

DOI: 10.12264/JFSC2024-0280

马氏珠母贝春季与秋季植核育珠效果差异及与环境因子的相关性

廖永山^{1,2,3}, 伍旭辉¹, 陶川贵¹, 王亚冰¹, 邓岳文^{1,2,3}, 王庆恒^{1,2,3}

1. 广东海洋大学水产学院, 广东海洋大学珍珠研究所, 广东 湛江 524088;

2. 广东省珍珠养殖与加工工程技术研究中心, 广东 湛江 524088;

3. 广东省珍珠科技创新中心, 广东 湛江 524088

摘要: 为了探究马氏珠母贝(*Pinctada fucata martensii*)春季与秋季植核育珠模式各自的优势, 同时查明育珠效果与主要环境因子之间的相关关系, 本研究调查了 2020 年 4 月至 2022 年 7 月连续四季育珠生产的产能指标和海区环境因子。实验设春季植核组(S)和秋季植核组(F), 分别在 2020 年 4 月(S20)、2021 年的 4 月(S21)和 2020 年 10 月(F20)、2021 年 10 月(F21)植核, 逐月调查育珠贝存活率, 测定养殖海区水温、溶解氧、盐度等主要环境因子; 育珠 9 个月 after 采收珍珠, 统计留核率、优珠率、珍珠层厚度等产能指标。结果显示, 实验期间养殖海区水温为 17.23~33.23 °C, 具有明显的季节波动, S 组和 F 组水温大于或接近 30 °C 的月份分别为 5 个月和 2 个月; 海区溶解氧含量为 4.44~8.08 mg/L, 存在着明显的季节变化; 除 10 月盐度偏低外, 其余月份盐度稳定在 30‰~35‰间; pH 总体稳定, 在 8.05~8.28 之间波动; 海区透明度为 80~200 cm, 总体呈现为夏秋季节低, 冬春季节高。育珠期结束后, 各组育珠贝总体存活率由高到低依次为 F21、F20、S21、S20, F 组显著高于 S 组($P<0.05$); S 组中, 水温与阶段性存活率呈显著负相关($P<0.05$), 其他环境因子与阶段存活率相关性不显著($P>0.05$), F 组的环境因子与阶段性存活率之间的相关性均不显著($P>0.05$)。各组留核率、商品珠率和优珠率差异不显著($P>0.05$); S 组的珍珠层厚度显著大于 F 组($P<0.05$), 提高约 20%。结果表明, 秋季植核育珠生产模式可显著提高育珠贝的成活率, 增加珍珠产量; 春季植核育珠生产模式珍珠质量更好; 夏季高温是造成春季植核组死亡率较高的主要原因。本研究可为海水珍珠健康养殖提供数据支撑和理论基础。

关键词: 马氏珠母贝; 植核季节; 环境因子; 育珠效果

中图分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2025)03-0312-09

海洋双壳贝类是重要的渔业捕捞和水产养殖对象, 自然分布和养殖区均集中在海洋潮间带和浅水区。近岸海域的环境因子复杂多变, 对双壳类的繁殖、发育、生长和存活有重要影响^[1-4]。马氏珠母贝(*Pinctada fucata martensii*)是我国重要的海水珍珠育珠贝, 所培育的珍珠称为“南珠”。雷州半岛流沙湾为我国南珠核心产区, 培育的南珠产量占全国总产量的 70%以上。早期的研究和生产实践表明, 在雷州半岛及北部湾沿岸海域, 马

氏珠母贝^[5]、大珠母贝(*Pinctada maxima*)^[6]和企鹅珍珠贝(*Pteria penguin*)^[7]春季植核的珍珠产能均优于夏季和秋季。因此, 长期以来流沙湾沿岸的育珠生产模式为春季植核, 养殖至次年 1—2 月收珠。随着环境变化和气候波动的加剧, 养殖贝类“夏季死亡”事件频繁发生^[8-9]。近年来, 流沙湾及周边海域的育珠贝度夏期间死亡率大幅上升, 严重降低了生产效益^[10]。为了应对气候变化威胁、提高珍珠产量, 必须调整和优化传统育珠生产模

收稿日期: 2025-01-03; 修订日期: 2025-02-25.

基金项目: 国家贝类产业技术体系项目(CARS-49); 广东省普通高校重点领域专项(2020ZDZX1045); 广东省现代农业产业技术体系贝藻类产业创新团队项目(KJ146).

作者简介: 廖永山(1991–), 男, 研究实习员, 研究方向为珍珠贝养殖与育珠技术. E-mail: liaoyongshan@gdou.edu.cn

通信作者: 王庆恒, 教授, 研究方向为海产无脊椎动物生物学及增养殖技术. E-mail: wangqh@gdou.edu.cn

式。目前主要形成了两类方案: 一是异地接力育珠, 即常规春季植核的育珠贝在7—9月转移到开放性海域养殖, 10月上旬再转移回到海湾内继续育珠至正常收珠^[11]。该方案可以大幅提高育珠贝度夏存活率, 但生产成本较高。二是进行秋季植核育珠, 即10月上旬开始植核, 次年6—7月采收珍珠, 能够提高育珠贝成活率。

本研究跟踪调查了2020年4月至2022年7月连续四季育珠生产的产能情况以及海区环境因子, 分析育珠产能与环境因子的相关性, 系统评估春季和秋季植核育珠生产模式的优缺点, 以期海水珍珠健康养殖提供数据支撑和理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验设计

实验在徐闻华辉水产养殖有限公司位于广东省徐闻县西连镇大井的育珠生产海域(109°56'16"E、20°25'16"N)开展。设春季植核组(S)和秋季植核组(F), 分别于2020年春季(4月6—7日, S20)和秋季(10月4—5日, F20)、2021年春季(4月5—6日, S21)和秋季(10月2—3日, F21)植核, 每期设5个平行组, 每组植核600只贝, 每只贝植入2粒珠核; 育珠时长为9个月(图1)。各组均由徐闻华辉水产养殖有限公司的相同技术员按照常规生产技术进行植核与育珠管养。

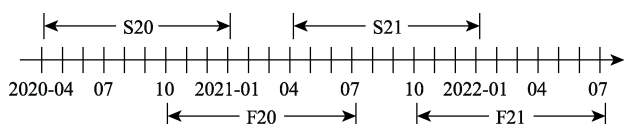


图1 各实验组的植核育珠周期

Fig. 1 Corresponding periods of the experimental groups

1.2 实验方法

1.2.1 环境因子的监测 逐月测定养殖海区环境因子(原则上每月5—6日, 因暴雨、大风等天气条件影响不能按期出海时, 根据实际情况提前或延后, 最多不超3日)。使用手持式多参数水质分析仪(In-Situ Aqua TROLL 400)现场测定海水温度、溶解氧、盐度和pH, 使用透明度盘测量海水透明度, 均重复测量5次取平均值。

1.2.2 生产性状指标的测定与计算 环境因子测

定同日, 统计每个组育珠贝的存活个体数, 计算阶段性存活率。育珠期结束后, 统计总体存活率, 并随机抽样统计每个平行组30只育珠贝的留核率、商品珠率和优珠率。商品珠和优质珠的标准参照陈琨等^[10], 由同一名企业技术员代为确定。随机取30粒商品珠, 利用莫廷 OSG-1000 OTC 珍珠测厚仪测量珍珠层厚度, 每粒珍珠随机取5个测定位点取平均值。具体计算公式如下:

阶段存活率(stage survival rate, SSR)=(每月存活个数/上月存活个数)×100%

总体存活率(overall survival rate, OSR)=(育珠期结束后存活个数/植核贝个数)×100%

留核率(retention rate, RR)=采收到的珠核数/(2×存活贝数)×100%

商品珠率(commodity pearl rate, CPR)=(商品珠数/采收到的珠核数)×100%

优珠率(high quality pearl rate, HPR)=(优质珍珠数/商品珠数)×100%

1.3 统计与分析

实验数据均以平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示, 采用SPSS 19.0对测量数据进行单因素方差分析, Duncan's S多重比较, 显著性水平设为0.05。采用Pearson相关分析法分析每个月的环境因子与育珠贝阶段存活率之间的相关性, 分析过程在R语言(V4.3.2)中完成, 使用Hmisc包中的cor()函数计算相关系数, 并通过cor.mtest()函数检验相关性矩阵的显著性, 显著性水平设为0.05, 极显著性水平设为0.01。相关性矩阵使用corrplot包中的mixed方法进行可视化。

2 结果与分析

2.1 养殖海区环境因子

2.1.1 养殖海区水温 实验期间, 海区水温变化幅度较大, 具有明显的季节波动, 其中2020年7月水温最高, 平均值为33.23℃, 2022年2月水温最低, 平均值为17.23℃(图2)。S20、F20、S21和F21组育珠期水温变化范围分别为18.62~33.23℃、18.62~32.19℃、21.18~32.19℃和17.23~32.23℃, 育珠期平均水温分别为(26.72±5.27)℃、(25.84±5.24)℃、(28.02±4.47)℃和(24.48±4.67)℃,

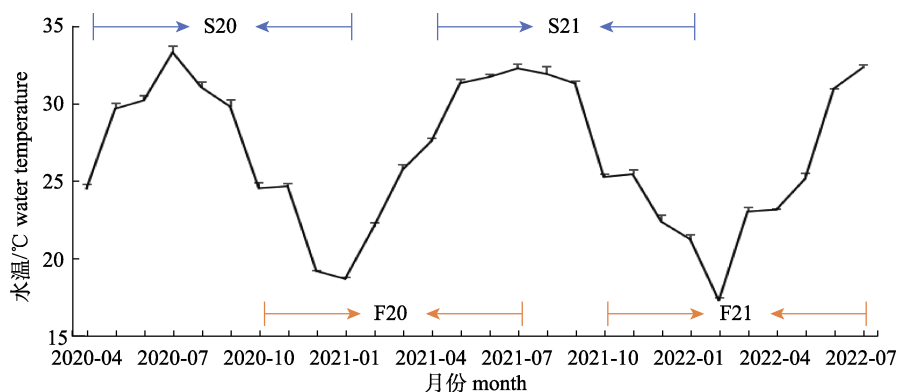


图 2 实验期间养殖海区水温

Fig. 2 Water temperature in the cultivation area during the experiment

S 组总体大于 F 组, 组间差异不显著($P>0.05$)。但 S 组平均水温大于或接近 30°C 的月份明显多于 F 组, 分别为 5 个月和 2 个月。

2.1.2 养殖海区溶解氧含量 实验期间海区溶解氧含量变化范围为 $4.44\sim 8.08\text{ mg/L}$, 秋冬季节溶解氧含量大于春夏季节; 其中 2020 年 5—8 月、2021 年 4—8 月及 2022 年 6—7 月, 海区溶解氧含量平均值均低于 5 mg/L (图 3)。S20、F20、S21 和 F21 组育珠期溶解氧含量变化范围分别为 $4.54\sim 7.53\text{ mg/L}$ 、 $4.44\sim 7.53\text{ mg/L}$ 、 $4.44\sim 7.14\text{ mg/L}$ 和 $4.75\sim 8.08\text{ mg/L}$, 育珠期平均溶解氧含量分别为 $(5.68\pm 1.10)\text{ mg/L}$ 、 $(5.63\pm 1.07)\text{ mg/L}$ 、 $(5.40\pm 0.92)\text{ mg/L}$ 和 $(5.91\pm 1.10)\text{ mg/L}$ 。F 组平均溶解氧含量高于 S 组, 组间差异不显著($P>0.05$)。

2.1.3 养殖海区盐度 实验期间, 养殖海区盐度总体稳定, 保持在 $30.20\text{‰}\sim 34.33\text{‰}$ 之间(图 4)。仅有 2020 年 10 月和 2021 年 10 月, 分别受台风“卡浪”和“狮子山、圆规”影响, 降雨导致盐度平均值

降低为 26.47‰ 和 27.50‰ 。S20、F20、S21 和 F21 组育珠期平均盐度分别为 $(31.41\pm 2.15)\text{‰}$ 、 $(33.11\pm 0.65)\text{‰}$ 、 $(32.34\pm 1.98)\text{‰}$ 和 $(32.30\pm 0.89)\text{‰}$, 组间差异不显著($P<0.05$)。

2.1.4 养殖海区酸碱度 实验期间, 海区 pH 总体稳定, 在 $8.05\sim 8.28$ 之间波动 (图 5), 每年 12 月至次年 1 月的 pH 高于其他月份。S20、F20、S21 和 F21 组育珠期平均 pH 分别为 8.18 ± 0.07 、 8.15 ± 0.08 、 8.14 ± 0.09 、 8.16 ± 0.08 , 组间差异不显著($P<0.05$)。

2.1.5 养殖海区水体透明度 实验期间, 海区透明度的变化范围为 $80\sim 200\text{ cm}$ (图 6), 分别于 2020 年 9 月和 2022 年 4 月测得透明度最低值和最高值, 总体呈现为夏秋季节低, 冬春季节高。S20、F20、S21 和 F21 组育珠期平均透明度分别为 $(116.7\pm 30.1)\text{ cm}$ 、 $(139.4\pm 27.3)\text{ cm}$ 、 $(111.0\pm 17.5)\text{ cm}$ 、 $(146.6\pm 40.7)\text{ cm}$, F 组育珠期海区透明度总体高于 S 组, 差异不显著($P>0.05$)。

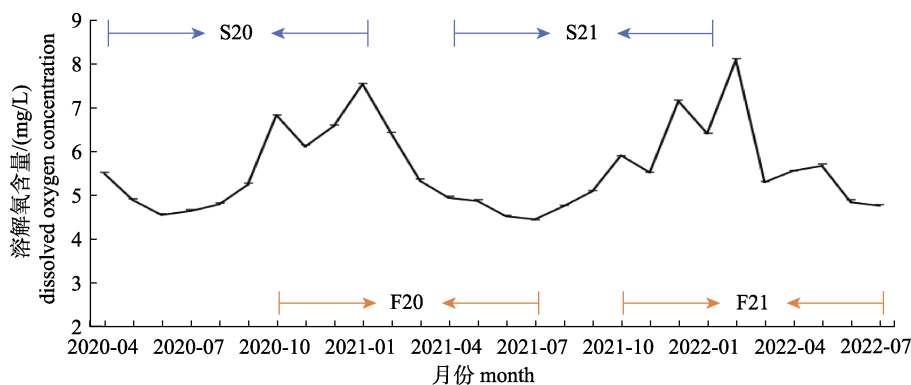


图 3 实验期间养殖海区溶解氧含量

Fig. 3 Dissolved oxygen concentration in the cultivation area during the experiment

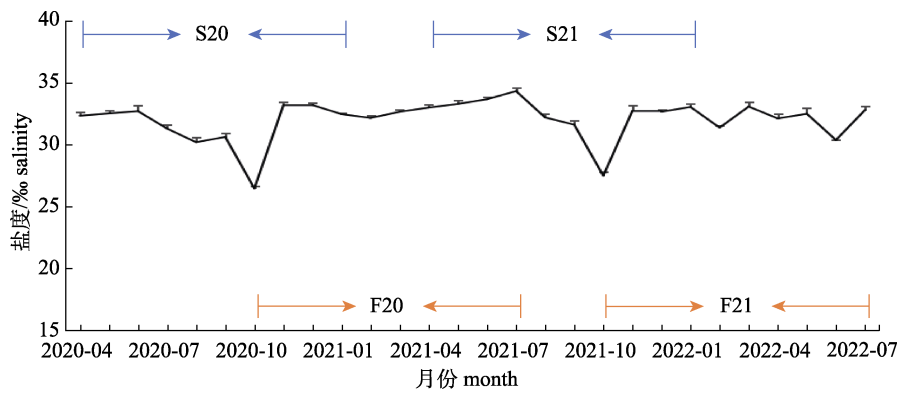


图 4 实验期间养殖海区盐度
Fig. 4 Salinity in the cultivation area during the experiment

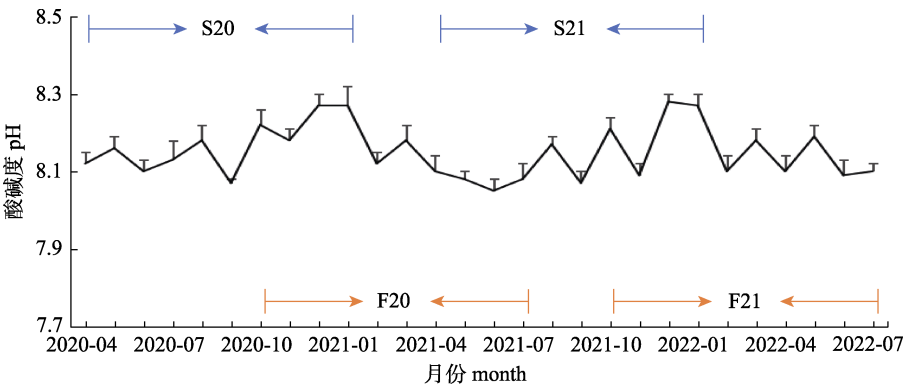


图 5 实验期间养殖海区酸碱度
Fig. 5 pH in the cultivation area during the experiment

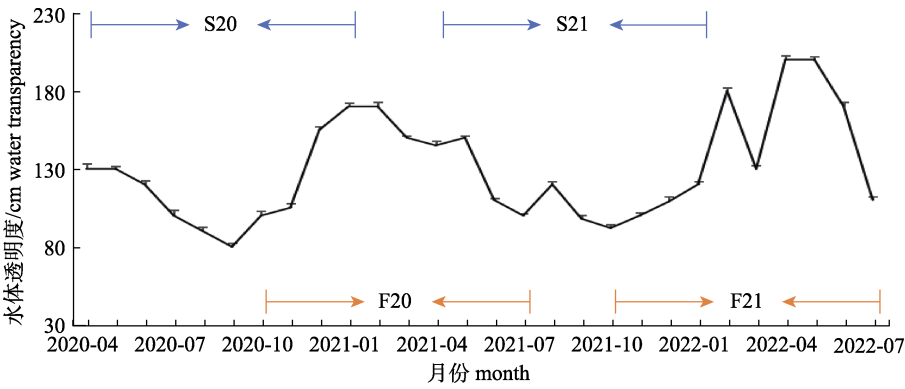


图 6 实验期间养殖海区水体透明度
Fig. 6 Water transparency in the cultivation area during the experiment

2.2 植核育珠效果

4 个组育珠贝育珠期的阶段存活率如表 1 所示。在植核后第 1 个月(生产上特称为休养期), 各组育珠贝存活率在 81.11%~85.56%之间, 差异不显著($P>0.05$)。在后续育珠期内, S20 组和 S21 组均在 7—9 月出现了死亡高峰, 其中 9 月的阶段性

存活率不足 80%, 显著低于其余月份($P<0.05$); F20 组和 F21 组除 2 月和 7 月以外, 其余各月的阶段性存活率均明显高于 90%。

如图 7 所示, 育珠期结束时各组育珠贝的总体存活率由高到低依次为 F21、F20、S21、S20, F 组总体存活率显著高于 S 组($P<0.05$)。

表 1 育珠期间每个月的阶段存活率

Tab. 1 Stage survival rates of pearl oyster *Pinctada fucata martensii* in different months

育珠时长/月 pearl cultivation duration	S20		F20		S21		F21	
	月份 month	阶段存活率 SSR/%	月份 month	阶段存活率 SSR/%	月份 month	阶段存活率 SSR/%	月份 month	阶段存活率 SSR/%
1	2020-05	85.56±5.69 ^c	2020-11	83.89±3.62 ^c	2021-05	81.11±4.12 ^{cd}	2021-11	81.67±5.76 ^d
2	2020-06	96.14±1.24 ^a	2020-12	96.04±1.40 ^a	2021-06	96.52±2.44 ^{ab}	2021-12	96.63±2.29 ^{ab}
3	2020-07	85.18±1.00 ^c	2021-01	97.95±1.87 ^a	2021-07	84.38±1.86 ^c	2022-01	98.54±2.00 ^a
4	2020-08	80.95±1.59 ^{cd}	2021-02	90.06±3.28 ^{cd}	2021-08	81.41±2.88 ^{cd}	2022-02	89.79±3.80 ^c
5	2020-09	76.43±2.40 ^d	2021-03	92.16±0.57 ^{bc}	2021-09	78.04±5.65 ^d	2022-03	92.81±1.95 ^{bc}
6	2020-10	90.96±3.75 ^b	2021-04	94.10±2.14 ^{ab}	2021-10	91.86±3.60 ^b	2022-04	94.93±1.38 ^{ab}
7	2020-11	95.67±4.01 ^{ab}	2021-05	97.34±2.43 ^a	2021-11	95.34±4.42 ^{ab}	2022-05	98.33±2.29 ^a
8	2020-12	96.85±4.40 ^a	2021-06	96.35±2.06 ^a	2021-12	98.75±2.80 ^a	2022-06	98.18±2.49 ^a
9	2021-01	95.14±4.58 ^{ab}	2021-07	87.44±5.38 ^{de}	2022-01	98.57±3.19 ^a	2022-07	88.69±4.11 ^c

注：同列数据间上标含相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。
Note: The same lowercase letters marked at the upper right corner in the same column denote no significant difference ($P>0.05$) and viceversa.

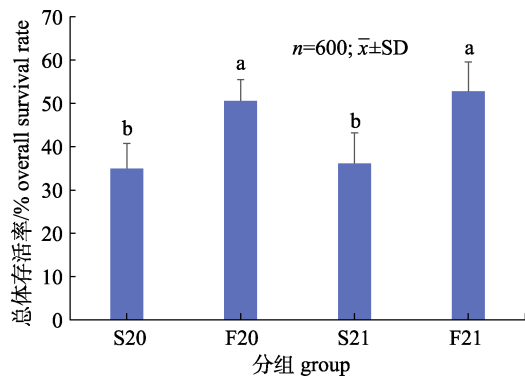


图 7 马氏珠母贝不同季节植核育珠总体存活率

不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Fig. 7 Overall survival rate of pearl oyster *Pinctada fucata martensii* in different grafting seasons
Different letters indicates significant difference between groups ($P<0.05$).

4 个组的留核率、商品珠率、优珠率和珍珠层厚度如表 2 所示, 各组的留核率、商品珠率和

优珠率无显著性差异($P>0.05$)。珍珠层厚度存在显著性差异($P<0.05$), 珍珠层厚度由大到小依次为 $S21>S20>F21>F20$, S 组的珍珠层厚度显著大于 F 组($P<0.05$)。

2.3 环境因子与阶段性存活率的相关性

4 个组育珠期间的环境因子与育珠贝阶段性存活率之间的相关性存在差异(图 8)。全部指标间, 仅有水温和溶解氧在 4 个组均呈极显著负相关($P<0.01$), 相关系数分别为-0.93、-0.96、-0.94 和-0.85。此外, 在 S20 组和 S21 组, 水温均与阶段性存活率呈显著负相关($P<0.05$), 相关系数分别为-0.67 和-0.77; 盐度、溶解氧和 pH 与阶段存活率无显著相关性($P>0.05$); 水温与 pH 均呈极显著负相关($P<0.01$), 溶解氧含量与 pH 均呈极显著正相关($P<0.01$)。在 S20 组, 水体透明度与阶段性存活率呈显著正相关($P<0.05$), 相关系数为 0.69。

表 2 马氏珠母贝不同季节植核育珠效果

Tab. 2 Pearl production result of pearl oyster *Pinctada fucata martensii* in different grafting season

指标 indicator	S20	F20	S21	F21
留核率/% retention rate	59.00±7.68 ^a	57.40±3.51 ^a	56.20±3.98 ^a	58.10±5.63 ^a
商品珠率/% commodity pearl rate	87.61±4.68 ^a	89.10±6.17 ^a	88.29±5.53 ^a	88.39±3.55 ^a
优珠率/% high quality pearl rate	29.57±3.31 ^a	26.41±3.57 ^a	31.30±4.15 ^a	27.86±2.76 ^a
珍珠层厚度/ μm pearl layer thickness	409.20±17.79 ^a	330.74±13.67 ^c	420.92±9.90 ^a	349.28±11.31 ^b

注：同行数据间上标含相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。
Note: The same lowercase letters marked at the upper right corner in the same row denote no significant difference ($P>0.05$).

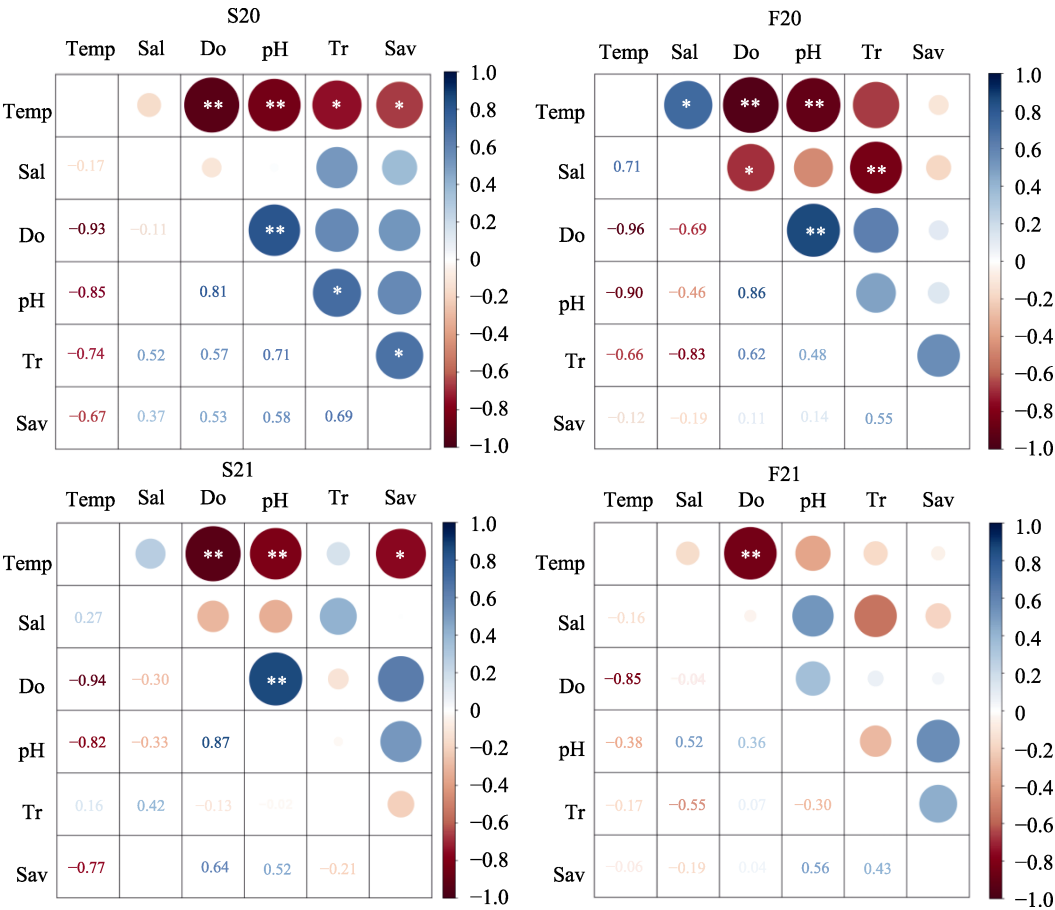


图 8 环境因子与阶段性存活率之间的相关性

Temp: 水温; Sal: 盐度; Do: 溶解氧含量; pH: 酸碱度; Tr: 水体透明度; Sav: 阶段存活率.

*表示显著相关($P<0.05$), **表示极显著相关($P<0.01$).

Fig. 8 Relationships between environmental factors and survival rate of pearl oyster *Pinctada fucata martensii*

Temp: water temperature; Sal: salinity; Do: dissolved oxygen concentration; pH: pH value; Tr: water transparency; Sav: stage survival rate; * indicates a significant correlation ($P<0.05$); ** indicates a highly significant correlation ($P<0.01$).

在 F20 和 F21 组, 所有环境指标与阶段性存活率之间的相关性均不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 两季植核育珠的产能比较

近年来, 流沙湾及周边海域暑期台风、暴雨和高温灾害频发, 传统珍珠贝养殖海区大规模的海水鱼网箱养殖、扇贝和牡蛎养殖进一步加重了环境生态压力, 对珍珠贝的存活和生长造成严重影响^[4,10]。梁飞龙等^[12]于 2017—2018 年的研究显示, 10 月植核的育珠贝存活率显著高于 4 月。与流沙湾海域早期的研究结果不符^[5-7]。本研究跟踪调查了 2020—2022 年连续 4 季育珠生产情况, 结果显示秋季植核组的育珠期总体存活率显著高于

春季植核组(提高 45%以上)($P<0.05$), 与梁飞龙等的研究结果一致^[12], 表明现阶段开展秋季植核育珠可大幅提升珍珠产量。另一方面, 本研究中, 春季植核育珠获得的珍珠品质更好, 与符韶等^[5]和林伟财等^[6]的研究结果相似。

因此, 根据比较结果, 本研究建议将海水珍珠养殖生产从过去单一的春季植核调整为春、秋两季植核, 可降低单季生产的风险和海区环境生态压力, 提高资金的流转率, 提高经济效益。

3.2 温度和溶解氧对珍珠产能的影响

水温是影响双壳贝类存活、生长、繁殖、代谢、自然分布等生命活动的最重要的环境因子之一。在适温范围内, 温度上升有助于珍珠贝(蚌)具有更旺盛的生命活动。本研究中, 春季植核后,

养殖海区水温逐渐升高,有利于休养期育珠贝恢复和珍珠囊形成,从而提高优珠率和珍珠层厚度。秋季植核后,水温逐渐下降,育珠贝代谢率降低,珍珠质分泌速度减缓,导致在相同育珠期内珍珠层较薄。Latchere 等^[13]报道了在 30℃下,珠母贝(*Pinctada margaritifera*)贝壳的沉积速率显著高于 22℃。Jin 等^[14]发现水温升高可以促进三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)贝壳基质蛋白的分泌,从而加速珍珠层的沉积,加快珍珠的形成和增加珍珠层厚度。

然而,水温过高会对珍珠贝的生存及养殖业形成严重威胁。本研究中,养殖海区夏季水温长时间达到或超过 30℃,其中 7 月的水温明显高于马氏珠母贝的适温范围 15~30℃^[15],以及 S20 和 S21 组均显示水温是唯一与阶段性存活率之间存在显著负相关的环境因子,说明暑期高温是流沙湾育珠生产中最严重的胁迫条件。谭杰等^[16]报道印尼大珠母贝稚贝在 33~36℃下养殖 16 天的存活率分别为 88.91%、73.40%、14.31%和 0,35℃下出现断崖式下跌。Hilsenroth 等^[17]利用生物经济学模型预测,由于海洋升温造成珍珠产量和质量均有所下降,至 2035 年波利尼西亚的黑珍珠产业的期望净现值(net present value)将下降 29.1%。

充足的溶解氧是水生动物正常进行新陈代谢的基本保障,《渔业水质标准》规定溶解氧应大于等于 5 mg/L,不得低于 3 mg/L^[18]。本研究中,2020 年 5—8 月、2021 年 4—8 月及 2022 年 6—7 月的溶解氧均低于 5 mg/L,尽管尚不至于使珍珠贝窒息致死,但显然会影响珍珠贝的正常摄食和生长,降低了育珠贝对高温胁迫的耐受能力。Chen 等^[19-20]研究表明,马氏珠母贝可以通过增加抗氧化活性、调节免疫和生物矿化活性、维持蛋白质稳态等机制耐受短期低氧胁迫,但是长期低氧胁迫会造成马氏珠母贝参与消化、能量代谢、免疫反应和氧化应激调节的多种酶的活性降低,导致死亡率上升。另一方面,珍珠贝没有体温调节能力,机体的耗氧率会随水温上升而上升^[21-22]。高温与低氧发生时间重叠,可能大幅提升双壳贝类高温季节的死亡率^[23-24]。

3.3 其他环境因子对珍珠产能的影响

马氏珠母贝的适宜海水密度为 1.015~1.028^[15],换算为盐度,大致为 20‰~35‰,本研究中测得的水体盐度始终保持在此范围内。同时,水体 pH 也稳定在 8.05~8.28 之间,符合海水水质一类标准。因此,本次实验期间,未对马氏珠母贝形成明显的盐度胁迫和酸碱胁迫。水体透明度反映了海水中所含的微粒和悬浮物的大小和数量,一定程度上间接反映了海水中所含饵料生物的多寡^[25]。本研究中, F 组透明度平均值大于 S 组,表明 S 组育珠期间水体中单胞藻等生物饵料更丰富,有利于育珠贝获得更多的营养和能量,促进珍珠质的分泌,可能是 S 组珍珠的珍珠层厚度显著大于 F 组的重要原因。

显然,植核季节和育珠周期造成的育珠贝存活率和育珠效果差异,是各种生态环境因子的综合效应。本研究中, S 组只有水温与育珠贝阶段性存活率呈显著负相关($P<0.05$), F 组所有环境指标与育珠贝阶段性存活率之间的相关性均不显著($P>0.05$),说明除了夏季高温对育珠贝的生存造成严重威胁外,其他环境因子均为微效性。Ky 等^[26]报道了法国波利尼西亚养殖的珠母贝在春季植核的死亡率比秋季植核高 6 倍,留核率分别为 79.4%和 91.1%,并分析认为,春夏季节的高温、低氧、低比重以及有毒有害藻类和细菌的大量繁殖共同造成了春季植核的高死亡率和低留核率。

除了理化因子以外,其他海洋生物也会对珍珠贝的存活和生长造成重要影响。Linard 等^[27]报道了利用不同丰度的生物饵料养殖珠母贝 2 个月,贝壳的珍珠层沉积率具有显著差异。Kripa 等^[28]发现印度 Kollam 湾养殖的马氏珠母贝的死亡率与污损生物的附着生长关系密切,大量海鞘附着是珍珠贝在 12 月出现死亡高峰的主要原因。由于本研究未跟踪调查实验期间的浮游生物、污损生物以及病原体等海区生物因子,生物群落内的物种间相互作用对育珠产能的影响还有待深入研究。

参考文献:

- [1] Kennedy V S, Newell R I E, Eble A F. The Eastern Oyster: *Crassostrea virginica*[M]. College Park: University of Maryland

- Sea Grant Publications, 1996: 467-513.
- [2] Vaughn C C, Hoellin T J. Bivalve impacts in freshwater and marine ecosystems[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2018, 49(1): 183-208.
- [3] Li L, Zhang G F. The stress adaptation of the marine fishery organisms under the view of genome and its key scientific problems[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(12): 1347-1354. [李莉, 张国范. 基因组视域下海洋渔业生物对胁迫环境的适应策略研究[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(12): 1347-1354.]
- [4] Wang C. Relationship between environmental factors and the production performance of low temperature resistant line of pearl oyster *Pinctada fucata martensii*[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2024. [王成. 海区环境因子与马氏珠母贝耐低温选系生产性能间的关系[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2024.]
- [5] Fu S, Huang B S, Deng Y W, et al. The analysis on factors affecting pearl production of pearl oyster *Pinctada martensii* [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2013, 33(1): 28-32. [符韶, 黄邦双, 邓岳文, 等. 马氏珠母贝育珠效果影响因素分析[J]. 广东海洋大学学报, 2013, 33(1): 28-32.]
- [6] Lin W C, Xie S H, Du X D, et al. Factors affecting pearl production performance of *Pinctada maxima*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(32): 29-33. [林伟财, 谢绍河, 杜晓东, 等. 影响大珠母贝育珠效果的主要因素分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(32): 29-33.]
- [7] Mao Y, Liang F L, Yu X Y, et al. Studies on effects of nucleus implantations in *Pteria penguin* in different seasons[J]. Marine Science Bulletin, 2003, 22(6): 88-91. [毛勇, 梁飞龙, 余祥勇, 等. 不同季节的企鹅珍珠贝游离珠植核效果比较[J]. 海洋通报, 2003, 22(6): 88-91.]
- [8] Li Q, Zhao X, Kong L, et al. Transcriptomic response to stress in marine bivalves[J]. Invertebrate Survival Journal, 2013, 10(1): 84-93.
- [9] Soon T K, Zheng H P. Climate change and bivalve mass mortality in temperate regions[J]. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 2020, 251: 109-129.
- [10] Chen K, Zhang L H, Yao Z H, et al. Comparison of production traits between the black shell color breeding line F5 and the control population of *Pinctada fucata martensii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2023, 30(11): 1293-1300. [陈琨, 张林浩, 姚子航, 等. 马氏珠母贝黑壳色选育系 F5 和对照群体生产性状的比较[J]. 中国水产科学, 2023, 30(11): 1293-1300.]
- [11] Wang Q H, Liao Y S, Liang F L, et al. A method for cultivating and ucleating seawater pearl oysters: CN114747519A [P]. 2022-07-15. [王庆恒, 廖永山, 梁飞龙, 等. 一种海水珍珠贝养殖育珠方法: CN114747519A[P]. 2022-07-15.]
- [12] Liang F L, Deng Y W. Influences of antibiotics and season on nucleus retention, pearl formation and pearl oyster survival in *Pinctada martensii* aquaculture[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2022, 44(4): 50-56. [梁飞龙, 邓岳文. 几种抗生素和手术季节对马氏珠母贝育珠贝成活率、留核率和商品珠率的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2022, 44(4): 50-56.]
- [13] Latchere O, Mehn V, Gaertner-Mazouni N, et al. Influence of water temperature and food on the last stages of cultured pearl mineralization from the black-lip pearl oyster *Pinctada margaritifera*[J]. PLoS One, 2018, 13(3): e0193863.
- [14] Jin C, Zhang X, Liu X J, et al. Effect of temperature on pearl deposition rate and matrix protein gene expressions in *Hyriopsis cumingii*[J]. Aquaculture and Fisheries, 2023, 8(1): 76-84.
- [15] Deng C M, Tong Y H. South China Sea Pearl Farming and Processing Technology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005. [邓陈茂, 童银洪. 南珠养殖和加工技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.]
- [16] Tan J, Bai C, Li Y, et al. Tolerance of Indonesia *Pinctada maxima* juveniles on temperature and salinity[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2017, 37(3): 110-116. [谭杰, 白成, 李燕, 等. 印尼大珠母贝稚贝对温度、盐度的耐受性[J]. 广东海洋大学学报, 2017, 37(3): 110-116.]
- [17] Hilsenroth J, Grogan K A, Frazer T K. Assessing the effects of increasing surface seawater temperature on black pearl production in French Polynesia: A bioeconomic simulation [J]. Ecological Economics, 2021, 181: 106914.
- [18] Dong S L, Tian X L, Gao Q F. Aquaculture Ecology (2nd edition)[M]. Beijing: Science Press, 2021. [董双林, 田相利, 高勤峰. 水产养殖生态学(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2021.]
- [19] Chen J Y, Huang J, Peng J Q, et al. Effects of hypoxic stress on the digestion, energy metabolism, oxidative stress regulation, and immune function of the pearl oyster (*Pinctada fucata martensii*)[J]. Aquaculture Reports, 2022, 25: 101246.
- [20] Chen J Y, Qiu J Y, Yang C Y, et al. Integrated transcriptomic and metabolomic analysis sheds new light on adaptation of *Pinctada fucata martensii* to short-term hypoxic stress[J]. Marine Pollution Bulletin, 2023, 187: 114534.
- [21] Yukihiro H, Lucas J S, Klumpp D W. Comparative effects of temperature on suspension feeding and energy budgets of the pearl oysters *Pinctada margaritifera* and *P. maxima*[J]. Marine Ecology Progress Series, 2000, 195: 179-188.
- [22] Saucedo P E, Ocampo L, Monteforte M, et al. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856)[J]. Aquaculture, 2004, 229(1-4): 377-387.
- [23] Ilari M I, Antunes C, Guilhermino L, et al. Massive mortality of the Asian clam *Corbicula fluminea* in a highly invaded area[J]. Biological Invasions, 2011, 13(2): 277-280.
- [24] Cheney D P, MacDonald B F, Elston R A. Summer mortality of Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg): Initial findings on multiple environmental stressors in Puget Sound,

- Washington, 1998[J]. Journal of Shellfish Research, 2000, 19(1): 353-359.
- [25] Shen Y C, Qi M, Zhu C H, et al. Preliminary investigations on variations of suspended matter in the Liusa Bay[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(24): 397-402. [申玉春, 齐明, 朱春华, 等. 流沙湾悬浮物数量动态变化规律的初步研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(24): 397-402.]
- [26] Ky C L, Molinari N, Moe E, et al. Impact of season and grafter skill on nucleus retention and pearl oyster mortality rate in *Pinctada margaritifera* aquaculture[J]. Aquaculture International, 2014, 22(5): 1689-1701.
- [27] Linard C, Gueguen Y, Moriceau J, et al. Calcein staining of calcified structures in pearl oyster *Pinctada margaritifera* and the effect of food resource level on shell growth[J]. Aquaculture, 2011, 313(1-4): 149-155.
- [28] Kripa V, Mohamed K S, Velayudhan T S. Seasonal fouling stress on the farmed pearl oyster, *Pinctada fucata*, from southeastern Arabian Sea[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2012, 43(4): 514-525.

Differences in oyster pearl, *Pinctada fucata martensii*, cultivation efficiency in spring and autumn nucleations and their conelation with environmental factors

LIAO Yongshan^{1,2,3}, WU Xuhui¹, TAO Chuangui¹, WANG Yabing¹, DENG Yuewen^{1,2,3}, WANG Qingheng^{1,2,3}

1. Pearl Research Institute/Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. Guangdong Technology Research Center for Pearl Aquaculture and Process, Zhanjiang 524088, China;

3. Guangdong Science and Innovation Center for Pearl Culture, Zhanjiang 524088, China

Abstract: To evaluate the advantages of nucleus implantation in spring and autumn and their relationship with key environmental factors, production indicators and marine environmental factors across four production cycles from April 2020 to July 2022 were analyzed. Spring (S) and autumn (F) nucleus implantation groups were established, with implantation conducted in April 2020 (S20), April 2021 (S21), October 2020 (F20), and October 2021 (F21). The monthly survival rates of the cultured pearl oysters were monitored, and key environmental factors such as water temperature, dissolved oxygen, and salinity were measured. Pearls were harvested after 9 m of cultivation, and production indicators, including the retention rate, high-quality pearl rate, and pearl layer thickness, were recorded. Water temperature fluctuated seasonally from 17.23–33.23 °C. The S groups (S20 and S21) and F groups (F20 and F21) experienced temperatures above or near 30 °C for five and two months, respectively. Dissolved oxygen levels varied from 4.44–8.08 mg/L with seasonal changes. Except for October, when salinity was relatively low, salinity remained stable between 30‰–35‰ in other months. The pH was stable and fluctuated between 8.05 and 8.28. The water transparency was 80–200 cm and was generally lower in summer and autumn and higher in winter and spring. At the end of the cultivation period, the survival rates were the highest in F21, followed by F20, S21, and S20, with the group F being better than the group S ($P<0.05$). In the group S, water temperature showed a strong negative correlation with stage-specific survival rates ($P<0.05$), whereas no correlations were found between survival rates and other environmental factors ($P>0.05$). In group F, no correlation was observed between the environmental factors and survival rates ($P>0.05$). The retention, commercial pearl, and high-quality pearl rates among the groups were similar ($P>0.05$), but the pearl layer thickness in the group S was greater than that in the group F ($P<0.05$), with an increase of approximately 20%. Nucleus implantation in autumn substantially improved the survival rate of the transplanted pearl oysters and increased pearl production, whereas the pearls produced by nucleus implantation in spring were of a better quality. In group S, the elevated mortality rate during summer was primarily attributed to high temperatures. This study provides valuable data and theoretical insights for healthy cultivation of seawater pearls.

Key words: *Pinctada fucata martensii*; grafting season; environmental factors; pearl cultivation efficiency

Corresponding author: WANG Qingheng. E-mail: wangqh@gdou.edu.cn