现代水产种业硅谷建设的几点思考

杨红生[1, 2, 3]

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 3. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: "国以农为本, 农以种为先", 种业位于农业产业链的最前端, 是国家战略性、基础性产业, 也是决定现代农业发展的核心要素。我国是世界上 12 个生物多样性特别丰富的国家之一, 水产种质资源分布极为广泛。近年来, 我国水产种业发展迅速, 但水产增养殖业的良种覆盖率仍然较低。因此, 加快发展水产种业尤显迫切。该文论述了国内外水产种业发展现状, 分析了我国水产种业存在的问题和发展趋势, 提出了建设水产种业硅谷的设想, 并对建设目标、建设内容、建设原则及其保障措施提出了几点建议, 以期为我国水产种业健康发展起到积极的促进作用。

关键词: 水产种业; 水产种业硅谷; 建设目标; 建设内容

中图分类号: S9-9 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-3096(2018)10-0001-07

DOI: 10.11759/hykx20180524001

我国是人口大国, 改善国民膳食结构、提升全民营养健康水平是关系国计民生的重大战略问题。开辟以水域为基础生产优质蛋白, 打造食物产业新业态, 构建覆盖内陆水域和海洋的蓝色粮仓, 是发展我国现代渔业的迫切需求, 也是保障国家粮食安全的重要手段。"国以农为本, 农以种为先", 水产种业创新始终是蓝色粮仓保障体系的基础与核心。目前, 我国现代海洋农业发展正处在从"重视数量"转向"提升质量"、从"规模扩张"转向"结构升级"、从"要素驱动"转向"创新驱动"的关键时期。进一步加强农业生物技术研究, 加快水生生物种业培育速度, 凸显规模效益、技术进步和效率改善, 把握质量第一、效益优先, 构建创新引领、协调发展的种业体系和资源节约、环境友好的绿色发展体系, 将是支撑现代蓝色农业发展、提高蓝色农业综合生产能力的重要保障。因此, 建设以现代水产种质创制和保存、种业生产和示范、种苗交易和供给为核心的水产种业硅谷, 对于完善现代水产育种技术体系, 保障优质蛋白持续高效供给具有重要的现实意义和深远的历史意义。

1 国内外水产种业发展现状

1.1 国外水产种业现状

国外水产种业比较先进的国家如美国、丹麦、挪威、荷兰、加拿大和法国等, 动物育种已走过 100 多年的历史, 种业企业发展壮大, 在全球种业竞争中处于优势地位。世界粮农组织统计的结果表明, 水产养殖物种数量在 2010 年达 541 种, 包括 327 种鱼类、102 种软体动物、62 种甲壳类、6 种两栖动物和爬行动物、9 种水生无脊椎动物和 35 种藻类; 预计世界范围水产养殖生产利用了约 600 种水生食用鱼类和藻类物种[1]。海洋水产种业发展虽然相对较晚, 但半个多世纪的海洋农业产业发展进程证明, 海洋水产种业是推动养殖业发展最活跃、最重要的源动力和基石。美国、日本、挪威、澳大利亚等世界海洋农业发达国家均十分重视种业的发展, 不断加大研究投入, 取得了一系列重大突破, 形成了优势产业[2], 例如挪威培育的大西洋鲑(*Salmo salar*)和美国培育的高产抗逆凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*), 不

收稿日期: 2018-05-24; 修回日期: 2018-09-11

基金项目: 国家重点研发计划"蓝色粮仓科技创新"专项项目(2018YFD0901602); 山东省农业良种工程(2017LZGC010, 2016LZGC032); 泰山学者资助项目(特聘专家); 国家自然科学基金-山东省联合基金项目(U1606404)

[Foundation: The National Key Research and Development Program of China, No. 2018YFD0901602; Agricultural Seed Project of Shandong Province, No. 2017LZGC010, No. 2016LZGC032; the Taishan Scholars Program (Distinguished Taishan Scholars); the NSFC-Shandong Joint Fund for Marine Science Research Centers, No. U1606404]

作者简介: 杨红生(1964-), 男, 安徽霍邱人, 汉族, 研究员, 博士生导师, 从事海洋生境修复与资源养护、海洋生物与遗传育种、养殖生态与养殖设施等研究, 电话: 0532-82898610, E-mail: hshyang@qdio.ac.cn

仅推动了种业发展, 还从上游掌控了整个养殖产业[3]。近年来, 世界各国纷纷开展重要水产经济物种的基因组学研究, 美国率先在大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)、鲶(*Silurus* spp.)等的基因组研究方面取得进展, 筛选到一批与发育、生殖及免疫相关的功能基因; 加拿大、澳大利亚等国也陆续加入到水生生物基因资源争夺战的行列[4]。基因组信息辅助良种选育逐渐成为水产育种领域的研究热点, 美国经过 20 余年的持续选育, 使大马哈鱼的产卵期提早了 4~5 个月, 1 龄鱼的体重比选择前增加 1 倍[5], 显示出现代水产育种技术在促进水产种业发展中的优越效果。

国外水产种业的发展总体上呈现以下几个特征: ①以大型专业育种公司为主体, 进行“育、繁、推”全产业链科技创新发展, 具有完整的产业链, 与养殖业相对独立发展; ②规模化、集团化和全球化已成为种业发展方向, 人才、资本、种质等资源经过市场竞争不断流向大型专业化育种公司, 通过收购和兼并重组, 育种规模和市场份额越来越大, 资本和技术优势明显; ③育种技术快速更新, 以全基因组选择、配子胚胎高效操作为代表的现代生物技术育种快速发展, 推动国际种业科技进入蓬勃发展的重要时期[6]; ④技术创新能力已经成为水产种业企业核心竞争力的关键, 水产种业是高科技行业, 研发周期长、投资大, 高投入和科技创新是种业发展的关键。

1.2 国内水产种业现状

种业位于农业产业链的最前端, 是战略性、基础性产业, 也是决定现代农业发展的核心要素。联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)与经济合作与发展组织(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)联合发布的“2017~2026 农业发展展望”报告预测, 2026 年全球渔业产量将增至 1.94 亿吨, 人均消费增长 19%; 中国人均水产品消费量增至 50 kg/年以上。世界水产品消费量在未来 30 年内年均增长率大约维持在 1.0%~2.9%, 水产品将成为人类获取蛋白质的重要途径。但是, FAO(2016) [7]发布的“世界渔业和水产养殖状况”报告显示, 世界渔业资源均处于衰退之中, 近 20 年来世界渔业捕捞产量一直徘徊不前, 近些年甚至出现下降势头, 世界水产品产量的增长主要依赖于蓬勃兴起的水产养殖业, 而水产养殖业的蓬勃发展依靠水产种业的强劲支撑。

在农业所有种业中, 水产种业是最年轻的。我国有计划大规模发展淡水养殖始于20世纪50年代, 而海水养殖则更晚一些, 在 50 年左右的时间里取得了突飞猛进的发展, 掀起了海水养殖蓝色产业的“五次浪潮”, 每次产业浪潮都伴随着水产种业的重大突破, 为改善居民膳食营养结构、提供优质食物蛋白作出了重要贡献[8]。20 世纪 90 年代以来, 我国成立了全国水产原种和良种审定委员会, 以“保护区—原种场—良种场—苗种场”、“遗传育种中心、引种中心—良种场—苗种场”等思路开展了全国水产原良种体系建设[3-4]。目前, 我国的水产种业已经形成了一定的规模, 经农业部批准的国家级水产种质资源保护区有 535 处, 其中内陆保护区 481 个, 海洋保护区 54 个; 国家级水产原种场 36 个、良种场 45 个; 全国现代渔业种业示范场 87 个; 通过国家审定的水产新品种 201 个; 2016 年繁育水产苗种 4.8 万亿单位, 其中淡水苗种 1.3 万亿单位, 海水苗种 3.5 万亿单位(其中贝类 2.4 万亿单位) [9], 产生了显著的经济和社会效益。虽然我国水产种业发展迅速, 但仍处于起步阶段, 只有大约 20%的水产养殖物种进行过不同程度的遗传改良, 除传统上经过多年养殖驯化的四大家鱼、鲤、鲫等种类外, 水产养殖业的良种覆盖率仅为 25%~30%, 与畜禽产品的 50%、水稻玉米的 95%相比还存在较大差距[2]。因此, 加快发展水产种业产业尤显迫切。

1.3 我国水产种业存在的问题

1.3.1 种质资源保护迫在眉睫

我国是个生物多样性特别丰富的国家, 在世界上位列第 8, 水产种质资源分布极为广泛[10-11]。但是, 受社会经济发展、生态环境破坏、过度捕捞等多种因素的综合影响, 天然水域水产种质资源锐减。生产过程无序的苗种交流污染了物种基因库, 许多经济物种种质遗传背景和遗传结构混淆不清, 近亲繁殖导致种质退化。然而, 截至 2015 年, 在我国广袤的陆地和海洋国土面积中, 国家级水产原种场只有 36 个[12], 而且有核心竞争力的种业企业寥寥无几, 种质资源缺乏科学保护, 资金、技术力量和人才队伍相对分散, 种业企业的实力普遍较弱, 尚不具备与发达国家竞争的实力。即使是我国北方沿海最重要的经济物种——刺参(*Apostichopus japonicus*), 也已经被世界自然保护联盟收录到濒危物种红色名录[13]。因此, 野生种质资源的保护迫在眉睫。

1.3.2 部分种业源头受制于人

目前我国部分养殖对象, 如虾夷扇贝(*Patino-*

pecten yessoensis)、海湾扇贝(*Argopecten irradias*)、凡纳滨对虾、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)和大西洋鲑等均为引进种，且已形成规模化产业，但部分种业原种严重依赖进口。随着国内养殖业的快速发展，苗种需求量大幅增长，引进亲本价格也逐年提升，但进口质量不稳定，处于“引种→维持→退化→再引种”的不良循环，完善的“育-繁-推”体系难于构建，种业生产和推广应用难于实现持续高效[4]。

1.3.3 良种选育研究与产业脱节

我国早期的良种培育主要由科研机构主导，新品种市场影响力有限。目前仍存在实施育种工作的企业少、育种工程技术创新不足、育种理论与技术体系不完善等问题[3]。虽然我国从性能测定、人工授精等应用技术，到最优线性无偏预测遗传评估(best linear unbiased prediction, BLUP)、DNA 标记辅助选择、分子细胞育种等技术均有研究，但应用价值有限或停留在实验室阶段，一系列水产种业工程技术难题亟待研发。没有真正发挥企业的主体作用和技术创新作用，生产中的实际问题没有得到及时有效解决，良种选育研究与产业脱节。

1.3.4 育种新技术亟待突破

重要养殖动物的生长、发育、抗逆等经济性状的生物学基础研究有待进一步深入；由于转基因、细胞培养、胚胎干细胞等技术在水生无脊椎动物中一直未有重要突破，一定程度上制约了生物组学后续研究和应用。种质资源评价与利用和育种材料构建等基础工作薄弱，育种理论和技术有待进一步提升，适于水生生物后裔多、遗传多态性高等特点的分子育种理论和技术尚需发展，一些名贵养殖物种的苗种繁育技术亟待开发。

2 建设目标

2.1 总体目标

建设原(良)种种质资源库，强化以企业为主体的种业技术创新能力，充分发挥种业领域科研院所原始创新能力，增强种质质量监测和保障能力，制定水产种业标准与规范，显著提升良种覆盖率和市场占有率，建成现代水产种业硅谷，实现我国水产种业的跨越式发展。

2.2 近期发展目标

2.2.1 完成水产种业硅谷布局规划和建设

成立硅谷建设推进机构，以大型种业企业为商业化育种主体，联合全国相关高校与科研院所，邀请国内知名专家成立水产种业硅谷建设专家委员会，研讨水产种业硅谷布局，指导规划编制、产业布局、项目选址等工作，解决建设过程中遇到的重大技术和前沿性、方向性问题，制定水产种业硅谷中长期发展规划和建设方案。

2.2.2 完成水产种业硅谷功能中心建设

通过政府立项，实施水产种业硅谷各功能中心建设，包括工程化种业创制创新中心、标准化种业生产示范中心、信息化种业保障中心、多赢化种质苗种交易中心和智能化种业科普中心，为水产种业良种创制、推广应用、病害防控、环境调控及其产品质量检测提供设施设备和技术支撑，打造我国水产种业产业示范区，为实现水产增养殖良种化奠定坚实基础。

2.2.3 完成种业生产单元规范化建设

根据硅谷建设方案和发展方向，对现有国家级原(良)种场和全国现代渔业种业示范场进行规范化和现代化改造，建成一批集标准化、规模化、集约化、智能化为一体的优势水产苗种生产和养殖示范基地。促进国家级水产种质资源保护区保护力度，扩大保护区规划面积和范围，为种业生产和良种选育提供丰富的优质种质资源。

2.2.4 核心良种市场占有率达 30%以上

围绕国家水产种业产业发展需求，坚持以市场为导向、企业为主体，强化“产、学、研”紧密结合，探索水产种业从“重视数量”转向“提升质量”、从“规模扩张”转向“结构升级”、从“要素驱动”转向“创新驱动”的发展模式。以主要经济物种鱼、虾、贝、藻、参等为重点，通过优质品种创制和健康苗种繁育，坚持质量第一、效益优先，扩大新品种苗种生产和推广应用规模，核心良种市场占有率达 30%以上。

2.3 中长期发展目标

2.3.1 完善水产种业硅谷功能中心建设

完善工程化种业创制创新中心、标准化种业生产示范中心、信息化种业保障中心、多赢化种质苗种交易中心和智能化种业科普中心建设，以工程化、自动化、信息化和智能化模式管理和经营硅谷建设，形成以“种质创制+生产示范+技术保障+科普教育”为一体的现代化水产种业硅谷发展模式。

2.3.2 完成原良种场现代化规划建设

根据《国家级水产原、良种场资格验收办法》，在

符合条件的区域筹建国家级原良种场，并积极促进省级原良种场建设和改造升级，增加原良种场的数量。改变现有原良种场等同一般育苗场的经营模式，在种质改良、提纯复壮方面加大科研投入力度，按照《水产原良种场生产管理规范》和硅谷建设标准化、规模化、集约化、智能化的要求，完成关键经济物种的原良种场规范化建设和现代化改造，加强水产种质资源开发和保护力度。

2.3.3 核心良种市场占有率达40%以上

加强原良种场体系建设，完善原良种场的管理，以市场为导向，企业创新为主体，强化“产、学、研”紧密结合，以主要经济物种鱼、虾、藻、贝、参等为重点，培育一批性状优良的水产新品种。分区域、分物种建设标准化苗种生产和养殖示范基地，加大市场宣传和推广应用力度，使核心良种市场占有率到40%以上。

2.3.4 建成世界一流水产种业硅谷

建设原(良)种种质资源库，以此为基础，建立集种质创制科技化、生产示范标准化、技术保障信息化、科普教育智能化为一体的全产业链融合发展新模式，带动我国水产种业产业良性快速发展，实现种业交易全球化、商务电子化、学术交流国际化，打造水产种业“中国芯”，建成世界一流的水产种业硅谷。

3 建设内容

3.1 工程化建设种业创制创新中心

根据硅谷中长期发展规划和建设方案，筹建种业种质创制中心大楼，购置育种设施、设备，开展不同物种生理生态、分子生物学和性状分析等育种技术研究，构建原(良)种种质资源库，提高种质创制效率。邀请国内外知名育种专家在硅谷任职或挂职，成立种质创制专家指导委员会和种质创制创新团队，对包括鱼、虾、藻、贝、参等主要经济物种的种质创制进行技术指导，开展种质检测、技术研发和学术交流等工作。

3.2 标准化建设种业生产示范中心

依据国家《水产原良种场生产管理规范》，考虑生态红线、岸线保护等生态与环境因素，根据硅谷中长期发展规划和建设方案，按照工程化、自动化、信息化、智能化的标准，分区域、分物种建设苗种生产和养殖示范基地，开展主要经济物种苗种生产、养殖示范和休闲渔业区建设，促进成果转化，带动种业产业高质量快速发展。

3.3 信息化建设种业保障中心

筹建水产种业病害和环境调控、饲料营养、增养殖技术与装备、产品质量检测等功能实验室，应用现代计算机技术和信息化技术，建立亲本管理、苗种繁育、性状测定、质量检测、病害防控、生产交易为一体的计算机信息平台和育种数据库，构建联合育种网络，实现种业生产过程的信息化管理及产品物联网追溯，为水产种业硅谷健康发展提供技术保障。

3.4 多赢化建设种质苗种交易中心

筹建水产种业经济物种亲本和苗种交易平台，按照设施完善、功能完备、管理先进、运营规范等现代化管理和运营标准，根据公平、公正、公开的基本原则，让每家用户都能买到优质健康的商品。建立用户信息反馈机制，及时完善交易中心建设，解决生产问题，使水产种业硅谷成为我国北方乃至全国水产种业亲本和苗种集散交易中心与价格形成中心。

3.5 智能化建设种业科普中心

以智能化的标准筹建水产种业科普中心，筹建教育功能区、培训功能区、展示功能区和体验功能区，选择主要经济物种和示范区建设，以热爱自然、保护生物等为主题，开展科学考察、科普教育、资源保护等专业旅游项目和垂钓、野餐、潜水等休闲项目，有序开发以弘扬传统文化、发展循环经济为主题的生态旅游项目。

4 建设原则

水产种业硅谷是一个建设周期长、技术要求高、投资金额大的重大农业创新工程，为保障水产种业硅谷建设顺利、发展平稳，因此，必须坚持“原创驱动、技术先导、工程示范、功能多元与管理科学”的建设措施，集成良种选育、原种保护与新品种流通等核心内容，打造具有工程化、机械化、自动化与信息化特征的现代水产种业基地。

4.1 原创驱动

原创驱动是指聚焦水产种业可持续发展核心目标，聚焦水产种业重大技术瓶颈与重大理论突破，强化原创育种技术与原创育种理论，关注重要养殖经济物种新品种培育，引领中国乃至世界水产增养殖产业潮流，实现“以良种为突破点带动产业快速发展”的高效水产种业发展新思路。

4.2 技术先导

技术先导是指以现代生物技术为原种保护和良种选育的技术保障，基于新品种选育的重要经济性状，集成应用生态化原种保护技术、多元化良种选育技术、规范化苗种繁育技术与分子辅助育种技术，加强对原、良种优秀基因库的保护，避免基因污染；系统开展重要经济物种速生、抗逆、优质等优势性状的分子生物学和遗传机制研究，建立高效种质创制和“育、繁、推”技术体系，实现养殖物种的品种多元化和特色化。

4.3 工程示范

工程示范是指通过集成示范育种成果，以不同地区原有优势经济物种为基础，突出地区优势经济物种的良种化、特色化。例如，刺参为我国北方沿海城市烟台市的传统重要经济物种，为打造以“烟台海参”为代表的烟台渔业品牌，目前，已培育出“崆峒岛 1 号”、“东科 1 号”与“安源 1 号”等刺参新品种，并加大具有不同表型特征刺参的新品种创制和研发，以适应池塘养殖、浅海网箱养殖等不同养殖方式，为区域经济发展提供种业示范，大幅提高经济效益。

4.4 功能多元

功能多元是指水产种业硅谷除具有良种选育与原种保护的核心功能外，还应在科学知识普及、生态文明建设与科技主题旅游等方面发挥重要功能。通过定期开展育种知识讲座，展示育种成果，建立水产种业主题公园、主题餐厅等，普及水生生物资源保护知识，增强公众对内陆水域和海洋农牧业的认知，实现文化旅游产业、教育产业与现代水产农牧业的有机结合，积极发挥其生态价值、科技价值、经济价值与社会价值。水产种业硅谷作为中国现代种业技术与示范中心，其可持续发展依赖于健康的水域生态系统与丰富的水生生物资源，因此水产种业硅谷必须重视其生态价值。科技价值指种业硅谷可在全国范围内提供育种技术指导，同时可对一线苗种生产人员提供技术培训等。经济价值指种业硅谷应具有全国性种业交易平台、种业交易信息发布平台等功能。社会价值指种业硅谷应作为水生生物资源与水域生态保护的宣传中心，积极对全社会进行科普宣传。

4.5 管理科学

管理科学是指加强育种技术标准化、育种工作管理信息化、良种信息与数据保存规范化等平台建设。目前，良种选育工作风险较高，但可通过科学管理有效规避风险，实现良种选育风险可控。例如，地方性或行业性育种技术标准制定，可有效解决育苗技术参差不齐的现状；育种工作管理平台建设，可有效提高良种生产效率、提高苗种质量；良种信息交流与数据保存平台建设，可实现良种数据共享，进而达到新品种快速产业化的目标。

水产种业硅谷功能多元，为协调各单元区功能协调发挥，必须对其合理规划布局，以保障种业硅谷健康运行。首先，种业硅谷主要由陆基部分与水域部分组成，其中陆基部分包括种业研究单元、种业质检单元、种业交易单元与种业科普单元，主要用于实验分析、苗种交易与海洋资源保护宣传等；水域部分包括种业生产和示范单元，主要用于原种保存、优质亲本保存和养殖示范等。水域部分布局应以原有自然环境为主，注重生态安全与种质安全，避免不同品种间的基因污染。而陆基部分各单元布局应以平衡苗种生产、水域管理与科普教育等各环节的协调运营为原则。

5 保障措施

5.1 坚持原种场和良种场建设并重

良种场是建立养殖品种多元化的基础，而原种场是保障水域生物资源种质安全的重要举措。因此，原种场与良种场建设并重是促进养殖品种多元化与特色化的关键，也是合理利用和保护水生生物资源的重要举措，应该增加地区性特色原良种场建设数量，合理规划布局，强化管理举措。例如，建立自然保护区、开展本地物种人工增殖放流、避免过度近交、避免基因污染。同时，应科学评估相关原良种场内的种群容纳量，并基于种群结构制定科学的休渔制度与捕捞计划，以消除性成熟个体被过度捕捞的隐患。

5.2 发挥企业技术创新核心作用

大型种业企业是优质苗种规模化生产的主要单位，是水产新品种创制和推广示范的主要推进单位，也是我国社会主义新农村建设的重要参与单位。通过“产、学、研”密切结合，引导大型种业企业积极参与良种选育工作，培养生产一线育种从业人员和技术人员，是有效提高水产养殖良种覆盖率的重要举措；同时，也为建立以企业为主体、市场为导向、

“产、学、研”相结合的技术创新体系，培植行业名牌产品，提高种业企业技术创新核心作用提供持续推动力，为水产种业发展提供强力的技术支撑。

5.3 发挥高校院所原创驱动作用

高校与科研院所具有系统的种业科学研究平台和理论知识丰富的种业研究人员，可实时掌握国际种业行业发展方向，是种业产业发展的主要推动力量。应提倡“产、学、研”相结合的模式，鼓励科研人员将新技术、新理论用于生产实践，参与制定良种选育相关技术标准，深入挖掘特色品种经济性状的调控机理，建立特色品种的高效增养殖模式；充分利用高校院所的人才优势、设备优势和信息优势，通过科技下乡、现场指导、专家咨询、设立热线电话等方式开展全方位的咨询和技术服务，为苗种生产和养殖企业培训技术骨干，实现技术、人才与产业的充分融合。

5.4 发挥政府引导和专项支持

政府引导作用在水产种业硅谷建设中将起到决定性作用。首先，在国家层面上，明确水产种业硅谷在我国农牧业的新角色、新地位，组织制定关键经济品种培育的国家和行业技术标准，编制水产种业硅谷中长期规划，对硅谷种业给予政策与资金扶持。在省市层面上，积极引导地方企业参与水产种业硅谷建设，参与种业硅谷各单元的规划、设计、布局与监管，引导相关高校、科研院所与种业生产企业开展技术合作等。

5.5 发挥金融产业基金驱动作用

建设水产种业硅谷的主要目的是科学保护水生生物种质资源，有效提高水产养殖良种覆盖率，推进水产养殖业健康快速发展。水产种业硅谷是传统劳动密集型作坊式苗种生产模式向现代科技密集型集约式良种生产模式的跨越，相关工程设施、科技装备亟待升级，需要大量资金投入，是高投入、高产出的高技术密集型企业集群。因此，应建立水产种业硅谷金融服务系统，积极引导社会资金流入种业产业，对重点技术突破、重点理论创新、重大新品种选育提供资金扶持，实现技术突破、装备升级与种业发展的多重效果。

致谢：本文得到了中国科学院海洋研究所张涛、张立斌、周毅、刘石林、林承刚、孙丽娜、孙景春和中国科学院烟台海岸带研究所赵建民、王清和刘辉等同仁的建议和支持，谨致谢忱！

参考文献:

[1] FAO, Fisheries and Aquaculture Department. The State of World Fisheries and Aquaculture in 2012[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012.

[2] 相建海. 中国水产种业发展过程回顾、现状与展望[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(6): 1-7.
Xiang Jianhai. Retrospect, status and prospect of seed industry development of aquaculture in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(6): 1-7.

[3] 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 Jianfang, Bao Zhenmin, Zhang Xiaojuan. Development strategy for aquaculture genetic breeding and seed industry[J]. Strategic Study of CAE, 2016, 18(3): 8-14.

[4] 贾敬敦, 蒋丹平, 杨红生, 等. 现代海洋农业科技创新战略研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2014, 61-97.
Jia Jingdun, Jiang Danping, Yang Hongsheng, et al. Research on Strategy of Innovation in Modern Marine Agricultural Science and Technology[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2014: 61-97.

[5] Cornor S. Ready to eat: the first GM fish for the dinner table [EB/OL]. https: //www.independent.co.uk/news/science/ready-to-eat-the-first-gm-fish-for-the-dinner-table-8430639.html, (2012-12-24)[2018-05-24]

[6] Saroglia M, Liu Z J. Functional Genomics in Aquaculture[M]. Ames, IA: Wiley and Blackwell Publishing, 2012.

[7] FAO, Fisheries and Aquaculture Department. The State of World Fisheries and Aquaculture in 2016[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016: 10-18.

[8] 李乃胜. 海水养殖“五次浪潮”引领蓝色技术革命[N]. 科学时报, 2009-01-08(2).
Li Naisheng. Mariculture “five waves” lead the blue technology revolution[N]. Science times, 2009-01-08(2).

[9] 农业部渔业渔政管理局. 2017 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 58-61.
Fishery administration bureau of ministry of agriculture. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017: 58-61.

[10] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2001: 559-567.
Sun Ruyong. Principles of Animal Ecology[M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 2001: 559-567.

[11] 刘英杰, 刘永新, 方辉, 等. 我国水产种质资源的研究现状与展望[J]. 水产学杂志, 2015, 28(5): 48-55, 60.
Liu Yingjie, Liu Yongxin, Fang Hui, et al. Advances and prospect in research on aquaculture germplasm resources in China[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2015, 28(5): 48-55, 60.

[12] 张振东. 国家级水产原良种场发展概况与建议[J]. 中国水产, 2015, 7: 32-34.
Zhang Zhendong. General situation and suggestion of the development of national aquaculture original fine seed farm[J]. China Fisheries, 2015, 7: 32-34.

[13] Mercier A, Hamel J F. *Apostichopus japonicus*[C]//The IUCN Red List of Threatened Species, 2013: e. T180424A1629389. http: //dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T180424A1629389.en. Gland, Switzerland: IUCN, 2013

Several strategies for the modernization of the construction of the aquaculture seed industry silicon valley

YANG Hong-sheng[1, 2, 3]

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Yantai Institue of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 3. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

Received: May 24, 2018
Key words: aquaculture seed industry; Aquaculture Seed Industry Silicon Valley; construction goals; construction contents

Abstract: As the saying goes, “agriculture is the foundation of a nation”. Thus, seeds are prioritized in agriculture. The seed industry, a strategic and basic industry in agriculture, is the core factor in the agricultural industry chain and plays a key role in the development of modern agriculture. China is one of the twelve countries rich in biodiversity, with aquatic germplasm resources distributed widely across the country. In recent years, the aquaculture seed industry has achieved considerable great advancement. However, the coverage ratio of fine-scale breeding is still relatively low. Therefore, the aquaculture seed industry in China needs to be improved. In this report, we addressed the current status, evaluated the challenges, and predicted the development tendency of the aquaculture seed industry in China. Based on which, we proposed the modernization of the construction of the Aquaculture Seed Industry Silicon Valley and presented several strategies including construction goals, contents, and principles and safeguard measures. We hope that our work can provide new insights into the sustainable development of the seed industry in the future.

(本文编辑: 罗　璇　丛培秀)