水生生物学报
ACTA HYDROBIOLOGICA SINICA

黄河口及其邻近海域鱼类功能性状和群落功能多样性

张凭智 张崇良 薛莹 纪毓鹏 任一平 徐宾铎

FUNCTIONAL TRAITS AND DIVERSITY OF FISH COMMUNITY IN THE YELLOW RIVER ESTUARY AND ITS ADJACENT WATERS

ZHANG Ping-Zhi, ZHANG Chong-Liang, XUE Ying, JI Yu-Peng, REN Yi-Ping, XU Bin-Duo

在线阅读 View online: https://doi.org/10.7541/2025.2024.0294

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

黄河调水调沙对河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼群落结构的影响

THE WATER-SEDIMENT REGULATION SCHEME ON THE COMMUNITY STRUCTURE OF ICHTHYOPLANKTON IN THE YELLOW RIVER ESTUARY

水生生物学报. 2024, 48(3): 488-503 https://doi.org/10.7541/2024.2023.0241

嘉陵江中游蓬安段鱼类群落功能多样性研究

FUNCTIONAL DIVERSITIES OF FISH COUMMUNITY IN PENG’AN SECTION OF THE MIDDLE REACH OF JIALING RIVER

水生生物学报. 2022, 46(5): 630-642 https://doi.org/10.7541/2022.2020.258

调水调沙影响下黄河山东段鱼类群落格局及多样性

FISH COMMUNITY PATTERN AND DIVERSITY AFFECTED BY WATER AND SEDIMENT REGULATION IN SHANDONG SECTION OF THE YELLOW RIVER

水生生物学报. 2024, 48(6): 889-897 https://doi.org/10.7541/2024.2023.0148

禁渔后西凉湖鱼类物种和功能多样性时空格局及其与水环境因子的关系

SPATIAL-TEMPORAL PATTERNS OF FISH TAXONOMICAL AND FUNCTIONAL DIVERSITY IN XILIANG LAKE AND THEIR RELATIONSHIP WITH WATER ENVIRONMENTAL FACTORS AFTER FISHING BAN

水生生物学报. 2023, 47(10): 1681-1692 https://doi.org/10.7541/2023.2022.0370

基于环境DNA宏条码和底拖网的珠江河口鱼类多样性

INVESTIGATING THE FISH DIVERSITY IN PEARL RIVER ESTUARY BASED ON ENVIRONMENTAL DNA MATEBARCODING AND BOTTOM TRAWLING

水生生物学报. 2022, 46(11): 1701-1711 https://doi.org/10.7541/2022.2021.0265

关注微信公众号，获得更多资讯信息

第 49 卷 第 4 期
2025 年 4 月

水 生 生 物 学 报
ACTA HYDROBIOLOGICA SINICA

Vol. 49, No. 4
Apr., 2025

doi: 10.7541/2025.2024.0294 CSTR: 32229.14.SSSWXB.2024.0294

黄河口及其邻近海域鱼类功能性状和群落功能多样性

张凭智[1] 张崇良[1,2,3] 薛 莹[1,2,3] 纪毓鹏[1,3] 任一平[1,2,3] 徐宾铎[1,2,3]

(1. 中国海洋大学水产学院, 青岛 266003; 2. 青岛海洋科技中心, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 青岛 266237; 3. 海州湾渔业生态系统教育部野外科学观测研究站, 青岛 266003)

摘要: 为查明黄河口及其邻近海域鱼类功能和环境变化的关系, 根据2013年6、7、8、10月和2014年2、4、5月共7次黄河口及其邻近海域渔业资源底拖网调查数据, 选取包含有关鱼类摄食、运动、生态适应性、繁殖行为和种群动态等13种功能性状, 利用功能丰富度指数(Functional richness index, FRic)、功能均匀度指数(Functional evenness index, FEve)、功能离散度指数(Functional divergence index, FDiv)共3个功能多样性指数和群落加权平均数指数(Community Weighted Mean, CWM)等方法, 研究了该海域鱼类群落功能多样性的时空变化。结果表明, 各月份多以食底栖动物、营养级较低、生长系数较低、恢复力较高、口端位或下位且较小、体型为鳗形和侧扁形、生活于海水和咸淡水的短距离洄游或定居性的暖温性鱼类为主, 如矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)、短吻红舌鳎(*Cynoglossus joyneri*)和赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)等。FRic在6月最高为0.81, 在2月最低为0.32; FEve 在5月最高为0.50, 在8月最低为0.24。FDiv 在10月最高为0.94, 在4月最低为0.236。总体上FRic在黄河口及河口外侧海域最高, 在黄河口南北两侧较低; FEve由沿岸向东逐渐升高; FDiv普遍偏高, 在黄河口及北部海域较低, 黄河口南部及东部海域较高。鱼类群落功能多样性与温度、深度及盐度有显著相关性。由于鱼类的洄游, 该海域鱼类功能性状和群落功能多样性呈现出月变化特征。

关键词: 黄河口; 鱼类群落; 功能性状; 功能多样性; 时空变化

中图分类号: S932.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2025)04-042517-10

传统多样性集中于物种多样性和群落结构分析, 常忽略如谱系多样性、功能多样性等, 谱系多样性与生态系统的属性密切相关[1], 功能多样性体现了群落内各物种功能特征的整体差异, 以及这些功能特征在面对环境压力或干扰时发生的变化[2, 3], 能更精确地关联生物多样性变化与生态系统的功能, 敏感地捕捉生态系统变化[4, 5]。

随着功能性状研究的不断深入, Mason等[6]认为单一指标不能准确地代表功能多样性, 功能多样性可以从丰富度、均匀度和离散度三个层面进行研究, 继而Villéger等[7]提出三个多维度指标即功能丰富度指数(Functional richness index, FRic)、功能均匀度指数(Functional evenness index, FEve)和功能离散度指数(Functional divergence index, FDiv), 探讨功能多样性。近年来, 国内关于海洋鱼类功能性状及多样性研究已开展较多, 张晓妆等[8]、冯晨等[9]、阎珂鸣等[10]、邹建宇等[11]、何倩等[12]通过研究海州湾、闽江口、雷州湾、黄渤海生态交错带和山东琵琶岛人工鱼礁区等不同海域鱼类功能多样性的时空分布特征以及环境因子的影响。目前, 功能多样性指数仍主要应用于陆生植物生态系统的研究[13], 海洋鱼类群落的功能性状及功能多样性研究较少。鱼类季节性洄游导致不同群落物种组成及生物量的季节变化, 进而出现群落功能同质化的现象, 而环境变化导致了物种功能性状在时空上的变化[14, 15]。因此, 功能多样性时空变化可以探究

收稿日期: 2024-07-26; **修订日期:** 2024-11-04

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD2401301和2019YFD0901205); 公益性行业(农业)科研专项(201303050)资助 [Supported by the National Key Research and Development Program of China (2022YFD2401301 and 2019YFD0901205); Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201303050)]

作者简介: 张凭智(1999—), 男, 硕士研究生; 主要从事渔业资源生态学研究。E-mail: 21220511075@stu.ouc.edu.cn

通信作者: 徐宾铎(1976—), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师; 主要研究方向为渔业资源生态学。E-mail: bdxu@ouc.edu.cn

©The Author(s) 2025. This is an open access article under the CC-BY 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

鱼类群落功能与环境变化之间的关系[16]。黄河口及其邻近海域生态环境独特[17], 是多种鱼类的产卵场、索饵场和育幼场[18]。研究表明黄河口及其邻近海域渔业资源衰退、生境破坏严重[19—21], 环境因素的时空变化是否会影响黄河口鱼类功能性状及功能多样性值得探究[22, 23]。

本文基于2013—2014年黄河口及其邻近海域渔业资源调查资料, 结合鱼类数据库及相关文献资料[8, 11, 24], 探究鱼类群落功能特征及功能多样性的月份和空间变化是否存在差异和规律, 以期为该海域鱼类多样性保护和渔业资源管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于黄河口及邻近海域渔业资源底拖网调查, 共设置24个站位(图 1)。调查时间为2013年6、7、8、10月和2014年2、4、5月, 调查船只功率260 kW, 网口周长30.6 m, 囊网网目20 mm, 拖曳时网口宽度约8 m。调查拖网拖速为3 kn, 持续0.5h。CTD温盐深仪(XR-420)同步测定水温、深度、盐度等数据。鱼类相对资源量来源于调查渔获数据, 经取样冰冻保存带回实验室分析处理, 各站渔获种类鉴定到种[25], 生物学测定与分析实验依据《海洋调查规范》(GB/T12763.6-2007)[26]。各鱼种相对资源量以单位网次渔获重量表示(g/h)。

1.2 功能性状选择

参照以往对鱼类群落功能多样性研究和性状数据的有限性[8—12], 选取口的相对大小、食性、口的位置、营养级作为鱼类的摄食性状; 体型、洄游类型、最大体长、栖息水层作为鱼类的运动性状; 生长系数、恢复力为反映种群动态的性状; 适温性为反映鱼类生态适应功能的性状, 结合黄河口及其邻近海域特有的河口环境特性, 额外考虑了耐盐性。总共选取13种性状, 其中营养级、最大体长、生长系数为连续变量, 其余性状类型均为分类变量, 不同功能性状在分析中所占权重相同(表 1)。性状的取值和类型通过查阅世界鱼类数据库(Fishbase)[24]和相关文献获得[8—12], 本海域鱼类功能性状缺失时由邻近海域鱼类性状, 特殊鱼种性状缺失时由同科其他相似鱼种性状代替。鱼类功能性状统计表详见附录表A1。

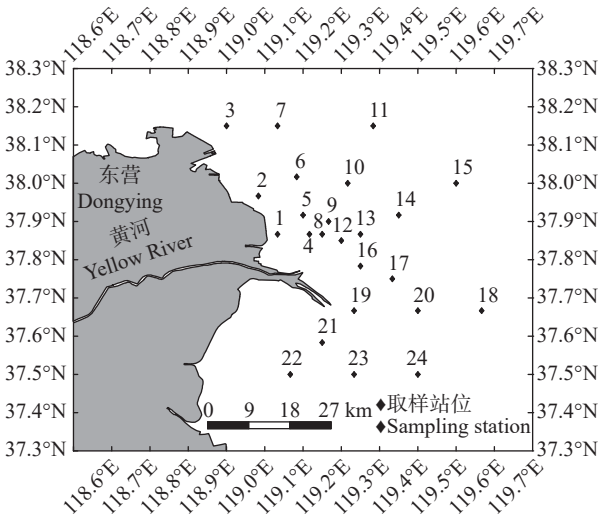

图 1 黄河口及其邻近海域底拖网调查站位

Fig. 1 Sampling stations in the Yellow River estuary and its adjacent waters

1.3 分析方法

群落加权平均数指数(CWM), 反映鱼类群落中整体功能性状的变化规律, 公式[27]:

$$\mathrm{CWM}=\sum_{i=1}^{S} P_i \times \mathrm{trait}_i$$

式中, P_i为鱼种i的相对资源量, 本研究中为标准化的生物量; S为鱼种数; trait_i为鱼种i的功能性状值[8—11]。

功能丰富度指数用功能体积指数(FRic)表示, 首先找出具有极端性状的鱼种, 并将连接成为一个不规则的最小多维凸多边形空间即性状空间, 性状空间的面积或体积即为FRic的大小[7], 该指数代表鱼种占据生态位的多少, 较高的FRic反映了鱼类群

表 1 功能性状分类标准及功能性状值[8—11]

Tab. 1 Functional trait classification standards and functional trait values [8—11]

功能类别 Function	功能性状 Functional traits	功能性状值 Functional trait values
摄食 Feeding	食性类型	浮游生物食性、底栖生物食性、游泳动物食性、杂食性
	口的位置	口腹面、口下位、口端位、口上位
	口的相对大小	较小、小、中等、较大、大
	营养级	连续变量, 范围: 2.0—4.9
运动 Locomotion	栖息水层	底层、中上层
	洄游类型	定居型、短距离洄游型、长距离洄游型
	体型	纺锤形、侧扁形、平扁形、鳗形、不对称形、亚圆柱形、细长、海马形、带形、前部宽扁, 后部侧扁
	最大体长	连续变量, 范围: 8.0—234.0 cm
生态适应性 Ecological adaptation	适温性	冷温性、暖温性、暖水性
	生存水域	海水性、咸淡水性、淡水性
繁殖行为 Reproduction	鱼卵生态类型	浮性、沉性、附着性、粘着浮性、粘着沉性、卵胎生
种群动态 Population dynamics	生长系数	连续变量, 范围: 0.11—1.60
	恢复力	低、中等、高

落具有较高的稳定性。

选用多维功能均匀度指数(FEve)来表征群落各鱼类功能性状丰度在性状空间中的分布均匀程度。FEve越高, 群落对各种资源的利用越充分, 公式[7]:

$$\mathrm{dist}\,(i,\,j)=\sqrt{(a_i-a_j)^2+(b_i-b_j)^2+\cdots+(m_i-m_j)^2}$$

$$\mathrm{EW_I}=\mathrm{dist}\,(i,\,j)/(w_i+w_j)$$

$$\mathrm{PEW_I}=\mathrm{EW_I}/\sum_{l=1}^{S-1}\mathrm{EW_I}$$

$$\mathrm{FEve}=\sum_{l=1}^{S=1}\min\left(\mathrm{PEW_I}-\frac{1}{S-1}\right)-\frac{1}{S-1}\Big/\left(1-\frac{1}{S-1}\right)$$

式中, i和j代表着群落中的两个不同的鱼种, a—m表示性状空间中鱼种i和j的13个功能性状; dist (i, j)表示鱼种i和j之间的欧氏距离; w_i和w_j分别为鱼种i和鱼种j的相对资源量, 本研究中使用的为标准化的生物量; S为鱼种数; $\mathrm{EW_I}$为分支长度; $\mathrm{PEW_I}$为分支长权重[8—12]。

功能离散度指数用多维功能离散度指数(FDiv)表示, 该指数代表着群落各物种功能性状丰度在性状空间中的分布的离散程度, 公式[7]:

$$g_k=\frac{1}{S}\sum_{i=1}^{S}x_{ik}$$

$$dG_i=\sqrt{\sum_{k=1}^{T}(x_{ik}-g_k)^2}$$

$$\overline{dG}=\frac{1}{S}\sqrt{\sum_{i=1}^{S}dG_i}$$

$$\Delta d=\sum_{i=1}^{s}w_i\times\left(dG_i-\overline{dG}\right)$$

$$\Delta|d|=\sum_{i=1}^{s}w_i\times\left(dG_i-\overline{dG}\right)$$

$$\mathrm{FDiv}=\frac{\Delta d+\overline{dG}}{\Delta|d|+\overline{dG}}$$

式中, x_k为鱼种i性状k的值; g_k为性状k的重心; T为性状数; dG为鱼种i与重心的距离; S为鱼种数; Δd为以丰度为权重的离散度; w_i为鱼种i的相对资源量[8—12]。

本研究计算了2013—2014年的7个月的功能多样性指数及各月鱼类群落加权平均数指数[7]。由于功能多样性指数变化复杂, 且黄河口及其邻近海域环境梯度变化较大, 本研究采用Spearman秩相关性系数分析功能多样性指数和环境因子的相关性[28]。以上计算分析过程均在R4.2.3中进行, 使用了FD程序包进行计算, ggplot2程序包、gplots程序包进行绘图, 并使用surfer13.0软件绘制了功能多样性的空间分布等值线图。

2　结果

2.1　鱼类群落功能性状的月变化

黄河口及其邻近海域鱼类群落功能性状的月变化见表 2。从洄游类型上看, 2013年7月和2014年2、4月是定居型, 2013年6、8、10月和2014年5月是短距离洄游型; 从适温性来看, 各个月份的功能性状均为暖温性; 栖息类型, 各个月份均以底层栖息为功能性状; 鱼类食性, 各月份的功能性状均为食底栖生物类型; 口的位置, 6、8月和5月为口下位, 其余月份均为口端位; 口的相对大小, 8月以大为功能性状, 10月为较小, 其他月份均为小; 体型方面, 7月和2、4月以鳗形为功能性状, 6、8、10月和5月为侧扁形; 从恢复力上来看, 2、5月为高恢复力, 其余月份均为中等恢复水平; 从鱼卵类型上, 6、8、10月和5月为浮性卵, 其余月份为附着性卵; 对于耐盐性, 2月以适应海水、淡水、半咸淡水为功能性状, 6月以适应海水、半咸淡水为功能性状, 其他月份均以适应海水为功能性状(表 2)。在连续型性状中, 在最大体长方面, 2月的最大体长最高, 其次为7、8月; 在营养级方面, 月间存在着明显的差异, 7月最高, 其次为8、10月最低。生长系数, 8月最高, 其次为5、6月最低。

2.2　功能多样性的月变化

FRic在6—8月较高, 其次为5和10月, 4和2月低, 其中6月最高为0.81, 在2月最低为0.32。FEve在5月达到最高为0.50, 8月最低为0.24。FDiv全年均处于较高水平, 在7月最高为0.94, 10月最低为0.83 (图 2)。

2.3　功能多样性的空间变化

鱼类群落功能多样性空间分布　从2013—2014年7个月功能多样性的空间分布上看, 黄河口及其东部外侧海域FRic较高, 南北两侧及东部海域的功能多样性指数均较低, 变化范围为0.32—0.70 (图 3)。FEve总体由沿岸海域向东逐渐升高, 变化范围为0.31—0.62, 最高值出现在黄河口东北部海域(图 3)。FDiv最高值出现在调查海域的边缘海域及东部较深海域, 最低值在入海口邻近海域, 总体较高, 变化范围为0.78—0.98 (图 3)。

功能多样性的空间月变化　FRic除8月外,

表 2 黄河口及邻近海域鱼类功能性状月变化

Tab. 2 Monthly variation in functional traits of fish community in the Yellow River estuary and its adjacent waters

功能性状Functional traits	功能性状值Functional trait values	201306	201307	201308	201310	201402	201404	201405
洄游类型Migration type	短距离洄游型	—		—	—			—
	定居型		—			—	—	
适温性Thermophily	暖温性	—	—	—	—	—	—	—
栖息水层Habitat	底层	—	—	—	—	—	—	—
食性Feeding habits	底栖生物食性	—	—	—	—	—	—	—
口的位置Mouth position	下位	—		—				—
	端位		—		—	—	—	
口的相对大小Relative mouth size	大	—						
	较小				—			
	小		—	—		—	—	—
体型Body shape	鳗形		—			—	—	
	侧扁形	—		—	—			—
恢复力Resilience	中等恢复力	—	—	—	—		—	
	低恢复力					—		—
鱼卵类型Ecological type of eggs	浮性卵	—		—	—			—
	附着性卵		—			—	—	
生存水域Habitat water area	海水、咸淡水和海水性					—		
	海水和咸淡水性	—						
	海水性		—	—	—		—	—
生长系数Growth coefficient	连续型性状	0.41	0.55	0.81	0.59	0.55	0.56	0.65
营养级Trophic level (k)	连续型性状	3.54	3.80	3.61	3.37	3.43	3.56	3.40
最大体长Maximum body length (Lmax)	连续型性状	24.13	29.43	29.30	26.56	30.52	24.02	23.55

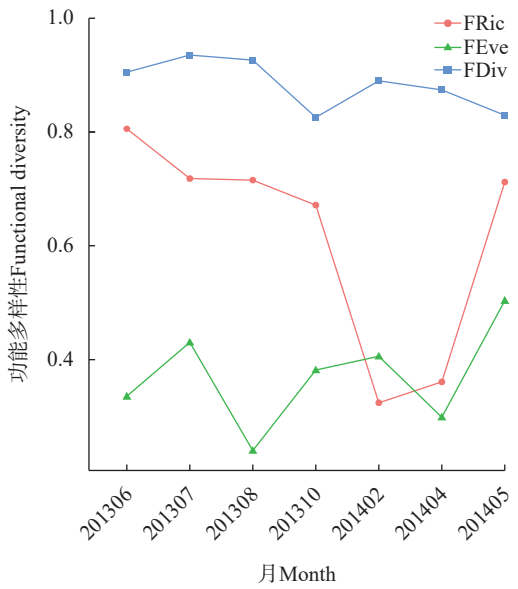

图 2 黄河口及其邻近海域鱼类群落功能多样性指数的月变化

Fig. 2 Monthly variation of functional diversity index of fish communities in the Yellow River estuary and adjacent waters

较高值均出现在黄河入海口附近海域, 2月FRic由西向东逐渐降低; 4月FRic黄河入海口附近较高, 北部渤海湾大于南部莱州湾海域; 5月黄河口及其东部海域FRic较高; 7月整体分布较为均匀, 黄河口东部海域丰富度指数较高; 6、8月大致呈现由近岸向东逐渐递减的趋势; 10月则呈现黄河口及其邻近海域的南部整体大于北部趋势(图 4a)。2、4、5月FEve空间分布上无明显规律, 6、7、8月FEve大致由南至北逐渐降低, 10月黄河口北部沿岸海域最低, 大致呈现由西向东先升高再降低的趋势(图 4b)。FDiv各月份数值均较大, 5月呈现以黄河口为界南高北低的趋势, 7月呈现以黄河口为界南低北高的趋势, 其余月份都以黄河口及附近海域的FDiv较低, 向周围扩大发散的趋势(图 4c)。

2.4 功能多样性与环境因子的相关性

Spearman秩相关性分析海表明, 6月FEve与底层盐度和表层盐度均存在着显著的正相关关系(P<0.05); 7月FEve与表层温度存在极显著的负相关关系(P<0.01); 8月FDiv与底层温度存在显著的负相关关系(P<0.05); 10月FRic与表层盐度呈显著负相关关系(P<0.05), FEve与表层温度显著正相关(P<0.05)、与表层盐度显著负相关(P<0.05); 2月FRic深度呈极显著的负相关关系(P<0.01), 与底层温度呈

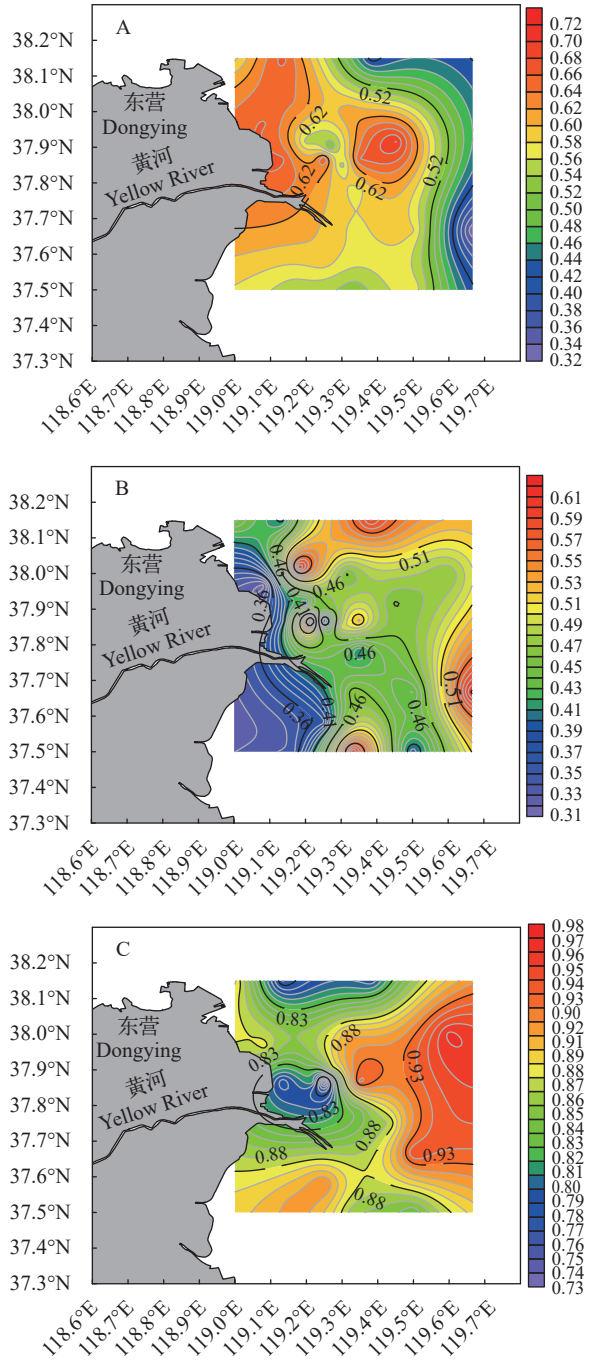

图 3　黄河口及其邻近海域鱼类群落功能多样性指数的空间分布

Fig. 3　The overall spatial distribution of fish community functional diversity index in the Yellow River estuary and its adjacent waters

A. 功能丰富度指数; B. 功能均匀度指数; C. 功能离散度指数

A. Functional richness index; B. Functional evenness index; C. Functional divergence index

显著正相关关系(P<0.05); 均匀度指数与底层盐度存在显著的负相关关系(P<0.05); 4月FEve与底层温度存在显著正相关关系(P<0.05), 与表层温度存在极显著正相关关系(P<0.01), FDiv与底层盐度存在极显著的负相关关系(P<0.01); 5月FRic与底层盐度存在显著的负相关关系(P<0.05); 其他情况下各功能多样性指数与环境因子关系均不显著(P>0.05; 图 5)。

3　讨论

综合CWM计算的各月整体功能特征, 各月整体功能特征总体向虾虎鱼类和鲆鲽类的性状倾斜, 如口的大小端位和下位交替作为整体功能特征, 体型为侧扁形和鳗形交替, 口的大小为小或较小等[29—31]。黄河口及其邻近海域沿岸海域的淡水量和含沙量较多, 虾虎鱼和鲆鲽类对该海域环境适应性较强, 且多为该海域的优势种[32—35]。因此, 该海域为丰富度高的虾虎鱼类和鲆鲽类占据较多的性状空间, 环境对于性状的过滤强烈[15]。

FRic除6月最高, 2、4月较低外, 其他月间差异较小。功能多样性指数的月份变化主要是鱼类洄游导致。黄河口及其邻近海域随着水温升高, 鳀(*Engraulis japonicus*)和蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)等长距离洄游型鱼类在夏季会到达该海域进行产卵、索饵; 6、7月黄河调水调沙及夏季黄河径流量的增加[36], 为黄河口带来更多的营养盐和有机碎屑, 为小型鳀鲱类鱼类等洄游种类提供了丰富饵料, 鱼类功能性状空间变大, 丰富度高; 冬季洄游性鱼类游向黄海中、南部深水区, 近海鱼类多向渤海深水区越冬, FRic较低; 春季近海、河口性鱼类多分布在黄河口浅水或者河口咸淡水交汇处产卵, FRic 5月稍有回升[37—43]。根据FEve、FDiv和CWM表明群落中多种虾虎鱼类和鲆鲽类在功能性状上占据主导地位, 该海域鱼类FDiv偏高且FEve普遍较低, 表明黄河口海域少数鱼种占有大量资源, 鱼类群落资源利用效率较低且竞争激烈。另外黄河口及其邻近海域作资源丰富的河口区域, 人类活动非常频繁, 渔业捕捞、石油开采等, 都可能是引起功能多样性指数变化的一些原因[44—47]。

黄河口地处暖温带北缘的莱州湾西岸, 符合黄、渤海动物地理学的一般特点[31], 受黄河径流的影响, 黄河口形成了适合鱼类生存的低盐区[18], 黄河口及中部海域FRic较高, 南北两侧及东部较深海域均较低[48,49]。河口附近海域受黄河径流影响较大, 环境对鱼类功能性状的过滤较强, 鱼类群落具有较大的功能性状变异性, 功能特征分布不均匀, 此时FEve较低而FDiv较高。而调查海域的边缘海域及东部较深海域, 鱼类群落FRic相对较低, 但该海域的物种生态位较为分散, 物种间竞争作用较小, 对资源的利用率较高, 故鱼类FEve和FDiv均较高[15,50]。

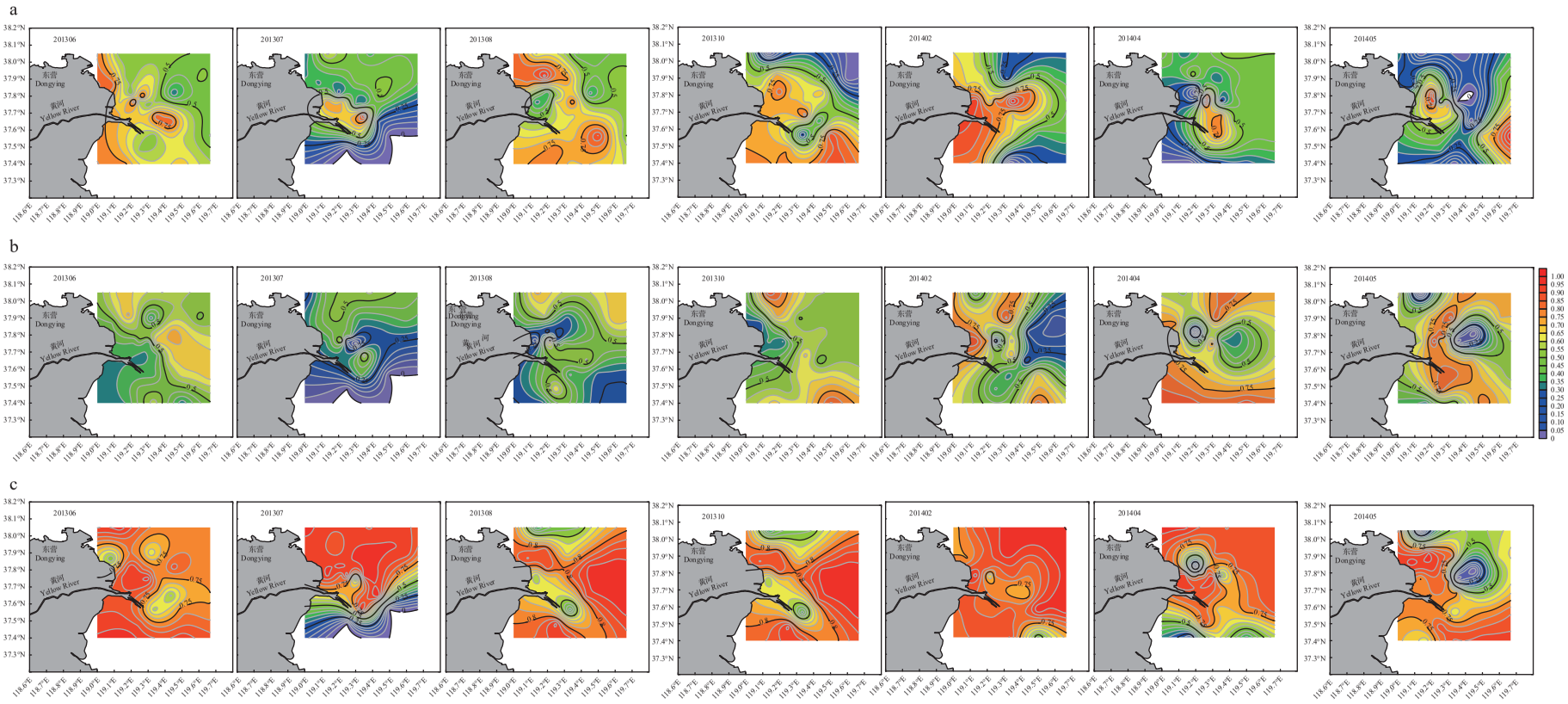

图 4 黄河口及其邻近海域鱼类群落功能多样性指数各月空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of fish community functional diversity index by month in the Yellow River estuary and its adjacent waters

a. 功能丰富度指数; b. 功能均匀度指数; c. 功能离散度指数

a. Functional richness index; b. Functional evenness index; c. Functional divergence index

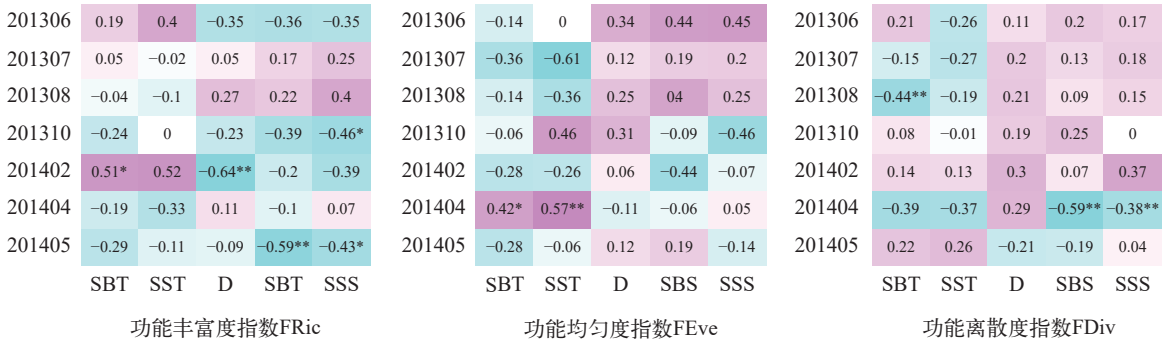

图 5　黄河口及其邻近海域鱼类群落功能多样性指数与环境因子的相关性(**P<0.01, *P<0.05)

Fig. 5　Correlation between functional diversity indices of fish communities and environmental factors in the Yellow River estuary and its neighboring seas (**P<0.01, *P<0.05)

SBT. 底层温度; SST. 表层温度; D. 水深; SBS. 底层盐度; SSS. 表层盐度

SBT. sea bottom temperature; SST. sea surface temperature; D. water depth; SBS. sea bottom salinity; SSS. sea surface salinity

从时间上看, 随着水温、盐度、水深等各种环境条件的变化, 功能多样性指数的空间分布差异明显, 但空间变化的其他影响因素有待考究。

功能多样性分析方法与传统的分类多样性分析方法相比, 能够更准确地将生物多样性的变化与生态系统的功能联系起来[3—5], 且在反映生态系统或生物群落中[51]。本研究表明, 黄河口及其邻近海域独特的环境条件对鱼类群落整体特征进行了强有力的过滤, 更适宜在黄河口环境生存的虾虎鱼类和鲆鲽类性状重叠率均较高, 群落功能特征分布不平衡, 鱼类群落存在高度竞争, 对资源的利用效率较低[33]。黄河口海域鱼类群落功能多样性在空间上的差异还有待考究, 后续可更深层探讨黄河口水域鱼类群落功能多样性的空间差异, 为河口鱼类多样性保护和渔业资源可持续利用和管理提供基础资料。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

[1] Leps J, Bello F, Lavorel S, *et al*. Quantifying and interpreting functional diversity of natural communities: practical considerations matter [J]. *Preslia*, 2006, **78**(4): 481-501.

[2] Petchey O L, Gaston K J. Functional diversity: back to basics and looking forward [J]. *Ecology Letters*, 2006, **9**(6): 741-758.

[3] Cadotte M W, Cavender-Bares J, Tilman D, *et al*. Using phylogenetic, functional and trait diversity to understand patterns of plant community productivity [J]. *PLoS One*, 2009, **4**(5): e5695.

[4] Shuai F M, Li X H, Chen F C, *et al*. Functional diversity of freshwater fishes and methods of measurement [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(15): 5228-5237. [帅方敏, 李新辉, 陈方灿, 等. 淡水鱼类功能多样性及其研究方法 [J]. 生态学报, 2017, **37**(15): 5228-5237.]

[5] Xia Z J, Liu F, Yu F D, *et al*. Species, functional and taxonomic diversity of fish in the Chishui River Basin [J]. *Journal of Hydroecology*, 2022, **43**(5): 89-98. [夏治俊, 刘飞, 余梵冬, 等. 赤水河流域鱼类物种、功能和分类多样性研究 [J]. 水生态学杂志, 2022, **43**(5): 89-98.]

[6] Mason N W H, Mouillot D, Lee W G, *et al*. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity [J]. *Oikos*, 2005, **111**(1): 112-118.

[7] Villéger S, Mason N W H, Mouillot D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology [J]. *Ecology*, 2008, **89**(8): 2290-2301.

[8] Zhang X Z, Wang J, Xu B D, *et al*. Spatio-temporal variations of functional diversity of fish communities in Haizhou Bay [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, **30**(9): 3233-3244. [张晓妆, 王晶, 徐宾铎, 等. 海州湾鱼类群落功能多样性的时空变化 [J]. 应用生态学报, 2019, **30**(9): 3233-3244.]

[9] Feng C, He X B, Zhao C X, *et al*. Functional diversity of fishes in the Minjiang Estuary, Southeast China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, **30**(10): 3589-3595. [冯晨, 何雄波, 招春旭, 等. 闽江口鱼类功能多样性 [J]. 应用生态学报, 2019, **30**(10): 3589-3595.]

[10] Yan K M. Spatial-temporal patterns of fish community and its functional diversities of the Leizhou Bay waters, northern South China Sea [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2020: 3-6. [阎珂鸣. 雷州湾鱼类群落的功能多样性及其时空格局 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2020: 3-6.]

[11] Zou J Y, Liu S D, Zhang C L, *et al*. Seasonal and spatial changes in functional diversity of fish communities in the adjacent waters of the Changshan Islands [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2023, **45**(1): 13-24. [邹建宇, 刘淑德, 张崇良, 等. 长山列岛邻近海域鱼类群落功能多样性的季节和空间变化 [J]. 海洋学报, 2023, **45**(1): 13-

24.]

[12] He Q, Liu S D, Tang Y L, *et al*. Species and functional diversity of fish communities in an artificial reef area of the *Pipa* Island sea, Shandong [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, **30**(12): 1479-1495. [何倩, 刘淑德, 唐衍力, 等. 山东琵琶岛海域人工鱼礁区鱼类群落物种及功能多样性 [J]. 中国水产科学, 2023, **30**(12): 1479-1495.]

[13] Jiang X L, Zhang W G. Functional diversity and its research method [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **30**(10): 2766-2773. [江小雷, 张卫国. 功能多样性及其研究方法 [J]. 生态学报, 2010, **30**(10): 2766-2773.]

[14] Harper D M, Rosenberg D A, Resh V H. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates [J]. *The Journal of Applied Ecology*, 1994, **31**(4): 790.

[15] Kang B, History, challenges, and prospects of researches on fish functional diversity [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2024, 35(9): 2338-2351. [康斌, 鱼类功能多样性研究历程、挑战与展望 [J]. 应用生态学报, 2024, 35(9): 2338-2351.]

[16] Liu X S, Zhao R, Hua E, *et al*. Macrofaunal community structure in the Laizhou Bay in summer and the comparison with historical data [J]. *Marine Science Bulletin*, 2014, **33**(3): 283-292. [刘晓收, 赵瑞, 华尔, 等. 莱州湾夏季大型底栖动物群落结构特征及其与历史资料的比较 [J]. 海洋通报, 2014, **33**(3): 283-292.]

[17] Wang H X, Qin H W, Qiao S W, *et al*. Effect of the Yellow River runoff into the sea on the salinity of the waters near the estuary [J]. *Coastal Engineering*, 2022, **41**(2): 115-127. [王海霞, 秦华伟, 乔守文, 等. 黄河入海径流对河口海域盐度影响研究 [J]. 海岸工程, 2022, **41**(2): 115-127.]

[18] Gu Y Z, Xu C L, Zhang Z H, *et al*. Response of fresh water from Yellow River to marine ecological regulation [J]. *Yellow River*, 2019, **41**(8): 68-75. [谷源泽, 徐丛亮, 张朝晖, 等. 黄河入海淡水对海洋生态调控响应研究 [J]. 人民黄河, 2019, **41**(8): 68-75.]

[19] Zhang R, Xu B D, Xue Y, *et al*. Evaluation of the biotic integrity of fish assemblages in the Yellow River estuary and its adjacent waters [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, **24**(5): 946-952. [张芮, 徐宾铎, 薛莹, 等. 黄河口及其邻近水域鱼类生物完整性评价 [J]. 中国水产科学, 2017, **24**(5): 946-952.]

[20] 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.]

[21] Chen B H, Zhou Q L, Yang S Y. Impacts of climate changes on marine biodiversity [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2009, **28**(3): 437-444. [陈宝红, 周秋麟, 杨圣云. 气候变化对海洋生物多样性的影响 [J]. 台湾海峡, 2009, **28**(3): 437-444.]

[22] Shan X J, Chen Y L, Jin X S. Projecting fishery ecosystem health under climate change scenarios: Yangtze River Estuary and Yellow River Estuary [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, **38**(2): 1-7. [单秀娟, 陈云龙, 金显仕. 气候变化对长江口和黄河口渔业生态系统健康的潜在影响 [J]. 渔业科学进展, 2017, **38**(2): 1-7.]

[23] Zhong X, Qiu B, Liu X. Functional diversity patterns of macrofauna in the adjacent waters of the Yangtze River Estuary [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2020(154): 111032.

[24] FishBase. World Wide Web electronic publication [EB/OL]. (2023−03−01)[2023−03−15]. https://www.fishbase.de/search.php.

[25] Zhang C L, Cheng Q T, Zheng B S, *et al*. A Survey of Fishes in the Yellow Sea and Bohai Sea [M]. Beijing: Science Press, 1955: 1-8. [张春霖, 成庆泰, 郑葆珊, 等. 黄渤海鱼类调查报告 [M]. 北京: 科学出版社, 1955: 1-8.]

[26] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T12763.6-2007 Specifications for Oceanographic Survey Part 6: Marine Biological Survey [S]. Beijing: China Standards Press, 2007. [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6−2007, 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]

[27] Lavorel S, Grigulis K, McIntyre S, *et al*. Assessing functional diversity in the field–methodology matters [J]! *Functional Ecology*, 2008, **22**(1): 134-147.

[28] Zhang J (T/Z). Quantitative Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2004. [张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.]

[29] Chu Y T, Wu H L. A preliminary study of the zoogeography of the gobioid fishes of China [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1965(2): 122-140. [朱元鼎, 伍汉霖. 中国(鱼叚)虎鱼类动物地理学的初步研究 [J]. 海洋与湖沼, 1965(2): 122-140.]

[30] Han D Y, Xue Y, Ji Y P, *et al*. Trophic and spatial niche of five gobiid fishes in Jiaozhou Bay [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, **20**(1): 148-156. [韩东燕, 薛莹, 纪毓鹏, 等. 胶州湾5种虾虎鱼类的营养和空间生态位 [J]. 中国水产科学, 2013, **20**(1): 148-156.]

[31] Zhu X H, Miu F, Liu D, *et al*. Spatiotemporal pattern and dominant component of fish community in the Yellow River estuary and its adjacent waters [J]. *Studia Marina Sinica*, 2001(00): 141-151. [朱鑫华, 缪锋, 刘栋, 等. 黄河口及邻近海域鱼类群落时空格局与优势种特征研究 [J]. 海洋科学集刊, 2001(00): 141-151.]

[32] Wang J, Zhang C L, Xue Y, *et al*. Composition of ecological groups and their seasonal changes of fish in Yellow River estuary and its adjacent waters [J]. *Periodical of*

Ocean University of China, 2019, **49**(4): 41-51. [王娇, 张崇良, 薛莹, 等. 黄河口及其邻近水域鱼类生态类群组成及其季节变化 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, **49**(4): 41-51.]

[33] Wang J, Zhang C L, Xue Y, *et al*. Taxonomic diversity of fish community in the Yellow River estuary [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2018, **40**(4): 86-95. [王娇, 张崇良, 薛莹, 等. 黄河口鱼类群落分类学多样性的研究 [J]. 海洋学报, 2018, **40**(4): 86-95.]

[34] Wang B L, Dong X Q, Ji Y P, *et al*. Phylogenetic structure of fish community at different spatio-temporal scales in the Yellow River estuary and its adjacent waters [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, **30**(10): 1214-1223. [王保良, 董秀强, 纪毓鹏, 等. 不同时空尺度下黄河口及其邻近水域鱼类群落谱系结构 [J]. 中国水产科学, 2023, **30**(10): 1214-1223.]

[35] Sun Y N, Wang L, Wang Z Y, *et al*. Changes of community structure of swimming organisms in the Yellow River estuary and adjacent waters and its relationship with environmental factor [J]. *Journal of Yantai University* (Natural Science and Engineering Edition), 2023, **36**(2): 186-195. [孙雅妮, 王蕾, 王志杨, 等. 黄河口及邻近海域游泳生物群落结构变化及其与环境因子的关系 [J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2023, **36**(2): 186-195.]

[36] Sun S, Su B, Li F, *et al*. Effects of water and sediment discharge regulation on environment in the Yellow River Estuary and adjacent waters [J]. *Marine Environmental Science*, 2019, **38**(3): 399-406. [孙珊, 苏博, 李凡, 等. 调水调沙对黄河口及邻近海域环境状况的影响 [J]. 海洋环境科学, 2019, **38**(3): 399-406.]

[37] Wu H L. Migration of marine fish [J]. *China Fisheries*, 1960(7): 41-42. [伍汉霖. 海洋鱼类的洄游 [J]. 中国水产, 1960(7): 41-42.]

[38] Cheng Q T. Migration of fish [J]. *Bulletin of Biology*, 1984, **19**(6): 7-9. [成庆泰. 鱼类的洄游 [J]. 生物学通报, 1984, **19**(6): 7-9.]

[39] Zhang M H, Sun T Q, Li Y M, *et al*. On seasonal distribution of setipinna taty in southern Bohai Sea [J]. *Shandong Fisheries*, 1995, **12**(4): 10-13. [张孟海, 孙同秋, 李永明, 等. 渤海南部黄鲫季节分布的研究 [J]. 齐鲁渔业, 1995, **12**(4): 10-13.]

[40] Guan W, Xu Z L, Yan T L. Seasonal variation of ecological groups of fish in the coastal waters of central Fujian Province [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, **41**(4): 535-546. [管伟, 徐兆礼, 严太亮. 福建中部近海鱼类生态类群的季节变化 [J]. 水产学报, 2017, **41**(4): 535-546.]

[41] Ye M Z, Zhang Z. The distribution and behaviour of *Engraulis japonicus* Temminck and Schlegel and its detection in the North China seas (Hwang-Hai and po-Hai) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1965(2): 27-34. [叶懋中, 章隼. 黄渤海区鳀鱼的分布、洄游和探察方法 [J]. 水产学报, 1965(2): 27-34.]

[42] Tian J Y. Diversity of phytoplankton in the sea near Yellow River Delta [J]. *Marine Environmental Science*, 2000, **19**(2): 38-42. [田家怡. 黄河三角洲附近海域浮游植物多样性 [J]. 海洋环境科学, 2000, **19**(2): 38-42.]

[43] Dou S Z, Chen D G. Fisheries biology of *Neosalanx anderssoni* and *Salanx* cuvier of Yellow River Delta [J]. *Marine Science Bulletin*, 1993, **12**(4): 63-68. [窦硕增, 陈大刚. 黄河三角洲安氏新银鱼和居氏银鱼的渔业生物学研究 [J]. 海洋通报, 1993, **12**(4): 63-68.]

[44] Wang K R, Yao W Y, Zhang X F, *et al*. Status and harness of the Yellow River estuary [J]. *Marine Sciences*, 2001, **25**(10): 52-54. [王开荣, 姚文艺, 张希芳, 等. 黄河口的现状及其治理 [J]. 海洋科学, 2001, **25**(10): 52-54.]

[45] Whitfield A K, Elliott M, Basset A, *et al*. Paradigms in estuarine ecology–A review of the Remane diagram with a suggested revised model for estuaries [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2012, **97**: 78-90.

[46] Elliott M, Whitfield A K, Potter I C, *et al*. The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: a global review [J]. *Fish and Fisheries*, 2007, **8**(3): 241-268.

[47] Wang M. The effects of human activities on Laizhou Bay coastal ecosystem and its early warning [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2021: 79-126. [王敏. 人类活动对莱州湾海岸带生态系统的影响及预警研究 [D]. 济南: 山东师范大学, 2021: 79-126.]

[48] Zhang H L, Yang J Q, Cui W L. Status of salinity changes and the effect on marine environments and ecosystem in Laizhou Bay [J]. *Marine Environmental Science*, 2006, **25**(S1): 11-14. [张洪亮, 杨建强, 崔文林. 莱州湾盐度变化现状及其对海洋环境与生态的影响 [J]. 海洋环境科学, 2006, **25**(S1): 11-14.]

[49] Jiang H C, Wang Y J, Li J H, *et al*. Annual variation and spatial distribution of nutrients in the Laizhou Bay [J]. *Marine Science Bulletin*, 2018, **37**(4): 411-423. [姜会超, 王玉珏, 李佳蕙, 等. 莱州湾营养盐空间分布特征及年际变化趋势 [J]. 海洋通报, 2018, **37**(4): 411-423.]

[50] Li Y Y, Song P Q, Fu S S, *et al*. Spatio-temporal niche characteristics and influencing factors of major nekton species in Minnan fishing Ground [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, **47**(4): 684-692. [李袁源, 宋普庆, 付树森, 等. 闽南渔场主要游泳动物时空生态位特征及其影响因素 [J]. 水生生物学报, 2023, **47**(4): 684-692.]

[51] Su G H, Sha Y C, Xiong Y, *et al*. Changes of functional diversity in fish community before and after a dam closure in the guanyinyan hydropower station [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(6): 965-970. [苏国欢, 沙永翠, 熊鹰, 等. 大坝截流前后金沙江观音岩水电站鱼类群落功能多样性的变化 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, **24**(6): 965-970.]

FUNCTIONAL TRAITS AND DIVERSITY OF FISH COMMUNITY IN THE YELLOW RIVER ESTUARY AND ITS ADJACENT WATERS

ZHANG Ping-Zhi[1], ZHANG Chong-Liang[1, 2, 3], XUE Ying[1, 2, 3], JI Yu-Peng[1, 3], REN Yi-Ping[1, 2, 3] and XU Bin-Duo[1, 2, 3]

(1. *College of Fisheries*, *Ocean University of China*, *Qingdao* 266003, *China*; 2. *Function Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes*, *Qingdao Marine Science and Technology Center*, *Qingdao* 266237, *China*; 3. *Field Observation and Research Station of Haizhou Bay Fishery Ecosystem*, *Ministry of Education*, *Qingdao* 266003, *China*)

Abstract: To investigate the significance of functional diversity among fish species in the Yellow River estuary and its adjacent waters, we selected 13 functional traits encompassing feeding, locomotion, ecological adaptation, reproductive behavior, and population dynamics in this study. Data were obtained from bottom trawl surveys conducted in the Yellow River estuary and adjacent waters over seven sampling events in June, July, August, and October 2013, as well as February, April, and May 2014. Utilizing three functional diversity indices: the functional richness index (FRic), functional evenness index (FEve), and functional divergence index (FDiv), along with the community weighted mean index (CWM), we examined spatial and temporal variations in fish community functional diversity. The results showed that the main species were those fish with functional trait such as benthic, low trophic level, low growth coefficient, high resilience, small mouth or lower mouth, eel-shaped and lateral flatform, and short-distance migratory or sedentary warm fish living in seawater and brackish water in each month. Notable examples included *Chaeturichthys stigmatias*, *Cynoglossus joyneri*, and *Thryssa kammalensis*. The FRic peaked at 0.805 in June while reaching a minimum of 0.324 in February; FEve was the highest at 0.510 in May but the lowest at 0.240 in August; FDiv reached its maximum value of 0.95 in October compared to a minimum of 0.236 observed in April. Overall, the findings revealed that FRic was the highest within the Yellow River estuary and its outer regions, decreasing along the northern and southern estuarine sides, FEve increased eastward from the coast, and FDiv was generally high, with lower values in the estuary and northern waters, and higher values in the southern and eastern regions. The functional diversity of fish communities is significantly correlated with temperature, depth, and salinity. The temporal changes in functional traits and functional diversity exhibited in the Yellow River estuary and its adjacent waters may be attributed to fish migration patterns.

Key words: Yellow River estuary; Fish community; Functional traits; Functional diversity; Spatio-temporal pattern

表 A1　鱼类功能性状

Tab. A1　Fish functional trait

种类 Species	洄游类型	适温性	栖息类型	食性	口的位置	口的大小	体型	恢复力	最大体长	营养级	鱼卵类型	生长系数	生存水域
大银鱼*Salanx chinensis*	SM	T	De	P-B	下位	中等	细长形	H	17	3	PE	0.56	ABC
安氏新银鱼*Neosalanx andersoni*	SM	T	De	P-B	端位	中等	细长形	H	7.9	2.8	—	—	ABC
短鳍鮡*Callionymus sagitta*	L	T	De	B	端位	小	平扁形	H	11	2.9	PE	0.52	AB
李氏鮡*Callionymus curvicornis*	L	T	De	B	端位	小	平扁形	H	11.1	3.2	PE	0.52	ABC
绯鮡*Callionymus beniteguri*	L	T	De	B	端位	小	平扁形	H	22.7	3.3	PE	0.52	A
日本海马*Hippocampus mohnikei*	L	T	De	P	端位	小	海马形	H	8	3.8	O	0.21	A
尖海龙*Syngnathus acus*	L	T	De	P	端位	小	细长形	M	25.6	3.3	O	0.21	AB
黄鲫*Setipinna tenuifilis*	SM	WW	Pe	P	下位	大	侧扁形	H	22	3.6	PE	0.32	ABC
太平洋鲱*Clupea pallasii*	SM	T	Pe	P	下位	中等	侧扁形	M	19.6	3.2	PAE	0.28	ABC
斑鰶*Konosirus punctatus*	SM	T	De	B	下位	中等	侧扁形	M	32	2.9	PE	0.277	AB
中颌棱鳀*Thryssa mystax*	SM	WW	Pe	P	下位	大	侧扁形	H	19	3.6	PE	0.76	AB
赤鼻棱鳀*Thryssa kammalensis*	SM	T	Pe	P	下位	大	侧扁形	M	18	3.4	PE	0.33	AB
青鳞小沙丁鱼*Sardinella zunasi*	SM	T	Pe	P	端位	较小	侧扁形	H	18	3.2	PE	0.5	A
鳀*Engraulis japonicus*	LM	T	Pe	P	下位	大	侧扁形	H	18	3.1	PE	1.7	A
方氏云鳚*Pholis fangi*	SM	CT	De	B	下位	中等	带形	H	16.8	3.2	O	0.8	A
蓝点马鲛*Scomberomorus niphonius*	LM	T	Pe	N	端位	较大	纺锤形	M	113	4.5	PE	0.5	A
花鲈*Lateolabrax japonicus*	SM	T	De	B-N	端位	大	侧扁形	H	102	3.1	PE	0.2	ABC
多鳞鱚*Sillago sihama*	SM	WW	De	B	端位	小	侧扁形	H	24	3.3	PE	0.8	AB
银鲳*Pampus punctatissimus*	LM	WW	De	P	端位	较小	侧扁形	H	25.8	3.4	PE	0.3	A
小带鱼*Eupleurogrammus muticus*	SM	WW	De	B	端位	较大	带形	H	87	4.1	PE	0.2	AB
黑鳃梅童*Collichthys niveatus*	SM	T	De	B-N	端位	中等	侧扁形	H	15	3.8	PE	0.4	A
白姑鱼*Pennahia argentata*	SM	T	De	B	下位	中等	侧扁形	M	40	4.1	PE	0.6	A
皮氏叫姑鱼*Johnius belengeri*	SM	WW	De	B	端位	较小	侧扁形	H	30	3.3	PE	0.5	A
小黄鱼*Larimichthys polyactis*	SM	T	De	B-N	端位	中等	侧扁形	M	18.1	3.7	PE	0.4	A
长蛇鲻*Saurida elongata*	SM	T	De	N	端位	大	亚圆柱形	H	50	4.5	PE	0.9	A
普氏栉虾虎鱼*Amoya pflaumii*	L	WW	De	B	端位	较小	前部宽扁,后部侧扁	H	12	3.1	AE	2.1	AB
纹缟虾虎鱼*Tridentiger trigonocephalus*	L	T	De	B	端位	较大	鳗形	H	11	3.4	AE	0.6	ABC
红狼牙虾虎鱼*Odontamblyopus rubicundus*	L	WW	De	B	端位	较大	鳗形	M	33.4	3.9	AE	0.6	AB
小头栉孔虾虎鱼*Ctenotrypauchen microcephalus*	L	WW	De	B	端位	小	侧扁形	M	18	3.7	AE	0.6	AB
长丝虾虎鱼*Myersina filifer*	L	WW	De	B	端位	较小	侧扁形	H	13.2	3.4	AE	0.6	A
中华栉孔虾虎鱼*Ctenotrypauchen chinensis*	L	T	De	B	端位	小	侧扁形	M	19.2	3.8	AE	0.6	ABC
六丝钝尾虾虎鱼*Amblychaeturichthys hexanema*	L	T	De	B	端位	小	鳗形	M	17.4	3.4	AE	0.6	A
裸项蜂巢虾虎鱼*Favonigobius gymnauchen*	L	WW	De	B	端位	较小	侧扁形	H	13.4	2.7	AE	0.6	ABC
矛尾虾虎鱼*Chaeturichthys stigmatias*	L	T	De	B	端位	小	鳗形	M	28.2	3.8	AE	0.6	A
斑尾刺虾虎鱼*Acanthogobius ommaturus*	L	T	De	B	端位	较大	前部宽扁,后部侧扁	H	43	3.8	AE	0.6	BC
髭缟虾虎鱼*Tridentiger barbatus*	L	T	De	B	端位	小	鳗形	M	10.4	3.5	AE	0.6	B

续表 A1

种类 Species	洄游类型	适温性	栖息类型	食性	口的位置	口的大小	体型	恢复力	最大体长	营养级	鱼卵类型	生长系数	生存水域
鲚*Planiliza haematocheila*	SM	WW	Pe	B	端位	小	侧扁形	M	80	2.5	DAE	0.1	ABC
日本下鱵*Hyporhamphus sajori*	SM	T	Pe	P	下位	小	细长形	M	40	3.4			ABC
假睛东方鲀*Takifugu pseudommus*	SM	T	De	B-N	端位	小	侧扁形	M	35	3.4	DAE	0.24	A
网纹东方鲀*Takifugu reticularis*	SM	T	De	B-N	端位	小	侧扁形	H	29	3.6	DAE	-	A
半滑舌鳎*Cynoglossus semilaevis*	SM	T	De	B	下位	小	不对称形	M	61.1	3.7	PE	0.26	ABC
短吻红舌鳎*Cynoglossus joyneri*	SM	T	De	B	下位	小	不对称形	M	31	4.3	PE	0.2	A
角木叶鲽*Pleuronichthys cornutus*	SM	T	De	B	端位	较小	不对称形	L	27.5	3.4	PE	0.23	A
石鲽*Platichthys bicoloratus*	SM	CT	De	B	端位	小	不对称形	L	50	3.7	PE	0.3	ABC
褐菖鲉*Sebastes schlegelii*	SM	T	De	B	端位	中等	侧扁形	M	36.2	3.7	PE	0.2	A
细纹狮子鱼*Liparis maculatus*	SM	CT	De	B-N	端位	较小	前部宽扁,后部侧扁	M	47	3.9	DAE	0.31	A
鲬*Platycephalus indicus*	SM	WW	De	B-N	端位	中等	平扁形	M	45.7	3.6	PE	0.5	AB
大泷六线鱼*Hexagrammos otakii*	SM	CT	De	P-B	端位	小	侧扁形	M	57	3.8	AE	0.3	A
松江鲈*Trachidermus fasciatus*	SM	T	De	P-B	端位	中等	侧扁形	H	14	3	PE	-	ABC
细条天竺鲷*Jaydia lineata*	SM	WW	De	B	端位	较大	侧扁形	B	10.2	3.7	PAE	1	A

注: P. 浮游生物食性; B. 底栖生物食性; N. 游泳动物食性; SM. 短距离洄游型; LM. 长距离洄游型; L. 定居型; T. 暖温性; WW. 暖水性; De. 底层; M. 中等恢复力; H. 高恢复力; L. 低恢复力; Pe. 中上层; PE. 浮性卵; AE. 附着性卵; PAE. 粘着浮性卵; Sp. 春季; Su. 夏季; Au. 秋季; Wi. 冬季; A. 海水; B. 淡水; C. 咸淡水

Note: P. Planktivorous; B. Benthivorous; N. Nektivorous; SM. Short distance migration; LM. Long distance migration; L. Local species; T. Warm temperate; WW. Warm water; De. Demersal; M. Medium resilience; H. High resilience; L. Low resilience; Pe. Pelagic; PE. Pelagic eggs; AE. Adhesive eggs; PAE. Pelagic adhesive eggs; Sp. Spring; Su. Summer; Au. Autumn; Wi. Winter; A. Seawater; B. Freshwater; C. Brackish water