

黄高鳍刺尾鱼人工养殖技术研究进展

吕爽¹, 李楠², 高哲颖³, 师剑飞², 杨冬芳², 许凤影⁴

¹天津农学院, 天津

²天津市水产研究所, 天津

³天津市滨海新区农业农村发展服务中心, 天津

⁴天津市东丽区农业农村发展服务中心, 天津

收稿日期: 2022年11月13日; 录用日期: 2022年12月3日; 发布日期: 2022年12月19日

摘要

黄高鳍刺尾鱼(*Zebrasoma flavescens*)是一种草食性、雌雄异体的热带珊瑚礁鱼类, 俗称黄金吊(Yellow tang)。黄高鳍刺尾鱼在国际海水观赏鱼贸易中成为仅次于公子小丑鱼的高频贸易品种。大量的野生种群被捕捞加重了这种珍贵物种的渔业资源危机, 探索黄高鳍刺尾鱼的人工养殖技术对于保护野生种群数量和保障该类海水观赏鱼市场繁荣都有重要意义。本文阐述了目前针对黄高鳍刺尾鱼的一系列研究进展, 梳理了已有报道中的人工养殖方案, 以及相关的发育与培养进程, 为本领域研究提供研究材料支持。

关键词

黄高鳍刺尾鱼, 黄金吊, 人工养殖

Artificial Culture Technology of *Zebrasoma flavescens* (Yellow Tang)

Shuang Lyu¹, Nan Li², Zheyang Gao³, Jianfei Shi², Dongfang Yang², Fengying Xu⁴

¹Tianjin Agricultural University, Tianjin

²Tianjin Fisheries Research Institute, Tianjin

³Tianjin Binhai New area Agricultural and Rural Development Service Center, Tianjin

⁴Tianjin Fisheries Research Institute, Tianjin

Received: Nov. 13th, 2022; accepted: Dec. 3rd, 2022; published: Dec. 19th, 2022

Abstract

Zebrasoma flavescens is a herbivorous, dioecious tropical coral reef fish commonly known as Yel-

low tang. In the international Marine ornamental fish trade, *Zebrasoma flavescens* has become the most frequently traded species after the childe clownfish. A large number of wild populations have been caught, which aggravates the crisis of fishery resources of this precious species. It is of great significance to explore the artificial culture technology of *Zebrasoma flavescens* for protecting the wild population and ensuring the prosperity of this kind of Marine ornamental fish market. In this paper, a series of research progress on the *Zebrasoma flavescens* is expounds, and the existing reports of artificial culture programs, as well as the related development and culture process, to provide research material support for the research in this field.

Keywords

Zebrasoma flavescens, Yellow Tang, Artificial Culture

Copyright © 2022 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

1.1. 黄高鳍刺尾鱼简介

黄高鳍刺尾鱼(*Zebrasoma flavescens*)是一种草食性、雌雄异体的热带珊瑚礁鱼类,俗称黄金吊(Yellow tang),其经常在珊瑚群其他物种摄食有机质、藻类或碎屑而生。黄高鳍刺尾鱼属于辐鳍鱼纲(*Actinopterygii*)、鲈形目(*Clupeiformes*)、刺尾鱼科的鱼类。该种鱼类常分布与西太平洋的夏威夷群岛周边的珊瑚礁群中。印太海域也有黄高鳍刺尾鱼分布,根据研究印太海域的分布来源为夏威夷海域的鱼群流入[1]。有报道发现地中海水域也曾发现黄高鳍刺尾鱼,不过这类分布很可能是由于人为放养[2]。黄高鳍刺尾鱼的最高寿命记录可以达到41年。10年鱼龄的黄高鳍刺尾鱼体长基本成型,其后略有生长,峰值时期的雄性体长约为180mm,雌性约为160mm[3]。

黄高鳍刺尾鱼体态侧面扁平而主体呈现椭圆形,其背鳍与尾鳍有细长的硬棘,其鳍面长而阔呈伞状,通体为杏黄色。黄高鳍刺尾鱼的吻部较为突出而有钝尖状,由于其颜色明亮,形态可爱而受到海水观赏鱼养殖者的喜爱。黄高鳍刺尾鱼在国际海水观赏鱼贸易中成为仅次于公子小丑鱼的高频贸易品种。截止到2009年,黄高鳍刺尾鱼的每年捕获量已经超过50万只每年[4]。目前交易市场中的黄高鳍刺尾鱼80%来源于夏威夷岛的西海岸的捕捞,在夏威夷群岛中,黄高鳍刺尾鱼主要分布于夏威夷岛和瓦胡岛。大量的野生种群被捕捞加重了这种珍贵物种的渔业资源危机,美国夏威夷州与1999年设立了专门的海洋保护区以对这种渔业资源进行管理。

1.2. 黄高鳍刺尾鱼相关人工养殖进展简况

探索黄高鳍刺尾鱼的人工养殖技术对于保护野生种群数量和保障该类海水观赏鱼市场繁荣都有重要意义。目前国内尚无针对黄高鳍刺尾鱼人工养殖的专门学术研究的报道。在海外的相关研究中,刺尾鱼属的海水鱼品种一直也是较为难被人工养殖的品种。其中夏威夷太平洋大学海洋研究所历时十余年才最终攻克黄高鳍刺尾鱼的人工养殖。2015年底,夏威夷太平洋大学海洋研究所首次成功培养出黄高鳍刺尾鱼,并确定了相关的饲料及环境参数[5]。其他刺尾鱼属品种中,海洋观赏鱼水产养殖公司 Bali Aquarich 的创始人苏文平(Wen-Ping Su)团队成功培育出了紫吊(*Zebrasoma xanthurum*);2016年,涨潮保育组织

(Rising Tide Conservation)与佛罗里达大学合作成功培育出副刺尾鱼属(*Paracanthurus*)的太平洋蓝吊鱼(*Paracanthurus hepatus*)。基因层面显示黄高鳍刺尾鱼与褐三角倒吊(*Zebrasoma scopas*)也有较高相似,进而两者的养殖或其他相关研究也有相互借鉴意义[6]。

在现有文献报道中,Aurora I. Burgess 等进行了黄高鳍刺尾鱼的骨发育、开口大小以及摄食率的相关研究。Matthew A. DiMaggio 等对太平洋蓝吊进行了人工养殖方案研究。Megan Bushnell 等进行了黄高鳍刺尾鱼卵母细胞成熟过程,雌鱼产卵周期、月周期,雌性体长大小与繁殖力的相关研究。Chatham K. Callan 等对黄高鳍刺尾鱼的孵化后仔稚鱼饲喂方案进行了改良,并取得良好效果。Jeremy T. Claisse 等着重对黄高鳍刺尾鱼体长与性别、鱼龄的关系进行了研究。I.D. Williams 等对夏威夷海洋保护区的网格化管理对黄高鳍刺尾鱼的渔业资源保护效果进行研究。Chad R. Wylie 等对黄高鳍刺尾鱼对不同藻类的摄食偏好进行了研究。William W. Reynold 研究了黄高鳍刺尾鱼的体温调节能力。Emily S. Munday 研究了野外捕捞中排气减压对黄高鳍刺尾鱼的创伤影响。Eva Schemmel 研究了黄高鳍刺尾鱼的性成熟时的体型大小,并发现了更小体型幼鱼的性成熟和产卵迹象。M. E. Bushnell 重点研究了在月周期和季节周期下黄高鳍刺尾鱼的生殖力变化。

1.3. 人工养殖要点及意义

尽管人工养殖方法被视为是进行野外捕获的良好替代,但是商业化养殖过程中养殖方法的经济性和适用性依然是需要特别关注的。目前已经有 300 余中海水观赏鱼被成功实现人工养殖,但能够被商业化采用的仅有不到 30 种。诸多限制原因中,目标鱼种的特殊性应当被重点考虑。黄高鳍刺尾鱼的特点之一就是其孵化出的幼体体型极小,只有 1.5mm 左右,开口后摄食能力弱。这就导致黄高鳍刺尾鱼在初步孵化后的阶段因摄食不足而导致大量死亡。夏威夷太平洋大学海洋研究所最初曾尝试用桡足类无尾体进行喂食,但幼体死亡率依然很高。最终夏威夷太平洋大学海洋研究所采用了体型较小的强额孔雀哲水蚤(*Parvocalanus crassirostris*)的卵和无节幼体才使得黄高鳍刺尾鱼幼体免于死亡。这种强额孔雀哲水蚤在我国也有分布,并且其人工养殖研究已经较为成熟。

除初期饵料的选择以外,黄高鳍刺尾鱼人工养殖情况下的较低产卵率也是限制条件之一。因而选择适当的培养环境促进黄高鳍刺尾鱼的产卵,同时关注黄高鳍刺尾鱼仔稚鱼在整个成长周期中的饵料选择,以获得良好的养殖成活率。值得注意的是太平洋蓝吊的养殖方法也可以作为借鉴参考之一。

本文的目的在于通过对已有黄高鳍刺尾鱼的人工繁育报道进行阐述,探讨研究黄高鳍刺尾鱼的人工养殖操作流程和环境参数,进而推进可商业化的黄高鳍刺尾鱼养殖方法的发展。为减轻日益增长的高高鳍刺尾鱼在海水观赏鱼市场需求造成的野外捕获压力,为保护该品种鱼类的野外资源和促进海水观赏鱼品类繁盛贡献研究材料支撑。

2. 亲鱼喂养与产卵

2.1. 黄高鳍刺尾鱼亲鱼的喂养

Aurora I. Burgess 等[5]在喂养成年黄高鳍刺尾鱼时,使用了 8 只成年黄高鳍刺尾鱼,性别比例为雌雄比例为 3:1,使用聚氯乙烯管作为成鱼的栖息地。成鱼每天喂食两次,饵料为 1 mm 的自制饵料。饵料成分包括鲑鱼、虾、磷虾粉,以及虾青素、维生素添加等。

黄高鳍刺尾鱼亲鱼多捕捞自夏威夷群岛野外,野外捕捞的黄高鳍刺尾鱼通常会采取刺穿鱼鳔进行排气减压,防止其受到减压伤[7]。这种减压伤口一般会在一个月左右痊愈。通常的性成熟并能够进行产卵的黄高鳍刺尾鱼雌鱼体长在 80~90 mm 左右。但也有报告发现在瓦胡岛有体长仅为 64 mm 的雌鱼已经能够产卵[8]。据统计西夏威夷群岛野外捕捞的黄高鳍刺尾鱼平均体长在 61 mm 左右[9]。

黄高鳍刺尾鱼由于其特殊习性，需要将其养殖于较大培养箱体，这有利于保持其成活率。亲鱼培养箱应放置过滤棉纱、紫外线杀菌设备、水流循环设备和气石供氧设备。每周进行一次换水，每次换水不超过水体总量的 20%。还应该放置相应的遮蔽物作为亲鱼的栖息所。

自然环境中，藻类是黄高鳍刺尾鱼重要的摄食来源，黄高鳍刺尾鱼对布多藻(*Boodlea composita*)、缠结拟石花(*Gelidiopsis intricata*)、小沙菜(*Hypnea esperi*)、束生刚毛藻(*Cladophora fascicularis*)、刺枝鱼栖苔(*Acanthophora spicifera*)等有强烈摄食偏好[10]。自然环境中，黄高鳍刺尾鱼的夜间生存温度约为 19℃，日间平均生活温度约为 23℃ [11]。

2.2. 黄高鳍刺尾鱼产卵及孵化

黄高鳍刺尾鱼在傍晚时分产卵，一个月中在满月日期有更高的产卵数量和繁殖活力。Aurora I. Burgess 等[5]采用 200 μm 的过滤网收集鱼卵。在温和通气的环境中盛放并去除明显漂浮或下沉的活性低卵。水体循环量为每天循环 5~7 次。每两天测定一次温度、盐度、pH 值、溶氧量、流量。每四天测定一次氨、亚硝酸盐、硝酸盐含量。光照周期为 16 h 光照、8 小时遮光。水体表面的光照强度为 1880~3046 lux，水体底部的光照强度为 450~900 lux。

亲鱼会在傍晚时分产卵。通常黄高鳍刺尾鱼雌鱼的卵母细胞在每天下午 2~3 点由于水合作用而变大，而完成水合的卵则会在下午 5:30 前后排卵[12]。自然环境中，黄高鳍刺尾鱼会在日落前 1 h 前后洄游到产卵区并表现出求偶和产卵行为[13]。同时，黄高鳍刺尾鱼的产卵数量随月相变化而变化，在满月前后产卵量最大[14]。每天早上采用气泡吹拂方式将受精卵脱离，并采用 200 μm 的收集网收集浮在水面的受精卵。将沉底的不活卵筛除，保留漂浮的活卵。

将流动的水循环系统通过过滤棉纱和紫外线杀菌系统后进行流动替换，确保循环率在每天 5~7 个循环。每天记录两次水体含氧量、水循环流量。每 4 天测定一次氨、亚硝酸盐、硝酸盐含量。每周更新水体 15%。每天光照/遮光时间为 16:8，水体表面光照强度控制在 2000~3000 lux。水体温度控制在 26℃ ± 1℃，盐度控制在 32 ± 5 psu，pH 值控制在 2.8~7.9 范围，黄高鳍刺尾鱼的最佳水体硬度为 420 ppm，可以控制在 380~450 ppm。

3. 孵化后仔鱼喂养

3.1. 浮游生物培养

Aurora I. Burgess 等[5]人在其 2018 年报道的研究中对浮游生物培养过程做介绍。其野生浮游动物从夏威夷瓦胡岛的海岸捕获。实验人员采用气泵收集，并在收集前端加入 500 μm 的过滤网过滤，并采用 20 μm 的过滤网做兜底收集。每天晚间 7 点到次日凌晨 6 点收集 11 小时，保存在温和充气的桶内带回研究所。在实验室中将水体沉降，进一步沉降、过滤获得体型在 20~70 μm 的野生混合浮游动物，并转移到清洁的海水中，通过计数以制备适合的饲喂密度。

桡足类强额拟哲水蚤培育。强额拟哲水蚤是在夏威夷瓦胡岛的 Kaneohe 湾分离并培养的，培养密度维持在 1.6 个成虫/ml 范围内。培养水体在注入前经过 0.35 μm 的过滤并经过紫外线杀菌。培养水体维持 24 h 的光照，并加入硅藻培养。并最终收获 40~70 μm 的强额拟哲水蚤的桡足类无节幼体。

3.2. 孵化后初期喂养方案

黄高鳍刺尾鱼在孵化后 3 天会耗尽原有的卵黄和油脂。所以 Aurora I. Burgess 等[5]在孵化后第二天就开始往仔鱼培养箱中添加 85,000/ml 密度的藻类 *Tetraselmis chui*，每天上午 8:30，下午 4:00 各添加一次。作为主要饵料，Aurora I. Burgess 等[5]使用两种对比饵料，一种是 4 个/ml 的强额拟哲水蚤无节幼体，

第二种是 3 个/ml 的野生浮游动物无节幼体, 这两种饵料都是在每天早上 9:00 以及下午 4:30 添加。每天添加饵料前都要中止水流, 以便仔鱼进食 1 小时。

在饲喂初期, 会伴随桡足类、轮虫进行藻类投入, 与桡足类、轮虫的密度做匹配。但是当停止投喂轮虫后, 藻类的投入也应当即时停止。在开始进行配合饲料投喂时, 应当每 2 天 1 次进行轻柔的虹吸, 进而将缸底的残料和死亡水生物体移除。黄高鳍刺尾鱼仔稚鱼的繁育水质参数为: 平均温度为 26℃, 平均盐度为 32 psu, pH 值稳定在 7.8~7.9 之间。

太平洋蓝吊(*Paracatharus hepatus*)的喂养方案参考。作为参考, 在此阐述 Matthew A. DiMaggio 等[15]在 2017 年饲养太平洋蓝吊时的饲养方案为, 在孵化后 1~42 天加入藻类, 孵化后 2~42 天加入桡足类无节幼体, 孵化后 11~40 天加入轮虫, 孵化后 21~33 天加入卤虫, 孵化后 33~50 天加入强化卤虫, 孵化后 20~39 天加入配方饲料“150 300 Gemma”, 孵化后 37~50 天加入“TDO B1&B2”配方饲料。

3.3. 改良的孵化后仔鱼饲喂方案

Chatham K. Callan 等[16]在 2018 年的报道中对黄高鳍刺尾鱼仔鱼孵化后的饲养方案进行了改良。主要是采用了更高密度、更短周期、更多样化的配方方案。依然为每天上下午各投喂一次。喂养方案为孵化后 2~20 Day 喂养藻类、桡足类卵和无节幼体; 孵化后 21~25 Day 喂养藻类、桡足类卵和无节幼体、轮虫、Otohime A1 配方饲料; 孵化后 26~35 Day 喂养藻类、桡足类卵和无节幼体、轮虫、Otohime A1 配方饲料、卤虫幼虫; 孵化后 36~40 Day 喂养藻类、桡足类卵和无节幼体、轮虫、Otohime A1 配方饲料、卤虫幼虫、强化卤虫; 孵化后 41~55 Day 喂养藻类、轮虫、Otohime A1 配方饲料、卤虫幼虫、强化卤虫、Otohime B1 配方饲料; 孵化后 56~70 Day 喂养轮虫、Otohime A1 配方饲料、卤虫幼虫、强化卤虫、Otohime B1 配方饲料、Otohime C1 配方饲料、Cyclopeeze 配方饲料。

改良方案投喂时间更早, 投喂密度更高, 每个配方周期更短。投喂密度如下。桡足类卵和无节幼体投喂密度为 5 个/ml, 投喂至孵化后 20 Day; 富集轮虫的投喂密度在 16~20 Day, 每天投喂 2 次, 投喂密度 5 个/ml; 富集轮虫投喂密度在 21~30 Day, 每天投喂 2 次, 投喂密度 10 个/ml; 卤虫无节幼体投喂时间为 26~45 Day, 每天投喂 2 次, 投喂密度为 0.1 个/ml; 从第 36 Day 开始投喂强化卤虫, 投喂密度为 0.05 个/ml, 每天投喂 2 次; 从第 40 Day 开始将强化卤虫的投喂密度提升至 0.1 个/ml, 每天投喂 3 次; 从第 51 Day 开始再次将强化卤虫的投喂密度提升至 0.2 个/ml; 第 60 天后不在投喂强化卤虫。

Otohime A1 配方饲料在孵化后的 16~35 Day 进行投喂; Otohime B1 配方饲料在孵化后的 36~60 Day 进行投喂, Otohime C1 配方饲料在孵化后的 56~70 Day 进行投喂。Otohime A1、B1 配方饲料每天投喂 3 次。Otohime C1 配方饲料开始时每天投喂 3 次, 从第 61 Day 后每天投喂 4 次。Cyclopeeze 配方饲料每天投喂 3 次。其中 Otohime 品牌饲料是由日本日清丸红公司生产的品牌饲料, Cyclopeeze 配方饲料的生产商为美国华盛顿州雷蒙德的 Argent Aquaculture 公司。

Chatham K. Callan 等[16]改良后的喂养方案, 投喂时间更早, 投喂密度更高, 每个配方周期更短。仔稚鱼对水环境的参数指标以及环境因素变化造成的扰动会高度敏感, 应当注意改善, 精准控制水体环境变化, 最大程度的抵抗环境扰动和变化。也应当适当进行培养环境参数调整以适应这一阶段的仔稚鱼发育状态。

黄高鳍刺尾鱼在孵化后的第 3~4 Day 已经发育出较为完整的肠道系统, 并且开始在其肠道中发现摄食食物存在, 证明这一阶段是黄高鳍刺尾鱼仔稚鱼开口摄食的关键时期, 应当适当提前 1~2 Day 进行藻类、桡足类卵和无节幼体的投入, 做好饲喂准备, 采用 40~70 μm 的桡足类卵和无节幼体是较为小型化的饵料, 主要是针对初孵阶段的黄高鳍刺尾鱼仔稚鱼体型小而做的相应选择。

在后续阶段的饲喂, 采用更大密度的投喂桡足类浮游动物、轮虫、卤虫, 并适当延长小型化桡足类

卵和无节幼体的投喂周期,目的是保证黄高鳍刺尾鱼仔稚鱼的摄食率和摄食量。从第 40 Day 开始提升强化卤虫的投喂频次到每日 3 次,同时进行 Otohime A1、B1、C1 以及 Cyclopeeze 饲料的配合投喂,都是有意识进行提升投喂饵料的种类丰度,保证黄高鳍刺尾鱼仔稚鱼的营养成分摄取。

4. 其他发育与培养过程研究

4.1. 黄金吊仔鱼开口大小与摄食率研究

Aurora I. Burgess 等[5]人对黄高鳍刺尾鱼的嘴张开大小、骨骼发育情况以及黄高鳍刺尾鱼初步孵化后的饵料选择进行了研究分析。该项研究重点针对仔稚鱼的培育初期死亡率高的问题,提出该高死亡率可能源于由内源性摄食到外源性摄食转换的过度过程造成。在这项研究中研究团队加入了大小分类的混合野生浮游动物作为初孵阶段的饵料,以对比只使用强额拟哲水蚤(*P. crassirostris*)作为饵料的饲养方案。

以往的饲喂方案经常在初孵阶段使用强额拟哲水蚤作为饵料,是因为这种桡足类的无节幼体体型较小,被认为更易于被黄高鳍刺尾鱼仔鱼捕食。实验主要记录孵化后的 1~6 天的饲养过程,在这个过程中仔鱼的开口高度增加了 100 mm,开口宽度增加了 55 mm,人们普遍认为仔鱼饵料的宽度应当比仔鱼开口宽度小 25%~50%,才能取得良好的摄食率。

仔鱼肠容物以及摄食率分析。Aurora I. Burgess 等[5]的研究报道中,两种喂养方案的仔鱼摄食率都从孵化后 3 天的 0%,进展到孵化后 6 天的 100%。同时喂食野生浮游动物组的孵化后六天存活率为 6.9%,显著低于仅喂食强额拟哲水蚤无节幼体的存活率 18.5%。在喂食野生浮游动物组的仔鱼腹腔观察到饵料为甲壳类、无节幼体、纤毛虫、藻类等。记录到最小的为未识别的原虫,体宽平均为 25 μm ,最大的为球形纤毛虫,平均体宽为 82 μm 。作为对比组的,饲喂人工养殖强额拟哲水蚤的,在孵化后 4~6 天发现了仔鱼的强额拟哲水蚤内容物。

仔鱼开口与骨骼发育。Aurora I. Burgess 等[5]的研究报道中,孵化后 3~6 天,饲喂野生浮游动物组的开口较为缓慢,从 262.8 μm 到 354.5 μm 增加了 91.7 μm 。而饲喂人工养殖强额拟哲水蚤无节幼体组开口高度从 265.7 μm 增加了 110 μm ,到 375.7 μm 。开口宽度,饲喂野生浮游动物组从 126.9 μm 到 174.9 μm ,增加了 48 μm 。饲喂人工养殖强额拟哲水蚤无节幼体组开口宽度从 126.1 μm 到 191.8 μm ,增加了 65.7 μm 。骨发育方面,在饲养期间,观察到了前上颌骨、梅克尔式软骨、方形齿、口腔骨、下颌骨、腮骨等。未观察到上下颌的上颌牙、无牙、关节牙和咽牙发育。

4.2. 卵母细胞成熟过程研究

黄高鳍刺尾鱼的卵母细胞成熟分析可以使得我们对黄高鳍刺尾鱼的成熟过程有完整的认识。Megan Bushnell 等[12]对这个方面进行了研究报道。以前在夏威夷群岛对该物种的研究使用性腺体细胞指数(GSI)作为生殖产量的指标。

通过对鱼类卵巢进行组织学分析,可以得到卵母细胞发育分为 8 个阶段。初级生长期(I) [又分为染色质核仁(Ia)和核仁周(Ib)阶段],皮层肺泡期(II),卵黄形成期(III) [又分为早期(IIIa),中期(IIIb)和晚期(IIIc)卵黄形成阶段],成熟期(IV) [又分为成熟期(IVa)和水合期(IVb)]。Megan Bushnell 等[12]对各个时期的卵母细胞尺寸,发育时间、卵母细胞状态做了相应描述。报道中阐述成熟期卵母细胞最早在早上 9:00 就在卵巢内观察到,成熟和水合过程持续了一天并在起落前 2 小时开始排卵。

4.3. 产卵季节性和月周期

黄高鳍刺尾鱼雌性一年四季都能产生成熟的卵母细胞。然而,在春季和夏季,雌性性腺体指数(OSI)、批量繁殖力和至少连续两天产卵的雌性发生率增加,研究表明 3~7 月产卵季节延长,生殖产量增加。

对于许多海洋热带鱼物种,重复产卵物种之间的月球周期性也已确定。瓦胡岛和 Society 群岛的种群中被观察到满月前后成熟雌性的数量更多。此外,也有研究观察到人工饲养的鱼在满月季产卵比月中其他时间更多、更频繁。因此, Megan Bushnell 等[12]在其研究中收集了 2006 年 5 月以后的一年的数据。结果表明黄高鳍刺尾鱼在全年都会产卵,并且在春夏季节较为活跃,秋冬季节较低。在 2006 年夏季的密集采样中,发现雌性的繁殖力高峰在满月以及满月前的 4 天内出现高峰,这与月球周期提供的潮汐作用有关。

4.4. 雌性尺寸大小与繁殖力关系

估计成年雌性鱼的繁殖产量,对捕捞压力大的种群的管理者具有重要意义。Megan Bushnell 等[12]在其研究中观察到成年黄高鳍刺尾鱼长度、去卵巢重量、批量繁殖力没有明显相关。这种类型的鱼类会在快速成长到接近最大长度后停止生长,成熟雌性的体型没有明显的变化,对于完全成熟的黄高鳍刺尾鱼,其繁殖能力几乎不随体型增长而变化。

4.5. 个体发育长度与年龄关系

Jeremy T. Claisse 等[17]在 2007 年的研究报道中重点阐述了黄高鳍刺尾鱼的个体发育长度与年龄的相关性。通过其统计数据表明雌性、雄性黄高鳍刺尾鱼都在 12 年鱼龄内快速从 30 mm 左右生长到 150~170 mm 的成熟个体长度,其中发育生长的前 5 年尤其快速,其后则趋于缓慢。其中雄性个体较雌性个体更大,通常会长出 23 毫米左右。雄性个体的最大长度在 179 mm 左右,雌性个体的最大长度在 156 mm 左右。

5. 总结

黄高鳍刺尾鱼在国际海水观赏鱼贸易中广受欢迎,大量的野生种群被捕捞加重了这种珍贵物种的渔业资源危机,探索黄高鳍刺尾鱼的人工养殖技术对于保护野生种群数量和保障该类海水观赏鱼市场繁荣都有重要意义。目前国内尚未对此种鱼类的人工养殖技术有文献报道,海外的相关人工养殖技术也在近年有较大进展。鉴于黄高鳍刺尾鱼的特殊性,选取恰当的孵化后喂养方案是保证人工养殖的成活率的关键,对此,相关研究中已有报道阐述特定的饲喂方案和改良方法。同样的,关于黄高鳍刺尾鱼的开口大小与食物选择,野外环境中黄高鳍刺尾鱼的摄食偏好,黄高鳍刺尾鱼的卵母细胞成熟过程,体长与繁殖力关系研究都会是拓展人工养殖技术的重要参考。本文旨在对海外上述相关研究报道进行综合阐述,为黄高鳍刺尾鱼的人工养殖提供更多资料参考和研究支持。

参考文献

- [1] Eble, J.A., Toonen, R.J., Sorenson, L., et al. (2011) Escaping Paradise: Larval Export from Hawaii in an Indo-Pacific Reef Fish, the Yellow Tang *Zebrasoma flavescens*. *Marine Ecology Progress Series*, **428**, 245-258. <https://doi.org/10.3354/meps09083>
- [2] Weitzmann, B., Mercader, L. and Azzurro, E. (2015) First Sighting of *Zebrasoma flavescens* (Teleostei: Acanthuridae) and *Balistoides conspicillum* (Teleostei: Balistidae) in the Mediterranean Sea: Two Likely Aquarium Releases. *Mediterranean Marine Science*, **161**, 147-150. <https://doi.org/10.12681/mms.963>
- [3] Claisse, J.T., Kienzle, M., Bushnell, M.E., et al. (2009) Habitat-and Sex-Specific Life History Patterns of Yellow Tang *Zebrasoma flavescens* in Hawaii, USA. *Marine Ecology Progress Series*, **389**, 245-255. <https://doi.org/10.3354/meps08114>
- [4] Williams, I.D., Walsh, W.J., Claisse, J.T., et al. (2009) Impacts of a Hawaiian Marine Protected Area Network on the Abundance and Fishery Sustainability of the Yellow Tang, *Zebrasoma flavescens*. *Biological Conservation*, **142**, 1066-1073. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.12.029>
- [5] Burgess, A.I. and Callan, C.K. (2018) Effects of Supplemental Wild Zooplankton on Prey Preference, Mouth Gape,

- Osteological Development and Survival in First Feeding Cultured Larval Yellow Tang (*Zebrasoma flavescens*). *Aquaculture*, **495**, 738-748. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.046>
- [6] Bernardi, G., Nelson, P., Paddock, M., *et al.* (2018) Genomic Islands of Divergence in the Yellow Tang and the Brush-tail Tang Surgeonfishes. *Ecology and Evolution*, **8**, 8676-8685. <https://doi.org/10.1002/ece3.4417>
- [7] Munday, E.S., Tissot, B.N., Heidel, J.R., *et al.* (2015) The Effects of Venting and Decompression on Yellow Tang (*Zebrasoma flavescens*) in the Marine Ornamental Aquarium Fish Trade. *PeerJ*, **3**, e756. <https://doi.org/10.7717/peerj.756>
- [8] Schemmel, E. (2021) Size at Maturity for Yellow Tang (*Zebrasoma flavescens*) from the Oahu, HI, Aquarium Fishery. *Environmental Biology of Fishes*, **104**, 1139-1147. <https://doi.org/10.1007/s10641-021-01142-3>
- [9] Stevenson, T.C., Tissot, B.N. and Dierking, J. (2011) Fisher Behaviour Influences Catch Productivity and Selectivity in West Hawaii's Aquarium Fishery. *ICES Journal of Marine Science*, **68**, 813-822. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr020>
- [10] Wylie, C.R. and Paul, V.J. (1988) Feeding Preferences of the Surgeonfish *Zebrasoma flavescens* in Relation to Chemical Defenses of Tropical Algae. *Marine Ecology Progress Series. Oldendorf*, **45**, 23-32. <https://doi.org/10.3354/meps045023>
- [11] Reynolds, W.W. and Casterlin, M.E. (1980) Thermoregulatory Behavior of a Tropical Reef Fish, *Zebrasoma flavescens*. *Oikos*, **34**, 356-358. <https://doi.org/10.2307/3544295>
- [12] Bushnell, M. (2007) Reproduction of *Zebrasoma flavescens*: Oocyte Maturation, Spawning Patterns, and an Estimate of Reproductive Potential for Female Yellow Tang in Hawaii.
- [13] Claisse, J.T., Clark, T.B., Schumacher, B.D., *et al.* (2011) Conventional Tagging and Acoustic Telemetry of a Small Surgeonfish, *Zebrasoma flavescens*, in a Structurally Complex Coral Reef Environment. *Environmental Biology of Fishes*, **91**, 185-201. <https://doi.org/10.1007/s10641-011-9771-9>
- [14] Bushnell, M.E., Claisse, J.T. and Laidley, C.W. (2010) Lunar and Seasonal Patterns in Fecundity of an Indeterminate, Multiple-Spawning Surgeonfish, the Yellow Tang *Zebrasoma flavescens*. *Journal of Fish Biology*, **76**, 1343-1361. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02569.x>
- [15] DiMaggio, M.A., Cassiano, E.J., Barden, K.P., *et al.* (2017) First Record of Captive Larval Culture and Metamorphosis of the Pacific Blue Tang, *Paracanthurus hepatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, **48**, 393-401. <https://doi.org/10.1111/jwas.12426>
- [16] Callan, C.K., Burgess, A.I., Rothe, C.R., *et al.* (2018) Development of Improved Feeding Methods in the Culture of Yellow Tang, *Zebrasoma flavescens*. *Journal of the World Aquaculture Society*, **49**, 493-503. <https://doi.org/10.1111/jwas.12496>
- [17] Claisse, J.T., McTee, S.A. and Parrish, J.D. (2009) Effects of Age, Size, and Density on Natural Survival for an Important Coral Reef Fishery Species, Yellow Tang, *Zebrasoma flavescens*. *Coral Reefs*, **28**, 95-105. <https://doi.org/10.1007/s00338-008-0447-7>