

## 莱州湾贝类养殖区水质状况调查与评价

刘嘉卓, 卢钰博, 于潇, 崔龙波\* (烟台大学生命科学学院, 山东烟台 264005)

**摘要** [目的] 监测莱州湾贝类养殖区水质状况, 旨在为海洋环境保护及贝类养殖提供参考。[方法] 在2019年5—11月对莱州湾的8个位点进行水质监测, 并采用营养指数法、营养状态质量指数法和内梅罗环境综合质量指数法对水质进行评价。[结果] 莱州湾水温、盐度和pH分别为12.24~27.04℃、29.05‰~30.72‰和7.52~8.22, 适宜贝类的养殖; 溶解氧和化学需氧量分别为6.55~8.31和1.24~2.25 mg/L, 均符合国家二类水质标准; 营养盐含量均在贝类养殖的安全范围内; 养殖区内细菌数量均在合理范围之内; 营养水平和水质评价总体来说该海域较为清洁, 但在个别月份营养水平偏高。[结论] 莱州湾贝类养殖区水质状况较好, 适宜贝类的养殖。

**关键词** 贝类养殖区; 海水质量; 监测; 评价; 莱州湾

中图分类号 S949 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)21-0076-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.21.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Investigation and Evaluation on Water Quality of Shellfish Culture Area in Laizhou Bay

LIU Jia-zhuo, LU Yu-bo, YU Xiao et al (College of Life Science, Yantai University, Yantai, Shandong 264005)

**Abstract** [Objective] The research monitored the water quality of shellfish culture areas in Laizhou Bay, aiming to provide scientific reference for marine environmental protection and shellfish culture. [Method] The water quality of 8 sites in Laizhou Bay was investigated from May to November in 2019. The water quality was evaluated by nutrition index method, nutrition quality index method and Nemerow environmental quality index method. [Result] The water temperature, salinity and pH of Laizhou Bay were 12.24–27.04 °C, 29.05‰–30.72‰ and 7.52–8.22, respectively, which were suitable for shellfish culture. The dissolved oxygen and chemical oxygen demand were 6.55–8.31 mg/L and 1.24–2.25 mg/L, which were accorded with Grade II water quality standards. The nutrient contents were all within the safe range of shellfish culture. The number of bacteria in shellfish culture area of Laizhou Bay was within a reasonable range. Generally, the sea area was relatively clean in terms of nutrition level and water quality evaluation, but in some months, the nutrition level was on the high side. [Conclusion] The water quality in Laizhou Bay is pretty good that is suitable for shellfish cultivation.

**Key words** Shellfish culture area; Seawater quality; Monitoring; Evaluation; Laizhou Bay

莱州湾位于山东半岛西北部, 是国内重要的海水养殖区。由于周边河水携带大量营养盐流入湾内, 使得海水中浮游植物大量生长, 为贝类提供了大量的食物来源, 因此莱州湾一直是传统的贝类养殖区。但随着近几年养殖区的扩大及周边工、农业的发展, 莱州湾海水环境污染及海洋生态破坏等问题日益严重, 制约了贝类养殖业的发展。为此许多研究者对莱州湾水质进行了评测, 如张亮等<sup>[1]</sup>调查发现莱州湾海域存在严重的富营养化问题; 徐艳东等<sup>[2]</sup>对湾内海水进行检测, 结果表明均符合一类海水水质标准, 但存在潜在营养化风险; 孙丕喜等<sup>[3]</sup>分析了莱州湾海水中5项化学指标的分布特征及变化, 认为莱州湾近海海域存在富营养化现象, 容易发生赤潮; 赵玉庭等<sup>[4]</sup>通过分析莱州湾溶解无机氮和活性磷酸盐的含量, 认为该海域处于磷限制潜在性富营养水平。这些研究结果表明莱州湾整体处于富营养化状态。该研究以海洋环境保护以及为贝类养殖提供科学参考为目的, 在2019年5—11月对莱州湾贝类养殖区的8个位点进行调查研究, 检测了水温、盐度、pH、溶解氧、化学需氧量、硝酸盐、氨氮、亚硝酸盐、活性磷、总磷以及细菌数量, 并采用营养指数法<sup>[5]</sup>和营养状态质量指数法<sup>[6]</sup>对海水营养水平进行评价, 采用内梅罗环境综合质量指数法对海水质量进行综合评价。

## 1 材料与方法

**1.1 采样位点与时间** 根据莱州湾贝类养殖区的分布, 选取招远、龙口及莱州三地的养殖区共8个位点进行采样(图1), 每个位点设4个平行采样点, 于2019年5—11月每月中旬采集水样, 每个采样位点分别采集上下2个水层的水样, 混匀后进行检测, 最终试验结果取平均值。

**1.2 样品采集与检测** 应用有机玻璃采水器采集水样, 使用美国奥立龙水质分析仪现场检测水样的水温、盐度、pH及溶解氧, 另取水样经无菌冷藏暂存后带回实验室, 按照《海洋监测规范》<sup>[7]</sup>指定方法检测其他化学指标及细菌数量, 方法如下: 化学需氧量(COD)采用碱性高锰酸钾法测定, 硝酸盐(NO<sub>3</sub>-N)采用镉柱还原法测定, 氨氮(NH<sub>3</sub>-N)采用靛酚蓝分光光度法测定, 亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-N)采用盐酸萘乙二胺分光光度法测定, 活性磷(DIP)采用磷钼蓝分光光度法测定, 总磷(TP)采用过硫酸钾氧化法测定。弧菌和异养菌数量的检测: 将海水适当稀释后分别接种至TCBS选择培养基(培养弧菌)和2116E海洋细菌培养基(培养异养菌), 置于25℃培养箱内, 弧菌和异养菌分别培养2d和5d, 采用细胞计数法检测细菌数量。

## 1.3 评价方法

**1.3.1 营养水平评价。** 采用营养指数法和营养状态质量指数法对海水营养水平进行评价。

营养指数(E)法的公式如下:

$$E = (\text{COD} \times \text{DIN} \times \text{DIP} \times 10^6) / 4\ 500 \quad (1)$$

式中, COD、DIN和DIP分别为水样中化学需氧量、无机氮和活性磷的实测数据(mg/L)。如果E大于1, 则说明水体呈富

**基金项目** 山东省现代农业产业技术体系建设专项(SDAIT-14); 山东省重点研发计划(2019GHY112016)。

**作者简介** 刘嘉卓(1997—), 男, 山西运城人, 硕士研究生, 研究方向: 海洋生态。\*通信作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事海洋生态研究。

**收稿日期** 2020-03-24

营养化状态,数值越大,水体富营养化程度越严重<sup>[2]</sup>。

营养状态质量指数(NQI)法的公式如下:

$$NQI = \frac{COD}{COD^0} + \frac{TP}{TP^0} + \frac{TN}{TN^0} \quad (2)$$

式中,COD、TP 和 TN 分别为水样中化学需氧量、总磷和总氮的实测数据,COD<sup>0</sup>、TP<sup>0</sup> 和 TN<sup>0</sup> 分别为水体中化学需氧量、总磷和总氮的评价标准,其数值分别为 3.0、0.03 和 0.6 mg/L。根据 NQI 数值将海水营养水平分为三级,数值小于 2 为贫营养水平,2~3 为中营养水平,大于 3 为高营养水平<sup>[6]</sup>。

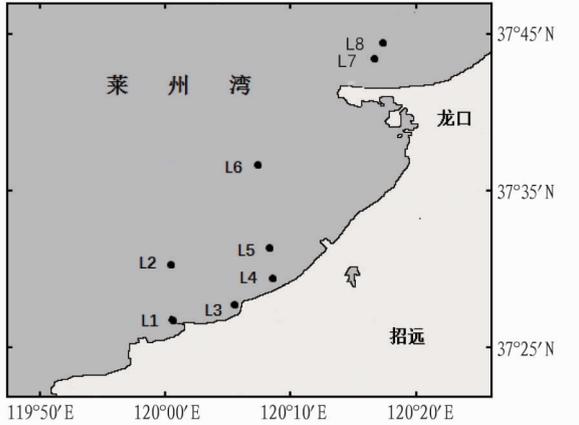


图 1 莱州湾采样地点

Fig. 1 Sampling location of Laizhou Bay

1.3.2 水质综合评价。采用单因子评价及内梅罗环境综合质量指数法对莱州湾海水质量进行综合评价,公式如下:

$$P_i = \frac{C_i}{C_i^0} \quad (3)$$

$$P = \sqrt{\frac{P_{\max}^2 + \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m P_i\right)^2}{2}} \quad (4)$$

式中, $P_i$  为某污染因子的污染指数; $C_i$  为某污染因子的实测数据; $C_i^0$  为某污染因子的评价标准; $P$  为内梅罗综合指数; $P_{\max}$  为参数中最大的污染指数。根据内梅罗综合指数进行水质评价的标准如表 1 所示。

表 1 贝类养殖环境质量分级标准<sup>[8]</sup>

Table 1 Grading standards of environmental quality of shellfish culture

| 内梅罗综合指数<br>Nemero composite index ( $P$ ) | 等级<br>Grade | 质量状况<br>Quality status | 类别<br>Category | 污染状况<br>Pollution status |
|---|-------------|------------------------|----------------|--------------------------|
| <0.50                                     | 1           | 良好                     | 1              | 清洁                       |
| 0.50~0.75                                 | 2           | 较好                     | 2              | 较清洁                      |
| >0.75~1.00                                | 3           | 一般                     | 2              | 轻度污染                     |
| >1.00~1.25                                | 4           | 较差                     | 2              | 中度污染                     |
| >1.25~1.50                                | 5           | 差                      | 3              | 重度污染                     |
| >1.50                                     | 6           | 很差                     | 3              | 严重污染                     |

1.4 相关性分析 为了解海水各项指标之间的相关性,使用 SPSS 25.0 软件对数据进行分析,根据相关系数的大小判断其相关关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 各环境因子含量变化

2.1.1 水温、盐度和 pH。从图 2 可以看出,2019 年 5—11 月份莱州湾贝类养殖区水体温度、盐度和 pH 分别为 12.24~27.04 °C、29.05‰~30.72‰和 7.52~8.22。其中水温随月份产生明显的改变,8 月水温最高,为 27.04 °C,5、10 和 11 月水温较低,11 月最低,为 12.24 °C。盐度和 pH 在 7 个月检测期间一直较为稳定,仅呈现小幅度的波动。

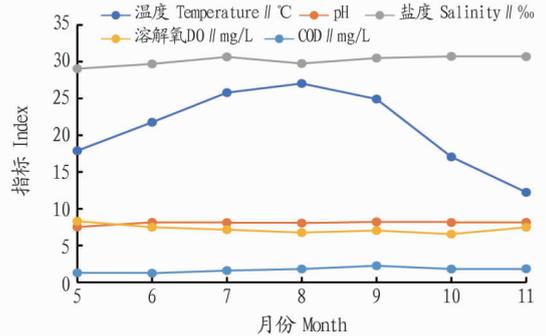


图 2 莱州湾贝类养殖区水体中温度、盐度、pH、溶解氧和 COD 变化

Fig. 2 The variation of temperature, salinity, pH, DO and COD in water of shellfish culture area in Laizhou Bay

莱州湾贝类养殖区养殖的贝类主要为海湾扇贝,这种扇贝有极强的适应性<sup>[9]</sup>,在温度为 10~31 °C 时均能正常生长<sup>[10]</sup>,有研究证明该扇贝在 23 °C 下生长速度是 14.6 °C 下生长速度的 2 倍<sup>[11]</sup>。已有研究证明海湾扇贝幼贝在盐度为 21‰~36‰条件下生长较快、存活率较高,在 13.2‰~46.4‰正常生长<sup>[12]</sup>。此外,杨风等<sup>[13]</sup>研究认为海湾扇贝幼贝在 pH 为 7.7~8.2 的养殖环境下存活率最高。综合上述文献以及该研究结果表明,莱州湾贝类养殖区的水温、盐度和 pH 均在扇贝适宜生长的范围之内。

2.1.2 溶解氧和化学需氧量。从图 2 可以看出,莱州湾贝类养殖区海水中的溶解氧和化学需氧量分别为 6.55~8.31 和 1.24~2.25 mg/L。溶解氧是海洋生物体生长发育必不可少的环境因素,有研究表明当水体呈低氧水平(小于 2.0 mg/L)时,贝类的存活率会迅速下降<sup>[14]</sup>。化学需氧量作为检验水体污染的指标之一,其数值越大表明污染程度越高<sup>[15]</sup>。根据海水水质二类标准<sup>[16]</sup>,养殖海水的溶解氧不低于 5.0 mg/L,化学需氧量应低于 3.00 mg/L,因此莱州湾贝类养殖区溶解氧和化学需氧量均处于安全范围内。

2.1.3 营养盐。营养盐是指含氮和磷元素的盐类如无机氮和活性磷等,他们是海洋初级生产者浮游植物生长繁殖的物质基础,对其群落结构和动态有调节作用,因此营养盐的改变可能会引起浮游植物生态结构的变化<sup>[17]</sup>。海水中无机氮(DIN)包括硝酸盐(NO<sub>3</sub>-N)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)和亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-N)3 种形式,其中氨氮和亚硝酸盐含量过高时对贝类有毒害作用,有学者研究证明氨氮含量在 0.15 mg/L 以下<sup>[18]</sup>、亚硝酸盐含量在 0.1 mg/L 以下时不会对贝类造成毒害作用<sup>[19]</sup>。该研究检测到莱州湾贝类养殖区 NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>3</sub>-

N 和  $\text{NO}_2\text{-N}$  的含量分别为 0.055 4~0.260 2、0.008 3~0.087 8 和 0.007 7~0.041 6 mg/L,其含量分别在 5、8 和 11 月达到最大,因此氨氮和亚硝酸盐均不会对贝类造成毒害作用。该研究测得无机氮(DIN)和活性磷(DIP)的含量分别为 0.123 4~0.328 5 和 0.004 9~0.036 8 mg/L,分别在 5 月和 6 月达到最高,平均含量分别为 0.187 4 和 0.016 2 mg/L。从平均含量看,DIN 和 DIP 含量分别符合海水一类和二类标准,但在 5 月 DIN 含量超过了海水二类标准(0.30 mg/L),在 6 月 DIP 含量超过了海水三类标准(0.030 mg/L)<sup>[16]</sup>。有研究表明,当 DIN 和 DIP 分别低于 0.080 和 0.018 mg/L 时,会影响浮游植物的生长<sup>[20]</sup>,因此莱州湾贝类养殖区浮游植物的生长可能会受到营养盐的限制。总体来说,莱州湾贝类养殖区氮和磷的含量基本上均处于安全范围内,但由于该养殖区海域磷含量偏低,可能会通过影响浮游植物的生长进而对贝类养殖产生影响,与此同时在个别月份仍需注意氮和磷污染的情况。

**2.1.4 细菌。**该研究测得弧菌和异养菌数量分别为 54.75~2541.45 和 102.15~4179.00 CFU/mL,分别在 9 月和 11 月达到最大。弧菌可在 10~35 °C 的环境下生存,大多都生活在海水中,在水产养殖中普遍存在<sup>[21]</sup>,有研究表明弧菌是引起贝类发病的主要细菌性病原体<sup>[22]</sup>。该研究结果显示,莱州湾贝类养殖区整体弧菌数量不高,处于安全范围内,只是在 9 月份突增,此时应需注意其他海水环境污染因素对

贝类养殖的叠加影响。异养菌在养殖水体中能够提高自净能力<sup>[23]</sup>,但当海水环境恶化时,异养菌也会污染贝类。该研究结果显示,莱州湾贝类养殖区整体异养菌数量偏高,但处于合理范围之内,同时也应该注意异养菌的污染情况,以防止其对贝类养殖造成不良影响。

## 2.2 水质评价

**2.2.1 营养水平评价。**莱州湾贝类养殖区的营养指数( $E$ )和营养状态质量指数(NQI)如表 2 所示。根据营养指数( $E$ )来看,L1 和 L3 在 5、6 和 9 月,L2 在 5 和 6 月,L4 在 6 和 9 月,L5 在 6 月,L6 在 6、9 和 11 月,L7 在 5、6、8、9 和 11 月,L8 在 5、6、9 和 11 月均呈富营养化状态;总体来看,莱州湾贝类养殖区水体多在 6 和 9 月呈富营养化状态。根据营养状态质量指数(NQI)来看,L1、L2 和 L7 在 5 和 6 月,L3 在 5、6、9 和 10 月,L4 在 5 月,L5、L6 和 L8 在 5、6 和 9 月都为高营养水平,L2、L3 在 7 月,L4 和 L7 在 7 和 10 月,L5 在 10 月,L6、L8 在 7 和 8 月都为贫营养水平;总体来看,莱州湾贝类养殖区在 5 和 6 月易出现高营养水平,在 8、9、10 和 11 月基本为中营养水平,7 月基本为贫营养水平。由于 2 种评价方法选用的指标不同,导致营养水平评价结果稍有不同,但 2 种结果均表明莱州湾贝类养殖区在夏秋季易出现高营养水平,已有研究表明莱州湾海域在夏季出现了富营养化现象<sup>[24]</sup>。因此莱州湾贝类养殖区富营养化问题应该加以重视并采取有效措施,以防止其程度加剧对贝类的养殖造成影响。

表 2 莱州湾贝类养殖区的营养指数( $E$ )和营养状态质量指数(NQI)

Table 2 The nutritional index ( $E$ ) and trophic state quality index (NQI) of shellfish aquaculture areas in Laizhou Bay

| 指数<br>Index | 月份<br>Month   | L1   | L2   | L3   | L4   | L5   | L6   | L7   | L8   |      |
|-------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 营养指数( $E$ ) | 5             | 2.99 | 1.35 | 2.50 | 0.64 | 0.86 | 0.58 | 3.07 | 3.67 |      |
|             | 6             | 3.89 | 4.17 | 6.61 | 2.15 | 2.65 | 2.99 | 1.79 | 1.71 |      |
|             | 7             | 0.52 | 0.19 | 0.53 | 0.28 | 0.22 | 0.22 | 0.50 | 0.14 |      |
|             | 8             | 0.88 | 0.19 | 0.49 | 0.64 | 0.46 | 0.59 | 2.29 | 0.83 |      |
|             | 9             | 1.13 | 0.40 | 1.32 | 1.15 | 0.67 | 2.81 | 1.28 | 2.54 |      |
|             | 10            | 0.27 | 0.23 | 0.53 | 0.02 | 0.01 | 0.43 | 0.25 | 0.37 |      |
|             | 11            | 0.90 | 0.86 | 0.20 | 0.94 | 0.76 | 1.74 | 1.16 | 1.97 |      |
|             | 营养状态质量指数(NQI) | 5    | 4.69 | 4.73 | 4.63 | 4.32 | 4.25 | 4.26 | 4.47 | 4.49 |
|             |               | 6    | 3.38 | 3.75 | 4.00 | 2.91 | 3.00 | 3.32 | 3.33 | 3.20 |
|             |               | 7    | 2.14 | 1.64 | 1.82 | 1.70 | 2.01 | 1.71 | 1.60 | 1.49 |
|             |               | 8    | 2.51 | 2.73 | 2.53 | 2.41 | 2.52 | 1.91 | 2.47 | 1.94 |
| 9           |               | 2.53 | 2.61 | 3.31 | 2.89 | 3.22 | 3.19 | 2.68 | 3.08 |      |
| 10          |               | 2.91 | 2.95 | 3.05 | 1.91 | 1.82 | 2.05 | 1.75 | 2.02 |      |
| 11          |               | 2.08 | 2.18 | 2.11 | 2.20 | 2.56 | 3.00 | 2.58 | 2.70 |      |

**2.2.2 水质综合评价。**从表 3 可以看出,莱州湾贝类养殖区各位点 pH、DO、COD、DIN 和 DIP 的单因子污染指数( $P_i$ )均小于 1,表明该海域基本上均未受到这些因子的污染,符合海水水质二类标准<sup>[25]</sup>。内梅罗环境综合质量指数法是较为准确全面评价环境质量的方法,该方法对平均值与极值兼顾,在考虑各项化学指标对海水污染状况的同时,又突显对海水污染较为严重的指标<sup>[26]</sup>。内梅罗综合指数( $P$ )分析结果表明,莱州湾贝类养殖区 L4 和 L5 两地的海水质量等级为 1 级,达到清洁状态,其他各地的海水质量等级为 2 级,均为

较清洁状态,已有研究报道 2017 年莱州湾海域的水质类别主要为一、二类海水<sup>[26]</sup>。总体来说,莱州湾贝类养殖区海水质量较为良好,符合贝类养殖环境质量的一、二类标准<sup>[8]</sup>。

**2.3 相关性分析** 从莱州湾贝类养殖区各项环境因子之间的相关性(表 4)可以看出,莱州湾 pH 与盐度呈显著的正相关( $P<0.05$ ),与总磷和硝酸盐呈显著的负相关( $P<0.05$ );盐度与总磷呈极显著的负相关( $P<0.01$ );溶解氧与总磷和硝酸盐呈显著的正相关( $P<0.05$ );化学需氧量与弧菌呈显著的正相关( $P<0.05$ );总磷与硝酸盐呈显著的正相关( $P<$

0.05)。张亮等<sup>[1]</sup>分析莱州湾海域各项指标的相关性发现,盐度与无机氮、化学需氧量、磷酸盐均呈现负相关性,并认为该海域的无机氮、化学需氧量、磷酸盐与河流入海有很大的

关系。该研究相关性结果表明,化学需氧量对弧菌的影响很大,因此应严加关注莱州湾贝类养殖区污染的程度,防止污染程度严重时弧菌的大量增殖。

表 3 莱州湾贝类养殖区海水质量综合评价

Table 3 The comprehensive evaluation of water quality in shellfish aquaculture areas in Laizhou Bay

| 位点<br>Site | $P_i$ |      |      |      |      | $P$  | 等级<br>Grade | 污染状况<br>Pollution status |
|------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|--------------------------|
|            | pH    | DO   | COD  | DIN  | DIP  |      |             |                          |
| L1         | 0.09  | 0.64 | 0.73 | 0.73 | 0.44 | 0.55 | 2           | 较清洁                      |
| L2         | 0.10  | 0.61 | 0.63 | 0.63 | 0.40 | 0.51 | 2           | 较清洁                      |
| L3         | 0.10  | 0.60 | 0.68 | 0.68 | 0.43 | 0.55 | 2           | 较清洁                      |
| L4         | 0.13  | 0.63 | 0.60 | 0.60 | 0.43 | 0.47 | 1           | 清洁                       |
| L5         | 0.12  | 0.66 | 0.55 | 0.55 | 0.42 | 0.47 | 1           | 清洁                       |
| L6         | 0.12  | 0.68 | 0.70 | 0.70 | 0.47 | 0.52 | 2           | 较清洁                      |
| L7         | 0.11  | 0.76 | 0.65 | 0.65 | 0.69 | 0.55 | 2           | 较清洁                      |
| L8         | 0.11  | 0.73 | 0.61 | 0.61 | 0.71 | 0.55 | 2           | 较清洁                      |

表 4 莱州湾贝类养殖区环境因子之间相关性分析

Table 4 Correlation analysis of environmental factors in shellfish culture area of Laizhou Bay

| 环境因子<br>Environmental factor | 温度<br>Temperature | pH      | 盐度<br>Salinity | 溶解氧<br>Dissolved oxygen | 化学需氧量<br>Chemical oxygen demand | 总磷<br>TP | 活性磷<br>Active phosphorus | 亚硝酸盐<br>Nitrite | 硝酸盐<br>Nitrate | 氨氮<br>Ammonia nitrogen | 弧菌<br>Vibrio | 异养菌<br>Heterotrophic bacteria |
|------------------------------|-------------------|---------|----------------|-------------------------|---------------------------------|----------|--------------------------|-----------------|----------------|------------------------|--------------|-------------------------------|
| 温度 Temperature               | 1                 |         |                |                         |                                 |          |                          |                 |                |                        |              |                               |
| pH                           | 0.181             | 1       |                |                         |                                 |          |                          |                 |                |                        |              |                               |
| 盐度 Salinity                  | -0.118            | 0.783*  | 1              |                         |                                 |          |                          |                 |                |                        |              |                               |
| 溶解氧 Dissolved oxygen         | -0.349            | -0.745  | -0.653         | 1                       |                                 |          |                          |                 |                |                        |              |                               |
| 化学需氧量 Chemical oxygen demand | 0.137             | 0.566   | 0.650          | -0.616                  | 1                               |          |                          |                 |                |                        |              |                               |
| 总磷 TP                        | -0.098            | -0.801* | -0.897**       | 0.871*                  | -0.718                          | 1        |                          |                 |                |                        |              |                               |
| 活性磷 Active phosphorus        | 0.025             | 0.081   | -0.414         | 0.411                   | -0.390                          | 0.522    | 1                        |                 |                |                        |              |                               |
| 亚硝酸盐 Nitrite                 | -0.343            | 0.335   | 0.323          | -0.194                  | 0.546                           | -0.447   | -0.114                   | 1               |                |                        |              |                               |
| 硝酸盐 Nitrate                  | -0.592            | -0.810* | -0.626         | 0.864*                  | -0.502                          | 0.821*   | 0.235                    | -0.163          | 1              |                        |              |                               |
| 氨氮 Ammonia nitrogen          | 0.430             | -0.288  | -0.647         | 0.247                   | -0.682                          | 0.433    | 0.361                    | -0.237          | -0.027         | 1                      |              |                               |
| 弧菌 Vibrio                    | 0.437             | 0.354   | 0.235          | -0.288                  | 0.786*                          | -0.247   | 0.042                    | 0.183           | -0.296         | -0.459                 | 1            |                               |
| 异养菌 Heterotrophic bacteria   | -0.662            | 0.463   | 0.740          | -0.358                  | 0.479                           | -0.669   | -0.384                   | 0.684           | -0.169         | -0.629                 | -0.087       | 1                             |

注: \* 在 0.05 级别(双尾),相关性显著; \*\* 在 0.01 级别(双尾),相关性显著

Note: \* At level 0.05 (two-tailed), the correlation is significant; \*\* At level 0.01 (two-tailed), the correlation is significant

### 3 结论

(1) 莱州湾贝类养殖区水温、盐度和 pH 均满足贝类养殖的条件;溶解氧和化学需氧量均处于安全范围内;DIN 和 DIP 平均含量分别符合海水一类和二类标准,适宜贝类的养殖;弧菌和异养菌数量均在贝类养殖的合理范围之内。

(2) 营养指数(E)表明莱州湾贝类养殖区在 6 月和 9 月呈富营养化状态,营养状态质量指数(NQI)表明该养殖区在 5 月和 6 月易出现高营养水平,水质综合评价结果表明莱州湾海域海水质量总体来说较为清洁。

### 参考文献

[1] 张亮,宋春丽,张乃星,等. 莱州湾西部海域营养盐分布特征及营养化程度评价[J]. 广西科学院学报,2017,33(2):82-86.  
 [2] 徐艳东,魏潇,李佳蕙,等. 2013 年春季莱州湾海水环境要素特征和富营养化评估[J]. 中国环境监测,2016,32(6):63-69.  
 [3] 孙丕喜,王波,张朝晖,等. 莱州湾海水中营养盐分布与富营养化的关系[J]. 海洋科学进展,2006,24(3):329-335.

[4] 赵玉庭,刘霞,李佳蕙,等. 2013 年莱州湾海域营养盐的平面分布及季节变化规律[J]. 海洋环境科学,2016,35(1):95-99.  
 [5] 朱小山,杨炼锋. 广东柘林湾海水增养殖区环境质量评价[J]. 海洋通报,2005,24(1):87-91.  
 [6] 吴锐,雷永乾,王畅,等. 粤东柘林湾养殖区海水富营养化评价[J]. 环境科学与技术,2015,38(10):210-215.  
 [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范:GB 17378—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2008.  
 [8] 崔力拓. 河北省海域贝类养殖区生态环境质量评价研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(10):6004-6006,6010.  
 [9] 范玉峰. 海湾扇贝苗种长距离陆运技术[J]. 河北渔业,1997(2):19-20.  
 [10] 韩恭文,王秀娣. 海湾扇贝育苗及养殖技术要点[J]. 海洋与渔业,2017(2):58-59.  
 [11] 胡译匀. 盐度和温度对扇贝生长的影响试验[J]. 现代农业科技,2009(10):189.  
 [12] 何义朝,张福绥. 盐度对海湾扇贝不同发育阶段的影响[J]. 海洋与湖沼,1990,21(3):197-204.  
 [13] 杨凤,高悦勉,苏延明,等. 海湾扇贝幼贝对 pH 和氨态氮的耐受性研究[J]. 大连水产学院学报,1999,14(3):13-18.

### 3 结论与讨论

试验结果显示,杂交组合涉及15个优树,其中防城金花茶8株、凹脉金花茶4株、越南红顶凹脉金花茶3株。杂交组合涉及17个,共套袋授粉64个,授粉后子房膨大数35个,获得杂交果15个,结果为23.4%。表明金花茶各杂交组合的亲合力差异较大,其中杂交组合成功率最高的是防城金花茶与凹脉金花茶,其正反交均获得果实,表明亲本性较高。从药食有效化学成分来看,不同品种金花茶花、叶、果中黄酮类、多糖类、皂苷类、茶多酚、挥发油等生物活性物质含量不同,选择不同种源金花茶优树进行组间、组内杂交,能否提高有效成分含量有待进一步研究。

研究表明金花茶自交,虽能促进子房膨大,但不发育,会形成落果或败育。因此金花茶自然坐果率仅1%。金花茶花蕾主要着生在当年或2年生枝条,其花蕾是逐渐发育开放,为确保杂交成功率,减少杂交套袋的难度,杂交时应选当年新萌生的枝条中顶生适宜花蕾进行,对着生在同枝条中的中、下部花蕾均需摘除,从而影响了杂交数量。从完成的杂交组合来看,其子房膨大率54.7%,坐果率仅23.4%。有9个组合无结果,分析可知,影响坐果率的因子较多,如父母本花粉亲和力、所采集父本雄花活力低,去雄时不小心伤到母本子房柱头,或授粉后受极端气温等多因素影响,造成落果及败育<sup>[13-18]</sup>。随着福建第三轮种业创新和产业化工程的全面实施,福建世纪金花科技有限公司已建立金花茶种质资源库,拥有3000多株多年生防城、凹脉、越南红顶凹脉、毛瓣和显脉金花茶等育种群体,成为福建最大的金花茶生产研发基地,只有每年坚持不断地开展选优杂交,才能逐步提高杂交成功率。

金花茶组为常绿木本植物,生长缓慢,从播种到开花结实需5~6年,其杂交组合能否达到预期变异、产生新种,还需长期观察,等到杂交组合开花结果,才能判断出杂交成效。开展金花茶杂交育种是一项漫长的工作,需不断杂交,才能不断育出新品种。

### 参考文献

- [1] 傅立国. 中国植物红皮书——稀有濒危植物:第1册[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [2] 梁盛业,陆敏珠,黄晓娜. 中国金花茶图谱[M]. 北京:中国林业出版社,2012.
- [3] 黄开勇,黄应钦,李娟. 广西林下主要经济植物栽培[M]. 南宁:广西科学技术出版社,2013.
- [4] 中华人民共和国卫生部公告2010年第9号[J]. 中国食品卫生杂志,2010,22(4):380.
- [5] 洪永辉,曾毓,陈天增,等. 珍稀濒危植物金花茶在福建适应性及开发利用探讨[J]. 林业勘察设计,2016,36(3):18-24.
- [6] 伍思宇,梁晓静,韦晓娟,等. 中国金花茶与越南金花茶叶表型差异性分析[J]. 广西林业科学,2019,48(3):336-341.
- [7] 黄兴贤,邹容,胡兴华,等. 十四种金花茶组植物叶总黄酮含量比较[J]. 广西植物,2011,31(2):281-284.
- [8] 牛广俊. 不同类型金花茶叶品质评价及其相关药效学研究[D]. 福州:福建中医药大学,2016.
- [9] 唐前,罗燕英,黄连冬,等. 金花茶组植物化学成分的定量分析[J]. 时珍国医国药,2009,20(4):769-771.
- [10] 唐健民,史艳财,廖玉琼,等. 金花茶茶花的营养成分分析[J]. 广西植物,2017,37(9):1176-1181.
- [11] 刘云,付聆,张颖君,等. 金花茶组植物的化学成分及保健功效研究进展[J]. 食品工业科技,2019,40(3):321-326,332.
- [12] 李桂娥,蒋昌杰,李志辉,等. 南宁市金花茶公园茶花引种保护与研究进展概况[J]. 现代园艺,2015(8):130-131.
- [13] 黄连冬,莫树业. 金花茶杂交新种初报[J]. 中国园林,1998,14(1):49-51.
- [14] 赵世伟,程金水,陈俊愉. 金花茶和山茶花的种间杂种[J]. 北京林业大学学报,1998,20(2):44-47.
- [15] 汤忠皓,黄连冬. 金花茶杂交育种初报[J]. 北京林业大学学报,1987,9(4):374-379.
- [16] 程金水,陈俊愉,赵世伟,等. 金花茶杂交育种研究[J]. 北京林业大学学报,1994,16(4):55-59.
- [17] 陈俊愉. 金花茶育种十四年[J]. 北京林业大学学报,1987,9(3):315-320.
- [18] 陶源,邓朝佐. 毛瓣金花茶与宛田红花油茶杂交育种成果初报[J]. 北京林业大学学报,1994,16(3):112-114.
- [19] SHINSAKU NADAMITSU, YOSHIKI ANDOH, KATSUHIKO KONDO, 等. 越南山茶×金花茶杂交种的子叶培养[J]. 广西林业科技,1991,20(4):220-221.
- [20] 吴洪明. 福建金花茶组植物种质资源研究与评价[D]. 福州:福建农林大学,2004.
- [21] 洪永辉,陈天增,王如均,等. 金花茶组植物品种选择与评价[J]. 林业勘察设计,2018,38(2):1-7.
- [22] 洪永辉,樊仲书,陈天增,等. 防城金花茶优良个体组培快繁体系研究[J]. 林业勘察设计,2016,36(1):8-10.
- [23] 洪永辉,陈天增,方伟,等. 金花茶优树采穗圃营建技术研究[J]. 林业勘察设计,2018,38(4):5-8.
- [24] 王俊. 渤海近岸浮游植物种类组成及其数量变动的研究[J]. 海洋水产研究,2003,24(4):44-50.
- [25] 李启蒙. 山东省贝类弧菌流行病学调查、药敏试验及毒力基因检测[D]. 泰安:山东农业大学,2017.
- [26] 王斌,王翔,王莉明. 我国主要养殖贝类微生物性病害研究进展[J]. 海洋环境科学,2002,21(3):76-80.
- [27] 陈济丰,郭超,魏亚南,等. 海参养殖池塘异养菌与弧菌数量变化特征分析[J]. 现代农业科技,2018(3):230-231.
- [28] 夏斌,张晓晓,崔毅,等. 夏季莱州湾及附近水域理化环境及营养现状评价[J]. 渔业科学进展,2009,30(3):103-111.
- [29] 张高遥,刘金,程龙全,等. 芡河湖水体水质保护保护区水环境质量评价[J]. 喀什大学学报,2019,40(3):49-53.
- [30] 李斌,衣秋蔚,邓雪. 2017年夏季莱州湾及其邻近海区水质分析与评价[J]. 海岸工程,2018,37(4):44-52.

(上接第79页)

- [14] 李岍. 经济贝类对低氧耐受性的研究[D]. 青岛:中国科学院大学(中国科学院海洋研究所),2019.
- [15] 赵广拓,刘云鹏,张秀文,等. 昌黎县海湾扇贝养殖海域水质调查与评价[J]. 河北渔业,2019(2):35-41.
- [16] 国家海洋局第三研究所. 海水水质标准:GB 3097—1997[S]. 北京:中国标准出版社,1997.
- [17] 李斌,白艳艳,邢红艳,等. 四十里湾营养状况与浮游植物生态特征[J]. 生态学报,2013,33(1):260-266.
- [18] 袁洪梅,杨长奎,杨风,等. 总氮态氮对海湾扇贝幼体存活和生长的影响[J]. 大连海洋大学学报,2017,32(3):268-274.
- [19] 李佳. 水产养殖中亚硝酸盐的来源、危害及防治[J]. 河北渔业,2015(10):81-82.