

低盐度条件下生物絮团的营养组分及凡纳滨对虾和银鲫对其摄食效率的研究

张亚卓¹, 郑忠明^{1*}, 华建权², 郑余琦¹, 王政¹, 林会洁¹

(1.宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211; 2.慈溪市水产技术推广中心, 浙江 慈溪 315300)

摘要: 通过用稳定同位素 ^{15}N 标记生物絮团菌体蛋白, 研究了低盐度(1.08±0.07)‰海水混养模式下生物絮团的营养成分以及凡纳滨对虾、银鲫对生物絮团的摄食。结果表明: 生物絮团能够将水体氨氮和亚硝氮固定为自身的有机氮; 生物絮团含有养殖生物生长所需要的基本营养物质。而银鲫和凡纳滨对虾可以固定生物絮团中的有机氮为自身蛋白, 即单位体重银鲫和凡纳滨对虾日固定氮量分别为(104.92±30.91) $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和(135.6±24.17) $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 相当于单位体重银鲫和凡纳滨对虾每天摄食的生物絮团干重为 1 907.36 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 2 465.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 且鱼虾混养能够促进凡纳滨对虾对生物絮团的摄食; 同时银鲫与凡纳滨对虾的生物排氮作用和生物絮团的固氮作用能够促进养殖池塘的氮循环; 实验末期鱼虾组中总氨氮、亚硝酸盐氮含量显著降低, 保持在(0.03±0.01) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和(0.325±0.035) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

关键词: bio-floc; 银鲫; 凡纳滨对虾; 水质

中图分类号: S966.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2016) 03-0029-05

对虾养殖业较高的饲料成本和较低的氮利用率一直是提高对虾养殖效益的一个难题, 而近年兴起的生物絮团技术(Bio-Floc Technology, BFT)被认为是降低对虾养殖饲料成本的一项替代技术^[1]。该技术通过人为添加额外碳源, 提高养殖水体 C/N, 同时充分增氧, 促进养殖水体异养微生物大量繁殖, 将水体中的有害总氨氮(TAN)、亚硝酸盐氮(NO_2^- -N)、饵料残渣等作为氮源同化为生物絮团有机氮, 同时该生物絮团还能作为优良饵料被养殖动物摄食^[2-3]。另外, 将不同种类养殖生物混养也是提高饲料利用率、降低饵料系数的一种方法^[4]。有研究表明, 混养模式不仅可以使养殖生物充分利用不同体积的絮团颗粒^[5], 还能促进养殖生物的种间竞争, 活跃养殖系统, 使整个养殖系统形成良性循环。目前国内外关于生物絮团在水产养殖业的利用多集中于单一养殖模式^[2-6], 对混养模式下对虾、鱼类利用生物絮团氮的报道尚不多见。

用 ^{15}N 稳定同位素标记生物絮团, 可以快速、

准确地养殖动物体内检测到 ^{15}N 的丰度, 从而能够较精确地揭示养殖系统中氮的循环。很多学者都曾使用 ^{15}N 标记养殖水体微生物的方法研究养殖生物对菌体蛋白的同化吸收^[7-10]。本研究用 $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ 标记生物絮团氮, 探究其在凡纳滨对虾和银鲫混养池塘的循环, 以期对未来低盐度海水对虾套养鱼类养殖模式中生物絮团氮的优化利用提供参考。

1 材料与方法

实验在宁波大学水产养殖实训基地进行。实验用银鲫(*Carassius auratus gibelio*)、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)由东海渔业有限公司提供, 均为同一批次健康活泼个体。银鲫体重(18.50±1.16) g; 凡纳滨对虾体重(13.52±1.03) g。开始实验前将鱼、虾饥饿 24 h。培养生物絮团的水源来自凡纳滨对虾养殖废水, 添加糖蜜(糖含量为 33%)作为碳源, 以蛋白含量为 42%的凡纳滨对虾配合饲料为氮源培养生物絮团。实验期间养殖水体溶解氧为 7.13±

收稿日期: 2016-01-22.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD13B08); 宁波市海洋与渔业局项目(HK2015000047, HK2015000022)。

第一作者: 张亚卓(1990—), 男, 河南洛阳人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 水产养殖生态。E-mail: 13646624793@163.com

*通信作者: 郑忠明(1965—), 男, 浙江宁波人, 教授, 主要研究方向: 水产养殖, 水域生态与环境。E-mail: zhengzhongming@nbu.edu.cn

0.59, 水温为 $(24.56 \pm 2.05)^\circ\text{C}$, pH 为 5.61 ± 0.73 .

1.1 生物絮团的培养

生物絮团在 800 L 塑料桶中培养, 桶内放 5 kg 银鲫模拟实验环境. 每天投放 0.52 kg 蛋白含量 42% 的饲料, 同时投放 2.36 kg 含糖量为 33% 的糖蜜提高水体 C/N. 24 h 不间断增氧, 日换水 10%.

测定水体生物絮团含量, 当桶内生物絮团量达到 $50 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 时开始实验. 实验系统由 6 个 100 L 塑料桶组成, 编号为 A1、A2、A3、B1、B2、B3, 桶中充满上述培养的生物絮团. A 组为处理组, 共投放 $0.33 \text{ g } ^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ 和 5.56 g 糖蜜. $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ 用来标记水体的生物絮团菌体蛋白, 糖蜜作为碳源促进生物絮团菌体对 $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ 的吸收. 2 d 后, 每桶放 14 尾银鲫和 14 尾凡纳滨对虾. B 组不放鱼、虾作为对照. 实验期间不投放饲料, 以 $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ 标记的生物絮团为鱼、虾唯一饵料来源. 每天上午 8:00 测水体盐度、溶解氧、温度以及 pH.

1.2 样品采集及分析

每两天在每个实验桶中取 30 mL 水样, 用预先干燥、称重的玻璃纤维滤膜($0.45 \mu\text{m}$)进行真空抽滤, 抽滤后的水样及生物絮团滤膜均在 -20°C 保存; 其中水样用于测定水体 TAN、 $\text{NO}_2^- \cdot \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 含量. 用英霍夫锥形管^[11]测量生物絮团体积并记录; 每个桶中随机各取 1 尾银鲫、1 尾凡纳滨对虾, 分离出肌肉组织, -20°C 冰冻保存.

TAN、 $\text{NO}_2^- \cdot \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 含量使用全自动间断水质分析仪(Smart Chem200, Alliance, France)测定; 含生物絮团的滤膜、鱼、虾肌肉在鼓风干燥箱中 65°C 烘干至恒重, 干燥保存, 测定总有机氮(使用 CHNS 元素分析仪)和 ^{15}N 含量(同位素比率质谱仪). 生物絮团中粗蛋白(GB/T5009.5-2003)、粗脂肪(GB/T5512-2008)、粗灰分(GB/T 6438-2007)用国标法测定.

1.3 计算方法

在零换水养殖系统中, 水体总氮含量升高主要来源为: (1)水体中悬浮有机氮的分解; (2)鱼代谢出的总无机氮. 总悬浮有机氮的变化根据元素分析仪测定悬浮颗粒物中有机氮的变化率来计算.

实验中鱼虾每天对生物絮团中 ^{15}N 的摄食量 P 用如下公式计算:

$$P = W_a \times N_a \% \times ^{15}N_a \%, \quad (1)$$

式中: W_a 为鱼虾的单位体重, $N_a \%$ 为鱼虾肌肉中氮

含量, $^{15}N_a \%$ 为鱼虾肌肉中标记氮含量. 本实验中被标记的生物絮团是鱼、虾唯一的饵料来源, 水体中能转化为鱼可吸收的无机氮的含量可以忽略不计^[7]. 则鱼虾每天从生物絮团中摄食的总蛋白含量 $P_{\text{总}}$ 为:

$$P_{\text{总}} = P / (^{15}N_{\text{b-f}} \% \times 0.16),$$

式中 0.16 为蛋白质含氮量. 而鱼虾摄食生物絮团的干重 $W_{\text{b-f}}$ 为:

$$W_{\text{b-f}} = P_{\text{总}} / P_c,$$

式中 P_c 为生物絮团中粗蛋白含量.

1.4 统计分析

采用 SPSS 19.0 进行统计分析, 其中有机氮及 ^{15}N 含量经过对数转换再进行单因素方差分析, 然后用 Duncan 法作多重比较. 用 Origin 8.0 作图.

2 结果与分析

2.1 水体基本水质及无机氮含量变化

实验水质 TAN 的分析结果如图 1 所示. 从图 1 可知: 9 月 10 日鱼虾组水体 TAN 水平高于对照组, 随后显著下降并在 9 月 20 日保持在较低水平($0.03 \pm 0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ($P < 0.05$)). 对照组 TAN 含量趋势较缓; 9 月 14 日后即保持基本不变($P > 0.05$), 且 TAN 质量浓度高于鱼虾组.

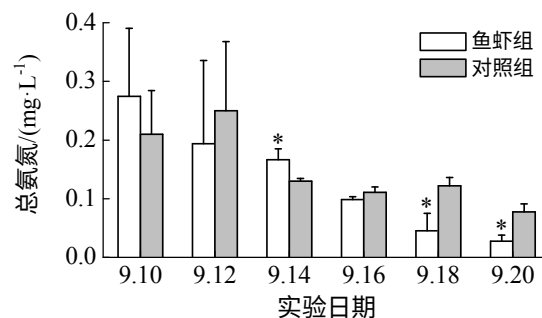


图 1 实验组和对照组总氮质量浓度随时间变化

鱼虾组和对照组水体中 NO_2^- 含量随时间均呈下降趋势($P < 0.05$), 如图 2 所示. 从图 2 可知, 鱼虾组 $\text{NO}_2^- \cdot \text{N}$ 含量下降趋势更明显, 9 月 18 日即稳定至较低水平(9 月 18 日及 20 日差异不显著, $P > 0.05$); 对照组则在 9 月 16 日达到基本稳定(9 月 16 日至 9 月 20 日不同采样日期间差异不显著, $P > 0.05$), 对照组最终 $\text{NO}_2^- \cdot \text{N}$ 含量显著高于鱼虾组($P < 0.05$).

鱼虾组和对照组水体中 $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 含量整体均呈升高趋势, 如图 3 所示. 从图 3 可知, 实验前期鱼虾组和对照组无显著差异($P > 0.05$). 实验后期(9 月 16

日后)鱼虾组和对照组 $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 含量均达到基本稳定(不同采样日期间同组 $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 差异不显著, $P>0.05$), 且鱼虾组 $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 含量显著高于对照组($P<0.05$).

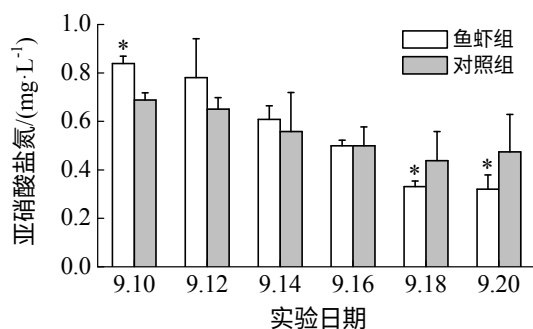


图2 实验组和对照组亚硝酸盐氮质量浓度随时间变化

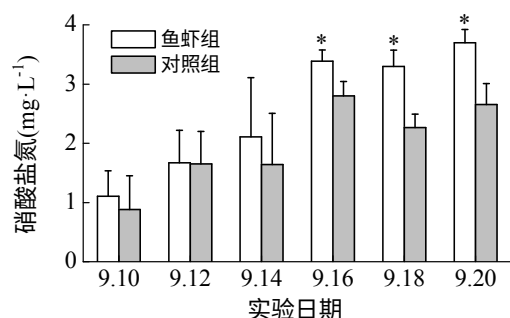


图3 实验组和对照组硝酸盐氮质量浓度随时间变化

2.2 生物絮团基本营养成分

实验结束后,生物絮团所含的粗蛋白含量为(34.38±1.56)%、粗脂肪含量为(2.45±0.94)%、粗灰分含量为(12.24±2.4)%.

2.3 银鲫、凡纳滨对虾的摄食率及生物絮团形成量

取样第一天的值为正常生长的银鲫、凡纳滨对虾体内的 ^{15}N 丰度,分别为0.3713%和0.3704%(图4).银鲫和凡纳滨对虾肌肉中 ^{15}N 丰度均随时间增加,其中银鲫肌肉 ^{15}N 平均丰度为0.3761%,凡纳滨对虾为0.3724%.相同时间内,银鲫肌肉 ^{15}N 丰度均稍高于凡纳滨对虾.

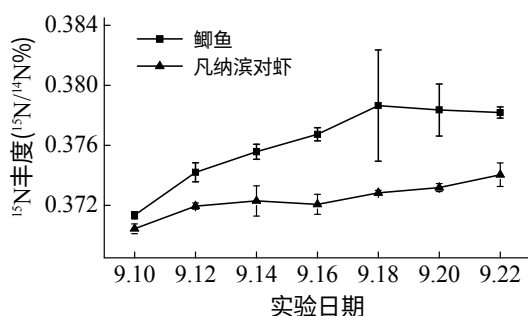


图4 凡纳滨对虾、银鲫肌肉 ^{15}N 丰度随时间变化

根据式(1)可以计算出单位体重银鲫摄食 ^{15}N 的含量为(102.98±2.11) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,单位体重凡纳滨对虾摄食 ^{15}N 的含量为(103.04±21.89) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.根据银鲫和凡纳滨对虾从生物絮团摄食N的日增长量线性回归方程: $y=104.92x+6087$, $R^2=0.739$; $y=135.6x+5888$, $R^2=0.738$ 可得:单位体重银鲫对生物絮团氮日摄食量为(104.92±30.91) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;单位体重凡纳滨对虾对生物絮团氮日摄食量为(135.6±24.17) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,即每千克鱼和虾日吸收蛋白质质量分别为655.75 mg和847.5 mg,或相当于每千克鱼、虾日摄食生物絮团干重量为1907.36 mg和2465.1 mg.

实验期间鱼虾组和不放鱼虾组生物絮团含量呈下降趋势.鱼虾组生物絮团量从(27.23±15.31) $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降到(14.67±6.43) $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$,对照组生物絮团量从(24.67±17.79) $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至(7.33±6.66) $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$,实验后期鱼虾组生物絮团量高于对照组,但差异不显著($P>0.05$).不过由于鱼虾组中凡纳滨对虾和鲫鱼对生物絮团的日摄食量很高,因此鱼虾组实验期间形成的生物絮团总量应显著大于对照组.

3 讨论

3.1 养殖水体中氮元素的流动

生物絮团养殖系统能够将亚硝酸盐和氨氮等对养殖生物有害的无机氮固定为有机氮,降低水体氨氮和亚硝酸盐氮含量,达到改善养殖水体环境的目的^[3,12-14].李朝兵等^[1]认为,生物絮团养殖水体约35.8%氨氮被固定为有机氮;本实验中氨氮和亚硝酸盐含量的显著下降也暗示了其被生物絮团固定为有机氮(图1和图2),这对养殖废水的重复利用具有重要意义.目前大部分研究中均出现了水体硝酸盐的含量大量增加的趋势^[7,15-16],本研究的结果也与此类似(图3),其主要原因可能是由于生物絮团中的部分有机氮被硝化细菌转化为硝酸盐造成的.实验后期,实验组和对照组氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮达到基本稳定状态,可能是由于实验系统中生物絮团的形成和对无机氮的利用达到动态平衡造成的.

3.2 生物絮团的营养成分

生物絮团含有丰富的蛋白质、脂质、灰分等营养,这些营养成分能够基本满足养殖生物的生长需求^[17].李朝兵等^[1]报道称生物絮团的营养成分基

本能够符合罗非鱼鱼种的生长需求,且有助于提高罗非鱼肌肉的蛋白水平;王超等^[18]认为减少投饵量的情况下,对虾能够从生物絮团摄食更多的活性物质.本实验中生物絮团粗蛋白、粗脂肪、粗灰分含量与国内外其他研究结果相比(表1),粗蛋白含量高于草鱼、鳊鱼、斑节对虾、凡纳滨对虾的养殖实验,略低于罗非鱼池塘培养的生物絮团粗蛋白含量;而粗脂肪含量与其他研究基本类似;粗灰分含量低于凡纳滨对虾的实验结果,与其他鱼类实验中絮团粗灰分含量类似.推测生物絮团粗蛋白含量差异的原因可能与养殖模式和养殖动物的食性及代谢特点有关.

表1 不同研究中的生物絮团营养成分

养殖动物	粗蛋白/%	粗脂肪/%	粗灰分/%	来源
罗非鱼	35~50	2.5~9.0	7~10	文献[19]
草鱼	31.38	0.39	—	文献[20]
圣保罗对虾	30.4	4.7	39.2	文献[12]
凡纳滨对虾	25.28~27.05	2.63~2.69	30.71~38.97	文献[21]
鳊鱼	29.14	2.13	13.83	文献[17]
银鲫/凡纳滨对虾	34.38	2.45	12.25	本实验

3.3 生物絮团和养殖动物的相互促进作用

生物絮团能作为饵料供养殖动物摄食,而养殖生物的排氮作用对养殖系统环境保持和再循环也有一定的促进作用^[2,15,17].有研究表明^[8],养殖对虾每天从生物絮团固定的有机氮约为18%~29%.Epp等^[9]得出的结果为单位体重对虾能固定有机氮100~114 mg·kg⁻¹;单位体重罗非鱼能从生物絮团中固定242 mg·kg⁻¹有机氮^[7];单位体重贻贝能从生物絮团中固定有机氮117 mg·kg⁻¹^[5].本实验对银鲫和凡纳滨对虾肌肉¹⁵N丰度的分析表明,在¹⁵N生物絮团养殖系统中生长的银鲫和凡纳滨对虾肌肉中¹⁵N丰度显著高于自然生长的银鲫和凡纳滨对虾($P<0.05$),且¹⁵N丰度呈现持续增长趋势(图4),单位体重银鲫和凡纳滨对虾日固定的有机氮分别为银鲫(104.92±30.91) mg·kg⁻¹,凡纳滨对虾(135.6±24.17) mg·kg⁻¹,相当于单位体重鱼、虾日摄食的生物絮团干重分别为1907.36 mg·kg⁻¹和2465.1 mg·kg⁻¹;根据生物絮团干重和其在水中的体积关系,可以得到每天被摄食的生物絮团体积分别约为63.6 mL和83.14 mL.实验中鱼虾组和对照组的生物絮团生物量均呈下降趋势,但鱼虾组生物絮

团量加上被摄食的部分则明显高于对照组.这可能是由于鱼虾摄食生物絮团的同时,代谢的氮也促进了水体的氮循环和生物絮团的再生.这些结果对生物絮团养殖池塘减少投饵量具有重要的参考价值.银鲫对生物絮团的摄食量与其他研究结果差异不大,但凡纳滨对虾对生物絮团的摄食量则明显高于其他研究结果,这可能与不同的养殖模式及养殖生物的生活习性有关^[5],暗示了鱼虾混养可能会提高凡纳滨对虾的摄食率.

4 结论

生物絮团技术能将水体中的TAN、NO₂⁻-N固定为有机氮,同时有机氮能够被银鲫和凡纳滨对虾固定为自身蛋白;银鲫和凡纳滨对虾的排氮作用和生物絮团的固氮作用能够促进整个养殖系统的氮循环;生物絮团含有银鲫和凡纳滨对虾生长所需要的各种营养物质;单位体重银鲫、凡纳滨对虾日摄食的生物絮团干重分别为1907.36 mg·kg⁻¹和2465.1 mg·kg⁻¹.

参考文献:

- [1] 李朝兵,李志斐,韩林强,等.生物絮团技术对室内培育小规格罗非鱼种的影响[J].水产养殖,2015,36(7):29-35.
- [2] AVNIMELECH Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems[J]. Aquaculture, 1999, 176(3):227-235.
- [3] KIM S, PANG Z, SEO H, et al. Effect of bioflocs on growth and immune activity of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* Postlarvae[J]. Aquaculture Research, 2014, 45(2):362-371.
- [4] 朱方建. 凡纳滨对虾—草鱼混养模式的初步研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- [5] EKASARI J, AZHAR M H, SURAWIDJAJA E H, et al. Immune response and disease resistance of shrimp fed biofloc grown on different carbon sources[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2014, 41(2):332-339.
- [6] LIU L P, HU Z X, DAI X L, et al. Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system[J]. Aquaculture, 2014, 418(4):79-86.
- [7] AVNIMELECH Y, KOCHBA M. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using ¹⁵N tracing[J]. Aquaculture, 2009, 287(1):163-168.
- [8] BURFORD M A, THOMPSON P J, MCINTOSH R P, et

- al. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system[J]. Aquaculture, 2004, 232(1/4):525-537.
- [9] EPP M A, ZIEMANN D A, SCHELL D M. Carbon and nitrogen dynamics in zero-water exchange shrimp culture as indicated by stable isotope tracers[J]. Aquaculture Research, 2002, 33(11):839-846.
- [10] PRESTON N P, SMITH D M, KELLAWAY D M, et al. The use of enriched ^{15}N as an indicator of the assimilation of individual protein sources from compound diets for juvenile *Penaeus monodon*[J]. Aquaculture, 1996, 147(3): 249-259.
- [11] BRITO C, VALLE B D, INTERAMINENSE J, et al. Microbiological quality of *Litopenaeus vannamei* culture using conventional and biofloc systems[J]. Aquaculture Research, 2015, 36:1-11.
- [12] BALLESTER E L C, ABREU P C, CAVALLI R O, et al. Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system[J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 16(2):163-172.
- [13] FURTADO P S, POERSCH L H, WASIELESKY W. Effect of calcium hydroxide and sodium bicarbonate on the water quality and zootechnical performance of *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems[J]. Aquaculture, 2011, 321(1):130-135.
- [14] CRAB R, CHIELENS B, WILLE M, et al. The effect of different carbon sources on the nutritional value of biofloc, a feed for *Macrobrachium rassenbergii* postlarvae [J]. Aquaculture Research, 2010, 41(4):559-567.
- [15] XU W J, PAN L Q. Enhancement of immune response and antioxidant status of *Litopenaeus vannamei* juvenile in biofloc-based culture tanks manipulating high C/N ratio of feed input[J]. Aquaculture, 2013, 412(6):117-124.
- [16] KRUMMENAUER D, SAMOCHA T, POERSCH L, et al. The reuse of water on the culture of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT system[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2014, 45(1):3-14.
- [17] 李朝兵. 生物絮团作为鲮饵料的研究与应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [18] 王超, 潘鲁青, 张开全. 生物絮团在凡纳滨对虾零水交换养殖系统中的应用研究[J]. 海洋湖沼通报, 2015(2): 81-89.
- [19] AZIM M E, LITTLE D C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture, 2008, 283(1):29-35.
- [20] 卢炳国, 王海英, 谢骏, 等. 不同 C/N 水平对草鱼池生物絮团的形成及其水质的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(8): 1220-1228.
- [21] 赵大虎. 添加不同碳源对生物絮团组分和凡纳滨对虾生理健康、生长的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.

Bio-floc Nutrition and Nitrogen Uptake by Shrimp and Silver Prussian Carp in Polyculture Brackish Water

ZHANG Ya-zhuo¹, ZHENG Zhong-ming^{1*}, HUA Jian-quan², ZHENG Yu-qi¹, WANG Zheng¹, LIN Hui-jie¹

(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Cixi Fisheries Technical Extension Station, Cixi 315300, China)

Abstract: The bio-floc nutrition and the uptake nitrogen by silver prussian carp and shrimp based on ^{15}N tracing in polyculture brackish (1.08±0.07)‰ system is investigated. The results show that ammonia nitrogen and nitrite nitrogen can be fixated to bio-floc nitrogen, which can be fixated by silver prussian carp and shrimp, amounting to be (104.92±30.91) (mg·kg⁻¹)·d⁻¹ and (135.6±24.17) (mg·kg⁻¹)·d⁻¹, equivalent to 1 907.36 mg·kg⁻¹ and 2 465.1 mg·kg⁻¹ dry weight of bio-floc respectively. The uptake of bio-floc by shrimp can be improved in fish-shrimp polyculture system; the nitrogen circulation in the pond can be improved by aquaculture animals denitrogen and bio-floc nitrogen fixation cooperation. The levels of ammonia and nitrite nitrogen are found to be significantly low in treatment of the last period of experiment ($P<0.05$) and the values remain at (0.03±0.01) mgL⁻¹ and (0.325±0.035) mgL⁻¹ respectively.

Key words: bio-floc; silver prussian carp; shrimp; water quality

(责任编辑 史小丽)