

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20220211001

http://www.yykxjz.cn/

苏程程, 韩青鹏, 张琦, 单秀娟, 李凡. 山东半岛北部海域渔业生物群落结构及健康评价. 渔业科学进展, 2023, 44(3): 01-11

SU C C, HAN Q P, ZHANG Q, SHAN X J, LI F. Structure and health of the fishery community in the northern Shandong Peninsula sea area. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(3): 01-11

山东半岛北部海域渔业生物群落结构及健康评价*

苏程程^{1,2} 韩青鹏¹ 张琦⁴ 单秀娟^{1,3①} 李凡⁵

- (1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室 山东 青岛 266071; 2. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 3. 山东长岛近海渔业资源国家野外科学观测研究站 山东 烟台 265800; 4. 山东省东营市垦利区海洋发展和渔业局 山东 东营 257091; 5. 山东省海洋资源与环境研究院 山东 烟台 264006)

摘要 山东半岛北部海域是渤、黄海众多渔业生物的产卵场或索饵场,对渤、黄海渔业资源补充和繁衍发挥重要支撑作用。本研究基于2021年5—6月山东半岛北部水域渔业资源调查数据,结合历史资料,通过食物网拓扑结构与社会网络分析法,分析了山东半岛北部海域渔业资源结构、优势种、关键种和多样性,并以2011—2013年山东近海渔业生物健康状况为基准,评价了山东半岛北部海域渔业生物健康状况。研究显示,2021年山东半岛北部海域春季中上层鱼类所占比例减少,优势种与重要种种类减少,均以小型、经济价值较低的种类为主。优势种鳀(*Engraulis japonicus*)在渔获物中占比增加。脊腹褐虾(*Crangon affinis*)为无脊椎动物绝对优势种。群落关键种为细纹狮子鱼(*Liparis tanakae*)、黄鲛鳕(*Lophius litulon*)、鳀、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)和矛尾鰕虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)。2021年春季渔业生物密度、鱼类密度和甲壳类密度健康指数均为健康状态,而头足类密度健康指数则处于亚健康状态。相比2011—2013年,多种经济种类密度有较大增长,山东半岛北部海域渔业生物健康状况总体良好。

关键词 山东半岛北部; 渔业生物; 关键种; 健康评价; 群落结构

中图分类号 S931 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2023)03-0001-11

山东海域具有丰富的陆源营养物质补充,基础生产力较高,具备适宜渔业生物生长和繁育的水动力基础和地质条件(金显仕等, 2005; 吕振波, 2010)。近年来,随着全球气候变暖和人类活动加剧,山东近海渔业资源普遍衰退、种类交替明显、渔获物小型化和低质化、物种多样性降低,重要渔业资源已不能形成渔汛,对黄渤海渔业资源的支持功能日益减退(金显仕, 2020; Jin *et al.*, 2013)。对山东近海渔业生物的研究以

山东半岛南部和近岸海域渔业生物群落结构和无脊椎动物为主(杨刚等, 2017; 吴强等, 2011; 唐启升等, 1990),对山东半岛北部海域渔业生物种类组成、群落结构和渔业生物健康评价研究较少。因此,本研究基于2021年5—6月“中渔科102”调查船在山东半岛北部海域的底拖网渔业资源调查数据,结合相关文献,分析该海域渔业生物种类组成、优势种和多样性,通过食物网拓扑结构与社会网络分析法,分

* 国家自然科学基金项目(42176151)、山东省泰山学者专项(tsqn2022103135)和中国水产科学院基本科研业务费(2021TD01)共同资助。苏程程, E-mail: 13335088169@163.com

① 通信作者: 单秀娟, 研究员, E-mail: shanxj@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2022-02-11, 收修改稿日期: 2022-03-25

析该海域渔业生物关键种,以2011和2013年调查数据为基准,分析该海域渔业生物健康状况,以期为山东半岛海域渔业资源养护和管理提供支撑。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于“中渔科102”调查船在山东半岛北部海域的底拖网渔业资源调查(图1)。调查时间为2021年5—6月,调查海域为山东半岛北部海域(37°00′~39°00′N, 119°00′~124°00′E),网具参数:囊网网目20 mm,网口周长88 m,网长58 m。每站拖网时间为1 h,平均拖速为3.0 kn。本研究食性数据参考邓景耀等(1997)、韦晟等(1992)、杨纪明(2001)和张波(2018),并对摄食关系进行归纳整理。

1.2 研究方法

1.2.1 群落结构分析 群落结构分析方法见表1。

1.2.2 网络分析法 通过食物网拓扑结构建立一系列拓扑学指标,定量表示食物网中不同节点的位置关系及联系程度,根据拓扑结构指标确定该食物网中关键种,同时运用社会网络分析法,将食物网拓扑结构指标进一步量化,研究食物网的结构,进而监测生态群落的稳定性。本研究使用的指数包括点度(degree, D)、入度(D_{in})、出度(D_{out})、中间中心性(betweenness

centrality, BC)、紧密中心性(closeness centrality, CC)、信息中心性(information centrality, IC)、拓扑重要性指数(topological importance index, TI)、关键性指数(keystone index, K)、上行关键指数(bottom-up keystone index, K_b)、下行关键指数(top-down keystone, K_t)、群落离散度(fragmentation, F)、距离权重离散度(distance-weighted fragmentation, DF),以上指标具体计算公式及评价标准参考苏程程等(2021)。群落种间聚类系数计算参照Watts等(1998)。

1.2.3 渔业生物健康评价 山东半岛北部海域渔业生物健康评价参考韩青鹏等(2022)。以2011年和2013年5月、6月的山东近海渔业生物健康状况作为基准(表2),通过健康指数(HI)表征游泳动物质量状态。

$$HI=R$$

式中, R 为指标的重新赋值,将渔业生物健康状况分为5种状态:极不健康($0 < R \leq 0.2$)、不健康($0.2 < R \leq 0.4$)、亚健康($0.4 < R \leq 0.6$)、较健康($0.6 < R \leq 0.8$)和健康($0.8 < R \leq 1.0$)。

1.3 统计分析

Ucinet 6 软件计算 D 、 D_{out} 、 D_{in} 、BC、CC 和 IC, CoSbiLaB Graph 1.0 软件计算 TI^1 、 TI^7 、 K 、 K_b 和 K_t , Keyplayer 1.44 软件计算 F 和 DF , 统计分析通过 SPSS 20.0 和 Excel 2016。

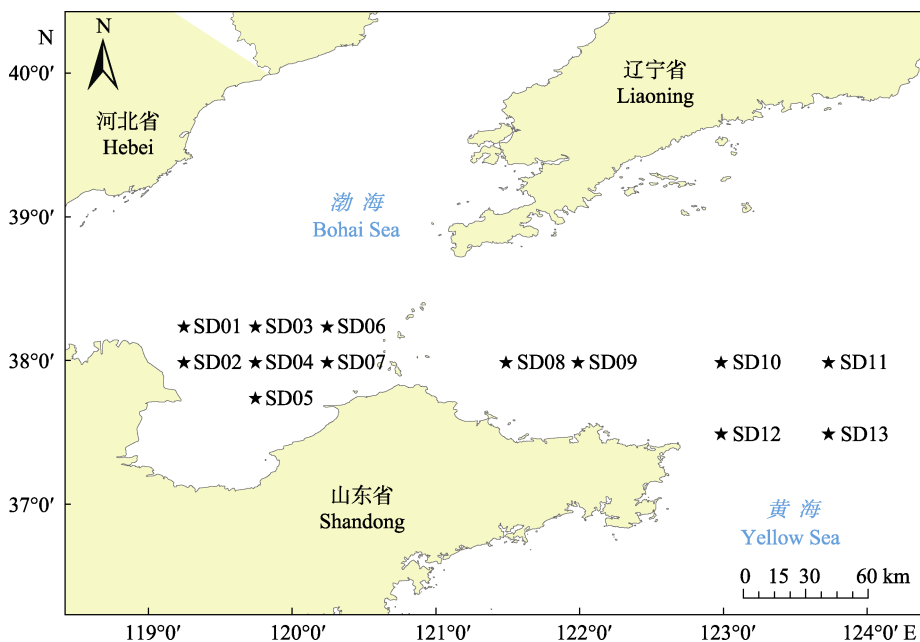


图1 山东半岛北部海域调查站位

Fig.1 Schematic diagram of survey stations in the waters off northern Shandong Peninsula

表 1 群落结构分析指标

Tab.1 Related indicators of community structure analysis

指标 Indicator	方法 Method	公式 Formula	参数 Parameter	参考文献 Reference
群落优势种	相对重要性指数	$IRI=(N+W)F$	N —某一类尾数占总尾数的百分比 W —某一类重量占总重量的百分比 F —某一类出现的站次数占调查总站次的百分比 优势种: $IRI>1\ 000$; 重要种: $1\ 000>IRI>100$ 常见种: $100>IRI>10$; 少见种: $10>IRI>1$	Pinkas 等(1971)
生物多样性	Shannon-Wiener 多样性指数	$H' = \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$	S —种类数 W —渔获总重量或尾数	Shannon 等(1949)
	Margalef 物种丰富度	$R=(S-1)/\ln W$	P_i — i 种鱼重量(或尾数)占总渔获物重量(或尾数)的比例	Margalef (1958)
	Pielou 均匀度指数	$J'=H'/\ln S$		Pielou (1975)
食物网拓扑 结构指数	节点密度 Density, D_d	$D_d=S/L$	S —鱼类群落中种类数量 L —群落内种间存在的摄食关系数量 D_d 值越大, 群落内物种的摄食关系的平均值越大	Dunne 等(2002)
	种间关联度指数 Connectance, C	$C=L/S^2$	S —鱼类群落中种类数量 L —群落内种间存在的摄食关系数量 C 值越大, 物种之间存在的捕食-被捕食的概率越高	Dunne 等(2002)

表 2 山东近海渔业生物健康评价指标*

Tab.2 Evaluation index of biological quality status of inshore fishery in northern Shandong Peninsula*

分类 Classification	5—6 月密度基准值 Benchmark density value during May-June (kg/km ²)	分类 Classification	5—6 月密度基准值 Benchmark density value during May-June (kg/km ²)
游泳动物 Nekton	27.909	小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	0.027
鱼类 Fish	8.441	大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	0.012
甲壳类 Crustacean	17.201	长蛇鲭 <i>Saurida elongata</i>	0.000
头足类 Cephalopod	2.267	黄鮟鱇 <i>Lophius litulon</i>	0.124
鲆鲽类 Flatfish	0.266	细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>	0.669
舌鲷类 Soleidae	0.145	长绵鲷 <i>Zoarces elongatus</i>	0.094
蛸类 Octopus	0.157	方氏云鲷 <i>Enedrias fangi</i>	0.487
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	0.519	绿鳍马面鲀 <i>Thamnaconus modestus</i>	0.000
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	0.061	玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	0.002
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	0.107	黄鳍东方鲀 <i>Takifugu xanthopterus</i>	0.000
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	1.416	角木叶鲽 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	0.007
青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	0.273	星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i>	0.000
赤鼻棱鳀 <i>Thrissa kammalensis</i>	0.133	石鲽 <i>Kareius bicoloratus</i>	0.017
斑鲆 <i>Konosirus punctatus</i>	0.251	枪乌贼 <i>Loligo japonica</i>	2.108
花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	0.000	口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	12.689
高眼鲽 <i>Cleisthenes herzensteini</i>	0.000	鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>	0.038
带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	0.142	脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	2.507

*: 如果指标值 \geq 基准值, 则重新赋值为 1; 范围外, 则指标值重新赋值为 $1-|(指标值-基准值)/基准值|$ 。基准值来源于 2011 年和 2013 年 5 月、6 月的渔业资源调查各种类密度均值。

*: If the indicator value is greater than or equal to the Benchmark value, reassigned to 1. If the indicator value is outside the Benchmark value range, reassigned to $1-|(indicator\ value-Benchmark\ value)/Benchmark\ value$. The baseline values are derived from the average density of the various species in the Fisheries Resources Survey in May and June 2011 and 2013.

2 结果

2.1 种类组成

山东半岛北部海域调查共捕获鱼类 31 种, 隶属于 11 目、24 科、28 属。从适温性看, 暖水性 8 种, 占 25.8%; 暖温性 16 种, 占 51.6%; 冷温性 7 种, 占 22.6%。按栖息水层分, 主要生活在底层和近底层的有 24 种, 占 77.42%; 在中上层的有 7 种, 占 22.6%。

从鱼类经济品质来看, 经济价值较高的有 12 种, 占 38.7%; 经济价值一般的有 9 种, 占 29.03%; 经济价值较低的有 10 种, 占 32.25% (表 3)。

山东半岛北部海域共捕获无脊椎动物 22 种, 其中, 甲壳类 16 种, 占 72.7%; 软体动物 4 种, 占 18.2%; 棘皮动物 2 种, 占 9.1%。按经济价值的高低来分, 经济价值较高的有 7 种, 占 31.8%; 经济价值较低的是 13 种, 占 59.1%; 无经济价值的为 2 种, 占 9.1%。

表 3 山东半岛北部海域渔业生物种类组成
Tab.3 Composition of inshore fishery organisms in northern Shandong Peninsula

序号 No.	种类 Species	经济价值 Economic value	序号 No.	种类 Species	经济价值 Economic value
1	鳀 <i>E. japonicus</i>	一般 General	28	细条天竺鱼 <i>Apogon lineatus</i>	较低 Low
2	银鲳 <i>P. argenteus</i>	较高 High	29	绒杜父鱼 <i>Hemitripterus villosus</i>	较低 Low
3	黄鲫 <i>S. taty</i>	一般 General	30	小杜父鱼 <i>Cottiusculus gonez</i>	较低 Low
4	青鳞小沙丁鱼 <i>S. zunasi</i>	一般 General	31	石鲷 <i>K. bicoloratus</i>	较高 High
5	赤鼻棱鳀 <i>T. kammalensis</i>	一般 General	32	鹰爪虾 <i>T. curvirostris</i>	较高 High
6	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	较高 High	33	戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	较高 High
7	大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranium</i>	一般 General	34	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	较低 Low
8	高眼鲷 <i>C. herzensteini</i>	较高 High	35	脊腹褐虾 <i>C. affinis</i>	较低 Low
9	带鱼 <i>T. lepturus</i>	较高 High	36	鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	较高 High
10	小带鱼 <i>E. muticus</i>	较低 Low	37	日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	较低 Low
11	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i>	较高 High	38	细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	较低 Low
12	长蛇鲻 <i>S. elongata</i>	较高 High	39	中华安乐虾 <i>Eualus sinensis</i>	较低 Low
13	大头鳕 <i>Gadus macrocephalus</i>	较高 High	40	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	较高 High
14	六丝矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	较低 Low	41	太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i>	较高 High
15	矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	较低 Low	42	双斑螯 <i>Charybdis bimaculata</i>	较低 Low
16	黄鲛鲷 <i>L. litulon</i>	一般 General	43	细点圆趾蟹 <i>Ovalipes punctatus</i>	较高 High
17	细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	较低 Low	44	泥脚隆背蟹 <i>Carcinoplax vestita</i>	较低 Low
18	长绵蟹 <i>Z. elongatus</i>	一般 General	45	隆背黄道蟹 <i>Cancer gibbosulus</i>	较低 Low
19	方氏云蟹 <i>E. fangi</i>	较低 Low	46	枯瘦突眼蟹 <i>Oregonia gracilis</i>	较低 Low
20	尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>	较低 Low	47	日本矶蟹 <i>Pugettia nipponensis</i>	较低 Low
21	绿鳍马面鲀 <i>T. modestus</i>	一般 General	48	枪乌贼 <i>L. japonica</i>	较高 High
22	玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	一般 General	49	双喙耳乌贼 <i>Sepiolo birostrata</i>	较高 High
23	鲱鳕 <i>Callionymus beniteguri</i>	较低 Low	50	短蛸 <i>Octopusocellatus</i>	较高 High
24	花鲈 <i>L. maculatus</i>	较高 High	51	罗氏海盘车 <i>Asierias rollestoni</i> Bell	无 No
25	黄鳍东方鲀 <i>T. xanthopterus</i>	较高 High	52	陶氏太阳海星 <i>Solaster dawsoni</i> Verrill	无 No
26	角木叶鲷 <i>P. cornutus</i>	较高 High	53	织纹螺 <i>Nassarius</i> spp.	较高 High
27	星康吉鳗 <i>C. myriaster</i>	较高 High			

注: 分类标准参考程济生(2004)。

Note: Classification criteria refer to Cheng (2004).

2.2 优势种

山东半岛北部海域中, 鳀(*Engraulis japonicus*)是鱼类中唯一的优势种, 其捕获量在鱼类中占 60.12%, 另一优势种为甲壳类的脊腹褐虾(*Crangon affinis*), 其

捕获量占总渔获量 13.6%; 重要种有黄鲛鲷(*Lophius litulon*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)、大头鳕(*Gadus macrocephalus*)和玉筋鱼(*Ammodytes personatus*), 占总渔获量的 15.03%; 常见种主要有 6 种, 均为鱼类,

包括细纹狮子鱼 (*Liparis tanakae*)、小带鱼 (*Eupleurogrammus muticus*)、长绵鲷 (*Zoarces elongatus*)、方氏云鲷 (*Enedrias fangi*)、银鲳 (*Pampus*

argenteus) 和大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*)，占总渔获量的 5.11%，其余物种为少见种，仅占总渔获量的 6.14%。山东半岛北部主要是以鱼类为主 (表 4)。

表 4 山东半岛北部海域渔业生物优势度

Tab.4 Dominance of ecological group of inshore fishery in northern Shandong Peninsula

主要种类 Main species	出现站次 百分比 F/%	尾数百分比 N/%	重量百分比 W/%	IRI	分类 Classification	栖息水层 Habitat pelagic
鳀 <i>E. japonicus</i>	61.54	28.38	60.31	5457.76	优势种 Dominant species	中上层 Pelagic
脊腹褐虾 <i>C. affinis</i>	53.85	61.68	13.62	4054.78	优势种 Dominant species	底层 Demersal
黄鲛鳎 <i>L. litulon</i>	30.77	0.09	7.36	229.86	重要种 Important species	底层 Demersal
口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	61.54	1.38	1.81	196.21	重要种 Important species	底层 Demersal
大头鲳 <i>G. macrocephalus</i>	23.08	0.03	5.23	121.49	重要种 Important species	底层 Demersal
玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	53.85	1.58	0.63	118.89	重要种 Important species	中上层 Pelagic
细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	61.54	0.20	1.10	79.89	常见种 Common species	底层 Demersal
小带鱼 <i>E. muticus</i>	84.62	0.26	0.55	69.11	常见种 Common species	底层 Demersal
长绵鲷 <i>Z. elongatus</i>	23.08	0.16	2.21	54.85	常见种 Common species	底层 Demersal
方氏云鲷 <i>E. fangi</i>	61.54	0.26	0.25	31.23	常见种 Common species	底层 Demersal
银鲳 <i>P. argenteus</i>	38.46	0.05	0.61	25.37	常见种 Common species	中上层 Pelagic
大泷六线鱼 <i>H. otakii</i>	30.77	0.20	0.39	18.19	常见种 Common species	底层 Demersal

注：主要种类指 IRI>10 的种类 (程济生, 2004)。

Note: Main species refer to species with IRI>10 (Cheng, 2004).

2.3 生物多样性

山东半岛北部海域生物多样性呈现总优势度>鱼类>无脊椎动物类的趋势 (图 2)，鱼类物种丰富度指数 (*R*) 明显高于无脊椎动物类，而群落多样性指数 (*H'*) 和物种均匀度指数 (*J'*) 二者差异不十分显著。根据在 1983—1985 年、1998 年、2006 年调查数据 (程济生, 2004; 吕振波, 2010) 显示 (表 5)，2021 年春季鱼类多样性指数和均匀度指数呈现下降的趋势，无脊椎动物均匀度 2021 年最低，鱼类和无脊椎动物丰富度指数高于 1998 年 (表 5)。

2.4 食物网拓扑结构、网络分析法指标及关键种

山东半岛北部海域鱼类食物网中包含物种数量 (*S*) 为 28 个，摄食关系数量 (*L*) 为 94。食物网拓扑结构密度 (*D_d*) 为 0.246，种间关联度 (*C*) 为 0.1199，聚类系数 (*Cl*) 为 0.2510，加权聚类系数 (*W-Cl*) 为 0.281。

2021 年春季共捕获鱼类 31 种，绿鳍马面鲀 (*Thamnaconus modestus*)、大银鱼 (*Protosalanx hyalocranius*) 和银鲳与其他鱼类无摄食关系 (邓景耀等, 1997; 韦晟等, 1992; 杨纪明, 2001; 张波, 2018)，不纳入到食物网拓扑结构分析中，构建除此以外的 28 种鱼类的食物网拓扑结构 (图 3)。

根据表 6 结果显示，山东半岛北部海域鳀和矛尾鰕虎鱼 (*Chaeturichthys stigmatias*) 的 *D_{out}* 最大，即其可被该鱼类群落中 11 种鱼类摄食，六丝矛尾鰕虎鱼 (*Chaeturichthys hexanema*) 和方氏云鲷与 9 种鱼类存在摄食关系 (*D_{out}*=9)；细纹狮子鱼摄食群落中 13 种鱼类 (*D_{in}*=13)，黄鲛鳎、花鲈 (*Lateolabrax maculatus*)、长蛇鲻 (*Saurida elongata*)、带鱼 (*Trichiurus lepturus*) 等摄食种类低于细纹狮子鱼。细纹狮子鱼的中介中心性 (*BC*)、拓扑重要性指数 (*TI¹*) 在 28 种鱼类中最大，说明细纹狮子鱼对群落信息传递能力最强，对群落中

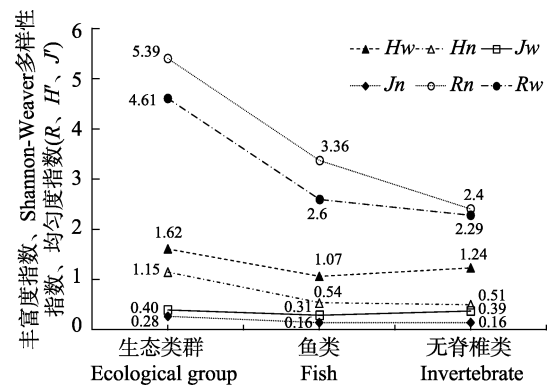


图 2 2021 年山东半岛北部海域渔业生物多样性变化
Fig.2 The biodiversity of inshore fishery in northern Shandong Peninsula in 2021

表5 山东半岛北部海域渔业生物多样性变化

Tab.5 The changes of biodiversity of inshore fishery in northern Shandong Peninsula

多样性指数 Biodiversity	1983—1985		1998年春季 Spring 1998		2006年春季 Spring 2006		2021年春季 Spring 2021	
	鱼类 Fish	无脊椎动物 Invertebrate	鱼类 Fish	无脊椎动物 Invertebrate	鱼类 Fish	无脊椎动物 Invertebrate	鱼类 Fish	无脊椎动物 Invertebrate
R	6.890	2.581	1.671	0.44	0.86	0.13	3.36	2.40
H'	3.061	1.832	1.412	0.46	0.86	0.27	0.54	0.51
J'	0.672	0.590	0.600	0.34	0.41	0.19	0.16	0.16

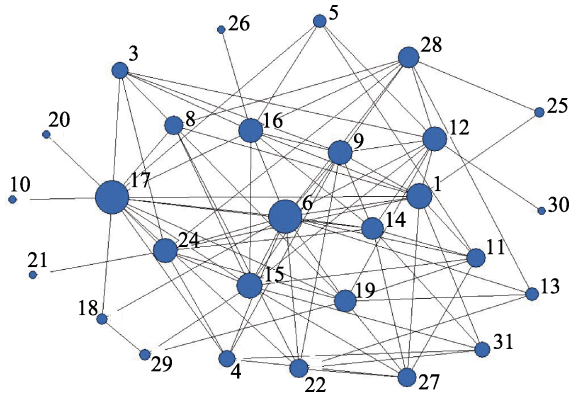


图3 山东半岛北部海域鱼类群落食物网拓扑结构

Fig.3 Topological structure of fish community food-web of inshore in northern Shandong Peninsula

物种间的信息扩散能力最强。群落离散变量($\Delta F'$)和距离权重离散变量($\Delta^D F'$)最大的是小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)和细纹狮子鱼,当二者从该群落中被剔除时,该群落结构 $\Delta F'$ 和 $\Delta^D F'$ 增加量最大,对群落结构稳定性产生较大影响,矛尾鰕虎鱼、黄鲛鲷和鲢对该群落离散度的控制位于第3位。小黄鱼的紧密中心性(CC)、信息中心性(IC)值最大,对群落中信息控制能力最强;同时,黄鲛鲷的关键性指数(K)和下行关键性指数(K_i)值最大($K=K_i=9.91$),其对整个群落结构的影响全部来自于下行控制效应,即通过捕食作用对群落产生影响。鲢的上行关键性指数(K_b)值最大,说明鲢对群落上行控制效应最大(表6)。

取各指标中最大值为关键种(Jordán *et al.*, 2006),确定细纹狮子鱼、矛尾鰕虎鱼、黄鲛鲷、鲢和小黄鱼为山东半岛北部海域春季鱼类群落关键种。

2.5 渔业生物健康评价

以2011年和2013年5月、6月的渔业资源调查各种类密度均值为基准,2021年5月游泳动物密度指标、鱼类密度指标和甲壳类密度指标健康指数均为健康状态,而头足类密度则处于亚健康状态。该海域重要经济鱼类中,鲢、银鲳、花鲈、鲆鲽类、小带鱼、大泷六线鱼、长蛇鲻等均处于健康状态,小黄鱼处于

亚健康状态。头足类中,蛸类和枪乌贼(*Loligo japonica*)分别处于健康和亚健康状态。甲壳类虽处于健康状态,但口虾蛄处于极不健康的状态,脊腹褐虾占甲壳类密度的59%,拉高了甲壳类质量状况的评分(表7)。

3 讨论

与21世纪初春季相比(吕振波, 2010; 李涛, 2010; 杨涛等, 2016),2021年山东半岛北部海域渔获种类组成无明显差异,经济价值较高的种类所占比例较大(表4)。渔获物各栖息水层的生物占比有明显变化,中上层鱼类所占比例降低(表4),渤海其他海域出现相同变化(金显仕等, 2020)。1998年和2006年中上层鱼类占据超过40%至2021年仅占据22%(程济生, 2004; 吕振波, 2010),此次调查中,中上层鱼类主要为鲢、黄鲫(*Setipinna taty*)、青鳞小沙丁鱼(*Sardinella zunasi*)等小型种类。优势种的更替呈现中上层鱼类逐渐减少的趋势,1998年优势种为鲢、小黄鱼、黄鲫;2006年为鲢、玉筋鱼、方氏云鲷、斑鲆(*Konosirus punctatus*);本次调查中优势种仅有鲢,种类减少,鲢优势度逐年降低。小型中上层鱼类具有生命周期短、生长速度快、分布不均匀易受环境影响等特点(FAO, 2013),自20世纪90年代初开始,近海渔业捕捞能力与强度骤增(邓景耀等, 1997),传统大型中上层鱼类,蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)、鲈(*Scomber japonicus*)等资源量大幅度下降,近些年仅能在小部分海域形成一定程度的渔汛(高雪等, 2019),这为小型中上层和底层鱼类提供了更多生态位空间。在山东半岛南部海域(吕廷晋, 2018)、渤海(李忠义等, 2017)也有类似发现。无脊椎动物优势种经历从脊腹褐虾、太平洋褶柔鱼(*Ommastrephes sloani Pacificus*)、枪乌贼(1998年)–脊腹褐虾(2021年)的变化,与山东近海渔业开发历程相对应,对大型、高值类无脊椎动物大量捕捞,致使枪乌贼类等头足类处于亚健康状态(表7)。随着其资源量衰退,无脊椎动物组成以低经济价值脊腹褐虾为主(吴强等, 2011)。脊腹褐虾繁殖率高、资源更新快,是众多底层鱼类和近底层鱼类的主

表 6 2021 年山东半岛北部海域春季鱼类群落拓扑结构指标
Tab.6 Spring fish community topology indicators of inshore in northern Shandong Peninsula in 2021

指标 Indicators	种类 Species	数值 Value	种类 Species	数值 Value	种类 Species	数值 Value
点度 D	细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	16	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	15	矛尾鰕虎鱼 <i>C. stigmatias</i> (鳀 <i>E. japonicus</i>)	11
入度 D_{in}	细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	13	黄鲛鰕 <i>L. litulon</i> (花鲈 <i>L. maculatus</i>)	10	长蛇鲻 <i>Z. elongatus</i> (带鱼 <i>T. lepturus</i>)	9
出度 D_{out}	矛尾鰕虎鱼 <i>C. stigmatias</i> (鳀 <i>E. japonicus</i>)	11	六丝矛尾鰕虎鱼 <i>C. hexanema</i> (方氏云鲷 <i>E. fangi</i>)	9	细条天竺鱼 <i>A. lineatus</i>	8
关键性指数 K	黄鲛鰕 <i>L. litulon</i>	9.91	花鲈 <i>L. maculatus</i>	4.52	带鱼 <i>T. lepturus</i>	4.51
下行关键性指数 K_i	黄鲛鰕 <i>L. litulon</i>	9.91	花鲈 <i>L. maculatus</i>	4.52	带鱼 <i>T. lepturus</i>	4.41
上行关键性指数 K_b	鳀 <i>E. japonicus</i>	1.96	矛尾鰕虎鱼 <i>C. stigmatias</i>	1.8	方氏云鲷 <i>E. fangi</i>	1.63
拓扑重要性指数 ($n=1$) TI^1	细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	3.58	黄鲛鰕 <i>L. litulon</i>	3.45	花鲈 <i>L. maculatus</i>	2.48
拓扑重要性指数 ($n=7$) TI^7	黄鲛鰕 <i>L. litulon</i>	1.42	高眼鲱 <i>C. herzensteini</i>	0.70	花鲈 <i>L. maculatus</i>	0.65
中介中心性 BC	细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	23.17	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	11.78	长蛇鲻 <i>Z. elongatus</i>	10.04
紧密中心性 CC	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	69.23	细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	67.50	矛尾鰕虎鱼 <i>C. stigmatias</i> (鳀 <i>E. japonicus</i>)	61.36
信息中心性 IC	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	2.493	细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	2.491	矛尾鰕虎鱼 <i>C. stigmatias</i>	2.349
群落离散变量 $\Delta F'$	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	0.044	细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	0.042	黄鲛鰕 <i>L. litulon</i>	0.026
距离权重离散变量 $\Delta^D F'$	细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i> (小黄鱼 <i>L. polyactis</i>)	0.031	黄鲛鰕 <i>L. litulon</i>	0.019	长蛇鲻 <i>Z. elongatus</i>	0.018

注: 表中列出排名前 3 的种类, 排名由左向右依次降低, 括号中表示并列鱼种。

Notes: There were just the top five species in topological indicators, rank in descending order from left to right, fish species with the same ranking are indicated in parentheses.

表 7 山东近海渔业生物健康指标
Tab.7 Evaluation index of biological quality status of inshore fishery in northern Shandong Peninsula

分类 Classification	健康指数 HI	分类 Classification	健康指数 HI	分类 Classification	健康指数 HI
游泳动物 Nekton	1.00	斑鲈 <i>K. punctatus</i>	0.00	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	0.17
鱼类 Fish	1.00	花鲈 <i>L. maculatus</i>	1.00	鹰爪虾 <i>T. curvirostris</i>	1.00
甲壳类 Crustacean	1.00	高眼鲱 <i>C. herzensteini</i>	1.00	脊腹褐虾 <i>C. affinis</i>	1.00
头足类 Cephalopod	0.42	带鱼 <i>T. lepturus</i>	0.07	青鳞小沙丁鱼 <i>S. zunasi</i>	0.05
鲆鲽类 Flatfish	1.00	小带鱼 <i>E. muticus</i>	1.00	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i>	1.00
舌鲷类 Soleidae	0.00	长蛇鲻 <i>S. elongata</i>	1.00	细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	1.00
蛸类 Octopus	1.00	黄鲛鰕 <i>L. litulon</i>	1.00	黄鳍东方鲀 <i>T. xanthopterus</i>	1.00
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	0.48	长绵鲷 <i>Z. elongatus</i>	1.00	角木叶鲷 <i>P. cornutus</i>	1.00
鳀 <i>E. japonicus</i>	1.00	玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	1.00	星康吉鳗 <i>C. myriaster</i>	1.00
银鲱 <i>P. argentus</i>	1.00	石鲷 <i>K. bicoloratus</i>	1.00	方氏云鲷 <i>E. fangi</i>	0.61
黄鲫 <i>S. taty</i>	0.08	枪乌贼 <i>L. japonica</i>	0.32	绿鳍马面鲀 <i>T. modestus</i>	1.00
赤鼻棱鳀 <i>T. kammalensis</i>	0.34				

要饵料生物(韦晟等, 1992), 为黄鲛鰵、细纹狮子鱼等鱼类提供饵料, 维持其资源量的稳定(吴强等, 2011)。近 40 年, 山东半岛北部海域春季鱼类多样性和均匀度指数持续降低(表 5), 低于提出的多样性指数合理范围内(1.5~3.5) (马克平等, 1994 年), 说明山东半岛北部海域种类在水平结构均匀度较差。物种数较多、种类分布极不均匀, 会导致多样性指数降低(吕振波, 2010), 相比较 20 世纪末至 21 世纪初, 本研究结果中, 鲷在资源量占绝对优势, 其他鱼类数量较少, 可能是多样性指数较低的因素。丰富度指数明显增加, 原因可能与群落结构发生演替有关, 生命周期短、个体小资源更新快的小型低质种相互更替的结果(杨刚等, 2017)。

2021 年山东半岛北部海域春季鱼类群落中, 关键种为细纹狮子鱼、矛尾鰵虎鱼、黄鲛鰵、鲷和小黄鱼。其中, 鲷作为关键种中仅有的优势种, 是浮游动物转换为高营养级鱼类的重要枢纽(赵宪勇, 2006), 其资源丰度的变化会影响以其为饵料的其他鱼类的种群变动, 并通过食物网, 引起生态系统各个层面的扰动(Pauly *et al*, 2002)。近些年, 随着捕捞压力骤增, 导致鲷资源严重衰退(邹琰等, 2019), 生态位相似的竞争物种(矛尾鰵虎鱼)拥有充足的食物和生态空间, 使矛尾鰵虎鱼成为另一关键被捕食者(表 6), 同样现象出现在黄海海域中, 当鲷和玉筋鱼等 20 世纪 80 年代关键饵料种类在鱼类食物网中地位明显下降, 被更低营养层次[太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)和脊腹褐虾]物种取代, 表明鲷资源大幅衰退, 使黄海生态系统食物网结构发生明显变化(赵宪勇, 2006)。从生态系统水平上的渔业管理的角度考虑, 在后续山东半岛北部海域的研究中, 应加强对关键被捕食者鲷和矛尾鰵虎鱼资源的监测和管理。

黄鲛鰵、细纹狮子鱼和小黄鱼作为该鱼类群落中关键捕食者。其中, 小黄鱼既是食物网中关键捕食者(鲷和矛尾鰵虎鱼)又是其他高营养级鱼类[蓝点马鲛和星康吉鳗(*Conger myriaster*)]的饵料(张波, 2018), 据表 6 显示, 小黄鱼将群落信息以最快速度传达到其他物种, 并且容易对与之相连物种的信息交流产生较强影响。因此, 小黄鱼的丰度变化会通过下行和上行效应使得整个群落食物网结构发生重大变化(Belgrano *et al*, 2005)。细纹狮子鱼和黄鲛鰵作为该群落结构另外 2 种关键捕食者, 对群落的控制作用完全来自于下行控制效应, 即作为顶级捕食者的捕食作用对食物网的物质循环和能量流动产生影响(表 6), 其资源波动会通过食物网作用对其他渔业生物的丰度产生影响(Scheffer *et al*, 2005)。随着山东半岛海域传统顶级肉

食性鱼类如蓝点马鲛、星康吉鳗等资源衰退, 其作为高级捕食者的生态作用逐渐被黄鲛鰵和细纹狮子鱼低质大型鱼类所取代(陈云龙, 2017)。近些年, 在高强度捕捞压力下, 山东半岛北部众多鱼种出现资源衰退, 生态系统的生态位出现一定空缺, 而黄鲛鰵和细纹狮子鱼具有广泛食性、繁殖迅速、适应性强等特征(Armstrong *et al*, 1992; 张学健等, 2011; 单秀娟等, 2014), 可以迅速弥补生态位空缺。但黄鲛鰵和细纹狮子鱼在鱼类群落中捕食经济鱼种幼鱼, 且与传统大型经济鱼类生态位重叠, 对传统经济鱼种的资源恢复和保护具有一定的限制作用。

人类活动造成栖息地破碎化是影响渔业资源早期补充的环境因子(金显仕, 2020)。自 20 世纪 70 年代以来, 山东近海渔业资源衰退, 生物多样性降低(Jin *et al*, 2013; 金显仕等, 2005)。近 30 年变迁表明, 渤海鱼卵、仔稚鱼种类数及资源丰度持续下降(卞晓东等, 2018)。21 世纪初, 山东省海洋渔业生态系统的健康状况总体呈现下降的趋势(孙吉亭, 2020), 山东近海产卵场健康状况均处于亚健康状态(韩青鹏等, 2021)。本研究发现, 山东半岛北部海域春季渔业生物密度、鱼类密度和甲壳类密度健康指数均为健康状态, 而头足类密度健康指数则处于亚健康状态。相比 2011—2013 年, 多种经济种类密度有较大的增长, 山东半岛北部渔业动物状况总体良好, 研究结果可为山东近海的渔业资源养护和管理提供参考, 但渔业生物群落结构及其健康状况受多种因素的影响, 需要长期的数据佐证, 后期需进一步关注山东近海渔业生物健康状况及群落结构的变化, 为山东近海渔业资源的精准管理提供技术支撑。

参 考 文 献

- ARMSTRONG M P, MUSICK J A, COLVOCORESSES J A. Age, growth, and reproduction of the goosefish *Lophius americanus* (Pisces: Lophiiformes). *Fishery Bulletin*, 1992, 90(2): 217-230
- BELGRANO A, SCHARLER U M, DUNNE J, *et al*. Aquatic food web. Oxford: Oxford University Press, 2005, 1-262
- BIAN X D, WAN R J, JIN X S, *et al*. Ichthyoplankton succession and assemblage structure in the Bohai Sea during the past 30 years since the 1980s. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(2): 1-15 [卞晓东, 万瑞景, 金显仕, 等. 近 30 年渤海鱼类种群早期补充群体群聚特性和结构更替. *渔业科学进展*, 2018, 39(2): 1-15]
- CHEN Y L. Spatio-temporal variation of fishery resources in the Yellow Sea and Yangtze River estuary. Doctoral Dissertation of Ocean University of China, 2017 [陈云龙. 黄海和长江

- 口水域渔业资源时空变化的研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2017]
- CHENG J S. Ecological environment and biological community in coastal waters of the Yellow Sea and Bohai Sea. Qingdao: China Ocean University Press, 2004, 3–386 [程济生. 黄渤海近岸水域生态环境与生物群落. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2004, 3–386]
- DENG J Y, JIANG W M, YANG J M, *et al.* Species interaction and food web of major predatory species in the BoHai Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1997, 4(4): 1–7 [邓景耀, 姜卫民, 杨纪明, 等. 渤海主要生物种间关系及食物网的研究. 中国水产科学, 1997, 4(4): 1–7]
- DUNNE J A, WILLIAMS R J, MARTINEZ N D. Food-web structure and network theory: The role of connectance and size. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2002, 99(20): 12917–12922
- FAO. Report of the FAO/CECAF working group on the assessment of small pelagic fish subgroup south. International information system for the agricultural science and technology, CECAF/ECAF Series 12/74, 2013
- GAO X, LI F, LÜ Z B, *et al.* Study of nekton community structure in the offshore of Yantai and Weihai. *Marine Fisheries*, 2019, 41(2): 179–187 [高雪, 李凡, 吕振波, 等. 烟威海域游泳动物群落结构研究. 海洋渔业, 2019, 41(2): 179–187]
- HAN Q P, SHAN X J, CHEN Y L, *et al.* Health assessment system of the spawning ground in Shandong inshore waters. *Journal of Fishery Science of China*, 2022, 29(1): 79–90 [韩青鹏, 单秀娟, 陈云龙, 等. 山东近海产卵场健康状况评价体系. 中国水产科学, 2022, 29(1): 79–90]
- JIN X S, SHAN X J, LI X S, *et al.* Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China. *Science China Earth Sciences*, 2013, 56: 366–374
- JIN X S, ZHAO X Y, MENG T X, *et al.* The Yellow Sea and Bohai Sea biological resources and habitats. Beijing: Science Press, 2005, 230–261 [金显仕, 赵宪勇, 孟天湘, 等. 黄、渤海生物资源与栖息环境. 北京: 科学出版社, 2005, 230–261]
- JIN X S. Adaptive response and resource effect of fishery population to environmental change in the Bohai Sea. Beijing: China Agriculture Press, 2020, 7–280 [金显仕. 渤海渔业种群对环境变化的适应性响应及资源效应. 北京: 中国农业出版社, 2020, 7–280]
- JORDAN F, LIU W C, DAVIS A J. Topological keystone species: Measures of positional importance in food webs. *Oikos*, 2006, 112(3): 535–546
- LI T. Preliminary study on community structure of fishery resources in North Yellow Sea and coastal waters of southern Shandong Peninsula. Master's Thesis of Ocean University of China, 2010 [李涛. 北黄海及山东半岛南部近岸海域渔业资源群落结构的初步研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2010]
- LI Z Y, WU Q, SHAN X J, *et al.* Keystone species of fish community structure in the Bohai Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(2): 137–147 [李忠义, 吴强, 单秀娟, 等. 渤海鱼类群落结构关键种. 中国水产科学, 2017, 24(2): 137–147]
- LÜ T J. Assessment of important fishery resources in the south offshore of Shandong from 2010 to 2017. Master's Thesis of Yantai University, 2018 [吕廷晋. 2010—2017年山东南部近海重要渔业资源评估. 烟台大学硕士研究生学位论文, 2018]
- LÜ Z B. Investigation and evaluation of economic biological resources in Shandong offshore. Beijing: China Ocean Press, 2010, 1–50 [吕振波. 山东近海经济生物资源调查与评价. 北京: 海洋出版社, 2010, 1–50]
- MA K P, LIU Y M. Measurement of biotic community diversity: I α methods of measuring community biodiversity (II). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(4): 231–239 [马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 1994, 2(4): 231–239]
- MARGALEF R. Information theory in ecology. *General System*, 1958, 3: 36–71
- PAULY D, CHRISTENSEN V, GUÉNETTE S, *et al.* Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 2002, 418(6898): 689–695
- PIELOU E C. Ecological diversity. New York: Wiley, 1975, 4–50
- PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in Californian waters. *California Department of Fish and Game Fish Bulletin*, 1971, 152: 1–105
- SCHEFFER M, CARPENTER S, YOUNG D E. Cascading effects of overfishing marine systems. *Trends in Ecology and Evolution*, 2005, 20(11): 579–581
- 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. *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. 生态学报, 2014, 34(2): 377–389]
- SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1949, 82–100
- SU C C, SHAN X J, YANG T. Interannual changes of fish community structure and keystone species in the waters off southern Shandong Peninsula from 2016 to 2018. *Journal of Fisheries of China*, 2021a, 45(12): 1983–1992 [苏程程, 单秀娟, 杨涛. 山东半岛南部海域渔业资源结构及关键种的年际变化. 水产学报, 2021, 45(12): 1983–1992]
- SUN J T, XU W Y. Health evaluation of marine fisheries ecosystem in Shandong. *Ecological Economy*, 2020, 36(6): 73–76, 101 [孙吉亭, 徐文玉. 山东省海洋渔业生态系统健康性评价. 生态经济, 2020, 36(6): 73–76, 101]

- TANG Q S, YE X Z. Development and protection of Shandong offshore fishery resources. Beijing: Agriculture Press, 1990, 16–120 [唐启升, 叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护. 北京: 农业出版社, 1990, 16–120]
- WATTS D J, STROGATZ S H. Collective dynamics of ‘smallworld’ networks. *Nature*, 1998, 393(6684): 440–442
- WEI S, JIANG W M. Study on food of fishes in the Yellow Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1992, 23(2): 182–192 [韦晟, 姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究. 海洋与湖沼, 1992, 23(2): 182–192]
- WU Q, WANG J, JIN X S, *et al.* Community structure and diversity of invertebrates in northern region of China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(5): 1152–1160 [吴强, 王俊, 金显仕, 等. 中国北部海域主要无脊椎动物群落结构及多样性. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1152–1160]
- YANG G, LI F, WANG X X, *et al.* Community structure of crabs in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(4): 862–874 [杨刚, 李凡, 王秀霞, 等. 山东半岛南部近岸海域蟹类群落结构特征. 中国水产科学, 2017, 24(4): 862–874]
- YANG J M. A study on food and trophic levels of Bohai Sea fish. *Modern Fisheries Information*, 2001, 16(10): 10–19 [杨纪明. 渤海鱼类的食性和营养级研究. 现代渔业信息, 2001, 16(10): 10–19]
- YANG T, SHAN X J, JIN X S, *et al.* Keystone species of fish community in the Laizhou Bay. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(10): 1613–1623 [杨涛, 单秀娟, 金显仕, 等. 莱州湾鱼类群落的关键种. 水产学报, 2016, 40(10): 1613–1623]
- ZHANG B. Feeding ecology of fishes in the Bohai Sea. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(3): 11–22 [张波. 渤海鱼类的食物关系. 渔业科学进展, 2018, 39(3): 11–22]
- ZHANG X J, CHENG J H, SHEN W, *et al.* Reproductive biology of yellow goosefish *Lophius litulon*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(2): 290–298 [张学健, 程家骅, 沈伟, 等. 黄鮟鱇繁殖生物学研究. 中国水产科学, 2011, 18(2): 290–298]
- ZHAO X Y. Population dynamic characteristics and sustainable utilization of the anchovy stock in the Yellow Sea. Doctoral Dissertation of Ocean University of China, 2006, 55–114 [赵宪勇. 黄海鳀鱼种群动力学特征及其资源可持续利用. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2006, 55–114]
- ZOU Y, LIU T, WANG Y J, *et al.* Analysis on changes of major marine fishing economic fish resources offshore in Shandong Province. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2019, 35(4): 301–307 [邹琰, 刘童, 王英俊, 等. 山东省近海主要海洋捕捞经济鱼类资源变动分析. 广西科学院学报, 2019, 35(4): 301–307]

(编辑 冯小花)

Structure and Health of the Fishery Community in the Northern Shandong Peninsula Sea Area

SU Chengcheng^{1,2}, HAN Qingpeng¹, ZHANG Qi⁴, SHAN Xiujuan^{1,3,①}, LI Fan⁵

- (1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. National Field Observation and Research Center for Fisheries in Changdao Waters, Yantai 265800, China;
4. Kenli Municipal Bureau of Marine Development and Fisheries in Dongying, Dongying 257091, China;
5. Marine Resources and Environment Research Institute, Yantai 264006, China)

Abstract The waters of the northern Shandong Peninsula are spawning and nursery grounds for many fishery organisms from the Bohai Sea and Yellow Sea and play an important supporting role in the supplementation and reproduction of fishery resources in these seas. In recent years, with global warming and intensification of human activities, the fishery resources in Shandong offshore have generally declined, with obvious species miniaturization, low quality, and reduction of species diversity. Important fishery resources have been unable to achieve the minimum amount for the fishing seasons, and its support function in the Bohai and Yellow seas is increasingly diminishing.

① Corresponding author: SHAN Xiujuan, E-mail: shanxj@ysfri.ac.cn

The fishery organisms research in the northern part of the Shandong Peninsula is less focused on their composition, community structure, and fishery biological health evaluation. Therefore, based on the northern Shandong Peninsula fishery resource survey data of May–June 2021, this study analyzed the fishery's biological diversity and identified the dominant species in these waters. Key species were evaluated through food web topology and social network analysis, and the fishery's biological health status was provided based on the survey data of 2011 and 2013. The study showed that the fishery resources of the Shandong Peninsula would be conserved and managed in 2021. The proportion of pelagic fish in spring decreased in 2021, and the turnover of dominant species showed a gradual decrease in pelagic fish, mainly small and less economically valuable. In the past 40 years, the spring fish diversity and evenness indices in the northern Shandong Peninsula sea area have been continuously reduced, reaching values lower than the reasonable range of the proposed diversity index, which indicates that the species in this area are poorly homogeneous concerning their horizontal structure. The higher number and extremely uneven distribution of species can lead to a lower diversity index. Compared with the late 20th century to the early 21st century, *Engraulis japonicus* was a dominant resource based on the results of this study, and the lower number of other fishes may be a factor for the lower diversity index. The significant increase in the richness index may be related to the occurrence of succession in the community structure, resulting from the mutual replacement of small, low-quality species with short life cycles, rapid resources renewal, and small individuals. The dominant species *E. japonicus* is often found among the catch. Shandong offshore fisheries development history corresponds to a significant number of large, high-value class invertebrates fishing, including cephalopods such as *Loligo chinensis*, in an unhealthy state. *Crangon affinis* is the absolute dominant species of invertebrates. In the spring of 2021, the fish food web in the northern Shandong Peninsula showed correlation values ranging from 0.03 to 0.30, excluding a possible specific relationship between the population feeding and the community. Moreover, external factors may disturb the community, which is consistent with the community interspecific feeding relationship under natural conditions. The key community species were *Liparis tanakae*, *Lophius litulon*, *E. japonicus*, *Larimichthys polyactis*, and *Chaeturichthys stigmatias*. *E. japonicus* was both the dominant and key species in the fish community in the northern Shandong Peninsula waters in 2021. The regulating effect of *E. japonicus* on the food web was related to its upward control effect through changes in resource abundance that affects the changes of other fish that use this area as bait. *L. tanakae*, *L. litulon*, and *L. polyactis* were important predators in the sea through the downward control effect, affecting the stability of the whole food web. Fishery biological density, fish density, and crustacean density health index were found within healthy parameters, while the cephalopod density health index was in a sub-healthy state. Compared with 2011–2013, the densities of various economic species have increased significantly, and the overall health of fishery organisms in the northern part of the Shandong Peninsula is good. Overall, the results of this study can provide a reference for conserving and managing fishery resources in the Shandong offshore region.

Key words Northern Shandong Peninsula; Fishery organisms; Keystone species; Health evaluation; Community structure