

农业现代化研究

RESEARCH OF AGRICULTURAL MODERNIZATION

引用格式：

操建华, 孙东升. 新形势下现代水产种业创新发展的路径思考 [J]. 农业现代化研究, 2021, 42(3): 000-000.

Cao J H, Sun D S. The innovative development path of modern aquaculture seed industry under the new situation[J]. Research of Agricultural Modernization, 2021, 42(3): 000-000.

DOI: 10.13872/j.1000-0275.2021.0058



新形势下现代水产种业创新发展的路径思考

操建华¹, 孙东升²

(1. 中国社会科学院农村发展研究所, 北京 100732; 2. 中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081)

摘要: 现代水产种业是水产养殖业绿色高质量发展的重要物质基础和核心竞争力, 充分研究其发展面临的问题, 探讨其发展路径对水产种业现代化建设具有重要意义。在回顾中国水产苗种产业发展历史的基础上, 基于国家种业发展战略和现代水产种业的内涵, 分析现代水产种业发展重点、现有的基础、优势、存在的问题和制度管理差距, 提出了创新发展的路径。研究表明, 中国是水产种业大国, 但总体上还处于发展的初级阶段。我国水产种质资源丰富, 资源保护体系、原良种和苗种生产体系、水产种业技术体系和法律法规管理体系已初步建立。但也存在种质资源保护基础较弱、先进技术集成运用不足、新品种研发层次低的问题。以大型种业企业为主体的商业化运行体系尚未建立, 支持政策不足, 市场管理有待加强。同时, 种质资源管理机构和职能少, 资源保护立法和管理滞后, 新品种审定及知识产权保护办法有待完善, 育种联合攻关和新品种商业化机制也有待深化。苗种行业进入门槛低, 生产标准化不足。现代水产种业应围绕生物育种, 构建以市场为导向、以企业主体、产学研协同的中国特色水产种业创新体系。因此, 建议强化国家水产种质资源保护机构及其职能, 尽快完善种质资源管理办法、新品种审定标准和新品种产权保护规定。通过健全政府支持体系、提高产业进入门槛、改革人才流动机制、严格苗种许可制度、净化经营环境等, 扶持优质水产种业企业快速成长。同时积极推动数字化技术运用。

关键词: 水产种业; 现代种业; 生物育种; 创新发展; 种质资源; 水产养殖; 绿色发展

中图分类号: F320.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0275 (2021) 03-0000-00

The innovative development path of modern aquaculture seed industry under the new situation

CAO Jian-hua¹, SUN Dong-sheng²

(1. Rural Development Institute, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China; 2. Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract : Modern aquaculture seed industry is the foundation and the core competitiveness for the green and high-quality development of aquaculture. To fully study the problems faced by the industry and to explore its development path are of a great significance to the modernization of aquaculture seed industry. Based on reviewing the development history of China's aquaculture seed industry, the national development strategies of the seed industry, and the connotation of the modern aquaculture seed industry, this paper analyzed the development focus, the existing foundation, advantages, and problems, and the institutional and management gaps of the industry and proposed some innovative development paths for China's aquaculture seed industry. Results showed that China's aquaculture seed industry is large, but overall, it is still in the initial developing stage. China is rich in aquatic germplasm resources and the germplasm resource protection system, the production system of the original and improved varieties, the breeding technical system, and the regulatory management system have been initially established. However, there are still existing some problems, including weak protection on germplasm resources, insufficiently integrated application of advanced technology, and low level of research on new varieties. Additional challenges include: the commercial operation system with large seed enterprises not being well established, insufficient supporting policies, and weak market management system. Regarding the management, germplasm resource management institutions and functions are not sound, and the protection-related legislations and management regulations are lagging. In addition, new variety certification and intellectual property

基金项目: 中国社会科学院创新工程项目 (2018NFA01)。

作者简介: 操建华 (1970—), 女, 湖北襄阳人, 博士, 副研究员, 硕士研究生导师, 研究方向为生态、资源与环境经济, E-mail: cjhua@cass.org.cn。

收稿日期: 2021-03-22, 接受日期: 2021-05-05

Foundation item: Innovative Project of Chinese Academy of Social Sciences (2018NFA01).

Corresponding author: CAO Jian-hua, E-mail: cjhua@cass.org.cn.

Received 22 March, 2021; **Accepted** 5 May, 2021

protection laws are not complete, the joint breeding research and new variety commercialization mechanism are not well established, and the industry entry threshold is low with insufficient production standardization. To build a market-oriented, enterprise-based, industry-university-research collaborative, and innovative system for China's aquaculture seed industry, this paper provides the following suggestions: 1) strengthening the national aquatic germplasm resource protection agencies and their functions; 2) improving the management methods for germplasm resources, new variety approval standards, and new variety property right protection regulations; 3) supporting the high-quality aquaculture seed enterprises with improved government support system, higher industry entry threshold, attractive flow mechanism for professional talents, and strict licensing system of aquatic seed production; and 4) actively promoting the use of digital and smart technologies.

Key words : aquaculture seed industry; modern seed industry; biological breeding; innovative development; germplasm resources; aquaculture; green development

种业是农业的基础，是国家战略性核心产业。2021 年中央一号文件在农业现代化部分，提出要打好种业“翻身仗”，破解种源“卡脖子”问题。现代水产种业是现代种业的重要组成部分，是现代水产养殖业高质量、绿色健康发展的核心竞争力和根本驱动力，也是现代渔业构建“蓝色粮仓”保障体系的基础与核心。自 20 世纪 50 年代淡水“四大家鱼”实现人工繁殖技术突破以来，我国水产种业从无到有，从小到大，形成了由保、育、测、繁、推构成的种业体系，促进了我国水产养殖业的成长壮大和多样化发展。但是，水产种业成长历史较短，当前良种覆盖率仅为 52.8%^[1]，良种对水产增产的贡献率仅为 25%~30%^[2]，低于农业农村部公布的农作物 96% 以上的良种覆盖率和 45% 的良种粮食增产贡献率。水产种业的发展还存在很多薄弱环节，不足以支撑水产养殖业绿色发展多种模式的需求。要做到由大到强还需要体制机制创新。充分研究现代水产种业发展的问题，探讨现代水产种业创新发展路径，对水产种业现代化建设有着十分重要的意义。

与农作物种业与产业发展几乎同步不同，水产种业的发展滞后于水产养殖业，但是水产育种技术的每一次突破及新品种运用都极大地推动了水产种业，进而推进水产养殖业的快速发展，因此技术研究是水产种业研究的重点。我国水产育种研究起步于 20 世纪 50 年代的青、草、鲢、鳙“四大家鱼”人工繁殖技术^[3]，但大规模开展遗传育种研究及人工苗种繁育始于 20 世纪 70—80 年代，传统产业逐渐与现代生命科学（如细胞工程和基因工程等高新生物技术）结合^[4]，促进了以遗传育种和病害控制为主的渔业生物技术研究的发展。由于人工选育新品种少、水产养殖病害频发以及不规范的鱼病用药等问题，影响了水产品的质量安全，国家从 1999 年起启动了基础研究发展计划（973 计划），对重要的水产动物遗传改良和病害控制等基础研究进行资助，推动了水产养殖动物重要经济性状的分子生物

学基础研究的进展^[5]。当前，水产养殖绿色发展模式正在向健康、集约化和多样化方向发展，张晓娟等^[2]认为，由于我国水产新品种大多数改良的是生长性状，且培育的是通用品种，未必能满足不同养殖模式的特殊要求，提出现代水产种业新品种培育的目标应该是适应高密度集约化养殖或生态化养殖模式需求，兼顾高产、稳产、高效和优质等多个性状的突破性品种。

水产种业政策的每一次重大变迁极大地影响着种业的发展，因此行业指导研究是水产种业研究的侧重点。袁晓初等^[6]认为，水产种业体系建设的政策与国家经济社会形势和水产养殖发展要求有密切联系，总体上政策是从外延式扩张走向内涵式提升、从总体制度规划走向内在体制机制建设、从开发为主走向开发与保护并重、从政府主导走向企业主导，但是商业化的水产种业机制尚未建立。成功经验主要包括市场化改革、科技创新、政策支持和法制建设。《中国水产种业发展报告（1949 年~2019 年）》^[1]对中国水产种业发展状况做了较为全面的概括，认为当前水产种业发展整体仍处于初级阶段，在顶层设计、种业科技创新能力、“育繁推一体化”种业体系、专业化人才队伍建设、种业规范化管理服务水平等多方面有待强化。

当前，我国进入一个以内循环为主的特殊新阶段，关键技术如果没有自主权，可能随时面临被“卡脖子”。目前有些优质水产品，如占我国虾类育苗量 80% 以上的南美白对虾的种源主要依靠进口。水产品，尤其是优质高档水产品的竞争压力在加大。中国海关数据显示，2020 年水、海产品进出口量首次出现逆差，出口量较进口量少 27 万 t。在这种情形下，作为水产养殖用种大国，我国亟需开展新的体制机制和科技创新，保障我国水产养殖用种安全。因此，本文在回顾水产苗种产业发展历程的基础上，基于国家种业发展战略和对现代水产种业内涵的认识，分析现代水产种业的发展重点、基础、优势、

问题和制度及管理机制上的差距,探讨了现代水产种业创新发展的路径,为我国水产种业现代化建设提供决策参考依据。

1 中国水产种苗产业的发展

中国水产养殖历史悠久,至今已有两三千年的历史,但水产养殖种苗产业起步较晚。从有水产养殖活动开始到1957年,我国水产养殖种苗一直来源于野生苗种捕捞,可以说长期处于有种无业的状态。当时水产养殖业的经济规模小,海水和淡水养殖产量仅有68.7万t,鱼苗采捕量也少,约234亿尾^[7]。

以20世纪50年代“四大家鱼”的人工繁殖成功为标志,我国水产苗种业正式起步。随着水产养殖业快速发展带来的种苗需求增长,种苗产业开始成长,大批野生水产品种和驯养种如对虾、河蟹、大黄鱼、海带、扇贝等苗种的人工繁育和工厂化育苗技术相继突破,促进了淡水、海水养殖业的发展^[8]。我国也开始引进国外优质苗种试养,同时开始建设水产苗种繁育场,促进了水产苗种产能大幅提升。《中国渔业统计年鉴》数据显示,到1990年,我国淡水鱼苗产量约为1418.38亿尾,是1957年的6.91倍,其中人工孵化鱼苗产量占比91%。虾、河蟹等的苗种产业也开始发展,1990年产量分别达到695.02亿尾和7904kg,贝类苗种产量1991年也达到200.9亿粒。

20世纪80年代末90年代初,随着水产养殖业的迅猛发展,养殖品种退化引发的养殖病害频发等问题凸显出来,水产种业引起重视。以全国水产原种和良种审定委员会成立为标志,1992年启动以原良种场为主体的水产原良种体系建设,除虾以外的

其他苗种产业快速发展。2000年淡水鱼苗产量达到6021.74亿尾,是1990年的4.25倍;河蟹苗种产量31.24万kg,是1990年的39.5倍;贝类苗种产量1753.27亿粒,是1991年的8.73倍。海水鱼苗产量自20世纪90年代开始也进入快速增长期,2000年产量达到38.82亿尾,是1996年的23.16倍。

2001年中国开始建设水产遗传育种中心,2013年启动建设国家水产种业示范场,水产原良种生产体系逐步加强,传统育种技术逐步完善,新品种开发运用加快,种苗产业的产能和规模不断扩大。至2019年,淡水鱼苗和海水鱼苗的产量分别达到12517亿尾和114.40亿尾,分别是2000年的2.08倍和2.95倍。虾、贝类、河蟹等的苗种产量增长更为迅速,分别达到18121亿尾、25221.97亿粒和93.66万kg,分别是2000年的31.05倍、14.39倍和3倍。从产值看,2019年水产苗种年产值达到658.49亿元,占当年渔业产值的5.09%。

经过多年持续快速发展,我国已是水产苗种生产大国,这为我国成为水产养殖大国提供了有力支撑。淡水养殖产量与淡水鱼苗产量之间有较强的正向变动关系(图1),近30年虾蟹类苗种的快速增长也为淡水养殖增长做出了贡献。海水鱼类、虾和贝类等的苗种产量与海水养殖业的快速增长之间也呈现出同样的正相关关系。除少数异常年份,鱼苗业的增长波动小,更为稳定。

2 国家种业发展战略与现代水产种业的发展重点

2.1 国家种业发展战略

进入21世纪以来,中国种业的发展经历了从产业化、市场化到现代化的过程。2011年《国务院

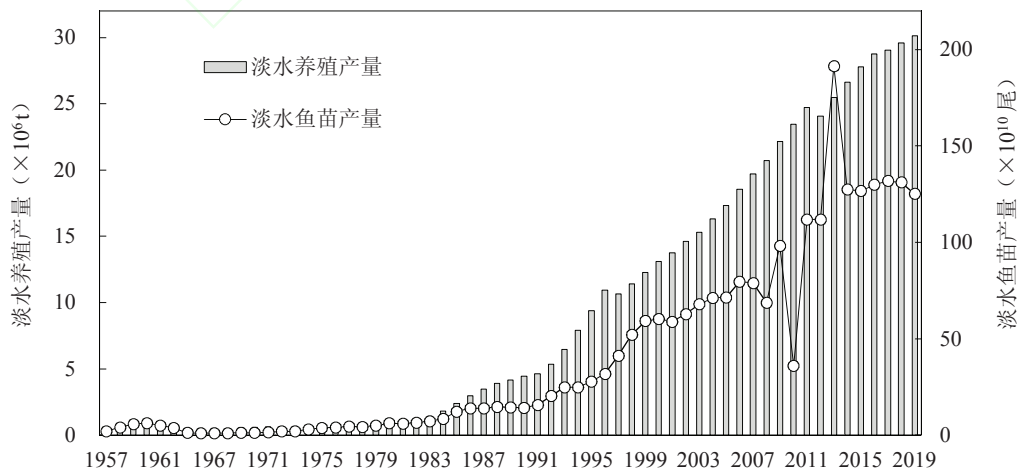


图1 中国淡水养殖产量与淡水鱼苗产量的动态变化

Fig. 1 Changes of freshwater aquaculture production and freshwater fry output in China

数据来源:中国渔业统计四十年(1949—1988),1989—2020年中国渔业统计年鉴。

有关加快推进现代农作物种业发展的意见》首次明确了农作物种业作为国家战略性、基础性的核心产业的地位,提出建立以企业为主体的商业化育种体系。2013年国务院办公厅印发的《关于深化种业体制改革提高创新能力的意见》,提出要发挥市场在种业资源配置中的决定性作用,强化企业技术创新主体地位、调动科研人员积极性、加强国家良种重大科研攻关、提高基础性公益性服务能力、加快种子生产基地建设和市场监管。2016年实施的新《种子法》在简政放权、突出市场作用方面进行了制度改进,减少了行政许可,完善了植物新品种审定机制,简化了引种程序,实行了新品种保护制度。2020年《国务院办公厅关于加强农业种质资源保护与利用的意见》发布,这是首个聚焦农业种质资源保护与利用的重要文件。近十年来,中央一号文件在提及农业科技创新和农业现代化时,都强调了要发展现代种业、培育具有自主创新能力的“育繁推一体化”种业企业、突破农业育种核心技术和推动生物种业发展。

2020年中央一号文件提出“大力实施种业自主创新工程,实施国家农业种质资源保护利用工程,推进南繁科研育种基地建设”。为落实文件精神,农业农村部发布了《2020年推进现代种业发展工作要点》,提出从“一个重点”“三个统筹”“四个能力”和“六个方面”来推动种业高质量发展。同年还发布了《国家现代种业提升工程项目运行管理办法(试行)》,对种质资源保护利用、育种创新、测试评价、良种繁育以及其它种业重大基础设施项目的运行管理,基于“谁审批、谁监管”和“谁建设、谁负责”的原则进行规范,以提高其运行质量。

2021年最新发布的中央一号文件,再次明确种业在农业现代化中的基础地位,对种质资源调查收集、种质资源库建设、育种基础研究和重点项目等提出要求,明确将继续新一轮现代种业提升工程。要求加强生物育种产业化运用,加强育种领域的知识产权保护,支持种业龙头企业和南繁硅谷、制种基地和良种繁育体系建设,以及相关研发和推广工作的补助支持等。这一系列法律法规和政策文件,不断完善深化现代种业发展战略的顶层设计,从制度上为我国种业强国战略保驾护航。

水产种业的发展规划紧随中央政策。《全国渔业发展第十二个五年规划(2011—2015年)》首次提出了要发展“现代苗种业”。《全国养殖业良种工程“十二五”建设规划(2011—2015年)》提出加大对大宗淡水鱼、名优水产品、地方特色水产品等

良种体系建设的扶持。2013年《国务院办公厅关于促进海洋渔业持续健康发展的若干意见》强调要“开展渔业资源调查”“加强渔业资源保护”和“水产原种保护和良种培育”。2016年以后,“现代种业提升工程水产良种项目”设立,重点关注种质资源保护、育种创新、品种测试和制(繁)种等方面。2019年《关于加快推进水产养殖业绿色发展的若干意见》指出“规范种业发展”的要求。2020年提出“水产种业质量提升行动方案”,开展新品种试验推广、生产性能测试试点、重要养殖品种的联合育种、以及相关基地建设和良种良法配套技术规范、测试操作规程的研制等。关注点从生产数量转向品质,从公益性育种转向商业化育种。

2.2 现代水产种业的内涵

现代水产种业是随着现代农业、现代种业等概念提出的。戴小枫等[9]认为,现代农业至少应包括现代工业及其技术、现代农业科学与技术、现代市场科学与管理科学中新的理念和方法、现代产业发展理论等在农业中的全面运用,以及农民对科学知识与现代农业技术的掌握和由此带来的素质提高等5个层面的含义。邓伟等[7]认为,现代水产种业是基于现代设施装备和现代科学育种技术,采用现代生产经营管理和示范推广模式,实现产学研相结合、育繁推一体化的水产种苗生产产业。王建波[10]认为现代水产种业应该具备先进性、商业性、紧密型和科学性4个特征。其中,先进性主要体现在育种技术和设施装备上,包括先进生物技术在新品种培育中的运用,以及采用先进的基因型筛选鉴定系统、信息化表型测试系统和大规模、高通量、专业化和流水线的育种平台等设施设备;商业性主要体现在市场需求导向的商业品种开发和以企业为主体的商业化育种体系建设;紧密型体现在各生产要素和生产环节之间基于经济效益和利益机制的紧密联系;科学性是指科学的经营方式和管理手段的广泛运用,以形成高效的现代水产种业管理体系。

从发展的视角看,现代水产种业应该是个动态的概念,其“现代性”应该与时俱进。曾经先进、科学的技术、装备和管理思想等随着历史变迁可能过时落后。时代不同,可称为现代的实质内容也不同。因此,现代水产种业应该强调的是随着生产力的发展,无论是科学知识、育种技术、设施装备、人员素质等投入要素的运用,还是管理思想和产业发展的方向,始终都能够站在时代顶端,代表时代发展的方向,具有时代的先进性。

2.3 水产种业的发展趋势与我国的发展重点

世界水产养殖业发展的主要驱动力，依然来自生长、饲料转化率、抗病和性别控制等重要经济性状的遗传改良。国外的新品种选育，大多起源于大的育种计划，企业在其中扮演着重要角色，经由政府推动或与专业育种机构合作，对具有市场潜力的优势养殖种类开展长期的经济性状遗传选育并积累基础数据^[11]。在水产种质创新方面，美、英、日、澳等国将经济水生生物的遗传育种研究列为水产经济的重点发展方向，已取得技术突破并形成产业优势。虽然这些国家的水产种业总规模低于中国，但产业的集中度和良种覆盖率较高，如美国在2003年就培育出的高抗病三倍体牡蛎已约占美国牡蛎苗种来源的70%，选育的高产抗逆的凡纳滨对虾良种几乎垄断世界养虾业。挪威培育的大西洋鲑良种已成为该国重要的经济支柱之一。日本通过分子辅助标记技术培育出的抗淋巴囊肿病的牙鲆，在日本市场占有率达到35%^[11-13]。这些苗种质量稳定，售价远高于我国。

基于对现代水产种业的看法，中国现代水产种业的发展应该顺应国际发展趋势。从与国家种业战略的一致性和助力水产养殖业绿色发展的角度，我国现代水产种业的重点应该是围绕生物育种，全面构建以市场为导向、以企业主体、产学研协同的中国特色水产种业创新体系。为实现这个目标，应该统筹资源保护和品种创新、国内国际两种资源两个市场。加强水产种业在品种创新、企业竞争、供种保障和依法治理等4个方面的能力。

从资源保护看，水产种质资源是国家重要的遗传物质，也是未来育种的战略资源。为防止资源消失和退化，应从硬件基础设施建设和软件资源库及管理制度建设两个方面着力，主要基于各级原、良种场，及时科学地开展资源调查、收集、鉴定、保存和利用。

从品种创新看，以细胞工程、分子标记辅助选择育种、分子设计育种、全基因组选择育种和转基因育种等为代表的现代生物育种技术，以及高产优质抗逆良种是现代种业发展的新动能。相比于传统技术，现代生物技术育种更为精准，培育出的品种性能更稳定。中国现代水产种业在不断完善传统遗传育种能力的同时，一定要强化现代高科技生物育种能力，拥有突破性重大新品种，保证和实现优秀种源或品种的自主知识产权。

从种业企业的竞争力看，重点是培育出具有自主创新能力的“育繁推一体化”种业企业，创造出具有技术集约化、生产标准化、产权垄断化和

经营规模化等特点的大型国际种业企业。推动水产种业体系转向以企业为主体、产学研用各环节各主体深度融合的“育繁推一体化”体系，推动新品种研发商业化和生物育种产业化。

从供种保障看，应加强育种基地建设，充分挖掘国内自有种质资源和国际引进种质资源两种资源的价值，开展品种创新和苗种繁育；充分利用国际国内两个市场，满足国内生产用种需求；加强种质资源保护和新品种创制，保证当前和未来潜在用种需求。

从治理能力看，目的应该是创造出一个能够促进尖端品种研发，吸引优秀人才、企业、资金和技术进入的竞争、开放、有序的水产苗种生产和市场环境。这需要一系列科学完整的制度体系来保障，也需要强有力的执行能力。

3 中国现代水产种业发展的基础与优势

经过多年发展，我国水产种业已经在种质资源保护、新品种开发与运用、种业技术、苗种产业和种业管理等方面取得了长足进步，初步形成了涵盖保、育、测、繁、推和进出口各环节的水产种业生产、技术和管理体系，为建设现代水产种业奠定了良好基础。

3.1 水产种质资源丰富

水产种质资源在各国经济发展中的重要性日益突出，其拥有量和研发利用程度已成为衡量国家可持续发展能力和综合国力的重要指标之一^[14]。我国是世界上水产种质资源最丰富的国家之一，海洋鱼类3000多种，淡水鱼类1000多种，虾类、蟹类、贝类、头足类和藻类等水生生物数量众多^[15]。如长江拥有鱼类370种，是著名的“四大家鱼”、中华绒螯蟹和鲢鱼繁殖产卵场，品质在我国所有水系中最优，种质特性具有其他水系或人工培育等的不可替代性^[16]。

3.2 建立了以保护区和原良种场为核心的种质资源保护和原良种生产体系

为保护这些珍贵的水产种质资源，政府从硬件设施建设和资源库建设两个方面做了大量工作。一方面，积极推进水产种质资源保护区建设和保种场建设，对水产种质资源及其产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道等进行保护，涵盖了大量的鱼类、底栖动物、两栖动物和虾蟹类等水生生物及其生境。2007—2017年全国共有国家级水产种质资源保护区535处，保护面积15万km²以上^[17]。在保种场上，自1992年《全国水产原、良种体系建设规划》

实施以来,我国已建成近 700 个原良种场和引育种中心等保种设施场地,面积达 527 万 m^2 ,保育种类 120 多种,保存亲本和后备亲本 1 亿多尾^[1]。另一方面,初步搭建了具有重要经济价值和遗传价值的水产种质资源库。国家水产种质资源共享服务平台 2017 年度公布的资源存储量显示,我国总计整理、整合和保存了 15 231 种水产种质资源,以活体、标本、DNA、精子、细胞系和病原菌形式保存的资源数量分别为 1 763 种、2 314 种、10 646 种、147 种、190 种和 171 种^[18],基本覆盖了主要养殖经济物种。构建起由国家遗传育种中心、国家及各级地方水产原良种场、良种繁育基地组成的水产原良种生产体系。现有 29 个遗传育种中心,86 家国家级水产原良种场,800 多家省级水产原良种场和 1.5 万家种苗繁育基地,生产面积达到 46 万 hm^2 ,淡、海水孵化设施面积共计 1 666 万 m^2 ,保障了良种的繁育与供应^[1,19]。

3.3 基础研究有了较大进展

基础研究领域,水产养殖物种的基因解析和重要性状的分子标记研究取得重要进展。我国水产生物基因组研究虽然开展较晚,但是借助于二、三代测序技术,数十种水产生物,如半滑舌鳎^[20]、鲤^[21]、草鱼^[22]、牙鲆(日本比目鱼)^[23]、海马^[24]、海带^[25]、虾夷扇贝^[26]等全基因组图谱,以及诸如黄颡鱼^[27]、花鲈^[28]、团头鲂^[29]、乌鲤^[30]、菊黄东方鲀^[31]、海参^[32]等精细图谱被绘制出来,为从全基因组层面探索经济性状的遗传机制提供了信息平台 and 深入研究的基础。陈松林等^[33]认为,2008—2013 年间我国鱼类基因组研究在国际上处于全面跟跑状态,但是,随着我国水产科学家在国际顶级刊物 *Nature Genetics*, *Nature* 上相继发表了大量养殖鱼类的基因组精细图谱,2014—2018 年我国鱼类基因组研究在国际上进入跟跑、并跑和领跑并存状态。

3.4 育种技术有了较大提升

育种技术上,已构建起主要由选择育种、杂交育种、细胞工程选育和分子育种等相结合的育种技术体系^[34]。其中选择育种是我国研究最早和使用最广泛的育种技术,随着遗传分子标记的辅助使用和多性状复合评价(BLUP)方法的引入,选择育种技术日趋完善,已在鱼虾贝类中培育出多个养殖新品种。我国对虾种业的关键技术就是以规模化家系为基础的多性状综合选育技术^[35]。细胞工程育种和分子育种相对较新。细胞工程育种技术是在细胞和染色体水平上开展品种遗传改良的技术,目前主要有多倍体育种、雌(雄)核生殖(发育)、核质杂交(核

移植)和生殖细胞移植技术等,其中雌核发育技术已经在我国多种淡水鱼类如银鲫、鲤的新品种培育中获得成功^[2],在海水鱼类如鲆鲽鱼类、大黄鱼、黄姑鱼、石斑鱼等品种上成功获得雌核发育子代^[36]。在分子育种上,主要对分子辅助育种技术、分子模块设计育种、全基因组选择育种技术等进行探究和运用。鲁翠云等^[37]认为,过去十年,大多数养殖种的选育都不同程度地使用了基因和标记,一些抗病育种成果已应用到产业(如“银鲫中科 5 号”“鲆优 2 号”),生长性状相关的基因标记也用于品种选育。同时,基因组选择育种也在进展中,如利用全基因组选择技术培育出的“海益丰 12”^[38]。总体上,我国水产育种技术正在从传统的选择育种和杂交育种技术发展细胞工程育种、性别控制育种、现代分子辅助育种、基因组选择育种、分子设计育种和基因组编辑等精准育种技术,并向传统与现代生物育种技术相结合的方向发展^[2,39-40]。同时,一大批鱼、虾、贝、藻、参等育种新材料也基于各种育种技术被开发制造出来,为新品种研发提供了更好的条件。水产苗种规模化育苗技术体系也较为完备。

3.5 品种改良和研发能力不断增强

我国水产养殖品种主要来源有野生种开发、品种引进和新品种培育等 3 种,根据《中国水产产业发展报告(1949 年~2019 年)》^[1],截止 2019 年我国有土著种 289 个,引进种 76 个。根据农业农村部公布的水产新品种目录,截止 2020 年,通过全国水产原种和良种审定委员会审定的水产新品种达到 229 个,其中 199 个是自主选育品种,一半以上是在最近十年研发出来的,涵盖了海、淡水主要养殖品种。这些新品种被大量列入国家、地方主导品种名录和重大推广计划,推动了我国水产养殖遗传改良率的不断提高和对引种依赖度的逐步减少。据胡红浪判断,我国鲤、鲫、扇贝、中国对虾、海带等已实现更新换代,罗氏沼虾自主培育的种苗市场占有率达 60%,斑点叉尾鲷为 40%^[41]。从繁育能力看,除鳊鲃等少数品种外,养殖品种基本实现苗种人工繁育。我国科研和技术推广体系也在不断壮大。《中国渔业统计年鉴》数据显示,2019 年我国共有渔业科研机构 87 个,科研机构从业人员 6 213 人,其中中高级职称 3 654 人(院士 5 人),水产技术推广机构 11 703 个。

3.6 初步形成水产种业法律法规与管理体制

《渔业法》《水产苗种管理方法》《水产资源繁殖保护条例》《水产种质资源保护区管理暂行办法》《原良种审定办法》和《动物检疫管理办法》等法

律法规构成了我国水产种业管理的基本法律框架,基于此,形成了水产种业行政组织管理体系、水产种质资源保护体系、原良种审定机制、苗种生产许可制度、水产苗种产地检疫制度和苗种进出口管理制度等。为推进各项工作的科学开展,还制定了多项种业技术标准,涉及种质、亲鱼、苗种培育和人工繁育技术规范等,与地方标准一起构成种业技术的规范。2019年出台的《水产种质资源描述通用要求》(SC/T 9433—2019),从基本信息、生物学特性、样本采集信息、遗传学特性和营养组分等方面规定了水产种质资源的描述方法和技术要求,推进了种质资源管理的规范化。在这些制度框架内,国家及地方政府对水产种业开展了多方面扶持,如对原良种场建设、水产种质资源保护区建设和地区水产种业基础设施建设类项目的支持;对满足条件的水产苗种实施进口免税制度;设立物种品种资源保护专项经费;设立水产种业相关的国家重大科研项目;积极开展水产良种推广示范工程等。包括地方对各种水产良种体系建设工程的优惠扶持政策。

4 水产种业发展面临的主要问题

4.1 种质资源保护的基础较弱

资源和基因库是选育种的基础。目前为止,由于中国尚未对水产种质资源开展过普查,资源总量有多少、空间如何分布、遗传基因信息、消失的风险性等家底都不清楚。一个共识是,中国近海和主要流域的野生水产种质资源种类和数量均在下降,很多养殖种类种质出现退化,一些具有重要经济和遗传价值的物种面临消失风险或已消失。从国家级水产种质资源保护区分布看,存在空间布局不平衡的问题。西南地区相关水系的保护区数量少、面积小,分别占总量的14.16%和0.87%,与其丰富的生物多样性和生态功能完整性保护的要求不符。河口保护不足,现有15个大陆近岸主要入海河口仅有4个设立了国家级种质资源保护区。从主要保护对象的设置看,优异种质资源鉴定和保存的深度、广度均不足。尚有69种国家级重点保护经济水生动植物未被纳入^[42]。从保护的方式看,以保护区和原良种场的建设与资源生存环境保护为主,重视硬件建设,管理和体系建设较少。此外,种质资源的收集、鉴定、登记和保存等工作也均处于起步阶段。硬件条件依然存在保种设施弱、装备水平不高的问题。

4.2 先进技术集成与运用不足,新品种研发层次低

我国已经具备一定的水产育种基础性研究理论和相关技术积累,但在技术集成和运用上远远不够。

首先,相对于数百个养殖品种和更多的种质资源鉴定和保护的潜在需求,分子标记与性状鉴定、基因与遗传解析技术、保种维持技术等种质资源保护中运用十分有限,均处于起步阶段。

其次,育种技术,尤其是先进育种技术在育种实践中集成和运用不足。一是技术理论与实践运用联系不紧密。我国许多传统养殖对象的利用仍长期停留在较为原始的驯养阶段。“四大家鱼”中仅鲢鱼有人工选育新品种,多数海水鱼没有遗传改良种^[41]。二是缺乏长期的跟踪研究,新品种研发层次低。由于育种基地的条件、人员和配套的遗传育种检测方法等投入不足,针对既有品种的长期、持续和深入的系统跟踪研究较少,突破性重大新品种欠缺。品种研发存在重生长等数量性状、轻品质和抗逆性等质量性状的问题,尚未较好满足我国水产养殖业多类型绿色养殖方式对高品质、多性状和适应能力强的新品种需求。三是现代育种技术集成运用少。当前水产遗传育种仍以传统技术为主。王石等^[43]对截至2017年的83个国家级鱼类新品种的分析结果显示,杂交种占48.2%,选育种占47.0%,表明传统育种技术仍占主流。因为投入大、时间长、对育种环境和人员要求高,尤其是缺乏企业主导性参与,现代育种技术研究与应用与产业联系不紧密,实际应用有限。

第三,一些优良品种依赖进口。我国部分养殖品种的苗种对外依赖严重。已形成规模化产业的南美白对虾、虾夷扇贝、海湾扇贝、大菱鲆和大西洋鲑等均均为引进种,种源程度不同地依赖进口。引进种源隔几年会退化,必须再引种,引进亲本价格也在逐年提升,进口质量不稳定,处于“引种、维持、退化、再引种”的不良循环中^[44]。如果被卡,产业发展会受到不同程度影响。

4.3 以大型种业企业为主体的商业化运行体系尚未建立

一是育种以科研院所为主,企业自主创新能力弱,成果商业化程度偏低。当前生产中应用的水产新品种,多数来源于科研单位,专利也集中于少数优势科研院所。刘永新等^[18]对1996—2016年间审定的182个新品种的分析表明,科研院所、高等院校、良种场、企业和推广机构分别占49.5%、28%、8.2%、9.9%和4.4%,企业持有比例较低,这种状况至今没有根本改观。2020年农业农村部新审定的14个水产新品种中,全部都以科研院所(校)为主体参与,其中仅8个与企业合作。而且水产种业专利大多与生产实践脱节,相关成果“不接地、

转化难”的现象普遍存在，对行业具有变革意义的成果更少。这也使得专利拥有者对成果不重视，专利因未能缴年费面临失效的比例高达 24.3%^[45]。

二是企业育种投资少。王书等^[46]调查了 29 家水产种业企业，发现其累积育种研发投入 1.1 亿元，平均研发投入仅占全年销售收入的 2.09%。该指标不仅低于农作物种业，更低于国际发达国家种业。2014 年中国作物种业前 50 强企业年研发投入占销售收入的 4.4%，2019 年已经提高到 7.4%^[47]。发达国家种业的科研投入一般为销售收入的 8%~12%，如美国孟山都公司每年在转基因育种方面的科研投入高达 10 亿美元^[48]。

三是企业规模小而散，产业集中度低。目前水产种业企业“多、小、散”特征明显，如海南对虾产业中生产虾苗的企业就有 600 家^[49]。我国现有水产苗种繁育生产企业近 1.5 万家，近 5 年水产种苗平均销售收入超过 1 000 万元的种业龙头企业有 17 家，平均销售收入超过 500 万元的种业企业也仅有 30 家，这些企业 2017 年种苗销售收入占全部水产种苗产值的 1.12%^[1]。不仅远低于发达国家水平，与国内农业种业企业相比也有差距。在经历一系列并购重组后，2018 年农业种业企业还剩 5 808 家，资产规模 1 亿元以上的有 373 家^[50]。而中国作物种业前 50 强企业 2019 年市场占有率已经达到 35%^[47]。

4.4 产业发展支持政策不足，市场管理不严

产业发展的资金和支持政策不够。一是水产种质资源保护和育种环节缺乏长期稳定和充足的资金支持，保种、育种等基础设施和装备投入不足，影响了种质资源的保种、选育设施改造、抗灾能力提升和育种团队的建设，进而影响保存规模和质量。二是投入过于分散，不能有效集中于重点项目和企业，同时重工程建设轻运行维护。三是对与种质资源保护、育种和新品种评估等核心问题相关的标准、评估评价、试验示范和管理办法等问题的研究缺乏足够资金支持。在如何推动产学研有效结合和促进育繁推一体化企业成长的支持和激励政策方面，缺乏有效思路和手段。

从生产环境看，水产种苗生产许可制度在实践中执行不严，水产种苗无证生产和跨省跨区不经过检疫和评价任意流通的现象时有发生，不仅扰乱了公平的竞争市场，而且由于无证苗种在品质上的先天弱势，影响了水产行业的苗种质量和水产养殖业高质量发展。

5 水产种业管理体制机制上存在的问题

5.1 种质资源管理机构少，职能相对单一

与农作物种业相比，水产种业种质资源管理机构和职能相对较少。在种质资源保护和品种审定机构设置上，农作物种业依法分别设立了国家农作物种质资源委员会和农作物品种审定委员会两个国家级委员会，委员会主任分别由农业部主管领导担任。水产种业依法设立全国水产原种和良种审定委员会，委员会主任基本由农业部渔业局领导担任。同时设立国家级水产种质资源保护区评审委员会，但没有特别设立水产种质资源委员会。从职能上看，相对单一，侧重评审，研究种质资源行业发展战略和方针政策、协调全国相关工作等职能欠缺，话语权也偏弱。

5.2 种质资源保护立法和管理滞后

水产种质资源保护存在管理上的漏点和盲区。首先，与农作物种业正在进行第三轮资源调查和收集工作相比，至今为止我国尚未对水产种质资源进行一次大型的普查，也无相关普查办法可依。所幸的是，尽管 2021 年中央一号文件仅提及加快农作物和畜禽种业的种质资源调查和收集，水产种质资源基因库的摸底和收集工作 2021 年也将启动。

其次，水产种质资源保护立法与管理较为单薄和滞后。种质资源保护包括普查、收集、鉴定、登记和审定等多个环节，农作物种业通过《农作物种质资源管理办法》对每个环节从程序到技术方法进行了较为严格的制度规范，水产种业没有这样的专门管理办法。2019 年出台的《水产种质资源描述通用要求》(SC/T 9433—2019)，在提高我国水产种质资源信息和实物的共享效率以及标准化体系的建立上向前进了一步，但是总体上资源保护整体上的依据和标准欠缺，与规范化有较大距离。

第三，现有法律法规对水产种质资源的遗传价值和未来品种优化的潜力重视不足，重硬件设施建设，轻保种管理体系建设。依据《水产种质资源保护区管理暂行办法》和《水产资源繁殖保护条例》等法律法规设立的国家级水产种质资源保护区和原良种场，侧重从渔具、渔法、禁渔期、禁渔区和水生种质资源生存的水域生态环境等方面开展渔业资源保护，没有系统地建立种质资源调查、收集、性状鉴定和登记等管理体系，存在“有种质库、无数数据库”的问题。

5.3 新品种审定与知识产权保护管理办法有待完善

水产新品种审定规定需要完善。水产新品种是由全国水产原种和良种审定委员会依据《全国水产原良种审定办法》(1998)及其所提出的《水产原、

良种审定标准》等审定，主要技术依据还有《水产新品种审定技术规范》(SC/T 1116—2012)等。由于出台时间早，在技术和管理层面的规定滞后于技术和时代发展变化，尤其是申请资格、品种试验和后期管理等方面规定不够严格。这可能也是新品种多而突破性成果少的原因之一。相比之下，《主要农作物品种审定办法》(2016)已经过多次修订，最新版对品种试验的申请、试验内容、过程、检验项目、组织实施单位、DUS测试等技术和细节进行了更严格和详细的要求，提高了申请门槛和通过的难度。对“育繁推一体化”的种子企业也提出了具体要求，包括建立品种选育过程、试验实施方案、试验原始数据等相关信息的档案、对试验数据的真实性负责、保证可追溯、接受主管部门和社会监督等。该法几经修订，目前在品种审定技术标准体系和品种鉴定、品质检测组织规范上更为完善，并建立了审定品种的引种备案和退出机制，补充了对转基因品种安全审查要求。

在新品种知识产权保护方面，我国只有农作物种业制定了《植物新品种保护制度》，对植物新品种的内容和归属、授予品种权的条件、以及品种权从申请到批准的程序、期限等进行了详细规定。该法对植物新品种培育及成果转化起到了积极的鼓励和支持作用。水产新品种的产权保护没有特定的法律依据和规范的权利表达，不利于维护育种单位、研发企业和科研人员的合法权益，影响科技创新。这些欠缺与水产种业起步较晚有关，基础设施、技术和产业发展等诸多方面需要加强的地方很多，水产品种类过多、生长环境特殊，对立法也有影响。

5.4 育种联合攻关和新品种商业化机制有待深化

育种技术集成度不高的一个重要原因在于育种产业链条缺乏整体的统筹规划，各个层次的科技活动关联性不强。这导致育种科研机构各自为战，基础研究、育种技术与实验研究间缺乏基于共同目标的分工协作机制。其次，当前种业科研单位种业体系平台还不健全，诸如设备、育种场和试验场等的客观条件存在诸多不足，难以满足一些高端育种需求。

由于新品种主要依靠公益性的事业单位研发，商业化动力先天不足。只有企业才会完全基于商业目的开展新产品研发，但是由于发展历史太短，环境也还不理想，当前企业还不够强大。依靠既有科研单位是当前的现实出路。问题在于，企业与科研单位如何协调公益性和商业化的矛盾、建立起有助于双方发展壮大的稳定的商业化育种机制。

5.5 行业进入门槛低，生产标准与规范有待加强

最新的《农作物种子生产经营许可管理办法》对农作物种业生产企业的进入门槛从各方面进行了大幅度的提升。包括注册资本中固定资产的比例；经营场所、仓库、种子加工厂房、检验室的面积和种子生产加工检验设备的种类和规格等。相比而言，《水产苗种管理办法》对苗种生产应该具备的条件、审批等方面的规定比较简单、门槛低，仅要求苗种生产者有固定生产场地、水源符合要求、保证亲本来源、生产条件和设施符合水产苗种生产技术操作规程，以及有与生产和质检相关的专业技术人员。

同时，新《种子法》对农作物种子的生产经营设立了诸如种子储备制度、销售分级、加工、包装与标签制度、监督管理等信息的定期发布等要求，并提出自愿成立种子行业协会、种子质量认证和认证标识等，在标准化、规范化方面有较大提升，但是水产苗种管理对生产过程中的标签、登记、监管和信息发布等没有明确规定。

6 现代水产种业创新发展的路径思考

我国水产种业目前在种质资源保护、先进育种技术集成与运用、新品种研发和产权保护等领域存在不足，育种联合攻关和以大型企业为主体的新品种商业化机制还未建立，生产管理的标准化和市场经营的规范化等诸多方面存在问题。要实现中国水产种业现代化，必须要加强创新体系顶层设计，坚持需求牵引与问题导向，开展科技创新和制度创新，推动水产种质资源保护体系规范化建设，推动苗种繁育体系向标准化、程序化、规模化、“保育繁推”一体化和品牌国际化方向发展，推动创新主体逐渐从以科研单位为主向以大型企业为主过渡。坚持市场需求导向，激发企业、高校和科研院所各类创新主体活力协同发力，提升创新体系整体效能。

6.1 强化种质资源保护职能

可以比照农作物种业，成立一个水产种质资源保护专业委员会，或将现有的全国水产原种和良种审定委员会扩展为水产种质资源保护与原良种审定委员会，提高对水产种质资源的重视程度和话语权。赋予委员会种质资源保护相关职能，如承担水产种质遗传资源保护和利用规划论证、相关遗传资源保护的咨询工作，发布相关国家水产遗传资源状况的报告等。由于水产品数量众多，可以分大类成立专业委员会。分类探讨种质资源保护顶层设计。针对那些有重大遗传价值和市场前景的优质资源品种，可以专门制定相对完备的长远发展规划，并在种质

资源库(圃、场、区)的用地和资金等方面制定完善的保障措施。

6.2 从普查入手,探索水产种质资源保护管理办法

水产种质资源除了经济价值,还有广阔的遗传价值,也是未来的品种优化的依据,须应保尽保。保护的前提做好调查、收集、鉴定和登记整理工作。我国在国家层面组织的首次水产种质资源大型普查调查方案即将出台,活动即将展开。首先,应借鉴其他种业已有的方案,结合水产种质资源的特点,研究制定调查方案。可以从重要水产种质资源入手,或者先从原良种场和种业企业入手,逐步建立水产种质资源库。其次,应提前设计基于普查工作的收集、鉴定、登记和保存的工作方案。可以参考农作物种业和畜禽种业,制定相应的程序、标准、编目方法和保存方式,使其程序化和规范化,以利今后顺利开展物质遗传和经济价值的发掘工作。第三,建立水产种质资源的开发利用情况的定期上报制度,或者先针对主养品种开展定期上报制度。在这些工作中,要积极借助数字化技术,搭建相关平台和信息中心,构建或完善种质资源库。

6.3 完善水产新品种审定和产权保护办法

在新品种审定上,可以考虑参照农作物种业及其体制改革深化方向,在申请资格、品种试验、退出机制和监督管理等方面提高标准,根据现代种业发展和水产养殖业绿色发展对良种品质的需求,完善水产新品种审定办法或出台相关的指导意见,提出更科学规范的审定程序和标准,确保遴选出性状更为优秀和稳定的新品种,并建立品种退出机制和后期的追溯机制。其次,应该构建完备的水产种业知识产权保护体系。可以参照国内外相关种业新品种产权规定,对水产新品种权利的形成、拥有与转让出台专门的制度规范,赋予相关单位、企业和个人在所有权、使用权和处置权方面的合法权利,切实保护品种的选育者、生产者、经营者和使用者的合法权益,以及他们创新和研发的积极性,尤其要借此鼓励水产种业企业积极参与应用性研究和竞争性研究。

6.4 通过大项目整合资源,创新科研人才流动机制

当前水产种业企业尚不具备独立研发的能力,必须借助既有科研院所的技术实力。要做大做强,需要政策、资金、技术、人才和装备条件的支持。这需要充分发挥政府的政策、资源和信息优势,构建稳定可靠的政策支持体系,引导和鼓励种质资源拥有者、育种技术拥有者和投资者等多方合作,形成新品种研发的创新合作和利益分享机制。如长沙

市为建设“种业硅谷”,出台了 21 条政策,从科技、人才、用地和融资等方面给予大力支持^[51]。我国可以借鉴国外以大项目带动新品种研发的方式,整合资源,联合攻关。确定符合种业市场发展的大项目,以系统工程的思路将项目目标分解落实到基础研究、育繁推各环节,鼓励优势力量尤其是优质企业的参与。应特别强调科研人才流动机制改革,给予人才在国内科研机构和企业间更为宽松的流动自由。允许科研单位的科技人才到种业企业兼职和获取合法收入,促进人才向创新型种业企业流动,一方面加快科研成果的商业化,另一方面协助企业尽快成长。

6.5 提高行业准入门槛,推动生产经营规范化和标准化

借鉴农作物种业,提高水产种业生产企业的准入门槛,对注册资金、技术能力提出更高要求,淘汰整合一批落后产能。对于企业多、小、散,并购整合是趋势,鼓励全产业链及跨地区合作。发达国家十分重视优质种子的生产和管理,强调种子生产技术的规范化和标准化。国内其他种业中的标签管理、种苗认证、质量追溯和责任机制等也值得借鉴。中国水产种业可以从水产种苗生产实践出发,基于科学实验经验,对优良品种和种苗的特性、生产加工、质量、检验方法及种苗包装、运输、储藏等方面做出科学明确的技术规定,制定一系列可行的技术标准,实现制繁种、育种的专业化和标准化。还应建立严格的商品种苗生产标准和上市标准。

6.6 加强市场监管,营造公平开放的竞争环境

加强苗种许可制度的执行和监管力度,坚决打击无证苗种生产和经营,为优质种业企业做大做强创造好的市场环境。构建进口种苗的预警机制,严格控制进口苗种质量,做好水产苗种进口质量安全防范。水产行业市场开放比较充分,但是规范性有待加强。政府应营造一个更为公平、流动和激励的市场竞争环境,鼓励企业通过资金与技术入股,优化资源配置,组建跨地区、跨行业的股份制种子企业集团。通过政策支持,鼓励企业运用现代管理理念、新技术、新设备、新品种和新方法等去拓展国内国际市场。目前,我国将开始新一轮的种子工程,在完善创新成果评价和转化机制的前提下,通过政策倾斜,鼓励更多的科技资源(包括人才)流向有实力的大型种业企业。

6.7 提前布局育种数字化与智能化

数字化和智能化技术在育种管理中有着非常巨大的潜力,也是生物种业现代化的发展趋势之一。

- com.cn/n2/2020/1130/c231190-34445915.html.
People.cn. Let more fish and shrimp swim into the “Southern Silicon Valley”[EB/OL]. <http://hi.people.com.cn/n2/2020/1130/c231190-34445915.html>.
- [20] Chen S L, Zhang G J, Shao C W, et al. Whole-genome sequence of a flatfish provides insights into ZW sex chromosome evolution and adaptation to a benthic lifestyle[J]. *Nature Genetics*, 2014, 46(3): 253-260.
- [21] Xu P, Zhang X F, Wang X M, et al. Genome sequence and genetic diversity of the common carp, *Cyprinus carpio*[J]. *Nature Genetics*, 2014, 46(11): 1212-1219.
- [22] Wang Y P, Lu Y, Zhang Y, et al. The draft genome of the grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) provides insights into its evolution and vegetarian adaptation[J]. *Nature Genetics*, 2015, 47(6): 625-631.
- [23] Shao C W, Bao B L, Xie Z Y, et al. The genome and transcriptome of Japanese flounder provide insights into flatfish asymmetry[J]. *Nature Genetics*, 2017, 49(1): 119-124.
- [24] Lin Q, Fan S H, Zhang Y H, et al. The seahorse genome and the evolution of its specialized morphology[J]. *Nature*, 2016, 540(7633): 395-399.
- [25] Ye N H, Zhang X W, Miao M, et al. *Saccharina* genomes provide novel insight into kelp biology[J]. *Nature Communications*, 2015, 6: 6986. DOI: 10.1038/ncomms7986.
- [26] Wang S, Zhang J B, Jiao W Q, et al. Scallop genome provides insights into evolution of bilaterian karyotype and development[J]. *Nature Ecology & Evolution*, 2017, 1(5): 120. DOI: 10.1038/s41559-017-0120.
- [27] Gong G R, Dan C, Xiao S J, et al. Chromosomal-level assembly of yellow catfish genome using third-generation DNA sequencing and Hi-C analysis[J]. *GigaScience*, 2018, 7(11): giy120. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giy120>.
- [28] Shao C W, Li C, Wang N, et al. Chromosome-level genome assembly of the spotted sea bass, *Lateolabrax maculatus*[J]. *GigaScience*, 2018, 7(11): giy114. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giy114>.
- [29] Liu H, Chen C H, Gao Z X, et al. The draft genome of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) reveals the development of intermuscular bone and adaptation to herbivorous diet[J]. *GigaScience*, 2017, 6(7): 1-13.
- [30] Xu J, Bian C, Chen K C, et al. Draft genome of the Northern snakehead, *Channa argus*[J]. *GigaScience*, 2017, 6(4): 1-5.
- [31] Gao Y, Gao Q, Zhang H, et al. Draft sequencing and analysis of the genome of pufferfish *Takifuguavidus*[J]. *DNA Research*, 2014, 21(6): 627-637.
- [32] Zhang X J, Sun L N, Yuan J B, et al. The sea cucumber genome provides insights into morphological evolution and visceral regeneration[J]. *PLoS Biology*, 2017, 15(10): e2003790. DOI:10.1371/journal.pbio.2003790.
- [33] 陈松林, 徐文腾, 刘洋. 鱼类基因组研究十年回顾与展望 [J]. *水产学报*, 2019, 43(1): 1-14
Chen S L, Xu W T, Liu Y. Fish genomic research: Decade review and prospect[J]. *Journal of Fishery of China*, 2019, 43(1): 1-14
- [34] 张振东. 我国水产新品种研发基本情况与展望 [J]. *中国水产*, 2015(10): 39-42.
Zhang Z D. The situation and prospects of the research on new aquatic products[J]. *China Fisheries*, 2015(10): 39-42.
- [35] 孔杰, 栾生, 谭建, 等. 对虾选择育种研究进展 [J]. *中国海洋大学学报*, 2020, 50(9): 81-97
Kong J, Luan S, Tan J, et al. Progress of study on penaeid shrimp selective breeding[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2020, 50(9): 81-97
- [36] 尤锋, 吴志昊. 我国海水鱼类染色体操作研究与应用进展 [J]. *海洋科学*, 2020, 44(8): 69-84
You F, Wu Z H. Progress in the study and application of chromosome manipulation in marine fishes from China[J]. *Marine Sciences*, 2020, 44(8): 69-84
- [37] 鲁翠云, 匡友谊, 郑先虎, 等. 水产动物分子标记辅助育种研究进展 [J]. *水产学报*, 2019, 43(1): 36-53.
Lu C Y, Kuang Y Y, Zheng X H, et al. Advances of molecular marker-assisted breeding for aquatic species[J]. *Journal of Fishery of China*, 2019, 43(1): 36-53
- [38] 苏海林, 王扬帆, 胡晓丽, 等. 贝类全基因组遗传育种评估与分析系统的开发 [J]. *中国海洋大学学报 (自然科学版)*, 2016, 46(10): 65-72.
Su H L, Wang Y F, Hu X L, et al. Development of the genomic analysis and evaluation system for shellfish genetic breeding[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2016, 46(10): 65-72
- [39] 桂建芳. 鱼类生物学和生物技术是水产养殖可持续发展的源泉 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2014, 44(12): 1195-1197.
Gui J F. Fish biology and biotechnology is the source for sustainable aquaculture[J]. *Scientia Sinica (Vita)*, 2014, 44(12): 1195-1197.
- [40] 桂建芳, 周莉, 张晓娟. 鱼类遗传育种发展现状与展望 [J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33(9): 932-939.
Gui J F, Zhou L, Zhang X J. Research advances and prospects for fish genetic breeding[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(9): 932-939.
- [41] 魏友海. 依靠水产种业创新 促进水产养殖业绿色发展 [J]. *科学养鱼*, 2018(7): 13-16.
Wei Y H. Rely on aquatic seed industry innovation and promote green development of aquaculture[J]. *Scientific Fish Farming*, 2018(7): 13-16.
- [42] 盛强, 茹辉军, 李云峰, 等. 中国国家级水产种质资源保护区分布格局现状与分析 [J]. *水产学报*, 2019, 43(1): 62-83.
Sheng Q, Ru H J, Li Y F, et al. The distribution pattern of national aquatic germplasm reserves in China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(1): 62-83.
- [43] 王石, 汤陈宸, 陶敏, 等. 鱼类远缘杂交育种技术的建立及应用 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2018, 48(12): 1310-1329.
Wang S, Tang C C, Tao M, et al. Establishment and application of distant hybridization technology in fish[J]. *Scientia Sinica (Vita)*, 2018, 48(12): 1310-1329.
- [44] 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.

- [45] 任鹏, 王建波, 王晓璇, 等. 我国水产种业专利发展概况及分析[J]. 中国水产, 2019(6): 33-36.
Ren P, Wang J B, Wang X X, et al. Development and analysis of fishery seed industry patent in China[J]. China Fisheries, 2019(6): 33-36.
- [46] 王书, 王玉梅, 刘建伟. 我国水产种业科技创新现状及发展建议[J]. 中国农业信息, 2015(21): 123-127.
Wang S, Wang Y M, Liu J W. Development and suggestions for the scientific and technological innovation of aquatic seed industry in China[J]. China Agricultural Informatics, 2015(21): 123-127.
- [47] 孙好勤. 基于品种创新的中国种业强国目标的实施[J]. 农学学报, 2019, 9(3): 11-15.
Sun H Q. Innovation strengthens seed industry in China[J]. Journal of Agriculture, 2019, 9(3): 11-15.
- [48] 李欣蕊, 齐振宏, 邬兰娅, 等. 基于 AHP 的中国现代种业发展的 SWOT 分析[J]. 科技管理研究, 2015(3): 22-28.
Li X R, Qi Z H, Wu L Y, et al. An AHP-based SWOT analysis on development of China's modern seed industry[J]. Science and Technology Management Research, 2015(3): 22-28.
- [49] 杨帆, 程纯明. 600 余家对虾苗场, 年产苗 1500 亿尾, 看中国“水产种业硅谷”将如何引领行业腾飞?[J]. 当代水产, 2020, 45(1): 66-72.
Yang F, Cheng C M. More than 600 shrimp farms, with an annual output of 150 billion shrimp, see how China's "aquaculture Silicon Valley" lead the industry take off?[J]. Current Fisheries, 2020, 45(1): 66-72.
- [50] 贾凤伶, 胡文星, 王云, 等. 现代种业支撑乡村振兴研究现状与展望[J]. 种子, 2020(12): 161-166.
Jia F L, Hu W X, Wang Y, et al. Research Status and Prospect of Modern Seed Industry Supporting Rural Revitalization[J]. Seed, 2020(12): 161-166.
- [51] 鲁飞. “种业硅谷”蓝图绘就[J]. 农经, 2019(8): 33-37.
Lu F. Seed Silicon Valley blueprint[J]. Agriculture Economics, 2019(8): 33-37.

(责任编辑: 童成立)