

空间结构对鳃幼鱼驯食及生长的影响

宗克金 樊启学 胡培培 刘汝鹏 姚昌林 王昆鹏

华中农业大学水产学院, 武汉 430070

摘要 试验设5组,对鳃进行驯食的驯食空间分别为0.5 m×0.5 m×0.6 m(S1组)、1.0 m×1.0 m×0.6 m(S2组)、1.5 m×1.5 m×0.6 m(S3组)、2.0 m×2.0 m×0.6 m(S4组)、3.0 m×3.0 m×0.6 m(S5组),每组3个平行。随机选取初始体质量为 0.64 ± 0.05 g鳃幼鱼转入各网箱中,初始放养密度为每 m^3 500尾,试验共28 d。结果显示:驯食成功率(WSR)随着驯食空间的增大呈现先升高后降低的趋势,其中S2组最高,S3组其次,S1组最低;累积死亡率(MR)(30~57日龄(days after hatching,DAH))以S5组最高($P < 0.05$),S3组最低;总残食率(CR)(30~57 DAH)随着驯食空间的增大而升高;S1组SGR显著低于其他组($P < 0.05$),S2、S3组体质量变异系数(CV)显著低于S1、S4、S5组($P < 0.05$)。在该试验条件下,综合考虑驯食成功率、驯食效率和操作强度,鳃最佳驯食空间为1.5 m×1.5 m×0.6 m。

关键词 鳃; 驯食; 空间结构; 生长; 残食

中图分类号 S 965.89 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)01-0097-06

鳃(*Elopichthys bambusa*)为雅罗鱼亚科(*Leuciscinae*)鳃属(*Elopichthys*)大型鱼食性鱼,营养价值高,生长快^[1],作为新兴名特品种,具有很高的市场价值。目前,鳃的人工繁殖技术已经成熟^[2],营养需求^[3]和生理生化^[4-5]相关研究不断完善,驯食技术^[6]也已开始受到关注。

与鲜活饵料相比,配合饲料具有易于储存和运输、饵料系数低、营养成分可调控、价格相对低廉等优点,在生产操作和经济性上有着很大优势^[7];由于环境污染日益严重,鲜活饵料可能伴有携带致病菌、有害物质富集等问题,配合饲料在安全性上的优势明显^[7-8];因此,驯食鱼食性鱼摄食配合饲料在水产养殖业中意义重大^[9]。其主要任务是,在保证驯食鱼以正常速度生长发育的前提下,寻求最佳的驯食策略,以最大程度提高驯食成功率。而驯食技术正是制约鳃规模化养殖的瓶颈^[5]。

鱼类进入一个新的生境往往会很快建立社会性等级,强壮个体占据优势地位,能够独占一块“领地”,优先获得饵料^[10];稚幼鱼集群摄食比单独摄食生长快,能更快形成捕食条件反射,并记忆更长时间^[11-12]。关于空间结构等环境因素对驯食效果影响

的报道很少^[13],本试验研究空间结构对鳃幼鱼驯食效果的影响,及其行为学特性在驯食上的应用,旨在探寻最佳驯食空间结构,完善鳃的驯食技术,为鱼食性鱼的驯食研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验鱼和驯食管理

试验鱼购自武汉繁生渔业科技有限公司,试验在该公司渔场完成。2012年6月5日,27日龄(days after hatching,DAH)鳃从育苗池转入湖泊网箱,暂养2 d并分级。随机挑选同一规格鳃幼鱼(29 DAH,体质量(BW): 0.64 ± 0.05 g,全长(TL): 5.30 ± 0.14 cm)按照试验分组转入相应网箱(网箱在试验前1周挂于湖泊水深 ≥ 4 m处),30 DAH开始驯食。驯食过程共7 d(2012年6月8—14日),以鱼浆(鳃幼鱼)浸湿的鱼苗专用微粒子配合饲料(山东升索渔用饲料研究中心,粗蛋白 $\geq 50\%$,粗脂肪 $\geq 8\%$)驯食,每天07:00和16:00各驯喂1次,每次3 h,逐日减少鱼浆使用量,直至完全使用微粒子配合饲料。期间根据鳃摄食情况及时调整鱼浆与微粒子配合饲料比例及饲料规格。驯食结束后继续养

收稿日期: 2013-03-19

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD25B00,2012BAD25B08)

宗克金,硕士研究生,研究方向:鱼类增殖, E-mail: jinbuhuan2521@163.com

通信作者: 樊启学,教授,研究方向:水产动物增殖, E-mail: fanqixue@mail.hzau.edu.cn

殖 3 周(2012 年 6 月 15 日—7 月 5 日),驯食其摄食鳃专用膨化颗粒饲料(湖南清源饲料科技有限公司,粗蛋白 $\geq 45\%$,粗脂肪 $\geq 8\%$)。试验期间,每 2 d 取 1 次水样(0.6 m 深处),监测水质情况:水温 28.5~31.5 °C;pH 6.8~7.4;溶氧 > 6.0 mg/L;亚硝态氮和 $H_2S < 0.05$ mg/L;氨态氮 < 0.3 mg/L,自然光照。

1.2 试验分组与取样

试验设 5 组,驯食空间分别为 0.5 m \times 0.5 m \times 0.6 m(S1 组)、1.0 m \times 1.0 m \times 0.6 m(S2 组)、1.5 m \times 1.5 m \times 0.6 m(S3 组)、2.0 m \times 2.0 m \times 0.6 m(S4 组)、3.0 m \times 3.0 m \times 0.6 m(S5 组),每组设 3 个平行,于高 1.0 m(入水 0.6 m)的网箱(网孔直径 0.8 cm)中进行,初始放养密度为 500 尾/m³。

试验共 28 d,每次驯食前捞出并计数伤残、死亡个体,根据鱼体上是否有咬伤痕迹判断并记录残食个体数。于试验前一天(29 DAH)、第 7 天(36 DAH)、14 天(43 DAH)、21 天(50 DAH)、28 天(57 DAH)逐箱逐尾计数试验鱼,每箱随机捞出并麻醉(120 mg/L MS-222 溶液)10% 试验鱼(20 $\leq n \leq$ 80),测量体长(BL)、全长(TL)、体质量(BW)后放回,每次取样前停食 12 h。试验第 28 天计数试验鱼时,挑出较大个体和瘦弱个体,逐尾测量 BL、BW。

定义体质量大于该箱平均体质量 2 倍的鱼为霸王鱼,其攻击性强,既摄食饲料也摄食其他鱼;肥满度小于 0.40 的鱼为羸弱鱼,它们极瘦弱,偶尔摄食饲料,这 2 种鱼视为驯食失败个体。

1.3 相关参数及其计算

驯食成功率(weaning success rate, WSR) = 100% \times $(N - N_f) / N_0$

死亡率(MR) = 100% \times $(N_1 - N_2) / N_1$

残食率(CR) = 100% \times $(n_1 + n_2) / N_1$

特定增长率(SGR, %/d) = 100 \times $(\ln m_2 - \ln m_1) / (d_2 - d_1)$

肥满度(CF) = 100% \times m / l^3

体质量变异系数(CV) = 100% \times (s / \bar{x})

式中: N_0 为试验初始尾数, N_1 为上一次取样时存活尾数, N_2 为取样时存活尾数, N 为试验结束时存活尾数, N_f 为驯食失败个体(霸王鱼和羸弱鱼)尾数, n_1 为咬伤死亡个体尾数, n_2 为失踪个体尾数, m_2 、 m_1 分别为 d_2 、 d_1 时的体质量, $d_2 - d_1$ 为 2 次取样间隔时间, m 、 l 分别为取样时体质量和体长, s 为标准差, \bar{x} 为平均值,公式中死亡率包括残食率。

1.4 统计分析

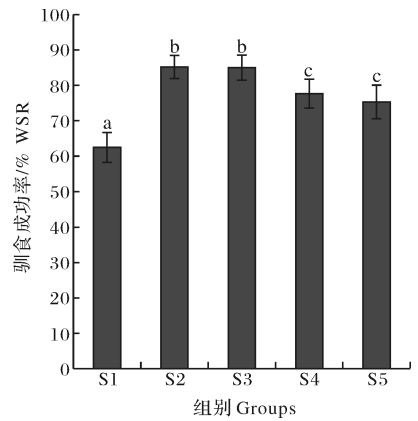
数据以平均值(\bar{x}) \pm 标准差(s)表示。用

SPSS18.0 软件对数据进行方差分析(one-way ANOVA)和多重比较(Duncan 氏法),分析组间差异显著性。差异显著性水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 空间结构对鳃死亡率、残食率和驯食成功率的影响

本试验条件下,鳃幼鱼驯食成功率(weaning success rate, WSR)随着驯食空间的增大呈现先升高后降低的趋势,是跳跃式的突变变化。其中 S2 组最高,S3 组其次,S1 组最低;S1 组显著低于其他 4 组($P < 0.05$),S2、S3 组显著高于 S1、S4 和 S5 组($P < 0.05$)(图 1)。



不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。Different superscripts indicate significant differences between means($P < 0.05$)。)

图 1 空间结构对鳃驯食成功率的影响

Fig. 1 Effects of habitat structure design on WSR of *Elopichthys bambusa*

28 d 驯食过程中,鳃死亡率(mortality rate, MR)和残食率(cannibalism rate, CR)变化情况如表 1 所示。累积 MR(30~57 DAH)随驯食空间的增大呈现先降低后升高的趋势,S2、S3 组显著低于其他 3 组($P < 0.05$);44~50 DAH,S1 组 MR 显著高于其他 4 组($P < 0.05$),死亡主要由饥饿引起;其余 4 组死亡高峰则出现在 30~43 DAH,主要由残食导致。总 CR(30~57 DAH)随着驯食空间的增大而升高,S1 组与其他 4 组差异显著($P < 0.05$),S2~S5 组残食主要出现在 30~43 DAH,S2、S3 组与 S4、S5 组差异显著($P < 0.05$)。试验最后 1 周,所有组 MR 和 CR 均较小,且组间差异不显著($P > 0.05$)。

表 1 空间结构对鳃死亡率和残食率的影响¹⁾

Table 1 Effects of habitat structure design on MR and CR of *Elopichthys bambusa*

%

项目 Items	组别 Groups	日龄 DAH				
		30~36	37~43	44~50	51~57	30~57
死亡率 MR	S1	2.08±0.72 a	3.33±1.44 a	13.75±2.63 a	0.83±0.72	18.75±4.51 a
	S2	4.89±1.26 b	5.55±1.73 b	2.45±1.22 b	1.00±0.38	13.78±4.00 b
	S3	4.62±2.01 b	5.04±2.23 b	2.71±1.16 b	0.90±0.59	13.29±5.20 b
	S4	6.67±2.13 c	8.41±3.56 c	3.50±2.33 c	1.16±0.68	19.75±8.58 a
	S5	7.39±3.12 c	9.03±5.04 c	4.92±1.47 d	1.03±0.49	22.39±11.42 c
残食率 CR	S1	0.00 a	0.83±0.72 a	0.41±0.72 a	0.00	1.25±1.25 a
	S2	3.11±0.19 b	3.88±1.07 b	1.89±0.83 bc	0.11±0.19	9.00±2.03 b
	S3	3.14±1.28 b	3.80±1.24 b	1.67±0.70 b	0.57±0.37	9.19±3.90 b
	S4	4.25±1.65 bc	6.41±2.04 c	2.33±0.89 c	0.58±0.69	13.58±5.64 c
	S5	5.25±1.76 c	7.39±2.31 d	3.82±1.13 d	0.46±0.61	16.93±6.97 d

1) 同日龄不同组间标注不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。Values (mean±SD) in different treatments at the same days after hatching with different letters indicate significant differences between means ($P < 0.05$). The same as below.

2.2 空间结构对鳃生长和生长离散的影响

试验期间, S1 组始终生长最慢, 于 44~50 DAH 出现 1 个高 SGR 期, 从 37 DAH 开始, S1 组 SGR 显著低于其他 4 组 ($P < 0.05$); S2~S5 组 SGR 随试验的进行呈现升高趋势, 44 DAH 以后组间差异不显著 ($P > 0.05$), 除第 1 周外, 各组各阶段 SGR 变化不大 (表 3)。

36 DAH 及以前, 各组试验鱼体质量无显著差异 ($P > 0.05$); 50 DAH, S1 组体质量显著低于 S2、

S3、S4 组 ($P < 0.05$); 57 DAH, S1 组 BW 显著低于其他 4 组 ($P < 0.05$)。试验期间各组试验鱼 CV 均呈现先升高后降低趋势, 于 43 DAH 达到峰值, S1 组始终显著高于其他 4 组 ($P < 0.05$); 试验终末, S2、S3 组 CV 显著低于 S1、S4、S5 组 ($P < 0.05$)。试验期间各组试验鱼 CF 均呈现升高趋势, S1 组升高幅度较小, 于 43 DAH 开始显著低于其他 4 组 ($P < 0.05$), 这种差异一直持续到试验结束

表 3 空间结构对鳃特定生长率的影响

Table 3 Effects of habitat structure design on SGR of *Elopichthys bambusa*

%/d

项目 Items	组别 Groups	日龄 DAH				
		30~36	37~43	44~50	51~57	30~57
特定生长率 SGR	S1	3.01±0.69 a	2.65±0.97 a	3.75±0.44 a	2.88±0.57 a	3.02±0.85 a
	S2	3.39±0.56 ac	4.19±0.90 b	4.29±0.65 b	4.28±0.60 b	4.05±0.69 b
	S3	4.05±0.78 b	4.25±0.78 b	4.37±0.66 b	4.34±0.71 b	4.24±0.71 b
	S4	3.71±0.49 bc	4.01±0.56 b	4.24±0.57 b	4.26±0.62 b	4.03±0.53 b
	S5	3.46±0.74 ac	3.85±1.17 c	4.09±0.45 b	4.11±0.47 b	3.81±0.82 b

表 4 空间结构对鳃体质量、体质量变异系数和肥满度的影响

Table 4 Effects of habitat structure design on BW, CV and CF of *Elopichthys bambusa*

项目 Items	组别 Groups	日龄 DAH				
		30	36	43	50	57
体质量/g BW	S1	0.64±0.05	0.79±0.21	1.03±0.46 a	1.29±0.39 a	1.49±0.45 a
	S2	0.64±0.05	0.81±0.20	1.23±0.30 ab	1.64±0.31 b	2.02±0.34 b
	S3	0.64±0.05	0.85±0.19	1.30±0.31 b	1.69±0.34 b	2.10±0.37 b
	S4	0.64±0.05	0.83±0.23	1.24±0.35 ab	1.60±0.30 b	1.98±0.37 b
	S5	0.64±0.05	0.81±0.24	1.15±0.39 ab	1.47±0.42 ab	1.81±0.44 b
体质量变异系数/% CV	S1	7.89±1.91	24.71±5.52 a	44.49±8.63 a	29.27±4.65 a	30.42±6.14 a
	S2	7.89±1.91	13.63±2.45 b	24.65±4.59 b	18.89±3.64 b	17.09±2.51 b
	S3	7.89±1.91	15.21±2.94 b	23.26±5.26 b	19.57±3.11 b	17.82±3.04 b
	S4	7.89±1.91	18.16±4.73 c	27.46±4.31 c	20.30±4.09 b	20.99±3.97 c
	S5	7.89±1.91	19.05±4.05 c	29.26±4.75 c	24.23±5.42 c	21.95±4.35 c
肥满度/% CF	S1	0.79±0.04	0.79±0.05	0.73±0.08 a	0.81±0.11 a	0.84±0.07 a
	S2	0.79±0.04	0.81±0.06	0.85±0.11 b	0.94±0.04 b	0.96±0.04 b
	S3	0.79±0.04	0.85±0.09	0.93±0.07 b	0.95±0.05 b	1.00±0.06 b
	S4	0.79±0.04	0.86±0.06	0.84±0.10 b	0.94±0.13 b	0.98±0.04 b
	S5	0.79±0.04	0.85±0.07	0.85±0.12 b	0.93±0.06 b	0.95±0.05 b

3 讨 论

鱼类驯食就是人为干预下,使其改变原来对饵料的选择和摄食习性,接受人工配合饲料的学习过程^[10]。鱼类摄食可分为 3 个阶段,即受到刺激感知饵料的存在、侦测与识别、捕食与摄食^[12]。稚幼鱼驯食成功率低,主要有 3 方面原因:(1)消化器官发育不完善,难以利用人工配合饲料^[7-9,14];(2)人工配合饲料与天然饵料差异大,在水中停留时间短,难以被侦测和识别^[8];(3)人们对鱼类摄食行为和社会行为认识不足,驯食策略不完善^[9]。国内外学者一直在通过改善驯食用饵料和驯食程序^[15-16]、寻找适宜驯食时机^[15,17-18]、延长驯食时间^[8]等方法来提高鱼类驯食成功率。

试验期间,S1 组始终不能集群摄食,投饵后仅有少量试验鱼到水面摄食,试验第 3 天开始有瘦弱鱼聚集于网箱一角,拒绝摄食,且数量日渐增多。该组试验鱼表现出高死亡率、低残食率、高生长离散和低生长速度。有学者认为高生长离散程度会导致高残食率^[19],而对点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)^[20]和鳃^[6]的研究结果表明规格差异显著影响残食率。本研究中,S4、S5 组也表现出类似现象,而 S1 组仅出现个别残食现象,无吞食现象。这是因为该组试验鱼不能集群,单独的弱小个体不敢侵犯强壮个体的“领域”,饱食的强壮个体也不攻击“臣服”的弱小鱼。对银大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)幼鱼的研究发现,当有其他幼鱼闯入某条鱼领地时,它会马上做出攻击姿势,警告入侵者离开,警告无效后再发动攻击进行驱逐^[10]。Takeshita 等^[20]发现全长 30 mm 试验组的点带石斑鱼残食率较高,分级操作并不能明显减轻残食,而 40 mm 以上的则可以通过分级减少残食死亡。可见,鱼类残食因子因鱼的种类和发育阶段而异。而这一发育阶段的鳃幼鱼在饵料充足的情况下,种内竞争机制受到抑制,强壮个体攻击其他幼鱼将其赶出领地。小规格鳃的活动范围受到限制,整体表现为消极摄食,致使该组生长缓慢,生长离散程度高。S1 组于 44~50 DAH 出现一个高 SGR 阶段,是弱小鱼的大量死亡导致的。

S2~S5 组驯食成功率随驯食空间的增大而减小,其中残食是主要原因。撇开 S1 组,可以发现残食主要出现在 30~43 DAH,残食率随着驯食空间的增大而升高。这可能是不同发育阶段的幼鱼行为习性不同导致的;这几组试验鱼在摄食与躲避霸王

鱼捕食之间的选择上随着个体的生长而发生改变;30~43 DAH,投饵前,鱼群在水面快速游动搜索,投饵后,鱼群迅速分散到投饵区摄食,大规格个体的靠近并不能中断鱼群摄食,只有被攻击者选择逃避;44 DAH 以后,大规格个体出现在摄食鱼群附近时,大部分鱼会放弃摄食,并按一定顺序排列,鱼群变得紧凑,受到攻击时,鱼群会以爆炸式散开(flash expansion)的形式躲避攻击者,在另一个位置重新聚集成群继续摄食,反复几次后大规格个体往往会放弃攻击鱼群,改为摄食饲料。因此,44 DAH 后残食率下降可解释为:随着鳃幼鱼的生长,其躲避意识和逃脱能力增强。Clifford 等^[21]研究狭鳃(*Theragra chalcogramma*)幼鱼群在觅食和躲避捕食者之间的平衡关系时发现类似现象。对石斑鱼的研究发现,人为分级可以降低全长大于 40 mm 幼鱼的残食率,对 30 mm 以下的幼鱼则无效,作者将其归因于幼鱼在特定生长阶段的残食本能^[20]。学习行为和社会经验可能在这一变化中起着重要作用。Hoare 等^[22]发现,危险信息刺激物能促使鳃(*Fundulus diaphanous*)形成大群。本试验中,鳃幼鱼逃脱能力的增强程度随驯食空间的增大而减小,较合理的解释是鱼类的社会等级大多表现在领域性上^[12],每条具有攻击性的强壮个体所能保护的领域是一定的,较大的空间可以容纳更多的霸王鱼,当其中的一条或几条霸王鱼冲散鱼群后,其他霸王鱼利用此时的混乱攻击鱼群的成功率会提高,而在较小的水体中,霸王鱼数量较少,鳃幼鱼可以通过群体功能很好地躲避霸王鱼的攻击。所以,S4、S5 组残食率高于 S2、S3 组可能是驯食空间大,霸王鱼数量较多导致的。

试验第 1 周,各组试验鱼生长速度均较低,可能因为试验鱼尚未适应试验环境和新饵料。Engrola 等^[23]研究发现,塞内加尔鳃(*Solea senegalensis*)摄食人工配合饲料需要一个适应阶段,适应期的长短与幼鱼规格负相关。44 DAH 以后,除 S1 组因消极摄食生长较慢外,其他 4 组间 SGR 无明显差异,总 SGR(30~57 DAH)差异不显著。可见,一定范围内,生存空间对鳃幼鱼驯食期间生长的影响处于次要地位。而 Kirschbaum 等^[13]驯食海鲟(*Acipenser sturio*)发现,选择的驯食空间和试验鱼初始规格不同导致较大空间的试验鱼生长较快。试验期间,所有组生长离散程度都呈现先增高后降低的趋势,CV 前期升高可能有两方面原因:个体间相互干扰致使规格差异放大;不同个体对新环境和转食的适应能

力不同^[19]。Onders等^[24]研究发现,分级后的匙吻鲟(*Polyodon spathala*)在饲养过程中因个体间的相互干扰而重新分化。而后期的降低则是弱小鱼被大量淘汰引起的。各试验组之间,S1组CV始终显著高于其他4组,可能是试验鱼迫于强壮个体的威胁消极摄食导致的;S4、S5组高于S2、S3可能是因为驯食空间大,投饵不均匀造成的,这2组霸王鱼较多,对鱼群摄食干扰较严重也可能是其CV较高的原因之一。

本试验条件下,鳃驯食成功率受驯食空间和幼鱼的行为习性共同影响,随驯食空间的增大,其行为习性对驯食成功率的贡献程度先升高后降低。较小的空间只能容纳少量鳃幼鱼,这些幼鱼不能集群,强壮个体对其他幼鱼干扰严重,造成S1组生长离散程度高,驯食成功率低,其行为习性对驯食表现为负作用。对于S2~S5组,残食是影响驯食成功率的重要因素,而前两周的残食率是后两周的3倍多,这与集群的行为发育、群体功能的不断完善密不可分。Masuda等^[25]发现蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonlus*)于17~19 DAH开始以平行状态聚集,完成集群的行为发育,群体功能逐渐形成。本试验期间,43 DAH以前,集群行为仅在觅食和饵料信息传递上发挥积极作用;44 DAH以后,群体的警戒作用、扰乱攻击者和威慑效应逐渐体现出来,信息交换也变得多而迅速。这可能是鳃幼鱼感觉器官不断发育完善的结果。通常认为鱼类的视觉、侧线感觉和嗅觉在集群行为发育中扮演重要角色^[10,12,26],因此,可以在鳃幼鱼集群行为的功能发育完善前(30~43 DAH),通过人为剔除霸王鱼的方式减少残食带来的损失,而剔除标准和频率需要进一步试验确定。

一定范围内,操作强度与网箱数量成正比。驯食成功率差异不显著的范围,驯食空间越大,驯食效率越高。综上所述,本试验条件下,驯食空间以(1.0 m×1.0 m×0.6 m)~(1.5 m×1.5 m×0.6 m)为宜,考虑到操作强度与驯食效率,认为1.5 m×1.5 m×0.6 m为最佳驯食空间。

参 考 文 献

- [1] 梁秩燊,易伯鲁,余志堂.长江干流和汉江的鳃鱼繁殖习性及其胚胎发育[J].水生生物学集刊,1984,8(4):389-403.
- [2] 樊启学,杜海明,朱邦科,等.鳃人工繁殖试验[J].水利渔业,2007,27(2):47-48.
- [3] 杨威,樊启学,宗克金,等.鳃幼鱼对晶体氨基酸的利用效果及赖氨酸需求量的研究[J].动物营养学报,2012,24(7):1255-1263.
- [4] 赵巧娥,朱邦科,沈凡,等.饲料脂肪水平对鳃幼鱼生长、体成分及血清生化指标的影响[J].华中农业大学学报,2012,31(3):357-363.
- [5] 陈海燕,朱邦科,樊启学,等.不同脂肪源对鳃幼鱼生长、血清生化组成和肝脏的影响[J].华中农业大学学报,2013,32(2):116-122.
- [6] 沈凡,樊启学,宗克金,等.再次分级、驯食对小规格鳃生长、残食的影响[J].淡水渔业,2012,42(4):40-46.
- [7] FAULK C K, BENNINGHOFF A D, HOLT G J. Ontogeny of the gastrointestinal tract and selected digestive enzymes in co-bia *Rachycentron canadum* (L.) [J]. Fish Biol, 2007, 70 (2): 567-583.
- [8] HART P R, PURSER G J. Weaning of hatchery-reared green-back flounder (*Rhombosolea tapirina* Günther) from live to artificial diets: effect of age and duration of the changeover period [J]. Aquaculture, 1996, 145: 171-181.
- [9] GUERREIRO I, VARELLES M D, RODRIGUES V, et al. Effect of age-at-weaning on digestive capacity of white seabream (*Diplodus sargus*) [J]. Aquaculture, 2010, 300: 194-205.
- [10] 李明德. 鱼类形态与生物学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2011: 227-236.
- [11] BROWN C, LALAND K N. Social learning in fishes: a review [J]. Fish and Fisheries, 2003, 4(3): 280-288.
- [12] 周应祺. 应用鱼类行为学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [13] KIRSCHBAUM F, HENSEL E C K, WILLIOT P. Feeding experiments with the European Atlantic sturgeon, *Acipenser sturio* L., 1758 to accustom large juveniles to a new feed item and the influence of tank size and stocking density on growth [J]. Appl Ichthyol, 2006, 22(1): 307-314.
- [14] KATO K, ISHIMARU K, SAWADA Y, et al. Ontogeny of digestive and immune system organs of larval and juvenile kelp grouper *Epinephelus bruneus* reared in the laboratory [J]. Fish Sci, 2004, 70(6): 1061-1069.
- [15] CIVERA-CERECEDO R, ALVARED-GONZALEZ C A, GARCIA-GOMEZ R E, et al. Effect of microparticulate diets on growth and survival of spotted sand bass larvae, *Paralabrax maculatofasciatus*, at two early weaning times [J]. Word Aquac Soc, 2008, 39(1): 22-36.
- [16] CHOA B Y, CARTERY C G, BATTAGLENE S C. Weaning strategies for striped trumpeter, *Latris lineate*, postlarvae culture [J]. Word Aquac Soc, 2010, 41(4): 555-564.
- [17] BALLAGH D A, FIELDER D S, PANKHURST P M. Weaning requirements of larval mullet, *Argyrosomus japonicas* [J]. Aquac Res, 2010, 41(10): 493-504.
- [18] KESTEMONT P, XU X L, HAMZA N, et al. Effect of weaning age and diet on pikeperch larviculture [J]. Aquaculture, 2007, 264: 197-204.
- [19] QIN J G, FAST A W, DEANDA D, et al. Growth and survival of larval snakehead (*Channa striatus*) fed different diets [J]. Aquaculture, 1997, 148: 105-113.

- [20] TAKESHITA A, SOYANO K. Effects of fish size and size-grading on cannibalistic mortality in hatchery-reared orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* juveniles [J]. *Fish Sci*, 2009, 75(5):1253-1258.
- [21] CLIFFORD H R, BORI L O. Shifting the balance between foraging and predator avoidance: the importance of food distribution for a schooling pelagic forager [J]. *Environ Biol Fish*, 1998, 52(4):467-475.
- [22] HOARE D J, COUZIN I D, GODIN J G J, et al. Context-dependent group size choice in fish [J]. *Anim Behav*, 2004, 67(1):155-164.
- [23] ENGROLA S, DIAS L, PEREIRA R, et al. Improving weaning strategies for *Senegalese sole*: effects of body weight and digestive capacity [J]. *Aquac Res*, 2007, 38(7):696-707.
- [24] ONDERS R J, MIMS S D, DASGUPTA S. Effect of size-grading and feeding frequency on growth and size variation of paddlefish, *Polyodon spathula*, juveniles reared in ponds [J]. *World Aquac Soc*, 2011, 42(1):127-134.
- [25] MASUDA R, SHOJI J, NAKAYAMA S, et al. Development of schooling behavior in Spanish mackerel *Scomberomorus niphonlus* during early ontogeny [J]. *Fish Sci*, 2003, 69(4):772-776.
- [26] PARTRIDGE B L. Structure and function of fish schools [J]. *Sci Am*, 1982, 246(6):114-123.

Effects of habitat size on weaning success and growth in juvenile yellowcheek carp (*Elopichthys bambusa*)

ZONG Ke-jin FAN Qi-xue HU Pei-pei LIU Ru-peng YAO Chang-lin WANG Kun-peng

College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The effects of space size on the weaning success and growth performance of juvenile yellowcheek carp (*Elopichthys bambusa*) were investigated. Five groups were assigned in different size net cages (length \times width \times height): 0.5 m \times 0.5 m \times 0.6 m (S1), 1.0 m \times 1.0 m \times 0.6 m (S2), 1.5 m \times 1.5 m \times 0.6 m (S3), 2.0 m \times 2.0 m \times 0.6 m (S4), 3.0 m \times 3.0 m \times 0.6 m (S5) and each group contained three replications. The original density of fry (0.64 ± 0.05 g) in each net cage was 500 inds m^{-3} . The weaning success rate (WSR) increased first and then decreased with the increasing of space size, with the highest WSR in S2 and the lowest WSR in S1. The cumulative mortality rate (MR) (30~57 DAH) was highest in S5 and lowest in S3 ($P < 0.05$). The total cannibalism rate (CR) (30~57 DAH) increased with the increasing of space size. The specific growth rate (SGR) in S1 and coefficient of variation (CV) of body weight in both S2 and S3 were significantly lower than those in other groups ($P < 0.05$). The optimum size of net cage for the weaning of juvenile yellowcheek carp was 1.5 m \times 1.5 m \times 0.6 m based on the comprehensive results of WSR, weaning efficiency and manipulation strength.

Key words yellowcheek carp; weaning; habitat structure; growth; cannibalism

(责任编辑:边书京)