

# 凡纳滨对虾养殖池塘 pH 值、碱度、硬度和 CO<sub>2</sub> 浓度作用机理与调控

王大鹏,何安尤,谢达祥,李长伙,陈晓汉

(广西壮族自治区水产研究所/广西遗传育种与健康养殖重点实验室,广西南宁 530021)

**摘要:** 分析了 pH 值、碱度、硬度和 CO<sub>2</sub> 浓度之间的相互作用机理,从促进光合作用、对氨及重金属毒性的影响等方面阐述了各指标在凡纳滨对虾养殖水质管理中的重要性,并提出了以碱度和硬度作为重点池塘水质调控指标的概念,以农业石灰作为碱度和硬度的调节剂,以农业石膏作为硬度的单独调节剂,维持池塘水质稳定,提高凡纳滨对虾养殖成功率。

**关键词:** pH 值;碱度;硬度;CO<sub>2</sub> 浓度;凡纳滨对虾;池塘养殖

**中图分类号:** S963.14 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)05-0352-02

pH 值、碱度、硬度和 CO<sub>2</sub> 浓度都是衡量凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 养殖池塘水质的重要参数,对养殖池塘的初级生产力、凡纳滨对虾受到的环境胁迫水平、虾体健康状况、溶解氧的供应和氨、重金属离子的毒性等都有影响。其中,CO<sub>2</sub> 浓度和 pH 值的波动周期一般为 1 d;而碱度和硬度相对稳定,波动周期可为 1 周甚至 1 个月,其波动周期主要取决于池塘底质的 pH 值、矿物质含量以及投饵量。对于一般的养殖户,除 pH 值在养殖过程中可做到定期监测外,对其他 3 个指标关注较少,但实际上这 4 个指标的相互关联性极强,忽视其他 3 个指标,单独对 pH 值进行监测和调控,很难取得良好的效果,甚至会适得其反,笔者在此分析了这 4 个指标之间的相互作用机理,并提出了有效的调控手段。

## 1 pH 值和 CO<sub>2</sub> 浓度

pH 值是表示水体酸碱性的指标,代表水体中的 H<sup>+</sup> 浓度,定义为 H<sup>+</sup> 摩尔浓度的负对数,pH 值低于 7 表示水为酸性,高于 7 表示水为碱性,凡纳滨对虾在 pH 值为 7.5~8.5 的弱碱性水中生活较好,在低于 7.0 或高于 9.5 的水中生长即受到限制,pH 值过低会导致凡纳滨对虾血液的 pH 值下降,降低血液载氧能力,导致凡纳滨对虾缺氧浮头;而 pH 值过高,则容易腐蚀凡纳滨对虾的鳃组织,降低摄食量。此外,pH 值日变化波动过大,说明水体缓冲能力较差,藻类种群更新过快,易导致藻华现象和夜间缺氧。结果表明,凡纳滨对虾养殖池塘 pH 值日变化在 0~0.5 之间波动较为适宜<sup>[1]</sup>。池塘 pH 值的日变化是由浮游植物的呼吸作用和光合作用导致的,日落之后,池塘浮游植物光合作用停止,浮游植物和高密度凡纳滨对虾的呼吸作用会造成 CO<sub>2</sub> 浓度迅速升高。呼吸作用释

放的 CO<sub>2</sub> 和水反应生成碳酸,导致 pH 值下降,其反应方程式为:  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ 。

除降低池塘 pH 值外,CO<sub>2</sub> 本身对凡纳滨对虾无毒性,但池塘的 CO<sub>2</sub> 浓度升高几乎总是伴随着溶解氧浓度降低,在给定的溶解氧浓度下,CO<sub>2</sub> 浓度越高,凡纳滨对虾浮头的可能性越大,因为 CO<sub>2</sub> 可通过降低虾的鳃血液 pH 值而限制其血液携带氧气的容量<sup>[2]</sup>。

## 2 碱度和硬度

碱度和硬度均是衡量池塘水质的重要参数,但这 2 个概念经常因使用同一个单位(mg/L,均以 CaCO<sub>3</sub> 的含量计,下文同)而混淆。碱度表示水体中碱基的数量,包括碳酸氢根(别称重碳酸根)、碳酸根、磷酸根、氢氧根等,最重要的组成部分是碳酸根和碳酸氢根;硬度则表示水体中二价离子(钙、镁、铁等)的总浓度,其中钙和镁是最重要的组成部分。如果碱度和硬度都是因溶解了石灰石(CaCO<sub>3</sub>)而形成的,则其浓度类似。如果碱度是由溶解的碳酸氢钠形成的,则表现出高碱度、低硬度的特征。在具有很高硬度的情况下,酸性水的碱度可以很低甚至为 0。凡纳滨对虾养殖池塘的适宜碱度范围在 90~150 mg/L 之间。

由于前期底质处理时生石灰的使用和饲料、水质处理剂中钙元素的添加,凡纳滨对虾养殖池塘水质的硬度一般由钙离子形成,钙离子对凡纳滨对虾各生长阶段的蜕皮、生长和能量收支等均可产生影响<sup>[3-6]</sup>,其浓度达到 40 mg/L,即硬度达到 100 mg/L 以上为宜。

## 3 碱度、硬度、pH 值和 CO<sub>2</sub> 浓度

在中、高碱度和相似硬度的水体中,pH 值是中性或微碱性的(7.0~8.3),不会出现大幅度的波动。碱度越低,pH 值日波动越剧烈,当碱度低于 20 mg/L 且产生藻华时,pH 值的日波动可在 6~10 之间<sup>[3]</sup>。这是由于池塘中的大部分溶解氧和初级生产力来自浮游植物的光合作用,光合作用吸收 CO<sub>2</sub>,CO<sub>2</sub> 的移除导致 pH 值上升,同时浮游植物结合碳酸氢根形成 CO<sub>2</sub>,并将其用于光合作用,释放碳酸根,碳酸根与水结合生成强碱

收稿日期:2012-11-04

基金项目:广西社会公益研究项目(编号:GXIF-2012-11);广西科技兴海专项(编号:HYKJXM-2012-05)。

作者简介:王大鹏(1981—),男,辽宁开原人,硕士,工程师,主要从事养殖生态学研究。E-mail:oucwdp@163.com。

通信作者:陈晓汉,研究员。E-mail:Chxhn@163.com。

$\text{OH}^- + 2\text{HCO}_3^- + \text{浮游植物} = \text{CO}_2(\text{光合作用}) + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$  (强碱性)。

在中、高碱度水体中,碳酸盐和碳酸氢盐可与碱反应,使 pH 值维持在 7~8 之间。而低碱度、高硬度的水体在 pH 值高于 8.3 时, Ca<sup>2+</sup> 可与 OH<sup>-</sup> 结合形成石灰石沉淀,这也是一些养殖池塘硬度突降的原因。

pH 值可使用手持式 pH 计或试剂盒直接监测,碱度和硬度可使用滴定法或直接使用试剂盒测定,CO<sub>2</sub> 浓度的测定可在定量水样中加入定量饱和 Ba(OH)<sub>2</sub> 溶液形成一定量沉淀物,再将沉淀物用预先准确称量的滤纸过滤后烘干,准确称量总重量,减去滤纸重量即可得出<sup>[7]</sup>。

#### 4 pH 值、碱度和硬度对氨及重金属毒性的影响

碱度测量有 2 种滴定方法,即分别利用酚酞(滴定终点 pH 值为 8.3)和甲基橙作为指示剂(滴定终点 pH 值为 4.5),一般将用甲基橙作为指示剂测定的碱度称为总碱度。一般将这 2 种测定方法结合使用,酚酞指示剂方法可得到 OH<sup>-</sup> 的浓度,而甲基橙指示剂方法得到 OH<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的总浓度(其他形式的碱基浓度较低),二者差值即为 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的浓度。氨的毒性取决于非离子氨形式的浓度,当 pH 值增加时,非离子氨浓度也随之增加,因此,应测量碱度高的水域的碱度组成形式,OH<sup>-</sup> 会增加氨的毒性,而 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 有助于降低 pH 值,减弱非离子氨的毒性。通常认为硬度与氨的毒性无关。

凡纳滨对虾池塘养殖较少使用铜、锌制剂杀灭纤毛虫等,因为硫酸铜对凡纳滨对虾具有较强的毒性<sup>[8]</sup>。水体中的铜和锌主要来自凡纳滨对虾养殖饵料添加剂<sup>[9]</sup>,重金属在酸性条件下更易溶解。而溶解态或游离态的 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 过高时,对凡纳滨对虾有毒性作用。形成碱度的多种碱基,均可与 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 结合,产生毒性轻的或难溶形式的铜和锌,从而降低重金属的毒性。高浓度的钙和镁对铜和锌会产生拮抗作用,因此水体保持一定硬度也有助于降低铜和锌的毒性。

#### 5 调控方法

在池塘中,CO<sub>2</sub> 浓度一般不会超过 5~10 mg/L,增氧机可以有效促使多余的 CO<sub>2</sub> 扩散到大气中,稀释的石灰水也可去除 CO<sub>2</sub>,但此法会造成 pH 值快速上升,一般不推荐使用。

在凡纳滨对虾养殖过程中,pH 值、碱度和硬度均呈逐渐下降的趋势,养殖业者往往使用低浓度的石灰水来提升 pH 值,同时也提高了碱度和硬度,但这种方法并不可取,因为石灰水也即 Ca(OH)<sub>2</sub> 溶液是通过提升 OH<sup>-</sup> 浓度来快速提升碱度,这会造成 pH 值的骤升。适宜的方法是通过调节碱度和硬度,使 pH 值处于一个稳定的范围。最经济的方法是通过添加农业石灰来提升碱度和硬度,农业石灰的主要成分为方解石质石灰岩(CaCO<sub>3</sub>)或白云石质石灰岩[CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>],它在提升碱度和硬度的同时也可使 pH 值稳定在 8.0~8.3

之间,恰在凡纳滨对虾生长的最适 pH 值范围之内。

当池塘碱度较为适宜、须单独提升池塘硬度时,可使用农业石膏(CaSO<sub>4</sub>),农业石膏不仅可以提升硬度,还有一定程度的净水作用,可以通过提升光的穿透程度以促进浮游植物的生长,提高池塘初级生产力,这对于浑浊水体较适宜。池塘施加农业石膏后,若立即添加磷肥会导致磷与钙结合形成磷酸钙沉淀,因此在农业石膏施用的 2 周之内不宜施用磷肥。同样,在碱度过低的池塘中,磷肥同样不宜被浮游植物利用。长期监测结果表明,水质良好的池塘的碱度应维持在 90 mg/L 以上,硬度应高于 100 mg/L。

#### 6 结论

凡纳滨对虾对温度、盐度、pH 值、氨等都有很宽的耐受范围<sup>[1]</sup>,但是需有一个适应或称“驯化”的过程,养殖过程中最重要的是防止这些指标在短时间内大幅度变化,也即所谓的“突变”。适宜碱度和硬度有助于提升水体的缓冲能力,防止因外界因素的变化造成水质的突变。传统的水质处理方法如调节 pH 值和施肥均忽视了对碱度和硬度这 2 个关键指标的调节。使用农业石灰或农业石膏提升碱度和硬度,则 pH 值和 CO<sub>2</sub> 浓度自然维持在适宜水平,从而使池塘水质保持稳定,可提高凡纳滨对虾养殖的成功率。

#### 参考文献:

- [1] 王吉桥. 南美白对虾生物学研究与养殖[M]. 北京:海洋出版社,2003.
- [2] Vinatea L, Gálvez A O, Browdy C L, et al. Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: interaction of water quality variables[J]. Aquacultural Engineering, 2010, 42(1): 17-24.
- [3] 侯纯强, 王芳, 董双林. 低钙浓度波动对凡纳滨对虾稚虾蜕皮、生长及能量收支的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(3): 536-542.
- [4] 陈昌生, 纪德华, 王兴标, 等. Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 对凡纳滨对虾存活及生长的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(4): 413-418.
- [5] 谢达祥, 陈晓汉, 黄均, 等. Ca<sup>2+</sup> 与 Mg<sup>2+</sup> 浓度对凡纳滨对虾糠虾幼体育成仔虾成活率和生长的影响[J]. 西南农业学报, 2007, 20(4): 787-794.
- [6] 谢达祥, 陈晓汉, 黄均, 等. 水体中钙和镁对凡纳滨对虾幼体成活率和生长的影响[J]. 水利渔业, 2007, 27(5): 46-51.
- [7] 杨泽, 杨仁华. 溶解二氧化碳观测方法探讨[J]. 地震研究, 2004, 27(增刊): 52-56.
- [8] 刘淇, 李健, 王群, 等. 淡水养殖南美白对虾慎用硫酸铜[J]. 中国水产, 2005(5): 50-51.
- [9] 宋维彦, 王秀敏, 靳桂双. 铁铜锌对凡纳滨对虾生长和非特异免疫的影响[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(6): 376-379.