

DOI: 10.12264/JFSC2022-0223

延长伏季休渔期对渤海渔业资源的养护效果评价

李忠义^{1,2}, 戴芳群^{1,2}, 杨涛^{1,2}, 单秀娟^{1,2}, 金显仕^{1,2}

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. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266235

摘要: 基于 2012–2016 年和 2017–2021 年每年 8 月渤海渔业资源底拖网调查数据, 根据休渔期延长前后各 5 年游泳生物优势种, 主要渔业种群(类别)单位个体重和资源密度等指标的变化, 从个体、种群与群落 3 方面评价延长伏季休渔期对渤海渔业资源的养护效果。结果显示: (1) 休渔期延长前游泳生物年间平均单位数量个体重为 4.35 g/ind, 延长后为 3.77 g/ind; 延长后年间平均单位数量个体重的下降, 主要是大部分种群的年平均数量密度增幅远高于其年平均资源密度增幅, 补充群体数量增加明显, 可能是繁殖亲体资源量增加或繁殖力提升所致。(2) 延长休渔期后的前期游泳生物优势种主要是鳀(*Engraulis japonicus*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)和黄鲫(*Setipinna taty*), 与延长前基本一致, 后期增加了蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)和矛尾虾虎鱼(*Chaemrichthys stigmatias*)等种类, 但出现频率低; 延长休渔期前后游泳生物优势种组成波动较大, 但延长后游泳生物优势种存在向大个体及凶猛性高营养级种类转换的趋势。(3) 休渔期延长后游泳生物、中上层鱼类、底层鱼和虾蟹类等年度资源密度普遍高于延长前, 特别是延长当年更远高于上年, 年间平均资源密度延长后较延长前增幅分别为 186.38%、178.26%、357.63%和 132.89%; 底层生物对中上层生物资源密度年度占比延长后基本处于增长态势; 高营养级层次生物资源密度延长后剧增, 且基本呈上升趋势, 年间平均增幅达 493.67%。综上所述, 延长休渔期后渤海生态系统鳀等中上层鱼类、底层生物和高低营养级生物资源密度及其补充群体资源量的大幅增加, 夯实了生态系统的能量基础, 优化了渔业资源群落结构, 生态系统逐步稳态演替, 表明延长休渔期这种投入控制措施在渤海有较好的生态效果。

关键词: 休渔期延长; 渔业资源; 养护; 效果评价; 渤海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2022)10–1510–09

渤海作为中国唯一的半封闭性内海, 是许多海洋生物资源的产卵场、索饵场和育肥场, 但也是中国四大海域受人类活动影响最为显著的海域, 过度捕捞、环境污染和涉海工程等诸多原因使得渤海渔业资源群落结构已经发生了很大的变化。如 20 世纪 80 年代以前许多著名的鱼汛, 包括小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)和太平洋鲱(*Clupea pallasii*)鱼汛, 在进入 90 年代已基本消失, 如今渤海渔业资源小型化低值化现象严重。为有效保护和恢复渔业资源, 我国陆续出台了一系列投入

控制和产出控制方面的渔业管理和养护措施。1995 年国家正式在渤海实施伏季休渔制度, 其后经历了十多次调整, 主要集中于延长休渔期和扩大休渔的作业类型。目前该制度已成为渤海养护和合理利用海洋渔业资源的主要管理手段。然而随着捕捞技术的不断进步, 渤海 20 多年的休渔制度并未从根本上遏制渔业资源衰退之势^[1–3]。2017 年国家将渤海伏季休渔时间从 2009 年开始的 6 月 1 日–9 月 1 日调整为每年 5 月 1 日–9 月 1 日, 期间禁止除钓具外的其他渔具作业, 加强保护产卵

收稿日期: 2022-06-13; 修订日期: 2022-07-27.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900905); 农业农村部财政项目“海洋牧场示范区效果评估”; 山东长岛近海渔业资源国家野外科学观测研究站和山东省泰山学者工程专项。

作者简介: 李忠义(1974–), 副研究员, 主要从事海洋生态研究. E-mail: lizy@ysfri.ac.cn

通信作者: 金显仕, 研究员. E-mail: jin@ysfri.ac.cn

群体和幼鱼等渔业资源。

本研究基于 2012–2016 年和 2017–2021 年每年 8 月, 即延长休渔期前后各 5 年期渤海渔业资源拖网的调查数据, 通过分析游泳生物的优势种类, 主要渔业种群(类别)的资源密度和单位数量个体重等指标, 对渤海延长伏季休渔期制度进行效果评估, 为渤海各项资源养护管理措施的制定与完善提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

资源数据来源于 2012–2021 年各年份 8 月的渔业拖网调查, 调查区域为 37°00′~41°00′ N; 118°00′~122°00′ E (图 1)。2012–2017 年期间渔业资源调查租用 205 kW 双拖渔船, 2018–2021 年期间使用“中渔科 102”专业调查船。整个调查期间使用专用调查网具, 双拖渔船网具规格为网口高度 6 m, 网口宽度 22.6 m, 网口周目数为 1740 目, 网目尺寸为 63 mm, 囊网网目 20 mm, “中渔科 102”调查船网具规格为网口高度 6 m, 网口宽度 21 m, 网口周目数为 440 目, 网目尺寸为 200 mm, 囊网网目 20 mm, 拖速 3 节, 每站拖网 1 h。因天气、军事和生产渔船作业原因, 每年的调查站位有所不同。

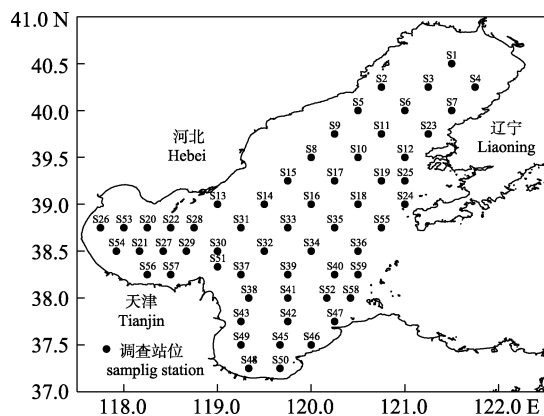


图 1 渤海渔业资源调查站位

Fig. 1 Sampling stations in Bohai Sea

1.2 分析方法

根据公式(1)可计算出单位数量个体重:

单位数量个体重=生物的重量/生物的数量 (1)

利用 Pinkas 相对重要性指数[IRI, 公式(2)]计算优势种类^[4]; 选用扫海面积法计算资源密度[D,

公式(2)]^[5]。变量间相关性计算用 SPSS16.0, 计算公式如下:

$$IRI=(N+W) \times F \quad (2)$$

$$D=CA/(q \times a) \quad (3)$$

为消除两次调查因网具规格不同对资源密度的计算误差, 以休渔期延长前调查的网次扫海面积为标准, 对休渔期延长后调查的数据进行标准化, 具体参照程济生与俞连福^[6]所设方法。

标准化数据=调查数据×

(2017–2021 年年平均网次扫海面积/

2012–2016 年年平均网次扫海面积) (4)

公式(2)中, N 为生物的密度百分率, W 为生物量百分率, F 为站数百分率, $IRI > 500$ 定义为优势种。公式(3)中, C 为每小时取样面积内的渔获量; q 为网具对各类生物捕获率, 取值参照金显仕等所著文献, 其中蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)、鳀(*Engraulis japonicus*)、棱鳀类(*Thryssa*)捕获率为 0.3, 其他中上层鱼类为 0.5, 鲆鲽类(*Pleuronectoidae*)、鳐类(*Rajiformes*)、鲭类(*Soleoidae*)为 1.0, 其他底层鱼类为 0.7, 头足类为 0.7, 其他无脊椎生物为 0.8^[7]; a 为网具每小时扫海面积; A 为渤海总面积, 约为 77000 km²。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2012–2021 年渤海生物种类结构基本状况如表 1, 从表可以看出延长休渔期后, 除软体生物的种类年平均数不变外, 其余各类种类数都有所增加, 其中鱼类和底层生物的种类数增加最多。

2.2 单位数量个体重

2012–2021 年渤海游泳生物单位数量个体重的变化情况见图 2。休渔期延长前后渤海游泳生物单位数量个体重变化呈双 U 形, 休渔期延长前游泳生物单位数量个体重波谷深陷明显, 谷值处于 2014 年, 年度单位数量个体重最大值较最小值增加了 244.60%, 年平均单位数量个体重为 4.35 g/ind; 休渔期延长后波谷细小平缓, 谷值处于 2018 年, 年度单位数量个体重最大值较最小值只增加了 64.07%, 年平均单位数量个体重为 3.77 g/ind。延长休渔期后 5 年渤海游泳生物平均单位数量个体重较延长前 5 年减少了 13.24%。

表 1 2012–2021 年渤海生物结构基本情况
Tab. 1 The biology species structure in Bohai Sea in 2012–2021

年份 year	游泳生物 nekton species	鱼类 fish species	虾蟹类 crustaceans species	软体生物 mollusk species	底层种 demersal species	中上层种 pelagic species
2012	61	35	23	3	53	8
2013	49	30	16	3	40	9
2014	57	33	20	4	48	9
2015	64	38	22	4	56	8
2016	75	47	25	4	66	9
2017	72	44	24	4	64	8
2018	78	46	28	4	70	8
2019	63	39	20	4	54	9
2020	64	41	19	4	55	9
2021	58	39	16	3	49	9
总计 total	121	79	38	4	111	10

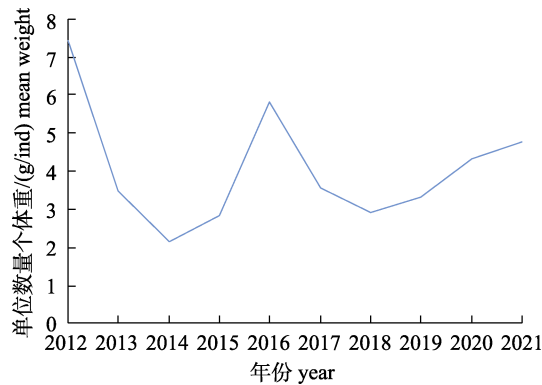


图 2 渤海游泳生物单位数量个体重变化
Fig. 2 Individual average body weight of nekton from 2012 to 2021 in Bohai Sea

2.3 优势种

2012–2021 年渤海游泳生物优势种年度比较见表 2。休渔期延长前渤海游泳生物的优势种主要是鳀、黄鲫(*Setipinna taty*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)、其次是赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)、小带鱼(*Eupleurogrammus muticus*)、银鲳(*Pampus argenteu*)、矛尾复虾虎鱼(*Synechogobius hasta*)、小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)、日本枪乌贼(*Loligo japonica*)和斑鲳(*Konosirus punctatus*)。休渔期延长后的前期优势种主要是鳀、口虾蛄和黄鲫，与延长前基本一致；但休渔期延长后的后期渤海游泳生物的优势种有所变动，主要是鳀、黄鲫和赤鼻棱鳀，其次是小带鱼、银鲳、蓝点马鲛、矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)和日本枪乌贼。

2.4 资源密度

渤海休渔期前后各类生物资源密度状况见图 3 和表 3。休渔期延长后渤海游泳生物、中上层鱼类、底层鱼和虾蟹类年平均资源密度高于延长前，各年度资源密度普遍高于延长前各年度相应值，但都有个别年份资源密度低于延长前。延长休渔期当年渤海游泳生物资源密度就较上年大幅增加了 152.40%，其中蓝点马鲛、石首鱼科鱼类和带鱼等高营养级层次生物资源密度增加更多，达到了 583.62%；延长前后 5 年游泳生物与一些高营养层次生物[蓝点马鲛、带鱼和石首鱼科鱼类(小黄鱼、白姑鱼和皮氏叫姑鱼)]年平均资源密度则分别增长了 186.38%和 493.67%。

3 讨论

3.1 优势种

就种类数而言，休渔期延长后渤海游泳生物优势种的种类数较延长前少了 1 种，延长后多了蓝点马鲛，但少了小黄鱼和斑鲳，矛尾复虾虎鱼被替换成矛尾虾虎鱼，除鳀、黄鲫、口虾蛄和赤鼻棱鳀外，其他几种优势种在休渔期延长前后 5 年都只出现一次。渤海休渔期延长后的后期，其优势种增加了凶猛性鱼类蓝点马鲛，且大个体优势种资源量剧增。其中银鲳和蓝点马鲛平均资源密度较延长前以成百上千的百分比增幅增长，蓝点马鲛延长休渔前后 5 年间的资源密度存在极其显著差异($P=0.002$, $n=5$)。总体而言，渤海游泳生

表 2 2012–2021 年渤海游泳生物优势种(IRI>500)
Tab. 2 The dominant species (IRI>500) of Bohai Sea in 2012–2021

日期 date	种类 species	W%	N%	F%	IRI
2021	赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	13.47	41.83	50.00	2765.03
	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	11.97	15.65	61.76	1705.94
	鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	26.65	22.43	29.41	1443.75
	小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	6.99	4.34	88.24	999.50
	银鲳 <i>Pampus argenteu</i>	7.29	0.83	70.59	548.79
2020	鳀 <i>E. japonicus</i>	75.16	79.95	55.88	8667.46
	赤鼻棱鳀 <i>T. kammalensis</i>	4.97	3.73	76.47	664.82
	黄鲫 <i>S. taty</i>	5.27	4.39	58.82	568.26
2019	口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	19.25	44.77	52.00	3329.14
	鳀 <i>E. japonicus</i>	11.24	21.39	48.00	1566.12
	黄鲫 <i>S. taty</i>	15.85	5.70	62.00	1335.75
	赤鼻棱鳀 <i>T. kammalensis</i>	9.25	6.90	50.00	807.35
	蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	11.97	0.59	52.00	653.15
2018	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	21.57	42.34	100.00	6391.01
	鳀 <i>E. japonicus</i>	17.08	39.47	75.61	4276.25
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	33.12	5.92	97.56	3809.38
	日本枪乌贼 <i>Loligo japonica</i>	5.89	2.95	100.00	883.39
	黄鲫 <i>S. taty</i>	6.79	2.58	80.49	753.73
2017	鳀 <i>E. japonicus</i>	34.97	52.94	61.36	5394.21
	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	15.89	16.16	79.55	2549.65
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	17.13	3.09	90.91	1838.04
2016	赤鼻棱鳀 <i>T. kammalensis</i>	13.47	41.83	50.00	2765.03
	黄鲫 <i>S. taty</i>	11.97	15.65	61.76	1705.94
	鳀 <i>E. japonicus</i>	26.65	22.43	29.41	1443.75
	小带鱼 <i>E. muticus</i>	6.99	4.34	88.24	999.50
	银鲳 <i>P. argenteu</i>	7.29	0.83	70.59	548.79
2015	鳀鱼 <i>E. japonicus</i>	62.76	79.86	71.43	10187.66
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	12.48	2.08	88.10	1282.15
	矛尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius hasta</i>	5.44	7.12	76.19	956.84
2014	鳀 <i>E. japonicus</i>	49.00	66.63	55.32	6396.78
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	10.14	8.40	80.85	1498.95
	黄鲫 <i>S. taty</i>	12.16	6.85	34.04	647.04
2013	鳀鱼 <i>E. japonicus</i>	65.75	87.13	65.31	9984.20
2012	鳀 <i>E. japonicus</i>	5.73	33.32	47.06	1837.80
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	10.70	5.32	68.63	1099.05
	黄鲫 <i>S. taty</i>	13.49	6.91	45.10	919.80
	小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	13.13	2.23	54.90	843.53
	日本枪乌贼 <i>L. japonica</i>	6.42	6.25	56.86	720.56
	斑鲚 <i>Konosirus punctatus</i>	17.95	11.27	23.53	687.41

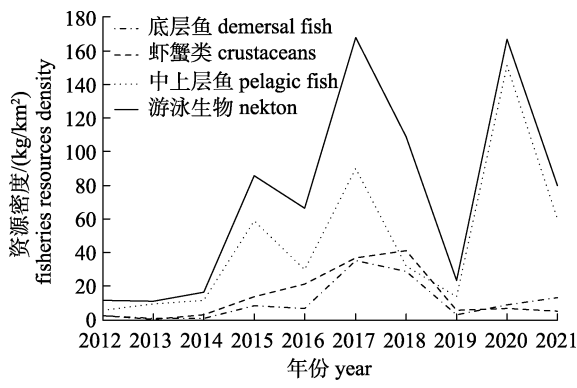


图 3 渤海游泳生物资源密度变化
Fig. 3 Fisheries resources of nekton from 2012 to 2021 in Bohai Sea

物优势种组成波动较大,但延长休渔期后渤海游泳生物优势种存在向大个体及凶猛性高营养级种类转换的趋势。

3.2 平均单位数量个体重

延长休渔期后 5 年渤海游泳生物平均单位数量个体重较延长前 5 年稍小,细究发现鱼类平均

单位数量个体重延长后较延长前稍大一点,其中鳀、黄鲫、斑鲹、赤鼻棱鳀、青鳞沙丁鱼和中颌棱鳀等小型中上层鱼类平均单位数量个体重在延长休渔期前后基本不变;而蓝点马鲛、银鲳、石首鱼科鱼类(小黄鱼、白姑鱼和皮氏叫姑鱼)和带鱼等大个体和凶猛性高营养层次鱼类休渔期延长后较延长前平均单位数量个体重有增有减,平均单位数量个体重增加的只有蓝点马鲛。小型中上层鱼类和高营养层次鱼类的年平均资源密度与年平均数量密度休渔前延长后较延长前都有大幅增加,增幅成百上万;这几种高营养层次生物年平均数量密度增幅都 3 倍于其年平均资源密度增幅,甚至更高,说明延长休渔期后这些种类个体主要为当年补充群体;同样的状况发生于其他底层鱼类(除上述大个体和凶猛性高营养层次鱼类)、虾蟹类和软体生物,只是底层鱼类和虾蟹类年平均资源密度与年平均数量密度变化幅度以百分之百计算,而软体生物 2 个指标的变动幅度均低于百分之百。

表 3 休渔期延长前后渤海各类生物资源密度状况

Tab. 3 The biological resources density of former fishing moratorium and prolonged fishing moratorium in Bohai Sea					
种类 species	时间 time	范围 range	最大年份 maximum year	最小年份 minimum year	
游泳生物 nekton	延长前 former fishing moratorium	11.02–85.56	2015	2013	
	延长后 prolonged fishing moratorium	23.24–168.06	2017	2019	
底层鱼类 demersal fish	延长前 former fishing moratorium	0.95–6.66	2016	2013	
	延长后 prolonged fishing moratorium	3.21–35.44	2017	2019	
虾蟹类 crustaceans	延长前 former fishing moratorium	0.64–21.10	2016	2013	
	延长后 prolonged fishing moratorium	5.58–41.24	2018	2019	
中上层鱼类 pelagic fish	延长前 former fishing moratorium	5.83–58.91	2015	2012	
	延长后 prolonged fishing moratorium	14.07–150.98	2020	2019	

研究发现水生生物的相对繁殖力和绝对繁殖力与体重间通常存在较显著的相关性^[8-11]。渤海游泳生物部分种群在休渔期延长后单位数量个体重的减少,主要是补充群体的快速增加所致。补充群体数量的增加,一方面可能是繁殖亲体数量增加所致,另一方面可能是这些种群繁殖亲体体重增加,繁殖力提升导致;长势较快的蓝点马鲛,即使补充群体数量较多,其单位数量个体重在休渔期延长后仍高于延长前。体型大小是生物体最明显的形态学特征,具有丰富的生物学内涵,对个体生理功能及群体生态效应均存在深远影响^[12-13]。

能量代谢是生物生理功能得以正常实现的基本保证^[13-14],研究发现许多水生生物的静止代谢率、最大代谢率和代谢空间等一些表征生命特征的代谢指标,与体重呈异速增长的关系^[15-17],且随着体重的增加,其存活率与碱性磷酸酶等重要酶的活性都相应增加^[18]。休渔期延长后渤海大部分年份游泳生物资源量与其补充群体资源量都大幅增加,其亲体体重与繁殖力也有所增加,从个体及群体方面增强了其群落结构的稳定。

3.3 渔业资源密度

生态系统的变动通常以群落结构的变化来衡

量^[19-20], 诸多研究发现在干扰小, 相对稳定的生态系统中, 底栖生物和肉食性生物的存在比例要远高于严重受干扰; 有所退化的生态系统, 且随着干扰退化的加剧, 营养结构中的高营养级肉食性生物, 将首先消失, 其后依次是底栖生物食性的生物、浮游生物食性的生物和杂食性生物^[20-21]。由于环境污染和捕捞压力的加大, 目前渤海生态系统已逆行演替至群落结构相对简单的阶段, 上层鱼类浮游动物食性和杂食性鱼类占优, 底层鱼类主以杂食性的虾虎鱼为主, 组成上和结构上都比较简单^[22]。McCann^[23]认为生态系统中种群密度离极端密度越远(越接近平衡密度), 稳定性就越高, 变异性就越低; 另水生生态系统内特定群落结构变化, 特别是鱼类群落结构, 反映了生态系统的退化程度^[24-25]。延长休渔期当年渤海鱼类资源密度大增, 中上层鱼类和底层鱼类资源密度都大幅增加。鲈作为渤海生态系统能量流动与物质循环的关键种^[24,26], 休渔期延长当年其资源密度大增, 捕食鲈的蓝点马鲛、石首鱼科鱼类、带鱼等高营养层次生物资源密度相应增加; 渤海另一种大个体混合食性经济种银鲳, 在休渔期延长后资源密度也是剧增。关键种及高营养层次生物与大个体生物资源密度大幅增加, 表明延长休渔期后, 渤海群落结构组成有所优化, 生态系统逐步稳态演替, 延长休渔期这种投入控制措施在渤海有较好的生态效果。

生态系统中上层水体能量基础主要依赖于本海域浮游植物的初级生产, 而底层水体通常有四个能量来源, 即沉积物、本海域浮游植物的初级生产、海冰下的生产(高纬度海域)、及平流所带来的混合有机物^[27-28]。底层水体广泛的能量来源使得底层生物, 特别是大型底层生物, 对生态系统退化与失调的耐受能力要高于大多数生物种类, 更能维持生态系统的结构与功能^[22-23,27]。底层生物的摄食、爬行、避敌、掘穴和建造栖所等扰动行为可以引起沉积物结构的变化^[29], 生物扰动的直接作用结果是对沉积物的垂直搬运和混合, 加速沉积物间隙水与上覆水的物质通量交换, 以及微型生物和小型生物对有机质的分解、矿化和代

谢过程^[30]; 另一方面改变沉积物吸附特征及氧化还原电位, 促进沉积物的再悬浮^[31]; 间接作用是促进沉积物中氮、磷的释放, 很好促进上层水体与底栖水体耦合, 将沉积有机质与上层水体生物生产相连接^[32-34]。分析发现, 2012–2021 年渤海游泳生物资源密度与底层生物资源密度存在显著的正相关($P=0.02$, $R^2=0.30$, $n=10$)。较休渔期延长前, 底层鱼类和虾蟹类年平均资源密度在休渔期延长后增加了 357.63%和 132.89%, 底层生物资源密度的增加, 加速了生态系统的能量流动和物质循环, 提高了渤海游泳生物的资源密度。延长休渔期后的 2019 年游泳生物资源密度较低, 其中底层生物的资源密度与中上层生物资源密度也较低, 但二者间的差距要远小于其他年份, 间接证明了底层生物能很好地提高整个游泳生物的资源密度。延长休渔期, 促进了渤海底层生物渔业资源的逐步增长及群落结构的优化。

4 小结

基于渤海各种游泳生物延长休渔期前后优势种变动、平均单位个体重、年平均资源密度和年平均数量密度变化幅度, 发现以保护当年发生量为目的休渔期延长政策, 在半封闭渤海的实施效果明显, 切实增加了其渔业资源的发生量。鲈等小个体种类资源密度剧增, 夯实了生态系统的能量基础; 大个体与凶猛性等高营养层次生物, 及底层生物资源密度的增加, 优化了渔业资源的群落结构, 但其资源密度与群落结构仍存在波动现象。休渔期开捕后的掠夺式捕捞, 使养护效果当年可能就消失殆尽。当前经济与国情下, 在严控环境污染的同时, 厉行延长休渔期等投入控制, 及时推出配额捕捞等产出控制措施, 合力养护渤海渔业资源。

参考文献:

- [1] Zhang B, Wu Q, Jin X S. Interannual variation in the food web of commercially harvested species in Laizhou Bay from 1959 to 2011[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(2): 278-287. [张波, 吴强, 金显仕. 1959—2011 年莱州湾渔业资源群落食物网结构的变化[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 278-287.]

- [2] Yang Y Y, Li Z Y, Wu Q, et al. Interannual variations in community structure and species diversity of fishery resources in the Laizhou Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(1): 22-29. [杨尧尧, 李忠义, 吴强, 等. 莱州湾渔业资源群落结构和多样性的年际变化[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(1): 22-29.]
- [3] Li Z Y, Wu Q, Shan X J, et al. Interannual variations in fish community structure in the Bohai Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 403-413. [李忠义, 吴强, 单秀娟, 等. 渤海鱼类群落结构的年际变化[J]. 中国水产科学, 2017, 24(2): 403-413.]
- [4] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefish tuna, and bonito in California waters[J]. Water Research, 1971, 18(6): 653-594.
- [5] Song W H. Study on seasonal variations of community structure of fishery in Rushan Bay and its adjacent waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013: 21. [宋文豪. 乳山湾及邻近海域渔业生物群落结构及季节变化的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 21.]
- [6] Cheng J S, Yu L F. The change of structure and diversity of demersal fish communities in the Yellow Sea and East China Sea in winter[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(1): 29-34. [程济生, 俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 29-34.]
- [7] Jin X S, Tang Q S. Structure, quantity distribution and changes of fishery resources in Bohai Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1998, 5(3): 18-24. [金显仕, 唐启升. 渤海渔业资源结构、数量分布及其变化[J]. 中国水产科学, 1998, 5(3): 18-24.]
- [8] Zeng L, Li X S, Zhao X Y, et al. Fecundity and its variations of anchovy *Engraulis japonicus* in the central and southern Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(5): 569-574. [曾玲, 李显森, 赵宪勇, 等. 黄海中南部鳀鱼的生殖力及其变化[J]. 中国水产科学, 2005, 12(5): 569-574.]
- [9] Chen C S, Guo M L, Du Y C, et al. Individual fecundity of landlocked *Oncorhynchus masou* in the Tumen River[J]. Journal of Hydroecology, 2018, 39(1): 91-97. [陈春山, 郭明磊, 杜迎春, 等. 图们江陆封型马苏大麻哈鱼的个体繁殖力[J]. 水生生态学杂志, 2018, 39(1): 91-97.]
- [10] Zhu K, Zhang L C, Xiao C Y, et al. Characterizing fecundity of dwarf form of female purple flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) in the South China Sea[J]. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(6): 140-148. [朱凯, 张立川, 肖楚源, 等. 南海乌贼微型群雌性个体繁殖力研究[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 140-148.]
- [11] Huang C W. The study of the fecundity and spawning fraction of *Coilia mystus* in the Yangtze Estuary[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021: 1-58. [黄承伟. 长江口凤鲚繁殖力和产卵分数研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021: 1-58.]
- [12] Peters R H. The ecological implications of body size[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1983
- [13] Killen S S, Atkinson D, Glazier D S. The intraspecific scaling of metabolic rate with body mass in fishes depends on lifestyle and temperature[J]. Ecology Letters, 2010, 13(2): 184-193.
- [14] Stearns S C, Schmid-Hempel P. Evolutionary insights should not be wasted[J]. Oikos, 1987, 49(1): 118.
- [15] Luo Y P, He D C, Li G, et al. Intraspecific metabolic scaling exponent depends on red blood cell size in fishes[J]. The Journal of Experimental Biology, 2015, 218(Pt 10): 1496-1503.
- [16] Lv X, Xie H, Xia D Y, et al. Mass scaling of the resting and maximum metabolic rates of the black carp[J]. Journal of Comparative Physiology B, 2018, 188(4): 591-598.
- [17] Pang X, Fu S J, Liu X H, et al. Effects of body mass on energy metabolism and thermal tolerance in Qingbo (*Spinibarbus sinensis*)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(16): 5814-5821. [庞旭, 付世建, 刘小红, 等. 中华倒刺鲃能量代谢和热耐受特征的体重效应[J]. 生态学报, 2020, 40(16): 5814-5821.]
- [18] Cai W J, Lyu Y P, Liu Z M, et al. A comparison of Songyang turtles and Japanese turtles (*Pelodiscus sinensis*) in survival rate, weight gain and enzyme activities[J]. Journal of Lishui University, 2018, 40(2): 35-39. [蔡宛君, 吕耀平, 刘子明, 等. 松阳花鳖和日本鳖存活率、体重增重和酶活性的比较[J]. 丽水学院学报, 2018, 40(2): 35-39.]
- [19] Pearson T H, Mannvik H P. Long-term changes in the diversity and faunal structure of benthic communities in the northern North Sea: Natural variability or induced instability? [M]/Recruitment, Colonization and Physical-Chemical Forcing in Marine Biological Systems. Dordrecht: Springer Netherlands, 1998: 317-329.
- [20] Cummins K W, Wilzbach M A. Field procedures for analysis of functional feeding groups of stream macroinvertebrates[M]. Maryland: University of Maryland, 1985.
- [21] Karr J R, Dudley D R. Ecological perspective on water quality goals[J]. Environmental Management, 1981, 5(1): 55-68.
- [22] Li Z Y, Wu Q, Shan X J, et al. Keystone species of fish community structure in the Bohai Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(2): 229-236. [李忠义, 吴强, 单秀娟, 等. 渤海鱼类群落结构关键种[J]. 中国水产科学, 2018, 25(2): 229-236.]

- [23] McCann K S. The diversity–stability debate[J]. *Nature*, 2000, 405(6783): 228-233.
- [24] Wichert G A, Rapport D J. Fish community structure as a measure of degradation and rehabilitation of riparian systems in an agricultural drainage basin[J]. *Environmental Management*, 1998, 22(3): 425-443.
- [25] Sanjib K D, Dibyendu B, Sudipto R. Use of biotic community structure as a measure of ecological degradation[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2007, 13(5): 662-667.
- [26] Su J L, Tang Q S. Study of Ecosystem Dynamics in Coastal Ocean II: Processes of Bohai Sea Ecosystem Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2002: 241. [苏纪兰, 唐启升. 中国海洋生态系统动力学研究 II: 渤海生态系统动力学过程[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 241.]
- [27] Dunton K H, Goodall J L, Schonberg S V, et al. Multi-decadal synthesis of benthic-pelagic coupling in the western Arctic: Role of cross-shelf advective processes[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2005, 52(24-26): 3462-3477.
- [28] Blanchard A L, Day R H, Gall A E, et al. Ecosystem variability in the offshore northeastern Chukchi Sea[J]. *Progress in Oceanography*, 2017, 159: 130-153.
- [29] Meysman F J R, Middelburg J J, Heip C H R. Bioturbation: A fresh look at Darwin's last idea[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2006, 21(12): 688-695.
- [30] Mermillod-Blondin F, Rosenberg R, François-Carcaillet F, et al. Influence of bioturbation by three benthic infaunal species on microbial communities and biogeochemical processes in marine sediment[J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2004, 36: 271-284.
- [31] Benoit J M, Shull D H, Robinson P, et al. Infaunal burrow densities and sediment monomethyl mercury distributions in Boston Harbor, Massachusetts[J]. *Marine Chemistry*, 2006, 102(1-2): 124-133.
- [32] François F, Poggiale J C, Durbec J P, et al. A new approach for the modelling of sediment reworking induced by a macrobenthic community[J]. *Acta Biotheoretica*, 1997, 45(3): 295-319.
- [33] Gerino M, Stora G, Francois F, et al. Macroinvertebrates functional groups in freshwater and marine sediments: A common mechanistic classification[J]. *Vie et Milieu, Life and Environment*, 2003, 53: 221-231.
- [34] Nordström M, Bonsdorff E, Salovius S. The impact of infauna (*Nereis diversicolor* and *Saduria entomon*) on the redistribution and biomass of macroalgae on marine soft bottoms[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 333(1): 58-70.

Effect of prolonged summer fishing moratorium on fisheries conservation in Bohai Sea

LI Zhongyi^{1,2}, DAI Fangqun^{1,2}, YANG Tao^{1,2}, SHAN Xiujuan^{1,2}, JIN Xianshi^{1,2}

1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Shandong Provincial Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Qingdao 266071, China;
2. Laboratory for Marine Fisheries and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266235, China

Abstract: We evaluated the effect of prolonged summer fishing moratorium on the conservation of fishery resources in Bohai Sea from three perspectives (individual, population, and community) by analyzing the dominant species of nekton, the individual mean body weight, and fisheries resources index of nekton and some main fishery populations or biological categories. Data was collected during trawl surveys in August 2012–2016 and 2017–2021, representing the former and prolonged summer fishing moratorium, respectively. The results showed that the individual mean body weight of nekton in the former fishing moratorium was higher than that in prolonged summer fishing moratorium (4.35 g/ind and 3.77 g/ind, respectively). The individual mean body weight of nekton in the prolonged fishing moratorium decreased, mainly as a result of the annual average density of the populations increasing compared to their annual average resource density, indicating that both the number of complementary populations and the fertility of the parents increased significantly. The dominant species of nekton in the early stage of the prolonged fishing moratorium were *Engraulis japonicus*, *Oratosquilla oratoria*, and *Setipinna taty*, similar to those in the former fishing moratorium. However, several new dominant species appeared in the later stage of the prolonged fishing moratorium, with a low occurrence frequency and a high annual variation. In general, the dominant species composition of nekton fluctuated greatly throughout the whole fishing moratorium. Meanwhile, body size and the trophic level of dominant species in the prolonged fishing moratorium showed an increasing trend. The annual biomass of nekton, pelagic fish, demersal fish, and crustaceans in the prolonged fishing moratorium were generally higher than those in the former fishing moratorium, especially in the first year. However, the biomass of all of the above biological categories in certain years in the prolonged fishing moratorium were lower than those in the corresponding years of the former fishing moratorium. The annual average biomass of the above biological categories in the prolonged fishing moratorium increased by 186.38%, 178.26%, 357.63%, and 132.89%, respectively. The annual biomass ratio of the bottom to middle and upper organisms in the prolonged fishing moratorium was larger than that in the former fishing moratorium, with an interannual increasing trend. The biomass of higher trophic level organisms remained low in the former fishing moratorium but increased sharply in the prolonged fishing moratorium, showing an increasing trend, with an average annual increase of 493.67% compared with that in the former fishing moratorium. In conclusion, the biomass of both lower and higher organisms in the ecosystem of Bohai Sea in the prolonged fishing moratorium was found to increase significantly, consolidating the energy foundation of the ecosystem, optimizing the community structure of fishery resources, and gradually stabilizing the succession of the ecosystem. These findings indicate that the input control measures of the prolonged fishing moratorium had a beneficial ecological effect in the Bohai Sea.

Key words: fishing moratorium prolonging; fishery resources; conservation; effect evaluation; Bohai Sea

Corresponding author: JIN Xianshi. E-mail: jin@ysfri.ac.cn