

文章编号: 1674-7054(2021)01-0033-08

菲律宾蛤仔稚贝对浮游微藻的滤食选择及对水体水色的影响

魏祎铭¹, 周焱坚¹, 王攀攀¹, 程文志¹, 李天骄¹,
史天一¹, 游宇², 毛勇¹

(1. 厦门大学海洋与地球学院/近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建 厦门 361102;
2. 福建省水产技术推广总站, 福州 350002)

摘要: 为研究菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)稚贝对浮游微藻的滤食选择及生物沉降作用, 分别在稚贝滤食 0、3、6、10 h 后采集育苗池中的微藻水样, 分析浮游微藻的种类和数量变化, 测定水体透明度、悬浮物、叶绿素 a 等理化因子的变化。结果显示: 调查期间共观察到近 50 种浮游微藻, 主要包括硅藻门、绿藻门、蓝藻门等。对比滤食前后微藻的种类和数量, 发现菲律宾蛤仔稚贝对硅藻门藻类具有显著的滤食效应, 其中梅尼小环藻在投喂后 10 h 平均生物量下降了 94.02%, 占微藻平均总减少量的 39.97%, 为筛选一种优质高效的稚贝生物饵料提供了重要思路。同时稚贝的滤食作用使浮游微藻及悬浮物含量迅速减少, 水体水色变化明显, 悬浮物含量下降 85.6%, 叶绿素 a 的含量下降 72.9%, 水体透明度增加 96.7%, 证明菲律宾蛤仔稚贝滤食能够在一定程度上改善水质。

关键词: 菲律宾蛤仔; 稚贝; 浮游微藻; 滤食; 梅尼小环藻

中图分类号: S 968.3 **文献标志码:** A

引用格式: 魏祎铭, 周焱坚, 王攀攀, 等. 菲律宾蛤仔稚贝对浮游微藻的滤食选择及对水体水色的影响 [J]. 热带生物学报, 2021, 12(1): 33-40. DOI: [10.15886/j.cnki.rdsxb.2021.01.005](https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdsxb.2021.01.005)

菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)是我国重要经济养殖贝类, 肉质鲜美, 生长速度快, 分布范围广。2018 年我国海水养殖贝类产量高达 14 440 kt, 约占海水养殖总产量的 71%, 其中菲律宾蛤仔是海水养殖贝类的重要品种^[1]。福建省是我国菲律宾蛤仔苗种主要的生产和供应基地, 苗种年产量占全国的 90% 以上。近年来, 鱼、虾、贝类、藻类等混养的立体生态养殖模式发展迅速, 该模式中鱼虾养殖产生的营养盐能够被藻类吸收消耗和利用, 促进藻类的自然增殖, 同时, 微藻作为贝类的优质饵料可被进一步利用, 不仅节约了成本, 增加了贝类产量和养殖效益, 还有助于净化水体环境^[2-4], 具有良好的经济与生态效益。菲律宾蛤仔育苗过程中常常利用这些天然藻类培育稚贝, 但是稚贝滤食器官发育不完善, 对浮游微藻的滤食选择性较高^[5-6]。研究者通过稳定同位素分析等方法, 对野生菲律宾蛤仔的食物来源进行了分析, 认为底栖微藻是菲律宾蛤仔的重要食物来源之一^[7-8], 同时也证明了菲律宾蛤仔具有较高的滤食选择性^[9], 但对于菲律宾蛤仔稚贝的滤食选择缺少进一步研究。研究菲律宾蛤仔稚贝对浮游微藻群落的滤食选择, 对选择优质的天然微藻、提高稚贝成活率、促进稚贝生长具有重要意义, 同时, 稚贝的滤食具有较强的生物沉降作用, 能够有效改善养殖水质。在实际生产条件下, 笔者调查了菲律宾蛤仔稚贝对浮游微藻的滤食选择及其对水体水色的影响, 并通过差减法研究其滤食偏好, 以期找到可作为优良稚贝饵料的微藻种类, 促进立体生态养殖模式的绿色发展。

收稿日期: 2020-08-07 修回日期: 2020-12-08

基金项目: 国家虾产业技术体系项目(CARS-48)

第一作者: 魏祎铭(1997-), 女, 厦门大学海洋与地球学院 2019 级硕士研究生. E-mail: 22320191151035@stu.xmu.edu.cn

通信作者: 毛勇(1970-), 男, 博士, 教授级高级工程师. 研究方向: 海洋动物遗传育种研究. E-mail: maoyong@xmu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验设施与材料 本实验于2019年8月在福建省东山县赤山茂鑫水产有限公司进行,利用1个5 000 m²的鱼虾混养池塘培育室外微藻,利用室内育苗池(长4.55 m、宽3.55 m、高1.2 m)培育菲律宾蛤仔稚贝。每天6:00和18:00向稚贝培育池添加 $(1.13 \pm 0.23) \times 10^4$ L天然微藻。菲律宾蛤仔稚贝的壳长为 $(398 \pm 12) \mu\text{m}$,养殖密度为 1.8×10^3 个·L⁻¹,盐度19,光照正常,温度 $(29 \pm 2) ^\circ\text{C}$,水位1.1 m。

1.2 浮游微藻采集及定性定量分析 本实验在早上6:00加入 $(1.13 \pm 0.23) \times 10^4$ L天然微藻,分别在0、3、6、10 h进行取样,每个时间点设置3组重复。具体方法:利用浮游植物采集网收集贝苗培育池的水样0.5 L,加入5 mL鲁哥试剂固定,经分液漏斗静置沉淀48 h后浓缩至50 mL换入贮存瓶并编号。充分混匀后取0.1 mL于浮游植物计数框在显微镜下观察并进行定性定量分析。浮游微藻生物量计算参照文献[10]及相关标准^[11]。浮游植物优势度依据公式(1)计算。当 $Y \geq 0.02$ 时,该种即为优势种。数据统计在Excel中进行。

$$Y = ni * fi / N,$$

式中: ni 为第*i*种的总个体数; fi 为该种在各样品中出现的频率; N 为全部样品中的总个体数。

1.3 水质指标测定 为比较稚贝滤食0 h和10 h的水质变化,在6:00和16:00采用五点采样法收集水样,并测定透明度、悬浮物及叶绿素a含量,每组设置3个重复,连续测定7 d。水体透明度利用Secchi盘测定;悬浮物含量通过取0.5 L水样,经GF/C微孔滤膜滤出悬浮物,烘干后称量;叶绿素a含量采用丙酮提取分光光度法测定,取0.5 L水样,经0.45 μm孔径滤膜滤出藻类后进行。

2 结果与分析

2.1 浮游微藻种类组成及优势种 从鱼虾混养池塘共鉴定到50种浮游微藻(表1),隶属5门33属,其中硅藻门(Bacillariophyta)占48%,包含15属24种;其次是绿藻门(Chlorophyta)占32%,包含10属16种;蓝藻门(Cyanophyta)占12%,包含4属6种;此外,裸藻门(Euglenophyta)占4%,共2属2种,金藻门(Chrysophyta)占4%,共2属2种。0 h稚贝培育池中微藻优势种主要包括绿藻门小球藻属(*Chlorella*)的蛋白核小球藻(*C. pyrenoidosa*)、小球藻(*C. vulgaris*)、椭圆小球藻(*C. ellipsoidea*);韦斯藻属(*Westella*)不定种;蓝藻门平裂藻属(*Merismopedia*)细小平裂藻(*M. minima*)、微小平裂藻(*M. tenuissima*);色球藻属(*Chroococcus*)的微小色球藻(*C. minutus*)和硅藻门小环藻属(*Cyclotella*)的梅尼小环藻(*C. meneghiniana*)(表2)。

表1 稚贝培育池中浮游植物种类
Tab. 1 Phytoplankton species in the shellfish pond

种类名称 Species	采样时间/h Time for sampling			
	0	3	6	10
小环藻属 梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	+	+	+	+
小环藻属 条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i>	+		+	
小环藻属 具星小环藻 <i>Cyclotella stelligera</i>	+	+	+	+
针杆藻属 两头针杆藻 <i>Synedra amphicephala</i>		+		+
硅藻门 Bacillariophyta 菱形藻属 琴氏菱形藻 <i>Nitzschia panduriformis</i>	+			
脆杆藻属 脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp.	+			
海毛藻属 长海毛藻 <i>Thalassionema longissima</i>	+		+	
双菱藻属 粗壮双菱藻 <i>Surirella robusta</i>	+			
双菱藻属 柔弱双菱藻 <i>Surirella tenera</i>	+	+	+	+
菱形藻属 柔弱拟菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>			+	

续表 1 Tab. 1 continued

种类名称 Species		采样时间/h Time for sampling					
		0	3	6	10		
硅藻门 Bacillariophyta	舟形藻属	扁圆舟形藻	<i>Navicula placentula</i>	+			
	曲舟藻属	尖端曲舟藻	<i>Pleurosigma acutum</i>	+			
	舟形藻属	放射舟形藻	<i>Navicula radiosa</i>	+			
	菱形藻属	谷皮菱形藻	<i>Nitzschia palea</i>	+	+		
	菱形藻属	双头菱形藻	<i>Nitzschia amphibia</i>	+	+		+
	菱形藻属	长菱形藻	<i>Nitzschia longissima</i>	+			
	角管藻属	双角角管藻	<i>Cerataulina bicornis</i>	+	+		+
	针杆藻属	尖针杆藻	<i>Synedra acusvar</i>	+	+		+
	骨条藻属	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>	+	+	+	+
	曲壳藻属	短柄曲壳藻	<i>Achanthes brevipes</i>	+	+		
	脆杆藻属	钝脆杆藻	<i>Fragilaria capucina</i>	+		+	
	桥弯藻属	细小桥弯藻	<i>Cymbella gracilis</i>			+	+
	直链藻属	颗粒直链藻	<i>Melosira granulata</i>	+			
	双眉藻属	卵圆双眉藻	<i>Amphora ovalis</i>	+			
	绿藻门 Chlorophyta	小球藻属	蛋白核小球藻	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	+	+	+
小球藻属		小球藻	<i>Chlorella vulgaris</i>	+	+	+	+
小球藻属		椭圆小球藻	<i>Chlorella ellipsoidea</i>	+	+	+	+
四角藻属		三角四角藻	<i>Tetraedron trigonum</i>	+			
四角藻属		细小四角藻	<i>Tetraedron pusillum</i>			+	+
卵囊藻属		椭圆卵囊藻	<i>Oocystis elliptica</i>	+	+		
卵囊藻属		湖生卵囊藻	<i>Oocystis lacustris</i>	+	+		
卵囊藻属		波吉卵囊藻	<i>Oocystis borgei</i>	+		+	+
四星藻属		短棘四星藻	<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>	+			
韦斯藻属		韦斯藻	<i>Westella</i> sp.	+	+	+	+
空星藻属		小空星藻	<i>Coelastrum microporum</i>	+			
十字藻属		四角十字藻	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	+			
十字藻属		直角十字藻	<i>Crucigenia rectangularis</i>	+			
新月藻属		中型新月藻	<i>Closterium intermedium</i>	+			+
鼓藻属		光滑鼓藻	<i>Cosmarium leave</i>	+			
微芒藻属		微芒藻	<i>Micractinium pusillum</i>	+			
蓝藻门 Cyanophyta		隐球藻属	微小隐球藻	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	+	+	+
	平裂藻属	细小平裂藻	<i>Merismopedia minima</i>	+	+	+	+
	平裂藻属	微小平裂藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	+	+	+	+
	色球藻属	微小色球藻	<i>Chroococcus minutus</i>	+	+	+	+
	色球藻属	束缚色球藻	<i>Chroococcus tenax</i>	+	+	+	
	鱼腥藻属	螺旋鱼腥藻	<i>Anabaena spiroides</i>	+			
裸藻门 Euglenophyta	囊裸藻属	截头囊裸藻	<i>Trachelomonas abrupta</i>	+	+		
	裸藻属	膝曲裸藻	<i>Euglena geniculata</i>	+		+	
金藻门 Chrysophyta	棕鞭藻属	谷生棕鞭藻	<i>Chromulina vallesiaca</i>	+	+		
	单鞭金藻属	卵形单鞭金藻	<i>Chromulina ovalis</i>	+	+	+	+

表 2 0 h 稚贝培育池浮游植物优势种及优势度

Tab. 2 Dominant species and dominance of phytoplankton in the shellfish pond at 0 h

门类 Phylum	优势种 Dominant species	优势度 Dominance
绿藻门 Chlorophyta	蛋白核小球藻 <i>C. pyrenoidosa</i>	0.04
	小球藻 <i>C. vulgaris</i>	0.15
	椭圆小球藻 <i>C. ellipsoidea</i>	0.03
	韦斯藻 <i>Westella</i> sp.	0.02
蓝藻门 Cyanophyta	细小平裂藻 <i>M. minima</i>	0.04
	微小平裂藻 <i>M. tenuissima</i>	0.02
	微小色球藻 <i>C. minutus</i>	0.08
硅藻门 Bacillariophyta	梅尼小环藻 <i>C. meneghiniana</i>	0.08

2.2 浮游微藻群落的丰度及生物量的变化 稚贝培育池中的浮游微藻的丰度具有明显的时间依赖性(图 1A)。投喂初始各门类浮游微藻总平均丰度为 16.08×10^7 个·L⁻¹, 投喂后 3 h, 平均丰度快速降至 4.72×10^7 个·L⁻¹, 减少了 70.67%; 投喂后 6 h, 平均丰度降至 2.65×10^7 个·L⁻¹; 投喂后 10 h, 平均丰度又下降 34.59%, 降至 1.73×10^7 个·L⁻¹。根据图 1A 和图 1C 可知, 各门类微藻平均丰度均有明显降低, 其中绿藻门平均丰度降低最多, 至投喂后 10 h 降低至 6.98×10^7 个·L⁻¹, 幅度达 89.72%, 且其在藻类总生物丰度中的占

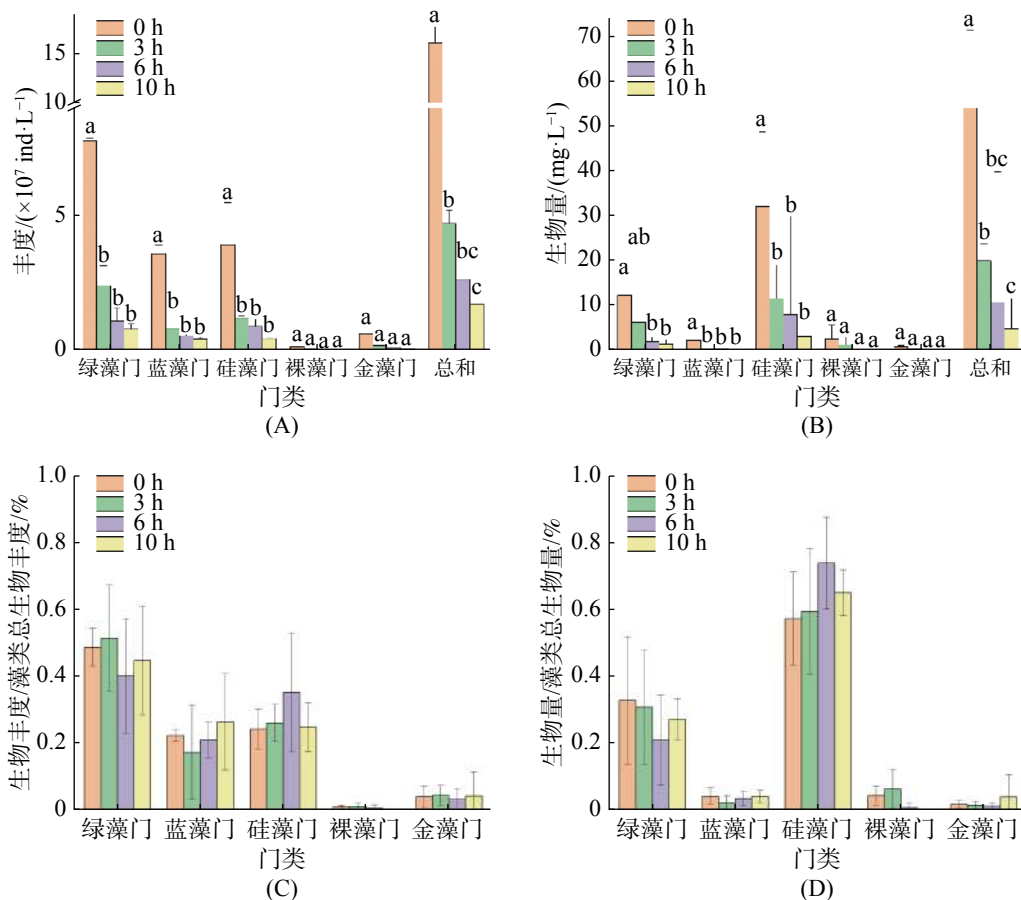


图 1 稚贝养殖池中浮游微藻丰度、生物量的变化

(A) 丰度; (B) 生物量; (C) 丰度占比; (D) 生物量占比变化; A、B 的总和分别为各门类浮游微藻生物丰度、生物量相加之和。

Fig. 1 Changes of phytoplankton in the shellfish pond

(A) Cell density; (B) Biomass; (C) Proportion of cell density; (D) Proportion of biomass; The total means the sum of the abundance or biomass of phytoplankton of each class in Fig. 1-A and Fig. 1-B.

比由 48.70% 降低至 44.75%; 其次是硅藻门平均丰度降至 3.48×10^7 个·L⁻¹, 幅度为 88.56%, 占比由 24.18% 变化至 24.76%; 蓝藻门平均丰度降至 3.17×10^7 个·L⁻¹, 幅度为 87.96%, 其占比由 22.29% 升高至 26.33%。

稚贝培育池中硅藻门和绿藻门的生物量始终占据较大比例(图 1B、图 1D)。投喂后 0 h 养殖池中各门类浮游微藻总平均生物量达到 $65.650 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 投喂后 3 h 平均生物量迅速降 $20.016 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 投喂后 6、10 h 平均生物量分别降低至 10.742、4.888 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。其中硅藻门平均生物量下降幅度最大, 由初始时的 $36.623 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 到投喂后 10 h 后降至 $3.209 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 共减少了 $33.415 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 占微藻平均生物量总减少量的 54.99%, 但在藻类总生物量中的占比由 57.28% 升高至 65.01%; 其次为绿藻门, 10 h 平均生物量共减少了 $21.648 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在藻类总生物量中的占比由 32.77% 降低至 27.08%。蓝藻门、裸藻门、金藻门的平均生物量减少量较低。

2.3 浮游微藻生物量动态 在投喂后 0 ~ 10 h, 稚贝培育池中绝大多数的浮游微藻单个物种的生物量均有所减少, 个别种类生物量增加(表 3), 其中生物量变化较大的微藻种类主要包括硅藻门的梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*); 绿藻门的小球藻(*Chlorella vulgaris*)、湖生卵囊藻(*Oocystis lacustris*)、椭圆卵囊藻(*Oocystis elliptica*); 蓝藻门的微小色球藻(*Chroococcus minutus*); 裸藻门的截头囊裸藻(*Trachelomonas abrupta*)等。梅尼小环藻的生物量从初始的 $25.831 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 降至在投喂后 10 h 后的 $1.545 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 共减少了 $24.286 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 占硅藻门总减少量的 72.68%, 其次为绿藻门的湖生卵囊藻及小球藻。

表 3 调查期间稚贝培育池中浮游微藻平均生物量

Tab. 3 Mean biomass of phytoplankton in the shellfish pond during survey

种类名称 Species	拉丁学名 Scientific name	投喂后 10 h 以内的平均生物量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) Mean biomass after feeding			
		0 h	3 h	6 h	10 h
梅尼小环藻	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	25.831	8.610	5.961	1.545
条纹小环藻	<i>Cyclotella striata</i>	1.113	-	0.159	-
具星小环藻	<i>Cyclotella stelligera</i>	1.413	0.883	0.177	0.530
两头针杆藻	<i>Synedra amphicephala</i>	-	0.033	-	0.033
琴氏菱形藻	<i>Nitzschia panduriformis</i>	0.164	-	-	-
脆杆藻	<i>Fragilaria</i> sp.	0.341	-	-	-
长海毛藻	<i>Thalassionema longissima</i>	0.020	-	0.016	-
粗壮双菱藻	<i>Surirella robusta</i>	0.660	-	-	-
柔弱双菱藻	<i>Surirella tenera</i>	1.155	0.495	0.825	0.165
柔弱拟菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	-	-	0.495	-
扁圆舟形藻	<i>Navicula placentula</i>	0.069	-	-	-
尖端曲舟藻	<i>Pleurosigma acutum</i>	0.294	-	-	-
放射舟形藻	<i>Navicula radiosa</i>	0.082	-	-	-
谷皮菱形藻	<i>Nitzschia palea</i>	0.009	0.002	-	-
双头菱形藻	<i>Nitzschia amphibia</i>	0.016	0.025	-	0.016
长菱形藻	<i>Nitzschia longissima</i>	0.018	-	-	-
双角角管藻	<i>Cerataulina bicornis</i>	1.908	0.035	-	0.024
尖针杆藻	<i>Synedra acus</i> var.	0.766	0.459	-	0.153
中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>	0.818	0.065	0.294	0.098
短柄曲壳藻	<i>Achanthes brevipes</i>	0.042	0.125	-	-
钝脆杆藻	<i>Fragilaria capucina</i>	0.068	-	0.137	-
细小桥弯藻	<i>Cymbella gracilis</i>	-	-	0.064	0.032
颗粒直链藻	<i>Melosira granulata</i>	1.380	-	-	-
卵圆双眉藻	<i>Amphora ovalis</i>	0.458	-	-	-

续表 3 Tab. 3 continued

	种类名称 Species	拉丁学名 Scientific name	投喂后 10 h 以内的平均生物量/(mg·L ⁻¹) Mean biomass after feeding			
			0 h	3 h	6 h	10 h
绿藻门 Chlorophyta	蛋白核小球藻	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	1.149	0.678	0.207	0.170
	小球藻	<i>Chlorella vulgaris</i>	6.672	1.496	0.718	0.658
	椭圆小球藻	<i>Chlorella ellipsoidea</i>	0.903	0.236	0.118	0.177
	三角四角藻	<i>Tetraedron trigonum</i>	0.127	-	-	-
	细小四角藻	<i>Tetraedron pusillum</i>	-	-	0.167	0.083
	椭圆卵囊藻	<i>Oocystis elliptica</i>	2.931	1.649	-	-
	湖生卵囊藻	<i>Oocystis lacustris</i>	7.522	2.051	-	-
	波吉卵囊藻	<i>Oocystis borgei</i>	1.356	-	0.678	0.226
	短棘四星藻	<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>	0.016	-	-	-
	韦斯藻	<i>Westella</i> sp.	0.278	0.254	0.159	0.040
	小空星藻	<i>Coelastrum microporum</i>	0.033	-	-	-
	四角十字藻	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	0.038	-	-	-
	直角十字藻	<i>Crucigenia rectangularis</i>	0.059	-	-	-
	中型新月藻	<i>Closterium intermedium</i>	0.157	-	-	0.052
	光滑鼓藻	<i>Cosmarium leave</i>	1.594	-	-	-
	微芒藻	<i>Micractinium pusillum</i>	0.221	-	-	-
蓝藻门 Cyanophyta	微小隐球藻	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	0.100	0.060	0.070	0.040
	细小平裂藻	<i>Merismopedia minima</i>	0.057	0.013	0.008	0.004
	细小平裂藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	0.010	0.004	0.002	0.003
	微小色球藻	<i>Chroococcus minutus</i>	2.204	0.320	0.170	0.132
	束缚色球藻	<i>Chroococcus tenax</i>	0.019	0.019	0.038	-
	螺旋鱼腥藻	<i>Anabaena spiroides</i>	0.002	-	-	-
裸藻门 Euglenophyta	截头囊裸藻	<i>Trachelomonas abrupta</i>	2.159	1.295	-	-
	膝曲裸藻	<i>Euglena geniculata</i>	0.495	-	0.124	-
金藻门 Chrysophyta	谷生棕鞭藻	<i>Chromulina vallesiaca</i>	0.268	0.100	-	-
	卵形单鞭金藻	<i>Chromulina ovalis</i>	0.659	0.188	0.157	0.094

2.4 水体水色特征变化 对水体透明度、悬浮物以及叶绿素 a 的调查结果表明, 稚贝培育池的水色由初始的黄绿色变化至透明无色, 水体透明度平均增加 96.7%, 悬浮物含量平均下降 85.6%, 叶绿素 a 含量平均下降 72.9%。

3 讨论

贝类对于浮游微藻的摄食压力远远大于浮游动物^[12], 因此短时间内贝类摄食是影响浮游微藻群落的首要原因。本实验结果表明, 菲律宾蛤仔稚贝对硅藻门的滤食偏好大于绿藻门、蓝藻门等其他藻类。硅藻门的平均生物量在 10 h 内降低了 33.415 mg·L⁻¹, 占微藻总减少量的 54.99%。滤食性贝类的摄食率与饵料浓度、规格大小等密切相关^[13-14]。王芳等^[15]指出由于滤食器官的发育不完善, 滤食性贝类在稚贝阶段表现出摄食率随藻类规格增大而上升, 对蓝藻、绿藻等小规格藻类的滤取效率低。本研究的室外微藻培育池中硅藻生物丰度占藻类总丰度的 24.18%, 且细胞体积大于其他种类, 因此, 稚贝对于硅藻的滤食选择性较高。在自然条件下, 底栖硅藻是菲律宾蛤仔的重要食物来源; 在室内养殖条件下, 投喂硅藻或硅藻混合其他藻类都能有效促进稚贝生长^[16-17]。对菲律宾蛤仔稚贝食性研究的主要目的是开发出优质的、便于投产的稚贝饵料, 包括大型藻类碎屑、单细胞绿藻以及人工饵料等^[18-20]。本研究通过微藻分类鉴定

发现梅尼小环藻作为混合藻水中的优势种, 投喂后 10 h 平均生物量下降了 94.02%, 占微藻总减少量的 39.97%, 该结果为寻找优质的贝类饵料提供了极为重要的思路。梅尼小环藻营养丰富, 已被用作桡足类及其他幼体的生物饵料^[21-22], 能够提高幼体变态率等。江双林等^[23]研究表明天然混合藻水投喂相较单一或几种人工藻种混合投喂, 营养更均衡。因此, 调查菲律宾蛤仔稚贝养殖过程中浮游微藻的群落变化, 有助于进一步确定适宜稚贝生长的浮游微藻, 促进稚贝生长发育, 也将对筛选富含菲律宾蛤仔优良适口饵料的鱼虾混养池塘、降低育苗饵料成本、实现规模化批量育苗具有重要的意义。利用快速繁殖的藻类充分消耗养殖尾水中的营养盐, 不仅能够为稚贝提供种类丰富、生物量高的天然饵料, 同时还能有效降低养殖尾水排放后的污染^[24-26]。浮游微藻是影响养殖水体水色的重要因素之一^[27-28], 由于在微藻培育池以绿藻、硅藻、蓝藻为主, 因此水色呈黄绿色或茶褐色^[29]。经稚贝滤食后, 微藻及有机碎屑等大量减少, 对比滤食前叶绿素 a 含量下降 72.9%。同时由于贝类滤食带来明显的生物沉降作用, 使得水体悬浮物含量也大幅降低, 对比滤食前下降 85.6%。经稚贝滤食后, 水体颜色接近透明, 水体透明度平均增加 96.7%。表明菲律宾蛤仔稚贝的滤食效应可能改变水体水色。

本研究探究了菲律宾蛤仔稚贝对浮游微藻的滤食选择效应以及生物沉降作用, 发现稚贝对梅尼小环藻具有较强的滤食偏好, 有望作为一种稚贝优质饵料以提高贝苗生长速度。同时本研究发现菲律宾蛤仔稚贝滤食影响水质的水色、悬浮物和叶绿素 a 含量, 使得水质得到一定程度的改善。本研究结果对了解确定稚贝的合适生物饵料种类以及稚贝滤食对水质的改善效果具有积极的现实意义。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局. 2019 年中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019: 17-23.
- [2] 李广毅. 菲律宾蛤仔室内小水体人工育苗技术[J]. 现代农业科技, 2017(7): 241-246.
- [3] 任福海, 刘吉明, 杨辉, 等. 辽宁菲律宾蛤仔土池育苗存在的问题与对策[J]. 水产科学, 2003(5): 39-40.
- [4] 郑春波, 王世党, 于诗群, 等. 海水池塘鱼、虾、贝生态综合养殖技术[J]. 中国水产, 2012(10): 73-75.
- [5] 陈茂辉. 福建沿海菲律宾蛤仔垦区半人工育苗技术[J]. 中国水产, 2008(6): 56-57.
- [6] 高如承, 庄惠如, 汪彦俭, 等. 西施舌稚贝对 3 种微藻选择性及摄食率研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2007(1): 70-73.
- [7] ZHAO L Q, YAN X W, YANG F. Food sources of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* in intertidal areas: evidence from stable isotope analysis [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2013, 31(4): 782-788.
- [8] TOMOHIRO K, RUMIKO K, HIROAKI T, et al. Food sources for *Ruditapes philippinarum* in a coastal lagoon determined by mass balance and stable isotope approaches [J]. *Plos One*, 2014, 9(1): e86732.
- [9] KASIM R, MUKAI H. Food sources of the oyster (*Crassostrea gigas*) and the clam (*Ruditapes philippinarum*) in the Akkeshiko estuary [J]. *Plankton and Benthos Research*, 2009, 4(3): 104-114.
- [10] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [11] 马永安, 王立俊, 梁玉波, 等. GB 17378.7—2007 海洋监测规范 第 7 部分: 近海污染生态调查和生物监测[S]. 中国国家标准化管理委员会, 2007.
- [12] CLOERN J E. Does the benthos control phytoplankton biomass in South San Francisco Bay? [J]. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1982, 9(2): 191-202.
- [13] 何苗, 周凯, 么宗利, 等. 饵料浓度、温度对缢蛏能量代谢的影响[J]. 海洋学报, 2017, 39(8): 129-135.
- [14] 曹善茂, 梁伟锋, 汪健, 等. 岩扇贝幼贝滤食率的基础研究[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(6): 612-617.
- [15] 王芳, 董双林, 张硕, 等. 海湾扇贝和太平洋牡蛎的食物选择性及滤除率的实验研究[J]. 海洋与湖沼, 2000(2): 139-144.
- [16] 何进金, 韦信敏. 菲律宾蛤仔稚贝食料和食性的研究[J]. 水产学报, 1984, 8(2): 99-106.
- [17] KASAI A, HORIE H, SAKAMOTO W. Selection of food sources by *Ruditapes philippinarum* and *Macrta veneriformis* (Bivalva: Mollusca) determined from stable isotope analysis [J]. *Fisheries Science*, 2004, 70(1): 11-20.
- [18] YAMASAKI Y, ISHII K, HIKIHARA R, et al. Usefulness of the euglenophyte *Eutreptiella eupharyngea* as a new diet alga for clam culture [J]. *Algal Research*, 2019, 40: 101493.
- [19] YIN X, WANG J, YANG M, et al. Evaluation of macroalgal detritus as food source for juvenile Manila clam, *Ruditapes philippinarum*: Effects on growth, amino acid content and fatty acid composition [J]. *Aquaculture Research*, 2019, 50(12): 3579-3588.
- [20] 杨创业, 杜晓东, 王庆恒, 等. 双壳贝类营养需求及人工饵料的研究进展[J]. 动物营养学报, 2016, 28(11): 3422-3428.

- [21] 杨海明, 尹绍武, 吴朝晖, 等. 梅尼小环藻 (*Cyclotella meneghiniana* Kiits) 的培养与利用[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1997(3): 57 – 62.
- [22] 史文, 刘其根, 吴晶, 等. 不同藻类对大型溞存活和生殖的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(6): 1128 – 1133.
- [23] 江双林, 赵从明, 王彦怀, 等. 菲律宾蛤仔摄食率与温度、壳长和饵料浓度的关系[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(4): 78 – 83.
- [24] 申玉春, 熊邦喜, 王辉, 等. 虾-鱼-贝-藻养殖结构优化试验研究[J]. 水生生物学报, 2007, 12(1): 1 – 38.
- [25] 王勃, 丛媛媛, 孙同秋. 鱼虾贝类立体生态养殖对水质净化作用研究[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2010, 20(5): 24 – 26, 59.
- [26] 骆大鹏, 刘庆明, 刘金叶, 等. 海水池塘鱼虾贝综合混养技术[J]. 现代农业科技, 2016(15): 249+254.
- [27] 李洪进, 唐玉华. 池塘养殖水色调控措施[J]. 科学养鱼, 2015(5): 23 – 24.
- [28] 张敏, 陆德祥. 池塘藻相对水产养殖的影响[J]. 河北渔业, 2014(12): 65 – 67.
- [29] 张尧. 浮游生物在鱼类养殖中的重要作用[J]. 农业开发与装备, 2019(1): 147.

Effect of Filter-feeding in the Juveniles of *Ruditapes philippinarum* on Phytoplankton and Water Color

WEI Yiming¹, ZHOU Yijian¹, WANG Panpan¹, CHEN Wenzhi¹, LI Tianjiao¹,
SHI Tianyi¹, YOU Yu², MAO Yong¹

(1. College of Ocean and Earth Sciences/State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361102, China;

2. Fujian Fisheries Technology Extension Center, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: Polyculture model can improve the economic benefits of aquaculture and reduce the pollution of aquarium water. Using shellfish to ingest microalgae is an important link in this model. Due to incomplete development of filter-feeding structures, juveniles of shellfish have high filter-feeding selectivity for phytoplankton. Besides, the filter-feeding of shellfish will cause the sedimentation of suspended solids, which is helpful to improve water quality. In order to study the filter-feeding selection effect on phytoplankton and biodeposition effect of juvenile short necked clam (*Ruditapes philippinarum*), samples of phytoplankton in the ponds culturing juvenile short necked clam were collected at 0 h, 3 h, 6 h and 10 h after feeding for analysis of their changes in the species and density of phytoplankton. Water transparency, suspended solids, and chlorophyll-a content were measured to observe the change of water color. The results showed that about 50 species of phytoplankton were observed during the survey, mainly including Bacillariophyta, Chlorophyta, and Cyanophyta among others. Comparison of the species and biomass of phytoplankton before and after filtering showed that the juveniles of the short necked clam had a significant filter-feeding selection on the species in the phylum Bacillariophyta. *Cyclotella meneghiniana* is expected to be a high-quality and efficient juvenile bait. After 10 hours of feeding, the mean biomass of *C. meneghiniana* decreased by 94.02%, accounting for 39.97% of the mean total loss of phytoplankton. And the suspended solids settled rapidly due to filtering by the juveniles, reducing the cell density of phytoplankton. The water color changed significantly after filtering. The suspended solids decreased by 85.6%, the chlorophyll-a content decreased by 72.9%, and the transparency of the water body increased by 96.7%, which proved that the juvenile short necked clam can improve water quality via filter feeding.

Keywords: *Ruditapes philippinarum*; juvenile; phytoplankton; filter-feeding; *Cyclotella meneghiniana*