



· 综述 ·

鱼类良种良养良销体系的建立

王石^{1,2}, 许庆林^{1,2}, 覃钦博^{1,2}, 陶敏^{1,2}, 张纯^{1,2},
周毅^{1,2}, 罗凯坤^{1,2}, 胡方舟^{1,2}, 王余德^{1,2}, 刘庆峰^{1,2},
赵如榕^{1,2}, 吴昌^{1,2}, 刘少军^{1,2*}

(1. 湖南师范大学, 省部共建淡水鱼类发育生物学国家重点实验室, 湖南长沙 410081;

2. 湖南师范大学生命科学学院, 多倍体鱼繁殖与育种技术教育部工程研究中心, 湖南长沙 410081)

摘要: 目前我国水产业以养殖为主, 捕捞为辅。在 2022 年的水产品产量中, 淡水养殖占 47.91%, 海水养殖占 33.15%, 捕捞占 18.94%。在水产养殖中, 鱼类养殖产量占 52.16%, 呈现出举足轻重的地位。“良种良养良销”是水产业中三个重要的组成部分, “良种”是水产业的龙头, “良养”是水产业的保障, 加工、销售等“良销”环节是拉动水产业发展的重要动力。20 世纪 50 年代以来, 我国水产业取得了长足发展, 为全国人民提供了丰富的水产品, 解决了“吃鱼难”的问题。然而, 目前我国水产业中有种无业、有业无种等现象还比较严重, 没有从根本上解决“吃好鱼”及“吃放心鱼”的问题, 为了加快我国水产业的发展, 作者认为很有必要建立和实施“良种良养良销”体系, 以推动我国水产业高质量发展。

关键词: 鱼类; 良种; 良养; 良销; 水产业

中图分类号: S 965

文献标志码: A

我国是世界上水生生物种类最丰富的国家之一, 鱼类资源种类繁多, 分布广泛, 据 Fish-base 网站统计数据记录, 我国淡水鱼类有 1 628 种, 海水鱼类有 1 984 种, 商业化推广的重要经济鱼类有 92 种。经过 70 余年的发展, 我国水产业实现了由小到大的历史性跨越, 解决了“吃鱼难”的问题。然而, 我国水产业还存在不少问题, 如在基础研究方面, 对选择育种、杂交育种、雌核发育育种、多倍体育种等传统和经典育种技术的基本原理与作用机制解析仍不系统, 也不完善。在育种技术方面, 鱼类遗传育种技术已从选择育种、杂交育种和雌核发育育种等传统和经典育种技术,

发展至性别控制育种、分子标记辅助选择育种和全基因组选择育种等现代育种技术; 但传统和经典育种技术与现代生物学技术相结合的程度还不紧密, 没有形成具有引领性的综合性育种技术。目前, 选择育种和杂交育种技术仍占据主要地位, 在鱼类新品种中, 通过选择育种育成的品种占比 43.66%, 通过杂交育种育成的品种占比 34.51%。在水产健康养殖方面, 传统的养殖方式已经对环境以及水产品本身造成了较大的危害, 养殖废水的随意排放、养殖饲料中药物的滥用等情况已经不符合健康养殖的发展要求; 除此之外, 随着大众对优质鱼类需求的日益增加, 传统的鱼类养殖

收稿日期: 2023-09-21 修回日期: 2023-10-26

资助项目: 国家自然科学基金 (32293252, 32373119, U19A2040); 湖南省青年科技人才托举工程项目 (2023TJ-N02); 长沙市杰出创新青年培养计划 (kq2107006); 湖南省科技创新计划 (2022RC1162); 岭南现代农业实验室科研项目 (NT2021008); 国家现代农业产业技术体系 (CARS-45); 鱼类生殖发育与遗传育种创新引智基地项目 (D20007); 湖南创新型省份建设专项 (2021NK1010)

第一作者: 王石, 从事鱼类遗传育种研究, E-mail: wangshixyz@126.com

通信作者: 刘少军 (照片), 从事鱼类生殖发育、遗传育种及种业研究, E-mail: lsj@hunnu.edu.cn



方式由于生态效益、经济效益和社会效益较差, 已经不能满足人们的需求, 而这些问题也严重阻碍了水产业的可持续发展。因此传统的养殖发展方式亟待向绿色可持续养殖发展模式转型, 符合绿色发展的生态养殖模式将是我国水产养殖业发展的方向。在水产品销售方面, 水产品的加工、保鲜、销售市场一直是水产品销售三个重要关键点, 目前解决活鱼运输存活问题的冷链物流体系还不够完善, 把良种进行批量加工形成高质量商品的成功例子还偏少, 活鱼冷链物流、优质鱼类深加工等方面有待进一步加强。虽然“良种”是水产业的龙头, 但没有“良养”, “良种”也难以产出高质量的水产品, 同时“良种”也需要“良销”, 这样才能优质优价。因此, 为了加快我国水产业的发展, 作者认为很有必要建立和实施“良种良养良销”体系, 以推动我国水产业的高质量发展。“良种良养良销”体系如图 1 所示, 在“良种”方面, 在实际育种过程中, 必须以“回归自然, 模拟自然”为理念, 减少人为干预, 提高种苗质量, 真正实现生态育种; “良养”方面, 应摒弃对环境具有高污染的传统养殖模式, 采取大水面养殖、稻渔/荷渔综合种养、生态化池塘养殖、生态化设施养殖等养殖模式, 实现养殖模式的生态化、机械化、智能化; “良销”方面, 要提高优质鱼类加工技术, 加强活鱼冷链物流的建设, 拓展销售渠道, 实现鱼类产品的优质优价。

1 加强良种创制, 回归生态育种

1.1 鱼类育种的实际情况

品种创制方面 种业是国家战略性、基础性核心产业, 是农业创新发展的源头动力, 是保障国家粮食安全的坚强基石。农以种为先, 优良品种是水产业健康发展的支撑。2021 年 7 月 9 日, 中央全面深化改革委员会审议通过的《种业振兴行动方案》中明确提出, 要推进我国特色种业创新发展, 提高我国种业企业竞争力, 加快构建具有我国特色的现代种业体系。多年来经过科研人员的辛苦付出, 我国鱼类优良品种数量日益增加, 根据农业农村部 1996—2023 年间每年公布的水产优良品种名单, 鱼类新品种占比 50.18%, 其中淡水鱼类新品种占鱼类新品种比重较大, 达 85.92%; 而海水鱼类新品种创制不仅起步较晚 (2000 年引进第一例海水鱼品种, 2007 年我国创制第一例海水鱼优良品种), 而且创制速度

较为缓慢, 仅占比 14.08%。尽管淡水鱼类新品种数量占比较大, 但主要集中于鲤 (*Cyprinus carpio*)、鲫 (*Carassius auratus*)、罗非鱼 (*Oreochromis spp.*) 三种鱼类新品种上, 它们在淡水鱼类新品种占比分别为 27.87%、14.75% 和 13.11%, 三种鱼类品种加起来的占比率已经超过 50.00%。而作为四大家鱼的青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 和鳙 (*Hypophthalmichthys nobilis*) 的品种创制速度极低, 特别是位于养殖总产量排名第一的草鱼, 至今仍无新品种创制成功的报道; 青鱼至今也无新品种。这些淡水鱼类物种面临着有业无种的被动局面。目前, 四大家鱼中的鲢仅有“长丰鲢”(品种登记号: GS-01-001-2010), “津鲢”(品种登记号: GS-01-002-2010) 2 个新品种; 而鳙仅有“中科佳鳙 1 号”(品种登记号: GS-01-003-2022) 这 1 个新品种。特色淡水鱼是除大宗淡水鱼外的重要淡水养殖品种, 我国的特色淡水鱼主要包括罗非鱼、黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*)、乌鳢 (*Channa argus*)、鳗 (*Anguillidae*)、大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)、翘嘴鳊 (*Siniperca chuatsi*)、黄鳝 (*Monopterus albus*)、泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*)、中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 等, 其产业地位也受到了越来越多的重视。而部分具有一定产业规模的特色淡水鱼, 如泥鳅、黄鳝等尚无新品种。在海水鱼方面, 大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)、鲈 (*Lateolabrax japonicus*)、石斑鱼 (*Epinephelus spp.*)、鲷 (*Pagrus*)、鲆 (*Bothidae*)、卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*)、美国红鱼 (*Sciaenops ocellatus*)、军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)、暗纹东方鲀 (*Takifugu obscurus*)、鲷 (*Seriola quinqueradiata*) 是主要的海水养殖鱼类, 其产量占海水养殖鱼类总产量的 67.18%, 养殖产量排名前 10 的海水鱼类中仅有 4 种鱼类 (大黄鱼、石斑鱼、鲆、卵形鲳鲹) 研制出了新品种。另外, 在休闲渔业总产值占比约 10% 的观赏渔业中^[1], 观赏鱼的品种创制速度也比较缓慢, 在我国公布的水产优良鱼类品种名单中, 具有观赏性价值的鱼类新品种数目仅占 11.27%。除了以上提到的鱼类新品种创制速度缓慢以外, 在已创制出来的新品种中, 具有抗病抗逆性等优良性状的突破性新品种数量还有待增加, 在国家审定的 142 个鱼类新品种中占比 30.99%。

除此之外, 与国外相比, 我国在水产品种创

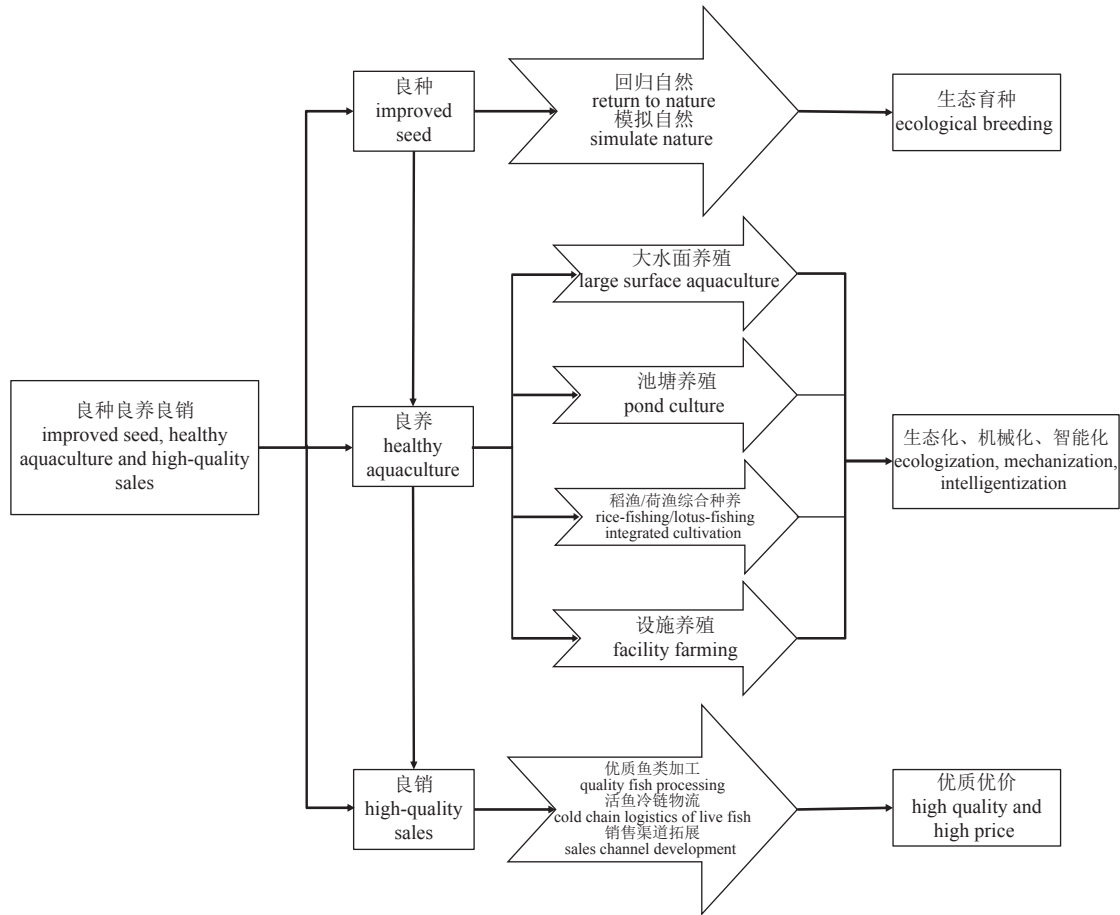


图 1 良种良养良销体系模式图

Fig. 1 Model diagram of improved seed, healthy aquaculture and high-quality sales system

制方面还有一定程度的差距。国外的水产种业总体规模不如我国，但国外大多数国家水产种业高度密集，良种覆盖率较高，苗种质量稳定^[2]。如挪威的大西洋鲑 (*Salmo salar*)，经过几代的选育培育，其良种养殖产量约占全球养殖产量的 30% 以上。日本培育出来的抗淋巴囊肿病牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 在日本市场的占有率达 30%。美国培育出来的三倍体长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 在美国市场的占有率达 70%。美国培育的高产抗逆的凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 良种已垄断了国际养虾业^[2]。

育种技术方面 在育种技术方面 (表 1)，我国水产业以传统的育种技术为主。在 1996—2023 年全国水产原种和良种审定委员会审定通过的 142 个鱼类新品种中，按照审定种类划分，其中选育品种有 62 个，占比 43.66%；杂交品种 49 个，占比 34.51%。除了选择育种和杂交育种等传统的育种技术之外，雌核发育育种和多倍体育种等经典育种技术在鱼类新品种创制过程中也占

据着重要地位，如结合利用雌核发育育种技术培育而来的异育银鲫 (*C. auratus gibelio*)“中科 3 号”(品种登记号：GS-01-002-2007) 和“中科 5 号”(品种登记号：GS-01-001-2017)、大黄鱼“闽优 1 号”(品种登记号：GS-01-005-2010)；利用多倍体育种技术培育而来的湘云鲤 (品种登记号：GS-02-001-2001) 和湘云鲫 (品种登记号：GS-02-002-2001)；结合雌核发育育种技术和多倍体育种技术培育而来的湘云鲫 2 号 (品种登记号：GS-02-001-2008)。

现代育种技术种类繁多 (表 1)，如性别控制育种、分子标记辅助选择育种和全基因组选择育种等技术，但利用这些现代育种技术研制出的鱼类新品种基本上都要结合利用传统和经典的育种技术，说明传统和经典的育种技术有不可替代的优势。如利用单性控制育种技术培育而来的罗非鱼“粤闽 1 号”(品种登记号：GS-04-001-2020) 结合了杂交育种技术；利用单性控制育种技术培育而来的黄颡鱼“全雄 1 号”(品种登记号：GS-04-001-2010)、黄姑鱼 (*Nibea albiflora*)“全雌 1 号”(品种登

表 1 鱼类各育种技术的发展历程、特点和品种代表

Tab. 1 The development history, characteristics of various breeding techniques of fish, and the representative of varieties

育种技术 breeding techniques	起始时间 start time	兴起时间 rise time	特点 characteristics	品种代表 representative of varieties
选择育种技术 selective breeding techniques	1800多年前, 红色或金色鲫突变体的发现和金鱼(<i>Carassius auratus</i>)选育 ^[30]	20世纪20年代	操作简单, 技术难度较小	兴国红鲤(<i>Cyprinus carpio</i> var. <i>singuenensis</i>)(品种登记号: GS-01-001-1996); 团头鲂(<i>Megalobrama amblycephala</i>)浦江1号(品种登记号: GS-01-001-2000); “新吉富”罗非鱼(品种登记号: GS-01-001-2005); 黄姑鱼“金鳞1号”(品种登记号: GS-01-002-2016); 镜鲤“龙科11号”(品种登记号: GS-01-001-2022)
杂交育种技术 hybrid breeding techniques	1920年, 翻车鲀(<i>Mola mola</i>)的杂交 ^[31]	20世纪50年代末	能急剧地动摇遗传的保守性, 使杂交后代的遗传性具有更大的可塑性, 丰富遗传结构, 容易产生超亲代的优良性状, 使杂交后代的表现型和基因型都发生改变	湘云鲤(品种登记号: GS-02-001-2001); 湘云鲫(品种登记号: GS-02-002-2001); 杂交翘嘴鲂(品种登记号: GS-02-004-2014); 合方鲫(品种登记号: GS-02-001-2016); 合方鲫2号(品种登记号: GS-02-001-2022)
雌核发育育种技术 gynogenesis breeding techniques	1932年, 美洲帆鳍(<i>Mollienisia formosa</i>)实验 ^[32]	20世纪80年代	有利于提高遗传纯合度和品系选育效率, 迅速淘汰隐性有害基因, 培育出具有较高优势性状的品系或品种	异育银鲫“中科3号”(品种登记号: GS-01-002-2007); 湘云鲫2号(品种登记号: GS-02-001-2008); 异育银鲫“中科5号”(品种登记号: GS-01-001-2017)
分子标记辅助育种技术 molecular marker assisted breeding techniques	1987年, 从同工酶等标记选育出高体型异育银鲫 ^[33]	20世纪90年代	能有效地促进选择育种从传统表型向基因型和分子水平为依据的革命性转变, 目标性状的选择更加精确和高效	“夏奥1号”奥利亚罗非鱼(<i>Oreochromis aureus</i>)(品种登记号: GS-01-002-2006); 建鲤2号(品种登记号: GS-01-004-2021)
全基因组选择育种技术 genome-wide selective breeding techniques	2000年, 第一个水产动物红鳍东方鲀(<i>Takifugu rubripes</i>)基因组测序完成 ^[34]	21世纪初	有利于基因组信息的深入挖掘, 获得重要经济性状的遗传信息, 缩短育种周期	牙鲆“鲜优2号”(品种登记号: GS-02-005-2016)
单性控制育种技术 unisexual controlled breeding techniques	1960年, 利用种间杂交研制了全雄罗非鱼 ^[35]	21世纪10年代末	通过性别控制来进行优势单性群体的养殖, 获得较高的经济效益	黄颡鱼“全雄1号”(品种登记号: GS-04-001-2010); 尼罗罗非鱼(<i>Oreochromis niloticus</i>)“鹭雄1号”(品种登记号: GS-04-001-2012)
多倍体育种技术 polyploid breeding techniques	1959年, 三棘刺鱼(<i>Gasterosteus aculeatus</i>)多倍体诱导成功 ^[36]	20世纪90年代末	培育出具有较高科研价值和应用意义的多倍体鱼	湘云鲤(品种登记号: GS-02-001-2001); 湘云鲫(品种登记号: GS-02-002-2001); 湘云鲫2号(品种登记号: GS-02-001-2008); 长丰鲫(品种登记号: GS-04-001-2015)
细胞核移植技术 nuclear transfer techniques	1963年, 童第周通过细胞核移植获得多种核质杂种鱼 ^[37]	20世纪80年代	有利于打破种间生殖隔离	无
生殖干细胞和生殖细胞移植技术 germ stem cells and germline transplantation techniques	2003年, Takeuchi获得了鱼类的第一个原始生殖细胞移植体系 ^[38]	21世纪10年代	为濒危种质资源的保护和恢复以及遗传育种提供了新的思路和方法	无
转基因技术 transgenic techniques	1985年, 世界首例转基因鱼诞生 ^[39]	21世纪初	有利于外源基因导入受体鱼内, 从而得到具有优良性状的变异品系	无
基因编辑技术 gene editing techniques	2011年, 在黄颡鱼中敲除肌肉生长抑制素(<i>myostatin</i>)基因 ^[40]	21世纪10年代初	可以定向编辑目的基因, 显著缩短育种时间, 有效提高水产养殖业的经济效益	无

记号: GS-04-002-2023) 结合了雌核发育育种技术; 利用全基因组选择育种技术培育而来的半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis*)“鲷优1号”(品种登记号: GS-01-005-2021) 结合了群体选育技术; 利用分子

标记辅助育种技术培育而来的鲮“中科佳鲮1号”(品种登记号: GS-01-003-2022) 结合了群体选育和雌核发育育种技术。在鱼类新品种中, 利用现代育种技术研制的新品种数目远远低于靠选择育种

技术或杂交育种技术培育出来的新品种数目, 特别是在海水鱼中结合利用现代育种技术创制出来的国家水产新品种只有黄姑鱼“全雌 1 号”(品种登记号: GS-04-002-2023) 和半滑舌鳎“鳎优 1 号”(品种登记号: GS-01-005-2021), 说明这些现代育种技术的实际应用并不多, 一些技术还停留在实验室阶段, 现代育种技术在鱼类中的广泛应用还处在起步阶段^[3]。同时, 现代育种技术还存在着相应的弊端, 具有重要育种价值的基因和分子标记很少, 重要性状的遗传解析也还不够^[2]。总的来说, 在育种技术方面, 目前主要存在的问题是传统及经典育种技术的基本原理有待系统阐述, 传统及经典育种技术与现代分子生物学技术的结合还有待加强。

育种环境方面 育种环境的好坏是决定种苗存活率高低的关键, 目前大部分育种基地都是用传统的人工池塘以及大的鱼缸来育种, 其内部结构单一, 没有岩石、树根、水生植物等元素结构, 底部也没有沙子、卵石、砾石等, 更没有垂直分层结构。对于某些鱼类种苗来说, 复杂的物理结构对种苗具有良好的作用^[4-13]。光线也是育种环境中的一项重要因素。有些企业育种都是在室内进行的, 以 LED 等照明设备为育种环境提供鱼类生活所需光线。在水下光环境中, 太阳辐射和人造辐射的光谱组成有比较大的差别, 不同的光谱可能会对圈养的鱼类产生不同的生理和行为影响^[14-17]。除了视觉因素外, 声音也会对育种环节产生一定的影响。一些科研机构地处繁华地段, 为了育种方便, 会在附近建育种基地, 各种人为噪音会对一些鱼类的行为(游泳活动和群体凝聚力)和生理(主要和次要应激反应)产生负面影响^[18-27]。除上述提到的影响因素外, 还有人为干扰的因素, 主要表现在很多研究机构为了缩短育种周期, 频繁给亲本鱼使用催产素进行人工催产, 干扰鱼类自然育种, 这些行为可能会引起亲鱼强烈的应激反应, 极大地影响种苗的质量。总的来说, 目前育种环境并未考虑到鱼类的生物特性和不同物种的特定需求, 特别是关于水条件、社会行为和环境结构的要求。

资金政策等方面 近年来, 各地政府对于科研的投入大大增加, 但目前政府的资金资助并不能满足所有科研机构的发展需求, 导致大部分科研机构育种基地资金不充足、设施落后、育种

人才短缺, 严重影响科研进度。另外, 目前我国研究水产品的主要高端科研人才集中在高等院校、科研院所。水产企业虽有一定的资金, 一定的设备设施, 但由于科研人才短缺, 导致其在科技平台建设和品种创制、育种技术创新方面存在严重不足。相比国内, 美国、法国等发达国家已形成分工明确的以政府投资为主的基础性和公益性研究、以企业投资为主的创新体系。如在美国, 企业研发投入约占全国研发投入的 70%, 大型种子公司承担起较为明确的社会分工, 即专注于品种创制、技术改良、产业化、技术输出等应用型研究, 如美国的种业巨头孟山都(Monsanto)年研发支出资金超 10 亿美元^[28]。在大西洋鲑主要生产国挪威, 公共资金占挪威水产养殖研发资金的一半以上, 其公共和半公共机构的研究活动对挪威水产养殖业的发展至关重要^[29]。总之, 相比国外, 我国尚未形成分工明确的水产种业创新体系。

1.2 鱼类种业的发展方向

加强鱼类品种创制与技术创新 在品种创制方面, 需要加强种质资源的保护与利用, 夯实育种创新的遗传基础, 加强基础理论及原创性理论研究, 培养自主创新能力, 强化育种人才队伍建设, 不断攻克育种关键核心技术, 不断培育出更多高产出、高品质和易养殖的新品种(新品系), 明确适应当地特色的鱼类水产经济重点发展方向, 特别是在大宗淡水鱼类和一些特色鱼类(包括一些肉食性的淡水鱼类和海水鱼类)的良种创制方面。在育种技术创新方面, 不仅需要创新集成传统和经典育种技术(如杂交育种技术和雌核发育育种技术等), 也要加强对现代育种技术如基因组选择育种技术的应用, 利用基因组结合转录组、蛋白质组、表观组、代谢组等多种组学数据, 解析生长、品质、抗病、抗逆等重要性状形成的遗传机制, 为基因组选择育种技术的应用奠定理论基础^[41]。此外, 要坚持两条腿走路的方针, 既要充分发挥传统和经典育种技术的优势作用, 又要积极探索和掌握分子育种的技术与方法, 加强传统和经典育种技术与现代育种技术的集成运用, 攻克鱼类远缘杂交共性育种、高通量性状测定、分子设计育种、性控与倍性育种、基因组关联分析、基因编辑和高通量基因芯片制作等关键技术, 从而构建一系列复合育种技术, 建立新的现代育种技术体系。

促进生态育种基地和良种繁育体系建设

加强育种基地的生态化建设是决定种苗存活率和种苗质量的重中之重。因此, 在育种过程中, 以“回归自然, 少用激素; 模拟自然, 少人操作”为理念, 以因地制宜、因鱼制宜为导向, 加强育种基地生态化建设。一是要尽量减少人工干预, 采用棕榈、网片、人工假草等模拟自然环境, 建设拟生态化的育种环境, 尽量还原自然育种, 保证育种质量。一般而言, 生态育种大型环道模型主体由循环水渠、中央岛组成。环道边坡采用生态砖护砌, 避免水泥过度硬化, 发挥土壤微生物对育种环境的自我调节作用, 也可种植水草以庇护亲本和为亲鱼提供产卵场地。在该设施中可配以天桥, 连通中央岛, 便于观察和管理亲本的繁育。环道坡上和中央岛可以种植草本植物、灌木和乔木等不同层次的植物, 模拟生态景观。在沟渠中, 为形成循环流水, 需要安装水流推动设备, 以控制水渠内流速。除此之外, 还有适合工厂化

的生态育种设施, 其模式图如图 2 所示, 以大面积的蓄水池为中心, 通过明水槽从外面河流引水, 再通过管道分别向育种车间、池塘以及水泥小池灌水, 而育种车间、池塘以及水泥小池产生的尾水可以排放到沟渠, 另外外面河流需建立河坝, 用于蓄水、供水、防洪。二是严格控制各种激素的使用, 尽量不对亲本鱼使用任何激素, 在不得使用激素的情况下, 要严格控制使用量, 建立严格的激素使用登记制度, 严格把关, 减少激素对亲本的伤害, 提高育种存活率。目前, 生态育种已经开始在某些育种基地实施, 如依托于湖南师范大学的省部共建淡水鱼类发育生物学国家重点实验室在湖南各地建立的育种基地, 开展了大规模的生态育种试验。如在武冈市雪峰山鱼种繁殖谷开展的湘军鲤生态育种试验中, 主要采用催产激素剂量减半和生态产卵池自然受精的操作, 相对于之前采用人工挤压亲鱼获得卵子和精子的方法, 生态育种方式可以较大程度保护湘军鲤亲

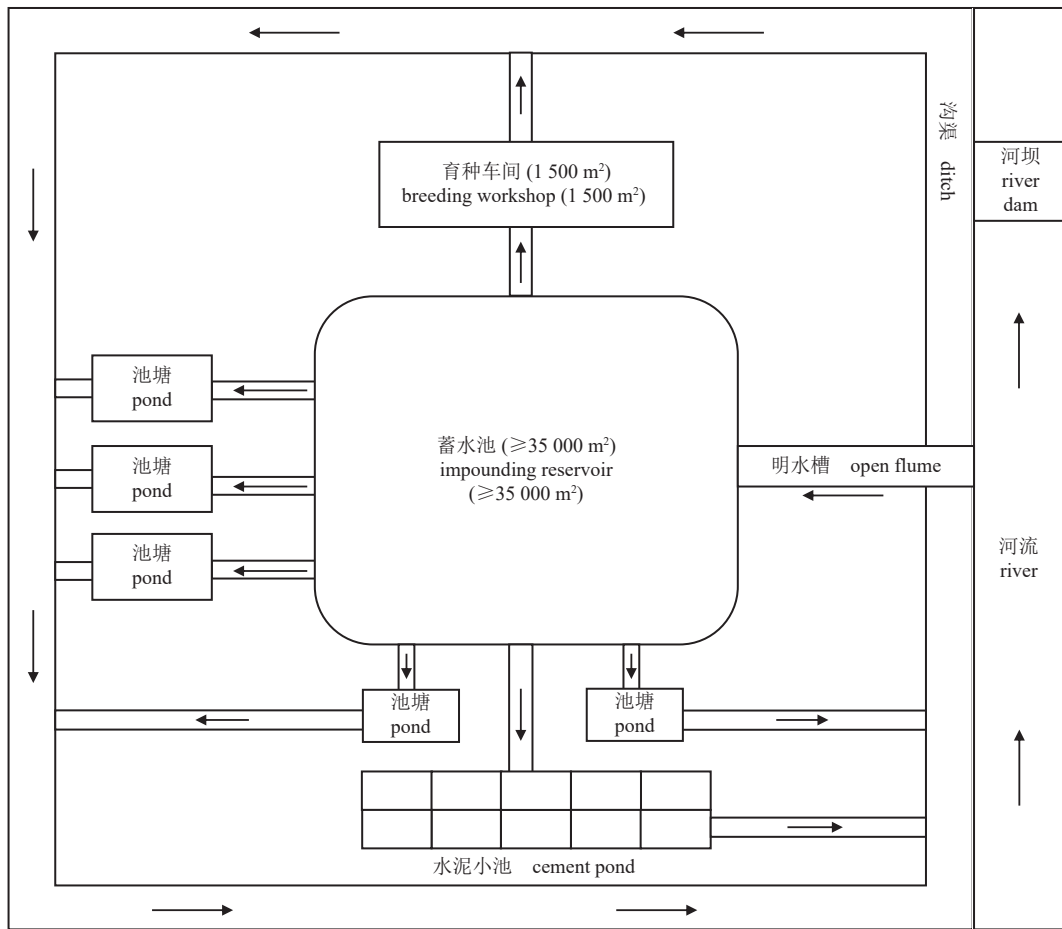


图 2 生态化工厂育种模式图

Fig. 2 Diagram of ecological factory breeding patterns

本资源。在采用生态育种方式后, 亲鱼死亡率大大降低, 可每年重复进行育种试验。除了湘军鲤以外, 还有合方鲫、合方鲫2号、合方鳊、高背鳊、杂交翘嘴鲈、抗病草鱼的生态育种, 均取得了良好的效果。生态育种试验过程如图3所示, 前期制作用于收集受精卵的网片, 放入孵化槽中, 待亲本产卵以后, 受精卵会黏附在网片上。利用网片收集鱼卵具有以下优点: 第一, 在交配池中自然受精代替了人工授精挤压亲鱼, 节省了人工成本, 且符合“模拟自然, 少人操作”的理念; 第二, 网片便于收集和运输。最后待鱼苗孵化出来以后, 用苗箱收集鱼苗。

良种的创制除了需要保护, 更需要大力推广, 防止出现有种无业的被动局面。现如今在各级政府的支持下, 以高校和科研单位为主体的种质资源收集工作正在有序进行, 通过建立大型种质资源数据库, 随时更新完善鱼类种质资源数据。此外, 政府应加强与水产龙头企业的联系, 给予水产企业更多的优惠政策, 通过以小带大, 以点带面的方式, 带动全行业对优质鱼类种苗的保护与推广, 实现良种的工厂化繁育, 确保有种有业、良种繁育的良好局面。同时, 水产企业要加大对苗种的质量检测, 制定一系列的全行业统一的安全质量标准, 及时与有关科研单位联系沟通, 反

馈问题。

加强种业知识产权保护, 完善相关法律法规 种业知识产权保护问题是事关种业持续性发展的重大问题, 对维护种业创新, 提高科研工作者的积极性具有重要意义^[42-43]。首先, 政府应做好顶层设计, 制定相关法律法规, 充分发挥农业知识产权服务行业协会和行业联盟在内的农业知识产权服务“第三方组织”的作用, 建立健全种业知识产权保护体系。其次, 加强对水产新品种知识产权保护的宣传和普及, 通过新闻媒体宣传新品种保护的相关知识及重要作用, 使社会和公众了解水产新品种保护的法律法规。各司法立法机构应完善相应不足, 利用互联网与大数据, 减少专利申请的步骤与时间, 利用法律加强对知识产权的保护力度; 司法机关和农业执法机关相互配合, 营造有利于水产新品种保护的法治环境, 维护科研机构、水产企业和科技人员的合法权益。最后, 高等院校、科研院所、水产企业应增强自身种业知识产权保护的安全意识, 加强对知识产权的管理, 采取对育种技术、实验数据、育种成果等多方面的立体化保护措施, 在科学研究和成果转化活动中要善于运用法律维护自己的技术竞争优势, 保护自身合法权益不受侵害。在专利申请和转化方面, 及时关注国内外最新研究动态,

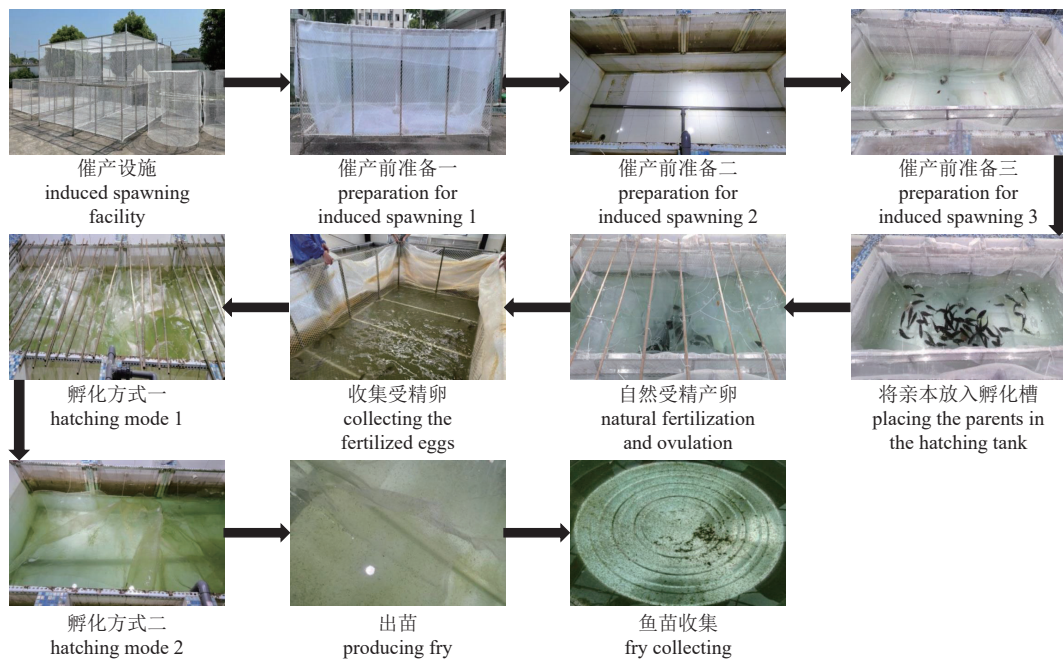


图3 合方鲫系列鱼生态育种流程图

Fig. 3 Flow chart of ecological breeding of the Hefang crucian carp series

防止自身因时间差而出现剽窃等不利的情况, 提高对水产新品种的侵权预防和应对能力。

2 强化养殖技术, 创新养殖模式

2.1 目前水产养殖业的状况

目前中国已成为世界第一水产养殖大国, 产量一直占全球养殖产量的 60% 以上。中国的水产养殖历史悠久, 其中最早的水产养殖方式就是池塘养殖。但目前传统的池塘养殖存在着许多弊端, 这些弊端成为制约池塘养殖业进一步发展的瓶颈。传统的池塘养殖大多以小规模自主分散经营为主, 无论养殖过程还是尾水处理过程, 都缺乏统一的标准; 再加上养殖设施老化落后和养殖废水的排放, 极大地加剧了周围水体的富营养化程度, 大量的饲料投入和鱼类代谢物的积累也导致池塘内源性污染加重, 导致水体中重金属含量的增加。在海水养殖方面, 也存在类似的情况。海水养殖目前最普遍的养殖方式为网箱养殖, 采用的方式也是高密度、高投饵率。研究发现, 海水网箱养殖中投喂饲料的 20% 没有被食用, 成为养殖废物, 在海水中产生大量有害物质^[44]。同时, 养殖饲料中被海洋生物利用的磷物质仅仅达到 15%~30%, 剩余部分溶解在水中, 以颗粒形式存在^[44]。由于海水鱼新品种的研发速度缓慢, 大多数海水鱼的抗病抗逆性不强, 导致海水鱼会频繁发病, 这也导致了鱼药的滥用。而这些药物中包含的重金属元素会对水体造成严重污染^[45]。因此海水富营养化、重金属污染是传统的海水养殖中极易出现的后果^[46]。

针对以上养殖方式出现的问题, 已经出现了一些比较绿色生态的养殖方式, 如大水面养殖、稻渔综合种养、生态化池塘养殖等方式。如图 4 所示, 大水面养殖先后经历了 20 世纪 70 年代环境污染比较严重的施肥养鱼, 20 世纪 80 年代成本较高的“三网”养殖(网箱、网围、网栏), 到了 21 世纪, 大水面养殖才开始从集约化养殖向生态养殖转型^[47]。稻渔综合种养模式, 是在科学的水稻栽培技术和管理之下, 保证水产动物足够的用水需求, 这样不仅有效地促进稻田水生态系统的营养物质得到充分利用, 为水稻和水产动物的生长、发育提供良好的水环境, 而且还可以起到一水两用的作用。我国最早的稻渔种养模式是稻-鱼种养, 当时的稻-鱼种养模式都是自主经营, 粗

放粗养; 到了 20 世纪 70 年代左右出现了“稻-鱼-萍”、“稻-鱼-菇”等种养模式, 但未形成规模; 再到 21 世纪初出现了“稻-鱼-鸭”、“稻-鱼-萍-鸭”等种养模式, 已初步达到集约化、规模化的水平; 现如今, 稻-鱼种养模式较为成熟, 集约化、规模化程度较高。生态化池塘养殖是由对环境具有高污染性的传统池塘养殖发展而来的, 是将池塘养殖和生态学原理结合起来, 合理利用多种资源, 进行适当的密度养殖, 较充分地发挥饵料、肥料和水体的生产潜力, 资源利用程度较高, 同时可以保护水域生物多样性与稳定性, 以取得最佳的生态效益和经济效益。目前的生态池塘养殖模式有池塘循环水养殖模式、鱼-菜共生的池塘养殖模式、生态工程化循环水池塘养殖模式, 这些养殖模式都具有一定程度的生态效益和经济效益。除了上述三种绿色生态的养殖方式外, 时下还兴起了另一种养殖方式为设施养殖(图 4), 这种养殖方式是集约化、高密度养殖方式; 它的主要特点就是使用方便, 是集现代工程、机电、生物、环保、饲料科学等多学科为一体, 运用各种最新科技手段, 把养鱼置于人工控制状态。

2.2 水产养殖业发展方向

“良种”需要“良养”, 没有“良养”, “良种”也难以产出高质量的水产品。良好的生态养殖环境是发展水产健康养殖的基础, 是提高鱼类生长速度、减少病害, 实现水产养殖业优质、高产、高效的重要保证^[48]。水体温度、溶氧量、营养化程度等都是生态养殖环境的重要因素。当水体温度较高时, 有机氮(如残饵和鱼类粪便中的蛋白成分等)会被快速分解成无机氮, 从而降低水体中的 pH 值, 直接影响养殖水质^[49]。溶氧量的降低会导致水体中微生物结构的改变, 而水生环境中微生物对于整个生态系统的营养代谢和能量循环至关重要, 一些有害微生物的大量繁殖会对鱼类健康产生威胁, 并影响周围水域的生态平衡^[49]。还有水体的富营养化, 它会引发藻类大量繁殖, 导致水体透明度和溶氧量降低, 严重时还会导致水体生态系统的退化, 并可能对水体内部的食物网结构与功能产生不可逆的影响^[50]。因此, 在鱼类生态养殖过程中, 要随时关注养殖环境的变化, 保持养殖环境的质量。

在生态养殖中, 养殖密度是鱼类生长发育过程中的主要影响因素之一^[51-52]。养殖密度不仅影

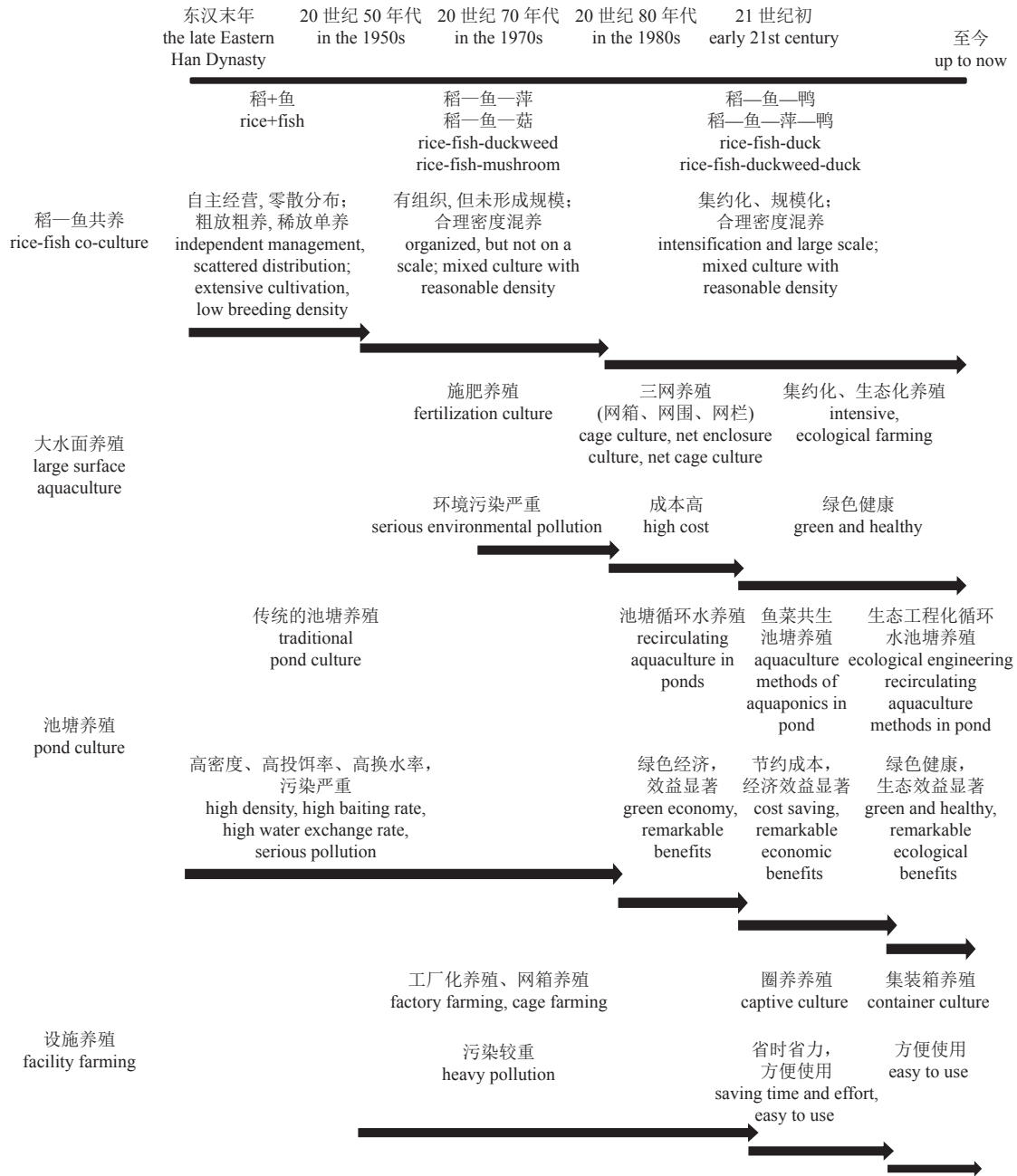


图 4 生态养殖模式的发展历程

Fig. 4 The development process of ecological farming model

响鱼类的存活率和产量等, 而且通过影响鱼类的摄食行为等, 进而影响鱼类的生长发育、营养积累和免疫能力等^[53]。合适的放养密度可以促进鱼类群体对饵料的竞争, 增强摄食的积极性^[54], 而过高的放养密度会引起环境和压力胁迫, 导致高投喂、高致病力、高污染的风险, 造成养殖鱼类产量降低, 严重影响其养殖性能及经济效益。除此之外, 鱼类不同生长时期对养殖密度的要求是不一样的^[55], 还有不同鱼类的混养模式也会对养

殖密度有不同的要求^[56]。因此, 鱼类生态养殖过程中, 根据实际情况进行适当密度养殖, 养殖密度的标准需要科技工作者经过系统地研究来制订。

养殖水质的好坏是水产养殖的关键, 直接影响鱼类的产量和品质^[57]。在生态养殖中, 水质应该保持在Ⅲ类水质 (GB 3838—2002) 及以上的标准, 在水产养殖中可以采用优良藻种与有益菌结合进行生态调控, 选择合适的种类、数量配比以降氮、磷等营养盐, 最终起到净化水质、改善

水生态环境的作用^[58]。另外, 还可以加入适量的酵母菌, 对水体中的亚硝态氮等不良物质进行降解, 保证水体质量^[59]。除此之外, 适时监测养殖水体、辨别水质优劣, 及时调控水质对水产养殖非常重要, 应该研发或引进先进水产养殖水质监控设备, 加强水产养殖水质调控技术, 随时掌握养殖水质的实际情况。

大水面养殖 大水面渔业概念最早于1979年提出^[60], 所谓的大水面养殖, 广义上指利用内陆湖泊、水库、河沟水域发展的增养殖, 狭义在此基础上限定了5 000亩(1亩=1/15 hm²)及以上的水域范围^[61]。我国拥有大面积的淡水资源, 特别是湖泊、水库等大水面资源丰富, 且是世界上拥有水库数量最多的国家, 常年水域面积100 hm²以上的湖泊2 865个, 淡水湖1 594个、咸水湖945个、盐湖166个、其他160个, 水面总面积约为7.8×10⁶ hm²。丰富的大水面渔业资源奠定了大水面养殖在我国水产养殖方式中的基础, 也成就了大水面养殖是我国特有的渔业养殖方式的地位。

随着新发展理念提出, 大水面生态渔业也被赋予了新的内涵, 有了新的发展方向。在“绿水青山就是金山银山”的精神指导下, 水产养殖业应建立大水面、大环保、大产出的理念, 树立“以水养鱼, 以鱼洁水, 鱼水富民”的鱼、水、人和谐相融的生态可持续发展观念, 并以鱼为媒, 以鱼赋能, 以鱼名湖, 打造渔业文化品牌。除此之外, 加强有规模水面的生态养殖基地建设, 利用相对集中的大水域进行良种养殖, 利用大的生态环境进行生态净水, 减少人工成本。各地区的养殖户应该加强合作, 以当地大的养殖户为中心, 将临近的散养户联合起来, 共同出资, 化零为整, 将零散的小规模的养殖方式整合为大水面大规模的养殖方式。此外, 政府应出台相应政策, 为散养户的合作牵线搭桥, 促进各方合作, 并提供资金方面的资助, 促进该地区养殖方式的转型, 且将已经取得的成果示范推广。同时, 根据生态环境、水域承载力的情况, 坚持因地制宜、分类施策的原则, 按照一水一策的方案, 统筹环境保护与大水面渔业生产发展, 协调大水面渔业生产与航运、水生态环境及鱼类生殖洄游等方面功能, 全面提升大水面渔业生产产能。

目前, 我国大水面养殖在全国大部分地区取得了显著的成果, 其面积、产量分别占全国淡水

渔业的46%和15.42%^[62]。如浙江的千岛湖大水面养殖, 生产的有机鱼享誉国内外, 保持了114种丰富的鱼类资源和一流的水域生态环境, 水质长期保持在Ⅰ类水体, 品牌价值达到10亿元^[63]。独具特色的“千岛湖模式”已成为我国大水面生态渔业发展的标杆, 是国家大宗淡水鱼产业技术体系首批核心示范点, 实现了生态效益、经济效益和社会效益的共赢, 并且千岛湖与安徽的高塘湖、江西的阳明湖、山东的东平湖等多个自然水域资源点开展合作, 推进了大水面养殖的发展^[64]。吉林的查干湖大水面养殖, 年产鲜鱼6 000 t, 渔场职工人均纯收入3万元/年, 渔业品牌享誉全国^[62]。

在2019年国家农业农村部、生态环境部、林草局三部门联合发文《关于推进大水面生态渔业发展的指导意见》之后, 2020年农业农村部办公厅关于印发《2020年渔业渔政工作要点》的通知中再次指出, 要推进大水面生态渔业发展, 加快各地大水面生态渔业发展规划编制, 培育壮大大水面生态渔业经营主体。目前全国各省已经开始进行大水面生态渔业的规划和发展方向的探索, 如2020年, 河北省渔业主管部门制订印发《关于推进河北省大水面生态渔业发展实施意见》, 河北省农业农村厅联合一些科研单位对省内易水湖大水面生态渔业与旅游业协同发展模式进行了探讨^[65]。2021年, 山东省制订了《山东省大水面生态渔业发展规划》(2021—2025年), 一些学者对山东省大水面养殖产业集聚进行了研究, 并从生态环境、养殖效率、品牌打造、收入提高等方面提出了建议^[66]。还有大水面养殖产量占全省水产养殖总产量15%的四川省, 省内科研人员也对全省目前大水面养殖的现状进行了深入的剖析与探索, 发现了大水面养殖在发展空间、技术、政府机构管理、产业融合程度上存在较大的问题, 并对此提出了相应的解决方案, 为四川省大水面生态渔业新发展格局的建立打下良好基础^[47]。其他各省相关研究单位也对各自省份的大水面生态养殖的发展提出了相对应的具体措施^[67-68]。由此看来, 大水面养殖将是今后水产养殖业的重点发展模式之一, 各省将会继续加大对大水面生态渔业模式的探索, 政府也会做好大水面生态渔业全国一盘棋的工作, 推进生态渔业优质高效的发展。

池塘养殖 目前, 我国大多数池塘养殖仍采用高密度、高投饵率、高换水率的传统养殖方式, 仍以“进水渠+养殖池塘+排水渠”为主要形式,

采用水泥护坡等硬化工程, 减少了接“地气”的生态效应。因此传统的池塘养殖存在着大量水产品质量安全、水产养殖病害、养殖废水污染等问题; 存在着健康养殖的标准化池塘所占比重低等瓶颈。但在我国, 池塘养殖面积约占养殖总面积的 48.63%。在池塘养殖中, 淡水养殖产量约占池塘养殖总产量的 89.20%, 海水养殖产量约占池塘养殖总产量的 10.80%。我国池塘养鱼无论在总产量、养殖面积或集中连片鱼池的平均、单产方面均居世界首位。特别是近 10 年来, 我国池塘养殖的产量从 2013 年的 2 216.87 万 t 增加到 2022 年的 2 706.60 万 t, 池塘养殖面积则由 2013 年的 262.32 万 hm^2 增加到 2022 年的 305.44 万 hm^2 。池塘养殖仍是我国最主要的水产养殖方式。针对传统池塘养殖存在的诸多不足, 近年来出现了不少的基于池塘养殖的新模式, 如鱼-菜共生的池塘养殖模式。所谓的鱼-菜共生就是把水产养殖与水耕栽培两种技术结合起来新型农耕模式, 用养鱼的水种菜, 用菜的根系过滤水后再养鱼, 形成一个小型生态系统, 从而达到科学的协同共生^[69]。在某些鱼-菜共生系统中, 与单一的水培技术作相比, 水培蔬菜的叶干重、产量均较高, 且鱼类的存活率显著提高, 高达 97.20% 左右^[70]。此外, 这种养殖模式不仅能够省水 95% 左右^[69], 还能显著降低养殖尾水中总氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐和正磷酸盐的量, 对养殖废水具有较强的净化能力^[71]。

池塘循环水养殖模式, 这种模式就是将同一养殖体系分为两大块, 即养殖模块和净化模块, 养殖模块实行设施化, 净化模块实行多个功能不同的系统进行生态处理, 使养殖尾水得以净化, 进而达到水资源循环利用、营养物质多级利用的目的, 彻底实现池塘养殖尾水“零排放”, 符合绿色循环经济、节能减排的需求^[72]。池塘循环水养殖模式主要有池塘工程化循环水养殖、漏斗形池塘循环水养殖等循环水养殖类型。池塘工程化循环水养殖(又称池塘流水槽循环水养殖)是一种典型的现代水产养殖技术模式, 能够有效助推水产养殖向集约化、设施化、装备化及机械化发展^[73]。池塘工程化循环水养殖的大宗淡水鱼类每 667 m^2 平均利润可达 5 418 元, 较传统养殖模式效益提升近 1 倍^[74], 而且能较好的改善养殖水质, 并达到养殖周期内“零换水”的目的^[75]。漏斗形池塘循环水高效养殖技术为 2021 年农业农村部公布的农业主推技术之一^[76], 与传统池塘养殖技术相比, 每个 530 m^2 漏斗形池塘利润可达 5~10 万元, 是

普通池塘养殖产值的 6 倍以上^[77], 具有节能、节地等优点, 还可及时收集移除粪便、残饵, 有效净化养殖水体^[78]。此外, 还有生态工程化循环水池塘养殖模式, 它由生态沟渠、生态塘、潜流湿地和养殖池塘组成, 与传统池塘养殖模式相比, 生态工程化循环水池塘养殖系统可节约养殖用水 63.60%, 减少有机污染物(COD)排放 81.90%, 有明显的节水、减排效果^[79]。

虽然, 目前已经出现一些新的池塘养殖模式, 但池塘养殖向可持续、机械化、智能化的绿色健康养殖模式转变仍具有较大的进步空间。今后池塘养殖发展的方向, 应在保证Ⅲ类及以上水质标准的情况下进行合理的密度养殖, 并减少池塘的水泥护坡等硬化工程, 加强基本的土建工程, 还可以在养殖水域内种一些水草等, 以增加水中含氧量。对于饲料的投喂也有专门的要求, 除了要根据水域内苗种数量多少确定投喂量外, 还要坚持“由少增多, 少量多次”的投喂原则。池塘养殖尾水的处理采用生物生态法, 采用“一池一渠”的工艺流程, 将养殖尾水通过生态沟渠流入生态净化池, 生态净化池中养殖的水草等吸收水体中的氮、磷等营养元素以达到净化水体的效果, 净化后的水体再次通过生态沟渠进入池塘进行循环利用, 实现一水多用生态循环。

稻-鱼共养等生态养殖 近年来随着民众生态观念、健康观念的提高, 再加上水产养殖业生态环境的持续恶化, 传统的水产养殖已经无法满足人们对绿色健康的水产品的需求, 因此水产生态养殖将是水产养殖业可持续发展的必然趋势^[80]。生态养殖须牢牢把握二十大报告中所强调的绿水青山就是金山银山的理念, 站在人与自然和谐共生的高度谋划发展, 以提升渔业生态系统的多样性、稳定性、持续性, 加快实施重要生态系统保护和修复重大工程, 加快渔业养殖模式的转型, 满足人们对优质水产品的追求。

在淡水养殖中, 稻田是除池塘养殖以外的最大养殖水域, 2022 年占淡水养殖水域的 11.17%。稻渔综合种养模式中主要的模式之一就是稻-鱼共养。所谓稻-鱼共养就是将种植水稻和养鱼结合起来, 发挥水稻和鱼互利共生的作用, 获得有机水稻和有机鱼的双丰收。我国稻-鱼共养的历史可以追溯到 2 000 多年前, 可以说我国是世界上最早开始稻-鱼共养的国家, 其发展历程分为三个阶段^[81]。相比单纯的水稻种植, 稻-鱼综合种养模式经济收

益可以增加 90% 以上^[82], 化肥成本减少 2.80%~49.20%, 农药成本减少 3.20%~83.60%^[83], 粮食生产率提高 25% 以上^[84]; 而且可有效将甲烷排放量降低 7.30%, 将二氧化碳排放量降低 5.90%^[82], 改善贫瘠土壤的肥力水平, 降低农业面源污染^[85]。据报道, 2021 年, 全国稻-鱼种养面积超过 100 万 hm², 占全国稻渔综合种养面积的 37.84%, 是我国稻渔综合种养第二大模式, 已成为我国当前生态循环农业经济的主要模式之一。目前稻-鱼共养模式已经在全国各地展开, 在大部分地区取得显著成效, 如贵州省黔南州罗甸县稻渔综合种养基地, 从鱼苗发放开始, 仅经过 2 个月的养殖, 便成功收获上市, 63.96 hm² 的稻田养鱼总产量达 2.3 万 kg 以上, 总产值 116 万元以上, 户均增收 2 200 元以上^[86]。湖南省郴州市示范推广稻田禾花鱼养殖模式, 带动养殖面积达 3 300 hm², 实现每公顷平均综合效益 2.25 万元^[87]。广西壮族自治区桂林市全州县稻-鱼共养面积达 2.03 万 hm², 产量 6 300.28 t, 占全县水产品总量的 24.16%, 增收 3.0~7.5 万元/hm²^[88]。广东省唯一的国家级稻渔综合种养示范区韶关大桥镇中冲富民稻渔综合种养

示范区, 成功打造了“南越稻乡”水产区域公用品牌, 以每 kg 禾花鱼 60~100 元的价格销售各地, 稻米价格以每 kg 6~40 元出售, 稻米价格提高了 1~10 倍, 每公顷增收可达 1.5~6.0 万元^[89]。除此之外, 本科研团队与湖南省内多个县市区展开合作, 根据当地的水域特色, 构建“田”字型田间工程(图 5), 田沟采用上窄下宽的梯形结构, 增加抗涝能力, 并将不同的优质鱼类品种进行搭配, 根据放养密度、投入产出水平, 将养鱼与栽培业有机融合, 有效利用饲养体系内肥料的循环与再利用, 建立的“稻-鱼生态养殖基地”有力推动了湖南省内多个县市区的鱼类养殖产业的发展, 助力乡村振兴。

农业农村部在 2022 年 10 月 27 日印发的《关于推进稻渔综合种养产业高质量发展的指导意见》中明确指出, 到 2025 年实现发展稻渔综合种养的地区粮食生产能力稳步提升, 到 2035 年实现稻渔综合种养产业规范、产品优质、产地优美、产区繁荣的高质量发展格局。2021 和 2022 年新审定的鱼类新品种禾花鲤“乳源 1 号”(品种登记号: GS-01-002-2021) 和合方鲫 2 号(品种登记号: GS-02-001-2022) 就是为稻-鱼共养生态模式研制出来的

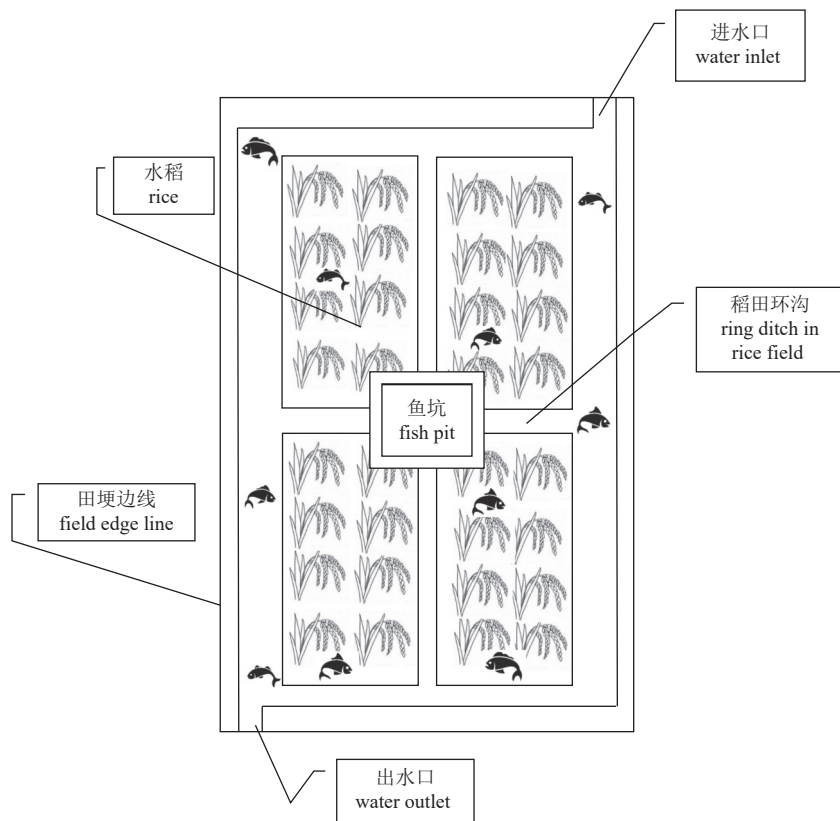


图 5 稻-鱼共养田块布局示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the layout of rice-fish co-cultivation plots

专用型品种, 以该品种为载体、良养为配套, 可以使平均公顷产值得到大幅度提高。除此之外, 还有本科研团队研制的合方鲫和湘军鲤, 经实验发现也适用于稻-鱼共养生态模式, 而且这种模式能有效抑制土壤中重金属镉 (Cd) 的生物活性, 对大米 Cd 积累有显著的减控效能, 且经济效益显著^[90]。由此看出, 稻-鱼共养的生态模式前景非常光明, 国家与高等院校、科研院所等机构也大力支持。虽然目前稻-鱼共养的模式已经在全国开展, 但稻-鱼共养主要集中于南方丘陵山区, 如图 6 所示, 特别集中于湖北、安徽、湖南和四川 4 省, 养殖面积约占全国稻-鱼种养面积的 70%, 稻-鱼产量占全国稻-鱼产量的 70% 以上。

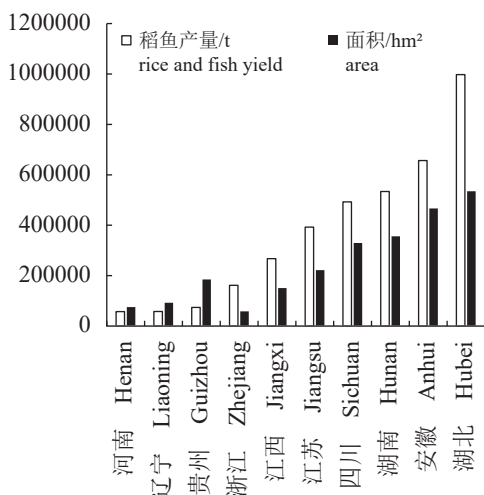


图 6 2022 年我国主要稻渔养殖省份的稻-鱼产量和养殖面积统计图

Fig. 6 Statistical map of rice and fish production and cultivation area of major rice fishery and aquaculture provinces in China in 2022

除了推广这些新的生态养殖模式外, 还要加强对现有生态模式的探索, 并因地制宜, 创新更多的生态养殖模式, 如国内学者^[91]为四川省稻渔综合种养创新出“稻田高位池”稻渔综合种养内循环生态养殖新模式, 平均公顷产值达到 22.80 万元, 是全省稻-虾综合种养平均公顷产值的 2.53 倍, 单种水稻的 5.43 倍; 平均公顷利润达到 7.80 万元, 是稻-虾综合种养 3.30 万元的 2.36 倍, 单种水稻 17.8 倍, 经济效益显著。有学者^[92]在宁夏将“玻璃钢设施养鱼”和“稻渔综合种养”二者有机结合, 进行陆基玻璃钢设施养殖斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)+稻-蟹共作模式, 试验田每公顷综合利润 4.61 万元, 与一般的稻渔综合种养相比, 利润

提高了 41.70%, 而且是单作水稻的 9.89 倍, 经济效益显著。这些新的生态养殖模式的探索将满足不同地区对稻-鱼共养生态养殖的需求, 实现稻-鱼养殖模式利益的最大化, 更早期地将稻-鱼共养模式在全国推广开来。

除了稻-鱼共养以外, 近年来以莲藕池为载体的模式应用也得到了较快的发展, 这种模式被称为荷渔综合种养模式。荷渔共养也是运用生态学、动物学、水产学等基础学科原理, 是一种健康的生态养殖模式, 在整个养殖过程中不投喂或少投喂配合饲料, 科学利用鱼等水产动物的天然习性清除对莲藕生长不利的浮萍及其他水生生物, 进而达到荷渔共生健康生长的目标, 实现一水两用, 有效提高鱼和莲藕的品质。与稻渔综合种养情况类似, 荷渔综合种养模式中最主要的模式之一就是荷-鱼共养。最早关于荷-鱼共养技术探究的文献是 20 世纪 80 年代末, 当时的试验结果表明较一般藕田相比, 藕田养鱼的收入增加 3 倍以上^[93]。从此, 藕田养鱼的技术得到逐步发展, 并出现了藕萍鱼式、藕鱼轮作等新的养殖方式, 而新的荷-鱼养殖技术使农户的收入提高了 50%~80%^[94], 进一步促进了荷-鱼养殖模式的发展。随后的生态工程研究表明, 相比于单纯的藕田养殖, 荷-鱼共养防虫率和增产率分别提高 59%~90% 和 2.3%~7.6%^[95]。目前, 荷-鱼共养模式已经在多地展开, 如国内某企业采取半鱼半莲, 种养兼顾的生态农业循环种养模式, 在水下种藕, 水里养鱼, 水面赏荷, 成功打造国家级水产健康养殖示范场和国家级特种水产品研发推广实习示范服务基地^[96]。福建省建宁县将福瑞鲤 2 号引入莲田生态养殖, 打造荷-鱼共养模式, 发现综合经济效益提升了 65.40%, 实现了莲田免耕、少虫、增肥, 经济、生态、社会效益方面都获得了提升^[97]。江苏省滨海县通过藕田养殖泥鳅和黄鳝, 每公顷可增收 54 万元, 并减少了藕田中的病虫害危害, 延长了藕莲种植年限^[98]。除此之外, 本科研团队在湖南省双峰县荷叶镇打造了上百公顷的荷-鱼共养养殖基地, 以本科研团队研制的国家水产新品种合方鲫为主要养殖鱼类, 混养合方鳊等优质鱼类, 使荷-鱼共养模式取得了明显收益, 并且注册了“荷欢鱼”商标, 极大地带动了当地农业经济的发展。

设施养殖 随着第四次工业革命的到来, 科技引领、智能产业转型将是未来优质水产养殖的重点发展方向, 因此设施水产养殖业是现代水产养殖业发展的一个重要途径, 代表着国家渔业

科技水平, 是现代水产养殖业发展的必然趋势^[99]。

设施化养殖是指采用工程技术手段, 使养殖环境相对可控, 进行高效生产的一种现代养殖方式^[100], 是 20 世纪中叶发展起来的一种产业方式^[101-102], 一直以来主要以网箱养殖和工厂化循环水养殖为主。但随着现代化进程的加快, 传统的设施养殖方式已经无法满足现代化渔业的发展, 逐渐出现了一些新的设施养殖方式, 如圈养养殖和集装箱养殖。圈养养殖是基于“能时时打扫池塘卫生”理念设计的一种新型养殖模式, 主要包括圈养桶、增氧曝气系统、集排污系统、尾水处理净化系统等设施^[103]。养殖对象集中管理在圈养桶内, 排泄物和残饵均随水流集聚在桶下部的锥形集污区, 底部排污系统随时将集聚的粪污残饵抽取到岸边的尾水净化系统, 养殖尾水通过物理沉淀、生物过滤、细菌分解等处理程序, 净化后回流到养殖区域重复利用, 具有高效集排污及养殖尾水零排放的特点^[103]。该养殖方式可以实现养殖水体自动化监测及干预、局部高密度自动化养殖、养殖尾料尾水自动化集中生物降解处理^[104], 而且无需拉网捕捞, 可以大幅减少临时用工数量, 提高劳动效率^[105]。集装箱式养殖是一种利用集装箱进行标准化、模块化、工业化循环水养殖的新兴模式, 可分为陆基推水集装箱式养殖和受控式集装箱循环水养殖两种模式^[106]。相比于传统池塘养殖, 集装箱养殖模式所获利润是池塘养殖的 5~12 倍, 而排水量仅为传统池塘养殖的 10% 左右^[106], 较传统池塘养殖节省劳动力 50% 以上, 比传统养殖池塘效率提高 20~50 倍^[107]。集装箱养殖的应用, 也使得一些高原地区能够饲养多种淡水鱼并从中获取可观的利益, 如在西藏林芝市开展的高原渔业集装箱设施养殖试验中, 养殖的罗非鱼、乌鳢、宝石鲈 (*Scortum bacoo*)、草鱼平均成活率 $\geq 94\%$, 增重率为 1.6~5.3 g/d, 每年的可预期利润达 8 万元以上^[108]。在 2018 年, 农业农村部将集装箱式养殖列入“2018 年十项重大引领性农业技术”^[109], 被认为是网箱养鱼的新出路。从上述设施养殖方式的特点可以看出, 目前设施养殖的最大优点就是使用方便, 这在养殖过程中可以达到省时省力的效果, 而缺点就是不接“地气”, 比如鱼类排出的粪便, 如果在大水面养殖、池塘养殖以及稻-鱼共养的情况下, 有可能与环境中的土壤相接触, 可以产生新的生物群体(如有益的微生物等), 这些生物群体有可能对鱼类的生长和水质的调节是

有益的, 但这些生物群体在设施养殖中一般难以形成。此外, 设施养殖过程中始终不能停电, 还有长期水流冲击消耗能量、不停歇的充氧胁迫等不利因素。

随着现代科技化进程的深入, 水产养殖业对新模式、高技术的需求越发迫切, 设施养殖成为升级换代的必由之路, 未来健康水产养殖的发展方向一定是向着集约化、工厂化发展, 即向设施化和智能化方向发展。特别是对于海水鱼养殖来说, 由于受到海水水域的限制, 绝大多数养殖都是在海上进行的, 这也限制了海水鱼养殖模式的创新, 而此时设施化、智能化的养殖方式对海水鱼养殖的发展就显得尤为重要。因此, 在现有的养殖模式的基础上, 必须加强养殖中的机械化、智能化程度, 要对环保养殖装备与基础设施进行升级, 并加强先进养殖和监测设备的研制开发; 其次大力引进先进的设备设施, 主要是引进对养殖水环境能起到净化作用和水质调控作用的相关设施, 如清淤设施、增氧设备、过滤装置、水质监控设施等; 此外还要升级改造或引进捕捞设施及其他相关的设备设施。同时, 在提升设施化和智能化的进程中, 还要考虑设施养殖的生态化, 生态化的设施养殖是今后要发展的方向之一, 比如设施的材质有待改善, 建议做陶瓷材质等接“地气”的设施等, 一个陶瓷设施养殖系统就是一个微生态系统, 里面会滋生很多有益的微生物等, 会产生制造氧气的绿藻等浮游植物, 会形成水蚤等浮游动物这些天然鱼类饵料, 这样的陶瓷设施养殖系统就不用时刻充氧, 可减少充氧等胁迫方式造成鱼类的应激反应等等。

3 提高加工综合水平, 打造良销产业

3.1 目前鱼类产品销售产业链的具体情况

加工、销售等“良销”环节是拉动水产业发展的重要动力。销售全产业链主要有流通、贮藏、加工、批发和零售五个环节, 其中加工和流通是产业链的薄弱环节。流通方面, 目前我国鱼类多以活鱼销售, 并采取就近销售原则。一般来说, 活鱼的远距离运输对于水产品本身有很大影响, 不仅会影响肉质, 而且运输过程中活鱼很有可能会死亡。在整个流通过程中, 各流通主体之间分散, 消息互通效率低, 流通环节繁多, 再加上自身具有易损耗、难储存的特性, 使得鲜活水产品

流通成本较高、流通效率低下。加工方面, 仅少量品种初级加工, 深加工产品较少, 没有产品延伸价值; 水产品加工企业规模小而散; 水产品加工研发能力不足, 缺少现代化深加工技术与专业人才; 缺少龙头企业的带头作用, 示范效应较差。在贮藏方面主要是贮藏技术与设备设施落后, 无法满足长时间的储存, 尤其是在出口贸易方面, 储存手段尤为重要。在出售环节, 零售一般出价高, 出售慢, 积压成品多; 批发虽然售价低, 但大多数鱼类没有自身品牌, 多以贴牌销售, 在2022年农业农村部推介的50个农业品牌创新发展典型案例中, 没有一个关于鱼类的案例。由于缺乏品牌效应, 所以大多数鱼类品种竞争力低, 波动性较大。

相比于国外, 就加工技术而言, 我们与之还有一定的差距。欧美等国家在水产品加工与流通方面具有相当高的装备技术水平, 主要体现在鱼、虾、贝类自动化处理机械和小包装制成品加工设备。德国BAADER公司是最先进的水产品加工设备生产企业之一。该公司2008年生产的鱼片细刺切割、鱼片整理和分段一体机, 使鳕鱼片生产能力高达40片/min; 其鲑的加工生产, 可以从原条鱼开始到产出鱼片和鱼糜, 形成一整套生产流水线, 生产过程中产生的副产物可用鱼糜机加工利用。加拿大Sunwell公司以开发鱼类浆冰设备而闻名, 2006年为日本提供了世界上第一套船用低盐度深冷浆冰系统, 液态深冷冰浆可将渔获物快速冷却。日本精于水产品加工设备研发, 技术领先的产品是模拟蟹肉加工机械和海苔加工机械等。

除此之外, 在整个销售环节还存在着较大的损耗。2008—2019年, 淡水养殖类水产品年均产量为2 663.59万t, 年均损耗量为175.50万t, 年均损耗率为6.59%, 其中流通环节年均损耗62.12万t, 年均损耗率为2.33%, 损耗最大。特别是在全球新冠肺炎疫情蔓延下, 近两年我国水产品供应链遭到严重破坏, 水产品消费需求降低, 大量水产品堆积, 水产品滞销卖难。尽管目前全球疫情有所好转, 但水产品销售链的问题并不能随着疫情好转而有所改变, 必须高度重视目前销售链各环节的主要问题, 为我国水产品销售保驾护航。

3.2 打造鱼类产品良销产业的重要举措

为适应人们快节奏生活方式的发展, 满足市

场需求的增加, 不同鱼类相关产品的工业化加工技术也随之迅速发展, 如超冷保鲜技术、超高压技术等^[10]。我国鱼类的市场也变得更加丰富, 开发了系列鱼类加工产品, 如冷冻鱼片、方便鱼排等鱼类冷冻产品, 营养即食的鱼软罐头、鱼冻罐头、风味豆豉鱼等系列鱼罐头制品, 酸菜鱼、烤鱼等加工食品, 加工工艺与产业的强劲发展极大地推动了鱼类加工业的长远发展^[11]。近年来, 国家和各级政府持续出台产业鼓励政策, 大力支持和规范水产食品加工产业的发展。《关于拓展农业多种功能促进乡村产业高质量发展的指导意见》《关于实施渔业发展支持政策推动渔业高质量发展的通知》《农业农村部关于乡村振兴战略下加强水产技术推广工作的指导意见》等政策引导水产加工业转型升级, 促进加工保鲜和副产物综合利用, 推进水产品现代冷链物流体系平台建设, 为水产加工行业提供良好的发展环境。根据中研普华产业研究院的《2022—2027年中国水产品加工行业现状与发展趋势及前景预测报告》显示: “十三五”以来, 我国水产品加工业发展态势平稳, 全国水产品加工业总产值从4 090亿元增长到4 354亿元, 水产品加工率基本稳定在38%左右。

加快现代冷链物流体系的建立 冷链物流体系的建设能极大地解决水产品流通和贮藏方面的难题, 更好地助力水产品的良销。《“十四五”冷链物流发展规划》指出, 强化水产品产地保鲜加工设施建设, 推动建设一批冷藏加工一体化的水产品产地冷链集配中心, 引导水产品就近加工; 健全支撑水产品消费的冷链物流体系, 加强水产品产地销地冷链物流对接, 加快提升销地冷链分拨配送能力, 推动沿海、重要江河流域等优势产区构建辐射全国的冷链物流网络, 到2035年全面建成现代冷链物流体系。加快水产品冷链物流体系的建设, 应着力于布局设施建设与专业化的提升, 因地制宜, 发挥地域特色优势, 合理布局产销两地的水产品冷藏设施建设, 充分保证产销两地的冷藏设施, 特别是加强产地的水产品冷藏设施建设, 加强与骨干冷链物流网络有效衔接, 开发从池塘到餐桌的优质冰鲜产品技术体系; 政府出台优惠政策, 吸引各企业抱团发展, 构建产销两地水产品冷链物流园区; 加强水产品园区设备设施建设, 尽早实现水产品园区全机械化、智能化, 加快设施装备数字化转型和智慧化升级步

伐; 完善水产品冷链物流的绿色发展, 加快绿色设备设施的研发, 保证水产品质量安全与冷链物流体系可持续发展; 提高创新能力, 加快新型保鲜制冷、节能环保技术的研发, 特别是加强鲜活水产品冷链物流技术的研发, 创新组织模式, 提高冷链物流规模化发展和网络化运作水平。近年来, 仓储保鲜技术、移动设备的制冷技术等冷链物流中得到全面地推广应用。在实际应用中, 物联网技术通过融合遥感技术、传感器技术等, 让设备信息通过定位技术随时传递、智能识别和有效监控, 特别在冷链物流中能感知产品质量变化, 减少损失和浪费^[112]。全国各地已经开始加强对水产品冷链物流建设的探索, 如河南省瞄准我国冷链物流产业迅速发展的契机, 逐步突破国际物流发展瓶颈, 探索了“全球—郑州—全国”的冷链物流现代模式, 初步形成冷链物流产业链、供应链、创新链、要素链、制度链的深度耦合, 打造了中西部冷链物流新高地^[113]。一些科研工作者对福建省的水产类生鲜食品冷链物流进行了研究, 针对存在的问题, 分别从配送模式、冷藏设备、政府政策三个方面提出了发展对策, 并对冷链物流体系提出了优化措施^[114]。

提高加工综合水平 水产品加工是渔业扩大再生产的关键一环, 其地位上承生产, 下承消费, 起着连接水产品原料生产与市场消费的纽带和桥梁作用, 能极大地带动生产, 促进消费, 具有显著的经济效益和社会效益。在 2023 年 3 月 17 日, 农业农村部印发的《关于加快推进农产品初加工机械化高质量发展的意见》中明确指出, 要优化水产品初加工布局, 聚焦主产区和重点品种, 加快补齐水产品初加工链条短板, 提升加工比例, 实现减损增效, 到 2025 年实现水产品初加工机械化率达到 50% 以上。提高水产品加工水平, 必须坚持以企业为主体, 积极鼓励和支持现有水产品加工龙头企业, 同时政府与龙头企业应扶持小的水产品加工企业, 以点带面, 形成水产品加工企业园区, 发挥典型示范和区域生产的规模效应, 构建初加工、精加工、深加工的产业链。同时加强企业园区的机械化、智能化使用, 以科技促发展, 大力引进先进的设备设施, 学习先进的水产品加工技术, 进一步提升初加工、精深加工水平; 注重水产品加工产业人才培养, 由政府牵头, 联合高等院校、科研院所、企业建立一流研发团队, 在现有的低温等离子体技术、超声波处

理技术、真空冷冻干燥技术等层次上, 着力研发新的水产品加工工艺和设备设施, 提高水产品加工技术联合攻关和成果转化应用水平, 为水产品加工业的可持续发展提供人才技术支撑。

此外, 还应进一步提升鱼类副产物综合利用水平, 加快对鱼各部位的研发利用, 充分利用除食用部位外的其他部位, 如利用鱼鳞制作鱼鳞冻加工产品^[115], 也可直接制作成菜肴^[116]; 利用鱼骨制作鱼骨钙制品, 制取硫酸软骨素、明胶、鱼骨肽、鱼油等^[117]; 利用鱼内脏提取鱼油、鱼露等^[118]。要加快对鱼类副产物深加工工艺研发, 变废为宝, 增加鱼类本身的经济效益。目前, 本科研团队利用自身研制的国家级水产新品种合方鲫和合方鲫 2 号制作成合方鲫系列加工产品, 主要有鱼冻、烤鱼、鱼饺等加工形式。特别是合方鲫系列鱼冻, 实现了一冻双用(鱼冻及鱼汤), 有效的冷冻、冷藏优质蛋白和优质脂肪, 并解决了鲫鱼自身的肌间刺问题。通过与湖南合方鱼食品科技有限公司联合研发, 合方鲫系列鱼冻已进行了推广。2023 年 2 月, 湖南合方鱼食品科技有限公司发布了食品安全企业标准——鱼冻(标准号: Q/YHYH 0001S—2023)^[119]。通过申报、现场勘察和审核, 于 2023 年 7 月获得了水产制品食品生产许可证。此外, 本科研团队在合方鲫和合方鲫 2 号利用方面还研发了合方鲫系列鱼丸产品。合方鲫系列鱼丸加工产品通过提取合方鲫和合方鲫 2 号鱼肉中的优质蛋白和优质脂肪, 使得该产品具有天然、营养、保健、鲜美等特点, 可作为优质加工产品供应餐馆和消费者。利用合方鲫、合方鲫 2 号等优质水产新品种开展了鱼类罐头加工工艺研发, 其优点包括充分利用了水产新品种的优质资源, 高效利用优质鲫的高蛋白等营养物质, 真正意义上将合方鲫系列鱼从厨房中解放出来, 拓展了水产种业的下游产业; 拓宽了水产新品种销售渠道, 从鲜活鱼的销售模式, 延伸成为适宜于远距离运输的产品; 提高了产品附加值, 为水产新品种的持续开发利用提供了新的渠道。

加强水产品市场拓展 二十大报告指出, 要坚持高水平对外开放, 加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局。我国有全球最强的水产品生产能力, 同时我国也有全球最大的水产品消费市场, 目前我国进入国际贸易的水产品比例较低, 据 2023 年《中国渔业统计年鉴》统计, 2022 年我国水产品出口量同比

下降 0.99%。随着全球新冠肺炎疫情的不定时反弹, 近几年大量鱼类产品供给过剩, 市场价格长期低迷, 国际循环不确定性加大。《“十四五”全国渔业发展规划》中指出, 水产品市场必须坚持扩大内需, 深化供给侧结构性改革, 提高供给适应引领创造新需求的能力。因此, 我国水产产业必须以满足国内消费作为出发点和落脚点, 更高效地出口鱼类产品, 首先解决目前鱼类产品过剩的问题。其次培育各品种的市场竞争主体, 促进水产品销售, 利用“互联网+渔业”的有机融合, 推动渔业生产、加工、销售数字化管理, 大力发展订单销售、电子商务、直供直销等新业态, 以拓展销售渠道、减少流通环节、提高销售价格, 扩大市场份额。特别是在特色鱼类方面, 某些产品需拓宽销售渠道, 摆脱对单一市场的严重依赖, 如一直依靠国外市场尤其是日本市场的鳗产业, 日本销售的蒲烧鳗鱼有六成以上来自中国^[120]; 还有依靠国外进口的观赏鱼类, 据海关总署数据统计, 2022 年我国观赏鱼类进口额为 441.28 万元, 出口额为 246.37 万元, 其中印度尼西亚、泰国和巴西的观赏鱼类进口额达 236.17 万元, 占进口总额的 53.52%。最后, 建立品牌标准和品牌效益, 全方位提升品牌知名度。各水产企业应以某一鱼类优质新品种为主, 其他鱼类品种为辅; 拒绝跟风养殖, 应专注于优质鱼类研究, 打造出某一鱼类品种的品牌效应。

4 总结

自 1989 年开始, 我国一直是全球第一渔业生产大国和全球最大的水产品贸易国, 在全球水产品产业链、供给链中的地位举足轻重。虽然从 20 世纪 50 年代以来, 我国水产业取得了长足进步, 为广大人民提供了丰富水产品, 解决了“吃鱼难”的问题。但是目前, 我国还没有从根本上解决“吃好鱼”及“吃放心鱼”的问题。就水产种业而言, 目前主要存在的问题为, 对选择育种、杂交育种、雌核发育育种、多倍体育种等传统和经典育种技术的基本机制解析不系统, 也不完善; 传统和经典育种技术与现代生物学技术相结合的程度还不紧密。在水产养殖方面, 传统的养殖模式也亟待转型升级, 除了少部分地区采用绿色生态养殖模式外, 全国大部分地区养殖模式落后, 特别是对于拥有全国最大养殖面积的池塘养殖来说, 它的生态标准化池塘建设的完成将大大促进我国水产

养殖业的可持续发展。在水产品销售方面, 活鱼冷链物流技术还不够强, 水产品加工理论尚不完善, “良种良养”的鱼类进入加工环节的种类偏少, 销售产业链较为薄弱。以上这些问题都严重制约了我国水产业的发展。因此, 政府、企业、科研团队应坚持以大食物观为导向, 加强多方合作, 做好水产品稳产保供, 以满足消费者的营养健康需求。对于企业和科研团队而言, 要以理论为基础, 创新育种技术, 加快新品种的研发, 实现“理论+技术+产品”的科技创新模式, 并以“回归自然, 少用激素; 模拟自然, 少人操作”为理念, 加强生态育种建设。在养殖模式上, 要因地制宜, 因鱼制宜合理开展大水面养殖、稻渔综合种养、池塘健康养殖、生态化设施养殖等鱼类养殖模式, 实现鱼类养殖模式的生态化、机械化、智能化。与此同时, 需要完善水产品加工理论, 推进优质鱼类产品精深加工, 拓展销售渠道, 把链条做长、特色做优、优势做强。在此基础上, 政府应大力支持, 建立“政府+企业+科研团队”新的渔业体制, 确立企业在种业、养殖、加工的主体地位, 明确认识到科研团队在育种创新上的核心地位, 建立一系列绿色生态养殖基地, 加强优质鱼类产品的深加工水平, 打造强硬的销售产业, 从而建立“良种良养良销”的产业发展新模式, 为其他水产品的发展提供借鉴经验, 助力水产业的可持续发展。目前, 作者团队在鱼类远缘杂交、雌核发育研究领域开展了长期而系统的研究工作, 建立了一步法和多步法杂交育种关键技术, 并用该技术创建了一批优质鱼类, 例如: 合方鲫、合方鲫 2 号、杂交翘嘴鲈、鳊鲌杂交鱼、湘云鲫 2 号、合方鳊、抗病草鱼、湘军鲤等, 其中合方鲫、合方鲫 2 号、杂交翘嘴鲈、鳊鲌杂交鱼和湘云鲫 2 号已获得国家级水产新品种证书。目前正在将合方鲫 2 号等良种进行大水面养殖、池塘健康养殖、稻-鱼健康养殖、藕-鱼健康养殖, 同时也在进行合方鲫系列鱼的加工及销售等工作, 并已经与一些餐饮公司达成合作。可以说, 本科研团队已经初步建立一个“良种良养良销”模式的雏形, 对鱼类“良种良养良销”体系的建立进行了有意义的探索, 并形成了建设性的个案, 希望起到抛砖引玉的作用, 为水产业的可持续发展提供一种新的思路。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 许正泓, 邱丽玺, 屈重庆, 等. 浅析我国观赏鱼产业发展及鱼种变化(上)[J]. 科学养鱼, 2022(10): 77-78.
Xu Z H, Qiu L X, Qu C Q, *et al.* Analysis on industrial development and species change of ornamental fish market in China(Continued)[J]. Scientific Fish Farming, 2022(10): 77-78 (in Chinese).
- [2] 桂建芳, 包振民, 张晓娟. 水产遗传育种与水产种业发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2016, 18(3): 8-14.
Gui J F, Bao Z M, Zhang X J. Development strategy for aquaculture genetic breeding and seed industry[J]. Strategic Study of CAE, 2016, 18(3): 8-14 (in Chinese).
- [3] 杨红生. 现代水产种业硅谷建设的几点思考[J]. 海洋科学, 2018, 42(10): 1-7.
Yang H S. Several strategies for the modernization of the construction of the aquaculture seed industry silicon valley[J]. Marine Sciences, 2018, 42(10): 1-7 (in Chinese).
- [4] Brown C, Davidson T, Laland K. Environmental enrichment and prior experience of live prey improve foraging behaviour in hatchery-reared Atlantic salmon[J]. Journal of Fish Biology, 2003, 63(s1): 187-196.
- [5] Vo C, True J D. Effects of habitat structure and salinity on growth and survival of juvenile mangrove red snapper *Lutjanus argentimaculatus* (Forsskal, 1775)[J]. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 2018, 40: 1240-1247.
- [6] Hyvärinen P, Rodewald P, Bradford M. Enriched rearing improves survival of hatchery-reared Atlantic salmon smolts during migration in the River Tornionjoki[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2013, 70(9): 1386-1395.
- [7] Salvanes A G, Moberg O, Ebbesson L O, *et al.* Environmental enrichment promotes neural plasticity and cognitive ability in fish[J]. Royal Society. Proceedings B. Biological Sciences, 2013, 280(1767): 20131331.
- [8] Karvonen A, Aalto-Araneda M, Virtala A-M, *et al.* Enriched rearing environment and wild genetic background can enhance survival and disease resistance of salmonid fishes during parasite epidemics[J]. Journal of Applied Ecology, 2016, 53(1): 213-221.
- [9] Rähkä V, Sundberg L R, Ashrafi R, *et al.* Rearing background and exposure environment together explain higher survival of aquaculture fish during a bacterial outbreak[J]. Journal of Applied Ecology, 2019, 56(7): 1741-1750.
- [10] Muggli A M, Barnes J M, Barnes M E. Vertically-suspended environmental enrichment alters the velocity profiles of circular fish rearing tanks[J]. World Journal of Engineering and Technology, 2019, 07(1): 208-226.
- [11] Caasi J M A, Barnes J M, Barnes M E. Impact of vertically-suspended environmental enrichment and two densities of fish on circular tank velocity profiles[J]. Engineering, 2020, 12(10): 723-738.
- [12] Jones M D, Krebs E, Huysman N, *et al.* Rearing performance of Atlantic salmon grown in circular tanks with vertically-suspended environmental enrichment[J]. Open Journal of Animal Sciences, 2019, 09(2): 249-257.
- [13] Murtaza M U H, Zuberi A, Ahmad M, *et al.* Influence of early rearing environment on water-borne cortisol and expression of stress-related genes in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Molecular Biology Reports, 2020, 47(7): 5051-5060.
- [14] Arechavala - Lopez P, Cabrera - Álvarez M J, Maia C M, *et al.* Environmental enrichment in fish aquaculture: a review of fundamental and practical aspects[J]. Reviews in Aquaculture, 2021, 14(2): 704-728.
- [15] Roh H J, Kang G S, Kim A, *et al.* Blue light-emitting diode photoinactivation inhibits edwardsiellosis in fancy carp (*Cyprinus carpio*)[J]. Aquaculture, 2018, 483: 1-7.
- [16] Roh H J, Kim A, Kang G S, *et al.* Blue light-emitting diode light at 405 and 465 nm can inhibit a Miamiensis avidus infection in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*[J]. Aquaculture, 2018, 493: 176-185.
- [17] Sanchez-Vazquez F J, Lopez-Olmeda J F, Vera L M, *et al.* Environmental cycles, melatonin, and circadian control of stress response in fish[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2019, 10: 279.
- [18] Buscaino G, Filiciotto F, Buffa G, *et al.* Impact of an acoustic stimulus on the motility and blood parameters of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.)[J]. Marine Environmental Research, 2010, 69(3): 136-142.
- [19] Filiciotto F, Giacalone V M, Fazio F, *et al.* Effect of acoustic environment on gilthead sea bream (*Sparus aurata*): sea and onshore aquaculture background noise[J]. Aquaculture, 2013, 414-415: 36-45.
- [20] Filiciotto F, Cecchini S, Buscaino G, *et al.* Impact of aquatic acoustic noise on oxidative status and some immune parameters in gilthead sea bream *Sparus aurata* (Linnaeus, 1758) juveniles[J]. Aquaculture Research, 2017, 48(4): 1895-1903.
- [21] Debusschere E, De Coensel B, Bajek A, *et al.* In situ mortality experiments with juvenile sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in relation to impulsive sound

- levels caused by pile driving of windmill foundations[J]. *PLoS One*, 2014, 9(10): e109280.
- [22] Debusschere E, Hostens K, Adriaens D, *et al.* Acoustic stress responses in juvenile sea bass *Dicentrarchus labrax* induced by offshore pile driving [J]. *Environmental Pollution*, 2016, 208(Pt B): 747-757.
- [23] Neo Y Y, Seitz J, Kastelein R A, *et al.* Temporal structure of sound affects behavioural recovery from noise impact in European seabass[J]. *Biological Conservation*, 2014, 178: 65-73.
- [24] Neo Y Y, Hubert J, Bolle L J, *et al.* European seabass respond more strongly to noise exposure at night and habituate over repeated trials of sound exposure[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 239: 367-374.
- [25] Celi M, Filiciotto F, Maricchiolo G, *et al.* Vessel noise pollution as a human threat to fish: assessment of the stress response in gilthead sea bream (*Sparus aurata*, Linnaeus 1758)[J]. *Fish Physiol Biochem*, 2016, 42(2): 631-641.
- [26] Spiga I, Aldred N, Caldwell G S. Anthropogenic noise compromises the anti-predator behaviour of the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (L.)[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 122(1-2): 297-305.
- [27] Mauro M, Perez-Arjona I, Perez E J B, *et al.* The effect of low frequency noise on the behaviour of juvenile *Sparus aurata*[J]. *Journal of The Acoustical Society of America*, 2020, 147(6): 3795.
- [28] 赵涵, 许玲. 借鉴国际先进经验 加快种业自主创新 [J]. 群众, 2021(10): 38-39.
Zhao H, Xu L. Learn from advanced international experience and accelerate independent innovation in the seed industry[J]. *Masses*, 2021(10): 38-39 (in Chinese).
- [29] Aslesen H W. Innovation, path dependency, and policy [M]. Oxford: Oxford University Press. 2009: 208-234.
- [30] Wang S Y, Luo J, Murphy R W, *et al.* Origin of Chinese goldfish and sequential loss of genetic diversity accompanies new breeds[J]. *PLoS One*, 2013, 8(3): e59571.
- [31] Hubbs C L. Notes on hybrid sun- fishes[J]. *Aquatic Life*, 1920, 5: 101-103.
- [32] Hubbs C L, Hubbs L C. Apparent parthenogenesis in nature, in a form of fish of hybrid origin[J]. *Science*, 1932, 76(1983): 628-630.
- [33] 朱蓝菲, 蒋一珪. 银鲫种内的遗传标记及其在选种中的应用[J]. *水生生物学报*, 1987(2): 105-111, 193-194.
Zhu L F, Jiang Y G. Genetic markers within silver crucian species and their application in selection[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1987(2): 105-111, 193-194 (in Chinese).
- [34] Venkatesh B, Gilligan P, Brenner S. Fugu: a compact vertebrate reference genome[J]. *FEBS Lett*, 2000, 476(1-2): 3-7.
- [35] Hickling C F. The malacca tilapia hybrids[J]. *Journal of Genetics*, 1960, 57: 1-10.
- [36] Swarup H. Production of triploidy in *Gasterosteus aculeatus* (L.)[J]. *Journal of Genetics*, 1959, 56: 129-142.
- [37] 童第周, 吴尚勳, 叶毓芬, 等. 鱼类细胞核的移植[J]. *科学通报*, 1963(7): 60-61.
Tong D Z, Wu S Q, Ye Y F, *et al.* Transplantation of fish nuclei[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1963(7): 60-61 (in Chinese).
- [38] Takeuchi Y, Yoshizaki G, Takeuchi T. Biotechnology: surrogate broodstock produces salmonids[J]. *Nature*, 2004, 430(7000): 629-630.
- [39] Zhu Z, He L, Chen S. Novel gene transfer into the fertilized eggs of gold fish (*Carassius auratus* L. 1758)[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 1985, 1: 31-34.
- [40] Dong Z, Ge J, Li K, *et al.* Heritable targeted inactivation of myostatin gene in yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) using engineered zinc finger nucleases[J]. *PLoS One*, 2011, 6(12): e28897.
- [41] 张晓娟, 周莉, 桂建芳. 遗传育种生物技术创新与水产养殖绿色发展 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2019, 49(11): 1409-1429.
Zhang X J, Zhou L, Gui J F. Biotechnological innovation in genetic breeding and sustainable green development in Chinese aquaculture[J]. *Scientia Sinica (Vitae)*, 2019, 49(11): 1409-1429 (in Chinese).
- [42] 王莹. 种业公司知识产权保护战略与实施效果[J]. *分子植物育种*, 2023, 21(22): 7616-7620.
Wang Y. Strategy and effect of intellectual property protection of seed industry company[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2023, 21(22): 7616-7620 (in Chinese).
- [43] 靳英桃. 种子知识产权保护对种业发展的影响分析 [J]. *分子植物育种*, 2023, 21(23): 7931-7936.
Jin Y T. Analysis of the influence of seed intellectual property protection on seed industry development[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2023, 21(23): 7931-7936 (in Chinese).
- [44] 李第平, 陈国飞, 陈俊桦, 等. 海水养殖生态环境问题与治理 [J]. *农业工程技术* 2023, 43(7): 103, 105.
Li D P, Chen G F, Chen J Y, *et al.* Ecological environment problems and management of mariculture [J]. *Agricultural Engineering Technology*, 2023, 43(7): 103, 105 (in Chinese).
- [45] 范国荣. 海水养殖污染及其治理对策 [J]. *黑龙江环境通报* 2022, 35(3): 86-89.

- Fan G R. Pollution of mariculture and its control measures [J]. Heilongjiang Environmental Journal, 2022, 35(3): 86-89 (in Chinese).
- [46] 杨容滔. 海水养殖成近海重要污染源[J]. 生态经济, 2023, 39(6): 9-12.
- Yang R T. Mariculture has become an important source of pollution in offshore areas[J]. Ecological Economy, 2023, 39(6): 9-12 (in Chinese).
- [47] 李青芝, 李华, 龚全, 等. 四川省大水面生态渔业发展及对策[J]. 四川农业科技, 2022(12): 76-78.
- Li Q Z, Li H, Gong Q, *et al.* Development and countermeasures of large surface ecological fisheries in Sichuan Province[J]. Sichuan Agricultural Science and Technology, 2022(12): 76-78 (in Chinese).
- [48] 韦爱良, 唐玉华. 养殖池塘生态环境改良与修复措施[J]. 渔业致富指南, 2023(9): 38-39.
- Wei A L, Tang Y H. Improvement and remediation measures of ecological environment of breeding ponds[J]. Fishery Guide to be Rich, 2023(9): 38-39 (in Chinese).
- [49] 刘培敏, 罗金萍, 高权新. 水产养殖环境微生物研究进展[J]. 生物技术进展, 2022, 12(5): 690-695.
- Liu P M, Luo J P, Gao Q X. Research progress of microorganisms in aquaculture environment[J]. *Current Biotechnology*, 2022, 12(5): 690-695 (in Chinese).
- [50] 邓素炎, 郭雯, 温雯雯, 等. 水体富营养化及物种入侵对湖泊食物网的影响研究——以星云湖为例 [J/OL]. 中国环境科学, 1-13 [2023-11-12]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230927.004>.
- Deng S Y, Guo W, Wen W W, *et al.* Effects of water eutrophication and species invasion on lake food web: a case study of Xingyun Lake[J/OL]. China Environmental Science, 1-13[2023-11-12]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230927.004> (in Chinese).
- [51] Li D, Liu Z, Xie C J F P, *et al.* Effect of stocking density on growth and serum concentrations of thyroid hormones and cortisol in Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2012, 38: 511-520.
- [52] Larsen B K, Skov P V, Mckenzie D J, *et al.* The effects of stocking density and low level sustained exercise on the energetic efficiency of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at 19 C[J]. *Aquaculture*, 2012, 324: 226-233.
- [53] 董宣, 周捷. 不同放养密度对陆基循环水养殖条件下黄壳鱼生长和存活的影响[J]. 中国水产, 2023(7): 69-71.
- Dong X, Zhou J. Effects of stocking densities on the growth and survival of yellowshell fish under land-based recirculating aquaculture conditions[J]. *China Fisheries*, 2023(7): 69-71 (in Chinese).
- [54] 任华, 蓝泽桥, 孙宏懋, 等. 投喂次数对杂交鲟幼鱼摄食率及生长的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2012(9): 50-52.
- Ren H, Lan Z Q, Sun H M, *et al.* Effects of feeding times on feeding rate and growth of juvenile hybrid sturgeon[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2012(9): 50-52 (in Chinese).
- [55] 张新福, 杨军, 何盛亮, 等. 长吻鮠苗种适宜圈养密度研究[J]. 淡水渔业, 2023, 53(4): 98-105.
- Zhang X F, Yang J, He S L, *et al.* Study on the suitable density of *Leiocassis longirostris* seedling in captivity[J]. *Freshwater Fisheries*, 2023, 53(4): 98-105 (in Chinese).
- [56] 李琪, 孙艳秋, 刘鉴毅, 等. 不同密度点篮子鱼与文蛤混养对鱼、贝生长和肌肉营养的影响[J]. 海洋渔业, 2023, 45(3): 326-339.
- Li Q, Sun Y Q, Liu J Y, *et al.* Effects of mixed culture of *Siganus guttatus* and clams at different densities on the growth and muscle nutrition of fish and shellfish[J]. *Marine Fisheries*, 2023, 45(3): 326-339 (in Chinese).
- [57] 冷婷婷. 水产养殖水质调控技术概述[J]. 现代畜牧科技, 2023(8): 149-151.
- Leng T T. Overview of water quality control technology in aquaculture[J]. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2023(8): 149-151 (in Chinese).
- [58] 宋楚儿, 孟振, 张正, 等. 微藻在水产养殖水质净化中的应用[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2023, 42(4): 330-337.
- Song C E, Meng Z, Zhang Z, *et al.* Application of microalgae in water purification for aquaculture[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition)*, 2023, 42(4): 330-337 (in Chinese).
- [59] 韩财安, 黄根勇, 杨明容, 等. 深红酵母菌对台湾泥鳅养殖水质及生长性能的影响[J]. 科学养鱼, 2022(10): 68-69.
- Han C A, Huang G Y, Yang M R, *et al.* Effects of *Rhodotorula rubra* on water quality and growth performance of loach in Taiwan[J]. *Scientific Fish Farming*, 2022(10): 68-69 (in Chinese).
- [60] 薛镇宇. 中国水产学会大水面渔业资源增殖学术讨论会在哈尔滨举行[J]. 水产科技情报, 1979(8): 1.
- Xie Z Y. The symposium on the enhancement of large surface fishery resources of the Chinese Fisheries Society was held in Harbin[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 1979(8): 1 (in Chinese).
- [61] 胡传林, 刘家寿, 李钟杰. 大水面渔业资源可持续利用与保护[J]. 水利渔业, 1999(5): 50-53.

- Hu C L, Liu J T, Li Z J. Sustainable use and protection of large surface fishery resources[J]. *Journal of Hydroecology*, 1999(5): 50-53 (in Chinese).
- [62] 刘子飞, 李飞, 夏佳佳. 大水面生态渔业发展的现状、困境与对策[J]. *生态经济*, 2022, 38(3): 142-148.
- Liu Z F, Li F, Xia J J. Research on development status, issues and countermeasures for ecological fishery of large scale water[J]. *Ecological Economy*, 2022, 38(3): 142-148 (in Chinese).
- [63] 李明爽, 单袁. 齐聚一湖碧水 畅议两山理论——大水面生态渔业高峰论坛在千岛湖举办[J]. *中国水产*, 2019(10): 6-11.
- Li M S, Dan Y. Gathering in one lake and clear water to discuss the theory of two mountains - the summit forum of large surface ecological fishery was held in Qiandao Lake[J]. *China Fisheries*, 2019(10): 6-11 (in Chinese).
- [64] 吴建平, 郑家平. 千岛湖大水面生态渔业实践与推广[J]. *中国水产*, 2022(11): 57-61.
- Wu J P, Zheng J P. Practice and promotion of large-surface ecological fishery in Qiandao Lake[J]. *China Fisheries*, 2022(11): 57-61 (in Chinese).
- [65] 王丽莉, 刘文丽, 符东林, 等. 易水湖大水面生态渔业与旅游协同发展模式探讨[J]. *河北渔业*, 2023(1): 30-31, 46.
- Wang L L, Liu W L, Fu D L, *et al.* Discussion on the coordinated development mode of ecological fishery and tourism in the large surface of Yishui Lake[J]. *Hebei Fisheries*, 2023(1): 30-31, 46 (in Chinese).
- [66] 宋欣. 山东省大水面养殖产业集聚研究[J]. *水产养殖*, 2022, 43(12): 77-80.
- Song X. Research on the agglomeration of large surface aquaculture industry in Shandong Province[J]. *Journal of Aquaculture*, 2022, 43(12): 77-80 (in Chinese).
- [67] 韦众, 奚业文, 金生振, 等. 安徽大水面生态渔业的现状与思考(下)[J]. *科学养鱼*, 2022(4): 26-27.
- Wei Z, Xi Y W, Jin S Z, *et al.* Development status and thought for ecological fishery of nature water body in Anhui province(Continued)[J]. *Scientific Fish Farming*, 2022(4): 26-27 (in Chinese).
- [68] 邱西敏, 薛凌展, 黄健, 等. 福建大水面渔业养殖现状与发展方向探析[J]. *中国水产*, 2022(8): 54-58.
- Qiu X M, Xie L Z, Huang J, *et al.* Analysis on the current situation and development direction of large surface fisheries in Fujian[J]. *China Fisheries*, 2022(8): 54-58 (in Chinese).
- [69] 苗春雷. “鱼菜共生”实现零污染零排放 [N]. *烟台日报*, 2023-08-16(001).
- Miao C L. "Aquaponics" achieves zero pollution and zero emissions[N]. *Yantai Daily*, 2023-08-16(001) (in Chinese).
- [70] Castillo-Castellanos D, Zavala-Leal I, Ruiz-Velazco J, *et al.* Implementation of an experimental nutrient film technique-type aquaponic system[J]. *Aquaculture International*, 2016, 24: 637-646.
- [71] Enduta A, Jusoh A, Ali N A, *et al.* Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system [J]. *Desalination and Water Treatment*, 2011, 32(1-3): 422-430.
- [72] 周辉明, 陶志英, 邓勇辉, 等. 淡水池塘循环水养殖模式研究综述[J]. *江西水产科技*, 2022(6): 56-64.
- Zhou H M, Tao Z Y, Deng Y H, *et al.* Review of recirculating aquaculture models in freshwater ponds[J]. *Jiangxi Fishery Science and Technology*, 2022(6): 56-64 (in Chinese).
- [73] 李明爽, 夏芸, 王紫阳. 池塘工程化循环水养殖机械化发展现状及趋势 [J]. *科学养鱼* 2022(12): 1-3.
- Li M S, Xia Y, Wang Z Y. Development status and trend of mechanization of pond engineering recycling aquaculture[J]. *Scientific Fish Farming*, 2022(12): 1-3 (in Chinese).
- [74] 蒋阳阳, 李海洋, 崔凯, 等. 池塘工程化循环水养殖模式生态及经济效益分析[J]. *浙江农业科学*, 2020, 61(9): 1887-1890.
- Jiang Y Y, Li H Y, Cui K, *et al.* Analysis of ecological and economic benefits of engineered recirculating aquaculture in ponds[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2020, 61(9): 1887-1890 (in Chinese).
- [75] 夏念丽. 一种“零换水”池塘工程化循环水养殖模式[J]. *河北渔业*, 2020(4): 16-17, 62.
- Xia N L. A "zero water exchange" pond engineering recycling aquaculture mode[J]. *Hebei Fisheries*, 2020(4): 16-17, 62 (in Chinese).
- [76] 任敬. 漏斗形池塘循环水高效养殖试验[J]. *中国水产*, 2022(10): 85-87.
- Ren J. Experiments on efficient culture of circulating water in funnel pond[J]. *China Fisheries*, 2022(10): 85-87 (in Chinese).
- [77] 张亚娟, 郭江涛. 漏斗形池塘循环水高效养殖技术推广应用及改进措施[J]. *河南水产*, 2022(4): 41-43.
- Zhang Y J, Guo H T. Application and improvement measures of circulating water culture technology in funnel pond[J]. *Henan Fisheries*, 2022(4): 41-43 (in Chinese).
- [78] 任敬, 孟秋. 黄颡鱼漏斗形池塘循环水高效养殖试验[J]. *水产养殖*, 2023, 44(3): 56-57.
- Ren J, Meng Q. Experiments on efficient culture of pelteobagrus fulvidraco with circulating water in funnel

- shaped pond[J]. *Journal of Aquaculture*, 2023, 44(3): 56-57 (in Chinese).
- [79] 刘兴国, 刘兆普, 徐皓, 等. 生态工程化循环水池塘养殖系统[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(11): 237-244.
Liu X G, Liu Z P, Xu H, *et al.* Ecological engineering recirculating water pond culture system[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(11): 237-244 (in Chinese).
- [80] 梁月枝. 水产健康生态养殖发展面临的问题及对策[J]. *畜牧兽医科技信息*, 2022(8): 240-242.
Liang Y Z. Problems and countermeasures faced by the development of healthy ecological aquaculture of aquatic products[J]. *Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2022(8): 240-242 (in Chinese).
- [81] 吴涛, 黄璜, 陈灿, 等. 我国稻田养鱼技术的研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2017(10): 116-120.
Wu T, Huang H, Chen C, *et al.* Research progress of fish farming technique in paddy field in China[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2017(10): 116-120 (in Chinese).
- [82] 徐跑. 中国稻鱼综合种养的发展与展望[J]. *大连海洋大学学报*, 2021, 36(5): 717-726.
Xu P. Development and prospect of integrated rice-fish farming in China: a review[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2021, 36(5): 717-726 (in Chinese).
- [83] 李嘉尧, 常东, 李柏年, 等. 不同稻田综合种养模式的成本效益分析[J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1431-1438.
Li J Y, Chang D, Li B N, *et al.* Benefit-cost analysis of different rice-based production systems[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1431-1438 (in Chinese).
- [84] Ahmed N, Hornbuckle J, Turchini G M. Blue-green water utilization in rice-fish cultivation towards sustainable food production[J]. *Ambio*, 2022, 51(9): 1933-1948.
- [85] Li F, Gao J, Xu Y, *et al.* Biodiversity and sustainability of the integrated rice-fish system in Hani terraces, Yunnan Province, China[J]. *Aquaculture Reports*, 2021, 20: 100763.
- [86] 董成文, 耿晓琴, 陈恩磊. 黔南州生态渔业发展现状和前景分析[J]. *江西水产科技*, 2021(6): 3,9.
Dong C W, Geng X Q, Chen E L. Analysis of the development status and prospect of ecological fishery in Qiannan Prefecture[J]. *Jiangxi Fishery Science and Technology*, 2021(6): 3,9 (in Chinese).
- [87] 谢春风, 邓凌云, 卢明, 等. 湖南省稻田养鱼产业扶贫研究[J]. *农学学报*, 2020, 10(9): 103-108.
Xie C F, Deng L Y, Lu M, *et al.* Agricultural poverty alleviation through rice-fish farming in Hunan[J]. *Journal of Agriculture*, 2020, 10(9): 103-108 (in Chinese).
- [88] 吴志强, 李坚明. 推进稻渔生态种养, 促进广西农业绿色发展[J]. *广西农学报*, 2019, 34(2): 1-5.
Wu Z Q, Li J M. Advancing ecological cultivation of rice and fisheries and promoting agriculture green development in Guangxi[J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2019, 34(2): 1-5 (in Chinese).
- [89] 高晓霞. “丢荒地”成“致富田” 韶关市稻渔综合种养产业发展迅速[J]. *海洋与渔业*, 2020(7): 17.
Gao X X. "Lost Wasteland" Becomes "Rich Field" Shaoguan City's comprehensive rice and fishery breeding industry has developed rapidly[J]. *Ocean and Fishery*, 2020(7): 17 (in Chinese).
- [90] 顾钱洪, 曾倩倩, 李占鑫等. 稻-鱼种养减控镉及米、鱼性状研究[J]. *水产学报*, 2023, 47(5): 142-152.
Gu Q H, Zeng Q Q, Li Z X, *et al.* Effects on rice grains cadmium reduction and the characteristics of rice and fish in rice-fish coculture system[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(5): 142-152 (in Chinese).
- [91] 蒋芳, 龙祥平, 韦先超, 等. “稻田高位池”稻渔综合种养内循环生态养殖新模式建设初探[J]. *科学养鱼*, 2021(12): 18-19.
Jiang F, Long X P, Wei X C, *et al.* A preliminary study on the construction of a new model of circular ecological aquaculture in the "rice field high pond" for rice and fishery comprehensive breeding[J]. *Scientific Fish Farming*, 2021(12): 18-19 (in Chinese).
- [92] 白富瑾, 郭财增, 李斌, 等. 陆基玻璃钢设施养殖斑点叉尾鲷+稻蟹共作模式试验[J]. *科学养鱼*, 2022(7): 44-45.
Bai F J, Guo C Z, Li B, *et al.* Experiment of co-cropping mode of spotted forktail catfish + rice crab cultured in land-based FRP facilities[J]. *Scientific Fish Farming*, 2022(7): 44-45 (in Chinese).
- [93] 张国胜. 藕田养鱼技术初探[J]. *淡水渔业*, 1987(5): 40-41.
Zhang G S. A preliminary study on fish farming technology in lotus fields[J]. *Freshwater Fisheries*, 1987(5): 40-41 (in Chinese).
- [94] 张仕, 程明. 藕田养鱼新技术[J]. *农家之友*, 1999(6): 11.
Zhang S, Cheng M. New technology for fish farming in lotus fields[J]. *Friends of the farmer*, 1999(6): 11 (in Chinese).
- [95] 沈汉庭, 吉桂山, 顾茂才, 等. 鱼藕共生生态工程增益减耗效果研究[J]. *农村生态环境*, 2001, 17(3): 17-20.
Shen H T, Ji G S, Gu M C, *et al.* Benefit of fish-lotus

- symbiosis ecological project[J]. Rural Eco-Environment, 2001, 17(3): 17-20 (in Chinese).
- [96] 冷国山. 半鱼半莲打造三湘第一生态园[J]. 湖南农业, 2015(1): 16.
- Leng G S. Half fish and half lotus to create the first ecological park of Sanxiang[J]. Agriculture in Hunan Province, 2015(1): 16 (in Chinese).
- [97] 朱小发. 福瑞鲤2号莲田生态养殖技术[J]. 科学养鱼, 2022(7): 79-80.
- Zhu X F. Ecological breeding technology of Furui carp No. 2 lotus field[J]. Scientific Fish Farming, 2022(7): 79-80 (in Chinese).
- [98] 张士罡. 藕田立体高效养殖泥鳅黄鳝[J]. 农村新技术, 2016(7): 28-29.
- Zhang S G. Three-dimensional and efficient cultivation of loach yellow eel in lotus field[J]. New Rural Technologies, 2016(7): 28-29 (in Chinese).
- [99] 王玉堂. 我国设施水产养殖业的发展现状与趋势[J]. 中国水产, 2012(10): 7-10.
- Wang Y T. Development status and trend of facility aquaculture industry in China[J]. China Fisheries, 2012(10): 7-10 (in Chinese).
- [100] 何贤臣, 刘丹阳, 尹海富. 我国鲟鱼设施养殖现状[J]. 黑龙江水产, 2018(4): 8-10.
- He X C, Liu D Y, Yin H F. Current situation of sturgeon facility aquaculture in China[J]. Northern Chinese Fisheries, 2018(4): 8-10 (in Chinese).
- [101] 笑笑. 设施渔业的基本涵义[J]. 现代渔业信息, 2006, 21(9): 35.
- Xiao X. The basic meaning of facility fisheries[J]. Modern Fisheries Information, 2006, 21(9): 35 (in Chinese).
- [102] 陈石娟. 工厂化养殖设施渔业中的生力军——设施渔业之工厂化养殖——一种发展前景广阔的新型养殖模式[J]. 海洋与渔业, 2011(2): 9-12.
- Chen S J. The new force in the fishery of factory breeding facilities - factory aquaculture of facility fisheries - a new aquaculture mode with broad development prospects[J]. Ocean and Fishery, 2011(2): 9-12 (in Chinese).
- [103] 蔡欣, 刘中惠, 傅超, 等. 池塘圈养桶养殖加州鲈试验[J]. 江西水产科技, 2022(6): 14-16.
- Cai X, Liu Z H, Fu C, *et al.* Pond captive barrel-farmed Californica perch experiment[J]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 2022(6): 14-16 (in Chinese).
- [104] 陈骏. 池塘圈养绿色高效模式探析[J]. 江苏农机化, 2022(1): 25-27.
- Chen J. Study on the green and efficient mode of pond captivity[J]. Jiangsu Agricultural Mechanization, 2022(1): 25-27 (in Chinese).
- [105] 何绪刚, 侯杰. 池塘圈养模式研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(3): 21-29.
- He X G, Hou J. Research progress of captive pond breeding model[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(3): 21-29 (in Chinese).
- [106] 农新. 网箱养鱼新出路——集装箱式生态养殖[J]. 农村新技术, 2018(11): 4-7.
- Nong X. A new way out for fish farming in cages - containerized ecological farming[J]. New Rural Technologies, 2018(11): 4-7 (in Chinese).
- [107] 朱泽闻, 舒锐, 谢骏. 集装箱式水产养殖模式发展现状分析及对策建议[J]. 中国水产, 2019(4): 28-30.
- Zhu Z W, Shu R, Xie J. Analysis of the development status of containerized aquaculture mode and countermeasure suggestions[J]. China Fisheries, 2019(4): 28-30 (in Chinese).
- [108] 聂虎子, 尹立鹏. 高原渔业集装箱设施养殖试验研究[J]. 现代农业装备, 2020, 41(2): 59-63.
- Nie H Z, Yin L P. Breeding experimental research on fishery cotainer facilityon plateau[J]. Modern Agricultural Equipment, 2020, 41(2): 59-63 (in Chinese).
- [109] 中国水产. 集装箱养殖技术入选农业农村部 2018 年十项重大引领性农业技术 [J]. 中国水产, 2018(8): 22.
- China Fisheries. Container farming technology was selected as one of the ten major leading agricultural technologies of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs in 2018 [J]. China Fisheries, 2018(8): 22 (in Chinese).
- [110] 莫星忱, 伍彬, 吕柏东. 鱼类精深加工技术研究进展[J]. 食品安全导刊, 2020(12): 160-163.
- Mo X Y, Wu B, Lv B D. Research progress of fish intensive processing technology[J]. China Food Safety Magazine, 2020(12): 160-163 (in Chinese).
- [111] 赵宁, 孙爽, 史晓杰, 等. 鱼类工业化生产加工技术研究进展[J]. 中国调味品, 2020, 45(10): 163-166.
- Zhao N, Sun S, Shi X J, *et al.* Research progress of industrial production and processing technology of fish[J]. China Condiment, 2020, 45(10): 163-166 (in Chinese).
- [112] 阮君如, 王国庆. 广东省水产品冷链物流发展的研究[J]. 中国储运, 2021(9): 197-198.
- Ruan J R. Research on the development of cold chain logistics of aquatic products in Guangdong Province[J]. China Storage & Transport, 2021(9): 197-198 (in Chinese).
- [113] 李文哲. 河南中原四季水产物流港: 打造中西部冷链物流新高地 [N]. 经济参考报, 2021-10-14(007)
- Li W Z. Henan central plains four seasons aquatic

- products logistics port: to build a new highland of cold chain logistics in the central and western regions [N]. Economic Information Daily, 2021-10-14(007) (in Chinese).
- [114] Wei H M. Study on cold chain logistics of aquatic fresh food-a case study of Fujian Province [C]/Information Engineering Research Institute, USA.Proceedings of 2019 7th ICASS International Conference on Education and Management(ICEM 2019). Barcelona, Spain, 2019 (in Chinese).
- [115] 任梦婷, 孙若文, 尹涛, 等. 鲢鱼鳞冻预制菜的熬煮工艺优化及其凝胶特性[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(1): 170-177.
- Ren M T, Sun R W, Yin T, *et al.* Optimization of simmering technology and gelation characteristics of prepared food from silver carp scale jelly[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2023, 42(1): 170-177 (in Chinese).
- [116] 张文祥. 鱼鳞的加工及菜例[J]. 四川烹饪, 2006(3): 31.
- Zhang W X. Processing of fish scales and cooking examples[J]. Sichuan-cuisine, 2006(3): 31 (in Chinese).
- [117] 冯淳淞, 洪惠, 罗永康. 鱼骨综合利用的研究进展[J]. 中国水产, 2021(11): 85-87.
- Feng C S, Hong H, Luo Y K. Research progress on comprehensive utilization of fishbone[J]. China Fisheries, 2021(11): 85-87 (in Chinese).
- [118] 李星. 淡水鱼内脏的综合利用研究 [D]. 南昌: 江西科技师范大学, 2020.
- Li X. Research on the comprehensive utilization of freshwater fish offal [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University of Science and Technology, 2020 (in Chinese).
- [119] 湖南省卫生健康委员会. 鱼冻企业标准: Q/AYHF0001S-2023 [S/OL]. 长沙: 湖南省卫生健康委员会 :2023 [2023-05-14]. https://wjw.hunan.gov.cn/wjw/bsfw/ggfw/spaqqyzbahgs/202305/t20230504_29328273.html.
- Health Commission of Hunan Province. Corporate standards for fish jelly: Q/AYHF0001S-2023 [S/OL] Changsha: Health Commission of Hunan Province: 2023 [2023-05-14]. https://wjw.hunan.gov.cn/wjw/bsfw/ggfw/spaqqyzbahgs/202305/t20230504_29328273.html (in Chinese).
- [120] 吉蕾蕾. 出口鳗鱼“游”回国内市场[J]. 中国食品工业, 2022(7): 96.
- Ji L L. Export eels swim back to the domestic market[J]. China Food Industry, 2022(7): 96 (in Chinese).

The system establishment of improved seed, healthy aquaculture and high-quality sales of fish

WANG Shi^{1,2}, XU Qinglin^{1,2}, QIN Qinbo^{1,2}, TAO Min^{1,2}, ZHANG Chun^{1,2},
ZHOU Yi^{1,2}, LUO Kaikun^{1,2}, HU Fangzhou^{1,2}, WANG Yude^{1,2}, LIU Qingfeng^{1,2},
ZHAO Rurong^{1,2}, WU Chang^{1,2}, LIU Shaojun^{1,2*}

(1. State Key Laboratory of Developmental Biology of Freshwater Fish, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

2. Engineering Research Center of Polyploid Fish Reproduction and Breeding of the State Education Ministry,
College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: Currently, China's aquaculture industry is mainly based on aquaculture, supplemented by fishing. In 2022, freshwater aquaculture accounted for 47.91% of aquatic production, marine aquaculture accounted for 33.14%, and fishing accounted for 18.94%. In aquaculture, the yield of fish farming accounted for 52.16%, showing a pivotal position. "Improved seed, healthy aquaculture and high-quality sales" are the three important components of the aquaculture industry. "Improved seed" is the leading part of the aquaculture industry, "healthy aquaculture" is the guarantee of the aquaculture industry, and "high-quality sales" links such as processing and sales are the important driving force for the development of the aquaculture industry. Since the 1950s, China's aquaculture industry has made great progress, which has provided rich aquatic products for the broad masses of people and solved the problem of "difficulty in eating fish". However, at present, in China's aquaculture industry, there are problems such as having varieties but with imperfect market and insufficient industrialization or having an industry but no high-quality varieties, and the problem of "eating good fish" and "eating safe fish" has not been fundamentally solved. In order to accelerate the development of China's aquaculture industry, the authors believe that it is necessary to establish and implement a system of improved seed, healthy aquaculture and high-quality sales, so as to contribute to the high-quality development of the aquaculture industry in our country.

Key words: fish; improved seed; healthy aquaculture; high-quality sales; aquaculture industry

Corresponding author: LIU Shaojun. E-mail: lsj@hunnu.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (32293252, 32373119, U19A2040); Youth Science and Technology Talents Lifting Project of Hunan Province (2023TJ-N02); Training Program for Excellent Young Innovators of Changsha (kq2107006); Science and Technology Innovation Program of Hunan Province (2022RC1162); Laboratory of Lingnan Modern Agriculture Project (NT2021008); Earmarked Fund for Agriculture Research System of China (CARS-45); 111 Project (D20007); Special Funds for Construction of Innovative Provinces in Hunan Province (2021NK1010)