

文章编号: 1674-7054(2022)05-0429-11



# 高位处理水精养虾池水体浮游生物的时空变化

代霖欣<sup>1</sup>, 周小磊<sup>1</sup>, 杨 术<sup>1</sup>, 侯丹清<sup>1</sup>, 孙成波<sup>1,2,3</sup>

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江), 广东 湛江 524025; 3. 广东省水产经济动物病原生物学及流行病学重点实验室, 广东 湛江 524088)

**摘要:** 为了科学防控对虾病害、构建对虾健康控病模式, 采用沙滤、蓄水沉淀和含氯消毒剂消毒联合处理养殖用海水源水, 用于高位池精养凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 比较外海水、沙滤水和处理水浮游生物的差异, 同时研究养殖水体中浮游生物的时空变化。结果表明: 外海水中浮游生物种类繁多, 共 9 门 27 属 33 种; 处理水的浮游生物种类次之, 5 门 15 属 17 种; 沙滤水的浮游生物种类为 5 门 15 属 16 种。养殖凡纳滨对虾的虾塘中, 处理水的浮游动物数量显著高于外海水和沙滤水浮游动物数量 ( $P < 0.05$ )。外海水的浮游动物密度次之, 平均值为  $(26.45 \pm 14.30)$  个  $\cdot L^{-1}$ , 沙滤水的浮游动物密度最小, 平均值为  $(6.31 \pm 1.45)$  个  $\cdot L^{-1}$ ; 处理水的浮游植物数量显著高于外海水和沙滤水 ( $P < 0.05$ ), 外海水和沙滤水差异不明显 ( $P > 0.05$ )。在垂直方向上, 浮游动物总数量的变化是从表层—中层—底层呈增多趋势, 浮游植物总数量分布呈表层高于中层和底层, 差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 在水平方向上, 浮游植物总量在水平方向上分布差异显著 ( $P < 0.05$ ), 垂直方向分布差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

**关键词:** 处理水; 凡纳滨对虾; 浮游生物; 变化

**中图分类号:** S 968.22      **文献标志码:** A

**引用格式:** 代霖欣, 周小磊, 杨术, 等. 高位处理水精养虾池水体浮游生物的时空变化 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(5): 429-439. DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2022.05.002

对虾养殖业是我国水产养殖业的支柱性产业, 自 20 世纪 70 年代末期到现在, 我国对虾养殖业取得快速发展, 养殖模式由传统的池塘纳潮粗放式养殖模式发展到虾与鱼、贝、蟹类生态混养模式<sup>[1-2]</sup>, 再到海水淡化养殖模式<sup>[3]</sup>, 卤水蜕淡水养殖模式<sup>[2]</sup>, 以及现在的高位池和地膜池精养模式<sup>[4-6]</sup>。高位池精养模式摆脱了传统养殖模式受潮水及海区水质的影响, 而且养殖源水经过沙滤、沉淀和含氯消毒剂消毒等多道程序处理以及良好的排污系统, 从而减少病害发生, 但存在虾池生物种类少等特点<sup>[7]</sup>。目前, 高位池进水有 3 种方式: 1) 不经过滤等处理措施直接用动力抽取外海水; 2) 海水经在海边地下沙滤井沙滤后再抽到进水主渠; 3) 抽取源水进入蓄水沉淀池经含氯消毒剂等消毒药物

处理后再抽取至虾池使用<sup>[8]</sup>。

浮游动物包括原生生物、轮虫、枝角类和桡足类, 是重要的生态功能群<sup>[9]</sup>, 既可作为许多经济鱼虾类的优质天然饵料, 同时又可作为消费者调控浮游微藻和微生物群落结构。浮游动物的种类组成、数量的分布和变动与池塘水质和系统内的物流、能流密切相关, 它直接或间接影响到对虾的生长和系统的生产性能。浮游生物, 在海洋生态系的物质循环和能量流动中有重要作用。浮游植物是虾池水体浮游生物的主体, 对维持虾池生态系统的稳定起关键作用, 浮游植物种类组成及优势种群种类和数量决定虾池环境稳定性。浮游动物作为虾池养殖水体生态环境的重要组成部分, 可加速水体生态系统的物质循环, 净化养殖环

收稿日期: 2022-03-01

修回日期: 2022-03-29

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(对接国家重大项目)“海水池塘生态工程化养殖技术与模式”(2020B0202010009); 冲一流省财政专项资金“南海经济虾类育种和养殖实验室”(231419025)

第一作者: 代霖欣(1999-), 女, 广东海洋大学水产学院 2021 级硕士研究生. E-mail: lxdai0802@163.com

通信作者: 孙成波(1970-), 男, 教授, 研究方向: 甲壳动物养殖生态及病害防控. E-mail: suncb@gdou.edu.cn

境<sup>[10-12]</sup>。近年来,随着养殖密度的增加和养殖产量的提高,养殖尾水的无序排放,导致海水富营养化越来越严重,蓝藻和甲藻等有毒有害藻类占比越来越大,除了病毒性疾病危害之外,还有未名病因的病害如肝胰腺坏死症、白便综合症等,很多跟藻毒素和弧菌等密切相关,采用处理水模式,可以切断病毒性病原等烈性病原的部分水平传播途径,有利于病害的防控,但是无法完全去除溶解性营养物质,无法控制有毒有害藻类和弧菌病的暴发,因此,本试验针对高位池2种进水方式及处理水养殖过程中浮游生物种类和数量的时空变化进行分析,旨在为对虾处理水养殖池塘浮游生物定向调控提供数据支撑,为对虾病害防控和可持续发展提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 水样的采集

**1.1.1 试验池塘** 取样地点为海南莺歌海洋生物技术有限公司板桥养殖基地,取样时间为2021年4月3日—6月28日。试验池塘为水泥护坡、底部铺膜铺沙高位池,沙层厚度为0.3~0.5 m,单塘面积为0.4~0.5 hm<sup>2</sup>,池深2.3 m,水深1.8 m,单塘配备功率为0.75 kw 台水车式增氧机8台。放养品种为凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*),放养密度为150 万尾·hm<sup>-2</sup>。

**1.1.2 外海水** 试验地点为海南莺歌海洋生物技术有限公司板桥养殖基地的外海,近岸处的微表层水体,每隔50 m取1点,共取3点。间隔5日采1次水样,共采3次。

**1.1.3 沙滤水** 取样地点和取样时间同1.1.1。沙滤井建在高潮线附近,深度为6~10 m,井底低于最低低潮线约1~2 m,沙滤井内径6 m,井壁底部留有进水孔,外连内径为15~20 cm的PVC管6~8根,管上有直径为1~2 cm的孔,外包20目筛绢网,防止沙堵塞管道。采集沙滤井内表层、入渠处和入塘处3点的水样。间隔5日采1次水样,连续采3次。

**1.1.4 处理水** 从外海经过沙滤,抽水于蓄水池中,经沉淀后,用30 g·m<sup>-3</sup>的次氯酸钠处理消毒2 d后。取蓄水池东、西和北3面的水体。间隔5日采1次水样,共采3次。

**1.2 浮游生物的测定** 采用0.074 mm浮游生物

网采集浮游生物<sup>[13]</sup>。

**1.2.1 浮游生物定性** 用浮游生物网,绕∞字形路线,收集时间约1 min,将所得浮游生物收集于小塑料瓶内。

**1.2.2 浮游植物定量** 用采水器取水样1 L,加入10 mL 鲁格氏液(Logul's solution)固定。沉淀48 h后,吸取上层清液,将定量样品摇匀,取0.1 mL样品置于浮游植物计数框内,在显微镜下计数。根据以下公式计算出1 000 mL水样中所含浮游植物的个数:

$$N = [AV_a/A_cV_s]n,$$

式中:  $N$  为每升原水样中浮游植物数量(个·L<sup>-1</sup>);  $A$  为计数框面积(mm<sup>2</sup>);  $A_c$  为计数面积(mm<sup>2</sup>);  $V_s$  为1 L原水样沉淀浓缩后的体积(mL);  $V_a$  为计数框的体积(mL);  $n$  为计数所得浮游植物的数目。

**1.2.3 浮游动物定量** 取10 L水样,用浮游生物网过滤,浓缩至15~30 mL(由生物多少决定),加4~7滴鲁格氏液(Logul's solution)固定。沉淀24 h后,吸去上层清液,摇匀后取1 mL用浮游动物计数框计数。

### 1.3 高位池处理水养殖不同时期的水样

**1.3.1 昼夜变化水样** 在206<sup>#</sup>(凡纳滨对虾养殖后期139 d)西、南和北边各取一点水样,每天2次,分别于12:00时和24:00时各取1次。

**1.3.2 垂直变化水样** 在103<sup>#</sup>(凡纳滨对虾养殖前期5 d),202<sup>#</sup>(养殖102 d),204<sup>#</sup>(养殖140 d)中于每个塘的北面取表层、中层和底层的水样。表层为离水面5~10 cm;底层为离底部5~10 cm;中层为池水中部深度位置。

**1.3.3 水平变化水样** 在103<sup>#</sup>,202<sup>#</sup>,204<sup>#</sup>的每个塘边缘,中央排污,边缘与中央排污的中点处各取表层水样。

**1.4 数据统计与分析** 结果以平均值±标准差(mean±sd)表示,应用SPSS 26.0和Excel 2019软件对试验数据进行统计分析,对数据运用单因素方差分析(ANOVA), $P < 0.05$ 为有显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 外海水、沙滤水和处理水的浮游生物变化

**2.1.1 浮游生物种类的组成** 从表1可知,外海水的浮游生物种类较多,共9门27属33种,浮游动物的优势种类有泡泡球虫(*Globigerina bulloides*)、

表 1 外海水、处理水和沙滤水浮游生物的组成

种类	外海水			处理水			沙滤水		
	第1次 取样	第2次 取样	第3次 取样	第1次 取样	第2次 取样	第3次 取样	第1次 取样	第2次 取样	第3次 取样
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	+		+	+	+	+			+
有孔虫 <i>Textularia</i>	+			++	++	++			
游仆虫 <i>Eaploles</i>			+						
藤壶幼体 <i>Cypris larva</i>	+			+	+	+			+
卵细胞 <i>Eggs</i>	++	++	+	+	+	+			++
菱形藻 <i>Nitzschia sp.</i>	+	+	++	++	++	+			+
介形虫 <i>Stracoda</i>				+					
急游虫 <i>Strombidium viride stein</i>	+			+					
席藻 <i>phormidium</i>	+			+					
绿海球藻 <i>Halosphaera viridis</i>	+		+						
泡抱球虫 <i>Globigerina bulloides</i>	+	+	++						
菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	+	+						
伊格抱球虫 <i>Globigerina eggeri</i>	+		+						
曲舟藻 <i>Pleurosigma</i>			+	+					+
羽纹藻 <i>Pinnularia</i>				+					
圆筛藻 <i>Coscinodiscus</i>	+								
美丽盒形藻 <i>Bidd pulchella</i>	+								
似铃虫 <i>Globigerinoides</i>	+		+						
新月菱形藻 <i>Nitzschia closlerium</i>									
栅藻 <i>Scenedesmus</i>	+								
活动盒形藻 <i>Biddullphia mobiliensis</i>		+	+						
念珠直链藻 <i>Melosira moniliformis</i>	+				+				+
桡足类无节幼体 <i>Copepoda larve</i>		+	+		+	+			
微囊藻 <i>Microcystis</i>					+	+			
角毛藻 <i>Chaetoceras</i>			+		+	++			+
布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i>		+	+						
太阳双尾藻 <i>Ditylum sol</i>		+							
圆筛藻 <i>Coscinodiscus sp.</i>		+	+						
裸甲藻 <i>Cymnodinium</i>			+						++
胶鞘藻 <i>Phormidium</i>	++	++	+						+
穹杆藻 <i>Achnanthes sp.</i>						+			
骨条藻 <i>Skeletonema sp.</i>						+			
长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>			+						+
筒螅幼虫 <i>Tubularia</i>			+						
颤藻 <i>Oscillatoria</i>			+			+			
平裂藻 <i>Merismopedia</i>									+
桥穹藻 <i>Cymbella</i>									+
扁藻 <i>Platymonas</i>			+						
小球藻 <i>Chlorella</i>	+	+	+						
笔尖根管藻 <i>Rhizosolenia styliiformis</i>									
线虫 <i>Nemathelminthes</i>			+						
叉边金藻 <i>Dicrateria</i>		+	+				+	+	

注：“+”代表该种类存在，“++”代表优势种类，下同。

卵细胞、浮游植物的优势种类有菱形藻(*Nitzschia* sp.)、胶鞘藻(*Glue whiplash algae*);处理水的浮游生物种类次之,共5门15属17种,浮游动物的优势种类有有孔虫(*Textularia*),浮游植物的优势种类有菱形藻、角毛藻(*Chaetoceras* sp.);沙滤水浮游生物种类相比最少,共5门15属16种,浮游动物优势种类有桡足类无节幼体(*Copepoda larva*)、卵细胞,浮游植物优势种类有菱形藻、裸甲藻<sup>[14-15]</sup>。

**2.1.2 浮游生物数量的变化** 从表2可知,处理水的浮游动物密度最大,3次采样的平均值为(131.57±78.16)个·L<sup>-1</sup>,主要以有孔虫(*Textularia*)、砂壳虫(*Diffflugia*)为主,分别占浮游动物总数量的

18%~40%和57%。处理水的浮游动物数量显著高于外海水和沙滤水浮游动物数量( $P<0.05$ )。外海水的浮游动物密度次之,平均值为(26.45±14.30)个·L<sup>-1</sup>,主要以卵细胞、泡抱球虫为主,分别占浮游动物总数量的31%~47%和26%。沙滤水的浮游动物密度最小,平均值为(6.31±1.45)个·L<sup>-1</sup>,主要以桡足类无节幼体、卵细胞为主,分别占浮游动物总数量的57%~81%和38%。外海水和沙滤水的浮游动物数量的总密度两组差异不明显( $P>0.05$ )。

从表3可知,处理水浮游植物个体数量变化很快,第1次采样密度为 $1.4\times 10^5$ 个·L<sup>-1</sup>,第2次采

表2 外海水、处理水、沙滤水浮游动物数量的变化

种类	外海水						处理水						沙滤水					
	占比	密度/ /% (个·L <sup>-1</sup> )	占比	密度/ /% (个·L <sup>-1</sup> )	占比	密度/ /% (个·L <sup>-1</sup> )	占比	密度/ /% (个·L <sup>-1</sup> )	占比	密度/ /% (个·L <sup>-1</sup> )	占比	密度/ /% (个·L <sup>-1</sup> )	占比	密度/ /% (个·L <sup>-1</sup> )	占比	密度/ /% (个·L <sup>-1</sup> )		
桡足类无节幼体 <i>Copepoda larva</i>	1	0.40	14	2.03	6	1.35	18	13.4	10	22.1	2	1.97	57	2.86		7	0.42	
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	9	3.80	21	3.05	7	1.58	7	5.20	17	59.6	9	8.89				10	0.61	
筒螈幼虫 <i>Tubularia</i>	2	0.80	3	0.44	6	1.36							14	0.70	3	0.24		
似铃虫 <i>Globigerinoides</i>	13	5.50			8	1.80												
泡抱球虫 <i>Globigerina bulloides</i>	13	5.50	7	1.02	26	5.85												
伊格抱球虫 <i>Globigerina eggeri</i>	3	1.30			11	2.48												
卵细胞 Eggs	47	20	31	4.50	14	3.15		10	22.1	7	6.91	7	0.35	81	6.37	38	2.30	
藤壶幼体 <i>Cypris larva</i>			1	0.15			33	25.6	9	19.8	2	1.97			3	0.24		
砂壳虫 <i>Diffflugia</i>												57	56.2	14	0.70			
有孔虫 <i>Textularia</i>	6	2.50	14	2.03	8	1.80	40	29.6	39	86.1	18	17.8						
壶状臂尾轮虫 <i>Brachionus urceus</i>															3	0.24		
线虫 <i>Nemathelminthes</i>															6	0.48	24	1.45
光亮拟铃虫 <i>Tintinnopsis</i>					6	1.35												
急游虫 <i>Strombidium viride</i> <i>stein</i>																	7	0.42
游仆虫 <i>Eaploles</i>																	3	0.18
其他	6	2.50	9	1.31	8	1.80	2	1.40	5	11.1	5	4.94	8	0.40	4	0.31	11	0.67
总密度/(个·L <sup>-1</sup> )	42.30		14.53		22.52		75.20		220.80		98.72		5.01		7.88		6.05	
平均值±标准/(个·L <sup>-1</sup> )			26.45±14.30 <sup>b</sup>						131.57±78.16 <sup>a</sup>						6.31±1.45 <sup>b</sup>			

注:同一行上标不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

表 3 外海水、沙滤水和处理水浮游植物数量变化

种类	外海水			处理水			沙滤水													
	占比/ %	密度/ ( $\times 10^5$ 个·L <sup>-1</sup> )	密度/ ( $\times 10^5$ 个·L <sup>-1</sup> )	占比/ %	密度/ ( $\times 10^5$ 个·L <sup>-1</sup> )	密度/ ( $\times 10^5$ 个·L <sup>-1</sup> )	占比/ %	密度/ ( $\times 10^5$ 个·L <sup>-1</sup> )	密度/ ( $\times 10^5$ 个·L <sup>-1</sup> )											
菱形藻 <i>Nitzschia sp.</i>	15	0.30	11	0.55	29	0.63	37	0.51	29	0.75	2	0.73	47	0.59	35	1.20	2	0.07		
骨条藻 <i>Skeletonema sp.</i>					15	0.33						6	0.08					2	0.07	
曲舟藻 <i>Pleurosigma</i>	8	0.16			11	0.15														
小环藻 <i>Cyclotella</i>	8	0.16			11	0.15														
小球藻 <i>Chlorella</i>					22	0.30						17	0.21							
卵囊藻 <i>Oocystis</i>					15	0.21						30	0.38							
绿海球藻 <i>Halosphaera viridis</i>	4	0.08	5	0.25	3	0.07												21	0.70	
活动盒形藻 <i>Biddulphia mobilensis</i>	3	0.06																		
胶鞘藻 <i>Phormidium</i>	60	1.20	70	3.40	23	0.49						19	0.49					30	1.00	
微囊藻 <i>Microcystis</i>			3	0.15								19	0.49							
裸甲藻 <i>Cymnodinium</i>			3	0.15	6	0.13						25	0.64					45	1.50	
平裂藻 <i>Merismopedtia</i>			4	0.20																
念珠直链藻 <i>Melosira moniliformis</i>			2	0.10																
菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>			18	0.39								1	0.37					30	1.00	
长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>			3	0.07																
角毛藻 <i>Skeletonema sp.</i>												93	34.0							
其他	2	0.04	2	0.10	3	0.07	4	0.06	4	0.10	1	0.37					5	0.20	4	0.13
总数量/( $\times 10^5$ 个·L <sup>-1</sup> )	2.0		4.90		2.20		1.40		2.60		36.0		1.20				3.40		3.30	
平均值±标准差 ( $\times 10^5$ 个·L <sup>-1</sup> )			3.03±1.62 <sup>b</sup>						13.33±19.64 <sup>a</sup>								2.63±1.24 <sup>b</sup>			

样密度为  $2.6 \times 10^5$  个  $\cdot L^{-1}$ , 第3次采样密度上升为  $3.6 \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$ , 3次采样的平均密度为  $1.3 \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$ , 三者之中最高, 其优势种类为菱形藻和角毛藻, 分别占浮游植物总数量的 29% ~ 37% 和 93%。外海水浮游植物的平均密度为  $(3.03 \pm 1.62) \times 10^5$  个  $\cdot L^{-1}$ , 低于处理水, 高于沙滤水, 其优势种类为胶鞘藻和菱形藻, 分别占浮游植物总数量的 60% ~ 70% 和 29%。沙滤水浮游植物的平均密度为  $(2.63 \pm 1.24) \times 10^5$  个  $\cdot L^{-1}$ , 其优势种类为菱形藻和裸甲藻, 分别占浮游植物总数量的 35%、47% 和 45%。处理水的浮游植物数量显著高于外海水和沙滤水浮游植物数量 ( $P < 0.05$ ), 外海水和沙滤水的浮游植物数量两组差异不明显 ( $P > 0.05$ )。

**2.2 凡纳滨对虾高位池养殖中浮游生物昼夜变化** 从表4可知, 浮游动物的总数量夜晚取样平均值为  $(408 \pm 345)$  个  $\cdot L^{-1}$ ; 高于白昼取样平均值为  $(169 \pm 97)$  个  $\cdot L^{-1}$ , 两组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表4 凡纳滨对虾高位池养殖中浮游动物的昼夜变化

水样	种类数/种		密度/( $\times 10^2$ 个 $\cdot L^{-1}$ )	
	昼	夜	昼	夜
第1次取样	13	14	1.43	7.91
第2次取样	12	13	2.77	3.14
第3次取样	12	11	0.87	1.20

从表5可知, 种类基本没差异, 昼夜的优势种类相同, 浮游植物总数量白昼取样平均值为  $(3.00 \pm 1.67) \times 10^7$  个  $\cdot L^{-1}$ ; 高于夜晚, 取样平均值为  $(2.71 \pm 1.51) \times 10^7$  个  $\cdot L^{-1}$ , 两组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表5 凡纳滨对虾高位池中浮游植物的昼夜变化

水样	种类数		总数量( $\times 10^7$ 个 $\cdot L^{-1}$ )		优势种
	昼	夜	昼	夜	
第1次取样	7	7	3.88	3.71	胶鞘藻 <i>Phormidium</i>
第2次取样	9	8	4.05	3.45	胶鞘藻 <i>Phormidium</i>
第3次取样	8	10	1.08	0.97	裸藻 <i>Euglena sp.</i>

**2.3 凡纳滨对虾高位池养殖期间浮游生物垂直变化**

**2.3.1 浮游生物的垂直种类组成** 从表6可知, 在垂直方向上各个不同时期的塘的浮游生物组成差异小, 除了 103#底部水样生物总种类数略高于

表层中层外, 其他塘的生物种类在垂直方向上总数相近。在垂直方向上浮游动物总数量的变化是从表层-中层-底层呈增多趋势, 浮游植物总数量分布呈表层高于中层和底层的现象。

**2.3.2 生物的垂直方向数量变化** 在垂直方向上, 不同时期塘的浮游动物数量的变化从表层-中层-底层呈增多的趋势(图1、2、3)。

从表7可知, 在垂直方向上, 浮游植物数量分布呈表层高于中层和底层现象, 各池中的优势种类在垂直方向上基本相同。103#、202#和 204#表层浮游植物的总数量平均值分别为  $(2.19 \pm 1.46) \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$ 、 $(24.31 \pm 13.32) \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$  和  $(25.27 \pm 9.61) \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$ ; 103#表层浮游植物的总数量显著低于 202#和 204#表层浮游植物的总数量 ( $P < 0.05$ ), 202#和 204#表层浮游植物的总数量两组差异不明显 ( $P > 0.05$ ); 103#、202#和 204#中层浮游植物的总数量平均值分别为  $(1.71 \pm 0.97) \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$ 、 $(16.91 \pm 10.37) \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$  和  $(20.83 \pm 3.51) \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$ 。103#中层浮游植物的总数量显著低于 202#和 204#中层浮游植物的总数量 ( $P < 0.05$ ), 202#和 204#表层浮游植物的总数量两组差异不明显 ( $P > 0.05$ ); 103#、202#和 204#底层浮游植物的总数量平均值分别为  $(1.34 \pm 1.03) \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$ 、 $(20.52 \pm 12.67) \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$  和  $(14.50 \pm 2.36) \times 10^6$  个  $\cdot L^{-1}$ , 数据组间差距均不显著 ( $P > 0.05$ )。

**2.4 凡纳滨对虾高位池养殖期间浮游生物的水平变化**

**2.4.1 浮游动物的水平种类和数量的变化** 从表8可知, 103#、202#和 204#塘边浮游动物的总数量平均值分别为  $(822.33 \pm 102.90)$  个  $\cdot L^{-1}$ 、 $(1532.33 \pm 900.02)$  个  $\cdot L^{-1}$  和  $(912.33 \pm 764.55)$  个  $\cdot L^{-1}$ ; 103#、202#和 204#中点浮游动物的总数量平均值分别为  $(625.00 \pm 546.96)$  个  $\cdot L^{-1}$ 、 $(2786.00 \pm 3230.75)$  个  $\cdot L^{-1}$  和  $(808.00 \pm 677.44)$  个  $\cdot L^{-1}$ ; 103#、202#和 204#中央浮游动物的总数量平均值分别为  $(782.00 \pm 781.93)$  个  $\cdot L^{-1}$ 、 $(4444.67 \pm 5855.80)$  个  $\cdot L^{-1}$  和  $(1348.33 \pm 1032.53)$  个  $\cdot L^{-1}$ ; 浮游动物种类在各个不同时期的塘中和组成和总量在水平方向上变化规律不明显, 无显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 种类数相差不大, 其优势种类几乎一样。

**2.4.2 浮游植物的水平种类和数量的变化** 如表9所示: 103#、202#和 204#塘边浮游植物的总数量平

表 6 凡纳滨对虾高位池养殖期间浮游生物垂直种类组成

种类	第1次取样			第2次取样			第3次取样		
	虾塘编号			虾塘编号			虾塘编号		
	103 <sup>#</sup>	202 <sup>#</sup>	204 <sup>#</sup>	103 <sup>#</sup>	202 <sup>#</sup>	204 <sup>#</sup>	103 <sup>#</sup>	202 <sup>#</sup>	204 <sup>#</sup>
	表中底	表中底	表中底	表中底	表中底	表中底	表中底	表中底	表中底
砂壳虫 <i>Diffugia</i>	+	+	+	+	+		+	+	+
卵细胞Eggs	+	+	+	+	+	+	+	+	+
急游虫 <i>Strombidium viride stein</i>	+	+	+		+	+			+
游仆虫 <i>Eaploles</i>		+	+		+	+			
桡足类无节幼体Copepoda larve		+		+	+	+			
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>		+	+		+	+	+	+	+
厦门网纹虫 <i>Favella amoyensis</i>	+								
筒螅幼虫 <i>Tubularia</i>	+	+	+	+			+	+	+
吸壳虫 <i>Acineta</i>		+	+						
钟虫 <i>Vorticella</i>	+	+	+				+	+	
壶状臂尾轮虫	+	+	+		+	+			
磷虾幼体Copepodite larva							+	+	+
线虫 <i>Nemathelminthes</i>							+		
巴拿马网纹虫 <i>Favella panamensis</i>					+				
藤壶幼体 <i>Cypris larva</i>							+		+
钟状网纹虫 <i>Favella campanula</i>								+	+
有孔虫 <i>Textularia</i>									+
似铃虫 <i>Globigerinoides</i>							+	+	
裸甲藻 <i>Cymnodinium</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
薄甲藻 <i>Glenodinium</i>	+	+	+				+	+	+
裸藻 <i>Euglena sp.</i>		+	+		+	+		+	+
胶鞘藻 <i>Phormidium</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
菱形藻 <i>Nitzschia sp.</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>	+	+	+	+	+	+		+	+
扁藻 <i>Playmonas</i>			+	+	+	+		+	+
平裂藻 <i>Merismopedia</i>			+				+	+	+
波纹藻 <i>Cymatopleura</i>	+	+	+	+	+		+	+	
桥穹藻 <i>Cymbella</i>	+	+					+	+	+
曲舟藻 <i>Pleurosigma</i>	+	+	+						
羽纹硅藻 <i>Pinnularia</i>		+							
舟形藻 <i>Navicula Bory</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	
念珠直链藻 <i>Melosira moniliformis</i>	+								
布纹藻 <i>Gyrosigma</i>		+							
绿海球藻 <i>Halosphaera viridis</i>				+	+	+	+	+	+
笔尖根管藻 <i>Rhizosolenia styliformis</i>							+	+	+
总浮游生物种类数	8	13	16	15	14	14	10	9	9
	8	9	10	14	11	13	9	11	10
	13	13	18	12	9	10	16	12	13

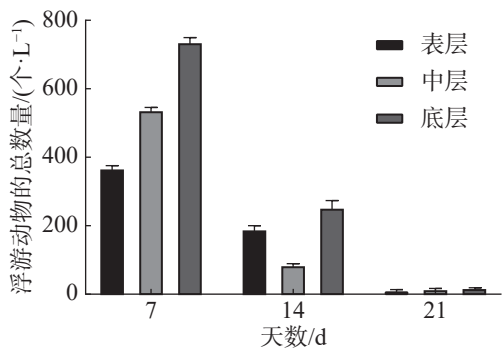


图1 103#浮游动物数量的垂直变化

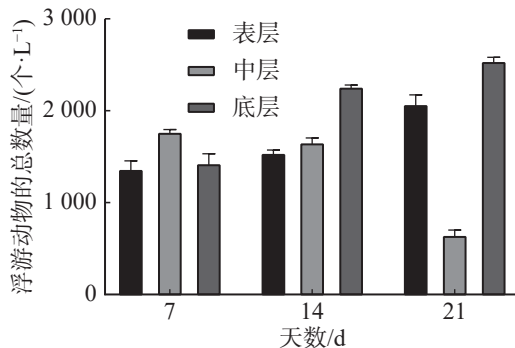


图3 204#浮游动物数量的垂直变化

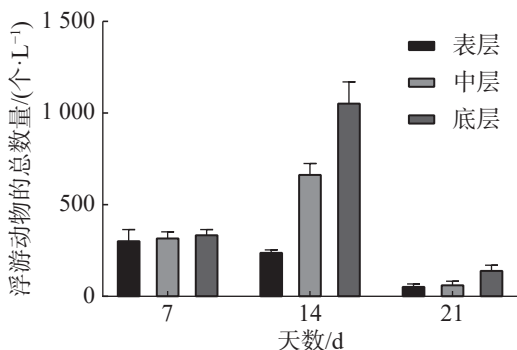


图2 202#浮游动物数量的垂直变化

均值分别为 $(1.37\pm 0.32)\times 10^6$ 个·L<sup>-1</sup>、 $(33.93\pm 3.40)\times 10^6$ 个·L<sup>-1</sup>和 $(27.56\pm 8.73)\times 10^6$ 个·L<sup>-1</sup>, 103#塘边浮游植物的总数量显著低于202#和204#塘边浮游植物的总数量( $P<0.05$ ), 202#和204#塘边浮游植物的总数量两组差异不明显( $P>0.05$ )。

103#、202#和204#中点浮游植物的总数量平均值分别为 $(1.50\pm 0.34)\times 10^6$ 个·L<sup>-1</sup>、 $(26.24\pm 4.34)\times 10^6$ 个·L<sup>-1</sup>和 $(29.17\pm 6.74)\times 10^6$ 个·L<sup>-1</sup>, 103#中点浮游植物的总数量显著低于202#和204#中点浮游植物的总数量( $P<0.05$ ), 202#和204#中点浮游植物的总数量两组差异不明显( $P>0.05$ )。

103#、202#和204#中央浮游植物的总数量平均值分别为 $(1.38\pm 0.19)\times 10^6$ 个·L<sup>-1</sup>、 $(31.10\pm 4.72)\times 10^6$ 个·L<sup>-1</sup>和 $(23.98\pm 9.70)\times 10^6$ 个·L<sup>-1</sup>, 103#中央浮游植物的总数量显著低于202#和204#中央浮游植物的总数量( $P<0.05$ ), 202#和204#中央浮游植物的总数量两组差异不明显( $P>0.05$ )。

浮游植物种类组成在各个不同时期虾塘中无明显的水平分布差异, 水平方向上的3个取样点

表7 凡纳滨对虾高位池养殖期间浮游植物数量的垂直变化

取样点	第1次取样			第2次取样			第3次取样			
	数量/ ( $\times 10^6$ 个·L <sup>-1</sup> )	优势种	占比/%	数量/ ( $\times 10^6$ 个·L <sup>-1</sup> )	优势种	占比/%	数量/ ( $\times 10^6$ 个·L <sup>-1</sup> )	优势种	占比/%	
103#	表	0.98	菱形藻 <i>Nitzschia sp.</i>	32.49	3.81	菱形藻 <i>Nitzschia sp.</i>	41.99	1.80	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	66.62
	中	0.59	菱形藻 <i>Nitzschia sp.</i>	30.88	2.25	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	43.91	2.29	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	62.71
	底	0.74	菱形藻 <i>Nitzschia sp.</i>	41.46	2.53	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	48.22	0.75	菱形藻 <i>Nitzschia sp.</i>	49.00
202#	表	9.14	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	38.94	34.10	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	73.03	29.70	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	77.78
	中	7.14	胶鞘藻 <i>Phormidium</i>	45.02	27.80	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	64.97	15.80	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	66.46
	底	6.26	胶鞘藻 <i>Phormidium</i>	38.82	30.50	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	71.33	24.80	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	75.40
204#	表	36.3	胶鞘藻 <i>Phormidium</i>	82.46	18.70	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	54.55	20.80	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	40.63
	中	21.1	胶鞘藻 <i>Phormidium</i>	75.21	17.20	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	38.20	24.20	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	44.63
	底	17.1	胶鞘藻 <i>Phormidium</i>	46.73	12.50	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	31.68	13.90	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	33.96



表 8 凡纳滨对虾高位池养殖期间浮游动物水平种类及总量变化

取样点	第1次取样			第2次取样			第3次取样			
	种类数/种	数量/(个·L <sup>-1</sup> )	优势种	种类数/种	数量/(个·L <sup>-1</sup> )	优势种	种类数/种	数量/(个·L <sup>-1</sup> )	优势种	
103 <sup>#</sup>	塘边	7	20	卵细胞Eggs	7	2080	游仆虫 <i>Eaploles</i>	7	367	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>
	中点	5	128	卵细胞Eggs	5	1211	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>	7	536	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>
	中央	5	23	卵细胞Eggs	5	1585	游仆虫 <i>Eaploles</i>	6	738	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>
202 <sup>#</sup>	塘边	8	1206	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>	9	841	游仆虫 <i>Eaploles</i>	7	2550	游仆虫 <i>Eaploles</i>
	中点	8	625	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>	7	1233	游仆虫 <i>Eaploles</i>	5	6500	游仆虫 <i>Eaploles</i>
	中央	7	1321	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>	9	813	游仆虫 <i>Eaploles</i>	6	11200	游仆虫 <i>Eaploles</i>
204 <sup>#</sup>	塘边	10	556	急游虫 <i>Strombidium viride stein</i>	9	391	游仆虫 <i>Eaploles</i>	10	1790	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>
	中点	9	52	卵细胞Eggs	9	1012	游仆虫 <i>Eaploles</i>	9	1360	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>
	中央	14	360	急游虫 <i>Strombidium viride stein</i>	8	1265	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>	10	2420	砂壳虫 <i>Diffflugia</i>

表 9 凡纳滨对虾高位池养殖期间浮游植物水平种类及数量的变化

取样点	第1次取样			第2次取样			第3次取样			
	种类数/种	数量/(×10 <sup>6</sup> 个·L <sup>-1</sup> )	优势种	种类数/种	数量/(×10 <sup>6</sup> 个·L <sup>-1</sup> )	优势种	种类数/种	数量/(×10 <sup>6</sup> 个·L <sup>-1</sup> )	优势种	
103 <sup>#</sup>	塘边	9	1.63	裸甲藻 <i>Cymnodinium</i>	8	1.01	长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>	9	1.47	裸藻 <i>Euglena sp.</i>
	中点	9	1.79	裸甲藻 <i>Cymnodinium</i>	8	1.13	长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>	8	1.59	裸藻 <i>Euglena sp.</i>
	中央	10	1.35	菱形藻 <i>Nitzschia sp.</i>	7	1.59	长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>	8	1.21	裸藻 <i>Euglena sp.</i>
202 <sup>#</sup>	塘边	9	32.60	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	7	31.40	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	8	37.80	胶鞘藻 <i>Phormidium</i>
	中点	9	24.28	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	8	23.23	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	8	31.21	胶鞘藻 <i>Phormidium</i>
	中央	9	32.30	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	7	25.90	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	9	35.10	胶鞘藻 <i>Phormidium</i>
204 <sup>#</sup>	塘边	8	24.85	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	9	20.51	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	10	37.32	裸藻 <i>Euglena sp.</i>
	中点	6	21.90	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	11	30.40	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	7	35.20	裸藻 <i>Euglena sp.</i>
	中央	5	16.36	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	11	20.68	裸藻 <i>Euglena sp.</i>	9	34.90	裸藻 <i>Euglena sp.</i>

的优势种几乎相同。浮游植物总量在水平方向上分布有明显差异。

### 3 讨论

本研究结果表明, 外海水所含浮游生物的种类数量最多, 处理水次之, 沙滤水最少。何建国等<sup>[7]</sup>的研究结果表明: 外海水存在一些病毒的宿主生物, 如 WSSV 自然寄主猛水蚤, 剑水蚤, 部分哲水

蚤目种类和介形类动物, 非养殖虾、蟹等。1979年, 研究人员通过电镜检测, 第 1 次证明了病毒在海水中的大量存在<sup>[16]</sup>, 同年, 人们也第 1 次分离出海洋浮游植物病毒<sup>[17-18]</sup>(一种可以感染微型鞭毛藻 *Micromonas Pusilla* 的病毒)。目前, 已经观察到病毒粒子在真核藻类细胞中普遍存在<sup>[11]</sup>。不经处理直接引入外海水的养殖模式已逐渐被淘汰。从病毒防治的角度看, 处理水的养殖效果最好, 沙

滤水虽然在一定程度上阻断了 WSSV 等病毒的自然寄主,但仍可能含有携带游离病毒或病毒的宿主生物。本实验用  $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  的次氯酸钠基本已经杀灭水体中所有浮游生物,但处理水中的浮游生物种类仍比过滤水多,如有孔虫(3次取样平均为  $44.5 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$ ),卵细胞(3次取样平均为  $9.7 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$ ),笔者认为可能是因为次氯酸钠对浮游动物的卵细胞杀灭不彻底<sup>[8]</sup>。

高位精养虾池中浮游动物总量表现出夜晚比白昼多的现象与郑重等<sup>[13]</sup>的研究结果“夜晚上升,白天下降”一致。浮游植物总量则表现出白昼比夜晚多的现象,可能是浮游动物的背光性和浮游植物的趋光性造成。研究表明,上述现象与风力、水流、食料、光度、温度和浮游生物的生理等有关<sup>[18-21]</sup>。浮游生物在垂直方向上变化的主要原因是引起昼夜变化因素作用的结果<sup>[22-24]</sup>。浮游生物在水平方向上种类和数量都无规律差异,与高位池的结构有关,高位池是一个小型生态系统,增氧机搅动水体,池塘中表层水浮游生物水平分布趋于均匀<sup>[25-27]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 吴琴瑟. 虾蟹高产养殖技术[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [2] 王克行. 虾蟹类增养殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [3] 林鑫, 陈耀明, 夏日新. 南美白对虾内陆咸淡水全封闭养殖技术[J]. 科学养鱼, 2002(5): 31-32.
- [4] 孙承波, 何建国, 吴琴瑟, 等. 地膜养虾模式的建立[J]. 中国水产, 1999(3): 40-42.
- [5] 孙承波, 何建国, 石义学, 等. 地膜池与普通土池封闭式养殖斑节对虾的研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2000, 39(S3): 80-82.
- [6] 孙承波, 何建国, 陈锚, 等. 地膜池与水泥边坡沙底池封闭式养殖斑节对虾的研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2000, 39(S3): 83-85.
- [7] 何建国, 莫福. 对虾高位池养殖模式及其与病害控制的关系[J]. 中国水产, 1998(12): 30-31.
- [8] 何建国, 孙承波. 高位池对虾精养技术及病害防治 I. 高位池种类、结构[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2004, 43(6): 6-10.
- [9] 刘超奇, 孙博, 张立民, 等. 北方碳酸盐碱池塘浮游动物群落结构特征分析[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(22): 117-121.
- [10] 陈昕. 连环湖两个水体浮游生物群落结构特征及水生生态评价[J]. 水生态学杂志, 2020, 41(6): 89-97.
- [11] 鞠永富, 于洪贤, 于婷, 等. 西泉眼水库夏季浮游动物群落结构特征及水质评价[J]. 生态学报, 2016, 36(16): 5126-5132.
- [12] 焦念志. 海湾生态过程与持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 127-129.
- [13] 郑重. 浮游生物学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1964: 185.
- [14] 束蕴芳, 韩茂森. 中国海洋浮游生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [15] 邵旭东, 李毅超, 白禄军, 等. 打虎石水库浮游生物群落结构特征及鱼产力评估[J]. 水产科学, 2022, 41(3): 467-474.
- [16] 王丹, 孙军, 汪岷, 等. 海洋浮游植物病毒的研究进展[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(1): 105-113.
- [17] CARDOSO C M, PEREIRA C, SILVA V, et al. *in vivo* experimental study to investigate cytogenotoxicity of a contaminated estuary from Southeastern Brazilian Coast [J]. Journal of Environmental Science and Health Part A Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 2021, 56(5): 1-12.
- [18] 魏洪祥, 蒋湘辉, 张涛, 等. 水丰水库浮游植物群落特征及水质评价[J]. 生态学杂志, 2021, 40(2): 402-411.
- [19] 黄翔鸽, 王庆恒. 对虾高位池优势浮游植物种群与成因研究[J]. 热带海洋学报, 2002, 21(4): 36-44.
- [20] 孙成波, 何建国, 王平, 等. 三种方法处理后养殖海水的浮游生物变化及培水效果[J]. 水产学报, 2005, 29(1): 137-142.
- [21] 罗强, 李健, 常志强, 等. 对虾工厂化养殖中浮游动物群落结构的变化规律[J]. 渔业科学进展, 2020, 1(2): 131-139.
- [22] FREITAS B, TERIN U C, FAVA N, et al. Filter media depth and its effect on the efficiency of household slow sand filter in continuous flow [J]. Journal of Environmental Management, 2021, 288(8): 112412.
- [23] 李威霖, 赵吉臣, 孙成波. 夏季搭盖遮阳网对凡纳滨对虾中间培育的影响[J]. 水产养殖, 2018, 39(1): 42-47.
- [24] 卞会振. 养殖池塘中浮游动物的利、弊、防、治[J]. 海洋与渔业·水产前沿, 2017(5): 93-94.
- [25] BUSSI G, WHITEHEAD P G, BOWES M J, et al. Impacts of climate change, land-use change and phosphorus reduction on phytoplankton in the River Thames (UK) [J]. Science of the Total Environment, 2016, 572: 1507-1519.
- [26] 陈红, 刘清, 潘建雄, 等. 灞河城市段浮游生物群落结构时空变化及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 9, 39(1): 173-184.
- [27] 朱利英, 陈媛媛, 刘静, 等. 温榆河水环境质量与浮游植物群落结构的时空变化及其相互关系[J]. 环境科学, 2020, 41(2): 702-712.

## Temporal and spatial variation of plankton in high level intensive cultural shrimp pond with treated water

DAI Linxin<sup>1</sup>, ZHOU Xiaolei<sup>1</sup>, YANG Shu<sup>1</sup>, HOU Danqing<sup>1</sup>, SUN Chengbo<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088; 2. Guangdong Laboratory of Southern Marine Science and Engineering (Zhanjiang), Zhanjiang, Guangdong 524025; 3. Guangdong Key Laboratory of Pathogenic Biology and Epidemiology for Aquatic Economic Animals, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

**Abstract:** A combination of sand filtration, storage precipitation and chlorine-containing disinfectant was used to treat the aquaculture water for intensive culture of *Litopenaeus vannamei* in high level ponds. The differences of plankton in the offshore seawater, sand filtrated water and treated water were compared, and the temporal and spatial changes of plankton in the aquaculture water were analyzed. The results showed that there were many species of plankton in the offshore water, including 33 species belonging to 27 genera and 9 phyla. There were 17 species of plankton in the treated water, belonging to 15 genera and 5 phyla, second to those in the offshore water. There were 16 species of plankton in the sand filtrated water, belonging to 5 phyla 15 genera. The number of zooplankton was significantly higher in the treated water than in the offshore water and the sand filtrated water ( $P < 0.05$ ). The zooplankton density in the offshore seawater was the second highest, with an average of  $(26.45 \pm 14.30) \cdot L^{-1}$ . The zooplankton density in the sand filtrated water was the lowest, with an average of  $(6.31 \pm 1.45) \cdot L^{-1}$ . The number of phytoplankton was significantly higher in the treated water than in the offshore seawater and the sand filtrated water ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference between the two ( $P > 0.05$ ). In the vertical direction, the change in total number of phytoplankton increased from the surface layer to the middle layer and then to the bottom layer, and the distribution of the total number of phytoplankton was higher in the surface layer than in middle layer and the bottom layer, but with no significant difference ( $P > 0.05$ ). In the horizontal direction, there was significant difference in the distribution of the total number of phytoplankton in the horizontal direction ( $P < 0.05$ ). These results might provide reference for the directional regulation of plankton in shrimp aquaculture ponds and shrimp disease control.

**Keywords:** treated water; *Litopenaeus vannamei*; plankton; change

(责任编辑: 罗启香 责任编辑: 潘学峰)