异常气候和环境对刺参养殖业的影响及应对策略

胡　炜[1], 李成林[1, 2], 韩　莎[1], 赵　斌[1], 徐　涛[3]

(1. 山东省海洋生物研究院, 山东省海水养殖病害防治重点实验室, 青岛市浅海底栖渔业增殖重点实验室, 山东 青岛 266002; 2. 山东省农业专家顾问团水产分团, 山东 济南 250013; 3. 山东省渔业技术推广站, 山东 济南 250013)

摘要: 为有效化解或降低异常气候和环境对我国刺参(*Apostichopus japonicas*)养殖生产造成的不良影响, 进一步增强产业抵御风险能力, 概述了近 10 年来“厄尔尼诺”和“拉尼娜”等世界性气候变化不同程度引发的持续高温、集中强降雨、长期大范围冰封等极端天气现象, 以及海洋生态持续恶化导致的有害藻华泛滥、围海造礁等环境突变现象对我国刺参养殖产量、产品质量造成的直接影响, 调查研究了灾害发生对刺参养殖业发展造成的次生影响, 结合产业现状, 分别从基础设施、苗种质量、技术集成创新、风险意识、产业链结构以及保障机制等方面系统分析了当前刺参养殖应对异常气候和环境影响的短板问题, 有针对性的提出了应对措施与防范策略建议, 以期为保障我国刺参养殖产业持续、高效、健康发展提供有益的借鉴。

关键词: 刺参(*Apostichopus japonicas*); 持续高温; 强降雨; 冰封; 浒苔; 有害藻华

中图分类号: S9　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3096(2018)02-0159-08

DOI: 10.11759/hykx20170515001

自 20 世纪 90 年代中期开始, 随着人们经济收入的增长和保健意识的提高, 刺参(*Apostichopus japonicas*)消费需求日益扩大, 从而使刺参养殖产业的发展速度和生产规模均达到了前所未有的水平, 并成为我国海水养殖的主导产业之一[1]。至 2016 年, 全国已发展刺参养殖面积 216 508 hm^2, 年产鲜参 20.6×10^4 t, 产值超过 350 亿元。其中, 山东、辽宁作为我国刺参的传统主产省份, 养殖规模分别占全国的 39.7%、55.7%, 鲜参年产量分别占全国的 48.9%、34.2%; 以福建为代表的南方刺参养殖随着“北参南养”技术的不断熟化与完善, 自 2009 年起得到快速发展, 养殖规模虽然仅占全国的 1.3%, 但鲜参年产量却已占到全国的 12.4%[2]。

近年来, 由于受“厄尔尼诺”和“拉尼娜”等世界性气候变化以及海洋生态环境持续恶化等因素的影响, 沿海地区持续高温、集中强降雨、冰封等极端天气时有发生, 浒苔暴发导致的绿潮以及其他有害藻华频繁发生[3], 对我国刺参陆基养殖及浅海增殖的产量与产品质量均造成了严重影响[4], 年损失高达 100 亿元以上, 诱发的次生灾害更使养殖产业一度呈现负增长。与此同时, 产业发展中的基础设施不配套、苗种质量参差不齐、技术集成创新不足以及风险意识淡薄、产业链不尽完善、保障机制不健全等制约产业发展的瓶颈问题也日益凸显, 已引起了各级政府以及产业相关管理、科研机构的广泛重视与关注[5]。鉴于此, 针对近年来异常气候发生以及环境变化等情况, 结合我国刺参养殖产业发展的现状和存在的问题, 综合分析致灾因素与灾害所造成的直接影响和次生影响, 形成系统的应对措施与防范策略, 以期为增强产业抵御风险能力、减少生产损失、保障产业持续高效健康发展提供借鉴。

1　异常气候和环境对刺参养殖业的影响

温度、盐度、溶解氧以及水质和底质环境条件

收稿日期: 2017-05-18; 修回日期: 2017-08-15

基金项目: 山东省重点研发计划(2018GHY115042); 山东省现代农业产业技术体系刺参产业创新团队建设工程项目(SDAIT-22-01、SDAIT-22-05); 泰山产业领军人才工程项目(LJNY201613); 山东省农业良种工程项目(2017LZGC010)

[Foundation: Major Research Project of Shandong Province, No 2018GHY11504; Sea cucumber Innovation Team of Shandong Province Agriculture Research System, No. SDAIT-22-01, SDAIT-22-05; Taishan Industry Leading Talents Project, No. LJNY201613; Agriculture Seed Project of Shandong Province, No. 2017LZGC010]

作者简介: 胡炜(1978-), 男, 山东青岛人, 高级工程师, 硕士, 主要从事海水养殖研究, 电话: 0532-82657692, E-mail: mail24@163.com; 李成林(1964-), 通信作者, 男, 山东青岛人, 研究员, 主要从事贝类及海珍品等的生物遗传育种、健康增养殖以及海洋生境修复等技术研究, 电话: 0532-82657692, E-mail: lcl_xh@hotmail.com

是影响刺参养殖生产成功与否的关键因子[6-7]，刺参的最适生长水温为 6~18℃，低于 3℃时进入冬眠[8]，长期 0℃以下可导致冻伤，超过 20℃时逐渐进入夏眠，33℃以上为致死温度；最适生长盐度为 26~32，14~40 为生存极限盐度[9-11]；生长适宜溶解氧浓度为 4 mg/L 以上，适宜 pH 为 7.5~8.5。由于刺参的增养殖生产多在露天开放的陆基池塘或海区环境中进行，一旦气候和环境出现异常，必将使以上关键因子发生变化，从而导致刺参养殖的减产甚至绝产[12]。

1.1 异常气候对刺参养殖的影响

1.1.1 “厄尔尼诺”事件影响

“厄尔尼诺”是发生在太平洋海温异常增暖的一种气候现象，不仅会使热带环流和天气气候发生异常，还会引起全球范围内的大气环流异常，导致规模较大、范围较广的高海温、强降水等灾害性天气肆虐[13]。2013 年和 2016 年，我国沿海多地刺参增养殖生产地区均受到持续高温、闷热和集中强降雨天气袭击，导致养殖水域的水温、盐度、溶氧等因子发生突变，且超出了刺参的生存极限[14-15]，养殖刺参相继出现脱礁、吐肠、化皮甚至死亡现象，损失惨重。尤其在 2013 年，山东、辽宁以及江苏的赣榆、响水等地养殖刺参受灾损失率达 30%~60%，全国刺参养殖年产值减少 100 亿元以上。其中，受灾最为严重的是以陆基池塘养殖为主的山东黄河三角洲地区，自 2013 年 7 月 26 日起，池底水温持续近 20 天达 30℃以上、超过 1 周达 33℃以上，池水盐度由 32 骤降至 20、局部地区仅为 6.6，直接导致约 20 天持续无法换水，养殖刺参死亡率超过 80%。2016 年夏季高温期间，黄河三角洲地区刺参养殖生产企业鉴于 2013 年惨痛教训而具备了一定的防范意识，总体受损较轻，但辽宁半岛和胶东半岛沿海地区部分生产企业因风险意识淡薄、疏于防范导致受损较重，养殖刺参死亡率达 30%~70%，部分县市区受损程度远高于 2013 年。

1.1.2 “拉尼娜”事件影响

“拉尼娜”也称“反厄尔尼诺”现象，主要指太平洋中东部海水异常变冷的情况，严重时可导致近海水面大范围冰封[16]，致使养殖刺参长期处于低温、缺氧、有害细菌大量繁殖以及 pH 降低等恶劣环境条件下[17-18]，不仅缩短了生长周期，严重时也可造成减产甚至绝产。渤海和黄海北部的山东、大连刺参养殖区域因纬度较高通常每年都会面临一段时间的冰封期，尤其在 2009 年末至 2010 年初的冬季，受“拉尼娜”气候和太阳活动极小期的影响[19-20]，山东、辽宁沿海刺参养殖池塘及海区遭遇到了近 40 年以来最严重的冰封，冰封期长达 2 个月之久，冰层厚度达 15~100 cm，海冰外缘线距岸边 40~70 n mile，对刺参养殖业造成了严重影响，死亡损失率达 20%以上[21-23]。

1.2 环境突变对刺参养殖的影响

1.2.1 浒苔等大型藻类暴发的影响

浒苔(*Enteromorpha prolifera*)是一种大型底栖绿藻类，在外海也可以漂浮生活，生长适宜温度为 20~25℃[24]，生长周期一般为 15 d，主要依靠自体分裂繁殖，对环境的适应能力和繁殖能力都极强，阳光持续照射下仅 20 d 数量就能繁殖到原来的 1.5 倍[25]。大规模浒苔暴发可通过在漂移生长时释放次级代谢产物、遮挡光照、隔绝空气、竞争营养以及沉降腐败消亡时释放有毒化学物质等方式对刺参养殖环境产生影响和危害，致使底质中氨氮和亚硝酸盐等严重超标[26]，进而导致养殖刺参发病死亡。近年来，异常气候现象的频发以及人类向海洋中排放含氮、磷等污染物的不断积累，致使近海海水富营养化现象日趋严重，浒苔等大型藻类连续暴发[27-28]。2008 年 5 月，大批浒苔首次由黄海中部海域进入山东近岸海域，随后几年里浒苔以及刚毛藻(*Chladophora*)、川蔓藻(*Ruppiaceae*)等其他大型藻类灾害也连续暴发，其中尤以 2013 年以来每年的浒苔灾害最为严重，致使许多养殖刺参相继出现过渡应激与死亡现象，而且涉及面广、死亡率相对较高，给刺参养殖业带来了巨大的经济损失。

1.2.2 其他有害藻华的影响

近海海域严重富营养化在导致浒苔等大型藻类暴发的同时，也使沿海其他有害藻华的发生频率逐年升高、影响范围逐渐增大[29-30]。有害藻华发生时不仅可堵塞鱼鳃及贝类外套膜等，引起机械障碍致其死亡分解、败坏水质、迅速消耗水中氧气[31]，有的赤潮种如裸甲藻(*Gymnodinium aerucyinosum* Stein)还可分泌有害毒素[32]，从而对刺参、贝类等养殖生物造成极为不利的影响。此外，尽管目前从理论上有一些能够缓解和治理有害藻华的方法，但符合无二次污染、成本低、效果好、有应用推广价值的方法却很少，而刺参作为活动较缓慢的底栖生物，无法像其他生物那样能够快速逃避沉降的除藻剂的影响[33]，因此，一旦刺参养殖环境中发生有害藻华，其危害程度极高且也是难以补救的。

1.2.3 围海造礁的影响

随着城市化进程的不断加快，传统的陆基养殖

空间不断缩小，加之人们对刺参产品品质需求的日益提高，刺参浅海增殖养护已成为产业未来发展的重点和方向。然而，由于相对缺乏科学系统的刺参浅海增殖整体规划方案，生产企业各自为政，纷纷盲目的围海造礁[34]，致使海底生境遭到严重破坏，水域流通变缓、潮流变向、自净能力减弱，一旦遭遇高温、赤潮等灾害发生，即会导致局部水质迅速恶化、溶氧降低，从而造成增养殖刺参呈现不同程度的应激反应，甚至出现大规模死亡。诸如，在 2013 年夏季的持续高温与集中强降雨期间，辽宁沿海以及山东沿海等地刺参浅海增殖区域因环境突变，导致部分海域增养殖刺参大量死亡。

1.2.4 养殖地域变化的影响

由于受刺参养殖高回报率的利润驱动，自 2006 年起，山东在黄河三角洲的东营、滨州地区开始实施“东参西养”模式，使池塘养殖空间大幅拓展，目前实际养殖规模已发展至 2.7×10^4 hm^2。同时自 2009 年起，以福建为代表的“北参南养”模式取得成功，也推动了南方刺参养殖成为增速最快的产业之一[35]。然而，由于黄河三角洲及南方地区均非刺参原产地，其温度、盐度、底质等关键环境因子与条件在不同程度上存在一定的制约性，从而对当地刺参养殖生产与产业发展造成了较大影响。其中，黄河三角洲地区养殖刺参由于受夏季高温和汛期低盐问题的影响，目前养殖单产仅为烟台、威海等传统产区的 1/3~1/2；而南方刺参则由于只能在每年 11 月至翌年 3 月的适温时期养殖，导致从业者为了在较短的养殖周期内获取更大利润，不断加大投喂量、提高饲料中蛋白比，致使养殖环境日趋恶化、养殖病害时有发生，产品的营养积累与品相等质量指标也不同程度地受到一定影响，很难与北方原产地的刺参产品相媲美。

1.3 异常气候和环境灾害对刺参养殖造成的次生影响

1.3.1 应对不力影响产量

异常气候和环境灾害除可直接引起养殖环境突变导致刺参死亡外，如不及时采取应对措施改善环境、调节水质，还可导致水域生态环境持续恶化、病原菌大量繁殖侵入等一系列后果，从而造成养殖刺参的持续减产。此外，异常气候和环境灾害的发生必然会影响刺参的摄食、生长，使其抵抗力下降，即使前期没有死亡，后续养殖效果也会受到严重影响。

1.3.2 趋益避损影响质量

异常气候和环境灾害发生后，受影响的养殖刺参多会出现不同程度的吐肠、漂参、生长缓慢甚至肿嘴、化皮以及死亡等现象，为减少损失，个别养殖户或盲目投放药物进行控制，或抓紧抢收进行加工、销售，部分销售场家为追求利益最大化，往往会利用当前人们对刺参产品质量辨识能力不足而以次充好，致使质量参差不齐，不同程度地影响了刺参产品质量安全的公信力，挫伤了人们的消费信心。

1.3.3 资金断链影响产能

相对于其他品种养殖，刺参的养殖成本投入较高，在异常气候和环境灾害导致损失后，生产企业大多亏损严重，出现资金不足甚至资金断链的现象，进而造成相当比例的投资者及从业者不敢或不愿再加大投入进行养殖，部分维持生产的企业也存在着养殖苗种投放量大幅缩减，难以达到标准化养殖密度，从而影响了刺参的高效生产，导致养殖产能和效益下降。

2 刺参养殖业应对异常气候和环境的瓶颈问题

10 多年来，我国的刺参养殖产业一直处在快速发展中，有利的发展形势掩盖并弱化了产业中存在的一些突出问题和潜在问题，一旦遇到严重的突发性异常气候和环境灾害，基础设施不配套、苗种质量参差不齐、生产模式与技术集成创新不足以及产业风险意识淡薄、产业链不完善、保障机制不健全等一系列制约产业发展的瓶颈问题愈发凸显。

2.1 基础设施不配套

在刺参的多种养殖模式中，池塘养殖因其投资相对较低、便于管理、见效较快等优点颇受从业者的青睐，然而由于所用的养殖池塘多为养虾池塘改造而成，普遍存在着诸如有效水位低、设施简易、纳排水不及时等问题，加之在产业发展中大多注重短期利益而忽略了或不愿投资于公益性基础设施的规划建设，缺乏用于防灾抗灾的大型拦水与蓄水等工程设施，如苏北以及黄河三角洲等刺参养殖拓展地域，普遍存在刺参池塘养殖对于有效抵御和防范自然灾害能力差的问题，一旦发生灾害极易造成严重损失。

2.2 苗种质量参差不齐

当前在刺参产业发展过程中，对刺参种质资源的开发利用和保护仍远远不够，多数原良种场的功能和作用尚未得到充分发挥，苗种生产监管难度大，一些小型或个体从业者为降低生产成本自行繁苗，刺参亲本来源与使用混乱，致使种质退化严重，苗

种质量参差不齐。此外，具备耐高温、耐低盐等优势抗逆性状的刺参良种选育进程缓慢，也严重影响了产业的健康可持续发展。

2.3 技术集成创新不足

目前，刺参养殖从业者虽已具备了一定的专业技术水平，但整体上关键技术集成创新能力仍较低，新技术的普及与熟化程度仍显不足，刺参养殖生产中普遍存在着入行门槛低、技术水平不高等误区，欠缺对风险应对关键技术环节的有效掌控，在涉及放养规格、养殖密度、礁体设置、病害防控等关键技术与技术参数时仅凭经验处理，随意性较大，多为粗放式、资源依赖型的生产和管理。

2.4 风险意识淡薄

尽管刺参养殖属高投入、高风险、高回报行业，但十余年来产业发展始终存在盲目追求规模拓展与经济效益的倾向，而从业者的风险防范意识相对较弱，欠缺未雨绸缪的心态，养殖生产多处在靠天吃饭的尴尬境地，应急能力脆弱，一旦遇到环境突变及异常气候灾害的发生极易措手不及，难以有效应对。

2.5 产业链不完善

目前，国内全产业链的规模化刺参生产规模企业数量屈指可数，缺乏生产联合体，定制式生产更是少之又少，产业经营中普遍存在产业链不健全，规模化、集约化程度不足以及生产中标准化、规范化程度不高等问题，为数众多的企业规模小而零散，且大多是通过养殖生产单一环节以谋求更大的短期效益，一旦发生意外风险，缺乏产业链相应环节的支撑，应对风险时显得捉襟见肘。

2.6 保障机制不健全

水产养殖行业一直缺失养殖灾害风险保障机制等社会保险体系，目前设立的渔民互助合作保险仅限于渔业船舶和海上作业等捕捞行业，尚未设立养殖灾害保险。此外，区域性专业合作社及协会均未涉及或发挥风险保障作用，如遇自然灾害，生产损失只能由养殖从业者自行承担。

3 应对策略与措施

3.1 加强基础设施建设，提高风险抵御及应对能力

规范养殖池塘建设标准，完善海水井、增氧、排淡、遮阳等配套设施的建设，同时加大防灾抗灾配套设施建设投入，针对不同地区在汛期及高温期池塘进、补水困难等问题，倡导片区间合作，采取财政扶持与地方集资等方式，划建应急大型蓄水池或用水通道，在连片池塘养殖区域与海区之间设置大型拦水闸道，遇到异常情况关闸蓄水，以起到阻止外海有害生物入池与极端天气发生时供应池塘进、补水的作用。

3.2 加快良种选育进程，夯实刺参种质基础

针对夏季高温、汛期低盐等不同环境条件养殖生产需求，充分利用刺参的优良生产性状，加大对具有耐温、耐盐等高抗逆性状及复合优势性状刺参的良种选育力度[36-38]，选育新品种(系)并开展规模化扩繁、示范推广。强化产学研联合，倡导科研院所与龙头企业共建研发平台，打造“育繁养推”一体化的现代种业企业，逐步建立产业化亲本供应制，从源头上为刺参增养殖生产提供优良的种质保障，提升良种、良品的产业覆盖率。

3.3 提升技术集成创新能力，推动产业转型升级

大力发展立体养殖、接力式循环养殖、大规格苗种短平快养殖等生态、安全、高效的养殖新模式，打造稳产高产的陆基精准养殖、环境友好的海基生态养殖等全新绿色生产模式。在现有刺参增养殖生产基础上套养或循环养殖适宜数量的虾类、贝类、鱼类以及大型藻类等[39]，提高池塘利用率，并通过各级食物链网络相互衔接，提高物质和能量的利用效率，同时可有效规避度夏风险。实施节能减排、可持续的产业发展理念，科学控制养殖密度，加强微生态水质调控、底质改良以及遮阳控光、水色调控、地温资源利用、中草药免疫增强剂防病等关键技术的集成创新与推广应用[40]。进一步强化刺参增殖海域管理，合理规划围海造礁密度，为刺参增养殖生产提供一个平衡友好的生态环境，以产业生产的提质增效推动产业的转型升级发展。

3.4 提高风险防范意识，推进产业物联网信息化建设

加快水质在线监测、水下成像与监控、数据无线传输、智能化处理与控制等信息化技术在刺参增养殖生产中的普及应用，提高生产的现代化水平，健全刺参产业信息采集机制与信息汇总数据分析处理技术，建立预报减灾信息化平台，各级海洋环境监测机构根据站位扩大布点，增加抽样频率，及时

掌握海水水质状况，加大对刺参底播增殖区、刺参渔礁区的海洋环境监测，加强赤潮等环境灾害预警预报，一旦达到预警值应及时发布预报并指导生产单位采取防范及抢收措施，为从业者及时了解灾害信息提供可靠的查询途径[30, 38]。

3.5 完善产业链建设，培植功能完善企业

充分发挥产业联盟等新型产业化组织的作用，推行订单式或联合式生产模式，加强产业各环节间的战略合作，逐步整合育种、养殖、饲料、病控、加工和销售等环节，构建刺参完整产业链的市场网络体系，完善刺参产品质量可追溯体系。加强相关标准的制(修)订与宣贯，从养殖规模、基础条件和环境保护等方面提高入行门槛，重点培植一批规模化和标准化程度高、产业集中度高的大中型龙头企业，逐步取缔家庭作坊式生产，打造结构合理、功能完善的中型、小型及微型企业。

3.6 健全保障机制，推行互助合作保险制度

引进刺参养殖行业风险投资基金，完善养殖保险政策，建立自然灾害造成养殖损失的风险保障制度，推行渔民互助合作保险，完善专业合作社、行业协会等专业化组织在从业者参保、防灾减灾、勘查定损、协调理赔等方面的作用[38, 41]，设立专项风险保障基金，从业者按生产规模每年上交相应比例的风险保障金，如遇灾害或市场风险等可根据份额获得相应补偿，走利益共享、风险同担的产业合作发展之路。

参考文献:

[1] 李成林，宋爱环，胡炜，等. 山东省刺参养殖产业现状分析与可持续发展对策[J]. 渔业科学进展，2010, 31(4): 126-133.
Li Chenglin, Song Aihuan, Hu Wei, et al. Analysis on the status quo of aquaculture industry in Shandong province and sustainable development countermeasures[J]. Progress in Fishery Science, 2010, 31 (4): 126-133.

[2] 农业部渔业渔政管理局. 2016 中国渔业统计年鉴[M]. 北京：中国农业出版社, 2016: 5: 21-65.
Ministry of Agriculture Fisheries and Fishery Administration. 2016 China Fishery Statistical Yearbook[M]. China Agricultural Publishing House. 2016.5: 21-65.

[3] 李超. 北方地区秋季极端天气对池塘健康养殖的影响及补救措施[J]. 中国水产, 2013, 12: 75-76.
Li Chao. Effects of extreme weather on the healthy breeding of ponds in the northern region and remedial measures[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2013, 12: 75-76.

[4] 王跃中，孙典荣，陈作志，等. 气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(24): 7948-7957.
Wang Yuezhong, Sun Dianrong, Chen Zuozhi, et al. Effects of climate and environmental factors and catching pressure on catch catch in northern South China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7948-7957.

[5] 刘杰，许小峰，罗慧. 极端天气气候事件影响我国农业经济产出的实证研究[J]. 中国科学：地球科学, 2012, 42(7): 1076-1082.
Liu Jie, Xu Xiaofeng, Liu Hui. Extreme weather and climate events affect China's agricultural economic output empirical study[J]. Chinese Science: Earth Science, 2012, 42(7): 1076-1082.

[6] 王立超，王杰，周溥佳，等. 海水养殖现代气象服务研究[J]. 中国农业信息, 2014, 3: 197-198.
Wang Lichao, Wang Jie, Zhou Pujia, et al. Study on modern meteorological service of marine aquaculture[J]. China Agricultural Information, 2014, 3: 197-198.

[7] 王国利. 生态因子对刺参(*Apostichopus japonicus*)生长与行为的影响[D]. 济南：山东师范大学, 2007.
Wang Guoli. Effects of ecological factors on the growth and behavior of *Apostichopus japonicus*[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2007.

[8] 赵斌，李成林，胡炜，等. 低温对不同规格刺参幼参生长与耗氧率的影响[J]. 海洋科学，2011，35(12): 88-91.
Zhao Bin, Li Chenglin, Hu Wei, et al. Effects of low temprature on the growth and oxygen consumption rate of different sizes of sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*) in industrial aquaculture[J]. Marine Science, 2011, 35(12): 88-91.

[9] 周维武. 暴雨对海参养殖环境的影响与应急对策[J]. 齐鲁渔业, 2006, 11: 21-22.
Zhou Weiwu. Effects of heavy rain on aquaculture environment of sea cucumber and its countermeasures[J]. Qilu Fishery, 2006, 11: 21-22.

[10] 胡炜，李成林，赵斌，等. 低盐胁迫对刺参存活、摄食和生长的影响[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(2): 92-96.
Hu Wei, Li Chenglin, Zhao Bin, et al. Effects of low salt stress on survival, feeding and growth of sea cucumber[J]. Advances in Fisheries Science, 2012, 33(2): 92-96.

[11] 闵建，亢勇军. 南黄海高涂池塘养殖刺参适应性研究试验[J]. 现代渔业信息, 2011, 1: 19-21.
Min Jian, Kang Yongjun. Adaptable Experiment of *Stichopus japonicus* farming in pond at beach in south of Yellow Sea[J]. Modern Fisheries Information, 2011, 1: 19-21.

[12] 李彬，荣小军，廖梅杰，等. 冬季刺参养殖环境与肠道内细菌菌群的研究[J]. 海洋科学，2010，34(4):

64-69.
Li Bin, Rong Xiaojun, Liao Meijie, et al. Study on the environment and intestinal bacterial flora in the sea cucumber[J]. Marine Sciences, 2010, 34(4): 64-69.

[13] 孙倩倩. 厄尔尼诺对全球农业的影响分析[C]//气候变化与低碳发展委员会、国家气候中心. 第 31 届中国气象学会年会 S4 极端气候事件和灾害风险管理. 北京: 中国气象学会, 2014: 7.
Sun Qianqian. El Niño analysis of the impact of global agriculture[C]//Climate Change and Low Carbon Development Committee, National Climate Center. 31st China Meteorological Society Annual Meeting S4 Extreme Climate Incidents and Disaster Risk Management. Beijing: China Meteorological Society, 2014: 7.

[14] 薛素燕, 方建光, 毛玉泽, 等. 高温下不同盐度对刺参幼参和 1 龄参呼吸排泄的影响[J]. 中国水产科学, 2009, 16(6): 975-980.
Xue Suyan, Fang Jianguang, Mao Yuze, et al. Effects of salinity on the respiration and ammonia excretion of sea cucumber *Apostichopus japonicus* under high temperature[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(6): 975-980.

[15] 刘锡胤, 徐惠章, 黄华, 等. 高温多雨期刺参育苗常见问题及技术措施[J]. 海洋与渔业, 2015, 9: 60-62.
Li Xiyin, Xu Huizhang, Huang Hua, et al. Common problems and technical measures of sea cucumber seedlings during high temperature and rainy weather [J]. Ocean and Fishery, 2015, 9: 60-62.

[16] 韩光亮.冰封胶州湾, 多数养殖户未“冻伤”[N]. 青岛日报, 2010-01-03(6).
Han Guangliang. Frozen Jiaozhou Bay, most farmers do not “frostbite” [N]. Qingdao Daily, 2010-01-03(6).

[17] 窦妍, 丁君, 曲凌云, 等. 秋、冬季刺参养殖池塘菌群的多样性分析[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(2): 143-148.
Dou Yan, Ding Jun, Qu Lingyun, et al. Analysis of the diversity of the bacteria in the autumn and winter culture ponds[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2015, 30 (2): 143-148.

[18] 刘伟, 常亚青, 丁君. 结冰初期葫芦岛海水养殖区冰层及冰下水体环境要素变化[C]//中国水产学会. 2012 年中国水产学会学术年会论文摘要集, 北京: 中国水产学会, 2012: 1.
Liu Wei, Chang Yaqing, Ding Jun. Changes in the environmental factors of ice and ice water in Huludao sea water culture area in the early stage of icing[C]//Society of Fisheries.2012 Chinese Fisheries Society Academic Annual Conference Abstract, 2012: 1. Beijing: China Society of Fisheries, 2012: 1.

[19] 崔聪, 刘景治. 渤海池养海参安全越冬方法[J]. 中国水产, 2011, 1: 38-40.
Cui Cong, Li Jingzhi. Bohai Lake to raise sea cucumber safe winter method[J]. Chinese Fisheries, 2011, 1: 38-40.

[20] 王秀华. 山东省海水养殖 2010 年灾害发生情况与 2011 年灾情趋势预测[C]//山东省灾害防御协会、中国人民财产保险股份有限公司山东省分公司、中国人寿保险公司山东省分公司. 山东省 2011 年度灾情趋势预测研讨会论文集. 济南: 山东省灾情趋势预测研讨会, 2011: 4.
Wang Xiuhua. Shandong Province mariculture in 2010 the occurrence of disasters and the 2011 trend forecast[C]//Shandong Province Disaster Prevention Association, China, People’s Property Insurance Co., Ltd. Shandong Branch, China Life Insurance Company, Shandong Branch. Jinan: Seminar on Forecast of Disaster Trends in Shandong Province, 2011: 4.

[21] 徐广远, 郤明, 张恩鹏, 等.冬季海冰灾害期间海参养殖管理方法[J].中国水产, 2010(11): 45-46.
Xu Guiyuan, Kuai Ming, Zhang Enpeng, et al. Management of sea cucumber aquaculture during sea ice disaster[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2010(11): 45-46.

[22] 袁宗勤, 倪成男, 李海红, 等. 冰封期海参病害发生原因和应对措施[J]. 科学养鱼, 2014, 11: 86-88.
Yuan Zongqin, Ni Chengxiong, Li Haihong, et al. Causes and countermeasures of sea cucumber disease in ice-freezing period[J]. Scientific fish farming, 2014, 11: 86-88.

[23] 丛玉婷, 卢亚楠, 王丽, 等. 北方四季气候变化对刺参养殖的影响与管理对策[J]. 河北渔业, 2013, 4: 16-18.
Cong Yuting, Lu Yannan, Wang Li, et al. Effects of climate change on the breeding of sea cucumber in the four seasons and management countermeasures[J]. Hebei Fisheries, 2013, 4: 16-18.

[24] 徐兆礼, 叶属峰, 徐韧. 2008 年中国浒苔灾害成因条件和过程推测[J]. 水产学报, 2009, 33(3): 430-437.
Xu Zhaoli, Ye Yifeng, Xu Ren. 2008 China Enteromorpha disaster causes and process speculation[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2009, 33(3): 430-437.

[25] 陈翠霞, 李平伦, 李德军, 等. 养殖刺参如何防范浒苔暴发[J]. 齐鲁渔业, 2009(3): 27-28.
Chen Cuixia, Li Pinglun, Li Dejun, et al. How to prevent the invasion of *Enteromorphaprolifera*[J]. Qilu Fisheries, 2009(3): 27-28.

[26] 王超. 浒苔(*Ulva prolifera*)绿潮危害效应与机制的基础研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2010.
Wang Chao. *Ulva vaccera* (*Ulva prolifera*) green tide harm effect and mechanism of the basic research[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2010.

[27] 刘峰, 逄少军. 黄海浒苔绿潮及其溯源研究进展[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(3): 441-449.
Liu Feng, Pang Shaojun. Study on the Green Tide of *Populussimonii* and Its Traceability[J]. Advances in Marine Science, 2012, 30(3): 441-449.

[28] 李晓, 王颖, 吴志宏, 等. 浒苔对刺参幼参生长影响的初步研究[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 1092-1099.
Li Xiao, Wang Ying, Wu Zhihong, et al. Effect of *Enteromorpha prolifera* on growth of *Apostichopus japonicus*[J]. Chinese Journal of Aquaculture, 2013, 20(5): 1092-1099.

[29] 高昊东, 邓忠伟, 孙万龙, 等. 烟台四十里湾赤潮发生与生态环境污染研究[J]. 中国环境监测, 2011, 27(2): 50-55.
Gao Haodong, Deng Zhongwei, Sun Wanlong, et al. Characteristics of red tide occurrence and ecological environment pollution in Shiliwan Bay, Yantai[J]. China Environmental Monitoring, 2011, 27(2): 50-55.

[30] 吴玲娟, 曹丛华, 高松, 等. 我国绿潮发生发展机理研究进展[J]. 海洋科学, 2013, 37(12): 118-121.
Wu Lingjuan, Cao Conghua, Gao Song, et al.A review on the development mechanism of Green Tide in China[J]. Marine Sciences, 2013, 37(12): 118-121.

[31] 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[J]. 生态学报, 2016, 36(5): 1183-1191.
Lü Yonglong, Yuan Jingjing, Li Qifeng, et al. Impacts of land-based human activities on coastal and offshore marine ecosystems[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(5): 1183-1191.

[32] 潘玉龙, 李瑞香, 李艳, 等. 中国近海裸甲藻类分类研究[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(3): 390-401.
Pan Yulong, Li Ruixiang, Li Yan, et al. Characteristics of naked algae in coastal waters of China[J]. Advances in Marine Science, 2012, 30(3): 390-401.

[33] 王志富, 俞志明, 宋秀贤, 等. 有害藻华治理过程中改性黏土对仿刺参(*Apostichopus japonicas* Selenka)稚参的影响[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(2): 233-238.
Wang Zhifu, Yu Zhiming, Song Xiuxian, et al. Effects of modified clay on *Apodichopus japonicas* Selenka[J]. Ocean and Lake, 2014, 45(2): 233-238.

[34] 张学进, 施坤涛, 刘浩明, 等. 山东省威海市环翠区人工鱼礁建设现状调查与思考[J]. 中国水产, 2016(7): 28-30.
Zhang Xuejin, Shi Kuntao, Liu Haoming, et al. Investigation and thinking on the construction of artificial reefs in Huancui District, Weihai City, Shandong Province[J]. Chinese Journal of Aquaculture, 2016(7): 28-30.

[35] 王林刚, 张栋国, 庄世鹏, 等. 刺参南方越冬养殖技术探讨[J]. 中国水产, 2012(2): 58-59.
Wang Lingang, Zhang Dongguo, Zhang Shipeng, et al. Study on overwintering farming technology in southern China[J]. Chinese Journal of Aquatic Products, 2012(2): 58-59.

[36] 李成泽. 刺参候选耐寒基因的克隆与表达分析[D]. 大连: 大连海洋大学, 2014.
Li Chengze. Cloning and Expression Analysis of Cold Tolerant Genes for Cucumber Salina[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2014.

[37] 王方雨. 刺参 *Apostichopus japonicus* 生态免疫与夏眠的基础研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2008.
Wang Fangyu. Apostichopus japonicus basic research on ecological immunity and summer[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2008.

[38] 李成林, 胡炜. 我国刺参产业发展状况、趋势与对策建议[J]. 中国海洋经济, 2017, 1: 3-20.
Li Chenglin, Hu Wei. Status, trend and countermeasure in development of sea cucumber Apostichopus japonicus selenka industry in China[J]. Marine Economy in China, 2017, 1: 3-20.

[39] 滕炜鸣, 王庆志, 周遵春, 等. 刺参与红鳍东方鲀的生态混养效果[J]. 水产学报, 2017, 41(3): 407-414.
Teng Weiming, Wang Qingzhi, Zhou Zunchun, et al. Effects of ecological polyculture of *Cunninghamia lanceolata* and *Podocarpus japonicus*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2017, 41(3): 407-414.

[40] 迟爽. 刺参池塘水质与底质的周年变化及底质改良剂的研发[D]. 烟台: 烟台大学, 2013.
Chi Shuang. Salted pond water quality and sedimentation of the annual changes and the quality of the development of agents[D]. Yantai: Yantai University, 2013.

[41] 庹国柱. 正确认识农业保险发展中的几个重要问题——写在中央财政支持农业保险十周年之际[J]. 中国保险, 2017, 1: 15-23.
Tu Guozhu. Correct understanding of agricultural insurance in the development of several important issues-written in the central financial support for the tenth anniversary of agricultural insurance[J]. China Insurance, 2017, 1: 15-23.

Effects of abnormal climate and environment on sea cucumber aquaculture industry and its countermeasures

HU Wei[1], LI Cheng-lin[1, 2], HAN Sha[1], ZHAO Bin[1], XU Tao[3]

(1. Marine Biology Institute of Shandong Province, Key Laboratory of Disease Control for Aquaculture in Shandong Province, Key Laboratory of Berthic Fisheries Aquaculture and Enhancement Qingdao 266002, China; 2. Agricultural Expert Advisory Group of Shandong province, Jinan 250013, China; 3. Shandong Province Fisheries Technology Extension Station, Jinan 250013, China)

Received: May 18, 2017
Key words: *Apostichopus japonicus*; continuous high temperature; heavy rainfall; freezing weather; *Enteromorpha prolifera*; harmful algal bloom

Abstract: The aims of this study were to determine the methods to reduce or even resolve the adverse effects of abnormal climate and environment on sea cucumber culture production in China and to provide a useful reference for further enhancing the risk-resisting capacity. We summarized the extreme weather conditions, including continuous high temperature, intensive heavy rainfall, and freezing weather, caused due to varying degrees of global climate changes such as “El Nino” and “La Nina” in the past decade; harmful algal blooms such as *Enteromorpha prolifera*; and reef reclamation and their adverse effects on the yield and quality of land-based and shallow sea aquaculture of sea cucumber in China. We analyzed the different climatic and environmental disaster-causing factors and their direct and secondary effects on sea cucumber aquaculture. Based on the development of sea cucumber aquaculture industry in China, we also analyzed the drawbacks of the current response to abnormal climate and environmental impacts from the viewpoints of infrastructure, seed quality, technology integration innovation, risk consciousness, industrial chain structure, and guarantee mechanism. Systematic solutions and countermeasures were proposed to provide a useful reference for ensuring the sustainable, efficient, and healthy development of sea cucumber aquaculture industry in China.

(本文编辑: 梁德海)