

闽浙沿岸流的季节性扩散及其对 近岸海域氮磷的影响

林建国¹, 李青生^{2,3,4}, 傅世锋², 王翠², 蒋金龙²

(1. 福建省近岸海域环境监测站 莆田 351100; 2. 自然资源部第三海洋研究所 厦门 361005;

3. 自然资源部海洋生态保护与修复重点实验室 厦门 361005; 4. 福建省海洋生态保护与修复重点实验室 厦门 361005)

摘要: 根据福建省近岸海域2019—2023年春、夏、秋三季的海洋环境监测数据,进行了盐度的时空变化分析,识别了闽浙沿岸流的扩散范围,并分析了闽浙沿岸流对沿海氮、磷的影响。结果表明:2019—2023年,春季和夏季盐度均呈现先上升、后下降、再上升的趋势,秋季盐度呈现先下降、后上升、再下降的趋势。春、秋季的盐度较高,夏季盐度最低;盐度的空间分布呈现近岸盐度低、远海盐度高,南部海域盐度高、北部海域盐度低的格局。闽浙沿岸流扩展具有明显的季节变化特征,春、秋季闽浙沿岸流表层水可影响至海坛岛、兴化湾口附近海域,夏季未影响福建近岸海域。DIN、DIP质量浓度平面分布呈现近岸高、外海低的趋势;闽浙沿岸流影响区域的DIN、DIP明显高于其他区域。2019—2023年,对于DIN或DIP,季节之间存在显著的差异性($p < 0.001$),秋季闽浙沿岸流对DIP影响比春季更大,DIN的季节变化与影响因素可能更复杂。未来应加强监测,以提升研究数据时空序列的全面性、完整性。

关键词: 海洋环境科学; 闽浙沿岸流; 季节性扩散范围; 氮磷影响; 近岸海域

中图分类号: P736.21; X145

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2025)10-0096-09

The Seasonal Expansion of Fujian and Zhejiang Coastal Current and Its Influence on Nitrogen and Phosphorus in the Coastal Waters

LIN Jianguo¹, LI Qingsheng^{2,3,4}, FU Shifeng², WANG Cui², JIANG Jinlong²

(1. Fujian Coastal Marine Environmental Monitoring Station, Putian 351100, China;

2. Third Institute of Oceanography, MNR, Xiamen 361005, China;

3. Key Laboratory of Marine Ecological Conservation and Restoration, MNR, Xiamen 361005, China;

4. Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Conservation and Restoration, Xiamen 361005, China)

Abstract: Based on the marine environmental monitoring data of the coastal waters of Fujian Province from 2019 to 2023 in spring, summer and autumn, the temporal and spatial variations of salinity were analyzed, the seasonal expansion of the Fujian-Zhejiang Coastal Current (FZCC) was studied, and the influence of the FZCC on nitrogen and phosphorus in the coastal waters was analyzed. The results showed that from 2019

收稿日期: 2025-03-10; 修订日期: 2025-08-26

基金项目: 福建省环保科技计划项目(2021R021, 2024R015)。

作者简介: 林建国, 高级工程师, 本科, 研究方向为海洋生态环境监测与保护

通信作者: 李青生, 高级工程师, 硕士, 研究方向为海洋生态环境保护、资源可持续利用与空间规划

to 2023, the salinity in spring and summer showed a trend of first increasing, then decreasing, and then increasing, while in autumn it showed a trend of first decreasing, then increasing, and then decreasing. The salinity was higher in spring and autumn, lower in summer. The spatial distribution of salinity showed a pattern of lower salinity near the coast and higher salinity in the far sea, with higher salinity in the southern sea area and lower salinity in the northern sea area. The expansion of FZCC had obvious seasonal variation characteristics. In spring and autumn, the surface water of FZCC could affect the sea area near Haitan Island, while in summer it did not affect the coastal waters of Fujian. The planar distribution of DIN and DIP content showed a trend of higher content near the coast and lower content in the outer sea. The DIN and DIP content in the influence area of FZCC was significantly higher than that in other areas. From 2019 to 2023, there were significant seasonal differences for DIN or DIP ($p < 0.001$). FZCC exerts a greater influence on DIP in affected waters during autumn compared to spring, while the seasonal variations and driving factors of DIN may exhibit higher complexity. Future studies should prioritize enhanced monitoring efforts to improve the spatiotemporal comprehensiveness and integrity of research datasets.

Keywords: Marine environmental science, Fujian-Zhejiang coastal current, Seasonal expansion, Nitrogen and phosphorus influence, Coastal waters

0 引言

闽浙沿岸流是东海陆架区重要的海洋动力现象, 主要起源于长江口区域。闽浙沿岸流的形成主要受东北季风驱动, 同时也受地形和沿岸径流的影响, 其生成后沿浙闽沿岸向南扩展^[1-5]。该沿岸流具有低温、低盐及高营养盐的特点, 能为所在海域藻类等生长提供营养物质, 同时会对近岸海域环境质量、渔业养殖产生较大影响^[5-6]。因此, 研究闽浙沿岸流的扩散特征及其环境影响, 对海洋生态环境保护具有重要意义。

相关学者对闽浙沿岸流的扩散特征已经开展了一些研究。早期, 伍伯瑜认为冬季闽浙沿岸流由于径流量小, 影响范围可达平潭岛周边^[1]; 而有些学者认为闽浙沿岸流在东北季风的驱动下, 向南可达泉州附近^[7-8]; 目前大部分学者则认为闽浙沿岸流的影响范围是不断变化的^[4,9-13]。随着监测数据的不断增加, 有关闽浙沿岸流季节性扩散方面的研究逐步开展。例如, 许金电等利用 2001 年冬季、2002 年春季和 2002 年秋季台湾海峡的 CTD 调查资料分析了闽浙沿岸水的生消过程^[4]; 王翠等根据 2006—2007 年春、夏、秋、冬季四个航次的监测数据分析闽浙沿岸流的扩展范围和温度、盐度、营

养盐含量平面分布的季节变化特征^[5]。

受观测数据的限制, 早期的研究对闽浙沿岸流多年的扩散特征及其变化缺乏全面认识, 主要基于一次或几次海洋监测数据进行分析。鉴于此, 本研究利用多年的连续监测数据, 分析闽浙沿岸流多年扩散特征, 并探讨闽浙沿岸流对福建省近岸海域无机氮 (DIN) 和活性磷酸盐 (DIP) 的影响, 以期对闽浙沿岸流在福建海域的时空演变规律有更全面的认识, 为福建省近岸海域生态环境保护工作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

台湾海峡是东海和南海水体交换的重要通道。季风是海峡环流的重要驱动因素, 同时黑潮分支水等水团对该区域水文动力有较大影响。夏季东南沿海盛行东南风, 海峡东侧和西侧分别分布着北向的南海季风漂流和黑潮分支水; 冬季时东南沿海盛行东北风, 海峡东侧为北上的黑潮分支水, 海峡西侧为南下的闽浙沿岸流^[2-3,10-11]。作为海峡西部的主要流系, 闽浙沿岸流的涨落具有明显的季节性特征, 同时由于其与陆地径流关系密切, 具有低温、低盐和高营养盐的特征。

1.2 资料来源

本研究数据来源于福建省近岸海域 2019 年、2021 年、2022 年和 2023 年春、夏、秋三季的海洋环境监测数据 (2020 年的数据由于缺失值较多而未采用), 春季监测时间为每年 4—5 月, 夏季监测时间为每年 7—8 月, 秋季监测时间为每年 10—11 月。监测数据由福建省近岸海域环境监测站提供。样品的采集、储存、运输方法及分析方法均按《海洋监测规范》(GB 17378—2007) 的相关要求进行。

1.3 方法

本研究参考相关研究^[2-4,9]中关于闽浙沿岸流的识别方法, 以等盐度线代表闽浙沿岸流的扩展范围外缘。海洋监测数据空间插值方法采用反距离加权插值法。由于 DIN、DIP 参数不符合正态分布, 采用 Kruskal-Wallis H 检验来分析不同季节 DIN 或 DIP 是否具有显著性差异。

2 结果

2.1 盐度的时空变化

2019—2023 年, 福建省近岸海域的盐度年际变化明显 (表 1)。4 年中, 盐度年均值呈现先上升、再下降的趋势, 2019 年的盐度最低, 2022 年的盐度最高。

表 1 研究海域的盐度变化

Table 1 Salinity changes in the sea area

年份	春季	夏季	秋季	年度
2019	29.09 ± 3.89	31.02 ± 4.31	29.82 ± 3.13	30.04 ± 3.20
2021	30.59 ± 2.48	31.68 ± 3.38	29.79 ± 4.18	30.69 ± 2.95
2022	29.49 ± 3.96	31.40 ± 3.07	31.57 ± 1.72	30.82 ± 2.41
2023	29.97 ± 4.01	31.60 ± 3.20	30.31 ± 2.27	30.63 ± 2.83

注: 表中数值为平均值 ± 标准差。

盐度的季节变化趋势也较为明显。各年 3 个季节中, 夏季的盐度最高, 春季和秋季的盐度较低。2019—2023 年, 春季和夏季的盐度均值均呈现先上升、后下降、再上升的趋势, 秋季盐度呈现先下降、后上升、再下降的趋势。盐度的空间分布如图

1 所示。总体上, 盐度的空间分布呈现近岸盐度低、远海盐度低, 南部盐度高、北部盐度低的格局。

2.2 闽浙沿岸流扩散范围

2019—2023 年研究海域春、夏、秋三季表层盐度平面分布如图 1 所示。

春季, 东北季风的作用较强, 闽浙沿岸流在长江口形成后, 沿浙闽沿岸一路南下。根据各年份的盐度特征, 以盐度值 30、31、30 和 31.5 的等盐度线分别代表 2019 年、2021 年、2022 年和 2023 年闽浙沿岸流的扩展范围外缘, 分析结果显示其可扩展至海坛岛、兴化湾口附近海域。

夏季, 浙闽沿岸的盛行风向为东南风, 与闽浙沿岸流的运动方向相反, 导致其动力较弱。因此, 闽浙沿岸流的影响范围较小, 未影响到福建近岸海域。

秋季, 东北风逐渐加强, 推动闽浙沿岸流向南扩展。根据各年份的盐度特征, 以盐度值 30、29、31 和 31 的等盐度线分别代表 2019 年、2021 年、2022 年和 2023 年闽浙沿岸流的扩展范围外缘, 分析结果显示其可影响到海坛岛、兴化湾口附近海域。

因此, 2019—2023 年, 闽浙沿岸流在春季和秋季对福建近岸海域影响范围较大, 可影响至海坛岛、兴化湾口海域, 而夏季无影响。

2.3 研究海域 DIN、DIP 变化情况

2.3.1 DIN、DIP 的平面分布特征

研究期间, 春、秋季表层 DIN、DIP 质量浓度的平面分布如图 2 和图 3 所示, DIN、DIP 质量浓度的平面分布呈现近岸高、外海低的趋势。

根据闽浙沿岸流扩散范围的研究结果, 本研究分析了研究期间春、秋季闽浙沿岸流影响区域和非沿岸流影响区域的 DIN、DIP 质量浓度, 具体结果如表 2 所示。研究期间, 闽浙沿岸流影响区域的 DIN 平均质量浓度均超过了 0.30 mg/L, 闽浙沿岸流影响区域的秋季 DIP 平均质量浓度均超过了 0.030 mg/L, 春季 DIP 平均质量浓度均超过了 0.015 mg/L。闽浙沿岸流影响区域的 DIN、DIP 质量浓度比非沿岸流影响区域高, 其中 2019 年秋季、2021 年春季和秋季、2022 年春季、2023 年春季闽浙沿岸流影响区域的 DIN 质量浓度均超过非沿岸流影响区域的 2 倍,

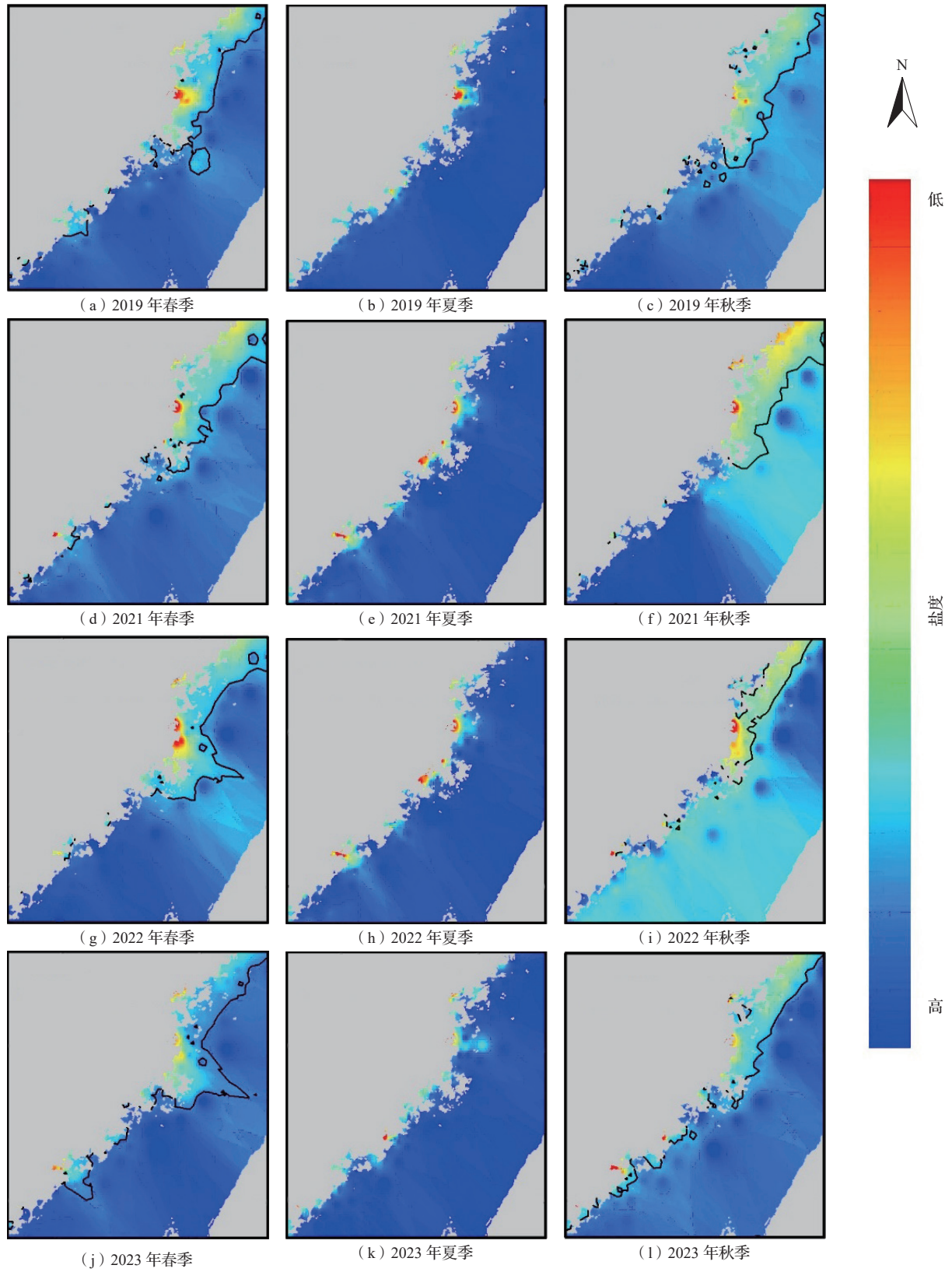


图 1 2019—2023 年研究海域盐度平面分布

Fig.1 Salinity distribution of the sea area in 2019—2023

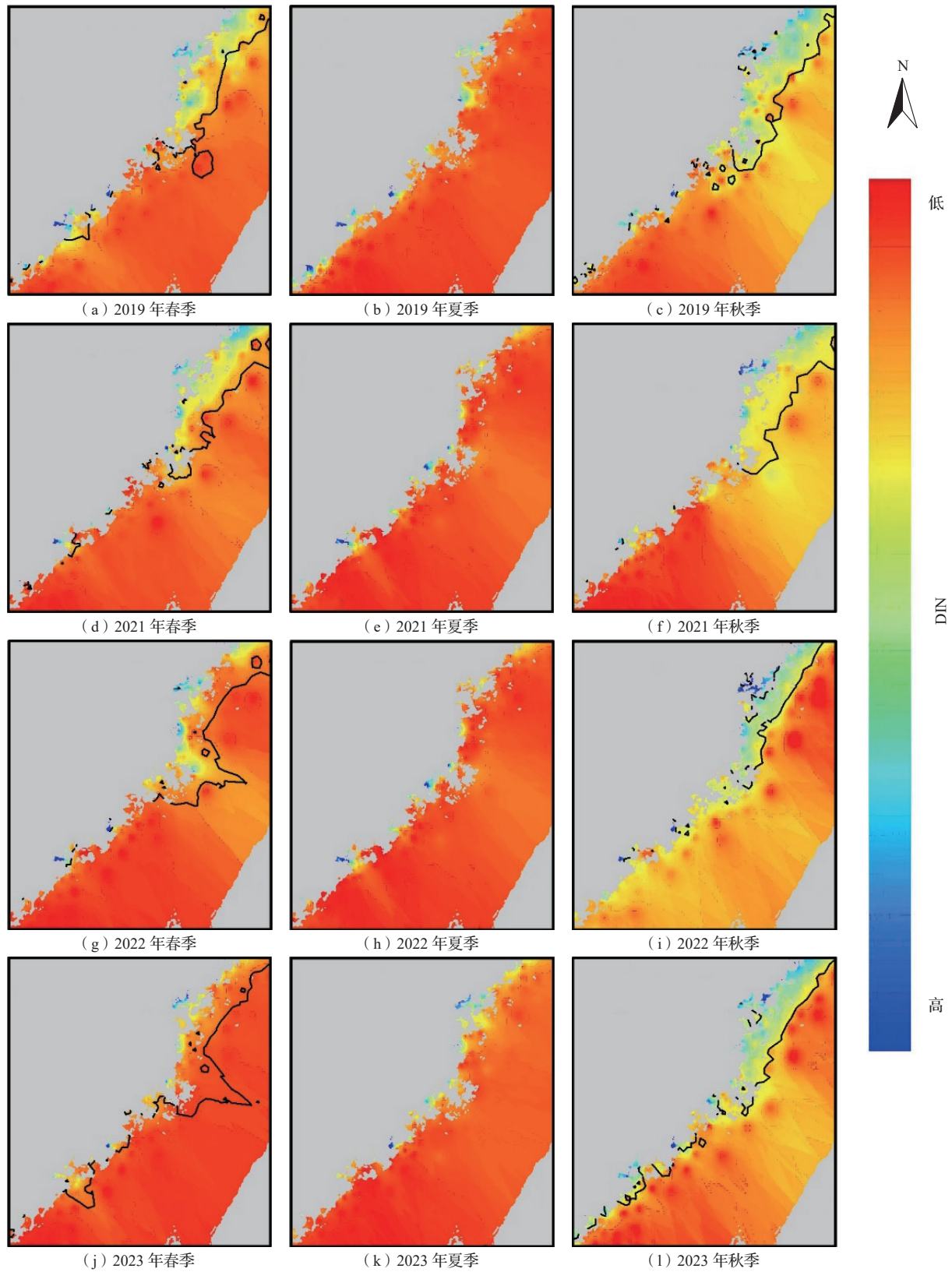


图2 2019—2023 年研究海域 DIN 平面分布

Fig.2 DIN distribution of the sea area in 2019—2023

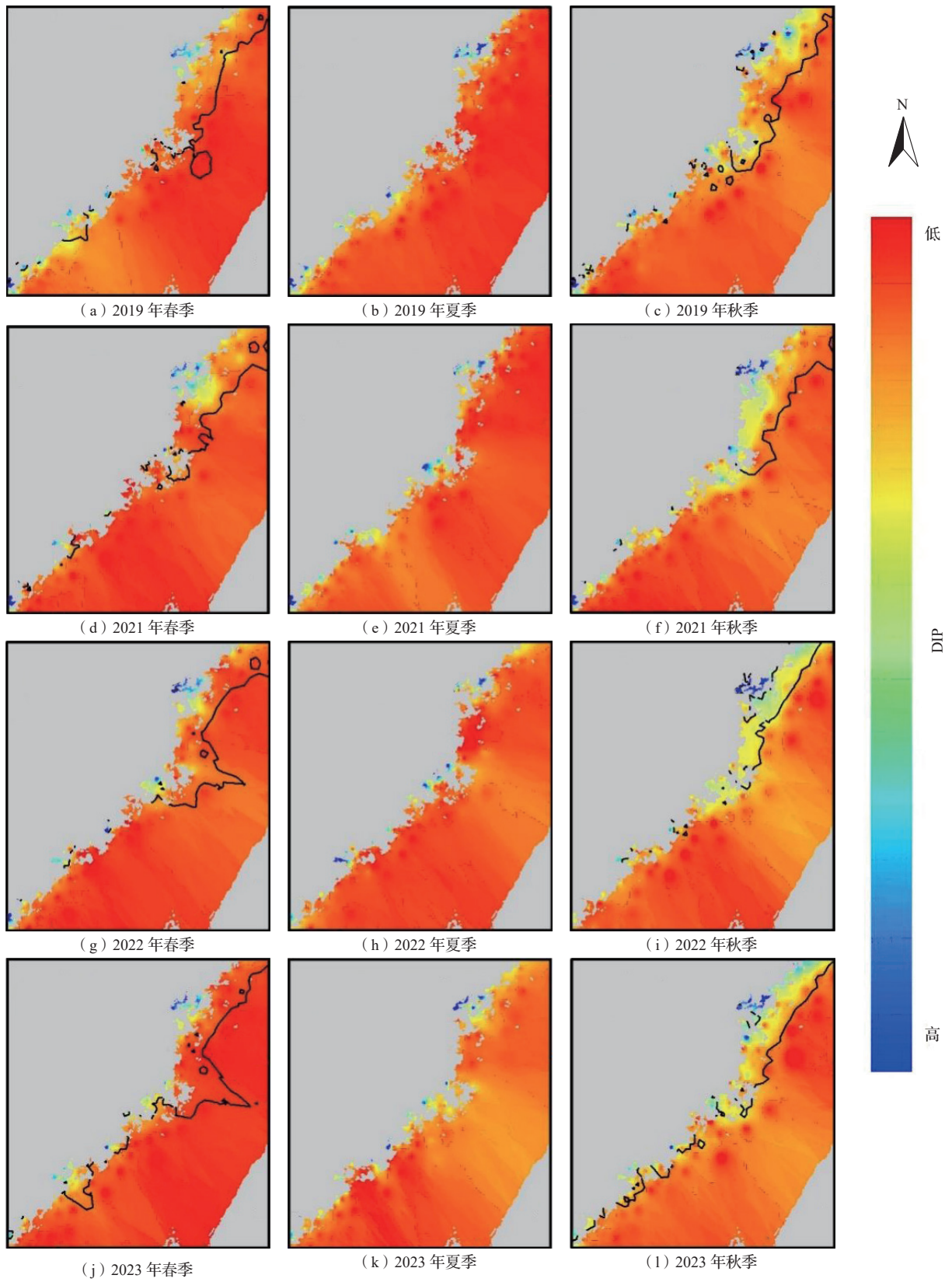


图 3 2019—2023 年研究海域 DIP 平面分布

Fig.3 DIP distribution of the sea area in 2019—2023

2021 年、2022 年、2023 年春季和秋季闽浙沿岸流影响区域的 DIP 质量浓度均超过非沿岸流影响区域的 1.5 倍。因此，闽浙沿岸流影响区域的 DIN、DIP 明显高于非沿岸流影响区域。

2.3.2 氮磷的时间变化特征

2019 年、2021 年、2022 年和 2023 年中，同年各季节 DIN 或 DIP 质量浓度均具有显著的差异性 ($p < 0.001$)。各年春季和秋季调查海区海水中 DIN 和 DIP 质量浓度统计值如表 2 所示。各年秋季的 DIP 质量浓度均高于春季，而 DIN 的质量浓度

季节性变化较大：2021 年、2022 年、2023 年秋季 DIN 质量浓度均高于春季，而 2019 年春季 DIN 质量浓度高于秋季。

研究期间，秋季闽浙沿岸流影响区域的 DIP 含量与非沿岸流影响区域的差值比春季更大，表明秋季闽浙沿岸流对影响海域的 DIP 影响比春季更大。对于 DIN，2019 年、2021 年、2022 年秋季闽浙沿岸流影响区域的 DIN 含量与非沿岸流影响区域的差值比春季更大，而 2023 年的情况与之相反，表明相对 DIP，DIN 的季节变化与影响因素可能更复杂。

表 2 研究海域的氮、磷含量

Table 2 DIN and DIP content in the sea area

季节	沿岸流影响区域		非沿岸流影响区域		同年份不同季节 DIN 是否具有显著性差异 检验结果	同年份不同季节 DIP 是否具有显著性 差异检验结果
	DIN	DIP	DIN	DIP		
2019 年春季	0.458 (0.066 ~ 1.475)	0.025 (0.01 ~ 0.077)	0.249 (0.016 ~ 1.970)	0.019 (0.001 ~ 0.201)	$p < 0.001$	$p < 0.001$
2019 年秋季	0.454 (0.109 ~ 1.756)	0.036 (0.007 ~ 0.108)	0.226 (0.030 ~ 1.090)	0.025 (0.030 ~ 0.200)		
2021 年春季	0.383 (0.054 ~ 1.387)	0.025 (0.002 ~ 0.087)	0.130 (0.014 ~ 1.000)	0.013 (0.001 ~ 0.317)	$p < 0.001$	$p < 0.001$
2021 年秋季	0.525 (0.212 ~ 1.526)	0.042 (0.004 ~ 0.118)	0.153 (0.002 ~ 1.074)	0.022 (0.001 ~ 0.260)		
2022 年春季	0.300 (0.036 ~ 1.056)	0.024 (0.001 ~ 0.080)	0.135 (0.004 ~ 1.408)	0.013 (0.001 ~ 0.113)	$p < 0.001$	$p < 0.001$
2022 年秋季	0.521 (0.209 ~ 0.918)	0.046 (0.018 ~ 0.087)	0.294 (0.052 ~ 1.120)	0.024 (0.004 ~ 0.063)		
2023 年春季	0.402 (0.032 ~ 1.463)	0.021 (0.002 ~ 0.093)	0.147 (0.001 ~ 1.361)	0.013 (0.001 ~ 0.065)	$p < 0.001$	$p < 0.001$
2023 年秋季	0.381 (0.099 ~ 0.941)	0.036 (0.004 ~ 0.091)	0.240 (0.043 ~ 1.024)	0.021 (0.003 ~ 0.064)		

注：表中数值为平均值（最小值~最大值）。

3 讨论

3.1 闽浙沿岸流的扩散范围

由前述分析可知，春季和秋季，闽浙沿岸流扩散到海坛岛、兴化湾口一带，这与相关研究的结果是一致的，如：许金电等研究显示，2002 年春季，闽浙沿岸流分布在兴化湾湾口以北海域；2002 年秋季，闽浙沿岸流出现于海坛岛东南部以北海域^[4]。黄妍利用历史遥感数据研究表明，1981—1999 年春季的闽浙沿岸流影响范围可以扩展到兴化湾湾口附近^[14]。

3.2 闽浙沿岸流引起的氮磷变化

本研究发现，闽浙沿岸流影响区域的 DIN、DIP 明显高于非沿岸流影响区域，对近岸海域的营养盐含量有重要影响。其他相关研究也得到了类似的结果：王翠等的研究表明，在闽浙沿岸流影响期间，DIN、DIP 呈现近岸高、外海低的趋势，这与闽浙沿岸流的空间分布一致，DIN 的平均含量均超过了第三类海水水质标准，冬季 DIP 平均含量超过了第二类海水水质标准，春季和秋季 DIP 平均含量超过了第一类海水水质标准^[5]。张元标等的研究表

明, 闽浙沿岸流具有低温、低盐、高悬浮物和高营养盐的普遍环境特征^[9]。这主要是由于闽浙沿岸流的生成与陆地径流关系密切, 使其具有高营养盐的特征, 所流经海域的营养盐含量升高。

3.3 数据的局限性

本研究的监测数据包括春、夏、秋三季的数据, 无冬季监测数据, 而根据以往的研究结果, 冬季是闽浙沿岸流最明显、扩散范围最大的季节^[4-5,13], 因此从季节上看, 缺乏冬季监测数据会使得本研究的季节序列不够完整。

本研究的监测区域主要位于福建省近岸海域, 未包括长江口以南、福建以北的闽浙沿岸流扩散影响区域, 这也导致本研究无法从全局上分析闽浙沿岸流的扩散范围。

因此, 未来本研究将进一步搜集监测数据的时间序列和空间范围, 提升研究数据的全面性、完整性, 进一步完善闽浙沿岸流的扩散及环境影响研究。

4 结论

本研究基于福建省近岸海域 2019—2023 年春、夏、秋三季的海洋环境监测数据, 分析了盐度的时空演变特征及闽浙沿岸流的扩散范围, 并探讨了闽浙沿岸流对沿海氮、磷的影响, 得出以下结论。

(1) 福建省近岸海域的盐度年际变化明显。4 年中, 盐度年均值呈现先上升、再下降的趋势, 2019 年的盐度最低, 2022 年的盐度最高。各年度 3 个季节中, 夏季的盐度最高, 春季和秋季的盐度较低。

2019—2023 年, 春季和夏季的盐度均值均呈现先上升、后下降、再上升的趋势, 秋季盐度呈现先下降、后上升、再下降的趋势。盐度的空间分布呈现近岸盐度低、远海盐度高, 南部盐度高、北部盐度低的格局。

(2) 闽浙沿岸流扩展具有明显的季节变化特征, 在东北风的作用下, 春、秋季闽浙沿岸流可影响至海坛岛、兴化湾口附近海域。夏季, 闽浙沿岸的主导风向是东南风, 闽浙沿岸流的动力较弱, 因此未影响到福建近岸海域。

(3) 无机氮和活性磷酸盐含量的平面分布呈现近岸高、外海低的趋势。闽浙沿岸流影响区域的 DIN、DIP 明显高于其他区域, 闽浙沿岸流影响区域的 DIN 平均质量浓度均超过了 0.30 mg/L, DIP 秋季平均质量浓度均超过了 0.030 mg/L, DIP 春季平均质量浓度超过了 0.015 mg/L。各年度秋季的 DIP 质量浓度均大于春季, 2021 年、2022 年、2023 年秋季 DIN 质量浓度均高于春季, 而 2019 年春季 DIN 质量浓度高于秋季。

(4) 闽浙沿岸流所流经的沿海地区人口密度较大、开发活动较多, 也存在很多重要的生态系统, 是我国经济发达区域和重要的生态敏感区, 研究闽浙沿岸流的扩散特征和环境影响对于海洋生态环境保护是十分有必要的。但由于监测数据的限制, 目前, 对于闽浙沿岸流的研究还不够全面和系统, 因此, 未来应进一步加强和完善海洋监测, 进一步研究闽浙沿岸流的扩散规律和环境影响, 为海洋生态环境保护提供支撑。

参考文献 (References):

- [1] 伍伯瑜. 台湾海峡环流研究中的若干问题[J]. 台湾海峡, 1982, 1(1): 1-7.
WU Boyu. Some problems on circulation study in Taiwan Strait[J]. Taiwan Strait, 1982, 1(1): 1-7.
- [2] 张彩云, 商少凌, 陈德文, 等. 冬季浙闽沿岸水分布的短期变动与风的关系初探[J]. 遥感学报, 2005, 9(4): 452-458.
ZHANG Caiyun, SHANG Shaoling, CHEN Dewen, et al. Short-term variability of the distribution of Zhe-Min coastal water and wind forcing during winter monsoon in the Taiwan Strait[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(4): 452-458.
- [3] 潘爱军, 万小芳, 郭小刚, 等. 平潭岛外海浙闽沿岸流对 2006 年冬季风松弛的响应特征与机理[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(9): 1317-1328.
PAN Aijun, WAN Xiaofang, GUO Xiaogang, et al. Responses of the Zhe-Min coastal current adjacent to Pingtan Island to the wintertime monsoon relaxation in 2006 and its mechanism[J]. Science China Earth Science, 2012, 42(9): 1317-1328.
- [4] 许金电, 黄奖, 邱云, 等. 浙闽沿岸水的空间结构特征及生消过程[J]. 热带海洋学报, 2015, 34(1): 1-7.

- XU Jindian, HUANG Jiang, QIU Yun, et al. Spatial structure characteristics of Zhejiang and Fujian coastal water and their evolution[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2015, 34(7): 1-7.
- [5] 王翠, 郭晓峰, 方婧, 等. 闽浙沿岸流扩展范围的季节特征及其对典型海湾的影响[J]. *应用海洋学学报*, 2018, 37(1): 1-8.
WANG Cui, GUO Xiaofeng, FANG Jing, et al. Characteristics of seasonal spatial expansion of Fujian and Zhejiang coastal current and their bay effects[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2018, 37(1): 1-8.
- [6] YIN K, HARRISON P J, POND S, et al. Entrainment of nitrate in the Fraser River plume and its biological implications. II. Effects of spring vs neap tides and river discharge[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1995, 40: 529-544.
- [7] 国家海洋局海洋科技情报研究所第二研究室. 台湾海峡及邻近海区的水文概况: 海水温度、盐度和表层流特征[J]. *台湾海峡*, 1982, 1(1): 8-10.
Second Laboratory of the Institute of Marine Scientific and Technological Data and Information, State Oceanic Administration. The hydrographic synopsis in Taiwan Strait and its adjacent areas; characteristics of temperature, salinity and surface currents[J]. *Taiwan Strait*, 1982, 1(1): 8-10.
- [8] 福建海洋研究所. 台湾海峡中、北部海洋综合调查研究报告[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
Fujian Institute of Oceanography. Comprehensive survey and research report on the north-central sea in the Taiwan Strait[M]. Beijing: Science Press, 1988.
- [9] 张元标, 陈金民, 贺青, 等. 聚类分析浙闽沿岸水的季节变化和环境特征[C] // 第五届青年海洋科学研讨会论文集. 中国海洋学会, 2011: 245-254.
ZHANG Yuanbiao, CHEN Jinmin, HE Qing, et al. Cluster analysis of the seasonal changes and environmental characteristics in the coastal water along Zhejiang and Fujian Province[C] // Proceedings of the 5th Youth Marine Science Symposium. Chinese Society of Oceanography, 2011: 245-254.
- [10] 梁红星, 李虹. 台湾南部水团的模糊聚类划分[C] // 闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1991: 85-93.
LIANG Hongxing, LI Hong. Fuzzy clustering division of water masses in southern Taiwan waters[C] // Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground Upwelling ecosystem study. Beijing: Science Press, 1991: 85-93.
- [11] 肖晖, 郭小钢, 吴日升. 台湾海峡水文特征研究综述[J]. *台湾海峡*, 2002, 21: 126-138.
XIAO Hui, GUO Xiaogang, WU Risheng. Overview of hydrological characteristics research in the Taiwan Strait[J]. *Taiwan Strait*, 2002, 21: 126-138.
- [12] KO D S, PRELLER R H, JACOBS G A, et al. Transport reversals at Taiwan Strait during October and November 1999[J], *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108(c11), 3370.
- [13] 邱云, 许金电, 郭小钢, 等. 东北季风期台湾海峡的逆温现象[J]. *海洋学报*, 2012, 34(2) : 13-22.
QIU Yun, XU Jindian, GUO Xiaogang, et al. Temperature inversion in the Taiwan Strait during northeast monsoon[J]. *Acta Oceanography Sinica*, 2012, 34(2): 13-22.
- [14] 黄妍. 冬、春季台湾海峡浙闽沿岸水的时空变动特征研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2016.
HUANG Yan. Temporal and spatial variation of Zhe Min Coastal Water in the Taiwan Strait in winter and spring[D]. Xiamen: Xiamen University, 2016.