

中国大菱鲆养殖 20 年成就和展望 ——庆祝大菱鲆引进中国 20 周年

雷霖霖 刘新富 关长涛

(农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室
中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘 要 大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 具有生长速度快和低温耐受力强等特点, 是世界上养成范围最广、产量最大的鲆鲽类养殖良种。自 1992 年引进至今, 大菱鲆养殖已经发展成为年产量超过 6 万 t 的海水养殖支柱产业。作者综述过去 20 年里, 我国大菱鲆在产业发展、苗种生产、良种选育、养殖模式、营养与饲料、疾病防控、加工与质量控制、养殖经济以及市场开拓等方面所取得的系列成果, 并就发展前景进行了展望, 旨在为我国大菱鲆和鲆鲽类养殖的可持续发展提供参考。

关键词 大菱鲆 养殖 产业 综述

中图分类号 S963.16⁺1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)04-0123-08

Turbot culture in China for two decades: Achievements and prospect

LEI Ji-lin LIU Xin-fu GUAN Chang-tao

(Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture,
Qingdao Key Laboratory of Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute,
Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT Turbot *Scophthalmus maximus*, a marine finfish with fast growth and strong tolerance to cold water temperature, is the most widely cultivated commercial flatfish around the world with the highest annual aquaculture production. From its introduction into China in 1992 to now, its aquaculture has developed into one of the dominant mariculture industries in China with an annual production of more than 60,000 tons. The progress and achievements on the industry development, seed production, selective breeding, culture modes, nutrition requirements and artificial feeds, disease prevention and control, processing and quality control, market and aquaculture economy during the past two decades, are reviewed. Further research and industry development priorities in turbot culture are also suggested. This paper also provides the necessary referential information for the development of turbot culture in China.

KEY WORDS Turbot *Scophthalmus maximus* Aquaculture Industry Review

大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 原产于大西洋东北沿岸, 是世界性鲆鲽类主养品种之一, 养殖范围遍布亚洲、欧洲和南美洲的十几个国家(杨正勇等 2009), 2010 年养殖总产量达到 68 890 t(FAO 2012)。1992 年

由中国水产科学研究院黄海水产研究所首先引进中国,经过产、学、研以及沿海各级政府的不懈努力,高起点突破了育苗与养殖关键技术,使工厂化养殖在环渤海三省一市沿岸得到迅猛发展。20年来,大菱鲆以其瞩目的成就展现出海水良种养殖的优势地位,工厂化养殖规模居全球之首,引领和推动了我国第4次海水养殖产业化浪潮的兴起,使沿海大片闲置的盐碱荒滩变成海水鱼类工厂化养殖的宝地。与此同时,解决了大批渔农民转产就业问题,有力地拉动了沿海“三农”经济的发展,也为我国海水鱼类工厂化养殖向工业化养殖转型升级奠定了理论和技术基础,为此,被誉为我国海水养殖良种引进的典范。作者就大菱鲆引进20年来的研究成就以及发展前景进行回顾和总结,旨在为大菱鲆养殖以及其他海水养殖产业在我国的可持续发展提供借鉴。

1 研究成就

1.1 产业发展

大菱鲆1992年以稚鱼的形式引进我国,1995~1996年由引进苗种培育的亲鱼初次达到性成熟,获得人工采卵的成功,并培育出少量苗种;1998~1999年实现苗种规模化培育的突破,同时创立了“温度大棚十深井海水”的工厂化养殖模式;1999年下半年首批试养大菱鲆成鱼开始陆续在上海、广州和深圳等经济发达城市上市,深受欢迎,价格最高飙升到800元/kg。优厚的养殖回报,吸引了大批投资者从事大菱鲆养殖,产生了很强的辐射带动作用。养殖区域首先从山东莱州开始,迅速扩大至山东全省,以后又扩展到河北、辽宁、天津、江苏和福建等沿海省份。产业规模急速扩增,至2005年我国大菱鲆养殖产量已经达到5万t,占世界养殖总量的87.5%,成为世界大菱鲆养殖第一大国。其后,受2006年11月上海“多宝鱼风波”事件的影响,当年养殖产量大幅下落到4万t以下。在研究所、地方政府和企业界的共同努力下,总结了产业发展过程中暴露出来的问题和经验教训,于2007年产业规模得到恢复,此后进入平稳发展期,2010年产量达到6万t,占世界总产量的87.1%(图1),数据来源于FAO(FAO 2012),目前养殖大菱鲆的市场价格为50~80元/kg。

1.2 苗种培育

大菱鲆仔稚鱼早期容易受培育环境中多种有害细菌的影响,死亡率较高(Munro *et al.* 1995)。欧洲从20世纪70年代末开始研究其小水体集约化苗种培育技术,迄今已经超过30年,但是生物饵料消毒和早期培育微生物环境控制等问题仍然没有得到有效解决,育苗成活率不稳定,规模化育苗的平均成活率仅为20%左右(孵化后90日龄,体质量1~2g),全欧洲苗种年产量只有1000万尾左右,基本可以满足欧洲大菱鲆养殖产业的需求(Ruyet 2010)。大菱鲆引进中国后,中国水产科学研究院黄海水产研究所(以下简称黄海水产研究所)立即启动与企业合作的育苗计划。虽然大菱鲆的繁殖技术难度较大,又有欧洲专利的封锁,但是我们坚持走自力更生的道路,经过7年攻关,为大菱鲆建立起包括亲鱼驯化培育、繁殖调控、生物饵料高密度培养、营养强化和早期仔稚鱼培育等一整套工厂化育苗技术体系(Lei *et al.* 2010; 雷霖霖等 2003、2005; 门强等 2004),从1998年下半年开始在山东沿海应用该项技术,苗种年产量超过100万尾,但远不能满足产业快速发展的需求,2000~2004年每年还需从英、法等国进口约300~400万尾。2005年以后,随着国内苗种培育技术的普及以及育苗企业的增多,国产苗种年产量已经猛增至6000万尾以上,基本满足了国内大菱鲆养殖业的需求(雷霖霖等 2005)。此后,大菱鲆苗种生产与养殖业同步进入到平稳发展阶段。目前年产量接近2亿尾,产地主要集中在山东省,占

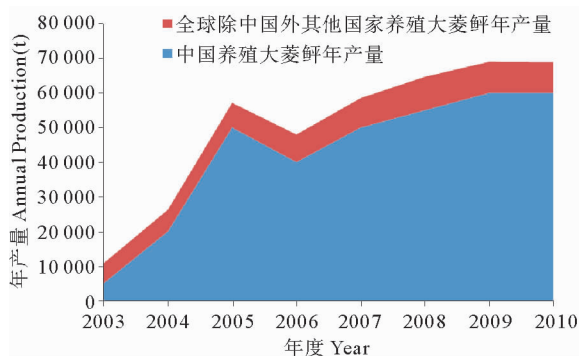


图1 2003~2010年中国及全球除中国外其他国家养殖大菱鲆年产量

Fig. 1 Aquaculture production of turbot in China and other countries (world total except China)

全国苗种生产总量的 90% 以上(表 1)。以上数据来源于国家鲆鲽类体系年度报告。

表 1 2009~2011 年国内从事大菱鲆苗种生产的场家数量、育苗面积和育苗产量

Table 1 Number of hatcheries, tank area and seedlings of turbot produced in China, 2009 ~ 2011

年份 Year	省份 Province	育苗场家 Number of hatchery	育苗面积 Tank area(m ²)	育苗产量(万尾) Number of seedling(×10 ⁴ ind.)
2009	山东	142	260 200	11 783
	辽宁	4	6 700	710
	河北	4	10 940	1 356
	天津	5	2 560	604
	合计	155	280 400	14 453
2010	山东	78	208 500	17 198
	辽宁	4	9 000	695
	河北	4	7 500	416
	天津	8	2 443	586
	合计	94	227 443	18 895
2011	山东	83	227300	18 083
	辽宁	7	17 800	762
	河北	1	3 000	500
	天津	8	3 600	558
	合计	99	251 700	19 903

注:2010 年和 2011 年山东省育苗场家数量不全,统计数量约少 30 户左右

Note: The data for number of hatcheries in Shandong Province is incomplete for 2010~2011; Number were approximately 30 less than the actual number

大菱鲆育苗技术体系的建立,对我国北方海水鱼类工厂化育苗技术的进步与发展产生了深远影响。大菱鲆引进以前,我国北方海水鱼类工厂化苗种繁育技术,虽然经过 20 世纪 50 年代后期至 80 年代末期的长期实践和积累,少数品种(如真鲷、黑鲷、红鳍东方鲀和牙鲆等)的繁育技术已经基本成型(张其永等 2000),但是,由于缺乏成熟养殖产业的带动和支撑,这些品种的苗种繁育大多停留在试验和中试阶段。工厂化育苗生产所需的许多配套生产资料,如生物饵料强化剂、微颗粒饲料等,国内都十分匮乏,严重制约了海水鱼类苗种培育技术的产业化发展。大菱鲆引进以后,稳定的苗种需求和早期优厚的利润回报(全长 10 cm 苗种历史最高价格达到 30 元以上/尾),吸引了大批企业和技术人才从事大菱鲆苗种生产,掀起了近百家企业各自发挥自身优势,进行大菱鲆等海水鱼类育苗技术创新的热潮,同时带动了土池和工厂化高密度生物饵料培养、专用微颗粒饲料以及强化剂的研发等行业的发展。目前,我国大菱鲆苗种生产已经形成极具中国特色的苗种生产体系,整个产业链基本实现了系列化、专业化和社会化生产经营,主要由生产受精卵、土池培育轮虫和工厂化苗种培育 3 种专业化生产企业,以及浓缩小球藻、配合饲料、益生菌、营养强化剂等生产资料供应商和苗种运输等服务行业构成,产业分工明确,有效地提高了育苗成活率和降低了生产成本,苗种价格也由产业发展初期高达 30 元以上/尾,逐渐降低和稳定在 1.5~3.0 元/尾,有效地保证了国内大菱鲆养殖产业有充足的、质优廉价的苗种供应,同时带动了其他鱼类苗种生产的发展。

1.3 良种选育

大菱鲆属于引进种,由于种源缺乏和遗传多样性单一(邹曙明等 2001; 申雪艳等 2004),加之早期国内众多育苗厂家育种意识相对薄弱,亲鱼繁殖管理技术缺乏,长期累代养殖和近亲交配导致的种质退化现象日趋明显。从“十一五”开始,国家开始陆续立项支持大菱鲆良种选育和性别控制技术研究,旨在选育出具有生长快、抗逆性强等性状的新品种,为国内大菱鲆养殖业的持续发展提供保证。

对亲本遗传背景的了解是良种选育的基础,国内大菱鲆苗种和亲鱼的引进来源主要有英国、法国、丹麦、挪威4个国家,另外,还有少量苗种来自西班牙和智利。侯仕营等(2011)利用微卫星分子标记对引自英国、法国、丹麦和挪威4个国家的大菱鲆群体的遗传结构进行了分析,发现这4个不同地理群体间的遗传多样性差异不显著,但是4个群体为具有一定的遗传分化和较好的遗传多样性的基础群体。中国水产科学研究院黄海水产研究所基于电子标记(PIT)的大规模家系选育技术和分子标记辅助育种(MAS)技术对大菱鲆进行了良种选育,研究人员构建了规模化的选育家系(马爱军等 2010),并先后对大菱鲆不同表型性状间的相关性(张庆文等 2008),幼鱼生长性状的遗传力(马爱军等 2008)和不同生长阶段选育性状的遗传评定(马爱军等 2009),稚鱼体长、存活率和白化率等性状的遗传力(张庆文等 2008),生长和耐高温的遗传参数(刘宝锁等 2011)等进行了研究。另外,具有158个微卫星分子标记的第二代大菱鲆遗传连锁图谱的建立(Ruan *et al.* 2010),耐高温性状(马爱军等 2011)、快速生长性状(许可等 2009)、亲权鉴定和系谱构建(于飞等 2009)等分子标记的开发,为选择育种提供了减少环境因素干扰和提高选育效率的工具,将会加速我国大菱鲆良种选育进程。

经过两代选育,目前已选育出快速生长新品系和耐高温新品系,其中快速生长新品系的生长率比对照系提高了20.31%,比普通养殖群体提高了31.44%(马爱军 2012);耐高温新品系的耐温性能比选育一代提高了1~2℃(马爱军 2012)。大菱鲆快速生长新品系和耐高温新品系的获得,为进一步选育出具有优良性状的大菱鲆新品种奠定了基础。同时,在大菱鲆选育的过程中,还对选育出的亲鱼和优质苗种进行了推广示范,取得了较明显的养殖效果,为继续选育大菱鲆良种打下了坚实基础。

黄海水产研究所在对大菱鲆进行选择育种的同时,还开展了大菱鲆杂交育种研究,不同地理种群间的生长特性和形态特征的差异,使不同养殖群体间的杂交成为大菱鲆遗传改良的又一条有效途径(季士治等 2006;于飞等 2008),通过种内杂交(丹麦♀×法国♂)选育的新品种“丹法鲆”,与普通苗种相比,收获体质量和养殖存活率分别提高24%和18%,2010年通过了全国水产原种和良种审定委员会的审定(农业部第1563号公告,品种登记号:GS-02-001-2010),目前已经推广至山东、河北、辽宁等大菱鲆主产区开展养殖。

大菱鲆雌鱼生长优势明显,20月龄时雌鱼体质量可达1.8kg,是同期雄鱼的1.8倍(Imsland *et al.* 1997),养殖全雌苗种可以大幅度缩短养殖周期和提高养殖效率,全雌苗种培育也成为培育良种的一个重要手段。近年来,国内外都对大菱鲆全雌苗种培育技术进行了探索,但是进展较慢,至今性别决定机制尚不明确(Haffray *et al.* 2009),需要借助雌核发育等技术进行研究,朱香萍等(2008)对大菱鲆二倍体受精卵从胚盘形成到4-细胞期微管骨架的动态变化过程进行了细胞学观察,Xu等(2008)、苏鹏志等(2008)和孟振等(2012)都对异源精子诱导大菱鲆减数分裂雌核发育进行了研究,但是目前只有孟振等(2012)成功获得批量雌核发育苗种并培育至性成熟,为今后大菱鲆性别决定机制的明确和全雌苗种的培育奠定了基础。

1.4 养殖模式

当我国绝大多数养殖尚处于传统模式之时,雷霖霖等(1992~1999)率先通过大菱鲆的育苗与养殖研究,首创了“温室大棚+深井海水”工厂化养殖模式,即在沿海滩地建设大棚,并配置深井海水形成开放式流水养殖系统,既可进行大菱鲆的苗种生产,同时可以扩大为通用型的养殖模式。大菱鲆入池养殖12个月,体质量即可达到700g以上的上市规格(孙中之等 2003)。由于该模式切合国情,具有投资少、技术要领易于掌握、资金周转快等特点,特别适合于小户经营,顺应了沿海广大转产渔农民自主创业的需要,因而获得迅速普及和推广,并一举成为我国北方沿海鲆鲽类养殖的主体模式,为3800多户渔农民提供了就业机会。根据鲆鲽类产业技术体系的统计资料,2010年全国大菱鲆工厂化养殖面积为464.9万m²,占大菱鲆总养殖面积的99.4%以上,主要分布在环渤海湾三省一市和江苏省,各养殖区的养殖面积分别为山东276.9万m²、辽宁157.5万m²、河北115.3万m²、天津57.1万m²和江苏13.3万m²。

在养殖水域和水温适宜的海况条件下,网箱养鱼的成本要比工厂化更低。虽然早期尚无“陆海接力”养殖的文献可考,但2005年前后已有少数山东企业开始尝试“陆海接力”,即采用网箱短期养殖大菱鲆成鱼。从1997年开始,方永强等(2001)就开始利用南北季节差异,将北方的工厂化养殖和南方的网箱养殖接力配制,尝

试在福建沿海冬季利用网箱养殖大菱鲆,结果表明,全长6~10cm的苗种,经过秋末至早春5个月的网箱养殖,平均体质量可达400g左右。此后经过养殖企业和研究单位的多次尝试,证明在福建沿海12~22℃的冬季水温条件下,平均体质量168g的大菱鲆养殖3个多月即可达到商品鱼规格(平均体质量556g),养殖成活率达到95.5%(王兴春 2006)。根据鲆鲽类养殖体系的调研资料,2011年全国大菱鲆网箱养殖面积达到156 200m²(其中山东省31 500m²,辽宁省3 200m²,福建省120 900m²),产量1 834 t。

循环水养殖是水产养殖诸多模式中工业化程度最高的一种,与流水养殖模式相比,可节水90%以上,节地高达99%,而且通过污水处理还可以实现节能减排、环境友好型生产,代表了未来海水鱼类养殖的发展方向(陈军等 2009)。从21世纪初开始,在科技部、农业部等国家部委、地方主管部门和国家鲆鲽类产业技术体系的连续资助下,我国以大菱鲆为代表的海水鱼类循环水养殖,在工艺流程(倪琦等 2006;宋德敬等 2002、2005)、关键设备(顾川川等 2010;倪琦等 2007;宋奔奔等 2011;张成林等 2011)以及水质在线检测与报警(宋德敬、马绍赛、曲克明等 2002、2010)关键技术等方面都取得长足进步,先后在山东、天津、河北和辽宁等省市,如莱州明波水产养殖公司、青岛通用水产养殖公司、烟台天源水产养殖公司和天津利达水产养殖公司,构建了多套大菱鲆封闭式循环水养殖系统,养殖效果良好。体质量10.4g的大菱鲆苗种,在平均日换水量低于5%的封闭式循环水系统中养殖10个月,体质量即可以达到847g,养成密度和成活率分别高达48.8kg/m³和95.7%(苏柯等 2003),养殖效率和节能减排效果远远超过工厂化开放式流水养殖模式,充分显示出循环水养殖在发挥大菱鲆养殖潜力方面占有巨大优势。

1.5 营养与饲料

我国大菱鲆养殖早期,养殖饵料主要采用冰鲜杂鱼,此后随着产业规模的扩大和养殖方式的转变,对配合饲料的需求也逐步增加,加快了国内海水鱼类营养需求与饲料加工工艺的研究步伐。尤其在国家鲆鲽类产业技术体系的支持下,营养与饲料岗位开展了鲆鲽类专用饲料与系列配合饲料的研制与推广。迄今为止,国内对大菱鲆不同生长和发育阶段的营养生理与需求(陈四清等 2004;蒋克勇等 2005;刘兴旺等 2011;马爱军等 2005),可以替代鱼粉的新型蛋白[饲料酵母(崔敏等 2011)、豆粕(麦康森、陈京华 2009;王海英等 2008)、菜籽粕(马俊享等 2009)、南极磷虾粉(孔凡华等 2012)等]的养殖效果评价,功能性添加剂的作用,如牛磺酸(Yun *et al.* 2012),以及免疫增强剂的效果和添加量[稀土(崔丽卿等 2011)、壳寡糖配合物(Cui *et al.* 2011)、微生态制剂(潘雷等 2012)]等方面都进行了广泛深入的研究,为一系列鲆鲽类国产化专用饲料的商业化开发和生产提供了理论和技术保障,减少了对进口饲料的依赖,降低了鲆鲽类养殖成本。据统计,目前我国每年消耗的大菱鲆养殖配合饲料总量达2万余t,其中国产饲料份额近年占到90%以上;但是在在大菱鲆养殖的整个过程中,配合饲料的使用量仅占30%左右,其余多为冰鲜杂鱼。

1.6 疾病防控

我国大菱鲆工厂化养殖产业发展速度快,企业规模小,养殖人员经验不足,地下海水水质多样,苗种生产场家众多和苗种质量参差不齐,渔药和饲料等配套生产资料不足,这些都不利于疾病防控,导致了我国大菱鲆养殖早期疾病发生的频率较高。根据国内相关研究报告,我国养殖大菱鲆常见主要病害包括由弧菌(薛淑霞等 2006;张伟妮等 2006)、爱德华氏菌(李筠等 2006)、气单胞菌(吕俊超等 2009)等引起的细菌性疾病,盾纤毛虫病(陈洁君等 2005)、刺激隐核虫(王印庚等 2011)等引起的寄生虫性疾病,以及虹彩病毒(史成银等 2005)、淋巴囊肿病毒(史成银等 2003)等引起的病毒性等疾病等3大类,其中细菌性疾病(为鳃弧菌病和迟钝爱德华氏菌病)和寄生虫疾病(为隐核虫病)发生较为普遍,危害也较严重。

从产业发展之初,针对大菱鲆养殖产业疾病预防的需要,黄海水产研究所的研究人员就积极跟进,对发生的疾病进行病原学调查,指导企业进行治疗和预防(秦蕾等 2008;王印庚等 2004)。近年来,在“国家鲆鲽类产业技术体系”的大力支持下,通过持续不断的流行病学跟踪和调查,摸清了我国大菱鲆主要疾病发病特征及其流行规律,确定了病毒、细菌和寄生虫等主要致病原30余种(株),并在黄海水产研究所建成养殖大菱鲆疾病病原库及远程疾病诊断平台,为今后大菱鲆疾病防控技术研究和指导企业进行健康养殖奠定了基础。

疾病的快速诊断是及时做出早期预防、治疗和预报危害严重流行病的重要基础。目前我国对大菱鲆疾病的诊断技术有了很大提高,除传统的病理组织学检查手段外(吕俊超等 2009; 秦蕾等 2009),还开发了分子生物学等快速诊断技术,如 PCR 技术(Zhang *et al.* 2009; 薛淑霞等 2008)、免疫荧光技术(冯守明等 2008)、胶体金快速检测试纸(秦璞等 2011; 王蔚芳等 2012)等,这些技术的联合应用将对疾病的传播与暴发起到较好的预防与监控作用。

“预防为主,防治结合”是鱼病防控的基本原则。目前,国内大型养殖场对疾病预防和用药比较规范,鱼病发生率较低,但是中小养殖企业的病害防治方法尚以药物为主,故药物残留现象仍然时有发生。生态预防(陈丽芸等 2011)和免疫预防(Mu *et al.* 2011)是解决这一难题的最根本途径。近年来,我国渔用疫苗的研究进展较快,鲟鳇类产业技术体系疾病防控岗位的华东理工大学研究团队,已经研发出我国海水养殖鱼类首例基因工程活疫苗,并于 2011 年 11 月获得了我国第一份农业转基因生物安全证书[“缺失 *aroC* 基因和 pEIB1 质粒的海洋鳃弧菌疫苗 MVAV6203 的安全证书”,证书号:农基安证字[2011]65 号],该团队研制的大菱鲆腹水病迟缓爱德华氏菌弱毒活疫苗又于 2012 年 5 月获农业部兽用生物制品临床试验批准(http://www.flatfish-farming.ac.cn/myinfo_2.aspx?Id=205),这是海水鱼病害防控一项带有里程碑意义的突破。

此外,鲟鳇类产业技术体系还搜集和整理了大量国内外相关渔药的种类、性质、残留限量、使用规范、检测标准等信息,形成较为完善和系统的大菱鲆渔药残留数据库,并在此基础上开展了多种渔药残留的研究工作,如土霉素(王雪鹏等 2008)、诺氟沙星(曲晓荣等 2007)、磺胺甲噁唑(曲志娜等 2009)、恩诺沙星(李娜等 2009)、环丙沙星(孙爱荣等 2012)等,明确了这些药物在大菱鲆体内的代谢和残留规律,为这些药物的使用方法和休药期的确定提供了基础数据。

1.7 加工与质量控制

国内养殖大菱鲆消费主要以活鱼为主。近年来,由于养殖成鱼价格的下降以及市场拓展的需要,国内对深加工产品研发的关注度明显提高,先后对大菱鲆的营养成分、微量元素及品质(雷霖霖等 2008; 梁萌青等 2010),冰温冷藏条件下的菌相(崔正翠等 2011),鱼肉的保鲜效果及冷冻鱼肉的保水效果(赵前程等 2008a、b)等进行了研究,同时开发了裙边、鱼皮、鱼唇和冷冻鱼片等精加工产品及烟熏等成品的加工工艺(滕瑜等 2012; 王彩理等 2011),为建立大菱鲆精深加工技术体系和延长产业链奠定了基础。同时国家鲟鳇类产业技术体系相关研究团队已经在山东美佳集团建立了大菱鲆等海水鱼无公害加工产品基地,建成 1 条年加工能力达 600 t 左右的大菱鲆精加工生产线。为了确保大菱鲆养殖及加工产品的质量,创建大菱鲆品牌,国内已经开展了大菱鲆产地追溯标识技术及编码体系研究,并建立包括追溯网站的 3 种产品追溯方式,为社会有效监督产品质量提供了平台。已经创建了“蓬莱阁”、“鱼麒麟”等优质活鱼名牌上市,产品为 2008 年奥运会新选用,直至今日仍为上市名品。

1.8 市场与养殖经济

因为营养、口感和文化寓意深受国人喜爱,故国内大菱鲆(商品名:多宝鱼)的活鱼销售市场日益扩大,由沿海向内地、自北向南广为辐射,几乎遍及全国城乡和港澳地区,大菱鲆本身也从身价百倍的“贵族鱼”逐渐变身为普通大众可以消费的“平民鱼”,尤其是经历了 2006 年上海多宝鱼药残风波之后,生产者和消费市场都变得更加理性,大菱鲆市场价格趋于平稳、合理,目前出厂价格约为人民币 80 元/kg 左右,同时许多生产厂家都开始注册商标,实行品牌经营,受到消费者的普遍欢迎。

长期以来,由于养殖品种单一、产业起伏不定和缺乏社会人文学科的疏导与推进,渔经界对于海水养殖产业的结构和经济运行规律的跟踪,感到十分困难。自从鲟鳇类产业技术体系建设开展以来,体系专门组建了产业经济岗位团队。最近几年,该团队以颇具代表性的大菱鲆养殖为研究对象,对鲟鳇类为主体的海水鱼类养殖产业发展模式(宋香荣等 2011; 吴凯等 2010)、产业链结构(任爱景等 2011)、养殖经济效益(黄书培等 2011)、销售策略(任爱景等 2011)、消费行为(杜卓君等 2011)以及产业发展战略与策略(雷霖霖等 2010; 刘堃 2011)等诸多方面都进行了研究,从微观和宏观两个视觉,为业界和政府制定产业发展规划和

出台方针政策等方面提供了参考,更为大菱鲆养殖产业的稳定有序发展提供了指导。

2 总结与展望

大菱鲆走过了 11 年坎坷的引种历程,从 1992 年开始 20 年来,又经历了 7 年艰苦攻关,突破了驯化、繁育和一年多茬育苗等关键技术的创新,构建并推广了适合国情的“温室大棚+深井海水”工厂化养殖模式,使大菱鲆养殖产业由此独树一帜获得迅猛发展,同时引领了我国第四次海水养殖产业化浪潮的兴起而产生了巨大的经济与社会影响力。在大菱鲆工厂化养殖产业新思路的引领下,不仅有力地提升了我国海水鱼类繁育理论、架构了海水鱼类养殖大产业、带动了产业链多种行业和市场的繁荣与发展,而且还连续开发了半滑舌鲷、塞内加尔鲷、圆斑星鲷、条斑星鲷、石鲷、膜斑牙鲆、褐牙鲆、大西洋牙鲆等中外 17 种鲆鲷类的育苗与养殖研究,掀起了新品种引进热潮和推动了多种高价值游泳性鱼类养殖新资源的开发,并广泛探讨了大菱鲆等鱼类在全人工条件下的性腺发育规律、产卵调控、受精生物学、采卵孵化、早期生长发育规律、苗种的环境生态学、生物学和苗种规模化繁育的技术工艺,以及与苗种繁育相关的一系列生物饵料培育、营养强化、疾病防控、中间培育和水质处理等技术;工厂化养殖的理论与技术也如日中天在逐步优化形成。早期的“温室大棚+深井海水”工厂化开放式流水养殖,为大产业的建树和开拓建立了不可磨灭的历史功勋,成为开拓养殖系统工程的基础,为今后向半封闭式循环水和全封闭式循环水模式的转型提升,朝着工业化养殖的最高模式转变奠定了坚实基础。总之,这些成就都是由大菱鲆带来的宝贵财富,它将永远成为鱼类养殖科研和技术创新的巨大基石。2007 年 10 月,以大菱鲆、牙鲆和半滑舌鲷等为主体的鲆鲷类养殖产业迎来了大好时机,获得公益性行业(农业)科研重大专项的重点支持,系统开展了鲆鲷类良种技术体系建设、鲆鲷类产品质量安全技术体系构建、鲆鲷类健康养殖技术体系的集成和示范、循环养殖系统的提升等全方位的研究工作。“专项”于 2011 年 5 月顺利通过结题验收,为鲆鲷类以后的产业转型升级奠定了坚实基础。2008 年,农业部和财政部联合启动了“现代农业产业技术体系”建设工作,首批启动了 50 个产业技术体系,以大菱鲆为首的鲆鲷类科研团队,凭借着繁育与养殖技术研究上的雄厚实力和广泛的行业影响力,成为首批“国家鲆鲷类产业技术研发中心”的建设依托单位之一,被誉为“大菱鲆之父”的雷霖霖被聘任为体系首席科学家。通过鲆鲷类行业专项的实施和产业技术体系建设工作的稳步推进,以大菱鲆为首的鲆鲷类养殖,逐步发展成为引领我国海水养殖的先锋产业。截止 2011 年底,全国工厂化、池塘和网箱养殖面积分别达到 628 万 m^2 、1.5 万亩和 44 万 m^2 ,成为我国名符其实的海水养殖大产业,大菱鲆则成为世界第一的鲆鲷类养殖产业。此外,由黄海水产研究所先后发起并具体承办的“第一届全国鲆鲷类产业可持续发展研讨会”(2010 年)和“第 124 场中国工程科技论坛——鱼类工业化养殖与可持续发展”(2011 年)均获得圆满成功。两会的成功举办,不仅引起了国内鱼类养殖产学研各界和各级政府主管部门的高度关注,而且向国内外极大地彰显了大菱鲆良种在我国海水鱼类养殖产业中的引领作用。

在鱼类繁殖生理和生物学研究方面,我们对大菱鲆卵子质量标准、大菱鲆母源免疫的传递机制与母源免疫抗体的代谢消减规律和生殖调控关键基因 GnRH、FSH、LH、膜孕激素受体等的克隆、表达及功能研究非常重视;开发了多种外源激素催产技术,丰富了海水鱼类生殖内分泌应用基础研究,为海水鱼类的人工繁殖提供了系列技术支撑;发掘了 GH、GHR、GTH I、GTH II、ORX、SL、CALR 等与大菱鲆生长、代谢、繁育和抗逆相关的重要生理指标功能基因,并建立了蛋白重组表达、纯化和抗体制备技术体系;制备了大菱鲆 IgM 多克隆抗体和单克隆抗体,研发出海水鱼类特异性抗体的快速检测测试纸条。上述研究,进一步揭示了养殖条件下海水鱼类的免疫、营养和内分泌等重要生理学指标及其与环境条件之间的关系,为海水鱼类转型提升至集约化养殖和生物安全管理等方面提供了环境控制、成熟度控制、营养需求和疾病防控等多方面的理论和技术支撑;在鱼类种质创制与改良技术研究方面,以大菱鲆为模式种,基于数量遗传学原理开展了良种选育工作,完成了基础群体的构建、个体标记技术研究、大规模家系培育、选育性状的遗传评定、核心育种群体构建、配种方案的制订、生长性能的评估以及良种推广等工作,制订了详细的育种规划,形成了大菱鲆亲鱼、配子和仔稚鱼的质量评价标准,建立起海水鱼类良种选育技术体系,获得了大菱鲆快速生长新品系;在分子标记辅助育种技术与蛋白质组学研究方面,利用 SSR 分子标记辅助育种技术筛选并获得了与温度和生长相关的微卫星标记;发现了粘液凝集素与细胞角蛋白在高温胁迫影响下的特殊变化规律,确定 SOD、热激蛋白、凝集素、细胞角蛋白可以作为温度标识

蛋白等;在数量遗传学基础理论研究方面,基于一般系统论和微分动力学原理,开展了遗传育种基础理论“非线性选择”研究,运用典型非线性生长模型,推导出反应动物生长规律的微观数阵和宏观模型,完成了非线性选择的技术原理、理论依据和技术路线;开展了大菱鲂全雌制种技术研究,建立了大菱鲂雌核发育诱导、三倍体诱导、稚鱼性别快速鉴定、激素诱导性转换以及分子标记鉴定亲缘关系等染色体操作技术,确定了大菱鲂性别分化时期和性别决定机制,获得了批量三倍体和伪雄亲鱼、成功培育了批量大菱鲂全雌苗种;在海水增养殖设施与工程技术研究方面,提倡以工业化养殖理念为指导,以节能、节地、节水、减排、环境友好为目标,加快转型提升海水鱼类养殖技术向高端、高质、高效方向发展,努力打造陆基工厂化、循环水池塘与海基智能化大网箱等3种工业化形态的养殖模式。在鲆鲽类重大专项、国家鲆鲽类产业技术体系和“青岛市海水鱼类种子工程与设施渔业重点实验室”的支持下,根据产业发展的迫切需求,开发了鲆鲽类工厂化封闭式循环水养殖系列技术,在设施装备国产化、水处理技术高端化、耦合系统的运转参数等方面取得了突破性进展,为鲆鲽类养殖产区的工业化养殖树立了样板,并在产区示范推广。与此同时,通过鲆鲽类产业技术体系建设,成长了一支学科齐全、务实创新、朝气蓬勃的科研团队,现已有博士和博士后20余人,每年培养硕士与博士生约10多名,成为今后科研和产业持续发展的中坚力量,是我们多年培植和积累的一笔宝贵财富。

20年来,中国的大菱鲂养殖尽管在学术和产业上取得了许多举世瞩目的成就,但是我们应该清醒地认识到,我们还存在良种覆盖率低、病害发生率高、深井海水资源不足、产品药物残留现象时有发生等重大问题,影响了产业的稳定和健康发展。2006年上海发生的多宝鱼药残事件,对整个行业造成了严重打击,必须牢记教训。要从根本上解决这些问题,需要有政府部门、科研机构和企业界的紧密合作、持之以恒的共同努力。政府管理方面,需要完善和严格执行养殖用地、苗种和养殖生产许可证发放、市场准入证、产品质量监管等审批制度,同时要加大对科研的投入,组织科研人员进行专项技术攻关;科研人员则需要围绕当前养殖产业发展存在的主要问题,诸如原种亲鱼引进和保存、良种选育、全雌苗种创制、疫苗开发与应用、疾病无抗化防控、国产化配合饲料的研制、产品溯源、循环水健康养殖等关键技术的研究;企业界,则要推进生产模式和经营模式的自主创新,建立各种产业联盟或合作社,首先把一家一户的初级工厂纳入“工厂+农户”的产业化管理模式上来,形成“产业链”运作,以彻底改变目前个体户无序发展的现状,进而建立组织化程度更高的现代化养殖公司,以提高到工业化水准上来运行。

当前海水养殖正处于空间、水资源、能源和环境的巨大压力之时,必须明确大菱鲂养殖产业,要立足科技创新驱动发展的大思路,抓住国家海洋工程与蓝色经济区战略机遇期,加快技术和生产模式的转型升级,推进“节能、节水、节地”和“高端、高质、高效”工业化养殖产业的早日形成是一项长期奋斗任务。

工业化养殖理念,就是集工程化、工厂化、设施化、规模化、标准化、数字化、信息化于一体的现代化养殖新模式。2011年9月18~20日在北京成功召开的“鱼类工业化养殖与可持续发展”第124场中国工程科技论坛,与会领导和专家在发言中一致认为:当前必须加快推进资源节约型、环境友好型的现代化渔业建设;建议今后应该高度重视工业化养殖技术的提升,要以工业化理念谋划整个鲆鲽类养殖产业的发展;坚持以科技创新为主体、以制度创新为支撑、以市场需求为导向,力争做到渔业与现代工业技术及经营管理方式上的密切结合,创造出具有高经济价值、生态价值和社会价值的鱼类养殖大产业。以大菱鲂为主体的鲆鲽类养殖走工业化道路十分重要,今后要大力倡导“装备工程化、技术现代化、生产工厂化、管理工业化”的“四化”养殖理念,重视科教文化、人文文化和企业文化建设,并在信息化的引导下打造成为样板工程。此次论坛为未来鱼类养殖转型升级指明了方向,更为行业的发展描绘了全新的蓝图,所以受到业内外人士的巨大关注,对社会各界的思维观念转变,也将产生积极而又深远的影响。

(全部参考文献共有105篇,因版面有限,参考文献略)