

凡纳滨对虾盐碱水养殖池塘沉积物-水界面氮元素交换通量的研究

杜彦秋 吴文广 张子军 吴桃 冯旭 张继红

NITROGEN EXCHANGE FLUX OF SEDIMENT-WATER INTERFACE IN *LITOPENAEUS VANNAMEI* SALT ALKALI POND

DU Yan-Qiu, WU Wen-Guang, ZHANG Zi-Jun, WU Tao, FENG Xu, ZHANG Ji-Hong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0381>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

池塘内循环流水养殖模式对养殖塘上覆水-沉积物-间隙水磷时空分布特征及释放通量的影响

EFFECTS OF INNER-CIRCULATION POND AQUACULTURE ON DISTRIBUTION AND RELEASE FLUX OF PHOSPHORUS IN THE OVERLAYING-SEDIMENT-INTERSTITIAL WATER

水生生物学报. 2021, 45(5): 1045-1056 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.158>

饲料添加 β -1,3-葡聚糖对凡纳滨对虾生长性能、血清代谢、免疫相关基因表达和抗亚硝酸氮应激能力的影响

EFFECTS OF DIETARY β -1,3-GLUCAN ON GROWTH PERFORMANCE, SERUM METABOLITE, IMMUNE-RELATED GENE EXPRESSION AND RESISTANCE TO NITRITE STRESS IN *LITOPENAEUS VANNAMEI*

水生生物学报. 2021, 45(3): 593-600 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.047>

根际促生菌对沉水植物的促生效应及其与沉积物氮磷赋存形态的关系

THE EFFECT OF PGPR ON SUBMERGED MACROPHYTE AND ITS RELATIONSHIP WITH THE SEDIMENT NITROGEN AND PHOSPHORUS FORMS

水生生物学报. 2021, 45(2): 299-307 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.008>

气候变暖与富营养化交互作用对浅水湖泊水-气界面 N_2O 通量的影响

EFFECT OF CLIMATE WARMING AND EUTROPHICATION ON N_2O FLUX AT WATER-AIR INTERFACE OF SHALLOW LAKES

水生生物学报. 2021, 45(3): 625-635 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.027>

不同家系凡纳滨对虾对低盐度的适应能力及其适应机理

MECHANISMS OF SALINITY ADAPTABILITY OF *LITOPENAEUS VANNAMEI* UNDER DIFFERENT SALINITY CONDITIONS

水生生物学报. 2021, 45(2): 275-283 <https://doi.org/10.7541/2021.2019.265>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2024.2023.0381

凡纳滨对虾盐碱水养殖池塘沉积物-水界面氮元素交换通量的研究

杜彦秋^{1,2} 吴文广² 张子军³ 吴桃³ 冯旭² 张继红²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 青岛 266071; 3. 鄂尔多斯市农牧技术推广中心, 鄂尔多斯 017000)

摘要: 为探究凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)盐碱水养殖池塘沉积物-水界面中氮元素的转化规律, 于2019年5—7月测定了山东省滨州市3个不同盐度(28、45和55)的池塘上覆水和沉积物间隙水中各种形态氮的含量。利用Fick第一定律估算了池塘沉积物-水界面氮元素交换通量, 分析了环境因素与交换通量的相关性。结果表明: (1)总体来讲, DIN、DON、TN由沉积物向水体扩散, 即沉积物为DIN、DON和TN的源; NO_3^- -N由水体向沉积物扩散, 沉积物为 NO_3^- -N的汇。在养殖期间, 盐度28、45和55组, DIN总交换通量分别为1.69、23.07和19.36 mg/m^2 , DON总交换通量分别为36.60、27.90和19.98 mg/m^2 , TN总交换通量分别为38.09、43.66和32.56 mg/m^2 。(2)从季节变化来看, DIN、DON、TN在养殖初期(5月)的交换通量显著高于养殖末期(7月); 从盐度组来看, 在5月, 盐度28、45和55组, DIN平均交换通量分别为2.08、6.37和12.47 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 7月分别为-0.48、0.06和1.47 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 盐度55组显著大于其他两组($P < 0.05$); DON交换通量5月分别为13.91、5.32和6.79 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 盐度28组显著大于其他两组($P < 0.05$), 7月分别为5.82、10.94和5 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 盐度45组显著大于其他两组($P < 0.05$); 5月TN平均交换通量分别为15.9、8.79和19.16 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 盐度45组显著小于其他两组($P < 0.05$), 7月分别为5.31、9.1和3.28 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 盐度45组显著大于盐度55组($P < 0.05$)。(3)冗余分析结果显示, 盐度与 NO_2^- -N、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N交换通量显著正相关; 有机质与 NH_4^+ -N、TN通量显著正相关; 温度与 NH_4^+ -N交换通量显著负相关; 含水率、孔隙度与 NO_3^- -N、DON交换通量显著正相关。综上所述, 沉积物是氮的潜在污染源, 此污染潜力在养殖末期显著小于养殖初期; 高盐度组有利于释放DIN, 中低盐度组有利于释放DON。研究结果将有助于认识盐碱水养殖池塘的氮交换通量, 为该种养殖模式的科学管理提供数据支撑。

关键词: 盐碱水池塘; 沉积物-水界面; 氮; 凡纳滨对虾

中图分类号: S917.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2024)07-1183-10



凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)具有生长速度快、养殖周期短、耐盐范围广等优势, 是世界上主要养殖经济虾类之一^[1]。自引入我国以来, 凡纳滨对虾的养殖产量逐年递增, 2022年产量已达209万吨, 同比上一年增加5.78%^[2]。凡纳滨对虾作为一种广盐性动物已经在浅海、淡水、盐碱水等不同环境中进行养殖^[3-5]。我国凡纳滨对虾传统的高密度养殖, 由于过量投喂饵料、养殖前的肥水^[6]等生产活动及养殖生物的代谢和排泄物等有机物在池塘底部沉积, 造成池塘水体富营养化, 威胁养殖生物的存活和生长^[7,8], 凡纳滨对虾养殖的富营

养化已成为制约产业发展的主要问题。山东省滨州市创新盐碱水养殖模式, 凭借得天独厚的地域优势形成“海水梯度开发”的渔盐一体化新发展格局^[9], 促进海水资源综合利用和生态环保。盐碱水养殖的凡纳滨对虾具有高蛋白、低脂肪的特点, 肌肉中含有丰富的人体必需的氨基酸和矿物质^[10]。发展盐碱水养殖, 既有效利用盐碱地, 缓解水资源紧缺的问题, 又创新水产养殖模式, 保障水产品质量, 促进经济发展。

沉积物-水界面作为养殖系统中连接水体与沉积物的媒介^[11], 其中的氮素向水体的释放速率或通

收稿日期: 2023-11-16; 修订日期: 2024-02-06

基金项目: 国家虾蟹产业技术体系(CARS-48)资助 [Supported by the National Shrimp Industry Technology System (CARS-48)]

作者简介: 杜彦秋(1996—), 女, 硕士研究生; 研究方向为养殖生态学。E-mail: 15134981806@163.com

通信作者: 张继红, 女, 研究员; 研究方向为养殖生态学与容量评估。E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

量受到沉积物特性、环境状况、生物活性等多种物理、化学和生物作用因素的影响。 NO_3^- -N、 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N等溶解无机氮(DIN)和溶解有机氮(DON)的交换通量,对养殖系统中的水生生物有重要作用。鉴于盐碱水养虾的可实现性,有学者开始研究对虾养殖池塘中盐度的影响作用^[11, 12],盐度会影响对虾的生化活性^[13],间接影响沉积物-水界面的营养通量;盐度还会通过抑制或提高微生物活性来影响沉积物中与氮素转化过程^[12, 14];高盐度条件下 NH_4^+ -N更容易从沉积物中向上释放,且盐度越高水中的 Na^+ 、 K^+ 等离子含量也相应增多,有助于沉积物中的 NH_4^+ -N被置换出来^[15]。目前,有关盐碱水中氮的迁移转化研究主要集中在西北内陆地区,鲜少涉及滨海盐碱水,而盐碱水因其复杂的水质特征,在渔业上也缺乏详细的水化学特性及影响因素的探究资料^[16],导致对虾存活率和产量都远远没有达到标准。本文针对滨海盐碱水基础环境数据匮乏,养殖技术粗犷,池塘水质变动的情况,以滨州市凡纳滨对虾盐碱水养殖池塘为例,测定整个养殖期间的水体、沉积物间隙水中氮元素含量,估算沉积物-水界面氮营养盐交换通量,同时分析影响因素,以了解凡纳滨对虾盐碱水养殖池塘沉积物-水界面中氮元素的存在特征,为凡纳滨对虾盐碱水养殖的可持续发展提供科学数据,实现对虾质量和数量的双赢。

1 材料与方法

1.1 研究地点和实验设计

养殖池塘位于山东省滨州市(图1中标注的三角形为池塘位置)。该地区实行渔盐一体化海水循环利用零排放技术,利用一级海水进行水产养殖,养殖品种包括鱼、虾、蟹、贝;随着海水的蒸发作用,形成二级高盐度海水,用于提取卤素和养殖卤虫;养殖卤虫后的三级水用于提取溴素;最后海水进入制盐结晶池晒盐,最终实现海水“一水多用”。该模式充分利用养殖尾水促进工业发展,实现海水的循环利用和零污染、零排放。

本研究中凡纳滨对虾养殖池塘的面积300亩/池塘,水深平均1.5 m,4月底至5月初放苗,7月开始收获。投放虾苗约2万尾/亩,实验期间投喂人工饵料,投喂量为体重的5%—6%,每天在4:00、11:00、16:00和23:00四个时间点投喂。根据一级海水蒸发规律设置3个盐度组,盐度28组 27.99 ± 2.00 、盐度45组 44.74 ± 4.07 、盐度55组 56.03 ± 5.47 ,不同盐度的设置通过换水和海水蒸发调控,每个盐度组3个重复。以5、6和7月分别代表养殖前期、中期和后期调查取样。

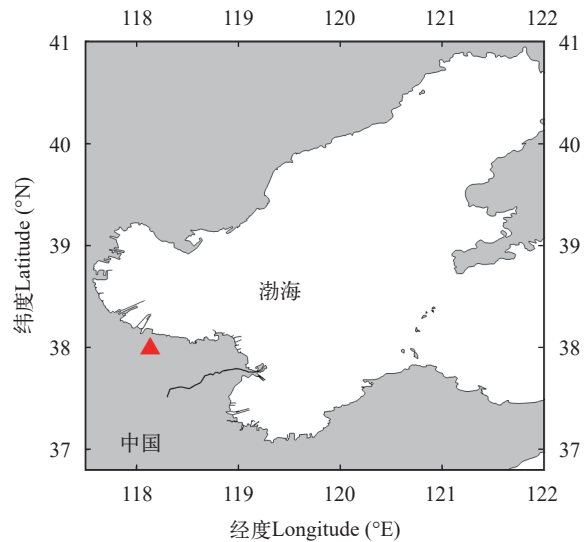


图1 研究区域位置

Fig. 1 Location of the study area

1.2 采样及测定方法

环境指标的测定 运用五点取样法分别在池塘四角和中心采集上覆水和表层沉积物,混成1份,在相同位置监测环境指标。池塘的水温和溶解氧采用PRO ODO光学溶解氧仪测定,盐度和pH分别用盐计和pH计测定,叶绿素 a (Chl. a)浓度采用丙酮提取法用荧光叶绿素仪测定。采用离心的方式获取沉积物间隙水。用德国SEAL公司的QuAAtro型全自动营养盐分析仪测定营养盐含量,其中, NO_2^- -N为盐酸萘乙二胺比色法、 NO_3^- -N为铬柱还原法、 NH_4^+ -N为水杨酸法、TN为过硫酸钾氧化法和铬柱还原法。溶解有机氮(DON)为TN与溶解无机氮($\text{DIN} = \text{NO}_2^-$ -N + NO_3^- -N + NH_4^+ -N)的差。

沉积物70℃烘干48h,根据烘干前后的质量差与原沉积物的比值计算含水率和孔隙度;烘干后的沉积物550℃灼烧6h后重量法计算有机质含量^[17]。

沉积物-水界面交换通量计算 营养盐在沉积物-水界面的交换通量,可通过Fick第一定律^[18]估算:

$$F = \phi \cdot D_s \cdot \partial C / \partial x \quad (1)$$

式中, F 为沉积物-水界面的营养盐交换通量, ϕ 为沉积物孔隙度,计算公式^[17]:

$$\phi = \frac{(W_w - W_d)}{(W_w - W_d) + W_d / 2.5} \times 100 \quad (2)$$

式中, W_w 为沉积物的湿重(g); W_d 为沉积物的干重(g);2.5为表层沉积物的平均密度与水密度的比值; D_s 为考虑了沉积物弯曲效应的实际分子扩散系数, $D_s = \phi D_0$ ($\phi < 0.7$), $D_s = \phi^2 D_0$ ($\phi > 0.7$); D_0 采用氮营养盐的理想扩散参数, $D_0 = 1.90 \times 10^{-5}$; $\partial C / \partial x$ 为沉积物-水

界面的营养盐浓度梯度, 由间隙水和上覆水营养盐浓度的差值计算得出。

交换通量的扩散方向和速率取决于上覆水和沉积物间隙水中的营养盐浓度差, 营养盐会从高浓度向低浓度的方向扩散, 且两者间浓度差越大, 扩散通量越大^[19]。当交换通量为正值时代表营养盐从沉积物向上覆水扩散, 沉积物表现为营养盐的源; 负值代表营养盐从上覆水向沉积物扩散, 沉积物表现为营养盐的汇。

1.3 数据处理与统计分析

利用SPSS 26.0统计软件对环境因子及交换通量的组间差异及季节变化进行单因子方差分析, $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著; 利用CANOCO软件进行交换通量与环境因子的冗余分析(Redundancy analysis, RDA)。

2 结果

2.1 池塘水体与沉积物理化性质变化特征

养殖期间池塘水质参数见表1。养殖期间未发现低氧情况, 各盐度组池塘DO均高于6 mg/L。水体偏碱性, pH均大于8, 在7月, 盐度28组的pH显著大于其他两组。Chl.a含量盐度55组随养殖时间先升高后降低, 在6月出现最大值, 且显著大于其他两组($P<0.05$); 盐度28组和盐度45组的最高值出现在7月, 显著大于盐度55组($P<0.05$)。

养殖期间沉积物的理化参数见表2。沉积物孔隙度范围为0.46—0.61, 各盐度组之间无显著性差异, 季节变化不显著($P>0.05$)。在养殖初期(5月)盐度45组沉积物含水率及有机质含量均显著低于盐度28组和盐度55组($P<0.05$), 6月和7月, 各盐度组之间的含水率及有机质含量无显著性差异($P>0.05$)。沉积物粒径组成均为黏土质粉砂, 盐度28、45、

55组的中值粒径分别为9.98、16.11和16.55 μm 。

2.2 上覆水和间隙水中氮营养盐的变化特征

上覆水中各形态氮的变化特征 上覆水中各形态氮浓度变化特征见图2。从月份变化来看, 盐度28组和盐度55组的DIN在7月显著高于5月和6月, DON和TN无显著性变化($P>0.05$), 盐度28组和盐度55组的 NO_2^- -N、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N在7月份显著升高。盐度45组的DIN、DON及TN无显著性变化($P>0.05$)。盐度55组的DON在7月显著低于5月和6月($P<0.05$), TN无显著性变化($P>0.05$)。从各盐度组来看, 7月盐度28、55组的DIN显著高于盐度45组, 这种显著性升高源于 NO_2^- -N、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N的显著升高($P>0.05$); 7月盐度45组的DON显著高于其他盐度组($P<0.05$); 其他各组间的DIN、DON及TN均无显著性差异($P>0.05$)。

间隙水中各形态氮的变化特征 养殖期间不同盐度组间隙水中各形态氮浓度变化特征见图3。各盐度组间隙水中DIN主要以 NH_4^+ -N为主。DIN、DON、TN的月份变化情况, 总体上是5月显著高于7月($P<0.05$), 其中 NH_4^+ -N与DIN变化显著($P<0.05$)。养殖初期(5月), 盐度28组的 NH_4^+ -N、DIN显著低于盐度45组和盐度55组, DON显著高于盐度45组和盐度55组, TN在7月显著降低($P<0.05$), DIN无显著性差异。盐度45组的DON在7月显著低于其他盐度组, TN却表现出相反的趋势, 显著高于其他盐度组($P<0.05$)。盐度55组的 NO_2^- -N、 NO_3^- -N在7月显著高于5月和6月, TN在7月显著降低($P<0.05$), DIN、DON无显著性变化($P>0.05$)。

2.3 沉积物-水界面氮营养盐交换通量的变化特征

总体来讲, DIN、DON、TN由沉积物向水体扩散, 即沉积物为DIN、DON、TN的源, 不同的是 NO_3^- -N由水体向沉积物扩散, 沉积物为 NO_3^- -N的

表1 养殖期间对虾池塘水质参数

Tab. 1 Water quality parameters of shrimp ponds during breeding period

时间 Time	处理组 Group	盐度 Salinity (‰)	水温 Temperature (°C)	溶解氧 Dissolved oxygen (mg/L)	pH	叶绿素a Chl.a (μg/L)
5月May	盐度28组Salinity 28 group	33.30±0.28 ^{Ac}	23.70±0.64 ^{Bb}	7.66±0.17 ^{Aa}	8.92±0.35 ^{Aa}	31.65±1.03 ^{Ba}
	盐度45组Salinity 45 group	43.33±3.31 ^{Ab}	22.13±0.42 ^{Bc}	7.65±0.68 ^{Aa}	8.96±0.21 ^{Aa}	22.46±4.44 ^{Ba}
	盐度55组Salinity 55 group	59.88±0.37 ^{Aa}	25.18±0.22 ^{Ba}	7.23±0.25 ^{Ab}	8.90±0.13 ^{Aa}	28.51±2 ^{Ba}
6月June	盐度28组Salinity 28 group	20.77±0.30 ^{Bc}	25.28±0.04 ^{Ab}	8.06±0.41 ^{Aa}	8.69±0.11 ^{Aa}	29.49±3.42 ^{Bb}
	盐度45组Salinity 45 group	44.84±0.09 ^{Ab}	25.44±0.04 ^{Aa}	6.66±0.52 ^{Ab}	8.71±0.06 ^{Aa}	23.03±5.75 ^{Bb}
	盐度55组Salinity 55 group	58.74±0.10 ^{Aa}	25.24±0.01 ^{Bb}	7.71±0.59 ^{Aa}	8.84±0 ^{Aa}	41.02±2.27 ^{Aa}
7月July	盐度28组Salinity 28 group	29.90±1.14 ^{Ac}	26.87±0.27 ^{Ab}	8.57±0.75 ^{Aa}	8.76±0.97 ^{Aa}	44.27±8.9 ^{Aa}
	盐度45组Salinity 45 group	44.74±5.07 ^{Ab}	25.64±0.36 ^{Ac}	6.53±0.63 ^{Ab}	8.53±0.10 ^{Ab}	54.18±11.02 ^{Aa}
	盐度55组Salinity 55 group	49.07±0.17 ^{Ba}	29.98±0.26 ^{Aa}	8.90±0.55 ^{Aa}	8.48±0.03 ^{Ab}	26.78±2.86 ^{Bb}

注: 不同大写字母表示月份之间差异显著, 不同小写字母表示盐度组之间差异显著($P<0.05$); 下同

Note: Different capital letters indicate significant differences in months, and different lower case letters indicate significant differences in salinity groups ($P<0.05$). The same applies below

表 2 养殖期间对虾池塘沉积物的理化性质

Tab. 2 Sediment physicochemical properties of shrimp ponds during breeding period

时间 Time	处理组 Group	含水率 Rate of water content (%)	孔隙度 Porosity	有机质 Organic matter (%)
5月 May	盐度28组 Low salt group	35.46±2 ^{ab}	0.57±0.13 ^a	3.67±0.49 ^a
	盐度45组 Medium salt group	25.59±2 ^b	0.46±0.04 ^a	2.82±0.3 ^b
	盐度55组 High salt group	38.8±2.93 ^a	0.61±0.03 ^a	4.02±0.7 ^a
6月 June	盐度28组 Low salt group	35.78±4 ^a	0.58±0.09 ^a	2.84±0.3 ^a
	盐度45组 Medium salt group	29.97±4.5 ^a	0.57±0.13 ^a	3.45±0.61 ^a
	盐度55组 High salt group	32.46±0.3 ^a	0.55±0 ^a	4.24±0.2 ^a
7月 July	盐度28组 Low salt group	29.94±1 ^a	0.52±0 ^a	2.57±0.21 ^a
	盐度45组 Medium salt group	33.47±5 ^a	0.56±0.05 ^a	2.58±0.31 ^a
	盐度55组 High salt group	32.92±7.88 ^a	0.54±0.09 ^a	3.41±0.3 ^a

汇(图 4)。

从养殖月份来看,盐度28组 NO_2^- -N交换通量在7月增加,但扩散方向由向上变为向下, NO_3^- -N交换通量在7月显著增加($P<0.05$)。盐度28、45和55组DIN平均交换通量5月分别为2.08、6.37和12.47 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,7月分别为-0.48、0.06和1.47 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$;DON交换通量5月分别为13.91、5.32和6.79 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,7月分别为5.82、10.94和5 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。盐度28组与盐度45组的DIN、DON交换通量均呈现先升高后降低的趋势。盐度45组的DIN、DON交换通量均在6月出现最大值,显著大于5月和7月($P<0.05$), NO_2^- -N和 NO_3^- -N无显著性差异。盐度55组的DIN、TN交换通量持续降低,在6、7月显著小于5月($P<0.05$)。

从各盐度组来看,盐度55组5月DIN交换通量显著高于其他2组,6月显著降低($P<0.05$);盐度28组DON交换通量先升高后降低,5月显著大于其他2组($P<0.05$)。5月盐度55组的TN显著大于盐度45组,源于其DIN交换通量最大($P<0.05$),7月时显著小于盐度45组,源于其DON交换通量显著低于盐度45组($P<0.05$),即养殖前期(5月)盐度55组TN以DIN为主,养殖后期(7月)TN以DON为主。

在养殖期间3个盐度组各形态氮的总交换通量如图 5 所示。在养殖期间低、中、高三个盐度组DIN

总交换通量分别为 (1.69 ± 0.9) 、 (23.07 ± 6) 和 (19.36 ± 4.5) mg/m^2 ,其中,盐度28组显著低于盐度45组和盐度55组($P<0.05$)。三个盐度组的DON总交换通量差异显著($P<0.05$),分别为 (36.60 ± 5.72) 、 (27.89 ± 3.46) 和 (19.98 ± 1.6) mg/m^2 ;TN总交换通量分别为 (38.08 ± 5.84) 、 (43.66 ± 9.71) 和 (32.55 ± 7.96) mg/m^2 ,其中,盐度28组和盐度45组间无显著性差异($P>0.05$),但均显著大于盐度55组($P<0.05$)。

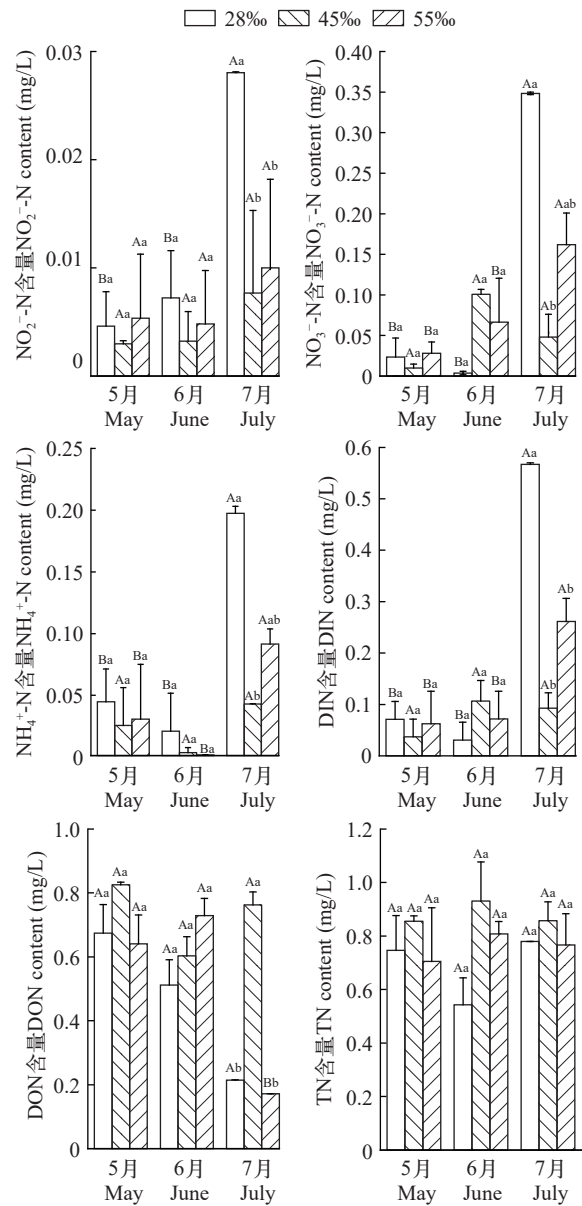


图 2 池塘上覆水中不同形态氮的含量

Fig. 2 The concentration of nutrient in the overlying water of pond

不同大写字母表示月份之间差异显著,不同小写字母表示盐度组之间差异显著($P<0.05$);下同

Different capital letters indicate significant differences in months, and different lower case letters indicate significant differences in salinity groups ($P<0.05$). The same applies below

2.4 交换通量与环境因子的相关性分析

冗余分析结果显示, 盐度28、45、55组前2个排序轴分别解释了氮交换通量分异的85.4%、76.2%、80.9%(图6)。盐度28组中 NO_2^- -N、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N交换通量与温度显著负相关; DON、TN交换通量与Chl-*a*显著负相关, 与含水率、孔隙度显著正相关。盐度45组中 NH_4^+ -N交换通量与盐度、有机质显著正相关, 与溶解氧负相关; NO_3^- -N交换通量与含水率、孔隙度显著正相关; DON、TN交换通量与Chl-*a*显著负相关。盐度55组中 NO_2^- -N交换通量与盐度、pH显著负相关, NO_3^- -N和 NH_4^+ -N交换通量与盐度均呈显著正相关, 与温度显著负相关; NO_3^- -N交换通量与含水率、孔隙度显著正相关, NH_4^+ -N

交换通量与溶解氧显著负相关。

3 讨论

3.1 盐度对氮交换通量的影响

黄河三角洲与渤海相接, 海水在入海口回流入侵, 致使三角洲盐度急剧升高, 形成盐渍淤泥, 逐渐发展成连片的滨海盐碱地^[20]。在滨海盐碱地进行渔业生产需要解决的一个问题就是盐度对养殖生产的影响及调控^[21], 有学者表示, 盐度降低时, 水体中 NO_2^- -N浓度升高, 对凡纳滨对虾的毒性增加了147%—249%^[22]。在本研究中, 盐度28组 NO_2^- -N总交换通量显著小于盐度45组与盐度55组($P < 0.05$), 且扩散方向向下, 主要是由于盐度28组上覆水中 NO_2^- -N浓度显著升高(图2), 盐度45组和盐度55组间隙水中 NO_2^- -N浓度显著升高(图3), 分析认为, 相比于盐度45组和盐度55组, 盐度28组中的生物受到的盐度胁迫相对较小, 耗氧量小, 促进水体中生成 NO_2^- -N的硝化作用^[23]。在本研究中, 在养殖期间3个盐度组 NO_3^- -N出现由上覆水向沉积物扩散的现象, 同时

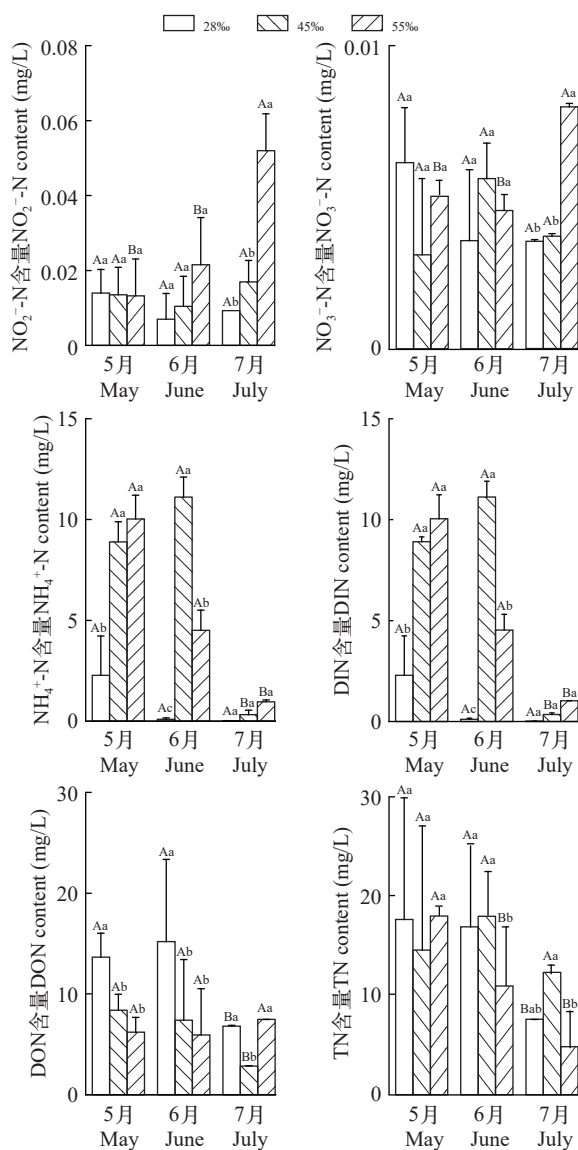


图3 池塘间隙水中不同形态氮的含量

Fig. 3 The concentration of nutrient in the overlying water of pond

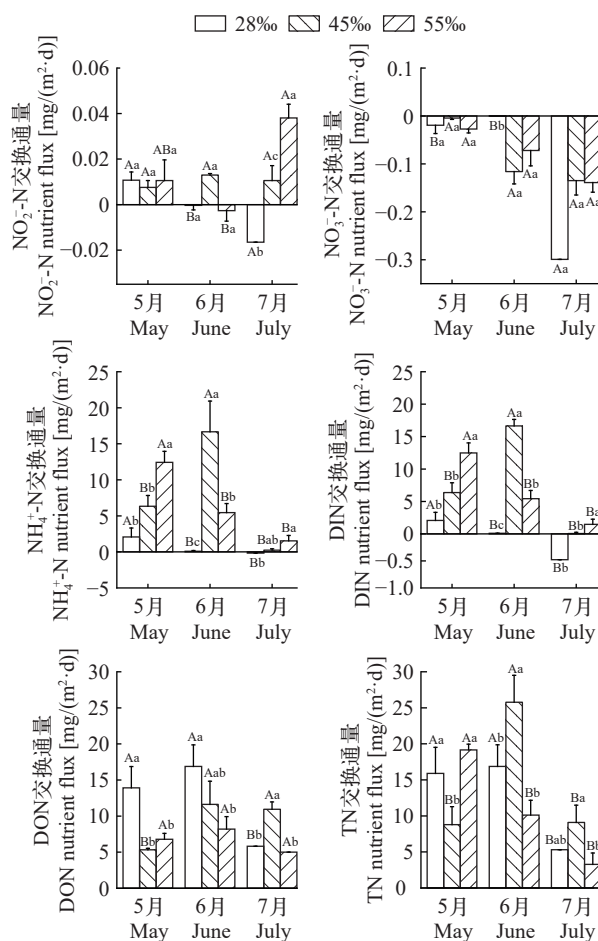


图4 池塘沉积物-水界面氮营养盐交换通量

Fig. 4 Nutrient flux at the pond sediment-water interface

随盐度的升高总交换通量依次减小(图4和图5),这是因为盐度28组的环境更容易发生硝化作用,导致其上覆水中 NO_3^- -N的积累。

通常认为盐度升高时,生物为保持渗透压平衡会消耗能量^[24],从而加快水体耗氧^[25],氧气含量的减少抑制 NH_4^+ -N向 NO_2^- -N的转化、 NO_2^- -N向 NO_3^- -N的转化,导致 NH_4^+ -N积累, NO_2^- -N、 NO_3^- -N减少^[15];在本研究中,盐度55组在养殖期间上覆水的 NH_4^+ -N

浓度高于盐度45组,推测是由于盐度55相比盐度45对生物胁迫作用更大,水体耗氧加快,抑制水体中 NH_4^+ -N向 NO_2^- -N的转化,造成 NH_4^+ -N的积累,而盐度28组上覆水中 NH_4^+ -N的显著升高与上述规律不符,这是因为28是正常海水盐度,对生物的胁迫作用最小,生物存活率最高,对虾排氨^[26]、浮游动植物等^[27,28]的生理活动旺盛。有研究表明,高盐度会抑制硝化细菌活性导致沉积物-水界面较高的 NH_4^+ -N通量,低盐度条件则有利于沉积物吸收 NH_4^+ -N^[13]。Weissman等^[29]认为盐水入侵时由于盐度升高,沉积物成为 NH_4^+ -N的源,即沉积物中的 NH_4^+ -N向上释放的潜力增大。在本研究中,三种盐度都能促进沉积物 NH_4^+ -N的释放,但程度各不相同。盐度45组与盐度55组的 NH_4^+ -N交换通量大于盐度28组,5月和7月盐度55组均显著大于其他两组(图4)。这是因为高盐度水体中 Cl^- 等阴离子增多与 NH_4^+ -N形成离子对,使沉积物吸附 NH_4^+ -N的能力减弱,从而促进从沉积物中释放,增加 NH_4^+ -N通量^[30]。

3.2 有机物输入对氮交换通量的影响

研究表明,对虾池塘中氮元素的输入形式包括人工饵料、肥料、动植物尸体等,占输入总量的比例高达54.7%—75.5%^[31]。而氮元素的输出方式主要以在底泥中积累为主,占输出总量的比例高达40.29%—65.89%^[32]。储存在底泥中的氮发生矿化作用的同时与上覆水发生物质交换作用,造成水体富营养化,影响养殖效果^[33]。有学者认为,池塘底部有机物的累积有利于氮元素向上释放,尤其是矿化作用会增加 NH_4^+ -N通量^[34]。在本研究中,盐度45组6月的 NH_4^+ -N交换通量显著大于5月($P<0.05$),DON、TN交换通量也增加,与其有机质含量的变化规律一致,说明随着养殖活动的进行,池塘沉积物中残饵、粪便、生物残体增多,沉积物的矿化作用会促进释放氮元素。然而矿化作用产生 NH_4^+ -N

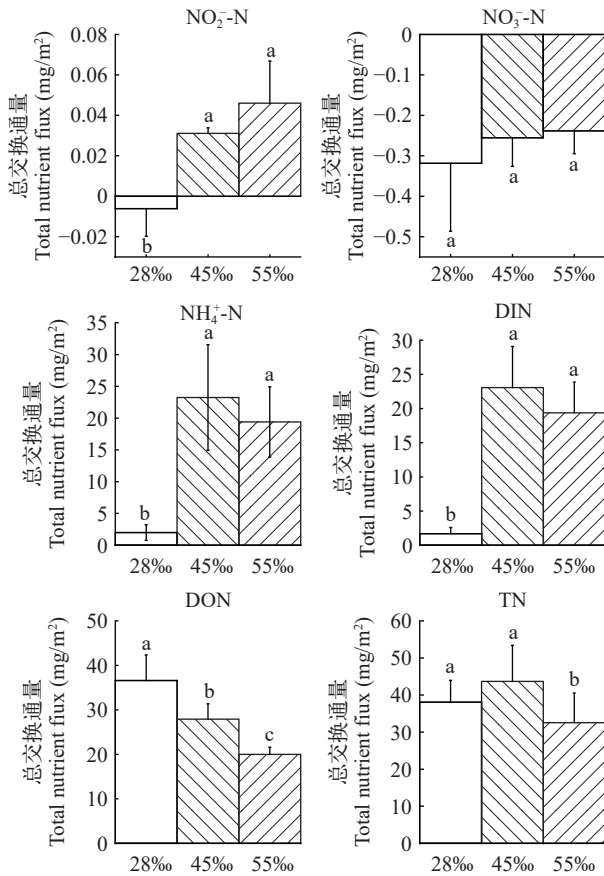


图5 养殖期间各形态氮的总交换通量

Fig. 5 The total flux of morphological nitrogen during the breeding period

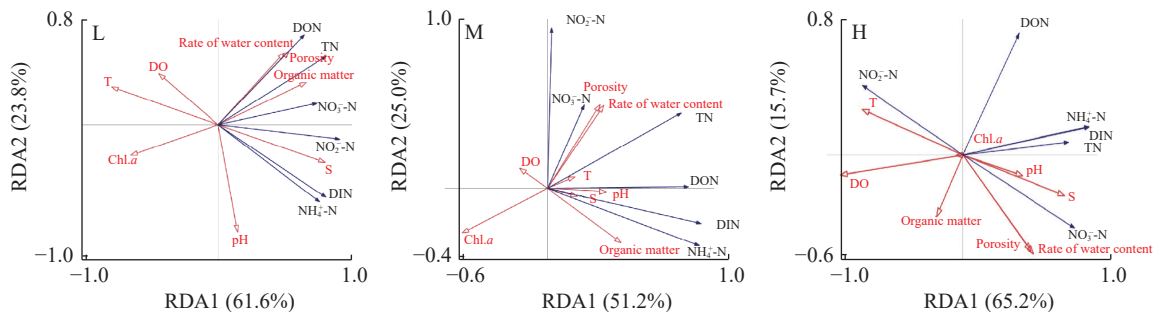


图6 氮交换通量与环境因子RDA排序图

Fig. 6 RDA ordination of nitrogen flux and environmental factors

L代表盐度28组; M代表盐度45组; H代表盐度55组

L represents salinity 28 group; M represents salinity 45 group; H represents salinity 55 group

的同时还会伴随着 CO_2 和 CH_4 的生成,后者使沉积物形成厌氧环境,抑制 NH_4^+ -N转向 NO_3^- -N的硝化作用^[35,36]。因此虽然根据养殖活动积累有机质的观点,7月时沉积物有机质含量应该更多,交换通量也随之增加,但结果却并非如此,这是由于矿化作用造成沉积物的缺氧环境,厌氧氨氧化细菌以 NO_2^- -N为电子受体,将 NH_4^+ -N直接氧化为 N_2 ,发生厌氧氨氧化作用,进而导致间隙水中 NH_4^+ -N的消耗加大和积累减少^[37]。这说明随着养殖的进行,沉积物中氮除了矿化作用向上释放外,还会发生厌氧氨氧化作用生成 N_2 溢出。

对于实验池塘来说,通常会在虾苗投入前肥水以保证浮游生物的充分生长,但很容易出现施用过量的情况,一部分肥料在水中分解供浮游植物使用,大部分会沉降于池底促使DON的生成^[38]。实验结果显示,调查期间各盐度组DON交换通量整体为5、6月大于7月(图4),这与养殖前的肥水有关,施用肥料大部分沉降到池底并分解转化造成间隙水中DON积累远大于上覆水,增加了交换通量。

3.3 其他环境因子对氮交换通量的影响

养殖过程中营养元素的转化通常会受到盐度、水温、溶解氧、pH等多种环境条件的影响^[39]。有研究指出,水温升高时有助于沉积物中氮向上覆水释放^[40],高天赐等^[41]研究牟平海洋牧场的交换通量时也发现,温度为 20°C 时 NH_4^+ -N的交换通量是 10°C 时的2.5倍。本实验发现,在盐度28组和盐度55组中,温度与 NH_4^+ -N交换通量呈显著负相关关系,这可能与反硝化反应和厌氧氨氧化反应所需的酶活性有关,即不同微生物的最适温度范围不同。

溶解氧浓度直接关系到浮游植物数量,光合作用产生氧气,有机质降解、呼吸作用消耗氧气^[42],张华等^[43]研究发现渤海低氧区核心存在明显的有机质高值区,这是因为水体营养盐增加的同时刺激浮游植物生长,呼吸耗氧降低水体溶氧浓度。本研究结果显示,溶解氧浓度与氮交换通量呈显著负相关,分析认为是浮游植物生长呼吸耗氧,同时利用水体中氮营养盐^[44]。

叶绿素a是叶绿素的主要类型,存在于藻类细胞中,叶绿素的含量表征水体中藻类数量的丰欠,而藻类的生理活动需要营养盐的参与,所以水体中营养盐的转化与叶绿素密切相关。研究结果显示,Chl.a浓度与氮交换通量呈显著负相关,说明在池塘中藻类吸收氮素作为营养物质,满足自身营养需求,从而导致水体中氮营养盐消耗降低,降低交换通量。

黄廷林等^[45]研究发现,对虾的生物扰动作用会增加沉积物的孔隙度,更多的水涌入,造成 NH_4^+ -

N通量的增加。在本研究中,RDA分析显示含水率、孔隙度与 NO_3^- -N、DON交换通量显著正相关。分析认为是对虾的生物扰动作用使沉积物表面氧化性增强的同时微生物活性增强,从而增加营养盐交换通量。

4 结论

在养殖期间沉积物整体表现为氮的污染源。 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、DIN、DON和TN向上覆水释放, NO_3^- -N向沉积物吸附。

与沉积物-水界面营养盐交换通量有显著性相关的环境因素有盐度、水温、Chl.a、有机质含量、含水率、孔隙度。高盐度条件下由于生物耗氧增多,抑制硝化细菌活性、阳离子增多等因素,促进 NH_4^+ -N交换通量增加;水温升高减小交换通量;有机质、含水率、孔隙度增大有助于营养盐向上覆水释放。

需要注意的是,池塘较高的DON和 NH_4^+ -N交换通量是虾塘水质恶化的潜在污染源,应在养殖前期控制粪肥等肥水产品的投入,养殖中期避免过量投喂,以便减少氮输入和提高饲料利用率,养殖末期实行精细化管理,分批出虾,科学计算存塘量和饲料投喂量,减轻池塘环境压力。目前关于滨海盐碱水养虾的研究较少且缺乏系统性的管理办法,在养殖过程中不仅要注意日常管理方法的改进,还要注意综合考虑环境因子的作用,及时发现问题并采取有效措施防止水质恶化。

参考文献:

- [1] Yu Y J, Yu H G. Development status and trend of prawn farming industry in the world [J]. *World Agriculture*, 2007(5): 44-47. [余云军, 于会国. 世界对虾养殖业的发展现状与发展趋势 [J]. *世界农业*, 2007(5): 44-47.]
- [2] Wang D, Wu F X. chief editor. Editorial Committee of China Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023: 22-24. [王丹, 吴反修. 《中国渔业统计年鉴》编辑委员会 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 22-24.]
- [3] Kim S H, Lee J S, Kim K T, et al. Aquaculture farming effect on benthic respiration and nutrient flux in semi-enclosed coastal waters of Korea [J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, 9(5): 554.
- [4] Li X, Wang X L, Wang Y, et al. Effects of different salinities on nutritional composition in muscle of *Litopenaeus vannamei* [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22(1): 130-137. [李晓, 王晓璐, 王颖, 等. 盐度对养殖凡纳滨对虾肌肉营养成分的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(1): 130-137.]

- [5] Liu Z L, Gao Z M. Experiment on high yield of *Penaeus vannamei* cultured in saline-alkali pond in terrigenous area [J]. *Fishery Guide to Be Rich*, 2021(14): 27-29. [刘振鲁, 高兆明. 陆源盐碱地池塘养殖南美白对虾高产试验 [J]. 渔业致富指南, 2021(14): 27-29.]
- [6] Selvin P S R R. Shrimp disease management for sustainable aquaculture: innovations from nanotechnology and biotechnology [J]. *Aquaculture International*, 2021(1): 30.
- [7] Rakhfid A, Mauga U. Growth and survival rate vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in various doses of fertilizer and density [J]. *Akuatikisile: Jurnal Akuakultur, Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil*, 2018, 2(2): 53-60.
- [8] Sajana T K, Ghangrekar M M, Mitra A. Application of sediment microbial fuel cell for *in situ* reclamation of aquaculture pond water quality [J]. *Aquacultural Engineering*, 2013(57): 101-107.
- [9] Liu Z L, Gao Z M, Zhao Y J, *et al.* Explore the path of green and efficient development of Binzhou shrimp industry [J]. *China Fisheries*, 2022(6): 69-71. [刘振鲁, 高兆明, 赵玉静, 等. 探索滨州对虾产业绿色高效发展的路径 [J]. 中国水产, 2022(6): 69-71.]
- [10] Huang Y Q, Yang X, Wang Y J, *et al.* Analysis and quality evaluation of nutrient components in muscle of *Litopenaeus vannamei* of two saline-alkali aquaculture and mariculture [J]. *Fishery Information & Strategy*, 2023, 38(1): 60-66. [黄艳青, 杨絮, 王怡菊, 等. 西北硫酸盐型盐碱水与低盐度海水养殖凡纳滨对虾营养成分及品质评价 [J]. 渔业信息与战略, 2023, 38(1): 60-66.]
- [11] Saraswathy R, Muralidhar M, Sanjoy D, *et al.* Changes in soil and water quality at sediment-water interface of *Penaeus vannamei* culture pond at varying salinities [J]. *Aquaculture Research*, 2019, 50(4): 1096-1106.
- [12] Xiong Y H, Wang F, Zhong D S. Impact of *Litopenaeus vannamei* bioturbation on benthic fluxes at the sediment-water interface in different salinities [J]. *Hebei Fisheries*, 2015(7): 1-5. [熊莹槐, 王芳, 钟大森. 不同盐度下凡纳滨对虾扰动作用对沉积物-水界面营养盐通量的影响 [J]. 河北渔业, 2015(7): 1-5.]
- [13] Lu Y P, Qian K, Wang L, *et al.* Effect of salinities on activities of antioxidant enzymes and immune-related enzymes of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. *Hebei Fisheries*, 2019(12): 1-5. [鲁耀鹏, 钱坤, 汪蕾, 等. 养殖盐度对凡纳滨对虾抗氧化酶及免疫相关酶活力的影响 [J]. 河北渔业, 2019(12): 1-5.]
- [14] Sun Q Y, Li J B, Lai Y T, *et al.* Effects of different salinity levels on nitrification processes in sediments of Minjiang River Estuary, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(4): 1313-1320. [孙启元, 李家兵, 赖月婷, 等. 不同盐度对闽江河口沉积物硝化作用的影响 [J]. 应用生态学报, 2018, 29(4): 1313-1320.]
- [15] Gardner W S, Seitzinger S P, Malczyk J M. The effects of sea salts on the forms of nitrogen released from estuarine and freshwater sediments: does ion pairing affect ammonium flux [J]? *Estuaries*, 1991, 14(2): 157-166.
- [16] Li M S. Developing saline-alkali aquaculture and demanding food from saline-alkali soil [J]. *China Fisheries*, 2023(11): 35-36. [李明爽. 发展盐碱水养殖 向盐碱水土要食物 [J]. 中国水产, 2023(11): 35-36.]
- [17] Li F. Contamination characteristics of nitrogen and phosphorus in sediments and simulation of its profile concentration in pore water from Shiwuli River in Chaohu Lake [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012. [李峰. 巢湖十五里河沉积物氮磷污染特征及间隙水营养盐浓度模拟 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.]
- [18] Sun S, Liu S M, Ren J L, *et al.* Distribution features of nutrients and flux across the sediment-water interface in the Sanggou Bay [J]. *Haiyang Xuebao*, 2010, 32(6): 108-117. [孙珊, 刘素美, 任景玲, 等. 桑沟湾养殖海域营养盐和沉积物-水界面扩散通量研究 [J]. 海洋学报, 2010, 32(6): 108-117.]
- [19] Mu D, Yuan D, Feng H, *et al.* Nutrient fluxes across sediment-water interface in Bohai Bay coastal zone, China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 114(2): 705-714.
- [20] Zuo Q, Wu X, Shi J C, *et al.* Constraints and coordinated allocation strategies of water and land resources for sustainable use of coastal saline-alkali land in the Yellow River Delta [J]. *Strategic Study of CAE*, 2023, 25(4): 169-179. [左强, 吴训, 石建初, 等. 黄河三角洲滨海盐碱地可持续利用的水土资源约束与均衡配置策略 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(4): 169-179.]
- [21] Liu C Q, Wang J X, Zhang Y J, *et al.* Effects of salinity and Na^+/K^+ in percolating water from saline-alkali soil on the growth of *Litopenaeus vannamei* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6): 1337-1342. [刘存歧, 王军霞, 张亚娟, 等. 盐碱地渗水盐度与钠钾比对凡纳滨对虾生长的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1337-1342.]
- [22] Liu H L, Chen R, Wang C G, *et al.* Acute toxicity test of ammonia nitrogen and nitrite for *Fenneropenaeus merguensis* at different salinity levels [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(1): 155-158. [刘慧玲, 陈荣, 王成桂, 等. 不同盐度条件下氨氮和亚硝酸盐对墨吉明对虾的急性毒性试验 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47(1): 155-158.]
- [23] Liu C Y, He L X, Huang Z, *et al.* Effects of simulated salinity pulse coupled tidal process on soil inorganic nitrogen components in Minjiang River estuarine wetland [J]. *Wetland Science*, 2023, 21(3): 483-492. [刘超毅, 何凌茜, 黄庄, 等. 模拟盐度脉冲耦合潮汐过程对闽江河口湿地土壤孔隙水中无机氮组分的影响 [J]. 湿地科学, 2023, 21(3): 483-492.]
- [24] Wang D Q, Chen Z L, Qian C P, *et al.* Effect of salinity on NH_4^+ exchange behavior at the sediment-water interface in East Chongming tidal flat [J]. *Marine Environmental Science*, 2002, 21(3): 5-9. [王东启, 陈振楼, 钱嫦

- 萍, 等. 盐度对崇明东滩沉积物—水界面 NH_4^+ 交换行为的影响 [J]. *海洋环境科学*, 2002, **21**(3): 5-9.]
- [25] Liu M, Huang X H, Li C L, *et al.* Study on the uptake of dissolved nitrogen by *Oocystis borgei* in prawn (*Litopenaeus vannamei*) aquaculture ponds and establishment of uptake model [J]. *Aquaculture International*, 2020, **28**(4): 1445-1458.
- [26] Hu L H, Shi W, Liu G X, *et al.* Mechanisms of salinity adaptability of *Litopenaeus vannamei* under different salinity conditions [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, **45**(2): 275-283. [胡利华, 施巍, 刘广绪, 等. 不同家系凡纳滨对虾对低盐度的适应能力及其适应机理 [J]. *水生生物学报*, 2021, **45**(2): 275-283.]
- [27] Xie Y L, Cui B S, Xie T, *et al.* Distribution of phytoplankton and zooplankton in the Pearl River Delta River network in winter of 2021 and effects of salt tide [J]. *Wetland Science*, 2022, **20**(5): 666-680. [谢毅梁, 崔保山, 谢浩, 等. 2021年冬季珠江三角洲河网浮游动植物的分布和咸潮入侵的影响 [J]. *湿地科学*, 2022, **20**(5): 666-680.]
- [28] Niu L, Luo X, Hu S, *et al.* Impact of anthropogenic forcing on the environmental controls of phytoplankton dynamics between 1974 and 2017 in the Pearl River Estuary, China [J]. *Ecological Indicators*, 2020(116): 106484.
- [29] Weissman D, Ouyang T, Tully K L. Saltwater intrusion affects nitrogen, phosphorus and iron transformations under oxic and anoxic conditions: an incubation experiment [J]. *Biogeochemistry*, 2021, **154**(3): 451-469.
- [30] Liu P F, Chen Z L, Liu J. Study on effects of salinity and pH on NH_4^+ release in east Chongming tidal flat sediment [J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 2002, **21**(5): 271-273. [刘培芳, 陈振楼, 刘杰. 盐度和pH对崇明东滩沉积物中 NH_4^+ 释放的影响研究 [J]. *上海环境科学*, 2002, **21**(5): 271-273.]
- [31] Chang J, Tian X L, Dong S L, *et al.* An experimental study on nitrogen and phosphorus budgets in polyculture of shrimp, bivalve and seaweed [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2006, **36**(S1): 33-39. [常杰, 田相利, 董双林, 等. 对虾、青蛤和江蓠混养系统氮磷收支的实验研究 [J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2006, **36**(S1): 33-39.]
- [32] Dong J, Tian X L, Dong S L, *et al.* Study on nitrogen and phosphorus budget in polyculture systems of *Litopenaeus vannamei* and *Portunus trituberculatus* [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2013, **43**(12): 16-24. [董佳, 田相利, 董双林, 等. 三疣梭子蟹和凡纳滨对虾混养系统的氮磷收支的研究 [J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2013, **43**(12): 16-24.]
- [33] Chang W Y B. Integrated lake farming for fish and environmental management in large shallow Chinese Lakes: a review [J]. *Aquaculture Research*, 2010, **20**(4): 441-452.
- [34] Lei Z L, Dang Z Q, Zhang D S, *et al.* N and P fluxes in sediment-water interface of sea cucumber ponds exposed to three water quality control methods [J]. *Fisheries Science*, 2021, **40**(3): 354-360. [雷兆霖, 党子乔, 张东升, 等. 3种水质调控方式下参池沉积物—水界面N、P通量的研究 [J]. *水产科学*, 2021, **40**(3): 354-360.]
- [35] Deng Y H, Ding R N. Research on nitrogen mineralization of lake sediments and its influencing factors [J]. *Environmental Ecology*, 2020, **2**(11): 91-95. [邓延慧, 丁润楠. 湖泊沉积物氮矿化及其影响因素研究进展 [J]. *环境生态学*, 2020, **2**(11): 91-95.]
- [36] Yan X C, Wang M Y, Xu X G, *et al.* Migration of carbon, nitrogen and phosphorus during organic matter mineralization in eutrophic lake sediments [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, **30**(2): 306-313. [闫兴成, 王明玥, 许晓光, 等. 富营养化湖泊沉积物有机质矿化过程中碳、氮、磷的迁移特征 [J]. *湖泊科学*, 2018, **30**(2): 306-313.]
- [37] Gao M Y. Effects of different environmental factors on biological nitrogen removal and bacteria population in pond [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018. [高美云. 不同环境因子对池塘生物脱氮作用及脱氮菌菌群的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.]
- [38] Zhang H L, Zhao Z, Lu Y T, *et al.* Spatial distribution and microbial degradation characteristics of dissolved organic nitrogen and carbon in paddy soil solution [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2014, **36**(10): 7-12. [张翰林, 赵峥, 陆贻通, 等. 稻田土壤溶液中溶解性有机氮、碳的空间分布及其微生物降解特性 [J]. *环境污染与防治*, 2014, **36**(10): 7-12.]
- [39] Lei P, Zhang H, Wang C, *et al.* Migration and diffusion for pollutants across the sediment-water interface in lakes: a review [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, **30**(6): 1489-1508. [雷沛, 张洪, 王超, 等. 沉积物水界面污染物迁移扩散的研究进展 [J]. *湖泊科学*, 2018, **30**(6): 1489-1508.]
- [40] Yuan Y J, He P C, Liu N N, *et al.* Effects of temperature and disturbance on nitrogen release from sediment of Poyang Lake [J]. *Journal of East China University of Technology (Natural Science)*, 2020, **43**(5): 495-500. [袁轶君, 何鹏程, 刘娜娜, 等. 温度与扰动对鄱阳湖沉积物氮释放的影响 [J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2020, **43**(5): 495-500.]
- [41] Gao T C, Gao X L, Xing Q G, *et al.* Exchange fluxes of nutrients across sediment-water interface in the Muping Marine Ranch and its adjacent waters in autumn [J]. *Marine Environmental Science*, 2020, **39**(3): 387-392. [高天赐, 高学鲁, 邢前国, 等. 秋季牟平海洋牧场及其邻近海域沉积物-水界面营养盐交换通量 [J]. *海洋环境科学*, 2020, **39**(3): 387-392.]
- [42] Qian S M. Simulation on formation of summer low oxygen zone in the Bohai Sea [D]. Tianjin: Tianjin University, 2018. [钱思萌. 渤海中部低氧现象的数值模拟研究 [D]. 天津: 天津大学, 2018.]
- [43] Zhang H, Li Y F, Tang C, *et al.* Spatial characteristics and

- formation mechanisms of bottom hypoxia zone in the Bohai Sea during summer [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2016, **61**(14): 1612-1620. [张华, 李艳芳, 唐诚, 等. 渤海底层低氧区的空间特征与形成机制 [J]. *科学通报*, 2016, **61**(14): 1612-1620.]
- [44] Jiang T, Xu Y, Liu C X, *et al.* Report on the occurrence of hypoxia in the central Bohai Sea [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, **37**(4): 1-6. [江涛, 徐勇, 刘传霞, 等. 渤海中部海域低氧区的发生记录 [J]. *渔业科学进展*, 2016, **37**(4): 1-6.]
- [45] Huang T L, Liu F, Shi J C. Distribution features and diffusion fluxes of nutrient in interstitial water of a source water reservoir [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2016, **10**(8): 4357-4363. [黄廷林, 刘飞, 史建超. 水源水库沉积物间隙水营养盐分布特征及扩散通量 [J]. *环境工程学报*, 2016, **10**(8): 4357-4363.]

NITROGEN EXCHANGE FLUX OF SEDIMENT-WATER INTERFACE IN *LITOPENAEUS VANNAMEI* SALT ALKALI POND

DU Yan-Qiu^{1,2}, WU Wen-Guang², ZHANG Zi-Jun³, WU Tao³, FENG Xu² and ZHANG Ji-Hong²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Function Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Ordos Agriculture and Animal Husbandry Technology Extension Center, Ordos 017000, China)

Abstract: Coastal saline-alkali land aquaculture is increasingly rising, with the nutrient exchange at the sediment-water interface playing an important role in the ecosystem. It serves as an indicator of endogenous pollution levels in pond sediments. In order to explore the nitrogen transformation dynamics at the sediment-water interface in *Litopenaeus vannamei* culture ponds. Measurements were taken from May to July 2019, analyzing various nitrogen forms in overlying water and sediment interstitial water across three ponds in Binzhou City, Shandong Province, with different salinity (28, 45, 55). Using Fick's first law, nitrogen exchange fluxes at the sediment-water interface were estimated, and correlations between environmental factors and exchange fluxes were examined. The results show that, (1) Nitrogen forms, including DIN, DON, and TN, predominantly diffuse from sediment to water, indicating sediment as the source. Conversely, NO_3^- -N moves from water to sediment, with sediment acting as the sink. During the breeding period, total exchange fluxes of DIN were 1.69, 23.07, and 19.36 mg/m^2 , DON were 36.60, 27.90, and 19.98 mg/m^2 , and TN were 38.09, 43.66, and 32.56 mg/m^2 , respectively, for salinity levels of 28, 45, and 55. (2) Seasonally, exchange fluxes of DIN, DON, and TN were significantly higher in May compared to July. For instance, the average DIN exchange fluxes for salinity levels 28, 45, and 55 were 2.08, 6.37, and 12.47 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ in May respectively, decreasing to -0.48, 0.06, and 1.47 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ in July respectively. Notably, the DIN exchange flux in salinity 55 group was significantly higher than that in the other two groups ($P < 0.05$). In May, the DON exchange fluxes were 13.91, 5.32, and 6.79 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, respectively. Salinity 28 group exhibited significantly higher values compared to the other two groups ($P < 0.05$). Conversely, in July, the fluxes were 5.82, 10.94, and 5 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, respectively, with the salinity 45 group significantly surpassing the others ($P < 0.05$). Additionally, in May, the average TN exchange fluxes were 15.9, 8.79, and 19.16 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ respectively. Significantly, the salinity 45 group exhibited lower fluxes than that in the other two groups ($P < 0.05$). However, in July, the fluxes were 5.31, 9.1, and 3.28 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ respectively, with the salinity 45 group significantly surpassing the salinity 55 group ($P < 0.05$). (3) Redundancy analysis showed positively correlations between salinity and exchange fluxes of NO_2^- -N, NO_3^- -N, and NH_4^+ -N. Organic matter exhibited positive correlations with NH_4^+ -N and TN fluxes. There was a significant negative correlation between temperature and NH_4^+ -N exchange flux, moreover, water content and porosity demonstrated positive correlations with NO_3^- -N and DON exchange fluxes. In conclusion, sediments act as potential sources of nitrogen, with pollution potential significantly reduced towards the end of aquaculture compared to the early stage. The salinity 55 group facilitates DIN release, while the salinity 28 and 45 groups facilitates promote DON release. The results enhance understanding of nitrogen exchange fluxes in large surface aquaculture ponds and provide valuable data to support the scientific management of this aquaculture model.

Key words: Salt alkali pond; Sediment-water interface; Nitrogen; *Litopenaeus vannamei*