

DOI: 10.12264/JFSC2023-0133

黄海南部海域鱼类群落结构及生物量粒径谱特征

朱海晨, 汤建华, 吴磊, 施金金, 王储庆, 王燕平, 闫欣, 葛慧

江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007

摘要: 为了解黄海南部海域鱼类群落结构及生物量粒径谱特征, 根据 2017—2018 年底拖网调查资料, 分析了黄海南部海域 4 个季节鱼类种类组成、优势种、资源密度, 构建了鱼类生物量粒径谱。结果显示, 全年共采集鱼类 133 种, 隶属于 20 目 64 科, 全年优势种为小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、银鲳(*Pampus argenteus*)、日本鳀(*Engraulis japonicus*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*), 不同季节优势鱼种存在一定差异; 全年鱼类平均资源密度为 (1258.85 ± 796.92) kg/km², 4 个季节鱼类平均资源密度由大到小依次为夏季、春季、秋季、冬季, 资源密度分布呈现季节差异; ABC 曲线显示春、秋季鱼类群落处于严重干扰状态, 夏、冬季处于中等干扰状态; 鱼类 Sheldon 型粒径谱存在明显的季节差异, 波峰对应的粒径级为高丰度粒径级小的鱼种; 鱼类生物量标准化粒径谱拟合曲线呈抛物线型, 曲率均高于稳定理论值 -1, 曲线偏陡, 说明鱼类群落以小型个体为主, 群落中的营养循环效率低。总体上, 黄海南部海域鱼类群落结构处于不稳定状态, 这可能与环境因素、鱼类生理习性以及人类捕捞影响有关。

关键词: 黄海南部; 鱼类种类组成; 鱼类群落结构; ABC 曲线; 资源密度; 粒径谱

中图分类号: S931 文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)09-1102-10

黄海南部海域水文环境复杂, 受黄海暖流、沿岸流以及黄海冷水团的相互影响, 水体营养物质丰富, 浮游生物种类繁多, 是小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)等多种经济鱼类的栖息地, 由此形成了吕泗、海州湾、连青石等多个重要渔场^[1-3]。自 20 世纪 50 年代以来, 黄海渔业资源由开发不足逐渐演变为过度捕捞状态, 优势种类发生更替, 高营养级的鱼类资源衰退, 渔获物种类出现小型化、幼龄化、性成熟提前等特征, 资源结构已经发生明显的变化^[4]。因此, 全面了解黄海南部海域鱼类种类组成及群落结构稳定性等基础性资料显得更有现实意义。

粒径谱即在相等的对数粒径间隔上的生物量或者丰度与粒径大小关系的曲线, 其不仅能够从宏观角度反映海洋生态系统的稳定性和变化机制, 还可以评估海洋初级生产力和对比不同生态系统

的差别特征, 是海洋生态学的研究热点^[5]。近年来, 已有学者对黄海渔业资源的生物学特征^[6-8]、时空变化^[9-10]、营养级等方面^[11-13]进行了报道, 而对于黄海海域鱼类生物量粒径谱特征鲜有报道。与传统的依托鱼类分类学研究鱼类群落结构稳定特征相比, 粒径谱研究需要的数据易获得, 能够减少生物鉴定不准确或者调查资源有限造成的误差。本研究根据 2017—2018 年 4 个航次底拖网调查的鱼类样品, 分析了不同季节的鱼类种类组成及生物量粒径谱特征, 目的是丰富黄海南部海域鱼类群落结构的资料, 掌握鱼类群落结构稳定性, 同时也为生态动力学研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 调查时间及海域

于 2017 年 5 月(春季)、2017 年 8 月(夏季)、2017 年 11 月(秋季)、2018 年 1 月(冬季)进行了 4

收稿日期: 2023-06-03; 修订日期: 2023-09-07.

基金项目: 江苏省水生生物资源重大专项暨首次水生野生动物资源普查项目(ZYHB16-2); 南通市科技项目(MS12021085).

作者简介: 朱海晨(1995-), 男, 助理工程师, 研究方向为渔业资源. E-mail: Hajsen@126.com

通信作者: 汤建华, 研究员, 研究方向为渔业资源及渔具渔法. E-mail: jssntstjh@163.com

个航次底拖网渔业资源调查, 调查海域为黄海南部($119^{\circ}30' \text{E} \sim 125^{\circ}\text{E}$, $31^{\circ}45'\text{N} \sim 35^{\circ}\text{N}$), 调查海域共设置 68 个站位(图 1)。每个站位拖网 1 次, 每次

拖 1 h, 平均拖速为 3 kn。采集的样品带回实验室进行分类鉴定, 采样及测定分析均按照《海洋调查规范(GB/T 12763)》进行。

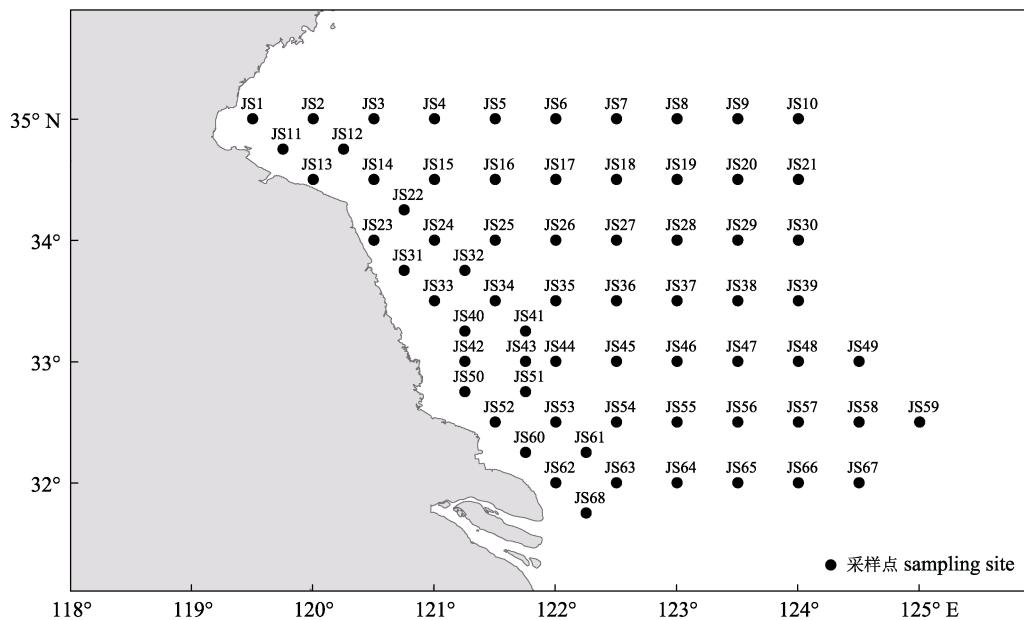


图 1 黄海南部海域调查站位
Fig. 1 Map of survey stations in the southern Yellow Sea

1.2 数据分析

1.2.1 鱼类优势种 采用相对重要性指数(index of relative importance, IRI)计算优势种与重要种^[14]。公式为:

$$\text{IRI} = (N\% + W\%) \times F\%$$

式中, $N\%$ 为某鱼种数量在总尾数中的占比; $W\%$ 为某鱼种重量在总重量中的占比; $F\%$ 为某鱼种出现的站位数在调查总站位数中的占比。 $\text{IRI} \geq 1000$ 为优势种; $100 \leq \text{IRI} < 1000$ 为重要种^[15]。

1.2.2 鱼类资源密度 采用扫海面积法计算鱼类资源密度(D)^[16], 公式为:

$$D = C / (q \times A)$$

式中, C 为每小时捕获的渔获重量(kg/h); q 为网具捕获率, 根据不同鱼类的生活习性和分布水层, 其中底栖鱼类 q 取 0.8, 近底层鱼类 q 取 0.5, 中上层鱼类 q 取 0.3^[17]; A 为网具每小时扫海面积(km^2/h)。

1.2.3 ABC 曲线 ABC (abundance-biomass comparison) 曲线通过分析生物量和丰度两条曲线的变动来分析群落的状态。用 W 值表示生物量与丰度的相对关系统计量^[18]。公式为:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{(B_i - A_i)}{50(S-1)}$$

式中, B_i 和 A_i 为种类序号对应的生物量和丰度的累计百分比, S 为捕获鱼种数。

1.2.4 鱼类粒径谱 从鱼类最小平均个体重量开始, 以 2 的倍数等比增长划分粒径级^[19]。鱼类 Sheldon 型粒径谱的横坐标为以 2 为底的对数转换的粒径级上限值, 纵坐标为单位面积上对应的生物量^[20], 用曲线将坐标轴内散点连接起来。鱼类标准化粒径谱横坐标与 Sheldon 型粒径谱一致, 纵坐标为 \log_2 转换的单位面积上对应的生物量与个体重量变化幅度比值^[21], 在不受干扰的情况下, 标准化粒径谱呈线性, 斜率为 -1, 反之, 呈抛物线型^[22]。

原始数据按照拖网时间(1 h)和拖速(3 kn)进行标准化, 数据经过标准化校正后, 使用 Microsoft Excel 2013 软件进行相对重要性指数、鱼类粒径谱分析; 使用 PRIMER5.0 进行 ABC 曲线绘制及 W 统计量的计算; 使用 Arcgis 10.3 软件制作站位图、资源密度分布图。使用单因素方差分析检验不同季节粒径谱数据、资源密度的差异性。

2 结果与分析

2.1 鱼种组成及优势种

2017—2018年4个航次共捕获鱼类133种,隶属于20目64科。在目级水平上,鲈形目(Perciformes)出现种类数最多,为58种,占全部鱼种的43.6%;其次是鲱形目(Clupeiformes),为14种,占全部鱼种的10.5%。鱼类优势种以小黄鱼、日本鳀(*Engraulis japonicus*)、银鲳(*Pampus argenteus*)、带鱼为主。

季节组成:春季共捕获鱼类84种,隶属于17目45科,鱼类优势种组成以日本鳀、小黄鱼为主;夏季共捕获鱼类89种,隶属于13目50科,鱼类优势种以带鱼、日本鳀、小黄鱼、银鲳为主;秋季共捕获鱼类82种,隶属于12目47科,鱼类优势种以龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、银鲳为主;冬季共捕获鱼类65种,隶属于12目37科,鱼类优势种以黄卿(*Setipinna taty*)、日本鳀、银鲳为主(表1)。

表1 黄海南部鱼类优势种及重要种

Tab. 1 Dominant species and important species of fishes in the southern Yellow Sea

季节 season	种名 species	F%	W%	N%	IRI
春季 spring	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	94.12	56.07	79.76	12784.32
	日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	52.94	18.75	12.57	1658.08
	银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	44.12	8.47	1.6	444.29
	黄鮟鱇 <i>Lophius litulon</i>	48.53	4.77	0.08	235.37
	蛇鮈 <i>Erisphex pottii</i>	35.29	2.24	2.44	165.16
夏季 summer	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	88.24	22.67	43.23	5815.02
	带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	82.35	28.55	6	2845.19
	银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	63.24	22.8	14.24	2342.41
	日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	38.24	14.24	21.78	1377.4
	黄卿 <i>Setipinna taty</i>	42.65	1.46	5.52	297.7
	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	26.47	0.89	4.94	154.32
秋季 autumn	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	63.24	11.80	24.38	2288.02
	银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	77.94	17.78	5.47	1812.11
	日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	57.35	3.08	13.56	954.3
	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	47.06	5.82	13.57	912.49
	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	63.24	8.01	4.6	797.46
	黄卿 <i>Setipinna taty</i>	50	6.89	6.47	668
	带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	58.82	7.96	2.8	632.9
	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	60.29	2.08	8.05	610.74
	黄鮟鱇 <i>Lophius litulon</i>	33.82	8.05	0.12	276.31
	赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	38.24	1.78	4.91	255.83
	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	38.24	2.61	3.16	220.64
	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i>	57.35	1.18	1.94	178.93
冬季 winter	青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunas</i>	16.18	4.62	5.56	164.71
	细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>	22.06	5.42	0.17	123.32
	银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	60.29	30.27	18.2	2922.26
	黄卿 <i>Setipinna taty</i>	52.94	24.39	14.68	2068.37
	日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	54.41	7.02	18.44	1385.28
	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	27.94	22.85	4.63	767.79
	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	58.82	5.32	7.4	748.19
	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	72.06	2.76	5.78	615.39
	细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>	39.71	5.53	0.06	221.98
	黄鮟鱇 <i>Lophius litulon</i>	50	3.55	0.07	181
	蛇鮈 <i>Erisphex pottii</i>	47.06	0.8	2.04	133.65
	鮓 <i>Miichthys miuy</i>	50	2.07	0.45	126
	中颌棱鳀 <i>Thryssa mystax</i>	50	1.26	1.25	125.5
	带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	30.88	2.16	1.84	123.52

2.2 鱼类资源密度时空分布

2017—2018年4个航次整体鱼类平均资源密度为 $(1258.85\pm796.92)\text{ kg}/\text{km}^2$, 鱼类资源密度呈现明显的季节差异($P<0.05$), 夏季鱼类平均资源密度最大, 为 $(3628.77\pm917.72)\text{ kg}/\text{km}^2$, 其次是春季、秋季, 分别为 $(709.41\pm210.86)\text{ kg}/\text{km}^2$ 、 $(499.36\pm106.48)\text{ kg}/\text{km}^2$, 最后是冬季, 为 $(197.87\pm30.01)\text{ kg}/\text{km}^2$ 。

根据季节资源密度分布图(图2), 春季鱼类资源密度高值区零星分布在调查海域的南部近岸海域与外侧海域, 各个调查站位的鱼类资源密度范围为 $8.11\sim9953.03\text{ kg}/\text{km}^2$; 夏季鱼类平均

资源密度最大, 各个调查站位的鱼类资源密度范围为 $31.68\sim48458.4\text{ kg}/\text{km}^2$ 。从空间分布特征来看, 调查区域北部海域的鱼类资源密度明显低于中南部海域; 秋季鱼类平均资源密度为 $499.36\text{ kg}/\text{km}^2$, 各个调查站位的鱼类资源密度范围为 $3.8\sim5397.47\text{ kg}/\text{km}^2$, 鱼类资源密度的高值区主要集中在调查海域的中间海域; 冬季鱼类平均资源密度最小, 各个调查站位的鱼类资源密度范围为 $1.77\sim1232.99\text{ kg}/\text{km}^2$ 。根据不同调查站位的资源密度空间分布特征, 各个调查站位鱼类资源密度均处于偏低水平。

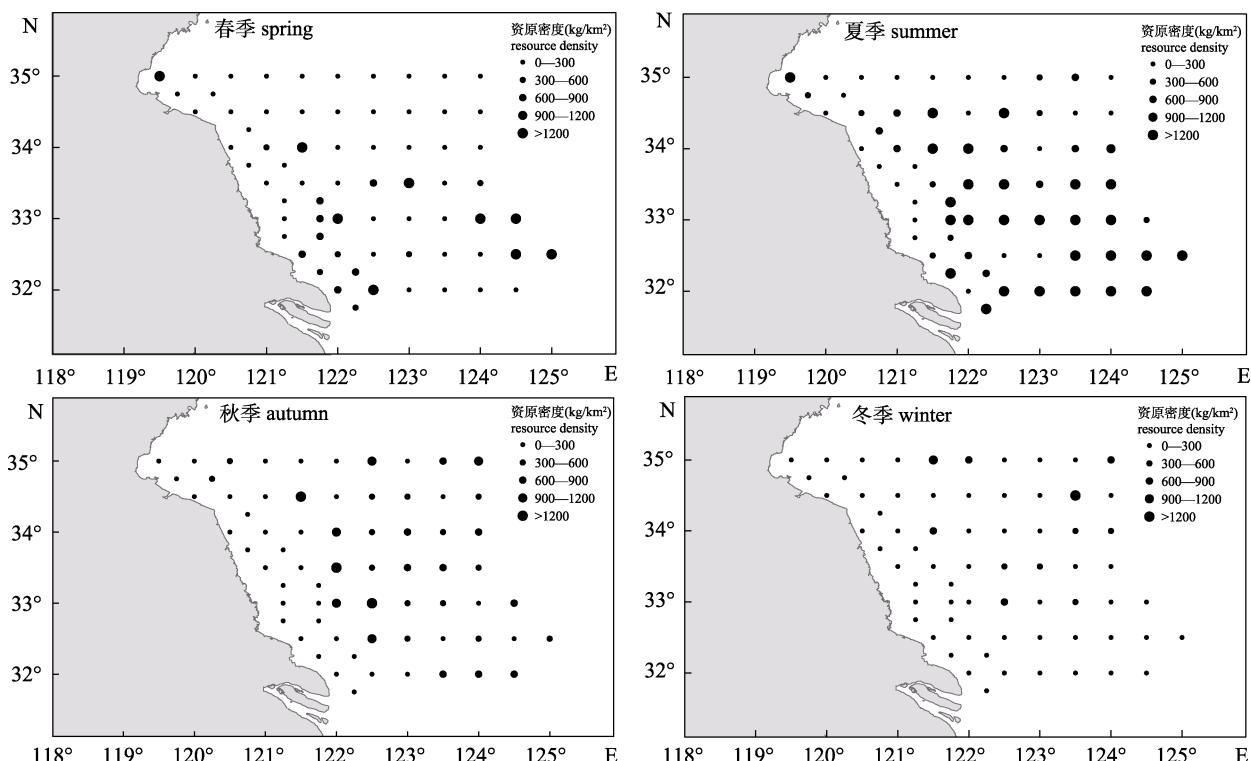


图2 黄海南部不同季节鱼类资源密度分布

Fig. 2 Distribution of fish resource density in different seasons in the southern Yellow Sea

2.3 ABC 曲线

根据黄海南部鱼类群落ABC曲线(图3), 春季丰度曲线起始点累计百分比为80%, 远高于生物量曲线起始点百分比, W 值为-0.031, 鱼类群落处于严重干扰; 夏季丰度曲线起始点累计百分比在40%以上, 高于生物量的起始点累计百分比, 两条曲线变动过程中出现相交, W 值为-0.012, 鱼类群落处于中等干扰; 秋季丰度曲线起始点累计

百分比在20%以上, 高于生物量曲线起始点百分比, W 值为-0.048, 鱼类群落处于严重干扰; 冬季生物量曲线起始点累计百分比高于丰度曲线起始点累计百分比, 变动过程中两条曲线出现相交, W 值为-0.024, 鱼类群落处于中等干扰。

2.4 鱼类粒径谱

4个季节鱼类Sheldon型粒径谱存在明显的季节差异($P<0.05$)。春季鱼类生物量粒径谱呈现波峰

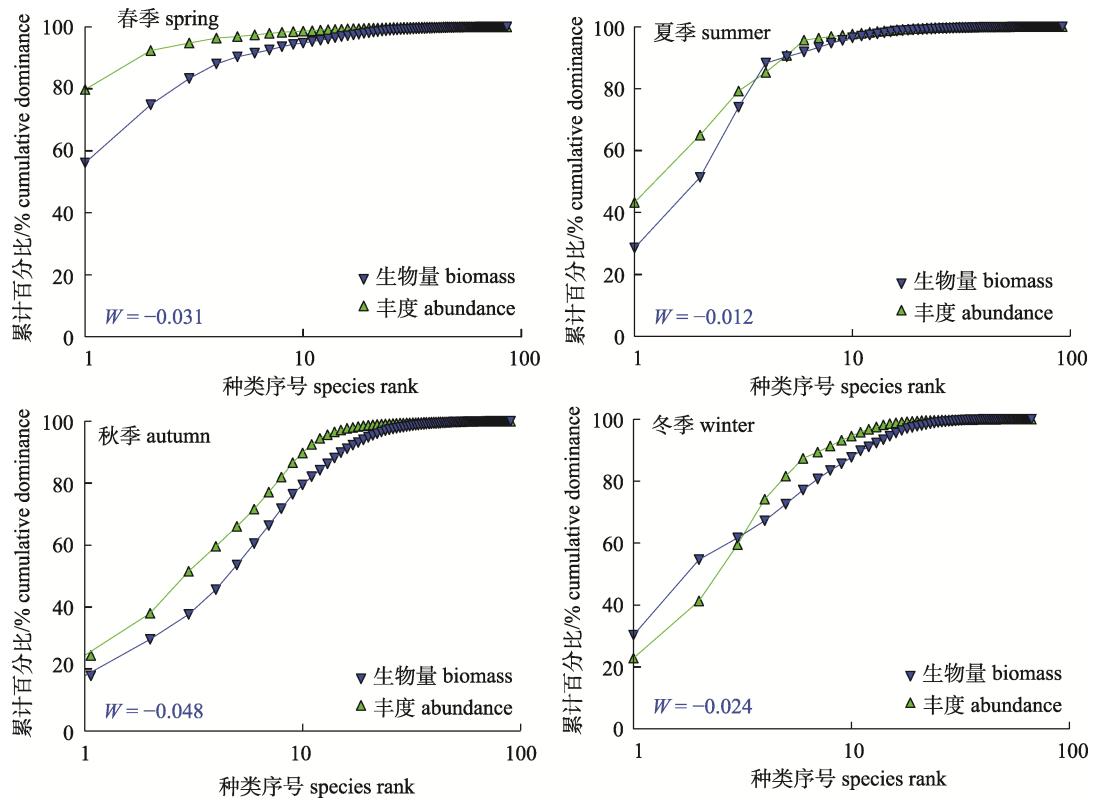


图3 黄海南部不同季节鱼类群落ABC曲线

Fig. 3 ABC curves of fish community in different seasons in the southern Yellow Sea

与波谷相间分布，粒径级最小为-3，最大为12，在4~6粒径级上出现最高峰；夏季鱼类生物量粒径谱呈现“M”型，为双波峰，单波谷型。粒径范围为-2~13粒径级，第一个波峰出现在2~4粒径级上，第二个波峰出现在6~8粒径级上，4~6粒径级为波谷；秋季生物量粒径谱粒径范围为-2~13，整体呈现单峰模式，4~6粒径级为最高峰；冬季生物量粒径范围为-3~13，呈现单峰模式，最高峰出现在4~6粒径级上(图4)。

根据4个季节的鱼类标准化粒径谱图形(图5)，拟合曲线均呈“抛物线型”，回归结果均具有显著性($P<0.05$)。4个季节鱼类标准化粒径谱的曲率范围为-0.23~-0.11，其中，春季最大，秋、冬季次之，夏季最小，且春季曲线弯曲相对平缓。决定系数 R^2 范围为0.79~0.88，其中，春季最大，冬季最小。

3 讨论

3.1 鱼种组成与优势种

根据研究结果，黄海南部鱼类种类以鲈形目

居多，鱼种组成以暖温种和暖水种为主，如小黄鱼、日本鳀、银鲳、赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)等，这与以往研究结果相印证^[23]。优势鱼种主要为反映鱼类群落特征的种类，影响着鱼类群落的能量流、物质流，对于稳定群落结构具有不可替代的功能^[24]。日本鳀、银鲳为4个季节共有的优势种或者重要种，日本鳀主要以浮游硅藻、小型甲壳类为饵料，又被高营养级鱼类所捕食，为群落的能量流动提供重要转化作用。此外，优势鱼种存在一定季节变化，分析各个季节的优势鱼种，可以看到除了带鱼、小黄鱼、银鲳仍属于传统的重要经济鱼类以外，其他优势鱼种都是传统的非经济鱼类、生长迅速的小型中上层鱼类、经济价值较低的底层鱼类如日本鳀、黄鮟鱇等。传统的部分经济鱼类逐渐被低值、生长速度快的小型鱼类所代替，并且这些鱼类逐渐演变为黄海鱼类资源主体。此外，除秋季外，黄海南部各个季节优势种的生物量均占总渔获量的60%以上，在一定程度上体现了鱼类群落能量流动和生态位主要由

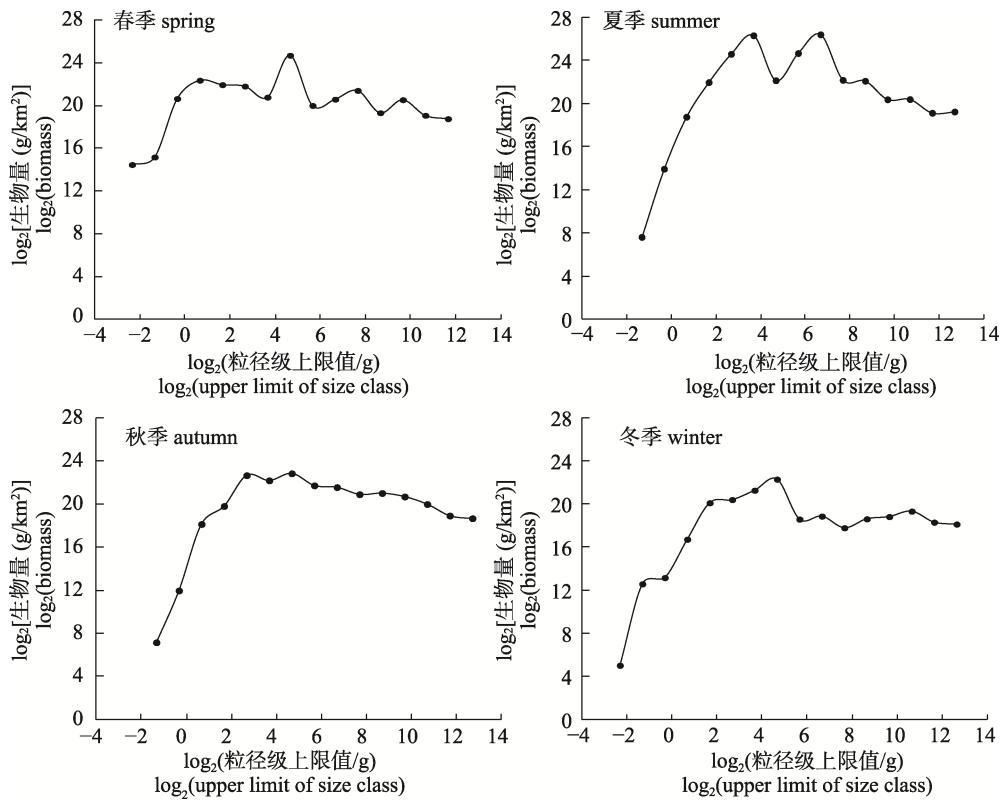


图4 黄海南部鱼类 Sheldon 型粒径谱

Fig. 4 Sheldon particle size spectrum of fishes in the southern Yellow Sea

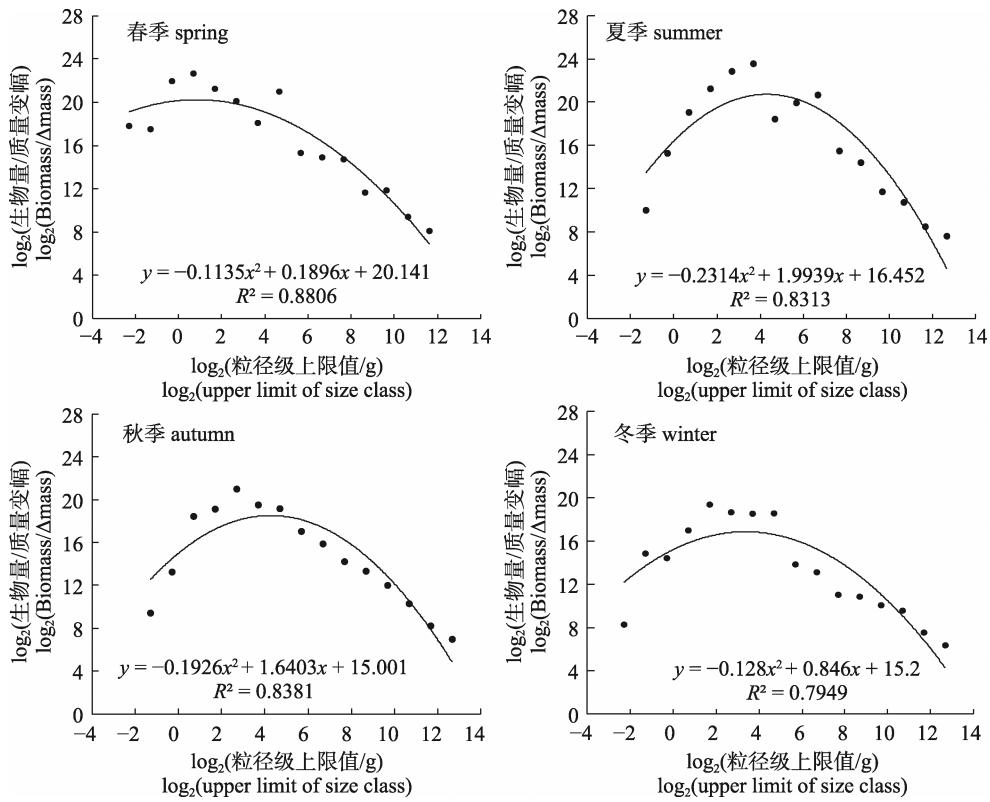


图5 黄海南部鱼类标准型粒径谱

Fig. 5 Normalized particle size spectrum of fishes in the southern Yellow Sea

少数优势种控制,这与刘勇等^[25]研究结果相印证。

3.2 鱼类资源密度时空分布

黄海南部鱼类资源密度存在明显的季节变化,夏季鱼类资源最高,秋、冬季最低。卢占晖等^[26]认为在一定的温度范围内,鱼类的生长速度与水温呈现正相关,且夏季调查航次为“伏季休渔”期间,在无捕捞活动且饵料充足的情况下,春季繁殖的幼鱼成长为成鱼,则夏季鱼类平均资源密度达到最高^[27]。与夏季相比,秋季鱼类资源密度出现断崖式下降,这与休渔结束,捕捞努力量上升密切相关。冬季为全年鱼类资源密度最低的季节,仅有的个别高值区也分布在外侧海域,受水温等条件的影响,鱼类已经从生殖、摄食等生理活动转变为向外侧海域进行越冬。各季节鱼类资源密度空间分布也存在差异,这主要是由于外界生境条件的变化以及自身生理习性主导着鱼类的活动行为与空间分布^[28-29]。春季温度回升,鱼类开始产卵洄游,在适宜的产卵场进行繁殖,根据本研究结果,调查海域春季小黄鱼的资源密度达到总资源密度的55%以上,而资源密度高值区对应着小黄鱼吕泗产卵场及外海产卵场^[30]。总体来说,在鱼类自身的生理发育、人为捕捞等多种因素的共同影响下,鱼类资源呈现明显的时空差异。黄海南部资源密度同样呈现夏高冬低的季节变化,在浙江海域鱼类^[31]、虾类^[32]、软体动物类^[33]等研究中得到印证。

3.3 群落结构稳定性

鱼类影响海域生态系统的结构和功能稳定,群落结构稳定性受不同粒径鱼种的生物量与丰度的影响,群落中优势鱼种的个体大小决定着ABC曲线中丰度优势曲线与生物量曲线之间的关系^[34]。李圣法^[35]认为鱼类群落中小个体比例偏高是影响ABC曲线特征的主要因素。本研究渔获组成多以小型鱼类为主,如日本鳀等小型饵料鱼类,其丰度和生物量的占比差异影响着ABC曲线特征,也验证了李圣法的结论。黄海南部海域鱼类群落4个季节的ABC曲线W值均为负数,表明各个季节的鱼类群落处于中等干扰或者严重干扰状态。这可能与群落中各鱼种的补充和生长、产卵群体的洄游等内在因素以及过度捕捞、水域污

染等人为因素有关。以秋季鱼类群落结构处于严重干扰为例,对比同季节的其他海域鱼类群落ABC曲线特征^[36-37],黄海南部海域鱼类群落受到干扰程度更高,作为我国重要的捕捞海域之一,其受到人为因素影响更大,过度捕捞使得鱼类群落中大个体鱼类被捕获,降低了鱼类群落结构稳定性。春季鱼类群落也处于严重干扰状态,春季为鱼类产卵季节,大量鱼类从外海洄游至沿岸进行产卵活动,形成了较为持续的洄游迁入干扰,加之春季黄海暖流仍然势力较强也降低了鱼类群落结构稳定性^[38]。

3.4 鱼类粒径谱特征

鱼类粒径谱能够反映调查海域鱼类群落结构,在小粒径级鱼种和大粒径级鱼种处会分别形成波峰,并在中间形成波谷^[39]。Dolbeth等^[40]认为波峰与波谷相间分布并不是固定的,取决于各个季节出现的主要鱼种。根据本研究结果,波峰对应的粒径级为高丰度粒径级小的鱼种。春季,鱼类粒径谱峰值对应粒径级为12.8~25.6 g,丰度占春季全部丰度的15.81%,生物量占春季全部生物量的56.87%,从而形成一个波峰。其主要对应鱼种为小黄鱼,占该粒径级生物量和丰度分别为74.15%和67.3%;其次为日本鳀,占该粒径级生物量和丰度的24.06%和30.96%。夏季,鱼类粒径谱峰值对应粒径为6.4~12.8 g、51.2~102.4 g,从而形成两个波峰,在12.8~25.6 g粒径上形成波谷。秋、冬季鱼类粒径谱整体上均呈现单峰模式,鱼类群落结构以小型鱼类为主,大型鱼类较少,这可能与捕捞强度增加有关。

标准化粒径谱拟合曲线的曲率、决定系数能够反映鱼类生态系统的特征,粒径谱图形曲率受到调查海域的生产力水平、栖息环境以及捕捞强度等影响^[41]。本研究中,黄海南部海域4个季节鱼类标准化粒径谱拟合曲线呈抛物线型,表明鱼类群落受到外界干扰稳定性较差,曲线偏陡,说明鱼类群落以小型鱼类为主,群落中的营养循环效率低,粒径结构不稳定,以较小粒级为主。标准化粒径谱的截距与最小粒级生物量可以反映鱼类生态系统中生产力水平,对黄海南部不同季节的标准化生物量粒径谱截距、最小粒级生物量进行

比较可以发现春季的截距、最小粒级生物量高于其他季节,说明黄海南部海域春季的生产力水平较高。

4 结论

本研究从生物量粒径谱角度,研究了黄海南部海域鱼类群落结构、资源密度、群落结构稳定性及生物量粒径谱结构。根据研究结果,黄海南部海域4个航次共捕获鱼类133种,资源密度呈现明显的季节差异,夏季鱼类平均资源密度最大。从群落结构稳定性来看,春、秋季鱼类群落处于严重干扰状态,夏、冬季处于中等干扰状态。鱼类群落以小个体鱼类为主,群落中的营养循环效率偏低,粒径结构不稳定。研究结果可以丰富黄海南部海域鱼类群落结构的资料,掌握鱼类群落结构稳定性,同时也为生态动力学研究提供基础。

参考文献:

- [1] Chen X J. Fishery Resources and Fishery Science[M]. Beijing: Ocean Press, 2004. [陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.]
- [2] Shan X J, Chen Y L, Dai F Q, et al. Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 377-389. [单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等. 黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 377-389.]
- [3] Thang Q S, Su J L. Study on the Dynamics of Marine Ecosystem in China. Key Scientific Issues and Research Development Strategy[M]. Beijing: Science Press, 2000: 4-8. [唐启升, 苏纪兰. 中国海洋生态系统动力学研究·I, 关键科学问题与研究发展战略[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 4-8.]
- [4] Shan X J, Sun P F, Jin X S, et al. Seasonal variations of fishery resource structure in the sections of the southern Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(3): 425-435. [单秀娟, 孙鹏飞, 金显仕, 等. 黄海典型断面渔业资源结构的季节变化[J]. 水产学报, 2013, 37(3): 425-435.]
- [5] Shen G Y, Huang L F, Guo F. Marine Ecology[M]. 3rd ed. Beijing: Science Press, 2010. [沈国英, 黄凌风, 郭丰. 海洋生态学[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2010.]
- [6] Jin X, Xu B, Tang Q. Fish assemblage structure in the East China Sea and southern Yellow Sea during autumn and spring[J]. Journal of Fish Biology, 2003, 62(5): 1194-1205.
- [7] Hong Z Z, Zhang C, Tian Y J, et al. Interannual variation in biological characteristics of sand lance (*Ammodytes personatus*) in the Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(6): 701-708. [洪泽洲, 张弛, 田永军, 等. 黄海玉筋鱼生物学特性的年际变化[J]. 中国水产科学, 2020, 27(6): 701-708.]
- [8] Li J S, Yan L P, Hu F. Inter-decadal variation in the reproductive characteristics of chub mackerel *Scomber japonicus* in the northern Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(3): 567-573. [李建生, 严利平, 胡芬. 黄海北部日本鲭繁殖生物学特征的年代际变化[J]. 中国水产科学, 2014, 21(3): 567-573.]
- [9] Chen Y L. Spatio-temporal variation of fishery resources in the Yellow Sea and Yangtze River Estuary[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2017. [陈云龙. 黄海和长江口水域渔业资源时空变化的研究[D]. 青岛: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 2017.]
- [10] Jin Y, Li N, Jin X S, et al. Spatiotemporal variation of biodiversity and mean temperature of the biomass of fishery resources in the Yellow Sea in fall[J]. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(2): 1-9. [金岳, 李娜, 金显仕, 等. 秋季黄海渔业生物多样性及生物量平均温度的时空变化[J]. 渔业科学进展, 2023, 44(2): 1-9.]
- [11] Li Z Y, Zuo T, Dai F Q, et al. Trophic level analysis of organisms from Changjiang Estuary and adjacent waters of southern Yellow Sea in spring with stable isotope technology[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(1): 103-109. [李忠义, 左涛, 戴芳群, 等. 运用稳定同位素技术研究长江口及南黄海水域春季拖网渔获物的营养级[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 103-109.]
- [12] Liu Y, Cheng J H. A preliminary analysis of variation characteristics of structure and average trophic level of the main fishery species caught by paired bottom trawl in the East China Sea and the Yellow Sea during the fall season[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(5): 691-702. [刘勇, 程家骅. 东海、黄海秋季渔业生物群落结构及其平均营养级变化特征初步分析[J]. 水产学报, 2015, 39(5): 691-702.]
- [13] Bai H Y, Wang Y K, Zhang T T, et al. Trophic levels and feeding characters of marine fishes in the Yellow Sea and northern East China Sea based on stable isotope analysis[J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(2): 10-17. [白怀宇, 王玉堃, 张廷廷, 等. 基于碳、氮稳定同位素研究黄海及东海北部主要鱼类的营养级和食性[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(2): 10-17.]
- [14] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Fishery Bulletin, 1971, 18(6): 594-653.
- [15] Li F, Zhang H J, Lyu Z B, et al. Species composition and

- community diversity of nekton in Laizhou Bay, China[J]. *Biodiversity Science*, 2013, 21(5): 537-546. [李凡, 张焕君, 吕振波, 等. 莱州湾游泳动物群落种类组成及多样性[J]. 生物多样性, 2013, 21(5): 537-546.]
- [16] Zhan B Y. Fish Stock Assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [17] Wang Y P, Ge H, Wang C Q, et al. Study on the diversity of nekton in Rudong shoal waters[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2020, 39(3): 270-275. [王燕平, 葛慧, 王储庆, 等. 如东浅滩海域游泳动物多样性研究[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2020, 39(3): 270-275.]
- [18] Clarke K R, Warwick R M. Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation[M]. 2nd ed. Plymouth: PRIMPER-E. 2001:1-91.
- [19] Sheldon R W, Prakash A, Sutcliffe W H Jr. The size distribution of particles in the ocean[J]. *Limnology and Oceanography*, 1972, 17(3): 327-340.
- [20] Jung S, Houde E D. Fish biomass size spectra in Chesapeake Bay[J]. *Estuaries*, 2005, 28(2): 226-240.
- [21] Sprules W G, Munawar M. Plankton size spectra in relation to ecosystem productivity, size, and perturbation[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1986, 43(9): 1789-1794.
- [22] Guo J Z, Chen Z Z, Xu S N. Advances in fish particle size spectra study[J]. *Marine Fisheries*, 2017, 39(5): 582-591. [郭建忠, 陈作志, 徐姗楠. 鱼类粒径谱研究进展[J]. 海洋渔业, 2017, 39(5): 582-591.]
- [23] Xu B D, Jin X S. Variations in fish community structure during winter in the southern Yellow Sea over the period 1985–2002[J]. *Fisheries Research*, 2005, 71(1): 79-91.
- [24] Zhang J, Chen Z Z, Cai Y C, et al. Long-term variation in dominant species and biodiversity of fish in the lagoon of Meiji Reef in the South China Sea based on hand fishing and gill net[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(11): 1466-1476. [张俊, 陈作志, 蔡研聪, 等. 南海美济礁潟湖区鱼类优势种和生物多样性的长期变化[J]. 中国水产科学, 2021, 28(11): 1466-1476.]
- [25] Liu Y, Li S F, Cheng J H. A study on seasonal changes of the fish communities in the East China Sea and the Huanghai Sea[J]. *Haiyang Xuebao*, 2006, 28(4): 108-114. [刘勇, 李圣法, 程家骅. 东海、黄海鱼类群落结构的季节变化研究. 海洋学报, 2006, 28(4): 108-114.]
- [26] Lu Z H, Zhu W B, Xu K D, et al. Study on seasonal changes of snails and shellfish communities in coastal areas off Zhejiang Province[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2023, 54(1): 276-285. [卢占晖, 朱文斌, 徐开达, 等. 浙江沿岸海域螺贝类群落结构及其季节变化[J]. 海洋与湖沼, 2023, 54(1): 276-285.]
- [27] Li Z Y, Dai F Q, Yang T, et al. Effect of prolonged summer fishing moratorium on fisheries conservation in Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(10): 1510-1518. [李忠义, 戴芳群, 杨涛, 等. 延长伏季休渔期对渤海渔业资源的养护效果评价[J]. 中国水产科学, 2022, 29(10): 1510-1518.]
- [28] Bai J J, Hou P, Zhao Y H, et al. Research progress of species habitat suitability models and their verification[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2022, 41(7): 1423-1432. [白君君, 侯鹏, 赵燕红, 等. 物种生境适宜性模型及验证的研究进展[J]. 生态学杂志, 2022, 41(7): 1423-1432.]
- [29] Zhang Y L, Xue Y, Yu H M, et al. Study on the habitat suitability of Johnius belangerii during spring in the Haizhou Bay, China[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(6): 83-91. [张云雷, 薛莹, 于华明, 等. 海州湾春季皮氏叫姑鱼栖息地适宜性研究[J]. 海洋学报, 2018, 40(6): 83-91.]
- [30] Lin L S, Cheng J H, Jiang Y Z, et al. Spatial distribution and environmental characteristics of the spawning grounds of small yellow croaker in the southern Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3485-3494. [林龙山, 程家骅, 姜亚洲, 等. 黄海南部和东海小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)产卵场分布及其环境特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3485-3494.]
- [31] Ma W, Qin S, Zhao J. Distribution characteristics and influencing factors of fish resources in the offshore waters south of Zhejiang[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(3): 1-11. [马稳, 秦松, 赵静. 浙江南部近海鱼类资源季节分布特征及其影响因素[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(3): 1-11.]
- [32] Chen W F, Peng X, Ye S, et al. Community structure and diversity of shrimp species in the coastal area of South Zhejiang[J]. *Marine Sciences*, 2018, 42(3): 37-45. [陈伟峰, 彭欣, 叶深, 等. 浙南近海虾类群落结构及其多样性分析[J]. 海洋科学, 2018, 42(3): 37-45.]
- [33] Lu Z H, Zhou Y D, Zhu W B, et al. Analysis of molluscs community structure in the Zhejiang coast[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, 47(3): 424-435. [卢占晖, 周永东, 朱文斌, 等. 浙江沿岸水域软体动物群落结构分析[J]. 水生生物学报, 2023, 47(3): 424-435.]
- [34] Blanchard F, LeLoc'h F, Hily C, et al. Fishing effects on diversity, size and community structure of the benthic invertebrate and fish megafauna on the Bay of Biscay coast of France[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2004, 280: 249-260.
- [35] Li S F. Status of fish community in East China Sea using the method of abundance-biomass comparison (ABC) curve[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(1): 136-144.

- [李圣法. 以数量生物量比较曲线评价东海鱼类群落的状况[J]. 中国水产科学, 2008, 15(1): 136-144.]
- [36] Xu S N, Guo J Z, Chen Z Z, et al. Biomass particle-size spectrum of fish in Daya Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(1): 34-43. [徐姗楠, 郭建忠, 陈作志, 等. 大亚湾鱼类生物量粒径谱特征[J]. 中国水产科学, 2019, 26(1): 34-43.]
- [37] Xu S N, Guo J Z, Chen Z Z, et al. Biomass particle size spectrum of fish in the Jiaozhou Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(4): 596-605. [徐姗楠, 郭建忠, 陈作志, 等. 胶州湾鱼类生物量粒径谱特征[J]. 水产学报, 2020, 44(4): 596-605.]
- [38] Niu M X, Li X S, Zhao G X. Spatial distribution of wintering *Engraulis japonicus* and its relationship with the inter-annual variations of water temperature in central and southern Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(2): 552-558. [牛明香, 李显森, 赵庚星. 黄海中南部越冬 *Engraulis japonicus* 的空间分布及其与水温年际变化的关系[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 552-558.]
- [39] Yang K E, Zhou X J, Qin S, et al. Fish size spectrum characteristics in offshore waters of southern Zhejiang Province[J]. South China Fisheries Science, 2022, 18(1): 10-21. [杨柯迩, 周曦杰, 秦松, 等. 浙江南部近海鱼类粒径谱特征[J]. 南方水产科学, 2022, 18(1): 10-21.]
- [40] Dolbeth M, Raffaelli D, Pardal M A. Patterns in estuarine macrofauna body size distributions: The role of habitat and disturbance impact[J]. Journal of Sea Research, 2014, 85: 404-412.
- [41] Liu M Z, Jiang R J, Chen F, et al. Analysis on community structure of shellfish and its characteristics of biomass particle size spectrum in Yueqing Bay, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(2): 777-788. [刘明智, 蒋日进, 陈峰, 等. 乐清湾贝类群落组成及其粒径谱结构特征[J]. 生态学报, 2023, 43(2): 777-788.]

Fish community structure and biomass particle size spectrum in the southern Yellow Sea

ZHU Haichen, TANG Jianhua, WU Lei, SHI Jinjin, WANG Chuqing, WANG Yanping, YAN Xin, GE Hui
Jiangsu Marine Fisheries Research Institute, Nantong 226007, China

Abstract: Fish is the primary focus of research within fishery resources and represents one of the most important sources of human food. Within the fishery ecosystem, the fish community can reflect the energy conversion processes. The southern Yellow Sea, characterized by the interplay of the Yellow Sea warm current, coastal current, and the Yellow Sea cold water mass, possesses a complex ecological environment and abundant fish resources. To comprehend the composition and characteristics of the fish community and the spectrum of fish biomass particle sizes in the southern Yellow Sea, we conducted an analysis using trawl survey data from 2017 to 2018. Our study examined fish species composition, dominant species, and resource density across four seasons and constructed a fish biomass particle size spectrum. The findings revealed that a total of 133 fish species from 64 families and 20 orders were collected. The dominant species included *Larimichthys polyactis*, *Pampus argenteus*, *Engraulis japonicus*, and *Trichiurus lepturus*, with some differences in dominant species across different seasons. The annual average resource density of fish was $(1258.85 \pm 796.92) \text{ kg/km}^2$, with seasonal variations observed in summer, spring, autumn, and winter. An ABC curve indicated significant disturbance in fish communities during spring and autumn, with moderate disturbance during summer and winter. Notably, distinct seasonal differences were found in the Sheldon-type particle size spectrum of fish, with high abundance among small-sized individuals at specific particle size levels corresponding to peaks. Furthermore, the fitting curve for the standardized fish biomass particle size spectrum exhibited a parabolic shape with curvatures higher than the stable theoretical value -1 . This suggests dominance by small individuals within the fish community and low nutrient cycling efficiency. Overall, the instability of the fish community in the southern Yellow Sea may be attributed to environmental factors, the physiological habits of fishes, and human fishing practices.

Key words: southern Yellow Sea; fish species composition; fish community structure; ABC curve; resource density; particle size spectrum

Corresponding author: TANG Jianhua. E-mail: jssntstjh@163.com.