

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14470

## 马氏珠母贝微胶囊饲料的适用性研究

杨创业, 罗少杰, 王庆恒, 邓岳文, 杜晓东

广东海洋大学 水产学院, 广东省珍珠养殖与加工工程技术研究中心, 广东 湛江 524088

**摘要:** 本研究测定了自主研发的马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)微胶囊饲料的粒径范围、悬浮性和稳定性; 并以室内投喂微胶囊饲料的马氏珠母贝为实验组, 自然海区养殖的马氏珠母贝为对照组, 养殖 45 d 后比较实验组与对照组成活率、生长率、软体部生化成分、肝胰脏形态与消化酶的差异。结果表明: (1)该饲料粒径均小于 48  $\mu\text{m}$ , 其中约 80% 饲料颗粒粒径在 28~48  $\mu\text{m}$ ; (2)该饲料分散性良好, 静置状态下, 在盐度为 35 的 NaCl 溶液中的沉降速度是  $(2.74 \pm 0.21)$  mm/s; (3)饲料的氮保留率(NRR)较高, 25℃ 浸泡 120 min 后、35℃ 浸泡 60 min 后 NRR 分别为  $(79.10 \pm 0.15)\%$  和  $(80.85 \pm 0.72)\%$ ; (4)实验组和对照组的成活率没有显著差异( $P > 0.05$ ); 实验组壳长、壳宽、壳高和总重的绝对增长率和相对增长率均显著低于对照组( $P < 0.05$ ); (5)实验组软体部脂肪含量显著大于对照组( $P < 0.05$ ), 碳水化合物、蛋白质和灰分含量无显著差异( $P > 0.05$ ); (6)实验组肝胰脏为橘黄色, 淀粉酶活力显著大于对照组( $P < 0.05$ ), 纤维素酶、蛋白酶活力差异不显著( $P > 0.05$ )。研究结果表明, 该微胶囊饲料粒径小、稳定性较好, 能被马氏珠母贝消化与吸收, 但需要继续改进饲料配方、完善室内养殖技术方案, 为马氏珠母贝工厂化养殖条件的优化提供科学依据。

**关键词:** 马氏珠母贝; 微胶囊饲料; 氮保留率; 生长率; 生化组分; 消化酶活力

中图分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)03-0442-08

马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)是我国海水珍珠培育的主要贝种之一。近年来, 科研人员从马氏珠母贝优良品系培育<sup>[1-2]</sup>、育珠技术<sup>[3-4]</sup>、养殖模式<sup>[5-6]</sup>等多方面开展了大量研究。但是, 目前珍珠贝的养殖都是在近岸海湾或港口采用笼具吊养, 台风、暴雨和海区污染等不利环境因素严重影响了珍珠产业的效益和发展。工厂化养殖可为马氏珠母贝的生长提供稳定的生活环境, 从而提高育珠贝的成活率和珍珠产量。开发适合马氏珠母贝滤食习性和营养需求的微粒饲料是建立工厂化育珠技术的核心和关键。从生产工艺上可将微粒饲料分为微黏饲料、微膜饲料和微胶囊饲料 3 类。其中, 微胶囊饲料具有稳定性好、掩蔽异味、便于储存和运输等优点, 生产工艺也逐渐成熟<sup>[7]</sup>。微胶囊配合饲料或营养添加物已在甲壳类和鱼类养殖

中得到广泛关注和应<sup>[8-13]</sup>。自 20 世纪 80 年代, 国外科研人员开始研究双壳类液态微胶囊饲料<sup>[14-17]</sup>。

2013 年, 广东海洋大学海水珍珠培育研究室试制了马氏珠母贝固态微胶囊配合饲料。本实验测定了该饲料的基本理化性质; 比较了室内投喂微胶囊饲料和自然海区养殖的马氏珠母贝的成活率、生长率、软体部生化组成和消化酶活力等指标差异, 分析马氏珠母贝是否能摄食、消化该饲料, 从而确定该饲料的可行性和适用性, 为下一阶段优化饲料配方、形成完善的养殖方案等研发工作积累基础资料和理论依据。

### 1 材料和方法

#### 1.1 实验材料

微胶囊饲料由广东海洋大学海水珍珠培育研

收稿日期: 2014-11-13; 修订日期: 2015-01-16.

基金项目: 国家贝类产业体系湛江综合试验站项目(CARS-48); 广东省海洋渔业科技推广专项(A201308A06).

作者简介: 杨创业(1990-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为水产养殖. E-mail: 826205797@qq.com

通信作者: 王庆恒, 副教授. E-mail: wangqingheng@163.com

杜晓东, 教授. E-mail: zjdxd@126.com

究室研制, 呈橘黄色以便于养殖实验观察, 生产工艺见孙瑞椒<sup>[8]</sup>。试验用贝为本研究室培育的马氏珠母贝选育群体 F<sub>5</sub>, 养殖于湛江市徐闻县承梧村海区, 贝龄 1 年, 选取贝体鳞片生长旺盛, 规格一致的个体, 清除贝体表面的附着物后随机分组。

## 1.2 实验设计

随机将清理的马氏珠母贝分为实验组(experimental group, EG)和对照组(control group, CG), 每组设 3 个重复组, 每个重复组 30 个个体。实验组养殖在室内的 60 L 水箱, 分别在每天 8:00、11:00、14:00、17:00、20:00、23:00 投喂微胶囊饲料 0.4 g, 随时清除死贝, 每日换水 100%, 24 h 连续充气, 海水盐度为 30, 温度为 22~28℃。对照组按常规海区养殖方式吊养于承梧村近岸海区, 盐度为 30, 水温为 23.5~26.5℃。养殖 45 d 后, 统计每组贝存活数量, 测量壳长、壳宽、壳高和总重, 计算绝对生长率和相对生长率; 每组取样 10 个个体, 剪取出软体部, 测定其生化成分含量; 其余个体解剖观察肝胰脏和晶杆体, 并测定肝胰脏纤维素酶、蛋白酶和淀粉酶活力。

## 1.3 实验方法

**1.3.1 微胶囊饲料理化性质分析** 使用日立 S-4800 型扫描电子显微镜观察饲料表面微观形态。对微胶囊饲料进行常规营养成分分析, 测定含水量、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量; 测定饲料的沉降速度和分散性; 对饲料进行粒径分级并测定其容积密度; 测定饲料的氮保留率(nitrogen retention rate, NRR)。具体测定方法见谢中国<sup>[9]</sup>。

**1.3.2 马氏珠母贝存活率与生长率测定** 养殖 45 d 后, 统计每组存活个体数量, 存活率=(存活个体/30)×100%。

利用数显游标卡尺测定壳长(shell length, SL)、壳高(shell height, SH)和壳宽(shell width, SW), 精确到 0.02 mm; 其中壳长为贝壳前后缘与铰合线平行的最大距离; 壳高为从贝壳前缘鳞片基部至腹缘与铰合线垂直的最大距离; 壳宽为捏紧两边贝壳时两壳间最大距离。利用电子天平称量马氏珠母贝总重(total weight, TW), 精确到 0.01 g。

分别按以下公式计算各性状的绝对生长率(absolute growth rate, AGR)和相对生长率(relative growth rate, RGR):  $AGR=(X_2-X_1)/t$ ;  $RGR=(X_2-X_1)/X_1 \times t$

式中,  $X_1$ 、 $X_2$  分别为某性状试验前和试验后的性状测量平均值,  $t$  为试验时间。

**1.3.3 马氏珠母贝软体部生化成分的测定** 将马氏珠母贝软体部 80℃烘干至恒重并称量。每组 10 个个体软体部干品混合并研磨, 测定每组软体部的粗蛋白、粗脂肪和灰分并计算出碳水化合物含量。具体测定方法见邱德全等<sup>[18]</sup>。样品含量=(测定数值/样品干重)×100%。

**1.3.4 马氏珠母贝肝胰脏消化酶活力的测定** 在冰盘上解剖取出肝胰脏, 用预冷的双蒸水冲洗后, 每 3 个肝胰脏合为一个样品。冰浴下剪碎后加入 4 倍体积( $W/V$ )预冷的双蒸水(0~4℃), 用玻璃匀浆器在冰浴条件下充分研磨(3 min 内)。组织匀浆液在 4℃, 10 000 r/min 离心 20 min, 取上清液作为粗酶液在 0~4℃下保存, 24 h 内测定完毕。测定时的温度与 pH 条件: 淀粉酶(25℃, pH 7.0)、纤维素酶(40℃, pH 5.5)、蛋白酶(55℃, pH 5.0); 具体测定方法见李俊辉等<sup>[19]</sup>。

## 1.4 数据处理

采用  $t$ -检验比较实验组与对照组存活率、表型性状生长率、生化成分和消化酶活力差异。采用单因素方差(One-way ANOVA)分析微胶囊饲料在不同时间、不同温度的氮保留率; 若差异显著, 再用 Duncan 法进行均值比较。利用 SPSS19.0 软件进行数据分析, 显著性水平设为  $P<0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 微胶囊饲料的理化性质分析结果

**2.1.1 微胶囊饲料的形态观察** 图 1 为该微胶囊饲料在扫描电镜下的形态观察图。该微胶囊饲料形态不规则, 粘连现象少(图 1a), 表面包裹有一层连续致密的包衣膜, 包衣效果良好(图 1b)。

**2.1.2 微胶囊饲料的营养组成** 该微胶囊饲料含水量为 7.5%; 干物质中, 粗蛋白含量为 52.38%, 粗脂肪含量为 7.55%, 灰分含量为 15.18%, 碳水化合物含量为 24.44%。

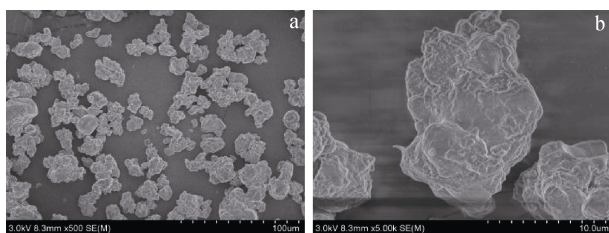


图 1 微胶囊饲料的微观形态

Fig.1 SEM images of microencapsulated diet

**2.1.3 微胶囊饲料的分散性与粒径分级** 静置状态下, 该饲料在盐度为 35 的 NaCl 溶液中的沉降速度是 $(2.74 \pm 0.21)$  mm/s; 在充气情况下能很好地分散在水体的各个水层, 分散性和悬浮性能良好。

该饲料的粒径分级和容积密度见表 1。饲料颗粒粒径均小于  $48 \mu\text{m}$ , 容积密度随粒径的增大而减小。

表 1 微胶囊饲料的粒径分级和容积密度

Tab.1 Frequency distribution of diameter and bulk density of the microencapsulated diet

粒径/ $\mu\text{m}$ particle size	百分比/% percentage	容积密度/ $(\text{g} \cdot 10^{-1} \text{mL})$ bulk density
>48	0	—
38~48	41.52	4.87
28~38	37.26	4.98
<28	21.22	5.09

**2.1.4 微胶囊饲料的稳定性** 微胶囊饲料在不同体系中的缓释性能用氮保留率表示。如图 2 所示,  $25^\circ\text{C}$  条件下, 微胶囊饲料在盐度为 35 的 NaCl 溶液中浸泡 30~120 min 的氮保留率为 $(85.71 \pm 0.26)\%$ ~ $(79.10 \pm 0.15)\%$ 。30 min 和 60 min 时氮保留率无显著性差异( $P > 0.05$ ), 但显著高于 90 min 时和 120 min 时的氮保留率( $P < 0.05$ )。

将微胶囊饲料分别浸泡在  $15 \sim 35^\circ\text{C}$  的盐度为 35 的 NaCl 溶液中 60 min, 测定微胶囊饲料在不同温度下的氮保留率。如图 3 所示, 实验条件下微胶囊饲料的氮保留率随着温度的升高呈下降趋势, 变化范围为 $(87.19 \pm 0.37)\%$ ~ $(80.85 \pm 0.72)\%$ 。 $30^\circ\text{C}$  和  $35^\circ\text{C}$  时饲料氮保留率显著低于  $15^\circ\text{C}$ 、 $20^\circ\text{C}$  和  $25^\circ\text{C}$  时的氮保留率( $P < 0.05$ )。

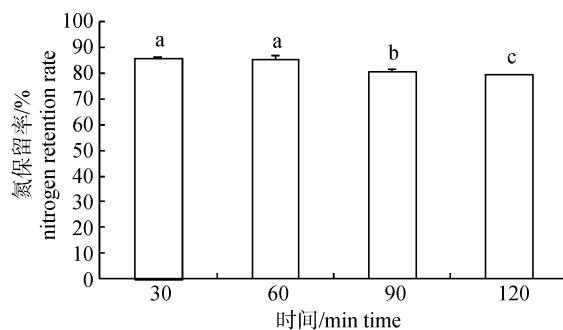
图 2 微胶囊饲料浸泡在 NaCl 溶液不同时间的氮保留率  
标有不同字母的数值间差异显著( $P < 0.05$ )。

Fig.2 Nitrogen retention rate of microcapsulated diet soaked in NaCl for different time

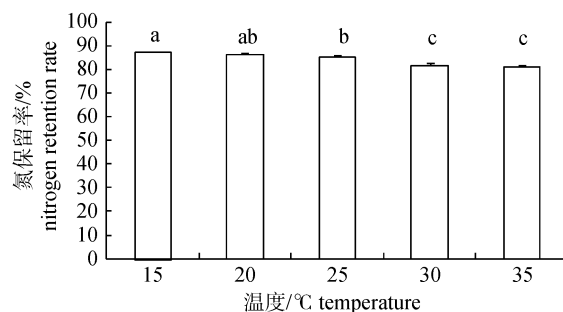
Values with different letters are significantly different( $P < 0.05$ ).图 3 微胶囊饲料在不同温度 NaCl 溶液中浸泡 60 min 的  
氮保留率具有不同字母的数值间差异显著( $P < 0.05$ )。

Fig.3 Nitrogen retention rate of microcapsulated diet in different temperature for 60 min soaked in NaCl solution

Values with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ).

## 2.2 存活率与生长率比较

养殖 45 d 后, 统计实验组和对照组马氏珠母贝存活率, 测定各组马氏珠母贝的壳长、壳高、壳宽, 计算绝对生长率和相对生长率, 利用  $t$ -检验分析组间差异, 分析结果见表 2, 实验组和对照组马氏珠母贝存活率没有显著性差异( $P > 0.05$ ); 实验组壳长、壳高、壳宽的绝对生长率和相对生长率均显著低于对照组( $P < 0.05$ )。

## 2.3 晶杆与肝胰脏形态

解剖发现, 实验组马氏珠母贝晶杆正常, 游离端粘有饲料颗粒; 肝胰脏形态正常, 为橘黄色(图 4)。对照组马氏珠母贝肝胰脏为正常的墨绿色。

## 2.4 软体部生化成分比较

对实验组和对照组马氏珠母贝的软体部的蛋白质含量、脂肪含量、灰分含量、碳水化合物含

表 2 实验组 and 对照组马氏珠母贝的生长比较  
Tab.2 The growth rate of the experimental and control groups of pearl oyster *Pinctada martensii*

		<i>n</i> =3; $\bar{x} \pm SD$	
	指标 indicator	实验组 experimental group	对照组 control group
壳长 SL	初长/mm initial length	45.81±0.62	45.48±0.48
	终长/mm final length	47.24±0.75	48.25±1.33
	绝对生长率/ $10^{-2}mm \cdot d^{-1}$ AGR	3.18±0.34*	6.15±2.29
	相对生长率/ $10^{-4} \cdot d^{-1}$ RGR	6.93±0.68*	13.50±4.98
壳宽 SW	初长/mm initial length	16.02±0.31	16.27±0.39
	终长/mm final length	16.57±0.33	17.68±0.89
	绝对生长率/ $10^{-2}mm \cdot d^{-1}$ AGR	1.22±0.14*	3.13±1.12
	相对生长率/ $10^{-4} \cdot d^{-1}$ RGR	7.63±0.83*	19.15±6.36
壳高 SH	初长/mm initial length	47.09±0.59	47.02±0.61
	终长/mm final length	48.24±0.50	49.77±0.82
	绝对生长率/ $10^{-2}mm \cdot d^{-1}$ AGR	2.57±1.19*	6.10±0.71
	相对生长率/ $10^{-4} \cdot d^{-1}$ RGR	5.47±2.59*	12.98±1.42
总重 TW	初重/g Initial weight	14.60±0.47	15.17±0.86
	终重/g Final weight	15.65±0.72	17.04±1.23
	绝对生长率/ $10^{-2}g \cdot d^{-1}$ AGR	2.32±0.98*	4.16±1.12
	相对生长率/ $10^{-4} \cdot d^{-1}$ RGR	15.85±6.50*	27.29±6.40
	存活率/% survival rate	96.67±3.33	95.80±1.44

注: \*表示实验组与对照组差异显著( $P<0.05$ ).  
Note: \*denotes significant difference between experimental group and control group ( $P<0.05$ ).



图 4 实验组(左)与对照组(右)马氏珠母贝肝胰脏形态比较  
Fig.4 Comparison of hepatopancreas in the experimental (left) and control (right) groups of *Pinctada martensii*

量进行了 *t*-检验。分析结果见表 3。实验组和对照组马氏珠母贝的软体部的蛋白质含量、灰分含量、碳水化合物含量均无显著性差异( $P>0.05$ ), 但实验组软体部脂肪含量显著高于对照组( $P<0.05$ )。

2.5 消化酶活力的比较

将实验组和对照组的马氏珠母贝进行解剖并取得其肝胰脏, 测定肝胰脏内几种常见消化酶活力, 并对测定数据进行了 *t*-检验。分析结果表明, 与对照组比较, 实验组马氏珠母贝肝胰脏蛋白酶和纤维素酶活力无显著性差异( $P>0.05$ ), 淀粉酶

活力显著上升( $P<0.05$ )(表 4)。

3 讨论

为规避近岸养殖易受灾害气候和环境污染给海水珍珠生产带来的严重负面影响, 构建工厂化养殖育珠技术是保证海水珍珠产业持续健康发展的必由之路。20 世纪 70—80 年代, 广东海洋大学(原湛江水产学院)在 10 年时间里曾先后开展了 7 期工厂化育珠试验。结果显示, 试验期间工厂化养殖的育珠贝在植核后休养期、育珠期的存活率、留核率等重要生产指标均明显高于海区对照组<sup>[20-21]</sup>。但是, 上述试验主要依靠人工培育的微藻作为育珠贝饵料, 饵料培养池体积远大于育珠池而占用大量养殖水体, 养殖效益明显不足; 饵料生物的生长也容易受光照、气温等因素影响而不稳定。因此, 开发适合双壳类滤食的人工配合饲料、保证育珠贝饵料供给是开展工厂规模化育珠的首要工作和前提。

马氏珠母贝为滤食性生物, 属于被动摄食, 依靠鳃丝的黏液细胞分泌黏液和柱状表皮细胞的

表 3 实验组和对照组马氏珠母贝的软体部生化组分比较

Tab.3 The biochemical components of the experimental and control groups of pearl oyster *Pinctada martensii*

组别 group	n=3; $\bar{x} \pm SD$ ; %			
	粗脂肪含量 fat content	粗蛋白含量 protein content	碳水化合物含量 carbohydrate content	灰分含量 ash content
实验组 experimental group	9.18±0.15*	70.12±0.59	5.06±0.66	15.63±0.38
对照组 control group	6.21±0.75	71.23±1.31	6.79±1.00	15.77±0.27

注: \*表示实验组与对照组差异显著( $P<0.05$ ).  
Note: \* denotes significant difference between experimental group and control group ( $P<0.05$ ).

表 4 实验组和对照组马氏珠母贝消化酶活力

Tab.4 The biochemical digestive enzyme activity of the experimental and control groups of *Pinctada martensii*

组别 group	n=3; $\bar{x} \pm SD$ ; $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$		
	蛋白酶活力 protease activity	纤维素酶活力 cellulose activity	淀粉酶活力 amylase activity
实验组 experimental group	8.57±2.45	84.30±28.92	267.18±51.59*
对照组 control group	7.99±2.08	71.23±13.92	179.88±60.77

注: \*表示实验组与对照组差异显著( $P<0.05$ ).  
Note: \* denotes significant difference between experimental group and control group ( $P<0.05$ ).

纤毛摆动收集和运输进入外套腔的食物颗粒<sup>[22]</sup>,摄食速度慢,并有“假粪”形成。自然环境中的食物来源主要为浮游植物,也能摄食细菌、有机碎屑和小型浮游动物(如原生动物、甲壳动物的无节幼体和其他贝类的卵和幼虫等)<sup>[23]</sup>;在室内促熟培育等生产活动中,一般投喂扁藻、金藻、硅藻、酵母等微型生物饵料。国外研究表明,双壳类幼体可以摄食、消化流质的人工配合饲料,为开展双壳类工厂化养殖进行了有益探索<sup>[14-17]</sup>。但这类饲料成分单一,幼体存活率、生长率和变态率明显低于对照组;同时,饲料为液态微球体,运输、储存不便,不符合饲料工业规模化生产的要求。

有关珍珠贝对饵料粒径的选择性方面的研究报道很少。Yukihira 等<sup>[24]</sup>报道了珠母贝(*P. margaritifera*)和大珠母贝(*P. maxima*)分别对粒径为 3~10  $\mu\text{m}$  和 4~10  $\mu\text{m}$  的悬浮颗粒的滞留效率(retention efficiencies)高于 90%。Ward 等<sup>[25]</sup>研究发现, *P. imbricata*(通常认为 *P. imbricata* 为马氏珠母贝同种异名<sup>[26]</sup>)对直径 8~38  $\mu\text{m}$  的悬浮颗粒的滞留效率达到 90%以上,对粒径小于 2.5  $\mu\text{m}$  的颗粒滞留效率则不足 50%。然而,这些研究均未考虑动物对不同粒径颗粒的清除率(clearance rate)、摄食率(ingestion rate)和消化效率(sorting effi-

ciency),也未考察更大粒径的悬浮颗粒。根据马氏珠母贝的摄食习性和生产需求,马氏珠母贝微胶囊饲料应具有粒径小、悬浮性和水中稳定性好等特点。

本实验试制的微胶囊饲料在海水中沉降速度为(2.74±0.21) mm/s,悬浮性好,大约 80%的颗粒粒径在 28~48  $\mu\text{m}$ ,介于马氏珠母贝金藻、扁藻等植物性饵料与轮虫、卤虫无节幼体、牡蛎担轮幼虫等动物性饵料之间,适合马氏珠母贝摄食。该饲料颗粒的包衣膜连续一致,具有较高的氮保留率,在 25℃时浸泡 120 min 以及 30℃时浸泡 60 min 后 NRR 分别达到(79.10±0.15)%和(80.85±0.72)%,说明该饲料稳定性良好,能在较长时间内保持有效营养成分。梁玮等<sup>[27]</sup>以凯氏定氮法分析用优特奇 E100 和硬脂酸为包衣的微粒饲料的稳定性,结果显示 60 min 时饲料粗蛋白溶失率达到 29%左右。Xie 等<sup>[10]</sup>报道以明胶和乙基纤维素为壁材的微胶囊饲料的氮保留率随时间的延长呈下降趋势,20℃下浸泡 90 min 后 NRR 分别为(50.7±3.6)%和(67.8±3.9)%;NRR 随温度的升高也呈下降趋势,30℃浸泡 60 min 后 NRR 分别为(66.2±3.3)%和(74.2±2.6)%。

本研究中,实验组马氏珠母贝肝胰脏颜色呈现为饲料的橘黄色,与海区养殖的对照组有显著

差异; 软体部脂肪含量和肝胰脏淀粉酶活力有显著上升; 实验组壳长、壳宽、壳高和总重等表型性状的绝对增长率、相对增长率约为对照组40%~50%, 均显著低于对照组( $P < 0.05$ )。这些差异是由于实验组和对照组间饵料丰度、营养组成、温度、水流、溶氧等等诸多因素共同造成的, 本研究尚不足以分析上述差异之间的内在关系, 也不能确定这些因素的具体影响程度, 但能说明马氏珠母贝确实摄食、消化了饲料, 饲料与海区浮游植物的物质差异在贝体物质积累中得以体现。在后续工作中还需要在马氏珠母贝营养需求、饲料芯材配方优化、投喂频率和投喂量确定、水质控制等方面开展大量深入研究。

致谢: 浙江恒兴饲料有限公司孙瑞椒高级工程师和盐城恒兴饲料有限公司刘兴旺博士在饲料生产方面给予很多帮助, 谨致谢忱。

#### 参考文献:

- [1] Wang Q H, Deng Y W, Du X D, et al. Realized heritability and genetic gains of three generation for superior growth in the pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. Acta Ecol Sin, 2011, 31(2): 108–111.
- [2] Fu S, Xie S H, Deng Y W, et al. A study on thick pearls produced by the third generation shell color lines of pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(9): 1418–1424.[符韶, 谢绍河, 邓岳文, 等. 利用马氏珠母贝4个壳色系 $F_3$ 培育厚层优质珍珠[J]. 水产学报, 2012, 36(9): 1418–1424.]
- [3] Deng C M, Liang F L, Fu S, et al. Study on pre-operation condition and pearl production of *Pinctada martensii*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2010, (4): 124–128.[邓陈茂, 梁飞龙, 符韶, 等. 马氏珠母贝术前处理与育珠研究[J]. 海洋湖沼通报, 2010, (4): 124–128.]
- [4] Deng Y W, Deng C M, Du X D, et al. The effects of mantle pieces treated solutions on the pearl quality of pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2011 (3): 46–50.[邓岳文, 邓陈茂, 杜晓东, 等. 细胞小片处理对马氏珠母贝育珠效果影响[J]. 海洋湖沼通报, 2011 (3): 46–50.]
- [5] Fu S, Huang B S, Deng Y W, et al. The analy on factors affecting pearl production of pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2013, 33 (1): 28–32.[符韶, 黄邦双, 邓岳文, 等. 马氏珠母贝育珠效果影响因素分析[J]. 广东海洋大学学报, 2013, 33(1): 28–32.]
- [6] Yin L P, Deng Y W, Du X D, et al. Effects of age on growth, survival and pearl production and traits in pearl oyster, *Pinctada martensii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(4): 715–720.[尹立鹏, 邓岳文, 杜晓东, 等. 贝龄对马氏珠母贝植核贝生长、成活率和育珠性状的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(4): 715–720.]
- [7] Gouin S. Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends[J]. Trends Food Sci Technol, 2004, 15: 330–347.
- [8] Sun R J. One production methods of Golden Pomfret seedlings opening microcapsules material[P]. China: 201110176721.4. [孙瑞椒. 一种金鲳鱼苗微囊开口料的生产方法[P]. 中国: 201110176721.4.]
- [9] Xie Z G. Study on preparation microencapsulated diet and effect on digestive physiology of larval shrimp (*Penaeus japonicas* Bate)[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.[谢中国. 微胶囊饲料的研制及对日本对虾仔稚幼体消化生理影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011.]
- [10] Xie Z G, Wang F R, Lou B, et al. Retention efficiency and release of nutrients in the digestive tract of larval shrimp (*Penaeus japonicas* Bate) using different microencapsulated diets[J]. Aquaculture, 2013, 21: 667–678.
- [11] Chang Q, Liang M, Zhang H, et al. Advances in nutritional demands and microdiet for marine fish larvae[j]. Prog Fish Sci, 2009, 30: 130–136.
- [12] Murray H M, Lall S P, Rajaselvam R, et al. Effect of early introduction of microencapsulated diet to larval atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* L. assessed by microarray analysis[J]. Mar Biotechnol, 2010, 12(2): 214–229.
- [13] Chi S Y, Tan B P, Dong X H, et al. Effect of supplementation microcapsule or crystalline methionine in diets on related enzyme activity of cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(1): 110–118.[迟淑艳, 谭北平, 董晓慧, 等. 微胶囊蛋氨酸或晶体蛋氨酸对军曹鱼幼鱼相关酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(1): 110–118.]
- [14] Numaguchi K. Effect of an artificial diet on early spat growth of the Japanese pearl oyster *Pinctada fucata martensii*[J]. Fisheries, 2002, 68: 694–696.
- [15] Chu F E, Webb K L, Hepworth D, et al. Metamorphosis of larvae of *Crassostrea virginica* fed microcapsules diets[J]. Aquaculture, 1987, 64: 185–197.
- [16] Southgate P C, Lee P S, Nell J A. Preliminary assessment of a microencapsulated diet for larval culture of the Sydney rock oyster, *Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley)[J]. Aquaculture, 1992, 105: 345–352.

- [17] Numaguchi K, Nell J A. Effect of gelatin acacia micro-capsules and algal meal supplementation of algal diets on growth rates of Sydney rock oyster *Saccostrea commercialis*(Iredale & Roughley) larvae[J]. Aquaculture, 1991, 94(1): 65–78.
- [18] Qiu D Q, Li F X. Annual changes in the biochemical composition of *Kateleyis rimularis*[J]. Tropic Oceanology, 1999, 18(1): 46–51.[邱德全, 李复雪. 环沟特蛤生化成分的周年变化[J]. 热带海洋, 1999, 18(1): 46–51.]
- [19] Li J H, Wang Q H, Du X D, et al. Effects of temperature and pH on digestive enzyme activities in hepatopancreas of pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. Fisheries Science, 2011, 30(2): 115–117.[李俊辉, 王庆恒, 杜晓东, 等. 温度和 pH 对马氏珠母贝肝脏消化酶活力的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(2): 115–117.]
- [20] Liang J F, Xie S H. The preliminary summary of industrial culture of pearl by using *Pinctada martensii*[J]. Aquatic Science and Technology Information, 1987, (1): 8–11.[梁法竞, 谢绍河. 工厂化培养海水珍珠初步总结[J]. 水产科技情报, 1987, (1): 8–11.]
- [21] Deng C M, Chen M Y, Lin Y, et al. A study on industrial culture of pearl by using *Pinctada martensii*[J]. Journal of Zhanjiang Fisheries College, 1992, 12(2): 10–17.[邓陈茂, 陈明耀, 林养, 等. 工厂化培育海水珍珠的研究[J]. 湛江水产学院学报, 1992, 12(2): 10–17.]
- [22] Chen F F, Huang G J, You J J, et al. Microstructure of the gill in pearl oyster *Pinctada fucata*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2012, 47(6): 78–84.[陈飞飞, 黄桂菊, 油九菊, 等. 合浦珠母贝鳃的显微与超微结构[J]. 动物学杂志, 2012, 47(6): 78–84.]
- [23] Wang A M, Shi Y H, Wang Y, et al. The biology and breeding of new technologies of *Pinctada martensii*[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2010: 35.[王爱民, 石耀华, 王嫣, 等. 马氏珠母贝生物学与养殖新技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 35.]
- [24] Yukihiro H, Klumpp D W, Lucas J S. Feeding adaptations of the pearl oysters *Pinctada margaritifera* and *P. maxima* to variations in natural particulates[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1999, 182: 161–173.
- [25] Ward J E, MacDonald B A. Pre-ingestive feeding behaviors of two sub-tropical bivalves (*Pinctada imbricata* and *Arca zebra*): Responses to an acute increase in suspended sediment concentration[J]. Bull Mar Sci, 1996, 59: 417–432.
- [26] Southgate P C, Lucas J S. The pearl oyster[M]. Oxford: Elsevier Press, 2008: 43–54.
- [27] Liang W, Li J G, Dong Y C, et al. Study on the leaching rate of aquatic micro diets prepared by different processing methods[J]. Feed Industry, 2011, 32(5): 34–39.[梁玮, 李军国, 董颖超, 等. 不同工艺制备的水产开口饵料溶失规律试验研究[J]. 饲料工业, 2011, 32(5): 34–39.]



## Evaluation of the applicability of a microencapsulated diet developed for the pearl oyster, *Pinctada martensii*

YANG Chuangye, LUO Shaojie, WANG Qingheng, DENG Yuewen, DU Xiaodong

Fisheries College, Guangdong Ocean University, Pearl Breeding and Processing Engineering Technology Research Center of Guangdong Province, Zhanjiang 524088, China

**Abstract:** The particle size, dispersion, and stability of a microencapsulated diet developed for the pearl oyster, *Pinctada martensii*, were measured in this study. An experiment was conducted to evaluate pearl oyster feeding and digestion, in which the experimental group (EG) was fed a microencapsulated diet, and the control group (CG) was cultured at sea. Survival rate, growth rate, biochemical components in the dried edible part, and digestive enzyme activities were measured and compared in the two groups after 45 days. The results showed good dispersion of the diet, a particle size  $< 48\ \mu\text{m}$ , and that of about 80% of the particles were  $28\text{--}48\ \mu\text{m}$ . The settling velocity in 35 NaCl solution was  $(2.74\pm0.21)\ \text{mm/s}$  under static conditions. The nitrogen retention rates of the diet soaked in 35 NaCl solution for 120 min at  $25^\circ\text{C}$  and the diet soaked in 35 NaCl solution for 60 min at  $35^\circ\text{C}$  were  $(79.10\pm0.15)\%$  and  $(80.85\pm0.72)\%$ , respectively. No significant difference in survival rate was observed between the EG and CG, whereas the absolute and relative growth rates of shell length, shell width, shell height, and total weight in the EG were significantly lower than those in the CG ( $P<0.05$ ). The lipid component of the edible part was significantly higher in the EG than that in the CG ( $P<0.05$ ). No significant differences were observed in the carbohydrate, protein, or ash components of the edible part between the EG and CG. The hepatopancreas of pearl oysters in the EG was saffron-yellow. Amylase, protease, and cellulase activities of the hepatopancreas of pearl oysters in the EG were not significantly different from those in the CG. A significant difference was observed in amylase activity between the two groups ( $P<0.05$ ). These results suggest that this microencapsulated diet had appropriate particle size and stability and was absorbed and digested by the pearl oyster. Further studies should be conducted to optimize diet composition and farming protocols, which will be helpful for developing indoor pearl oyster farming.

**Key words:** *Pinctada martensii*; microcapsule diet; nitrogen retention rate; growth rate; biochemical component; digestive enzyme activity

**Corresponding author:** WANG Qingheng. E-mail: wangqingheng@163.com

DU Xiaodong. E-mail: zjduxd@126.com