

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200820002

http://www.yykxjz.cn/

姜向阳, 于广磊, 宋秀凯, 刘爱英, 唐海田, 何建龙, 高继庆, 刘丽娟. 千里岩海域国家级水产种质资源保护区现状调查与评价. 渔业科学进展, 2021, 42(5): 01-07

JIANG X Y, YU G L, SONG X K, LIU A Y, TANG H T, HE J L, GAO J Q, LIU L J. Survey and evaluation of the Qianliyan national aquatic germplasm reserve. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(5): 01-07

千里岩海域国家级水产种质资源保护区 现状调查与评价*

姜向阳¹ 于广磊¹ 宋秀凯¹ 刘爱英¹ 唐海田²
何健龙¹ 高继庆¹ 刘丽娟^{1①}

(1. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室 山东 烟台 264006;

2. 国家海洋局烟台海洋环境监测中心站 山东 烟台 264006)

摘要 2015—2018年,对千里岩海域国家级水产种质资源保护区的海水、沉积物、海洋生物、保护生物资源概况进行调查和评价,并研究了主要保护对象刺参(*Apostichopus japonicus*)的遗传多样性。结果显示,保护区海水所测参数均符合评价标准,但氮磷比远高于Redfield比值,磷相对缺乏。潜在性富营养化评价显示,调查海域属I级贫营养。沉积物均符合国家I类质量标准。海洋生物多样性多处于较高水平($H' \geq 2$),但2015年8月小型浮游动物多样性偏低($H'=0.93$),2016年5月和2018年5月大型浮游动物多样性偏低($H'=0.82$, $H'=0.22$)。综合评价认为,该保护区的海洋生态环境良好,满足保护区功能需求。保护区主要保护对象刺参的单倍型多样性指数为0.976,核苷酸多样性指数为0.033,遗传多样性较高,但资源量较保护地初建时下降;另一个保护对象皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)资源极少。需尽快采取强有力的措施开展保护区管理及资源恢复工作。

关键词 千里岩;保护区;评价;刺参;遗传多样性

中图分类号 S937.3 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2021)05-0001-07

刺参(*Apostichopus japonicus*)和皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)是我国传统海珍品,随着对其医疗药用和保健价值的认识,开发利用日益广泛,市场需求迅速增加。山东和辽宁沿海是我国刺参和皱纹盘鲍最重要的自然分布区(廖玉麟,1997;束靖等,2008)。近年来,由于过度捕捞,自然资源急剧下降,人工养殖业快速发展,形成了刺参“北参南养”和皱纹盘鲍养殖“南北接力”的新型养殖模式,成为我国海水养殖新的增长点。目前,刺参、皱纹盘鲍增养殖苗种来源以人

工育苗为主,其种质情况和遗传多样性对增养殖产业的发展有重要影响。为保护刺参、皱纹盘鲍种质资源及其生存环境,保障增养殖业可持续发展,2010年,农业部批准建立了千里岩海域国家级水产种质资源保护区,保护区总面积为1766.27 hm²,其中,核心区面积为202.29 hm²,实验区面积为1563.98 hm²。特别保护期为3月1日—9月30日。保护区位于山东省海阳市千里岩岛海域,主要保护对象为刺参、皱纹盘鲍,其他保护对象包括蓝点马鲛(*Scomberomorus*

* 山东省农业重大应用技术创新项目(2017-2020)资助 [This work was supported by Major Applied Technology Innovation Project of Agriculture in Shandong Province (2017-2020)]. 姜向阳, E-mail: 277218209@qq.com

① 通讯作者:刘丽娟,研究员, E-mail: liu_li_juan_426@aliyun.com

收稿日期:2020-08-20, 收修改稿日期:2020-09-22

niphonius)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)、中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)、日本蟳(*Charybdis japonica*)等。

为全面掌握保护区生态环境和资源状况,参考农业部2011年颁发的《水产种质资源保护区管理暂行办法》,2015—2018年对千里岩海域国家级水产种质资源保护区水环境、沉积物环境、海洋生物开展全面调查与评价,调查了刺参、皱纹盘鲍资源概况,并通过刺参线粒体DNA(mtDNA)控制区(D-Loop)全序列,对该保护区野生刺参种群遗传多样性进行研究,评价该保护区海洋生态环境、保护对象遗传多样性状况,分析保护区管理存在的问题,为更好地开展水产种质资源保护区评价和管理提供工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2015—2018年,在保护区及邻近海域设置4个水质站位(图1),采样分为表层(0.5 m)、中层(10 m)和底层(距离海底2 m),其中,3号站位兼采沉积物和海洋生物。每年5月和8月,水质和浮游动植物各采样监测1次,沉积物和底栖生物样品仅8月采样监测1次,采样深度为33 m。样品采集、处理方法按照《海洋监测规范》(GB17378.3-2007)相关规定执行。2018年,在保护区海底随机采集规格 ≥ 150 g的刺参20只以上,活体冷藏送至实验室。每只刺参解剖取纵肌约0.5 g,放于独立的1.5 mL冻存管,−80℃冷冻保存。

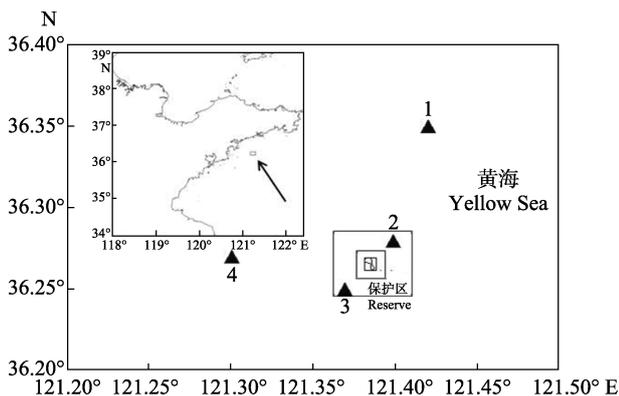


图1 千里岩海域国家级水产种质资源保护区站位

Fig.1 Sample stations of Qianliyan national aquatic germplasm reserve

1.2 参数与分析

水环境参数:盐度、pH、溶解无机氮(DIN)(亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、氨氮之和)、溶解无机磷(DIP)(活性磷酸盐)、化学需氧量(COD)、溶解氧(DO)、总氮

(TN)、总磷(TP)、重金属(Cu、Zn、Hg、Cd和Pb)及As、石油类,按照《海洋监测规范》(GB 17378.4-2007)规定的方法执行。

沉积物环境参数:有机碳、硫化物、石油类、重金属(Cu、Zn、Pb、Cd和Hg)及As,按照《海洋监测规范》(GB 17378.5-2007)规定的方法执行。

海洋生物:叶绿素a、浮游植物、大型浮游动物、小型浮游动物、底栖生物,按照《海洋监测规范》(GB 17378.7-2007)规定的方法执行。

水环境pH、无机氮、活性磷酸盐、COD、DO均按《海水水质标准》(GB 3097-1997) I类标准进行评价;重金属(Cu、Zn、Hg、Cd和Pb)及As、石油类按《渔业水质标准》(GB 11607-1989)进行评价;海洋沉积物硫化物、有机碳、石油类、重金属(Cu、Zn、Hg、Cd和Pb)及As均按《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002) I类标准进行评价。

遗传多样性分析参照刘丽娟等(2021)的方法,以2条特异性引物进行PCR扩增,引物序列为CS-F:TCGTAACATAGTAGGTGTACC;CS-R:CAACCCAT ACTGCTGTAAAC,PCR产物双向测序、剪切,获得刺参D-loop全序列,用MEGA 4.0和DnaSP 5.0进行分析。

1.3 评价方法

1.3.1 单因子污染指数法 单个污染物的污染指数(P_i)计算公式:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中, C_i 为污染物实测浓度, S_i 为污染物的标准浓度。

1.3.2 有机污染指数法(蒋国昌等,1987) 有机污染指数(A)计算公式:

$$A = \frac{\text{COD}_i}{\text{COD}_s} + \frac{\text{DIN}_i}{\text{DIN}_s} + \frac{\text{DIP}_i}{\text{DIP}_s} - \frac{\text{DO}_i}{\text{DO}_s}$$

式中, A 为有机污染指数, COD_i 、 DIN_i 、 DIP_i 和 DO_i 为实测值, COD_s 、 DIN_s 、 DIP_s 和 DO_s 为标准浓度。

1.3.3 Shannon-Weaver 多样性指数法(Shannon, 1963) 生物多样性指数(H')计算公式:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \times \log_2 P_i$$

式中, H' 为生物多样性指数, S 为样品中的种类数量, P_i 为第*i*种的个体数与总个体数的比值。

1.3.4 单倍型多样性、核苷酸多样性指数法 刺参D-loop序列用MEGA 4.0和DnaSP 5.0软件进行分析,分别计算刺参群体的个体间遗传距离、平均遗传距离、单倍型多样性、核苷酸多样性、群体内序列间核苷酸差异的平均数和中性检验Tajima's D 值等遗传多样性指标。

2 结果与分析

2.1 水环境质量

2.1.1 单因子指数评价 2015—2018 年的海水监测结果显示, 保护区所有站位的 pH 变化范围为 8.06~8.26, DO 为 6.37~10.98 mg/L, 均达 I 类水质标准; 盐度变化范围为 30.330~32.412; COD、DIP、DIN、石油类(图 2)和重金属(Cu、Zn、Hg、Cd、Pb 及 As)(图 3)的污染指数 $P_i < 1$, 均不存在污染($P_i < 1$, 不存在污染; $P_i \geq 1$, 存在污染)。其中, DIP 污染指数 P_i 变化范围为 0.009~0.016, 显示该海区 DIP 远低于 I 类海水水质标准。

保护区海水的潜在性富营养化评价结果显示(表 1), DIN 变化范围为 0.020~0.199 mg/L, 均低于 0.2 mg/L, DIP 范围为未检出~0.0096 mg/L, 均远低于 0.03 mg/L, 评价等级为 I 级贫营养。氮磷比(N/P)范围为 42.8~603.0, 显著高于 Redfield 比值(Redfield, 1958), 显示该海区 N/P 失衡, P 含量偏低。

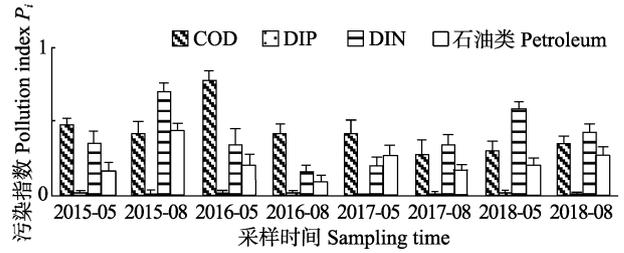


图 2 海水 COD、DIP、DIN 和石油类单因子评价结果
Fig.2 Evaluation results of single factors including COD, DIP, DIN, and petroleum in seawater

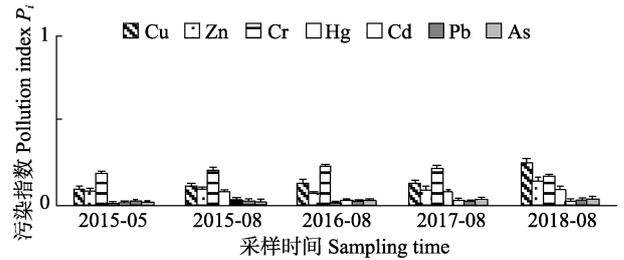


图 3 海水 Cu、Zn、Hg、Cd、Pb 和 As 单因子评价结果
Fig.3 Evaluation results of single factors including Cu, Zn, Hg, Cd, Pb, and As in seawater

表 1 富营养化评价参数统计

Tab.1 List of eutrophication assessment parameters

采样时间 Sampling time	溶解无机氮 DIN /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	溶解无机磷 DIP /($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	总氮 TN /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	总磷 TP /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	氮磷比 N/P
2015-05	0.0707±0.0106	2.18±2.10	1.080±0.161	0.0071±0.003	362.0±84.2
2015-08	0.1420±0.0279	1.74±0.26	0.640±0.211	0.0132±0.001	107.0±35.4
2016-05	0.0695±0.0221	0.87±0.18	0.736±0.204	0.0046±0.004	603.0±516.9
2016-08	0.0324±0.0148	2.55±2.35	0.488±0.219	0.0083±0.005	141.0±46.3
2017-05	0.0410±0.0115	1.60±0.28	0.157±0.018	0.0082±0.002	42.8±5.5
2017-08	0.0691±0.0176	1.35±0.50	0.170±0.016	0.0052±0.002	84.8±33.3
2018-05	0.1178±0.0098	2.47±0.70	0.279±0.040	0.0156±0.007	44.1±13.4
2018-08	0.0865±0.0109	1.64±0.17	0.269±0.021	0.0072±0.001	84.6±12.4

按有机污染指数法评价标准(蒋国昌等, 1987), 2015—2018 年海水有机污染的评价结果显示(图 4), 2015 年 8 月水质较好($0 < A \leq 1$), 其他监测时间水质均良好($A \leq 0$), 保护区水环境质量总体良好。

2.2 沉积物环境质量

2015—2018 年, 保护区沉积物硫化物、有机碳、石油类、重金属(Cu、Zn、Hg、Cd 和 Pb)及 As 含量见表 2, 所有参数的污染指数 $P_i < 1$, 满足保护区要求的海洋沉积物质量标准, 保护区沉积物环境良好。

2.3 海洋生物群落特征

2015—2018 年, 保护区所有监测站位叶绿素平均含量为 0.04~0.91 $\mu\text{g/L}$; 2015 年 5 月平均值最高, 为

0.80 $\mu\text{g/L}$, 2018 年 5 月最低, 为 0.12 $\mu\text{g/L}$; 叶绿素含量较低, 变化不大。

浮游植物和浮游动物每航次采样。但由于该海区水深在 30 m 以上, 仅 2017 年 8 月、2018 年 8 月成功采得底栖生物样品。海洋生物多样性指数见表 3 和图 5。保护区每航次检出浮游植物 9~24 种不等, 种类以硅藻(Diatom)为主, 其中, 角毛藻(*Chaetoceros* sp.)、圆筛藻(*Coscinodiscus* sp.)最为常见, 每航次的浮游植物密度从 2018 年 5 月的 $2.9 \times 10^4 \text{ cell/m}^3$ 升至 2015 年 8 月的 $3.2 \times 10^5 \text{ cell/m}^3$, 与 2013 年的研究结果基本一致(宁璇璇等, 2014)。每年 5 月检出浮游植物的种类、数量、生物多样性指数均低于该年度 8 月。2016 年 5 月的 $H'=1.07$, 2018 年 5 月 $H'=1.77$, 浮游植物生物多样性一般, 其他航次均 $H' \geq 2$, 显示该保

护区浮游植物多样性较高,生态结构稳定。

每航次采集到的大型浮游动物种类有 9~14 种,最常见的优势种为强壮滨箭虫(*Aidanosagitta crassa*)和中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)。最低密度 8 ind./m³ 出现在 2018 年 8 月,最高密度 2317 ind./m³ 出现于 2018 年 5 月。与浮游植物相反,每年 5 月大型浮游动物的数量、生物多样性指数均高于该年度 8 月。2016 年 5 月、2018 年 5 月生物多样性偏低($H'=0.82$ 、 $H'=0.22$),经分析认为,原因是该海区中华哲水蚤(优势度为 86.6%)和夜光虫(*Noctiluca scintillans*)(优势度为 97.0%)大量繁殖所致;2015 年 8 月生物多样性一般;其他航次生物多样性较高($H' \geq 2$)。

每航次采集到小型浮游动物种类 7~29 种,最常见优势种为强壮滨箭虫和近缘大眼剑水蚤(*Corycaeus affinis*)。最低密度 17 ind./m³ 出现于 2018 年 8 月,最高密度 14571 ind./m³ 出现于 2016 年 5 月;2015 年 8 月多样性指数 $H'=0.93$,显示小型浮游动物多样性偏低,小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)优势度达 84.8%;2015 年 5 月和 2018 年 8 月, H' 分别为 1.33、1.43;其他航次均 $H' \geq 2$ 。显示该保护区浮游动物多样性通常较高,生态结构稳定。

2017、2018 年分别检出底栖生物 7 种、10 种,

密度为 110~120 ind./m²,均比较稳定。优势种为口虾蛄幼体(*Oratosquilla oratoria* larva),常见种包括东方缝栖蛤(*Hiatella orientalis* Yokoyama)、小头虫(*Capitella capitata* Fabricius)、不倒翁虫(*Sternaspis scutata* Renier)、樱蛤科(Tellinidae)、沙蚕科(Nereidae)。

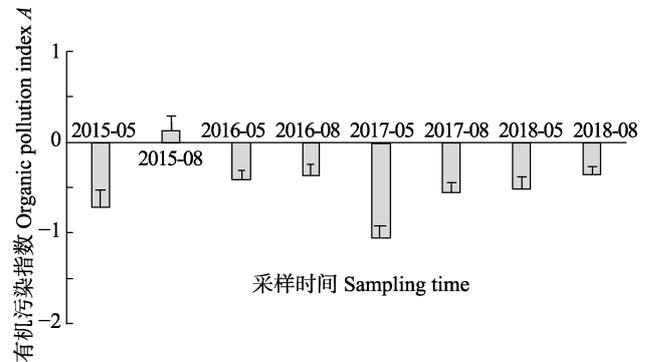


图4 海水有机污染指数评价结果

Fig.4 Organic pollution index in seawater

$A \leq 0$: 良好; $0 < A \leq 1$: 较好; $1 < A \leq 2$: 开始受到污染;
 $2 < A \leq 3$: 轻度污染; $3 < A \leq 4$: 中度污染; $A > 4$: 严重污染
 $A \leq 0$: Good; $0 < A \leq 1$: Fair; $1 < A \leq 2$: Begin to be polluted;
 $2 < A \leq 3$: Slightly polluted; $3 < A \leq 4$: Moderately polluted;
 $A > 4$: Seriously polluted

表2 沉积物检测结果统计

Tab.2 Test results of sediment

采样时间 Sampling time	硫化物 Sulfide /(mg·kg ⁻¹)	有机碳 Organic carbon /%	石油类 Petroleum /(mg·kg ⁻¹)	Hg /(mg·kg ⁻¹)	Cd /(mg·kg ⁻¹)	Pb /(mg·kg ⁻¹)	Cu /(mg·kg ⁻¹)	As /(mg·kg ⁻¹)	Zn /(mg·kg ⁻¹)
2015-08	87.4	0.61	53.5	0.043	0.09	13.7	10.3	7.20	55.7
2016-08	91.7	0.67	33.3	0.029	0.08	14.9	12.4	5.1	59.9
2017-08	48.8	0.42	30.5	0.029	0.10	17.9	30.4	5.4	55.4
2018-08	20.4	0.43	31.9	0.021	0.12	16.2	14.5	6.03	62.4
标准值 Standard	300.0	2.00	500.0	0.20	0.50	60.0	35.0	20.0	150.0

表3 生物多样性指数

Tab.3 Statistics of biodiversity indices H'

采样时间 Sampling time	浮游植物 Phytoplankton	大型浮游动物 Macrozooplankton	小型浮游动物 Microplankton	底栖生物 Benthos
2015-05	2.79	—	1.33	—
2015-08	3.17	1.95	0.93	—
2016-05	1.07	0.82	2.05	—
2016-08	2.44	2.06	2.23	—
2017-08	3.37	2.83	2.59	2.66
2018-05	1.77	0.22	1.43	—
2018-08	3.42	2.93	2.38	3.41

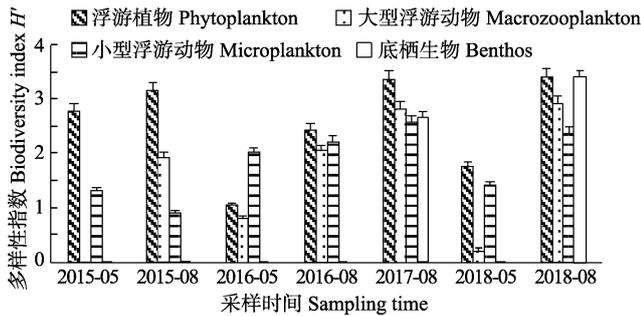


图 5 海洋生物多样性评价

Fig.5 Marine biodiversity evaluation

生物多样性指数 $H' \geq 2$, 显示该保护区底栖生物多样性通常较高, 生态结构稳定。

千里岩海域国家级水产种质资源保护区的海洋生物种类丰富, 多样性指数以较高水平为主, 偶尔出现单种浮游动物大量增殖、多样性指数偏低现象。

2.4 刺参遗传多样性

2018 年, 在保护区采集野生刺参样本 21 个, 对每个刺参 DNA 进行 PCR 扩增, 测序获得的 mtDNA 序列经 MEGA 4.0 比对、剪切后, 获得 453~459 bp 的刺参 mtDNA D-loop 全序列。采用 MEGA 4.0、DnaSP 5.0 分析各遗传多样性数据, 结果见表 4。分析可见, 采集的刺参单倍型多样性处于较高水平。核

苷酸多样性分别为 0.033, 与中国、韩国和俄罗斯沿海 8 个刺参群体的 D-loop 序列分析结果比较, 仅次于韩国浦项的黄参(0.0441)和青岛太平角的刺参(0.0345), 高于烟台长岛的刺参(0.0109), 且远高于 8 个刺参的总体(0.0159)(王锦锦等, 2020), 略低于大连、朝鲜罗津、俄罗斯海参崴刺参(姬南京等, 2014)和小石岛刺参国家级水产种质资源保护区刺参(陶翠花, 2009; 刘丽娟等, 2021), 显示千里岩保护区刺参遗传多样性较高, 种质资源较丰富。中性检验结果 Tajima's $D = -1.15$, 表明群体偏离了中性模式, 可能受到群体扩张和自然选择的作用, 但统计学上差异不显著($P > 0.10$)。

2.5 保护生物资源概况

千里岩海域国家级水产种质资源保护区主要保护对象为刺参、皱纹盘鲍, 是我国少数几个未被开发的刺参、皱纹盘鲍原种产地之一。保护区刺参资源较为丰富, 主要分布在千里岩岛海岸线 100 m 以内, 在岛屿东南侧及岛屿中部山腰处较为集中。据调查, 该海区刺参生物量从 2010 年的 6.33 g/m^2 降至 2015 年的 4.37 g/m^2 , 资源量下降 31%; 通过走访调查发现, 2017、2018 年千里岩海域刺参捕捞产量有所回升, 显示刺参资源量略有恢复; 但保护区皱纹盘鲍极少, 基本形不成产量, 且在调查过程中未采集到样品。

表 4 2018 年千里岩保护区刺参遗传多样性指数

Tab.4 The genetic diversity indices of *A. japonicus* in Qianliyan reserve in 2018

样品数 Sample number	单倍型数 Haploid No.	单倍型多样性 Haplotype diversity	多态位点数 No. of polymorphic sites	多态位点比例 Percentage of polymorphic loci /%	核苷酸多样性 Nucleotide diversity	核苷酸差异的平均数 Average number of nucleotide differences	平均遗传距离 Mean genetic distance
21	17	0.976±0.023	50	12.85	0.033	11.1	0.037

3 讨论

2015—2018 年, 千里岩海域国家级水产种质资源保护区海水水质一直优良, 较 2012、2013 年该海域水质(曲琳, 2014)有所提高, 优于海州湾大竹蛭种质资源保护区(夏斌等, 2014; 尚聪聪等, 2021)、前三岛海域国家级水产种质资源保护区(王珍珍等, 2019)和小石岛刺参国家级水产种质资源保护区(刘丽娟等, 2021), 显著优于靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区(崔毅等, 2013; 滕瑶等, 2018)。主要由于该保护区位于南黄海, 所在海域开阔, 海水交换和自净能力强, 且千里岩岛为无居民海岛, 周边现无开发活动, 距陆地最近点海阳市凤城码头 24.8 n mile, 受人类活动影

响小。叶绿素 a 是研究海洋浮游植物生物量与初级生产力的重要指标(Henson *et al.*, 2010)。千里岩保护区叶绿素 a 含量远低于 2015 年夏季渤海湾(王毅波等, 2019)和 2010—2011 年胶州湾(王玉珏等, 2015), 可见该海域初级生产力水平较低, 分析认为与该海域营养盐含量低、氮磷比失衡有关。

保护区海洋生态环境总体良好, 生物多样性丰富, 浮游生物调查常见虾类幼体、腹足类幼体、双壳类幼体和鱼卵、仔稚鱼, 可见保护区内有多种经济生物自然繁殖。但主要保护对象刺参资源量下降, 遗传多样性稍低于小石岛刺参国家级水产种质资源保护区(刘丽娟等, 2021); 皱纹盘鲍资源极少, 综合保护效果与小石岛保护区相比尚有很大差距。分析认为,

一是受自然影响: 冬季持续低温、夏季连续高温和持续降雨、绿潮等可能影响保护对象的生长和繁殖; 二是人为造成: 千里岩保护区的特别保护期为 3 月 1 日—9 月 30 日, 由于保护区没有明确的范围和位置标识, 且缺乏专人管理, 保护区内常有渔民从事捕捞生产, 必然影响保护对象的资源量; 三是与保护对象的生活习性有关: 刺参、皱纹盘鲍作为底栖生物, 活动范围有限, 很难从临近海域获得资源补充, 并且由于生长、发育缓慢, 分别在 2 龄和 3 龄达到性成熟, 在持续捕捞压力下, 资源量难以通过自然繁殖恢复。

近年来, 通过千里岩保护区海域附近航道的货船数量不断增加, 且千里岩岛作为海阳市最大的岛屿, 具有得天独厚的自然优势, 开发利用的呼声很高, 可能对保护区带来更多影响(曲琳, 2014)。因此, 应采取积极措施, 保护、恢复海洋生物资源, 维护保护区环境和种质资源保护与当地经济发展之间的平衡。针对千里岩海域国家级水产种质资源保护区资源与环境保护现状, 认为应从以下方面开展工作: 一是广泛进行水产种质资源保护的重要性宣传, 提高附近进行生产作业的渔民水产种质资源保护意识; 二是加大管理力度, 坚决杜绝违规在保护区进行捕捞作业行为; 三是在保护区外围海域设置浮标等标志, 明确保护区的范围; 四是开展资源恢复工作, 以保护区捕捞的刺参、皱纹盘鲍为亲体进行人工繁育, 将子一代大规模苗种投放于保护区; 五是根据实际情况, 调整延长特别保护期。

参 考 文 献

- CUI Y, MA F F, XIA B, *et al.* Annual variation and comprehensive evaluation of seawater quality in *Trachidermus fasciatus* Heckel germplasm resource protection area in Jinghai Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(6): 1–8 [崔毅, 马菲菲, 夏斌, 等. 靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区海水环境质量年际变化趋势及综合评价. *渔业科学进展*, 2013, 34(6): 1–8]
- HENSON S A, SARMIENTO J L, DUNNE J P, *et al.* Detection of anthropogenic climate change in satellite records of ocean chlorophyll and productivity. *Biogeosciences*, 2010, 7: 614–621
- JI N J, CHANG Y Q, ZHAO C, *et al.* D-loop sequences variation and phylogenetic analysis in three geographical populations of the sea cucumber *Apostichopus japonicas*. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(4): 476–481 [姬南京, 常亚青, 赵冲, 等. 3 个地理群体仿刺参 D-loop 序列的变异及系统发生分析. *水产学报*, 2014, 38(4): 476–481]
- JIANG G C, WANG Y H, DONG H L, *et al.* A preliminary study of the eutrophic extent in Zhejiang coastal area. *Marine Science Bulletin*, 1987, 6(4): 38–39 [蒋国昌, 王玉衡, 董恒霖, 等. 浙江沿岸富营养化程度的初步探讨. *海洋通报*, 1987, 6(4): 38–39]
- LIAO Y L. *Fauna Sinica Phylum Echinodermata Class Holothuroidea*. Beijing: Science Press, 1997, 148–149 [廖玉麟. 中国动物志棘皮动物门海参纲. 北京: 科学出版社, 1997, 148–149]
- LIU L J, JIANG X Y, GAO J Q, *et al.* Comprehensive evaluation of the Xiaoshi Island *Apostichopus japonicas* national aquatic germplasm reserve. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(5): [刘丽娟, 姜向阳, 高继庆, 等. 小石岛刺参国家级水产种质资源保护区综合评价. *渔业科学进展*. *渔业科学进展*, 2021, 42(5):]
- NING X X, XIA B X, CHEN Q W, *et al.* Ecological characteristics of plankton in Qianliyan Island aquatic germplasm reserve in the summer of 2013. *Marine Science Bulletin*, 2014, 33(5): 592–598 [宁璇璇, 夏炳训, 陈权文, 等. 2013 年夏季千里岩岛水产种质资源保护区浮游生物的生态特征. *海洋通报*, 2014, 33(5): 592–598]
- QU L. Valuation of ecosystem services and study of protection countermeasures in Qianliyan Sea national aquatic germplasm resources conservation area. Master's Thesis of Ocean University of China, 2014 [曲琳. 千里岩海域国家级水产种质资源保护区生态系统服务价值评估及保护对策措施研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2014]
- REDFIELD A C. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*, 1958, 46: 561–600
- SHANG C C, XIAO H, ZHU L, *et al.* Ecological environment quality analysis and evaluation of *Solen grandis* National Germ Plasm Resource Protection Area in Haizhou Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(1): 11–17 [尚聪聪, 肖慧, 朱琳, 等. 海州湾大竹蛭种质资源保护区生态环境质量分析与评价. *渔业科学进展*, 2021, 42(1): 11–17]
- SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press, 1963
- SHU J, LI Q, YU R H, *et al.* Microsatellites analysis on genetic variation between wild and cultured populations of Pacific abalone (*Haliotis discus hannai*). *Periodical of Ocean University of China*, 2008, 38(1): 52–58 [束靖, 李琪, 于瑞海, 等. 皱纹盘鲍野生与养殖群体微卫星标记遗传变异研究. *中国海洋大学学报*, 2008, 38(1): 52–58]
- TAO C H. Analysis on genetic diversity in the wild population of sea cucumber (*Apostichopus japonicas*) in Weihai. Master's Thesis of Shandong University, 2009 [陶翠花. 威海仿刺参野生种群遗传多样性分析. 山东大学(威海)硕士研究生学位论文, 2009]
- TENG Y, CHEN B J, XIA B, *et al.* Ecological environment quality analysis and evaluation of *Trachidermus fasciatus* Heckel in Jinghai Bay National Germplasm Resource Area. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(2): 34–41 [滕瑶, 陈碧鹃, 夏斌, 等. 靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区生态环

- 境质量分析与评价. 渔业科学进展, 2018, 39(2): 34–41]
- WANG J J, LIAO M J, Li B, *et al.* Genetic diversity and population structure of different geographical populations of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) from China, South Korea and Russia based on mitochondrial genes. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(1): 75–85 [王锦锦, 廖梅杰, 李彬, 等. 基于多个线粒体序列的中韩俄沿海不同地理群体刺参的遗传多样性及种群结构分析. 渔业科学进展, 2020, 41(1): 75–85]
- WANG Y B, SUN Y Y, WANG C X, *et al.* Distribution of the net-phytoplankton community and chlorophyll-*a* in the Bohai Sea in summer and its impacts on fishery resources. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(5): 42–51 [王毅波, 孙延瑜, 王彩霞, 等. 夏季渤海网采浮游植物群落和叶绿素 *a* 分布特征及其对渔业资源的影响. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 42–51]
- WANG Y J, LIU Z, ZHANG Y, *et al.* Temporal and spatial variations of chlorophyll-*a* and environmental factors in Jiaozhou Bay in 2010–2011. *Haiyang Xuebao*, 2015, 37(4): 102–115 [王玉珏, 刘哲, 张永, 等. 2010–2011 年胶州湾叶绿素 *a* 与环境因子的时空变化特征. 海洋学报, 2015, 37(4): 102–115]
- WANG Z Z, LIU Y Y. Evaluation of seawater environment quality of the national aquatic germplasm resources reserve in the Qiansan Islands. *Ocean Development and Management*, 2019, 36(12): 58–60 [王珍珍, 刘迎迎. 前三岛海域国家级水产种质资源保护区海水环境质量评价. 海洋开发与管, 2019, 36(12): 58–60]
- XIA B, MA F F, CHEN B J, *et al.* Environmental quality evaluation of *Solen grandis* Resources Protection Area in Haizhou Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(6): 16–22 [夏斌, 马菲菲, 陈碧鹃, 等. 海州湾大竹蛭资源保护区海水环境质量评价. 渔业科学进展, 2014, 35(6): 16–22]

(编辑 冯小花)

Survey and Evaluation of the Qianliyan National Aquatic Germplasm Reserve

JIANG Xiangyang¹, YU Guanglei¹, SONG Xiukai¹, LIU Aiyang¹,
TANG Haitian², HE Jianlong¹, GAO Jiqing¹, LIU Lijuan^{1①}

(1. Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Shandong Key Laboratory of Restoration Marine Ecology, Yantai, Shandong 264006, China; 2. Yantai Marine Environment Monitoring Central Station of State Oceanic Administration, Yantai, Shandong 264006, China)

Abstract Parameters related to the seawater, sediment, marine biological, and protected biological resources of Qianliyan national aquatic germplasm reserve were surveyed and evaluated from 2015 to 2018, and the genetic diversity of *Apostichopus japonicas* (the main protected object) was also studied in 2018. Our results showed that all of the measured parameters met the seawater evaluation standards, but the nitrogen to phosphorus ratios were far higher than the Redfield ratio of 16, indicating that phosphate was relatively deficient compared to nitrogen. Based on the eutrophication evaluation model, the surveyed area was classified as first-grade nutritionally poor. The observed sediment parameters met the Class 1 national sediment quality standards. The marine biodiversity indices were mostly at a high level ($H' \geq 2$); however, the diversity of small zooplankton was low in August 2015 ($H'=0.93$) and the diversity of macrozooplankton was low in May 2016 and May 2018 ($H'=0.82$, $H'=0.22$). Comprehensive evaluation showed that the marine ecological environment of the reserve was good and met the functional requirements. The haplotype diversity index of *A. japonicas* as the main protected object was 0.976, and the nucleotide polymorphisms index was 0.033, indicating that the genetic diversity of *A. japonicus* was high. The biological resource of *A. japonicas* was less than the amount when the reserve was built, and the biological resource of *Haliotis discus hannai*, another main protected object, has been extremely low in the last few years. It is therefore necessary to take strong measures to carry out reserve management and resource restoration work as soon as possible in Qianliyan National Aquatic Germplasm Reserve.

Key words Qianliyan; Reserve; Evaluation; *Apostichopus japonicas*; Genetic diversity

① Corresponding author: LIU Lijuan, E-mail: liu_li_juan_426@aliyun.com