

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20171018001

http://www.yykxjz.cn/

白怀宇, 李秋芬, 张艳, 陈碧鹃, 韩倩, 夏斌, 曲克明. 象山港中部养殖海区营养盐的季节变化及富营养化. 渔业科学进展, 2018, 39(6): 24–30

Bai HY, Li QF, Zhang Y, Chen BJ, Han Q, Xia B, Qu KM. Seasonal variation in nutrients and evaluation of eutrophication in the aquaculture areas in the middle water areas of Xiangshan Harbor. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(6): 24–30

象山港中部养殖海区营养盐的 季节变化及富营养化*

白怀宇¹ 李秋芬¹ 张 艳¹ 陈碧鹃^{1,2}
韩 倩¹ 夏 斌^{1,2①} 曲克明¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;

2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室 青岛 266071)

摘要 根据 2014 年 11 月, 2015 年 1 月、3 月和 7 月在象山港中部养殖海区开展的海洋调查所获得的海水营养盐数据, 分析了该海域营养盐含量的季节变化, 评价了海水的富营养化状况。结果显示, 该海域无机氮平均含量秋季最高, 春季次之, 冬季最低; 活性磷酸盐平均含量秋季最高, 夏季次之, 冬季最低。对不同养殖区域分析, 宁海海藻养殖区和西沪港海带养殖区的无机氮浓度除冬季 1 个站点外均劣于国家海水四类水质标准(0.50 mg/L), 活性磷酸盐浓度在春、秋两季劣于国家海水四类水质标准(0.045 mg/L)。全年各水层的 N/P 比值均高于 Redfield 比值, 磷相对缺乏。根据富营养化评价模式, 象山港中部养殖海区营养水平属于磷中等限制潜在性富营养型。

关键词 象山港; 营养盐; 季节变化; 富营养化

中图分类号 X821 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)06-0024-07

海湾是大陆和海洋相连接的区域。除地表径流和大洋环流等自然因素的影响外, 工业废水及生活污水的排放、海水养殖和海洋开发等人类活动导致近海的环境污染问题日趋严重, 特别是氮、磷等营养盐过剩而引起的富营养化已经成为世界沿海各国需要关注的一个重要的环境问题(戴纪翠等, 2009)。海水富营养化会破坏海洋生态系统的平衡, 其引起的赤潮会造成严重的经济损失, 从而影响海洋经济的发展。所以, 开展近海特别是海湾的富营养化水平调查评价, 对深入认识人类活动对海洋环境的影响具有重要意义。

象山港位于浙江省宁波市东南部, 是一个西南至

东北方向的狭长半封闭海湾, 已成为浙江省最大的水产养殖基地, 主要以海带、网箱养殖为主(刘永超等, 2016)。近年来, 随着沿岸人口的激增和工业、水产养殖业的迅速发展, 象山港的海水水质逐渐恶化, 特别是富营养化问题日益突出。目前, 针对象山港的海水富营养化问题, 已采取了控制网箱养殖规模、扩大大型藻类养殖、放流底栖贝类等措施, 进行生态修复。对象山港海域营养盐水平进行连续调查研究, 可以掌握该海域海水水质的变化规律, 对养殖生产及生态环境修复效果评价具有重要的指导作用(黄秀清等, 2015)。关于象山港海水环境质量评价的研究已有报

* 海洋公益性行业科研专项(201305043-3)和国家自然科学基金委-山东省联合基金项目(U1606404)共同资助[This work was supported by the National Marine Public Welfare Research Project(201305043-3), and the Joint Fund Project of National Fund Committee and Shandong Province(U1606404)]. 白怀宇, E-mail: xuehaiyouwo@163.com

① 通讯作者: 夏 斌, 副研究员, E-mail: xiabin@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2017-10-18, 收修改稿日期: 2017-11-22

道,张丽旭等(2008、2011)研究了 2005 年春季、夏季和秋季象山港营养盐的分布特征及近 20 年来象山港海域无机氮、活性磷酸盐和化学需氧量(COD)的变化趋势;付翔等(2012)建立了海湾养殖生态系统箱式模型,对海湾富营养化发展趋势进行了预测。基于象山港的养殖特点,对不同养殖区域进行营养盐季节变化分析的研究尚未有报道。本研究于 2014 年 11 月,2015 年 1 月、3 月和 7 月对象山港中部养殖海区开展了海洋环境质量调查,分析了象山港海区主要营养盐的季节变化,并进行了富营养化评价,为有效保护象山港的生态环境提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

象山港流域面积为 1455 km²,岸线全长为 392 km,其中,大陆岸线长 260 km,属于亚热带季风区,以低山丘陵为主,天然淤积海岸、侵蚀海岸和人工海岸交替分布(刘永超等,2016)。象山港地处 121°25'~122°00'E 和 29°23'~29°49'N 之间,是一个纵长约为 62.8 km、面积为 563 km²的半封闭港湾,水域面积为 391.8 km²,滩涂面积为 171.2 km²,平均水深为 10 m,港口宽度约为 9.5 km,流域年均径流量为 1.3×10⁹ m³。

象山港狭湾外段夏季主要受台湾暖流的影响,冬季主要受长江径流的影响,余环流基本上以水平结构为主,狭湾内段海域受外界影响较小,而中段则受 2 种环流结构叠加的影响(林忠洲等,2014)。港内滩涂养殖业发达,养殖条件良好,是浙江省最大的水产养殖基地。

1.2 采样站点与时间

分别于 2014 年 11 月(秋季),2015 年 1 月(冬季)、3 月(春季)和 7 月(夏季)在象山港中部养殖海区布设 8 个调查站位(图 1)。其中, L1 站位为非养殖区,宁海海藻养殖区包括 L2、L3 和 L4,以海带(*Laminaria japonica*)、龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)为主要养殖对象,面积约为 40 hm²,每年 12 月初放苗,次年 4、5 月收获。L5 为毛蚶(*Scapharca subcrenata*)底播区,是当地增殖放流试验区,每年放流数量不等,约为 0.2~1.8 亿粒/次。L6 为西沪港网箱养殖区,养殖面积约 3.33 hm²,常年养殖大黄鱼(*Larimichthys crocea*)、花鲈(*Lateolabrax maculatus*)等经济鱼种,投喂鲜杂鱼和其他人工饵料。西沪港海带养殖区包括 L7 和 L8,养殖面积约为 2.67 hm²,每年 12 月初放苗,次年 4、5 月收获。

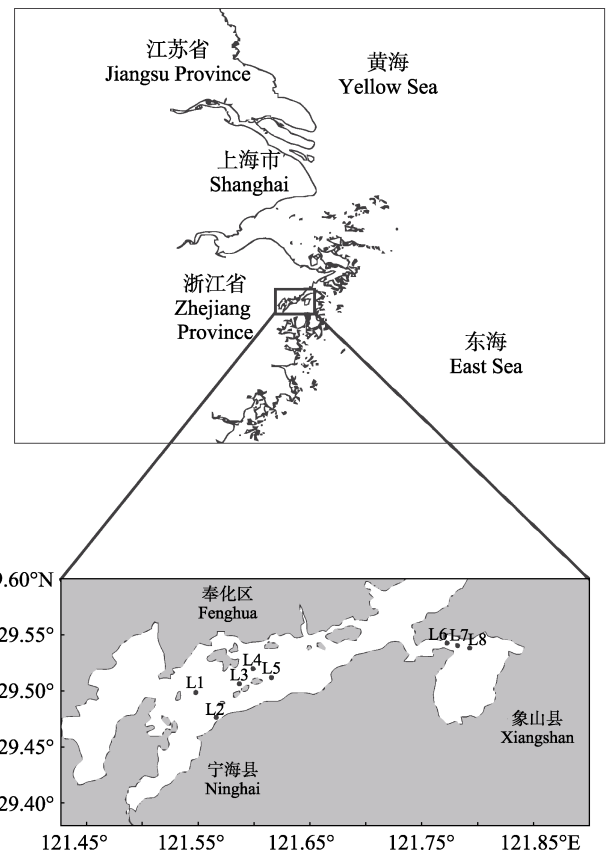


图 1 调查站点分布
Fig.1 Distribution of investigation stations

1.3 样品测定与分析方法

样品的采集和现场处理及分析方法参照《海洋监测规范》(GB 17378.4-2007)执行。水样用 Niskin 采水器采集,采样的层次为表层和底层。样品的测定分析包括:亚硝酸盐(NO₂-N)、硝酸盐(NO₃-N)、氨盐(NH₄-N)和磷酸盐(PO₄-P)。NO₂-N 采用萘乙二胺分光光度法测定,NO₃-N 采用镉柱还原法测定(相对误差为 1.4%),NH₄-N 采用次溴酸盐氧化法测定(相对误差为 0.4%),PO₄-P 采用磷钼蓝分光光度法测定(相对误差为 1.8%)。可溶性无机氮(DIN)的含量为 NO₂-N、NO₃-N 和 NH₄-N 三者之和。根据郭卫东等(1998)提出的潜在性富营养化评价模式,对象山港中部养殖海区 4 个季节总体富营养化水平进行评价。

2 结果与讨论

2.1 营养盐的季节变化特征

象山港中部海域春季、夏季、秋季和冬季营养盐含量如表 1 所示,从季节变化来看,表、底层 DIN 平均含量为秋季>春季>夏季>冬季,PO₄-P 含量为秋季>夏季>春季>冬季。

表 1 象山港海区营养盐平均浓度
Tab.1 The average contents of nutrients in Xiangshan Harbor ($\mu\text{g/L}$)

季节 Season	水层 Water-course	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	DIN	$\text{PO}_4\text{-P}$
春季 Spring	表层 Surface	24.6 (22~27)	1294 (730~1570)	84.5 (71~96)	1403 (847~1861)	49.8 (41~67)
	底层 Bottom	25.1 (24~26)	1130 (950~1420)	87.1 (65~100)	1242 (109~1509)	49.5 (39~63)
夏季 Summer	表层 Surface	10.7 (5.2~14)	984 (814~1170)	110 (80~150)	1104 (966~1288)	58 (22~77)
	底层 Bottom	8.5 (3.6~13)	1026 (911~1130)	106 (46~160)	1140 (963~1270)	65 (57~78)
秋季 Autumn	表层 Surface	15.3 (10~24)	1237 (909~1650)	136 (100~184)	1389 (1026~1844)	77 (65~98)
	底层 Bottom	13.5 (7.8~19)	1144 (850~1790)	110 (64~190)	1267 (1022~1867)	72.9 (63~91)
冬季 Winter	表层 Surface	11.5 (9.2~17)	659 (439~816)	51.5 (39~67)	722 (502~869)	36.6 (29~50)
	底层 Bottom	12.5 (8.7~19)	637 (401~897)	54.5 (45~70)	704 (482~978)	39.9 (31~52)

注：括号内数据为变化范围

Note: Data in brackets are the ranges

对于 DIN, 表、底层水域 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的平均含量以春季最高, 夏季最低; 表、底层水域 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的平均含量以春季最高, 冬季最低; 表、底层水域 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的平均含量以秋季最高, 冬季最低。在四季调查中, $\text{NO}_3\text{-N}$ 在春季、夏季、秋季和冬季所占比例分别为: 表层 92.22%、89.10%、89.10%和 91.27%, 底层 90.96%、89.97%、90.28%和 90.49%。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为溶解无机氮的主要存在形式, 这主要因为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 是 $\text{NH}_4\text{-N}$ 氧化或 $\text{NO}_3\text{-N}$ 还原过程的中间产物, 而 $\text{NH}_4\text{-N}$ 是生物代谢产物和死亡分解的最终产物(吕华庆等, 2009), 也是藻类的优先吸收对象, 使得 $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的含量相对较少。象山港海域 DIN 整体水平严重超标, 除冬季 L8 站位底层海水(0.482 mg/L)外, 其他站位、水层 DIN 含量均劣于海水四类标准(0.50 mg/L), 这可能与冬季两岸生产活动及地表径流减少有关。对于 $\text{PO}_4\text{-P}$, 在四季调查中, 只有 L7 站的夏季(0.022 mg/L)和冬季(0.029 mg/L)表层海水 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量优于海水二类标准(0.030 mg/L), 其他站点点的 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量均劣于海水二类标准。

与张丽旭等(2008)的研究结果相比, 发现象山港在近 10 余年的时间里, DIN 及 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度进一步升高。虽然象山港养殖的龙须菜及海带可以消耗大量的营养盐, 在 L7 和 L8 站位能看到一些效果, 但对于降低整个海区营养盐含量的效果仍不太显著, 这可能与陆源地表径流大量营养盐的输入超过了海藻的净化能力有关。

2.2 营养盐的区域分布特征

象山港中部养殖海区表、底层海水的 DIN 浓度在各个养殖区的季节差异较大, 非养殖区季节差异相对不显著(图 2)。从不同季节来看, 春、夏两季海藻生长旺盛, 大量吸收海水中的 DIN, 使得宁海海藻养殖区和西沪港海带养殖区的 DIN 浓度低于毛蚶底播区, 尤其是夏季底层海水, 甚至低于非养殖区。但秋季的表、底层 DIN 浓度相对于非养殖区并未明显降低, 一方面因为海带等受到温度和光照等条件的影响, 对 DIN 的吸收能力减弱(吴荣军等, 2009), 另一方面由于养殖区受到陆源因素(地表径流、人类活动等)的影响。毛蚶底播区海水的 DIN 浓度在春、秋两季均维持在较高水平, 尤其是在表层海水中更为明显; 而在底层海水中 DIN 浓度则随着季节变化逐渐降低。这主要是由于毛蚶的排泄物以氨类废物为主, 从中等规格开始, 随着壳长的增加即个体的生长, 排氨率逐渐降低(沈伟良等, 2008; 王庆志等, 2015)。

从不同季节来看, 所有调查区域表层海水 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量以秋季最高, 冬季最低(图 3)。底层海水除西沪港网箱养殖区外, $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量也以秋季最高, 冬季最低, 并且呈现由春至秋逐渐增加的情况。这可能是夏、秋季无藻类养殖活动, 而陆源径流量增大的结果: 一方面港湾内船舶产生的废水及渔民的生活污水增加; 另一方面, 夏季多雨, 致使地表径流带来的城市污水含有的 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量增加, 从而加剧了这一情况(吕华庆等, 2009)。西沪港网箱养殖区和毛蚶底播养

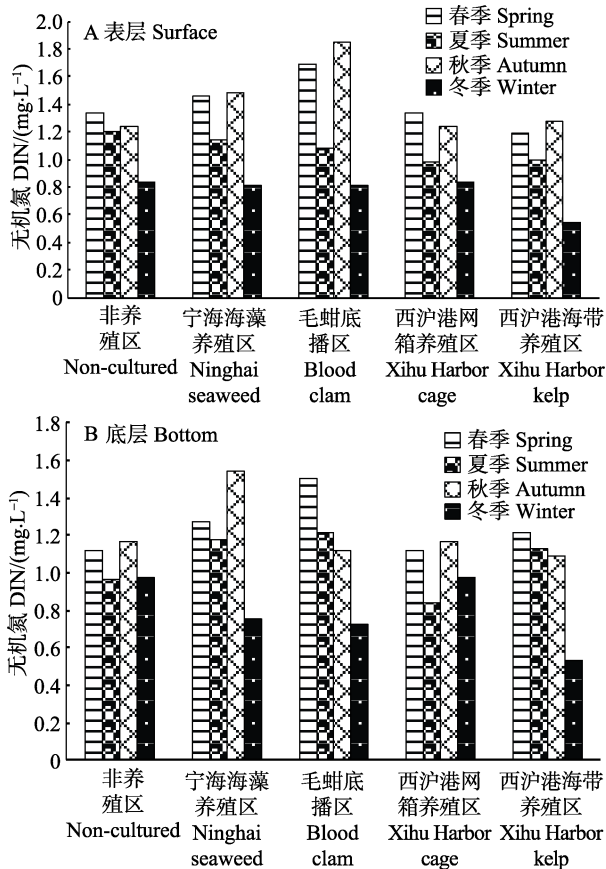


图 2 象山港不同区域的 DIN 浓度

Fig.2 Regional distributions of DIN in Xiangshan Harbor

养殖区表、底层海水 $PO_4\text{-P}$ 浓度与非养殖区相比无显著差异。

养殖龙须菜和海带能吸收水体中的无机氮和磷酸盐, 有利于控制并减少网箱养殖活动产生的营养盐含量。象山港养殖区通过合理规划、分区养殖的发展模式, 实现了鱼贝藻搭配、协同收益的良好局面(韩芳等, 2012)。但同时也应看到, 象山港海水污染问题由来已久(张丽旭等, 2005), 陆源径流和人类活动对象山港的环境质量影响较大。目前, 龙须菜和海带养殖规模还不足以对象山港的富营养化污染有明显的改善效果, 治理海水污染也不可能在短时间内一蹴而就。桑沟湾和象山港养殖品种相似, 地理环境略有差异, 但是象山港海域的无机氮和磷酸盐含量远高于桑沟湾(张继红等, 2010), 这主要也是由于陆源径流和人类活动对象山港的影响较大所致。

2.3 营养盐结构分析

Redfield 等(1963)研究表明, 浮游植物通常以约为 16 : 1 的 N/P 比值(原子比)摄取海水中的氮和磷, 当 N/P 比值大于 16 : 1 时, 表明水体为磷限制, 当 N/P 比值小于 16 : 1 时, 表明水体为氮限制, 过高或

过低于这个比值均会引起浮游植物生长受限, 这个比值通常称为 Redfield 比值。根据本次调查对象山港中部养殖海区的统计分析(图 4), 象山港海水四季的 N/P 比值均超过 Redfield 比值, 特别是在春季, 表、底层海水的 N/P 比值分别达到 62.44 和 55.57, 均高于其他季节表、底层的海水的 N/P 比值。这表明, 活性磷酸盐可能成为象山港海域浮游植物生长的限制因子之一, 这与韩芳等(2012)的研究结果一致, 说明象山港中部海域一直处于相对磷限制和氮过剩的状态。

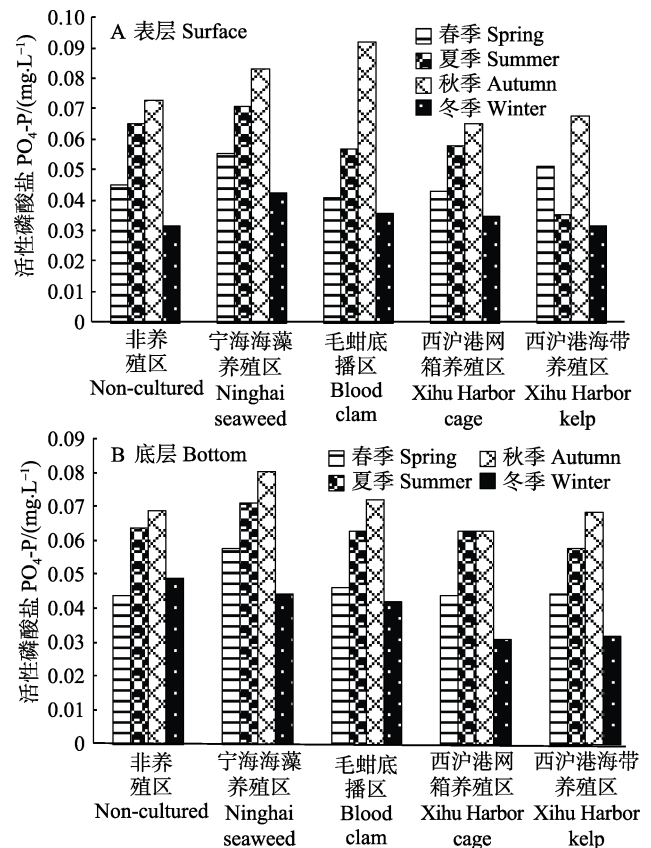


图 3 象山港不同区域的 $PO_4\text{-P}$ 浓度

Fig.3 Regional distributions of $PO_4\text{-P}$ in Xiangshan Harbor

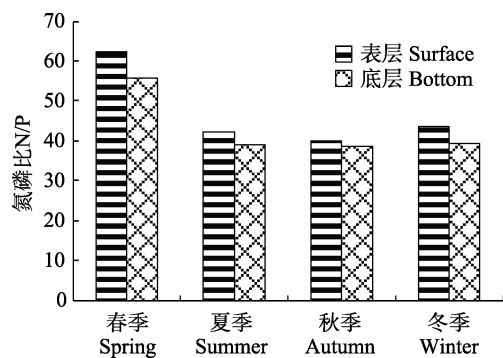


图 4 象山港调查海区四季的氮磷比
Fig.4 The N/P value of the investigation areas in Xiangshan Harbor in four seasons

从不同分区来看(表 2), 在不同季节、不同水层, 养殖区的 N/P 比值差异较大(29.38~91.33)。在毛蚶底播区, 春季表、底层海水的 N/P 比值高达 91.33 和 72.64; 但即使是最低的西沪港网箱养殖区底层海水

(29.38)也依然高于 Redfield 比值。同时, 海水 N/P 比值过高, 会降低虹彩圆筛藻(*Coscinodiscus oculusiridis*)等硅藻的竞争能力(曲克明等, 2000), 从而影响浮游植物的多样性。

表 2 象山港不同调查海区营养盐氮磷比
Tab.2 The N/P value of different investigation areas in Xiangshan Harbor

季节 Season	水层 Water-course	非养殖区 Non-cultured	宁海海藻养殖区 Ninghai seaweed	毛蚶底播区 Blood clam	西沪港网箱养殖区 Xihu Harbor cage	西沪港海带养殖区 Xihu Harbor kelp
春季 Spring	表层 Surface	65.74	58.28	91.33	68.80	51.04
	底层 Bottom	56.46	48.87	72.64	56.46	60.36
夏季 Summer	表层 Surface	40.95	35.72	42.00	37.34	61.63
	底层 Bottom	33.32	36.66	42.58	29.38	42.93
秋季 Autumn	表层 Surface	37.61	39.50	44.38	42.24	41.36
	底层 Bottom	37.39	42.29	34.53	40.95	35.14
冬季 Winter	表层 Surface	58.06	42.26	49.58	53.08	38.07
	底层 Bottom	44.20	37.53	38.00	69.86	36.29

2.4 富营养化评价

根据富营养化评价方法的划分标准, 对象山港海域的富营养化水平进行评价。结果显示, 象山港 4 个季节均属于磷中等限制潜在性富营养(表 3)。韩芳等(2012)的研究表明, 2010 年象山港网箱养殖海域处于严重富营养化状态, 这表明近年来象山港海域富营养化状况有所改善, 但海水富营养化问题仍然是象山港一直存在的生态环境问题, 这主要与象山港养殖活动、近岸生活污水的排放以及象山港的地理位置有关(曾相明等, 2011)。象山港海域水体交换能力弱, 港区置换 65%的水体需要 125 d, 置换 90%的水体需要 305 d(林忠洲等, 2014), 不利于污染物的扩散, 加剧了象山港海水的富营养化程度。在港湾内开展海水养殖, 一方面, 促进了海洋生态系统的高效产出, 保障了水产品的持续供给; 另一方面, 其最大程度地挖掘了以

碳汇扩增为特点的生态服务功能, 保障了生态系统健康。但这在短时间内没有改变象山港海水高污染及重度富营养化的现状。尤其是随着沿海港湾经济的快速发展, 人口急剧聚集, 导致大量的陆地污染物随地表径流及雨水冲刷注入港内, 致使象山港海水富营养化现象更加突出。因此, 在今后象山港养殖发展的过程中, 需要特别关注养殖生态容纳量与养殖品种的搭配、营养物质循环与养殖生物的互补互益、系统产出与生态和社会效益等科学数据的支撑, 实验经济效益与环境发展和谐统一。

3 结论

象山港中部养殖海区无机氮平均含量以秋季为四季最高, 春季次之, 冬季最低; 活性磷酸盐平均含量以秋季最高, 夏季次之, 冬季最低。比照海水水质标准, 全年除冬季外 DIN 总体水平均劣于海水第四类标准(0.50 mg/L); PO₄-P 水平春秋两季劣于海水第四类标准(0.045 mg/L)。

从不同区域来看, 宁海海藻养殖区和西沪港海带养殖区的 DIN 浓度全年劣于国家海水四类标准, PO₄-P 浓度全年劣于国家海水第四类标准, 但在冬春季节略优于其他海域; 毛蚶底播区的 DIN 和 PO₄-P 浓度在春秋两季有显著的增高情况。

象山港中部养殖海区表层、底层的 N/P 比值均高于 Redfield 比值, 呈现磷限制状态。根据营养化评价模式, 象山港中部养殖海区四季的营养盐水平仍较高, 为磷中等限制潜在性富营养。

表 3 象山港海区营养类型评价
Tab.3 Nutrition style assessment in Xiangshan Harbor

季节 Season	DIN (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	N/P	营养级 Nutrition level
春季 Spring	1.323	0.0496	59.06	V _p
夏季 Summer	1.122	0.0615	40.40	V _p
秋季 Autumn	1.328	0.0749	39.26	V _p
冬季 Winter	0.713	0.0383	41.22	V _p

参 考 文 献

- Dai JC, Gao XW, Ni JR, *et al.* Status analysis of nutrients and eutrophication assessment in Shenzhen coastal waters. *Environmental Science*, 2009, 30(10): 2879–2883 [戴纪翠, 高晓薇, 倪晋仁, 等. 深圳近海海域营养现状分析与富营养化水平评价. *环境科学*, 2009, 30(10): 2879–2883]
- Fu X, Hao K, Liu CG, *et al.* Simulation for polyculture and eutrophication in Xiangshan Harbor. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(1): 1–9 [付翔, 郝镡, 刘诚刚, 等. 象山港多品种养殖与富营养化状况的数值模拟. *渔业科学进展*, 2012, 33(1): 1–9]
- Guo WD, Zhang XM, Yang YP, *et al.* Potential eutrophication assessment for Chinese coastal waters. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1998, 17(1): 64–70 [郭卫东, 章小明, 杨逸萍, 等. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价. *台湾海峡*, 1998, 17(1): 64–70]
- Han F, Huo YZ, Du X, *et al.* Effect of fish-cage culture on water environment in Xiangshan Harbor. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(5): 825–830 [韩芳, 霍元子, 杜霞, 等. 象山港网箱养殖对水域环境的影响. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(5): 825–830]
- Huang XQ, Qi P, Qin WH, *et al.* Research on the evaluation method of marine ecological environment in Xiangshan Bay. *Haiyang Xuebao*, 2015, 37(8): 63–75 [黄秀清, 齐平, 秦渭华, 等. 象山港海洋生态环境评价方法研究. *海洋学报*, 2015, 37(8): 63–75]
- Lin ZZ, Yan XJ, Lencart E Silva JD. Study on the features of water exchange in Xiangshan Bay. *Journal of Ningbo University(NSEE)*, 2014, 27(1): 1–7 [林忠洲, 严小军, Lencart E Silva JD. 象山港水交换能力研究. *宁波大学学报(理工版)*, 2014, 27(1): 1–7]
- Liu YC, Li JL, Yuan QX, *et al.* Comparative research on the impact of human activities on changes in coastline and landscape in bay areas: A case study with Xiangshangang Bay, China and Tampa Bay, USA. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(1): 86–103 [刘永超, 李加林, 袁麒翔, 等. 人类活动对港湾岸线及景观变迁影响的比较研究——以中国象山港与美国坦帕湾为例. *地理学报*, 2016, 71(1): 86–103]
- Lv HQ, Chang KM, Shi GD. Circulation and distribution of nitrogen and phosphorus in Xiangshan Bay, China. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(2): 138–144 [吕华庆, 常抗美, 石钢德. 象山港氮、磷营养盐环流和分布规律的研究. *海洋与湖沼*, 2009, 40(2): 138–144]
- Qu KM, Chen BJ, Yuan YX, *et al.* A preliminary study on influence of N and P on population constituent of planktonic diatoms in seawater. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3): 445–448 [曲克明, 陈碧鹃, 袁有宪, 等. 氮磷营养盐影响海水浮游硅藻种群组成的初步研究. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 445–448]
- Redfield AC, Ketchum BH, Richards FA. The influence of organisms on the composition of sea-water. In: Hill MN (Ed). *The sea: Ideas and observations on progress in the study of the seas*. New York: Interscience Publishers, 1963, 26–77
- Shen WL, You ZJ, Shi WL. Study on size and salinity related oxygen consumption and ammonia excretion of *Scapharca subcrenata* spat. *Marine Fisheries Research*, 2008, 29(2): 53–56 [沈伟良, 尤仲杰, 施祥元. 不同规格及不同盐度下毛蚶稚贝耗氧率和排氨率的研究. *海洋水产研究*, 2008, 29(2): 53–56]
- Wang QZ, Zhang M, Teng WM, *et al.* A review: Research progress of biology in ark shell *Scapharca subcrenata* insight from aquaculture. *Journal of Dalian Ocean University*, 2015, 30(4): 437–443 [王庆志, 张明, 滕炜鸣, 等. 毛蚶养殖生物学研究进展. *大连海洋大学学报*, 2015, 30(4): 437–443]
- Wu RJ, Zhang XL, Zhu MY, *et al.* A model for the growth of Haidai (*Laminaria Japonica*) in Aquaculture. *Marine Science Bulletin*, 2009, 28(2): 34–40 [吴荣军, 张学雷, 朱明远, 等. 养殖海带的生长模型研究. *海洋通报*, 2009, 28(2): 34–40]
- Zeng XM, Guan WB, Pan C. Cumulative influence of long term reclamation on hydrodynamics in the Xiangshangang Bay. *Journal of Marine Sciences*, 2011, 29(1): 73–83 [曾相明, 管卫兵, 潘冲. 象山港多年围填海工程对水动力影响的累积效应. *海洋学研究*, 2011, 29(1): 73–83]
- Zhang JH, Jiang ZJ, Wang W, *et al.* Seasonal distribution and variation of nutrients and nutrients limitation in Sanggou Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(4): 16–25 [张继红, 蒋增杰, 王巍, 等. 桑沟湾营养盐时空分布及营养盐限制分析. *渔业科学进展*, 2010, 31(4): 16–25]
- Zhang LX, Jiang XS, Cai YH. Characteristics of nutrient distributions and eutrophication in seawater of the Xiangshan Harbor. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(5): 488–491 [张丽旭, 蒋晓山, 蔡燕红. 象山港海水中营养盐分布与富营养化特征分析. *海洋环境科学*, 2008, 27(5): 488–491]
- Zhang LX, Ren S, Jiang XS. Characteristics polluted by nitrogen and phosphorus and potential eutrophication assessment in Xiangshan Harbor. *Marine Environmental Science*, 2005, 24(3): 68–71 [张丽旭, 任松, 蒋晓山. 象山港海域 N、P 污染特征及潜在性富营养化程度评价. *海洋环境科学*, 2005, 24(3): 68–71]
- Zhang LX, Zhao M, Cai YH. Variation trends of N, P and COD_{Mn} in Xiangshan Harbor and the relationship between them with eutrophication. *Marine Environmental Science*, 2011, 30(1): 81–85 [张丽旭, 赵敏, 蔡燕红. 象山港海域 N、P 和 COD_{Mn} 的变化趋势及其与富营养化的关系. *海洋环境科学*, 2011, 30(1): 81–85]

Seasonal Variation in Nutrients and Evaluation of Eutrophication in the Aquaculture Areas in the Middle Water Areas of Xiangshan Harbor

BAI Huaiyu¹, LI Qiufen¹, ZHANG Yan¹, CHEN Bijuan^{1,2}, HAN Qian¹, XIA Bin^{1,2①}, QU Keming¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071;

2. Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science,

Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071)

Abstract Based on data from the aquaculture sea-areas of the middle part of Xiangshan Harbor surveyed in autumn of 2014, and spring, summer, and winter of 2015, nutrient levels and seasonal variation in nutrients were evaluated. The results showed that the inorganic nitrogen and phosphorus levels in autumn were higher than those in spring, summer, and winter. Among all regions, the DIN (Dissolved inorganic nitrogen) concentrations in Ninghai seaweed and Xihu Harbor kelp culture areas were higher than the fourth level of seawater standard (0.50 mg/L), except one sampling station in the winter. PO₄-P content were higher than the fourth level of seawater standard (0.045 mg/L) in the spring and autumn. This may be due to human activity, which was focused on the development of local economy and urban upgrading. Additionally, the rivers that flowed through the metropolis around Xiangshan Harbor carried domestic wastewater and rainfall, consisting of superfluous inorganic nitrogen and inorganic phosphorus, to the sea water. Conversely, seaweed, as well as algae such as kelp, was originally cultivated to reduce the level of DIN and PO₄-P, and has not functioned optimally during recent years, contradicting with the nutrient data from previous investigation. The N/P ratios of the sea water in the middle areas of Xiangshan Harbor were higher than the Redfield ratio in four seasons, lacking in inorganic phosphorus correspondingly. According to the potential eutrophication assessment model, Xiangshan Harbor possessed potential, rich nutrition, with medium levels of restricted phosphorus in four seasons.

Key words Xiangshan Harbor; Nutrient; Seasonal variation; Eutrophication

① Corresponding author: XIA Bin, E-mail: xiabin@ysfri.ac.cn