

长牡蛎夏季死亡与养殖环境及自身体质关系的初步研究

廉 伟^{1,2,3} 温海深^{1,2} 毛玉泽^{3*} 方建光³

(¹内蒙古民族大学 通辽 028042)

(²中国海洋大学 青岛 266071)

(³农业部渔业资源可持续利用重点开放实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室
中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

摘 要 选取桑沟湾和爱连湾两个典型牡蛎养殖区为研究对象,调查了两个海区高温季节牡蛎的死亡情况,监测了不同养殖区的水温、盐度、pH 和 DO 等环境指标,并测定了牡蛎体内超氧化物歧化酶(SOD)活性和生长指标的差异,初步探讨了桑沟湾养殖长牡蛎夏季高温死亡的原因。结果表明,实验期间(5~10月)桑沟湾崖头养殖海区(E122.498, N37.151)长牡蛎夏季累积死亡率为 37%,最高死亡率出现在 8 月 17 日,高达 51%,而爱连湾养殖海区(E122.582, N37.179)的累积死亡率仅为 2.5%,最高死亡率出现在 9 月 28 日,为 4.5%。单因子方差分析(ANOVA)表明死亡率与水温具有很强的正相关($R=0.804, P<0.01$),与溶氧呈明显负相关($R=-0.377, P<0.01$);死亡率与体重、软体湿重、性腺湿重等生长状况指标呈明显的负相关(R 分别为 $-0.690, -0.498, -0.358$),与 SOD 活性呈正相关($R=0.21, P<0.05$)。

关键词 长牡蛎 夏季死亡 桑沟湾 养殖环境 SOD

中图分类号 S968.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2010)04-0092-09

Study on the relationship between pacific oyster *Crassostrea gigas* summer mortality with culture environment and organism condition

LIAN Wei^{1,2,3} WEN Hai-shen^{1,2} MAO Yu-ze^{3*} FANG Jian-guang³

(¹Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao 028042)

(²Ocean University of China, Qingdao 266071)

(³Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment, Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT Pacific oyster *Crassostrea gigas* summer mortality frequently occurs in Sanggou Bay recent years, but the oyster appears low mortality rate in its neighboring region-Ailian bay. In this study, two typical Pacific oyster culture areas of these bays have been selected as experimental sites. The environmental factors including water temperature, salinity, pH and DO, superoxide dismutase

海洋公益性行业科研专项经费项目(No. 200805069)、国家 863 课题(2006AA10Z414)和 973 课题(2006CB400608)共同资助

* 通讯作者。E-mail: maoyz@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2010-05-23; 接受日期: 2010-07-30

作者简介: 廉 伟(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事水产动物疾病研究。E-mail: lianwei0911@163.com

(SOD) activity and growth situation of oysters have been monitored, and the oyster summer mortalities of two sites have been researched. The reason of Pacific oyster summer mortality in Sanggou bay has been analyzed. The results show that: in experiment period (from May to October), the total mortality rate was 37% in Yatou marine culture region of Sanggou bay (E122. 498, N37. 151), the highest mortality rate that appeared on August 17 was 51%. The total mortality rate was 2.5% in Ailian bay (E122. 582, N37. 179), the highest mortality rate that appeared on September 28 was 4.5%. One-way ANOVA results show that: the mortality rate has significant positive correlation with water temperature ($R=0.804$, $P<0.01$), negative correlation with the dissolved oxygen ($R=-0.377$, $P<0.01$), negative correlation with body weight, soft weight and gonad weight and so on ($R=-0.690$, -0.498 , -0.358 , respectively), positive correlation with superoxide dismutase activity ($R=0.21$, $P<0.05$).

KEY WORDS Pacific oyster Summer mortality Sanggou Bay
Culture environment SOD

长牡蛎 *Crassostrea gigas* 又称太平洋牡蛎,是世界上产量最高的养殖贝类 (Duchemin *et al.* 2007; FAO 2007)。我国于 20 世纪 80 年代由日本引进长牡蛎,现在已成为我国重要的海水养殖贝类,2007 年产量超过 350 万 t (FAO 2009)。最近几十年,长牡蛎夏季大规模死亡现象在世界范围内广泛发生,死亡率高达 30% 以上 (Li *et al.* 2008),桑沟湾养殖长牡蛎近年也出现夏季大规模死亡现象,而其临近的爱连湾养殖长牡蛎死亡率却较低。

目前国外对长牡蛎夏季死亡的调查及原因分析的研究较多 (Cheney *et al.* 2000、2006; Huvet *et al.* 2004),但国内相关的报道却很少 (马绍赛等 1997; 毛玉泽等 2005; 隋锡林等 2002)。国内外对长牡蛎夏季死亡原因的研究主要集中在环境、食物、疾病和生殖等方面 (Cheney *et al.* 2006; Garnier *et al.* 2007; Li *et al.* 2008)。在环境方面,有研究认为环境胁迫会诱导贝类产生免疫应激反应,使贝类机体有限的能量大量支出,从而为疾病发生创造机会,最终导致贝类的大规模死亡 (陈慕雁等 2007),如温度达到 19℃ 以上及夏季溶解氧最低时期都会出现长牡蛎死亡率上升的现象 (Cheney *et al.* 2006; Delaporte *et al.* 2007)。在食物方面,研究表明食物供给不足以及饲料成分不同会对长牡蛎生理状态造成很大影响 (Delaporte *et al.* 2007; Li *et al.* 2008)。在疾病方面,研究发现被某些寄生虫寄生的长牡蛎个体卵巢产生卵母细胞的时间会延长,对长牡蛎产卵后期的恢复有很大影响 (Tun *et al.* 2008)。在生殖方面,有研究发现长牡蛎死亡峰值恰好与产卵和性腺减少的产卵后期相吻合 (Royer *et al.* 2007),另外产卵致使长牡蛎消耗了大量的蛋白质,也可能是引起长牡蛎夏季大量死亡的原因之一 (毛玉泽等 2005)。本实验选择两个海湾典型的牡蛎养殖区为研究对象,调查了两个养殖区在高温季节牡蛎的死亡情况,并从养殖环境、长牡蛎体质状况以及血液超氧化物歧化酶 (SOD) 活性等方面,初步探讨了桑沟湾养殖长牡蛎夏季死亡的原因。

1 材料与方法

1.1 实验地点

桑沟湾 (37°01'~37°09'N, 122°24'~122°35'E) 位于山东半岛最东端,是北方重要的贝藻养殖基地,面积约 143.0 km²。湾内平均水深约为 7.5 m,最大水深约 15 m,属不规则半日潮,潮高约 2 m,没有大的陆源输入,湾内营养盐循环主要靠与外海交换和湾内营养盐的循环与再生 (孙丕喜等 2007; 赵俊等 1996; 周毅等 2003)。从 20 世纪 80 年代起,桑沟湾即开始进行大规模浮筏养殖,主要的养殖种类有栉孔扇贝 *Chlamys farreri*、长牡蛎 *Crassostrea gigas* 和海带 *Laminaria japonica* 等。最近几年牡蛎代替了扇贝成为该湾的主要养殖贝类,年产量从 90 年代的 1 万 t 左右,增加到 2004 年的 15 万 t (Zhang *et al.* 2009),但由于夏季死亡问

题,如今的产量维持在9万t左右。

爱连湾位于寻山镇东部,俚岛湾南7 km处,北起马他角,南与桑沟湾相接,系海浪冲蚀而成,面积11.0 km²,水深5.0~14.0 m,呈半圆形,纵深5.5 km,平均宽2 km,海岸线长8 km,湾口东南向,宽约5.6 km。潮汐为不规则半日混合潮,潮高1.8 m,西湾口涨潮流偏西南流,流速0.81 n mile/h,落潮南偏西流,流速0.54 n mile/h。湾内主要进行海带、扇贝、鲍和牡蛎等养殖(葛长宇等 2006)。

1.2 样品采集和处理

实验用长牡蛎均采集于爱连湾海区,为2007年夏季苗种,分别养于山东省荣成市爱连湾(E122.582, N37.179,记为A区)和桑沟湾(E122.498, N37.151,记为B区)牡蛎养殖区。将绳养牡蛎分离成单体,放入养殖笼内,养殖笼分8层,每层放置8个单体,吊养于筏架上,每个养殖区养殖30笼。

每次随机选取50个牡蛎用于实验,其中25个现场抽取血液,用于血液酶活性测定;25个用保温箱(加冰)带回实验室,用于测定体质指标(体长、体重、软体湿重、性腺湿重、软体干重和性腺干重),计算性腺湿重与体重比(GW/BW)、性腺湿重与软体湿重比(GW/SW)、性腺干重与软体干重比(DGW/DSW)。

1.3 血液样品处理和酶活性测定

取样现场用1 ml无菌注射器从围心腔抽取血液,将血液于液氮罐内冻存储备。血液由液氮中取出化冻后,一部分血液用生理盐水稀释10倍用于测定血液中总SOD酶活性。另取出血液50 μ l,按照南京建成科技有限公司CuZn-SOD测定试剂盒注明的方法进行处理,用于测定CuZn-SOD酶活性。

血液酶活测定采用南京建成科技有限公司生产的试剂盒。血液总SOD和CuZn-SOD酶活性测定按下述方法进行:取待测样本10 μ l加入试剂一55 μ l,然后依次加入试剂二、三和四各5.5 μ l,充分混匀,37 $^{\circ}$ C恒温水浴40 min。然后加入110 μ l显色剂混匀,室温放置10 min,用TECAN SAFIRE酶标仪在波长550 nm处测定吸光值。用蒸馏水作为测定总SOD酶活性的空白对照,生理盐水(按照说明书处理)作为测定CuZn-SOD的空白对照。活力单位定义为每ml反应液中SOD抑制率达50%时,所对应的SOD量为1个SOD活力单位(U)。

1.4 环境因子调查和死亡率统计

2009年5~10月监测两个海区的环境因子和牡蛎的死亡情况,前期的调查结果显示,牡蛎死亡高峰期主要集中在高温季节(8~9月),所以不同月份的调查和取样频率略有差异,5~7月和10月每月1次,8月7d取样1次,9月每14d取样1次。采用YSI6600现场测定养殖区的水温、盐度、pH、溶解氧等指标。每次调查检查各笼的死亡情况,计算累积总死亡率和阶段死亡率。累积总死亡率指从实验开始到调查当日牡蛎死亡总数占实验初始时养殖牡蛎总数的百分比;阶段死亡率指调查当次牡蛎死亡个体数占前一次统计存活个体数的百分比。

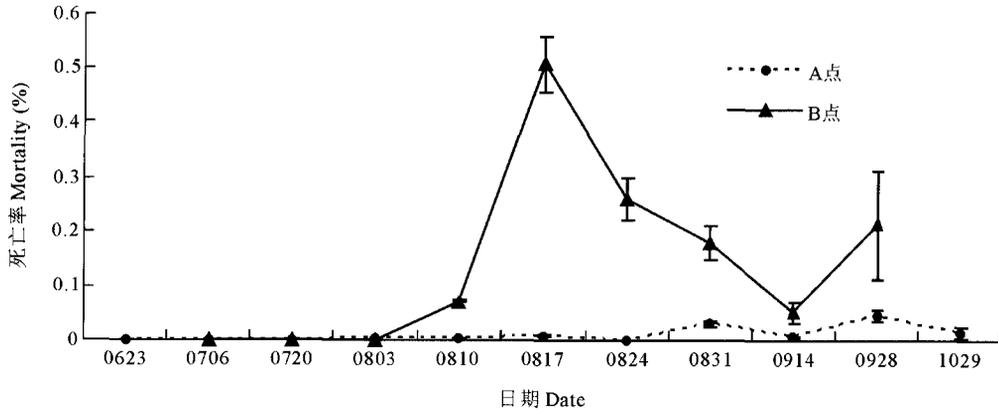
1.5 数据处理与分析

应用SPSS 18.0软件对数据进行方差分析(ANOVA),当存在差异时,采用S-N-K法进行多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 长牡蛎死亡率

5~10月爱连湾养殖区(A区)长牡蛎累积总死亡率为2.5%,阶段死亡率最高值出现在9月28日,为4.5%,高温期间(8~9月)的平均死亡率为1.3%;桑沟湾养殖区(B区)长牡蛎累积总死亡率为37%,阶段死亡率最高值出现在8月17日,为51%,高温期间的平均死亡率为18.0%。高温期间B区总死亡率一直比A区总死亡率高,实验期间总死亡率是A区的14.8倍,两区域的死亡率差异极显著($P < 0.01$)(图1,图2)。



注:A指爱连湾养殖区(E122.582,N37.179);B指桑沟湾养殖区(E122.498,N37.151)(下同)
 Note:A stands for Ailian bay(E122.582,N37.179); B stands for Sanggou bay(E122.498,N37.151)

图 1 两个实验地点长牡蛎死亡率

Fig. 1 The mortality rate in two experimental sites

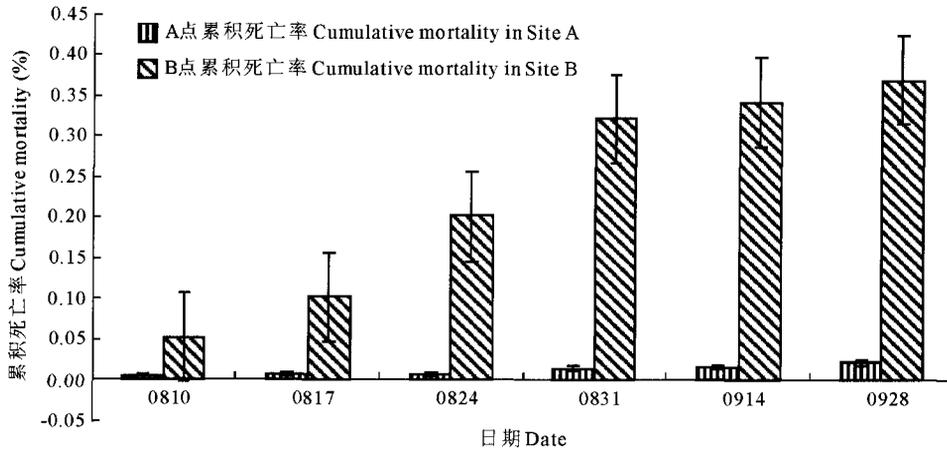


图 2 两个实验地点长牡蛎累积死亡率

Fig. 2 The cumulative mortality rate in two experimental sites

2.2 高温季节环境指标的比较

两个养殖区域高温季节的环境指标变化见表 1。A 区高温季节的平均水温(T)为 22.6℃,最高值出现在 8 月 17 日,为 23.2℃,最低值出现在 9 月 14 日,为 21.8℃;溶解氧(DO)的平均值为 6.5mg/ml,最高值出现在 8 月 10 日,为 7.9mg/ml,最低值出现在 9 月 14 日,为 5.5mg/ml;pH 的平均值为 7.7,最高值出现在 8 月 17 日,为 8.0,最低值出现在 8 月 24 日,为 7.5;盐度(S)平均值为 30.9。

B 区水温的平均值为 24.2℃,最高值出现在 8 月 17 日,为 26.8℃,最低值出现在 9 月 14 日,为 22.9℃;DO 的平均值为 5.1,最高值出现在 8 月 17 日,为 5.6mg/ml,最低值出现在 9 月 28 日,为 4.7mg/ml;pH 平均值为 7.5,最高值出现在 8 月 17 日,为 7.8,最低值出现在 8 月 24 日,为 6.9;盐度平均值为 30.8。

A 区水温始终比 B 区低,两个实验地点水温、溶解氧、pH 值差异极显著($P < 0.01$)。两实验地点盐度差异显著($P < 0.05$)。

2.3 长牡蛎生长情况

实验期间 A 区长牡蛎群体体重未发生明显增长。软体湿重、性腺湿重、性腺湿重/体重、性腺湿重/软体湿重及性腺干重/软体干重从 8 月 24 开始出现明显下降。B 区长牡蛎实验期间各项生长指标没有明显差异。

表1 实验区高温期间水环境指标变化
Table 1 Water parameters of the experimental sites

地点 Site	日期 Date	水温(°C) Temperature	溶解氧(mg/ml) Dissolved oxygen	pH	盐度 Salinity
A	08-10	22.7±2.50	7.9±1.26	7.8±0.03	30.5±0.46
	08-17	23.2±1.90	7.8±1.26	7.9±0.03	30.8±0.22
	08-24	22.9±1.18	6.0±0.31	7.5±0.04	30.8±0.28
	08-31	22.8±0.62	6.1±0.31	7.7±0.04	30.9±0.01
	09-14	21.8±0.01	5.5±0.41	7.6±0.02	31.1±0.01
	09-28	22.4±0.03	5.6±0.22	7.6±0.03	31.1±0.01
	平均值 Mean		22.6	6.5	7.7
B	08-10	24.5±0.87	5.3±0.49	7.6±0.01	30.6±0.05
	08-17	26.8±1.52	5.6±0.90	7.7±0.05	30.4±0.21
	08-24	24.6±0.54	4.5±0.61	6.9±0.10	30.7±0.04
	08-31	23.3±0.24	5.0±0.36	7.5±0.02	30.8±0.02
	09-14	22.9±0.02	5.2±0.20	7.5±0.01	31.0±0.00
	09-28	23.0±0.24	4.7±0.34	7.6±0.05	31.0±0.05
	平均值 Mean		24.2	5.1	7.5

A区和B区长牡蛎软体湿重、性腺湿重、软体干重、性腺干重等差异都极显著($P < 0.01$)。两实验地点长牡蛎性腺湿重/体重(GW/BW)、性腺湿重/软体湿重(GW/SW)、性腺干重/软体干重(DGW/DSW)等差异不显著($P > 0.05$)(表2)。

表2 实验期间长牡蛎生长情况
Table 2 The growth condition of *C. gigas* during the experiment period

地点 Site	日期 Date	体重(g) Body weight	软体湿重(g) Soft weight	性腺湿重(g) Gonad weight	软体干重(g) DSW	性腺干重(g) DGW	GW/BW	GW/SW	DGW/DSW
A区	08-10	158.82±30.64	24.77±6.89	13.75±4.42	4.66±1.46	3.27±1.14	0.09	0.55	0.70
	08-17	177.66±18.63	28.07±2.15	18.29±1.38	6.11±0.92	4.35±0.60	0.10	0.65	0.71
	08-24	164.39±38.99	16.58±4.72	6.46±2.54	2.76±0.88	1.34±0.55	0.04	0.39	0.49
	08-31	131.35±57.76	15.63±6.91	6.74±2.51	3.30±1.40	1.67±0.65	0.05	0.43	0.51
	09-14	159.58±31.66	13.12±4.40	6.07±2.17	1.83±0.63	0.82±0.35	0.04	0.46	0.45
	09-28	159.82±28.63	14.99±2.73	7.69±1.89	2.00±0.55	1.00±0.32	0.05	0.51	0.50
B区	08-10	78.33±29.81	9.57±3.52	4.82±1.75	1.57±0.60	0.87±0.39	0.06	0.50	0.55
	08-17	75.07±11.13	11.16±2.54	6.39±2.09	2.40±0.70	1.52±0.55	0.09	0.57	0.63
	08-24	79.68±11.95	8.59±1.11	3.97±1.27	1.81±0.37	0.92±0.28	0.05	0.46	0.51
	08-31	92.99±24.00	12.13±3.20	6.68±2.04	2.55±0.72	1.57±0.48	0.07	0.55	0.62
	09-14	82.66±7.55	10.63±1.42	5.65±1.75	2.05±0.43	1.23±0.47	0.07	0.53	0.60
	09-28	83.95±20.44	9.73±2.67	5.27±1.50	1.58±0.30	0.85±0.20	0.06	0.54	0.54

2.4 长牡蛎总 SOD 酶和 CuZn-SOD 酶活性变化

A 区长牡蛎血液总 SOD 酶活性从 8 月 10 日到 9 月 28 日整体呈下降趋势,总 SOD 活性最高值出现在 8 月 17 日,为 263.54 U/mg 蛋白,最低值出现在 9 月 14 日,为 50.15 U/mg 蛋白;A 区长牡蛎血液 CuZn-SOD 酶活性整体呈下降趋势,CuZn-SOD 活性最高值出现在 8 月 17 日,为 147.10 U/mg 蛋白,最低值出现在 9 月 28 日,为 30.75 U/mg 蛋白。

B 区长牡蛎血液总 SOD 酶活性从 8 月 10 日到 9 月 28 日整体呈下降趋势,总 SOD 活性最高值出现在 8 月 10 日,为 254.55 U/mg 蛋白,最低值出现在 9 月 14 日,为 55.78 U/mg 蛋白;B 区长牡蛎血液 CuZn-SOD 酶活性整体呈下降趋势,CuZn-SOD 活性最高值出现在 8 月 17 日,为 150.22 U/mg 蛋白,最低值出现在 8 月 24 日,为 34.58 U/mg 蛋白。

A 区和 B 区的总 SOD 酶活性和 CuZn-SOD 酶活性差异不显著($P>0.05$)(图 3)。

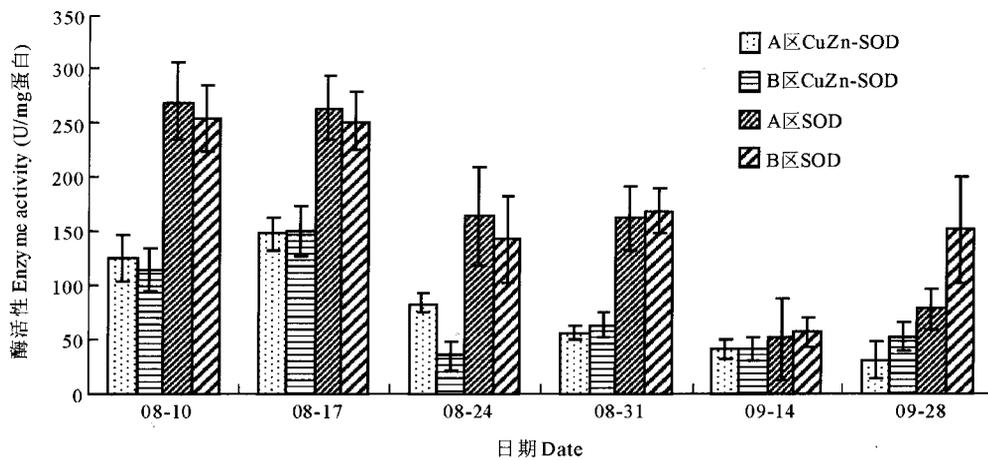


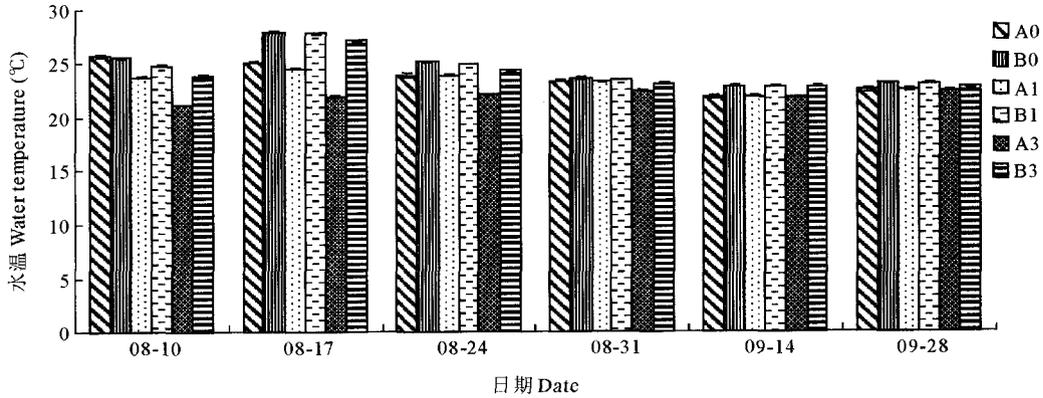
图 3 长牡蛎总 SOD 酶活和 CuZn-SOD 酶活性变化

Fig. 3 Changes of the total SOD and CuZn SOD activity in *C. gigas*

3 讨论

3.1 长牡蛎死亡率与养殖地点环境的关系

本研究中发现不同养殖地点海区(桑沟湾和爱连湾)长牡蛎死亡率差异显著,这与 Cheney 等(2006)对长牡蛎夏季死亡的研究结果相似,其研究认为夏季长牡蛎死亡率与养殖地点关系很大,不同种质的长牡蛎在同一养殖地点夏季死亡率没有明显差异,导致长牡蛎夏季死亡的外界因素主要是水质环境、饵料、病原体等(Aufret *et al.* 2006; Huvet *et al.* 2004; Li *et al.* 2008)。以往的研究表明,桑沟湾和爱连湾牡蛎养殖区水质环境存在显著差异(陈皓文 2001; 葛长字等 2006; 武晋宣等 2005),本研究的调查中也发现,两个养殖区的温度(图 4)和 DO(图 5)差异显著,相关分析也表明,长牡蛎死亡率与温度呈很强的正相关($R=0.804$, $P<0.01$),而与 DO 呈明显的负相关($R=-0.451$, $P<0.01$)。引起两个养殖区环境变化的主要原因是养殖种类分布、养殖规模密度不同,桑沟湾是传统养殖贝类养殖区,接近一半的养殖面积为筏式养殖贝类,一半为筏式养殖海带等,大面积、高密度的养殖筏架阻碍了水流交换(蒋增杰等 2006),使得桑沟湾养殖区内的温度偏高,溶氧相对较低。两地区长牡蛎死亡率峰值与 3m 水温峰值相吻合,3m 水深恰好是本实验长牡蛎养殖深度。有研究表明,在空气和水体温度上升时期,长牡蛎死亡数呈上升趋势(Cheney *et al.* 2000),在热应激情况下,长牡蛎体内的分子伴侣蛋白 HSP,氧化应激调节基因 MT 和细胞解毒基因 MDR1 等的表达量有升高,从而引起高死亡率(Farcy *et al.* 2009)。

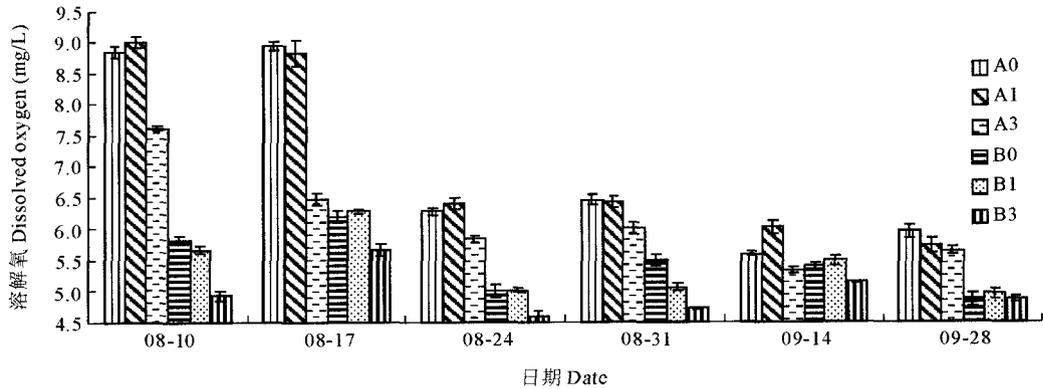


注:A指爱连湾养殖区,B指桑沟湾养殖区,0、1、3分别指表层、1 m和3 m水深

Note:A stands for Ailian Bay,B stands for Sanggou Bay;0,1,3 indicate 0 m,1 m and 3 m below the surface water, respectively

图4 两个实验地点不同水层的水温变化

Fig. 4 Water temperature in different depth in two experimental sites



注:A指爱连湾养殖区,B指桑沟湾养殖区,0、1、3分别指表层、1 m和3 m水深

Note:A stands for Ailian Bay,B stands for Sanggou Bay;0,1,3 indicate 0 m,1 m and 3 m below the surface water, respectively

图5 两个实验地点不同水层溶解氧的变化

Fig. 5 Dissolved oxygen in different depth in two experimental sites

3.2 长牡蛎死亡率与自身免疫状态的关系

SOD是长牡蛎体液免疫中一个重要抗氧化酶,参与清除对生物体有害的 O_2^- (Farcy *et al.* 2005; Gonzalez *et al.* 2005)。铜锌超氧化物歧化酶(CuZn-SOD)是SOD酶中一个重要的种类(陈惠芳等 2003),目前有关长牡蛎夏季死亡的报道中还未见到对超氧化物歧化酶活性变化的研究。本实验对长牡蛎血液的SOD和CuZn-SOD的酶活性进行了测定。研究表明,牡蛎死亡率与SOD酶活性相关度为0.21,死亡率与CuZn-SOD酶活性相关度为0.20。对该酶与其他环境因子的相关性分析中发现,SOD酶活性和CuZn-SOD酶活性与盐度都呈明显的负相关,相关系数分别为-0.781和-0.763;SOD酶活性与温度、溶解氧和pH值的相关系数分别为0.591、0.535和0.414,CuZn-SOD酶活性与以上三者的相关系数分别为0.612、0.637和0.601。在本实验中,总SOD酶和CuZn-SOD酶与水温、溶解氧及pH值等环境因子都有很高的相关性,而且CuZn-SOD酶比总SOD酶与温度、溶解氧及pH值等环境因子有更高的相关性。研究还发现,从实验初期开始,酶活性呈下降趋势,A区9月份总SOD酶活性平均值是8月份的35%,A区9月份CuZn-SOD酶活性平均值是8月份的30%,B区9月份总SOD和CuZn-SOD酶活性平均值都是8月份的51%,即在实验期间,A区长牡蛎血液中总SOD和CuZn-SOD酶的调节幅度大于B区,这可能是A区长牡蛎免疫系统中SOD酶的调节能力更强,从而节约了能量消耗(陈慕雁等 2007),使得长牡蛎更好的适应外界环境(如盐度和溶解氧等)的变化。

3.3 长牡蛎死亡率与自身生长状况的关系

本实验对两地长牡蛎自身生长状况(体重、软体湿重、性腺湿重、软体干重、性腺干重)进行了监测。两地长牡蛎苗种都为2007年夏季采自爱连湾海区。然而两地长牡蛎生长状况却相差很大,两实验地点长牡蛎体重、软体湿重、性腺湿重、软体干重、性腺干重都为差异极显著($P < 0.01$),这几项指标,A区都比B区高1~2倍。这表明,相对于A区来说,B区长牡蛎生长受到了抑制。而且经Pearson方法分析,体重、软体湿重、性腺湿重、软体干重、性腺干重与死亡率之间的相关系数分别为-0.690、-0.498、-0.358、-0.330和-0.259。体重、软体湿重与死亡率的相关性相对明显,即生长情况相对不好的群体更容易发生死亡。根据当地渔民反映,两实验地点长牡蛎近几年出现这种明显反差现象,即在夏季高温季节,爱连湾养殖长牡蛎死亡率极低,而桑沟湾养殖长牡蛎死亡率居高不下,本实验开始前的6、7月份已经开始了对于两地长牡蛎进行监测,并没有出现明显的死亡现象,直到8月初才出现死亡现象。繁殖对长牡蛎死亡影响方面,有研究表明产卵后牡蛎外套膜糖原比未产卵的少,在停止喂食后闭壳肌糖原含量更低(Li *et al.*, 2008)。毛玉泽等(2005)研究发现,8月份长牡蛎产卵后氧氮比(O/N)迅速下降,表明该阶段长牡蛎代谢消耗了大量的蛋白质,据此推测长牡蛎体质脆弱可能是引起长牡蛎夏季大量死亡的原因之一。本实验中A区长牡蛎高死亡率阶段出现在8月24~31日,此时A区长牡蛎正处于产卵恢复期,这与Royer等(2007)认为长牡蛎死亡峰值恰好与产卵和性腺减少的产卵后期相吻合的观点基本相同。另外组织学观察显示,B区长牡蛎在8月10日前已经排卵,该点长牡蛎正处于产卵后恢复期,A区长牡蛎在8月下旬进入产卵恢复期。但对统计结果分析可见,虽然A区长牡蛎在8月24日之后处于产卵恢复期,但并未像B区死亡率最高达到51%,而且实验前期,并未发现两地长牡蛎出现明显死亡,所以可以确定产卵并不是造成长牡蛎死亡的主要因素。

4 结论与建议

(1)不同养殖区域长牡蛎的死亡率有很大差异。造成这种差异的主要原因是温度、DO等环境因子的不同,而导致环境不同的主要原因是桑沟湾的养殖密度、规模过大,影响了水交换。因此建议减少桑沟湾近岸牡蛎和其他筏式养殖密度。

(2)桑沟湾养殖区海水温度高、DO低可能是造成牡蛎夏季高温死亡的最直接环境因素。

(3)长牡蛎死亡率高与体内SOD酶调节能力的强弱可能有一定关系。产卵会对长牡蛎死亡率有一定的影响,但并非决定死亡率高低的因素。

参 考 文 献

- 马绍赛,周诗贵,陈聚法,幸福言,崔毅,陈碧鹃,于惠霆,孙坤言. 1997. 滩涂养殖牡蛎死亡及生态环境效应调查研究. 海洋水产研究, 18(2): 13~19
- 毛玉泽,周毅,杨红生,袁秀堂,文海翔,王如才. 2005. 长牡蛎(*Crassostrea gigas*)代谢率的季节变化及其与夏季死亡关系的探讨. 海洋与湖沼, 36(5): 445~451
- 孙丕喜,张朝晖,郝林华,王波,王宗灵,刘萍,连岩,常忠岳,谢琳萍. 2007. 桑沟湾海水中营养盐分布及潜在性富营养化分析. 海洋科学进展, 25(4): 436~445
- 吴富村,张国范. 2009. 皱纹盘鲍杂交幼鲍闽东内湾度夏初探. 海洋科学, 33(10): 9~14
- 陈惠芳,王琦,付学池,梅汝鸿. 2003. 超氧化物歧化酶(SOD)的分子生物学. 生命的化学, 23(4): 291~293
- 陈皓文. 2001. 桑沟湾表层细菌与生态环境因子的关系. 海洋环境科学, 20(3): 29~33
- 陈慕雁,杨红生. 2007. 贝类生态免疫研究进展. 海洋科学集刊, (48): 140~152
- 周毅,杨红生,毛玉泽,袁秀堂,张涛,刘鹰,张福绥. 2003. 桑沟湾栉孔扇贝生物沉积的现场测定. 动物学杂志, 38(4): 40~44
- 武晋宣,孙耀,张前前,王晓丽. 2005. 桑沟湾养殖水域沉积物中营养要素(TOC、TN和TP)溶出动力学特性. 海洋水产研究, 26(2): 62~67
- 赵俊,周士贵,孙耀,方建光. 1996. 桑沟湾增养殖水文环境研究. 海洋水产研究, 17(2): 68~79
- 隋锡林,孙景伟,王富贵,王军,王鉴,胡庆明,薛克,王笑月,王志松. 2002. 大连沿海太平洋牡蛎大量死亡原因解析. 大连水产学院学报, 17(4): 272~278

- 葛长宇, 方建光. 2006. 网箱养殖区野生许氏平鲉的种群数量. 吉首大学学报, 27(6): 99~102
- 蒋增杰, 方建光, 门强, 王巍. 2006. 桑沟湾贝类筏式养殖与环境相互作用研究. 南方水产, 2(1): 23~29
- FAO. 2009. 2008年世界渔业和水产养殖状况. 联合国粮食及农业组织, 罗马
- Auffret, M., Rousseau, S., Boutet, I., Tanguy, A., Baron, J., Moraga, D., and Duchemin, M. 2006. A multiparametric approach for monitoring immunotoxic responses in mussels from contaminated sites in Western Mediterranean. *Ecotox. Environ. Safe*, 63(3): 393~405
- Cheney, D. P., Macdonald, B. F., and Elston, R. A. 2000. Summer mortality of Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (thunberg); initial findings on multiple environmental stressors in puget sound, washington, 1998. *J. Shellfish Res.* 19(1): 353~359
- Cheney, D., Suhrbier, A., Middleton, M., Christy, A., Davis, J., Eudeline, B., Friedman, C., and Hedgecock, D. 2006. Pacific oyster summer mortality disease on the U. S. West Coast: 50 Years Later, International Workshop on Summer Mortality of Marine Shellfish, Pusan, Korea
- Delaporte, M., Chu, F., Langdon, C., Moal, J., Lambert, C., Samain, J., and Soudant, P. 2007. Changes in biochemical and hemocyte parameters of the Pacific oysters *Crassostrea gigas* fed T-Iso supplemented with lipid emulsions rich in eicosapentaenoic acid. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 343(2): 261~275
- Delaporte, M., Soudant, P., Lambert, C., Jegaden, M., Moal, J., Pouvreau, S., Digremont, L., Boudry, P., and Samain, J. F. 2007. Characterisation of physiological and immunological differences between Pacific oysters *Crassostrea gigas* genetically selected for high or low survival to summer mortalities and fed different ratios under controlled conditions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 353(1): 45~57
- Duchemin, M. B., Fournier, M., and Auffret, M. 2007. Seasonal variations of immune parameters in diploid and triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, 264(6): 73~81
- FAO. 2007. Aquaculture in China and Asia. FAO, Roma
- Farcy, E., Voiseux, C., Lebel, J., and Fievet, B. 2005. Seasonal changes in mRNA encoding for cell stress markers in the oyster *Crassostrea gigas* exposed to radioactive discharges in their natural environment. *Sci. Total Environ.* 374(7): 328~341
- Farcy, E., Voiseux, C., Lebel, J., and Fievet, B. 2009. Transcriptional expression levels of cell stress marker genes in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* exposed to acute thermal stress. *Cell Stress and Chaperones*, 14(4): 371~380
- Garnier, M., Labreuche, Y., Garcia, C., Robert, M., and Nicolas, J. L. 2007. Evidence for the involvement of pathogenic bacteria in summer mortalities of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Microbial. Ecol.* 53(2): 187~196
- Gonzalez, M., Romestand, B., Fievet, J., Huvet, A., Lebart, M., Gueguen, Y., and Bachere, E. 2005. Evidence in oyster of a plasma extracellular superoxide dismutase which binds LPS. *Biochem. Biophys. Res. Co.* 338(2): 1 089~1 097
- Huvet, A., Herpin, A., Digremont, L., Labreuche, Y., Samain, J., and Cunningham, C. 2004. The identification of genes from the oyster *Crassostrea gigas* that are differentially expressed in progeny exhibiting opposed susceptibility to summer mortality. *Gene*, 343(1): 211~220
- Li, Y., Qin, J. G., Li, X., and Benkendorff, K. 2008. Spawning-dependent stress response to food deprivation in Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 286(3): 309~317
- Royer, J., Ropert, M., and Costil, K. 2007. Spatio-temporal changes in mortality, growth and condition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Normandy (France). *J. Shellfish Res.* 26(4): 973~984
- Tun, K. L., Itoh, N., Shimizu, Y., Yamanoi, H., Yoshinaga, T., and Ogawa, K. 2008. Pathogenicity of the protozoan parasite *Marteilioides chungmuensis* in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Int. J. Parasitol.* 38(2): 211~217
- Zhang, J., Hansen, P. K., Fang, J., Wang, W., and Jiang, Z. 2009. Assessment of the local environmental impact of intensive marine shellfish and seaweed farming—Application of the MOM system in the Sungo Bay, China. *Aquaculture*, 287: 304~310