

养虾污水对九龙江南溪下游微微型浮游生物群落的影响

卢亚芳^{1,2}, 邢颜丽^{1,2}

(1. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省海洋渔业资源与生态环境重点实验室, 福建 厦门 361021)

摘要:2015年4月28日和7月12日在养虾密集区九龙江南溪下游河段设置的12个站点进行了水样采集, 利用荧光显微方法, 对12个站点的微微型浮游植物, 异养细菌以及该河段的COD进行了研究和比较. 结果表明在九龙江南溪下游, 4月微微型浮游植物丰度、异养细菌丰度以及该河段的COD含量显著高于7月; 九龙江南溪下游微微型浮游植物丰度、异养细菌丰度与该河段的COD含量呈现显著正相关, 微微型浮游植物丰度与异养细菌丰度呈现显著正相关. 表明随着养虾污水排放的增加, 水中COD含量增加, 导致异养细菌丰度增加.

关键词:海洋生物学; 微微型浮游植物; 异养细菌; COD; 污水; 九龙江

DOI: 10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2017. 02. 006

中图分类号: P735

文献标识码: A

文章编号: 2095-4972(2017)02-0195-07

目前, 我国的对虾养殖面积和产量均居世界前列, 但对于对虾养殖过程中产生的大量残剩饲料以及养虾排泄物形成的养殖污水却一直没有系统的排放标准, 污染物产生量巨大, 所排放的污水量远远超过水体的负荷, 诱发水体环境的变化, 水生生物群落平衡被破坏, 生物多样性降低, 原有的食物网结构发生改变, 并刺激单种有毒的浮游植物形成赤潮. 养虾污水的排放引发水体环境恶化, 已经成为制约我国养虾业健康持续发展的瓶颈, 成为引发我国水生生态系统退化的主要原因之一, 所以如何有效的治理养虾污水, 寻求养虾污水的有效利用, 保持水生生态系统的健康显得极为迫切^[1-6].

微微型浮游生物 (picoplankton, 0.2 ~ 2.0 μm) 群落是微食物网的主要组成部分, 包含微微型浮游植物和微微型异养生物 (即异养细菌), 是作为水生生态系统有机生物和无机环境之间相互联系的基础环节, 是有机污染物转化必经的生态过程. 开展养殖水体有机污染物排放对微微型浮游生物群落的分布及影响研究, 对进一步了解微微型浮游生物在物质和能量转化过程中的作用机理, 更好地弄清有机物质在水生生态系统中的迁移途径, 对水生生态系统保护和养殖污水的治理都具有极为重要的意

义^[7-8].

九龙江南溪是九龙江三大支流之一, 主河道全长88 km, 总流域面积660 km^2 , 发源于平和、漳浦两县交界的石屏山脉虎坑一带, 江宽水稳, 流经平和县进入漳浦, 再经龙海的东泗、白水、浮宫, 最终注入九龙江河口, 进入厦门湾海区, 其下游的松浦修建有松浦南溪桥闸. 九龙江南溪尤其是其下游两岸, 密集分布着万亩的对虾养殖池, 这些虾池大都从九龙江南溪直接取水和排水, 养虾污水对于九龙江南溪下游的水质影响巨大, 导致水体富营养化日益加剧, 水华事件频发^[1-3]. 九龙江作为重要饮用水和工农业用水来源, 日益严重的水体污染引发许多学者的关注, 有关九龙江水体富营养化及九龙江浮游生物的研究已有许多的报道^[9-13]. 但是对九龙江南溪微微型浮游生物群落, 尤其是养虾密集区养殖污水排放对于微微型浮游生物群落的影响研究却未见报道. 我们选择养虾密集区九龙江南溪下游作为研究地点, 希望通过研究有机污染物指标 COD (chemical oxygen demand) 梯度变化过程中微微型浮游生物群落的变化, 探究水生生态系统微微型浮游生物群落对有机污染物的响应规律, 进一步弄清有机物质在水生生态系统中的迁移途径, 微微型浮游生物在物

质和能量转化过程中的作用,从而为水生生态系统保护和养殖污水的治理提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 站点设置与样品采集、处理

分别于2015年4月28(春季)和7月12日(夏季),在九龙江南溪下游进行采样.共设置了12个采样站点,其中,S11和S12站点分别位于松浦南溪桥闸的两侧,具体的采样区域及采样站点如图1,在

距表层水0.5 m深处,分别采集COD水样500 cm³,微微型浮游植物和异养细菌水样各250 cm³.同时测定了水温.COD水样现场用硫酸固定,带回实验室后采用碱性高锰酸钾法测定COD含量^[14];微微型浮游植物水样,现场用戊二醛(终浓度达到1%)固定;异养细菌水样现场用甲醛(终浓度达到2%)固定,置于-4℃保温箱中,暗光保存,带回实验室进行处理,方法见文献[15-21].

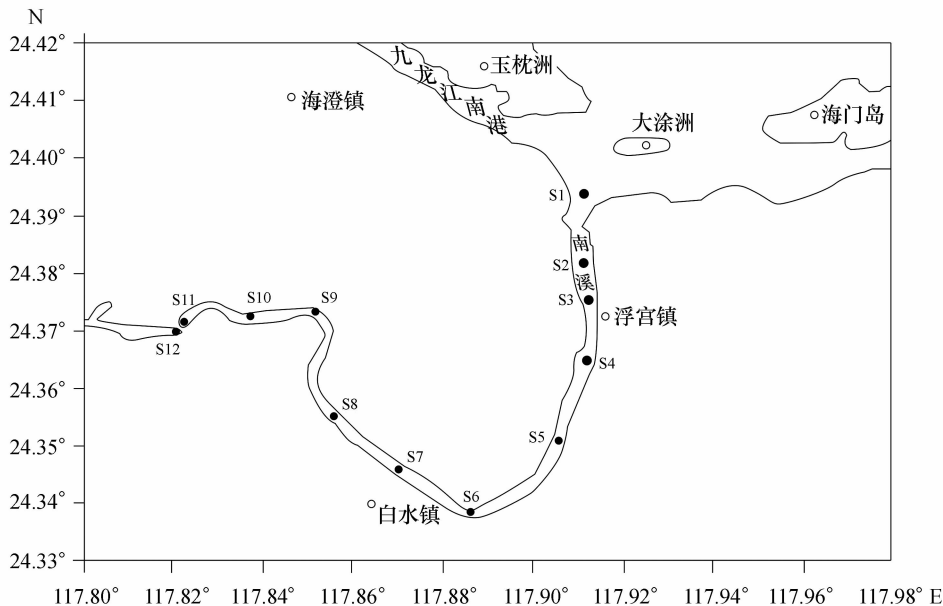


图1 九龙江南溪下游及各采样点分布

Fig.1 Sampling stations in the lower reaches of Nanxi branch of Jiulong River

1.2 微微型浮游生物的计数

异养细菌计数采用荧光显微镜计数法.样品用DAPI(4',6-diamidino-2-phenylindole)染色,用0.2 μm孔径的黑色核孔滤膜(Millipore)过滤,置于荧光显微镜下,用UV光进行激发,在10×40高倍镜下观察,随机选取40个视野,计算其总数^[9-13].然后转换为每升细菌细胞数(ind/dm³).

微微型浮游植物的计数,采用0.2 μm孔径的黑色核孔滤膜(Millipore)过滤,在荧光显微镜下用蓝光(450~490 nm)和绿光(510~560 nm)激发,在视野内进行激发光滤片的切换,含藻红素的蓝藻(简称PE细胞)被激发出橙色荧光,藻蓝素的蓝藻(简称PC细胞)发出深红色荧光,真核藻类(简称Euk细胞)发出砖红色荧光.在10×40高倍镜下观察,随机选取40个视野,计算其总数^[14-15].为了简化研究条件,我们将以上3类微微型浮游植物数量相加,然后转换为每升微微型浮游植物的细胞数(ind/dm³).

1.3 样品的数据统计与分析

采用SPSS 21.0软件进行数据分析.分别将九龙江南溪下游12个站点的COD检测数据、异养细菌和微微型浮游植物计数的数据采用SPSS 21.0统计软件进行正态分布检验分析.由于3组数据皆不呈正态分布,所以本次研究采用非参数多组独立样本秩和检验(Kruskal Wallis)对不同时间组间进行比较分析;两变量相关性分析采用Spearman相关分析;以COD含量和异养细菌丰度和微微型浮游植物丰度为变量,首先对3个变量12个站点的数据进行标准化处理,选择欧式距离系数,采用离差平方和的方法对12个站点进行系统聚类分析.

2 结果与分析

2.1 水温的分布特征

以九龙江南溪下游4、7月的水温作图2,从图中可以看出,7月各站点的水温均大于4月;4月和7月各站点的水温变化不大,但随着站点由入

海口向上游迁移(即由 S1 ~ 12 站点),水温都呈现略微上升的趋势.4 月水温波动在 20 ~ 23℃ 之间,最小值出现在 S1 站点;7 月水温波动在 30 ~ 33℃ 之间,最小值出现在 S1 站点,最大值出现在 S12 站点.

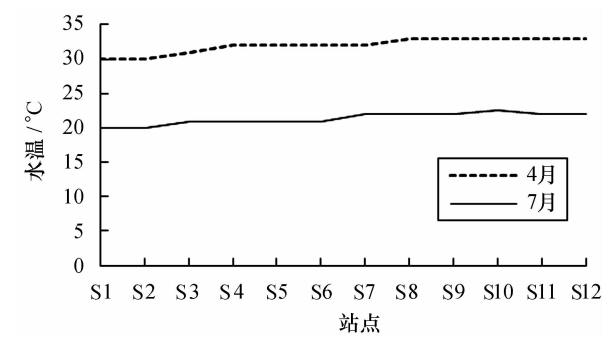


图2 九龙江南溪下游水温的时空变化
Fig. 2 Variation of water temperature in the lower reaches of Nanxi branch of Jiulong River

2.2 COD 含量的分布特征

以九龙江南溪下游 4、7 月的 COD 含量作图 3,由图中可以看出,4 月各站点的 COD 含量都大于 7 月;且随着站点由入海口向上游迁移(即由 S1 ~ 12 站点),九龙江南溪下游 COD 含量整体呈现波动上升趋势.4 月 COD 含量波动在 4.45 ~ 12.90 mg/dm³ 之间,最小值出现在 S2 站点,最大值出现在 S12 站点,平均值为 8.86 ± 2.62 mg/dm³;7 月 COD 含量波动在 1.92 ~ 5.23 mg/dm³ 之间,最小值同样出现在 S2 站点,最大值出现在 S8 站点,平均值为 3.62 ± 1.22 mg/dm³.

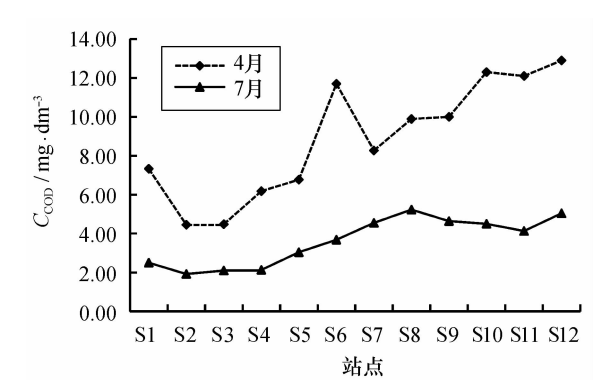


图3 九龙江南溪下游 COD 含量的时空变化
Fig. 3 Variation of the concentration of COD in the lower reaches of Nanxi branch of Jiulong River

2.3 异养细菌的时空分布

以九龙江南溪下游 4、7 月的异养细菌丰度作图 4,从图中可以看出,随着站点由入海口向上游迁移(即由 S1 ~ 12 站点),九龙江南溪下游 4、7 月异养

细菌丰度均呈现上升的趋势,且 4 月各站点的异养细菌丰度显著高于 7 月.4 月异养细菌丰度在 1.57 × 10⁷ ~ 2.01 × 10⁷ ind/dm³ 之间波动,最小值出现在 S1 站点,最大值出现在 S10 站点,平均值为 (1.86 ± 1.28) × 10⁷ ind/dm³;7 月异养细菌丰度波动幅度在 5.09 × 10⁶ ~ 7.21 × 10⁶ ind/dm³ 之间,最小值出现在 S2 站点,最大值在 S9 站点,平均值为 (6.06 ± 0.78) × 10⁶ ind/dm³.

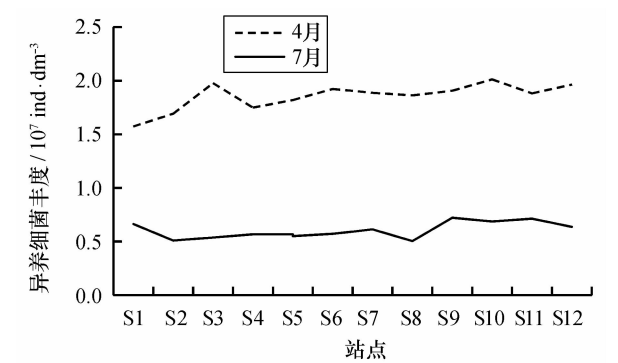


图4 九龙江南溪下游异养细菌丰度的时空变化
Fig. 4 Variation of the heterotrophic picoplankton abundance in the lower reaches of Nanxi branch of Jiulong River

2.4 微微型浮游植物的时空分布

以九龙江南溪下游 4、7 月的微微型浮游植物丰度作图 5,从图中可以看出,九龙江南溪下游微微型浮游植物丰度在 2 次采样中变化较大,4 月微微型浮游植物丰度随着 S1 ~ 12 站点的迁移,从 6.34 × 10⁶ ind/dm³ 波动性上升到 1.49 × 10⁷ ind/dm³,最小

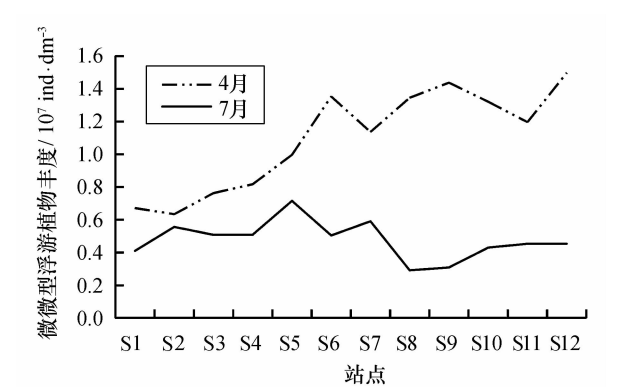


图5 九龙江南溪下游微微型浮游植物丰度的分布
Fig. 5 Variation of the autotrophic picoplankton abundance in the lower reaches of Nanxi branch of Jiulong River

值出现在 S2 站点,最大值出现在 S12 站点,平均值为 (1.10 ± 2.98) × 10⁷ ind/dm³. 从 S1 ~ 6 站点,九龙江南溪下游微微型浮游植物丰度快速上升;从 S7 ~ 12 站点,微微型浮游植物丰度在高位震荡微幅上升.7 月微微型浮游植物丰度随着 S1 ~ 12 站点的迁

移,呈先上升后降低的趋势,7月微微型浮游植物丰度在 $2.91 \times 10^6 \sim 7.15 \times 10^6$ ind/dm³之间波动,最小值出现在S8站点,最大值出现在S5站点,平均值为 $(4.78 \pm 1.22) \times 10^6$ ind/dm³.从S1~5站点,微微型浮游植物丰度呈上升趋势;从S6~8站点,微微型浮游植物丰度逐渐下降,从S9~12站点,微微型浮游植物丰度微幅上升.

2.5 不同时间组间秩和检验分析

采用非参数多组独立样本秩和检验对不同时间组间进行比较分析(表1).结果表明4、7月微微型浮游植物丰度、异养细菌丰度及COD含量都存在显著的差异($p < 0.01$).

表1 九龙江南溪下游4、7月样本秩和检验结果

Tab.1 Kruskal-Wallis test results of the sampling months in April and July in the lower reaches of Nanxi branch of Jiulong River

变量	κ^2	ν	ρ
COD 含量	12.813	1	< 0.0001
微微型浮游植物丰度	16.333	1	< 0.0001
异养细菌丰度	17.280	1	< 0.0001

2.6 微微型浮游植物、异养细菌和 COD 含量的相关性

利用SPSS 21.0软件对九龙江南溪下游4、7月微微型浮游植物丰度、异养细菌丰度及COD含量等3组变量分别采用Spearman法进行相关分析.结果表明(表2)异养细菌丰度与COD含量呈显著正相关($p < 0.01, r = 0.769$);异养细菌丰度与微微型浮游植物丰度呈显著正相关($p < 0.01, r = 0.760$);微微型浮游植物丰度与COD含量呈显著正相关($p < 0.01, r = 0.697$).

表2 九龙江南溪下游微微型浮游生物丰度与 COD 含量相关性分析结果

Tab.2 Spearman correlations in the concentration of COD with autotrophic and heterotrophic picoplankton abundance in the lower reaches of Nanxi branch of Jiulong River

	COD	微微型浮游植物	异养细菌
COD	1.000		
微微型浮游植物	0.697 **	1.000	
异养细菌	0.769 **	0.760 **	1.000

注:“**”表示在置信度(双侧)为0.01时,相关性是显著的

2.7 12 个站点的聚类分析

对12个站点进行系统聚类分析,结果如图6.

图中可以看出12个站点被分为2大区,以S1~5站点的河段代表环境变化较大的海淡水交换区,以S6~12站点的河段代表淡水区,其中S6~8站点的河段为过渡区.

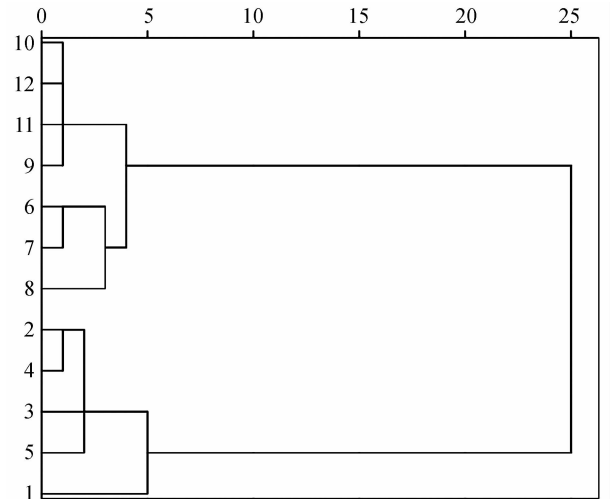


图6 九龙江南溪下游12个站点相似性聚类分析
Fig.6 Dendrogram of cluster analysis of 12 sampling stations in the lower reaches of Nanxi branch of Jiulong River

2.8 九龙江南溪下游养殖污水与微微型浮游生物群落的相关性分析

COD含量是表示水中还原性物质的一个指标,可衡量水中有机物质含量的大小,化学需氧量越大,说明水体受有机物污染越严重^[22].九龙江南溪下游除S1站点外及7月的S8~11站点,COD数值有小的回落之外,COD含量明显呈现溪内向溪外递减的特征,此与国内河口海区污染物的分布规律相类似^[23-24].4月九龙江南溪下游COD含量平均值为 8.86 ± 2.62 mg/dm³,波动在4.45~12.90 mg/dm³;7月COD含量平均值为 3.62 ± 1.22 mg/dm³,波动在1.92~5.23 mg/dm³之间,表明九龙江南溪下游COD含量在不同时间、不同站点变化都较大.九龙江南溪下游COD含量主要取决于上游来水、海水潮汐,流域周围污染物的排放及水文特征,同时反映了南溪下游有机物污染的分布特点.南溪下游河段从S5站点向入海口S1站点延伸过程中,水面逐渐变宽变深,海水潮汐活动可达此处,有机污染物容易被稀释,越靠近入海口有机污染物浓度越低;南溪在S6站点河道突然转向,在向上游S12站点的延伸中,河道蜿蜒变窄,水深变浅,混浊度加大,直到松浦南溪桥闸处,水面又逐渐变宽,在此河段两岸虾池密布,污水排放集中.水体在河道内停留时间长短,会影响有机污染物浓度的变化,水体在河道内停留时

间越长,污染物积累越多,假如没有上游大量无污染来水补充,越向上游有机污染物积累含量越高. 2015 年 1~4 月厦门降雨大幅偏少,上游来水少,导致九龙江南溪大量的有机污染物无法向下游迁移,有机污染物积累导致含量激增,4 月 COD 含量平均值维持在高水平为 8.86 mg/dm^3 ,最大值出现在 S12 站点达 12.90 mg/dm^3 ;7 月降雨增加,带来了上游来水,九龙江南溪有机污染物随径流增加而被有效稀释,7 月 COD 含量平均值为 3.62 mg/dm^3 ,最大值在 S8 站点, 5.23 mg/dm^3 .

细菌作为水生生态系统中连接有机生物体和无机环境的基础环节,在物质循环和能量流动中起着巨大的作用,异养细菌分解有机质,同时为浮游植物提供大量的无机营养元素. 本次研究表明,异养细菌丰度与水体中的 COD 含量存在显著正相关($p < 0.01, r = 0.769$). 不论在时间上,在各站点上,异养细菌丰度都与 COD 含量梯度变化相一致,表明水生生态系统中养殖污水排放量,对异养细菌丰度具有直接和决定性的作用,水生生态系统中养虾污水排放量增大,会促进异养细菌丰度的增加. 这与申玉春等(2006)和罗亮等(2011)关于养虾池异养细菌与有机物含量关系的研究结果相一致^[25-26];与孙辉等(2014)关于养殖区异养细菌丰度显著大于非养殖区异养细菌丰度的研究结果相同^[27].

本研究 Spearman 相关分析结果表明,异养细菌丰度与微微型浮游植物丰度呈显著正相关($p < 0.01, r = 0.670$). 这可能是由于水生生态系统中,微微型浮游植物在其生命活动中释放的溶解有机物可作为营养源促进异养细菌的生长;这与李云等(2011)关于长江口微微型真核浮游植物与异养细菌丰度呈显著正相关的研究结果相同^[28].

本研究 Spearman 相关分析结果表明,九龙江南溪下游微微型浮游植物丰度与 COD 含量显著正相关($p < 0.01, r = 0.697$). 在时间分布上,4 月九龙江南溪下游 COD 含量显著高于 7 月,微微型浮游植物丰度 4 月也显著高于 7 月. 微微型浮游植物丰度变化与 COD 含量变化呈正相关,表明水体有机物含量的上升,对于微微型浮游植物群落具有一定的促进作用. 但本次研究结果微微型浮游植物丰度与 COD 含量变化在空间分布上却呈现较为复杂的特性,4 月微微型浮游植物丰度,从 S1 站点到 S12 站点,基

本随 COD 含量增大而呈现逐渐增大的趋势,在 7 月,从 S1 站点到 S5 站点,微微型浮游植物丰度也随 COD 含量增加而上升,但在 S6 站点到 S12 站点,微微型浮游植物丰度却与 COD 含量变化呈现相反的趋势. 分析原因可能是由于, S6 站点处于河道转弯处,其上游的河道蜿蜒狭窄,水深较浅,7 月降雨增加,水流在 S12 站点向下游 S6 站点的流动中,狭窄河道使水流变快变急,水体浑浊度增大,水体在河道内滞留时间缩短,不利于微微型浮游植物的繁殖,这时即使水体中有机物含量增大,对于微微型浮游植物丰度的促进作用也不明显. 而 S5 站点的下游,随着河道越来越宽,水流流速逐渐放缓,水体浑浊度变小,这时水体中的有机物含量增大,对于微微型浮游植物的促进作用表现显著. 这表明在不同的环境条件下,微微型浮游植物丰度是多种环境因素共同作用的结果. 许多研究资料也表明,在不同的环境条件中,决定微微型浮游植物丰度的主要因素往往不同,主要与环境中的光照,水温、营养盐、水文、鞭毛虫和纤毛虫的捕食及细菌感染等因素密切相关^[29-31].

3 结论

(1)九龙江南溪下游 4、7 月的 COD 含量、微微型浮游植物丰度和异养细菌丰度存在显著差异,4 月 COD 含量、微微型浮游植物丰度和异养细菌丰度显著高于 7 月.

(2)九龙江南溪下游 COD 含量与异养细菌丰度呈现显著正相关. 表明九龙江南溪下游随着两岸养虾密度和养虾规模的增大,排放的养殖污水增多,导致水中的有机营养物质变多,异养细菌丰度增加.

(3)九龙江南溪下游由于入海口海水的混合导致九龙江南溪下游基本分为两大水域,入海口的 S1~5 站点为海淡水交换区, S6~12 站点为淡水为主的区域.

微微型浮游生物群落作为有机生物体和无机环境之间相互联系的基础环节,是污染物转化必经的生态过程,我们应该加大对污染水体中微微型浮游生物群落的研究力度,更深入的了解污染水体中微微型浮游生物群落丰度变化规律,从而搞清楚有机污染物在水生生态系统中的迁移途径,进而为水生生态系统保护和养殖污水的治理提供理论依据.

参考文献:

- [1] 候丽媛,胡安谊,于昌平. 九龙江-河口表层水体营养盐含量的时空变化及潜在富营养化评价[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(3):369-378.

- [2] 郭洲华,王翠,颜利,等. 九龙江河口区主要污染物时空变化特征[J]. 中国环境科学,2012,32(4):679-686.
- [3] 郑永裕. 九龙江南溪下游水质状况对白对虾养殖的影响和对策探讨[J]. 漳州职业技术学院学报,2008,10(1):26-30.
- [4] 王瑞梅,刘杰,史岩. 我国水产养殖业污染防治研究[J]. 中国渔业经济,2010,28(5):108-112.
- [5] 段学华,何立红,李春燕. 水产养殖对水质影响及防治措施[J]. 能源与环境,2010(4):95-96.
- [6] 刘鹰,王玲玲. 集约化水产养殖污水处理技术及应用[J]. 淡水渔业,1999,29(10):22-24.
- [7] Andersson A, Samuelsson K, Haecky P, et al. Changes in the pelagic microbial food web due to artificial eutrophication[J]. Aquatic Ecology, 2006, 40(3):299-313.
- [8] Jasser I. The relationship between autotrophic picoplankton (APP) the smallest autotrophic component of food web and the trophic status and the depth of lakes[J]. Ecohydrology & Hydrobiology, 2006, 6(1/4):69-77.
- [9] 王雨,林茂,陈兴群,等. 九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素[J]. 生态学报,2011,31(12):3 399-3 414.
- [10] 田永强,俞超超,王磊,等. 福建九龙江北溪浮游植物群落分布特征及其影响因子[J]. 应用生态学报,2012,23(9):2 559-2 565.
- [11] 黄旭光,李顺兴,曾宪兴. 九龙江西溪漳州段浮游植物组成与环境因子的关系[J]. 生态学杂志,2012,31(5):1 097-1 103.
- [12] 干建慧,郭东晖. 福建省九龙江江东库区浮游动物的生态研究[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2012,51(2):286-291.
- [13] 叶又茵,王雨,林茂. 九龙江河口浮游动物的群落结构和时空变动[J]. 生态科学,2013,32(4):408-419.
- [14] 国家海洋局. GB 17378. 4—2007 海洋监测规范 第4部分:海水分析[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [15] 潘洛安,张利华,张经. 不同固定剂及保存时间对微微型浮游生物样品测定的影响[J]. 海洋环境科学,2006,25(4):70-73.
- [16] Porter K G, Feig Y S. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora[J]. Limnology & Oceanography, 1980, 25(5):943-948.
- [17] Kepner R L Jr, Pratt J R. Use of fluorochromes for direct enumeration of total bacteria in environmental samples: past and present[J]. Microbiological Reviews, 1994, 58(4):603-615.
- [18] 刘材材,项凌云,张昊飞,等. 长江口异养细菌生态分布特征及其与环境因子的关系[J]. 海洋环境科学,2009,28(s1):1-4.
- [19] Velji M I, Albright L J. Improved sample preparation for enumeration of aggregated aquatic substrate bacteria[M]//Kemp P F, Sherr B F, Sherr E B, et al. Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Boca Raton :Lewis Publishers, 1993:139-142.
- [20] MacIsaac E A, Stockner J G. Enumeration of phototrophic picoplankton by autofluorescence microscopy[M]//Kemp P F, Sherr B F, Sherr E B, et al. Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Boca Raton :Lewis Publishers, 1993:187-197.
- [21] Kemp P F, Sherr B F, Sherr E B, et al. Handbook of methods in aquatic microbial ecology[M]. Boca Raton :Lewis Publishers, 1993:199-205.
- [22] Kawabe M, Kawabe M. Factors determining chemical oxygen demand in Tokyo Bay[J]. Journal of Oceanography, 1997, 53:443-453.
- [23] 孟伟,秦延文,郑丙辉,等. 长江口水体中氮、磷含量及其化学耗氧量的分析[J]. 环境科学,2004,25(6):65-68.
- [24] 沙厚平,张天相,单红云,等. 大辽河口及邻近海域 BOD-5 与 COD 分布现状和特征[J]. 海洋环境科学,2007,26(1):74-76.
- [25] 申玉春,熊邦喜,叶富良,等. 凡纳滨对虾高位池细菌数量变化及其与水环境因子的关系[J]. 海洋科学,2006,30(7):33-37.
- [26] 罗亮,李卓佳,张家松,等. 对虾精养池塘碳、氮和异养细菌含量的变化及其相关性研究[J]. 南方水产科学,2011,7(5):24-29.
- [27] 孙辉,汪岷,汪俭,等. 养殖活动对超微型浮游生物分布影响的研究[J]. 海洋与湖沼,2014,45(6):1 272-1 279.
- [28] 李云,李道季,张利华,等. 长江口极微型和微微型浮游生物的垂向变化与周日波动[J]. 海洋科学,2011,35(9):24-30.
- [29] Sommaruga R, Robarts R D. The significance of autotrophic and heterotrophic picoplankton in hypertrophic ecosystems[J]. FEMS Microbiology Ecology, 1997, 24(3):187-200.
- [30] Hirose M, Nishibe Y, Ueki M, et al. Seasonal changes in the abundance of autotrophic picoplankton and some environmental factors in hypereutrophic Furuike Pond[J]. Aquatic Ecology, 2003, 37(1):37-43.

[31] Sime-Ngando T. Population dynamics of autotrophic picoplankton in relation to environmental factors in a productive lake[J]. Aquatic Sciences, 1995, 57(2):91-105.

Influence of shrimp farming sewage on the picoplankton in the lower reaches of Nanxi in Jiulong River

LU Ya-fang^{1,2}, XING Yan-li^{1,2}

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Fishery Resources and Eco-environment, Xiamen 361021, China)

Abstract: Abundance of autotrophic picoplankton (APP), heterotrophic picoplankton (heterotrophic bacteria, BACT, 0.2 ~ 2.0 μm) and the COD concentration were investigated in April 28 and July 12, 2015 at 12 stations in the lower reaches of Nanxi branch of Jiulong River. Higher abundance of autotrophic picoplankton, heterotrophic bacteria and the concentration of COD was detected in April than in July. Abundance of autotrophic picoplankton and heterotrophic bacteria was significant positively correlated with COD. Abundance of autotrophic picoplankton was significant positively correlated with abundance of heterotrophic bacteria. Results reveal that the discharge of shrimp sewage has raised the trophic status of water and increased COD concentration and the number of heterotrophic bacteria.

Key words: marine biology; autotrophic picoplankton; heterotrophic bacteria; COD; wastewater; Jiulong River
DOI:10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2017. 02. 006

(责任编辑:肖 静)