

# 基因组视域下海洋渔业生物对 胁迫环境的适应策略研究<sup>\*</sup>



李莉 张国范<sup>\*\*</sup>

中国科学院海洋研究所 青岛 266071

**摘要** 海洋渔业（包括捕捞和养殖）提供的蛋白是全球人类膳食中重要的动物蛋白来源，同时海洋渔业也是众多国家国民生计的重要来源。我国是海洋渔业大国，确保海洋渔业可持续发展对维护我国食物及营养安全意义重大。近海生态系统是海洋渔业产出最为丰富的区域，在全球变暖背景下，近海过度开发、栖息地破坏以及陆源污染等，使我国渔业生物持续面临高胁迫环境，继而使海洋捕捞及海水养殖可持续发展面临巨大挑战。基因组等学科发展使得高胁迫环境下的海洋生物适应潜力的精准评估与预测成为可能。文章概述了我国渔业生物胁迫环境适应研究现状，以期明确海洋渔业生物环境适应进化研究的主要科学问题；并进一步提出未来研究建议，以促进我国海洋渔业生物资源与水产养殖精准化管理及产业健康、可持续发展。

**关键词** 基因组，渔业生物，环境胁迫，适应策略，科学问题，精细化管理

**DOI** 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.12.009

海洋渔业（包括捕捞和养殖）提供的蛋白是全球人类膳食中重要的动物蛋白来源，同时海洋渔业也是众多国家生计的重要来源<sup>[1]</sup>。当今世界，由于人类直接或间接活动导致的环境变化对地球生命系统及农业领域已产生重要影响。全球气候变化导致海洋温度发生了不平衡变暖、海水酸化、表层密度变低以及海洋环流和上升流改变等广泛的物理与化学变化，从而对海洋生态系统及渔业生物产生了重要影响。中国近海环境和生态不仅受到大洋和季风等全球气候变化的影响，而且存在过度开发、生物栖息地破坏以及环境污染等多重压力胁迫，近海生态系统发生了前所未有的变化<sup>[2,3]</sup>。例如，2015年《中国海洋环境公报》显示，我国近岸海域污染严重，监测的河口、海湾、珊瑚礁等生态系统86%处于亚健康或不健康状态；各大河口区的牡蛎礁生态系统几乎毁灭殆尽；赤潮、绿潮灾害影响面积有增加趋势；围填海造地、恣意改变自然岸线，使渔业生物栖息地遭到破坏的情况频繁发生；

<sup>\*</sup>资助项目：国家自然科学基金（31572620）

<sup>\*\*</sup>通讯作者

修改稿收到日期：2016年11月26日

渤海、黄海和东海局部滨海地区海水入侵和土壤盐渍化加重，砂质海岸和粉砂淤泥质海岸侵蚀凸显；严重影响人类健康的贝毒和重金属在环境和渔业生物中广泛性存在。总之，受气候变化和人类活动的交叉作用及累积效应综合影响，我国近海情势危急且具有非常强的复杂性。

美、英、法、加拿大等国都非常重视全球变化背景下海洋渔业生物适应性研究以及应对策略的制定。世界粮农组织（FAO）早在2009年就发布了渔业资源与水产业领域针对全球变化的技术报告<sup>[4]</sup>，从环境、经济以及社会等各个角度系统阐释了全球变化对世界渔业领域的影响。第21次《联合国气候变化框架公约》缔约方会议于2015年12月在法国巴黎召开，并签署了《巴黎协定》。协定的目的是在可持续发展和努力消除贫困的背景下，加大力度应对气候变化对全球的威胁。大会明确突出了海洋在气温调节和碳固存方面的作用，同时强调了扭转当前过度开发和污染趋势的紧迫性，以便恢复海洋生态系统服务于生产力的功能<sup>[1]</sup>。2016年5月，14位国际海洋学专家共同完成的评论报告《海洋的未来：关于G7国家所关注的海洋研究问题的非政府科学见解》中，对全球所关注的重要海洋研究问题进行分析和评述。在所列举的8个问题中，海洋暖化、海洋酸化等海洋环境问题以及生物多样性损失、海洋生态系统退化被列为当今海洋领域主要问题<sup>[5]</sup>。

为应对全球变化等海洋环境问题，中国也加大了海洋环境与生态系统的监测，例如每年发布《中国渔业环境生态公报》《中国国家适应气候变化》《中国海洋环境公报》《中国海洋灾害公报》《中国近岸环境质量公报》。我国《“十三五”国家科技创新规划》将“针对海洋特有的群体资源、遗传资源、产物资源”的科学认知，“全面提升海洋生物资源可持续开发创新能力”，以及研究“种质资源开发”“渔业环境保护”等列为重点研究领域。但与发达国家相比，我国在海洋渔业领域距离制定出完善精细的环境变化适应对策仍然有很多基

础性研究需要开展。作为海洋水产品生产与消费大国，研究海洋渔业生物对胁迫环境的适应策略，对确保我国海洋渔业的可持续发展、维护我国食物及营养安全意义重大。文章将基于基因组视角，综述国内外海洋与水产业领域对海洋环境变化、环境胁迫海洋渔业的研究现状，探讨海洋渔业生物的应对策略，并就相关领域的进一步研究方向提出建议。

## 1 环境胁迫对海洋渔业生物的影响

全球变化背景下的海洋环境已经并且正在发生很多明显改变，其中对渔业与养殖生物产生严重胁迫的因素包括海水表层温度升高、酸化、缺氧区增多、食物匮乏、毒藻、生物入侵、海平面上升、极端天气、降水和径流改变以及相应污染源输入增加等<sup>[6,7]</sup>。海洋环境不利变化已经造成了局部海洋生态系统功能衰退，生物多样性降低，生态系统产出质量下降等<sup>[8]</sup>。此外，环境变化还会影响致病微生物的流行机制<sup>[6]</sup>。海洋生产力与资源生物生产机制及动态变化规律研究是海洋科学研究的核心内容，生态系统演变的动力学研究也一直是国内外海洋科学研究的热点领域<sup>[9-11]</sup>。

毋庸置疑，良好的水产养殖系统，要依赖于适宜的养殖生态环境。海水养殖生物大都分布于环境敏感的海岸带或河口区，更易受到环境变化的影响。而且，比之自然野生状态下的可自由移动的海洋生物，养殖生物则更加依赖于养殖海域的环境条件。不适宜的养殖环境不仅可以影响养殖生物的生长、繁殖及发育，从而影响水产养殖业的产量及效益，而且环境变化尤其是环境骤变还可能导致养殖生物的大规模死亡（图1）。特别是养殖生物在养殖区达到一定规模后，容易暴发大规模死亡（例如双壳贝类和甲壳类），这是中国乃至世界水产养殖业普遍存在的问题。有关水产动物大规模死亡的原因尚未完全清楚，有研究认为是宿主、病原以及养殖环境综合作用的结果<sup>[12]</sup>。病原、环境胁迫，如温度、盐度、食物匮乏、缺氧、污染、不合理的养殖模式等，都是可能的诱因<sup>[13,14]</sup>。全球变暖导

致的养殖环境恶化，还会改变病原生物的分布以及致病力，例如有报道温度、盐度等环境胁迫是导致养殖动物疾病暴发的诱导因子<sup>[15]</sup>。总之，养殖环境全面恶化导致养殖生物大规模死亡的致死原因与机制一直是世界水产养殖业关注的焦点与难点问题。



图1 温度骤变导致山东省长岛县虾夷扇贝大规模死亡

## 2 海洋渔业生物应对环境胁迫的基础性研究

野生渔业资源养护与水产养殖在应对环境胁迫方面，联系密切，不可分割。野生渔业资源的保护为水产养殖提供更多种质资源，而水产养殖既可降低对野生资源的依赖<sup>[16,17]</sup>，又可更好地满足人类的食物与营养需求，特别是高营养食物等特殊需求。这深刻体现了海洋资源合理保护和有效利用是我国海洋渔业可持续发展不可或缺的两个核心要素，需要均衡发展。但海洋渔业资源与养殖业的可持续发展研究又有着不同的内涵和关注点。前者注重自然资源的动态演变以及生物多样性保护，而后者首先是个农业问题，是养殖生物的生理生态适应问题。研究环境变化对海洋渔业资源以及对养殖生物的影响，归根到底是研究海洋渔业生物面对环境变化的短期响应与长期适应问题。鉴于野生资源与养殖群体是近海生态系统群落组成的主体，其分布与组成是生态系统健康与否的重要指标。本文重点从海洋渔业生物个体与群体层面进行论述。从个体层面来说，生物面对环境变化的响应有3个方面：（1）逃离到更加适宜的环境；

（2）调整自身的生理生化状态，通过表型可塑性来适应变化的环境；（3）因不能适应新的环境而死亡，从而导致群体的遗传结构发生变化。这3种变化反映了生物的不同适应策略以及环境变化对其不同程度的影响。从环境适应角度来看，水产养殖除了关注遗传因素外，还关注生理可塑等生态响应问题，而渔业资源管理更关注环境变化的遗传、进化响应。

近些年来，基因组学的兴起为我们从微观尺度认识世界打开了一扇大门。基因组学是继合成生物学、分子生物学后对生命科学产生重要影响的学科，已引起了生命科学领域革命性的变化。基因组学与生态学、水产养殖等学科紧密结合，赋予了海洋渔业生物生态适应管理新的研究内涵，随着组学研究的不断深入到基于种群、个体甚至基因的层次，研究者能够更加精准地评估环境胁迫对渔业生物的影响，更加精准地预测渔业生物对环境胁迫的适应潜力。基因组是所有遗传物质的总和，是生命遗传变异的源头；同时，基因组结构与功能时空尺度上的变化，也是生命适应进化的主要结果。基因组的结构与功能是生命科学的重要内容，也是认识生命过程的重要手段。基因组学在不同时空尺度上研究海洋渔业生物对环境胁迫的生理、遗传与进化层面的响应，都具有极大的优势。

### 2.1 养殖生物对环境变化的生理响应与遗传机制研究

我国的海水养殖大都地处潮间带、内湾、河口或近海，特别容易受人类直接或间接活动的影响，而养殖环境恶化已是不争的事实。决定养殖生物对胁迫环境耐受性的因素除了养殖群体的遗传组成外，还包括其对环境变化的生理可塑性。从分子、生理、个体以及群体不同层次来解析养殖生物对环境变化的响应机制是该领域研究的总体发展趋势，而各组学技术的发展为深入解析养殖生物响应机制具有重要推动作用。

（1）以重要环境因子为研究内容。应进行在全球变暖背景下针对我国环境以及养殖实际状况的针对性研究，笔者认为全球变化导致的5方面环境因子变化需要重点关



注。① **温度**。全球变化对海洋物理化学环境因子最重要的改变是温度与酸化。其中温度是影响生物最重要的环境因子，能够直接或间接影响生物的生理与代谢过程。作为变温动物的海洋动物尤其对环境变化敏感，极端的温度变化是我国水产养殖大规模死亡的重要原因之一。② **酸化**。酸化是除海洋暖化之外海洋最重要的环境变化因子，影响珊瑚资源以及贝类、甲壳类等相关生物的矿化过程，是国内外研究海洋全球变化的热点。③ **低氧或缺氧**。全球变化以及陆源污染均可导致局部海域的低氧或缺氧，低氧或缺氧也被证实是我国近年来水产大规模死亡的重要胁迫因子之一。④ **食物匮乏**。食物匮乏是温度导致环境变化进而对养殖生物产生的重要间接影响之一。藻类也是养殖生态系统能量传递的初级生产力，对于维持养殖系统稳定具有重要意义。⑤ **重金属与贝毒**。两者是我国的重要环境污染因子，均在水产动物中具有累积效应，与海洋水产品食品安全与人类健康息息相关。

(2) **针对重要环境因子的生理响应与遗传机制研究**。针对以上逆境因子，进行3个方面的机理与机制研究。① **遗传及分子机制**。逆境因子胁迫响应过程中涉及的重要生理、生化以及代谢过程的机制解析，涉及的关键基因以及高适应性基因型的鉴定。尤其是不同逆境因子响应特有、共有过程机制解析以及不同逆境因子的互作机制。② **生理可塑性**。研究在不同胁迫条件下重要水产养殖生理以及对生长、发育和存活的影响。鉴定不同胁迫程度的生理临界点以及养殖生物的生理容量。③ **大规模死亡事件的预测以及胁迫适应品系的培育分子途径研究**。

(3) **研究层次**。水产生物的胁迫环境响应机制研究有多层次研究的趋势。① **分子水平**。是研究适应遗传与可塑性机制的重要手段。② **生理生化水平**。水产生物胁迫生理生化响应是研究其生理容量的重要手段，例如能量代谢平衡是反映其个体层面受胁迫程度的重要生理指标，通过该指标，可建立不同胁迫因子之间的链接，从而反映生物在个体水平的受胁迫程度<sup>[18]</sup>。③ **个体以及生态层面**。个体以及生态层面的影响及胁迫与养殖生物产

量以及大规模死亡直接关联，应该受到重视。

(4) **研究方法探究**。研究方法具体应包含以下3个方面。① **分子技术**。目前分子层面的检测可以做到基因组序列、结构、转录水平调控、翻译水平调控、翻译后调控以及表观遗传修饰。② **组学技术**。组学技术的发展使得各种检测通过实现自动化与通量大大提升，翻译后修饰等表观调控因其在快速、短期适应中具有重要作用，因而受到越来越多的重视。③ **生理技术**。生理层面的研究指标主要是建立适合海洋生物的生理指标，例如心率测定、氧气容量测定等。

总之，组学手段是实现不同逆境因子特异机制以及不同逆境因子协同作用机制解析有效途径，尤其是在剖析大规模死亡主要驱动因子中具有重要作用，而生理层面的研究通过将不同逆境因子形成的逆境因子进行整合，实现个体与生态层面的响应机制研究。

## 2.2 渔业资源的精准遗传评估研究

(1) **确定进化驱动因子，探究适应性分化**。物种、种群层次上的生物多样性是变异、漂变、基因流与环境综合作用的结果，此外还有人为的影响，例如水产养殖过程中的近交导致对野生资源种群结构的影响等。区分各种进化驱动因子所导致的遗传分化是渔业资源管理的重要内容。传统的资源管理与保护研究大都没有考虑环境选择作用，仅利用中性标记对种群进行系统地理学分析，研究种内不同群体间因生殖隔离而造成的地理结构与遗传分化。近年来人们发现海洋生物的环境异质性超过了人们的既往认知，因自然环境选择压力而造成的适应性分化广泛存在，仅靠检测中性漂变的遗传管理模式已经不能满足现代渔业资源精细管理的需求<sup>[19]</sup>。例如，越来越多的证据显示海洋生物广泛存在居地适应性（local adaptation），有的群体甚至在几公里或几米内产生了分化<sup>[20]</sup>。居地适应性是基因交流与自然选择平衡作用的结果。渔业生物适应性分化及其机制的研究，是研究环境变化对海洋生物影响的重要内容，对于实现海洋生态系统的精确管理具有重要意义。但适应性分化机制

研究尤其是各种进化驱动因子的确定一直是难点。

(2) 渔业生物对胁迫环境的进化响应。渔业生物对胁迫环境的进化响应是渔业资源保护研究的热点,其研究内容包括3个方面。① 对我国具有重要经济价值、生态价值且自然资源保护良好的物种展开种群层面上的多样性评估。区分各种进化驱动力(遗传漂变、基因流、环境变异、水产养殖自交)造成的遗传分化。② 研究潮间带不同环境生物环境适应机制。潮间带环境是海洋环境时、空高变异性区域,海洋的典型环境因子例如温度、盐度在这里变化剧烈,且该区域的生物节律性暴露在空气中。潮间带环境因子呈现马赛克镶嵌模式分布,整体环境异质性非常高,是海洋环境适应的极佳研究体系。③ 在微进化尺度研究不同生态型群体或近缘物种适应性分化。微进化是生物变异的源头和适应环境的基础,一直是生命科学研究的热点。微进化研究着重于基因对性状的选择,以及选择对基因变异的作用,是研究渔业资源对胁迫环境进化响应的重要手段。

(3) 适应性分化的研究手段。适应性分化及其机制研究本质上是不同环境的自然群体或群体在环境变化的不同阶段遗传组成的变化。环境变化产生的表型改变是鉴定群体为适应性性状的必要但非充分条件,可以通过以下3个方面的研究来确定遗传分化中的适应性分化成分。① 对调养殖实验(reciprocal transplant),即将不同来源的养殖生物分别在不同的来源地驯养,观察不同群体适合度在居住地是否表现出显著的优势。② 研究不同时空尺度上基因频率变化。③ 模型预测,即利用选择位点群体间差异(Differentiation in Quantitative Traits, QST)比非选择位点群体间差异大的特点,或者通过从中性位点筛查背景离群(outlie)的位点来鉴定选择位点。

(4) 以基因组学推进遗传资源演变机制的精准研究。基因组学的不断发展,使得在组学层面研究自然群体结构与功能的时空演变成可能。例如二代测序技术的基因组扫描使得遗传变异的检测可以精确到单个个体与单个碱基,通量也从原来的单个位点到成千上万个标记位点。

通量的增加不仅避免了因为少量标记而造成的对群体结构鉴定结果的不一致性,更重要的是因为标记数量的增多,使得数据的统计运算性更加强大,从而确保少量的适应性位点可被准确鉴定。此外,借助已完成的全基因组信息,可以获知这些适应性位点的功能信息<sup>[21]</sup>。

### 3 总结与建议

人类直接或间接活动已对渔业资源与水产环境产生了重要影响。亟需制定出相应的应对策略,加强我国渔业资源的精确管理,加强水产生物对环境变化响应的相关基础研究,实现渔业资源管理与水产养殖的可持续发展,这是我国“蓝色粮仓”健康发展的重要保障。需要多领域多学科的交叉融合,在广泛的时空尺度上进行数据的系统收集,还需要加强基因组等大数据手段的应用。

(1) 各领域、学科的交叉与融合。渔业资源的精准管理与水产养殖生物健康发展互相依存,因而两个领域的融合至关重要。一方面要加强具有重要经济价值的养殖生物自然资源的管理,确保养殖生物种质资源的多样性,另一方面,水产养殖领域的研究要与我国生态环境实际情况相结合。就应对环境变化而言,要加强表型可塑性生态响应机制研究,加强利用养殖生物自然资源变异进行适应机制的研究,同时注重基因组等新技术与传统学科(例如生态基因组学)的融合应用。

(2) 开展长期的数据调查。对具有重要经济、生态价值且野生资源较为丰富的渔业区域进行重点保护,加强资源精准管理的基础研究,建立重要养殖生物遗传管理条例。加大养殖环境监测投入,建立科学化的养殖生物健康平台,对养殖生物大规模死亡情况做到长期追踪调查。不论是资源性调查,还是环境参数指标的长期系统监测,均需加强。

(3) 提升基因组大数据应用能力建设。在加强组学研究的同时,要加大组学技术平台构建以及人才培养。通过建立重要渔业以及养殖生物基因组数据库等,实现不同物种遗传资源信息的整合。

致谢 唐启升院士对本文提出了十分中肯的意见和建议，在此谨致谢忱。

### 参考文献

- Food and Agriculture Organization. The state of world fisheries and aquaculture 2016. <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>.
- 吕永龙, 苑晶晶, 李奇锋, 等. 陆源人类活动对近海生态系统的影响. 生态学报, 2016, 36(5): 1183-1191.
- 蔡榕硕, 齐庆华. 气候变化与全球海洋: 影响、适应和脆弱性评估之解读. 气候变化研究进展, 2014, 10(3): 185-190.
- Food and Agriculture Organization. Climate change implications for fisheries and aquaculture. <http://www.fao.org/docrep/012/i0994e/i0994e00.htm>
- 中科院资源环境科学信息中心. 七届清洁能源部长级会议发起的新行动及各方承诺概览. [2016-07-01]. [http://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=MzAwMzI3MD-Q4OA==&mid=2650306163&idx=1&sn=da6e135522e92923c69e4f9d37caac60](http://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzAwMzI3MD-Q4OA==&mid=2650306163&idx=1&sn=da6e135522e92923c69e4f9d37caac60)
- Hutchings J A, Cote I M, Dodson J J, et al. Climate change, fisheries, and aquaculture: trends and consequences for Canadian marine biodiversity. Environmental Reviews, 2012, 20(4): 220-311.
- Callaway R, Shinn A P, Grenfell S E, et al. Review of climate change impacts on marine aquaculture in the UK and Ireland. Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems, 2012, 22(3): 389-421.
- 唐启升, 方建光, 张继红, 等. 多重压力胁迫下近海生态系统与多营养层次综合养殖. 渔业科学进展, 2013, 34(1): 1-11.
- 孙松, 孙晓霞. 海洋生物功能群变动与生态系统演变. 地球科学进展, 2014, 29(7): 854-858.
- 唐启升, 苏纪兰, 张经. 我国近海生态系统食物产出的关键过程及其可持续机理. 地球科学进展, 2005, 20(12): 1280-1287.
- 唐启升, 苏纪兰, 孙松, 等. 中国近海生态系统动力学研究进展. 地球科学进展, 2005, 20(12): 1288-1299.
- Samain J F. Review and perspectives of physiological mechanisms underlying genetically-based resistance of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* to summer mortality. Aquatic Living Resources, 2011, 24(3): 227-236.
- Davies C E, Johnson A, Wootton E C, et al. Effects of population density and body size on disease ecology of the European lobster in a temperate marine conservation zone. Ices Journal of Marine Science, 2015, 72(z1): 128-138.
- Burdon D, Callaway R, Elliott M, et al. Mass mortalities in bivalve populations: A review of the edible cockle *Cerastoderma edule* (L.). Estuarine Coastal and Shelf Science, 2014, 150(s1): 271-280.
- Rowley A F, Cross M E, Culloty S C, et al. The potential impact of climate change on the infectious diseases of commercially important shellfish populations in the Irish Sea-a review. Ices Journal of Marine Science, 2014, 71(4): 741-759.
- Han D, Shan X, Zhang W, et al. A revisit to fishmeal usage and associated consequences in Chinese aquaculture. Review of Aquaculture, 2016-10-22, Online, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/raq.12183/full>
- 单秀娟, 韩冬, 张文兵, 等. 中国水产养殖缓解了对野生渔业资源需求的压力. 中国水产, 2015, (6): 5-6.
- Sokolova I M, Frederich M, Bagwe R, et al. Energy homeostasis as an integrative tool for assessing limits of environmental stress tolerance in aquatic invertebrates. Marine Environmental Research, 2012, 79: 1-15.
- Conover D O, Clarke L M, Munch S B, et al. Spatial and temporal scales of adaptive divergence in marine fishes and the implications for conservation. Journal of Fish Biology, 2006, 69(c): 21-47.
- Sanford E, Kelly M W. Local adaptation in marine invertebrates. Annual Review of Marine Science, 2011, 3: 509-35.
- Stillman J H, Armstrong E. Genomics are transforming our understanding of responses to climate change. Bioscience, 2015, 65(3): 237-246.

# The Stress Adaptation of the Marine Fishery Organisms under the View of Genome and Its Key Scientific Problems

Li Li Zhang Guofan

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

**Abstract** The environmental changes due to the direct and indirect anthropogenic activities have tremendous effect on the ocean ecosystem. This has led to the non-reversible impact on the marine biological resource. Marine fishery including the fishing and aquaculture is two major ways to make use of the marine biological resource. They provide high-quality protein and rare nutritional elements, which are indispensable to the food and nutrition security. The marine fishery production of China ranks the first in the world. It is not controversial that the inshore ecosystem of China is under the multiple environmental stressors derived from the over-exploration, the land-based pollution, and the global climate change. The government and the non-government organization abroad have put the first priority to study the impact of the changing environment on the ocean, marine fishery and the adaptation strategies have been made accordingly. Although China also paid a lot of attention to the marine environmental protection and the marine biological resource utility and protection, we still lag behind the advanced countries in both the basic research and the policy making. Generally, the changing environment under the global climate change may lead to the change of hydrological, physical, and the chemical prosperities of the ocean. The changing environment will influence the composition and the function of the ecosystem. Specifically, the marine diversity has decreased and the function and the productivity have degraded under the multiple stressors, which are all the major concerns of the fishery resource protection. As for the aquaculture organisms, the growth, the development, and the behavior are all impacted by the changing climate. A common phenomenon in the aquaculture is the mass mortality. Many abiotic and biotic factors are supposed to contribute to the mass mortality of the aquaculture organism. Notably, the virulence of the pathogen has changed under the changing climate. The impact of the climate change on fishery resources and the aquaculture are closely related. The former pays more attention on the dynamic evolution of the natural resources and the diversity protection, and the latter firstly is an issue of agriculture, mainly focusing on the physiological response to the environmental stressors. Thus, the impact of the changing climate on marine fishery and the aquaculture is the long-term and short-term adaption for the marine organism. The genome of the organism, which is the beginning and the result of the evolution, is the core of the response to the changing because the genomics provide not only global but also acute of analysis concerning the genome structure and function. The genetic diversity of the fishery resource was derived from the mutation, genetic drift, gene flow, natural aquaculture selection. The wide occurrence of the local adaptation of the marine organism suggests that the adaptive divergence cannot be ignored. The identification of the adaptive divergence, the intertidal adaptation, and the adaptive mechanism by using the related species and populations are three priorities in the study of fishery resource protection for fine-grained genetic management of the important species. For the aquaculture organisms, more attention was put to the contemporary response to the stress environment. The high extreme temperature, the acidification, the hypoxia, the food shortage, the heavy metal, and the harmful alga are all the stressors we should be focused on at molecular, biochemical, organismal, and ecological level. In addition to the genetic composition, more attention should be paid on the phenotypic plasticity, because the physiological capacity is critical to the quick adaptation to the changing environment. For the better understanding of impact of the climate change on marine fishery resource and the aquaculture, the combination of multiple disciplines, the long term data accumulation, and the utility of the big data are required.

**Keywords** genome, fishery and maricultural organisms, environmental stress, adaptation mechanism, key scientific problem, intensive management



**李莉** 中科院海洋所实验海洋生物学重点实验室研究员，青岛海洋科学与技术国家实验室研究员，国际牡蛎基因组团队核心成员。研究领域为贝类遗传、进化与育种技术。近年来，致力于贝类资源的保护与水产养殖可持续发展。具体利用基因组学与分子生物学等手段，开展牡蛎等贝类经济性状分子解析、适应性进化以及分子育种研究。

E-mail: lili@qdio.ac.cn

**Li Li** Research professor of the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences and Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, key member of the International Oyster Genome Project. Her research interests are mollusk genetic, evolution and breeding biotechnology. In recent years, she is engaged in protection and sustainable utilization of mollusk resources. Specifically, she has been focused on the study of molecular basis of economic and ecological trait, the adaptive evolution and the molecular breeding by using genomic, molecular and the physiological tools. E-mail: lili@qdio.ac.cn

**张国范** 男，中科院海洋所研究员，学术委员会主任。国家贝类产业技术体系首席科学家，中国动物学会贝类学会理事长，海洋生态养殖技术国家地方联合工程实验室主任。曾任“973”计划“养殖贝类重要经济性状的分子解析与设计育种基础研究”项目首席科学家、国家“863”计划现代农业领域专家，国际牡蛎基因组计划首席科学家。研究团队主要从事海洋贝类养殖和遗传学基础理论与应用技术研发，重点集中在：（1）贝类遗传育种，包括杂交和选择育种及基因组选择育种；（2）贝类逆境适应与进化，包括表型可塑性、基因调控途径、群体基因组学和微进化等；（3）基于健康和可持续的贝类生态养殖技术创新。E-mail: gfzhang@qdio.ac.cn

**Zhang Guofan** Male, a senior research professor of Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences (IOCAS), who is the current Chief Scientist of the Academic Committee of IOCAS and the Shellfish Industrial Technology, the China Agriculture Research System as well as the director of National & Local Engineering Laboratory for Ecological Mariculture. He was the Chief Scientist of the National Basic Research Program of China (“973” Project) “Molecular basis of key economic traits and molecular design breeding in cultural mollusks” and the international Oyster Genome Project (PAG). Dr. Zhang and his team have mainly focused on three aspects in the molluscan research: (1) Genetics and breeding of shellfish, including hybridization, GWAS and genomic selection breeding; (2) Stress adaptation and evolution of shellfish, including the phenotypic plasticity, gene regulation pathways, population genomics and micro-evolution; and (3) Shellfish cultural technology improvement, especially in the healthy and sustainable mariculture based on the ecological system.

E-mail: gfzhang@qdio.ac.cn