

文章编号: 1000-0615(2003)06-0570-05

大鹏澳网箱养殖区底质硫化物分布、变化和污染分析

甘居利, 林 钦, 黄洪辉, 蔡文贵, 杨美兰, 王增焕, 吕晓瑜, 贾晓平

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

摘要: 为进一步了解粤东海水网箱渔场硫化物污染特征, 研究了大鹏澳网箱养殖海域底质硫化物的空间分布、季节变化和污染状况。结果表明, 底质硫化物含量 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 干重) 在网箱区内 (为 344 ~ 949, 平均 624) 远高于网箱区外 (为 142 ~ 278, 平均 212), 春夏季 (平均 694) 显著高于秋冬季 (平均 554) ($P < 0.02$)。研究海域底质硫化物含量与有机质含量正相关 ($r = 0.704$, $P < 0.05$), 其中夏季相关最显著 ($r = 0.818$, $P < 0.02$)。硫化物平均污染指数 1.57, 老化风险级别为 4 级, 说明沉积环境已达到重污染, 已面临很大的老化风险。

关键词: 网箱养殖; 硫化物; 空间分布; 季节变化; 污染分析

中图分类号: S962.3+2 **献标码:** A

Distribution, variation and pollution of the sulfide in surficial sediment at cage culture area in Dapengao Bay

GAN Ju-li, LIN Qin, HUANG Hong-hui, CAI Wen-gui, YANG Mei-lan,

WANG Zeng-huan, LU Xiao-yu, JIA Xiao-ping

(South China Sea Fisheries Institute, Chinese Academy of Fisheries Science, Guangzhou 510300, China)

Abstract: In order to deeply know the sulfide pollution characteristics at sea water cage culture area in east Guangdong Province, the spatial distribution, seasonal change and pollution assessment of sulfide in the sediment at cage culture area of Dapengao Bay were studied. The result indicated that there were sulfide contents ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, dry weight) from 344 to 949 with average of 624 inside the cage area, which were much higher than those from 142 to 278 with average of 212 outside the cage area. The sulfide content inside the cage area in autumn and winter was higher than that in spring and summer ($P < 0.02$), the mean value was 694 and 554 respectively. The sulfide contents positively related to organic carbon percentage within the sediment ($r = 0.704$, $P < 0.05$), especially in summer ($r = 0.818$, $P < 0.02$). The average pollution index was 1.57 and the risk grade of degradation was 4, indicating that the sediment of the cage culture area has seriously been contaminated and has already faced high degradation risk.

Key words: cage culture; sulfide; spatial distribution; seasonal change; pollution analyses

近十年浅海网箱养殖发展很快, 但渔场“老化”问题越来越突出, 且直接影响生产。“老化”的主要症结是底质硫化物的积累^[1-3]。过去对南海北部网箱渔场底质硫化物的研究内容, 主要是污染状况和空

收稿日期: 2002-10-08

资助项目: 科技部社会公益研究专项基金 (2001-183)、国家“十五”计划攻关项目 (2001BA505B0201)、中国水产科学研究院重点科研计划项目 (2001-4-3)

作者简介: 甘居利 (1958-), 男, 四川富顺人, 副研究员, 从事渔业生态环境污染监控与保护的研究。Tel: 020-84195173

通讯作者: 林 钦 (1956-), 男, 广东海丰人, 研究员, 从事渔业生态环境保护的研究。Tel: 020-84198473, E-mail: scsfems@sti.gd.cn

间分布^[1-3],但是对季节变化、污染物来源的分析目前还鲜见报道。探索网箱养殖海域底质硫化物的含量水平、污染现状、污染来源、分布特点和变化规律,对网箱养殖的健康发展有实际意义,对网箱养殖海域生态环境的修复与重建有学术价值。

大鹏澳是深居粤东大亚湾西南侧的一个半封闭型溺谷湾,其面积仅占大亚湾的2.3%(约14km²),平均水深约7m,海况和气候条件适合鱼、虾、贝类的增养殖,被列为广东沿岸二类海水增养殖区之一。大鹏澳鱼类网箱生产管理比较粗放,养殖鱼排由个体户承包,渔民通常直接将小杂鱼投喂给成鱼,将小杂鱼剁碎后喂幼鱼,在此过程中,部分饵料直接掉落箱底,沉入海中。因而,很有必要研究大鹏澳网箱渔场底质“老化”特征。

1 材料和方法

按《海洋监测规范》^[4]进行采样和测定。采样区域及采样站位见图1,其中1~5号站位位于网箱养殖区内,6号站、7号站、8号站距网箱区分别约800m、600m、700m。

2001年6月、9月、12月和2002年4月,用大洋型采泥器采集表层沉积物样品,装入玻璃瓶,密封。测定硫化物的样品,在现场加醋酸锌溶液进行固定,然后与测有机质、粒度组成的样品一起运回实验室备用。

取沉积物湿样,用碘量法测定硫化物(以S⁻²计)含量、用重铬酸钾氧化-还原法测定有机质含量,检出限分别为4.0 mg·kg⁻¹、0.02%(干重,下同),用原子吸收分光光度法测定重金属含量,每份样品平行测定2次,结果取算术平均值。在硫化物样品测定中用标准物质插入内控样,并做加标回收实验,加标回收率为85%~93%,内控样测定误差均小于±2%。硫化物有证标准物质由中国标准物质研究开发中心提供。另取沉积物干样,用筛分-称重法进行粒度组成分析。

2 结果和讨论

2.1 硫化物含量的平面分布特征

硫化物含量在网箱区内明显高于网箱区外,平均相差近2倍。网箱区内(图2中1~5号测站)为344~949(平均624)mg·kg⁻¹,最高值、最低值分别出现在夏季3号、4号测站。网箱区外(图2中6~8号测站)为142~278(平均212)mg·kg⁻¹,最高值、最低值分别出现在7号测站的春季、夏季。可见本研究海域硫化物含量的平面分布特征是:网箱区内外差异明显,这与广东沿岸其它海域相关的研究结果一致。比如:位于珠江口的几个海水网箱渔场,硫化物含量在网箱区内比在对照区高0.8~8倍^[1]。柘林湾网箱海域硫化物含量在网箱区内为162~652(平均476)mg·kg⁻¹,区外约800m处为124~412(平均266)mg·kg⁻¹,平均相差近2倍^[5]。

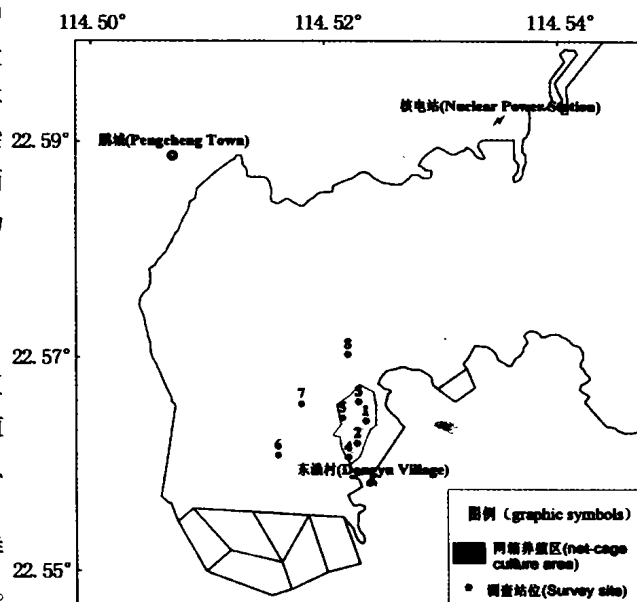


图1 采样站位

Fig.1 Sketch map of sampling sites

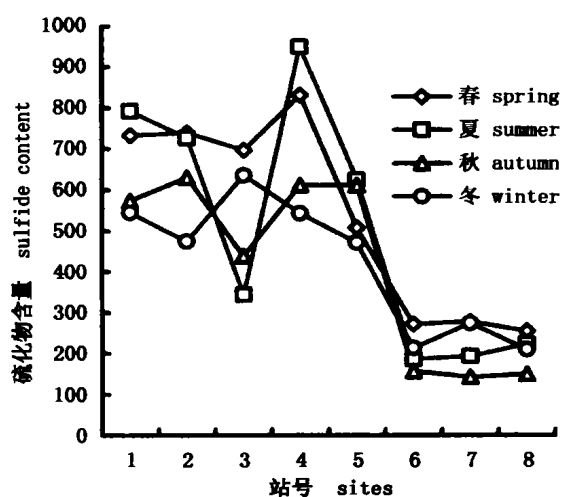


图2 不同测站底质硫化物含量(mg·kg⁻¹)

Fig.2 Sulfide content in sediments at various sites

本海域硫化物含量在网箱区内的测站间有一定差异,3号测站较低,平均 $529 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;4号站较高,平均 $734 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。二者在夏季差别尤其悬殊,3号测站为 $344 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,4号测站为 $949 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。造成这种差别的原因之一可能是3号站靠近澳口,海水交换相对4号站稍好一些,残饵、鱼类排泄物的沉积在3号站相对较少。硫化物含量在网箱区外的测站间差异不明显,6号~8号站各自的平均值在 $209 \sim 222 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。

根据各测站4次观测的平均值绘平面分布趋势图(图3),可见硫化物自网箱区向其外侧海域递减,含量从 $700 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 递减到 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,越靠近网箱近岸区域,硫化物含量越高。这与柘林湾网箱海域硫化物含量平面分布特征一致,即硫化物含量高低同网箱区距离负相关^[5]。

2.2 硫化物含量的季节变化

网箱养殖海域底质中硫化物含量的季节变化鲜见报道。在本研究海域,硫化物含量总体上为春季最高,夏季略低于春季,秋、冬季较低且含量相近,分别为 $539 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $505 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $414 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $421 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

网箱区内(图4)与总体的特征相似,春、夏、秋、冬的平均含量依次为 $702 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $687 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $574 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $534 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。统计分析表明,网箱区内底质硫化物含量在春夏($694 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)与秋冬($554 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)之间的差异显著($P < 0.02$),而春与夏、秋与冬之间的差异不显著($P > 0.10$)。这种季节变化特征是多种因素综合作用的表现,原因主要有3个方面:(1)春季鱼类新陈代谢较快,夏季鱼类生长旺盛,投饵量较大,春夏季残饵和排泄物较多;(2)该网箱海域东、南的山峰阻挡了春夏的季风,网箱海域北侧相对开阔一些,因而,秋冬季(尤其是冬季)风浪相对较大,残饵和排泄物的扩散在秋冬季比春夏季更多,相反,残饵和排泄物的沉降在秋冬季比春夏季更少;(3)可能因为不同的季节里底层水温、溶解氧浓度高低不同,造成残饵和排泄物的分解程度不同。

网箱区外(图4)与网箱区内的情况不尽同相,底质硫化物含量依秋、夏、冬、春的次序递增,平均分别为 $149 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $201 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $232 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $268 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。统计分析表明,网箱区外底质硫化物含量,除冬季与春季之间、冬季与夏季之间的差异不显著($P > 0.10$)之外,其余的差异显著($P < 0.01$)或较显著($P < 0.05$)。虽然其原因同样很复杂,但不同季节起主要作用的因素不尽相同。譬如:底质硫化物含量冬季较高、春季最高,可能分别主要与上述第二、第三个原因有关,即冬季主要受网箱区内残饵和排泄物的迁移扩散影响,春季主要受水温增高、溶氧浓度降低的影响。另外,春季在大鹏澳有一股缓弱的顺时针方向环流,推动网箱区内残饵和排泄物迁移到网箱区外。夏季虽然水温较高、溶解氧浓度较低,但残饵和排泄物的迁入量相对较少,因而硫化物含量较低但又不是最低。

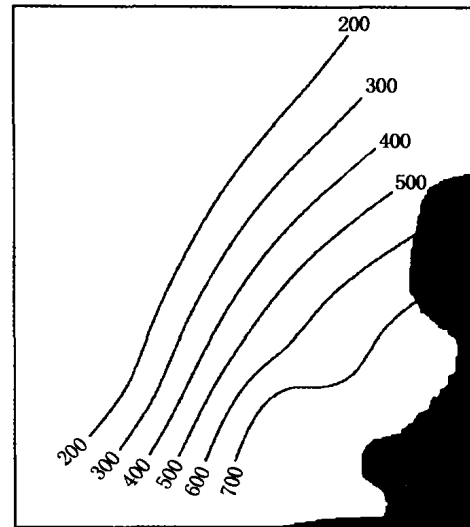


图3 硫化物含量分布趋势($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Fig.3 Distribution of sulfide content

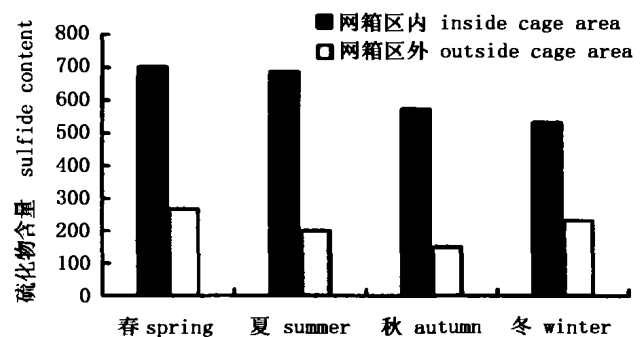


图4 底质硫化物含量季节变化($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Fig.4 Seasonal change of sulfide content

2.3 硫化物含量与其它因素的关系

为了从错综复杂的因素中寻找主要影响因素,用最小二乘法将不同测站的硫化物含量与有机质百分含量进行一元线性回归,结果(表1)表明:4个季节硫化物含量与有机质含量均呈正相关关系,总体上相关较显著($r = 0.704, P < 0.05$),其中以夏季的相关最显著($r = 0.818, P < 0.02$)。其它3个季节硫化物与有机质的相关虽然未达到显著的水平($P > 0.10$),但相关程度依秋、春、冬的顺序递减。

表1 硫化物含量与有机质百分含量的相关性

Tab.1 Correlation of the sulfide content with the organic carbon percentage

时 间 time	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter	全 年 whole year
相关系数 correlate coefficient	0.301	0.818	0.444	0.270	0.704
显著性水平 significant level	$P > 0.10$	$P < 0.02$	$P > 0.10$	$P > 0.10$	$P < 0.05$
测站数 number of stations	8	8	8	8	32

残饵、排泄物中含大量的有机质,有机质经细菌分解还原无机硫酸盐产生硫化物,反应过程如下^[6]:
 $2\text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-} \longrightarrow \text{H}_2\text{S} + 2\text{HCO}_3^-$ (对碳水化合物而言)

$4\text{CH}_2\text{NH}_2\text{COOH} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{SO}_4^{2-} \longrightarrow \text{H}_2\text{S} + 2\text{HS}^- + 8\text{HCO}_3^- + 4\text{NH}_4^+$ (对氨基酸而言)

如果有机质含量增多,促进上述反应的进行,生成的硫化物随之增多。在 $10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 范围内,水体底层水温越高、溶解氧浓度越低,硫酸盐还原菌的活性就越强,因而底质硫化物在夏季与有机质的正相关最显著($r = 0.818, P < 0.02$),并依夏、秋、春、冬的顺序递减。相关分析结果为上述硫化物含量季节变化原因提供了旁证。类似的探讨曾见于海水虾类的池塘养殖沉积环境,二者之间也表现出较好的正相关($r = 0.60, P < 0.10$)^[7]。

不同的海域其底质组成各异,硫化物含量通常与底质的性质有关,一般情况下,泥质底比砂质底(尤其较粗的颗粒)更易积累硫化物。用最小二乘法将不同测站的硫化物含量与砂、粉砂、粘土百分含量进行一元线性回归,结果表明,大鹏澳网箱养殖海域硫化物含量与底质粒度组成之间几乎没有确定的相关关系(表2)。其原因主要是大鹏澳的表层底质多属泥沙质软泥,以软泥为主。这一结果反过来说明,网箱区内外硫化物含量的明显差异不是底质性质差别造成的。

表2 硫化物含量与底质粒度组成的相关性

Tab.2 Correlation of the sulfide content with the particle composition of sediment

季 节 seasons	测站数 number of stations	相关系数/显著性水平 correlation coefficient/significance level		
		砂(%) sand	粉砂(%) powder sand	粘土(%) clay
春 spring	8	$-0.103/P > 0.10$	$-0.003/P > 0.10$	$-0.546/P > 0.10$
夏 summer	8	$0.281/P > 0.10$	$-0.648/P < 0.10$	$0.359/P > 0.10$

部分金属常以硫化物的形式存在于自然界,在一些金属矿物中,或在受重金属污染的区域,重金属含量高的,硫化物含量一般也较高,二者呈很好的正相关关系。但回归分析表明,大鹏澳的表层底质中,硫化物含量与重金属含量之间相关不显著($P > 0.10$)。因此,网箱区内外硫化物含量的明显差异与金属含量的高低没有直接联系。

2.4 底质硫化物污染分析

大鹏澳网箱养殖海域表层底质样品全部检出硫化物,含量为 $142 \sim 949\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均为 $470\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。与海洋沉积物质量中第一类标准($300\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,适用于海水养殖区)^[8]比较,采自网箱区内的20份样品硫化物含量全部超标,超标 $0.15 \sim 2.2$ 倍,网箱区外的12份样品均未超标。再与日本渔业水质基准($200\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^①比较,则有27份样品硫化物含量超标,网箱区内的全部超标,超标 $0.7 \sim 3.8$ 倍,网

① 日本水产资源保护协会.《日本渔业水质基准》[S].1995.

箱区外的超标 0.02 ~ 0.4 倍。按海洋沉积物质量第一类标准($300\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)计算的单因子质量指数平均达到 1.57,根据海水网箱渔场老化程度与老化风险分级对照表^[3],大鹏澳网箱区底质的老化风险级别为 4 级,已达到严重的程度,老化风险已高,沉积环境已经恶化。与广东其它近海网箱区的研究结果^[1,2]比较(表 3),大鹏澳网箱区内底质硫化物平均含量属较高水平,与珠江口牛头岛深湾的相近,低于大亚湾内的衙前湾,但高于珠江口其它几个海湾和粤东柘林湾。

表 3 广东沿岸部分网箱养殖区内的底质硫化物含量

Tab.3 Sulfide content in sediments at some cage cultivation areas along coast of Guangdong Province

	mg·kg ⁻¹ dry weight						
	柘林湾 Zhelin	深湾 Shenwan	桂山湾 Guishan	东澳湾 Dongao	衙前湾 Yaquan	东升湾 Dongsheng	大鹏澳 Dapengao
最小值 min	53.8	362	-	-	-	-	344
最大值 max	744	1015	-	-	-	-	949
平均值 mean	310	602	351	359	779	515	624
采样时间 survey time	1998	1991 - 1993	1993	1993	1990	1990	2001 - 2002
开始养殖年份 beginning year of cultivation	1983	1985	1981	1980	1981	1980	1980 年代末 End of 1980's
数据来源 data source	[1]	[2]	[2]	[2]	[2]	[2]	本文 this paper

3 小结

研究海域底质硫化物含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)属广东网箱养殖海域的较高水平,在网箱区内为 344 ~ 949(平均 624),区外为 142 ~ 278(平均 212),区内样品的含量全部超过我国海洋沉积物质量第一类标准($300\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),区外样品的含量部分超过日本渔业水质基准($200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。

春、夏、秋、冬季硫化物含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)总体上分别为 539、505、414、421,网箱区内分别为 702、687、574、534,区外分别为 268、201、149、232。底质硫化物的含量与底质有机质的含量正相关($r=0.704$, $P<0.05$),其中夏季相关最显著($r=0.818$, $P<0.02$)。研究海域底质硫化物平均污染指数 1.57,老化风险级别为 4 级,已达到重污染和高风险的程度。

参考文献:

- [1] He G M, Lu W X, Liu Y G, *et al.* Analyzing on the degradational characteristics of caged culture of a bay [J]. *Journal of Fishery Science China*, 1997,4(5): 76 - 80. [何国民,卢婉娴,刘豫广,等.海湾网箱渔场老化特征分析[J].中国水产科学,1997,4(5): 76 - 80.]
- [2] Lin Q, Li C H, Lin Y T, *et al.* Effects of cage culture on marine environment in Zhelin Bay [J]. *Journal of South China Normal University (Natural Science)*, 1998,(Suppl.): 36 - 46. [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[J].华南师范大学学报(自然科学版),1998,(增刊): 36 - 46.]
- [3] Gan J L, Jia X P, Lin Q, *et al.* A primary study on the risk evaluation of aged cage culture areas [J]. *Journal of Fishery Science of China*, 2001,8(3): 86 - 89. [甘居利,贾晓平,林钦,等.海水网箱渔场老化风险初探[J].中国水产科学,2001,8(3): 86 - 89.]
- [4] State quality and technology monitoring administration. GB17378.5 - 1998. Specification of Oceanographic Survey. Part 5: Analysis of sediments [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 1998. [国家质量技术监督局. GB17378.5 - 1998. 海洋监测规范 - 第 5 部分: 沉积物分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.]
- [5] Gan J L, Lin Q, Li C H, *et al.* Strength of environmental factors from different regions in cage culture area of Zhelin Bay [J]. *Journal of Zhejiang Ocean College*, 2000,20(1): 18 - 22. [甘居利,林钦,李纯厚,等.柘林湾网箱养殖场不同区域环境因子的强度变化[J].浙江海洋学院学报,2000,20(1): 18 - 22.]
- [6] Ramn A E, Bella D A. Sulfide production in anaerobic microcosms [J]. *Limnol Oceanogr*, 1974,19(1): 110 - 118.
- [7] Xu J S, Li L G. The form of sulfide and its relation with environment in the sediment of the shrimp culture pond [J]. *Oceanol et Limnol Sin*, 1991, 22(4): 384 - 388. [许金树,李亮歌.养虾池底质中硫存在形态与环境的关系[J].海洋与湖沼,1991,22(4): 384 - 388.]
- [8] State Quality Monitoring, Testing & Quarantine Administration. GB18668 - 2002. Quality of marine sediments [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2002. [国家质量监督检验检疫总局. GB18668 - 2002. 海洋沉积物质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.]