



一种双层鱼类选育苗种池塘养殖网箱

耿龙武, 尚信池, 魏海军, 孙志鹏, 佟广香, 匡友谊, 徐伟*

(中国水产科学研究院黑龙江水产研究所,

黑龙江省冷水鱼类种质资源与育种重点开放实验室, 黑龙江 哈尔滨 150070)

摘要: 为了解决现有网箱养殖中放养苗种需要前期培育、清洗更换网箱工作强度大的问题, 研发出一种双层鱼类苗种池塘养殖网箱。双层网箱呈长方形, 箱体网衣由上层大网目和下层小网目组成, 两种网衣高度均为 1 m, 鱼苗在下层小网目 (0.42 mm) 水体中培育, 随着鱼苗生长逐渐升高水位, 苗种在上层大网目 (0.6 cm) 和下层小网目合围的水体中养殖。结果显示, 双层网箱可以进行大鳞鲃鱼苗到鱼种的连续养殖, 漂浮网箱适合大规格鱼苗 (全长 > 2.0 cm) 到鱼种的养殖。双层网箱养殖大鳞鲃 1 龄鱼种的全长、体长、增重率和特定生长率均显著高于漂浮网箱养殖的鱼种。3 个月养殖期间, 双层网箱不需要更换清洗网箱, 漂浮网箱需要更换清洗网箱 5 次。结果表明, 双层网箱大鳞鲃 1 龄鱼种的养殖效果显著优于漂浮网箱, 并且养殖管理工作强度显著降低。为了验证双层网箱苗种选育的养殖效果, 以大鳞鲃耐盐碱选育家系为养殖对象, 分别在 3 个 660 m² 的池塘中平行安装 6 个相同规格的网箱, 进行从鱼苗到 1 龄鱼种的池塘养殖。在双层网箱养殖条件下, 大鳞鲃选育家系 1 龄鱼种体长为 13.87~16.07 cm, 体重为 34.71~42.07 g, 与池塘养殖条件下的 1 龄鱼种规格相似, 并且 6 个家系呈现出不同的生长性状。研究表明, 在池塘中进行多个双层网箱养殖, 可为鱼类选育苗种提供相同的养殖条件和准确的生长数据。双层网箱可为鱼类选育苗种提供一种池塘养殖方式。

关键词: 大鳞鲃; 养殖网箱; 双层网衣; 池塘连续养殖; 免清洗; 家系选育

中图分类号: S 969

文献标志码: A

家系选择育种是培育具有特定经济性状品种或品系的经典的、基本的育种方法^[1], 已在很多水产动物的育种中取得了成功。建立家系, 并以家系为选择单位进行系统选择是选择育种的重要手段^[2]。家系选择育种由于将整个家系作为选择或淘汰的单位, 所以被选择的家系之间应该彼此隔离或进行标记, 各家系的世代也应该互不混杂。更重要的是, 应该将若干选择家系饲养在相同或相近的环境中, 使家系的表型值更接近真实的遗

传值^[3-4]。例如, 不同家系的斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*) 利用 PIT 芯片标记, 克服家系选择过程中单个鱼缸引起的环境差异, 实现在相同环境条件下不同家系的生长比较^[5]。在相同的饲养和管理条件下评估了吉富罗非鱼 (GIFT *Oreochromis niloticus*) 的遗传参数, 为下一步育种计划中的性状选择提供了参考^[6]。另外, 在相同环境条件下分析了不同孵化场养殖的长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 种群的生物学性状, 每一个种群都表现出

收稿日期: 2024-08-21 修回日期: 2024-10-10

资助项目: 国家重点研发计划 (2022YFD2400101); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (2023TDS9)

第一作者: 耿龙武 (照片), 从事水产养殖研究, E-mail: genglongwu@hrffi.ac.cn

通信作者: 徐伟, 从事鱼类人工繁殖研究, E-mail: xuwei@hrffi.ac.cn



特有的品质, 表明在生产方式、种群起源和其他因素方面存在差异^[7]。因此, 家系苗种培育应采用标准化的方式进行, 消除环境差异对遗传方差的影响, 降低因环境差异而造成的家系苗种个体表型值的影响, 为进一步的家系性状分析提供科学依据。

鱼类家系池塘养殖是将当年繁育的鱼苗, 在池塘中经分级培育养成大规模鱼种的过程。在进行池塘养殖实验时, 要满足不同家系间的分组、重复、条件一致等要求^[4]。池塘网箱养殖能有效利用水体, 对养殖鱼类进行统一管理, 是实验研究的主要池塘养殖方式^[8]。鱼类网箱养殖最早起源于中国, 后来逐步在世界各地推广应用^[9]。20世纪70年代后期, 我国淡水鱼类网箱养殖的方式和种类有了新的发展, 按形状可分为方形、球形、船形、蝶形、三角形、双锥形和圆柱形, 按作业方式可分为漂浮式、沉式、升降式、坐底式、全潜式、半潜式和移动式^[9]。漂浮式网箱是采用最广泛的一种养殖方式, 箱体悬挂在浮力装置或框架上, 使之在水面浮动, 可根据需要移动网箱, 避开不利环境条件移入更合适的水域^[10]。坐底式网箱采用竹桩、木桩或水泥桩钉牢于水底, 桩顶高出水面, 将网箱固定于桩上, 箱体上部高出水面0.5~1.0 m, 箱底离水底1~2 m^[11]。网箱培育鱼种时, 网目尺寸大小与放养苗种规格紧密相关, 并且随着鱼体的生长需要及时更换较大网目尺寸的网箱。因此, 网箱养殖前需要将鱼苗培育至乌仔或夏花大规模苗种。此外, 网衣入水一段时间后与水环境接触很容易附着污损生物, 堵塞网目, 影响水体交换和滋生病菌, 如不及时清除将对网箱养殖生产造成很大危害^[12], 需要定期(15~20 d)检查或清除网衣周围的附着物^[13]。总之, 现有网箱养殖中存在放养苗种需要前期培育、不同网目尺寸网箱需要清洗更换等问题。

为了解决现有漂浮网箱在池塘养殖中存在的上述问题, 本研究提供了一种双层鱼类选育苗种池塘养殖网箱。为验证双层网箱的苗种选育养殖效果, 在660 m²池塘内进行了双层网箱与漂浮网箱的池塘养殖对比和大鳞鲃(*Luciobarbus capito*)耐盐碱选育家系的苗种培育。大鳞鲃鱼苗上浮平游后, 直接进入双层网箱完成仔鱼、乌仔和鱼种阶段的养殖。通过检测家系苗种的生长性状, 分析双层网箱的养殖效果, 旨在为鱼类选育苗种池塘养殖提供一种新的网箱养殖方法。

1 材料与方 法

1.1 双层网箱规格

双层网箱为长方形(图1), 规格为10.0 m×3.0 m×2.0 m(长×宽×高)。网箱制作材料为聚乙烯网衣, 网衣分为上下两层。上层大网目网衣和下层小网目网衣的高度分别为1.0 m, 上层大网衣的网目尺寸为0.6 cm, 下层小网衣和网底网目尺寸为0.42 mm。在3.0 m宽边一侧中间距离底部20 cm开有直径为30 cm的圆孔, 外接长1.5 m、网目尺寸0.42 mm网衣制作的筒状出鱼网袋。网箱8个角外接长2.0 m、直径6.0 mm的3股聚乙烯固定绳。作为对照的漂浮网箱规格为3.0 m×2.5 m×2.0 m(长×宽×高), 网衣的网目尺寸分为0.6、0.8和1.0 cm共3种规格。

1.2 网箱池塘安装

选择4个东西长33 m、南北长20 m的池塘安装网箱。在3个池塘中安装双层网箱, 每个池塘安装6个网箱, 用于养殖6个大鳞鲃耐盐碱选育系的苗种(图2)。在1个池塘中安装3个双层网箱和3个漂浮网箱(图3), 用于评价两种网箱的养殖效果。双层网箱在池塘中平行放置, 相邻网箱

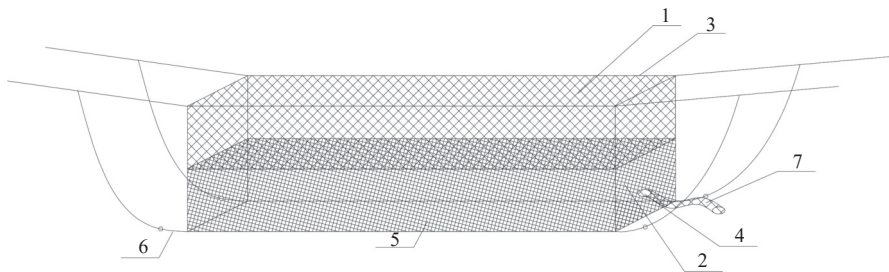


图1 双层网箱模式图

1. 大网目网衣(0.6 cm), 2. 小网目网衣(0.42 mm), 3. 钢丝绳框架, 4. 出鱼口, 5. 网底, 6. 聚乙烯固定绳, 7. 网袋。

Fig. 1 Schematic diagram of double layers cage

1. large mesh net (0.6 cm), 2. small mesh net (0.42 mm), 3. steel-wire rope frame, 4. fish outlet, 5. cage bottom, 6. polyethylene fixing rope, 7. net bag.

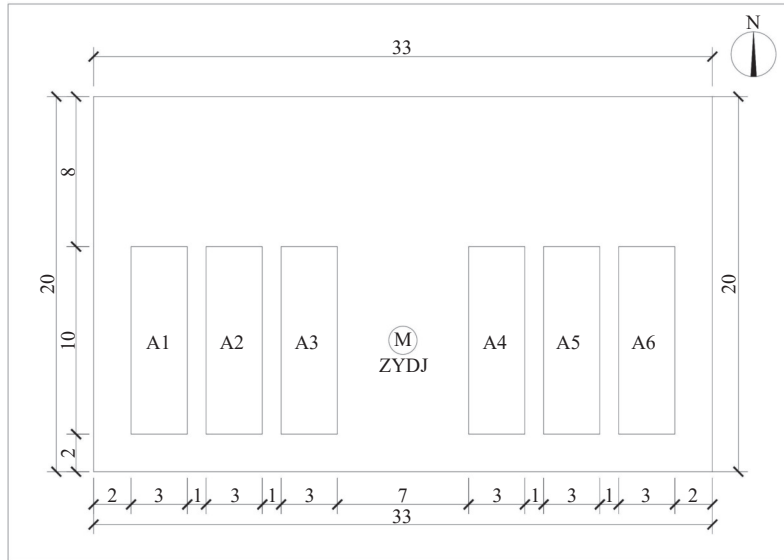


图 2 池塘中 6 个双层网箱布置图

A1~A6. 6 个大鳞鲃家系在 6 个双层网箱中养殖, ZYDJ. 水车增氧机, 图例中数字的单位为 m, 下同。

Fig. 2 Arrangement of six double layers cages in 660 m² pond

A1-A6. six families of *L. capito* were cultivated in six double layers cages, ZYDJ. waterwheel aerator, m is the unit of the numbers in the picture, the same below.

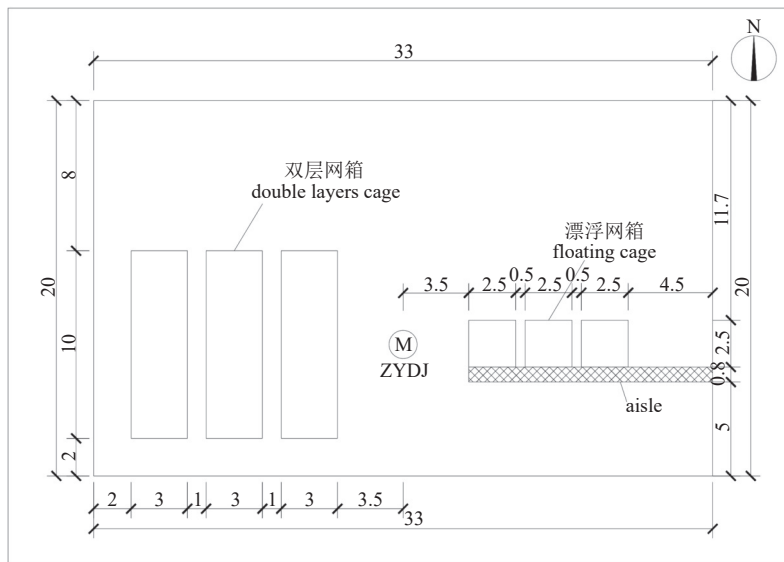


图 3 池塘中 3 个双层网箱与 3 个漂浮网箱布置图

Fig. 3 Arrangement of three double layers cages and three floating cages in 660 m² pond

之间间隔 1 m, 在池塘中央放置 1.5 kW 的水车式增氧机。在池塘上沿同一水平, 按网箱上口 4 条边的延长线在池塘护坡上固定 M12×80 mm 的羊眼膨胀钩, 膨胀钩之间用 5 mm 钢丝绳连接, 并用花篮紧线器 (OC 型 M14) 收紧。网箱上口 4 个角的聚乙烯绳系在钢丝绳合围的 4 个角上, 用自锁式尼龙扎带 (4 mm×200 mm) 将网箱上口 4 条边上沿结扎在钢丝绳上。按网箱位置在底角外侧固

定内径 48 mm、线径 6 mm 的铁环, 网箱底角连接的聚乙烯固定绳, 穿过铁环拉紧后系在上口的膨胀钩上。漂浮网箱平台采用 5 mm 钢丝绳固定在池塘深水区, 水深保持在 1.5 m 以上。平台由塑料浮桶、钢管、木板组成 3 个 3.0 m×2.5 m 长方形框架, 将漂浮网箱固定在框架内, 网衣入水深 1.5 m。各网箱均有盖网, 盖网高出水面 0.5 m。网箱一侧铺设木制通道作为养殖管理平台。每个

网箱配备 1 台 10 L 自动投饵机。

1.3 乌仔培育

选择大鳞鲃耐盐碱选育系作为双层网箱养殖对象, 选育系依据耐盐碱和生长分子标记辅助构建^[14-15]。当鱼苗上浮平游后, 直接转入双层网箱连续养殖 4 个月, 培育至 1 龄鱼种。放养前, 每个池塘用生石灰 60 kg 消毒后加注井水, 网箱内水位达到 70~80 cm。施有机肥 40 kg 培养轮虫等浮游生物, 当浮游生物量达到 5 000~6 000 个/L 时, 将 6 个选育家系的鱼苗分别放入同池塘的 6 个双层网箱, 鱼苗放养 5 000 尾。池塘水温为 22.0~25.0 °C。大约 5 d 后浮游生物量下降, 开始驯化投喂哈尔滨润农牧业有限公司生产的小颗粒配合饲料(粗蛋白 38%, 粒径 0.5~0.7 mm), 每网箱日投喂量 0.5~1.0 kg, 分 3~4 次投喂。鱼苗在网箱中养殖 15 d 后发育至乌仔阶段, 检测鱼苗的成活率和生长情况。检查过程中, 松开网箱底部 4 个角的聚乙烯固定绳, 将网箱内所有鱼苗从出鱼口聚集到网袋中, 然后从网袋中倒出。重量法计算鱼苗总数量, 并测量体重、体长等生长指标。

以 1 对大鳞鲃亲本的苗种为养殖对象, 在同一池塘验证双层网箱和漂浮网箱的养殖效果。双层网箱养殖方法按上述进行。漂浮网箱养殖的鱼苗需要在室内车间培育 1 个月, 鱼苗全长达到 2.0 cm 左右时入箱开始养殖(图 3)。室内培育在 3 个直径 3.0 m, 水深 0.5 m 的圆形玻璃钢内, 每个鱼缸放养鱼苗 840 尾, 与池塘双层网箱放养 5 000 尾的密度保持一致。前 5 天投喂丰年虫活饵, 后期投喂方法与双层网箱相同。室内养殖用水为井水, 循环系统控制水温在 20.0~22.0 °C, 采用充气泵连续增氧。

1.4 鱼种养殖

双层网箱乌仔鱼苗检查结束后, 重新封闭出鱼口网袋, 固定网箱底部 4 个角, 随机捞取 600 尾放入原网箱, 在不清洗、不更换网箱的情况下开始鱼种养殖。养殖期间, 每个月向池塘中注入井水 20~30 cm, 网箱内最终水位达到 1.8 m, 低于网箱上口边缘 20 cm。将上述室内鱼苗转移到漂浮网箱中开始鱼种养殖, 每个网箱放养 124 尾, 使其养殖密度与双层网箱相同(11 尾/m³)。漂浮网箱每 2 周清洗 1 次。初始网目尺寸为 0.6 cm, 每月网目尺寸逐渐更换为 0.8 cm 和 1.0 cm。两种网箱投喂方法参照“乌仔培育”, 日投喂量为体重的

6%~8%。养殖期间水温 22.0~26.0 °C。每天利用便携式多参数水质分析仪(YSI Pro 2030)监测网箱水质, 使其保持在溶解氧>5.0 mg/L, pH 7.49~8.51, 总氨氮浓度<0.2 mg/L。定期换水调节池塘透明度在 25~30 cm。鱼种养殖时间为 7—9 月。

1.5 数据分析

每个养殖网箱(缸)随机捞取 30 尾实验鱼进行生长测量分析。称重前用浓度 20 mg/L 的 MS-222 麻醉, 轻轻擦去体表水分, 用电子天平称量体重, 鱼苗体重精确到 0.01 mg, 鱼种体重精确到 0.01 g。使用游标卡尺测量体长、全长(精确到 0.01 mm)等生长指标。操作人员严格遵守实验动物福利伦理规范, 并按照中国水产科学研究院黑龙江水产研究所实验动物福利伦理委员会制定的规章制度执行。成活率(SR)、增重率(WGR)、特定生长率(SGR)和肥满度(CF)的计算公式^[16]:

$$SR(\%) = N_t / N_0 \times 100\%$$

$$WGR(\%) = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%$$

$$SGR(\%) = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\%$$

$$CF(\text{g}/\text{cm}^3) = W / L^3 \times 100$$

式中, N_t 为实验结束时鱼数量(尾), N_0 为实验初始鱼数量(尾), W_t 为实验鱼终末均重(g), W_0 为实验鱼初始均重(g), t 为实验天数(d), W 为实验鱼体重(g), L 为实验鱼体长(cm)。

采用 Excel 2019 软件对实验结果进行统计整理, 实验数据表示为平均值±标准差(mean±SD)。利用 SPSS 24.0 软件对不同网箱实验鱼的体重、体长及全长进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 若组间差异显著($P < 0.05$), 再作 Duncan 氏多重比较分析, 使用 GraphPad Prism 8 软件绘制图形。

2 结果

2.1 网箱养殖管理

按照设计要求, 池塘中网箱养殖效果如图 4、图 5 所示。双层网箱养殖的第 15 天, 松开底部固定绳, 从底层集中网衣检查实验鱼 1 次。3 个月养殖期间, 漂浮网箱每半个月需要更换清洗网箱 1 次, 共清洗更换 5 次; 双层网箱不需要更换清洗网箱。养殖结束时, 两种网箱均需要清洗网箱 1 次。养殖期间漂浮网箱随鱼种生长需要更换网箱的数量为 6 个, 双层网箱需要网箱数量为 1 个。



图 4 6 个双层网箱在池塘中的排列图

Fig. 4 Six double layers cages arrangement in pond



图 5 漂浮网箱在池塘中的排列图

Fig. 5 Floating cages arrangement in pond

两种类型网箱 3 个月养殖期间的管理情况见表 1。两种网箱养殖对比结果表明, 双层网箱所需的养殖管理和工作强度明显低于漂浮网箱。

2.2 两种网箱鱼苗的养殖结果

6 个大鳞鲃家系鱼苗在双层网箱中养殖 15 d, 测定鱼苗在网箱中的成活率和生长状况, 结果见表 2。6 个家系的成活率为 85.99%~87.21%, 平均全长为 17.49~17.64 mm, 平均体长为 14.45~14.63 mm, 6 个家系的成活率、全长和体长均无显著差异 ($P>0.05$)。A1 家系的平均体重为 180.94 mg, 显著高于其他家系的体重 ($P<0.05$)。漂浮网箱养殖的鱼苗经过室内车间培育 1 个月, 全长达到 2.06 mm (图 6), 在网目尺寸 0.6 cm 的漂浮网箱中

表 1 两种网箱养殖期间的管理

Tab. 1 Aquaculture management of two types cages

管理内容 management content	双层网箱 double layers cage	漂浮网箱 floating cage
初始安装网箱次数 initial cage installation times	1	1
中间拆卸安装次数 intermediate disassembly and installation times	1	5
中间网衣清洗次数 intermediate net cleaning times	0	5
最后拆卸次数 final disassembly times	1	1
最后清洗次数 final cleaning times	1	1
需要网箱数量 number of cages required	1	6

不会逃逸, 转移到池塘漂浮网箱中开始鱼种养殖。双层网箱养殖 15 天后开始鱼种养殖。两种网箱养殖鱼苗阶段的成活率相似 ($P>0.05$), 漂浮网箱入

箱养殖时鱼苗的全长和体长显著高于双层网箱 ($P<0.05$), 而体重和肥满度显著低于双层网箱 ($P<0.05$) (图 6)。

表 2 6 个大鳞鲃家系鱼苗在双层网箱中的养殖结果

Tab. 2 Breeding aquaculture results of six *L. capito* family fries in double layers cages

家系 family	成活率/% survival rate	全长/mm total length	体长/mm body length	体重/mg body weight
A1	87.21±0.70	17.59±0.03	14.60±0.01	180.94±4.55 ^b
A2	85.99±1.01	17.64±0.07	14.59±0.02	174.31±3.45 ^a
A3	87.04±0.50	17.49±0.08	14.45±0.09	176.67±3.30 ^a
A4	86.23±0.66	17.62±0.06	14.53±0.10	177.11±5.43 ^a
A5	86.43±0.72	17.56±0.04	14.63±0.07	178.41±6.04 ^a
A6	86.33±1.06	17.60±0.04	14.58±0.02	171.26±4.57 ^a

注: 同列数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下同。

Notes: In the same column, values with different lowercase letters superscripts mean significant difference ($P<0.05$), the same below.

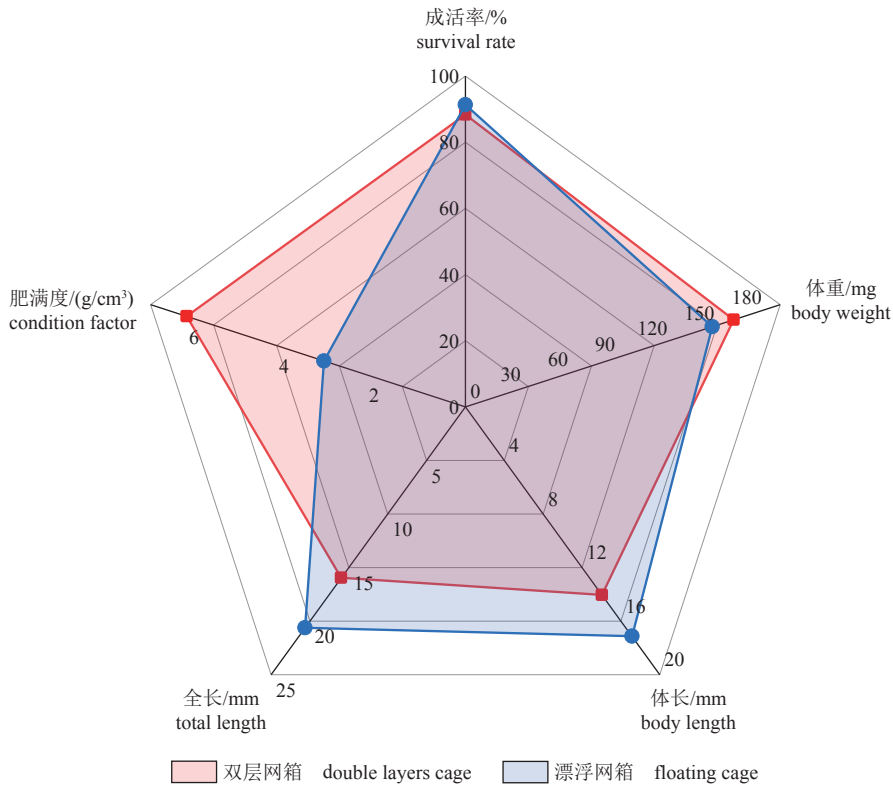


图 6 两种网箱开始鱼种养殖时大鳞鲃苗种生长情况

Fig. 6 Growth difference of *L. capito* fries in two types cages at the beginning of fingerlings aquaculture

2.3 两种网箱 1 龄鱼种的养殖结果

在相同养殖条件和管理方法下养殖 3 个月, 6 个大鳞鲃家系 1 龄鱼种在双层网箱养殖的成活率为 91.06%~92.50%, 各家系间无显著差异 ($P>0.05$)。A1 家系的全长最长, 其次是 A4 和 A6 家系, 均显著高于其他家系 ($P<0.05$)。体长结果与

全长相似, A1、A4 和 A6 家系最长, 其他家系无显著差异。A1 家系体重最大, 达到 (42.07±1.16) g, A4 家系和 A6 家系次之, 分别为 (39.74±0.84) g 和 (38.45±1.28) g, A2 组体重最小, 仅为 (34.71±1.04) g。增重率和特定生长率在家系间变化规律一致, A1、A4 和 A6 家系增长的较快, A2、A3

和 A5 家系增长的较慢。可见, 双层网箱能为家系选育提供基础的生长表型数据 (表 3)。两种网箱 1 龄鱼种的养殖结果见图 7。两种 1 龄鱼种的成活率无显著差异 ($P>0.05$), 平均成活率均在 91% 以上。双层网箱 1 龄鱼种体重达到 (36.89±

2.21) g, 极显著高于漂浮网箱鱼种的体重 (28.53±1.23) g ($P<0.01$)。并且, 双层网箱养殖鱼种的全长、体长、增重率和特定生长率均显著高于漂浮网箱养殖的鱼种 ($P<0.05$)。结果表明, 双层网箱 1 龄鱼种的生长性状显著优于漂浮网箱。

表 3 6 个大鳞鲃家系 1 龄鱼种在双层网箱中的养殖结果

Tab. 3 Breeding aquaculture results of six *L. capito* family fingerlings in double layers cages

家系 family	成活率/% survival rate	全长/cm total length	体长/cm body length	体重/g body weight	增重率/% weight gain rate	特定生长率/(%/d) specific growth rate
A1	91.06±1.50	18.91±0.49 ^c	16.07±0.59 ^c	42.07±1.16 ^c	23 167±1 152 ^b	5.19±0.05 ^b
A2	91.61±2.04	16.94±0.62 ^a	13.87±0.62 ^a	34.71±1.04 ^a	19 820±847 ^a	5.04±0.04 ^a
A3	91.45±1.11	17.46±0.42 ^a	14.41±0.73 ^a	36.65±0.77 ^{bc}	20 655±826 ^a	5.08±0.04 ^a
A4	92.50±1.97	17.70±0.36 ^b	15.65±0.92 ^{bc}	39.74±0.84 ^d	22 346±601 ^b	5.16±0.03 ^b
A5	91.72±0.42	17.66±0.94 ^a	14.52±0.32 ^{ab}	36.42±1.06 ^{ab}	20 343±1 292 ^a	5.07±0.06 ^a
A6	91.95±1.25	17.87±0.68 ^b	15.94±0.51 ^c	38.45±1.28 ^{cd}	22 348±242 ^b	5.16±0.01 ^b

3 讨论

3.1 双层网箱双层网衣的功能

网箱养殖是一种水产养殖生产系统, 用于在固定体积的水中饲养水生生物^[8]。淡水养殖中的网箱常用于从鱼种到食用商品鱼的养殖。网箱的网目尺寸选择很重要, 要根据养殖品种、鱼种初始大小、养殖方法等进行选择^[17-18], 同时考虑网箱内的水循环以及水流的动态阻力。例如, 尼罗罗非鱼可以在网目尺寸 6~25 mm 的网箱中养殖^[19], 体重为 50、150 和 250 g 的罗非鱼, 应分别在网目尺寸 16、20 和 24 mm 的网箱中养殖^[20]。而体长 9.1~9.7 cm、体重 5.9~6.7 g 的苏氏圆腹鲢 (*Pangasius sutchi*), 养殖网箱的网目尺寸为 0.5 mm^[21]。Gammanpila 等^[22] 研究中, 平均体重为 25 g 的尖吻鲈 (*Lates calcarifer*) 应在网目尺寸为 1.0 cm 的网箱中饲养, 2 个月后平均体重超过 250 g, 需要转移到网目尺寸为 2.5 cm 的网箱中养殖。网目尺寸应根据养殖品种的不同生长阶段进行调整。通常情况下, 小网目用于养殖的早期阶段, 而大网目用于养殖的后期阶段^[23]。但目前还没有能同时满足不同生长阶段养殖需求的多层网目网箱。本实验大鳞鲃选育家系从鱼苗阶段培育到鱼种阶段, 由于苗种规格变化较大, 相应的网箱网目尺寸范围在 0.42~10.00 mm。并且, 养殖期间要及时更换不同网目尺寸的网箱, 将增加养殖成本和管理强度。双层网箱养殖条件下, 鱼苗阶段利用下层小网目的水体, 鱼种阶段利用上层大网目和下层小网目

合围的水体, 在不更换和清洗网箱的情况下, 可满足从鱼苗到鱼种的养殖要求。与现有网箱相比, 解决了鱼类苗种养殖时清洗、更换网箱强度大的问题。因此, 双层网箱具有养殖设施成本低、养殖管理强度小的优点。

3.2 双层网箱养殖期间无需清洗更换

网箱养殖几周后, 网衣上会附着大量的生物污物^[24], 处理方式包括人工清除法、防污涂料法、机械清除法、金属合金网衣防污法、箱体转动防污法、生物防污法和网衣本征防污法^[12], 其中人工清除法是当前主要采用的处理方法^[25-26]。因此, 网箱养殖期间通常需要定期清洗^[27-28]。养殖苏氏圆腹鲢的网箱每 1~2 周清洗 1 次^[21]。为防止网箱污染, 尖吻鲈养殖 3 周后需要更换网目更大的网箱^[29]。本实验中漂浮网箱每 2 周清洗 1 次, 在 3 个月养殖期间清洗更换 5 次, 3 个漂浮网箱共清洗更换了 15 次, 与上述结果一致。本研究开发的双层网箱将鱼苗养殖阶段所需的网目尺寸 0.42 mm 网衣与鱼种养殖阶段所需的网目尺寸 0.6 cm 网衣组合成一个双层网衣网箱。随着苗种生长池塘水位逐渐注水升高, 网箱上部网衣由于入水时间短, 生物污垢附着较少, 可以保持良好的透水性。此外, 借助水车式增氧机推动水体形成水流, 可促进网箱内外水体的交换。因此, 在不更换和清洗的情况下, 双层网箱可以完成从鱼苗到鱼种的连续养殖。

3.3 双层网箱的养殖效果

在双层网箱养殖条件下, 大鳞鲃乌仔全长为

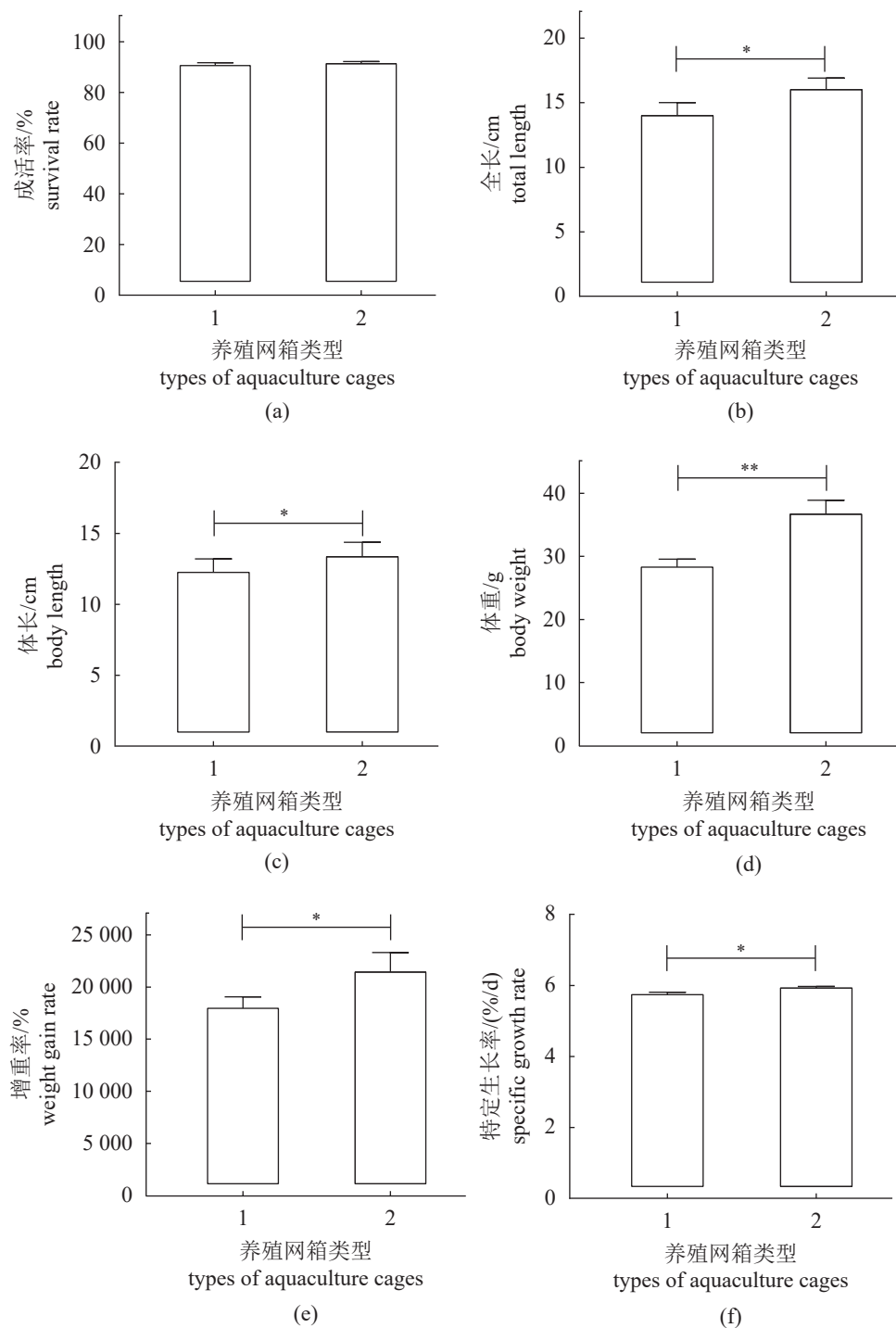


图7 两种网箱养殖大鳞鲂1龄鱼种生长性状

(a) 两种网箱1龄鱼种的成活率, (b) 两种网箱1龄鱼种的全长, (c) 两种网箱1龄鱼种的体长, (d) 两种网箱1龄鱼种的体重, (e) 两种网箱1龄鱼种的增重率, (f) 两种网箱1龄鱼种的特定生长率; 1.漂浮网箱, 2.双层网箱, “*”表示差异显著, $P < 0.05$; “**”表示差异极显著, $P < 0.01$ 。

Fig. 7 Growth difference of *L. capito* fingerlings in two types cages aquaculture for three months

(a) survival rate of two types cage-cultured fingerlings, (b) total length of two types cage-cultured fingerlings, (c) body length of two types cage-cultured fingerlings, (d) weight of two types cage-cultured fingerlings, (e) weight gain rate of two types cage-cultured fingerlings, (f) specific growth rate of two types cage-cultured fingerlings; 1. floating cage, 2. double layers cage; “*” represents significant difference, $P < 0.05$; “**” represents very significant difference, $P < 0.01$.

15.97~17.58 mm, 体重为 170.40~176.45 mg, 与池塘培育的大鳞鲃乌仔生长情况一致^[30-31]。结果表明, 双层网箱能够满足大鳞鲃仔鱼到乌仔正常生长发育的环境要求。此外, 双层网箱养殖大鳞鲃 1 龄鱼种的平均体长 (14.52±0.91) cm, 平均体重 (36.89±2.21) g, 与其他研究者报道的池塘养殖条件下的结果相似^[30, 32]。因此, 双层网箱也可进行大鳞鲃鱼种的养殖。如图 7 所示, 双层网箱中大鳞鲃 1 龄鱼种的生长性状明显优于漂浮网箱, 这与两种网箱不同的养殖过程有关。双层网箱条件下, 从仔鱼开始连续养殖至 1 龄鱼种, 整个养殖周期在池塘中进行。然而, 漂浮网箱开始养殖前, 鱼苗经过室内车间 1 个月的培育, 其体重和肥满度显著低于双层网箱养殖 15 d 的乌仔 (图 6)。这可能错过了大鳞鲃鱼苗最适生长下塘时机, 即使后期营养充足, 生长速率仍然比较缓慢^[33], 这种影响一直持续在 1 龄鱼种养殖阶段。网箱养殖过程中, 清洗、更换网箱会使养殖鱼类产生强烈的应激反应, 甚至造成大批死亡^[34-35]。本研究中漂浮网箱每 15 天清洗更换 1 次, 可能引起大鳞鲃一定程度的应激反应, 对鱼种的正常生长产生影响。综上所述, 双层网箱在池塘中的养殖效果优于漂浮网箱。

家系选择育种的养殖条件基本一致, 可减少养殖系统误差的影响, 能真实反映出不同家系的选育性状。在相同养殖条件下, 对 30 个俄罗斯鲟 (*Acipenser gueldenstaedtii*) 选育家系的体长和体重性状进行了比较分析, 结果表明, 俄罗斯鲟早期生长性状具有较大的遗传改良空间和选择潜力^[2]。将斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 选育家系后代在可控的相同养殖环境中培育, 排除了非种质遗传的影响, 结果表明 AS 家系 [African family (♂)×South China Sea family (♀)] 的雌性具有显著的杂种优势^[3]。陈锚等^[4]对 80 个凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 家系的生长状况和畸形率分析表明, 在相同或相似的养殖条件下, 各家系的生长率、存活率和畸形率差异较大; 并首次将对虾的畸形率作为一个选育指标进行研究, 初步建立了对虾的家系选育体系, 为生产实践和理论研究提供详实的科学数据。在本研究中, 6 个双层网箱在池塘同一水平面平行排列, 网箱的水深和体积相同, 并且在水车式增氧机水流推动下, 网箱内外水体充分交换, 每个网箱的养殖条件几乎相同。因此, 选育家系的生长性状受养殖环境影响较小, 6 个

选育家系生长性状的表型值是特定性状遗传参数评估和后续选育工作顺利进行的重要依据。通过各家系生长性状的对比发现, A1、A4、A6 家系的生长性状指标均优于其他家系, 这 3 个家系作为性状优良家系可用于大鳞鲃下一步选育工作中。

4 结论

本实验研发了一种用于鱼类苗种池塘养殖的双层网衣网箱及池塘养殖方法, 鱼苗期利用下层小网目网衣养殖, 鱼种期利用上层大网目和下层小网目网衣合围的水体进行养殖。池塘养殖对比结果表明, 双层网箱可正常进行大鳞鲃鱼苗和鱼种的养殖, 无需更换或清洗即可完成鱼苗至鱼种的连续养殖, 双层网箱的养殖管理和养殖效果优于漂浮网箱。在池塘中进行多个双层网箱养殖, 可为家系选育提供相同的养殖条件和准确的生长表型数据, 筛选出 3 个大鳞鲃性状优良家系可用于下一步的选育工作中。本研究可为鱼类家系选育苗种池塘培育提供养殖方法参考。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] Zhang W J, Zhao C, Luo S B, *et al.* Design of a cost-effective facility for family breeding programs of marine organisms[J]. *Aquacultural Engineering*, 2011, 45(3): 146-147.
- [2] 罗坤, 夏永涛, 王斌, 等. 俄罗斯鲟 (*Acipenser gueldenstaedtii*) 家系构建及不同家系间生长性能比较 [J]. *海洋与湖沼*, 2015, 46(2): 463-469.
Luo K, Xia Y T, Wang B, *et al.* Construction and comparison in growth performance among different families of *Acipenser gueldenstaedtii*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2015, 46(2): 463-469 (in Chinese).
- [3] Li Y D, Zhou F L, Ma Z H, *et al.* Length-weight relationship and condition factor of giant tiger shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) from four breeding families[J]. *SpringerPlus*, 2016, 5(1): 1279.
- [4] 陈锚, 吴长功, 相建海, 等. 凡纳滨对虾的选育与家系的建立 [J]. *海洋科学*, 2008, 32(11): 5-8,55.
Chen M, Wu C G, Xiang J H, *et al.* Selective breeding and pedigree foundation of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Marine Sciences*, 2008, 32(11): 5-8,55 (in Chinese).

- [5] Song C, Zhong L Q, Chen X H, *et al.* Variation analysis and sample size estimation for growth indicators during PIT-tag-assisted family construction of channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. *Aquaculture International*, 2014, 22(2): 821-831.
- [6] He J, Gao H, Xu P, *et al.* Genetic parameters for different growth scales in GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 2015, 132(6): 467-474.
- [7] Reynaga - Franco F D J, Grijalva - Chon J M, Castro - Longoria R, *et al.* Biological performance of *Crassostrea gigas* stocks produced at different hatcheries and cultivated under same environmental conditions[J]. *Aquaculture Research*, 2019, 50(2): 621-633.
- [8] Das S K, Mandal A. Chapter 11 - Climate change and inland aquaculture: global vs. south Asian perspective[M]// Sarkar U K, Das B K, Mishal P, *et al.* Perspectives on Climate Change & Inland Fisheries in India. Barrackpore: ICAR-Central Inland Fisheries Research Institute, 2019: 170-193.
- [9] 石建高, 周新基, 沈明. 深远海网箱养殖技术 [M]. 北京: 海洋出版社, 2019: 1-330.
Shi J G, Zhou X J, Shen M. Agriculture technology of deep-offshore cage[M]. Beijing: Ocean Press, 2019: 1-330 (in Chinese).
- [10] Jeong S J, Shin J K, Lee J Y, *et al.* Development of the new aquaculture fishcage for open ocean areas[C]//25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Hamburg: ASME, 2006: 533-537.
- [11] 徐国成, 朱忠琴, 丁成曙, 等. 池塘网箱养殖泥鳅高产高效技术 [J]. *渔业经济研究*, 2007, 4: 45-48.
Xu G C, Zhu Z Q, Ding C S, *et al.* Study on the technique of net cage culture loaches in pond with high yield and efficiency[J]. *Fisheries Economy Research*, 2007, 4: 45-48 (in Chinese).
- [12] 张凤仪, 石建高, 张健, 等. 功能性渔用材料的研究现状与展望 [J]. *水产学报*, 2024, 48(8): 089703.
Zhang F Y, Shi J G, Zhang J, *et al.* Research status and prospect of functional fishery materials[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2024, 48(8): 089703 (in Chinese).
- [13] Ba-Akdah M A, Satheesh S, El-Sherbiny M M O. Biofouling community development on commercial cage nets submerged in a cage aquaculture facility in the Red Sea[J]. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 2020, 36(2): 667-675.
- [14] Geng L W, Zou M, Jiang H F, *et al.* Draft genome assembly of the Aral barbel *Luciobarbus brachycephalus* using PacBio sequencing[J]. *Genome Biology and Evolution*, 2021, 13(7): evab131.
- [15] Geng L W, Meng M H, Xue S Q, *et al.* Construction of a high density genetic map and QTL analysis of morphological traits in Aral barbel *LucioBarbus brachycephalus* (Teleost: Cyprinidae)[J]. *Aquaculture Reports*, 2022, 27: 101404.
- [16] 周冬平, 刘磊, 付媛媛, 等. 盐碱水池塘不同饵料投喂条件下拟穴青蟹生长、营养及血清生化指标的比较 [J]. *水产学报*, 2024, 48(4): 049625.
Zhou D P, Liu L, Fu Y Y, *et al.* Comparative analysis of growth, nutrition and serum biochemical indexes of *Scylla paramamosain* under different feeding conditions in saline-alkali pond[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2024, 48(4): 049625 (in Chinese).
- [17] Kumar V, Karnatak G. Engineering consideration for cage aquaculture[J]. *IOSR Journal of Engineering*, 2014, 4(6): 11-18.
- [18] Cuvin - Aralar M L A, Lazartigue A G, Aralar E V. Net mesh size affects production of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* cultured in lake-based cages[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2013, 29(4): 833-838.
- [19] Lebel P, Whangchai N, Chitmanat C, *et al.* River-based cage aquaculture of tilapia in northern Thailand: sustainability of rearing and business practices[J]. *Natural Resources*, 2013, 4(5): 410-421.
- [20] Prabu E, Felix N, Ahilan B, *et al.* Cage culture of tilapia with respect to nutrition and feeding[J]. *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 2018, 33(1-2): 19-33.
- [21] Rahman M M, Islam M S, Halder G C, *et al.* Cage culture of sutchi catfish, *Pangasius sutchi* (Fowler 1937): effects of stocking density on growth, survival, yield and farm profitability[J]. *Aquaculture Research*, 2006, 37(1): 33-39.
- [22] Gammanpila M, Singappuli M S. Economic viability of Asian sea bass (*Lates calcarifer*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) small scale aquaculture systems in Sri Lanka[J]. *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences*, 2012, 17: 47-57.
- [23] Salama A J, Satheesh S, Balqadi A A. Development of

- biofouling communities on nylon net panels submerged in the central Red Sea: effects of season and depth[J]. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 2018, 34(1): 199-208.
- [24] Braithwaite R A, McEvoy L A. Marine biofouling on fish farms and its remediation[J]. *Advances in Marine Biology*, 2004, 47: 215-252.
- [25] 吴业炜, 石建高, 张文阳, 等. 海水养殖网箱防污损生物技术研究进展 [J]. *渔业研究*, 2024, 46(3): 228-235.
- Wu Y W, Shi J G, Zhang W Y, *et al.* Research progress of biofouling prevention technology for marine aquaculture cages[J]. *Journal of Fisheries Research*, 2024, 46(3): 228-235 (in Chinese).
- [26] 魏盛军, 蔡文鸿, 丁兰, 等. 福建海上养殖设施污损生物处理方式现状调查 [J]. *渔业研究*, 2023, 45(2): 147-154.
- Wei S J, Cai W H, Ding L, *et al.* Investigation on treatment methods for fouling organisms of marine aquaculture facilities in Fujian province[J]. *Journal of Fisheries Research*, 2023, 45(2): 147-154 (in Chinese).
- [27] Qiu H Y, Gapeeva A, Kaps S, *et al.* Core-shell structured nets for biofouling control in aquaculture[J]. *Aquaculture Reports*, 2021, 21: 100781.
- [28] Jewel M A S, Ara J, Haque M A, *et al.* Effect of stocking density on the growth, body composition, and blood parameters of cage-reared Gangetic mystus catfish (*Mystus cavasius*)[J]. *Aquaculture Reports*, 2023, 28: 101428.
- [29] Sadhu N, Sharma S R K, Dube P N, *et al.* First results of culture of Asian seabass (*Lates calcarifer*, Bloch) in open sea floating net cages in India: effect of stocking density on survival and growth[J]. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 2015, 44(10): 1540-1544.
- [30] 丁辰龙, 蔺玉华, 王宣朋, 等. 大鳞鲃的人工繁殖及体色变异分析 [J]. *天津师范大学学报 (自然科学版)*, 2016, 36(5): 60-64.
- Ding C L, Lin Y H, Wang X P, *et al.* Complete artificial propagation and analysis on variation of body color in *Barbus capito*[J]. *Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition)*, 2016, 36(5): 60-64 (in Chinese).
- [31] 单金峰, 吴春, 丁辰龙. 不同开口饵料对大鳞鲃仔鱼生长性能和鱼体成分的影响 [J]. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(6): 630-634.
- Shan J F, Wu C, Ding C L. Effects of different weaning foods on growth and body composition of larval bulatmai barbel *Barbus capito*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2016, 31(6): 630-634 (in Chinese).
- [32] 徐伟, 耿龙武, 李池陶, 等. 北方寒地池养大鳞鲃生长和越冬成活 [J]. *淡水渔业*, 2012, 42(1): 68-71.
- Xu W, Geng L W, Li C T, *et al.* The growth and overwintering survival of *Barbus capito* bred in pond in northern China[J]. *Freshwater Fisheries*, 2012, 42(1): 68-71 (in Chinese).
- [33] 王吉桥, 王志余, 张庆杰, 等. 鲤、鲢、鳙、草鱼苗最适下塘时间的研究 [J]. *大连水产学院学报*, 1991, 6(1): 34-41.
- Wang J Q, Wang Z Y, Zhang Q J, *et al.* Optimum time to stock common carp, silver carp, bighead carp and grass carp fry[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 1991, 6(1): 34-41 (in Chinese).
- [34] 江河, 胡王, 侯冠军, 等. 池塘集约化网箱养鳙水质调控和病害防治技术研究 [J]. *水生态学杂志*, 2008, 1(5): 140-145.
- Jiang H, Hu W, Hou G J, *et al.* Study on the regulation and control of water quality and disease control in intensive rice field eel cage culture in ponds[J]. *Journal of Hydroecology*, 2008, 1(5): 140-145 (in Chinese).
- [35] 樊佳伟, 谭围, 柯宏基, 等. 离岸大型网箱养殖点蓝子鱼技术探讨 [J]. *水产研究*, 2018, 5(4): 167-173.
- Fan J W, Tan W, Ke H J, *et al.* Growth of *Siganus guttatus* in deep-water anti-wave cage[J]. *Open Journal Fisheries Research*, 2018, 5(4): 167-173 (in Chinese).

A double layers pond aquaculture cage for family breeding of *Luciobarbus capito* fry and fingerling

GENG Longwu, SHANG Xinchu, WEI Haijun, SUN Zhipeng,
TONG Guangxiang, KUANG Youyi, XU Wei*

(Key Laboratory of Cold Water Fish Germplasm Resources and Multiplication and Cultivation of Heilongjiang Province,
Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China)

Abstract: Cage aquaculture originated in China and then spread throughout the world gradually. In the late 1970s, there was a new development in the methods and species of cage aquaculture in freshwater cages in China. Floating cage is the most widely used aquaculture method. Floating cage require a minimum size of stocking fry, which must be cultivated to a suitable size before they can be cultured in the cage. In addition, with the growth of the fish, it is necessary to replace the cage with a larger mesh in time. After the cage is in the water for a period of time, it can easily be blocked by algae adhesion. In order to solve the problem that fry in the existing cage culture needs early cultivation and high frequency of cleaning and replacement of floating cage and fixed cage when experimental fish are cultivated, a double layer submerged cage was developed for the breeding aquaculture of fry and fingerling in the pond. The cage net was composed of an upper large mesh size (0.6 cm) and a lower small mesh size (0.42 mm). The fry was cultivated in the lower small mesh net, whereas the fingerling was cultivated in the enclosed space of the upper large mesh net and the lower small mesh net with a gradual increase of water. Through the comparison between double layers cage and floating cage in pond aquaculture, the results showed that the fry and fingerling could be continuously cultured in a double layers cage, while the large-scale fry (full length >2.0 cm) and fingerling could be cultured in a floating cage. The total length, body length, body weight, weight gain and specific growth rate of fingerling fish cultured in double layers cages were significantly higher than those in floating cages ($P<0.05$). During the three-month breeding period, the double layers cage did not need to be replaced and cleaned, and the floating cage was to be replaced five times and cleaned six times. The results showed that the culture effect of the first-year-old fish in the double layers cage was significantly better than that in the floating cage, and the intensity of culture management was significantly reduced. To verify the breeding effect of this system, six double layers cages with the same specifications were installed in a 660 m² pond in parallel. The saline-alkali tolerant breeding families of *Luciobarbus capito* were selected as breeding objects, and culturing from fry to fingerling was completed without replacing or cleaning the cage. The body length was 13.87-16.07 cm, and the weight was 34.71-42.07 g, which was a similar size to the one-year-old *L. capito* obtained under pond aquaculture conditions. Moreover, six families showed different growth characteristics ($P<0.05$). The research showed that the same breeding conditions and accurate growth data can be provided for the fish family selection by the double layers cage aquaculture in the pond. The double layers cage can provide a pond aquaculture method for fish selective breeding.

Key words: *Luciobarbus capito*; aquaculture cage; double layers net; continuous aquaculture in pond; without cleaning; family selection

Corresponding author: XU Wei. E-mail: xuwei@hrfri.ac.cn

Funding projects: National Key Research and Development Program of China (2022YFD2400101); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (2023TD59)