

中国海水养殖发展状况与养殖海域赤潮生态防治

Development of mariculture and ecological red tide prevention in the Chinese mariculture areas

杨宇峰¹, 姜 胜^{1,2}, 王朝晖¹, 聂湘平¹, Ik Kyo Chung³

(1. 暨南大学 水生生物研究所, 广东 广州 510632; 2. 广州市海洋监测中心, 广东 广州 510235; 3. Department of Marine Science, Pusan National University, Korea)

中图分类号: F307.4; S931.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2004)07-0071-05

随着中国经济和社会的发展, 陆地资源已难以满足人们对动物蛋白的需求。20 世纪 80 年代以来, 海水养殖业受到政府鼓励得以迅速发展, 中国现已成为世界上海水养殖产量最高的国家^[1,2]。随着海水养殖业的发展, 养殖海域富营养化和频发的赤潮等环境问题已成为海水养殖可持续发展的瓶颈。海域富营养化是赤潮发生的物质基础。要控制赤潮灾害发生的频率和减少赤潮灾害带来的损失, 必须有效控制海水富营养化。作者将就中国海水养殖发展状况和养殖海域富营养化及赤潮问题进行评述, 并对中国海水养殖海域赤潮生态防治提出对策和建议。

1 中国海水养殖发展状况

中国海水养殖活动通常在近海水深 15m 以内进行。最近几年, 海水养殖开始向 50m 水深扩展。养殖方式主要包括筏式养殖、底播增殖和网箱养殖等^[1]。养殖区域包括潮间带泥滩、浅海滩和海湾。据国家海洋局 2002 年海洋统计年鉴^[3]和农业部渔业局 1999 年水产品统计年鉴, 1961~2001 年间, 中国的水产养殖产量逐年增加(图 1)。20 世纪 60~70 年代, 年最高养殖产量尚不足 800 000 t。从 80 年代开始, 传统的水产养殖业已由小规模、分散经营向规模化、集约化方向发展。1985 年产量达到 1 246 500 t, 1995 年增加到 7 215 100 t, 2001 年达到 11 315 000 t。2001 年产量分别是 1961 年和 1985 年的 71.04 倍和 9.08 倍。与此同时, 由于没有注意海洋环境保护, 养殖海域污染严重, 一些养殖海湾无机氮含量甚至超过海水渔业水质的 10 多倍, 赤潮和大规模的病害频繁发生, 极大地制约了海水养殖业的持续发展^[4,5]。

中国海水养殖总产量在不断增加的同时, 主养

种类的产量也发生了重大变化。如 1967~1980 年, 大型海藻产量占我国海水养殖总产量的 50%~60%, 以海带产量最多, 1980 年达到 252 907 t(干质量)。由于鱼、虾、蟹和贝类养殖能给养殖业主带来较好的经济回报, 从 1981 开始, 大型海藻在养殖生产中的比重开始下降, 而经济动物养殖所占比重急剧上升, 经济动物的养殖已成为中国海水养殖业的重要支柱。

根据国家海洋局 2002 年海洋统计年鉴^[3]数据, 我国贝类养殖的年产量在 1999 年、2000 年和 2001 年分别达到 7 934 771 t, 8 607 050 t 和 9 112 435 t。3 年平均, 贝类、藻类(含微藻)、鱼类、虾类+螃蟹和其它产品的产量分别占总产量的 81.01%, 11.33%, 4.09%, 3.24%, 0.33%。大型海藻产量占海水养殖产量的比重由 1967~1980 年的 50%~60% 下降到 1999~2001 年不足 11.33%; 而贝类则高达 81.01%。在养殖面积方面, 养殖贝类的面积最高, 2001 年, 贝类养殖面积达到 797 000 ha。1999~2001 年, 贝类、虾蟹类、鱼类、藻类和其它种类的养殖面积分别占总面积的 64.03%, 21.97%, 6.27%, 4.64% 和 3.09%。从养殖产量和面积来看, 贝类养殖已成为我国海水养殖业的第一养殖类群。此外, 我国沿海地区海水养殖产量地域差异较大。1999 年、2000 年和 2001

收稿日期: 2004-05-28; 修回日期: 2004-05-31

基金项目: 科技部 973 项目(2002CB412409); 中韩国际合作项目; 暨南大学基金(692020)

作者简介: 杨宇峰(1963-), 男, 湖南常德人, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向: 海洋环境和水生生物, 电话: 020-85220239, E-mail: tyf@jnu.edu.cn

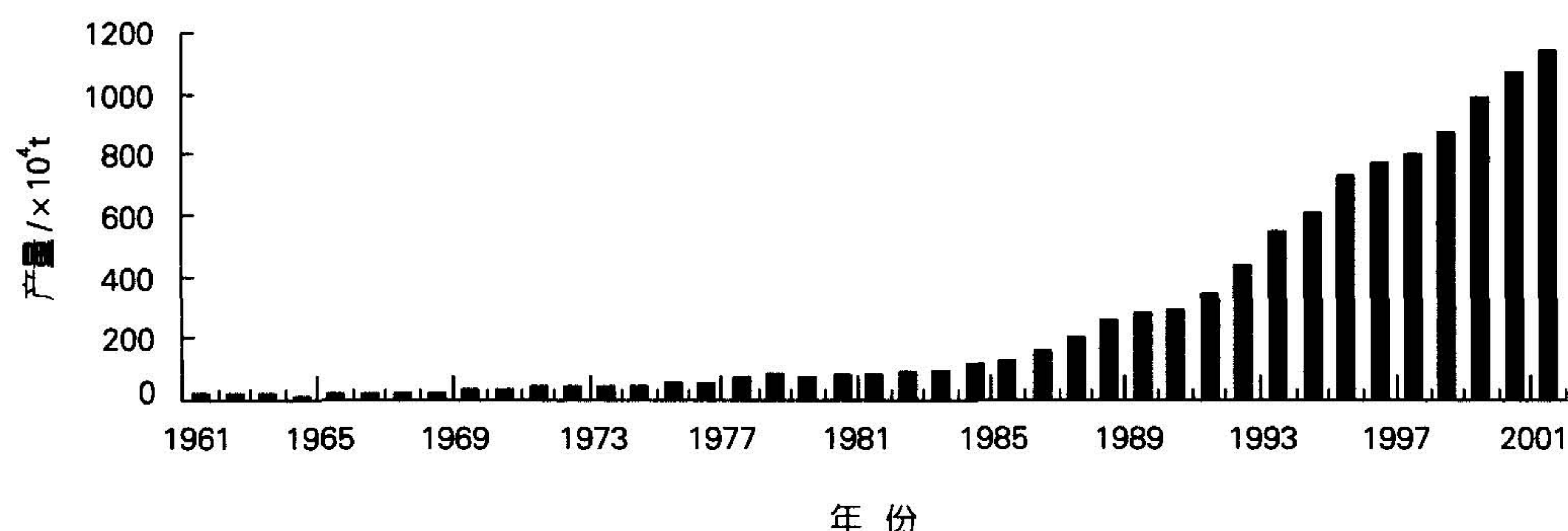


图1 中国海水养殖产量的长期变化

年,山东省的产量分别达到 2 697 852 t, 2 872 290 t 和 3 050 657 t, 海水养殖产量全国第一, 3 年平均产量占全国总产量的 27.22%; 福建省次之, 占 24.54%。产量排在前 5 位的还有广东、辽宁和浙江省。值得一提的是, 上述 5 省近海是中国赤潮多发海域^[6]。近海海域赤潮发生频繁, 可能与大规模海水养殖活动密切相关。

2 海水养殖与海域富营养化及赤潮发生的关系

海水养殖对环境的影响在很大程度上取决于养殖种类、模式、密度、饵料类型、养殖区水文条件和管理措施^[7]。随着我国海水养殖业的发展, 尤其是海水鱼类和对虾的高密度养殖, 养殖海域自身污染问题严重。

海水鱼类和对虾养殖过程中的自身污染物输出, 主要包括残饵、粪便和排泄物等。养鱼过程中以渔产品形式收获的营养物质一般仅占投喂食物营养物质总量的一小部分, 其余大部分均以不同的养殖废物(残饵、粪便和排泄物)形式(固态营养物或溶解态营养物)排入环境中。海水鱼类网箱养殖产生的固态营养物常沉积于水底, 使网箱底质中 C, N, P 等含量和耗氧量明显增加。沉积物中有机物的积累易形成缺氧层, 在缺氧条件下, 沉积物中释放的氨、硫化氢和甲烷严重威胁鱼类和其它海洋生物的生存, 溶氧低的底层海水上涌很容易导致鱼类死亡。此外, 鱼类养殖水域高浓度的氮、磷可加快浮游植物的生长, 浮游植物的快速生长有可能导致水华, 而水华中的有毒种类严重威胁鱼类生存, 藻类的死亡消耗水中的溶氧, 从而导致鱼类的伤害和死亡^[7-9]。在对虾养殖中, 人工投喂大量配合饲料和鲜活饵料, 往往造成投饵量偏大, 池

内残存饵料增多, 严重污染了养殖水质。研究表明, 养虾排出的氮、磷废物占投喂食物营养物质总量的 77% ~ 94%^[10]。此外, 虾池需要经常排换水, 导致大量污水排入海中, 这些带有大量残饵、粪便的水中含有氨氮、尿素、尿酸及其它形式的含氮化合物, 加速了海水富营养化进程, 为赤潮生物提供了适宜的营养环境。研究表明, 经济动物养殖水域的营养水平明显高于非养殖水域, 氮、磷及有机物质含量很高, 水体富营养化严重, 这为赤潮生物的大量繁殖和赤潮发生提供了重要的物质基础^[2,4,11]。经济动物养殖不仅造成海水营养盐含量增加, 而且导致营养盐结构发生改变, 从而引起浮游植物群落结构的变化。近年来我国近岸养殖区有毒有害鞭毛藻种类数量明显增加, 特别是从 20 世纪 90 年代中期以来, 我国沿海每年都有面积超过 1 000 m² 的有害鞭毛藻赤潮发生^[5,12]。

同样是养殖对象, 大型海藻在养殖环境中的作用和经济动物明显不同。养殖的鱼、虾、贝类属异养生物, 它们通过呼吸和排泄作用, 向水体释放 N, P 营养物质, 经济动物养殖是导致养殖海域富营养化的重要原因^[2,10]。而大型海藻通过其生理过程, 使海水中溶解态的 N, P 进入生物地化循环, 加速降解。许多研究证实大型海藻是近海环境中对 N, P 污染物非常有效的生物过滤器。据 Haglund 和 Pedersen 报道, 1 ha 海区每年可生产江蓠 258 t, 通过江蓠的收获, 可去除 N 1 020 kg 和 P 374 kg^[13]。另据 Troell 等研究, 江蓠与大麻哈鱼混养可去除鱼类养殖过程中排放到环境中的 50% ~ 95% 可溶性 NH₃^[14]。由此可见, 通过栽培大型海藻作为营养缓冲器(buffer of nutrients), 可平衡因经济动物养殖所带来的额外营养负荷, 能有效降低养殖海域 N, P 污染的风险和减轻富营养化^[16]。

3 养殖海域赤潮事件及危害

根据周名江等^[5]、齐雨藻等^[16]和近年来国家海洋局海洋环境公报数据,我国沿海从南海到渤海均有赤潮发生的记录。特别是80年代以来,我国沿岸赤潮灾害不断加重,有记录的赤潮达600多次。其中80年代发生赤潮75次,90年代为249次,到2000~2003年,4年时间即发生赤潮303次,2003年发生赤潮高达119次(图2)。我国沿海每年赤潮发生次数持

续增加,发生规模呈急剧扩大的趋势。对全国18个重点增养殖区的监测结果表明,养殖区水体富营养化严重,许多赤潮都发生在养殖区内及邻近海域。如福建厦门沿海养殖区、浙江象山港和岱山海水养殖区。浙江和福建沿海已成为21世纪中国赤潮发生频率最高的地区。养殖水域赤潮频繁发生,与80年代以来中国沿海地区海水养殖业的迅速发展而引起养殖水域自身污染有关。

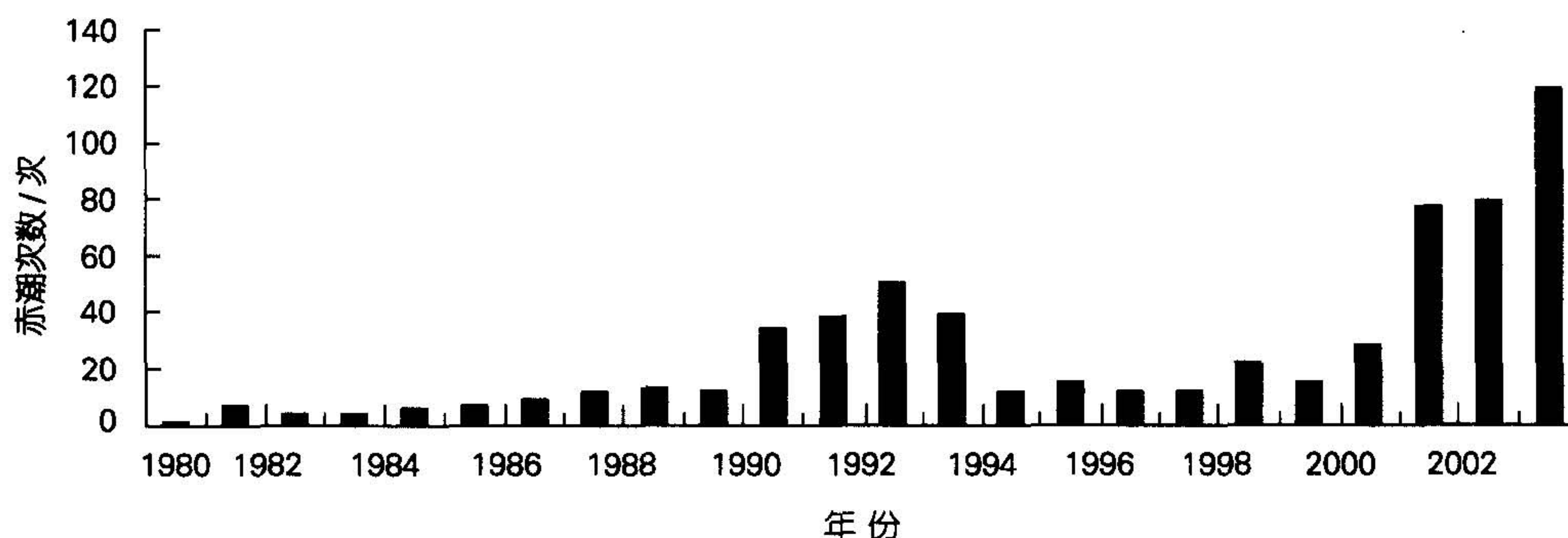


图2 1980~2003年中国沿海赤潮发生记录

赵冬至等通过对1933~2001年中国海域赤潮记录的统计分析,将中国赤潮划分为河口型、海湾型、养殖型、沿岸流型、上升流型和外海型6类。其中养殖型赤潮发生次数占赤潮总数的27%。养殖海域食物链趋向简单,生物多样性降低,系统自我调节和抵御外界扰动的能力减弱,容易发生赤潮。半个多世纪以来,养殖型赤潮有明显上升的趋势。如1933~1975年为5次,1986~1990年为27次,1996~2000年为39次,到2001年,一年就发生赤潮18次。这些养殖型赤潮多发生在辽宁省丹东市鸭绿江口至庄河市青堆子海域;山东省龙口至蓬莱海域和烟台海域;浙江省象山港、三门湾、福建省福宁湾、三沙湾和东山沿海、广东饶平和大亚湾养殖海域^[17]。

养殖区发生的赤潮不仅对养殖业造成严重损失,有的藻类能产生毒素并积累到贝类体内,从而引起食用者中毒甚至造成人员死亡。如1989年河北黄骅县近海发生赤潮,该县1733 ha虾池受灾,对虾减产1万t多,经济损失近2亿元^[5]。1997年11月发生在广东柘林湾养殖区及邻近海域的赤潮,导致数百吨养殖鱼类死亡,直接经济损失6000万元多。1998年3~4月发生在香港和广东海域的赤潮,香港26个海水养殖区有22个遭受损失,造成2500t鱼类死亡,直接经济损失2.5亿港元;广东海域死鱼260t,经济损失

4000万元多^[18]。2000年,辽宁、浙江发生的两次较大赤潮造成的渔业损失就达3亿元。而沿海地区因食用有毒贝类引起人员中毒伤亡的事件时有发生。如1986年12月发生在福建东山海域的赤潮,136人在食用受赤潮污染的蛤仔后,出现麻痹性贝毒中毒症状,其中1人死亡。中国由于有毒毒素造成的贝毒事件,已有1800多人中毒,至少造成30人死亡^[5,16,19]。

4 养殖区赤潮生态防治及大型海藻的作用

养殖海域富营养化、水中溶氧减少和频发的赤潮已成为阻碍海水养殖业持续发展和海洋资源可持续利用的严重环境问题^[10]。许多赤潮都发生在近岸海水养殖区及其邻近水域,因此,研究养殖水域高效去除N、P污染物的富营养化防治技术,对防治赤潮、维护近海生态系统健康和保障水安全具有重要的科学意义。要控制赤潮灾害发生的频率和减少赤潮灾害带来的损失,必须有效控制海水富营养化。目前对赤潮的防治主要采用化学方法。化学方法虽可有效抑制赤潮,但所施用的化学药剂会给海洋环境带来新的污染。现在,人们越来越重视生物防治技术的研究和应用。研究显示,大型海藻江蓠能加速中肋骨条藻赤潮

的消亡,避免赤潮消亡后水体缺氧,可有效减轻赤潮对环境的危害^[20]。孔石莼通过营养竞争和化学他感作用能抑制赤潮异湾藻和塔玛亚历山大藻生长^[21],上述研究证实了大型海藻在赤潮防治中的重要作用。此外,大型海藻还有较大的经济价值和其它环境性能。如海藻产品可加工成琼胶工业原料和食用。将大型海藻添加到土壤中,还能改善土壤有机物组成,增加土壤气孔的体积,有效改良土壤性能^[22]。大型海藻是非常重要的生态环境材料。

当前,国际上利用大型海藻和经济动物混养和套养的生态养殖模式受到推崇^[10,14]。栽培大型海藻的生产力通常比天然海区高得多。栽培的海藻在有大量N和P的水域生长良好。许多海藻只需经过几个月的生长就能形成相当高的生物量,同时大量的C、N和P被藻体吸收。当这些海藻被收获时,营养盐就从海水中转移到陆地^[23]。Schuenhoff^[24]等通过石莼和鱼类混养系统,发现石莼通过对氮的吸收,降低了氨的毒性,提高养殖系统的安全性。在维持水体溶氧方面,1 kg石莼产生的氧气能满足2 kg鱼对氧的需要^[15]。大型海藻与鱼混养是一种重要的清洁生产方式。

在大型海藻与鱼类共养的水体中,通过控制海藻的生物量,可有效地降低营养物的浓度,维持水体较高的溶氧量,降低鱼类发生窒息和水质恶化的危险性,从而保证养殖活动安全有序^[25]。在中国,根据养殖区的现状和特点,探索并实施在海水鱼、贝类养殖区混、套养大型海藻的技术,使养殖区动物性养殖和大型海藻栽培平衡发展,利用大型海藻的生物修复功能,改善养殖区的水环境质量,是实现中国海水养殖可持续发展的有效途径。大型海藻在维持健康的复合养殖系统方面有很重要的作用。

5 结语

20世纪80年代以来,中国海水养殖发展迅速,现已成为世界上海水养殖产量最高的国家。中国海水养殖总产量在不断增加的同时,主养种类产量在过去40年里也发生了重大变化。大型海藻产量由1967~1980年占海水养殖总产量的50%~60%下降到1999~2001年不足11.33%;而养殖贝类、虾蟹类和鱼类等经济动物所占的比重急剧上升,1999~2001年,贝类所占比重高达81.01%,经济动物养殖已成为中国海水养殖业的重要支柱。同样是养殖对象,大型海藻在养殖环境中的作用和经济动物明显不同。养殖的鱼、虾、贝类通过呼吸和排泄作用,向水体释放N、P营养物质,经济动物养殖是导致海域富营养化的重要原因。而栽培的大型海藻可以通过其生理过程,使海水

中溶解态的N、P进入生物地化循环,加速降解。许多研究证实大型海藻是养殖环境中对N、P污染物非常有效的生物过滤器。通过栽培大型海藻,可平衡因经济动物养殖所带来的额外营养负荷,能有效降低养殖海域N、P污染的风险和减轻富营养化,对防治赤潮有良好效果。海水养殖对环境的影响在很大程度上取决于养殖种类、模式、密度、饵料类型、养殖区水文条件和管理措施。只要加强海水养殖区的生态渔业管理,科学搭配养殖品种和密度,优化养殖生态系统结构,海水养殖业是可持续发展的。

养殖海域赤潮的形成、发生和防治是非常复杂的科学问题,它牵涉到海洋生物学、海洋生态学、物理海洋学、海洋管理和政府政策等多门学科和方面。因此,养殖海域赤潮防治应综合运用物理方法(如受污染底泥清除)、化学方法(化学药品杀除法、天然矿物絮凝法)和生物方法(如利用生态系统中生物之间的关系进行生态防治)。在养殖海域栽培大型海藻,除能有效降低养殖海域N、P营养负荷外,还能通过营养竞争和化学他感作用抑制海洋微藻的生长,加速赤潮藻的消亡、增加溶氧和改善水质,在维持健康复合养殖系统方面有很重要的生态作用。规模化栽培大型海藻是防治养殖海域赤潮的重要生态对策。

参考文献:

- [1] 刘丛力,刘世禄.我国海水养殖业发展现状与可持续发展问题[J].黄渤海海洋,2001,19(3):100-105.
- [2] Qian P Y, Wu M C S, Ni I H. Comparison of nutrients release among some maricultured animals [J]. *Aquaculture*, 2001, 200: 305-316.
- [3] 国家海洋局.中国海洋统计年鉴[M].北京:海洋出版社,2002. 61-81.
- [4] 贾晓平,蔡文贵,林钦.我国沿海水域的主要污染问题及对海水增养殖的影响[J].中国水产科学,1997,4(4):78-82.
- [5] 周名江,朱明远,张经.中国赤潮的发生趋势和研究进展[J].生命科学,2001,13(2):54-60.
- [6] 赵玲,赵冬至,张昕阳,等.我国有害赤潮的灾害分级与时空分布[J].海洋环境科学,2003,22(2):15-19.
- [7] Wu R S S. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future [J]. *Marine pollution Bulletin*, 1995, 31: 195-166.
- [8] Lam C W Y. Pollution effects of marine fish culture in Hongkong [J]. *Asian Marine Biology*, 1990(7): 1-7.
- [9] Wu R S S, Lam K S, Mackay D W, et al. Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: a case study of the sub-tropical environment[J]. *Marine Environmental Research*, 1994, 38: 115-145.

- [10] Troell M, Halling C, Neori A, *et al.* Integrated mariculture: asking the right questions[J]. **Aquaculture**, 2003, 226: 69 – 90.
- [11] Nishimura A. Effects of organic matters produces in fish farms on the growth of red tide algae *Gymnodinium* type '65 and *Chattonella antiqua* [J]. **Bulletin of the planktonology Society of Japan**, 1982, 29: 1 – 7.
- [12] 朱明远, 叶属峰, 李瑞香, 等. 2002 年东海区的赤潮发生[A]. 何建宗, 吕宋辉, 俞子修, 等. 南中国海红潮预防和管理的的前沿发展[C]. 香港: 南中国海赤潮学会, 2003. 35 – 40.
- [13] Haglund K, Pedersen M. Outdoor pond cultivation of the subtropical marine red alga *Gracilaria tenuistipitata* in brackish water in Sweden. Growth, nutrient uptake, co-cultivation with rainbow trout and epiphyte control [J]. **Journal of Applied Phycology**, 1993(5): 271 – 284.
- [14] Troell M, Ronnback P, Halling C, *et al.* Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture [J]. **Journal of Applied Phycology**, 1999(11): 89 – 97.
- [15] Neori A, Chopin T, Troell M, *et al.* Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture [J]. **Aquaculture**, 2004, 231: 361 – 391.
- [16] 齐雨藻. 中国沿海赤潮[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 1 – 348.
- [17] 赵冬至, 赵玲, 张丰收. 我国海域赤潮灾害的类型、分布与变化趋势[J]. 海洋环境科学, 2003, 22(3): 7 – 11.
- [18] Yang Z B, Hodgkiss I J. Hongkang's worst "red tide" – causative factors reflected in a phytoplankton study at Port Shelter station in 1998[J]. **Harmful Algae**, 2004(3): 149 – 161.
- [19] Zhu M J, Li J, Luckas B, *et al.* A recent shellfish toxin investigation in China[J]. **Marine pollution Bulletin**, 1999, 39: 331 – 334.
- [20] 汤坤贤, 袁东星, 林泗彬, 等. 江蓠对赤潮消亡及主要水质指标的影响[J]. 海洋环境科学, 2003, 22: 24 – 27.
- [21] Jin Q, Dong S. Comparative studies on the allelopathic effects of two different strains of *Ulva pertusa* on *Heterosigma akashiwo* and *Alexandrium tamarense* [J]. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 2003, 293: 41 – 55.
- [22] Haslam S F I, Hopkins D W. Physical and biological effects of kelp (seaweed) added to soil[J]. **Applied Soil Ecology**, 1996(3): 257 – 261.
- [23] 杨宇峰, 费修绠. 大型海藻对富营养化海区的生物修复研究进展[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(1): 53 – 57.
- [24] Schuenhoff A, Shpigel M, Lupatsch I, *et al.* A semi-recirculating integrated system for the culture of fish and seaweed[J]. **Aquaculture**, 2003, 221: 167 – 181.
- [25] Neori A, Krom M D, Ellner S P, *et al.* Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish – seaweed culture units[J]. **Aquaculture**, 1996, 141: 183 – 199.

(本文编辑: 刘珊珊)