangsu section of Huaihe River Basin

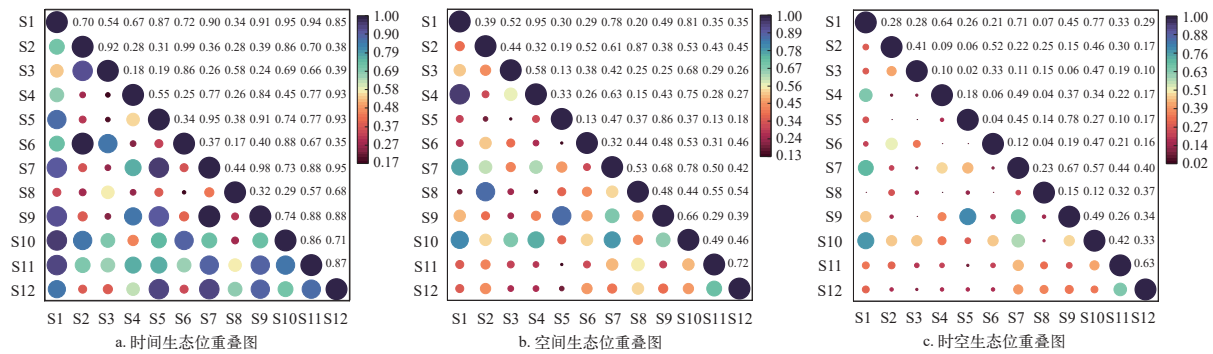


图3 浮游植物优势种3个维度的生态位重叠值

Fig. 3 Niche overlap values of phytoplankton dominant species in three dimensions

表3 不同维度生态位重叠值取值范围的种对数及百分比

Tab. 3 Species logarithm and percentage of the range of niche overlap values in different dimensions

生态位重叠值 Range of niche overlap values	时间Time		空间Space		时空Space-time	
	种对数 The number of species pairs	百分比 (%)	种对数 The number of species pairs	百分比 (%)	种对数 The number of species pairs	百分比 (%)
$O_{ik} > 0.6$	38	57.58	13	19.70	6	9.09
$0.3 < O_{ik} \leq 0.6$	18	27.27	37	56.06	22	33.33
$0 < O_{ik} \leq 0.3$	10	15.15	16	24.24	38	57.58

表4 三个维度上优势种相对占用资源量(ΔO_{ik})及生态响应速率(R)

Tab. 4 Relative resource occupancy (ΔO_{ik}) and Ecological response Rate (R) of dominant species in three dimensions

物种编号 No.	时间Time		空间Space		时空Space-time	
	ΔO_{ik}	R	ΔO_{ik}	R	ΔO_{ik}	R
S1	18.697	0.038	6.124	0.042	12.966	0.014
S2	-8.020	-0.066	2.647	0.182	-3.691	-0.069
S3	-16.086	-0.036	-8.615	-0.030	-11.731	-0.012
S4	-14.257	-0.037	0.311	0.563	-6.127	-0.015
S5	1.121	0.362	-17.599	-0.008	-8.725	-0.006
S6	-10.283	-0.042	-9.460	-0.050	-9.797	-0.021
S7	9.068	0.066	14.589	0.034	14.313	0.021
S8	-30.617	-0.016	-1.179	-0.470	-15.557	-0.017
S9	7.844	0.075	5.800	0.082	8.457	0.033
S10	12.548	0.048	19.151	0.034	18.169	0.021
S11	20.838	0.045	-6.825	-0.061	2.554	0.155
S12	9.145	0.073	-4.945	-0.110	-0.833	-0.438

生态响应速率(R)反映了优势种在不同生境下的响应情况。时间上,发展趋势最大($R=0.362$)的为点形平裂藻,衰退趋势最大($R=-0.066$)的为浮游席藻。空间上,类颤鱼腥藻有最大的发展趋势($R=0.563$),谷皮菱形藻有最大的衰退趋势($R=-0.470$)。时空上,近细微丝藻的发展趋势最强烈($R=0.155$),小球藻的衰退趋势最强($R=-0.438$)。结果还发现,除个别物种的发展或衰退速率极大,其余大多数物种的发展或衰退速率均较小,表明群落中大部分物种的发展或衰退趋势均处于较缓的状态。总体上看,浮游植物优势种在时间和空间维度上的生态响应速率之和均为正数(分别为0.511和0.208),在时空维度上的生态响应速率之和为负数(-0.334)。

3 讨论

3.1 浮游植物优势种

在调查期间,浮游植物优势种包括蓝藻门、绿

藻门和硅藻门。夏季水温较高,对高温耐受能力较强的给水颤藻、浮游席藻、类颤鱼腥藻和铜绿微囊藻等蓝藻易成为优势种。就营养盐而言,淮河下游多数河流受生产生活影响^[16],农村生活污水和农业化肥产生的污染物随灌溉水或雨水流入河流,水体营养盐浓度升高,浮游植物种类由清洁型转为耐污型,因此,给水颤藻、浮游席藻、铜绿微囊藻、小球藻和颗粒直链藻等耐污能力较强的物种大量繁殖^[17]。小环藻则具有表面积与体积之比较大的特点,能快速吸收水体的营养盐,因而适宜生活在营养盐较高的环境中^[16]。

此外,流域内水体在闸坝的控制下能够形成弱水动力条件,促使大量营养物质沉积^[8],为给水颤藻、浮游席藻的生长提供了更为有利的静水环境;多数河流承担航运功能,使得生活在频繁扰动且浑浊水体中的菱形藻等成为优势种。

3.2 优势种生态位宽度分析

生态位宽度是物种利用各种资源的总和,其值的大小可以反映物种的生态适应性,值越大,表明物种的分布范围越广,对各种资源的利用能力越强,种间竞争能力越强^[18]。

时间生态位宽度能够反映物种对时间资源的利用能力^[19]。该值越大,表明时间资源对物种发展的限制越小,物种在时间分布上越广泛,即出现的时间越长。浮游植物优势种时间生态位宽度为0.406—0.945,值较大表明该流域浮游植物优势种每年出现时间变化不大。近细微丝藻的时间生态位宽度值较大,反映了该物种在不同年份均分布广泛,受时间限制较小。时间生态位最小的是点形平裂藻,表明相对于其他优势种,点形平裂藻出现在该流域的时间较短,通过分析浮游植物优势种的出现频率、优势度及丰度,可以看到点形平裂藻在2019—2021年的值均较小,这与该物种时间生态位宽度值较小有一定的关系^[20]。

空间生态位宽度体现了物种的分布范围和在空间上的均匀程度^[21],一般情况下,当物种的空间分布范围较广,且分布较为均匀时,其空间生态位宽度值较大^[20]。在本研究中,优势种空间生态位宽度变化范围为0.175—0.647,相较于时间生态位宽度小,但优势种的空间生态位宽度差异较大,表明优势种对研究区域内不同采样点的生境变化较为敏感^[5],也侧面反映了不同生境同一物种的生态位宽度存在差异,即空间分布区域性的特点。研究发现^[22]优势种空间生态位宽度的大小与其分布站点关系密切,在本次调查中,小环藻在不同站点的出现频率较高,从而其空间生态位宽度最大,说明小

环藻在该流域分布均匀,对环境的适应能力较强。

时空生态位宽度更能体现物种综合利用时空资源的程度^[21]。浮游植物优势种时空生态位宽度为0.054—0.396,值较小且宽度差别不大。在本次调查中,近细微丝藻的时空生态位宽度较大,和时间维度上表现一致,表明该物种在调查区域出现时间较长,且在空间上分布广泛,对时空两个维度的资源均有较强的竞争能力。点形平裂藻在3个维度的生态位宽度均为最小值,表明该物种对环境的适应能力较差,物种更趋于特种化,对环境的要求较为苛刻^[23]。

结合浮游植物优势度指数分析生态位,结果表明优势种不一定是广生态位物种,蒋巧丽等^[19]的研究也说明了这一点。例如,铜绿微囊藻4个年份的优势度指数均较大,但其在3个维度的生态位宽度却均属于中生态位,这可能是由于二者分析计算时的侧重点不同,优势度指数主要是根据物种的出现频率及丰度值来分析的,而生态位宽度则体现出物种的分布,包括分布范围的大小及分布的均匀程度,二者之间存在差异,在研究中可以综合这两个方面来分析。

3.3 优势种生态位重叠值分析

生态位重叠值能够衡量物种利用各种资源以及适应不同生境的相似程度^[24],同时也反映出不同物种之间的潜在竞争强弱^[18]。研究表明^[11],重叠值大于0.6则认为种间生态位重叠较显著。

在时间维度上,优势种重叠值较显著的种对比例(57.58%)较高,表明优势种年际间的变化不明显,与优势种时间生态位宽度较大的结果相符合,主要是因为调查的时间均为每年的夏季,周围环境因子的改变不太显著,优势种对环境的利用接近程度较高,因此优势种在时间维度上呈现出生态位重叠值较高的现象。铜绿微囊藻和浮游席藻的重叠值最大(0.988),说明在这4年的丰水期,两种对的物种对环境的适应能力和在时间分布上相似性极高,存在交错现象,产生了竞争关系。这可能与同属蓝藻门的优势种对某些资源存在共同的需求有一定的关系。

在空间维度上,优势种重叠值较显著的种对比例(19.70%)相对于时间维度较小,大多数物种的重叠值为中度重叠值。从生态位分化的角度来看,其空间生态位的分化程度相对较高,可能是因为流域中的大部分优势种之间为了能够长期共存,会向着不同的空间位置进行分化,以降低竞争的激烈程度。这与杨杰青等^[25]对长江口浮游动物优势种时空生态位的研究结论相似。研究表明^[26],空间生态位宽度小的物种通常对资源的利用能力有限,从而

导致与其他物种的重叠值也较低。在本研究中, 点形平裂藻和双点席藻的空间生态位宽度均很小, 二者的空间生态位重叠值最低。

在时空维度上, 优势种的生态位重叠普遍较低, 主要是因为浮游植物优势种在时间、空间上对资源的利用能力及分布特征有所不同, 同时也反映出浮游植物优势种的生态位分化整体上处于较高水平, 种间竞争较弱^[27], 群落结构和物种组成在短期内可能不会有明显的变动, 优势种之间趋向于稳定共存模式, 群落结构处于较为稳定的状态。

对比分析生态位宽度和重叠值, 发现小球藻与近细微丝藻在3个维度上的生态位宽度均较大, 其重叠值也较大, 表明当两个物种都有较大的生态宽度, 其重叠值也会相对较高, 这与庞春华等^[23]的结论一致。同时, 小环藻的空间生态位宽度和时空生态位宽度均为最大, 但是小环藻与其他物种的重叠值并不大, 说明生态位宽度和生态位重叠之间并不存在绝对的正相关^[6]。一些生态位宽度较小的种类, 由于其本身对资源的利用较为相近, 也会存在较大的重叠值, 如本研究中的给水颤藻和类颤鱼腥藻。

3.4 生态响应速率分析

群落间的竞争导致浮游植物群落结构呈发展或衰退趋势, 产生不同的生态响应。因此, 优势种的相对资源占有量(ΔO_{ik})和生态响应速率(R)通常可以用来分析判断物种未来的发展趋势及群落演替的方向。

小环藻和颗粒直链藻在淮河流域江苏段3个维度上具有较高的正 ΔO_{ik} , 但生态响应速率均较小, 说明这两个物种与其他优势种在资源竞争上占优势, 有着更大的发展空间, 但发展趋势会变缓。类颤鱼腥藻在空间维度上的生态位宽度和相对资源占有量不大, 但生态响应速率最大($R=0.563$), 正处于发展的强胜时期, 表明一些生态位宽度较小的物种, 会通过获取更多的资源来提高自身的适应性和竞争力。小球藻的时空相对资源占有量不大($\Delta O_{ik}=-0.833$), 但衰退趋势最强($R=-0.438$), 表明小球藻对环境变化的响应较为敏感, 生态适应性较差。通过计算生态响应速率之和, 可对群落的演替趋势进行判断, 从而判断群落的稳定状况。在此次调查中, 优势种在时间、空间上的生态响应速率之和均为正值, 说明在这两个维度上群落处于发展阶段, 随着群落的长期发展, 现有的物种可能会被其他物种取代, 这与时间、空间维度上生态位重叠以高度、中度重叠为主, 种间竞争较为激烈的结论是相符的。而在时间、空间两个维度的耦合作用下, 时空

生态响应速率之和为负数, 表示在这个阶段, 优势种通过自身的响应缓解群落内的压力, 以维持群落的稳态, 即群落结构在时空维度上较时间维度和空间维度更加稳定。这与时空维度上重叠值较低, 种间竞争较弱, 群落结构趋于稳定的结论是一致的。

4 结论

(1)调查期间共鉴定出浮游植物优势种12种, 其中, 给水颤藻、浮游席藻、铜绿微囊藻是4年共有的优势种, 均为蓝藻门。优势种时间生态位宽度值较大, 空间次之, 时空宽度值最小。点形平裂藻在3个维度上生态位宽度均为最小, 对环境的要求较为苛刻, 趋于特种化, 可作为淮河流域江苏段的指示种; 近细微丝藻的宽度值较大, 有较好的生态适应性。(2)浮游植物优势种在时间、空间和时空维度上生态位重叠分别以高度、中度和低度重叠为主, 总体上优势种对时空资源利用的相似性较低, 种间竞争较弱。优势种时间、空间生态响应速率之和为正数, 在时空维度上为负数, 表明群落结构在时空维度上较时间维度和空间维度更加稳定。

参考文献:

- [1] Wei M, Zhu A M, Wang R, et al. Spring phytoplankton community structure and niche analysis of dominant species in Chishui River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2022, 43(5): 49-58. [魏秘, 朱爱民, 王瑞, 等. 赤水河春季浮游植物群落结构变化及其优势种生态位分析 [J]. 水生态学杂志, 2022, 43(5): 49-58.]
- [2] Chen L T, Shi X D, Gao R M. Interspecific association and niche characteristics of *Taxus chinensis* var. *mairei* communities in Lingchuan, Shanxi [J]. *Plant Science Journal*, 2016, 34(4): 521-529. [陈龙涛, 石晓东, 高润梅. 山西陵川南方红豆杉群落种间联结与生态位特征研究 [J]. 植物科学学报, 2016, 34(4): 521-529.]
- [3] Liu L, Zhu L Z, Ye J, et al. Community structure and niche characteristics of phytoplankton in Zhangfu River [J]. *Water Resources Protection*, 2021, 37(3): 7-12. [刘凌, 朱良珍, 叶键, 等. 张福河浮游植物群落结构及生态位特征 [J]. 水资源保护, 2021, 37(3): 7-12.]
- [4] Dong J R, Shui B N, Hu C Y, et al. Niche and interspecific association of the dominant fish in the south coastal waters of Wenzhou, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(5): 1699-1706. [董静瑞, 水柏年, 胡成业, 等. 温州南部沿岸海域主要鱼类的生态位及种间联结性 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1699-1706.]
- [5] Zhang P, Liu Y, An R Z, et al. Spatio-temporal niche of dominant Protozoa species in the midstream and downstream of Lhasa River, Tibet, China [J]. *Scientia Silvae*

- Sinicae*, 2022, **58**(1): 78-88. [张鹏, 刘洋, 安瑞志, 等. 西藏拉萨河中下游原生动物优势种时空生态位 [J]. 林业科学, 2022, **58**(1): 78-88.]
- [6] Liu R H, Chang B, Rong C Y, *et al.* Niche of main woody plant populations of *Pterocarya stenoptera* community in riparian zone of Lijiang River, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, **29**(12): 3917-3926. [刘润红, 常斌, 荣春艳, 等. 漓江河岸带枫杨群落主要木本植物种群生态位 [J]. 应用生态学报, 2018, **29**(12): 3917-3926.]
- [7] Zhang S, Shang N X, Zhang J Y, *et al.* Phytoplankton community structure in Xifei River of Huai River Basin [J]. *Journal of Hydroecology*, 2020, **41**(4): 81-89. [张珊, 商乃萱, 张金羽, 等. 淮河流域西淝河浮游植物群落结构特征 [J]. 水生态学杂志, 2020, **41**(4): 81-89.]
- [8] Yang X X, Liu K, Liu Y, *et al.* Pattern and influence factors of phytoplankton community structure in middle of Huaihe River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, **31**(10): 2207-2217. [杨晓曦, 刘凯, 刘燕, 等. 淮河中游浮游植物群落结构时空格局及影响因素 [J]. 长江流域资源与环境, 2022, **31**(10): 2207-2217.]
- [9] Chen H, Zuo Q T, Zhang Y Y, *et al.* Phytoplankton community structure and nutrition status evaluation in the upper and middle reaches of the Huaihe River [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2019, **16**(2): 1-6. [陈豪, 左其亭, 张永勇, 等. 淮河中上游浮游植物群落结构特征及营养状况评价 [J]. 中国农村水利水电, 2019, **16**(2): 1-6.]
- [10] Li B, Pu P M. Study on the evolution tendency of water quality in Huai River Basin and Hongze Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, **12**(1): 67-73. [李波, 濮培民. 淮河流域及洪泽湖水质的演变趋势分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2003, **12**(1): 67-73.]
- [11] Wei Z B, Chai Y, Luo J B, *et al.* Seasonal succession and ecological niche analysis of dominant species of phytoplankton in Changhu Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, **44**(3): 612-621. [魏志兵, 柴毅, 罗静波, 等. 长湖浮游植物优势种季节演替及生态位分析 [J]. 水生生物学报, 2020, **44**(3): 612-621.]
- [12] Hu H J, Wei Y X. The Freshwater Algae of China Systematic, Taxonomy and Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2006: 21-157 [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: 21-157.]
- [13] McNaughton S J. Relationships among functional properties of Californian grassland [J]. *Nature*, 1967, **216**(5111): 168-169.
- [14] Colwell R K, Futuyma D J. On the measurement of niche breadth and overlap [J]. *Ecology*, 1971, **52**(4): 567-576.
- [15] Pianka E R. The structure of lizard communities [J]. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 1973, **4**(1): 53-74.
- [16] Zhu W J, Pang W T, You Q M, *et al.* Phytoplankton community structure and the evaluation of water quality in spring, Huaihe River Basin [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, **29**(3): 637-645. [朱为菊, 庞婉婷, 尤庆敏, 等. 淮河流域春季浮游植物群落结构特征及其水质评价 [J]. 湖泊科学, 2017, **29**(3): 637-645.]
- [17] Kuang Q J, Ma P M, Hu Z Y, *et al.* Study on the evaluation and treatment of lake eutrophication by means of algae biology [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2005, **5**(2): 87-91. [况琪军, 马沛明, 胡征宇, 等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展 [J]. 安全与环境学报, 2005, **5**(2): 87-91.]
- [18] Liu Y L. Dynamic changes of phytoplankton community structure and niche characteristics in Maotiao River Basin [D]. Guizhou: Guizhou Normal University, 2022: 33-50. [刘英龙. 猫跳河流域浮游植物群落结构动态变化及生态位特征 [D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2022: 33-50.]
- [19] Jiang Q L, Xu Y J, Zheng J, *et al.* Niches and interspecific association of major shrimp and crab species in Pishan waters of Zhejiang Province, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, **32**(7): 2604-2614. [蒋巧丽, 许永久, 郑基, 等. 浙江披山海域主要虾蟹类时空生态位及种间联结性 [J]. 应用生态学报, 2021, **32**(7): 2604-2614.]
- [20] Pan C M, Liu Y, An R Z, *et al.* Phytoplankton in the Mitika Wetland, Tibet, China: 1. Spatio-temporal niche of dominant species [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2021, **33**(6): 1805-1819. [潘成梅, 刘洋, 安瑞志, 等. 西藏麦地卡湿地的浮游植物——1. 优势种的时空生态位 [J]. 湖泊科学, 2021, **33**(6): 1805-1819.]
- [21] Li X S, Yu Z H, Sun S, *et al.* Ecological niche breadth and niche overlap of dominant species of fish assemblage in Yangtze River Estuary and its adjacent waters [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, **24**(8): 2353-2359. [李显森, 于振海, 孙珊, 等. 长江口及其毗邻海域鱼类群落优势种的生态位宽度与重叠 [J]. 应用生态学报, 2013, **24**(8): 2353-2359.]
- [22] Jiao H F, Shi H X, You Z J, *et al.* Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, **31**(14): 3928-3936. [焦海峰, 施慧雄, 尤仲杰, 等. 渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位 [J]. 生态学报, 2011, **31**(14): 3928-3936.]
- [23] Pang C H, Fan X, Zhang F, *et al.* The niches of dominant species in different resource dimensions in the lower reaches of Fenhe River, Shanxi Province of China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, **34**(2): 380-386. [庞春花, 范晓, 张峰, 等. 不同资源维度上汾河流域下游优势种的生态位 [J]. 生态学报, 2015, **34**(2): 380-386.]
- [24] Qian Y F, Yi L T, Hu J F, *et al.* Niche characteristics of main plant species in Putuo Mountain, Zhejiang Province of East China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012,

- 31(3): 561-568. [钱逸凡, 伊力塔, 胡军飞, 等. 普陀山主要植物种生态位特征 [J]. 生态学杂志, 2012, 31(3): 561-568.]
- [25] Yang J Q, Chen L, Yang Y Y, *et al.* Spatial-temporal niche of dominant zooplankton species in the Yangtze River Estuary and adjacent waters in spring and summer [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(11): 1625-1635. [杨杰青, 陈朗, 杨阳阳, 等. 长江口及邻近海域春、夏季浮游动物优势种时空生态位分析 [J]. 中国水产科学, 2022, 29(11): 1625-1635.]
- [26] Wang Y Q, Wang J, Xue Y, *et al.* Width and overlap of spatial and temporal ecological niches for main fish species in the Yellow River Estuary [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(5): 938-948. [王雨群, 王晶, 薛莹, 等. 黄河口水域主要鱼种的时空生态位宽度和重叠 [J]. 中国水产科学, 2019, 26(5): 938-948.]
- [27] Qiu J J, Wang Y X, Li T J, *et al.* Study on the niche and differentiation of major nekton species in the Zhoushan Changbai Sea area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(18): 6759-6767. [求锦津, 王咏雪, 李铁军, 等. 舟山长白海域主要游泳动物生态位及其分化研究 [J]. 生态学报, 2018, 38(18): 6759-6767.]

SPATIO-TEMPORAL NICHE OF PHYTOPLANKTON DOMINANT SPECIES IN JIANGSU SECTION OF HUAIHE RIVER BASIN

HUANG Yan-Fen, LIU Ling, ZHANG Shun-Ting and JIANG Feng

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to investigate the relationship between phytoplankton species in different dimensions of time and space and their utilization of environmental resources in Jiangsu Section of the lower reaches of the Huaihe River, 5 rivers were selected as research objects and 18 sampling sites were set up for investigation during the wet season from 2019 to 2022. A total of 238 phytoplankton species belonging to 89 genera and 8 phyla were identified. The dominance index, niche width, niche overlap value and ecological response rate were calculated, and the niche characteristics of dominant species of phytoplankton were analyzed in three dimensions of time, space and space. The results showed that 12 dominant phytoplankton species are identified during the study period, among which *Oscillatoria irraguum*, *Phormidium planctonica* and *Microcystis aeruginosa* are the common dominant species during the four years, all belonging to the phylum cyanophyta. The niche widths of dominant species showed that the temporal niche widths exhibited the greatest variability, ranging from 0.406 to 0.945, followed by the spatial niche widths, from 0.175 to 0.647, and the spatio-temporal widths proved the narrowest, from 0.054 to 0.396. The specie exhibiting the smallest niche width across all dimensions was *Merismopedia punctata*, whereas *Ulothrix subtileissima* demonstrated the widest niche width in the temporal and spatial, which showed strong ecological adaptability. Examination of niche overlap values unveiled that proportions exceeding 0.6 were 57.58%, 27.27% and 15.15% within the temporal, spatial and spatio-temporal dimensions, respectively. This distribution indicated a dominance of high, moderate and low niche overlaps across the respective dimensions. Furthermore, the sum of ecological response rate displayed positive in both the temporal and spatial dimensions, but negativity within the spatio-temporal dimension. This observation implies that community structure maintains higher stability within the spatio-temporal dimension compared to the temporal and spatial dimensions. In summary, the phytoplankton in Jiangsu Section of the Huaihe River Basin exhibited limited temporal variation, relatively overlapping dominant species, great spatial variation and large differences in dominant species. The evident high degree of niche differentiation across the phytoplankton community suggests weak interspecific competition and a relatively stable community structure.

Key words: The lower reaches of Huaihe River; Phytoplankton; Dominant species; Niche width; Niche overlap; Spatio-temporal niche