

21世纪我国的蓝色农业*

张福绥

(中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071)

[摘要] 21世纪生物资源的匮乏和生态环境的恶化将严重影响我国国民经济的发展和人民生活水平的提高, 发展蓝色农业——海水养殖业必将为我国2030年预计达到的16亿人口的食物安全问题的解决作出应有的贡献。新世纪我国蓝色农业的发展趋势是生态养殖和工程养殖, 其关键的策略在于: 立足基础研究, 强化高新技术转化; 实施良种工程, 不断推出养殖新品种; 从平衡沿岸各产业的需求出发, 调整现有养殖区养殖结构、规模与布局; 集成现代生物和工程技术, 实施潮上带和陆地生态工程养殖; 以养殖生态学理论和现代工程技术为基础, 大力发展浅海离岸设施渔业; 从改善我国人口食物营养结构出发, 促进水产品加工业的发展。

[关键词] 蓝色农业; 生态养殖; 工程养殖; 良种工程; 设施渔业

尽管我国人口增长率已得到了有效控制, 到2030年预计可达到 16×10^8 , 而资源的缺乏和环境的恶化将可能进一步加剧, 尤其是生物资源^[1]。很显然, 合理地开发利用海洋资源是解决我国众多人口的食物安全问题的重要途径; 而发展蓝色农业——海水增养殖业是其中的重要措施。因此, $300 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的蓝色国土是未来我国发展之所在, 新世纪我国海水养殖业也必将引起更多有识之士的关注。

1 蓝色农业的世纪回眸

蓝色农业——海水养殖业是大农业的重要组成部分, 在国民经济中占有不可缺少的地位。近半个世纪以来, 我国海水增养殖业得到长足发展, 各地按照“充分利用浅海滩涂, 因地制宜养殖增殖, 鱼虾贝藻全面发展, 加工运销综合经营”的发展方针, 把主攻方向放在“巩固提高藻类, 积极发展贝类, 稳步扩大对虾, 重点突破鱼蟹, 加速拓展海珍品”上, 初步实现了虾贝并举、以贝保藻、以藻养

珍的良性循环。其中关键的理论和技术突破在于: 20世纪50年代海带育苗和浮筏式养殖技术的开发, 促成海带养殖业的迅速发展^[2]; 60年代解决了紫菜育苗、养殖技术以及牡蛎育苗、养殖技术; 70年代解决了贻贝和栉孔扇贝育苗、养殖技术^[3~5]; 80年代开发了我国对虾的工厂化育苗、养殖技术, 以及海湾扇贝的引种成功等^[6~10]。如同淡水养殖业, 我国海水养殖业实现了举世瞩目的藻、虾、贝三次产业浪潮和目前正在形成的海水鱼类养殖产业浪潮。1998年, 全国海水养殖产量达到 $860 \times 10^4 \text{ t}$, 海水养殖产量占全国养殖总产量的39%, 居世界之首, 海水养殖产量约占全球海水养殖总产量的80%以上。国家“八六三”计划推动了我国海产动物的细胞-染色体育种研究和产业化。目前在贝类、虾类和鱼类的染色体操作和性控技术方面已经取得重要进展, 如牡蛎和鲍鱼已经进入产业化的中试阶段, 为实现传统产业的高技术化改造作出了贡献。目前我国海水养殖种类已达50余种, 年产量超 $10 \times 10^4 \text{ t}$ 的就有牡蛎、贻贝、扇

[收稿日期] 2000-07-21

[基金项目] 国家重大基础研究规划项目(G1999012012); “九五”国家科技攻关项目(96-922-02-04)

[作者简介] 张福绥(1927-), 男, 山东昌邑县人, 中国工程院院士, 中国科学院海洋研究所研究员

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第4085号, 杨红生、张国范、张景镛、何义朝等研究员参与撰稿

贝、蛤、缢蛭、对虾和海带等。

蓝色农业在我国国民经济中占有重要地位。在我国海洋产业 $3\ 120 \times 10^8$ 元的总产值中, 约有 550×10^8 元产值产自近海养殖业。蓝色农业近几年得以快速发展的一个重要外在因素是产品国际市场的不断扩大, 近几年的出口额都在 15×10^8 美元左右, 为国家的外汇储备和经济建设做出了贡献。在区域经中, 蓝色农业也发挥了重要作用, 如被列为全国百强县的山东省长岛县和荣成市, 辽宁省长海县等都是近海养殖为主要产业支柱的。此外, 全国每年从事与蓝色农业相关的产业的人数已达数百万人, 为增加沿海地区就业和农村经济的发展做出了贡献。

2 发展蓝色农业所面临的问题

2.1 缺乏整体开发利用的战略意识

我国的海洋渔业, 长期采用“掠夺式”生产手段, 一味地向大海索取, 而所获得的量大质劣的产品和眼前的经济效益, 是以牺牲长远的生态和经济效益为代价换取的。不合理的开发加剧了人类活动对河口和海岸带资源与环境的影响和破坏, 海水增养殖业尤为如此。

海水养殖业是介于传统农业和现代工业之间的产业类型, 基础落后。但因客观需求大, 每年却以 $8\% \sim 10\%$ 的速度发展。由于缺乏系统理论基础、整体开发规划和完善的技术支撑, 这种大规模开发, 无论是产业布局、还是养殖模式和生产管理均处于无序、无度、无法的混乱状态。既对沿海环境和生态系造成了不良的影响, 也制约了养殖业本身的发展。其中比较典型的例子是我国对虾养殖业的衰退和近年来滩涂底栖性贝类资源的严重衰竭。这种状况到目前为止还未得到有效的遏制, 比如: 在潮间带不惜毁坏大片对保护海岸带有重要作用的红树林去兴建虾池鱼塘, 使局部海岸线退缩, 国土资源永久流失; 在潮上带农耕地上开塘养虾, 使大片农田盐碱化; 为了获得短期的经济效益, 把那些对生物多样性保护、气候调节和生态平衡等方面有重要作用的大片沿海湿地, 开发成各种养殖用途的畦、塘、池等: 都严重破坏了沿海地区的生态平衡, 并将危害沿海地区的经济和社会发展。

由于缺乏整体的发展战略, 与其他相关产业的冲突不断, 特别是毗邻大中型港口城市的养殖区, 养殖设施不断向锚地甚至航运主航道扩张, 影响了

港口的功能和航运的正常进行。在我国某北方城市每年需要得到海事法院仲裁的航运业与养殖业冲突的案例就有十余件, 使当地政府不得不下决心大量砍掉海上养殖浮筏。此外, 与盐业、海上旅游业等传统和新兴产业也不时发生冲突。这些问题不解决, 将严重影响我国蓝色农业的发展。

2.2 养殖环境恶化, 生态系统失衡

我国沿岸重要的海水养殖区大多分布于沿海海湾和河口附近水域, 这些水域也是沿海陆源污染物和海上排污的主要接纳场所。随着沿海经济的迅速发展, 大量工业废水和生活污水排放入海。据统计, 我国每年直接入海的废水量高达 $80 \times 10^8 \text{ t}^{[11]}$ 。另外, 大量富含有机质、无机氮和磷及有机农药的农业污水也随径流进入近海水域, 致使近海海域水质恶化, 严重地影响养殖种类的生存和生长。

除了外源污染物的进入外, 养殖业本身对沿岸海区生态环境的影响也不容忽视^[12,13]。大量新增的养殖设施使养殖区及其毗邻水域流场发生改变, 而且, 由于养殖设施的屏障效应, 使流速降低, 影响了营养物质的输入和污物的输出, 使陆源污染物得不到及时的稀释扩散, 滞留在近海水域。由于海底堆积了大量生产加工过程的废弃物等有机物并矿化, 使海底抬升, 水深变浅, 既降低了海域的使用功能, 也成为二次污染的污染源。此外, 植物性种类有机质的溶出, 动物性种类养殖过程中的人工残饵及代谢产物的排放等都对近海环境造成危害^[14]。

近20年以来, 赤潮时有发生, 而且有频次越来越多、规模越来越大、危害越来越严重的趋势。赤潮的发生是养殖海区环境恶化的具体表现之一。

由于外源的和自身的污染, 使养殖生态系严重失衡, 病原生物滋生, 长期在这种环境下生活的养殖种类自身对病原体的抗性降低, 近年来不少养殖海区赤潮频发并诱发病害的发生和流行, 使养殖业主损失惨重。

2.3 缺乏品质优良、抗逆能力强的养殖对象

众所周知, 20世纪80年代以来我国农业一直保持着健康、稳定的发展势头, 其中新品种培育和推广起了关键作用。而我国海水养殖的动物基本上都是野生型的, 未经过家化过程的遗传改良, 因而, 除了保留了野生型的对环境温度等变化的适应性较强的优点外, 更多地表现为对养殖环境变化的不适应性, 如密度变化、营养条件、病原体侵害和

恶化的水环境等。由于海水养殖野生型种类的种质难以适应逐渐恶化的环境，经过长期密集养殖后易发生大规模死亡。如我国北方的传统土著养殖种栉孔扇贝等，从20世纪80年代就开始一定规模的养殖，到90年代后随着养殖强度的进一步增加，病害发生频繁，到1997~1998年，山东、辽宁两省养殖栉孔扇贝的死亡率达80%以上，局部地区甚至绝产，损失惨重。整个山东和辽宁沿岸养殖的栉孔扇贝都是来源于山东烟台近海野生的“天然苗”。而这些天然苗被人为地筛选为大中小三种规格，规格较大的一类苗养成的扇贝在冬末收获，二类苗（中等规格）养成的扇贝在春节后收获，只有规格最小的三类苗才有机会在春末夏初成为繁殖群体。这种人为“择劣”的逆向选择，势必使栉孔扇贝的生长和抗逆性等定量性状的遗传基础更加脆弱。此外，野生型群体经过一代到两代的养殖后，其子代性状分离，可能有一部分个体对某些环境（病原）的敏感型，易发生死亡，并诱发其他个体的死亡。

2.4 养殖类群单一并长期持续密集养殖，致使病害肆虐

我国淡水养殖成功的理论和经验证明：结构合理多元化（混养）养殖成功的前提是水体空间、饵料资源状况与养殖种类的生活、生长要求相吻合并种间互利，对种类和数量都有明确的要求。在我国传统海水池塘对虾、滩涂贝类养殖中，养殖种类或类群单一问题由来已久。对虾养殖业进入产业化的长时间内，中国对虾一直是当家种类，只是产业滑坡之后才开始重视生态养殖，强调多元化养殖，继而有了不同种类或类群搭配、不同养殖模式并举的新型养殖技术。目前，我国海水养殖业中在不同生态类型海区的养殖种类结构不合理的现象非常普遍，如某海区适于某种生物养殖，其养殖生物量就会严重超过环境负荷，进行掠夺式养殖。局部海区长期结构单一的密集养殖，使生态系统能量和物质由于超支而贫乏，造成循环过程紊乱和生态失调，致使某些污损、赤潮和病原生物异常发生，而且由于系统中的生物种群多样性低，食物链短，能量转化率虽高，但是生态系统的稳定性差，极易引发病害的发生和流行。

3 蓝色农业发展态势与目标

新世纪我国蓝色农业的发展态势日趋明朗，即朝着生态养殖和工程养殖两个方向发展；其理论基

础是运用现代生物学理论和生物与工程技术，协调养殖生物与养殖环境的关系，达到互为友好，持续高效；其总体目标是实现养殖生物良种化、养殖技术生态工程化、养殖产品优质高值化和养殖环境洁净化，最终实现蓝色农业的可持续发展^[15,16]。

未来的生态养殖，将强调养殖新模式和设施渔业中新材料与新技术的运用，建立“自养”（贝藻类）和“异养”（鱼虾类）复合养殖系统，实施养殖系统的“生物操纵”与“自我修复”，优化已养海域的养殖结构，实现浅海离岸生态设施渔业。

未来的工程养殖，将运用现代生物育种技术、水质处理和调控技术与病害防控技术，设计现代养殖工程设施，实施养殖良种生态工程化养殖，依靠“人工操纵”实现养殖系统的环境修复，有效地控制养殖的自身污染及因养殖活动对海域环境造成的影响^[17,18]。

结合我国海域实际情况，在具体实施中，可以分为三种养殖系统：一是潮上带和陆地工程化养殖；二是现有滩涂、浅海养殖区以生态养殖为主，附以工程化养殖的养殖系统；三是离岸深水区的离岸生态设施养殖系统。

近期的主要任务包括：在重新审视我国已有增养殖理论和技术的基础上，必须加强养殖生态学和水产遗传学等基础理论研究，科学调整已养水域的产业结构，树立产业、环境、资源协调发展的意识；在技术上，力求实现养殖对象的良种化，增强养殖生物的抗逆能力，减轻或消除养殖对环境与资源的负面影响；实现生物与环境的友好、协调发展。为此，要开展全方位的合作，健全激励竞争机制，集中力量，重点突破一些关键的理论问题和技术关键，从而形成一整套适合我国国情的新世纪蓝色农业的理论和技术体系。

4 新世纪蓝色农业的战略构想

4.1 实施生态工程养殖战略，促进蓝色农业健康发展

世界大多数国家的水产养殖业都有“发展—波动—调整—持续发展”的经历。可持续发展是世界环境与发展委员会提出的人地系统优化的新思路^[19]。目前，国际上公认的可持续发展的最广泛的定义是“既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。很显然，可持续发展的核心思想是实现经济发展、资源节约与环

环境保护的和谐与统一。而环境保护与经济发展互相支持的战略目标,可以采取适当的技术、经济等措施控制并解决环境问题。经济增长并不一定带来环境的破坏,关键是采用什么样的经济增长模式。由此可见,困难与机遇并存。一方面,近年来我国对虾和栉孔扇贝大规模死亡,产业滑坡对海水养殖业的发展影响很大,教训深重;另一方面,也为我国海水养殖业必须坚持走可持续发展之路提供了良好的契机和氛围。

海洋生态与环境资源的潜力将在很大程度上制约着我国未来的发展。我国近海是世界上最广阔的高生产力陆架海区之一,但生态与环境现状令人担忧,已成为典型的脆弱生态系。从保护和恢复脆弱生态系的战略角度出发,必须系统研究主要河口和沿岸海区生态、环境与资源演替规律,实现这些脆弱生态系环境与生态保护、生物资源与环境的持续利用^[20,21]。

4.2 立足基础研究,强化高新技术应用

目前,我国浅海养殖理论和技术已经满足不了实际生产的需要,科研滞后于生产的现象已经严重影响我国海水养殖业的发展,出现了“产业浪潮”之后的“滑坡”,如对虾和栉孔扇贝等。其中主要原因就是多年来我国科研工作在水产养殖理论和技术方面缺乏真正的突破。当然,从另外一个侧面也反映出国家和产业单位对海水养殖基础理论研究重视程度和经费投入的不足。因此,要想真正走出困境,增加海水养殖理论研究的经费势在必行;实施海水养殖创新工程,健全激励竞争机制,对有突出贡献的科技人员优先安排科研项目,优先资助科研经费;集中人力、物力和财力,重点突破一些关键的理论问题和技术措施。就浅海养殖面临的困境而言,我们认为有关科研主管部门应尽快立项,重点支持种质及病害和养殖生态学的研究。目前亟待研究的问题包括:

4.2.1 新的种质资源的发掘和对现有养殖种类(群体)的种质评价 新的种质资源的发掘及对现有养殖种类(群体)进行种质评价是海水养殖优良品种化的重要基础。其研究的重点是野生种群和养殖群体的遗传结构和遗传多样性等的变化及其与养殖性状的关系,利用现代生物技术与养殖性状有关的基因(族),为种质鉴定、遗传改良及生态对策提供科学依据^[22]。

4.2.2 养殖生物异常大批死亡的病因和防治技术

研究导致养殖生物异常大批死亡的病原生物及其流行规律和病理学特征。研究老化或恶化环境对养殖生物抗逆能力的影响,建立一套完善的病害预测预报体系,建立简便、快速的水质监测方法和病原及其它生物体的快速检测方法,以便对疾病进行有效的控制。加强养殖生物免疫理论和技术的研究,并尽快在工程化养殖系统中应用^[23~28]。

4.2.3 养殖系统营养动态和自身污染规律 养殖系统的营养状态既与养殖生物的物质积累和繁殖有关,也与其对不良环境的抗逆性有关,养殖动物尤其如此。而环境中的营养物质的动态变化与养殖系统内的自身污染和赤潮的发生有关。随着我国海水养殖业的发展,滩涂、浅海养殖环境的富营养化已成为严重的环境和生态问题。因此,应该加强营养的动态变化和自身污染规律及其与养殖生物关系的研究,特别要研究其与赤潮发生的关系。

4.2.4 养殖生态系统养殖容量的评估与生态环境调控 贝类和藻类生长主要依赖于饵料生物和营养要素的供应^[29,30],而鱼类和虾类等的生长同样也受制于养殖环境。养殖过密和布局不尽合理,势必产生饵料供应不足和自身污染严重等问题,并易感染疾病。因此,在未来几年工作中,必须开展“洁净生产”和生态调控,特别是要注重对环境的净化和调控有特殊作用生物的研究^[31~39]。

4.2.5 新型养殖设施(设备)和水质调控技术的研制与开发 新型养殖设施或设备是未来工程化养殖和离岸设施渔业发展的重要条件之一。新型养殖设施或设备至少包括陆上工程养殖系统:现代化的基础设施,环境控制设备,循环水处理设备,专家管理系统等;离岸深水设施渔业系统:抗风浪深水网箱、深水平台、自动投饵清污系统及环境监控设备等。

4.3 实施良种工程,不断推出养殖新品种

如前所述,实现养殖对象的良种化,不断推出养殖新品种,从根本上解决目前因种质衰退而造成的一系列问题,是确保我国苗种生产持续健康发展的根本所在。

选择育种是育种的最基本、最常用的方法之一。虽然收效慢,但技术要求低,基层生产单位也可以开展工作,如方法得当(建立选择育种系统程序)也可以较快地达到一定的效果。为了缩短育种周期,杂交育种也可以在育种中得以应用,尽管种间配子相容性较低,而种内杂交,即在不同地理种

群间的杂交,也可以达到利用杂种优势的目的。雌核发育是建立纯系的有效手段,如在选择育种中得以应用,将大大加快育种速度。多倍体育种已经取得了一定的突破,如直接诱导三倍体的长牡蛎^[40~42]和通过四倍体与正常二倍体杂交而获得的三倍体长牡蛎都具有一定的生长优势^[43~45],但对其他养殖对象来说,是否具有优势以及生产应用的可行性等都有待进一步研究。基因工程的应用潜力在不远的将来可望给海水养殖业带来巨大的效益和革命性的变化。尽管其技术难度大,经费投入高,但其意义重大。因此,国家应创造条件,积极开展这方面的研究,为实现未来养殖对象良种化奠定坚实的基础^[46~51]。

4.4 从平衡沿岸各产业的需求出发,调整现有养殖区养殖结构、规模与布局

海岸带经济发展必须根据不同的功能特点,因地制宜地合理布局、协调发展。在我国海水养殖业发展的很长一段历史中只注重眼前的经济效益,忽视长远生态效益,以致发生了诸如对虾和扇贝等大规模异常死亡的问题。当前我国的海水养殖业,应切实调整产业结构、改善环境、稳定发展。实现由数量膨胀型向质量效益型,由单纯追求经济效益向经济、社会、生态效益并重的转变。

目前,我国沿海各地已开始对养殖产业结构进行了调整,在有些海区已经取得一定成效,但仍需进一步调整,合理布局,积极开展生态养殖和工程化养殖,在提高产品档次,增加经济效益的同时,减轻养殖对海区资源与环境的影响,保护和修复沿岸海区等脆弱生态系。

为了实现沿岸各产业的平衡发展,在基本满足出口和内需的情况下,逐渐缩小现有的养殖区,提高离岸生态设施渔业、潮上带和陆地工程化养殖的产量。

4.5 集成现代生物和工程技术,实施潮上带和陆地工程化养殖

潮上带和陆地工程化养殖主要包括鱼类、虾蟹类以及其它海珍品的生态工程化养殖,其发展前提是现代的养殖设施,生长快、抗逆能力强、肉质好的良种,高效水处理技术和自动化控制系统等^[52,53]。逐步建立大型的“养殖工厂”,大幅度提高养殖单产和经济效益;同时从环境清洁工程的角度出发,有效地控制养殖污染,减轻养殖污水对海区的环境与资源的破坏,进一步提高生态效益。可

以预测,潮上带和陆地工程化养殖的前景十分诱人。

4.6 以养殖生态学理论和现代工程技术为基础,大力发展浅海离岸设施渔业

浅海是我国海水增养殖业发展的主战场。未来的离岸设施渔业的主体是鱼类和贝类,而大型藻类、沉积食性动物(如海参)等可以作为“清洁者”,建立动植物复合养殖系统^[54,55]。在系统研究鱼、贝、藻类及沉积食性动物等最佳配比、布局与养殖历谱等基础上,建立生态复合养殖系统。值得一提的是海参等大型动物的增养殖业发展迅速,而有关其生态作用等基础理论有待研究。

据调查,目前已利用养殖的浅海海区水深均在 15 m 以内,贝藻类养殖主要利用这类海区,环境优良和经济条件较好的上述海区均得以较早开发,而这些海区也是陆源污染最为集中的海区。为了实现新世纪我国浅海养殖业的可持续发展,减轻贝类等养殖对近岸海区的影响,养殖范围必须向外方发展,实施离岸设施渔业。未来的离岸设施渔业将采取先进的养殖和工程技术与设施,养殖区域将拓展到 20 m 水深的海区,局部可达 30~40 m 水深的海区(如长岛等)。

通常深水海区,水交换率高,污染物含量低,因此向深水海域发展养殖将减轻各种污染对养殖生物的影响,生产出健康洁净的贝类产品。随着养殖区的外移,全国近岸区的养殖密度将得以有效的控制,甚至完全可以在某些地方和特定的时间内实施内湾和近岸数千米海区内禁养,此举将明显减轻浅海养殖对沿岸浅水区环境的影响,有利于浅海生态系统的恢复和环境保护,也有助于近岸相关种群资源的恢复和沿海捕捞业的振兴。

但是,离岸养殖战略能否实施,同样受到养殖技术和经济效益的挑战。目前,深水养殖平台、深水网箱、水下网箱、人工鱼礁等早在发达国家得以应用;我国台湾、海南等地也用于鱼类养殖,其他地方的少数养殖单位已在 30~40 m 水深的海区发展贝类筏式养殖,但经济效益和安全等问题阻遏了浅海离岸设施渔业的发展,这些问题都亟需立题研究。

因此,必须加强离岸养殖工程技术的研究,注重引进技术的消化与吸收,提高其生态效益、社会效益和经济效益。

4.7 从改善我国人口营养结构出发,大力发展水

产品加工业

水产品的保鲜和加工是捕捞和养殖生产的延伸,是整个蓝色农业不可或缺的组成部分。在我国渔业生产迅速发展的同时,特别是近20年来,改革开放给水产加工业带来了生机和活力,水产品加工业已发展成为包括冷藏、腌制、罐头、干制、熟制、鱼糜加工、鱼粉与饲料加工、水产制菜及海藻工业(提取碘胶及海藻食品)等十多个专业门类的庞大行业,对于促进捕捞和养殖业的发展,增加市场的有效供应,提高渔业产品的整体经济效益起着重要作用。但是,总体上说,我国水产品加工技术严重滞后,加工能力和水平不高,产业规模化不大。

近年来,我国海洋药物和天然活性物质的研究和应用得到充分重视,而加工业发展势头不足。一方面海产品加工的产品多依赖于出口,常受国外市场的制约而造成产品积压;另一方面内陆地区,特别是西部地区,人民的食物营养结构亟待改善,如缺碘等,这一现状不能不引起有关部门和学者的深思。笔者认为必须立足出口,扩大内需,调整和提高我国海产品加工业的产业结构和产业规模,并由此推动我国蓝色农业的持续健康发展。

参考文献

- [1] 张镜湖. 21世纪的资源与环境 [J]. 地球信息科学, 1999, (2): 1~6
- [2] 曾呈奎, 周海鹏, 李本川. 中国海洋科学研究及开发 [M]. 山东青岛: 青岛出版社, 1992, 782
- [3] Zhang F. Mussel culture in China [J]. Aquaculture, 1984, 39: 1~10
- [4] 王子臣, 栉孔扇贝人工育苗及试养的研究 [J]. 大连水产学院学报, 1981, (1): 1~12
- [5] 王如才, 高洁. 栉孔扇贝半人工采苗试验报告 [J]. 山东海洋学院学报, 1978, (2): 21~26
- [6] 张福绥. 海湾扇贝引进中国10周年 [J]. 齐鲁渔业, 1993, (5): 9~12
- [7] 张福绥, 何义朝, 刘祥生, 等. 海湾扇贝 (*Argopecten irradians*) 引种、育苗及试养 [J]. 海洋与湖沼, 1986, 17 (5): 367~374
- [8] 张福绥, 何义朝, 马江虎, 等. 海湾扇贝与海带轮养试验报告 [J]. 海洋科学, 1987, (6): 1~6
- [9] 张福绥, 何义朝, 亓玲欣, 等. 墨西哥湾扇贝的引种和子一代苗种培育 [J]. 海洋与湖沼, 1994, 25 (4): 372~377
- [10] Chew K. Global bivalve shellfish introductions [J]. World Aquaculture, 1990, 21 (3): 9~22
- [11] 贾晓平, 蔡文贵, 林 钦. 我国沿海水域的主要污染问题及其对海水增养殖的影响 [J]. 中国水产科学, 1997, 4 (4): 78~82
- [12] 柴雪良. 海水养殖业与环境的相互影响 [J]. 浙江海水养殖, 1998, 27: 24~26
- [13] 季如宝, 毛兴华, 朱明远. 贝类养殖对海湾生态系统的影响 [J]. 黄渤海海洋, 1998, 16 (1): 21~27
- [14] 杨红生, 周 毅. 滤食性贝类对养殖海区环境影响的研究进展 [J]. 海洋科学, 1998, (2): 42~44
- [15] 赵 钊, 张景镛. 科技长入经济, 推动蓝色产业发展 [J]. 中国高新技术企业评价, 1995, (6): 17~20
- [16] 杨红生. 试论我国“蓝色农业”的第二次飞跃 [J]. 世界科技研究与发展, 1999, (4): 45~49
- [17] 李文抗. 水产养殖业现代化与工厂化养殖 [J]. 现代渔业信息, 1999, 14 (2): 20~21
- [18] 陈昌齐. 论池塘养殖技术改进 [J]. 淡水渔业, 1999, 29 (2): 41~43
- [19] 蔡云龙. 持续发展——人地系统优化的新思路 [J]. 应用生态学报, 1995, 6 (3): 329~333
- [20] 刘瑞玉. 加强管理, 深入研究, 保证山东渔业持续发展 [J]. 科学与管理, 1991, 19 (1): 8~11
- [21] 刘瑞玉. 海洋生物资源持续发展的科学问题 [A]. 周光召主编. 科技进步与学科发展(上) [M]. 北京: 中国科技出版社, 1998. 101~105
- [22] 张福绥, 何义朝, 亓玲欣, 等. 海湾扇贝引种复壮研究 [J]. 海洋与湖沼, 1997, 28 (2): 146~152
- [23] 孙景伟, 王志松, 王富贵, 等. 太平洋牡蛎大量死亡原因与防治对策 [J]. 水产科学, 1997, 16 (3): 3~7
- [24] 张福绥, 杨红生. 山东沿岸夏季栉孔扇贝大规模死亡原因的分析 [J]. 海洋科学, 1999, (1): 44~46
- [25] 张福绥, 杨红生. 栉孔扇贝大规模死亡问题的对策和应急措施 [J]. 海洋科学, 1999, (2): 38~42
- [26] 张国范, 李 霞. 我国贝类大规模死亡现状 [J]. 中国水产, 1999, 5: 25~30
- [27] 张国范, 李 霞. 病害与21世纪中国的贝类养殖业 [A]. 周光召主编. 面向21世纪的科技进步与社会经济发展 [M]. 北京: 中国科技出版社, 1999. 506
- [28] 杨先乐. 21世纪我国水产动植物病害防治的发展方向 [J]. 淡水渔业, 1999, 29 (2): 44~45
- [29] Grant J. The relationship of bioenergetics and the environment to the field growth of cultured bivalves [J]. J Exp Mar Eco, 1996, 200: 239~256.

- [30] Yang H, Zhang T, Wang J, et al. Growth characteristics of *Chlamys farreri* and its relation with environmental factors in intensive suspended - culture areas of Sishiliwan Bay, Yantai [J]. Journal of Shellfish Research, 1999, 18 (1): 71~76
- [31] 方建光, 匡世焕, 孙慧玲, 等. 桑沟湾栉孔扇贝养殖容量的研究 [J]. 海洋水产研究, 1996, 17 (2): 18~31
- [32] 李庆彪. 养殖扇贝大量死亡与环境容纳量 [J]. 国外水产, 1990, (2): 9~11
- [33] 李德尚, 熊邦喜, 李琪, 等. 水库对投饵网箱养鱼的负荷力 [J]. 水生生物学报, 1994, 18 (3): 223~229
- [34] 唐启升. 关于养殖容纳量及其研究 [J]. 海洋水产研究, 1996, 17 (2): 1~5
- [35] 杨红生, 张福绥. 浅海筏式养殖养殖容量研究进展. 水产学报, 1999, 23 (1): 84~90
- [36] 张福绥, 何义朝, 杨红生. 海湾扇贝引种工程及其综合效应 [J]. 中国工程科学, 2000, 2 (2): 30~35
- [37] Beveridge M. Cage Aquaculture [M]. Fishing News Books Ltd., Farnham, Surrey, England, 1987. 352
- [38] Holliday J, Maguire G, Nell J. Optimum stocking density for nursery culture of Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*) [J]. Aquaculture, 1991, 96: 7~16
- [39] Kasspar H, Gillespie P, Boger I, et al. Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities of Kenepuru Sounds [M]. New Zealand. Mar Biol, 1985, 85: 127~136
- [40] 张国范, 王子臣, 常亚青, 等. 三倍体长牡蛎浮筏养殖技术的研究 [J]. 中国水产科学, 2000, 7 (1): 69~73
- [41] 张国范, 常亚青, 宋坚, 等. 不同方法制备的三倍体长牡蛎养殖效果的比较研究 [J]. 水产学报, 2000, 24 (3): 25~28
- [42] Zhang, G, Wang Z, Chang Y, et al. The induction of triploid in pacific abalone with 6-DMAP and the performance of triploid juvenile [J]. Journal of Shellfish Research, 1998, 17 (3): 783~788
- [43] Allen, S K Jr, Shpigel M, Utting S, et al. B., Incidental production of tetraploid Manila clams, *Tapes philippinarum* (Adams and Reeve) [J]. Aquaculture 1994, 128: 13~19
- [44] Guo X, Allen S K Jr. Viable tetraploids in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by inhibiting polar body I in eggs from triploids [J]. Mol Mar Biol Biotechnol, 1994, 3 (1): 42~50
- [45] Que H, Guo X, Zhang F, et al. Chromosome segregation in fertilized eggs from triploid oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg), following inhibition of polar body I [J]. Biol Bull, 1997, 193: 14~19
- [46] 张国范, 张福绥. 海洋贝类遗传多样性及其永续利用 I. 遗传多样性 [J]. 海洋科学, 1993, (5): 17~21; II. 永续利用 [J]. 海洋科学, 1993, (6): 18~21
- [47] 张国范, 张福绥. 海洋生物基因库研究的进展 [J]. 海洋科学, 1995, (5): 24~26
- [48] 张国范, 贝类染色体组操作技术 [A]. 曾呈奎, 相建海主编. 海洋生物技术 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1998. 45~66
- [49] 袁保京, 姜乃澄, 卢建平, 等. 十足类甲壳动物多倍体育种进展 [J]. 东海海洋, 1998, 16 (4): 64~69
- [50] 相建海, 周令华, 刘瑞玉, 等. 中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 四倍体诱导研究 [J]. 海洋科学, 1992, (4): 55~60
- [51] 相建海主编. 海洋动物细胞和种群生化遗传学 [M]. 济南: 山东省科技出版社, 1999. 195
- [52] 曾呈奎. 大力加强海洋生物技术的研究 [J]. 海洋科学, 1999, (2): 1~2
- [53] 曾呈奎, 相建海主编. 海洋生物技术 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1998. 661
- [54] 李元山, 牟绍敦, 冯月群, 等. 海珍品综合增养殖中的种间关系和生态容纳量的研究 [J]. 海洋湖沼通报, 1996, (1): 24~30
- [55] 杨红生, 王健, 周毅, 等. 烟台浅海区不同养殖系统养殖效果的比较 [J]. 水产学报, 2000, 25 (2): 138~143

Blue Agriculture of China in 21st Century

Zhang Fusui

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Shandong Qingdao 266071, China)

[Abstract] The increasing deterioration of the ecological and environmental conditions and the shortage of biological resources foreseen in the 21st century would pose a serious problem to China's economic development and

retard the raising of the standard of living of its people. Mariculture, as a blue agriculture, which promises food from the sea is deemed to play a critical role in providing guarantee of safe food source to feed the 1.6 billion Chinese people in the new century. The course of development of blue agriculture would be approached through ecological and engineering aquaculture involving key strategies as: enhancing basic research as foothold while accelerating the application of high technology to attain rapid turnover of products; conducting "refine species project" aimed at producing high-quality breeds; overall restructuring of present mariculture sites to regulate their size and distribution to rationally balance the needs and demands among the various coastal mariculture industries; using modern biological and engineering technology to practise upper tidal zone and terrestrial ecological engineering aquaculture; with theoretical ecological aquaculture as basis, applying modern engineering technology to make use of offshore areas for developing the "facilities fisheries"; promoting fishery products processing industry to ameliorate the nutritional intake structure of the people.

[Key words] blue agriculture; ecological aquaculture; engineering aquaculture; "refine species project"; "facilities fisheries"

欢迎订阅 2001 年《国际航空》杂志社出版物

《国际航空》杂志社是专业的航空信息出版与服务集团，出版发行多种期刊、图书和电子出版物。主要刊物如下：

《国际航空》(月刊) 邮发代号：2-212。综合报道中外航空航天制造业、国防工业及民航业技术与市场。2001年预计报道以下专题：军用航空技术；军用飞机和作战武器；民用航空；航天技术；航空航天展；中国航空公司指南；中国机场指南；国际航空航天公司/产品/服务指南。大16开，全彩色印刷。2001年每期定价8.00元，全年定价96.00元。

《航空工程与维修》(双月刊) 邮发代号：2-693。报道国内外先进航空工程技术与设备航空维修技术与市场以及高新技术产业和通用制造技术的发展。大16开胶印，2001年7元/期，全年42元。

《航空周刊》 邮发代号：2-692。新闻类航空信息周刊，跟踪报道国内外航空航天业、民航和国防工业的发展动态与方向。16开胶版印刷，2001年全年定价180元/52期。

《航空科学技术》(双月刊) 邮发代号：2-691。侧重报道国家发展航空科学技术的方针政策和航空工业发展计划，综合反映航空科技的发展动态和最新情况。大16开胶印，2001年6元/期，全年36元。

《中国航空信息》(英文版月刊) 自办发行。专门报道国内航空航天业、民航和国防工业市场商情。大16开胶印，2001年83元/期，全年980元。

订阅方法：

邮发刊物请向当地邮局订阅，自办发行刊物请直接向杂志社订阅。如错过征订期，可向杂志社补订：

北京安外小关东里14号《国际航空》杂志社发行部李京心或张薛萍收，邮编：100029。

电话：(010) 64916904，

银行汇款：北京建设银行朝阳支行樱花分理处

(010) 64922211-312；

户名：《国际航空》杂志社

传真：(010) 64918417

帐号：2390019039

欢迎网上查询：<http://www.aviationnow.com.cn> E-mail: shijian@aviationnow.com.cn