

几种小丑鱼的人工繁殖技术比较研究

梅 潇¹, 杨孝慈¹, 王以顺¹, 杨翠华², 周 强², 王 峰^{1*}

¹青岛农业大学海洋科学与工程学院, 山东 青岛

²青岛海产博物馆, 山东 青岛

收稿日期: 2024年1月23日; 录用日期: 2024年2月22日; 发布日期: 2024年2月29日

摘 要

小丑鱼是具有较高观赏价值的海水观赏鱼品种, 同时也是少数能够人工繁殖的海洋观赏鱼种类。本实验以眼斑双锯鱼(公子小丑鱼)、棘颊雀鲷(透红小丑鱼)与金透红小丑鱼为研究对象, 比较了其在怀卵量、孵化率、出苗率、孵化时间、繁殖周期等方面的差异。研究表明: 金透红小丑鱼怀卵量最大, 为(2009.4 ± 284.8)个, 眼斑双锯鱼最小, 为(751.8 ± 116.4) d。棘颊雀鲷受精卵孵化率最高, 为(48.2 ± 32.9)%, 黑边公子小丑鱼 × 黑公子小丑鱼最低, 为(11.00 ± 9.0)%。棘颊雀鲷出苗率最高, 为(31.9 ± 31.4)%, 黑边公子小丑鱼 × 黑公子小丑鱼最低, 为(10.3 ± 8.5)%。棘颊雀鲷孵化时间最短, 为(7.3 ± 0.4) d, 黑边公子小丑鱼 × 黑公子小丑鱼最长, 为(8.3 ± 1.2)%。金透红小丑鱼繁殖周期最长, 为(22.5 ± 6.0) d, 眼斑双锯鱼最短, 为(12.6 ± 3.1) d。本研究结合日常管理对小丑鱼的亲鱼选择、营养强化、水质调控、受精卵孵化和幼苗培育等育苗工艺流程进行了总结, 对小丑鱼人工繁育及养殖的发展具有一定的借鉴意义。

关键词

眼斑双锯鱼, 棘颊雀鲷, 金透红小丑, 人工繁殖, 繁殖周期

Comparative Study on Artificial Breeding Techniques of Several Clownfish

Xiao Mei¹, Xiaoci Yang¹, Yishun Wang¹, Cuihua Yang², Qiang Zhou², Feng Wang^{1*}

¹School of Marine Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong

²Qingdao Marine Museum, Qingdao Shandong

Received: Jan. 23rd, 2024; accepted: Feb. 22nd, 2024; published: Feb. 29th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 梅潇, 杨孝慈, 王以顺, 杨翠华, 周强, 王峰. 几种小丑鱼的人工繁殖技术比较研究[J]. 农业科学, 2024, 14(2): 237-245. DOI: 10.12677/hjas.2024.142031

Abstract

Clownfish is a kind of marine ornamental fish with high ornamental value, and it is also one of the few marine ornamental fish species that can be artificially bred. This experiment took *Amphiprion ocellaris*, *Premnas biaculeatus*, and *Premnas epigrammata* as the research objects, and compared their differences in egg conception, hatching rate, seedling emergence rate, hatching time and breeding cycle. The results showed that the *Premnas epigrammata* had the largest number of eggs, which was (2009.4 ± 284.8) , and the *Amphiprion ocellaris* had the minimum, which was (751.8 ± 116.4) d. The hatching rate of fertilized eggs of *Premnas biaculeatus* was the highest, which was $(48.2 \pm 32.9)\%$, and the black edged *Amphiprion percula* × *Amphiprion ocellaris* var was the lowest, which was $(11.0 \pm 9.0)\%$. The emergence rate of *Premnas biaculeatus* was the highest $(31.9 \pm 31.4)\%$, and the black edged *Amphiprion percula* × *Amphiprion ocellaris* var was the lowest, which was $(10.3 \pm 8.5)\%$. The incubation time of *Premnas biaculeatus* was the shortest, which was (7.3 ± 0.4) d, and the black edged *Amphiprion percula* × *Amphiprion ocellaris* var was the longest, which was $(8.3 \pm 1.2)\%$. The reproductive cycle of *Premnas epigrammata* was the longest, which was (22.5 ± 6.0) d, and that of *Amphiprion ocellaris* was the shortest, which was (12.6 ± 3.1) d. Combined with daily management, this study summarizes the seedling raising process of clownfish, such as parent selection, nutrition enhancement, water quality regulation, fertilized egg incubation and seedling cultivation, which has a certain reference significance for the development of artificial breeding and breeding of clownfish.

Keywords

Amphiprion ocellaris, *Premnas biaculeatus*, *Premnas epigrammata*, Artificial Reproduction, The Reproductive Cycle

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

海水观赏鱼是有观赏价值的海水鱼类，大部分来自印度洋及太平洋中的珊瑚礁水域。目前发现的海水观赏鱼约有 800 多种，主要包括软骨鱼纲和硬骨鱼纲[1]。虽然观赏鱼种类繁多，但由于养殖技术限制，目前市场上常见的、且可人工繁殖的仅有小型神仙鱼(*Pterophyllum scalare*)、小丑鱼(*Amphiprioninae*)、海马(*Hippocampus*)、蝙蝠鲳(*Monodactylus sebae*)、黄金鲷(*Gnathanodon speciosus*)、少数倒吊类、雀鲷类和几种观赏虾[2]。但总体上，海水观赏鱼人工繁育及养殖等技术还未成熟，多处于试验阶段，无法进行规模化生产或产量不足以满足市场需求，故大部分海水观赏鱼来源于野捕，贸易量中来自人工繁殖的仅有 5%。海水观赏鱼的运输条件比较苛刻，在保证鱼类成活率的同时还要求体表完好无损，不然就可能影响销售价格。野生海水观赏鱼在海区捕获后要经过运输到达附近的到达暂养地，积累一定规模后再进行集中销售。海水观赏鱼由于对水温、溶氧、盐度、氨氮、pH、密度、运输时间等条件要求较高，一般采用航空运输的方式。在流入市场之前，野捕海水观赏鱼往往会经过多次运输[1]。

由于海水观赏鱼色彩艳丽、形态多姿，受到越来越多饲养者的喜爱。许多经销商和爱好者创建网站，通过贴吧、论坛等平台分享和交流饲养知识和繁殖经验，也因此吸引了更多入门者。随着爱好者人数激增，对海水观赏鱼的需求也在逐年增加。海水观赏鱼产业在近几十年中发展迅速，从 1975 年到 2005 年，

海水观赏鱼贸易额从仅占世界观赏鱼贸易的 1% 增长到 10%。海水观赏鱼进出口总额也从 2001 年的约 0.21 亿至 0.48 亿美元达到 2009 年的 7 亿美元。估计目前海水观赏鱼贸易额已超过观赏鱼总贸易额的 15%。海水观赏鱼贸易交易品种基本上是中小型海水观赏鱼。虽然海水观赏鱼的技术和产业发展还未成熟,但海水观赏鱼的贸易利润巨大,有雄厚的发展潜力,吸引了越来越多的人投入到这个产业中[2]。

小丑鱼(*Amphiprioninae*)是对辐鳍鱼纲、鲈形目、雀鲷科鱼类的俗称,是一种热带海水鱼。已知有 28 种,一种来自棘颊雀鲷属(*Premnas*),其余来自双锯鱼属(*Amphiprion*)。本实验中用到的棘颊雀鲷(*Premnas biaculeatus*)、金透红小丑(*Premnas epigrammata*)是棘颊雀鲷属鱼类,眼斑双锯鱼(*Amphiprion ocellaris*)、黑边公子小丑鱼(*Amphiprion percula*)和黑公子小丑鱼(*Amphiprion ocellaris var*)属于双锯鱼属。

小丑鱼已知种类有 28 种,主要种类有眼斑双锯鱼(*Amphiprion ocellaris*)、白条双锯鱼(*Amphiprion frenatus*)、双带双锯鱼(*Amphiprion sebae*)、棘颊雀鲷(*Premnas biaculeatus*)、克氏双锯鱼(*Amphiprion clarkii*)、颈环双锯鱼(*Amphiprion perideraion*)、宽带双锯鱼(*Amphiprion latezonatus*)、大眼双锯鱼(*Amphiprion ephippium*)、背纹双锯鱼(*Amphiprion akallopisos*)、白背双锯鱼(*Amphiprion sandaracinos*)、橙鳍双锯鱼(*Amphiprion chrysopterus*)、三带双锯鱼(*Amphiprion tricinctus*)、金腹双锯鱼(*Amphiprion chrysogaster*)、二带双锯鱼(*Amphiprion bicinctus*)、大堡礁双锯鱼(*Amphiprion akindynos*)和查戈斯双锯鱼(*Amphiprion chagosensis*) [1]。

实验中用到的小丑鱼有棘颊雀鲷(*Premnas biaculeatus*)、金透红小丑(*Premnas epigrammata*)、眼斑双锯鱼(*Amphiprion ocellaris*)、黑边公子小丑鱼(*Amphiprion percula*)和黑公子小丑鱼(*Amphiprion ocellaris var*)。棘颊雀鲷(*Premnas biaculeatus*)别名透红小丑鱼,体长 10~15 厘米,呈椭圆形侧扁。体色为深红色或紫红色,有三条白色环带贯穿全身。眼睛下面有一对长刺。原产于印度洋、太平洋的珊瑚礁海域。金透红小丑鱼体色为暗红色,与棘颊雀鲷相似,但环带为金黄色。幼鱼期,是白色条纹,成年后变为金黄色条纹,主要分布在印度至西太平洋。眼斑双锯鱼别名公子小丑鱼。体形椭圆而侧扁,颜色为橘红色,体侧有 3 条白色宽带。分布于印度至西太平洋区。黑边公子小丑相比于普通公子小丑鱼,其身体中间有一块很深的黑色包围浸染着中部白色环带。黑公子小丑鱼体色呈黑褐色至深黑色,分布于澳洲珊瑚区、达尔文海域。幼鱼体色橘红,随着长大体色加深,最后变为黑白相间的颜色,属于公子小丑鱼在不同地域的变异种,珍稀而价高。

小丑鱼生活在热带海区,属于礁区鱼类,栖息在珊瑚礁和岩礁,有着与海葵共生的习性,又名海葵鱼。食物包括藻类、桡足类动物和其他浮游性甲壳动物。繁殖方式为置卵型,雌鱼产卵于礁石或珊瑚上,鱼卵在其上孵化。亲鱼会在卵旁保护其孵化并扇动水流促进孵化。小丑鱼有独特的性转机制,小丑鱼在成长初期为雌雄同体,成年时,族群中最强壮的小丑鱼会发育为雌性,其他成年鱼只能表现为雄性。雌性体型大于雄性,占据统治地位。当族群中的雌鱼死亡或失踪,最强壮的一只雄性小丑鱼会发育为族群中的新雌性。雄性小丑鱼可以转化为雌性,但已经转化完的雌性小丑鱼无法变回雄性。

2. 材料与方法

2.1. 材料

小丑鱼亲鱼购于青岛市城阳区水族市场,圆型臂尾轮虫(*Brachionus rotundiformis*)、褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)、小球藻(*Chlorella sp.*)和卤虫(*Artemia sp.*)卵来自老师自养所赠。根据最终配对结果,将其分为 4 种繁殖组合类型,分别为组合 1 金透红小丑鱼 × 金透红小丑鱼、组合 2 棘颊雀鲷 × 棘颊雀鲷、组合 3 黑边公子小丑鱼 × 黑公子小丑鱼、组合 4 眼斑双锯鱼 × 眼斑双锯鱼。

2.2. 繁育设施

小丑鱼循环水繁殖设施主要由框架、亲鱼培育缸、水处理缸、管道系统、水泵等部分组成[3]。实验

室框架采用不锈钢材质，分为四层，如图 1，“→”代表水流方向。最上层和最下层做过滤缸，中间两层培育亲鱼，缸体大小为 60*45*45cm。顶层底部铺设一层陶瓷环，其上捆绑养殖长茎葡萄蕨藻(*Caulerpa lentillifera*)和钢丝藻(*Chaetomorpha sp.*)，对水中溶解性总氮、氨氮、硝酸盐和磷酸盐等可起到一定吸收作用。同时顶层缸体还养殖经淡水驯化海水的茉莉花鲮(*Poecilia latipinna*)，这种鱼能够吃掉水中的有机碎屑，对去除表面油膜有很好的效果。在一至三层的培育缸的底部设有一个圆形排水口，其上安装滤网，吸力较小，有一定排污作用。在培育缸后方设置隔层，隔层后的缸体相互连通，水流经隔层孔隙漏出，由一个水管汇合通入下层水系统。底缸分为几个区域，以一定高度落差的几个玻璃隔板相连，隔板下部开放，可供水流流通。缸中各区域内放置过滤器材，这样的设计可以帮助水流经过层层过滤，起到较好的净化效果。全缸水汇聚到第三层的出水口流向底缸，出水口下放置生化过滤棉，起到物理过滤的作用，阻隔碎屑残渣，同时缸中放置珊瑚骨陶瓷环，方便硝化细菌附着清洁水质，除此之外还安装蛋白分离器去除悬浮有机物。最右端有一水泵提水到各层培育缸，通过上置出水口出水，提供一定的氧气和水流。

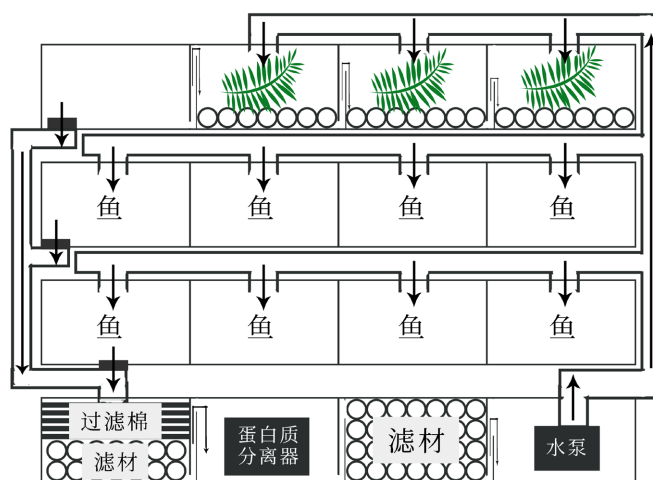


Figure 1. Structure diagram of breeding facilities

图 1. 繁育设施结构图

2.3. 数据处理

将所得数据按公式进行计算，得出怀卵量、孵化率、出苗率、孵化时间和繁殖周期数据。

$$\text{孵化率} = \frac{\text{破膜鱼苗量}}{\text{受精卵量}} \times 100\%$$

$$\text{出苗率} = \frac{\text{三天幼苗存活率}}{\text{受精卵量}} \times 100\%$$

$$\text{孵化时间} = \text{孵化日期} - \text{产卵日期}$$

$$\text{繁殖周期} = \text{当次产卵日期} - \text{上次产卵日期}$$

利用 SPSS Statistics 17.0 软件和 Microsoft Excel 软件对实验数据进行统计学分析，用 t 检验比对显著性，数据结果采用平均值 \pm 标准误差(Mean \pm S.D.)表示， $P < 0.05$ 为差异显著。

3. 结果与分析

3.1. 不同小丑鱼组合差异比较

由表 1 可看出，金透红小丑鱼组合亲鱼怀卵量最大，为(2009.4 \pm 284.8)个，显著高于眼斑双锯鱼属的眼斑双锯鱼、黑边公子小丑鱼 \times 黑公子小丑鱼组合($P < 0.05$)，但与同为棘颊雀鲷属的棘颊雀鲷组合差异不显著($P > 0.05$)。棘颊雀鲷组合怀卵量为(1930.6 \pm 251.3)个，与黑边公子小丑鱼 \times 黑公子小丑鱼组合和

眼斑双锯鱼组合差异显著。黑边公子小丑鱼 × 黑公子小丑鱼组合和眼斑双锯鱼组合怀卵量分别为(826.0 ± 105.3)个、(751.8 ± 116.4)个, 两组数据之间差异不显著。

棘颊雀鲷组合受精卵孵化率最高, 为(48.2 ± 32.9)%, 黑边公子小丑鱼 × 黑公子小丑鱼组合孵化率最低, 为(11.0 ± 9.0)%, 但四个组合之间孵化率差异不显著。

棘颊雀鲷组合出苗率最高, 为(31.9 ± 31.4)%, 黑边公子小丑鱼 × 黑公子小丑鱼组合出苗率最低, 为(10.3 ± 8.5)%, 但四个组合之间出苗率差异不显著。

棘颊雀鲷组合孵化时间最短, 为(7.3 ± 0.4) d, 黑边公子小丑鱼 × 黑公子小丑鱼组合孵化时间最长, 为(8.3 ± 1.2)%, 但四个组合之间孵化时间差异不显著。

金透红小丑鱼组合繁殖周期最长, 为(22.5 ± 6.0) d, 眼斑双锯鱼组合繁殖周期最短, 为(12.6 ± 3.1) d, 但四个组合之间孵化周期差异不显著。

Table 1. Egg-laying capacity, hatching rate, emergence rate, hatching time and reproductive cycle of different species of clownfish

表 1. 不同种类小丑鱼怀卵量、孵化率、出苗率、孵化时间和繁殖周期

组合	怀卵量	孵化率%	出苗率%	孵化时间 d	繁殖周期 d
1	2009.4 ± 284.8 ^a	33.8 ± 32.7 ^a	31.9 ± 31.4 ^a	7.3 ± 0.4 ^a	22.5 ± 6.0 ^a
2	1930.6 ± 251.3 ^a	48.2 ± 32.9 ^a	45.9 ± 31.9 ^a	7.3 ± 0.5 ^a	15.3 ± 3.9 ^a
3	826.0 ± 105.3 ^b	11.0 ± 9.0 ^a	10.3 ± 8.5 ^a	8.3 ± 1.2 ^a	17.5 ± 2.5 ^a
4	751.8 ± 116.4 ^b	29.8 ± 24.6 ^a	28.4 ± 24.2 ^a	8.1 ± 1.5 ^a	12.6 ± 3.1 ^a

注: 组合 1 为: 金透红小丑鱼 × 金透红小丑鱼、组合 2 为: 棘颊雀鲷 × 棘颊雀鲷、组合 3 为: 黑边公子小丑鱼 × 黑公子小丑鱼、组合 4 为: 眼斑双锯鱼 × 眼斑双锯鱼。各实验组数据上标字母相同代表组合之间差异不显著, 上标字母不同代表组合间差异显著, 显著水平 P = 0.05。

3.2. 小丑鱼繁育工艺流程

结合日常管理对小丑鱼的亲鱼选择、营养强化、水质调控、受精卵孵化和幼苗培育等育苗工艺流程进行总结。

3.2.1. 亲鱼选择与配对

从购回的亲鱼中挑选体长在 7 cm 以上、体格健壮、色泽艳丽、反应敏捷灵活的健康亲鱼进行人工配对[4]。因小丑鱼雌雄分化是根据强壮程度进行, 将体长有一定差距的小丑鱼进行配对, 便于其快速进行雌雄性别的转化。将亲鱼放入同一缸中, 若大鱼攻击小鱼现象严重, 将体型较大鱼放入同缸隔离盒内, 让其在狭小环境中, 隔一天后再放出观察是否打斗, 若效果不佳则重复这一操作, 帮助其配对。最后配对成功的有 6 对 5 种小丑鱼, 将其分为 4 种繁殖组合类型, 分别为组合 1 金透红小丑鱼 × 金透红小丑鱼、组合 2 棘颊雀鲷 × 棘颊雀鲷、组合 3 黑边公子小丑鱼 × 黑公子小丑鱼、组合 4 眼斑双锯鱼 × 眼斑双锯鱼。

3.2.2. 亲鱼营养强化

为满足亲鱼性腺发育和繁殖所需不饱和脂肪酸和维生素需要, 配对后的亲鱼每天投喂两顿冰鲜饵料和配合饲料。自制冰鲜饵料将虾肉、牡蛎、鱿鱼、扇贝和龙须菜绞碎混合, 加入核黄素和维生素 C 制成饵料, 分装于密封袋中, 在 -18℃ 下冷冻保存。投喂按照少量多次原则, 一次投喂的量较少, 等鱼吃完后根据亲鱼是否上前再进行补喂。投喂时提前调节出水量防止饵料被冲走。喂食后及时清理残饵。

3.2.3. 幼鱼饵料培养

幼鱼开口饵料使用圆型臂尾轮虫和褶皱臂尾轮虫, 轮虫需要经过小球藻强化, 在此之后投喂卤虫卵

孵化的卤虫无节幼体。

小球藻培养用水采用煮沸法通过电炉消毒，培养用具为 1000 mL 三角烧瓶中，经报纸和橡皮筋包扎瓶口在高压灭菌锅中消毒。按照《饵料生物培养》一书 f/2 培养液配方，配置小球藻所用硝酸钠、磷酸二氢钠和微量元素溶液，配置用水为超纯水，高压灭菌后按每 1000 mL 海水加入各 1 mL 的量来添加。使用时提前用高压灭菌锅消毒移液管。培养液一到两周返回高压蒸汽灭菌锅内消毒一次，避免长时间使用又被污染。若长期不用，就复壮前消毒。消毒好的海水加入营养盐后再添加藻液，将藻液倒入瓶中接种至浅绿色，放在光照培养箱中培养。每天取出振摇 1~2 次。

轮虫培养规模分为保种、中继和扩大培养。保种和中继培养用的海水都经过煮沸法消毒或配置海盐海水，所用器皿要进行高压灭菌消毒或高锰酸钾消毒。在 100 mL 小烧杯中进行保种培养，所加海水不超过 50 mL。保种的轮虫放在光照培养箱中，杯口用透明塑料薄膜封住，皮筋扎紧，以防因吹风蒸发过快导致的盐度变化。每天都要投喂新鲜的小球藻液维持其生长，投喂时动作轻柔防止砰溅污染。用移液枪投喂定量藻液，加至水色浅黄或浅绿色即可，过多易导致沉淀。枪头收集可反复消毒使用。每周更换新消毒的容器，弃掉培养用水的一半再加入相当体积的消毒海水以保持水质，去除有害物质。在 2000 mL 的锥形量杯进行轮虫的中继培养，扩增数量满足扩大培养的需要。扩大培养对器皿要求较低，放在 20 L 的方形鱼缸中培养，培养前添加高锰酸钾至水色紫红，消毒鱼缸一晚后使用。培养用水使用纯净水添加海盐配置，缸中加 2 到 3 个气石，充分曝气一天后放入轮虫接种。因其密度过大，藻液消耗太快，投喂浓缩藻液。每日投喂，应使投喂的藻液遮住气头，且当水澄清时，及时补充以保持轮虫快速繁殖。当轮虫繁殖到一定密度，需弃掉或喂食掉一部分水，再加入适量已消毒的海水，定期换水以保持水质和促进轮虫快速繁殖。当鱼缸底部沉积杂质过多，需要再次消毒容器，弃掉沉淀换缸培养。

3.2.4. 光照和水质调控

亲鱼培育系统每天按 11 L 和 13 D 的光暗比模拟自然光时长光照。保持系统环境中盐度为 30‰~33‰；水温为 26~27℃；pH 为 8.0~8.6；亚硝酸盐质量浓度低于 0.1 mg/L；氨氮质量浓度低于 0.2 mg/L；溶解氧在 5 mg/L 以上。每 3 天用盐度计测量并调整盐度，调整时一天最多波动半度。每周换掉水 20% 的循环水，添加海盐配制的海水，以保持系统环境稳定。

3.2.5. 亲鱼产卵与孵化

亲鱼通常在下午至傍晚繁殖，在此之前会勤于清理繁殖罐。待观察到繁殖罐上附有椭圆形橘黄的卵粒后，记录产卵日期，拍照片计算大致产卵量。这时着手准备用以隔离的孵化缸。孵化缸提前用高锰酸钾浸泡 12 小时消毒，加 Vc 快速清理残余高锰酸钾，随后多次清洗鱼缸以防残留。加入海盐配置添加营养剂的海水，调加热棒温度原缸相同，约 27℃，加入气石曝气。孵化缸中提前加入一定量核黄素来促进幼鱼生长，颜色微微显黄即可。孵化过程中，雄鱼和雌鱼会交互扇动水流给卵供氧，期间用嘴清除未受精的卵粒。卵粒初期为橘黄或橘红色，随时间推移卵粒颜色逐渐加深。4~5 天之后可以看到卵粒出现反光点即卵囊内的眼睛，在此之后反光点逐渐变强，说明即将孵化。这时拍照大致计算受精卵量。自产卵到孵化大约需要 7~10 天。第七天下午 5:30 将繁殖罐取出放入孵化缸，用 2 个以上气石直接吹卵，为卵提供氧气，使其微微摆动。用黑布全面遮盖缸体，为幼鱼起飞提供避光环境，防止其因受光，停止起飞而死亡。晚上 9:00 查看孵化情况，若有孵化，投喂圆型臂尾轮虫，若未全部孵化，第二天仍要重复以上步骤。白天 7:00 摘除黑布，用 led 灯提供全天光照，方便鱼苗取食。待鱼苗全部孵化后，撤掉黑布，吸出并计数未孵化的卵粒，计算大致孵化率，在此过程中记录孵化日期。

3.2.6. 幼苗培育

刚孵化出的鱼苗体型很小，游动能力也较弱。观察到起飞的当天要投喂经小球藻液提前强化过 12 h

的圆型臂尾轮虫，使其密度保持 10 个/mL。3 天后逐渐添加褶皱臂尾轮虫进行过渡，待小鱼 5 天后，喂食小型卤虫无节幼体，保持 5 个/mL 密度，少量多次投喂。10 天后，更换 1/4 海水保持水质，期间及时清理死掉的幼苗。度过前三天后小丑鱼幼苗一般就很少死亡，故在孵化后第三天统计三天内死亡鱼苗数计算出苗率。

4. 讨论

4.1. 实验得失

小丑鱼是重要的海水观赏鱼种类，国内外科研机构和高校对其进行了许多人工繁育的研究，以期实现小丑鱼的规模化产业化繁殖。本实验借鉴前人经验，在实验室条件下对小丑鱼人工繁殖技术进行了复刻，并在此基础上初步比较了几个不同小丑鱼品种在繁殖上的差异。小丑鱼人工繁殖是一个多环节的复杂过程，营养、水质、光照等因素都至关重要，从亲鱼的选择配对、营养强化、水质调控、孵化用水的配置、孵化的人工操作到幼苗饵料的养殖强化都有许多细节影响着最终繁殖的结果。我们在实验过程中走过不少弯路，比如养殖操作不当导致的异常疾病；亲鱼营养不足和繁殖用水缺乏几种营养元素导致小丑鱼幼苗的孵化成活率低；幼苗开口饵料养殖不当导致数量不足以供给幼苗生长等，在查阅资料以及寻求老师帮助后，对实验方法做出了一定改善和优化，才得以成功繁殖。最后得出的数据虽然在平均值上有组合间差异，但因为种种原因，导致数据离散较大，其平方差也较大，对最后的显著性比较有不利的影响。就实验结果来说，不能算是成功，仍有许多地方需要改善，如组合品种重复数不够、繁殖中因为疫情导致的记录中断、亲鱼营养不足等，都使得实验数据不够理想。不过这一实验过程所得到的经验，都可以对后来将进行的小丑鱼人工繁育实验起到一定的借鉴意义。

4.2. 小丑鱼人工培育和繁殖育苗

在人工培育的条件下，影响海水鱼类生长繁殖的主要因子是光照、饵料、水温、盐度、pH、氨氮、亚硝酸盐和硝酸盐。由于培育系统易于控制水质，其盐度和 pH 是相对稳定的，氨氮、亚硝酸盐和硝酸盐也可以及时得到控制，且亲鱼的生存对光照、饵料和水温的要求相对宽泛[5]，故对亲鱼培育条件所做对照研究相对较少。但在繁殖和仔鱼培育过程中，有特别的光照、饵料和水温范围要求。

小丑鱼作为重要的海水观赏鱼种类，许多研究人员进行了其人工繁殖和育苗技术的初探。叶乐等[6]对克氏双锯鱼(*Amphiprion clarkii*)的全人工亲鱼培育代替野生小丑鱼亲鱼进行研究，发现全人工培育小丑鱼亲鱼替代野生小丑鱼亲鱼具有可行性，在 180 日龄时人工培育亲鱼的性别分化开始，可进行配对。海葵和珊瑚的存在能提高小丑鱼亲鱼安全感，缩短产卵周期。鲍鹰等[5]探索和收集了红小丑鱼(*Amphiprion frenatus*)的人工繁殖过程中的相关数据。作者还在棘颊雀鲷实验中，得出在 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 和 14 L 和 10 D 的光暗周期下，2000 lx 和 500 lx 两种光照强度低光照条件下受精卵的孵化时间延长、受精卵孵化率低和初孵仔鱼的存活率极低。26 $^\circ\text{C}$ 是亲鱼产卵、受精卵孵化和仔鱼生长的适宜水温。吕爽等[7]观察记录白条双锯鱼从受精到孵化的胚胎发育及早期个体发育规律，以期为海葵鱼繁殖提供基础理论依据。张改等[8]发现不同光照周期对双带小丑(*Amphiprion sebae*)仔鱼成活率无显著影响，但发育速率和光照时间呈正相关，在 100 lx~1000 lx 照度下生长率达到最大。

4.3. 小丑鱼室内循环水养殖设施与技术

单乐州等[9]从商业应用角度对室内循环水养殖设施进行了设计和改进，以期实现小丑鱼的规模化人工养殖。常规食用海水鱼循环水养殖设施中安装有蛋白分离器、气浮机、微滤机等控制水质的设备，虽然有利于高密度养殖，但造价较高。实验室所用养殖设施为了控制变量等实验要求，多采用单缸培育一

对亲鱼,另设幼鱼培育缸的方式,不仅培育成本高,规模也难以扩大。作者结合二者优劣,一组循环水系统中设10个玻璃钢养殖桶和1个水处理玻璃钢及管道系统,采用物理过滤、生化过滤、藻板过滤进行循环水处理。与常规食用海水鱼循环水养殖设施相比,减少常规过滤设施,新增了藻板过滤设施。表面粗糙的藻板在自然光照下易生长各种能吸收海水中磷酸盐、硝酸盐、硅酸盐甚至碳氢有机营养物的低等藻类或可进行光合作用的红绿藻泥菌,定期清洗藻板,就能较好地净化水质。利用这套系统,每三个月可产出5000尾商业小丑鱼,且存活率高达80%多。该设计建造成本低、运行能耗低、管理维护简单且水质稳定,有力地促进了小丑鱼等海水珊瑚礁观赏鱼类的规模化养殖生产。

4.4. 小丑鱼繁殖营养强化

营养是决定鱼类性腺发育的关键因素。普通的配合饲料远不能满足小丑鱼亲鱼性腺发育及产卵的营养需求,常常导致幼鱼在孵出的前三天大量死亡,因此需要配置冰鲜饲料饲喂。刘亚娟等[10]指出人工养殖条件下,小丑鱼亲鱼性腺发育过程中,饵料种类及食饵量是幼鱼成活率的决定因素。受限于亲鱼体型,小丑鱼不适合采用注射激素的方式促进性腺发育,因此更多采用在饵料中添加促性腺发育物(如鱿鱼、深海鱼油、卵磷脂、VG-微生物滋养剂、维生素E等)的方式来促进性腺发育。亲鱼饵料中含足够高的不饱和脂肪酸,能有效提升亲鱼怀卵量和仔鱼存活率。司河等[11]认为给小丑鱼投喂新鲜虾仁加鱿鱼肉的组合能满足种鱼繁殖期间对饵料的要求。而叶乐等[6]对克氏双锯鱼促熟培养时发现对虾加牡蛎混合投喂,亲鱼繁殖效果更好。杨霖坤等[12]研究12种常用原料对小丑鱼的诱食性,发现鱼粉、鸡肉粉、扇贝边粉与虾头粉具有良好的诱食性。

4.5. 小丑鱼研究展望

小丑鱼价格高、成活率低。随着海水观赏鱼产业的兴起,小丑鱼人工培育逐渐被人们所重视。小丑鱼的人工繁育国外起步较早,迄今已报道繁育成功的有10余种。国内对这方面的研究较晚,并且规模化生产还未能满足市场需求,因此此项技术的推广和深入研究具有较大的开发潜力和蓬勃的发展趋势[13]。就小丑鱼产业发展来说,受到运输设备、养殖成本和疾病控制等因素的制约,而相关方面的研究较少,还有待科研人员的研发和应用[14]。

基金项目

青岛水族技术协同创新中心合作项目(6602418043)。

参考文献

- [1] 马本贺. 环境光色对白条双锯鱼(*Amphiprion frenatus*)幼鱼的影响及相关基因克隆研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- [2] 马本贺, 马爱军, 孙志宾. 海水观赏鱼产业现状及其存在的问题[J]. 海洋科学, 2016, 40(10): 151-159.
- [3] 单乐州, 邵鑫斌, 曹醒戈. 小丑鱼集约化循环水繁殖设施和技术[J]. 水产科技情报, 2017, 44(3): 143-146.
- [4] 符致德, 邢治炫, 王蓉. 小丑鱼生物学特性及高效健康人工繁育技术[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(10): 2924-2926.
- [5] 鲍鹰, 张鹏, 祝承勇. 棘颊雀鲷人工繁殖与育苗的初步研究[J]. 海洋科学, 2011, 35(3): 67-71.
- [6] 叶乐, 周泽斌, 吴开畅. 克氏双锯鱼全人工亲鱼培育技术研究[J]. 科学养鱼, 2010(9): 39-40.
- [7] 吕爽, 夏苏东, 高燕. 白条双锯鱼胚胎及仔稚鱼发育形态学观察[J]. 南方农业学报, 2021, 52(12): 3303-3310.
- [8] 张弢, 蔡生力, 鞠晨曦. 温度和pH对公子小丑鱼幼鱼消化酶活性的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(3): 131-135.
- [9] 单乐州, 邵鑫斌, 曹醒戈. 小丑鱼室内循环水养殖设施与技术[J]. 渔业现代化, 2016, 43(2): 7-10.
- [10] 刘亚娟, 胡静, 马振华. 小丑鱼繁殖生物学研究进展[J]. 水产科学, 2019, 38(4): 575-580.

-
- [11] 司和, 蒲利云, 唐贤明. 透红小丑鱼促熟培育及养殖生态技术研究[J]. 现代农业科技, 2017(10): 230-231.
- [12] 杨霖坤, 鲁康乐, 王玲. 不同饲用原料对小丑鱼的诱食性研究[J]. 新农业, 2019(17): 5-7.
- [13] 尤宏争, 夏苏东, 刘克明. 天津地区公子小丑鱼繁育技术初探[J]. 中国水产, 2016(7): 100-101.
- [14] 韩冰冰, 王辉. 海南省小丑鱼的产业发展及前景探析[J]. 江西水产科技, 2021(3): 43-46.