

施沁璇,王俊,盛鹏程,等.淡水养殖池塘中水体碳氮比对养殖环境的影响[J].江苏农业科学,2017,45(21):186-189.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.21.052

淡水养殖池塘中水体碳氮比对养殖环境的影响

施沁璇^{1,2,3},王俊^{1,2,3},盛鹏程^{1,2,3},罗毅志^{1,2,3},吴琦芳³,黄小红³,叶雪平^{1,2,3}

(1.农业部淡水渔业健康养殖重点实验室,浙江湖州 313001; 2.浙江省鱼类健康与营养重点实验室,浙江湖州 313001;
3.浙江省淡水水产研究所,浙江湖州 313001)

摘要:2015年对浙北地区温室中华鳖、外塘中华鳖、加州鲈、乌鳢、翘嘴红鲌5个淡水养殖品种在1个养殖周期内的养殖水及周边外河水中碳、氮含量进行调查测定,分析不同养殖品种及周边外河水体中的碳氮比(简称C/N)水平。结果显示,各养殖品种养殖水体中总有机碳(简称TOC)含量随养殖时间的延长而增加,总氮(简称TN)含量随养殖时间的延长先增加后减少,在8月达到最大值;而水体中C/N则随养殖时间先减小后增加,且在8月达到最小值;比较养殖水体和周边外河水中的C/N,结果显示,温室中华鳖养殖池水中C/N最低为0.65;翘嘴红鲌养殖池水中最高为5.59,各养殖品种间差异显著($P < 0.05$),但作为养殖水源的周边各外河水间无显著性差异。此外,相关性分析显示,高C/N的养殖水体水质显著优于($P < 0.05$)低C/N的养殖水体水质,说明养殖后期适当添加额外碳源,提高养殖水体C/N,可能是改善养殖环境的有效途径。

关键词:淡水养殖;养殖品种;碳氮比;养殖环境;总有机碳(TOC)含量;总氮(TN)含量

中图分类号: X714 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)21-0186-04

生物絮团技术(biofloc technology,简称BFT)是指通过向养殖水体中大量投饵补充有机碳物质,保持一定的碳氮比,从而定向调控养殖系统微生物群落并且利用微生物转换水中的氨态氮成为菌体蛋白,显著提高饲料利用的一种新型养殖技术^[1]。该技术通过调控养殖水体的碳氮比(简称C/N),可以

改善养殖水质、节约养殖成本,近年来广泛应用于罗非鱼、草鱼、鳊鱼等淡水鱼类的生产养殖过程中^[1-4]。已有的研究表明,乌鳢、加州鲈等淡水经济鱼类养殖池塘中的主要污染物为有机污染物和氮,养殖水体中化学需氧量、氨氮、亚硝酸盐氮等含量过高不仅影响水质,还容易导致病害的发生,但却未见针对养殖水体中C/N的相关研究报道^[5-6]。本研究通过分析浙北地区主要淡水养殖区外河及不同淡水养殖品种池塘水体中的C/N水平,探讨不同养殖品种间的差异及其在养殖周期内的变化规律,阐述水产养殖对周边环境质量的潜在影响,指出提高养殖池塘中C/N的措施。

收稿日期:2016-06-16

基金项目:浙江省公益技术研究农业项目(编号:2016C32075)。

作者简介:施沁璇(1989—),女,浙江嘉兴人,助理工程师,主要从事渔业水域生态环境保护研究。E-mail:shizhuhuan@163.com。

通信作者:叶雪平,推广研究员,主要从事渔业水域生态环境保护研究。E-mail:yxp900@sina.com。

[3]潘克厚,朱葆华.微藻的保种技术及其应用[J].青岛海洋大学学报(自然科学版),2002,32(3):403-408.

[4]马志珍,张继红.海产饵料微藻固定化保种技术[J].中国水产科学,1998(2):57-61.

[5]马志珍.微藻固定化培养技术及其应用前景[J].国外水产,1993(3):1-4.

[6]Rall W F, Fahy G M. Lce-free cryopreservation of mouse embryos at -196 °C by vitrification[J]. Nature, 1985, 313(6003):573-575.

[7]Müller J, Day J G, Harding K, et al. Assessing genetic stability of a range of terrestrial microalgae after cryopreservation using amplified fragment length polymorphism (AFLP) [J]. American Journal of Botany, 2007, 94(5):799-808.

[8]Day J G. Cryo-conservation of microalgae and cyanobacteria [J]. Cryo Letters, 1998, 1:7-14.

[9]Morris G J. Cryopreservation of 250 strains of chlorococcales by the methods of two-step cooling [J]. British Phycological Journal, 1978, 13(1):15-24.

[10]Day J G. Cryopreservation of microalgae and cyanobacteria [J]. Methods in Molecular Biology, 2007, 368(368):141-151.

[11]蔡小宁,陈舒泛,陈俊,等.小球藻的玻璃化超低温保存法[J].植物生理学通讯,2004,40(5):599-601.

[12]Canavate J P, Lubinn L M. Some aspects on the cryopreservation of microalgae used as food for marine species [J]. Aquaculture, 1995, 136(3/4):277-290.

[13]Gorlin J. Stem cell cryopreservation [J]. The Journal of Infusional Chemotherapy, 1996, 6(1):23-27.

[14]王起华,石若夫,程爱华.3种饵料金藻的超低温保存研究[J].中国水产科学,1999,6(2):89-92.

[15]林小园,刘红全,袁卫生.海洋微藻的玻璃化冻存技术研究进展[J].江苏农业科学,2014,42(1):190-194.

[16]闫立强,赵树仁,程爱华,等.两种蓝藻超低温保存抗冻保护剂的研究[J].辽宁师范大学学报(自然科学版),1993(2):153-155.

[17]Wusteman M C, Pegg D E. Differences in the requirements for cryopreservation of porcine aortic smooth muscle and endothelial cells [J]. Tissue Engineering, 2001, 7(5):507-518.

[18]王起华,张恩栋,周春影.藻类种质超低温保存研究概况[J].植物学通报,2002,19(1):21-29.

1 材料与方 法

1.1 样品采集与测定方法

根据 SC/T9102.3—2007《渔业生态环境监测规范 第3部分:淡水》,于2015年5—11月期间每月1次(其中,外塘中华鳖采样时间为2015年6—11月,每月1次;温室中华鳖采样时间为2015年1—4月,每半月1次),对浙北地区(湖州市、嘉兴市)较大规模、具有代表性的21家单一品种养殖场进行7次定点采样调查,涉及中华鳖(温室+外塘)、加州鲈鱼、乌鳢、翘嘴红鲌等5个养殖品种,同步采集养殖池塘(温室)及其周边外河水样,具体分布见表1。按照 HJ 501—2009《水质 总有机碳的测定 燃烧氧化-非分散红外吸收法》、HJ 636—2012《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》、HJ 535—2009《水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法》、HJ/T 84—2001《水质 无机阴离子的测定 离子色谱法》分别测定水样中总有机碳、总氮、氨氮、亚硝酸盐氮的含量。

表1 采样分布情况

养殖品种	试验用养殖场数量(个)	养殖水(个)	外河水(个)
温室中华鳖	3	24	24
外塘中华鳖	4	28	28
加州鲈	3	21	21
乌鳢	6	42	42
翘嘴红鲌	5	35	35

1.2 数据分析

原始数据经 Excel 2010 初步整理后,采用 SPSS 13.0 进行单因素方差分析,并用 Duncan's 检验法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同养殖品种养殖水体中总有机碳、总氮及 C/N 在养殖周期内的变化规律

观察比较不同养殖品种在养殖周期内水体中总有机碳(简称 TOC)、总氮(简称 TN)及 C/N 的变化规律,结果如图1至图3所示。其中,温室中华鳖为人工控温养殖,不参与比较;外塘中华鳖的采样周期为2015年6—11月,其余养殖品种采样周期均为2015年5—11月。

由图1、图2可知,养殖周期内不同养殖品种池水中 TOC 含量随养殖时间的延长,尤其是在养殖后期呈增加趋势;不同养殖品种池水中 TN 含量随养殖时间的延长而增加,且均在8月达到最大值,其中外塘中华鳖为 3.56 mg/L、加州鲈为 6.54 mg/L、乌鳢为 17.2 mg/L、翘嘴红鲌为 5.75 mg/L,之后随着养殖时间的增加,水体 TN 含量有所下降。由养殖周期内不同养殖品种水体中 TOC 和 TN 的含量及其变化,计算得到外塘中华鳖、加州鲈、乌鳢、翘嘴红鲌4种不同养殖品种在养殖周期内水体 C/N 的变化规律。图3显示,各养殖品种水体 C/N 随养殖时间呈“V”形,即开始水体 C/N 随养殖时间的延长而下降,到8月达最小值,其中外塘中华鳖为 3.26 mg/L、加州鲈为 2.51 mg/L、乌鳢为 1.29 mg/L、翘嘴红鲌为 3.46 mg/L,之后随着养殖时间的延长而上升。

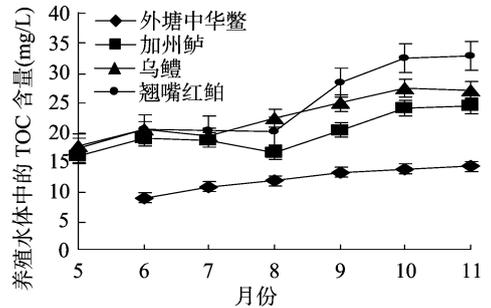


图1 养殖周期内水体 TOC 含量变化

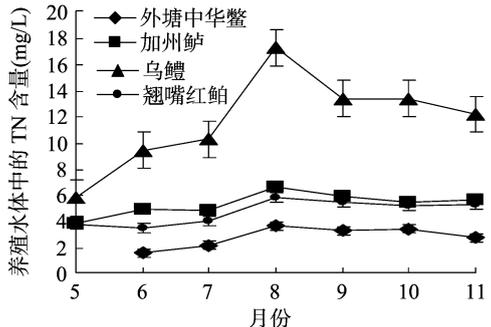


图2 养殖周期内水体 TN 含量变化

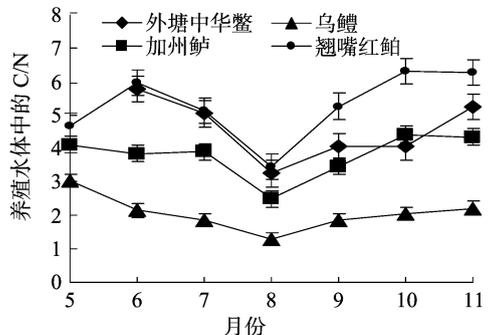


图3 养殖周期内水体 C/N 变化

2.2 养殖周期内不同养殖品种养殖水体中 TOC、TN、氨氮、亚硝酸盐氮的平均含量及 C/N

由表2可知,不同养殖品种养殖水体中 TOC 和 TN 含量均为温室中华鳖养殖池塘最高,分别达到 48.16、74.29 mg/L,显著高于其他养殖品种($P < 0.05$),而外塘中华鳖养殖池塘最低,分别为 12.24、2.89 mg/L。以 TOC 和 TN 含量为基准,计算得到5种不用养殖品种养殖水体中的 C/N。结果显示,温室中华鳖池水中 C/N 最低,为 0.65,翘嘴红鲌池水中 C/N 最高,为 5.59。各养殖品种间均差异显著($P < 0.05$),提示不同养殖品种对养殖水体中的 C/N 影响较大。各养殖品种养殖水体中,氨氮、亚硝酸盐氮含量均为温室中华鳖池最高,分别为 7.25、0.77 mg/L,显著高于除乌鳢池外其余养殖品种养殖池塘($P < 0.05$);外塘中华鳖池塘氨态氮含量最低,为 0.90 mg/L,翘嘴红鲌池塘亚硝酸盐氮含量最低,为 0.04 mg/L。比较不同 C/N 条件下,各养殖水体中氨态氮、亚硝酸盐氮含量。由图4可知,养殖水体中氨态氮、亚硝酸盐氮含量随着 C/N 的增加呈下降趋势。因此,不同养殖品种养殖池塘中,高 C/N 水体中氨态氮、亚硝酸盐氮含量少于低 C/N 水体,水质状况为高 C/N 水体优于低 C/N 水体。

表2 不同养殖品种养殖水体中 TOC、TN、氨态氮、亚硝酸盐氮含量及 C/N

养殖品种	TOC 含量 (mg/L)	TN 含量 (mg/L)	氨态氮含量 (mg/L)	亚硝酸盐氮含量 (mg/L)	C/N
温室中华鳖	48.16 ± 33.28a	74.29 ± 70.16a	7.25 ± 7.19a	0.77 ± 0.78a	0.65 ± 0.47e
外塘中华鳖	12.24 ± 2.78c	2.89 ± 1.32b	0.90 ± 0.67b	0.08 ± 0.07b	4.24 ± 2.11b
加州鲈	19.67 ± 4.95bc	5.35 ± 1.19b	2.64 ± 0.40b	0.13 ± 0.12b	3.68 ± 4.16c
乌鳢	20.71 ± 8.54bc	10.88 ± 5.09b	4.79 ± 2.16ab	0.39 ± 0.36ab	1.90 ± 1.68d
翘嘴红鲌	24.42 ± 10.81b	4.37 ± 1.66b	0.92 ± 0.24b	0.04 ± 0.04b	5.59 ± 6.51a

注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同小写字母表示差异不显著。下表同。

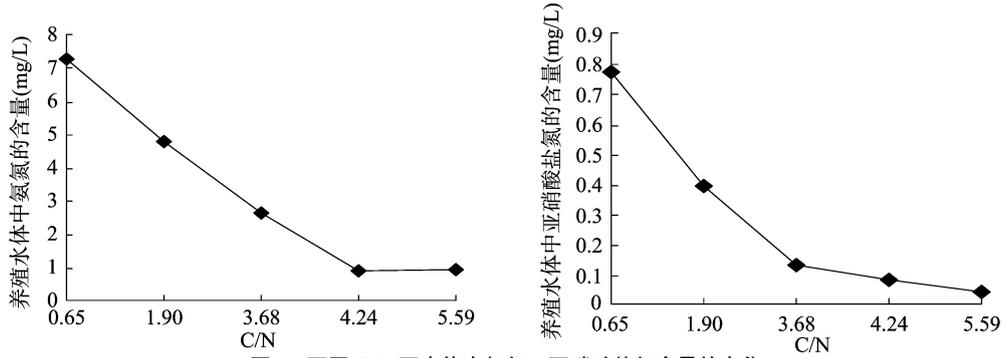


图4 不同 C/N 下水体中氨氮、亚硝酸盐氮含量的变化

2.3 养殖周边外河水中 TOC、TN 含量及 C/N

测定结果(表3)显示,温室中华鳖、外塘中华鳖、加州鲈、乌鳢、翘嘴红鲌5种不同养殖品种周边外河水中 TOC 含量范围在 9.04~9.56 mg/L 之间, TN 含量范围在 2.54~2.78 mg/L 之间, C/N 在 3.51~3.58 之间。外河水中 TOC、TN 平均含量分别为 9.40、2.65 mg/L, C/N 平均为 3.55。方差分析显示,不同养殖品种养殖池塘周边外河水体中 TOC、TN 含量及 C/N 间均无显著性差异,外河水体中 C/N 较为恒定,周边不同种类养殖品种对外河水体中 C/N 影响较小。

表3 不同养殖品种周边外河中 TOC、TN 含量及 C/N

养殖品种	TOC 含量 (mg/L)	TN 含量 (mg/L)	C/N
温室中华鳖	9.56 ± 2.45a	2.78 ± 1.15a	3.54 ± 2.13a
外塘中华鳖	9.04 ± 2.31a	2.54 ± 1.21a	3.56 ± 1.91a
加州鲈	9.44 ± 1.61a	2.69 ± 0.82a	3.51 ± 1.96a
乌鳢	9.33 ± 2.23a	2.62 ± 1.06a	3.56 ± 2.10a
翘嘴红鲌	9.38 ± 1.87a	2.62 ± 0.91a	3.58 ± 2.05a
平均	9.40 ± 2.09	2.65 ± 1.03	3.55 ± 2.03

3 结论与讨论

1989年,以色列学者 Avbimelech 等提出生物絮团反应机制理论,并将其应用到实际养殖生产中,其中合理的 C/N 是形成生物絮团的必要条件^[7-8]。养殖水体中的 C/N 指能够被异养微生物利用的有机碳源(总有机碳)与总氮的比值,反映养殖水环境是依靠何种机制清除氮累积,体现水体的自净能力^[9]。在传统的水产养殖中,水体中的碳主要来源于光合作用和饲料,氮主要来源于饲料。试验结果显示,在养殖过程中,养殖水体中的 TN 含量随养殖时间的延长先增加后减小,在 8 月达到最大值,与对虾精养池塘中的 TN 含量变化一致^[10]。大量氮随着残饵、粪便及代谢产物等残留在养殖系统内无法被利用,导致养殖水体中 TN 的累积,水体 TN 含量的

升高使得养殖水体中的 C/N 随养殖时间的延长而下降^[11]。此时,水体中 C 含量不足,无法满足异养微生物的需求,抑制了异养微生物的同化作用,导致养殖水体 C/N 的降低。此后,随着水体中 C 含量大于 N 含量,使得养殖后期水体的 C/N 有所增加。因此在一个养殖周期内,养殖水体 C/N 在 8 月达到最小值。

研究显示,生物絮团系统内异养微生物的生长速度是硝化细菌的 10 倍,代谢速率比硝化细菌高 40 倍,可以实现对有毒氮的快速异养转化,养殖水体中 C/N > 10 就可以有效改善水质^[12-15]。当养殖环境中 C/N < 10 时,异养微生物主要利用有机氮源,氨化作用导致氨态氮含量增加;而当 C/N > 10 时,养殖环境中的有机氮和无机氮均可得到利用,氨态氮、亚硝酸盐氮可以被消耗^[9]。本试验结果显示,浙江地区温室中华鳖、外塘中华鳖、加州鲈鱼、乌鳢、翘嘴红鲌 5 种养殖品种在正常生产条件下,水体 C/N 均小于 10,水体中氮累积量较高,抑制了异养微生物的生长,无法完全消除养殖水体中的氨态氮、亚硝酸盐氮等有害物质。然而,不同养殖品种间,水体 C/N 的明显差异也引起了养殖水体中氨态氮、亚硝酸盐氮的差异(图 1)。氨态氮和亚硝酸盐氮作为制约水产养殖环境的主要胁迫因子,一般认为,当养殖水体中氨态氮浓度超过 5 mg/L、亚硝酸盐氮浓度达到 0.1 mg/L 时,就会对养殖动物产生危害^[16-17]。本试验结果显示,低 C/N 的温室中华鳖和乌鳢 2 种养殖品种池水中氨态氮和亚硝酸盐氮含量均超过或已接近上述临界危害值,而高 C/N 的翘嘴红鲌和外塘中华鳖 2 种养殖品种池水中氨态氮和亚硝酸盐氮含量则显著低于 ($P < 0.05$) 温室中华鳖养殖水体。这可能与较高的环境 C/N 可以刺激异养微生物的生长,通过竞争获得更多的氧气和空间,抑制自养细菌的生长,实现对无机氮的同化作用有关^[12,18-19]。因此,提高 C/N 可以有效降低养殖水体中氨态氮、亚硝酸盐氮等有毒氮的累积,净化水体改善养殖环境,这与孙盛明等对团头鲂的研究结果^[20]一致。

浙北地区地处长江三角洲杭嘉湖平原腹心地带,河网密布、河道纵横,池塘养殖均以周边外河水作为养殖水源。研究显示,浙北地区不同养殖品种池塘周边外河水体中 TOC、TN 含量及 C/N 水平相近,各外河间无显著性差异。因此,不同的养殖品种可能是各养殖池水间出现 C/N 显著差异的主要原因。在传统的精养模式中,水产动物对饵料的利用率仅为 20%~30%,大量残饵、粪便及代谢产物残留在养殖系统内无法利用^[21-22]。C/N 合理的条件下通过絮凝化作用形成的生物絮团不仅可以净化水体,还可以作为理想的饵料被水产动物摄食利用,提高饲料的利用率,减少对饲料的需求,提高经济效益^[23-24]。因此,生物絮团对水产养殖的另一个重要意义体现在其具有多方面的饵料价值,不同养殖品种养殖池水中 C/N 的显著差异可能会引起饲料利用率的不同,从而对养殖环境造成不同的影响。

研究显示,低 C/N 的温室中华鳖、乌鳢 2 种养殖品种,养殖水体 C/N 低于周边外河,水体自净能力差,可能对周边环境造成潜在威胁。温室中华鳖在养殖过程中往往被密集养殖且大量投喂饲料,富含高蛋白的饲料被摄食后用于生长的相对较少,多数会被动物代谢排放,饵料系数高,饲料利用率低,使得养殖系统内 N 含量严重过量而 C 含量相对不足,C/N 比极低,易造成多种疾病和环境负担^[25]。同样的现状也存在于乌鳢的养殖过程中,其投喂冰鲜饵料的养殖方式虽然近年来正在被逐步研究改进,但传统高密度养殖模式依然是浙北地区乌鳢养殖的主要方式。因此,在养殖后期可以通过适当添加额外的碳源,提高养殖水体 C/N,促进生物絮团的形成,从而改善其养殖环境^[26]。与低 C/N 养殖品种不同,翘嘴红鲌和外塘中华鳖 2 种养殖品种的养殖水体 C/N 高于周边外河水平,水体中氨态氮、亚硝酸盐的含量低,表明养殖水体具有较好的自净能力。朱学宝研究发现,鲢鱼、罗非鱼可以有效利用生物絮团作为它们的直接饵料,营养效果良好^[27]。因此笔者认为,除了微生物的快速异养转化外,这可能与翘嘴红鲌、外塘中华鳖可以利用生物絮团作为其饵料饲料有关,但它们具体的利用率和营养效果有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李朝兵. 生物絮团作为鳊饵料的研发与应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [2] Crab R, Defoirdt T, Bossier P, et al. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges[J]. *Aquaculture*, 2012, 356: 351-356.
- [3] Crab R, Kochva M, Verstraete W, et al. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia[J]. *Aquacultural Engineering*, 2009, 40(3): 105-112.
- [4] 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.
- [5] 刘乾甫, 赖子尼, 杨婉玲, 等. 珠三角地区密养淡水鱼塘水质状况分析与评价[J]. *南方水产科学*, 2014, 10(6): 36-43.
- [6] 杭小英, 周志明, 李 倩, 等. 不同养殖模式对南美白对虾生长、病害发生与水质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(5): 191-193.
- [7] Avnimelech Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems[J]. *Aquaculture*, 1999, 176(3): 227-235.
- [8] Hari B, Kurup B M, Varghese J T, et al. The effect of carbohydrate addition on water quality and the nitrogen budget in extensive shrimp culture systems[J]. *Aquaculture*, 2006, 252(2): 248-263.
- [9] 赵 培. 生物絮团技术在海水养殖中的研究与应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- [10] 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.
- [11] 刘海春, 刘志国, 董学洪. 罗氏沼虾养殖池塘水质变化规律研究[J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(6): 397-399.
- [12] Hargreaves J A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture[J]. *Aquacultural Engineering*, 2006, 34(3): 344-363.
- [13] Ebeling J M, Timmons M B, Bisogni J J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems[J]. *Aquaculture*, 2006, 257(1): 346-358.
- [14] Schneider O, Sereti V, Eding E H, et al. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems[J]. *Aquacultural Engineering*, 2005, 32(3/4): 379-401.
- [15] Goldman J C, Caron D A, Dennett M R. Regulation of gross growth efficiency and ammonium regeneration in bacteria by substrate C:N ratio[J]. *Limnology and Oceanography*, 1987, 32(6): 1239-1252.
- [16] Tovar A, Moreno C, Manuel-Vez M P, et al. Environmental impacts of intensive aquaculture in marine waters[J]. *Water Research*, 2000, 34(1): 334-342.
- [17] Miranda-Filho K C, Pinho G L L, Wasielesky W, et al. Long-term ammonia toxicity to the pink-shrimp *Farfantepenaeus paulensis*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C (Toxicology & Pharmacology)*, 2009, 150(3): 377-382.
- [18] Satoh H, Okabe S, Norimatsu N, et al. Significance of substrate C/N ratio on structure and activity of nitrifying biofilms determined by in situ hybridization and the use of microelectrodes[J]. *Water Science and Technology*, 2000, 41(4/5): 317-321.
- [19] Zhu S M, Chen S L. Effects of organic carbon on nitrification rate in fixed film biofilters[J]. *Aquacultural Engineering*, 2001, 25(1): 1-11.
- [20] 孙盛明, 朱 健, 戈贤平, 等. 零换水条件下养殖水体中碳氮比对生物絮团形成及团头鲂肠道菌群结果的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(3): 948-955.
- [21] Azim M E, Verdegem M C J, Singh M, et al. The effects of periphyton substrate and fish stocking density on water quality, phytoplankton, periphyton and fish growth[J]. *Aquac Res*, 2003, 34(9): 685-695.
- [22] van Dam A A, Beveridge M C M, Azime M E, et al. The potential of fish production based on periphyton[J]. *Rev Fish Biol Fish*, 2002, 12(1): 1-31.
- [23] 李 彦. 罗非鱼养殖水体中添加碳源对水质及生长的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [24] van Hamersveld E H, van der Lans R G J M, et al. The role of lipids in the flocculation of *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 1997, 56(2): 190-200.
- [25] 许国煊, 郑连春, 赵新安, 等. 不同蛋白含量的饲料对幼鳖生长影响的初探[J]. *水利渔业*, 2003, 23(1): 51-52.
- [26] 钱 伟, 陆开宏, 郑忠明, 等. 碳源及 C/N 对复合菌群净化循环养殖废水的影响[J]. *水产学报*, 2012, 36(1): 1880-1890.
- [27] 朱学宝. 细菌絮凝体对滤食性鱼类饵料效果的研究[J]. *水产学报*, 1989, 13(4): 339-345.