

夏季养殖刺参(*Apostichopus japonicus*) 大面积死亡的原因分析与应对措施*

霍 达^{1,2,3} 刘石林^{1,2} 杨红生^{1,2①}

(1. 中国科学院海洋生态与环境科学重点实验室 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071; 2. 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, 青岛 266071; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 夏季刺参大面积死亡正逐渐呈现常态化趋势, 不仅造成了巨大的经济损失, 同时使刺参资源严重衰退, 制约了刺参产业的良性发展, 其原因亟待揭示。本文从高温、低氧、低盐、硫化物、氨氮及藻类腐烂等环境因素, 以及种质因素、病原因素、人为因素共四方面阐述了夏季刺参大面积死亡的原因, 提出“建设工程化”、“养殖机械化”、“监测自动化”及“管理智能化”的应对理念, 进而通过培育抗逆良种、调查关键指标并建立风险预警体系、构建综合养殖系统、完善应急处置方案、提高现代养殖技术等应对措施, 综合应对夏季极端天气的威胁, 为保证刺参健康度夏提供科学参考。

关键词 夏季高温; 低氧; 刺参; 大面积死亡

中图分类号 S947

doi: 10.12036/hyxxjk20170616001

仿刺参(*Apostichopus japonicus*), 又名刺参, 属于棘皮动物门(Echinodermata), 因具有较高的营养价值和经济价值而成为我国重要的海水养殖物种之一。刺参养殖已经成为中国北方沿海省份, 如辽宁和山东等地的支柱产业(中国科学院中国动物志编辑委员会, 1997; 常亚青, 2004; Yang et al., 2015; 费聿涛, 2016)。刺参的增养殖方式主要包括室内工业化养殖、池塘养殖、围堰养殖、浅海底播增殖

及筏式养殖等不同模式。其中池塘养殖刺参面积最大, 从业人员及相关企业最多(包鹏云等, 2011)。刺参养殖业受气候影响较大, 尤其在夏季持续高温、多雨天气下, 高温、低氧等极端环境胁迫不仅可导致池塘、围堰和浅海养殖刺参大面积死亡甚至绝产, 造成巨大的经济损失, 同时也造成刺参资源衰退, 制约产业良性发展。

山东是刺参养殖大省, 近年来的数据显

* 资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11020700); 国家自然科学基金委-山东省联合基金项目(U1606404); 中国科学院重点部署项目(KFZD-SW-106); 泰山学者资助(特聘专家)。霍 达, 女, 硕士研究生, 从事刺参养殖生态学研究, E-mail: hyghd@126.com

① 通讯作者: 杨红生, 男, 研究员, 主要从事养殖生态与养殖设施、生境修复与资源养护、刺参生物学与遗传育种等研究, E-mail: hshyang@qdio.ac.cn

收稿日期: 2017-06-16, 收修改稿日期: 2017-07-21

示,山东省刺参产量可达全国产量的 50%。2012 年全国刺参产量约为 14 万~15 万吨,其中山东地区产量达 8 万吨;2015 年全国刺参增殖总产量约为 20 万吨,其中山东约 10 万吨(李倚慰, 2013; 农业部渔业局, 2015)。近年来,在夏季极端天气的影响下,山东省池塘刺参养殖损失惨重。如 2013 年 8 月,受高温、强降雨极端天气影响,北方刺参主产地山东受灾养殖面积约 26 万亩,死亡率约为 30%~40%,部分地区达到 60%以上,给当地增养殖业户造成了巨大的经济损失(刘国山等, 2014)。2013 年,即墨、海阳、乳山、文登、莱州、东营等地有 80%~90%的养殖户受灾,其中约有 20%~30%绝产,并且影响次年收成(李倚慰, 2013)。随着全球气候变化,高温、低氧等极端环境正逐渐呈现常态化趋势(Helmuth et al., 2002),刺参大面积死亡现象出现的概率也将越来越大。因此,如何能够减少夏季极端天气下刺参的大面积死亡,成为整个社会关注的热点问题。

1 刺参大面积死亡原因

以往研究表明,夏季刺参大面积死亡不是单一因素导致的,而是水体环境、生物体、病原体以及人为因素共同作用的结果。当水域环境发生变化时,刺参的生理行为、代谢和免疫等也发生改变,同时病原体数量增多,免疫力低下的刺参在得不到及时有效的处理下,极易发生死亡现象。此外,部分池塘一旦发生死亡现象,往往是全池覆灭,对刺参产业发展极为不利。

1.1 环境因素

受连续高温、强降雨及无风天气的影响,2013 年和 2016 年以山东、辽宁为代表的刺参养殖池塘和底播增养殖区发生了刺参大面积死亡现象。其主要原因为极端天气下水体垂直循环受阻,出现温跃层、盐跃层及缺氧层。具体情况为,夏季高温直接引起水温升高,致使

水层出现温度跃层,夏季暴雨造成淡水和海水出现盐度分层,影响上下层水交换,底部热量难以散发,致使底层水温持续升高,溶氧降低,造成底部缺氧,进而导致底质硫化物、氨氮、亚硝酸盐等有毒物质积累,使活动能力弱、营底栖生活的刺参处于高温、低氧等胁迫环境中,因而发生大面积死亡。

1.1.1 高温 温度是影响刺参生长、摄食、繁殖及行为的重要生态因子(Tanaka, 1958; 赵永军和张慧, 2004; 陈勇等, 2007; An et al., 2009)。研究发现刺参适宜的生长温度范围为 10~17°C,最适温度为 14°C(陈远和陈冲, 1992; 于东祥和宋本祥, 1999)。温度过高和过低对刺参的正常生长都有一定的影响,当温度为 20~24°C 时,刺参将进入夏眠(隋锡林, 1990)。2014~2016 年山东省夏季(6~8 月)全省平均气温分别为 25.3°C、25.7°C 及 26.1°C,呈现初步升高趋势(王业宏等, 2014; 王文青等, 2015; 杨璐璞等, 2016)。其中,2016 年 8 月份高温期,山东、河北、辽宁地区刺参养殖水域水温最高达到 33~35°C,远远超出其适宜生长水温(王金龙, 2017)。夏季水温的急剧升高常常导致刺参出现吐脏、化皮等应激反应。当温度超过耐热上限时,刺参会由于机体复杂的生理反应而出现热致死现象(于东祥和宋本祥, 1999; Hochachka and Somero, 2002; 于明志和常亚青, 2008)。

此外,为了刺参安全度夏,池塘水位一般都要求加深,而太阳辐射能量主要加热表层 20cm 的水层,并且绝大部分的太阳辐射能量被吸收于距表层约 1m 的水层,导致能量向下传输缓慢,水表与水深处形成温差。经测量,1~3m 的水深处温差可达 1~2°C(于东祥等, 2004)。如遇无风天气,上下层水混合的阻力将增大。若持续无风或风力较弱,还将形成温跃层阻碍水体中溶解氧、营养盐等的交换流通,对营底栖生活的刺参的存活及生长极为不利。

1.1.2 低氧 溶解氧含量及变动趋势与温

度、盐度、环流运动、生物活动等密切相关(刘国山等, 2014)。夏季高温天气下, 由于高温水密度及比重小于低温水, 使水体形成了温跃层。持续性高温、无风天气使得上层水与底层水上下流通受阻加剧, 溶解氧及有机物质对流输送减弱, 造成水体底层缺氧现象。而刺参的活动、代谢以及底层大量沉积的动植物残骸在降解的过程中消耗氧气, 使得底层缺氧现象加剧。

在低氧水环境下(溶解氧浓度低于 2mg/L 时), 水生动物行为发生改变, 如游离低氧区域、跳跃行为、行动迟缓、呼吸减慢及摄食频率降低等, 同时生长速度减慢、繁殖力下降, 甚至会引发动植物死亡(Wu et al., 2003; Shang and Wu, 2004; 徐贺等, 2016)。以往研究表明, 与贝类、珊瑚虫及海鞘相比, 棘皮动物在低氧胁迫下更易死亡(Riedel et al., 2012)。当水中氧气含量不足时, 刺参代谢水平下降、活力降低, 循环、神经、消化、呼吸等系统功能受阻, 抗逆能力和抗病能力大大削弱, 影响正常的生长(于东祥等, 2004)。据调查, 2013~2016 年山东烟台等地区的养殖海域连续出现底层缺氧现象, 如对 2013 年夏季威海双岛湾人工鱼礁区的研究表明, 缺氧是造成该地刺参大面积死亡的主要原因(刘国山等, 2014)。

1.1.3 低盐 盐度是影响刺参存活、生长和发育的重要因素之一(王吉桥, 2009a)。刺参为狭盐性生物, 有研究表明, 刺参生长的适宜盐度范围是 18~39, 成体对盐度的耐受下限为 15~20(常亚青等, 2004)。另有报道表明, 温度影响刺参幼体的耐盐性, 且随着个体的生长, 适盐范围变小(王吉桥, 2009b)。即刺参规格越大, 对低盐的适应能力越差。

研究表明, 当盐度长时间(超过 30 天)低于 17 时, 会对刺参造成不良影响(冷忠业等, 2014)。然而夏季暴雨导致大量淡水流入养殖水体, 造成盐度急剧降低, 使养参池盐度在十

几个小时内从 30 陡降至 20 以下, 个别池塘盐度甚至不足 10(周维武, 2006), 以致不能形成对流, 使水体出现分层现象。盐度胁迫会导致海洋生物代谢加速、免疫防御能力降低、生理机能失常, 使正常状态下处于隐性感染的病原体引发疾病(孙虎山和李光友, 1999; Brito et al., 2000; 沈丽琼等, 2007)。超出刺参正常盐度适应范围常导致机体渗透压调节失衡, 刺参收缩发黑, 严重时吐脏死亡, 影响刺参的存活率(杨秀生等, 2009)。

1.1.4 硫化物及氨氮 刺参营底栖生活, 池塘底质各种组分的构成和变化都将直接影响刺参的繁殖和生长(杨凤影等, 2012)。硫化物主要由微生物分解利用生物的代谢产物、残饵等有机质中的含硫氨基酸产生, 其含量是衡量环境优劣的一个重要指标(彭斌, 2008)。目前, 已有多项研究阐述了硫化物对水生生物的影响, 如较高的硫化物浓度将导致鱼类呼吸和循环系统功能衰退(Torrans and Clemens, 1982; Bagarinao and Vetter, 1989); 使日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)有氧呼吸代谢减弱, 免疫能力下降, 机体抗氧化系统受到显著影响(管越强等, 2009, 2011)。此外硫化物浓度影响西施舌(*Coelomactra antiquata*)幼贝壳长生长和成活率(吴进锋等, 2006); 影响中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)的卵巢发育及应激蛋白表达(顾顺樟, 2007)。导致曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*)肝细胞受损及免疫力下降, 最终造成乌贼幼体大量死亡(尹飞等, 2011)。目前, 虽尚无文献明确描述硫化物对刺参的影响, 但针对辽东湾养殖池塘底质环境的调查表明刺参发病池塘硫化物含量显著高于未发病池塘(王摆等, 2016)。除硫化物外, 氨氮胁迫也会影响刺参存活, 使机体非特异性免疫防御系统遭到损伤, 降低刺参的免疫力, 增加对病原菌的易感性(刘洪展等, 2012; 臧元奇等, 2012; 徐松涛等, 2017)。

水体中的氨及亚硝酸盐等将使刺参血液中的亚铁血红蛋白被氧化成高铁血红蛋白,从而抑制血液的载氧能力,使刺参呼吸困难,甚至中毒、窒息而死(杨秀生等,2009)。

在春季,刺参新陈代谢较快,生长旺盛,同时投饵量较大,残饵和排泄物多,因而底质中有机质积累也较多。加之,夏季时温度升高,细菌代谢和繁殖速度加快,硫酸盐还原菌的菌量增加,加速了水体中的厌氧分解,硫酸盐经过还原作用形成硫化氢,使得养殖环境中底质硫化物含量显著提高,导致养殖环境恶化(彭斌,2008;费聿涛,2016)。此外,夏季养殖水体中氧气含量不足时,含氮有机物的分解及反硝化细菌的还原作用将产生氨氮(王战蔚等,2013)。随着池塘养殖时间增加及刺参自身排泄物的逐步积累,加之底部光合作用微弱,氧化还原过程受阻,使池底硫化氢、氨氮、亚硝酸盐等有害物质大量积累。由于刺参行动缓慢,不能迅速逃离不良环境,其生长、存活及品质极易受到影响(王雨霏等,2014)。

1.1.5 藻类腐烂 池内底质恶化亦由大型有害藻类、杂草死亡腐烂变质所致。高温季节,海参养殖池中的藻类、杂草繁殖较快,一旦大批死亡,就会沉于池底腐烂变质,使池底有机物污染增加,溶解氧含量快速降低。藻类植物不仅失去了利用光合作用补充水体溶氧及吸收毒素的功能,反将滋生出大量有害细菌和有毒物质,刺参极易因缺氧而发生疾病或窒息死亡。

1.2 种质因素

由于缺乏长期规划及采捕监管,加之刺参自然资源匮乏,目前刺参苗种生产所用的种参来源大部分局限于人工池塘养殖,这些种参也都是由人工繁育的苗种养殖而成,刺参种参质量下降已是不争的事实。这样的种参性腺发育较差、怀卵量减少、卵子质量下降,繁育出来的苗种体质较差、生长速度减慢、抗病能力降低(边陆军和代国庆,2013),使其在

应对夏季高温、低氧等因素胁迫时,表现出较弱的耐受性,成活率较低。

1.3 病原因素

刺参生长和病害发生与生态环境恶化或环境剧烈变化密切相关(费聿涛等,2016)。一般认为,病原菌通常侵袭免疫力低下的个体,对健康个体并不致病(茅国峰,2014)。只有当环境等因素的变化导致刺参免疫力下降或者出现黏膜破溃时,细菌才可能大量繁殖(任利华等,2015)。与刺参疾病相关的病原因素主要包括病毒、细菌、霉菌、纤毛虫及其他病原体等,其中在我国养殖刺参体内发现的致病细菌主要有:溶藻弧菌(*Vibrio alginolyticus*)(杨嘉龙,2007)、假交替单胞菌(*Pseudoalteromonas nigrifaciens*)(王印庚,2006)、灿烂弧菌(*Vibrio splendidus*)(张春云等,2006)、弧菌(*Vibrio sp.*)(马悦欣,2006)等。此外,有研究表明,以低氧环境引起的大规模死亡底播刺参生物体中的优势菌为能行厌氧呼吸并能以硫代硫酸盐行化能自养的副球菌属细菌(*Paracoccus*)(任利华等,2015)。病原细菌和病毒病原感染会使刺参出现口部肿胀、排脏等现象,使皮层的溃烂与自溶加速,导致刺参非特异性免疫力下降(隋锡林和邓欢,2004;刘洪展,2013;任利华,2015)。同时较其他季节而言,夏季刺参大水面养殖系统水体及底泥中细菌总数和弧菌数量最高(杜佗,2016)。综上,病原因素对刺参的健康与存活具有潜在威胁,致使养殖刺参在夏季发生大面积死亡现象的概率增大。

1.4 人为因素

人为因素亦是刺参大面积死亡的重要原因之一,主要体现在管理经验欠缺、技术操作不规范、设施不完备等。

1.4.1 管理层面 在养殖过程中,刺参肿嘴、化皮等病害情况时有发生。目前一些养殖户出于预防或者治疗的角度,仍主要选择使用抗生素药物及消毒剂来缓解。然而由于用药缺乏科学性,如药种单一、药量过大等,不仅

增加了养殖成本,使效益下降,同时破坏了养殖水体生态平衡,也降低了刺参的机体免疫力和消化功能,不利于苗种质量的提高,增加了刺参患病的风险(包鹏云,2011),使刺参在应对夏季极端天气时发生大面积死亡的概率增大。此外,一些养殖户为追求高产,刺参投放密度往往过大,这将不仅导致刺参生长缓慢、免疫力低下,同时使养殖区极易发生病害,传染速度加快,导致全池刺参短期内覆灭(王印庚等,2005)。

1.4.2 技术操作层面 由于刺参多年连续养殖,加之养殖面积通常较大等因素,使池底难以清除淤积,池底生态环境极易恶化而导致病害(王印庚和荣小军,2004)。此外饵料投放不够合理,残饵过多导致降解作用增强,底层缺氧加剧。在投放固态物质,如礁石及底质改良剂等时,需注意避免直接接触刺参体表造成其体表化学性损伤(杨秀生等,2009)。

1.4.3 设备层面 当前养殖过程中设施(如育苗用水处理系统、附着基等配套基础设施和水质监测仪等)仍不够完备。其中,应对低氧环境的增氧技术尤为欠缺,一些技术尚不规范。例如,微孔曝气管堵塞、管路温度过高、电机容易烧毁、实际增氧效率不高等问题在微孔曝气增氧技术使用过程中时有发生(冷忠业等,2014)。另外,由于池底缺乏足够的硬质附着基等配套设施,仍以烂泥底为主,容易发生病害。因此,在刺参养殖过程中应注意减少以上人为因素对刺参死亡造成的影响,并在刺参发生大面积死亡之初,采取及时有效的救治,降低刺参死亡数量及频率。

2 夏季刺参大面积死亡的应对措施

在发生刺参大面积死亡时,应当综合分析、及时处理。在养殖过程中引入工程管理理念,突出“工程化”建设理念,提高增氧控温等设备的研发与应用水平,实现养殖机械化,最终达到自动化监测与智能化管理水平。针对夏

季刺参大面积死亡的频发现象,既需有应急处理方案,亦需有常态综合处理措施,同时应加强预防管理工作。在养殖之初及生产过程中应对养殖水体的底质和水质进行综合调查,并查明刺参应对逆境的关键生理生态学指标,建立综合养殖模式,积极构建风险预警系统,引入专家决策系统等,实现风险识别、风险分析,在刺参发生大规模死亡之前及时做出预判及处理。

2.1 应对理念

2.1.1 建设工程化 由于夏季高温等极端天气,刺参养殖海域风力较弱,底层和表层水体交换较弱。底层溶解氧、营养盐等无法得到补充,对刺参生长极为不利。因此,需要采用相关工程技术手段解决上述问题。在刺参度夏过程中必须引入工程管理理念,建立现代工程养殖技术,突出“工程化”建设理念,为构建精准高效养殖奠定基础,保障刺参健康度夏。

2.1.2 养殖机械化 当前刺参养殖应对夏季极端天气的解决方式仍较为局限,养殖机械化尚处于起步阶段,新型高效装备亟待开发。因此,需要引入“养殖机械化”理念,加强控温、控氧、控盐、清底质等技术和装备的研发和应用,综合提升刺参养殖度夏整体技术水平。

2.1.3 监测自动化 刺参养殖水域应建立基于海床基、浮标、船载传感器系统、无人机以及遥感技术的生态环境监测平台,配备温度计、盐度计、溶氧仪等水质监测仪以监测水质变化。实现自动化监测、数据采集传输及远端数据监控。此外,将增氧设备与自动化监测系统联结,当出现预警时智能化开启,可为刺参健康度夏提供重要保障,实现针对异常情况的自动预警及智能化管理。

2.1.4 管理智能化 在刺参养殖过程中,必须建立从监测、评价、预警到管理的综合保障体系。在管理过程中,引入信息化以提高监测与管理效率,实现管理智能化。目前,由实

时监测系统、预警预报系统、专家决策系统等组成的信息化系统正逐渐得以应用(杨红生等, 2016), 构建现代刺参养殖智能化新模式, 不仅是顺应时代发展的必然选择, 也是刺参健康度夏的重要保障。

2.2 应对措施

2.2.1 抗逆良种培育与应用 良好的刺参苗种可为刺参健康度夏提供有力的支持, 因此应当加强健康苗种培育及良种选育工作。刺参良种选育成功与否很大程度上取决于刺参种参的品质(孙明超, 2016)。刺参养殖过程中应选择健壮、体表无损伤、棘刺完整、摄食能力强的亲参进行育苗。在选育过程中最大程度发挥刺参的杂种优势, 尽可能地选择杂合性高且形态学性状优良的刺参。同时开展刺参种质保护计划, 对养殖所用的亲参进行系统的品种选育和改良, 防止累代繁殖之后种质退化。积极开展抗逆选育技术的研究, 选育抗逆性强的刺参品系, 并对相关性状进行实验验证。改善育苗技术工艺, 推动刺参原良种场及自然保护区建设, 保证刺参种质资源质量(边陆军和代国庆, 2013)。在养殖过程中, 淘汰早期不健康的苗种, 确保刺参个体健康; 避免可能存在的近交衰退、遗传漂变、遗传多样性降低等对群体种质资源造成的不利影响(张福绥和杨红生, 1999)。

目前已有的研究表明, 不同品系的刺参对温度等因素异常的水体环境表现出不同的耐受性, 稳定的抗逆品系可为刺参健康度夏提供有力支持。中国科学院海洋研究所目前已通过高温淘汰和人工选择的方法培育出耐高温品系, 且通过实验对耐高温品系的耐温性能进行了评价。实验结果表明, 定向选育的子代稚参在 32°C 下的存活率为 80%, 显著高于野生群体子代稚参的存活率(56.67%), 这说明定向选育的耐高温品系刺参对高温胁迫的耐受能力更强(赵欢等, 2014)。另外, 耐高温子代群体在高温胁迫下也显示出更强的免疫能力

(刘石林等, 2016)。在夏季高温期, 经过三代定向选育的刺参耐高温品系肠道退化较轻, 摄食量和处于摄食状态的个体比例明显提高, 耐高温目的性状选育效果显著。中国水产科学研究院黄海水产研究所利用日本刺参和国内筛选的耐高温刺参杂交所培育的“高抗一号”刺参新品种在高温胁迫实验和低盐胁迫实验中, 表现出良好的抗逆性状, 具体表现为成活率高、特定生长率较大、非特异性免疫酶活力较高等(孙明超, 2016)。此外, 中韩刺参杂交与自交子一代刺参在温度和盐度耐受方面具有一定的杂种优势(范超晶, 2015)。但由于目前抗逆品系十分缺乏, 对其相应性状针对不同逆境胁迫的评价实验数据欠缺, 其应对胁迫因子的具体机制仍有待揭示。

2.2.2 关键指标调查及体系构建

①实施底质水质综合调查

对养殖水域的底质与水质进行综合调查在刺参养殖过程中十分必要。明确不同养殖区域温度、溶解氧等因子的年际变动情况, 查明养殖水域不同水深处相应的水质因素指标情况, 加强对水温、盐度、溶解氧、氨氮、硫化物等指标的监测, 针对异常情况及时采取措施。对养殖用水水质进行严格把控, 防止赤潮藻类、有机污染物等大量流入养殖水域。可在离进水口较近的渠道内设几道过滤网、浮筏以拦截外海的海藻、杂物、油污等(孙爱丽, 2014), 也可采取化学和生物综合手段, 有效预防或抑制池塘内各种有害藻类的大量繁殖和生长, 同时控制好池塘内浮游生物量, 及时发现、及时清除。此外, 需注重改善底层水和底质的状况, 为刺参度夏提供良好的生存环境。

②查明刺参应对逆境的关键生理生态学指标并建立风险预警体系

深入研究刺参对环境变化的调节能力和适应机制等, 查明刺参应对逆境的关键生理生态学指标, 如对温度、盐度、溶氧量等变化的响应特征。加强对多因素协同胁迫下刺参的

响应机制研究,明确不同规格刺参针对不同逆境的耐受阈值(包括不同时间效应)以及养殖容量。将多因素胁迫实验结果与单因素胁迫进行对比,查明对刺参生长及存活影响较大的因素,解析不同胁迫条件下刺参的呼吸代谢、生长繁殖、运动行为、分子调控机制等特征。构建逆境胁迫下刺参的响应机制网络,系统分析高温、低氧、低盐、硫化物等因素对刺参的影响。同时通过野外实验,调查温度、溶解氧等参数,查明其变化区间及趋势。调查高温低氧期间自然海区刺参的死亡率及耐受性,与实验室结果对比进行补充与校正。通过野外取样以及抗逆品系刺参胁迫样校正指标,制定相关参数标准,初步建立风险预警指标,并通过数学模型(如主成分分析法及回归预测等)系统构建风险预警模型,进而实现风险识别、风险分析与风险监控,建立系统的风险预警体系。逐步提高风险预测的准确性与及时性,对指标体系进行综合评判,并依据评判结果设置预警区间,以采取相应对策。在夏季刺参大规模死亡之前提前进行预报,进而实现自动化监测与智能化管理。

③构建综合养殖系统

在苗种培育、设备开发、日常养殖及生态系统构建过程中,应积极探索构建现代刺参养殖新模式,例如,可移栽适宜的海洋大型藻类、耐盐植物等,进行生态集约化的刺参池塘养殖实验(包鹏云等,2011)。大叶藻和大中型褐藻类(包括鼠尾藻、马尾藻、江蓠、裙带菜、海带等)既可以作为刺参的隐蔽场所和附着基,控制刺参养殖水域透明度及光照强度,同时能够净化水质,少量腐烂后也可成为刺参饵料。但需要将其数量控制在适宜范围内,避免因生长条件不适大面积死亡后倒伏在池塘底部,造成底层腐烂变质,滋生病菌,危害刺参健康(杨秀生,2009)。在刺参养殖过程中逐步建立综合养殖方式,以完善的综合养殖系统应

对夏季各种理化、生物因子的胁迫,可为刺参健康度夏提供重要保障。

2.2.3 完善应急处置方案

①专家决策系统

专家系统是指一组能模仿人类专家在某个领域知识的基础上利用一组取决于任务的规则集来解决一些专门的问题的程序,而实时专家系统是指把专家系统应用于实时动态的环境中(刘震等,1995)。专家系统知识库由数据级、知识库级和控制级知识组成,主要包括预测系统、诊断系统、控制系统及解释系统等。预测系统能够对未来情况推出可能的结果,如高温预测、多雨预测等;诊断系统能够从可观测事物中推出系统的故障,找出潜在原因等;控制系统可以实现自动控制系统的全部行为,如自动开启增氧设备等;解释系统能对系统的行为做出解释,是专家系统区别于一般程序的重要特征之一。目前随着智能化在水产养殖业中的逐渐深入,专家决策系统的应用前景十分广阔,对于夏季刺参养殖水域的监测与调控具有重要的意义。

②增加溶氧量

夏季高温期水体温度升高,导致溶解氧饱和度降低,池塘内缺氧情况极易出现(杨锋,2014)。因此,在刺参养殖过程中要根据当天气温情况、溶氧量测定情况,及时采取相关措施为池塘水体增氧。目前增氧的最常见方法为化学增氧法与物理增氧法,主要途径为通过向水体中输送氧气或搅动水体,打破温跃层与盐跃层,防止水体缺氧现象的长期存在。化学增氧法为投放增氧片(主要成分为过碳酸钠),适用于应急处理,但效果不显著;而通常采用的物理增氧法,如水车式增氧则很难将氧气送达到池塘底部,无法在短时间内改善下层水质(刘彤等,2013)。新型物理增氧法,如微孔管道增氧系统是通过罗茨鼓风机与充气管,将空气输入池塘水体中,使氧气弥散入

水中,达到增氧的效果(王雨霏等,2013)。利用刺参池塘微孔增氧技术,能使池塘表层、底层溶氧及水温差异均显著减小,消除分层作用明显,底质环境得到改善。目前微孔管道增氧系统在水产养殖领域的应用正逐步扩大,但其使用过程仍需规范操作。

夏季,尤其是极端高温、暴雨天气过后应及时全池增氧,以迅速消除海水、淡水分层和上水层对底层溶解氧传递的阻截作用(周维武,2006),避免低溶氧量对刺参生长存活造成的不良影响。总体来说,当前增氧方式仍较为局限,新型高效的增氧装备亟待开发。针对低氧等胁迫环境,需做到既有应急处理方案,也有日常管理方案。例如,日常养殖过程中,可通过大功率船只巡航,利用轮机产生的巨大冲力破坏养殖水域产生层化的水体以增加水体溶解氧的交换量。此外,应对刺参养殖过程中已有增氧装备的基本参数进行熟知,如增氧装备的频率、型号、作用面积、作用水深及作用时长效果等。一般来说,一个水车可作用的区域半径为5m,20亩水域则需约4~5个;纳米气排至少平均8m²投放1个。但各类增氧装备具体设置密度、开启时间及效果,仍需根据实际水域情况进行调整。

③降低温度

夏季高温低氧频发阶段,应加大养殖水域的水体交换量,根据实际情况调节水位及水深以降低温度。一般而言,随着气温的上升,刺参养殖水域水位应逐渐加深,使水深保持在2m以上,每天换水量应至少为20~30cm(王雨霏,2013)。尽量在夜间进水,有条件的参池可利用盐度适宜的深井水,以达到理想降温效果。同时增设遮阴网,以利于刺参进入夏眠并顺利度过高温期。夏季高温期应适当降低水位,以利于底层水温回升,削弱温跃层的形成。提高水深可以控制水体透明度,防治养殖水域滋生有害藻类。

④调节盐度

夏季大雨过后应及时排出池内上层淡水,确保上下水层盐度一致。目前调节盐度的物质主要包括海水、浓缩海水、人工海水素、海盐或其他盐类,以及地下咸井抽水等。使用前,应对当地实时盐度进行调查,并根据海参适宜的盐度范围进行调节。避免盐度因素对刺参生长造成的不利影响,降低刺参大面积死亡的概率。

2.2.4 提高现代养殖技术 在养殖过程中应当根据养殖水域的实际情况,制定合理的养殖模式,从放苗规格、密度、投饵量、水质交换、病害防治、日常管理等方面,形成一套完善的养殖技术方案(于会霆等,2004)。对夏季刺参大面积死亡做到预防与及时处理相结合,不断改进整体养殖、水质改善及病害防治等技术,构建刺参养殖新模式,实现精准管理及现代化养殖,保障刺参健康度夏。

①精准管理技术

夏季高温低氧期间要加强日常管理。适当增加巡池频率,观察水色、水位和透明度等变化,定期(3~5天)潜入水底检查刺参的摄食、生长、活动状态以及病害情况等,观察参体有无异常变化,做好记录并及时采取措施。及时移除死亡个体,减少溶氧消耗的同时以防感染其他健康刺参个体。此外,养殖过程中应控制刺参养殖容量,避免密度过大。一般情况下,刺参幼体培育密度应控制在0.5~1indi./mL,池塘养成期放苗密度应控制在8~15indi./m²(杨秀生等,2009)。养殖过程中尤其是在夏季,应适量投喂,避免过多饵料沉积在水底,加剧水底缺氧层的形成。同时定时清池、及时清板,防止玻璃海鞘(*Ciona intestinalis*)等生物与刺参竞争生存空间、溶氧及饵料等(卫广松和董美艳,2015)。

②水质改善技术

刺参养殖用水应严格以沙滤和300目网

滤处理(王印庚等, 2015)。定期使用底质改良剂及微生物制剂如光合细菌(photosynthetic bacteria, PSB)、有效微生物群(effective microorganisms, EM)等有益菌液, 以控制病原微生物数量并改善养殖水体环境。投放底质改良剂及微生物制剂需参考当地天气状况谨慎使用, 如光合细菌喜光, 适宜水温为 15~40℃, 最适水温为 28~36℃, 因此, 应避免在阴雨天或极度高温天气下使用。芽孢杆菌制剂降低亚硝酸盐效果较好, 但较为适合在 pH 偏低的水体中使用(冷忠业等, 2014)。过硫酸氢钾复合盐作为一种阴晴两用的水产养殖底改片, 不仅可以迅速降解水中氨氮、硫化氢, 改善底质环境, 还可增加底部溶氧, 提高底部氧化还原电位, 促进水体有益微生物生长, 因此在水产养殖方面具有很强的应用价值(宋海鹏, 2015)。刺参养殖全池亦可定期施用沸石粉、生石灰、生态宝等改良剂, 以迅速降低底质中氨氮、硫化氢等有害物质含量, 改良水质和底质生态环境(周维武, 2006)。但需谨慎使用, 防止破坏水体生态平衡。

③病害防治技术

在刺参养殖过程中, 尤其是夏季高温低氧极端天气下, 应定期测量水质指标及刺参生长情况等。将开始化皮、严重腐烂的个体与健康个体分类处理, 如药浴后另池暂养。在施用二氧化氯、聚维酮碘、二溴海因等消毒剂、抗生素或进行药浴时应注意用量、频率及养殖废水排放, 防止对生态环境产生不良影响。此外微生物生态技术和微生物制剂目前正逐步成为健康养殖中病害防治的重要方法。但仍需进一步开发适宜的微生物制剂种类, 提高其应用效果及加强应用指导, 并深入研究水体各项理化因子与微生物群落组成的相互关系, 以达到通过维持水体的微生态平衡来消除某些病害发生的环境条件的目的。

3 结论

综上所述, 夏季刺参大面积死亡并不是

单一因素导致的, 而是由以高温低氧为代表的综合因素共同作用的结果。因此, 为避免夏季刺参大面积死亡, 减少刺参养殖业的损失, 必须从多因素角度开展研究, 以更贴近自然海区与养殖池塘真实情况。在刺参养殖过程中也应规范操作, 做好调查及预警工作, 完善各项应对措施。同时通过提高应对理念、培育抗逆良种、开发及应用新型设备、完善应急处理方案、提升养殖技术等综合应对夏季极端天气的威胁, 以减少刺参夏季大面积死亡发生概率, 保障刺参健康度夏及刺参养殖业的良性发展。

参 考 文 献

- 包鹏云, 周德刚, 蒲红宇, 2011. 我国海参池塘养殖存在的问题及应对措施. 科学养鱼, (3): 3—5
- 边陆军, 代国庆, 2013. 我国海参养殖业可持续发展的制约因素及对策探讨. 中国水产, (1): 60—62
- 常亚青, 丁 君, 宋 坚等, 2004. 海参、海胆生物学研究与养殖. 北京: 海洋出版社, 1—364
- 陈 勇, 高 峰, 刘国山等, 2007. 温度、盐度和光照周期对刺参生长及行为的影响. 水产学报, 31(5): 687—691
- 陈 远, 陈 冲, 1992. 刺参幼参冬季陆上养殖试验. 水产科学, (4): 1—3
- 杜 佗, 2016. 刺参大水面养殖系统中菌群、藻相结构的季节变化与益生菌的初步筛选. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文, p14
- 范超晶, 2015. 中韩刺参(*Apostichopus japonicus*)杂交与自交子一代抗逆性比较及其甲基化分析. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文, p1
- 费聿涛, 2016. 刺参养殖环境微生物和理化因子与刺参病害发生关系的研究. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文, p7, 10
- 费聿涛, 李秋芬, 张 艳等, 2016. 池塘养殖刺参腐皮综合征发病环境因素分析. 中国水产科学, 23(3): 682—692
- 顾顺樟, 2007. 硫化物对中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)雌性亲体胁迫效应的研究. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, p2, 54
- 管越强, 裴素蕊, 李泽健, 2011. 急性硫化物胁迫对日本沼虾免疫和抗氧化系统的影响. 水生生态学杂志, 32(6): 89—94
- 管越强, 王慧春, 李 利, 2009. 硫化物胁迫对日本沼虾呼吸代谢和能量代谢酶的影响. 生态环境学

- 报, 18(6): 2017—2022
- 冷忠业, 车向庆, 吴庆东, 2014. 低盐度地区海参养殖存在的问题及建议. 科学养鱼, (8): 45—46
- 李倚慰, 2013. 海参养殖业迎来新拐点. 青岛财经日报. 2013-10-11(A17)
- 刘 彤, 王洪军, 李勃等, 2013. 底层微孔增氧设施在池塘养殖海参中的应用探索. 中国水产, (7): 73—74
- 刘 震, 于海川, 李有芳, 1995. 分布式过程控制系统在大电流稳流控制中的应用. 工业控制计算机, 8(1): 25—27
- 刘国山, 蔡星媛, 佟 飞等, 2014. 威海双岛湾人工鱼礁区刺参大面积死亡原因初探. 渔业信息与战略, 29(2): 122—129
- 刘洪展, 2013. 养殖仿刺参对环境因子和病原的免疫应答及抗病分子机理. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文, p2
- 刘洪展, 郑风荣, 孙修勤等, 2012. 氨氮胁迫对刺参几种免疫酶活性的影响. 海洋科学, 36(8): 47—52
- 刘石林, 茹小尚, 徐勤增等, 2016. 高温胁迫对刺参耐高温群体和普通群体主要免疫酶活力的影响. 中国水产科学, 23(2): 344—351
- 柳幼花, 陈仁收, 2015. 库区网箱养殖鱼类大面积缺氧死亡原因分析. 渔业致富指南, (7): 41—42
- 马悦欣, 徐高蓉, 常亚青等, 2006. 大连地区刺参幼参溃烂病细菌性病原的初步研究. 大连水产学院学报, (1): 13—18
- 茅国峰, 2014. 洋葱伯克霍尔德菌医院感染及耐药机制的研究进展. 中国消毒学杂志, (1): 57—59
- 农业部渔业局, 2015. 2015 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, p34
- 彭 斌, 2008. 滨海盐场养殖池塘底质硫化物的变化及其与其它因子的关系. 海洋湖沼通报, (3): 155—160
- 任利华, 姜 芳, 张秀珍等, 2015. 环境诱因引起大面积死亡背景下底播增殖仿刺参生物体优势菌分析. 水产科学, 34(12): 762—767
- 沈丽琼, 陈政强, 陈昌生等, 2007. 盐度对凡纳滨对虾生长与免疫功能的影响. 集美大学学报(自然科学版), 12(2): 108—113
- 宋海鹏, 2015. 复合过硫酸氢钾产品在水产养殖中的应用. 当代水产, (9): 68—71
- 隋锡林, 1990. 海参增殖. 北京: 中国农业出版社, 1—288
- 隋锡林, 邓 欢, 2004. 刺参池塘养殖的病害及防治对策. 水产科学, 23(6): 22—23
- 孙爱丽, 2014. 海参养殖池塘中几种大型藻类的危害及其防治措施. 水产养殖, 35(5): 28—29
- 孙虎山, 李光友, 1999. 栉孔扇贝血淋巴中 ACP 和 AKP 活性及其电镜细胞化学研究. 中国水产科学, 6(4): 6—9
- 孙明超, 2016. “高抗 1 号”新品系刺参的生产性状评价及抗高温机理研究. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文, p I, 2
- 王 摆, 陈 仲, 关晓燕等, 2016. 辽东湾仿刺参养殖池塘底质环境季节变化. 水产科学, 35(6): 607—612
- 王吉桥, 张筱墀, 姜玉声等, 2009a. 盐度骤降对幼仿刺参生长、免疫指标及呼吸树组织结构的影响. 大连水产学院学报, 24(5): 387—392
- 王吉桥, 张筱墀, 姜玉声等, 2009b. 盐度骤降对不同发育阶段仿刺参存活和生长的影响. 大连水产学院学报, 24(S1): 139—146
- 王金龙, 2017. 2016 年海参市场总结报告. 当代水产, (1): 36—38
- 王文青, 万明波, 孟祥新等, 2015. 2015 年夏季(6—8 月)山东天气评述. 山东气象, (3): 52—55
- 王业宏, 孟祥新, 万明波, 2014. 2014 年夏季(6—8 月)山东天气评述. 山东气象, (3): 73—75
- 王印庚, 方 波, 张春云等, 2006. 养殖刺参保苗期重大疾病“腐皮综合征”病原及其感染源分析. 中国水产科学, (4): 610—616
- 王印庚, 荣小军, 2004. 我国刺参养殖存在的主要问题与疾病综合防治技术要点. 齐鲁渔业, (10): 29—31, 4
- 王印庚, 荣小军, 张春云等, 2005. 养殖海参主要疾病及防治技术. 海洋科学, 29(3): 1—7
- 王雨霏, 张劲松, 石 峰等, 2013. 微孔增氧技术在海参池塘高产养殖中的应用. 河北渔业, (11): 28—29
- 王战蔚, 张译丹, 李秀颖等, 2013. 池塘中氨氮、亚硝酸盐的危害及控制措施. 吉林水利, (3): 39—40, 48
- 卫广松, 董美艳, 2015. 玻璃海鞘及其在海参苗种培育中的防治措施. 农民致富之友, (9): 104
- 吴进锋, 陈素文, 陈利雄等, 2006. 硫化物和氨对西施舌幼贝的毒性影响研究. 热带海洋学报, 25(1): 42—46
- 徐 贺, 陈秀梅, 王桂芹等, 2016. 低氧胁迫在水产养殖中的研究进展. 饲料工业, 37(2): 33—37
- 徐松涛, 赵 斌, 李成林等, 2017. 氨氮胁迫对不同规格刺参(*Apostichopus japonicus*)存活及非特异性免疫酶活性的影响. 渔业科学进展, 38(3): 172—179
- 杨 锋, 2014. 夏季高温期池塘缺氧浮头的正确解救方法. 科学养鱼, (8): 86
- 杨凤影, 张安国, 王维新等, 2012. 浅析环境因素对

- 刺参疾病发生的影响. 科学养鱼, (2): 54—55
- 杨红生, 霍 达, 许 强, 2016. 现代海洋牧场建设之我见. 海洋与湖沼, 47(6): 1069—1074
- 杨嘉龙, 周 丽, 绳秀珍等, 2007. 养殖刺参溃疡病病原菌RH2的鉴定及其生物学特性分析. 水产学报, (4):504—511
- 杨璐瑛, 刘 畅, 孟祥新等, 2016. 2016 年夏季(2016 年 6—8 月)山东天气评述. 山东气象, 36(3): 69—72
- 杨秀生, 王勇强, 樊 英等, 2009. 我国刺参养殖常见致病原因及防控要点. 齐鲁渔业, (9): 21—24
- 于东祥, 宋本祥, 1999. 池塘养殖刺参幼参的成活率变化和生长特点. 中国水产科学, 6(3): 110—111
- 于东祥, 张 岩, 陈四清, 2004. 养殖水体的双分层是海参发病的普遍原因. 齐鲁渔业, (8): 8—9, 4
- 尹 飞, 彭士明, 范 帆等, 2011. 硫化物急性毒性对曼氏无针乌贼幼体血液生理生化指标的影响. 安全与环境学报, 11(4): 9—13
- 于会霆, 徐振行, 刘勤燕等, 2004. 池塘海参养殖存在的问题和对策. 齐鲁渔业, (2): 25
- 于明志, 常亚青, 2008. 低温对不同群体仿刺参幼参某些生理现象的影响. 大连水产学院学报, 23(1): 31—36
- 臧元奇, 田相利, 董双林等, 2012. 氨氮慢性胁迫对刺参免疫酶活性及热休克蛋白表达的影响. 中国海洋大学学报, 42(S1): 60—66
- 张春云, 王印庚, 荣小军等, 2004. 国内外海参自然资源、养殖状况及存在问题. 海洋水产研究, 25(3): 89—97
- 张春云, 王印庚, 荣小军, 2006. 养殖刺参腐皮综合征病原菌的分离与鉴定. 水产学报, (1): 118—123
- 张福绥, 杨红生, 1999. 栉孔扇贝大规模死亡问题的对策与应急措施. 海洋科学, 23(2): 38—42
- 赵 欢, 刘石林, 杨红生等 2014. 刺参高温定向选育群体子一代耐温性状的分析. 海洋科学, 38(9): 1—6
- 赵永军, 张 慧, 2004. 不同温度下刺参对有机沉积物的摄食与吸收. 水产科学, 23(7): 1—4
- 中国科学院中国动物志编辑委员会, 1997. 中国动物志—棘皮动物门 海参纲. 北京: 科学出版社, p1—334
- 周维武, 2006. 暴雨对海参养殖环境的影响与应急对策. 科学养鱼, (11): 39
- An Z H, Dong Y W, Dong S L, 2009. A high-performance temperature-control scheme: growth of sea cucumber *Apostichopus japonicus* with different modes of diel temperature fluctuation. Aquaculture International, 17(4): 459—467
- Bagarinao T, Vetter R D, 1989. Sulfide tolerance and detoxification in shallow-water marine fishes. Marine Biology, 103(3): 291—302
- Brito R, Chimal M E, Rosas C, 2000. Effect of salinity in survival, growth, and osmotic capacity of early juveniles of *Farfantepenaeus brasiliensis* (Decapoda: Penaeidae). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 244(2): 253—263
- Helmuth B, Harley C D, Halpin P M et al., 2002. Climate change and latitudinal patterns of intertidal thermal stress. Science, 298(5595): 1015—1017
- Hochachka P W, Somero G N, 2002. Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution. Oxford: Oxford University Press, p1—480
- Riedel B, Zuschin M, Stachowitsch M, 2012. Tolerance of benthic macrofauna to hypoxia and anoxia in shallow coastal seas: a realistic scenario. Marine Ecology Progress Series, 458: 39—52
- Shang E H H, Wu R S S, 2004. Aquatic hypoxia is a teratogen and affects fish embryonic development. Environmental Science & Technology, 38(18): 4763—4767
- Tanaka Y, 1958. Seasonal changes occurring in the gonad of *Stichopus japonicus*. Bulletin of the Faculty of Fisheries Hokkaido University, 9(1): 29—36
- Torrans E L, Clemens H P, 1982. Physiological and biochemical effects of acute exposure of fish to hydrogen sulfide. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology, 71(2): 183—190
- Wu R S S, Zhou B S, Randall D J et al., 2003. Aquatic hypoxia is an endocrine disruptor and impairs fish reproduction. Environmental Science & Technology, 37(6): 1137—1141
- Yang H S, Hamel J F, Mercier A, 2015. The Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*: History, Biology and Aquaculture. Amsterdam: Academic Press, 39: 1—478

Analysis of Causes and Corresponding Strategies for Summer Massive Mortalities of Sea Cucumber

HUO Da^{1,2,3}, LIU Shi-Lin^{1,2}, YANG Hong-Sheng^{1,2*}

(1. CAS Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

* Corresponding author, E-mail: hshyang@qdio.ac.cn

Abstract The frequent, massive summer mortalities of sea cucumbers have caused considerable economic losses and resulted in a serious decline in resources, which in turn has restricted the sustainable development of the industry of sea cucumber. This study analyzed the causes of the massive summer mortality of sea cucumbers considering environmental factors (including high temperature, low dissolved oxygen, low salinity, sulfide, ammonia nitrogen, and decayed algae), germplasm, pathogen, and anthropic factors. Based on that the analysis results, we proposed the concepts of “construction engineering”, “farming mechanization”, “monitoring automation” and “intelligent management”. In addition, for ensuring the health of sea cucumber in summer, a series of corresponding strategies have to be implemented: for example, stress-resistant seed cultivation, sediment and water quality investigation, development of a comprehensive breeding system and risk pre-warning system, and improvement of an emergency plan and modern breeding technology.

Key words summer high temperature; low dissolved oxygen; sea cucumber; massive mortality