

2 种新型塑胶环保型网箱养殖褐牙鲈 (*Paralichthys olivaceus*)与大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)效果的评估*

王腾腾^{1,2} 关长涛^{2①} 公丕海² 崔 勇² 李真真^{1,2}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室
青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

摘要 以褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)和大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)为养殖对象,设计了 2 种新型的鲈鲆类网箱,即新型塑胶环保型单、双层网箱。通过褐牙鲈和大菱鲆网箱养殖实验来验证 2 种新型的网箱在实际生产中的可行性。结果显示,褐牙鲈传统木箱养殖组的商品鱼成活率为 92.73%,单位面积产量为 16.42 kg/m²;塑胶单层网箱养殖组的成活率为 96.37%,单位面积产量为 17.42 kg/m²。2 个组的成活率、单位面积产量均存在显著差异($P < 0.05$),单位面积产量同比增产 6.10%。小规格大菱鲆传统网箱商品鱼成活率为 92.50%,单位面积产量为 8.09 kg/m²;塑胶单层网箱组的商品鱼成活率为 92.50%,单位面积产量为 8.02 kg/m²;塑胶双层网箱组的商品鱼成活率为 92.00%,单位面积产量为 10.53 kg/m²,与传统网箱、单层塑胶网箱存在显著差异($P < 0.05$),且同比增产分别为 30.00%、31.00%。大规模大菱鲆单、双层塑胶环保型网箱养殖的成活率达到 95.00%以上,单位面积产量均为 14.52–16.32 kg/m²;大规模大菱鲆双层网箱实验组平均尾重与单层网箱示范组差异显著($P < 0.05$),单位养殖面积产量同比单层网箱示范组增产 11.00%。研究表明,新型塑胶环保网箱养殖褐牙鲈效果良好。新型网箱相对于传统木制网箱除了具有节能环保、节约资源、操作便利的特点外,双层网箱养殖可提高有效利用面积,增加养殖效益。

关键词 褐牙鲈;大菱鲆;塑胶环保型网箱;网箱养殖

中图分类号 S953 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2017)03-0198-07

随着海产品消费需求的增加以及海捕量的减少,水产养殖业开始发挥积极作用。海水鱼类养殖主要有陆基工厂化、海上网箱和岸带池塘三大养殖模式。以 2013 年为例,网箱养殖的产量所占比例较其他 2 种养殖方式高,占水产养殖总产量的 42%。网箱养殖能否成功,除考虑到养殖规模、海区条件和保障措施等因素,前期的设计规划至关重要。其中,鱼类的生活

习性是网箱设计时需要考虑的关键因素。传统养殖网箱为多个小型养殖网箱组成的渔排(姜秀凤等, 2001; 黄德波, 2002; 王文建, 2006; 王兴春, 2006),具有离岸近、管理方便等特点。但其抗风浪能力弱、水体交换差、网箱沉积严重、易对海区环境造成污染,导致养殖鱼类成活率降低、经济及社会效益下降(周游等, 2014),严重阻碍了网箱养殖业的发展。

* 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-50)、国家自然科学基金(31101938; 51239005)和山东省科技发展计划项目(2009GG10005005)共同资助 [This work was supported by Modern Agricultural Industry Technology System (CARS-50), Natural Science Foundation of China (31101938; 51239005), and Science and Technology Development Plan of Shandong Province (2009GG10005005)]. 王腾腾, E-mail: minghuawang1226@163.com

① 通讯作者: 关长涛, 研究员, E-mail: guanct@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2016-03-03, 收修改稿日期: 2016-04-20

因此, 发展节能环保、高效的网箱养殖模式是海水养殖的趋势。

鱼类的的生活习性不同, 养殖所用的网箱类型也不同。目前, 大多数网箱的养殖对象为游泳性鱼类, 如石斑鱼(*Epinephelus*)、红鳍东方鲀(*Fugu rubripes*)等的网箱养殖已陆续开展, 并取得了较好的效果(黄滨等, 2013), 而关于底栖鱼类的专用网箱较少(湛志新等, 2007)。针对鲆鲽类习性, 我国主要研发出方形金属框架鲆鲽类网箱、高密度聚乙烯(HDPE)方形浮式鲆鲽类网箱、升降式鲆鲽类网箱、PDW350型多层结构沉式鲆鲽类网箱等。但在某些海域, 仍以传统木质网箱为主。为了解决南方鲆鲽类网箱养殖产业化持续发展问题, 探索开发具有高抗风浪性能的环境友好型鲆鲽类专用养殖网箱, 本研究设计了 2 种新型塑胶环保类网箱, 以褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)和大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)为养殖对象, 进行养殖效果评价。旨在验证该新型塑胶环保类网箱养殖的可行性, 为海水鱼类大规模网箱养殖的可持续发展提供技术支持和科学依据。

1 材料与方法

1.1 新型塑胶环保类网箱结构

1.1.1 设计依据 新型网箱(渔排)走道及浮球均采用 HDPE 可回收再利用的塑胶注塑成型模块材料制作, 替代传统泡沫浮球木质网箱, 减少对养殖海域环境的破坏, 节约资源。渔排纵横向走道采取同一平面点的可拆卸结构设计, 以增强渔排的抗风浪能力, 便于日常养殖操作。环保型塑胶双层网箱是在单层网箱内套挂一层平板网箱架, 增加有效养殖面积。

1.1.2 主要参数 网箱结构系统主要由框架系统、网衣系统、抛锚系统组成。本研究针对设计的新型塑胶网箱材料、框架等进行重点介绍。

1.1.2.1 主框架系统 双层塑胶网箱由网箱主框架、网箱走道、挂绳、系绳、浮子、平底框架、平板网箱架、网筋构成(图 1)。其中, 主框架材料为 HDPE 管; 网箱走道采用 HDPE 可回收再利用的塑胶注塑成型模块材料制作, 为若干小块, 利用系绳系绑在主框架上, 便于拆卸。单层塑胶网箱是在双层网箱的基础上摘去平板网箱架。图 2 为该网箱整体结构效果图和实物图。

1.1.2.2 网衣系统 网衣材料为聚乙烯, 网目尺寸为 15 mm、方形, 平底框架为 2 根镀锌无缝钢管组成的“川”字形平台。

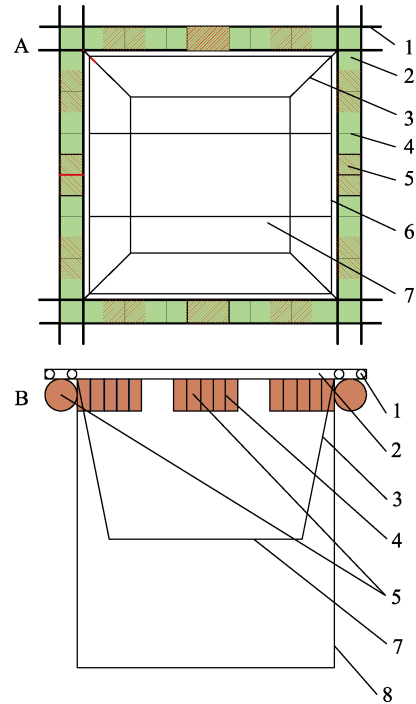


图 1 环保型塑胶双层网箱结构
Fig.1 Structure of the environment-friendly plastic bilayer cage

- A: 俯视图; B: 主视图与侧视图; 1: 主框架; 2: 走道(渔排); 3: 挂绳; 4: 系绳; 5: 浮子; 6: 平底框架; 7: 平板框架; 8: 网筋
A: Planform; B: Elevation and side elevation; 1: Main frame; 2: Aisle (Raft); 3: Lanyard; 4: Tether; 5: Buoy; 6: Flat-bottomed frame; 7: Slab frame; 8: Net reinforcement

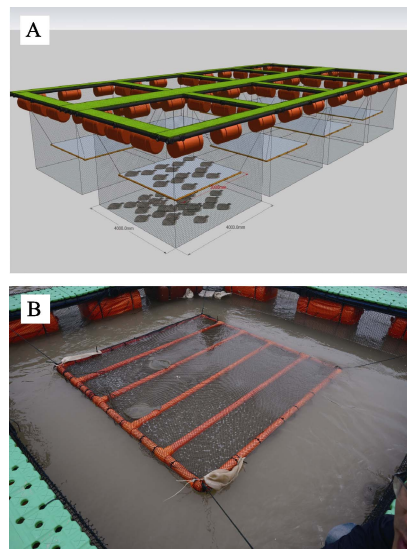


图 2 环保型塑胶双层网箱结构效果(A)和实物(B)
Fig.2 Vertical structure (A) and physical picture (B) of the environment-friendly plastic bilayer cage

1.1.2.3 网箱浮力系统 浮子共 12 个, 均匀分布在网箱四周, 中空圆柱形, 材料与网箱走道相同, 采

用 HDPE 可回收再利用的塑胶注塑成型模块材料制作而成。规格与普通常用浮子大小相同,为 $\Phi 0.6\text{ m} \times 1.0\text{ m}$, 每个浮子承重 200 kg。

1.2 实验条件

2013 年大菱鲂养殖实验在福建省宁德市三都澳青山海域的养殖示范地开展,2014 年大菱鲂和褐牙鲂养殖实验在三都澳龟鼻网箱养殖区进行。其中,龟鼻网箱养殖区平均水深为 10–15 m,最大潮流流速在 0.6m/s 以内,为历年南北接力鲆鲽类网箱集中区。区域内共有鲆鲽类传统木质养殖网箱 5000 多口,水质较好、水流较缓慢、交通便利,适合鲆鲽类网箱养殖。养殖海域水温适宜,2013 年 12 月 23 投放鱼苗时的水温为 13.8℃,结束时的水温为 22.7℃,中间多次测量水温(图 3-A);2014 年 12 月 28 日投放鱼苗时的水温为 14.2℃,实验结束时的水温为 18.3℃,中间多次测量水温(图 3-B)。

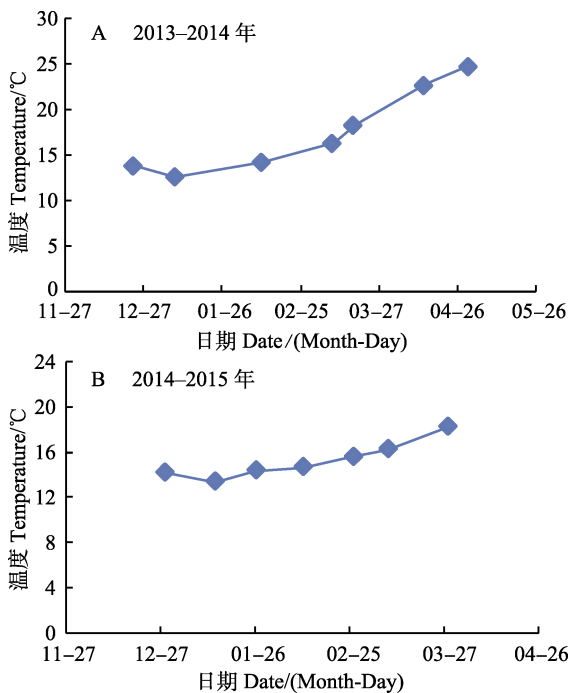


图3 三都澳网箱养殖区海水温度变化

Fig.3 Temperature variation of mariculture area in Sanduao

1.3 实验设计

本次新型环保塑胶网箱养殖选用南方网箱养殖的主要鲆鲽类品种大菱鲂和褐牙鲂作为养殖示范品种,采用塑胶单层网箱、塑胶双层网箱和传统木质网箱,3种不同的养殖模式进行养殖效果评价。

1.3.1 褐牙鲂养殖实验 褐牙鲂养殖网箱为 21 口塑胶环保型单层网箱与 4 口传统木质网箱,2 种网箱

规格为 $5.6\text{ m} \times 3.7\text{ m}$,网箱深度为 1.5 m,每口网箱放养牙鲂鱼种 550 尾,共 13750 尾,平均体重为 420 g,平均放养密度为 26.54 尾/ m^2 ,养殖时间为 2014 年 12 月 28 日–2015 年 3 月 28 日,为期 120 d。

1.3.2 大菱鲂养殖实验 大菱鲂养殖实验分为 2 次,第 1 次养殖实验地点是宁德三都澳青山海域,养殖网箱为 2 口传统木质网箱、2 口塑胶环保单层网箱和 2 口塑胶环保双层网箱,这 3 种网箱的规格均为 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$,网箱深度均为 3 m。其中,塑胶双层网箱是在单层网箱内套挂 1 层规格为 $3.3\text{ m} \times 3.3\text{ m}$ 的平板网箱架,四角用聚乙烯绳子吊挂于离网箱底部约 1 m 处。3 种网箱放养尾数依次为 300、300、400 尾,平均体重为 165 g,平均放养密度依次为 18.75、18.75、25 尾/ m^2 ,养殖时间为 2013 年 12 月 23 日–2014 年 4 月 13 日,共 112 d。第 2 次养殖实验地点是宁德三都澳龟鼻养殖区,养殖网箱为 2 口塑胶单层网箱与 2 口塑胶双层网箱。塑胶单层网箱规格为 $5.6\text{ m} \times 3.7\text{ m}$,网箱深度为 1.5 m,每口放养尾数 600 尾,平均放养密度为 28.96 尾/ m^2 ;塑胶双层网箱规格为 $5.6\text{ m} \times 3.7\text{ m}$,网箱深度为 1.5 m,箱内套挂一层规格为 $3.3\text{ m} \times 3.3\text{ m}$ 的平板网箱架,四角用聚乙烯绳子吊挂于离网箱底部约 0.5 m 处,每口放养尾数为 680 尾,平均放养密度为 32.82 尾/ m^2 ,养殖时间为 2015 年 1 月 30 日–2015 年 3 月 28 日,共 55 d。

1.4 养殖管理

不同养殖方式采用相同的投饵和管理模式。实验中,每天定时(07:30、16:30)投饵,所投喂饵料为冰鲜鳀鱼(*Engraulis japonicas*)或玉筋鱼(*Ammodytes personatus*),投喂饵料量以鱼摄食情况而定,以饱食为准。如初入池、遇大风、冷空气等特殊时期,饵料量应视情况而定。每天定时(07:30、16:30)做好投饵量、养殖鱼死亡情况、水温、水流以及天气情况等的记录,观察鱼的活动及摄食情况,定期监测鱼体的生长情况,做好数据的收集。

1.5 计算及统计分析方法

成活率(Survival rate,%)=100×(商品鱼数量–初始放养数量)/初始放养数量

平均体重增长率(Growth rate of average weight,%)=100×(商品鱼体重–初始鱼体重)/初始鱼体重

单位面积产量(Yield per unit area, kg/m^2)=100×商品鱼总重/放养面积

采用 SPSS 17.0 软件对实验数据进行分析。其中,对 2014 年牙鲂、2015 年大菱鲂养殖进行独立样本的

t 检验; 对 2013 年大菱鲈养殖进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 当差异达到显著水平 ($P < 0.05$) 时, 进行 Tukey's 检验方法, 数据表示为平均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD)。

2 结果与分析

2.1 褐牙鲈养殖结果

2014 年, 大规格褐牙鲈鱼种投放到网箱养殖 120 d 后, 每个组随机抽取 2 口网箱, 对其中的大规格褐牙鲈进行随机测量, 测得褐牙鲈生长情况见表 1。从表 1 可以看出, 在放养密度相同的情况下, 塑胶单层网箱牙鲈的终末平均体重大于传统木质网箱, 但差异不显著; 塑胶单层网箱牙鲈成活率 (96.37%) 显著高于传统木质网箱 (92.73%) ($P < 0.05$); 塑胶单层网箱牙鲈平均体重增长率、单位面积产量均显著高于传统木质网箱 ($P < 0.05$), 单位面积产量同比增产 6.10%。结果显示, 在相同条件下进行大规格褐牙鲈网箱养殖, 塑胶单层网箱养殖效果优于传统木质网箱。

2.2 大菱鲈养殖结果

2013 年, 大菱鲈鱼种投放到 3 种网箱进行示范养殖, 养殖 112 d 后, 对网箱内小规格大菱鲈进行随

机测量, 测得大菱鲈生长情况见表 2。从表 2 可以看出, 养殖 112 d 后, 传统木质网箱与塑胶单层网箱在商品鱼平均尾重、成活率、平均体重增长率、单位面积产量上无显著性差异; 但在相同养殖海域, 双层塑胶网箱单位面积产量 (10.53 kg/m^2) 要显著高于传统网箱及单层网箱 (8.09 、 8.02 kg/m^2) ($P < 0.05$), 单位面积产量相对于传统网箱及塑胶单层网箱分别增产 30.00%、31.00%, 双层网箱养殖密度也高于单层网箱。

2015 年对 2 种新型网箱投放大规格大菱鲈进行养殖, 养殖 55 d 后, 随机抽取 2 口网箱对大规格大菱鲈进行随机测量, 测得数据见表 3。从表 3 可以看出, 双层塑胶网箱中大规格大菱鲈平均体重增长率显著高于单层塑胶网箱 ($P < 0.05$); 单位面积产量同比单层网箱增产 11.03% ($P < 0.05$)。结果显示, 塑胶环保双层网箱养殖大菱鲈, 除了节能环保、便于管理之外, 能最大限度利用养殖面积, 增加养殖收益。

3 讨论

3.1 养殖鱼类放养时间的界定

鲈鱼生长状况与海水温度密切相关 (姜秀凤等, 2001; 线薇薇等, 2002)。从图 3 可以看出, 2 次实验时, 三都澳海域水温为 $13\text{--}25^\circ\text{C}$, 与姜秀凤 (2001)

表 1 2014 年宁德离岸网箱养殖褐牙鲈生长情况 (平均值 \pm 标准差)

Tab.1 The growth of offshore net cage cultured *P. olivaceus* in Ningde in 2014 (Mean \pm SD)

项目 Items	实验组 Groups	
	传统木质网箱	塑胶单层网箱
	Traditional wooden cage	Plastic monolayer cage
初始平均体重 Average initial weight (g)	432.00 \pm 4.02	420.00 \pm 3.56
终末平均体重 Average finial weight (g)	667.24 \pm 3.06	671.00 \pm 15.17
成活率 Survival rate (%)	92.73 \pm 0.52 ^b	96.37 \pm 0.26 ^a
平均体重增长率 Growth rate of average weight (%)	54.45 \pm 0.71 ^b	62.13 \pm 0.60 ^a
单位面积产量 Yield per unit area (kg/m^2)	16.42 \pm 0.01 ^b	17.42 \pm 0.01 ^a

注: 同行数据中, 上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同

Note: Values in the same row with different superscripts were significantly different ($P < 0.05$). The same as below

表 2 2013 年宁德离岸网箱养殖大菱鲈生长情况 (平均值 \pm 标准差)

Tab.2 The growth of offshore net cage cultured *S. maximus* in Ningde in 2013 (Mean \pm SD)

项目 Items	实验组 Groups		
	传统木质网箱	塑胶单层网箱	塑胶双层网箱
	Traditional wooden cage	Plastic monolayer cage	Plastic bilayer cage
初始平均体重 Average initial weight (g)	170.00 \pm 7.07	166.50 \pm 4.95	168.50 \pm 13.44
终末平均体重 Average finial weight (g)	466.50 \pm 29.99	462.00 \pm 32.53	458.00 \pm 18.38
成活率 Survival rate (%)	92.50 \pm 2.12	92.50 \pm 0.71	92.00 \pm 1.41
平均体重增长率 Growth rate of average weight (%)	174.30 \pm 5.64	177.31 \pm 11.29	172.30 \pm 10.87
单位面积产量 Yield per unit area (kg/m^2)	8.09 \pm 0.32 ^b	8.02 \pm 0.63 ^b	10.53 \pm 0.25 ^a

表 3 2015 年宁德离岸网箱养殖大菱鲂生长情况(平均值±标准差)
Tab.3 The growth of offshore net cage cultured *S. maximus* in Ningde in 2015(Mean±SD)

项目 Items	实验组 Groups	
	塑胶单层网箱 Plastic monolayer cage	塑胶双层网箱 Plastic bilayer cage
初始平均体重 Average initial weight (g)	362.00±5.02	354.00±7.05
终末平均体重 Average final weight (g)	521.45±1.52	522.34±1.67
成活率 Survival rate (%)	96.20±0.52	95.09±0.53
平均体重增长率 Growth rate of average weight (%)	44.05±0.04 ^b	47.55±0.47 ^a
单位面积产量 Yield per unit area (kg/m ²)	14.52±0.04 ^b	16.32±0.13 ^a

报道的牙鲆最适生长温度(15–25℃)和雷霖霖(2005)研究报道的大菱鲂最适生长温度(14–18℃)相近。因此,可选择 12 月放养至翌年 4 月。在本研究中,褐牙鲆网箱养殖实验期间的海水温度为 14.2–23.1℃,褐牙鲆生长情况较好,表明实验期间的海水温度在褐牙鲆的适宜生长温度范围内。大菱鲂 2 次养殖实验期间的海水温度分别为 13.8–22.7℃、14.2–18.3℃,2 次大菱鲂生长情况均良好,表明实验期间的海水温度在大菱鲆的适宜温度范围内。

3.2 2 种新型塑胶网箱应用前景分析

3.2.1 塑胶环保单层网箱优势 首先,传统网箱采用木排式走道,使用年限较短,回收利用率低下,对海域环境造成污染严重(林德芳等, 2005)。浮球多采用泡沫式浮球,废弃后变成白色垃圾漂浮在养殖海域,对养殖海域的水况产生很大的破坏,影响水体环境,对养殖生物生长不利,从而间接造成养殖户经济损失(吴常文等, 2006)。相对于传统木质网箱,新型塑胶网箱(渔排)走道与浮球均采用 HDPE 可回收再利用的塑胶注塑成型模块材料制作,HDPE 材质使用年限较长、折旧率低(关长涛等, 2005; 黄滨等, 2005),养殖户可利用同一网箱进行多次养殖,节约养殖成本,提升养殖效益。此外,HDPE 材质可回收剪率高,养殖户可整体回收网箱,利于保护海域环境。

其次,传统网箱的抗风浪能力相对较弱,而新型塑胶网箱渔排纵向走道采取同一平面点的可拆卸结构,增强了抗风浪能力,同时,HDPE 材料可在恶劣海况环境下使用,具有较好的抗风浪能力。有关研究显示,HDPE 网箱抗风浪能力可达最大风力十级、抗浪高达 6 m、抗流速 1.0 m/s (黄六一等, 2006; 吴常文等, 2007)。而可拆卸结构的设计,则便于携带、安装、置换,利于日常管理。

最后,通过养殖数据分析发现,新型塑胶网箱的褐牙鲆养殖效果优于传统木质网箱。从表 1 可以看出,新型塑胶网箱中的褐牙鲆成活率、平均体重增长

率、单位面积产量均显著高于传统木质网箱。其原因是褐牙鲆作为底栖鱼类,对养殖环境以及日常管理要求较严格。新型塑胶网箱具有抗风浪能力强、便于管理等特点,给褐牙鲆生长提供了更好的保障。

3.2.2 塑胶双层网箱优势分析 养殖户为获得更高的养殖经济效益则会提升养殖密度,但是过高的养殖密度会影响鱼体的活动、呼吸等,不利于养殖鱼体生长,甚至会造成死亡(Irwin *et al.*, 1999; 常忠岳等, 2001; 乔玮等, 2014)。塑胶双层网箱是在单层网箱的基础上,在网箱内部悬挂 1 层平板网箱架,以此增加有效水体空间利用率,提升养殖单位面积产量,提高经济效益。

塑胶双层网箱在塑胶单层网箱内部套挂一层平板网箱架,为鲆鳕鱼类额外提供了一个活动、摄食、呼吸场所。因此,养殖户可适当的增加鱼苗投放数量,提高单位面积产量。从表 2、表 3 数据可以看出,针对小规格大菱鲆养殖,双层网箱中的大菱鲆在成活率、平均体重增长率与单层网箱中的鱼体无显著差异,但是单位面积产量显著高于单层网箱。而针对大规格大菱鲆养殖,双层网箱中的鱼体成活率与单层网箱的成活率无显著差异,在平均体重增长率、单位面积产量上则显著高于后者。2 次不同规格大菱鲆养殖结果显示,塑胶双层网箱相对于塑胶单层网箱具有重要的现实意义和发展前景。

4 结论

利用塑胶单层网箱与塑胶双层网箱开展牙鲆与大菱鲆养殖实验,通过其养殖结果可知,塑胶环保型网箱相对于传统木质网箱在养殖效果、日常管理、节能环保方面具有明显优势;塑胶环保型双层网箱在大规格大菱鲆养殖效果上与塑胶单层网箱无明显差距,单位面积产量却有显著提高。其中,塑胶双层网箱可适当提高养殖密度,增加养殖效益,但具体放养最适密度有待进一步研究。

参 考 文 献

- Chang ZY, Lu Y, Hu ZW. The study of the influence factors on the growth and survival rate of factory-cultured *Paralichthys olivaceus*. Journal of Aquaculture, 2001(3): 26–28 [常忠岳, 卢岩, 胡志伟. 牙鲈工厂化养殖生长及成活率影响因素探讨. 水产养殖, 2001(3): 26–28]
- Chen ZX, Zhou J, Yu WS. The experiment on a multilayer submersible anti-wave cage for flatfish culture. China Fisheries, 2007(7): 70–71 [湛志新, 周江, 于文松. 多层结构鲆鲽鱼类沉式抗风浪网箱养殖实验. 中国水产, 2007(7): 70–71]
- Guan CT, Lin DF, Yang CH, et al. Research and development of the deep-sea anti-waves cage with 2-ring HDPE pipes in circular shape. Marine Fisheries Research, 2005, 26(1): 61–67 [关长涛, 林德芳, 杨长厚, 等. HDPE 双管圆形深海抗风浪网箱的研制. 海洋水产研究, 2005, 26(1): 61–67]
- Huang B, Guan CT, Liang Y, et al. The land-sea relay efficient breeding experiment for *Epinephelus moara* in the northern sea area. Fishery Modernization, 2013, 40(2): 1–5 [黄滨, 关长涛, 梁友, 等. 北方海域云纹石斑鱼的陆海接力高效养殖实验. 渔业现代化, 2013, 40(2): 1–5]
- Huang B, Guan CT, Lin DF. The cost-performance analysis and selection on the HDPE deep-sea anti-waves cage. Fishery Modernization, 2005, 6: 8–9 [黄滨, 关长涛, 林德芳. HDPE 深海抗风浪网箱的性价比分析与选择. 渔业现代化, 2005, 6: 8–9]
- Huang DB. Mariculture technology of *Paralichthys olivaceus* in the net cages. Fishery Guide to be Rich, 2002(8): 35–36 [黄德波. 海水网箱养殖牙鲈鱼技术. 渔业致富指南, 2002(8): 35–36]
- Huang LY, Liang ZL, Wan R, et al. Study on the maximum inclined angle of a HDPE circle submersible net cage. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(6): 953–958 [黄六一, 梁振林, 万荣, 等. HDPE 圆形升降式网箱下沉时最大倾角的研究. 中国海洋大学学报, 2006, 36(6): 953–958]
- Irwin S, O'Halloran J, Fitzgerald RD. Stocking density growth and growth variation in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* (Rafinesque). Aquaculture, 1999, 178(1): 77–88
- Jiang XF, Duan XY, Wang YF, et al. Indoor overwintering and marine cage culture of *Paralichthys olivaceus*. Fisheries Science and Technology Information, 2001, 28(4): 163–164 [姜秀凤, 段晓英, 王玉芬, 等. 牙鲈室内越冬和海上网箱养成试验. 水产科技情报, 2001, 28(4): 163–164]
- Lei JL. New situation and developing direction of turbot and flounders. Scientific Fish Farming, 2005(1): 34–35 [雷霖霖. 鲆鲽类养殖新形势和合发展动向. 科学养鱼, 2005(1): 34–35]
- Lin DF, Guan CT, Huang B, et al. Discussion on anti-wave measures of mariculture cage. Marine Fisheries Research, 2005, 26(6): 55–60 [林德芳, 关长涛, 黄滨, 等. 海水养殖网箱抗风浪措施的探讨. 海洋水产研究, 2005, 26(6): 55–60]
- Qiao W, Song XF, Gao CR, et al. Effects of stocking density on the growth and physiology of adult turbot and changes in water quality. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(5): 76–82 [乔玮, 宋协法, 高淳仁, 等. 养殖密度对循环水系统中大菱鲈(*Scophthalmus maximus*)生长的影响. 渔业科学进展, 2014, 35(5): 76–82]
- Wang WJ. Discussion of atlantic flounder feeding technique in net cage on the Southern Sea. Journal of Fujian Fisheries, 2006, 3(1): 33–35 [王文建. 美国大西洋牙鲈南方海上网箱养成技术探讨. 福建水产, 2006, 3(1): 33–35]
- Wang XC. South domestication and mariculture of turbot in the net cages. Journal of Fujian Fisheries, 2006, 3(1): 45–47 [王兴春. 大菱鲈南移网箱养殖试验. 福建水产, 2006, 3(1): 45–47]
- Wu CW, Chang KM. The development direction of modern fish farming in deep-sea cage aquaculture. Chinese Fisheries Economics, 2006(1): 67–69 [吴常文, 常抗美. 深水网箱养殖—现代耕海牧渔的发展方向. 中国渔业经济, 2006(1): 67–69]
- Wu CW, Zhu AY, Shen JL. Experiment on validating the capability of HDPE offshore cage to go against wind, wave and current in the sea. The Ocean Engineering, 2007, 25(2): 84–90, 97 [吴常文, 朱爱意, 沈建林. HDPE 深水网箱抗风浪流性能的海区验证实验. 海洋工程, 2007, 25(2): 84–90, 97]
- Xian WW, Zhu XH. Influences of body weight and temperature on standard metabolic rate of *Paralichthys olivaceus*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(3): 340–342 [线薇薇, 朱鑫华. 体重和温度对褐牙鲈标准代谢的影响. 应用生态学报, 2002, 13(3): 340–342]
- Zhou Y, Huang B, Wu F, et al. The influence of UV location on recirculating aquaculture *Cynoglossus semilaevis*'s water environment and its growth. Engineering Sciences, 2014, 16(9): 78–85 [周游, 黄滨, 吴凡, 等. 紫外线位置对循环水养殖半滑舌鳎水环境及生长影响. 中国工程科学, 2014, 16(9): 78–85]

(编辑 马瑾艳)

Assessment on the Culture Efficiency of *Paralichthys olivaceus* and *Scophthalmus maximus* in Two New Environment-Friendly Plastic Cages

WANG Tengteng^{1,2}, GUAN Changtao^{2①}, GONG Pihai², CUI Yong², LI Zhenzhen^{1,2}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Key Laboratory for Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract Two types of new-styled cages, monolayer cage and bilayer cage, which made of environment-friendly plastic, were developed for *Paralichthys olivaceus* and *Scophthalmus maximus* culture. The new culture systems were tested to explore if they affect the survival rate and growth of two important aquaculture species in fish breeding. In the *P. olivaceus* culture experiment, the survival rate of the traditional wooden cage group was 92.73%, with production yield of 16.42 kg/m², while the survival rate of the new monolayer plastic cage group significantly increased to 96.37% with yield up to 17.42 kg/m² ($P<0.05$). Furthermore, the yield per unit area of the new monolayer plastic cage group was 6.10% higher than that in the traditional wooden cage ($P<0.05$). In the culture of small sized *S. maximus*, the traditional wooden cage group had a survival rate of 92.50% with a yield of 8.09 kg/m² and the new monolayer plastic cage group had a survival rate of 92.50% with a yield of 8.02 kg/m². By contrast, the bilayer plastic cage group had a similar survival rate of 92.00%, but with an increased yield of 10.53 kg/m². The bilayer plastic cage had significantly improved the yield per unit area, which was 30.00% and 31.00% higher than the traditional wooden cage group and the monolayer plastic cage group respectively ($P<0.05$). In the culture of big sized *S. maximus*, the survival rate was over 95.00% and the yield was between 14.52 kg/m² and 16.32 kg/m² in both new-styled plastic cage groups. However, there was significant difference in the average weight of fish between the two new plastic cage groups ($P<0.05$). The yield per unit area of bilayer cage group was 11.00% higher than that in monolayer cage. The results demonstrated that using new plastic environment-friendly cage can significantly benefit *P. olivaceus* aquaculture. Compared with the traditional wooden cage, the new-type plastic cage has advantages such as energy-saving, environment-friendly and operation-convenient. Above all, the bilayer plastic cage can promote the effective use of rearing space, and increase the production yield.

Key words *Paralichthys olivaceus*; *Scophthalmus maximus*; Environment-friendly plastic cages; Cage culture

① Corresponding author: GUAN Changtao, E-mail: guanct@ysfri.ac.cn