

桑沟湾筏式养鲍区水质分析

张继红^{1*}, 任黎华^{1,3}, 徐东¹, 张明亮¹, 吴桃¹, 蒋增杰¹,
王巍¹, 方建光¹, 连岩², 张新军², 刘新杰², 周颖敏²

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 荣成市渔业技术推广站, 山东 荣成 264300;

3. 青岛农业大学动物科技学院, 山东 青岛 266109)

摘要: 根据2009年4、6、8、10和12月5个航次的调查数据,分别采用有机污染指数(A)、营养水平指数(E)、营养盐浓度阈值法和化学计量法对鲍区的水质状况进行了分析。通过与海带区、非养殖区同步调查数据以及鲍区历史数据的比较,研究了筏式养鲍对水环境的影响。结果显示,鲍区溶解性无机氮、磷酸盐及硅酸盐的浓度分别在2.02~9.25, 0.086~0.420, 0.91~18.35范围内,季节变化明显。4、6、12月A值均<0,水质状态良好;8月和10月A值介于0和1之间,水质状态较好,鲍筏式养殖区尚未受到有机污染。E值介于0~0.5,水质营养水平处于贫营养状态。磷酸盐是鲍区、海带区及非养殖区的主要限制因子。鲍区的氨氮及无机氮浓度在8月出现峰值,显著高于海带区和非养殖区,也高于历史数据,可能与鲍的氨氮排泄有关。虽然鲍区目前的水环境状况较好,但是需要注意的是营养盐的结构和季节性变化趋势发生变化。

关键词: 皱纹盘鲍; 筏式养殖; 水质; 桑沟湾

中图分类号: S 917; X 824

文献标志码: A

近年来,随着海水养殖规模、密度的不断扩大,养殖对环境的压力日益增大,由此引起的养殖生物疾病的暴发,产量和产品质量下滑,已成为海水养殖产业所面临的主要的、共性的问题。如何保证养殖产业的可持续发展成为世界性的研究热点。不论是投饵型的鱼类网箱养殖,还是自养型的滤食性贝类养殖,都面临养殖自身污染问题。我国在鲍筏式养殖方面处于国际领先地位,筏式养鲍在我国南、北沿海逐渐兴起并大有迅速增加的趋势。由于筏式养鲍不同于滤食性贝类的养殖,而类似于网箱养鱼,需要定期投喂饵料,因此,筏式养鲍可能对生态环境产生一定的压力。目前采用该技术养殖鲍的国家很少,仅见南非^[1]利用养参的笼子筏式养殖鲍(*Haliotis asinine*)。关于皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)的研究包括饵料^[2-3]、营养成分^[4-5]、繁育^[6]、遗传^[7]等

等,但是,有关筏式养鲍的报道主要集中于养殖技术的介绍^[8-10],很少见筏式养殖鲍对环境影响的研究报道。本文采用有机污染指数、营养水平指数、营养盐浓度阈值法和化学计量法对桑沟湾筏式养鲍区的水质状况进行了分析。通过与海带区、非养殖区同步调查数据以及鲍区历史数据的比较,研究了筏式养鲍对水环境的影响,以期能为筏式养鲍产业的可持续发展提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 养殖情况与调查站位的设置

在桑沟湾寻山皱纹盘鲍筏式养殖区,一个养殖单元内(筏架长100 m,筏间距5 m,共计4排筏架)设置调查站位8个,站位的设置情况见图1。另外,在湾口的非养殖区设置1个空白对照点,在湾中间

收稿日期:2010-12-22 修回日期:2011-04-14

资助项目:国家自然科学基金(40876087, 41076111);国家科技支撑项目(2008BAD95B11, 2011BAD13B06)

通讯作者:张继红, E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

的海带区设置1个点。鲍筏式养殖情况如下:4月底鲍从南方运回,开始养殖。养殖方式采用与海带间养,在平挂养殖的海带中间,悬挂鲍养殖笼。100 m长的筏架上,悬挂30个鲍笼;皱纹盘鲍养殖笼,大盘方形,分四层,笼身总高600 mm。鲍的规格2.5~3.0 cm,每笼养殖410个。海带的养殖从11月至次年的6,8和10月期间,鲍区没有养殖的海带。

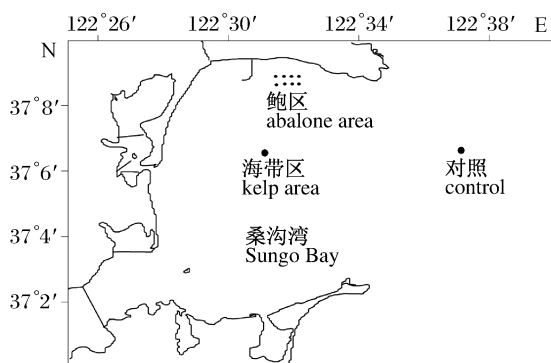


图1 桑沟湾调查站位图

Fig.1 Sampling stations in the studied area of Sungo Bay

1.2 样品的获取及参数的测定

分别于2009年4、6、8、10和12月,隔月一次进行环境调查。监测严格按照《海洋监测规范》(GB 17378-1998)进行。测定的参数包括温度、盐度、pH、溶解氧、化学需氧量(COD,碱性高锰酸钾法)、溶解态无机盐浓度(三氮、磷、硅)、叶绿素a浓度(丙酮萃取,分光光度计法)。由于水深比较浅,只取表层水(离水面0.5 m)。温度、盐度、pH、溶解氧采用YSI6600多参数水质分析仪测定;其它指标的分析按照《海洋调查规范》中的要求执行。水样经0.45 μm醋酸纤维滤膜过滤后,分别采用次溴酸钠氧化法、锌-镉还原法及重氮-偶氮法测定 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 及 NO_2^--N ;分别采用磷钼蓝法及硅钼蓝法测定可溶性活性磷酸盐和活性硅酸盐。

1.3 有机污染状况、营养水平及营养盐限制性评价

有机污染指数及营养水平指数依据以下公式计算^[11-12]:

$$A = C_{\text{COD}}/C'_{\text{COD}} + C_{\text{DIN}}/C'_{\text{DIN}} + C_{\text{DIP}}/C'_{\text{DIP}} - C_{\text{DO}}/C'_{\text{DO}}$$

$$E = C_{\text{COD}} \times C_{\text{DIN}} \times C_{\text{DIP}}/1500$$

式中,A为有机污染指数; C_{COD} 、 C_{DIN} 、 C_{DIP} 、 C_{DO} 分别为化学需氧量、无机氮、磷酸盐及溶解氧的实测值; C'_{COD} 、 C'_{DIN} 、 C'_{DIP} 、 C'_{DO} 分别为化学需氧量、无机氮、磷酸盐及溶解氧的一类海水水质标准值。E为营养水平指数。

营养盐限制的评价方法采用氮、磷、硅的含量水平以及三者之间的比值进行判断。首先,采用营养盐限制的阈值法,以理论上的营养盐半饱和常数[Theoretical half-saturation constant(K_s)]为评价标准($\text{N}=1 \mu\text{mol/L}$; $\text{P}=0.2 \mu\text{mol/L}$; $\text{Si}=2 \mu\text{mol/L}$)^[13],如果测定的某种营养盐浓度低于 K_s ,则视该种营养盐为浮游植物生长的限制性因子;如果测定的营养盐浓度高于 K_s ,则根据JUSTIC等^[14]提出的评估营养盐限制的方法—化学计量法,分析某种营养盐的潜在限制性,即:(1)若 $\text{Si/P}>22$ 且 $\text{N/P}>22$,则磷酸盐为限制因子;(2)若 $\text{N/P}<10$,且 $\text{Si/N}>1$,则无机氮为浮游植物生长的限制因子;(3)若 $\text{Si/P}<10$,且 $\text{Si/N}<1$,则硅酸盐为限制因子。

2 结果

2.1 基本理化环境条件

调查期间鲍养殖区水温介于6.2~23.21℃之间,水温高值出现在8月,低值出现在12月;溶解氧浓度分别介于5.91~10.14 mg/L范围内,季节变化趋势与水温相反,在冬季较高,8月最低;盐度比较稳定,在30.97~31.76范围内。

2.2 鲍养殖区水质参数的季节性变化

在整个调查期间,各站点的COD都低于2 mg/L,符合国家海水水质一类标准(表1)。鲍区COD的值季节性变化较小,高值出现在8月(0.56 mg/L)。整体上,调查海区的溶解性无机氮($\text{DIN}=\text{NO}_2^--\text{N}+\text{NO}_3^--\text{N}+\text{NH}_4^+-\text{N}$)的浓度较低,在2.73~9.25 μmol/L范围内,最低值出现在6月,之后逐渐升高,在10月达到峰值,12月略降,季节变化趋势由高到低依次为10、8、12、4、6月。8、10月属国家二类水质,4、6及12月符合国家一类海水水质标准。磷酸盐浓度的最低值出现在4月,已经低于浮游植物生长的阈值,之后逐渐增加,在12月达到最高值。硅酸盐的季节性变化较大,最高值出现在12月,是最低值(4月,硅酸盐浓度仅为0.91 μmol/L)的20倍。4月和8月,鲍区的溶解性无机氮以氨氮为主,硝酸盐次之,6月氨氮与硝酸盐所占的比例相近,10月和12月是以硝酸盐为主要成分。

2.3 鲍筏式养殖区的富营养化及有机污染评价

有机污染评价分级和水质营养水平评价分级分别见表2和表3。鲍筏式养殖区有机污染指数

及富营养化评价指数计算结果见表4。评价结果显示,鲍筏式养殖区尚未受到有机污染。4月、6月、12月A值均 <0 ,水质状态良好;8月和10月

A值介于 $0\sim 1$ 之间,水质状态较好。调查期间各个月份的E值都介于 $0\sim 0.5$ 之间,显示鲍筏式养殖区的水质处于贫营养状态水平。

表1 桑沟湾鲍筏式养殖区环境因子

Tab.1 Seasonal variation of environmental parameters in abalone long-line mariculture areas of Sungo Bay, China

	4月 April	6月 June	8月 August	10月 October	12月 December
溶解氧/(mg/L) DO	7.16 ± 0.87	6.22 ± 0.51	5.91 ± 0.26	6.77 ± 0.28	10.14 ± 0.85
化学需氧量/(mg/L) COD	0.47 ± 0.098	0.47 ± 0.23	0.56 ± 0.18	0.37 ± 0.20	0.46 ± 0.14
亚硝酸盐/($\mu\text{mol/L}$) $\text{NO}_2\text{-N}$	0.12 ± 0.013	0.087 ± 0.015	0.27 ± 0.012	1.09 ± 0.038	0.097 ± 0.12
硝酸盐/($\mu\text{mol/L}$) $\text{NO}_3\text{-N}$	0.50 ± 0.38	0.98 ± 0.57	1.73 ± 1.18	5.53 ± 0.89	3.70 ± 5.21
氨氮/($\mu\text{mol/L}$) $\text{NH}_4\text{-N}$	2.11 ± 0.37	0.96 ± 0.43	5.94 ± 0.27	2.62 ± 1.24	1.25 ± 0.13
溶解性无机氮/($\mu\text{mol/L}$)	2.73 ± 0.65	2.02 ± 0.46	7.94 ± 1.27	9.25 ± 1.55	5.04 ± 0.19
活性磷酸盐/($\mu\text{mol/L}$) $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	0.086 ± 0.049	0.22 ± 0.028	0.35 ± 0.17	0.37 ± 0.15	0.42 ± 0.055
硅酸盐/($\mu\text{mol/L}$) SiO_3^{2-}	0.91 ± 1.14	3.88 ± 1.52	13.78 ± 2.559	12.24 ± 1.04	18.35 ± 6.09
氮磷摩尔比 ratio N/P	37.39 ± 3.34	9.61 ± 3.08	27.12 ± 9.01	24.99 ± 11.53	11.97 ± 1.46
硅氮摩尔比 ratio Si/N	0.35 ± 0.59	2.04 ± 1.01	1.77 ± 0.41	1.32 ± 0.37	14.70 ± 1.11
叶绿素浓度/($\mu\text{g/L}$) <i>Chl. a</i>	1.23 ± 0.55	1.30 ± 0.25	-	1.60 ± 0.39	2.12 ± 0.36

表2 有机污染评价分级

Tab.2 Grade of organic pollution assessment

	A值 A value					
	<0	$0\sim 1$	$1\sim 2$	$2\sim 3$	$3\sim 4$	$4\sim 5$
污染分级 assessment grade	0	1	2	3	4	5
水质评价 assessment results	良好 good	较好 better	开始污染 pollution	轻度 light pollution	中度 medium pollution	严重 serious pollution

表3 水质营养水平评价分级

Tab.3 Classification of eutrophication evaluation for the sea water quality

	E值 E value			
	$0\sim 0.5$	$0.5\sim 1.0$	$1.0\sim 3.0$	≥ 3.0
营养水平分级 nutrient grade	1	2	3	4
营养水平 eutrophication level	贫营养 oligotrophic	中营养 mesotrophic	富营养 eutrophic	高富营养 top eutrophic

表4 有机污染指数及富营养评价指数的计算结果

Tab.4 Results of organic pollution indices and eutrophication assessment indices

	4月 April	6月 June	8月 August	10月 October	12月 December
有机污染指数 A organic pollution index, A	-0.67	-0.29	0.46	0.41	-0.30
营养水平 E 值 eutrophication index, E	0.032	0.060	0.43	0.36	0.29

2.4 鲍区、海带区及非养殖区水环境参数的比较

同步调查的结果显示,在整个调查期间,各区的COD都低于 2 mg/L ,符合国家海水水质一类标准(图2)。除4月空白对照点的COD显著高于鲍养殖区外,6、8和10月,鲍区的COD都是略高于对照点。鲍区COD的值季节性变化较小,介于 $0.46\sim 0.56\text{ mg/L}$,高值出现在8月。海带区的COD在4月和12月(海带生长的旺季)都出现了较高的值(1.2 mg/L)。

海带区与非养殖区的氨氮浓度相近,季节性变化也一致;鲍区在8月出现峰值,分别是海带区和非养殖区的3.0倍和2.7倍。海带区的无机氮浓度在各个调查月份都低于非养殖区,但是季节性变化趋势是一致的,都是从4月到10月逐渐降低,12月升高;鲍区的DIN在4月显著低于海带区($F=10.075, P=0.01 < 0.05$)和非养殖区($F=8.653, P=0.015 < 0.05$),但是在8月,DIN的浓度迅速升高,显著高于海带区($F=5.408,$

$P = 0.04 < 0.05$) 和非养殖区 ($F = 7.099, P = 0.022 < 0.05$)。

鲍区的磷酸盐和硅酸盐浓度的季节性变化趋势与其它两个区不同,从4月至12月都是逐渐增高,8月和10月的值高于海带区和非养殖区,12月的值高于海带区,与非养殖区相近。全年磷酸盐的平均值从高至低的顺序为非养殖区 (0.68 ± 1.11) $\mu\text{mol/L}$ > 鲍区 (0.29 ± 0.13) $\mu\text{mol/L}$ > 海带区 (0.16 ± 0.18) $\mu\text{mol/L}$; 硅酸盐从高至低的顺序为

鲍区 (9.83 ± 7.23) $\mu\text{mol/L}$ > 非养殖区 (9.80 ± 7.51) $\mu\text{mol/L}$ > 海带区 (6.61 ± 6.61) $\mu\text{mol/L}$ 。

综合阈值法和化学计量法分析调查区域的营养盐限制性情况,结果显示(表5),磷酸盐是各个调查区域的主要限制因子,非养殖区和海带区80%时间表现出为较强的磷限制,鲍区60%时间为磷限制。另外,4月份的营养盐浓度较低,鲍区同时受磷和硅的双重限制,对照区同时受氮和硅的双重限制;海带区受磷限制。

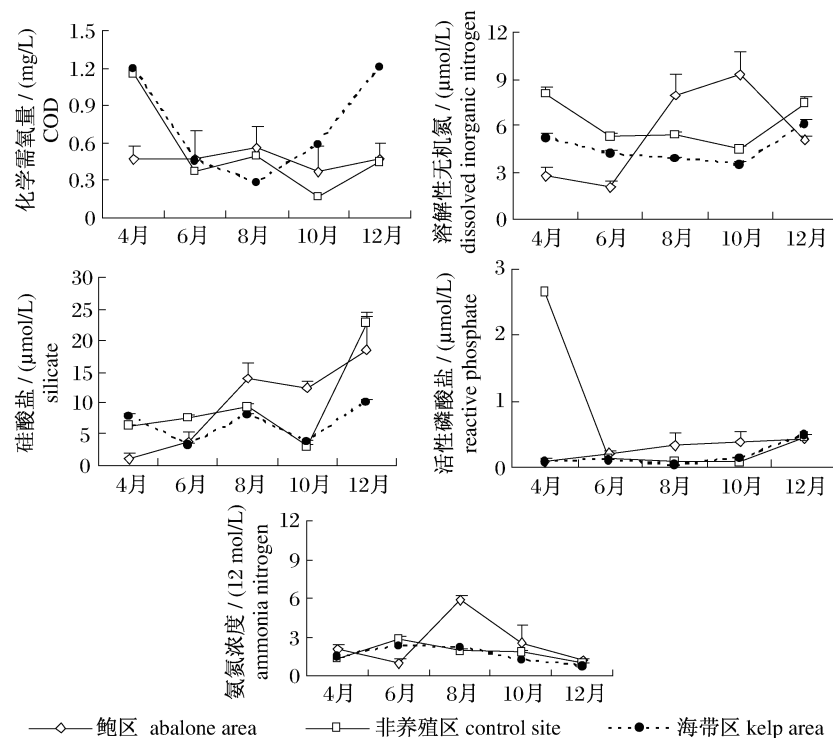


图2 桑沟湾不同区域营养盐浓度、结构及 COD 季节变化的比较

Fig. 2 Temporal variation of nutrient concentration, mole ratio and COD in surface water of sample stations

表5 3个调查区域不同季节的营养盐限制情况分析结果

Tab. 5 Nutrient limiting results of 3 sampling areas at different seasons

	4月 April	6月 June	8月 August	10月 October	12月 December
硅限制 Si-limit					
鲍区 abalone area	*				
海带区 kelp area					
非养殖区 control site	*				
氮限制 N-limit					
鲍区 abalone area					
海带区 kelp area					
非养殖区 control site	*				
磷限制 P-limit					
鲍区 abalone area	*		*	*	
海带区 kelp area	*	*	*	*	
非养殖区 control site		*	*	*	*

注: * 表示该区存在营养盐限制。

Notes: * means that there is nutrient limiting in the area.

3 讨论

3.1 鲍筏式养殖区的水质状况及筏式养鲍对水质的影响

5 个航次的调查结果显示,除 COD 外,其它各项调查指标都表现出明显的季节性变化。8 月和 10 月,溶解性无机氮含量为国家二级水质标准,其它各月份及其它各项调查指标在各个季节都达到国家一级水质标准。通过对筏式养殖区的水质状况的评价可知,鲍养殖区属贫营养水平,尚未受到有机污染。尽管如此,应该提请注意的是,同海带区和非养殖区相比,不论是营养盐浓度、结构、季节性变化趋势,还是营养盐限制性情况都存在不同程度的差异,这种差异可能与鲍的养殖活动有关。8 月份海带已经全部收获,随着水温的升高,鲍的氨氮排泄能力增大,残饵腐烂速度快,适逢缺乏海带对营养盐的吸收作用,使得鲍区溶解性无机氮的浓度(7.94 ± 1.27) $\mu\text{mol/L}$ 显著高于非养殖区和海带区;氨氮成为 DIN 的主要成分,占 DIN 的 75%,而非养殖区的氨氮仅占 DIN 的 35%。

海域营养盐浓度的季节性变化是受人类活动、气候变化多重压力共同影响的结果。由于区域的地理位置(水交换能力、底质条件等)、受陆

源的影响程度、人类的养殖种类、模式等活动的不同,不同区域的营养盐特性往往不同,其差异是否是由于养殖活动所致很难区分判断。研究养殖活动对环境的影响,通常采用与空白对照点相比较的方法,两种之间的差异,视为是养殖活动的影响所致^[15]。在大规模的养殖海域—桑沟湾采用这种方法必须谨慎。因为整个桑沟湾除了航道,几乎都用于养殖,很难找到非养殖的区域。本实验只能选取湾口的非养殖区作为对照,由于与养殖区的距离太大,水环境参数可能会受地理位置的影响,例如,同海带区和非养殖区相比,鲍区更靠近沿岸,可能受沿岸径流的影响。为此,在同一区域,对比分析了筏式养鲍前后的水质变化情况(图 3)(1999 年的数据来源于作者待发表的数据)。同筏式养鲍前相比,8 月溶解性无机氮的浓度显著增加;磷酸盐浓度在 4—10 月都低于筏式养鲍之前,并且,季节性变化趋势也发生了变化,1999 年,磷酸盐浓度的峰值出现在 6 月,最低值在 12 月,2009 年磷酸盐的浓度从 4—12 月呈现逐渐递增的趋势;1999 年硅酸盐的峰值在 10 月,2009 年出现在 12 月,回归分析结果显示,1999 年与 2009 年之间,硅酸盐及无机氮浓度没有显著性差异($P > 0.05$),磷酸盐浓度差异显著($P < 0.05$)。从营养盐的比值来看,筏式养鲍前,氮限

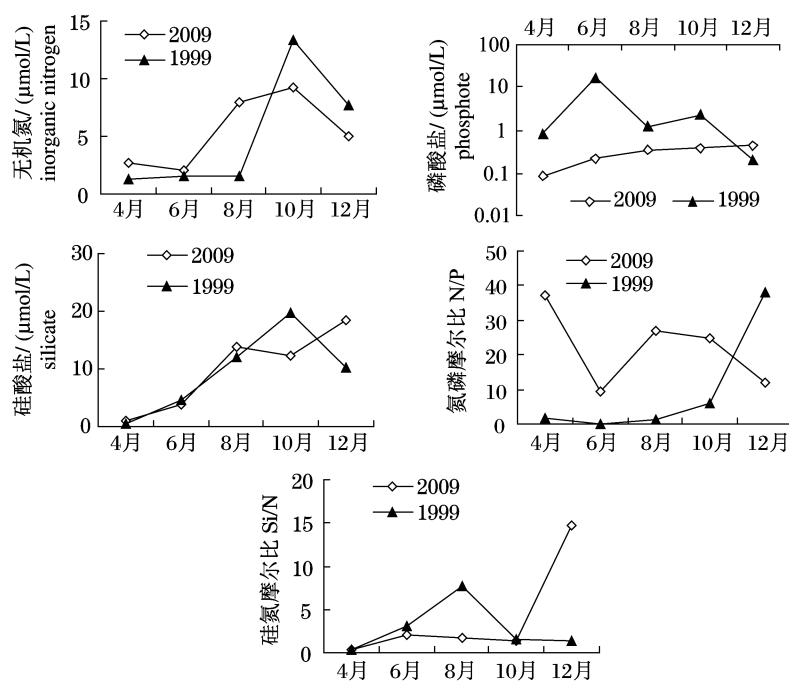


图 3 鲍区 2009 年与 1999 年营养盐指标的比较

Fig. 3 Comparison of nutrient indexes in abalone mariculture site between 2009 and 1999

制的潜在性较大,2009年,磷的限制性较强。可见,尽管与同是投饵型的网箱养鱼相比,筏式养鲍对环境的压力较小,但是,营养盐参数还是发生了一定程度的改变,在进行大规模高密度的筏式养鲍时,应予以关注,以避免因环境变化而引起大规模死亡。

3.2 筏式养鲍对水质影响的机理及桑沟湾筏式养鲍的特点

尽管筏式养鲍是一种投饵型的养殖方式,但是,鲍养殖区的水质状况良好,尚未受到有机污染,分析原因,可能与以下5点有关:(1)不同于网箱养鱼,筏式养鲍主要以新鲜海藻为饵料,有机污染较轻。而网箱养鱼的饵料,不论是冰鲜小杂鱼,加工的鱼糜,还是研制的配合饲料,投喂后都不能被充分利用^[16-17],输入氮通过鱼的收获而回收的氮不足30%,其余的氮以各种形式富集在水体及沉积物中,污染环境^[18];(2)同网箱相比,筏式养鲍的笼子,残饵不易流失。养殖者根据不同季节鲍的摄食情况,调整投饵的数量和频率。水温5~17℃,5d投喂1次;在夏季高温期,每3天投喂1次,及时收集清除残饵;(3)北方的筏式养鲍,通常与海带间养,鲍排泄的氨氮等营养物质可以被海带吸收,不仅促进了海带的生长,而且净化了环境,另外,海带作为鲍的饵料,可以随时投喂,节省了人力和物力;(4)鲍的生长速度缓慢,需要的饵料量少,鲍自身的排泄产物速率和数量都比较少^[19-21];(5)同位于黄海海域的海湾,如乳山湾^[22]、胶州湾^[23-25],威海湾^[26]等相比,桑沟湾的营养盐浓度较低,这可能与其长期、大规模的贝藻养殖有关。大型藻类及滤食性贝类适宜的养殖密度和布局,可以在一定程度上起到净化海水的作用^[27-28]。处于桑沟湾这一大环境中,筏式养鲍区与外部水交换,会使养殖自身污染物质易被稀释、输运扩散。由此可见,养殖活动的环境压力会因养殖区域的不同而存在一定的差异。

参考文献:

- [1] FERMIN A C, BUEN S M. Grow-out culture of tropical abalone, *Haliotis asinina* (Linnaeus) in suspended mesh cages with different shelter surface areas [J]. *Aquaculture International*, 2002, 9: 499-508.
- [2] XING R L, WANG C H, CAO X B, *et al.* Settlement, growth and survival of abalone, *Haliotis discus hannai*, in response to eight monospecific benthic diatoms [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2008, 20: 74-53.
- [3] 李太武,丁明进,刘金屏,等. 皱纹盘鲍及其饵料营养成分的研究 [J]. *海洋科学*, 1995, 19 (1): 52-57.
- [4] 周歧存,麦康森. 皱纹盘鲍维生素D营养需要的研究 [J]. *水产学报*, 2004, 28(2): 155-160.
- [5] 陈炜,孟宪治,陶平. 2种壳色皱纹盘鲍营养成分的比较 [J]. *中国水产科学*, 2004, 11(4): 267-270.
- [6] 李太武,徐继林,丁新,等. 皱纹盘鲍消化腺的超微结构 [J]. *动物学报*, 2001, 47(5): 583-586.
- [7] 李莉,孙振兴,杨树得,等. 用微卫星标记分析皱纹盘鲍群体的遗传变异 [J]. *遗传*, 2006, 28 (12): 1549-1554.
- [8] 李雪容. 皱纹盘鲍海上挂笼养殖试验 [J]. *科学养鱼*, 2007(9): 25-26.
- [9] 常忠岳,慕康庆. 降低海水筏式养鲍死亡率之良策 [J]. *水产科技*, 2004(2): 40-41.
- [10] 李顺华,王琦,孔拥滔,等. 皱纹盘鲍浮筏养殖技术 [J]. *水产养殖*, 2000(2): 11-12.
- [11] 田家怡,董景岳. 黄河口附近海域有机污染与赤潮生物的初步调查研究 [J]. *海洋环境科学*, 1983, 2 (1): 46-53.
- [12] 蒋国昌. 浙江沿海富营养化程度的初步探讨 [J]. *海洋通报*, 1987, 6(4): 38-39.
- [13] DORTCH Q, WHITLEDGE T E. Does nitrogen or silicon limit phytoplankton production in the Mississippi River plume and nearby regions? [J]. *Continental Shelf Research*, 1992, 12 (11): 1293-1309.
- [14] JUSTIE D, RABALIAIS N, TURNER R E, *et al.* Changes in nutrient structure of river dominated coastal water: stoichiometric nutrient balance and its consequences [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1995(40): 339-356.
- [15] DEMIRAK A, BALCI A, TÜFEKCI M. Environmental impact of the marine aquaculture in Güllük Bay, Turkey [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, 123: 1-12.
- [16] 张雅芝. 我国海水鱼类网箱养殖现状及其发展前景 [J]. *海洋科学*, 1995, 5: 21-26.
- [17] TACON A G J. Use of fish meal and fish oil in aquaculture: a global perspective [J]. *Aquatic Resources, Culture and Development*, 2004, 1: 3-14.
- [18] MERICAN I O, PHILLIPS M J. Solid waste production from rainbow trout culture [J].

- Aquaculture Fish Management,1985,16:55-70.
- [19] 黄璞伟,周一兵,刘晓,等.不同温度下皱纹盘鲍“中国红”与各家系代谢和吸收效率的比较[J].大连水产学院学报,2008,23(1):37-41.
- [20] 毕远溥,蒋双,刘海映,等.温度、体重对皱纹盘鲍耗氧量和排氨量的影响[J].应用与环境生物学报,2000,6(5):444-446.
- [21] 常亚青,王子臣.皱纹盘鲍的个体能量收支[J].应用生态学报,1998,9(5):511-516.
- [22] 幸福言,陈碧鹃,曲克明,等.乳山湾表层海水COD与氮、磷营养盐的分布及其营养状况[J].海洋水产研究,2004,25(5):52-56.
- [23] SHEN Z L. Historical changes in nutrient structure and its influences on phytoplankton composition in Jiaozhou Bay [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science,2001,52:211-224.
- [24] 韩彬,曹磊,李培昌,等.胶州湾大沽河河口及邻近海域海水水质状况与评价[J].海洋科学,2010,34(8):46-49.
- [25] 赵增霞,王芳,刘群,等.胶州湾东北部养殖海区环境质量状况及分析[J].海洋科学,2010,34(3):6-10.
- [26] 张少华,原永党,刘振林,等.威海湾水域环境因子周年变化特征[J].中国生态农业学报,2008,16(5):1248-1252.
- [27] SHUMWAY S E, DAVIS C, DOWNEY R, *et al.* Shellfish aquaculture-in praise of sustainable economies and environments [J]. Journal of the World Aquaculture Society,2003,34:15-17.
- [28] 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.

Analysis of water quality of abalone suspended long-line mariculture area of Sungo Bay

ZHANG Ji-hong^{1*}, REN Li-hua^{1,3}, XU Dong¹, ZHANG Ming-liang¹, WU Tao¹, JIANG Zeng-jie¹, WANG Wei¹, FANG Jian-guang¹, LIAN Yan², ZHANG Xin-jun², LIU Xin-jie², ZHOU Ying-min²

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Science, Qingdao 266071, China;

2. Rongcheng Fisheries Research Institute, Rongcheng 264300, China;

3. Animal Science Institute, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: Abalone long-line culture is a commercially important mariculture method in China. With the development of scale, it is very important and necessary to understand its influence on the environment. In this paper the effects of abalone long-line culture on the water quality were studied, in order to provide basic information for the setup of sustainable mariculture mode. Dissolved nutrients were investigated in abalone long-line mariculture area of Sungo Bay in April, June, August, October and December of 2009. Water quality was assessed by organic pollution indices (A) and eutrophication assessment indices (E). Nutrient factors limiting the growth of phytoplankton were assessed by the method of theoretical half-saturation constant (K_s) and stoichiometric ratios. By comparison of nutrients in abalone, kelp and no mariculture areas and the historic data, the environmental influence of abalone long-line mariculture was analyzed. Results showed that the concentration of dissolved inorganic nitrogen (DIN), PO_4^{3-} , and SiO_3^{2-} were at the range of 2.73–9.25 $\mu\text{mol/L}$, 0.086–0.42 $\mu\text{mol/L}$, 0.91–18.35 $\mu\text{mol/L}$, respectively. In April, June and December, A values were lower than 0, water conditions were in good level, in August and October, A values ranged between 0 and 1, water conditions were at preferable level. E values ranged in 0–0.5, which showed that the nutrient concentration was in the poor nutrient condition. This result suggested that the influence of abalone long-line culture on the water quality was limited. However, there were some extent variations between different areas in the nutrients concentration, nutrients structure and seasonal changing trend. P might be the key limitation in the monitoring area. From the historic changing trend, ammonium and DIN enrichment in abalone area in August should be paid more attention to.

Key words: *Haliotis discus hannai*; long-line mariculture; water quality; Sungo Bay

Corresponding author: ZHANG Ji-hong. E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn