

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200301001

http://www.yykxjz.cn/

刘丽娟, 姜向阳, 高继庆, 宋秀凯, 张学超, 付萍, 姜会超, 刘爱英, 邢红艳. 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, 2021, 42(5): 08-15

LIU L J, JIANG X Y, GAO J Q, SONG X K, ZHANG X C, FU P, JIANG H C, LIU A Y, XING H Y. Comprehensive evaluation of the Xiaoshi Island *Apostichopus japonicus* national aquatic germplasm reserve. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(5): 08-15

小石岛刺参国家级水产种质资源保护区综合评价*

刘丽娟¹ 姜向阳¹ 高继庆¹ 宋秀凯¹ 张学超²
付萍¹ 姜会超¹ 刘爱英¹ 邢红艳^{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. 威海市海洋与渔业监测减灾中心 山东 威海 264200)

摘要 为全面掌握小石岛刺参国家级水产种质资源保护区状况,于2012—2018年对该保护区的水环境、沉积物环境、海洋生物生态、保护生物资源概况和主要保护对象刺参(*Apostichopus japonicus*)的遗传多样性进行调查,并分别采用单因子污染指数(P_i)、有机污染指数(A)、生物多样性指数(H')、线粒体DNA D-loop序列单倍型多样性指数和核苷酸多样性指数进行分析评价。11个航次的监测中,海水除2016年5月无机氮超标($P_i=1.08$)、2017年8月无机氮超标($P_i=1.31$)且水质开始受到有机污染($A=1.001$)外,其他所有参数均符合海水评价标准。沉积物均符合国家I类质量标准。海洋生物多样性通常处于较高水平($H' \geq 2$),但2016年5月和2017年8月浮游植物多样性偏低($H'=0.45$ 、 $H'=0.28$),2018年5月小型浮游动物多样性偏低($H'=0.77$)。保护区生物资源丰富,近年来,刺参密度从约2 ind./m²逐渐增加至3~5 ind./m²。2012年和2018年刺参群体的遗传多样性均较高(单倍型多样性指数分别为0.995和0.993,核苷酸多样性指数分别为0.039和0.037)且无显著遗传差异。综合评价认为,该保护区的海洋生态环境和水产种质资源保护良好,但需要防控海水无机氮污染风险。

关键词 小石岛;保护区;资源环境;综合评价;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)05-0008-08

近几十年来,受全球自然环境变化和人类活动的影响,我国水生生物资源严重衰退(郭子良等,2019)。为保障渔业可持续发展,2007年,农业部批准在具有较高经济价值和遗传育种价值的水产种质资源的主要生长繁育区域建立国家级水产种质资源保护区,于2011年发布实施《水产种质资源保护区管理暂行办法》。至2018年底,全国分11批建立国家级水产种质资源保护区535处,保护面积共1560.79万hm²。

2007年以来,我国国家级水产种质资源保护区的数量和保护面积快速增长,但保护区重建设、轻管理的现象比较突出(杨璐等,2014),相关研究较少,其中,淡水保护区主要集中于生物资源调查(禹真等,2013;索维国等,2018;郝雅宾等,2109),涉海保护区更关注水质(崔毅等,2013;夏斌等,2014;滕瑶等,2018;王珍珍等,2019)和生物生态(于雯雯等,2013;袁健美等,2013;宁璇璇等,2014)。

* 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)]. 刘丽娟, E-mail: liu_li_juan_426@aliyun.com

① 通讯作者: 邢红艳, 研究员, E-mail: xinghongyan@shandong.cn

收稿日期: 2020-03-01, 收修改稿日期: 2020-04-20

刺参(*Apostichopus japonicus*)是我国传统海珍品,主要分布于西北太平洋沿岸,国内自然分布于山东、辽宁、河北、江苏北部沿海(廖玉麟, 1997)。随着刺参的开发利用日益广泛,市场需求迅速增加,对野生刺参的过度捕捞导致其自然资源急剧下降,刺参增养殖业也迅猛发展。2017年,我国刺参增养殖面积为 21.9163 万 hm^2 , 年产量为 21.9907 万 t(农业农村部渔业渔政管理局等, 2018), 产值达数百亿元, 刺参已成为我国海水增养殖产值最高的品种之一。为保护刺参种质资源, 山东省先后获批建立了 3 个刺参国家级水产种质资源保护区, 小石岛刺参国家级水产种质资源保护区为其中之一。该保护区建立于 2009 年, 总面积为 471 hm^2 , 其中, 核心区面积为 165 hm^2 , 实验区面积为 306 hm^2 , 特别保护期为全年。保护区位于山东省威海市东北海域, 海岸线东起威海国际海水浴场烟墩山, 西至小石岛渔码头, 往西南至 -12 m 等深线。主要保护对象为刺参, 其他保护对象包括海胆、鲍鱼、大叶藻等(中华人民共和国农业部, 2010)。

为全面掌握保护区生态环境和资源状况, 2012—2018 年, 连续 7 年对小石岛刺参国家级水产种质资源保护区保护生物状况进行调查, 对水环境、沉积物环境、海洋生物生态开展全面监测与评价, 并利用刺参线粒体 DNA(mtDNA)控制区(D-loop)变异较快、适合于种内遗传分析的特点(李云峰等, 2013), 采用 PCR 特异性扩增结合 DNA 测序技术获得 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。客观评价该保护区海洋生态环境、刺参遗传多样性和主要保护物种概况, 分析保护区管理的经验和存在的问题, 为更好地开展水产种质资源保护区评价和管理工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样时间和方法

2012—2014 年, 在保护区设置 4 个站位, 每年 8 月左右采样检测一次; 2015—2018 年, 在保护区设置 5 个站位, 每年 5 月、8 月各采样检测一次。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。采样站位见图 1。

2012 年和 2018 年, 分别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°C 冷冻保存。

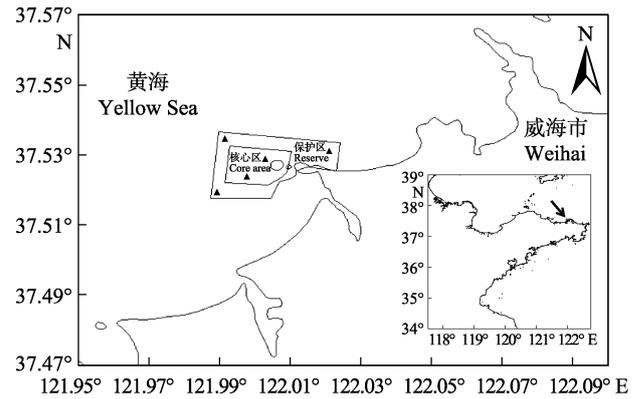


图 1 小石岛刺参国家级水产种质资源保护区采样站位
Fig.1 The sampling stations of Xiaoshi Island *A. japonicus* national aquatic germplasm reserve

1.2 监测参数与分析

水环境、沉积物环境、海洋生物监测与分析方法分别按照《海洋监测规范》(GB 17378.4-2007、GB 17378.5-2007 和 GB 17378.7-2007)规定的方法执行。其中, 重金属参数仅在 2014—2018 年监测; 沉积物和底栖生物每年 8 月左右监测一次。

水环境 pH、无机氮(DIN)、活性磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)、化学需氧量(COD)、溶解氧(DO)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、Pb 和 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、Pb 和 As)均按《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002) I 类标准进行评价。

刺参遗传多样性分析按以下方法进行。在 NCBI GenBank 中查找并下载编号 AB525437.1 的刺参 mtDNA 全序列, 用 Primer Premier 6.0 软件设计特异性引物并合成。引物序列为 CS-F: TCGTAACATAGTAGGTGTA CC; CS-R: CAACCCATACTGCTGTAAAC。每只刺参取纵肌约 100 mg, SDS 法提取刺参总 DNA, 无菌双蒸水溶解后作为模板进行 PCR 扩增(费来华等, 2008)。PCR 产物双向测序、拼接, 获得的 mtDNA 序列与 GenBank 编号 AB 525437.1 中的 D-loop 全序列经 MEGA 4.0 比对, 剪切得到刺参 D-loop 全序列。2012 年和 2018 年样品各作为一个群体, 使用 MEGA 4.0 和 DnaSP 5.0 软件进行分析。

1.3 评价方法

1.3.1 单因子污染指数法评价水环境和沉积物环境理化参数 单个污染物的污染指数(P_i)计算公式为:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中, P_i 为污染物的污染指数; C_i 为污染物的实测浓度; S_i 为评价污染物的标准浓度。

1.3.2 有机污染指数法综合评价海水的有机物污染状况 有机污染指数(A)计算公式为(蒋国昌等, 1987):

$$A = \frac{COD_i}{COD_s} + \frac{DIN_i}{DIN_s} + \frac{DIP_i}{DIP_s} - \frac{DO_i}{DO_s} \quad (2)$$

式中, A 为有机污染指数, COD_i 、 DIN_i 、 DIP_i 和 DO_i 为实际测试值, COD_s 、 DIN_s 、 DIP_s 和 DO_s 为上述各项评价指标所采用的标准浓度。

1.3.3 多样性指数法进行海洋生物多样性评价

Shannon-Weaver 多样性指数(H') (Shannon *et al.*, 1963)计算公式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \times \log_2 P_i \quad (3)$$

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进行遗传多样性评价 刺参 D-loop 序列采用 MEGA 4.0 和 DnaSP 5.0 软件进行分析, 分别计算 2 个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

2012—2018 年共计 11 个航次的海水监测结果显示, 保护区所有站位的 pH 变化范围为 7.99~8.38, DO 变化范围为 6.11~10.2 mg/L, 均达 I 类水质标准; 盐度变化范围为 29.552~33.474; COD、DIP、DIN 和石油类的评价结果见图 2。

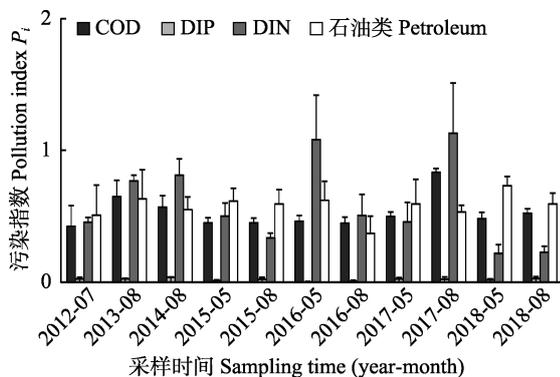


图 2 海水 COD、DIP、DIN 和石油类单因子评价结果
Fig.2 Single factor evaluation results of COD, DIP, DIN and petroleum in sea water

$P_i < 1$: 不存在污染; $P_i \geq 1$: 存在污染。图 3 同
 $P_i < 1$: No pollution; $P_i \geq 1$: Polluted. Same as in Fig.3

所有航次的 COD、DIP、石油类的污染指数 $P_i < 1$, 均不存在污染。2016 年 5 月和 2017 年 8 月监测中, $DIN P_i > 1$, 显示存在 DIN 污染。分析发现, 2016 年 5 月监测 5 个站位中, 3 个站位 DIN 达 II 类海水水质标准, P_i 分别为 1.30、1.40 和 1.42, 1 个站位达 III 类海水水质标准, $P_i = 1.56$, 平均 $P_i = 1.08$, 80% 站位超标; 2017 年 8 月监测 5 个站位中, 3 个站位达 II 类海水水质标准, P_i 分别为 1.17、1.18 和 1.23, 1 个站位达 IV 类海水水质标准, $P_i = 2.05$, 平均 $P_i = 1.13$, 80% 站位超标; 其他监测站位无 DIN 超标现象。

2014—2018 年海水重金属的评价结果详见图 3。所测 Cu、Zn、Hg、Cd、Pb 和 As 的污染指数 $P_i < 1$, 显示该海区不存在 6 种重金属污染。

2012—2018 年海水有机污染的评价结果详见图 4。

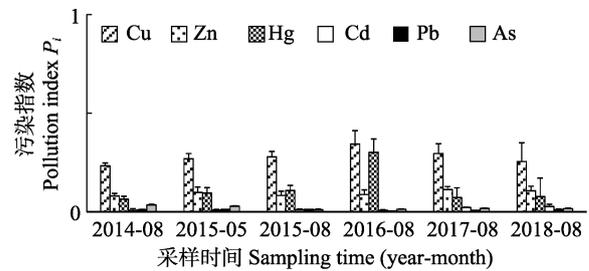


图 3 海水 Cu、Zn、Hg、Cd、Pb 和 As 单因子评价结果
Fig.3 Single factor evaluation results of Cu, Zn, Hg, Cd, Pb and As in sea water

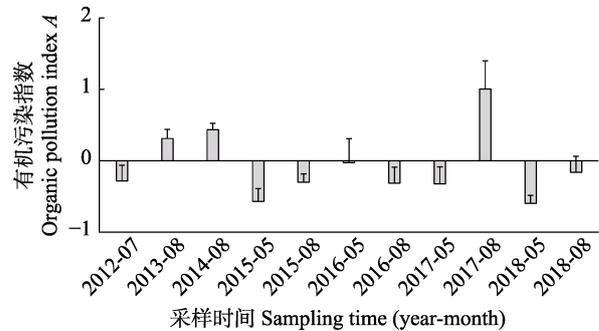


图 4 海水有机污染指数评价结果
Fig.4 Organic pollution index in sea water

$A \leq 0$: 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; $0 < A \leq 1$: Normal; $1 < A \leq 2$: Begin to be polluted;
 $2 < A \leq 3$: Polluted lightly; $3 < A \leq 4$: Polluted moderately;
 $A > 4$: Seriously polluted

按有机污染指数法(蒋国昌等, 1987)评价标准, 2017 年 8 月监测的 5 个站位中, 3 个站位有机污染指数 A 分别为 1.34、1.75 和 1.13, 平均 $A = 1.001$, 显示水质开始受到有机物污染; 其他监测时间和站位水质

良好($A \leq 0$)或较好($0 < A \leq 1$)。该分析结果显示, 小石岛刺参国家级水产种质资源保护区水环境质量总体较好, 偶尔出现 DIN 超标现象, 证明该保护区主要潜在污染物为 DIN。

2.2 沉积物环境质量

2012—2018 年, 保护区沉积物所有 9 个评价参数: 硫化物、有机碳、石油类、重金属(Cu、Zn、Hg、Cd、Pb 和 As)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, 显示保护区沉积物环境良好。

2.3 海洋生物群落特征

2012—2018 年, 保护区所有监测站位的叶绿素含量为 0.22~6.12 $\mu\text{g/L}$ 。2012 年 7 月的平均值最低, 为 0.35 $\mu\text{g/L}$; 2016 年 5 月和 2017 年 5 月为最高, 均为 4.26 $\mu\text{g/L}$, 叶绿素含量变化较大。浮游植物和浮游动物每航次采样, 底栖生物每年 8 月前后采样 1 次。生物多样性指数见表 1, 生物多样性评价结果见图 5。

表 1 生物多样性指数统计

Tab.1 The statistics of biodiversity indices

| 采样时间 Sampling time (year-month) | 生物多样性指数 Biodiversity index H' | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | 浮游植物 Phytoplankton | 大型浮游动物 Macrozooplankton | 小型浮游动物 Microzooplankton | 底栖生物 Macroinvertebrate |
| 2012-07 | 2.39 | 2.45 | 2.76 | 1.82 |
| 2013-08 | 2.44 | 2.53 | 2.47 | 2.22 |
| 2014-08 | 3.31 | 2.77 | 2.87 | 2.99 |
| 2015-05 | 2.42 | 2.12 | 3.35 | — |
| 2015-08 | 3.14 | 1.76 | 2.83 | 1.91 |
| 2016-05 | 0.45 | 1.18 | 1.71 | — |
| 2016-08 | 1.99 | 2.31 | 2.08 | 2.34 |
| 2017-05 | 2.00 | 2.05 | 2.48 | — |
| 2017-08 | 0.28 | 3.85 | 1.28 | 1.29 |
| 2018-05 | 2.22 | 2.22 | 0.77 | — |
| 2018-08 | 2.82 | 2.26 | 2.45 | 2.58 |

保护区每航次检出浮游植物 9~24 种不等, 以硅藻(Diatom)为主, 其中, 角毛藻(*Chaetoceros* sp.)、圆筛藻(*Coscinodiscus* sp.)最常见, 甲藻(Dinoflagellates)中最常见三角角藻(*Ceratium tripos*), 未检出已知产毒藻。每航次监测的浮游植物密度差距很大, 从 2018 年 5 月的 $3.0 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ 至 2017 年 8 月的 $3.3 \times 10^7 \text{ cell/m}^3$ 不等。按生物多样性指数评价, 2016 年 5 月 $H'=0.45$, 2017 年 8 月 $H'=0.28$, 多样性偏低。经分析发现, 2016 年 5 月该海区柔弱几内亚藻(*Guinardia delicatula*)的

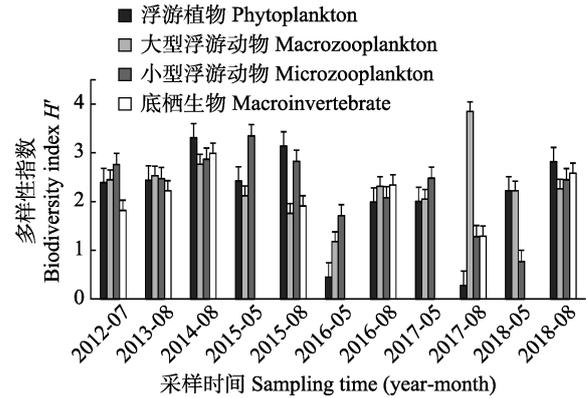


图 5 海洋生物多样性评价

Fig.5 Evaluation of marine biodiversity

$H' < 1$: 生物多样性偏低; $1 \leq H' < 2$: 生物多样性一般;
 $H' \geq 2$: 生物多样性较高
 $H' < 1$: Low biodiversity; $1 \leq H' < 2$: Ordinary biodiversity;
 $H' \geq 2$: High biodiversity

优势度达 91.8%, 2017 年 8 月该海区旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)优势度高达 96.8%, 单一藻种的大量繁殖导致浮游植物生物多样性偏低, 生态结构不稳定; 2016 年 8 月 $H'=1.99$, 浮游植物生物多样性一般, 其他航次均 ≥ 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 6~15 种大型浮游动物, 变化不大。最低密度出现在 2012 年 7 月, 为 11 ind./ m^3 ; 最高密度出现于 2015 年 8 月, 为 188 ind./ m^3 。除 2015 年 8 月和 2016 年 5 月 H' 分别为 1.76 和 1.18 外, 其他航次均 ≥ 2 。每航次采集到的小型浮游动物种类数为 8~25 种, 最低密度出现于 2014 年 8 月, 为 141 ind./ m^3 , 最高密度出现于 2016 年 8 月, 为 14,258 ind./ m^3 ; 2018 年 5 月 $H'=0.077$, 显示小型浮游动物多样性偏低, 经分析发现, 本航次该海域夜光虫(*Noctiluca scintillans*)大量繁殖, 优势度达 87.2%; 2016 年 5 月和 2017 年 8 月, 多样性指数 H' 分别为 1.71 和 1.28; 其他航次均 ≥ 2 。显示通常该保护区浮游动物多样性较高, 生态结构稳定。该海区最常见浮游动物为强壮箭虫(*Sagitta crassa*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、多毛类幼体(*Polychaeta larva*)、桡足类无节幼体(*Copepoda nauplius*), 还发现刺参、海胆、海星、虾类、腹足类、双壳类等经济生物幼体, 及鱼卵、仔稚鱼等, 可见该海区生物多样性丰富, 是多种经济生物的自然繁殖场所。

每年采集到的底栖生物种类数为 6~10 种, 密度为 200~800 ind./ m^2 , 均比较稳定。最常见底栖生物为索沙蚕(*Lumbrineris* sp.) 和 不倒翁虫(*Sternaspis*

scutata)。2012、2015 和 2017 年生物多样性指数 H' 分别为 1.82、1.91 和 1.29, 多样性一般, 其他年份均 ≥ 2 , 显示通常该保护区底栖生物多样性较高, 生态结构稳定。

总之, 小石岛刺参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, 偶尔出现单种浮游植物或浮游动物大量增殖导致多样性指数偏低现象。

2.4 刺参遗传多样性

2012 和 2018 年分别在保护区采集野生刺参 21 和 24 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 mtDNA D-loop 全序列。MEGA 4.0、DnaSP 5.0 软件分析各遗传多样性数据, 结果见表 2。从表 2 可以看出, 2012 和 2018 年采集的刺参单倍型

多样性均达到 0.99 以上, 处于较高水平。核苷酸多样性分别为 0.039 和 0.037, 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, 仅次于取自韩国浦项的黄参(0.044 1), 高于青岛太平角(0.034 5)和烟台长岛(0.010 9)的刺参, 且远高于 8 个刺参总体(0.015 9)(王锦锦等, 2020), 也分别高于与大连、朝鲜罗津、俄罗斯海参崴刺参的 D-loop 序列分析结果(姬南京等, 2014), 表明小石岛刺参遗传多样性较高, 与 2007 年该海域野生刺参的遗传多样性研究结果一致(陶翠花, 2009)。中性检验结果 Tajima's D 值 2012 年为 -1.31, 2018 年为 -1.65, 均为负值, 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($P > 0.05$)。2 个群体间遗传分化系数 $F_{st} = -0.000 97 < 0.05$, 认为 2012 年和 2018 年刺参群体间遗传差异很小, 不存在分化(Wright, 1931)。

表 2 刺参遗传多样性指数
Tab.2 The genetic diversity indices of *A. japonicus*

| 采样时间 Sampling time/year | 样品数 Sample number | 单倍型数 Haploid number | 单倍型多样性 Haplotype diversity | 多态位点数 Number 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 |
|----------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------|---|---------------------------------|
| 2012 | 21 | 20 | 0.995±0.016 | 85 | 21.10 | 0.039 | 17.3 | 0.018 |
| 2018 | 24 | 22 | 0.993±0.014 | 94 | 21.56 | 0.037 | 16.1 | 0.037 |

2.5 保护生物资源概况

小石岛刺参国家级水产种质资源保护区出产的刺参具有个体大、出皮率高、品质优良等特点, 是非常珍贵的种质资源。对当地海洋渔业主管部门及周边养殖企业、渔民的调查结果显示, 保护区自然刺参资源量从 2012 年约 2 ind./m² 逐渐增加至 2018 年约 3~5 ind./m², 在秋季水温适合时, 岸边刺参随处可见。该海域海胆资源较丰富, 主要集中在保护区及邻近海区的威海影视城海域、小石岛海域、麻子港海域, 包括光棘球海胆(*Strongylocentrotus nudus*)、马粪海胆(*Hemicentrotus pulcherrimus*)。保护区内同时有大量的皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)、紫石房蛤(*Saxidomus purpuratus*)等贝类资源, 有些地方密度约为 200 ind./m²。保护区还有丰富的藻类资源: 鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)、大叶藻(*Zostera marina*)、海带(*Thallus laminariae*)、裙带菜(*Undaria pinnatifida*)、石花菜(*Gelidium amansii*)、条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)等, 其中, 鼠尾藻、大叶藻营养丰富, 是刺参的优质天然饵料。

3 讨论

连续 7 年的监测结果显示, 小石岛刺参国家级水产种质资源保护区 2012—2015 年水质一直保持良好; 2016 年 5 月和 2017 年 8 月水质下降, 各有 80% 站位海水 DIN 超标, 个别站位 DIN 达 IV 类海水水质标准, 伴随着单一藻种大量繁殖和浮游植物生物多样性指数偏低; 2018 年恢复至良好状态。调查发现, 2016 年 5 月和 2017 年 8 月监测采样前威海地区均经历降雨, 推断由于雨水携带周边陆源污染物入海, 导致保护区营养盐浓度增高, 恰逢气象条件适宜, 一种微藻大量繁殖, 使浮游植物多样性偏低。与其他涉海水产种质资源保护区相比, 小石岛保护区海水水质通常良好, 与海州湾大竹蛏种质资源保护区(夏斌等, 2014; 尚聪聪等, 2021)和前三岛海域国家级水产种质资源保护区(王珍珠等, 2019)一致, 明显优于靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区(崔毅等, 2013; 滕瑶等, 2018)。分析认为, 主要是由于地理位置影响, 小石岛和海州湾、前三岛保护区均远离人类生活区, 所在海域开阔, 海水交换快, 自净能力强, 通常水质清洁,

即使偶发污染现象也会很快恢复;而靖海湾湾形封闭,湾内海水与外界交换慢,自净能力较差,且湾内有淡水河流注入,水质受人类生产生活影响较大,水质富营养化程度高。

小石岛保护区海洋生态环境总体较好,生物多样性丰富,保护区内有多种经济生物自然繁殖,主要保护对象刺参资源量逐年增加,2012和2018年的刺参遗传多样性丰富且无明显分化,显示该保护区的保护效果良好,基本达到了保护水产种质资源及生存环境的目的。究其原因,一方面,保护区位于威海市西部海域,周边无大型工业,受人类活动影响较小,自然生态环境条件优越,对保护对象的生长和繁殖十分有利;另一方面,保护区建立了国家级威海刺参原种场,威海西港水产有限公司派专职人员保护、管理浅海的刺参资源,解决了多数保护区没有专人管理和缺乏管理经费的问题,使刺参资源得到有效的保护。该保护区管理也存在一些问题:一是近几年周边海水养殖设施增加,可能影响保护区海洋生态环境,养殖生物的逃逸也可能对保护区内海洋生物资源和保护对象的遗传多样性产生影响,需要引起重视;二是以企业为主进行管理,虽然暂时解决了保护区管理人员和经费的问题,但从长远来看,如何平衡水产种质资源的保护和利用的关系,充分发挥保护区天然种质资源库的作用,促进渔业可持续发展的还值得深入探讨。

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]
- FEI L H, LI Z, CHEN J X. 16S rDNA sequence diversity and phylogenetic relationship of ten sea cucumbers. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(5): 755-765 [费来华, 李赞, 陈家鑫. 10种海参16S rDNA序列多样性及其亲缘关系分析. *中国水产科学*, 2008, 15(5): 755-765]
- GUO Z L, ZHANG M Y, CUI L J, *et al.* Establishment and expansion of national aquatic germplasm reserves in China. *Journal of Hydroecology*, 2019, 40(5): 112-118 [郭子良, 张曼胤, 崔丽娟, 等. 中国国家级水产种质资源保护区建设及其发展趋势分析. *水生态学杂志*, 2019, 40(5): 112-118]
- HAO Y B, LIU J D, GUO A H, *et al.* Fish community structure in Zitong core area in Qiandao Lake national aquatic genetic resources conservation area. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(4): 587-596 [郝雅宾, 刘金殿, 郭爱环, 等. 千岛湖国家级水产种质资源保护区(梓桐核心区)鱼类群落结构. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(4): 587-596]
- JIN 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]
- LI Y F, LI M Y, WANG J, *et al.* Comparative structure of complete mitochondrial genome in sea cucumber *Apostichopus japonicas*. *Fisheries Science*, 2012, 31(8): 455-462 [李云峰, 李梦遥, 王健, 等. 仿刺参线粒体全基因组序列结构及比较研究. *水产科学*, 2012, 31(8): 455-462]
- 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]
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs Fisheries Bureau, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. *China fishery statistical yearbook 2018*. Beijing: China Agriculture Press, 2018, 26-50 [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. *中国渔业统计年鉴 2018*. 北京: 中国农业出版社, 2018, 26-50]
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. A notice issued by the General Office of the Ministry of Agriculture on the area and functional division of the third batch of national aquatic germplasm resource reserves. (2010-11-03) [2020-02-12]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/YYJ/201011/t20101103_1693546.htm? [中华人民共和国农业部. 农业部办公厅关于公布第三批国家级水产种质资源保护区的面积范围和功能分工的通知. (2010-11-03) [2020-02-12]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/YYJ/201011/t20101103_1693546.htm?]
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Interim measures for the administration of aquatic germplasm resources reserves. (2011-01-28) [2020-02-12]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/YYJ/201101/t20110128_1814567.htm? [中华人民共和国农业部. 水产种质资源保护区管理暂行办法. (2011-01-28) [2020-02-12]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/YYJ/201101/t20110128_1814567.htm?]
- 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]

- 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
- SUO W G, SUN W X, XU F, *et al.* An analysis on the diversity of benthos and the resources of protected objects in Shaobo Lake shellfish germplasm resources reserve. *China Fisheries*, 2018(6): 62–66 [索维国, 孙文祥, 许飞, 等. 邵伯湖贝类水产种质资源保护区底栖动物多样性与保护对象资源状况探析. *中国水产*, 2018(6): 62–66]
- TAO C H. Analysis on genetic diversity in the wild population of sea cucumber (*Apostichopus japonicas*) in Weihai. Master's Thesis of Shandong University at Weihai, 2009 [陶翠花. 威海仿刺参野生种群遗传多样性分析. 山东大学威海分校硕士论文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 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. *海洋开发与管理*, 2019, 36(12): 58–60]
- WRIGHT S. Evolution in Mendelian populations. *Genetics*, 1931, 16(2): 97–159
- 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]
- YANG L, CHEN M R, YANG S Y, *et al.* Adaptive management of aquatic germplasm reserves. *Marine Environmental Science*, 2014, 33(1): 122–129 [杨璐, 陈明茹, 杨圣云, 等. 水产种质资源保护区适应性管理研究. *海洋环境科学*, 2014, 33(1): 122–129]
- YU W W, LIU P T, GAO Y S, *et al.* Distribution characteristics of zooplankton in national aquatic germplasm conservation area in Lüsi fishing ground of East China in spring and summer. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(10): 2744–2749 [于雯雯, 刘培廷, 高银生, 等. 春夏季吕泗渔场水产种质资源保护区浮游动物分布特征. *生态学杂志*, 2013, 32(10): 2744–2749]
- YU Z, RAN H, FAN J D, *et al.* Investigation on siniperceine fishes in the national endemic fish resources protection area Jinjiang River. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2013, 41(11): 146–148, 151 [禹真, 冉辉, 樊均德, 等. 锦江河国家级水产种质资源保护区鳊类资源调查. *贵州农业科学*, 2013, 41(11): 146–148, 151]
- YUAN J M, TANG J H, BEN C K, *et al.* Analysis on relationships between phytoplankton and environmental factors of national aquatic germplasm protection area in Lüsi fishing ground in spring and summer. *Marine Fisheries*, 2013, 35(2): 152–160 [袁健美, 汤建华, 贲成恺, 等. 吕四渔场水产种质资源保护区春夏季浮游植物与环境因子初步分析. *海洋渔业*, 2013, 35(2): 152–160]

(编辑 冯小花)

Comprehensive Evaluation of the Xiaoshi Island *Apostichopus japonicus* National Aquatic Germplasm Reserve

LIU Lijuan¹, JIANG Xiangyang¹, GAO Jiqing¹, SONG Xiukai¹, ZHANG Xuechao²,
FU Ping¹, JIANG Huichao¹, LIU Aiyang¹, XING Hongyan¹^①

(1. Shandong Marine Resource and Environment Research Institute,
Shandong Key Laboratory of Restoration Marine Ecology, Yantai, Shandong 264006, China;
2. Weihai Marine and Fishery Monitoring and Hazard Mitigation Center, Weihai, Shandong 264200, China)

Abstract To assess the Xiaoshi Island *Apostichopus japonicus* national aquatic germplasm reserve, parameters related to the water environment, sediment environment, marine ecology, protected biological resources, and genetic diversity of *A. japonicus* from 2012 to 2018 were examined. The condition of the reserve was evaluated by several indices, including the single factor pollution index (P_i), organic pollution index (A), biodiversity index (H'), haplotype diversity index, and nucleotide diversity index of the mitochondrial DNA D-loop sequence. During 11 cruises, all of the observed parameters met the seawater evaluation standards, except for the dissolved inorganic nitrogen concentrations, which were greater than the established standards in May 2016 ($P_i = 1.08$) and August 2017 ($P_i = 1.31$). This indicates that the water was polluted by organic matter ($A = 1.001$) in August 2017. The observed sediment parameters met the Class 1 national sediment quality standards. The marine biodiversity indices were high ($H' \geq 2$). However, the phytoplankton diversities were low in May 2016 ($H' = 0.45$) and August 2017 ($H' = 0.28$), and the small zooplankton diversity was low in May 2018 ($H' = 0.77$). The biological resources in the reserve area were rich. The number of *A. japonicus* per unit square area gradually increased from ~2 to 3~5. *A. japonicus* genetic diversity was high in 2012 (haplotype diversity index = 0.995, nucleotide diversity index = 0.039) and 2018 (haplotype diversity index = 0.993, nucleotide diversity index = 0.037), and there were no significant genetic differences between the groups. Overall, the marine ecological environment and aquatic germplasm resources in the reserve are well-protected. However, it is necessary to prevent future risks associated with dissolved inorganic nitrogen contamination.

Key words Xiaoshi Island; Reserve; Resource and environment; Comprehensive evaluation; *Apostichopus japonicus*; Genetic diversity

① Corresponding author: XING Hongyan, E-mail: xinghongyan@shandong.cn