

周增荣. 九龙江-厦门湾氮磷污染物入海通量估算与研究[J]. 渔业研究, 2021, 43(2): 175-182.

# 九龙江-厦门湾氮磷污染物入海通量估算与研究

周增荣

(漳州市海洋环境监测中心, 福建 漳州 363000)

**摘要:** 本研究初步估算 2011—2020 年九龙江总氮、总磷污染物入海通量, 分析年际通量变化和月际通量的空间变化, 探讨了可能的影响因素。结果表明, 2011—2020 年间九龙江总氮和总磷的入海通量呈现递减趋势, 但仍具有较高养分通量的特点, 总氮和总磷的入海通量排放主要受到畜禽养殖和化肥施用等人为活动的影响。2018 年九龙江北溪的总氮通量最高, 西溪的总磷通量最高, 南溪最低。入海通量的空间差异主要与径流量有关, 北溪的畜禽养殖和西溪的化肥施用是导致养分入海的主要因素, 九龙江氮磷污染物入海与水产养殖关系较小。本研究对九龙江-厦门湾提出有关污染物总量控制措施建议, 为当地政府做好重点河流污染物总量控制提供参考。

**关键词:** 九龙江-厦门湾; 入海通量; 总量控制

**中图分类号:** X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9848(2021)02-0175-08

河口海湾的环境污染问题是陆地和海洋相互作用的研究内容之一, 也是全球环境变化研究的重点问题。近几十年来, 随着日益频繁的人类活动, 以及河口地区的经济发展, 大量的污染物质进入近岸海域, 导致近岸海域富营养化、赤潮灾害频发、生态系统退化、服务功能显著下降等问题日益突出, 亟需开展入海污染物排放总量控制。入海污染物排放总量控制是水环境总量的重要组成部分, 也是控制改善海洋生态环境质量的有效手段。我国的水环境污染总量控制始于 20 世纪 70 年代, 在经过浓度控制、目标总量控制两个阶段之后, 已逐渐进入到容量总量控制阶段<sup>[1]</sup>。在海洋污染物总量控制方面, 由于污染源入海总量的不确定性和海洋自然环境的复杂性, 目前仍需要更多的研究应用案例以完善入海污染物排放总量控制的制度、技术与方法<sup>[2-3]</sup>。

入海污染物通量估算是入海污染物总量控制的关键, 此前国内已有大量的污染物入海通量研究, 关于流域污染物入海通量的估算方法, 富国

等<sup>[4-5]</sup>根据 Webb B W 等<sup>[6]</sup>于 1997 年提出的估算污染物入海通量的 5 种方法进行总结, 提出针对不同的点源、非点源污染应采用不同的估算公式。王卫平等<sup>[7]</sup>采用这 5 种方法分别对九龙江污染物入海通量进行估算, 分析比较各种估算方法的利弊和适用性。随着污染物入海通量研究方法的成熟, 越来越多研究从科学研究过渡为实际应用。涂振顺等<sup>[8]</sup>利用 GIS 和 RS 技术, 解译海湾的土地利用类型, 划分汇水单元, 并利用经验模型估算陆源污染物入海通量。林俊良等<sup>[9]</sup>利用公报统计了近十年广西北部湾主要河流的污染物入海通量, 认为污染物入海通量与流域人均 GDP 有较好的正相关关系。李莉等<sup>[10]</sup>和陈晓锋等<sup>[11]</sup>分别对环胶州湾和北部湾各河流进行布点采样分析, 并统计各类污水排放情况和化肥施用情况, 讨论各个河流对于污染物入海通量的贡献率, 从而提出有针对性的管理方案。刘瑜婷等<sup>[12]</sup>采用单因子评价法和 Spearman 秩相关分析讨论了 2008—2017 年小清河污染物入海通量与

收稿日期: 2021-01-13

作者简介: 周增荣 (1987-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事海洋生态环境保护工作. E-mail: zhouzengrong520@163.com

径流量、污染物浓度的相关性,以及各个污染物单因子指数年际变化,得到不同水文时期的主要污染物情况。关于内陆湖区入湖通量的研究同样对入海污染物通量有一定的借鉴意义,吕文等<sup>[13]</sup>监测了湖区水质和主要入湖河流断面水质,采用GIS空间插值和统计分析的方法,讨论入湖水量、水质与湖区水质的响应关系。朱昕阳等<sup>[14]</sup>优化了传统通量计算方法,通过更高频率的监测数据分析太湖流域污染物月通量以及水质、水量与湖区污染物浓度的相关性。

自2017年以来,福建省实施九龙江-厦门湾污染物总量控制试点工作,开展了城镇污水处理厂提标升级改造、农村生活污水处理设施建设、农业面源污染治理、重点直排海企业减排等工作,取得一定的成效,已进一步遏制区域水环境恶化。现有研究根据入海口断面监测数据对九龙江河口不同污染物的养分通量进行估算分析<sup>[15]</sup>,缺乏对各个排污口监测数据的分析以及与全国其他河流的讨论<sup>[16]</sup>,因此本文估算了2011—2020年九龙江总氮、总磷污染物入海通量,分析年际通量变化以及2018年北溪、西溪和南溪月际通量的空间变化,探讨了陆源入海污染物对九龙江入海水质的影响,提出控制九龙江-厦门湾有关污染物的措施建议,旨在为当地政府做好重点河流污染物总量控制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

九龙江是福建第二大河流(图1),流域面积约14 741 km<sup>2</sup>,约占福建省土地面积的12%。九龙江流经龙岩市、漳州市,从厦门市入海进入厦门湾,九龙江是上述三地市的饮用水源,是支撑闽西南经济合作核心区域社会发展的重要基础性资源,是保障该区域可持续发展的重要保障。随着九龙江流域社会经济的发展,九龙江-厦门湾环境污染问题日益突出,已严重阻碍当地社会经济的进一步发展。

### 1.2 研究数据

#### 1.2.1 水文监测数据

九龙江北溪、西溪和南溪入海口附近分别设有浦南、郑店水文监测站和南溪浮宫桥监测点,其径流量基本可代表九龙江北溪、西溪和南溪的入海径流量,本研究选取上述三个水文监测站(点)(2011—2019年)的年平均径流量数据,



图1 研究区域图

Fig.1 Location of study area

其中2018年有月际径流量数据,作为九龙江入海通量计算的水量分量。

#### 1.2.2 水质监测数据

九龙江北溪、西溪和南溪分别设置国控监测点龙海江东桥、河口和南溪浮宫桥,三个监测点2011—2019年的监测数据,监测项目包括总氮、总磷。其中2011—2015年为逢单月监测,即每年1、3、5、7、9、11月监测,2016—2019年为每月监测。

#### 1.2.3 经济社会数据

人口、国民生产总值、畜禽养殖、水产养殖、化肥施用和工业废水数据来源于漳州、龙岩市2011—2020年统计年鉴。其中,以畜禽出栏数(个)代表畜禽养殖量,水产养殖量(t)代表水产养殖总量,农村化肥总施用量(t)代表化肥施用量,工业废水总排放量(t)代表工业废水量。

### 1.3 入海通量计算方法

鉴于九龙江流域污染物以农业面源污染为主,王卫平等<sup>[7]</sup>认为采用瞬时浓度 $C_t$ 的平均值与时段平均流量的乘积计算方法较为科学,故本文采用该文在九龙江流域推荐的通量计算公式估算九龙江污染物入海通量,计算公式如下:

$$W = K \left[ \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{n} \right] \bar{Q} \quad (1)$$

式(1)中,  $W$  为估算时段内的污染物入海通量;  $K$  为不同估算时段的转换系数;  $n$  为采样次数;  $C_i$  为样品  $i$  的浓度值;  $\bar{Q}$  为估算时段内的平均流量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 年际变化

由图2(a)可知, 北溪总氮通量的变化范围为  $(1.1 \sim 2.0) \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 平均值为  $1.5 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 总磷通量的变化范围为  $(4.9 \sim 8.9) \times 10^2 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 平均值为  $6.5 \times 10^2 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。北溪的总氮和总磷入海通量随时间推移呈递减趋势, 在2011至2020年间, 总氮通量由  $1.9 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$  降低至  $1.1 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。西溪总氮通量的变化范围为  $9.7 \times 10^3 \sim 2.7 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 平均值为  $1.8 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 总磷通量的变化从  $5.1 \times 10^2 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$  升高至  $1.0 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 平均值为  $7.8 \times 10^2 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$  [图2(b)]。南溪总氮通量为  $(1.7 \sim 2.8) \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 平均值为  $1.8 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 总磷通量为  $78.1 \sim 115.5$

$\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 平均值为  $76.6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$  [图2(c)]。

根据历史数据和实测数据分析九龙江口的养分通量。2011—2020年九龙江北溪总氮、总磷养分通量呈现波动变化, 与吴高杰等关于九龙江河口养分通量变化趋势基本一致<sup>[17-18]</sup>。2011—2020年九龙江西溪总磷通量和南溪总氮通量呈现下降趋势。这些结果有几种可能的解释, 养分入海通量主要受到各监测点入海口的养分浓度的影响, 2011—2020年污染物浓度具有下降的趋势, 这与通量变化保持一致。另外, 入海通量主要受径流量影响。总氮通量主要为硝氮通量, 可能是因为受益地中人类活动的影响<sup>[19-20]</sup>。总磷通量相比于总氮通量的贡献率要低, 这与磷趋向于沉积的性质有关。九龙江河口总磷通量与化肥施用呈显著正相关, 这是由于九龙江流域中的磷主要源于磷肥施用。从西溪2011—2020年间的总氮及总磷入海通量变化图上看 [图2(b)], 总氮通量自2015年后显著降低, 总磷通量自2016年后显著降低, 这一现象可能与2015年后九龙江的化肥使用量减少有关(表1)。

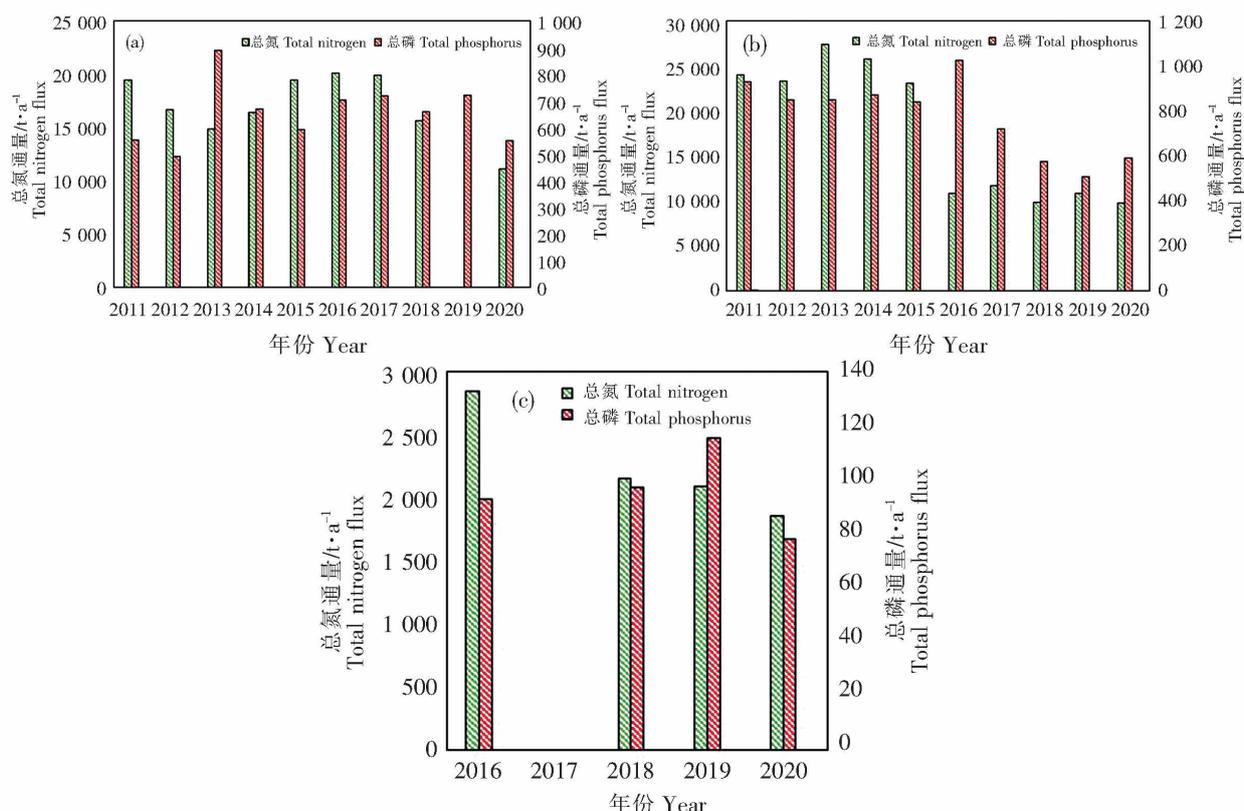


图2 九龙江入海通量  
Fig.2 Jiulong River to sea flux

注: (a) 北溪; (b) 西溪; (c) 南溪。  
Notes: (a) North branch; (b) West branch; (c) South branch.

关于九龙江流域养分通量与中国其他流域的对比, 先前的结果表明<sup>[21-23]</sup>, 从 1963 年到 2012 年, 长江的养分通量呈现逐年上升趋势。1998—2007 年, 黄河的养分通量增加, 2007—2012 年养分通量减少, 黄河的这一趋势与九龙江的相一致。中国主要河流的养分率高于世界主要河流, 但人均养分率低于世界主要河流。此外, 与几条大河相比, 一些小流域 (如九龙江) 的养分率较高。因此, 小集水区中的养分通量值得进一步研究。有研究表明与中国其他河流的通量相比, 九龙江地区养分通量的面产率较高<sup>[18]</sup>。尽管九龙江的径流仅为长江的 1.3%、珠江的 2.4%、黄河的 2.0%, 径流量等水文因素影响其养分通量值也相比较低, 但九龙江流域的区域总氮和总磷通量面产率是长江流域的 4.1 和 4.5 倍、黄河流域的 20.8 和 154.0 倍<sup>[24-25]</sup>。九龙江流域由于近年来大量农业化肥施用、畜禽养殖及市政和工业污水排放等人类活动, 导致水体总氮、总磷浓度较高, 同时高养分通量会对河口和

近海环境产生显著影响, 对于厦门湾海域水环境和水生态造成严重影响。

为揭示九龙江入海通量的影响因素, 本研究通过查阅统计年鉴中人口、GDP、畜禽养殖量、化肥施用量、工业废水排放量、养分通量以及水产养殖进行 Pearson 相关性分析, 结果表明总氮通量与 GDP 增长、常住人口, 尤其与畜禽养殖等活动密切相关 (图 3)。同时, 流域内化肥使用量与总氮具有显著的相关性。总氮流量受河流径流以及  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度的综合影响, 径流量与水文气候条件有关, 总氮浓度受九龙江流域人类活动影响较大。总磷通量与化肥施用呈显著正相关, 与水产养殖等其他影响因素无显著相关性, 说明总磷通量主要受九龙江化肥使用量的影响。进一步分析九龙江口的氮源, 发现总氮通量与畜禽养殖呈显著正相关, 同时也与 GDP 增长、常住人口增长有一定的相关性, 这与先前关于九龙江河口氮排放管理相关研究的结论一致<sup>[19-20]</sup>。

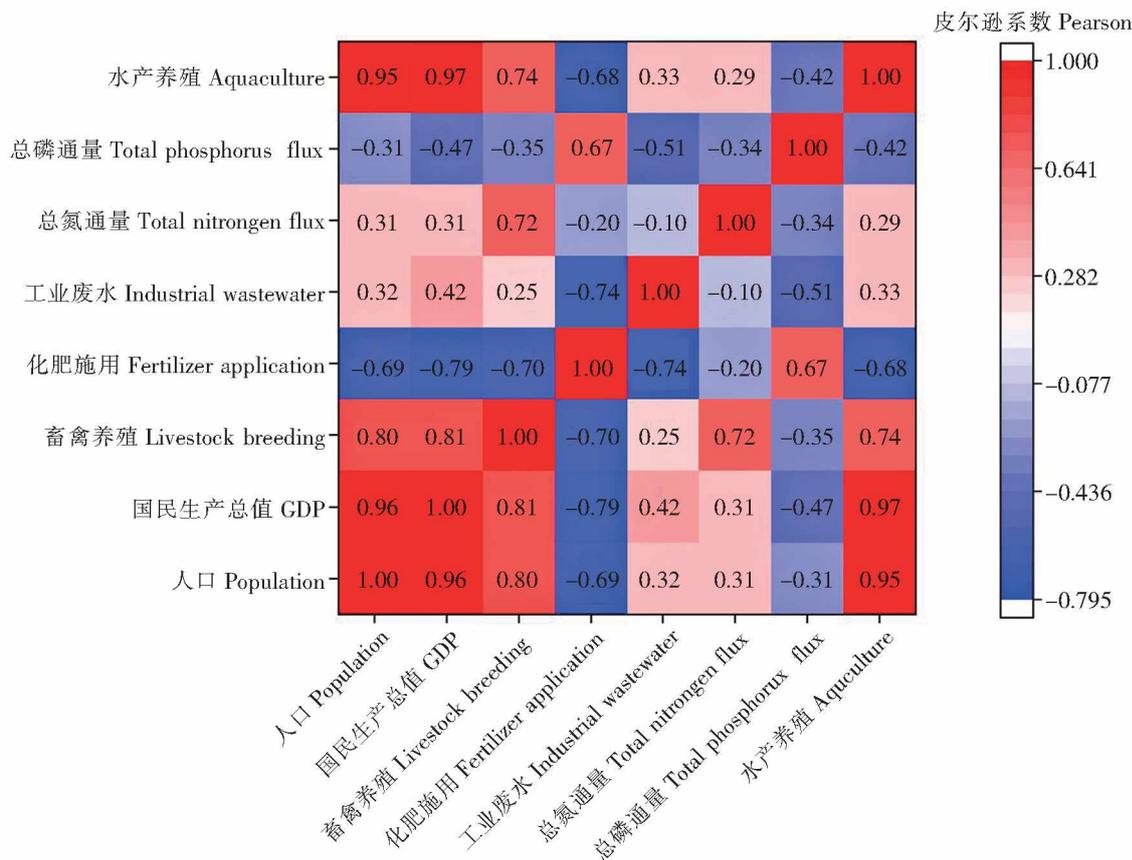


图 3 2011—2020 年九龙江养分通量与环境因子的关系

Fig.3 Relationship between nutrient flux and environmental factors in Jiulong River between 2011—2020

表 1 2011—2019 九龙江社会经济数据统计表  
Tab. 1 Social and economic data of Jiulong River between 2011—2019

| 年份<br>Year | 人口/ $\times 10^4$ 人<br>Population<br>(ten thousand<br>person) | 国民生产总值<br>/ $\times 10^8$ 元<br>GDP(one hundred<br>million yuan) | 畜禽养殖/ $\times 10^4$ 只<br>Livestock breeding<br>(ten thousand) | 化肥施用<br>/ $\times 10^4$ t<br>Fertilizer<br>application | 工业废水/ $\times 10^4$ t<br>Industrial<br>wastewater | 水产养殖/t<br>Aquaculture |
|------------|---|---|---|--|---|-----------------------|
| 2011       | 289.21  | 1 791.87  | 1 399.94  | 39.21  | 86 558.20   | 1 490 370             |
| 2012       | 294.80  | 2 047.95  | 1 190.83  | 39.12  | 23 038.79   | 1 544 010             |
| 2013       | 299.65  | 2 299.08  | 2168.80   | 39.00  | 25 412.99   | 1 609 120             |
| 2014       | 304.26  | 2 580.08  | 1 546.88  | 40.63  | 27 476.88   | 1 702 750             |
| 2015       | 310.42  | 2 951.25  | 1 523.74  | 40.53  | 21 197.51   | 1 806 350             |
| 2016       | 316.49  | 3 231.24  | 2 011.88  | 40.25  | 15 386.89   | 1 743 210             |
| 2017       | 322.19  | 3 711.88  | 2 546.15  | 37.55  | 19 051.20   | 1 833 460             |
| 2018       | 333.09  | 4 368.15  | 2 306.16  | 35.53  | 93 814.00   | 1 919 280             |
| 2019       | 329.68  | 4 741.83  | 2 514.35  | 34.08  | 96 500.78   | 2 029 640             |

2.2 2018 年各支流月际变化

由 2018 年九龙江营养盐入海通量月际分析可知 (图 4), 北溪龙海江东桥污染物指标为单月监测 [图 4 (a)], 9 月总氮和总磷的入海通量最高, 分别为  $2.9 \times 10^3$ 、 $1.7 \times 10^2 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ ; 11 月总氮和 3 月总磷的入海通量最低, 分别为

$7.6 \times 10^2$ 、 $24.5 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ ; 全年总氮和总磷平均通量分别为  $2.0 \times 10^3$ 、 $75.8 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ , 且 5—7 月氮磷营养盐的入海通量高于 1、3、11 月。西溪的入海通量结果表明: 9 月总氮和 10 月总磷的入海通量最高 [图 4 (b)], 分别为  $2.4 \times 10^3$ 、 $1.1 \times 10^2 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ ; 4 月总氮和总磷的入

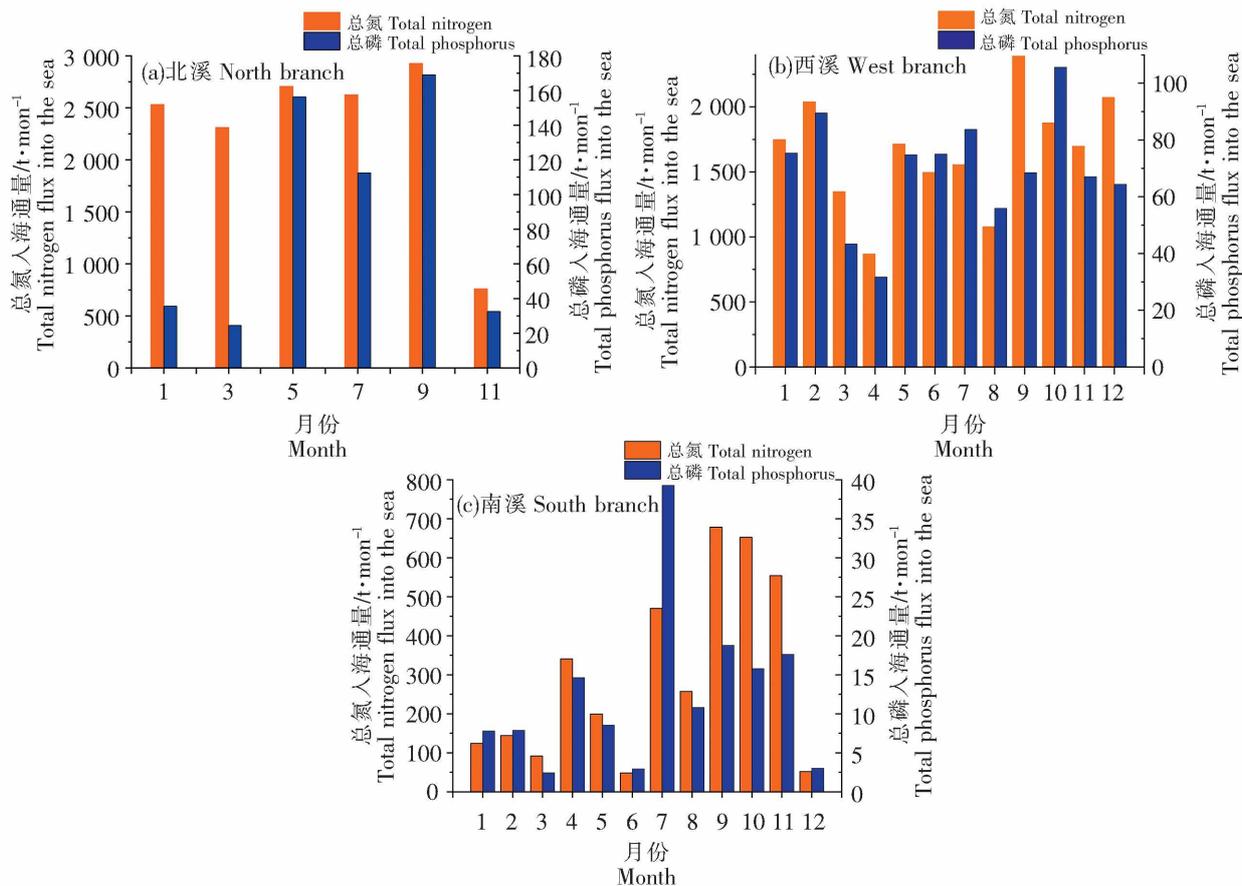


图 4 2018 年九龙江营养盐入海通量  
Fig.4 Nutrient flux from Jiulong River to sea in 2018

海通量最低, 分别为  $8.7 \times 10^2$ 、 $31.7 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ , 全年总氮和总磷平均通量分别为  $1.7 \times 10^3$ 、 $69.6 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ 。南溪的入海通量结果表明: 9月总氮和7月总磷的入海通量最高 [图4(c)], 分别为  $6.8 \times 10^2$ 、 $39.3 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ ; 6月总氮和总磷的

入海通量最低, 分别为 48.2、 $2.9 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ ; 其中7—11月营养盐通量处于较高水平, 1—6月、12月营养盐通量处于较低水平, 全年总氮和总磷平均通量分别为  $3.0 \times 10^2$ 、 $12.5 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ 。

表2 2018年九龙江入海监测营养盐浓度及河流径流量

Tab. 2 Nutrient concentration and river runoff in Jiulong River in 2018

| 月份<br>Month | 北溪 North branch of Jiulong River  |                                   |  | 西溪 West branch of Jiulong River   |                                   |  | 南溪 South branch of Jiulong River  |                                   |  |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
|             | 总氮<br>/mg · L <sup>-1</sup><br>TN | 总磷<br>/mg · L <sup>-1</sup><br>TP | 流量<br>/(m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )<br>Runoff | 总氮<br>/mg · L <sup>-1</sup><br>TN | 总磷<br>/mg · L <sup>-1</sup><br>TP | 流量<br>/(m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )<br>Runoff | 总氮<br>/mg · L <sup>-1</sup><br>TN | 总磷<br>/mg · L <sup>-1</sup><br>TP | 流量<br>/(m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )<br>Runoff |
| 1           | 1.92                              | 0.03                              | 1 317.94   | 3.22                              | 0.14                              | 543.64   | 3.62                              | 0.23                              | 34.38  |
| 2           | -                                 | -                                 | -  | 3.72                              | 0.16                              | 548.02   | 4.15                              | 0.23                              | 34.76  |
| 3           | 2.34                              | 0.04                              | 987.69   | 3.73                              | 0.12                              | 361.36   | 4.89                              | 0.13                              | 18.80  |
| 4           | -                                 | -                                 | -  | 3.29                              | 0.12                              | 264.05   | 3.49                              | 0.15                              | 97.57  |
| 5           | 2.83                              | 0.03                              | 956.05   | 2.98                              | 0.13                              | 575.36   | 3.03                              | 0.13                              | 65.77  |
| 6           | -                                 | -                                 | -  | 2.59                              | 0.13                              | 577.20   | 2.79                              | 0.17                              | 17.28  |
| 7           | 2.32                              | 0.10                              | 1 131.61   | 2.60                              | 0.14                              | 598.16   | 3.83                              | 0.32                              | 122.71   |
| 8           | -                                 | -                                 | -  | 2.31                              | 0.12                              | 466.20   | 2.38                              | 0.10                              | 108.11   |
| 9           | 2.25                              | 0.13                              | 1 301.00   | 3.84                              | 0.11                              | 622.49   | 5.42                              | 0.15                              | 125.09   |
| 10          | -                                 | -                                 | -  | 3.02                              | 0.17                              | 621.45   | 3.72                              | 0.09                              | 175.34   |
| 11          | 2.10                              | 0.09                              | 361.86   | 3.29                              | 0.13                              | 515.67   | 3.46                              | 0.11                              | 160.11   |
| 12          | -                                 | -                                 | -  | 3.22                              | 0.10                              | 643.55   | 2.73                              | 0.16                              | 18.94  |

2018年九龙江营养盐入海通量结果表明, 总氮平均通量呈现北溪 > 西溪 > 南溪, 总磷平均通量呈现西溪 > 北溪 > 南溪, 这与2018年三条溪流径流量大小有关, 北溪和西溪的径流量均高于南溪(表2)。对九龙江流域总氮的污染源而言, 90年代以来由于流域的农业活动加强以及城市化发展, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N通量上升趋势尤为显著<sup>[26]</sup>。北溪流域的总氮通量高于西溪的, 造成这一现象的主要原因之一可能是NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N通量占总氮通量比例较大, 且北溪的流域面积比西溪大, 农业面积也比西溪大。这与Ervinia A等的研究<sup>[27]</sup>一致。北溪受到生活污水、畜禽养殖和化肥施用的多重影响, 且畜禽养殖比例较高, 西溪的化肥施用占比较大, 南溪则主要受化肥施用和生活污水的影响, 而北溪的总氮通量最高, 说明畜禽养殖是总氮的主要来源, 这与Zhou P等的研究<sup>[28]</sup>一致。对九龙江流域总磷污染源而言, 西溪的总磷通量最高, 且图3结果表明总磷通量主要来源于化肥施用, Zhou P等<sup>[28]</sup>研究发现九龙江全流域污染源占比呈现化肥施用 > 畜禽养殖 > 工业废

水, 与本研究结果一致。

### 3 结论

本研究初步估算2011—2019年九龙江总氮、总磷污染物入海通量, 分析年际通量变化以及2018年北溪、西溪和南溪月际通量的空间变化, 探讨可能的影响因素, 其主要结论如下。

1) 2011—2020年间, 九龙江总氮和总磷的入海通量呈现递减趋势, 但仍具有较高养分通量的特点, 总氮和总磷的入海通量排放主要受到畜禽养殖和化肥施用等人为活动的影响, 与水产养殖的相关性较小。

2) 2018年九龙江北溪的总氮通量最高, 西溪的总磷通量最高, 南溪最低。入海通量的空间差异主要与径流量有关, 且北溪的畜禽养殖和西溪的化肥施用也是导致养分入海的主要因素。

### 4 总量控制建议

1) 摸清流域污染物来源。开展九龙江入河排污口排查, 掌握九龙江入河污染类型、数量状

况和溯源工作,为下一步实施九龙江综合整治提供更精准的决策依据。

2) 突出污染物整治重点。九龙江-厦门湾氮磷污染物入海通量的总量控制应重点从畜禽养殖和化肥施用两方面进行管理。坚持生态先行,疏堵结合,控制养殖总量,严格准入门槛。新建、改建、扩建规模化畜禽养殖场(小区)要实施雨污分流、粪便污水资源化利用。推广低毒、低残留农药使用,开展农作物病虫害绿色防控和统防统治。推广测土配方施肥,提高化肥利用率,开展化肥减量行动。

#### 参考文献:

- [1] 冯金鹏, 吴洪寿, 赵帆. 水环境污染总量控制回顾、现状及发展探讨 [J]. 南水北调与水利科技, 2004, (1): 44, 45-47.
- [2] 王晓玮, 赵骞, 赵仕兰. 海洋环境容量及入海污染物总量控制研究进展 [J]. 海洋环境科学, 2012, 31 (5): 765-769.
- [3] 赵骞, 杨永俊, 赵仕兰. 入海污染物总量控制制度与技术的研究进展 [J]. 海洋开发与管理, 2013, 30 (2): 65-71.
- [4] 富国. 河流污染物通量估算方法分析 (I) ——时段通量估算方法比较分析 [J]. 环境科学研究, 2003, 16 (1): 1-4.
- [5] 富国, 雷坤. 河流污染物通量估算方法分析 (II) ——时空平均离散通量误差判断 [J]. 环境科学研究, 2003, (1): 5-9, 42.
- [6] WEBB B W, PHILLIPS J M, WALLING D E, et al. Load estimation methodologies for British rivers and their relevance to the LOIS RACS (R) programme [J]. Science of The Total Environment, 1997, 194-195: 379-389.
- [7] 王卫平, 洪华生, 张玉珍, 等. 九龙江污染物入海通量初步估算 [J]. 海洋环境科学, 2006, 25 (2): 45-47, 57.
- [8] 涂振顺, 黄金良, 张珞平, 等. 沿海港湾区域陆源污染物定量估算方法研究 [J]. 海洋环境科学, 2009, 28 (2): 202-207.
- [9] 林俊良, 黎秋荣, 黄荟霖, 等. 近十年广西主要入海河流污染物通量变化研究 [J]. 钦州学院学报, 2018, 33 (10): 8-15.
- [10] 李莉, 梁生康, 石晓勇, 等. 2007年环胶州湾入海河流污染状况和污染物入海通量分析 [J]. 环境科学与管理, 2009, 34 (6): 23-28.
- [11] 陈晓锋, 林立苏. 北部湾广西主要入海河流污染物入海通量变化及其影响因素分析 [J]. 科技资讯, 2020, 18 (14): 62-67.
- [12] 刘瑜婷, 韩美, 潘彬, 等. 小清河下游水质评价及污染物入海通量研究 [J]. 水文, 2020, 40 (3): 88-96.
- [13] 吕文, 杨惠, 杨金艳, 等. 环太湖江苏段入湖河道污染物通量与湖区水质的响应关系 [J]. 湖泊科学, 2020, 32 (5): 1454-1462.
- [14] 朱昕阳, 蒋彩萍, 马晓雁, 等. 太湖流域浙江片区出入境水量、水质及污染物通量 [J]. 湖泊科学, 2020, 32 (3): 629-640.
- [15] 汪春燕. 漳州市主要海湾水质状况调查及富营养化的评价 [J]. 渔业研究, 2019, 41 (6): 526-531.
- [16] 郑小宏. 罗源湾氮磷营养盐变化状况分析 [J]. 福建水产, 2006, (2): 29-32.
- [17] CAO W, HUANG Z, ZHAI W, et al. Isotopic evidence on multiple sources of nitrogen in the northern Jiulong River, Southeast China [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2015, 163: 37-43.
- [18] WU G, CAO W, WANG F, et al. Riverine nutrient fluxes and environmental effects on China's estuaries [J]. Science of the Total Environment, 2019, 661: 130-137.
- [19] CHEN N, PENG B, HONG H, et al. Nutrient enrichment and N:P ratio decline in a coastal bay - river system in southeast China: The need for a dual nutrient (N and P) management strategy [J]. Ocean & Coastal Management, 2013, 81: 7-13.
- [20] LI Y, CAO W, SU C, et al. Nutrient sources and composition of recent algal blooms and eutrophication in the northern Jiulong River, Southeast China [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 63 (5-12): 249-254.
- [21] 廖巍, 张龙军, 陈洪涛, 等. 2001-2011年黄河口营养盐变化及入海通量估算 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43 (1): 81-86.
- [22] WANG B, TU J. Biogeochemistry of nutrient elements in the Changjiang (Yangtze River) Estuary [J]. Marine Science Bulletin, 2005, 7 (2): 74-81.
- [23] 国峰, 李志恩, 时俊, 等. 长江入海口徐六泾断面2005-2012年水环境因子及入海通量变化特征 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24 (2): 227-232.
- [24] WU G, CAO W, HUANG Z, et al. Decadal chan-

- ges in nutrient fluxes and environmental effects in the Jiulong River Estuary [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 124 (2): 871–877.
- [25] YAN X, ZHAI W, HONG H, et al. Distribution, fluxes and decadal changes of nutrients in the Jiulong River Estuary, Southwest Taiwan Strait [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57 (18): 2307–2318.
- [26] HUANG Y, HUANG J, ERVINIA A, et al. Land use and climate variability amplifies watershed nitrogen exports in coastal China [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2018, 104428.
- [27] ERVINIA A, HUANG J, HUANG Y, et al. Coupled effects of climate variability and land use pattern on surface water quality: An elasticity perspective and watershed health indicators [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 693: 133592.
- [28] ZHOU P, HUANG J, HONG H. Modeling nutrient sources, transport and management strategies in a coastal watershed, Southeast China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 610–611: 1298.

## Method to estimate and control the nitrogen and phosphorus exports in the Jiulong River – Xiamen Bay continuum

ZHOU Zengrong

(Ocean Environment Monitoring Center of Zhangzhou, Zhangzhou 363000, China)

**Abstract:** The nutrient exports including nitrogen (N) and phosphorus (P) within Jiulong River – Xiamen Bay continuum were preliminarily estimated during 2011–2020. The factors which might have a negative impact on the water quality were identified after analyzing the spatial – temporal pattern of nutrient exports. The results showed that the exports of N and P from Jiulong River might decrease recent years while the nutrient exports were still too high to reduce eutrophication within Jiulong River – Xiamen Bay continuum. Anthropogenic activities including livestock breeding and fertilizers application might be the major factors that influence nutrient exports in this area. Specifically, the N export in the North River was the highest and P export in the West River was the highest while the nutrient exports in the South River were always low within the Jiulong River Watershed in the year 2018. The nutrient exports might be controlled by the runoff of the river reach as well as the different pattern of anthropogenic activities. This study proposed a method to estimate and control of nutrient exports in the Jiulong River – Xiamen Bay continuum, providing significant insights into water management for local government.

**Key words:** Jiulong River – Xiamen Bay; flux to the sea; total quantity control