

# 碱度调节对南美白对虾室内高密度养殖 水质及生长性状的影响

王大鹏, 谢达祥, 张 彬, 赵永贞, 陈晓汉\*

(广西水产研究所/广西水产遗传育种与健康养殖重点实验室, 南宁 530021)

**摘要:**【目的】研究碱度调节对南美白对虾养殖水质和生长性状的影响,为零换水有氧异氧养殖系统(ZEAH)适宜碱度的选择提供参考。【方法】采用ZEAH养殖理念,通过泼洒碳酸氢钠( $\text{NaHCO}_3$ )将12个南美白对虾室内高密度养殖池的碱度分别控制在:T1碱度130 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ;T2碱度100 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ;T3碱度70 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ;T4不调节碱度,每处理设3个重复。在63 d的养殖周期内,定期测量养殖水体理化参数和对虾生长性状参数。【结果】T1和T2处理的养殖水体主要理化参数显著优于T3和T4处理( $P<0.05$ ),但T1和T2处理间差异不显著( $P>0.05$ );各处理的氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、磷酸盐、悬浮物和溶解 $\text{CO}_2$ 均随养殖时间的增加不断上升,但高碱度处理上升速率较慢。除成活率和饵料转化率外,T1和T2处理的对虾生长性状参数也显著优于T3和T4处理( $P<0.05$ )。从维持碱度水平来看,也是以T1(碱度调节间隔时间6~9 d)和T2(碱度调节间隔时间9~12 d)处理的效果较优。【结论】在高密度养殖系统中,使用碱性化合物增加碱度及提高水体缓冲能力是十分有必要的。综合考虑养殖成本和生态效益,以养殖水体碱度维持在100 mg/L  $\text{CaCO}_3$ 为宜。

**关键词:** 南美白对虾; 碱度调节; 水质; 生长性状; 零换水有氧异氧养殖系统(ZEAH); 碳酸氢钠( $\text{NaHCO}_3$ )

中图分类号: S945.46

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2013)03-0511-05

## Effect of alkalinity regulation on water quality and growth performance of *Litopenaeus vannamei* reared indoor with high density

WANG Da-peng, XIE Da-xiang, ZHANG Bin, ZHAO Yong-zhen, CHEN Xiao-han\*

(Guangxi Key Laboratory of Aquatic Genetic Breeding and Healthy Aquaculture/Guangxi Institute of Fisheries, Nanning 530021, China)

**Abstract:**【Objective】The effect of alkalinity regulation on water quality and growth performance of *P. vannamei* was studied to provide relevant information for suitable alkalinity selection of the zero exchange aerobic heterotrophic (ZEAH).【Method】Based on the ZEAH concept, four treatments with three replicates of each were set (T1, alkalinity 130 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ; T2, alkalinity 100 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ; T3, the alkalinity 70 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ; T4, no alkalinity adjustment) for control alkalinity of 12 *P. vannamei* indoor high-density breeding ponds. Within 63 days of the breeding cycle, water physicochemical parameters and the shrimp growth traits parameters were recorded on a regular basis.【Result】The results showed that physical and chemical parameters and breeding traits parameters (excepting for survival rate and bait conversion rate) of T1 (130 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) and T2 (100 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) group were significantly better than those of T3 and T4 ( $P<0.05$ ). Between T1 group and T2 group, the difference was not significant. The ammonia nitrogen, nitrite, nitrate, phosphate, suspended solids and solvent  $\text{CO}_2$  in water of all treatments showed increase with the elongation of breeding time, but high alkalinity treatment increased slowly. The alkalinity maintaining effect of T1 group (alkalinity adjustment interval 6 to 9 days) and the T2 group (alkalinity adjustment interval 9 to 12 days) were better than those of T3 and T4 treatments.【Conclusion】Considering ecological benefits and costs, it's optimum to maintain alkalinity at 100 mg/L  $\text{CaCO}_3$ .

**Key words:** *P. vannamei*; alkalinity regulation; water quality; growth performance; ZEAH;  $\text{NaHCO}_3$

## 0 引言

【研究意义】零换水有氧异氧养殖系统(Zero

exchange aerobic heterotrophic, ZEAH)是以高养殖密度、高强度充气和使用微生物絮体或絮凝体为特

收稿日期: 2012-09-06

基金项目: 广西社会公益研究专项项目(CXIF-2012-11)

作者简介: \* 为通讯作者, 陈晓汉(1962-), 研究员, 主要从事对虾育种及健康养殖研究工作, E-mail: cxhxn@163.com. 王大鹏(1981-), 主要从事水产养殖生态学研究, E-mail: wucwdp@163.com

点的无水交换养殖模式,近年在国外发展较快(Avnimelech 2007, De Schryver et al. 2008)。相对于传统养殖模式,该养殖模式极大降低了养殖废水的排放,减少了对环境的污染,符合可持续发展水产养殖的理念;同时降低了传播疾病的风险,减少了海水养殖对离海岸线距离的依赖(Mcintosh et al. 2000, Moss et al. 2001, Burford et al. 2003)。液体碱度是表示其吸收质子能力的参数,代表液体的缓冲能力,即维持酸碱平衡的能力: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ 。通常用水体中所含能与强酸定量作用的物质总量来标定, $\text{HCO}_3^-$ 和 $\text{CO}_3^{2-}$ 是主要的碱度组成部分,可用等值的 $\text{CaCO}_3$ 表示( $\text{mg/L CaCO}_3$ )。【前人研究进展】已有研究表明,高碱度可以减少pH波动(Van Wyk and Scarpa, 1999),对南美白对虾的生长也是有利的(Vinatea et al. 2010)。Wasielisky等(2006)认为南美白对虾生物絮凝技术(BFT)养殖系统中的悬浮颗粒物可以显著提高饵料转化率,降低生产成本,但因为缺乏水交换,碱度会在养殖过程中逐渐降低,因此必须及时调节补充。Ebeling等(2006)的研究结果表明,每克氮氮转化为异养微生物的生物量,就会消耗4.71 g溶解氧、3.57 g碱度和15.17 g碳水化合物,最终转化为8.07 g微生物生物量和9.65 g的 $\text{CO}_2$ 。Ballester等(2010)认为提高碱度可增加这些系统的生产力,而通过自然生产力提高饵料转化率,可有效降低饵料中的鱼粉含量。【本研究切入点】我国在利用微生物构建高密度养殖系统方面的研究较少,在碱度调节方面也未见报道。【拟解决的关键问题】利用ZEAH养殖理念,通过在水中投放谷朮作为悬浮培养基及泼洒生物制剂的方法,构建简明的零换水室内水泥池高密度养殖系统,然后通过投放碳酸氢钠( $\text{NaHCO}_3$ )将养殖池的碱度控制在不同水平,对比分析碱度调节对养殖水质和南美白对虾生长性状的影响,以期对ZEAH养殖模式适宜碱度的选择提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验共使用12个4 m×3 m的水泥池,养殖水深1.5 m,即每池水体为18 m<sup>3</sup>,投放平均体重5.5±0.2 g的南美白对虾3000尾,平均养殖密度166尾/m<sup>2</sup>。将12个水泥池分为4个处理,每处理3个重复,T1:用 $\text{NaHCO}_3$ 将养殖池碱度维持在130 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ;T2:用 $\text{NaHCO}_3$ 将养殖池碱度维持在100 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ;T3:用 $\text{NaHCO}_3$ 将养殖池碱度维持在70 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ;T4:未对碱度进行调节。

### 1.2 饲养管理

试验全程持续63 d。养殖过程中投喂明辉牌对虾饵料,每天投喂两次(6:30和18:30),初始投喂量为对虾体重的8‰,上午投喂3‰,下午投喂5‰,使用投饵盘以便于观察残饵,并根据24 h的观察结果和对虾每周测量的平均体重进行适当调节。试验期间光照强度及光周期为2500 lx:50 lx=14 h:10 h。养殖用水为经石灰沉淀和曝气处理的天然海水,使用前再用生物棉过滤。在养殖过程中,为保证微生物生长以糖蜜(37.46% C, 0.57% N)作为微生物碳源。根据微生物每转化1 g氮氮为自身生物量,需要消耗6 g碳(Ebeling et al., 2006),定期投放糖蜜调节碳氮比,并视情况补充投放微生物制剂(净池灵,主要成分为芽孢杆菌)。

### 1.3 水质理化参数和生长性状测定

试验期间水温保持在27℃以上,最高水温32℃,不加温,各养殖池水温变化基本一致。水温、pH和溶解氧每天测定1次,盐度和碱度每3 d测定1次,氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、磷酸盐、悬浮物、溶解 $\text{CO}_2$ 每7 d测定1次,测定方法按照GB 17378.4-2007。此外,每隔7 d从各养殖池随机捞取30尾对虾分别称重(±0.1 g),养殖试验结束后测量各池总重,并计算各处理组的生长性状参数及成活率。

(1)成活率  $S(\%) = \text{存活虾数} / \text{初始虾数} \times 100$

(2)终均重  $\text{FW}(\text{g}) = \text{收获总重} / \text{存活虾数目}$

(3)体重增长  $\text{WG}(\text{g}) = \text{终重} - \text{初始重}$

(4)每周增长重量  $\text{WG/W}(\text{g/week}) = \text{体重增长} / \text{养殖周数}$

(5)最终生物量  $\text{FB}(\text{g}) = \text{收获总重}$

(6)饵料转化率  $\text{FCR} = \text{投入饵料} / (\text{收获总重} - \text{初始总重})$

### 1.4 统计分析

用SPSS 17.0软件对试验数据进行单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 养殖水质理化参数的变化情况

各水质理化参数的计算方法为养殖全程测量结果取平均值后,再计算各重复间的平均值和标准差。由表1可知,各处理间水温、盐度、溶解氧差异均不显著( $P>0.05$ ,下同),pH和碱度的组间差异显著( $P<0.05$ ,下同),均表现为 $T1>T2>T3>T4$ ;溶解 $\text{CO}_2$ 的变化则刚好与pH、碱度相反,表现为 $T1<T2<T3<T4$ ,且各组间差异均显著。由图1还可以看出,各处理组的氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、磷酸盐、悬浮物和溶解 $\text{CO}_2$ 均随养殖时间的增加不断上升,但高碱度处理上升速率较慢,说明高碱度对保持养殖池水质具有良好的促进作用。

表 1 各处理组养殖水质理化参数的对比

Tab.1 Physicochemical parameter comparison in different experimental treatments

理化参数 Physicochemical parameter	处理 Treatment			
	T1	T2	T3	T4
水温(℃) Water temperature	28.1±0.3	28.1±0.2	28.1±0.2	28.1±0.2
盐度(‰) Salinity	27.8±0.2	27.8±0.2	27.8±0.2	27.8±0.2
溶解氧(mg/L) Dissolved oxygen	6.4±0.3	6.3±0.3	6.3±0.3	6.4±0.2
pH	7.84±0.02a	7.53±0.01b	7.32±0.02c	7.10±0.01d
碱度(mg/L CaCO <sub>3</sub> ) Alkalinity	134.3±0.6a	111.0±1.0b	89.0±0.2c	69.3±0.6d
氨氮(mg/L) Ammonia nitrogen	0.43±0.03c	0.47±0.02bc	0.52±0.01ab	0.57±0.02a
亚硝酸盐(mg/L) Nitrite	0.60±0.02c	0.68±0.02b	0.75±0.02ab	0.80±0.03a
硝酸盐(mg/L) Nitrate	2.91±0.10c	3.27±0.12b	3.69±0.10a	3.91±1.18a
磷酸盐(mg/L) Phosphate	0.050±0.003c	0.053±0.003bc	0.058±0.001b	0.069±0.003a
悬浮物(mg/L) Suspended solid	115±8ab	99±2c	101±3bc	117±8a
溶解CO <sub>2</sub> (mg/L) Dissolved CO <sub>2</sub>	1.75±0.08d	2.16±0.03c	2.47±0.08b	2.84±0.01a

同行数据后不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同  
Different lower-case alphabets in the same column represent significant difference at  $P<0.05$ . The same applies below

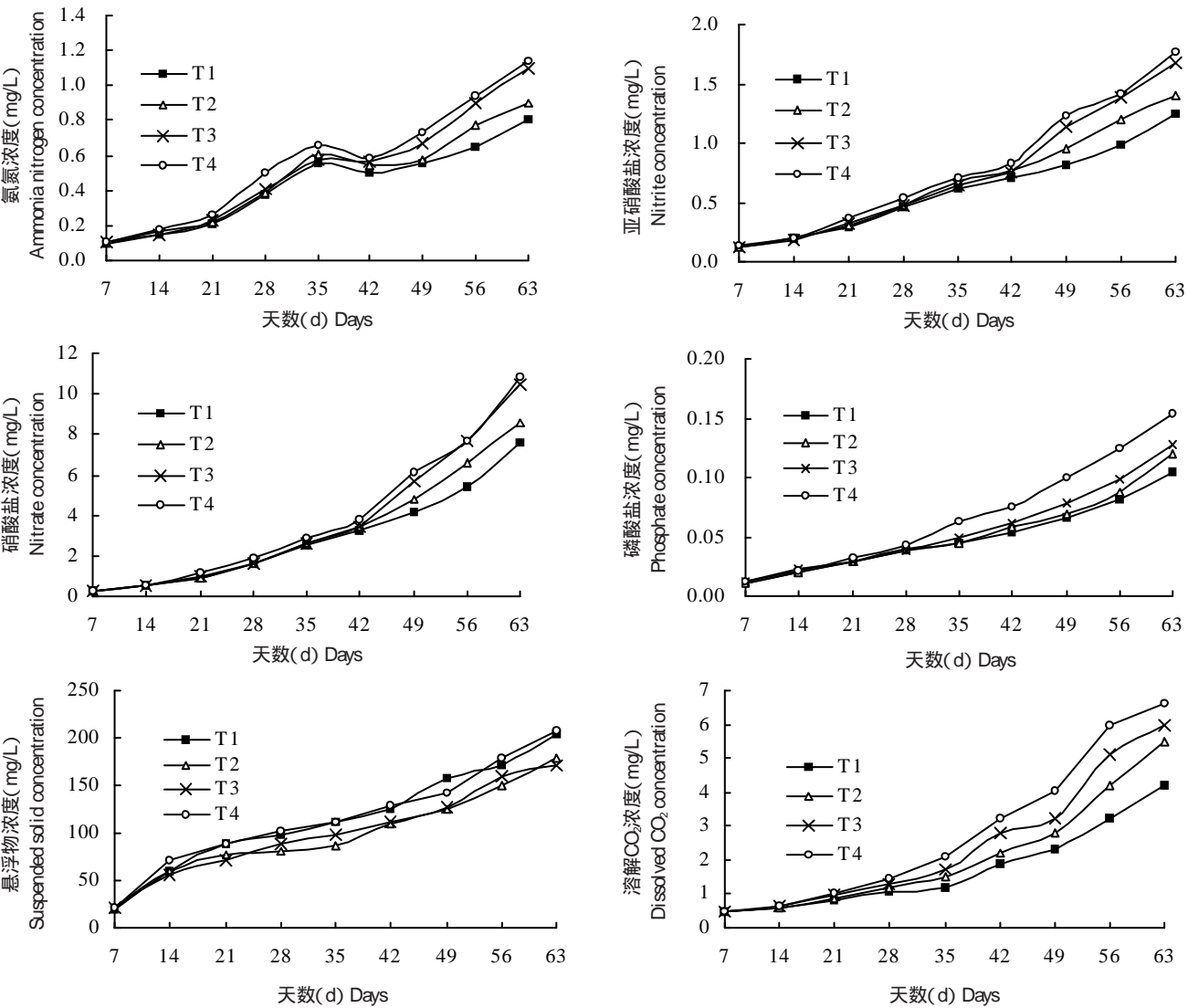


图 1 试验期间各处理养殖水质理化参数的变化趋势  
Fig.1 Physicochemical parameters of water quality change trend in different experimental treatments

2.2 养殖性状参数的变化情况

由表2可知,各处理组间的南美白对虾成活率差异不显著,其中T2和T4处理的成活率相对较高。对虾的终均重、体重增长、每周增长重量和最终生物量等

4项参数变化趋势表现相似,均是T1和T2处理显著高于T3和T4处理,T3处理又显著高于T4处理;T1、T2和T3处理的饵料转化率差异不显著,但均显著低于T4处理。



表 2 各处理组养殖性状参数的对比  
Tab.2 Breeding trait parameters in different experimental treatments

养殖性状 Breeding trait	处理 Treatment			
	T1	T2	T3	T4
成活率(%) Survival rate	82.97±2.15	85.63±4.84	82.37±1.70	85.47±5.05
终均重(g) Final average weight	17.03±0.35a	16.90±0.10a	15.73±0.11b	13.13±0.45c
体重增长(g) Weight increment	11.53±0.35a	11.40±0.10a	10.23±0.11b	7.63±0.45c
每周增长重量(g/week) Weekly weight increment	1.28±0.04a	1.27±0.01a	1.13±0.01b	0.84±0.05c
最终生物量(kg) Final biomass	42.38±0.43a	43.41±2.24a	38.88±1.05b	33.63±0.84c
饵料转化率 FCR	1.47±0.06b	1.47±0.04b	1.50±0.03b	1.73±0.08a

2.3 碱度变化与调节方式

T1处理共调节碱度7次，分别在第9、18、24、33、39、48和54 d ;T2处理共调节碱度5次，分别在第18、27、39、48和60 d ;T3处理共调节碱度3次，分别在第27、39和51 d ;T4处理在整个养殖过程中不做任何调节。由图2可以看出，碱度随养殖进程呈降低趋势，而要维持的碱度越高，其调节的间隔时间就越短。

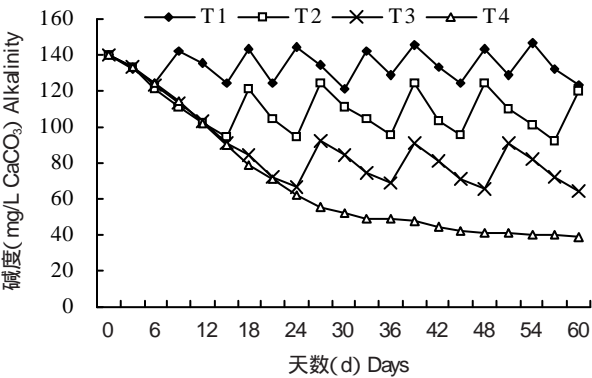


图 2 各处理水体碱度的变化趋势  
Fig.2 The change trend of alkalinity in different experimental treatments

3 讨论

3.1 碱度对养殖水质参数的影响

本研究中，水温的变化范围为27~32℃，平均28℃，即水温维持在对虾生长和成活的最佳范围( Ponce-Palafox et al. ,1997) ;由于受养殖条件所限，无高盐海水可使用，其平均盐度(27.8‰)略低于南美白对虾生存和生长的最佳盐度范围(33.0‰~40.0‰)；溶解氧在6.3~6.4 mg/L，高于Van Wyk和Scarpa(1999)推荐的养殖溶解氧浓度(>5.0 mg/L)。从各处理的养殖水质参数变化情况可知，碱度对上述参数影响不明显。

氨氮来源于排泄物和有机物质的分解，Lin和Chen(2001)认为氨氮浓度高于3.95 mg/L时会影响对虾的生长性能，本研究中各处理组出现的氨氮浓度最高值为养殖收获时，T4处理的氨氮浓度达1.19 mg/L，仍低于3.95 mg/L。Van Wyk和Scarpa(1999)认为亚硝酸盐浓度高于25.7 mg/L时会抑制对虾生长，而Lin和Chen(2001)认为硝酸盐对南美白对虾基本无害，其浓

度高于60 mg/L仍然安全。本研究中，亚硝酸盐浓度的最大值为1.84 mg/L，硝酸盐浓度的最大值为11.22 mg/L，均处于相对安全浓度范围之内，从各处理间的对比结果可知，保持较高碱度有利于微生物对氮盐的分解和转化。磷积累是由于残饵和排泄物的分解，会促使水体富营养化，在室内养殖池中不直接影响对虾的生长，但在室外养殖池塘中，可能会为丝状蓝藻的增殖创造有利条件，产生有害毒素，因此除磷是有必要的。Ray等(2010)报道，磷酸盐浓度在养殖过程中应低于40 mg/L。本研究发现高碱度组磷含量较低，可能是由于高碱度提高了饵料的利用效率。养殖水体高浊度降低了光线的穿透，进而降低了光合作用，即悬浮物和光合作用之间存在反比关系( Vinatea et al. ,2010)。Avnimelech(2006)认为过多的悬浮物可能会阻塞对虾的鳃，不利于其生长，Ray等(2010)研究也表明，在主动去除悬浮物的水体中，悬浮物减少59%，硝氮会减少60%，磷酸盐减少61%，但碱度增加33%。溶解CO<sub>2</sub>对水生生物有毒，主要是因其抑制了血淋巴的携氧量，从而诱发代谢压力。Van Wyk和Scarpa(1999)发现，CO<sub>2</sub>浓度小于5 mg/L最为理想，20~60 mg/L对鳃呼吸造成干扰，高于60 mg/L则致命。本研究中CO<sub>2</sub>浓度的最高值为6.58 mg/L，属于可接受范围，说明高碱度有利于降低溶解CO<sub>2</sub>的浓度。

3.2 碱度对养殖性状参数的影响

养殖水体pH在7.0~9.0时，对虾表现出最佳的生长状态(Van Wyk and Scarpa,1999)，但在异养生态系统中，pH值一般随养殖过程逐渐降低。本研究中T4处理从第34 d起，碱度始终低于理想水平，可能对养殖对虾的生长造成了不利影响，T3处理在调节过程中，也有部分时间pH低于7.0，这可能是其生长性状低于T1和T2处理的原因之一，但并未对pH值造成负面影响，因为碳酸钠的中和作用，pH值始终保持在理想范围内。有关对虾体重增长、终均重、最终生物量等参数，在本研究中则表现出相似的规律(T1和T2处理无显著差异，但显著高于T3和T4处理，T3处理又显著高于T4处理)，4个处理的每周增加体重分别为1.28、1.27、1.13和0.84 g，均高于Krummenauer(2008)、Ray等(2010)

的研究结果,可能与其养殖密度有关。与许多BFT养殖系统研究报道相比,本研究的养殖密度较低,但前人的研究多数采取了其他辅助技术,如使用液氧充气、为微生物提供人工基质、用外部过滤器去除总悬浮物等。

### 3.3 几种碱度调节方式的对比

Ebeling等(2006)发现,在水交换有限的系统中,碱度应该维持在100~150 mg/L  $\text{CaCO}_3$ 。本研究结果表明,T1(130 mg/L  $\text{CaCO}_3$ )和T2(100 mg/L  $\text{CaCO}_3$ )处理的水质理化参数和养殖性状参数均优于T3和T4处理,证明了维持较高碱度的有效性。而要维持的碱度越高,需要投放碱度调节剂( $\text{NaHCO}_3$ )的频率也就越高,T1处理在养殖全程中(63 d),共调节碱度7次,间隔时间6~9 d,T2处理共调节碱度5次,间隔时间9~12 d,从减少碱度调节剂使用量和管理简易化的角度,故将水体碱度维持在100 mg/L  $\text{CaCO}_3$ 以上为宜。

## 4 结论

本研究结果表明,泼洒 $\text{NaHCO}_3$ 对增加养殖系统的碱度效果明显,当碱度维持在100和130 mg/L  $\text{CaCO}_3$ 时,养殖系统表现出较佳的水质理化参数和养殖性状参数,说明在高密度养殖系统中,使用碱性化合物增加碱度及提高水体缓冲能力是十分有必要的。综合考虑养殖成本和生态效益,以养殖水体碱度维持在100 mg/L  $\text{CaCO}_3$ 为宜。

### 参考文献:

- Avnimelech Y. 2006. Bio-filters :The need for an new comprehensive approach[J]. *Aquacultural Engineering* ,34(3) : 172-178.
- Avnimelech Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds[J]. *Aquaculture* ,264(1-4) :140-147.
- Ballester E L C ,Abreu P C ,Cavalli R O ,Emerenciano M , deAbreu L ,Wasielisky J W. 2010. 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* ,16(2) :163-172.
- Burford M A ,Thompson P J ,McIntosh R P ,Bauman R H ,Pearson D C. 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity zero-exchange shrimp ponds in Belize[J]. *Aquaculture* ,219(1) :393-411.
- De Schryver P ,Crab R ,Defoirdt T ,Boon N ,Verstraete W. 2008. The basics of bio-flocs technology :The added value for aquaculture[J]. *Aquaculture* ,277(3-4) :125-137.
- Ebeling J M ,Timmons M B ,Bisogni J J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic , autotrophic , and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems[J]. *Aquaculture* ,257(1) :346-358.
- Krummenauer D. 2008. Estratégias para o cultivo de *Litopenaeus vannamei* (Boone ,1931) no extremo Sul do Brasil [M ]//Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Rio Grande. Rio Grande do Sul ,Brasil :60.
- Lin Y C ,Chen J C. 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* ,259(1) :109-119.
- McIntosh D ,Samocha T M ,Jones E R ,Lawrence A L ,Mckee D A ,Horowitz S ,Horowitz A. 2000. The effect of a commercial bacterial supplement on the high-density culturing of *Litopenaeus vannamei* with low-protein diet on outdoor tank system and no water exchange[J]. *Aquacultural Engineering* ,21(1) :215-227.
- Moss S M ,Arce S M ,Argue B J ,Otoshi C A ,Calderon F ,Tacon A. 2001. Greening of the blue revolution :Efforts toward environmentally responsible shrimp culture[C ]//Browdy C L , Jory D E. The New Wave :Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture. Baton Rouge , USA : World Aquaculture Society :1-19.
- Ponce-Palafox J ,Martinez-Palacios C A ,Ross L G. 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp ,*Penaeus vannamei* , Boone ,1993[J]. *Aquaculture* ,157(1) :107-115.
- Ray J A ,Lewis B L ,Browdy C L ,Leffler J W. 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange ,superintensive culture systems[J]. *Aquaculture* ,299(1-4) :89-98.
- Van Wyk P ,Scarpa J. 1999. Water quality and management [C]. Van Wyk P ,M. Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems :An Economic Development Strategy for Florida :Final Report. Florida Department of Agriculture and Consumer Services ,Tallahassee :128-138.
- Vinatea L ,Galvez A O ,Browdy C L ,Stokes A I ,Venero J ,Have-man J ,Lewis B L ,Lawson A ,Shuler A ,Leffler J W. 2010. 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* ,42(1) :17-24.
- Wasielisky W J ,Atwood H ,Stokes A ,Browdy C L. 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. *Aquaculture* ,258(1-4) :396-403.

(责任编辑 兰宗宝)