

紫贻贝养殖产业的现状、问题与对策

刘明坤, 阙华勇, 张国范, 李 莉

(中国科学院 海洋研究所 海洋生态养殖技术国家地方联合工程实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 为全面系统地了解中国紫贻贝(*Mytilus galloprovincialis*)养殖产业情况, 作者从养殖产量、养殖面积、进出口贸易、养殖生产等方面概述了紫贻贝产业现状, 对中国紫贻贝养殖业的种质资源、苗种生产方式、养殖生产流程、养殖方式等进行了综述, 并针对紫贻贝养殖中存在的问题, 从种质资源、养殖模式、设施设备、食品安全控制、精深加工等方面提出了发展对策, 以期后续紫贻贝相关研究提供参考和借鉴。

关键词: 紫贻贝(*Mytilus galloprovincialis*); 养殖概况; 产业现状; 贸易状况; 对策建议

中图分类号: S968.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2022)03-0135-10

DOI: 10.11759/hyxx20210807003

紫贻贝(*Mytilus galloprovincialis*), 隶属于双壳纲(Bivalvia)、贻贝目(Mytiloida)、贻贝科(Mytilidae)、贻贝属(*Mytilus*), 常见于潮间带至 20 m 水深的浅海, 广泛分布于南北半球的寒温带海域^[1-2]。由于壳形相近, 形态学分类法很难准确地将紫贻贝与其近缘种进行有效区分, 因此, 早期的研究者将紫贻贝与贻贝(*M. edulis*)、盖勒贻贝(*M. trossulus*)统称为 *Mytilus* spp.^[1, 3]。随着分子分类学技术的发展, 紫贻贝的分类地位逐渐明晰, 其全球分布的 3 个区系也得以厘清: 包括非洲南部在内的东北大西洋区系、北太平洋东西海岸在内的地中海区系、南半球的澳大利亚区系^[4]。紫贻贝野生资源丰富、生长周期短、产量高, 已成为地中海、西北太平洋、东北大西洋等沿岸国家的重要养殖经济贝类。

紫贻贝非中国的土著种, 最初随压舱水由地中海引入^[5], 20 世纪 50 年代仅见于大连沿海, 随后在烟台、威海、青岛等地也有发现^[6-7]。20 世纪 70 年代, 随着自然采苗和人工育苗技术的突破, 山东、福建、浙江、江苏、广东等沿海省份先后从大连移苗试养^[8], 分布区逐步向南扩展至江苏连云港, 浙江的嵊泗、普陀、象山、平阳, 福建的福鼎、霞浦、连江、平潭、厦门等沿海港湾。有少量的紫贻贝群体突破北回归线, 南下至广东的汕头、惠阳等热带海域^[9]。由于环境适应不足与运输成本的限制, 南方养殖规模未得到有效扩增, 呈现逐年萎缩的态势, 近年来已不存在成规模的紫贻贝养殖产业, 主要养殖种类被本土的厚壳贻贝(*M. coruscus*)与翡翠贻贝(*Perna viridis*)取代。但在离海岸岛有零星的紫贻贝群体分布, 可能是早期移苗养

殖的后代繁殖形成自然种群, 且量非常少, 呈逐年衰减趋势, 这也得到了群体遗传学研究的支持^[10-11]。当前, 紫贻贝的主养区集中在江苏北部、山东南部、辽宁东北部等海域。2020 年, 中国贻贝养殖总产量 8.87×10⁵ t^[12], 江苏、山东、辽宁 3 省的产量约占 52%, 在部分地区已发展成为支柱产业。

紫贻贝繁殖能力强、生长速度快, 巨大的生物量常使其成为其他行业的污损生物。也正是由于海区丰富的苗源, 使紫贻贝养殖业具有成本低、效益高的特点, 呈现出良好的发展态势。然而, 产业的快速发展也暴露出养殖无序化、苗源不稳定、生长性能差异大等问题。2017 年—2020 年间, 作者对中国沿海紫贻贝分布、养殖状况进行系统调研, 综合产业实际形成本文, 就中国紫贻贝养殖业的发展现状、存在的问题及对策做简要概述, 以期后期研究提供参考和借鉴。

1 紫贻贝养殖业概况

1.1 世界紫贻贝养殖概况

贻贝在世界贝类养殖中具有重要地位, 2019 年全球贻贝养殖产量 20.69×10⁵ t, 占贝类养殖总产量的 12%, 其中紫贻贝产量约占贻贝总产量的 58%^[12-13]。

收稿日期: 2021-08-07; 修回日期: 2021-09-23

基金项目: 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-49)

[Foundation: China Agriculture Research System of MOF and MARA, No. CARS-49]

作者简介: 刘明坤(1988—), 男, 山东潍坊人, 工程师, 主要从事贝类苗种繁育与遗传改良研究, E-mail: mkliu@qdio.ac.cn; 阙华勇(1970—), 通信作者, E-mail: hque@jmu.edu.cn

除中国外,世界其他国家紫贻贝养殖年产量自2010年以来总体呈上升趋势,在 3.21×10^5 t上下浮动,2019年产量为 3.34×10^5 t^[13](图1)。中国紫贻贝养殖产量远高于其他国家,2019年养殖产量约 4.6×10^5 t^[12],是其他各国总产量的1.4倍(图2)。

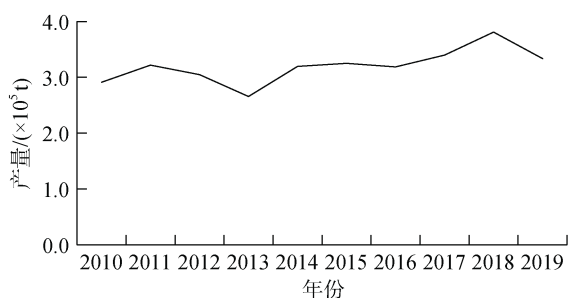


图1 世界其他国家紫贻贝产量年际变化

Fig. 1 Interannual yield variation of *M. galloprovincialis* in countries except China

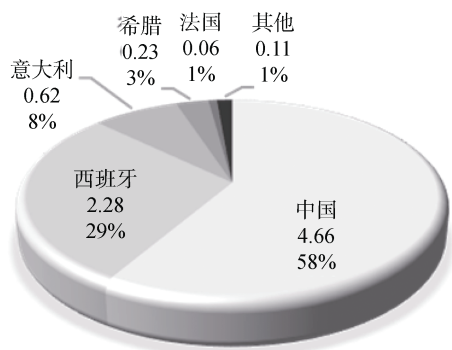


图2 2019年世界五大紫贻贝生产国产量($\times 10^5$ t)及所占比例

Fig. 2 Yield and portion of *M. galloprovincialis* from the world's top five producers in 2019

图2显示了2019年世界紫贻贝养殖产量前5的国家。养殖紫贻贝的国家中,中国的产量最大,占世界总产量的58%,其次为西班牙、意大利、希腊、法国等欧洲国家,这5个国家的产量几乎覆盖了全球紫贻贝产量,其余国家产量不足2%。

1.2 中国紫贻贝养殖概况

中国养殖贻贝主要包括紫贻贝、厚壳贻贝和翡翠贻贝3个种类。紫贻贝养殖产业集中在北方沿海,且3种贻贝中,仅有紫贻贝在北方有规模养殖;厚壳贻贝虽然在北方有分布,但没有养殖,其产业中心位于浙江嵊泗等南方沿海;翡翠贻贝在北方没有分布。根据中国渔业统计年鉴数据,北方沿海紫贻贝产量总体变化平稳,2016年总产量最高,为 5.59×10^5 t,之后出

现下降,2020年产量为 4.55×10^5 t。养殖面积呈现波动趋势,年均养殖面积 379 km^2 ,2020年为 365 km^2 。

具体到北方沿海4省份(图3、图4),无论是养殖面积还是产量,山东省均高于其他各省,与全国走势一致。2020年山东省养殖面积和产量分别占全国养殖总面积和产量的76.8%和84.5%,达 281 km^2 和 3.85×10^5 t。最近10年,山东紫贻贝主产区由烟台变为日照,2014年,日照紫贻贝养殖面积 250 km^2 ,产量 2.10×10^5 t,占当年山东紫贻贝总产量的48%^[14]。目前,日照已初步形成了紫贻贝养殖、加工、销售、出口的链式产业结构,是全国最大的紫贻贝养殖、生产和出口基地。江苏省在2008年之前几乎没有紫贻贝养殖,2008年养殖面积 10.06 km^2 ,产量 2.1×10^4 t。2010年以来,养殖面积呈现先降低后升高的趋势,由2010年的 62 km^2 降至2015年的 33 km^2 ,随后逐年上升,至2020年时,养殖面积达 56 km^2 ;年产量总体变化平稳,维持在 5.01×10^4 t左右,2020年产量为 4.26×10^4 t;主产区位于江苏北部的海州湾。辽宁省养殖面积总体保持平稳,2018年以来稳定在 33 km^2 ;年均养殖产量维持在 4.64×10^4 t,2016年产量最高,达到 6.66×10^4 t,后呈现下降趋势,2020年产量为 2.79×10^4 t;主产区位于庄河王家岛海域,在金石滩和金石湾蚂蚁岛海域也有养殖。河北省养殖面积和产量一直处在较低水平,且呈萎缩态势。2017年之后,官方数据没有养殖产量与面积的记载。

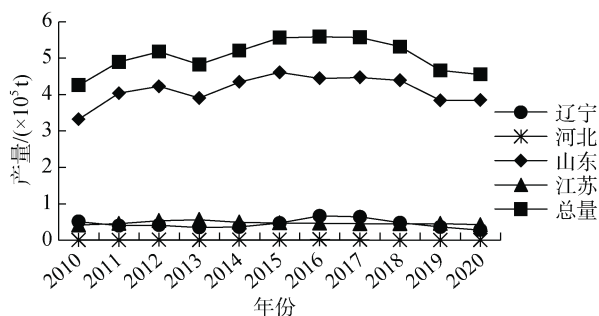


图3 主产省份紫贻贝产量年际变化

Fig. 3 Interannual yield variation of *M. galloprovincialis* in the major producing provinces

1.3 贸易状况

由于联合国贸易数据库(UN Comtrade Database)未对国际贸易贝类细化到物种层面,但仍可以从贻贝(Mussel)的国际贸易情况窥探紫贻贝的国际贸易地位。以下数据检索自UN Comtrade Database(<https://comtrade.cn.org>)。

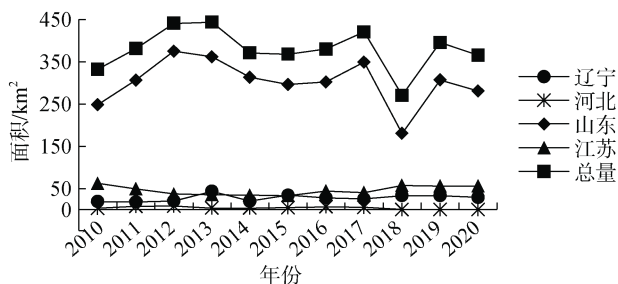


图4 主产省份紫贻贝养殖面积

Fig. 4 Interannual variation of the farming area of *M. galloprovincialis* in the major producing provinces

2010年—2019年,全球贻贝进出口量、额和均价总体上呈现长期增长,个别年份起伏不定的态势(图5)。进口总量和总额分别从期初的 2.00×10^5 t、 4.39×10^8 \$增长到期末的 2.35×10^5 t、 5.96×10^8 \$;出口总量和总额分别从期初的 2.14×10^5 t、 4.68×10^8 \$增长至期末的 2.59×10^5 t、 6.70×10^8 \$;进口均价从2.20增长至2.53 \$/kg,出口均价从2.19增长至2.59 \$/kg。受新冠疫情影响,2020年全球贻贝进出口量不及10年前的水平,分别为 1.77 与 1.80×10^5 t,但进出口均价保持10年来来的高位,分别为2.79与2.80 \$/kg。

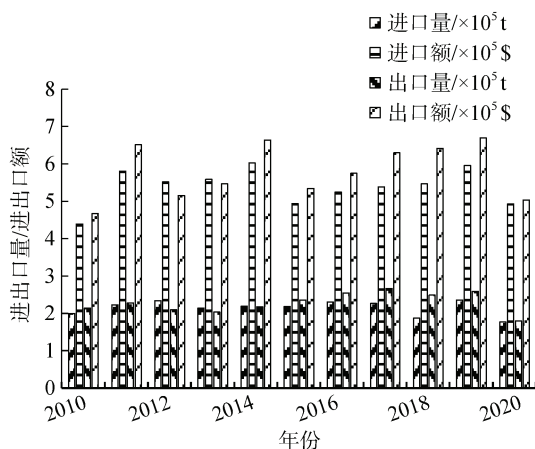


图5 世界贻贝进出口量与进出口额

Fig. 5 World's overall mussel import/export quantity and value

2020年,世界进口量排名前10的国家分别为法国、荷兰、意大利、美国、比利时、德国、泰国、中国、西班牙和葡萄牙,总进口量占比超过90%;出口量排名前十的国家分别为西班牙、荷兰、新西兰、德国、丹麦、加拿大、爱尔兰、意大利、英国、法国,总出口量占比超过93%(图6)。

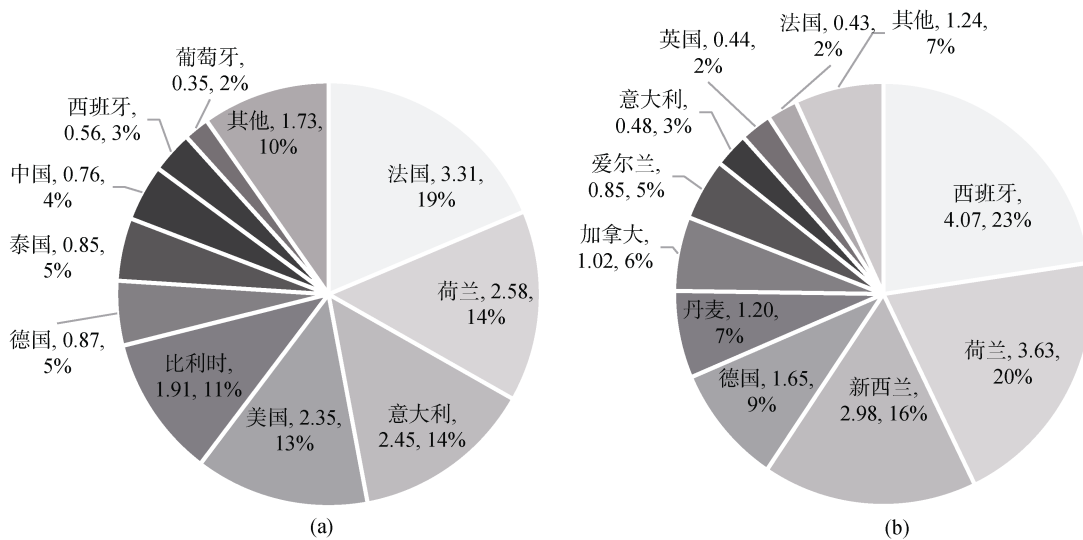


图6 2020年世界十大贻贝进口(a)、出口(b)($\times 10^4$ t)国家及所占比例

Fig. 6 World's top ten mussel import/export countries in quantity and their proportions in 2020

以上数据显示,全球贻贝出口量仅占贻贝总产量的12%,而同期世界牡蛎、扇贝的出口量与产量之比分别为0.73%与1.31%。可见,与巨大的养殖产量相比,进入国际市场的贝类微乎其微,这表明贝类的国际市场空间非常有限,试图通过扩大出口来增加贝类销量短期内并不具可行性。

中国贻贝产品多以鲜活销售为主,少量的加工多为传统的熟干、鲜干、冷冻贝肉等,出口品主要是肉干、冷冻贻贝肉等,出口量小、产值低。2006年以来,中国的贻贝出口量急剧下降,最低至2013年的1434 t,后缓慢回升,2020年出口量为3897 t(图7),这与世界第一贻贝生产大国的地位极不相符。其主

要原因是中国的贝类卫生控制不符合欧盟等发达国家的标准。与欧盟相比,中国的贝类卫生标准还停留在20世纪90年代,没有以贝类风险评估的结果为依据制定相应的贝类卫生标准^[15]。欧盟自1997年全面禁止中国的贝类产品进入欧洲市场,虽然2016年对“来自野生捕捞的、彻底去除生殖腺和内脏的扇贝闭壳肌”解禁,但包括贻贝在内的双壳贝类进出口贸易仍然受阻,走出国门仍任重道远。

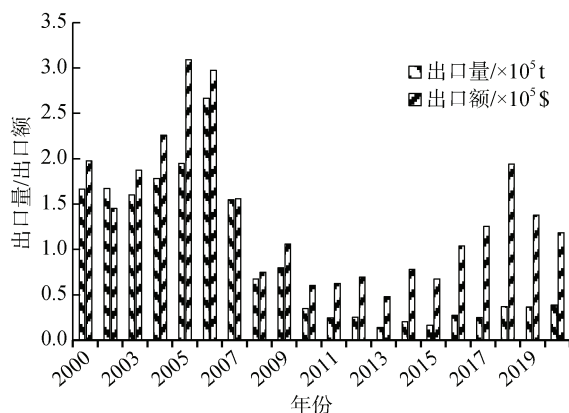


图7 2001年—2020年中国贻贝出口量及金额

Fig. 7 China's mussel export quantity and value between 2001 and 2020

2 紫贻贝养殖生产现状

2.1 养殖苗种生产方式

2.1.1 自然采苗

紫贻贝有集中附着生长的习性,且生物量大、苗源丰富,尤其适合集中采苗,目前国内外紫贻贝养殖的苗种完全来源于野外自然苗种。海区采苗主要有两种方式:一种是收集潮间带礁石上自然附着的幼苗(壳长1~2 cm),另一种是在附苗海区悬挂人造附着基。由于贻贝附着的时空变化大,进行悬挂采苗时很难准确地预计附苗时间与地点,国外早期的贻贝养殖用苗种有70%来源于贻贝礁^[16]。后来随着养殖的增多,加之部分国家对潮间带的开发利用进一步严格,苗种供应不足成为制约产业发展的主要因素^[17-18],并且研究者发现悬挂苗远离近岸污染地带,生长率要远高于礁石苗,能更好地适应延绳养殖,悬挂采苗的技术得到进一步推广。目前,悬挂采苗已逐渐成为主要的苗种收集方式^[17-18]。

悬挂采苗的附着基有废旧草梗、网衣、棕绳等表面粗糙的材料,紫贻贝的幼虫对附着基有很强的选择

性,当附着基不合适时,幼虫能推迟变态数周^[19]。在江苏、山东等中国北方沿海,多采用皮绳、地毯布等做采苗材料。紫贻贝的性成熟时间在不同的海区差异较大,具有明显的周期性和时空性,这与遗传、温度、盐度、食物丰度等因素密切相关^[20-22],这也导致了采苗时间的不同。一般地,低纬度地区的紫贻贝配子发生与排放时间要早于高纬度地区^[23]。中国北方沿海的紫贻贝每年有春秋两次性成熟,春苗的数量、质量等普遍优于秋苗,有的年份甚至没有秋苗^[9]。在江苏北部海州湾海域,紫贻贝春季排卵期为3月初—4月初,5月初基本完成附着;青岛胶州湾春季繁殖期从3月末持续到7月上旬,附苗期为5月下旬—7月初;烟台海区春季排卵期为4—6月,附苗期从5月下旬持续到7月,附苗盛期为6月中旬—7月上旬;大连湾海域春季繁殖期为5—6月,附苗期为6月底—7月初。值得注意的是,紫贻贝每年的繁殖期不是固定的,可能会有提前或延迟,这与环境有很大的关系,NEWELL等^[24]指出紫贻贝的繁殖策略并不是单一的,其可以根据外部环境而变化繁殖周期,以实现后代的最大成活率。

正是由于自然采苗的时空差异,苗种的异地养殖成为可能。近年来,在山东、江苏、辽宁等紫贻贝主产区,作为提前上市或补充苗种的有效手段,移苗养殖非常普遍。如大连、庄河的养殖户会采购苗期较早的苏北、鲁南等海区的苗种,以提前上市时间;鲁苏的养殖户也会采购苗期较晚的辽宁海区苗种,主要是为了补充当地因养殖规模扩大或病害等造成的苗种短缺。此外,养殖户普遍反映异地苗种在附着力、生长速度、出肉率等方面要优于当地苗种的情况,这可能是遗传、环境等多方面的因素造成的^[25],具体机制有待进一步研究。研究证明,大规模的移苗养殖对提高种群遗传多样性、稳定遗传结构具有积极作用^[11],但对当地土著种的遗传及生态效应有待评估。

2.1.2 人工育苗

人工育苗技术能够提供稳定的苗种,是调节养殖周期、进行家系或群体选育、培育新品种等的重要手段,是贝类产业稳定发展的基础^[26-27]。中国在20世纪70年代就已建立了紫贻贝的人工育苗技术,由于自然海区苗源丰富,尚没有专门的育苗厂进行商业化苗种生产,全球也仅在加拿大、澳大利亚和新西兰等少数国家有专门的紫贻贝育苗厂。但是,由于

紫贻贝配子排放及幼虫附着时空性,野生苗种年际附苗时间差异大、苗量不稳定的情况频发^[28],普遍存在的紫贻贝与厚壳贻贝种间杂交现象^[29-30],也使野生苗种的生产性能变差。因此,紫贻贝的人工育苗正受到越来越多研究者的关注^[27]。

育苗用亲贝可在繁殖季节初期从自然海区或养殖筏架挑选个体大的贻贝,清洗壳面附着物后直接进行诱导排放,也可在育苗池内经过 40~60 d 的蓄养促熟,以获得质量更高的卵子,保证育苗成功。温度与营养是亲贝蓄养促熟的关键,亲贝入池第一周暂养温度与海区温度一致,之后缓慢梯度升温,至临产温度时恒温培养。蓄养期间投喂三角褐指藻(*Phaeodactylum tricorutum*)促熟效果好,每天投喂量约为亲贝干质量的 3%^[23, 31-32]。性腺成熟后可进行诱导排放,常用的方法有变温诱导、阴干诱导、药物诱导、电流刺激等^[28, 31, 33-34]。

紫贻贝的成熟卵子呈球形,卵径约 68 μm^[35]。受精时精卵比例约为 7:1^[36],随温度升高,受精率总体呈降低趋势^[37]。孵化后 D 形幼虫约为 105 μm。不同海区浮游幼虫的培育温度与其种贝生存的环境温度密切相关,浮游时间、眼点幼虫的大小等差异较大。如日本南部海区的紫贻贝,幼虫培育温度 17~19 °C, 14~21 d 至变态期,壳长 228 μm^[38]。西班牙南部采集的紫贻贝,幼虫的培育水温在 20~24 °C 为宜,20 °C 幼虫生长率为 9.06 μm/d,培育 19 d 至附着变态期,壳长 258 μm; 24 °C 时培育至附着变态期需 16 d,但壳长仅为 221 μm,而在 17 °C 时需培养 27 d 至附着变态,此时的成活率仅为 0.5%^[39]。澳大利亚南部海区幼虫培育水温 16 °C, 22 d 发育至眼点幼虫^[40]。何义朝等^[41]研究了中国沿海贻贝胚胎发育的有效温度范围,指出生活在不同生境条件中的亲贝,其后代胚胎发育对温度的要求不相同,因所处环境不同而产生生理上的“适变”,这也说明了紫贻贝极强的适应能力。

幼虫培育密度以中等(25 个/mL)为好,在生长、存活、幼虫质量方面都有明显优势^[27]。等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)与角毛藻(*Chaetoceros gracilis*)是幼虫培育阶段常用的饵料,并且组合饵料比单一饵料效果要好^[36]。PRONKER 等^[27]将等鞭金藻与角毛藻按照 1:1 的比例混合投喂,取得良好的效果。在前 7 d,单独投喂等鞭金藻,其后至附着变态期间按 1:1 组合投喂等鞭金藻与角毛藻,效果也非常理想^[39]。近年来兴起的 D 形幼虫低温贮存技术也在紫贻贝中有所应

用^[42],这不仅可以实现无种贝的跨季育苗,同时也提高了遗传改良的效率。

眼点的出现是幼虫进入附着变态的标志。眼点幼虫的大小并不一致,而且与自然环境中类似,当条件不合适时,幼虫会延迟附着。以棕绳帘、PP 绳帘做附着基效果好,波纹板、扇贝壳等虽也能采苗,但效果较差。适当增加附着材料的织纹结构,增加表面的粗糙度、复杂度,从而加大其表面积,更利于幼虫附着。幼虫具有明显的附着倾向,眼点幼虫初次附着倾向于在网帘内部,随着壳长的增长,逐渐往外部移动^[40]。

2.2 养殖生产流程

紫贻贝生产要经过夹苗、疏苗、收获、净化、加工等过程(图 8)^[43]。自然采集或人工培育的优质苗种经过套网包缚在附苗绳上,贝苗壳长约 0.5~1 cm,套网能够避免因足丝粘附不牢而脱落;养殖中期需进行分苗,目的是稀疏密度,提高生长速度和收获规格;收获后按规格大小分级,可经净化后直接鲜活上市,也可进行进一步的深加工,提高附加值。

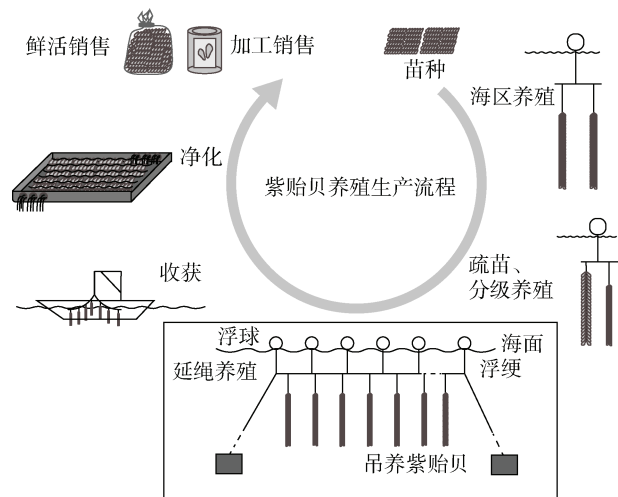


图 8 紫贻贝养殖生产流程示意图

Fig. 8 Production cycle of *M. galloprovincialis*

在中国紫贻贝主养区,由于苗期的不同,夹苗时间从 5 月持续到 9 月,收获期从次年 1 月持续到 4 月,4 月过后紫贻贝会进入繁殖期,个体消瘦,不适合上市。夹苗时间越早,紫贻贝的生长周期越长,越能获得大规格商品贝,这不仅是苗种异地养殖的产业动力,同时也使人工育苗成为产业需求,以调节养殖周期,获得大规格商品贝,提高养殖效益。

在公司化运营的规模化养殖中,养殖中期常进

行疏苗,能够降低密度、加大生长空间,从而获得规格整齐的商品贝。近年来,为节约人工成本,不少公司在夹苗过程中就严格限定夹苗数量,以保证充足的生长空间,中期不再疏苗。以家庭为单位的个体养殖中,春季将附苗绳垂挂在附苗海区,待苗附着后原址养殖,无夹苗、疏苗过程,直至收获,虽然商品贝规格参差不齐,但养殖成本低,养殖效益也很可观。

在欧盟,双壳贝类进入市场有严格的准入制度。养殖区的贝类如果符合卫生标准,则可经集散中心进入市场,否则需进入净化中心或暂养车间,直至符合卫生标准,才经集散中心进入市场或加工厂。在流通中的任何环节,都必须随附注册文件,以确保产品的可溯源性^[15]。在中国,收获的紫贻贝大部分直接进入鲜活市场,基本没有净化过程,对贝类毒素、微生物含量等没有专业的长期跟踪监测,缺少可溯源的随附文件,这使得因食用紫贻贝引发的安全问题频发,即使有贻贝罐头、干贝肉等初级加工品,出口也受到很大阻力,难以进入国际市场。

2.3 主要养殖方式

紫贻贝的养殖方式有延绳养殖、浮筏养殖、棚架养殖等,养殖方式的选择依据海区环境状况而定。延绳养殖方式适合风浪较大的外海,能扩大可供养殖的面积,避免底栖海洋生物的侵袭,也是目前应用最广的方式之一。浮筏式养殖多用在近岸海湾,棚架式养殖适合在近岸滩涂使用,目前在欧洲的法国、爱尔兰等国家能见到^[44]。近年来兴起的多营养层次综合养殖模式在紫贻贝养殖中也有运用^[45-46]。

2.3.1 延绳式养殖

延绳式养殖是紫贻贝养殖的主要方式,其以聚丙烯绳作为浮梗和锚缆,在浮梗上间隔绑缚高密度聚乙烯浮球,浮梗通过锚缆固定于海底的桩锚上,在浮梗上悬挂附有紫贻贝稚贝的附苗绳^[47](图8)。延绳养殖的基本架构可根据海区风浪、海流等状况调整。在中国北方,浮梗长度一般为100~120 m,附苗绳悬挂深度可灵活调节,如加大深度以避免夏季高温等,附苗绳的长度一般为2~3 m,有的海区也选用长绳,长度可达7 m。随着贻贝的生长,皮绳重量不断增加,可逐步增加浮梗浮球的数量,避免下沉。

2.3.2 浮筏式养殖

浮筏由框架、泡沫浮筒、锚缆系统3部分组成。常见的框架结构由杉木或毛竹构成,杉木或毛竹捆绑组成单架,相互连接的单架周边绑缚浮筒组成浮

筏,四角通过锚缆固定于海底,附有贝苗的皮绳可垂挂在浮筏上养成。因抗风浪能力低,浮筏养殖常见于避风的港湾内。

2.3.3 棚架式养殖

棚架式养殖主要应用在潮间带,以水泥柱或直径为15~25 cm的硬木等为脚架,以聚乙烯绳做横缆,皮绳垂挂或者平挂在棚架上。也可以直接用4~7 m长的硬木搭建成相互连接的V形桩栏,高出海底2~3 m,附有贝苗的附着基缠绕在桩栏上养成^[48]。

3 紫贻贝养殖业存在的问题

紫贻贝的养殖在中国已有40余年,已成为中国水产养殖的重要产业之一,对推动地区经济和社会发展起到积极作用。目前,中国紫贻贝养殖业自然苗源丰富,养成管理成本低,产业整体向好,但同时也已暴露出一些问题,对产业的可持续健康发展具有潜在的威胁。

3.1 苗种质量参差不齐

作为适应性极强的引入种,紫贻贝在中国北方沿海分布广泛,自然苗源丰富,但也存在着苗期年际变化大、采苗量不稳定、苗种质量下降(附着力降低)等问题。采苗时间及苗量的不稳定进一步加剧了异地养殖的进程,虽然异地养殖后生长性能有所提高,持续地大规模移苗养殖对本土物种及生态方面带来的影响需要引起关注。

3.2 海水贝类养殖产业的公地悲剧

养殖海区碎片化、缺少规划监管、养殖种类随意性强是目前中国水产养殖业的特点之一。家庭式个体养殖户多,规模化海区较少,跟风养殖严重,养殖品种布局不合理,如紫贻贝养殖海区周围常被紫菜(*Porphyra* spp.)、海带(*Laminaria japonica*)等大型藻类养殖包围,造成海水交换减弱,饵料可得性降低,紫贻贝生长速度降低,品质下降。局部海域超负荷养殖,超过环境承载能力。养殖户即使知道过度养殖会对环境造成破坏,使海区生产力降低,但增加养殖数量仍然是个体博弈的最优策略,这都使得贝类养殖中的公地悲剧表现突出。

3.3 劳动力严重缺乏,机械化程度低

一线劳动力严重短缺是中国水产养殖行业面临的共同问题,从事养殖生产的年轻人越来越少,随着中国经济发展趋缓及人口红利的结束,劳动力成

本日趋升高,且面临着“无人可用”,“无人肯干”的困境,已成为产业发展的瓶颈。养殖机械化、设施化程度低进一步凸显了这一问题。目前紫贻贝养殖仅有简单的起吊船、剥离机等,夹苗、疏苗等需要大量人力手工完成,无机械可替代,亟需破局。

3.4 养殖环境恶化影响质量安全

海水污染及赤潮等海洋灾害不仅直接危害紫贻贝生长存活、影响产品质量,而且污染物会富集,若后期处理不当会危害人类健康。近年来报道的食用贝类中毒事件已反映出贝类质量安全已到了刻不容缓的地步。

4 紫贻贝养殖产业发展对策

养殖紫贻贝生长快、产量高、成本投入相对较低且环境生态效益显著,是典型的碳汇产业。目前,紫贻贝销售呈现供方市场,优势明显。对产业暴露出来的问题应提早布局,积极应对,以推动产业更好地发展。

4.1 加强种质资源调查与保护,提高苗种质量

在中国北方沿海,紫贻贝的生物量大,适应能力强,已有研究指出实验条件下紫贻贝与厚壳贻贝可实现杂交^[29-30],在自然海区不排除杂交的可能,因此需要对紫贻贝种群进行资源调查、明晰种质状况。开展繁殖盛期调查,建立采苗预报体系。前期布局良种培育工作,开展系统的遗传育种研究,通过引种、选育、杂交等手段,培育生长快,抗逆强,品质好的新品种。

4.2 合理布局养殖海区,发展多营养层次综合养殖

成立以海域为单位的专业化养殖合作社,对养殖海区进行区域化、规模化管理,合理布局养殖品种。开展基于环境承载力的养殖容量评估及养殖模式优化,科学开展贝-藻等多种形式的多营养层次综合养殖,在容量允许的前提下在养殖密度、海流、养殖品种结构、养殖布局规划等方面优化养殖模式,制定相应标准、规范,建立标准化养殖技术体系。

4.3 研发养殖设备,提高紫贻贝养殖的设施化、机械化

作为劳动密集型的养殖产业,亟需进行设施化、机械化升级,这也是可持续发展的需要。加大投入力量开展专业的夹苗机、剥离机、分筛机及收获船等设备研发,建立成套设备租赁公司,减小养殖企业

投入。结合多营养层次综合养殖模式,实施生态养殖产业化工程,创建一批高科技生态养殖示范海区,推动产业机械化、现代化进程。

4.4 加强海域环境监控,建立质量安全控制体系

加强养殖海区水质监测,在养殖生产前进行海区环境评价,实行海水水质分类管理,建立养殖许可登记制度。养殖过程中开展水质跟踪检测,特别是赤潮等灾害,同时对不同养殖阶段的紫贻贝进行跟踪监测,建立相应的预警预报体系。研发完善的紫贻贝净化工艺,建立储运、加工等流通安全可追溯体系。

4.5 开发紫贻贝精深加工产品,提高产品价值

研发紫贻贝精深加工工艺,开展即食食品、罐头食品、保健品、药品等多种形式的产品,提高产品价值。同时,积极开展下脚料、贝壳等的综合利用技术研发,延长产业链。

参考文献:

- [1] WILKINS N P, FUJINO K, GOSLONG E M. The mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* Lmk. in Japan[J]. Biological Journal of the Linnean Society, 1983, 20(4): 365-374.
- [2] DAGUIN C, BORSA P. Genetic relationships of *Mytilus galloprovincialis* Lamarck populations worldwide: evidence from nuclear-DNA markers[J]. Evolutionary Biology of the Bivalvia, 2000, 177(1): 389-397.
- [3] MCDONALD J H, SEED R, KOEHN R K. Allozymes and morphometric characters of three species of *Mytilus* in the Northern and Southern hemispheres[J]. Marine Biology, 1991, 111(3): 323-333.
- [4] SANJUAN A, ZAPATA C, ALVAREZ G. Genetic differentiation in *Mytilus galloprovincialis* Lmk. Throughout the world[J]. Ophelia, 1997, 47(1): 13-31.
- [5] HAN Z Q, MAO Y L, SHUI B N, et al. Genetic structure and unique origin of the introduced blue mussel *Mytilus galloprovincialis* in the north-western Pacific: clues from mitochondrial cytochrome oxidase I (COI) sequences[J]. Marine and Freshwater Research, 2017, 68(2): 263-269.
- [6] 王祯瑞. 中国动物志[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 46-55.
WANG Zhenrui. Fauna Sinica[M]. Beijing: Science Press, 1997: 46-55.
- [7] 张玺, 齐钟彦, 李杰民. 中国北部海产经济软体动物[M]. 北京: 科学出版社, 1955: 36-38.

- ZHANG Xi, QI Zhongyan, LI Jiemin. Marine economic shellfish in Northern China[M]. Beijing: Science Press, 1955: 36-38.
- [8] 中国科学院海洋研究所贝类实验生态组. 贻贝的养殖研究[J]. 海洋科学, 1979, 3(s1): 69-73.
Shellfish Experiment and Ecology Group, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Study on mussel culture[J]. Marine Sciences, 1979, 3(s1): 69-73.
- [9] 罗有声. 贻贝养殖技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983: 76-108.
LUO Yousheng. Mussel culture technology[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1983: 76-108.
- [10] PICKETT T, DAVID A A. Global connectivity patterns of the notoriously invasive mussel, *Mytilus galloprovincialis* Lmk using archived *COI* sequence data[J]. BMC Research Notes, 2018, 11(1): 231.
- [11] LIU M K, YANG L Y, QUE H Y, et al. Evaluation of translocation impacts on genetic patterns in farmed and naturalized populations of *Mytilus galloprovincialis* along the China coast: clues from mitochondrial cytochrome c oxidase I sequences[J]. The Israeli Journal of Aquaculture, 2021, 73: 1476638.
- [12] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴(2021)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 27.
Bureau of Fisheries, M O A, People's Republic of China. China Fishery Statistical Yearbook(2021)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 27.
- [13] FAO. Fishery and Aquaculture Statistic. Global aquaculture production 1950-2019 (FishstatJ)[DB/OL]. [2021-08-07]. [Http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstaty/en](http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstaty/en).
- [14] 孙瑜. 山东省贝类产业结构与特征研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2016.
SUN Yu. Study on the structure and characteristics of shellfish industry in Shandong province[D]. Qingdao: Ocean University of China. 2016.
- [15] 刘小玲, 陈德慰, 林莹, 等. 解读我国双壳贝类食品安全管理与欧盟差异以突破欧盟出口限令[J]. 食品科技, 2010, 35(10): 305-310.
LIU Xiaoling, CHEN Dewei, LIN Ying, et al. Analysis of the difference between EU and China in shellfish safety produce and management for breaking the porhibition of shellfish export to EU[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(10): 305-310.
- [16] FUENTES J, MOLARES J. Settlement of the mussel *Mytilus galloprovincialis* on collectors suspended from rafts in the Ría de Arousa (NW of Spain): annual pattern and spatial variability[J]. Aquaculture, 1994, 122(1): 55-62.
- [17] CAMACHO A P, LABARTA U, BEIRAS R. Growth of mussels (*Mytilus edulis galloprovincialis*) on cultivation rafts: influence of seed source, cultivation site and phytoplankton availability[J]. Aquaculture, 1995, 138(1/4): 349-362.
- [18] BABARRO J M F, FERNÁNDEZ-REIRIZ M J, LABARTA U. Growth of seed mussel (*Mytilus galloprovincialis* LMK): effects of environmental parameters and seed origin[J]. Journal of Shellfish Research, 2000, 19(1): 187-193.
- [19] BAYNE B L. Growth and the delay of metamorphosis of the larvae of *Mytilus edulis*[J]. Ophelia, 1965, 2(1): 1-47.
- [20] VILLALBA A. Gametogenic cycle of cultured mussel, *Mytilus galloprovincialis*, in the bays of Galicia (N.W. Spain)[J]. Aquaculture, 1995, 130(2/3): 269-277.
- [21] OKANIWA N, MIYAJI T, SASAKI T, et al. Shell growth and reproductive cycle of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* in Tokyo Bay, Japan: relationship with environmental conditions[J]. Plankton & Benthos Research, 2010, 5(Supplement): 214-220.
- [22] CÁCERES-MARTÍNEZ J. Reproductive cycle of coexisting mussels *Mytilus californianus* and *Mytilus galloprovincialis* in Baja California, NW México[J]. Journal of Shellfish Research, 2004, 23(23): 515-520.
- [23] BAYNE B L. Marine mussels: Their ecology and physiology[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2009: 81-120.
- [24] NEWELL R I E, HILBISH T J. Temporal variation in the reproductive cycle of *Mytilus edulis* L. (Bivalvia, Mytilidae) from localities on the East coast of the United States[J]. The Biological Bulletin, 1982, 162(3): 299-310.
- [25] HAMER D P, KOVAČIĆ, KOŠČICA, et al. Physiological indices of maricultured mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 in Istria, Croatia: Seasonal and transplantation effect[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2016, 47(6): 768-778.
- [26] PINO-QUERIDO A, ÁLVAREZ-CASTRO J M, PARDO B G, et al. A molecular tool for parentage analysis in the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*)[J]. Aquaculture Research, 2015, 46(7): 1721-1735.
- [27] LAGOS L, HERRERA M, SÁNCHEZ-LAZO C, et al. Effect of larval stocking density on growth, survival and whole body cortisol of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) larvae reared under laboratory conditions[J]. Aquaculture Research, 2015, 46(7): 1648-1656.
- [28] LAURA D, ANTONIO V, JOSÉ F. Effects of photoperiod and the duration of conditioning on gametogenesis and spawning of the mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck)[J]. Aquaculture Research, 2010, 41(11): 807-818.
- [29] 常抗美, 刘慧慧, 李家乐, 等. 紫贻贝和厚壳贻贝杂交及 F₁ 代杂交优势初探[J]. 水产学报, 2008, 32(4): 552-557.

- CHANG Kangmei, LIU Huihui, LI Jiale, et al. A primary study on hybridization of *Mytilus galloprovincialis*, *Mytilus coruscus*, heterosis of F₁ generation[J]. Journal of Fisheries China, 2008, 32(4): 552-557.
- [30] 杨林颖, 刘明坤, 阙华勇, 等. 紫贻贝与厚壳贻贝杂交子代生长和存活比较[J]. 海洋科学, 2019, 43(8): 64-71.
- YANG Linying, LIU Mingkun, QUE Huayong, et al. Comparison of growth and survival among the hybrid offspring of *Mytilus galloprovincialis* and *M. coruscus* from laboratory crosses[J]. Marine Sciences, 2019, 43(8): 64-71.
- [31] PRONKER A E, NEVEJAN N M, PEENE F. Hatchery broodstock conditioning of the blue mussel *Mytilus edulis* (Linnaeus 1758). Part I. Impact of different micro-algae mixtures on broodstock performance[J]. Aquaculture International, 2008, 16(4): 297-307.
- [32] NANCYMARIE N, ANNAELISABETH P, FRANK P. Hatchery broodstock conditioning of the blue mussel *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758). Part II. New formulated feeds offer new perspectives to commercial hatcheries[J]. Aquaculture International, 2008, 16(6): 483-495.
- [33] UTTING S D, MILLICAN P F. Techniques for the hatchery conditioning of bivalve broodstocks and the subsequent effect on egg quality and larval viability[J]. Aquaculture, 1997, 155(1): 45-54.
- [34] 楼允东. 综述人工诱导贻贝产卵的一些方法[J]. 水产科技情报, 1975, 2: 18-21.
- LOU Yundong. Review: Some methods of artificially inducing mussel spawning[J]. Fisheries Science and Technology Information, 1975, 2: 18-21.
- [35] 王如才, 王昭萍. 海水贝类养殖学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2008: 232-238.
- WANG Rucui, WANG Zhaoping. Science of marine shellfish culture[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2008: 232-238.
- [36] AMANDAK P, GIOVANNIM T, SAMAD J, et al. Effects of different dietary microalgae on survival, growth, settlement and fatty acid composition of blue mussel (*Mytilus galloprovincialis*) larvae[J]. Aquaculture, 2010, 309(1/4): 115-124.
- [37] EADS A R, EVANS J P, KENNINGTON W J. Plasticity of fertilization rates under varying temperature in the broadcast spawning mussel, *Mytilus galloprovincialis*[J]. Ecology & Evolution, 2016, 6(18): 6578-6585.
- [38] SATUITO C G, NATOYAMA K, YAMAZAKI M, et al. Larval development of the mussel *Mytilus edulis galloprovincialis* cultured under laboratory conditions[J]. Fisheries Science, 1994, 60(1): 65-68.
- [39] LAZO C S, PITA I M. Effect of temperature on survival, growth and development of *Mytilus galloprovincialis* larvae[J]. Aquaculture Research, 2012, 43(8): 1127-1133.
- [40] CARL C, POOLE A J, WILLIAMS M R, et al. Where to settle-settlement preferences of *Mytilus galloprovincialis* and choice of habitat at a micro spatial scale[J]. Plos One, 2012, 7(12): e52358.
- [41] 何义朝, 张福绥. 贻贝胚胎发育的有效温度范围的变化[C]//中国动物学会贝类学会第二次学术讨论会论文集(第二辑). 北京: 科学出版社, 1986, 2: 89-93.
- HE Yichao, ZHANG Fusui. Variation in range of effective temperature for embryonic development of mussels (*Mytilus edulis* Linnacus)[C]// Transactions of the Chinese society of malacology No. 2. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd, 1986, 2: 89-93.
- [42] WANG H, LI X, WANG M, et al. Effects of larval cropreservation on subsequent development of the blue mussels, *Mytilus galloprovincialis* Lamarck[J]. Aquaculture Research, 2011, 42(12): 1816-1823.
- [43] FAO. Cultured Aquatic Species Information Programme: *Mytilus galloprovincialis*[EB/OL]. [2021-08-07]. https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/mytilus_galloprovincialis/en.
- [44] SMAAL A C, VADSTEIN O, OLSEN Y. European mussel cultivation along the Atlantic coast: production status, problems and perspectives[J]. Hydrobiologia, 2002, 484(1): 89-98.
- [45] IRISARRI J, FERNÁNDEZREIRIZ M J, SMC R, et al. Absorption efficiency of mussels *Mytilus edulis* and *Mytilus galloprovincialis* cultured under integrated multi-trophic aquaculture conditions in the Bay of Fundy (Canada) and Ria Ares-Betanzos (Spain)[J]. Aquaculture, 2013, 388-391(1): 182-192.
- [46] RISARRI J, CUBILLO A M, FERNÁNDEZ - REIRIZ M J, et al. Growth variations within a farm of mussel (*Mytilus galloprovincialis*) held near fish cages: importance for the implementation of integrated aquaculture[J]. Aquaculture Research, 2015, 46(8): 1988-2002.
- [47] KARAYÜCEL S, ÇELİK MY, KARAYÜCEL İ, et al. Effects of stocking density on survival, growth and biochemical composition of cultured mussels (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck 1819) from an offshore submerged longline system[J]. Aquaculture Research, 2015, 46(6): 1369-83.
- [48] PHILIPPE G, MAURICE H. Marine molluscan production trends in france: from fisheries to aquaculture[J]. Molecular Cell, 1997, 137-164.

The current standing of the Mediterranean mussel industry, the obstacles posed and its potential restoration

LIU Ming-kun, QUE Hua-yong, ZHANG Guo-fan, LI Li

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, National and Local Joint Engineering Laboratory of Ecological Mariculture, Qingdao 266071, China)

Received: Aug. 7, 2021

Key words: *Mytilus galloprovincialis*; Mediterranean mussel aquaculture; industry status; international trade; countermeasure and suggestion

Abstract: This paper summarizes the farming yield, culture area, international trade, and aquaculture of Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) in the world overall and specifically in China, including the germplasm resources, seed production, culture cycle, and culture method. In addition, based on the obstacles posed by the Mediterranean mussel culture, totally five measures were proposed from the aspects of seed production, culture model, aquaculture facility, product safety, and deep processing. This review has been conducted with the objective to establish a scientific rationale for the subsequent Mediterranean mussel research.

(本文编辑: 谭雪静)