

大鹏澳养殖水域溶解氧的变化及其与生态结构的关系

杨美兰, 林 钦, 黄洪挥, 吕晓瑜, 蔡文贵, 甘居利, 王增焕, 李纯厚

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部渔业生态环境重点开放实验室, 广东 广州 510300)

摘要:根据2001年6月至2002年6月大鹏澳网箱养殖水域周年的溶解氧(DO)水平监测数据, 阐述网箱养殖区水体DO的水平、季节的变化、垂直变化和网箱养殖水体DO质量评价以及DO与水环境因子的相关性。结果表明, 大鹏湾网箱养殖水域DO周年水平为3.86~8.01 mg/L, 氧饱和度为51.6%~103.6%, 养殖水域DO水平低于非养殖水域的; 冬、春季DO水平较高, 均符合我国渔业水质标准要求。夏季DO水平普遍较低, 超标率为95%; 表层水DO水平略高于底层水, DO水平超标率分别为46%和66.7%; DO水平(全年)与pH值、盐度、叶绿素水平均呈显著性正相关($P < 0.02$, $n = 32$), 与水温、无机磷和无机氮水平呈显著性负相关($P < 0.02$, $n = 32$)。其中, 在春季相关最为明显。

关键词: 大鹏澳; 网箱养殖水域; 溶解氧; 生态结构

中图分类号: X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2005)03-0357-05

网箱养殖水域中的溶解氧是各种水生生物呼吸代谢的基础, 溶氧的水平高低直接反映了水质的质量, 其在网箱养殖中起着相当重要的作用。它与养殖生物的生存、需要和质量密切相关, 因而是一个衡量水质质量的重要指标。为了了解网箱养殖水域中溶解氧的质量及分布状况, 对大鹏澳网箱养殖水域溶解氧的水平进行了周年的监测, 以寻求其变化规律和对生态结构的影响因素, 为海湾网箱养殖水域环境的修复及其可持续发展提供相关的背景资料。

1 材料与方法

1.1 研究水域

大鹏澳位于大亚湾西南侧, 属半封闭型海湾。自20世纪80年代末, 该水域就开展了海水鱼类网箱养殖, 养殖场平均水深约5 m。近年来, 随着养殖业的迅猛发展, 养殖面积逐渐扩大。目前, 网箱养殖场水面面积约20 hm², 有养殖网箱约4 200个, 养殖密度大, 养殖品种丰富。

1.2 样品采集

采样时间为2001年6月至2002年6月, 共设8个调查站。其中, 1~5号站为网箱养殖区水域, 6~8号站为非网箱区水域(距网箱养殖区约800 m)。调查站位见图1。

1.3 测定方法

采用美国YSI-55型手提式溶解氧仪(经华南国家计量测试中心计量合格)在现场进行DO水平测定。酸碱性

(pH)、叶绿素a、 PO_4^{3-} -P、 NO_3^- -N、 NO_2^- -N以及 NH_4^+ -N等水平测定按照国家技术监督局颁发的中华人民共和国国家标准(GB17378.4-1998)海洋监测规范^[1]进行。



图1 大鹏澳网箱养殖水域调查站位设置图

1~5站设在网箱养殖水域; 6~8号站设在非网箱养殖水域。

Fig. 1 Sampling stations in the cage-culturing waters in Dupengao Cove

Stations 1~5 were located in cage-culturing waters and Stations 6~8 were located in non-cage-culturing waters.

收稿日期: 2004-06-08; 修订日期: 2004-09-20.

基金项目: 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: 杨美兰(1953-), 女, 副研究员, 从事渔业生态环境监测与保护的研究. E-mail: scym@163.net

通讯作者: 林 钦. E-mail: nhscdq@163.net

1.4 计算方法

1.4.1 DO 评价方法 以中国渔业水质标准^[4] DO 高于 5 mg/L 的要求衡量,并采用了下式^[2]对养殖水域 DO 进行单项因子指数评价。鉴于评价项目中的溶解氧不同与其他污染物,溶解氧高,污染危害程度低。那么,质量指数(I_{DO})大于1时,视水体中 DO 水平低于渔业水质标准(或超标),质量指数值越小(或为负值),说明水体溶解氧的水平越高,甚至出现过饱和现象。即:

$$I_{DO} = \frac{\text{氧溶解度} - \text{实测值}}{\text{氧溶解度} - \text{评价标准}}$$

1.4.2 相关分析方法 用最小二乘法进行一元线性回归^[8],将 DO 水平与其他环境因子进行相关分析。

2 结果

2.1 网箱养殖区与非网箱区 DO 水平

研究期间,网箱养殖水域(1~5号站)周年 DO 水平变化

范围为 3.86~8.01 mg/L,均值为 5.46 mg/L。氧饱和度为 51.6%~103.6%,均值为 77.44%。非网箱养殖水域(6~8号站)水平变化范围在 4.50~8.35 mg/L,均值为 6.43 mg/L,氧饱和度为 64.2%~114.7%,均值为 91.05%。显然,网箱养殖区 DO 水平低于非网箱水域,两者 DO 平均水平差值在 1 mg/L 左右,平均氧饱和度相差约 14%。就网箱区而言,位于外围、水体交换较好的养殖水域比近岸、水体交换较差的水域氧水平略高,总体上网箱区水域 DO 水平分布高低依次为 4 号站、5 号站、3 号站、2 号站、1 号站。

由表 1 可见,表层水域与底层水域 DO 水平有明显差异,即前者高于后者。其结果与何国民^[2]和林钦^[3]报道的珠江口牛头岛深湾网箱渔场内溶解氧低于湾外和松林湾养殖水体 DO 平均水平明显低于自然水体结果是一致的。

2.2 DO 水平的季节变化

网箱养殖区与非网箱养殖区周年 DO 水平季节变化以及各调查站 DO 的变化见图 2 和图 3。

表 1 大鹏湾网箱养殖水域周年 DO 水平与氧饱和度(2001.6~2002.6)

Tab.1 DO levels and saturation in cage culturing waters in Dapengao Cove(June 2001~June 2002)

水域 Water area	站号 Station	表层水 Surface water		底层水 Bottom water	
		DO 水平/(mg·L ⁻¹) DO level	氧饱和度 % Saturation	DO 水平/(mg·L ⁻¹) DO level	氧饱和度 % Saturation
网箱养殖区 Cage-culturing area	1	4.31~7.32(5.27)	62.6~94.6(74.6)	4.27~5.63(4.90)	51.6~76.0(67.8)
	2	4.48~7.41(5.64)	65.5~95.6(80.0)	3.86~5.94(4.99)	55.1~80.4(71.3)
	3	4.47~6.84(5.53)	65.4~88.1(78.5)	4.49~6.90(5.64)	64.9~88.8(79.8)
	4	5.00~8.01(6.06)	73.0~103.6(86.1)	4.14~6.50(5.24)	59.8~93.0(75.6)
	5	4.01~7.51(5.68)	59.0~97.10(80.6)	4.14~6.54(5.52)	59.8~92.9(79.6)
非网箱区 No cage-culturing area	1~5	4.01~8.01(5.64)	62.6~103.6(81.6)	3.86~6.90(5.26)	51.6~93.0(74.8)
	6	5.78~8.35(7.01)	85.7~114.7(99.7)	4.58~7.09(6.25)	65.8~99.7(84.9)
	7	4.82~7.12(6.46)	69.8~105.3(91.8)	4.50~7.30(6.38)	64.2~101.9(91.4)
	8	4.83~7.62(6.34)	70.4~100.3(89.7)	4.91~6.72(6.12)	71.4~100.0(88.8)
	6~8	4.82~8.35(6.60)	69.8~105.3(93.7)	4.50~7.31(6.25)	65.8~101.9(88.4)

注:括弧为平均值;站号位置如图 1 所示。

Note: The data in brackets are mean. The station Nos. were corresponding with those in Fig.1.

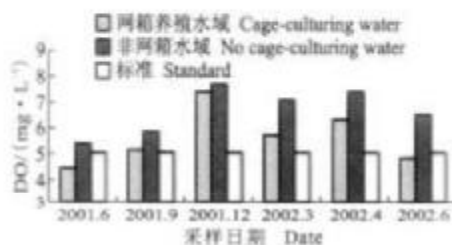


图 2 大鹏湾网箱养殖区与非网箱养殖区表层水 DO 水平季节变化

Fig.2 Variation of DO levels in surface water in cage-culturing waters and non cage-culturing waters in Dapengao Cove

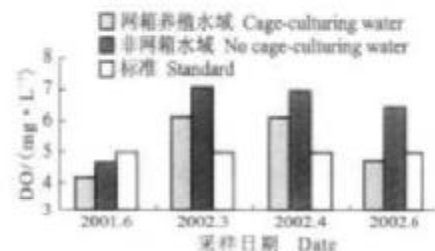


图 3 大鹏湾网箱养殖水域与非网箱养殖水域底层水 DO 水平季节变化

Fig.3 Variation of DO levels in bottom water in cage culturing waters and non cage-culturing waters in Dapengao Cove

周年,网箱养殖区与非网箱区表、底层水 DO 水平变化趋势相似,即 DO 水平变化特点均呈夏季最低,秋季有所上升,至冬季达到全年最高。之后,进入春季逐渐回落,到了夏季,又回到全年最低的趋势。周年,DO 水平高低依次为冬季、春季、秋季、夏季。

以全年中 DO 水平最低的夏季而言,网箱养殖区表层水 DO 变化范围为 4.01~5.24 mg/L,均值为 4.63 mg/L。非网箱区表层水 DO 变化范围在 4.82~6.59 mg/L,均值为 5.91 mg/L。网养区 DO 变化幅度和均值都低于非网养区,均值差距为 1.28 mg/L。此间,网箱养殖区底层水 DO 水平变化幅度为 3.86~4.97 mg/L,均值为 4.44mg/L。非网箱养殖区底层水 DO 为 4.50~6.49 mg/L,均值为 5.52 mg/L。同样亦表现为网养区低于非网养区的特点,但两者差距不如表层水甚,差值为 1.08 mg/L。

此外,各调查站表层水 DO 数据均显示出冬、春季高于

秋、夏季的规律。底层水亦显示春季高于夏季的特点。

2.3 网箱养殖水域 DO 质量评价

周年,网箱养殖区 DO 的质量指数周年为 -0.10~1.57,均值为 0.73,超标率为 36.7%。其中,春季和冬季 DO 质量指数均在 1 以下,达到渔业水质标准要求,处于正常水平。然而,夏季网箱养殖水域 DO 水平普遍低于渔业水质标准,质量指数范围为 0.84~1.57,均值为 1.26,超标率为 95%。其次秋季质量指数为 0.83~1.23,均值为 0.96,超标率为 40%。非网箱养殖区 DO 的质量指数周年仅夏季超标,超标率为 48%(表 2)。

从不同水层来看,网箱养殖水域表层水 DO 质量指数为 -0.10~1.55,均值为 0.71,超标率为 46%。底层水质量指数为 0.90~1.57,均值为 1.04,超标率为 66.7%。网箱养殖区表、底层水 DO 质量指数和超标率均比非网箱养殖区的要高(表 3)。

表 2 大鵬澳网箱养殖区表层水 DO 的质量指数
Tab.2 DO quality index in the cage-culturing waters in Dapengao Cove mg/L

季节 Season	项目 Item	网箱养殖区 Cage-culturing waters (Stations 1-5)	非网箱养殖区 Non-cage-culturing waters (Stations 6-8)
春 Spring	DO/(mg·L ⁻¹)	0.01-0.90	-0.52-0.31
	$\bar{X}$ /(mg·L ⁻¹)	0.44	-0.02
	超标率/% Overstep	0	0
夏 Summer	DO/(mg·L ⁻¹)	0.84-1.57	-0.09-1.25
	$\bar{X}$ /(mg·L ⁻¹)	1.26	0.48
	超标率/% Overstep	95	48
秋 Autumn	DO/(mg·L ⁻¹)	0.83-1.23	0.42-0.69
	$\bar{X}$ /(mg·L ⁻¹)	0.96	0.55
	超标率/% Overstep	40	0
冬 Winter	DO/(mg·L ⁻¹)	-0.10-0.368	-0.24-0.23
	$\bar{X}$ /(mg·L ⁻¹)	0.12	0.02
	超标率/% Overstep	0	0
全年 Whole year	DO/(mg·L ⁻¹)	-0.10-1.57	-0.52-1.25
	$\bar{X}$ /(mg·L ⁻¹)	0.75	0.34
	超标率/% Overstep	36.7	16

表 3 大鵬澳网箱养殖水域 DO 的质量指数
Tab.3 DO quality index in the cage-culturing waters in Dapengao Cove

水域 Water area	站号 Station	表层水 Surface water			底层水 Bottom water		
		质量指数范围 Quality index	平均值 Average	超标率/% Overstep	质量指数范围 Quality index	平均值 Average	超标率/% Overstep
网箱养殖区 Cage-culturing area	1-5	-0.10-1.55	0.71	46	0.90-1.57	1.04	66.7
非网箱养区 Non-cage-culturing area	6-8	-0.52-1.23	0.17	25	-0.04-1.25	0.42	33.3

2.4 DO水平与其他环境因子的相关分析

相关分析结果见表4。研究水域DO的变量与水温、pH、盐度、叶绿素a、无机磷、无机氮等环境因子具有相关性,DO周年水平与pH、盐度、叶绿素a水平呈显著的正相关关系,相关系数分别为 $r=0.423(P<0.02, n=32)$ 、 $r=0.429(P<0.02, n=32)$ 、 $r=0.732(P<0.001, n=32)$ 。与水温、

无机磷、无机氮水平呈显著性负相关,相关系数分别为 $r=-0.752(P<0.001, n=32)$ 、 $r=-0.546(P<0.02, n=32)$ 和 $r=-0.816(P<0.001, n=32)$ 。在无机氮中又以铵氮相关最显著($r=1.0, P<0.001, n=32$)。周年DO水平与上述环境因子的相关性以春季最为明显(表4)。

表4 DO水平与其他环境因子的相关系数

Tab.4 Correlation coefficient between DO content and other environmental factors

环境因子 Environmental factor	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn		冬季 Winter		全年 Whole year	
	相关系数 r Correlation coefficient	显著性水平 p Significant level	相关系数 r Correlation coefficient	显著性水平 p Significant level	相关系数 r Correlation coefficient	显著性水平 p Significant level	相关系数 r Correlation coefficient	显著性水平 p Significant level	相关系数 r Correlation coefficient	显著性水平 p Significant level
水温 Temperature	-0.778	<0.05	0.647	<0.10	-0.747	<0.05	0.502	>0.10	-0.752	<0.001
pH	0.937	<0.001	0.839	<0.01	0.502	>0.10	0.497	>0.10	0.423	<0.02
S	0.568	<0.10	-0.700	<0.05	-0.117	>0.10	0.402	>0.10	0.429	<0.02
Chl a	0.731	<0.05	0.621	<0.10	0.124	>0.10	0.190	>0.10	0.732	<0.001
NH_4^+-N	-0.781	<0.05	-0.298	>0.10	0.007	>0.10	-0.828	<0.02	1.0	<0.001
NO_3^--N	-0.462	>0.10	0.596	>0.10	0.374	>0.10	-0.386	>0.10	-0.539	<0.02
NO_2^--N	-0.699	<0.10	-0.486	>0.10	0.262	>0.10	-0.687	<0.10	-0.563	<0.02
IN	-0.781	<0.05	-0.298	>0.10	0.007	>0.10	-0.828	<0.02	-0.816	<0.001
IP	-0.821	<0.02	-0.709	<0.05	-0.525	>0.10	-0.813	<0.02	-0.546	<0.02
Stations	8		8		8		8		32	

3 结论

(1)网箱养殖水域DO水平及氧饱和度低于非网箱养殖水域,这主要与网箱养殖活动有关。

(2)在网箱养殖水域,不同水层DO的水平并非均匀分布。在表层水体中,由于水体交换能力较好,浮游植物通过光合作用释放氧,使水体氧充足。反之,底层水体浮游植物光合作用减弱,加之人工投饵,过剩的饵料在底质中沉积分解以及生化过程微生物生命活动的耗氧,水动力交换差,直接影响了底层水界面的溶解氧的交换平衡,致使底层水溶解氧水平偏低。

(3)DO水平季节性变化主要与海水温度变化和养殖生物活动有关。其中温度更显得重要。尤其在夏季和冬季,水温与DO水平形成明显的反差(图4)。

(4)水体中DO水平与叶绿素a水平呈正相关性,主要原因是受植物光合作用的影响^[7],即在光的照射下绿色植物吸收无机盐和 CO_2 合成有机物并产生氧^[8]。

(5)DO与无机氮绝对量呈负相关,其结果与王伟良等^[6]养虾围隔的报道相符。这与网箱养殖中生物的自身需求和养殖环境的特定水域有关。一方面生物的生长需耗大

量的无机营养盐,尤其是无机氮。此现象在春季期间更为突出,由于水温适宜,光线充足,溶解氧高,浮游植物迅速生长和繁殖,对营养盐的需求大,尤其对铵氮的需求,使之海水中的营养元素的水平急剧减少;另一方面养殖水体中无机氮(铵氮、硝酸氮、亚硝酸氮)间总是处于相互转化过程,而在硝化作用过程则需消耗氧气所致。

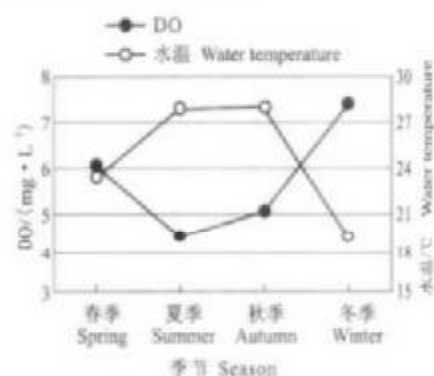


图4 网箱养殖区DO水平与水温的季节变化

Fig.4 Seasonal variations of DO level and water temperature in cage-culturing waters

参考文献:

- [1] GB17378.4-1998. 海洋监测规范[S].
- [2] 何国民,卢毓刚,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.
- [3] 林 伙,李纯厚,林燕棠,等. 柘林湾网箱养殖对周围海域的影响[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),1998(增刊):36-46.
- [4] GB3097-1997. 渔业水质标准[S].
- [5] 夏青. 污水海洋处置工程设计理论与方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,1995.
- [6] 中国环境监测总站. 环境水质监测质量保证手册[M]. 北京:化学工业出版社,1984.
- [7] 吴瑜端. 海洋环境化学[M]. 北京:科学出版社,1982.
- [8] 福建水产学校. 海水化学[M]. 北京:中国农业出版社,1981.
- [9] 王伟良,李德尚,董双林,等. 养殖围隔中无机氮浓度与放养密度及环境因子的关系[J]. 海洋科学,2000,24(10):44-47.

Variation characteristics of DO levels in cage-culture waters of Dapengao Cove, South China Sea

YANG Mei-lan, LIN Qin, HUANG Hong-hui, LU Xiao-yu, CAI Wen-gui, GAN Ju-li, WANG Zeng-huan, LI Chun-hou

(South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: According to the annual survey data of dissolved oxygen (DO) in the cage-culturing waters in Dapengao Cove of Daya Bay, DO content, seasonal and vertical variations, water quality evaluation, as well as the correlation with the water environmental factors were analyzed. The results showed that DO content in culturing waters was lower than that in non-culturing waters with the annual content ranging from 3.86 to 8.01 mg/L and the oxygen saturation from 51.6% to 103.6%. In winter and spring, DO content was relatively high, but can meet the requirement of national fishery water quality standard of China, while in summer it was generally lower with 95% falling short of the standard. DO content in surface water were slightly higher than that in bottom water, 46% and 66.7% of which fell short of the standard. The DO content was in notable positive correlation with pH value, salinity and chlorophyll-a ($P < 0.02$, $n = 32$), and in notable negative correlation with water temperature, inorganic phosphate and inorganic nitrate ($P < 0.02$, $n = 32$) all the year, especially in spring.

Key words: Dapengao Cove; cage-culturing water; dissolved oxygen; variation characteristic

Corresponding author: LIN Qin. E-mail: nhsclq@163.net