

# 基于连续流动法的东海区营养盐分布格局研究

叶林安<sup>1,2</sup>, 朱志清<sup>1</sup>, 徐清<sup>1</sup>, 廖友根<sup>1</sup>, 陈玲<sup>1</sup>

(1. 国家海洋局宁波海洋环境监测中心站, 浙江宁波 315040; 2. 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室, 上海 200090)

**摘要** 根据 2016 年东海区断面调查资料, 采用流动分析法对海水中磷酸盐( $\text{PO}_4\text{-P}$ )、亚硝酸盐( $\text{NO}_2\text{-N}$ )、硝酸盐( $\text{NO}_3\text{-N}$ )、氨盐( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、硅酸盐( $\text{SiO}_3\text{-Si}$ ) 5 项营养盐进行了分布格局研究。结果表明, 磷酸盐含量高值主要出现在东东北部及长江口和舟山群岛外侧海域, 而黑潮区和台湾暖流海域则存在大片低值区; 除黑潮区和台湾暖流海域表层无机氮(DIN)含量较低外, 东海长江口邻近海域和江浙沿岸海域表层 DIN 含量均较高; 硅酸盐含量分布除东东北部部和江浙近海海域硅酸盐含量低于 0.32 mg/L 外, 其余海区表层硅酸盐含量均低于该值。

**关键词** 东海; 流动分析法; 磷酸盐; 无机氮; 硅酸盐

**中图分类号** X 834 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)16-0075-04

## Study on Distribution Pattern of Nutrients in the East China Sea Based on Continuous Flow Method

YE Lin-an<sup>1,2</sup>, ZHU Zhi-qing<sup>1</sup>, XU Qing<sup>1</sup> et al (1. Ningbo Environmental Monitoring Center, SOA, Ningbo, Zhejiang 315040; 2. Key Laboratory of Integrated Monitoring and Applied Technology for Marine Harmful Algal Blooms, State Oceanic Administration, Shanghai 200090)

**Abstract** Based on the data obtained from the survey of the east sea area in 2016, the distribution pattern of phosphate( $\text{PO}_4\text{-P}$ ), nitrite( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), nitrate( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), ammonia salts( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) and silicate( $\text{SiO}_3\text{-Si}$ ) in seawater were studied by flow analysis. The results showed as followed: the high phosphate content mainly appeared in the north East China Sea and the outer waters of the Yangtze river estuary and the Zhoushan islands, while the black tide area and the Taiwan warm waters had large area of low value, in addition to the lower surface inorganic nitrogen(DIN) of the black tide area and the Taiwan warm current, the adjacent waters of the Changjiang estuary of the East China Sea and the surface DIN of the coastal waters of the Jiangsu and Zhejiang provinces were higher; the content of silicate distribution was lower than 0.32 mg/L in the northern and coastal waters of the East China Sea, and the surface silicate content of the remaining sea areas was lower than that.

**Key words** East China Sea; Flow analysis; Phosphate; Inorganic nitrogen; Silicate

东海是我国陆架最宽的边缘海, 海域面积宽阔, 受以长江、钱塘江等入海径流和东海多个水团交汇的共同作用, 营养盐循环特征复杂多变, 含量丰富, 适合浮游植物的生长和繁殖, 为鱼虾贝类的重要索饵场和产卵场<sup>[1]</sup>。

近年来随着沿海地区海洋经济的高速发展, 我国营养盐(特别是氮、磷等特征污染物)入海通量持续升高, 水体富营养化程度严重, 并导致一系列生态系统异常响应, 赤潮等海洋灾害频发<sup>[2]</sup>。对东海海域营养盐分布格局的研究有利于了解东海富营养化特征及差异性, 并为东海海洋环境研究提供数据基础。鉴于此, 笔者根据 2016 年 5 月东海区断面的调查情况, 采用流动分析法测定了磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐、氨盐和硅酸盐含量<sup>[3]</sup>, 并采用克里金法预测和确定了其分布格局。

## 1 材料与方法

**1.1 采样时间与海域** 调查时间为 2016 年 5 月, 主要包括断面调查、近岸以外海域生态环境监测调查(120°~128°E、25°~33°N), 共设有 36 个采样点(图 1)。

**1.2 样品测定** 营养盐样品采集后, 立即进行抽滤, 采样瓶用样品润洗 3 次, 灌装采样瓶体积 2/3 的水样, 并进行样品编号。用塑料密封袋密封, 平均 10 个样品密封 1 袋, 放入营养盐专用冷冻冰箱中, 在-20℃下立即冷冻保存。由于冰冻后的硅酸盐成胶状, 立即测定将会引起较大误差。在实验室

内放置 24 h 后再进行硅酸盐的测定。其中, 氨盐在样品分析过程中易受空气重氮成分的干扰, 每个样品分析时, 都使用聚乙烯膜将样品封口, 降低样品与空气的接触频率, 确保测定结果的准确性。

**1.3 数据处理** 基于表层海水营养盐的测定结果, 利用空间插值进行营养盐分布预测, 包括数据表达与空间可视化、半变异函数建模和插值预测图。数据利用克里金法即空间局部插值法进行分析预测, 该方法被认为是在有限区域内对区域化变量进行线性无偏最优估计的一种方法<sup>[4]</sup>。该研究采用球型模型(Spherical)对原始数据进行探测, 绘制出东海海域营养盐的分布格局。

## 2 结果与分析

**2.1 东海海域主要营养盐分析结果** 营养盐的分布变化主要受水文状况影响和调控。受长江和江浙陆源径流的影响, 长江口外侧水域和江苏、浙江沿海终年保持较高的营养盐含量, 并在河口峰附近形成明显的营养盐锋面<sup>[5]</sup>。长江冲淡水首先向东偏北方向伸展, 在约 124°E 向东偏转, 再向东南方向延伸, 其影响覆盖了 121°E、28°~33°N 以西的大片海域。同时台湾暖流对东海营养盐的分布也有一定影响, 表层水显示出低营养盐分布(图 2~4)。

**2.2 磷酸盐的分布格局** 由表 1 可知, 东海海域磷酸盐浓度范围为 0~0.023 mg/L。根据克里金方法绘制的东海海域磷酸盐分布如图 2 所示。由图 2 可知, 高浓度磷酸盐主要分布于长江、钱塘江入海口和浙江北部近海海域, 表明该营养盐受陆源径流影响明显。长江口和近岸海域是赤潮高发地区, 初级生产力水平较高<sup>[6]</sup>。长江、钱塘江等陆地径流向东海

**基金项目** 宁波市海洋与渔业专项(甬海办[2016]46 号, 甬海办[2015]16 号)。

**作者简介** 叶林安(1990—), 男, 浙江杭州人, 助理工程师, 从事海洋环境监测研究

**收稿日期** 2018-01-05

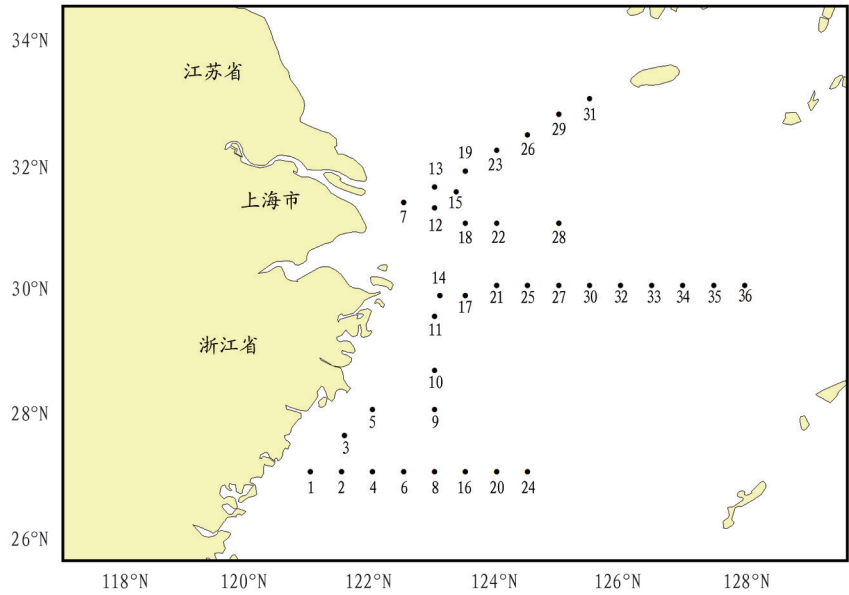


图 1 采样站点  
Fig.1 Sampling sites

表 1 东海海域主要营养盐浓度

Table 1 The concentration of main nutrients in the East China sea

| 站点<br>Site | 经度<br>Longitude | 纬度<br>Latitude | PO <sub>4</sub> -P | NO <sub>2</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N | NH <sub>4</sub> -N | SiO <sub>3</sub> -Si |
|------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1          | 121°00′         | 27°00′         | 0.017 1            | 0.004              | 0.268              | 0.009              | 0.732                |
| 2          | 121°30′         | 27°00′         | 0.015 4            | 0.003              | 0.213              | 0.006              | 0.449                |
| 3          | 121°33′         | 27°35′         | 0.016 5            | 0.005              | 0.217              | 0.008              | 0.467                |
| 4          | 122°00′         | 27°00′         | 0.010 4            | 0.001              | 0.117              | 0.009              | 0.349                |
| 5          | 122°01′         | 28°00′         | 0.014 2            | 0.003              | 0.181              | 0.008              | 0.459                |
| 6          | 122°30′         | 27°00′         | 0.006 0            | 0.004              | 0.048              | 0.010              | 0.124                |
| 7          | 122°30′         | 31°20′         | 0.014 7            | 0.003              | 0.205              | 0.038              | 0.358                |
| 8          | 123°00′         | 27°00′         | 0.007 2            | 0.003              | 0.071              | 0.028              | 0.154                |
| 9          | 123°00′         | 28°00′         | 0.009 2            | 0.007              | 0.074              | 0.008              | 0.189                |
| 10         | 123°00′         | 28°38′         | 0.010 1            | 0.006              | 0.114              | 0.003              | 0.308                |
| 11         | 123°00′         | 29°30′         | 0.013 3            | 0.007              | 0.167              | 0.002              | 0.374                |
| 12         | 123°00′         | 31°15′         | 0.016 0            | 0.004              | 0.074              | 0.039              | 0.201                |
| 13         | 123°00′         | 31°35′         | 0.016 7            | 0.003              | 0.105              | 0.019              | 0.262                |
| 14         | 123°05′         | 29°50′         | 0.014 9            | 0.002              | 0.125              | 0.061              | 0.262                |
| 15         | 123°21′         | 31°30′         | 0.015 9            | 0.002              | 0.124              | 0.020              | 0.300                |
| 16         | 123°30′         | 27°00′         | 0.004 6            | 0.002              | 0.039              | 0.003              | 0.093                |
| 17         | 123°30′         | 29°50′         | 0.011 5            | 0.002              | 0.066              | 0.030              | 0.203                |
| 18         | 123°30′         | 31°00′         | 0.009 5            | 0.007              | 0.098              | 0.002              | 0.236                |
| 19         | 123°30′         | 31°50′         | 0.015 2            | 0.002              | 0.166              | 0.011              | 0.367                |
| 20         | 124°00′         | 27°00′         | 0.006 3            | 0.004              | 0.050              | 0.003              | 0.152                |
| 21         | 124°00′         | 30°00′         | 0.013 7            | 0.005              | 0.098              | 0.015              | 0.243                |
| 22         | 124°00′         | 31°00′         | 0.014 2            | 0.004              | 0.104              | 0.003              | 0.218                |
| 23         | 124°00′         | 32°10′         | 0.015 0            | 0.001              | 0.154              | 0.005              | 0.488                |
| 24         | 124°30′         | 27°00′         | 0.005 8            | 0.005              | 0.063              | 0.005              | 0.191                |
| 25         | 124°30′         | 30°00′         | 0.014 2            | 0.003              | 0.110              | 0.022              | 0.303                |
| 26         | 124°30′         | 32°25′         | 0.011 0            | 0.001              | 0.104              | 0.005              | 0.377                |
| 27         | 125°00′         | 30°00′         | 0.014 7            | 0.005              | 0.117              | 0.009              | 0.312                |
| 28         | 125°00′         | 31°00′         | 0.012 6            | 0.002              | 0.150              | 0.02               | 0.352                |
| 29         | 125°00′         | 32°45′         | 0.014 4            | 0.003              | 0.132              | 0.038              | 0.324                |
| 30         | 125°30′         | 30°00′         | 0.014 9            | 0.004              | 0.127              | 0.015              | 0.339                |
| 31         | 125°30′         | 33°00′         | 0.013 0            | 0.002              | 0.121              | 0.015              | 0.342                |
| 32         | 126°00′         | 30°00′         | 0.013 9            | 0.004              | 0.100              | 0.005              | 0.280                |
| 33         | 126°30′         | 30°00′         | 0.015 0            | 0.003              | 0.063              | 0.004              | 0.166                |
| 34         | 127°00′         | 30°00′         | 0.008 7            | 0.005              | 0.060              | 0.013              | 0.217                |
| 35         | 127°30′         | 30°00′         | 0.005 4            | 0.005              | 0.030              | 0.016              | 0.104                |
| 36         | 128°00′         | 30°00′         | 0.006 3            | 0.005              | 0.044              | 0.023              | 0.119                |

近岸海区输入大量的磷酸<sup>[7]</sup>。这与该研究中磷酸盐的分布范围结果相一致,也与叶然等<sup>[8]</sup>对东海表层叶绿素 a 的分布研究结果一致。这表明以高磷酸盐浓度为特征的人海径流在近海海域易于积累,所以在长江、钱塘江入海口和浙江

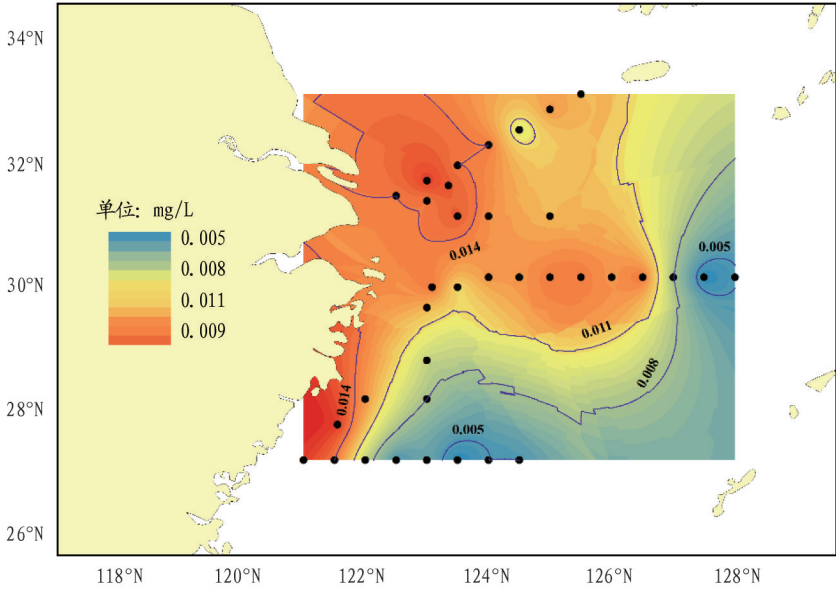


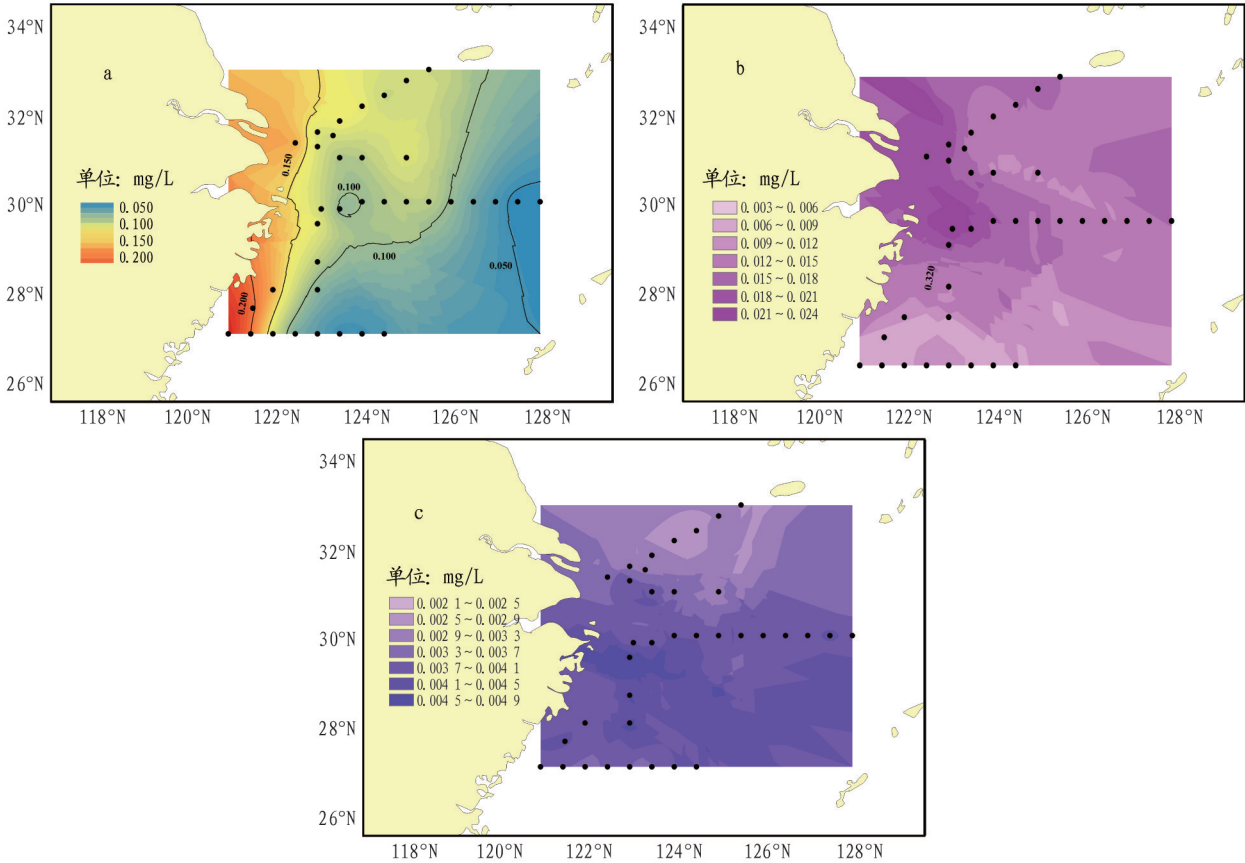
图2 磷酸盐分布

Fig.2 The distribution of phosphate

北部近海海域形成了高磷酸盐浓度分布区。

**2.3 无机氮的分布格局** 由表 1 可知,硝酸盐、亚硝酸盐和铵盐浓度分别为 0.002~0.268、0~0.022 和 0~0.089 mg/L。3 种无机氮营养盐浓度大体呈现自西向东递减的变化趋势(图

3)。其中,硝酸盐和铵盐含量高值在水域表层主要出现在 123°E 的近岸海域和长江入海口,浙江沿海水域表层 DIN ( $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$ ) 含量亦较高,但仅限于近海,这与磷酸盐分布范围一致,表明无机氮也主要由陆源径流输入。在东



注:a.硝酸盐;b.铵盐;c.亚硝酸盐  
Note:a.Nitrate;b.Ammonium salt;c.Nitrite

图3 无机氮分布格局

Fig.3 The distribution of inorganic nitrogen

海东南部海域(黑潮区和台湾暖流区)表层 DIN 含量相对较低,这与黑潮和台湾暖流低营养盐的特征相一致<sup>[9-11]</sup>。但研究还发现在离岸海域出现高亚硝酸盐浓度分布区,这可能是因为该次调查中 125°E 以东站位较少,采用克里金法进行分析预测时不能获得其准确的分布情况,在后续研究中需增加采样点。

**2.4 硅酸盐的分布格局** 硅酸盐浓度为 0.044~0.732 mg/L (表 1)。分析结果发现在 124°E、32°N 附近海域硅酸盐浓度

明显高于周边海域(图 4),且高浓度海域集中于中国近岸海域,与硝酸盐和磷酸盐的分布特征类似。研究发现,携带高浓度硅酸盐的苏北沿岸流受东北季风的作用会向南流动<sup>[9-11]</sup>,这可能是造成 124°E、32°N 附近海域具有较高浓度(0.4 mg/L)硅酸盐的原因。此外,少部分苏北沿岸流会输送至长江口附近与之混合后继续向东南方向入侵,在叠加钱塘江等入海径路输入,从而形成 121~122°E 海域的硅酸盐浓度高值区<sup>[9-11]</sup>。

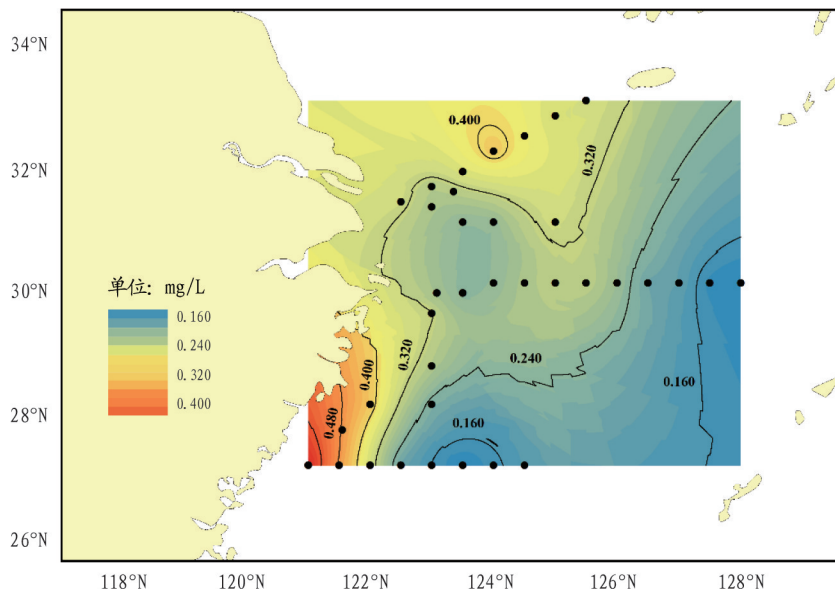


图 4 硅酸盐分布

Fig.4 The distribution of silicate

### 3 结论

东海与西北太平洋相连,易受黑潮流系影响,同时作为我国陆架最宽的边缘海,众多的河流(长江、钱塘江等)把大量的陆源物质携带入海,并且还受到沿岸流、黄海冷水团和东亚季风的交替作用,生态环境十分复杂。利用营养盐冷冻保存法和流动注射分析法对东海海域营养盐的分布进行了分析。结果表明,表层磷酸盐含量高值主要出现在东海北部及长江口和舟山群岛外侧海域,而黑潮区和台湾暖流海域则存在大片低值区。除黑潮区和台湾暖流海域表层 DIN 含量较低外,东海长江口邻近海域和江浙沿岸海域表层 DIN 含量均较高。表层硅酸盐含量分布与 DIN 和磷酸盐显著不同,除东海北部和江浙近海海域表层硅酸盐含量低于 0.32 mg/L 外,其余海区表层硅酸盐含量均低于该值。

### 参考文献

[1] 洪华生.中国区域海洋学:化学海洋学[M].北京:海洋出版社,2012.

- [2] 孙涛,陶建华.波浪作用下渤海湾近岸海域污染物的输移扩散规律[J].海洋与湖沼,2004,35(2):110-119.
- [3] 叶林安,章紫宁,朱志清,等.采用流动注射分析法测定海水中的五项营养盐[J].浙江水利科技,2016,44(3):4-9.
- [4] 刘爱利,王培法,丁园圆.地统计学概论[M].北京:科学出版社,2012.
- [5] 高生泉,林以安,金明明,等.春、秋季东、黄海营养盐的分布变化特征及营养结构[J].海洋学研究,2004,22(4):38-50.
- [6] 周伟华,霍文毅,袁翔城,等.东海赤潮高发区春季叶绿素 a 和初级生产力的分布特征[J].应用生态学报,2003,14(7):1055-1059.
- [7] LIU S M,ZHANG J,CHEN S Z,et al.Inventory of nutrient compounds in the Yellow Sea[J].Continental shelf research,2003,23(11/12/13):1161-1174.
- [8] 叶然,刘艳云,崔永平,等.东海营养盐结构的时空分布及其对浮游植物的限制[J].海洋与湖沼,2015,46(2):311-320.
- [9] 韦钦胜,刘璐,战闰,等.夏季南黄海海水化学要素的分布特征及影响因素[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2010,40(1):82-88.
- [10] 王保栋,战闰,藏家业.长江口及其邻近海域营养盐的分布特征和输送途径[J].海洋学报,2002,24(1):53-58.
- [11] 王奎,陈建芳,金海燕,等.长江口及邻近海区营养盐结构与限制[J].海洋学报,2013,35(3):128-136.

## 科技论文写作规范——引言

扼要地概述研究工作的目的、范围、相关领域的前人工作和知识空白、理论基础和分析、研究设想、研究方法和实验设计、预期结果和意义等。一般文字不宜太长,不需做详尽的文献综述。在最后引出文章的目的及试验设计等。“引言”两字省略。