

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180713002

http://www.yykyjz.cn/

王昊, 辛梅, 陈碧鹃, 朱琳, 夏斌, 张艳, 孙雪梅, 陈聚法, 曲克明. 青岛文昌鱼自然保护区营养盐时空分布特征及富营养化评价. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 34-41

Wang H, Xin M, Chen BJ, Zhu L, Xia B, Zhang Y, Sun XM, Chen JF, Qu KM. Temporal and spatial variation of nutrients and evaluation of the eutrophication in the Qingdao Lancelet Reserve Area in 2017. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(5): 34-41

# 青岛文昌鱼自然保护区营养盐时空分布特征及富营养化评价\*

王昊<sup>1,2</sup> 辛梅<sup>4</sup> 陈碧鹃<sup>2,3</sup> 朱琳<sup>2,3</sup>  
夏斌<sup>2,3①</sup> 张艳<sup>2,3</sup> 孙雪梅<sup>2,3</sup> 陈聚法<sup>2</sup> 曲克明<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业资源可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室 青岛 266071; 3. 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; 4. 青岛市渔业技术推广站 青岛 266071)

**摘要** 本研究分析了2017年9月(夏季)和11月(秋季)青岛市文昌鱼(*Branchidermus fasciatus*)水生野生动物市级自然保护区营养盐含量的季节变化和平面分布,并对该海域进行了富营养化评价。研究结果显示,2017年溶解无机氮(DIN)平均含量夏季高于秋季,NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N平均含量分别是秋季的1.98倍、1.44倍,而NO<sub>3</sub>-N和PO<sub>4</sub>-P平均含量低于秋季,分别是秋季的88.8%和47.6%。夏季DIN总体水平优于海水一类标准值,PO<sub>4</sub>-P总体水平优于海水一类标准值;秋季DIN总体水平优于海水一类标准值,PO<sub>4</sub>-P总体水平劣于海水一类标准值。从水平分布来看,夏季海水的DIN浓度分布趋势大致呈核心区>实验区>缓冲区的趋势;秋季海水的DIN浓度分布呈缓冲区>实验区>核心区。夏季N/P比值略高于Redfield比值,而秋季N/P比值较低于Redfield比值,DIN相对缺乏。根据潜在性富营养化评价模式,2017年保护区海域夏季和秋季营养水平较低,均属于贫营养水平。

**关键词** 文昌鱼;自然保护区;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(2019)05-0034-08

海水中的营养盐是构成海洋生态系统的重要组成部分,其含量的分布规律具有显著的时间性和空间性,通过分析其分布规律可以直接了解海区内水文条件和生物的生命活动规律(蒋红等,2005;徐东会等,2017)。近年来,因为人类活动范围的不断扩大,对

海洋环境的影响也越来越大。受到人类活动的影响,河流和大气输入到海洋中的营养盐不断增多,导致营养盐比例失衡,从而导致近岸水体富营养化进程加快,进而会改变近岸海域的海洋生态系统(Turner *et al.*, 1994; Turner, 2002)。因此,掌握海水中营养盐的含量

\* 国家自然科学基金委-山东省联合基金项目(U1606404)和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创新团队项目(LMEES-CTSP-2018-4)共同资助 [This work was supported by the NSFC-Shandong Joint Fund for Marine Ecology and Environmental Sciences (U1606404), and Creative Team Project of the Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology (LMEES-CTSP-2018-4)]. 王昊, E-mail: zglenovo007@163.com

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

收稿日期: 2018-07-13, 收修改稿日期: 2018-07-28

和分布规律,对于生态保护和控制海洋初级生产能力方面起着重要的作用。

水产种质资源保护区是指为保护水产种质资源及其生存环境,在保护物种的主要生长繁殖区域如产卵场、索饵场等依法划定并予以特殊保护和管理的海域、滩涂及其毗邻的岛礁、陆域。对水产种质资源保护区进行调查可以及时掌握该海域的水质状况,有利于实现濒危物种的保护以及该区域的可持续发展。目前,已对一些保护区进行了调查报道,如夏斌等(2010)和崔毅等(2013)对山东省文登市靖海湾松江鲈鱼(*Trachidermus fasciatus*)国家级水产种质资源保护区进行了评价;夏斌等(2014)和赵建华等(2015)对山东省日照市海州湾大竹蛭(*Solen grandis*)资源保护区进行了评价,但关于青岛市文昌鱼水生野生动物市级自然保护区的监测及评价还没有报道。文昌鱼(*Branchiostoma belcheri*)是国家二级保护水生野生动物,属脊索动物门,由无脊椎动物进化到脊椎动物的过渡型动物,因其对栖息环境的要求比较高,所以栖息地相对狭小。为了更好地保护和恢复生物多样性,青岛市建立了青岛市文昌鱼水生野生动物市级自然保护区。

本研究于 2017 年 9 月和 11 月对青岛市文昌鱼水生野生动物市级自然保护区的水质状况进行了调查监测,分析了 DIN 和  $PO_4\text{-P}$  的季节变化情况,掌握了文昌鱼保护区的海水营养状况,并进行了富营养化评价,相关数据将为该海域生物多样性保护和恢复提供重要参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

青岛市文昌鱼水生野生动物市级自然保护区于 2004 年建立,位于胶州湾口外海域,临近青岛市城区和港口,是胶州湾主要的航道和锚地。海域内范围由(1)120°20'15"E, 35°57'00"N; (2)120°20'15"E, 36°01'00"N; (3)120°25'49"E, 36°01'00"N; (4)120°25'49"E, 35°57'00"N 4 点连线范围以内的海域,总面积 61.81 km<sup>2</sup>。根据自然环境和文昌鱼资源状况,保护区划分为核心区、缓冲区和实验区。其中,核心区实行封闭保护,禁止一切可能对保护区造成破坏的活动;缓冲区可进行科学研究观测活动,禁止开展旅游和渔业养殖活动;实验区可从事科学研究、旅游垂钓等活动,禁止建设污染环境的设施。同时该海域砂体以长石石英为主的沙、砾沉积,有利于文昌鱼的生长(马明辉等, 2005; 杨建威, 2008)。

### 1.2 采样站位与时间

调查海域为青岛市文昌鱼水生野生动物市级自然保护区所处海域(120°21'~120°25'E, 35°57.5'~36°00.5'N), 布设 9 个调查站位(图 1)来采集水样。采集时间为 2017 年 9 月(夏季)和 11 月(秋季),调查船只为中国水产科学研究院黄海水产研究所“黄海星”号调查船,用 Niskin 采水器采集水样,采样的层次为表、底层。样品的采集和现场处理及分析方法均参照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)执行。

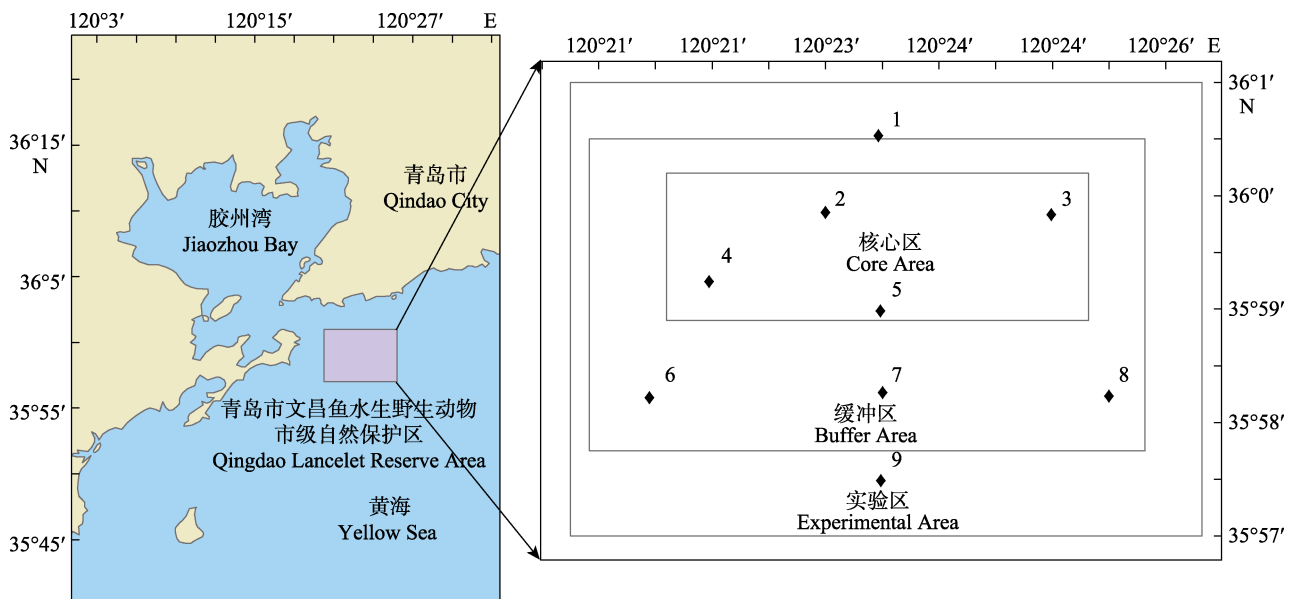


图 1 调查站位

Fig.1 Sampling stations in the Lancelet Reserve Area

### 1.3 测定参数及分析方法

样品的检测项目包括温度、盐度、亚硝酸盐( $\text{NO}_2\text{-N}$ )、硝酸盐( $\text{NO}_3\text{-N}$ )、氨氮( $\text{NH}_4\text{-N}$ )和磷酸盐( $\text{PO}_4\text{-P}$ )。采用美国 YSI556 型多参数水质监测仪测定海水表层的温度、盐度等环境参数。 $\text{NO}_2\text{-N}$  采用萘乙二胺分光光度法测定,  $\text{NO}_3\text{-N}$  采用镉柱还原法测定,  $\text{NH}_4\text{-N}$  采用次溴酸盐氧化法测定,  $\text{PO}_4\text{-P}$  采用磷钼蓝

分光光度法测定;无机氮(DIN)的含量为  $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{NH}_4\text{-N}$  三者之和。

### 1.4 富营养化评价方法

根据郭卫东等(1998)提出的潜在性富营养化评价模式对青岛市文昌鱼水生野生动物市级自然保护区夏、秋 2 个季节富营养化水平进行评价, 营养级的划分见表 1。

表 1 潜在性富营养化评价标准

Tab.1 The evaluation standards for potential eutrophication

级别 Grade	营养级 Nutrient level	DIN(mg/L)	IP(mg/L)	N/P (原子比)
I	贫营养 Poor nutrition	<0.2	<0.03	8~30
II	中度营养 Medium nutrition	0.2~0.3	0.03~0.045	8~30
III	富营养 Rich nutrition	>0.3	>0.045	8~30
IV <sub>P</sub>	磷限制中度营养 Medium nutrition with limited phosphorus	0.2~0.3	—	>30
V <sub>P</sub>	磷中等限制潜在性富营养 Potential rich nutrition with medium limited phosphorus	>0.3	—	30~60
VI <sub>P</sub>	磷限制潜在性富营养 Potential rich nutrition with limited phosphorus	>0.3	—	>60
IV <sub>N</sub>	氮限制中度营养 Medium nutrition with limited nitrogen	—	0.03~0.045	<8
V <sub>N</sub>	氮中等限制潜在性富营养 Potential rich nutrition with medium limited nitrogen	—	>0.045	4~8
VI <sub>N</sub>	氮限制潜在性富营养 Potential rich nutrition with limited nitrogen	—	>0.045	<4

## 2 结果与讨论

### 2.1 水温

保护区在夏季表层海水温度范围为 25.72℃~26.95℃, 平均海水温度为 26.20℃, 其中核心区表层海水温度范围为 25.84℃~26.00℃, 平均表层海水温度为 25.92℃, 缓冲区表层海水温度范围为 26.01℃~26.95℃, 平均表层海水温度为 26.61℃, 实验区表层海水温度范围为 25.72℃~26.57℃, 平均表层海水温度为 26.15℃; 秋季保护区表层海水温度范围为 16.34℃~16.41℃, 平均表层海水温度为 16.38℃。其中, 核心区表层海水温度范围为 16.35℃~16.41℃, 平均表层海水温度为 16.37℃, 缓冲区表层海水温度范围为 16.37℃~16.40℃, 平均表层海水温度为 16.39℃, 实验区表层海水温度范围为 16.34℃~16.39℃, 平均表层海水温度为 16.37℃。在对保护区海域的调查期间, 其海域表层海水温度介于 16.34℃~26.95℃之间, 由于保护区海域水深较浅, 其海水温度易受气温和光照等外界环境因素的影响。文昌鱼的生长发育与海水温度有关, 且其胚胎在 18℃以上才能正常发育, 因此, 通过对海水温度的调查分析发现, 该海域适宜文昌鱼的生长发育(吴贤汉等, 1998)。

### 2.2 盐度

保护区在夏季调查海域表层盐度范围为 31.89~31.96, 平均表层盐度值为 31.93, 其中核心区表层盐度范围为 31.89~31.96, 平均表层盐度为 31.93, 缓冲区表层盐度范围为 31.91~31.96, 平均表层盐度为 31.94, 实验区表层盐度均为 31.90, 平均表层盐度为 31.90; 秋季保护区表层盐度范围为 32.22~32.29, 平均表层盐度值为 32.26。其中, 核心区表层盐度范围为 32.25~32.26, 平均表层盐度为 32.25, 缓冲区表层盐度范围为 32.22~32.29, 平均表层盐度为 32.26, 实验区表层盐度范围为 32.25~32.28, 平均表层盐度为 32.27。在对保护区海域的调查期间, 其海域表层盐度介于 31.89~32.28, 盐度最高值出现在 11 月, 最低值则出现在 6 月。保护区海域盐度的总体表现为秋季高于夏季, 出现这个情况的原因主要是, 夏季降水高于秋季, 所以该海域易受降雨的影响。研究证明, 青岛文昌鱼正常胚胎发育的盐度范围为 21~33, 因此, 该海域符合青岛文昌鱼胚胎正常发育的盐度范围(吴贤汉等, 1998)。

### 2.3 营养盐的季节变化

保护区海域夏季  $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$  和  $\text{PO}_4\text{-P}$

的表底层平均浓度分别为 11.97、39.71、15.52 和 9.12; 秋季 NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 和 PO<sub>4</sub>-P 的表底层平均浓度分别为 6.06、44.71、10.80 和 19.15。由表 2 可以看出, 保护区海域夏季 NO<sub>2</sub>-N 和 NH<sub>4</sub>-N 平均含量高于秋季, 分别是秋季的 1.98 倍和 1.44 倍, 而 NO<sub>3</sub>-N 和 PO<sub>4</sub>-P 平均含量低于秋季, 分别是秋季的 88.8% 和 47.6%。通过对保护区的调查发现, NO<sub>3</sub>-N 为 DIN 的主要存在形式, 夏季和秋季表层分别占 DIN 的 58.0% 和 74.4%、底层分别占 60.0% 和 70.8%; NO<sub>2</sub>-N 夏季和秋季表层分别占 DIN 的 18.4% 和 9.6%, 底层分别占 17.3% 和

10.1%; NH<sub>4</sub>-N 夏季和秋季表层分别占 DIN 的 23.6% 和 16.0%, 底层分别占 22.7% 和 19.1%。从季节性变化来看, DIN 含量为夏季 > 秋季, PO<sub>4</sub>-P 含量为秋季 > 夏季。有研究表明, 在近海海区 DIN 和 PO<sub>4</sub>-P 含量夏、秋季含量高于春、冬季(孙丕喜等, 2007; 李欣钰等, 2016), 这主要是因为青岛地区夏季降水多, 大量的降水使得陆源营养盐进入胶州湾, 这对海水中无机盐含量的影响很大。通过本调查也可以看出, DIN 含量夏季 > 秋季, 但整体相差不大; 而 PO<sub>4</sub>-P 含量秋季 > 夏季, 与李欣钰等(2016)2013 年对胶州湾的调查结果大致相同。

表 2 青岛文昌鱼自然保护区营养盐平均浓度

Tab.2 The average contents of nutrients in Qingdao Lancelet Reserve Area (μg/L)

季节 Season	水层 Water layer	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	DIN	PO <sub>4</sub> -P
夏季 Summer	表层 Surface	11.29(5.42~17.48)	35.55(27.18~49.00)	14.48(9.44~18.62)	61.31(50.24~78.97)	8.18(4.61~15.81)
	底层 Bottom	12.65(6.00~16.90)	43.87(30.69~50.33)	16.56(6.95~28.57)	73.08(52.62~91.41)	10.05(4.61~18.61)
秋季 Autumn	表层 Surface	5.93(5.04~6.95)	46.15(35.85~61.33)	9.93(6.76~14.03)	62.01(49.75~79.45)	18.92(13.01~25.60)
	底层 Bottom	6.19(5.04~7.14)	43.27(24.19~57.42)	11.67(7.33~18.24)	61.13(39.24~75.91)	19.38(13.01~32.60)

注: 括号内数据为变化范围

Note: Data in brackets is the range

与海水水质标准相比可以看出, 保护区夏季(9月)DIN 优于海水一类标准值(200 μg/L); PO<sub>4</sub>-P 优于海水一类标准值(15 μg/L)。其中, 表层有 1 个测站 PO<sub>4</sub>-P 含量超过海水一类标准值, 底层有 2 个测站 PO<sub>4</sub>-P 含量超过海水一类标准值, 超标率分别为 11.1%、22.2%。秋季(11 月)DIN 优于海水一类标准值(200 μg/L); PO<sub>4</sub>-P 劣于海水一类标准值(15 μg/L)。其中, 表层有 7 个测站 PO<sub>4</sub>-P 含量超过海水一类标准值, 底层有 7 个测站 PO<sub>4</sub>-P 含量超过海水一类标准值, 超标率均为 77.8%。通过以上数据可以看出, 保护区海域整体营养盐浓度远远低于同季节桑沟湾和海州湾等海湾(谢冕, 2013; 徐东会等, 2017), 水质符合国家一类或二类的海水水质标准, 这可能是由于保护区禁止开展旅游和生产经营活动, 所以该海域的海洋环境及生态系统受人为影响较小, 有利于更好地保护文昌鱼资源及其所在的自然生态环境, 从而维护该海域的生物多样性。

## 2.4 区域分布特征

由图 2 可以看出, 保护区夏季表、底层海水的 DIN 浓度分布趋势大致呈核心区 > 实验区 > 缓冲区的趋势, 表层 DIN 在核心区高于缓冲区和实验区, 底层 DIN 则是核心区与实验区相近, 高于缓冲区; 秋季表、底层海水的 DIN 浓度分布均呈缓冲区 > 实验区 > 核心区, 表、底层 DIN 均为缓冲区高于实验

区和核心区。由图 2 可以看出, 各个区域 DIN 含量在同一季节没有明显差距, 这可能是因为保护区面积较小, 从而使得该海域 DIN 含量分布较为均匀。

从不同季节来看, 所有调查海域表、底层海水 PO<sub>4</sub>-P 含量均为秋季明显高于夏季(图 3)。保护区夏季表层 PO<sub>4</sub>-P 含量在核心区高于实验区和缓冲区。但是, 缓冲区和实验区相差不大, 底层 PO<sub>4</sub>-P 含量则在实验区高于缓冲区和核心区, 而缓冲区和核心区相差不大; 秋季表层 PO<sub>4</sub>-P 含量实验区 > 缓冲区 > 核心区, 但各个区之间相差不大, 底层 PO<sub>4</sub>-P 含量则在核心区明显高于缓冲区和实验区, 而缓冲区和实验区相差不大。通过图 3 可以看出, 各区域 PO<sub>4</sub>-P 含量在同一季节变化不大, 这可能是因为保护区面积较小, 从而使得该海域各功能区 PO<sub>4</sub>-P 含量分布较为平均; 而各功能区不同季节 PO<sub>4</sub>-P 含量差别较大, 这主要是因为该时期降水相对较多, 使大量城市污水和工业废水进入胶州湾, 从而影响该海域的 PO<sub>4</sub>-P 含量(孙晓霞等, 2011)。

## 2.5 营养盐结构及营养类型分析

浮游植物通常以 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, 这个比值称为 Redfield 比值(Redfield, 1963)。而 Justić 等(1995)提出, 如果 N/P > 22, 则 PO<sub>4</sub>-P

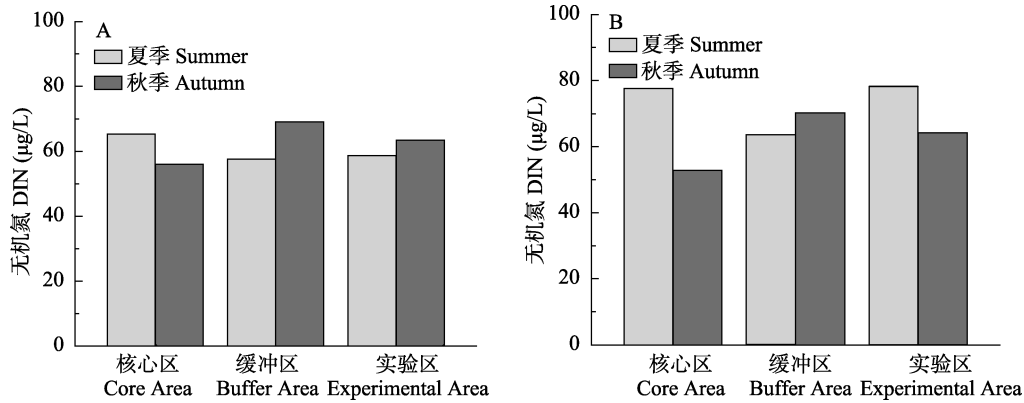
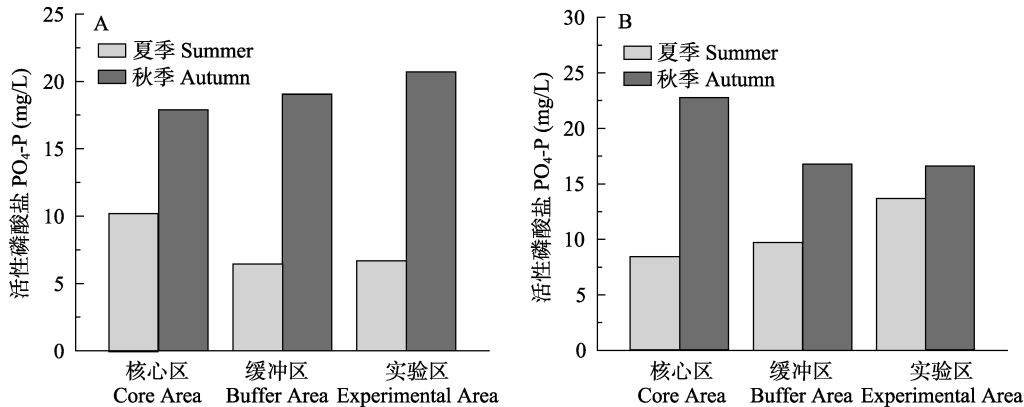


图2 青岛文昌鱼水生野生动物市级自然保护区不同区域的DIN浓度

Fig.2 Regional distributions of DIN in Qingdao Lancelet Reserve Area

A: 表层; B: 底层  
A: Surface; B: Bottom

图3 青岛文昌鱼水生野生动物市级自然保护区不同区域的PO<sub>4</sub>-P浓度Fig.3 Regional distributions of PO<sub>4</sub>-P in Qingdao Lancelet Reserve Area

A: 表层; B: 底层  
A: Surface; B: Bottom

为限制性元素; 如果  $N/P < 10$ , 则 N 为限制元素。根据本次调查对保护区的统计分析(图 4), 保护区在夏季表、底层的 N/P 比值与 Redfield 比值接近, 分别为 16.6 和 16.1, 明显高于秋季的 7.26 和 6.98。徐东会等(2017)对桑沟湾养殖海域营养盐的调查可以看出, 桑沟湾养殖海域夏季 N/P 比值为 28.27, 高于 Redfield 比值且大于 22, 所以, PO<sub>4</sub>-P 相对缺乏而成为限制性元素, 而秋季 N/P 比值为 16.44, 与 Redfield 比值基本一致。这与本研究对青岛文昌鱼水生野生动物市级自然保护区的调查结果不同, 保护区夏季 N/P 比值接近 Redfield 比值, 有利于浮游植物生长, 从而有利于青岛文昌鱼的繁育; 而秋季 N/P 比值小于 10 且远离 Redfield 比值, 其浮游植物的种类和数量就会受到影响, DIN 可能成为保护区海域浮游植物生长的限制因子, 从而对青岛文昌鱼的生长带来不利的影响(曲克明等, 2000)。

从不同分区来看(表 3), 在不同季节、不同水层,

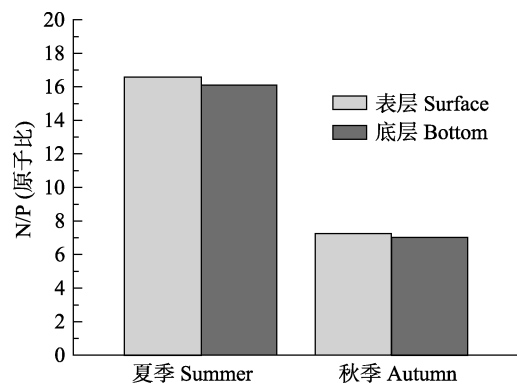


图4 青岛文昌鱼水生野生动物市级自然保护区调查海区夏季和秋季的氮磷比

Fig.4 The N/P value of the investigation areas in Qingdao Lancelet Reserve Area in summer and autumn

保护区的 N/P 比值差异较大(5.12~20.30), 同一时期, 不同的功能区, 表、底层的海水 N/P 比值也有一定的

差异。夏季,各功能区表层海水的 N/P 比值为缓冲区 > 实验区 > 核心区,缓冲区和实验区表层海水的 N/P 比值较高,均超过 Redfield 比值,而核心区则较低,为 14.18;底层海水的 N/P 比值为核心区 > 缓冲区 > 实验区,核心区的 N/P 比值为 20.30,明显高于缓冲区和实验区,是 Redfield 比值的 1.3 倍。秋季,各功能区

表层海水的 N/P 比值相差不大,均明显低于 Redfield 比值,为缓冲区 > 核心区 > 实验区;而底层海水与表层海水的 N/P 比值相似,也均低于 Redfield 比值,为缓冲区 > 实验区 > 核心区。通过分析可以看出,秋季各个功能区的 N/P 均小于 10,所以,秋季各功能区 DIN 可能成为浮游植物生长的限制因子。

表 3 青岛文昌鱼水生野生动物市级自然保护区不同调查海区夏季和秋季营养盐氮磷比  
Tab.3 The N/P value of different investigation areas in Qingdao Lancelet Reserve Area

季节 Season	水层 Water layer	核心区 Core area	缓冲区 Buffer area	实验区 Experimental area
夏季 Summer	表层 Surface	14.18	19.70	19.38
	底层 Bottom	20.30	14.47	12.64
秋季 Autumn	表层 Surface	6.92	8.02	6.78
	底层 Bottom	5.12	9.30	8.61

营养物质进入水体的多少决定了海洋中的营养状况,如果进入水体的营养盐大于消耗的量,就会导致海水营养过剩(隋琪等, 2016)。根据富营养化评价方法的划分标准,对保护区海域 2017 年夏季和秋季进行富营养化评价。结果显示,2017 年保护区海域夏季和秋季营养水平较低,均属于贫营养水平(表 4)。夏斌等(2014)对海州湾大竹蛏资源保护区的海水质量评价得出,2008 年海州湾调查海域营养水平属磷限制潜在性富营养,而 2012 年属贫营养;滕瑶等(2018)对靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区的生态质量评价得出,2014 年靖海湾保护区属富营养状态,而 2015 年和 2016 年均属氮限制潜在性富营养状态。与以上保护区相比可以看出,青岛文昌鱼保护区海域营养水平较低,水质较好,主要是与该海域设立自然保护区有关,由于文昌鱼对生活条件要求较为苛刻,所以通过设立文昌鱼水生野生动物市级自然保护区,可以更好地保护该海域的水质,为文昌鱼提供更好的生活栖息地。

表 4 青岛文昌鱼水生野生动物市级自然保护区  
夏季和秋季营养类型评价

Tab.4 Nutrition type assessment in Qingdao  
Lancelet Reserve Area

季节 Season	DIN (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	氮磷比 N/P	营养级 Nutrition level
夏季 Summer	0.067	0.009	16.35	I
秋季 Autumn	0.061	0.019	7.12	I

### 3 结论

青岛市文昌鱼水生野生动物市级自然保护区海域 2017 年 DIN 平均含量夏季高于秋季,NO<sub>2</sub>-N 和 NH<sub>4</sub>-N 平均含量分别是秋季的 1.98 倍和 1.44 倍,而 NO<sub>3</sub>-N

和 PO<sub>4</sub>-P 平均含量低于秋季,分别是秋季的 88.8%和 47.6%。与海水水质标准相比较,夏季(9 月)DIN 总体水平优于海水一类标准值;PO<sub>4</sub>-P 总体水平优于海水一类标准值;秋季(11 月)DIN 总体水平优于海水一类标准值;PO<sub>4</sub>-P 总体水平劣于海水一类标准值。

从区域分布来看,保护区夏季表、底层海水的 DIN 浓度分布趋势大致呈核心区 > 实验区 > 缓冲区的趋势;秋季表、底层海水的 DIN 浓度分布呈缓冲区 > 实验区 > 核心区。夏季表层海水的 PO<sub>4</sub>-P 含量核心区 > 实验区 > 缓冲区,底层含量实验区 > 缓冲区 > 核心区。秋季表层海水的 PO<sub>4</sub>-P 含量实验区 > 缓冲区 > 核心区,底层含量核心区 > 缓冲区 > 实验区。

保护区夏季营养盐结构总体水平比 Redfield 比值略高,而秋季 N/P 比值低于 Redfield 比值,秋季 DIN 可能成为保护区海域浮游植物生长的限制因子。运用潜在性富营养化评价模式分析表明,2017 年夏季和秋季青岛市文昌鱼水生野生动物市级自然保护区海域营养水平较低,均属于贫营养水平。

### 参 考 文 献

- Cui Y, Ma FF, Xia B, *et al.* Annual variation and comprehensive evaluation of seawater quality in *Trachidermus fasciatus* Heckel germ plasm resource area at national level in Jinghai Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(6): 1-8 [崔毅, 马菲菲, 夏斌, 等. 靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区海水环境质量年际变化趋势及综合评价. *渔业科学进展*, 2013, 34(6): 1-8]
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. The specification for marine monitoring-Part 4: Seawater analysis (GB17378.4-2007). Beijing: China Standards Press, 2007 [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国

- 国家标准化委员会. 海洋监测规范—第 4 部分: 海水分析(GB17378.4-2007). 北京: 中国标准出版社, 2007]
- 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]
- Jiang H, Cui Y, Chen BJ, *et al.* The variation trend of nutrient salts in the Bohai Sea. *Marine Fisheries Research*, 2005, 26(6): 61–67 [蒋红, 崔毅, 陈碧鹃, 等. 渤海近 20 年来营养盐变化趋势研究. 海洋水产研究, 2005, 26(6): 61–67]
- Justić D, Rabalais NN, Turner RE, *et al.* Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 1995, 40(3): 339–356
- Li XY, Kang MH, Hou PF, *et al.* Spatial and temporal distribution of nutrient in Jiaozhou bay in 2013. *Marine Environmental Science*, 2016, 35(3): 334–342 [李欣钰, 康美华, 侯鹏飞, 等. 2013 年胶州湾溶解营养盐时空分布特征. 海洋环境科学, 2016, 35(3): 334–342]
- Ma MH, Zhang ZN, Feng ZQ, *et al.* The characteristics of sediments and distribution of *Branchiostoma belcheri tsingtaense* in Luanhe Estuary. *Marine Environmental Science*, 2005, 24(2): 39–42 [马明辉, 张志南, 冯志权, 等. 滦河口青岛文昌鱼分布与栖息地底质特征. 海洋环境科学, 2005, 24(2): 39–42]
- 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]
- Sui Q, Xia B, Xie HB, *et al.* Study on temporal and spatial variation of nutrients and evaluation on eutrophication in the seawater of the Bohai Sea in winter and spring of 2014. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(2): 10–15 [隋琪, 夏斌, 谢寒冰, 等. 2014 年春季和冬季渤海海水营养盐时空变化特征及富营养化评价. 渔业科学进展, 2016, 37(2): 10–15]
- Redfield, AC. The influence of organisms on the composition of sea-water. *Mat Zametki*, 1963, 40(6): 640–644
- Sun PX, Zhang ZH, Hao LH, *et al.* Analysis of nutrient distributions and potential eutrophication in seawater of the Sanggou Bay. *Advances in Marine Science*, 2007, 25(4): 436–445 [孙丕喜, 张朝晖, 郝林华, 等. 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, 2007, 25(4): 436–445]
- Sun XX, Sun S, Zhao ZX, *et al.* Long-term changes in nutrient concentration and structure in the Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(5): 662–669 [孙晓霞, 孙松, 赵增霞, 等. 胶州湾营养盐浓度与结构的长期变化. 海洋与湖沼, 2011, 42(5): 662–669]
- Teng Y, Chen BJ, Xia B, *et al.* Ecological environment quality analysis and evaluation of *Trachidermus fasciatus* Heckel in Jinghai Bay National Germ Plasm Resource Area. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(2): 34–41 [滕瑶, 陈碧鹃, 夏斌, 等. 靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区生态环境质量分析与评价. 渔业科学进展, 2018, 39(2): 34–41]
- Turner, RE. Element ratios and aquatic food webs. *Estuaries*, 2002, 25(4): 694–703
- Turner, RE, Rabalais NN. Coastal eutrophication near the Mississippi River delta. *Nature*, 1994, 368(6472): 619–621
- Wu XH, Zhang BL, Qu YM. The life history of *Branchiostoma belcheri tsingtaense*: Age, growth and death. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1998, 22(4): 66–68 [吴贤汉, 张宝禄, 曲艳梅. 温度和盐度对青岛文昌鱼胚胎发育的影响. 海洋科学, 1998, 22(4): 66–68]
- Xia B, Ma FF, Chen BJ, *et al.* Environmental quality evaluation of *Solen grandis* resources protection area in Haizhou Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(6): 16–22 [夏斌, 马菲菲, 陈碧鹃, 等. 海州湾大竹蛭资源保护区海水环境质量评价. 渔业科学进展, 2014, 35(6): 16–22]
- Xia B, Ma SS, Cui Y, *et al.* Synthetic evaluation on environment quality in *Trachidermus fasciatus* Heckel germ plasm resource protection area of Jinghai Bay, in summer, 2008. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(5): 762–766 [夏斌, 马绍赛, 崔毅, 等. 2008 年夏季靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区生态环境质量综合评价. 海洋环境科学, 2010, 29(5): 762–766]
- Xie M. Distribution and limitation of nutrient in the southern inshore waters of Haizhou bay. *Masster's Thesis of First Institute of Oceanography SOA*, 2013 [谢冕. 海州湾南部近岸海域氮、磷营养盐变化规律及营养盐限制状况. 国家海洋局第一海洋研究所硕士研究生学位论文, 2013]
- Xu DH, Chen BJ, Jiang T, *et al.* Temporal and spatial variation characteristics of water nutrients and eutrophication evaluation in aquaculture water areas of Sanggou bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(3): 1–11 [徐东会, 陈碧鹃, 江涛, 等. 桑沟湾养殖海域营养盐时空分布特征及富营养化评价. 渔业科学进展, 2017, 38(3): 1–11]
- Yang JW. Study on living resources and amphioxus resources in Qingdao Natural Reserve Area. *Masster's Thesis of Ocean University of China*, 2008 [杨建威. 青岛文昌鱼自然保护区生物资源与文昌鱼资源调查研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2008]
- Zhao JH, Li F. The recognition of characteristics and pollution sources of nutrients in Haizhou Bay. *Environmental Science and Technology*, 2015, 38 (S2): 32–35 [赵建华, 李飞. 海州湾营养盐空间分布特征及影响因素分析. 环境科学与技术, 2015, 38 (S2): 32–35]

## Temporal and Spatial Variation of Nutrients and Evaluation of the Eutrophication in the Qingdao Lancelet Reserve Area in 2017

WANG Hao<sup>1,2</sup>, XIN Mei<sup>4</sup>, CHEN Bijuan<sup>2,3</sup>, ZHU Lin<sup>2,3</sup>, XIA Bin<sup>2,3</sup><sup>①</sup>,  
ZHANG Yan<sup>2,3</sup>, SUN Xuemei<sup>2,3</sup>, CHEN Jufa<sup>2</sup>, QU Keming<sup>2</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shandong Provincial Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-Environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 3. Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266003; 4. Qingdao Fisheries Technology Extension Station, Qingdao 266071)

**Abstract** In this study, we have evaluated the level and distribution of nutrients in the Qingdao Lancelet Reserve Area using the results of surveys of the Qingdao Lancelet Reserve Area in September (Summer) and November (Autumn), 2017. The results showed that the average level of dissolved inorganic nitrogen (DIN) in the autumn was higher than that in the summer, and the average NO<sub>2</sub>-N and NH<sub>4</sub>-N levels were 1.98 and 1.44 times higher in the autumn than in the summer, respectively. However, the average NH<sub>4</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P levels in the summer was about 88.8% and 47.6% of that in autumn, respectively. According to the seawater quality standard, in the summer the DIN content was better than the first-level seawater quality standard, and the PO<sub>4</sub>-P content was also better than the first-level seawater quality standard; in the autumn, the DIN content was better than the first-level seawater quality standard, and PO<sub>4</sub>-P content was worse than the first-level seawater quality standard. In terms of area distribution across the Qingdao Lancelet Reserve Area, the DIN concentration distribution trends of the seawater in the summer were core area > experimental area > buffer area; the DIN concentration distributions in the autumn seawater were buffer area > experimental area > core area. The distribution trends of PO<sub>4</sub>-P content in the summer seawater were experimental area > core area > buffer area. The distribution trends of the PO<sub>4</sub>-P content in the autumn seawater were core area > experimental area > buffer area. In the summer of 2017, the N/P ratio was the same as the Redfield ratio in the Qingdao Lancelet Reserve Area, but in the autumn of 2017, the N/P ratio was lower than the Redfield ratio, with relatively low levels of DIN. According to the potential eutrophication assessment model, the Qingdao Lancelet Reserve Area's nutrition level was poor in both the summer and autumn of 2017. Generally speaking, the Qingdao Lancelet Reserve Area was at an oligotrophic level, and the seawater quality in the Qingdao Lancelet Reserve Area was good.

**Key words** *Branchiostoma belcheri*; Nature reserve; Nutrients; Seasonal variation; Eutrophication

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