

文章编号: 1674-5566(2014)05-0758-07

海水水族箱生态系统的构建及运行稳定性

李鲜鲜, 何文辉, 彭自然, 蔡清洁, 崔丽香, 张 奥

(上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 通过构建海水水族箱, 分析其内过滤、温控等系统的构建模式, 为研究人工生态系统中浮游生物、大型海藻、鱼类等生物优化配置、生长模式和景观效果评价提供依据。根据水族市场调研结果进行系统内动植物配置, 主要动物数量比为清洁虾: 珊瑚 = 5: 1, 大型海藻体积比为红藻门: 绿藻门: 褐藻门 = 7: 5: 3; 为期一年的实验期间系统水质监测结果表明, 稳定期水体硬度平均为 5 159 mg/L, TN 和 TP 分别为 28.38 $\mu\text{mol/L}$ 和 6.09 $\mu\text{mol/L}$, 达到海水水质 II 类标准, 适合海水养殖; 构建生态系统稳定性评价指标体系评价系统运行效果, $R = 8.54$ 系统稳定性介于中度和高度稳定之间, 生物多样性是其稳定性的决定因素。稳定的海水养殖系统可减少维护时间和费用, 为动植物繁育研究提供实验场所, 实现科研、经济、稳定、美观等多重效果, 系统构建和模式开发为“经济—生态—人文”生活理念的认同和推广提供了客观理论依据。

研究亮点: 目前构建海水水族箱生态系统缺少科学的理论依据。本文详细说明了水族箱各分系统的构建过程, 为海水水族箱设施组建提供理论指导; 继而在保证观赏性的原则下组合配置系统生物, 构建了一套稳定的、自净能力强水族生态系统, 节省维护管理的时间和精力。同时, 创建了稳定性评价指标体系, 为水族生态系统提供了简单方便的评价方法。

关键词: 海水水族箱; 生物配置; 生态系统稳定性; 效果评价

中图分类号: P 714⁺.5

文献标志码: A

随着科学技术的发展和人民生活水平的提高, 健康休闲的生活理念已经融入人们的日常生活中。各种海洋水族馆应运而生, 不仅带给人们视觉享受, 而且使我们能在繁忙的工作中减轻心理压力, 保持健康心态。借助实验室内模拟海洋生态系统, 采用环境科学研究方法探讨系统生态平衡的机制已被广泛采用^[1]。海洋是一个巨大的缓冲系统^[2-3], 生物多样性丰富, 生态系统平衡; 而海水水族箱或小型人工海洋生态系统结构单一、运行机制简单, 达到平衡稳定状态需要一定时间, 因此实现系统稳定性成为该类系统构建过程中的难题。

在构建海水水族箱系统初始阶段, 培育优化微环境尤为重要。大量研究结果表明^[4], 硝化细菌可维持氮循环平衡, 对动植物生长至关重要。自然环境下, 水体富营养化可导致生态系统破

坏; 在水族饲养中系统如果得不到科学管理也会滋生大量藻类, 导致水族箱系统破坏。水族箱中常见的易滋生藻类有浮游藻类、底栖藻类、冰雪藻类和温泉藻类^[5]。水族箱布置中藻类生存的影响因素目前没有过多的研究。但有研究^[6]表明, 导致大型海藻死亡并不是温度、盐度、pH、光照和营养浓度不适宜等直接原因, 而是大型海藻上的附生硅藻大量繁殖引起, 其细胞增殖速度从 7×10^2 个/ cm^2 到 3×10^4 个/ cm^2 仅需一个月, 水族箱系统恰好给这种附生微藻提供了良好的生长条件, 如缺少捕食者、弱流速、高营养和稳定的环境等。硅藻^[4-8]最适光照强度为 2 000 ~ 3 000 lx, 正是水族箱普遍采用的光照强度, 促进了其在水族箱内壁上生长; 绿藻也是常见的能影响水族箱系统稳定的藻类, 附生在水草叶片或缸壁上, 其适宜光强大于 4 000 lx, 当水体呈现深绿色时

收稿日期: 2014-01-17 修回日期: 2014-03-23

基金项目: 上海市科学技术委员会社会发展基金(09DZ120010C)

作者简介: 李鲜鲜(1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为大型海藻对富营养化水体的处理。E-mail: xianxianli333@163.com

通信作者: 何文辉, E-mail: whhe@shou.edu.cn

需及时采取控制措施。

目前,海水水族箱构建理论和技术还不成熟,构建的系统不稳定,藻缸^[3]极难产生,且系统较为单一,成本较高。大部分水族箱系统都需要人工精心维护,稳定的水族生态系统则可省去大量的维护时间和费用。因此,有必要构建结构合理、运行稳定的水族生态系统。常见的水族箱分为主缸体和过滤池,包括过滤系统、加热棒、灯光、充气泵等。为解决水族系统的不稳定性和单一性问题,本实验尝试分层构建,在有限的房间使用面积条件下扩大水体容积、增加生物多样性、减少微生态稳定时间,提高藻缸构建的概率。

1 材料与方 法

系统构建始于2012年6月19日,至6月28日完成海水配置、开启循环系统,为期9 d。此后6月30日至7月30日的一个月内,每6天采样一次测定水质;7月30日至12月30日采样频率减少为每月一次;12月30日至次年4月30日,每两月采样一次;总计采样12次,历时330 d。

水族箱缸体材料选用5 mm厚玻璃,框架材料采用6 cm宽不锈钢方管,人工海水使用Instant Ocean海盐(20.3 kg/605 L,盐度33.5)配置。

水质分析方法:温度、盐度、溶解氧采用JPBJ-608便携式溶氧测定仪;pH、硬度、总氮、总磷等水质参数参照《海洋调查规范》(GB/T 12763.4—2007)分析。

1.1 海水水族箱系统的构建

系统整体分为上、中、下3层,每层有3个连通但又相对独立的方形缸体组成,9个单体缸(1)~(9)组成了一个整体缸,其间由PVC管道相连。其结构大小见表1,系统示意图见图1,箭头所示为水流方向。

表1 玻璃缸的结构

Tab. 1 The structure of the tank

类型	长/cm	宽/cm	高/cm
整体缸	272	58	210
单体缸	88	58	53

其中过滤系统设置在单体缸(7),内部用玻璃隔板分隔成3部分,填以滤料。水泵b在单体缸(9)中,下层海水由水泵b经恒温控制器a抽至上层单体缸(1),再依次由隔板孔径溢流至下

一个缸,上下层水流由管道连通,最终呈“S”形经中层缸流至下层过滤缸(7)。其水位分别为上层42 cm、中层42 cm、下层34 cm,下层水位由过滤缸(7)中左侧挡板控制。

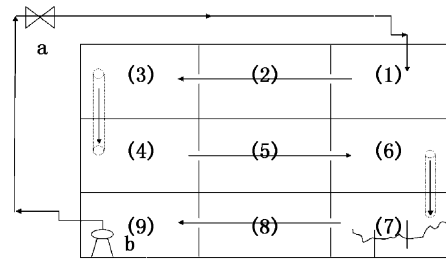


图1 海水水族系统示意图

Fig. 1 A sketch plan of seawater aquarium system

(1)~(9)单体缸;(7)过滤缸;(9)集水缸;a.恒温控制器;b.水泵。

1.1.1 过滤系统

本实验海水水族箱过滤系统分为3个区,如图2所示。图中(1)区下层放置珊瑚砂,其容积长×宽×高为58 cm×30 cm×30 cm,珊瑚砂上铺海绵和过滤棉,略有有一定的坡度;(2)区放置孔径为5 mm的陶瓷环,容积为58 cm×28 cm×25 cm;(3)区放置粒径为4~6 mm的活性炭,容积为58 cm×30 cm×25 cm。图内箭头方向表示水流方向。

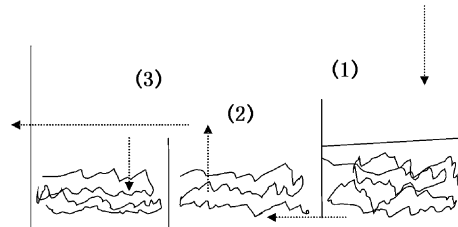


图2 过滤系统结构示意图

Fig. 2 The structure of filtration system

1.1.2 控温系统

本实验采用功率为1/2HP的HC-500A型恒温控制器,温度控制在25℃。

1.1.3 充氧设备

本实验采用HP-1116型电磁振动式空气气泵,最大排气量为4×6 L/min。在图1中,除下层缸(8)和(9)外,每个单体缸都放有曝气石。系统中种植的大型海藻光合作用产氧也为系统提供很好的氧气来源,循环过程中水体的流动也具有一定的增氧效果。

1.1.4 照明设备

本实验水族箱光照系统选用 1 × 20 W 的荧光灯和 1 × 20 W 的蓝光灯,强度为 50 ~ 70 lx。在图 1 中,除下层过滤缸(7)和出水缸(9)外都装有 75 cm 长的灯架,每个灯架装安装“蓝光 + 荧光”灯管。

1.2 水族箱系统内生物的搭配

1.2.1 大型海藻

藻类作为海洋中重要的初级生产者,不仅可为鱼类等提供饵料,而且具有很好的水质处理和景观效果。本实验系统中种植的大型海藻种类如表 2 所示,其中红千层生长最慢,牡丹藻和鹿角菜的繁殖速度较快。依据水族市场调研结果及海藻垂直梯度分布原理^[9],对水族系统进行植物搭配。表 2 中配置比例为大型海藻在整个系统中的覆盖率,总覆盖率为 75%,其在每个缸中的搭配按照《园林设计植栽规范》^[10]和实际景观效果设计。

表 2 大型海藻的来源及配置比例

Tab.2 The source of the large algae and allocation

大型海藻	分类	配置比例	来源
鹿角藻 <i>Pelvetia siliquosa</i>	褐藻门	15%	海南
羽毛藻 <i>Caulerpa</i> sp.	绿藻门	15%	海南
绿葡萄藻 <i>Caulerpa racemosa</i>	绿藻门	10%	海南
红葡萄藻 <i>Botryocladia</i> sp.	红藻门	5%	印度尼西亚
蜈蚣藻 <i>Grateloupia filicina</i>	红藻门	10%	上海
红千层 <i>Chondrus crispus</i>	红藻门	5%	海南
牡丹藻 <i>Halymenia floresia</i>	红藻门	15%	澳洲

1.2.2 水族动物

此实验系统的动物基本购自海南,部分在芦潮港近海采集。使用的物种见表 3,主要动物为清洁虾。清洁虾^[11]主要产自加勒比海,在热带地区也可见到其他种类清洁虾,适宜水温为 20 ~ 26 °C,易于饲养,但是不易繁殖,市场价格为每尾 60 ~ 100 元。它可帮助清除生物体上的寄生虫和水族箱中的食物碎屑,保持水族箱良好的生态环境。水族箱中配置有多种珊瑚,如千手佛、香菇、纽扣、雏菊、气泡等,均为软体珊瑚。它们比

硬珊瑚适应性强,易饲养。其在水族箱的放置位置主要依据景观效果及其适应性,如鱼类缸内放少量海藻和珊瑚石供其躲避和休息。此外,还放置大量贝类、螺类,不仅为生态系统食物链中重要环节,而且很适合观赏。

表 3 水族系统中主要海洋动物及数量

Tab.3 The main marine animals and quantity in the aquatic system

海水动物	分类	饲养状况	数量	来源
虾虎鱼 <i>C. gymnauchen</i>	鲈鱼目	++	5 条	芦潮港
推沙头 <i>Abbottina rivularis</i>	鲤形目	+	3 条	芦潮港
清洁虾 <i>Lysmata amboinensis</i>	十足目	++	60 只	海南
海参 <i>Sea cucumber</i>	海参纲	++	8 个	海南
珊瑚	珊瑚虫纲	-	12 个	海南
砗磲 <i>Hippopus hippopus</i>	瓣鳃纲	--	5 个	海南

注:++ 表示容易饲养;+ 表示比较容易;- 表示较难;-- 表示很难饲养。

1.2.3 微生物

海水微生物通常具有耐高盐、高压、低温、低营养和低光照的特点,主要有细菌、真菌、放线菌和病毒等。海洋微生物种类高达 100 万种以上,大部分微生物与其他海洋生物呈共生、寄生或共栖的关系。在海洋动植物表面和体内都生长着大量的微生物,促使系统达到生态平衡。有研究表明^[4],新建的海水水族系统中细菌生态平衡的初步形成约需 40 d。本实验系统的微生物主要来自上海沿岸海域水体不同季节分离的自然微生物群落,还有部分微生物随景观生物带到系统内。系统构建时间为 30 d,达到水族箱系统的微生态平衡。

2 结果与分析

2.1 水质

图 3 显示了 2012 年 6 月至 2013 年 4 月期间实验系统水质的变化。可知,系统水温基本保持在 25 °C,变化范围为 24.9 ~ 25.7 °C;盐度变化幅度不大,基本维持在 30 ~ 33;溶解氧变化范围为 6.15 ~ 8.43 mg/L,达到海水水质 I 类标准(> 6 mg/L);pH 为 8.12 ~ 8.30,表明系统具有一定的酸碱缓冲能力;前 5 次水样的硬度(2.165 ~

2.997 g/L) 明显低于 7 月 24 日以后的水样 (4.264 ~5.705 g/L), 表明系统在第一个月还未稳定, 之后趋于稳定。这是因为逐步加入海藻、珊瑚等生物, 海水与其作用在一个月后逐渐稳

定; TP 含量在初期较低, 加入生物后迅速升高, 半个月后明显下降, 表明系统对总磷的消纳自净能力较强; 前半个月, TN 迅速升高, 以后趋于稳定, 基本维持在 25 ~30 $\mu\text{mol/L}$ 。

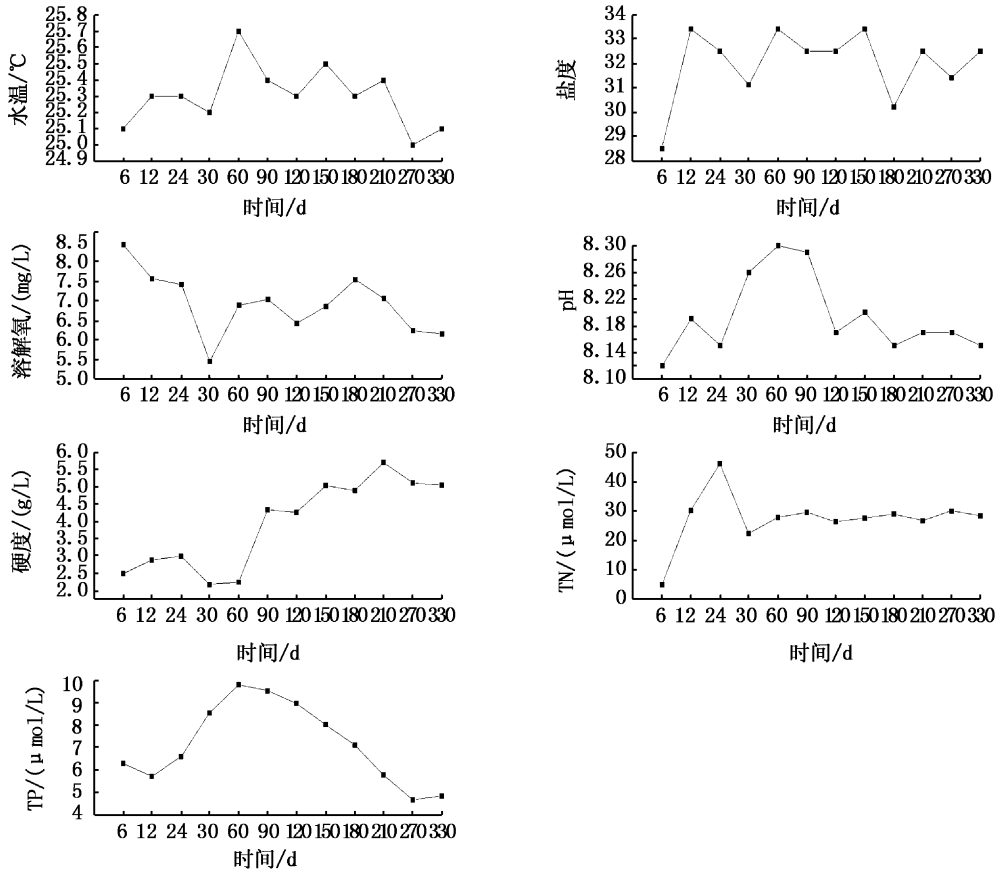


图3 海水水族系统水质变化状况

Fig. 3 The water quality changes in seawater aquarium system

2.2 运行效果

本实验运行效果主要在大量的研究基础^[12-15]上通过构建生态系统稳定性评价指标体系评价, 包括生态、社会、经济 3 方面的指标。

2.2.1 评价指标体系的构建

系统稳定性取决于系统自身的稳定程度和对外界因素的抗干扰能力。本研究采用层次分析法构建评价指标体系, 分为目标层、准则层和指标层 3 个层次。目标层(A 层)为海水水族生态系统稳定性, 准则层(B 层)包括生态环境、抗干扰、社会经济等三类, 指标层(C 层)包括 8 个具体指标, 如表 4 所示。

生态环境指标中海水蒸发量 C_1 为室温条件下, 单位时间内系统水位降低量, 其评分标准为

0 ~2mm/d 10 分、2 ~4 mm/d 5 分、4 ~8 mm/d 2 分、>8 mm/d 0 分; 系统水质状况 C_2 为参照《海水养殖用水水质标准》评价系统稳定期水质的结果, 评分标准为达到 I 类标准 10 分、II 类标准 8

表 4 海水水族生态系统稳定性评价指标体系

Tab. 4 Index system for seawater aquarium ecosystem stability

目标层 A	准则层 B	指标层 C
海水水族生态系统稳定性 A	生态环境	海水蒸发量 C_1 ; 系统水质状况 C_2 ; 指标 B_1 生物多样性指数 C_3
	抗干扰	维持生物多样性功能 C_4 ; 净化功能 C_5 ; 水质变化幅度 C_6
	社会经济	维护及管理 C_7 ; 维护成本 C_8

分、Ⅲ类标准 5 分、Ⅳ类标准 0 分;生物多样性指数 C_3 [13] 由式(1)求得。

$$D = -\log N \sum_{i=1}^s (P_i \times \log p_i) \quad (1)$$

式中: D 为生态系统多样性指数; N 为种群数; P 为所有种群的个体数; P_i 为种群 i 的个体占总种群的个体的比例。评分标准为 $D > 1.5$ 赋值 10 分、 $1.0 \sim 1.5$ 赋值 8 分、 $0.5 \sim 1.0$ 赋值 4 分、 $D < 1.5$ 赋值 0 分。

抗干扰指标中维护多样性功能 C_4 指系统中生物衰减率,对生物衰减进行赋值, $0 \sim 0.02$ 为 10 分、 $0.02 \sim 0.05$ 为 8 分、 $0.05 \sim 0.10$ 为 5 分、 > 0.10 为 0 分;净化功能 C_5 为系统脱氮除磷的效率 $V = 1/2 a \times 1/2 b$ (a 为总氮降解率, b 为总磷降解率), $V > 0.10$ 赋值 10 分、 $0.05 \sim 0.10$ 赋值 8 分、 $0.02 \sim 0.05$ 赋值 4 分、 $V < 0.02$ 赋值 0 分;水质变化幅度 C_6 为系统内各水质指标变化的相对标准偏差均值, $0 \sim 0.10$ 赋值 10 分、 $0.10 \sim 0.20$ 赋值 8 分、 $0.20 \sim 0.50$ 赋值 4 分、 > 0.50 赋值 0 分。

社会经济指标中维护及管理 C_7 为管理人员对系统的维护频率,1 次/30 d 10 分、1 次/15 d 5 分、1 次/7 d 3 分、1 次/d 0 分;维护成本 C_8 即系统补充海水、营养液、电费等消耗的成本。 $0 \sim 100$ 元/月 10 分、 $100 \sim 200$ 元/月 8 分、 $200 \sim 300$ 元/月 5 分、 > 300 元/月 0 分。

结合专家意见,对各指标层进行赋值,将各层次之间的指标两两比较,分层构建判断矩阵,得到各指标层权重,如表 5 所示。

表 5 各指标层权重值
Tab. 5 The weight of every index layer

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8
0.03	0.16	0.22	0.19	0.14	0.08	0.16	0.02

表 6 各指标层在系统中的赋值

Tab. 6 The assignment of each index layer in the system

指标层	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
实际值	0.67 mm/d	Ⅱ类标准	1.04	0.04	0.051	0.156	1 次/30 d	160
分值	10	8	8	8	8	10	10	8

3 讨论

3.1 系统的构成

一个生态系统的模拟,从系统设计、构建到系统稳定,每个环节都需要精心的测试和调配。过滤系统是保证整个水族箱良好循环作业的基

础设施,本系统综合运用物理、化学和生物过滤的方法,效果显著。物理过滤 [20] 应用多种滤料(陶瓷环、珊瑚砂、活性炭、海绵等)吸附大颗粒杂质,提高水体透明度,活性炭还可去除异味,达到净化水质的目的;化学过滤 [21] 利用化学反应将水中有害有机物或毒素分解为无毒物质,起到控制

$$R = \sum_{i=1}^m (W_i \times C_i) \quad (2)$$

式中: R 为海水水族生态系统稳定性指数; W_i 为第 i 项指标权重; C_i 为第 i 项指标因子评价价值(即生态系统稳定性各评价指标因子的赋值)。

参考前人相关研究成果 [12,17-19],将生态系统稳定性依次划分为 $0 \sim 2$ 很不稳定; $3 \sim 4$ 不稳定; $5 \sim 6$ 轻度稳定; $7 \sim 8$ 中度稳定; $9 \sim 10$ 高度稳定 5 个等级层次。

2.2.2 效果分析

本系统海水蒸发量为每月 20 mm,约 0.67 mm/d。由图 3 可知,系统稳定期水质指标均值为溶解氧 6.48 mg/L、硬度 5 159 mg/L、总氮 28.38 $\mu\text{mol/L}$ 、总磷 6.09 $\mu\text{mol/L}$,系统水质状况达到海水养殖用水水质Ⅱ类标准。由表 2、表 3 可知,系统共有 13 个种群、种群个体数为 843 个,生物多样性指数为 1.04。系统稳定期,生物个体数大约减少 33 个,其中砗磲 5 个、珊瑚 8 个、大型海藻覆盖率降低 3%, C_4 为 0.04。稳定期系统脱氮率为 39%、除磷率 52%,净化功能 C_5 为 0.051;各水质指标相对标准偏差为温度 0.007 5、盐度 0.046、溶解氧 0.12、pH 0.007 2、硬度 0.33、TN 0.33、TP 0.25,均值为 0.156。本系统稳定后,基本每月维护一次,主要为补水和营养液、检查各电路接口安全问题等,且维护成本较低,主要为耗电。根据系统稳定性评价标准,各指标取值见表 6。经计算 $R = 8.54$,说明本系统稳定性介于中度和高度稳定之间。

础设施,本系统综合运用物理、化学和生物过滤的方法,效果显著。物理过滤 [20] 应用多种滤料(陶瓷环、珊瑚砂、活性炭、海绵等)吸附大颗粒杂质,提高水体透明度,活性炭还可去除异味,达到净化水质的目的;化学过滤 [21] 利用化学反应将水中有害有机物或毒素分解为无毒物质,起到控制

和稳定水质的作用;生物过滤^[22]主要通过微生物作用处理水质,本系统采用自然海水分离的微生物种群,在滤料上形成高活性的生物膜,水流经过时生物降解水体中的有机物质。同时为了增加系统过滤效果,系统中配有大量钩虾,密度为 40~60 只/L,不仅可以吞食水中有机颗粒物质,降低处理负荷,还为海参和鱼虾等动物提供食物,使得本系统更加稳定。

本系统采用恒温控制器控温,不会因加热棒加热时局部温度过高影响海藻或鱼类的活动,且自动控制较为方便、电路设施更为安全。水族箱常见的充氧设备均为充气泵,噪音较大,本系统内采用的 HP 型气泵噪音小,为了缓增氧及气泡造景,在磁石与气管连接处用剪刀将气管打开一半口径。在自然环境中,海藻利用太阳光进行光合作用,为整个生态系统提供能源。在水族箱中设计合适的光照条件不仅可代替太阳光,还可营造美丽的景致,如:荧光灯、蓝光灯等。本系统配备“蓝光+荧光”组合灯架,增加了大型海藻利用光照的光谱宽度,且蓝光有利于促进藻红蛋白的合成。

本系统采用分层结构,减少了水族箱的占地面积,降低总体成本。同时,各缸之间既相互连贯成一个整体,又可独立成单个系统,具有很强的可操作性,适合于作为大型海藻的生长繁殖反应器进行海藻学相关试验研究。

3.2 生物的配置

有研究表明^[23],嘈杂环境下声音、压力和海浪等对动物健康生长有严重影响,因此在配置鱼、虾、贝类等动物时要注意观察其应激反应,调试环境因子,便于其生长。SAXBY 等^[24]对动物在水族系统中特异性的团体生活方式与行为模式进行了观察研究,发现环境对动物行为模式的改变尤为重要。此外,OKUBO 等^[25]在海藻栽培繁殖和珊瑚移植过程中,提出不仅要供给营养,而且要排除水体中的残存物质,以免破坏水质。还有很多研究者^[23-25]提出,混养模式在水族系统中能够使营养物质得到充分利用,且增加物种多样性,提高系统稳定性。

实验系统配置了大量鹿角菜、羽毛藻、葡萄藻、牡丹藻等大型海藻,覆盖率达 75%。海藻可为动物提供隐蔽栖息场所和丰富的饵料资源。海藻吸收水体中氮磷等营养物质,减轻由动物粪

便和饵料残渣释放的营养负荷,达到稳定的营养平衡状态。海藻还通过光合作用释放氧气,为海水动物提供溶解氧。此外,海藻可产生化感物质抑制有毒微藻^[26],维持生态系统的健康。同时,海藻可作为鱼类的饵料,抑制其在水族系统内大量生长,达到动物呼吸作用与植物光合作用相互制衡。

系统配置了鱼、虾、贝类 6 种海水动物,保证了水族系统的生物多样性,在种间形成食物链,有利于系统稳定平衡。清洁虾不但能摄食残饲,而且能防治鱼类寄生虫。海参可滤食微藻,清洁缸壁,而且会翻掘底层,有利于疏松水族箱内基底。珊瑚不仅增加了水体的观赏效果,珊瑚石上寄生的微生物也对增加水体生态系统稳定性有利。

3.3 系统稳定性

实验构建了一套简洁的水族生态系统稳定性评价指标体系,并应用于本系统稳定性评价中,得到本系统介于中度和高度稳定之间的结论。本系统中,各项指标的得分较高,C₁、C₆、C₇ 皆为 10 分,其余指标为 8 分,说明系统能长时间维持水质的稳定,水质调控效果较好;C₃、C₄ 和 C₇ 是 3 个指标在评价系统中的权重较大,且 W₃ > W₄ > W₇。稳定性高的实验系统为研究各种大型海藻的生长提供了良好研究场所。运用该系统,可对水族景观、海藻藻胶、营养吸收等多方面进行系统研究。

参考文献:

- [1] 杨永兴. 国际湿地科学研究的主要特点, 进展与展望[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 111-120.
- [2] 张远辉, 王伟强, 陈立奇. 海洋二氧化碳的研究进展[J]. 地球科学进展, 2000, 15(5): 560-563.
- [3] 陈思行. 观赏鱼和水族生态-观赏鱼的国际贸易概况[J]. 水产科技情报, 2001, 28(5): 229-231.
- [4] 姜景田, 邹胜利, 郑宝泰. 观赏鱼发展现状分析[J]. 中国渔业经济, 2004(2): 13-15.
- [5] 图立红, 李春林. 海水水族箱系统微生物生态平衡的初步研究[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 1996, 17(1): 78-84.
- [6] 郑天凌. 微型藻类在海水环境自净中的作用[J]. 环境科学学报, 1990, 10(2): 195-100.
- [7] TEW K S, MENG P J, LEU M Y. Factors correlating with deterioration of giant kelp *Macrocystis pyrifera* (Laminariales, Heterokontophyta) in an aquarium setting [J]. Journal of Applied Phycology, 2012, 24(5): 1269-1277.
- [8] 张丽丽. 利用生物法对水族箱中藻类清除效果的研究

- [D]. 石家庄:河北大学, 2011.
- [9] 辛学. 水体颜色与鱼类饲养[J]. 齐鲁渔业, 2006, 23(10): 20.
- [10] 潘可可. 水族箱中藻类的防治[J]. 温州农业科技, 2005(3): 101-103.
- [11] 杰里米, 盖伊. 完美水族箱—水族箱和观赏鱼完全指导手册[M]. 上海:世界图书出版社, 2007:58-76.
- [12] 永平. 水族景观—21 世纪的装饰新观念[J]. 建材工业信息, 2000(6): 24.
- [13] 马旭东. 黑壳和大眼贼[J]. 水族世界, 2008(2): 58-62.
- [14] 莫明浩, 任宪友, 王学雷, 等. 洪湖湿地生态系统服务功能价值及经济损失评估[J]. 武汉大学学报:理学版, 2009, 54(6): 725-731.
- [15] 王玲玲, 曾光明, 黄国和, 等. 湖滨湿地生态系统稳定性评价[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3406-3410.
- [16] 廖玉静, 宋长春, 郭跃东, 等. 三江平原湿地生态系统稳定性评价指标体系和评价方法[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(10): 89-94.
- [17] 周廷刚, 郭达志. 基于 789 的城市绿地景观空间结构研究[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 902-906.
- [18] RONALD M. Quantitative methods in landscape ecology[M]. New York: Springer, 1991.
- [19] 朱瑜馨, 赵军. 祁连山山地生态系统稳定性评估模型[J]. 干旱区研究, 2002, 19(4): 33-37.
- [20] WANG X, NING L, HU W. Application of analytic hierarchy process to assessing the ecological vulnerability of wetlands in the Jiangnan Plain [J]. Chinese Geographical Science, 2003, 13(3): 272-276.
- [21] 汲玉河, 吕宪国, 杨青, 等. 三江平原湿地植物物种空间分异规律的探讨[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 781-786. [J].
- [22] ANDERSON P A, BERZINS I K, FOGARTY F, et al. Sound, stress, and seahorses: the consequences of a noisy environment to animal health[J]. Aquaculture, 2011, 311(1): 129-138.
- [23] CHEN S Y, PAN L Y, LEE A C. Evaluating the culture condition of marine microalga tetraselmis chui and its role in a tilapia-microalgae-clam semi-recirculating culture system on the efficiency of removing total ammonia nitrogen in water [J]. Journal of the Fisheries Society of TaiWan, 2010, 37(2): 99-109.
- [24] SAXBY A, ADAMS L, SNELLGROVE D, et al. The effect of group size on the behaviour and welfare of four fish species commonly kept in home aquaria [J]. Applied Animal Behaviour Science, 2010, 125(3): 195-205.
- [25] OKUBO N, YAMAMOTO H H, NAKAYA F, et al. Reproduction in cultured versus wild coral colonies: fertilization, larval oxygen consumption, and survival [J]. The Biological Bulletin, 2010, 218(3): 230-236.
- [26] XU Y, LIN J, CHEN S. Polyculture of the lined seahorse, Hippocampus erectus Perry, 1810 with two species of macroalgae in aquaria[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 29(1): 26-32.

The construction and running stability of the ecological system in seawater aquarium

LI Xian-xian, HE Wen-hui, PENG Zi-ran, CAI Qing-jie, CUI Li-xiang, ZHANG Ao
(College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to provided building sites of biological collocation and landscape effect for plankton, large algae, fish and others' optimal growth model, we analysed the building model of aquatic animals in filtration and temperature control system through the establishment of aquarium. According to the aquarium market research, the animal and plant configuration in system is as follows. The clean shrimps and coral is 5:1, Rhodophyta, Chlorophyta and Phaeophyta is 7:5:3. The water quality monitoring result showed that the water hardness, TN and TP were maintains at 5 159 mg/L, 28. 38 $\mu\text{mol/L}$ and 6. 09 $\mu\text{mol/L}$ during stable phase respectively. The water quality was reached to the second class of the water standard, which is suitable for mariculture. It is the construction of the evaluation index system of ecological system stability that to evaluate the system's running efficacy. While the result shows that $R = 8. 54$, the system is between intermediate and high stability, and biodiversity in the ecological system is the determinant factor. A stable mariculture system is time-saving and cost-saving, providing places for animal and plant breeding research and achieving the multiple effects, such as being scientific, economic, stable, beautiful, etc. The construction of the system model also provides theoretical basis for the "economy-ecological-humanities" life philosophy.

Key words: seawater aquarium; biological configuration; ecosystem stability; effect evaluation