

# 我国皱纹盘鲍底播增养殖历史、现状及未来发展趋势

吴富村<sup>1,2,3</sup>, 阙华勇<sup>1,2,3</sup>, 张国范<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所 中国科学院实验海洋生物学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋生物学与生物技术功能实验室, 山东 青岛 266237; 3. 中国科学院海洋大科学研究中心, 山东 青岛 266000; 4. 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:** 皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)为我国原产贝类之一, 自然分布于我国辽东和山东半岛等黄渤海海区, 自古被誉为海珍之冠。我国皱纹盘鲍的资源调查、增养殖相关研究始于1958年, 20世纪70年代突破了人工繁育技术并自20世纪80年代初开始人工种苗的试验性底播及人工养殖。鲍野生资源随着过度捕捞而急剧下降, 我国开始通过底播增养殖工作以恢复皱纹盘鲍的生物资源, 其中底播养殖取得了一定进展, 但生物资源恢复与增殖未能取得理想效果。20世纪90年代皱纹盘鲍杂交技术获得突破并产业化应用, 推动了我国鲍养殖产业南移, 目前福建养殖鲍产量已占到全国总产量的82.7%, 而北方海区底播增养殖产业受养殖周期、成本和市场价格的冲击, 以及底播越冬期间高死亡率等问题制约, 已严重萎缩。自2009年起, 在国家贝类产业技术体系支持下, 相关研发及产业单位合作建立皱纹盘鲍底播型海洋牧场技术研发的产学研平台, 进而于2013年提出并实施了“北鲍北养”产业计划。通过开展技术联合攻关及示范, 部分地区的底播皱纹盘鲍已进入商业性收获等显著进展。本文针对我国皱纹盘鲍底播增养殖产业中亟需解决问题、发展目标、可实现途径以及未来发展趋势开展讨论, 以期为我国皱纹盘鲍底播增养殖、原种保护、资源增殖提供借鉴。

**关键词:** 皱纹盘鲍; 底播增养殖; 可实现途径; 发展趋势

中图分类号: S9 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2020)08-0056-13

DOI: 10.11759/hyxx20200325005

皱纹盘鲍 *Haliotis discus hannai* (Ino, 1952) 隶属于软体动物门(Mollusca), 腹足纲(Gastropoda), 前鳃亚纲(Prosobranchia), 原始腹足目(Archaeogastropoda), 鲍科(Haliotidae), 鲍属(Haliotis), 自然分布于日本北海道及日本本州东北海区, 朝鲜半岛和我国黄渤海沿岸的辽东和山东半岛, 据我国早期文献报道最南分布可至苏北连云港海区<sup>[1]</sup>。在习性上, 皱纹盘鲍喜水质清澈、水流湍急, 大型海藻丰富、盐度较高的岩礁海区, 而泥质底、河口或有大量淡水径流的内湾很难自然存活<sup>[2]</sup>; 行为上, 皱纹盘鲍属定居性强的动物, 喜昼伏夜出, 在海藻丰富的条件下, 一般不作远距离的移动; 垂直分布在水深1~20 m处, 一般大于20 m较少见。据研究表明, 皱纹盘鲍主要以大型海藻为食, 但其实都是杂食性的, 其在摄食绿藻、褐藻、红藻的同时, 也会捕食附着在藻片和岩礁上的苔藓虫、桡足类、有孔虫类、水媳类、小型贝类、多毛类等<sup>[3-5]</sup>。

皱纹盘鲍经济价值高, 自古被誉为海珍之冠, 为我国重要的经济贝类。我国在20世纪50年代, 皱

纹盘鲍鲜品的捕捞量也曾达100多吨, 其中大连地区曾达54吨, 烟台地区包括威海等产量30多吨; 后来由于捕捞强度过大, 资源遭到严重破坏, 产量明显下降, 至70年代鲍鱼收购量只有二三十吨。为了防止资源枯竭, 迫切需要努力开展人工增养殖, 以便恢复和增加海珍品资源<sup>[6]</sup>。自1958年开始, 我国开始有关皱纹盘鲍生物学调查、人工繁殖相关研究<sup>[7-8]</sup>。在20世纪70年代成功取得人工繁殖、试验性育苗技术突破后, 80年代初国家成立鲍种苗繁育、增养殖技术的联合攻关小组, 皱纹盘鲍的种苗培育及养殖产业开始

收稿日期: 2020-03-25; 修回日期: 2020-04-26

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0900800); 国家自然科学基金(31972790); 烟台市科技计划项目(2019XDHZ095); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-49)

[Foundation: National Key R&D Program of China, No. 2019YFD0900800; National Science Foundation of China, No.31972790; Yantai Science and Technology Plan Project, No. 2019XDHZ095; China Agriculture Research System, No. CARS-49]

作者简介: 吴富村(1981-), 男, 山东泰安人, 博士, 主要从事海产动物遗传育种与养殖技术研究, E-mail: wufucun@qdio.ac.cn; 张国范, 通信作者, 电话: 0532-82898701, E-mail: gzfzhang@qdio.ac.cn

进入高速发展,同时在我国辽宁、山东等多个海区开展了试验性和生产性的皱纹盘鲍底播增养殖,并取得积极效果。但从 1992—1993 年开始,辽东和山东半岛养殖区养殖的皱纹盘鲍发生了暴发性死亡,种苗行业也遭受打击,使原本发展势头良好的产业濒临崩溃。自 20 世纪 90 年代后期开始到 21 世纪前 10 年,我国已鲜有皱纹盘鲍底播增养殖的报道;而在这—时期,随着皱纹盘鲍种群杂交技术的突破和产业化应用,养殖产业南移、种间杂交新品种培育成功等的推动,我国皱纹盘鲍人工养殖产业得到蓬勃发展,由人工养殖前百余吨增长到 2018 年皱纹盘鲍或其杂交子代产量达 16.3 万吨<sup>[9]</sup>,产值超百亿元。

2019 年 1 月农业农村部下发《关于加快推进水产养殖业绿色发展的若干意见》指出,水产养殖绿色发展重点在于养殖水域滩涂环境整治,以及优化养殖生产布局、积极拓展养殖空间。皱纹盘鲍底播增养殖或底播型海洋牧场建设重新走进人们视野,近年来,在我国山东以及大连等地皱纹盘鲍底播增养殖也见诸报导。随着我国养殖水域滩涂规划的制定与实施,鲍的浅海筏式等养殖空间将越来越被压缩,但底播皱纹盘鲍作为不同于浅海养殖鲍的“差异化”产品,需求情势看涨,在近几年呈现供不应求态势。皱纹盘鲍的海洋牧场建设,特别是浅海水域的底播放流与增养殖,是发展安全、高端、高效皱纹盘鲍产业产品的重要选择。

增殖放流,是指为了实现某一区域渔业增产、保护渔业水域环境和修复渔业生态的目的,用人工的方法直接向天然水域投放或移入各类渔业生物的种苗或性成熟即将繁育生产的成体,让它们在自然水系中繁殖、生长,从而达到恢复或增加种群数量和资源量,改善和优化水域的群落结构的一种行为。广义的讲还应当包括改善水域的生态环境,向特定水域投放某些装置(如附卵器、人工渔礁等)以及野生种群的繁殖保护等间接增加水域种群资源量的措施<sup>[10]</sup>。对于皱纹盘鲍等鲍科动物来说,其增殖放流一般采用苗种等底播的形式。按照 Bell 等<sup>[11]</sup>对海洋牧场(sea ranching)、种群增殖(stock enhancement)及种群恢复(restocking)的界定,我国皱纹盘鲍的底播增养殖一般处于 sea ranching 的阶段,即通过“放流-生长-捕获”等过程收获较大个体,属于“底播养殖”阶段,此为本文主要关注的研究方向;此外,本文还对历史上我国以种群恢复为目标的工作进行了综述,探讨了未来以种群增殖、种群恢复目标及途径,因此

本文包括题目等在内均以涵盖上述内容的“底播增养殖”为主要内容。目前,作为体量达百亿以上皱纹盘鲍人工养殖产业已得到广泛关注<sup>[12]</sup>,虽然皱纹盘鲍底播增养殖也被看作是人工养殖产业的组成形式之一,但有关皱纹盘鲍底播增养殖的发展历程、产业问题及发展趋势仍缺乏报道。本文回顾了建国后我国辽东和山东半岛等北方海区生物资源调查资料,通过获取我国皱纹盘鲍历史资源数据等资料,以期为指导现阶段底播区划等提供基础数据;同时,本文综述了 20 世纪 80—90 年代我国在皱纹盘鲍试验性和生产性底播增养殖相关报导,通过其结果和成因的分析,以期为指导现阶段皱纹盘鲍底播增养殖技术体系建立和“北鲍北养”提供指导并对这一产业的技术难点、解决途径及未来发展趋势做出探讨。

## 1 我国皱纹盘鲍生物资源调查及历史资源数据

一般说来,鲍的原产海区是适宜的放养海区<sup>[14]</sup>,对原产地历史捕捞产量、生物调查数据等的追溯对于皱纹盘鲍的放流场地或增养殖海区的调查和选择具有重要意义。

1950 年《科学通报》报道了中央水产实验所胶东沿岸调查采集简报<sup>[15]</sup>,在当年 4 月份胶东沿岸水产资源及渔业情况调查中表明,在长山列岛的砣矶岛、隍城岛和钦岛等均有鲍的分布,鲍为胶东的东海岸和北海岸的主要渔获物,这可能是建国后有关皱纹盘鲍分布及生物调查的最早报道。自 1958 年开始,当时新成立的中国科学院海洋研究所等机构开始启动我国沿海的生物资源调查,才逐步对这种鲍鱼的生态分布、生长、食性及生殖习性等进行了全面的生物学调查研究,积累了相关资料。吕端华<sup>[1]</sup>通过对中国科学院海洋研究所收集的鲍鱼贝壳标本进行鉴定,查清了我国近海鲍科的种类,并将前人分类界定不清的我国北方分布鲍鱼确定为皱纹盘鲍 *Haliotis discus hannai*,更正了之前较为普遍的“盘大鲍”叫法,认同了猪野峻<sup>[16]</sup>的看法。皱纹盘鲍在我国自然分布的南端界限为苏北连云港,其北分布均为皱纹盘鲍这一个种。我国自 1958 年开始皱纹盘鲍生物学调查及其繁殖生物学研究<sup>[7-8]</sup>,据有关资料记载该年份皱纹盘鲍鲜品的捕捞量曾达 100 多吨<sup>[6]</sup>。

大连作为皱纹盘鲍的主要产地之一,其“大连鲍”品牌蜚声海内外。历史上大连地区是全国发展海水人工养殖的重点海区,其自然条件好,三面环

海, 海岸线长达 900 公里, 大都属岩礁港湾区, 是皱纹盘鲍天然理想的海洋农牧场, 皱纹盘鲍资源分布为 2.3 万亩。据报道 1958 年大连鲍的捕捞产量为 53 吨<sup>[17]</sup>; 之后进入 60 年代由于酷捕滥采, 使资源遭到了严重破坏, 海珍品产量逐年下降, 到 1976 年捕捞产量降为 30 多吨; 随着 70 年代后期到 1980 年渔政管理的加强, 1981 年产量达 45 吨<sup>[18-19]</sup>。为了搞好渔业区划, 辽宁省海洋水产研究所等从 1980 年 7 月至 1981 年 6 月, 对辽宁沿海的皱纹盘鲍资源作了全面调查。皱纹盘鲍在辽宁沿海的主要分布区是在辽东半岛南端和外长山列岛的东南海域, 分布范围在 38°47'—39°17'N, 121°06'—123°14'E, 包括长海县的海洋岛、獐子岛、小长山岛等 18 个大小岛屿, 金县大孤山的部分岸段及 4 个岛屿, 大连、甘井子、旅顺口区的南部岸段及其附近的 8 个岛屿。长海县资源量约 249 吨, 占辽东半岛 266 吨的 93.6% 以上; 然而资源量不等于可采捕量, 长海县皱纹盘鲍可采捕规格 7.5 cm 以上的数量不过 20 吨; 且辽东半岛各沿海资源数量分布很不平衡, 辽宁鲍鱼的集中分布区仍在长海县, 长海县的鲍鱼分布面积约占全省的 60%<sup>[18]</sup>。该县地处黄海北部, 由 50 多个岛屿组成, 海岸线长 400 公里。据 1982 年的报道, 生物资源调查表明皱纹盘鲍主要分布在长岛县东南 20 多个岛屿周围的水域, 在 1981 年 8 月至 1982 年 6 月对长海县等海区的四次季度调查发现, 皱纹盘鲍主要分布在远离大陆岸、盐度较高、透明度大和水温变化小的獐子岛、海洋岛、小长山岛东部及附近岛屿的近岸, 以獐子岛为最多分布<sup>[20]</sup>; 密度较大的面积 460 亩。在历史上长海县 1965 年产鲜鲍鱼 18 吨。从 1965 年到 1980 年, 15 年平均年产鲜鲍鱼 18.7 吨。其中 1966—1970 年由于酷捕滥采, 资源遭到破坏, 鲍鱼采捕量降为 10.2 吨。1971—1975 年资源有所恢复, 但鲍鱼平均年产只有 19.4 吨, 仍然没有达到 1965 年的生产水平。渔政部门等采取管理措施后, 1981 年产鲍增至 38 吨, 是 17 年来第 2 个高产年<sup>[21]</sup>。

烟威地区(包括长岛、烟台、牟平、威海、荣成、乳山等)的海岸线长 1 300 余公里, 沿海岛屿、港湾星罗棋布, 海藻丛生, 是鲍鱼自然生长繁殖的优良场所。全区历史最高年份是生产成品鲍鱼 30 吨(鲜品)<sup>[22]</sup>。据报道, 山东烟台地区(烟台威海)历史上有海参、鲍鱼等海珍品资源分布的约 13 万亩; 其中岛屿周边海域是各种海珍品和经济生物繁衍生息的理想之地, 长岛县为山东省最重要的皱纹盘鲍自然

分布区, 资源面积 1 900 亩, 鲍鱼在 20 世纪 60 年代前平均年产约 16 吨, 70 年代平均 2 吨多, 80 年代中期平均只约 1 吨多<sup>[23]</sup>。调查结果表明, 越是经济价值高的珍贵资源品种, 开发越早、采捕越重, 破坏也越重。

青岛浅海也是皱纹盘鲍的主要自然分布区之一, 虽然数量上较长山列岛等黄海北部海域岛屿分布量小得多, 但青岛浅海岩礁环境系由大型海藻如石莼、裙带菜等构成的较高初级生产力区域, 是以大型藻类等为食物的皱纹盘鲍的适宜栖息场所。灵山岛是青岛市辖区的第一大岛, 面积为 7.66 km<sup>2</sup>, 岛屿岸线长 14.3 km, 中国科学院海洋研究所在 1987 年、1992 年两次对灵山岛水下岩礁环境和生物群落进行了系统的调查<sup>[24]</sup>。调查结果显示, 因市场价格上升造成了皱纹盘鲍捕捞压力愈来愈大, 过度捕捞致使皱纹盘鲍资源量已显著减少。1987 年调查中, 皱纹盘鲍的出现率一般为 30% 左右, 全年平均为 21%; 而 1992 年调查仅有 3 个样品中有皱纹盘鲍出现, 全年平均出现率不足 10%。尽管自 20 世纪 90 年代来灵山岛浅海岩礁区执行了承包责任制, 但并没有解决皱纹盘鲍生物资源利用不合理问题。

自 20 世纪 80 年代中期后, 随着市场价格的上扬, 过度采捕致使皱纹盘鲍的野生资源量在我国北部急剧下降。虽然 80 年代末开始了北方海区皱纹盘鲍放流增殖工作, 但由于缺乏可持续管理措施与法规, 以致 90 年代中后期皱纹盘鲍资源逐渐枯竭<sup>[23, 25]</sup>。

## 2 我国皱纹盘鲍底播增养殖工作的进展和局限性

### 2.1 种苗人工繁育技术的突破为皱纹盘鲍底播增养殖奠定基础

由于受种苗问题制约, 我国在皱纹盘鲍人工繁育问题解决之前开展相关底播增养殖试验主要是曾采用野生个体的移植等方法, 但总体上规模较小, 效果不显著<sup>[26]</sup>。因此, 皱纹盘鲍种苗人工繁育技术与工艺的突破, 特别是规模化种苗培育技术的解决为发展皱纹盘鲍大规模底播增养殖工作的基础和关键。

1960 年我国贝类学奠基者张玺先生, 与谢玉坎合作发表在《生物学通报》上的《我国一些贝类的养殖》中提及, 20 世纪 50 年代我国科研工作者就开始皱纹盘鲍(当时命名为“盘大鲍”)生物调查和人工繁育的研究<sup>[7]</sup>, 虽然在文中未详细说明但已报导取得一定进展, 这是我国皱纹盘鲍繁育增养殖有关的

最早文献之一。1969年起中国科学院海洋研究所成立以陈木为组长的课题组,成功开展了包括辽宁皱纹盘鲍南移、底栖硅藻培育以及皱纹盘鲍种苗试验性繁育等工作,1974年繁育成功首批皱纹盘鲍种苗3 500粒<sup>[27-29]</sup>,这也标志着我国鲍鱼育苗养殖产业发展的最早开端。同年在山东长岛由山东省长岛县砣矶公社后口大队、山东省长岛县水产局和烟台地区水产研究所等单位几乎同时成功繁育皱纹盘鲍种苗<sup>[30-32]</sup>。此后大连獐子岛公社、山东省海水养殖研究所、山东省水产学校、浙江省海洋水产研究所等单位均开展皱纹盘鲍的试验性育苗并取得一定成效<sup>[33-36]</sup>,但上述研究仍未能达到生产性规模。为实现皱纹盘鲍种苗的规模化生产及推动人工养殖产业形成,20世纪80年代初,农业部成立了以中国水产总局黄海水产研究所聂宗庆为组长、联合辽鲁等多家单位的鲍种苗繁育、增养殖技术的联合攻关小组,提出全国攻关指标是育苗总面积20平方米以上的育苗水体,规格0.45 cm的种苗每平方米出苗2 500只、规格0.8 cm的每平方米出苗1 500只<sup>[37]</sup>。1983年辽宁省海洋水产研究所刘永峰等首次攻克了皱纹盘鲍生产性育苗技术,之后山东、大连等多家单位相继开展皱纹盘鲍的规模化种苗繁育及养殖生产,1984年辽宁省海洋水产研究所在大连举办了全国鲍鱼人工育苗技术培训班<sup>[38-40]</sup>。浙江省分别于1973、1975、1978年从黄海引进自然种苗和亲鲍,经多年试验于1981年在奉化人工育苗小试成功,后移南麂岛中试。1983年在南麂岛海带场室内成功地培育幼鲍16万只以上<sup>[37]</sup>;1985年之后,山东长岛、荣成等也有皱纹盘鲍规模化种苗生产报导<sup>[41]</sup>。人工种苗技术的突破使我国鲍鱼养殖业得以迅速发展,为之后皱纹盘鲍试验性底播及生产性底播养殖提供了种苗基础。

但从1992—1993年开始,辽东和山东半岛人工养殖的皱纹盘鲍发生了爆发性死亡,使原本发展势头良好的鲍养殖产业濒临崩溃。之后多家单位开展了以鲍杂交为主要手段的遗传改良工作,如聂宗庆、赵洪恩等分别在福州、大连开展皱纹盘鲍和日本盘鲍的杂交工作<sup>[42]</sup>,赵洪恩等研发了鲍RHD育苗技术并建立了当时世界上最大规模的陆地工厂化鲍育苗和养殖场<sup>[43]</sup>。张国范等提出了以皱纹盘鲍种群间杂交进行遗传改良的思路,并基于大连长海(♀)和日本岩手(♂)群体强杂优组合的发现,培育出我国首个养殖贝类新品种“大连1号”杂交鲍。该品种为我国

鲍鱼养殖产业推广产量最高、推广面积最大的品种,并促使鲍养殖区南移,使福建成为鲍主产区<sup>[44]</sup>。自2006年起,福建已成为我国皱纹盘鲍人工种苗的主要培育基地,在福建东山、诏安、漳浦、秀屿县区等地有规模化育苗场家逾3 000家以上。2006年以来,厦门大学通过种间杂交技术,利用引种的西氏鲍、美国绿鲍等分别与我国皱纹盘鲍杂交,培育出“西盘鲍”、“绿盘鲍”等两个国审新品种,目前其市场份额正在逐步扩大。

## 2.2 我国黄渤海曾开展的皱纹盘鲍试验性及生产性底播增养殖

在皱纹盘鲍人工种苗问题解决之前,我国就已开展移植试验,采取移植自然个体等措施,力图恢复资源。如大连小长山公社所属耙蛸岛和蟒岛之间的海区,1976年鲍鱼大量死亡,资源几乎绝迹,之后他们从獐子岛移植来大量野生个体,资源迅速得到恢复,1978年又恢复了鲍鱼采捕<sup>[21]</sup>;在海洋岛进行的生物资源调查也曾发现,皱纹盘鲍在饵料供应充足的条件下生长正常,而在饵料数量不足、质量差的条件下,个体生长发生停滞和形态变异。把栖息在藻类丰度较低海区的鲍移到环境条件较好的西南礁放养后,生长正常,体型也得到恢复<sup>[18]</sup>。这说明了通过海区间自然群体的移植可以使皱纹盘鲍生长水平和资源密度得到提升,但相关报道均局限于小范围海区,为小规模试验性质。除了上述皱纹盘鲍自然种群的成体移植外,自然种苗在不同海区间移植工作也有报导,如浙江南麂岛在1980年投放引进原分布黄海的皱纹盘鲍(体长0.4~1.5 cm)共8.5万只,投放到该岛的自然岩礁进行增殖试验,表明南麂岛是皱纹盘鲍增养殖的好场所,皱纹盘鲍移植后可以顺利渡过高温期并能正常生长,达到性成熟并繁殖后代<sup>[46]</sup>。实际上,我国为攻克皱纹盘鲍的人工育苗技术,曾自1973年始,分别从大连长海县、山东长岛海区的皱纹盘鲍成体作为亲鲍移植到浙江、福建海区,但这些工作的目的不是为了投放在自然海区的增殖,而是为了利用这些海区自然条件开展室内陆基的人工育苗工作<sup>[29, 45]</sup>。

我国自20世纪80年代开始皱纹盘鲍人工种苗的底播放流工作。皱纹盘鲍放流水域的选择极为重要,这主要是由于皱纹盘鲍在自然海区中活动范围较小,不容易寻找到适宜的生息场地。我国初期在

皱纹盘鲍底播增养殖场地的选择上多借鉴日本相关经验<sup>[8, 47-48]</sup>, 皱纹盘鲍的增殖场要求在水清流急、盐度高、海藻丰茂的岩礁底质海区, 往往是海岛或者海岸突出的半岛、海湾、岬角为好。丰富的大型藻类在鲍底播增殖场的选择中很重要, 它们不仅提供饵料来源而且还提供良好的掩蔽场所<sup>[8, 49]</sup>。对于皱纹盘鲍放流场所, 大都是基于早期对皱纹盘鲍自然采捕海区条件的对照分析, 经验性报道居多。已报道开展皱纹盘鲍底播增养殖试验及生产的海区集中于大连东南海区、长山群岛的獐子岛, 以及内长山列岛的砣矶岛、黑山岛、钦岛、隍城岛, 荣成的成山镇北面等海区, 这些场所开展的皱纹盘鲍底播增养殖试验或生产为现今皱纹盘鲍的底播增养殖产业提供了宝贵的资料, 对适宜增殖场的选择具有重要指导意义。

我国皱纹盘鲍人工种苗底播养殖试验的首次报导是在福建省, 该省东山县东沈大队 1975 年采取标志物方法放流稚鲍 4 500 余个, 1977 年回捕 470 余个, 回捕率 10% 以上; 1976—1978 年连续放流稚鲍 27 000 余个, 1980 年捕回约 200 斤鲍鱼。从总的回捕量来看, 进行鲍的自然放流作为增加资源的补充量, 对提高鲍的产量有积极作用, 并从 1979 年开始尝试了构建人工鲍礁的工作<sup>[50-51]</sup>。浙江南麂岛除 1980 年投放引进原分布黄海的皱纹盘鲍自然种苗外, 1981 年又投放 0.3~0.7 cm 自育稚鲍 2.5 万余只, 幼鲍 18~20 个月壳高净增长 3.5 cm 左右, 最快达 4.5 cm<sup>[46]</sup>。我国大连长海县在成功解决皱纹盘鲍人工育苗问题后, 自 1987 年开始与辽宁省海洋水产研究所合作开展了皱纹盘鲍的底播增殖试验<sup>[52]</sup>, 分别于 1987 年 10 月和 1988 年 9 月底播种苗 5.45 万、5.5 万粒, 平均壳长 2.0~2.4 cm, 经过多次跟踪调查, 至 1990 年 9 月对底播最终结果进行了现场验收, 结果估算底播 2 cm 以上种苗经 3 周年后回捕率可达 30%~40%。自 1991 年在大连市西南海区作为试验海区, 放流壳长 1.0~3.7 cm、平均 1.93 cm 的皱纹盘鲍种苗 3.18 万个, 放流 3 年后进行回捕, 调查结果表明放流后 3 年的推算回捕率达 31.6%, 壳长平均年增长 1.96 cm<sup>[53]</sup>。

山东省长岛曾在 1990 年先后在大黑山岛、南长山海区及砣矶岛海区分别底播壳长 2~3 cm 皱纹盘鲍人工种苗 1.0、1.5 和 40 万粒, 在 1991 年 5 月调查结果表明各海区种苗长势良好, 平均每月壳长增长 0.12~0.19 cm, 该试验未给出相关的存活情况数

据<sup>[54]</sup>。而在砣矶岛同一底播海区底栖生物的资源量调查发现, 自 1992 年 7 月到 1994 年 5 月, 皱纹盘鲍的生物量由 8.62 g/m<sup>2</sup> 增加到 18.38 g/m<sup>2</sup><sup>[55]</sup>, 虽然未有严格证据, 但这侧面表明增殖放流皱纹盘鲍在长岛砣矶岛海区可取得良好效果。基于长岛周围水域的生态地理环境及试验性底播结果, 20 世纪 90 年代以来, 在基础设施不断改善、有关技术难题被逐个攻破的基础上, 皱纹盘鲍生产性的底播养殖规模迅速扩大<sup>[56]</sup>。据报导, 长岛在 1990—1995 年期间共底播鲍苗 6 000 多万个, 投入种苗及用工等项生产费用 1.3 亿元, 回捕的商品鲍销售收入 7.8 亿元, 获利 6.5 亿元<sup>[57]</sup>。柳忠传<sup>[57]</sup>还报道了通过在该县大钦岛、砣矶岛等海区开展了不同密度皱纹盘鲍底播增殖试验, 结果表明回捕率大约在 30% 左右。从以上报导可以看出我国在 20 世纪 80 至 90 年代开展的皱纹盘鲍底播增养殖试验和生产取得了一定的效果和经济效益(见表 1), 但相关研究也指出该时期皱纹盘鲍种苗增殖放流的主要问题一是种苗规格问题, 大规格种苗(壳长 3 cm)可达到理想回捕率, 但如果想达到大规格种苗, 其种苗生产工艺、中间育成技术需进一步优化, 且费用较高; 二是底播流放的死亡多发生在底播初期几个月内, 这是底播增养殖的关键难题<sup>[52-63]</sup>。此外, 我国这一时期皱纹盘鲍底播增养殖技术包括增殖场选择、放流技术、种苗选择等核心技术大都基于经验性分析, 缺乏严密的科学依据。

### 2.3 我国北方皱纹盘鲍底播增养殖现状

进入 20 世纪 90 年代后期, 尤其病害重创我国北方皱纹盘鲍人工养殖产业, 浅海筏式养殖、人工育苗产业接连出现暴发性死亡, 人工种苗的问题又一次影响我国北方皱纹盘鲍底播放流工作。虽然之后采取种群间杂交技术使皱纹盘鲍养殖产业复兴, 同时杂交种苗的高温耐受性也推动福建成为皱纹盘鲍种苗和养殖主产区, 然而, 种苗种质混杂以及南方繁育种苗等种苗越冬存活率已成为阻碍我国皱纹盘鲍底播增养殖产业的主要问题。自 20 世纪 90 年代后期到 21 世纪初已很少有自然海区的人工种苗的增殖放流工作的文献或报导。在这一时期, 随着国家对海洋牧场建设、资源修复的重视, 鲍鱼礁的投放在山东、大连多地展开。如山东在青岛、长岛等地投放鲍鱼礁的海底面积达分别达 5 300、6 500 m<sup>2</sup>; 山东荣成的成山、俚岛, 大连长海县等也在国家经费支持下分别在 20 世纪 90 年代、21 世纪初开展了鲍鱼礁

表 1 我国 20 世纪 80—90 年代北方海区皱纹盘鲍试验性及生产性底播增殖情况

Tab. 1 Experimental and commercial seed release and sea ranching of the Pacific abalone during the 1980s–1990s in northern China

编号	底播海区	底播年份	种苗规格/cm	种苗数量/万	调查/收获日期	调查/收获平均规格 <sup>a</sup>	回捕率	相关文献
1	大连獐子岛	1987—1988	1.2~3.4	5.45/5.5	1990.9	65.5~77.5cm; 37.4~64.7 g	30%~40%	[52]
2	长岛大黑山岛、 南长山岛、 砣矶岛	1990	2~3	42.5	1991.5	2.43~4.94cm	—	[54]
3	大连西南海区	1991	1.0~3.7	33.18	1994	8.0 cm; 82.7 g	31.60%	[53]
4	长岛砣矶岛	1993	—	—	1995	6 cm 以上	—	[55]
5	长岛钦岛、 砣矶岛	1990	2.5~2.7	—	1992.5	82.9~87 g	29%~32.4%	[57]
6	荣成	1992	3.0	—	1993.5	6.50~6.61 cm; 40.8~43.0 g	—	[70]

注：<sup>a</sup>该列所列 cm 单位的数据为壳长数据，所列 g 单位的数据为体重数据

体的投放<sup>[58-59]</sup>。虽然有诸多有关皱纹盘鲍人工礁体的投放报导，但总体上仍缺乏有关鲍鱼礁投放效果的评价，仅有吴忠鑫等<sup>[59]</sup>利用俚岛人工鱼礁生态系统 Ecopath 模型估算了该生态系统中主要增殖种类皱纹盘鲍的生态容纳量，结果显示皱纹盘鲍的生态容纳量占估算生态容纳量的 22.34%，仍具有一定的增殖空间；许禛行等<sup>[60]</sup>基于 Ecopath 模型研究獐子岛人工鱼礁海域生态系统结构和功能变化，结果表明獐子岛海域人工鱼礁区生态系统中皱纹盘鲍的猎物重叠度指数平均值有所上升。通过以上报道可以看出，有关人工投礁对皱纹盘鲍底播增殖影响及效果评价在我国仍处于初级阶段。不仅如此，适宜底播的人工种苗问题、人工投礁是否对栖息地造成破坏、以及随着浅海各种类水产养殖活动的持续增强、敌害问题等都成为开展北方皱纹盘鲍增殖工作亟需解决的重要问题。

近年来，随着杂交技术的产业化应用推动鲍养殖产业南移，福建鲍产量已占到全国总产量 16.3 万吨(2018 年)的 82.7%，而北方鲍浅海筏式养殖产业受养殖周期、成本和市场价格的冲击已严重萎缩。不仅如此，随着我国养殖水域滩涂规划的制定与实施，鲍等浅海养殖空间将越来越被压缩，但底播皱纹盘鲍作为不同于浅海养殖鲍的“差异化”产品，需求情势看涨，并在近几年呈现供不应求态势。2009 年以来，在国家贝类产业技术体系支撑下，通过产学研平台建设，相关单位收集了包括我国长岛、长海、青

岛等野生或底播亲本种群，构建了国内皱纹盘鲍种质库<sup>[67]</sup>；联合沿海龙头企业，在北黄海獐子岛等海区开展了皱纹盘鲍增殖试验与生产性示范，并于 2013 年提出“北鲍北养”的产业发展思路<sup>[61]</sup>。“北鲍北养”主要是指以我国北方海区唯一自然分布的皱纹盘鲍为种质，在我国北方的大连、烟台、威海及青岛等黄渤海海区，针对皱纹盘鲍增殖产业日益萎缩的现状，以及养殖周期长、越冬死亡率高、产品同质化等产业问题，通过持续开展皱纹盘鲍原种保护、栖息地修复以及适于北方海区环境条件下的本地优质人工种苗繁育与中间育成、底播增殖、大型网箱或工船养殖装备等技术研发、集成与优化，达到关键产业技术突破、增殖产品差异化，重振北方鲍产业的目标。在皱纹盘鲍底播增殖方面，近年来通过产学研平台开展持续技术优化，在抗低温种苗品系培育，优化底播种苗培育技术工艺，解决底播初期、越冬期高死亡率等关键问题获得突破<sup>[13]</sup>，自 2015 年起底播皱纹盘鲍进入渔获，每年可计划性采收数量达数吨以上<sup>[62]</sup>。

### 3 现阶段发展皱纹盘鲍底播增殖主要问题、发展趋势及政策建议

通过对我国自 1958 年以来有关皱纹盘鲍的研究分析，特别是自 20 世纪 80 年代末开始到现阶段皱纹盘鲍底播增殖试验和生产的回顾，可发现我国皱纹盘鲍底播增殖工作存在以下主要问题。

### 3.1 缺乏规划, 目标不清晰

皱纹盘鲍底播增殖等增殖放流是一项集水产养殖、渔业资源、渔业捕捞、环境保护、渔业管理等众多学科为一体的物种保护和资源增殖措施。在皱纹盘鲍底播增殖过程中, 对放流水域环境、皱纹盘鲍基础生物学及生态学习性的研究不够。更为严重的是, 目前包括长海县、长岛县等我国历史上重要皱纹盘鲍资源分布区, 近岸几百米或几公里海区大都被私人或公司承包, 这种事实加上管理方式各自为政、形不成合力, 而且管理与科研脱节, 基础研究不足, 缺乏制定行之有效的底播增殖规划和目标。我国在早期已制定过有关包括皱纹盘鲍等规划<sup>[63]</sup>, 定性、描述性依据较多, 缺乏科学依据, 盲目性较大。

已有的皱纹盘鲍底播增殖活动在不同程度上缺乏有效目标的建立, 如适宜底播海区的等级划分、底播后不同阶段种苗的存活与生长、回捕率数据的科学估算、底播皱纹盘鲍进入渔获的时机和渔获量、底播活动的经济效益估算、自然资源的有效补充、生态容量和生态效益的估算等等都是皱纹盘鲍底播增殖工作的目标, 但不同海区、不同时期等的目标仍不清晰, 将制约有关皱纹盘鲍底播增殖活动的开展。

### 3.2 底播的人工种苗质量缺乏有效评价的方法及标准

我国自 20 世纪 70 年代起成功解决皱纹盘鲍的人工种苗繁育技术后, 鲍的人工养殖发展迅速, 且福建等南方海区已成为鲍养殖中心, 而我国皱纹盘鲍野生群体在 20 世纪 90 年代末至 21 世纪初已近枯竭。在此背景下, 适宜北方海区底播环境条件的皱纹盘鲍人工种苗其质量缺乏有效评价方法和标准。这主要体现在: 一是遗传学评价, 随着种群间或种间杂交技术的产业化应用及原种皱纹盘鲍野生群体的近枯竭, 开展底播增殖人工苗种是否确定为纯种皱纹盘鲍、是否为本地种群仍缺乏研究和报导; 急需开展有关底播皱纹盘鲍人工种苗的遗传学评价, 包括纯种皱纹盘鲍及遗传渐渗、不同种群特异性分子标记等开发等; 二是底播苗种规格评价。皱纹盘鲍不同底播规格显著影响底播成活率、回捕率等效果, 适宜黄渤海海区底播苗种体尺规格的评价将是开展该项工作的前提之一; 三是行为学评价。作为不同于其他贝类的皱纹盘鲍, 具有主动性的觅食、索饵行为, 可短距离移动、躲避敌害的行为等。目前市场上皱纹盘鲍人工种苗大都采用多代人工选育或繁育群体

作为亲本, 不同来源的种苗其行为是否适宜黄渤海底播海区环境条件, 不同繁育工艺(如常温育苗、升温水育苗、南方异地育苗)下的种苗其底播后行为学是否存在差异等, 仍缺乏报导。因此需要开展不同来源、不同工艺繁育苗种在底播环境下皱纹盘鲍种苗的行为学评价, 主要聚焦于底播后扩散行为、冬季低水温期下潜行为、敌害逃避行为等的评价方法和指标的建立; 四是营养和生理学评价。开展皱纹盘鲍底播前苗种的营养学评价主要包括肥满度、畸形率等显著影响底播效果的指标的检测。生理学方面, 包括开展皱纹盘鲍人工种苗底播时麻醉、包装、运输等过程中不同操作、不同条件、不同温度、不同运输时间等将如何影响底播种苗的生理状态, 相关的糖原、生理相关酶活及基因表达水平变化等也需建立相关评价方法和指标。因此, 底播种苗的遗传学、规格、底播种苗的行为、生理及状态等评价技术和标准仍待研发。

### 3.3 增殖放流场的选择盲目性大, 科学依据不足

皱纹盘鲍在自然海区中活动能力低, 不大容易主动寻找适宜的生息场地, 因此放流种苗水域的选择极为重要。本文作者团队及相关合作单位在北黄海的实践表明, 仅仅一味的追求放流数量并不能保证取得较好的回捕量, 某些海区底播种苗数量无论投放增加几倍仍没有效果。我国历史上皱纹盘鲍放流场所的认知方面, 虽然报导较多, 但对于场所的选择标准缺乏深入研究及科学依据, 大都是基于早期对皱纹盘鲍自然采捕海区条件的对照分析, 经验性居多, 如对于藻床这种掩蔽场所的作用机制等缺乏深入研究等等。不仅如此, 我国自 20 世纪 80 年代开始将近 30 年高负荷的人工养殖, 特别是诸如扇贝、牡蛎等浅海养殖与底播增殖海区距离较近, 相关敌害生物种类、丰度等已发生显著改变, 在现今近海岩礁区皱纹盘鲍敌害生物如何清除, 以及适宜底播种苗规格是否变化等均需深入研究; 全球变暖对自然海区栖息地的影响, 如藻床变化, 竞争者如海胆类生物数量急剧增加等, 也是影响皱纹盘鲍放流水域选择的重要因素, 因此皱纹盘鲍底播增殖水域的选择也是重要问题之一。

### 3.4 皱纹盘鲍底播放流后管理缺失, 评价与评估技术滞后

我国已有的皱纹盘鲍种苗放流及底播增殖工

作中,底播后生物资源变动情况的科学评价技术有待研究,主要体现在:(1)对放流的水生生物采用标志-回捕分析技术进行回捕率的估算是国内外评价海洋生物资源增殖放流效果的主要方法<sup>[64-65]</sup>,虽然在鲍科动物中有标记方法的报导,但在实际中较缺乏应用;(2)回捕率数据的评价指标混乱,如框物法<sup>[18]</sup>、单位时间同一潜水员回捕数相对比较法<sup>[52]</sup>、生产性回捕数据的方法<sup>[53, 66]</sup>等,各种方法均有明显的优缺点,相互之间缺乏可比较性;(3)缺乏长期连续观测与调查,底播后不同阶段的调查缺乏连贯性与持续性,影响底播效果的关键时期把握不清晰;(4)缺乏对底播环境、底播皱纹盘鲍生态与行为、岩礁底质、海流等物理场的评价,进而影响对增殖场标准的把握及放流效果的评价。

我国已有的皱纹盘鲍种苗放流及底播增殖工作往往缺乏有效的管理,增殖放流配套措施有待加强。比如在进行皱纹盘鲍增殖放流的同时,未采取有效的保护措施,无专门管理机构,或者承包水域的单位缺乏对放流种苗进行管理,往往会由于敌害及竞争者富集、天然水体渔业功能退化和水域生态环境恶化,对放流种苗构成威胁,最终影响底播增殖效果;不注重制定实施与增殖放流配套的相应管理措施,加强放流水域的管理,造成放流种苗过早被利用或者偷捕,底播增殖活动就无法起到预期效果。最后,底播鲍种的遗传结构和遗传多样性缺少研究,是否会与野生种群交配而发生遗传渐渗,皱纹盘鲍的底播增殖对野生种群资源的遗传影响也缺乏评价。

### 3.5 我国皱纹盘鲍底播养殖产业发展的政策建议

针对以上产业问题,我们提出如下政策建议。

#### 3.5.1 做好黄渤海皱纹盘鲍底播增殖规划,研发底播生境适宜性评价技术与等级划分方法

目前,我国皱纹盘鲍等鲍养殖产业已从传统的辽鲁等北方海区转移至福建,皱纹盘鲍种苗的底播与增殖将是北方鲍产业的出路之一。今后工作中要保证达到皱纹盘鲍底播增殖预期效果,首先需要对相关底播增殖水域开展区划研究,有效识别海洋自然条件和海岛社会经济条件的地域差异,开展底播增殖受环境条件的影响程度研究与评价,需因海制宜,根据海域的地理位置、海域环境的理化等等采用定性与定量相结合的方法进行区域划分。这方面的工作也应结合建国后我国辽东和山东半岛等北方海区皱纹盘鲍生物资源调查资料,这些资料可

为指导现阶段底播区划等提供参考数据。

适宜皱纹盘鲍底播增殖海域的选择及等级划分,需在前人研究及实践基础上充分考虑影响回捕率等效果的主导因素及其作用差异,突出主导因素的作用,同时要把定性、经验化的东西定量化,在确定等级时应以定量为主、定量与定性相结合,尽量减少主观臆断。因此需采用科学方法开展黄渤海皱纹盘鲍底播生境适宜性评价与等级划分技术研发。通常采用栖息地适宜性指数模型构建的方法<sup>[68]</sup>,该模型方法主要是通过对获取底播经济动物资源密度以及藻类、敌害生物丰度等数据,结合 FVCOM 物理海洋学模型,利用提升回归树模型确定各环境因子的权重,采用算术平均法(AMM)和几何平均法(GMM)构建底播皱纹盘鲍生境适宜性评价生态模型,查明其最适栖息地环境因子时空变化规律,研发适于我国黄渤海海区的底播皱纹盘鲍物栖息地适宜性评价与大规模底播增殖海区等级划分技术。

#### 3.5.2 构建皱纹盘鲍标准化底播生态增殖技术与模式

我国皱纹盘鲍底播海区多集中于北方的山东省长岛县、辽宁省长海县等离岛水域,根据其特点,在今后应研发皱纹盘鲍基于离岸岛礁型底播环境的增殖技术与模式,而标准化、机械化、信息化是我国浅海生态增殖的发展趋势。应基于生态学原理,开发标准化皱纹盘鲍底播增殖技术,其中包括:1)适宜北方海岛底栖环境放流人工苗种的标准化,建立抗低温皱纹盘鲍新品系规模化种苗繁育、越冬与野化技术,进而通过对人工种苗开展生理、行为、营养及遗传来源评价,筛选适宜底播环境的人工苗种,并将相关质量评价指标标准化;2)放流技术的标准化,包括优化皱纹盘鲍标志物-放流技术,为解决底播初期及越冬期高死亡等问题,需从苗种质量、底播放流时节、苗种规格、敌害控制、竞争者清除、藻床及岩礁底质、流场类型等方面开展标准化技术研发;3)底播放流后效果的评价标准化,开发基于视频、传感等的底播生物识别大数据技术,基于数据共享与多源异构数据融合建立浅海生态增殖大数据多模态智能分析、自动化反馈和增殖全过程信息化、标准化平台。

#### 3.5.3 做好底播后管理,建设我国皱纹盘鲍原种保护区

皱纹盘鲍底播增殖工作不单纯是人工种苗放流和驯化移植的问题,还应当包括渔场改造、底播放流效果评价、加强管理控制捕捞的问题。增殖资源

可以认为是用一定的手段对渔业进行科学管理,而种苗底播放流只是手段或流程之一。针对底播后管理技术与平台落后的局面,今后需开发由基于经验的管理转向基于数据的管理。随着信息产业的发展,物联网、大数据、云计算、智能装备等进入现代农业领域,作为未来发展方向之一的智慧渔业,也将为皱纹盘鲍底播增养殖管理提供数据采集及分析平台。基于大数据智能化分析的智慧渔业主要包括在线监测、大数据分析和信息化平台三个关键技术环节。如在数字传感、图像识别等新兴技术的支撑下,将可实现用手机、iPad 等移动终端随时随地查看底播海区鲍实时生长状态监测、现存量、日常管理优化措施提醒、员工操作合理性判断等多种功能;同时,通过相关生态模型的嵌入,还可以实现成活率、回捕率情况模拟,为底播增殖、收获、销售管理提供决策支持,大幅提升了鲍增养殖的生产效率、管理效率和风险防控效率。我国包括鲍等海水增养殖领域的信息化建设尚在探索阶段,一些政府部门、科研单位和企业 在浅海增养殖区建立了部分环境资源实时监测系统,但存在增养殖全过程信息化程度不高、数据共享与多源异构数据融合不够、多模态智能分析不足等关键问题,其工作还需进一步加强。

此外,鉴于历史上不同发展阶段皱纹盘鲍酷捕滥采导致资源严重衰退的教训,以及资源保护的有关经验,在今后皱纹盘鲍底播增养殖工作中应着重加强皱纹盘鲍原种的保护力度,建议设立皱纹盘鲍原种保护区。如 20 世纪 80 年代在獐子岛采取管养和轮播轮捕相结合的管理措施、小长山岛南坨子海区海珍品自然保护区等均取得良好效果<sup>[21, 69]</sup>。在山东长岛海区我国还设有省级皱纹盘鲍原种场保护区,建设地点设在长岛县南隍城岛,建议配套增建皱纹盘鲍原种资源场在今后工作中应加大对原种的保护和管理力度。

#### 3.5.4 因时制宜,制定我国皱纹盘鲍底播增养殖产业可行性目标

我国在过去的 40 多年中实施了通过种苗底播项目,在刚开始阶段是为提高种群资源量为主要底播放流目标,但是到 20 世纪 80—90 年代底播增养殖的目标逐渐转向“放流-生长-捕获”这一养殖收获为主要目标;实际上我国自 20 世纪 60 年代以来皱纹盘鲍渔获量迅速下降,而且在许多实施底播放流种苗的地区并未开始增加资源量。因此在今后我国北方皱纹盘鲍底播增养殖工作中应制定切实可行的底播放

流目标,首先应针对底播过程中关键产业问题,如底播初期、越冬高死亡率问题,设定提高 1 龄种苗的存活率和回捕率为阶段目标,进而提高总体收获期的回捕率和收获规格为目标;只有在解决上述问题之后,我们才应将研究焦点从底播增养殖转向渔业资源管理,重点对皱纹盘鲍的繁殖潜力、繁殖策略和种群结构进行适应性管理;应该重新考虑我国沿海皱纹盘鲍资源的渔业管理政策和法律法规,从而真正实现皱纹盘鲍生物资源由底播增养殖(即 sea ranching)向种群增殖(stock enhancement)、种群恢复(restocking)转变<sup>[11]</sup>,和可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 吕端华. 中国近海鲍科的研究[C]//海洋科学集刊. 北京: 科学出版社, 1978, 14: 89-100.  
Lü Duanhua. A study on the Haliotis from the coast of China[C]//Studia Marina Sinica. Beijing: Science Press, 1978, 14: 89-100.
- [2] 聂宗庆. 鲍生物学的研究[J]. 国外水产, 1980, 7-11.
- [3] Sakai S. Ecological studies on the abalone, *Haliotis discus hannai* Ino-I. Experimental studies on the food habit[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1962, 28: 766-779.
- [4] Uki N, Watanabe T. Review of nutritional requirements of abalone (*Haliotis* spp.) and development of more efficient artificial diet[C]// Shepherd S A, Tegner M J, Guzman Del Proo S A. Abalone of the World[M]. Oxford: Fisheries, Biology and Culture, Fishing News Books, 1992: 504-517.
- [5] 李元山, 牟绍敦, 冯月群, 等. 海珍品综合增养殖中的种间关系和生态容纳量的研究[J]. 海洋湖沼通报, 1996, (1): 24-30.  
Li Yuanshan, Mou Shaodun, Feng Yuequn, et al. Study on the interspecific relationship and ecological capacity in rare marine animals culture[J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 1996, (1): 24-30.
- [6] 张昭. 在全国海珍品增养殖座谈会开始时的讲话[C]//全国海珍品增养殖座谈会材料汇编. 北京: 国家水产总局养殖公司, 1982: 1-6.
- [7] 张玺, 谢玉坎. 我国一些主要贝类的养殖[J]. 生物学通报, 1960, 197-201.
- [8] 聂宗庆. 鲍增养殖研究的新进展[J]. 海洋湖沼通报, 1982, (3): 67-75.  
Nie Zongqing. Advances in propagation of abalones[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1982, (3): 67-75.
- [9] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.  
China Bureau of Fisheries. China Fishery Statistical

- Yearbook[M]. Beijing: Agricultural Press of China, 2019.
- [10] 邓景耀. 海洋渔业资源保护与可持续利用[J]. 中国渔业经济, 2000, (6): 21-22.  
Deng Jingyao. Marine Fisheries resources conservation and sustainable utilization[J]. Chinese Fisheries Economics, 2000, (6): 21-22.
- [11] Bell J D, Leber K M, Blankenship H L, et al. A new era for restocking, stock enhancement and sea ranching of coastal fisheries resources[J]. Reviews in Fisheries Science, 2008, 16(1-3): 1-9.
- [12] 柯才焕. 我国鲍鱼养殖产业现状与展望[J]. 中国水产, 2013, (1): 27-30.  
Ke Caihuan. Present status and prospects of abalone farming industry in China[J]. China Fisheries, 2013, (1): 27-30.
- [13] Wu F C, Zhang G F. Pacific abalone farming in China: recent innovations and challenges[J]. Journal of Shellfish Research, 2016, 35(3): 703-710.
- [14] 杨瑞琼, 游锦华, 蔡天来. 杂色鲍自然海区人工放养的初步试验[J]. 水产学报, 1985, (1): 79-85.  
Yang Ruiqiong, You Jinhua, Cai Tianlai. Preliminary study on the multiplication and cultivation of abalone, *Haliotis diversicolor* Reeve[J]. Journal of Fisheries of China, 1985, (1): 79-85.
- [15] 寿振黄, 樊宁臣, 钱燕文. 水产实验所胶东沿岸调查采集简报[J]. 科学通报, 1950, 1(6): 408-409.
- [16] 猪野峻. 邦产アワビ属の増殖に関する生物学的研究[J]. 东海区水产研究所研究报告, 1952, 5: 40-67. (日文).  
Ino T. Biological studies on breeding of Japanese abalone[J]. Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory, 1952, 5: 40-67. (in Japanese)
- [17] 辽宁省海洋水产研究所. 鲍鱼人工育苗现状和今后发展问题的讨论[C]//全国海珍品增养殖座谈会材料汇编. 北京: 国家水产总局养殖公司, 1982: 235-243.
- [18] 罗有声, 郑善成, 王世胜. 辽宁鲍鱼资源现状与增养殖途径[J]. 水产科学, 1982, (1): 39-43.
- [19] 郑克昌. 在全国海珍品增养殖座谈会上的发言[C]//全国海珍品增养殖座谈会材料汇编. 北京: 国家水产总局养殖公司, 1982: 100-105.
- [20] 许澄源. 辽宁省长海县近海生态特点与渔业[J]. 水产科学, 1985, (1): 32-36.
- [21] 潘国夫. 发挥海岛优势, 积极发展海珍品生产[C]//全国海珍品增养殖座谈会材料汇编. 北京: 国家水产总局养殖公司, 1982: 50-58.
- [22] 王兴智. 海珍品育苗增养殖情况和发展意见[C]//全国海珍品增养殖座谈会材料汇编. 北京: 国家水产总局养殖公司, 1982: 40-44.
- [23] 李善为, 王中元, 王义荣. 试论海岸带自然资源与开发——以烟台市海岸带为例[J]. 黄渤海海洋, 1987, 5(4): 78-85.  
Li Shanwei, Wang Zhongyuan, Wang Yirong. Preliminary study on the natural resource and exploitation of the coastal zone. For example coastal zone in the Yantai city[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1987, 5(4): 78-85.
- [24] 崔玉珩, 孙道元, 张宝琳, 等. 灵山岛浅海岩礁区底栖生物群落特点[J]. 海洋科学集刊, 1994: 273-280.  
Cui Yuheng, Sun Daoyuan, Zhang Baolin, et al. Characteristics of macrobenthic community of the rocky coastal waters of Ling Shan Island[J]. Studia Marina Sinica, 1994: 273-280.
- [25] Zhang G F, Que H Y, Liu X, et al. Abalone mariculture in China[J]. Journal of Shellfish Research, 2004, 23(5): 947-950.
- [26] 王华斋. 我们是如何搞好海珍品增养殖工作的[C]//全国海珍品增养殖座谈会材料汇编. 北京: 国家水产总局养殖公司, 1982: 25-32.
- [27] 陈木, 卢豪魁, 陈世杰, 等. 皱纹盘鲍人工育苗的初步研究[J]. 动物学报, 1977, 23(1): 35-46.  
Chen Mu, Lu Haokui, Chen Shijie, et al. A preliminary study on the artificial rearing of the larvae and juveniles of *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Acta Zoologica Sinica, 1977, 23(1): 35-46.
- [28] 陈世杰, 陈木, 卢豪魁, 等. 鲍苗的饵料——底栖硅藻培养试验初报[J]. 动物学报, 1977, 23(1): 47-53.  
Chen Shijie, Chen Mu, Lu Haokui, et al. On the foods of abalones—A preliminary report on the culture of benthic diatoms[J]. Acta Zoologica Sinica, 1977, 23(1): 47-53.
- [29] 陈炳能, 谢开恩, 卢豪魁, 等. 皱纹盘鲍南移的初步研究[J]. 动物学报, 1977, 23(1): 30-34.  
Chen Bingneng, Xie Kaien, Lu Haokui, et al. Preliminary investigations on the transplantation of abalones (*Haliotis discus hannai* Ino) from the north to the south[J]. Acta Zoologica Sinica, 1977, 23(1): 30-34.
- [30] 长岛县后口大队, 长岛县水产局, 烟台地区水产研究所. 盘大鲍人工孵化育苗成功[J]. 山东农业科学, 1975, (3): 42-43.
- [31] 山东省长岛县砬砬公社后口大队. 破除迷信 反复实践 海参、鲍鱼、扇贝孵化成功[J]. 动物学报, 1975, 21(4): 293-297.  
Houkou Production Brigade, Tuoji People's Commune, Changdao County, Shandong Province. Success of repeated practice in the hatching of sea-cucumbers, abalones and scallops by doing away with all superstitions[J]. Acta Zoologica Sinica, 1975, 21(4): 293-297.
- [32] 山东省长岛县砬砬公社后口大队, 等. 盘大鲍人工孵化育苗的试验报告[J]. 水产科技情报, 1977, (4): 17-20.
- [33] 维成. 鲍鱼及其人工育苗[J]. 新农业, 1979, (16): 26.
- [34] 杜恩光, 郭荻玲. 皱纹盘鲍人工育苗的初步研究[J].

- 海洋科学, 1981, 5(3): 25-28.
- [35] 魏利平, 王贤枝. 紫外线高照射量诱导皱纹盘鲍催产效果实验初报[J]. 海洋科学, 1981, 5(4): 46-48.
- [36] 姜存楷. 南麂养殖场人工培育幼鲍十六万只[J]. 海洋渔业, 1983, (6): 276.
- [37] 潘智韬, 程国宝, 施维德. 皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino)工厂化育苗技术的研究[J]. 浙江水产学院学报, 1985, 1(2): 127-132.  
Pan Zhitao, Cheng Guobao, Shi Weide. A research on the technique of the industrialized spat breeding of abalone *Haliotis discus hannai*[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1985, 1(2): 127-132.
- [38] 刘永襄, 刘永峰, 隋锡林, 等. 稚鲍饵料的初步试验[J]. 水产科学, 1983, (2): 20-23.
- [39] 高绪生, 刘永峰, 刘永襄. 皱纹盘鲍幼鲍期不同饵料的喂养效果试验[J]. 水产科学, 1983, (4): 11-13.
- [40] 刘永峰, 刘永襄, 高绪生. 稚鲍人工配合饵料的初步研究[J]. 水产科学, 1984, (2): 14-19.
- [41] 吴忠波, 徐涛. 鲍鱼工厂化育苗取得进展[J]. 海洋渔业, 1985, 7(2): 80.
- [42] 聂宗庆, 王素平, 李木彬, 等. 盘鲍引进养殖与人工育苗试验[J]. 福建水产, 1995, (1): 9-16.
- [43] 赵洪恩, 张金世. RHD 鲍育苗新技术的研究[J]. 水产科学, 2000, 19(10): 42-44.
- [44] 中国科学院计划财务局. 中国科学院获 2007 年度国家科学技术奖成果简介(三)[J]. 中国科学院院刊, 2008, (3): 251-259.  
Bureau of Planning and Finance, Chinese Academy of Sciences. Brief Introduction to the Results of the 2007 National Science and Technology Awards (3)[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2008, (3): 251-259.
- [45] 浙江省海洋水产研究所. 鲍鱼南移试样和人工育苗总结报告[C]//全国海珍品增殖座谈会材料汇编. 北京: 国家水产总局养殖公司, 1982: 216-225.
- [46] 国营浙江平阳海带养殖场. 浙江南麂皱纹盘鲍自然增殖试验初报[C]//全国海珍品增殖座谈会材料汇编. 北京: 国家水产总局养殖公司, 1982: 226-228.
- [47] 邓景耀. 日本濑户内海的栽培渔业[J]. 国外水产, 1980, (2): 17-22.
- [48] 隋锡林. 日本鲍、海胆、海参增殖技术现状[J]. 水产科学, 1987, 6(3): 30-35.
- [49] 王义荣, 冯月群. 皱纹盘鲍底播增殖技术[J]. 齐鲁渔业, 2002, (10): 18.
- [50] 陈木. 福建沿海的海珍品及其研究概况[C]//全国海珍品增殖座谈会材料汇编. 北京: 国家水产总局养殖公司, 1982: 100-105.
- [51] 福建省东山县鲍鱼增殖站. 关于鲍鱼、扇贝试验近况的汇报[C]//全国海珍品增殖座谈会材料汇编. 北京: 国家水产总局养殖公司, 1982: 211-215.
- [52] 刘永峰, 刘永襄, 刘仁德, 等. 皱纹盘鲍的底播增殖试验[J]. 海洋水产研究, 1994, (15): 125-129.  
Liu Yongfeng, Liu Yongxiang, Liu Rende, et al. Sowing enhancement experiments in the abalone *Haliotis discus hannai*[J]. Marine Fisheries Research, 1994, (15): 125-129.
- [53] 高绪生, 张明, 李世英, 等. 大连近海皱纹盘鲍的放流增殖效果[J]. 水产科学, 1996, 15(1): 7-9.
- [54] 宋宗贤, 冯月群. 皱纹盘鲍底播放流实验[J]. 海洋科学, 1993, 17(5): 12-14.
- [55] 李元山, 牟绍敦, 冯月群, 等. 皱纹盘鲍的分布水域与种苗放流效果[J]. 海洋湖沼通报, 1997, (4): 48-54.  
Li Yuanshan, Mu Shaodun, Feng Yuequn, et al. Living Environment and stocking seeds of *Haliotis discus hannai*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1997, (4): 48-54.
- [56] 宋滨. 长岛县已形成国内最大的海珍品底播养殖区[J]. 海洋渔业, 1992, (6): 281.
- [57] 柳忠传. 皱纹盘鲍底播放流增殖技术[J]. 海洋信息, 1996, (3): 5-6.
- [58] 涂忠. 山东省渔业资源修复功能区划[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.  
Tu Zhong. The function zoning of the restoration of fisheries resources in Shandong Province[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [59] 吴忠鑫, 张秀梅, 张磊, 等. 基于线性食物网模型估算荣成俚岛人工鱼礁区刺参和皱纹盘鲍的生态容纳量[J]. 中国水产科学, 2013, 20(2): 327-337.  
Wu Zhongxin, Zhang Xiumei, Zhang Lei, et al. Predicting the ecological carrying capacity of the Lidao artificial reef zone of Shandong Province for the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, (Selenck) and the abalone, *Haliotis discus hannai*, using a linear food web model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(2): 327-337.
- [60] 许禛行, 陈勇, 田涛, 等. 基于 Ecopath 模型的獐子岛人工鱼礁海域生态系统结构和功能变化[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(1): 85-94.  
Xu Zhenxing, Chen Yong, Tian Tao, et al. Structure and function of an artificial reef ecosystem in Zhangzi Island based on Ecopath model[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2016, 31(1): 85-94.
- [61] 吴富村, 张国范. 皱纹盘鲍遗传评定研究进展[C]//厦门: 第四届全国鲍鱼产业发展研讨会, 2013.  
Wu Fucun, Zhang Guofan. Progress of genetic evaluation of economic traits in Pacific abalone[C]//Xiamen: The 4th National Abalone Industry Development Congress in China, 2013.
- [62] 青岛海洋科学与技术试点国家实验室. 海洋生物学与生物技术功能实验室张国范研究员团队在北黄海海洋牧场皱纹盘鲍底播增殖取得重要进展[EB/OL]. [2018-11-09]. <http://www.qnlm.ac/page?a=5&b=2&c=>

- 171&p=detail.  
Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao). Significant progress achieved in the sea ranching of Pacific abalone *Haliotis discus hannai* Ino in the North Yellow Sea. [EB/OL]. [2018-11-09]. <http://www.qnlm.ac/page?a=5&b=2&c=171&p=detail>.
- [63] 张耀光. 黄海北部长山群岛海洋农牧化分区探讨[J]. 地理学报, 1991, 58(1): 47-56.  
Zhang Yaoguang. Approach to the regionalization of the agricultural-pastoralization around Chang Shan Islands in northern Huanghai Sea[J]. Acta Geographica Sinica, 1991, 58(1): 47-56.
- [64] 邓景耀, 叶昌臣. 渔业资源学[M]. 重庆: 重庆出版社, 2000.  
Deng Jingyao, Ye Changchen. Fisheries Resources Study[M]. Chongqing: Press of Chongqing, 2000.
- [65] 黄硕琳, 戴小杰, 陈祺. 上海市水域水生生物增殖放流现状和存在问题[J]. 中国渔业经济, 2009, (4): 79-87.  
Huang Shuolin, Dai Xiaojie, Chen Qi. Current situation and existing problems of aquatic species enhancement and releasing in Shanghai water area[J]. China Fisheries Economics, 2009, (4): 79-87.
- [66] Hamasaki K, Kitada S. The enhancement of abalone stocks: lessons from Japanese case studies[J]. Fish and Fisheries, 2008, 9: 243-260.
- [67] Wu F C, Ji Y K, Zhao G R, et al. Development of Pacific abalone (*Haliotis discus hannai* Ino) broodstocks: Initial characterization of early growth traits of F<sub>1</sub> progeny[J]. Journal of Shellfish Research, 2013, 32(1): 45-49.
- [68] Tian S Q, Chen X J, Chen Y, et al. Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommatrephes bratramii* in the northwestern Pacific Ocean[J]. Fisheries Research, 2009, 95(2-3): 181-188.
- [69] 王勇. 獐子乡采取按年轮捕海珍品措施海珍品产量产值明显增加[J]. 水产科学, 1984, (3): 54.
- [70] 张起信, 王立超. 浅谈海底养鲍技术[J]. 海洋科学, 1994, 14(5): 34-35.  
Zhang Qixin, Wang Lichao. Elementary introduction to abalone cultivation techniques at the bottom of the sea[J]. Marine Sciences, 1994, 14(5): 34-35.

# History, current status, and future development of the Pacific abalone seed release and sea ranching in China

WU Fu-cun<sup>1, 2, 3</sup>, QUE Hua-yong<sup>1, 2, 3</sup>, ZHANG Guo-fan<sup>1, 2, 3, 4</sup>

(1. Key Laboratory of Experimental Marine Biology, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China; 3. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266000, China; 4. National and Local Joint Engineering Laboratory of Ecological Mariculture, Qingdao 266071, China)

**Received:** Mar. 25, 2020

**Key words:** Pacific abalone; sea ranching (bottom culture); achievable approaches; development trends

**Abstract:** Pacific abalone, *Haliotis discus hannai*, is one of the native species of mollusks in China, and is naturally distributed in the coastal waters of Liaodong and Shandong Peninsulas in the northern part of the country. The Pacific abalone is known as “the crown of seafood” since ancient times in China. Research studies on this species, including those on the natural resources survey and artificial spawning, were initiated since 1958 in China. After successfully developing the seeds production technology in the 1970s, the experimental seed release and farming of the Pacific abalone were conducted in the 1980s. With the rapid decline of wild resources due to overharvesting in the late 1980s, China began recovering its wild Pacific abalone resources through experimental and commercial artificial seeds release and sea ranching (i.e., bottom culture) technologies. Although positive progress has been recorded in some seed release programs, the resource restoration of the Pacific abalone has not been considerably achieved, as per the expectations of the authorities. Nonetheless, the commercial implementation of crossbreeding technology that commenced in the late 1990s has promoted the prosperity of the abalone breeding industry in China. Later, the north–south interregional farming modes emerged and promoted the farming of the Pacific abalone—a development that involved the shifting of the cultivation area from northern China to Fujian (southern China). The production of the Pacific abalone in the Fujian Province was about 163 000 ton in 2018, which accounted for 82.7% of the country’s total annual yield. However, under the impacts of the breeding cycle, costs and market prices, and the problem of high mortality rate during the overwintering period, the cultivation industry in the northern sea region has been severely shrinking. Against this background, with the support of the China Agriculture Research System, the Industry-Institute (University)-Research Platform was established in 2009, and an industry plan titled “Revitalization Project of Abalone Ranching in Northern China (RPARNC)” was proposed in 2013. Under the conditions of high farming pressures and climate change impacts in the coastal waters of the northern China, the solutions for the successful Pacific abalone ranching in northern China were proposed. Solutions such as the increase in survivals during the early days after seed release and survivals in the overwintering period were implemented in this industry. Through joint cooperation with partners from the industry, the significant progress in the Pacific abalone sea ranching in northern China has been achieved, thus boosting commercial harvests. This study discusses the industrial problems and development trends that are urgently required in the Pacific abalone bottom culture industry in northern China, particularly the achievable approaches. Thus, this study hopes to provide references for the sea ranching, stock enhancement, and restocking of the Pacific abalone in China.

(本文编辑: 丛培秀)