

文章编号:1005-8737(2001)03-0086-04

## 海水网箱渔场老化风险初探

甘居利, 贾晓平, 林 钦, 李纯厚

(中国水产科学研究院 南海水产研究所, 海洋渔业生态环境与污染监控技术重点实验室, 广东 广州 510300)

**摘 要:** 根据网箱渔场老化的主要特征, 并参照渔业环境标准, 半定量地描述海水网箱渔场老化程度和风险大小, 初步建立了渔场老化风险评价方法。实例分析表明渔场老化程度、风险大小与海水养殖所受污染损害基本一致。

**关键词:** 海水网箱养殖; 渔场老化; 污染程度; 风险评价

**中图分类号:** S945.1

**文献标识码:** A

人们已经注意到网箱渔场的老化问题<sup>[1~4]</sup>, 但对此产生的生态环境风险尚无明确清晰的认识。网箱渔场的开发、建设和养殖生产都亟需树立风险意识, 进行风险分析和实施风险管理。因此, 本文在以往南海区网箱渔场老化特征研究的基础上, 初步探讨海水网箱渔场老化的风险及其评估方法。这对老化渔场生态环境的修复与重建, 对海水网箱养殖的健康、稳定和可持续发展是一件有意义的工作。

### 1 渔场老化特征和风险

研究表明, 不论养殖的品种如何, 网箱养殖都会程度不同地增加水体的污染负荷<sup>[3]</sup>。一般说来, 网箱区水质溶解氧(DO)低于对照区, 无机氮(IN)、磷酸盐( $\text{PO}_4 - \text{P}$ )、化学耗氧量(COD)高于对照区; 网箱区底质中硫化物、有机质、氮或磷含量在网箱外略高, 比对照区有显著的增加。

南海区网箱渔场的老化主要表现在水体营养指数的相对偏高, 下层水体贫氧, 表层沉积物中硫化物、有机质、氮和磷不断积累, 并达到很高的含量<sup>[4~8]</sup>。根据这些特征进行推测, 老化网箱渔场面临环境风险, 并且风险会随着老化程度的加深而加

大。渔场老化的风险主要是: 水中溶解氧不足会制约鱼类的正常生长, 严重时甚至造成缺氧死鱼<sup>[9~10]</sup>; 营养指数偏高说明水体中氮、磷、有机物等超过了水生生物正常生长的需要量, 给水体富营养化和赤潮生物大量繁殖创造了物质条件<sup>[11]</sup>; 沉积物中积累过多的硫化物、有机质、氮和磷, 好似在网箱下方海底的污染源“仓库”, 源源不断地向网箱中重新释放污染物。

### 2 评价因子及其评价标准

根据上述研究成果, 本文选择水质 DO、IN、 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 、COD 和底质硫化物、有机质等主要影响因子, 作为网箱渔场老化风险评估的环境因子, 其采样和分析可按文献<sup>[12]</sup>进行。应用中国、日本和前苏联的有关渔业环境标准<sup>[13~15]</sup><sup>1), 2)</sup> 作为评价标准(表1), 底质中的氮、磷目前尚无评价标准, 故未列入。

表 1 几个影响因子的渔业环境标准

Table 1 Fishery environment standards for several factors

| 介质 Medium    | 渔业环境标准 Standard of fishery environment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水 Water      | $\text{DO} > 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[13]</sup> , $\text{DO} > 6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>1)</sup> ,<br>$\text{COD} < 2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[14]</sup> , $\text{IN} < 0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[14]</sup> , $\text{PO}_4 - \text{P} < 0.015 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[14]</sup> |
| 沉积物 Sediment | 硫化物 Sulfide $< 200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (干重 Dry weight) <sup>2)</sup> , 有机质 Organic carbon $< 2\%$ (干重 Dry weight) <sup>2)</sup>                                                                                                                                                                                                            |

1) 前苏联(防止污染地面水的规程)附录 3—渔业水域水质要求。

2) 日本水质资源保护协会. 日本渔业水质基准. 1995 年版。

收稿日期: 2000-11-13

基金项目: 国家“九五”科技攻关资助项目(96-008-03-04)

作者简介: 甘居利(1959-), 男, 副研究员, 从事渔业生态环境污染监控与保护的研究。

### 3 风险性和老化程度分级

为了对海水网箱渔场老化程度或环境风险进行定量或半定量的描述,本文按参考文献[15]的海洋水体环境质量分级方法,并结合老化渔场环境的特

点提出表 2 所示分级方法。IN、PO<sub>4</sub>-P、COD 和底质硫化物、有机质等因子,用质量指数法分级,对 DO 依其浓度和饱和度(%)分级。如:5≤DO<6 为 1 级,或者当 DO≥6,并满足 110≤O<sub>2</sub>%<120,风险级也为 1 级。

表 2 风险大小与老化程度分级对照表

Table 2 Relationship between the risk and the quality indexes of cage culture environment

| 风险性 Risk                              | 无 No  | 极低 Very low    | 低 Low      | 中 Middle   | 高 High     | 极高 Very high    |
|---------------------------------------|-------|----------------|------------|------------|------------|-----------------|
| 老化程度 Aging degree                     | 未 No  | 极轻 Very slight | 轻 Slight   | 中 Middle   | 重 Serious  | 极重 Very serious |
| 风险级 Risk grade                        | 0     | 1              | 2          | 3          | 4          | 5               |
| DO/(mg·L <sup>-1</sup> )              | -     | ≥5, <6or       | ≥4, <5or   | ≥3.5, <4or | ≥3, <3.5or | ≤3or            |
| O <sub>2</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> ) | ≥6and | ≥6and          | ≥6and      | ≥6and      | ≥6and      | ≥6and           |
| O <sub>2</sub> /%                     | <110  | ≥110, <120     | ≥120, <130 | ≥130, <135 | ≥135, <140 | ≥140            |
| 质量指数 Quality index                    | <0.5  | ≥0.5, <0.75    | ≥0.75, <1  | ≥1, <1.5   | ≥1.5, <2   | ≥2              |

老化渔场的综合风险级在单因子分级的基础上进行,计算方法如下:

$$GRG = RG_{\text{水质}} \times f_{\text{水质}} + RG_{\text{底质}} \times f_{\text{底质}}$$

$$RG_{\text{水质}} = RG_{\text{DO}} \times f_{\text{DO}} + RG_{\text{COD}} \times f_{\text{COD}} + RG_{\text{N}} \times f_{\text{N}} + RG_{\text{P}} \times f_{\text{P}}$$

$$RG_{\text{底质}} = RG_{\text{硫化物}} \times f_{\text{硫化物}} + RG_{\text{有机质}} \times f_{\text{有机质}}$$

式中:RG—单因子风险级别(划分如表 2);GRG—综合风险级别,按“四舍六入五成双”的有效数字修约规则保留整数; $f$ —权重,对水生生物有直接或速效影响的环境介质或评估因子<sup>[9,10]</sup>,权重较大,各环境介质或环境参数的相对权重如表 3。

表 3 环境介质或影响因子的权重(相对值)

Table 3 The correct coefficient of environmental media or affecting factors(relative value)

| 符号 Symbol          | $f_{\text{水质}}$ | $f_{\text{底质}}$ | $f_{\text{DO}}$ | $f_{\text{COD}}$ | $f_{\text{N}}$ | $f_{\text{P}}$ | $f_{\text{硫化物}}$ | $f_{\text{有机质}}$ |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|
| 相对值 Relative value | 0.6             | 0.4             | 0.4             | 0.2              | 0.2            | 0.2            | 0.4              | 0.6              |

### 4 渔场老化风险分析实例

用上述方法对广东几个渔场的老化程度和环境风险进行评估,结果表明,老化程度越高或环境风险越大,环境污染给海水养殖造成的损害越严重(表 4)。表 4 所列的几个海湾都曾是广东省传统的水产养殖区,近十年因渔场老化和其周围海域环境的变化,水产养殖功能逐步衰退,已成为广东的赤潮多发海域。

珠江口牛头岛的深湾,附近没有任何工业和人群居住区,湾内水深 4~6 m,养殖网箱最多时达 1 300 多个,养殖密度较大。1985~1992 年深湾网箱渔场底质中硫化物不断积累,其含量从不足 100 mg/kg 增加至 700 mg/kg,呈明显增高的趋势。1991~1993 年,该水域发生鱼类缺氧多次,大量死鱼 2 次,湾内海水 DO 在小潮期平均为 3.58 mg/L,最低时仅 1.36 mg/L<sup>[4]</sup>。1993 年以来,该湾网箱养殖逐年减少(表 4 中列出的是据 1992 年的调查结果换算的老化风险)。

粤东柘林湾是华南重要的网箱养殖基地,在 1988~1992 年发展很快。1993~1997 年,该湾网箱渔场鱼类浮头、死亡时有发生,发生频率和死鱼数量呈逐年增长的趋势。最为严重的是 1997 年 11 月 27 日至 1998 年 1 月 6 日,因缺氧和赤潮造成 170 万 m<sup>2</sup> 养殖水面和 9 400 格网箱受损,二者共减产约 6 000 t,直接经济损失 6 000 多万元<sup>[16]</sup>。1998 年 7 月的调查表明,该湾西澳渔场网箱海水 DO 含量明显低于对照区,网箱区底层水 DO 平均不到 4 mg/L,且海水中 PO<sub>4</sub>-P 浓度、沉积物中有机质和硫化物含量明显高于对照区<sup>[6]</sup>。1999 年 7 月中旬该湾约 10 km<sup>2</sup> 海面被赤潮污染,网箱养殖受到严重威胁<sup>1)</sup>。

又如,深圳市大鹏湾盐田附近和深圳湾前海附近海域水产养殖曾很兴旺,包括网箱养鱼、池塘养虾和浮筏吊养牡蛎。近年因渔场老化,加之港口和沿岸工业区的扩展,两区目前已不能进行网箱养鱼,虾和牡蛎的养殖范围大大缩小,其质量和单位面积产量呈降低之势(表 4 中列出的是据 1993 年 4 月下旬

1)中央电视台 1999 年 7 月 15 日晚间新闻报道。

盐田和1998年5月中旬后海的调查结果<sup>[11,18]</sup>换算 的老化风险)。

表4 网箱渔场海域老化风险评估实例

Table 4 Application examples of the risk evaluating in aged cage culture areas

| 海域<br>Areas                                        | 环境介质<br>Media             | 评估参数及其平均值<br>Factors and the mean                 | 指数<br>Index | 级别<br>Grade | 风险大小<br>Risk grade | 现场概况<br>Field situation                                                        | 文献<br>Reference |
|----------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 深湾网箱区<br>The cage area in<br>Shenwan Bay           | 海水 Seawater               | DO 358 mg·L <sup>-1</sup>                         | —           | 3           | 中 Middle           | 曾数次缺氧死鱼<br>Fish stifled<br>or died, happened<br>several times                  | [4]、[7]         |
|                                                    | 沉积物 Sediment              | 硫化物 Sulfide 750 mg·kg <sup>-1</sup>               | 3.75        | 5           | 极高 Very high       |                                                                                |                 |
|                                                    |                           | 有机质 Organic C 22 %                                | 1.1         | 3           | 中 Middle           |                                                                                |                 |
|                                                    | 底质综合 General sediment     |                                                   | —           | 4           | 高 high             |                                                                                |                 |
| 柘林湾网箱养殖区<br>The cage culture area<br>in Zhelin Bay | 海水 Seawater               | DO 4.44 mg·L <sup>-1</sup>                        | —           | 2           | 低 Low              | 部分箱中鱼浮头,<br>个别箱中少量死鱼。<br>Some fish stifled<br>or died in some<br>culture cages | [6]             |
|                                                    |                           | COD 1.52 mg·L <sup>-1</sup>                       | 0.76        | 2           | 低 Low              |                                                                                |                 |
|                                                    |                           | IN 0.151 mg·L <sup>-1</sup>                       | 0.76        | 2           | 低 Low              |                                                                                |                 |
|                                                    |                           | PO <sub>4</sub> -P 0.021 mg·L <sup>-1</sup>       | 1.40        | 3           | 中 Middle           |                                                                                |                 |
|                                                    | 沉积物 Sediment              | 硫化物 Sulfide 476 mg·L <sup>-1</sup>                | 2.38        | 5           | 极高 Very high       |                                                                                |                 |
|                                                    |                           | 有机质 Organic C 215 %                               | 1.08        | 3           | 中 Middle           |                                                                                |                 |
|                                                    | 海域综合 General area         |                                                   | —           | 3           | 中 Middle           |                                                                                |                 |
| 柘林湾网箱养殖区<br>The same as above                      | 海水 Seawater               | DO 10.7 mg·L <sup>-1</sup> , O <sub>2</sub> % 142 | —           | 5           | 极高 Very high       | 赤潮盛期, 网箱中鱼类部分或全部死亡<br>Some fish died in red tide                               | [11]            |
|                                                    |                           | COD 4.5 mg·L <sup>-1</sup>                        | 2.25        | 5           | 极高 Very high       |                                                                                |                 |
|                                                    |                           | IN 0.239 mg·L <sup>-1</sup>                       | 1.20        | 3           | 中 Middle           |                                                                                |                 |
|                                                    |                           | PO <sub>4</sub> -P 0.026 mg·L <sup>-1</sup>       | 1.73        | 4           | 高 High             |                                                                                |                 |
|                                                    | 海水综合 General of sea water |                                                   | —           | 4           | 高 High             |                                                                                |                 |
| 深圳湾前海附近海域<br>Houhai of Shenzhen Bay                | 海水 Seawater               | DO 7.04 mg·L <sup>-1</sup> , O <sub>2</sub> % 161 | —           | 5           | 极高 Very high       | 赤潮盛期, 已无网箱养殖<br>No cage culture                                                | [16]            |
|                                                    |                           | COD 8.7 mg·L <sup>-1</sup>                        | 4.35        | 5           | 极高 Very high       |                                                                                |                 |
|                                                    |                           | IN 0.685 mg·L <sup>-1</sup>                       | 3.42        | 5           | 极高 Very high       |                                                                                |                 |
|                                                    | 海水综合 General sea water    | PO <sub>4</sub> -P 0.024 mg·L <sup>-1</sup>       | 1.60        | 4           | 高 High             |                                                                                |                 |
| 深圳大鹏湾盐田附近海域<br>Yantian of Dapeng Bay               | 海水 Seawater               | DO > 7. mg·L <sup>-1</sup> , O <sub>2</sub> % 155 | —           | 5           | 极高 Very high       | 赤潮盛期, 虾场不能纳潮进水<br>Shrimp faced death in red tide                               | [11]            |
|                                                    |                           | COD 0.93 mg·L <sup>-1</sup>                       | 0.47        | 0           | 无 No               |                                                                                |                 |
|                                                    |                           | IN 0.270 mg·L <sup>-1</sup>                       | 1.35        | 3           | 中 Middle           |                                                                                |                 |
|                                                    |                           | PO <sub>4</sub> -P 0.019 mg·L <sup>-1</sup>       | 1.27        | 3           | 中 Middle           |                                                                                |                 |
|                                                    | 海水综合 General sea water    |                                                   | —           | 3           | 中 Middle           |                                                                                |                 |

## 5 讨论

海水中 DO 质量浓度不宜低于 5 mg/L, 但并非越高越好。据报道, DO 浓度和氧饱和度过低或过高, 鱼类生长都会受阻, 甚至得气泡病<sup>[9]</sup>。1993 年 5 月 16 日赤潮盛期, 大鹏湾盐田海域表、底层 DO 高达 8.68、6.60 mg/L, 表、底层 O<sub>2</sub> % 高达 170、140<sup>[11]</sup>。柘林湾、大鹏湾和深圳湾平时 DO 浓度经常偏低, 发生赤潮期间 DO 和 O<sub>2</sub> % 异常偏高, 并与浮游植物、叶绿素 a 浓度正相关<sup>[11,16]</sup>。为此, 本文首次指出, 在近岸海湾或在赤潮易发海域, 当 DO 质量浓度高于 6 mg/L 时不可盲目乐观, 而应同时监测 O<sub>2</sub> %, 密切注意赤潮灾害。所以, 表 2 的分级方法将 O<sub>2</sub> % 作为 DO 这一参数的重要附加条件。

网箱养殖场的老化特征, 在很大程度上也具有近岸海湾其他养殖海域的环境特征。因此, 上述评估方法可适当扩大应用范围。但是, 在一些湖泊、水

库中, 网箱区与对照区不仅 DO、COD、IN、PO<sub>4</sub>-P、硫化物、有机质存在明显差别, 水色、透明度、悬移物质和浊度也有较明显差别<sup>[2]</sup>, 河口、港湾、锚地附近的养殖区可能受重金属、石油烃等的影响, 这就应当调整风险评估因子。

通过定量或半定量分析, 比之超标评价法更能反映渔场老化程度, 并由此区分老化的主要风险因子和次要风险因子, 便于目标明确地提出延缓渔场老化速度、改善渔场环境的措施, 从而重点突出、主次分明地进行风险管理。

以上风险分析和评估方法简单易学, 便于掌握, 以及在基层渔业环境监测部门推广应用。但养殖环境的影响因素十分复杂, 其科学性、合理性还需要完善, 其实用性还需在更多评估实践中检验。

## 参考文献:

- [1] Gowen R J, Bradbury N B. The ecological impact of salmonid farm-

- ing in coastal waters; a review[J]. Oceanography and Marine Biology Annual Review, 1987, 25: 563-575.
- [2] 吴庆龙, 陈开宁, 高 光, 等. 大水面围网精养对水环境的影响及其对策[J]. 水产学报, 1995, 19(4): 343-349.
- [3] 刘家寿, 崔奕波, 刘建康. 网箱养鱼对环境影响的研究进展[J]. 水生生物学报, 1997, 21(2): 174-184.
- [4] 何国民, 卢婉娴, 刘豫广, 等. 海湾网箱鱼场老化特征分析[J]. 中国水产科学, 1997, 4(5): 76-79.
- [5] 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.
- [6] 林 钦, 李纯厚, 林燕棠, 等. 柘林湾网箱养殖对周围海域环境的影响. 华南师范大学学报[J](增刊): 1998, 36-46.
- [7] 王小平, 蔡文贵. 深湾网箱养殖沉积物中全氮、有机碳和有机质的分布. 湛江海洋大学学报[J], 1998, 18(3): 75-78.
- [8] 杨美兰, 钟 彦, 林燕棠, 等. 大鹏湾南澳网箱养殖水域的氮、磷含量特征[J]. 热带海洋, 1998, 17(2): 74-80.
- [9] 柯清水. 水产养殖的生命元素-溶氧[J]. 养鱼世界, 1998, (10): 15-18.
- [10] 王肇鼎, 练健生. 影响浅海网箱养殖鱼类生长的因素分析[J]. 水产学报, 1999, 23(3): 200-203.
- [11] 林永水. 近海富营养化与赤潮研究[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 82-87.
- [12] 国家海洋局. 《海洋监测规范》[S]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [13] GB11607-1987, 渔业水质标准[S].
- [14] GB3097-1997, 海水水质标准[S].
- [15] 李仲钦, 陈冠平. 南海近岸水质量状况和变化趋势[J]. 南海研究与开发, 1998, (1): 15-23.
- [16] 梁 松. 南海资源与环境研究文集[C]. 广州: 中山大学出版社, 1999. 236-249.

## A Primary Study on the risk evaluation of aged cage culture areas

GAN Ju-li, JIA Xiao-ping, LIN Qin, LI Chun-hou

(South China Sea Fisheries Research Institute, Key Laboratory of  
Marine Fishery Ecology Environment and Pollution Monitoring & Control Technique,  
Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** For sustainable development of cage culture, the environmental risk and main affecting factors were revealed based on the pollution characteristics in aged cage culture areas. The aging degree and risk grade were semi-quantitatively described according for the standards about fishery environment, and a method for the risk evaluation was created. In several application examples, the aging degree and risk grade were determined basically according to the marine-culture damage by pollution degree.

**Key words:** sea water cage culture; pollution grade; risk evaluation

### 欢迎订阅 2002 年《中国渔业经济》杂志

《中国渔业经济》是在理事会的领导下,由中国水产科学研究院等单位主办、国内外公开发行的渔业经济学术刊物。长期以来,本刊为水产界的行政管理、生产经营、科研教学服务,是渔业管理、科研、技术推广等部门以及大专院校、企事业单位从事渔业指导性研究的重要参考读物和宣传媒体。本刊主要宣传我国渔业经济发展的方针、政策;进行学术交流,报道深化改革、持续发展等方面的热点、难点问题,以及国内外渔业经济技术方面的动态与信息;同时也对水产品市场的现状和前景进行分析和预测。设有权威论坛、理论探讨、调研园地、专题报道、渔业发展战略、改革之窗、生态经济、资源经济、技术经济、科技成果转化、明星企业、营销策略以及市场信息等栏目。本刊还承办各类渔业产品广告和外商来华广告,欢迎中外企业惠顾。

本刊为双月刊,大 16 开,56 页,12 页彩页,彩封。每期定价 5.00 元,全年 30.00 元。邮发代号:18-157,各地邮局均可订阅。读者也可向编辑部直接订阅,通过银行或邮局汇款至编辑部。开户银行:北京工商银行永定路分理处,帐号:144428 28,户名:中国水产科学研究院。

地址:北京市丰台区永定路南口青塔村 150 号

邮政编码:100039 联系电话:(010)68673921 联系人:冯庚菲。