

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19083

基于不同人工鱼巢研究黄颡鱼的产卵偏好性

杨雪军^{1,3}, 王邢艳^{2,3}, 冯晓婷^{1,3}, 刘熠^{1,3}, 杨习文^{1,3}, 方弟安^{1,3}, 徐东坡^{1,3}

1. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

2. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;

3. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 江苏 无锡 214081

摘要: 为探索黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)繁殖时期对人工鱼巢的偏好性, 2018 年 6—7 月开展了不同水温条件下黄颡鱼对不同鱼巢颜色和材质产卵偏好性的对比实验。实验用产卵鱼巢为半球形棕榈空鱼巢(直径 25 cm, 深 12 cm); 同规格内部放置 4~6 枚碎石块的棕榈鱼巢和塑料鱼巢; 折叠 6 层尼龙渔网(30 cm×40 cm)和棕榈片(30 cm×40 cm)鱼巢, 于水泥池(290 cm×120 cm×100 cm)内开展两种温度区间条件下产卵偏好性实验。实验用黄颡鱼亲本雌雄比例为 1:1, 雌鱼体长(167.8±19.0) mm, 体重(99.9±21.7) g; 雄鱼体长(235.1±18.8) mm, 体重(188.5±38.1) g。结果表明, 在 24~26 °C 水环境下, 半球形棕色棕榈(无石子)鱼巢内个体平均附卵量为 628.49 粒/m², 个体单位面积平均附卵率为 2.77%; 28~32 °C 水环境下, 半球形棕榈(无石子)个体平均附卵量为 225.48 粒/m², 个体单位面积平均附卵率为 1.40%。结果分析发现, 24~26 °C 是黄颡鱼产卵的最适水温区间; 黄颡鱼对棕色鱼巢产卵偏好显著($P<0.05$), 而对灰色、粉色、黄色和绿色无明显偏好; 黄颡鱼对半球形棕榈(无石子)鱼巢产卵偏好显著($P<0.05$), 而对其他材质鱼巢的偏好性依次为: 半球形棕榈(有石子)>平铺棕榈片>悬挂棕榈片>半球形塑料>水泥池。可见, 黄颡鱼产卵的最佳偏好为 24~26 °C 水环境下棕色半球形棕榈鱼巢。本研究结果对黄颡鱼的人工繁殖、产沉黏性卵鱼类产卵场的修复和资源增殖有重要的指导意义。

关键词: 黄颡鱼; 产卵偏好性; 人工鱼巢

中图分类号: S963, S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)02-0213-11

鱼类的增殖和保护是近年来水产行业面临的重要问题, 目前通过增殖放流和人工鱼巢对渔业资源进行的一系列修复措施, 包括在沿海和河口渔业水域中放置人工浮动湿地^[1]和在商业港口鱼类栖息码头建设扩散的基础设施^[2]等, 获得了一定成效。国内学者研发的人工鱼巢有用于鲤(*Cyprinus carpio*)和产黏性卵等鱼类产卵的天然植物^[3-4]以及用于软体动物金乌贼(*Sepia esculenta*)产卵的十字形可折叠产卵附着基质^[5]等。人工鱼巢作为鱼类栖息和繁衍的一个重要场所, 在鱼类人工繁育和产卵场修复方面的作用备受关注。

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)又称黄腊丁, 主要栖息于长江干流和通江湖泊, 因味美价高而

成为这些水域的主要捕捞对象之一。近年来因大肆捕捞, 黄颡鱼个体规格呈现逐年锐减趋势和不规则年际波动, 随着国内外对其需求量的急剧增加, 黄颡鱼已经成为我国重要的人工养殖水产品种^[6-8]。黄颡鱼自然繁殖期在 5—7 月, 正常产卵水温范围为 20~30 °C, 雄鱼有筑巢、护卵行为, 卵属沉黏性卵, 卵膜透明且黏性较强^[9]。国内对黄颡鱼的研究集中于人工繁殖、苗种培育、营养和免疫等方面, 而对于黄颡鱼产卵偏好的人工鱼巢的研究仅局限于用树枝、渔网和黑色橡胶盆内放棕榈片等简单的制作^[10], 并无系统报道。有研究发现, 温度可通过影响鲑科和鲤科鱼类卵子发生周期来影响排卵, 并且通过调节酶促反应速率影

收稿日期: 2019-05-06; 修订日期: 2019-07-05.

基金项目: 农业农村部物种资源保护专项(213013500804); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2017JBFR04).

作者简介: 杨雪军(1993-), 女, 硕士研究生, 专业方向为繁殖生物学. E-mail: 1121064240@qq.com

通信作者: 方弟安, 副研究员, E-mail: fangda@ffrc.cn; 徐东坡, 副研究员, E-mail: xudp@ffrc.cn

响性别分化^[11-12]。同时, Smithers 等^[13]和 Rodgers 等^[14]研究发现, 鱼体颜色可以随着环境的改变而发生相应的变化, 当给出选择时, 虾虎鱼会偏好于更适合他们的背景色。在鱼巢大小的选择上, 小长臀虾虎鱼(*Pomatoschistus minutus*)雌性通常选择较大的雄性以保证后代的安全, 而雄性更可能倾向于选择与自身体型相近的鱼巢^[15]。基于以上发现, 本研究中采用半球形棕榈窝、棕榈片、半球形塑料窝和折叠尼龙渔网作鱼巢, 在水泥池中养殖, 探讨黄颡鱼产卵期间对温度、鱼巢颜色和鱼巢材质的偏好性, 以期揭示黄颡鱼产卵时偏好的温度、鱼巢颜色和鱼巢材质, 并在野外进行黄颡鱼产卵鱼巢偏好性野外定性验证实验, 为黄颡鱼的规模化人工繁殖以及产沉黏性卵鱼类种群的资源恢复提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验地点和材料

黄颡鱼产卵鱼巢偏好性实验于 2018 年 6 月上旬和 7 月中旬在未来养殖场中进行。亲本通过标准地笼网在漕湖采样点(31°29'31"N, 120°33'37"E)捕捞获取, 雌鱼体重(99.9±21.7) g, 雄鱼体重(188.5±38.1) g。产卵实验在水泥池中开展, 高温(28~32℃)水环境下放养亲本 50 尾, 低温(24~26℃)放养 50 尾, 雌雄比例均为 1:1。统计同批亲本样本鱼体规格、怀卵量和成熟系数, 在不同水温、鱼巢颜色和鱼巢材料条件下进行产卵偏好性对比实验。人工鱼巢材料选择半球形棕榈、棕榈片、半球形塑料、尼龙渔网和水泥池。所有人工鱼巢均经曝晒和 3% 盐水消毒后进行铺设。为方便鱼巢沉降和查看实验效果, 鱼巢底部利用铁架固定, 铁架弧度与鱼巢底部弧度吻合, 边缘拴铁链, 铁链延伸悬挂在水池上方。其中半球形塑料和尼龙网片利用鹅卵石沉至水底。黄颡鱼产卵鱼巢偏好性野外定性验证实验于 2019 年 6 月下旬在江苏省南通市长江如皋江段进行。亲本约 100 尾, 雌雄比例为 1:1。

1.2 实验设计

1.2.1 繁殖力测定 黄颡鱼所有实验亲本的性腺成熟度为 IV 期, 卵巢分期参考盛晓洒^[16]的方法。

随机选取同批样本在新鲜状态下对其体长(L , mm)、体重(W , g)、性腺重(W_G , g)、怀卵量(N , n)等生物学性状进行测量。繁殖力及其他生物学指标的计算公式为: 绝对繁殖力(绝对怀卵量) F (absolute fecundity, n)=性腺重×每克成熟卵巢卵粒数; 体重相对繁殖力 F_W =绝对繁殖力/净体重; 体长相对繁殖力 F_L =绝对繁殖力/体长。

1.2.2 培育条件及催产方式 黄颡鱼产卵池为水泥池, 均匀设置曝气头。亲本产卵期间用水为池塘养鱼正常用水, pH 为 7.5~8.5。采用流水加曝气方式培育, 水泥池水中溶氧为 7.20~10.20 mg/L。催产激素选用注射用促黄体素释放激素 A_3 (LHRH- A_3)、注射用绒毛膜促性腺激素(HCG)和马来酸地欧酮(DOM), 注射剂量分别为 LHRH- A_3 100 µg/kg、HCG 5000 IU/kg 和 DOM 10 mg/kg。采用一次性注射方法, 注射部位在距离鱼体背鳍 1 cm 处, 注射前鱼体用消毒毛巾擦干水分, 雄鱼注射剂量为雌鱼的 7/10, 注射后鱼体用浓度为 2/100000 的高锰酸钾溶液浸洗后轻放入产卵池。

1.2.3 产卵鱼巢设计 实验用产卵鱼巢为半球形空棕榈(直径 25 cm, 深 12 cm); 同规格内部放置 4~6 枚碎石块棕榈和塑料; 折叠 6 层尼龙渔网(30 cm×40 cm)和棕榈片(30 cm×40 cm)(图 1)。在 6 月低温(24~26℃)水环境下和 7 月高温(28~32℃)水环境下, 将各种材质鱼巢随机间隔、沉底放置于放有已催产亲本的水泥池(长 290 cm, 宽 120 cm, 深 100 cm)中, 水泥池水深约 60 cm(图 2)。

1.2.4 实验分组及设计

(1)不同水温 选用低温(24~26℃)和高温(28~32℃)两个水环境温度区间。低温水环境下和高温水环境下放置半球形棕榈(无石子)、半球形棕榈(有石子)各 3 个作为产卵鱼巢, 于 60 cm 水深处沉底, 随机间隔放置, 进行黄颡鱼对 2 种温度区间的产卵偏好性对比实验(表 1)。

(2)不同颜色产卵鱼巢 鱼巢选用颜色为棕色 3 个、粉色 3 个、黄色 3 个和灰色 1 个, 于 60 cm 水深处沉底、随机间隔放置于 24~26℃水环境下, 进行黄颡鱼对 4 种鱼巢颜色的产卵偏好性对比实验; 鱼巢选用颜色为棕色 3 个、粉色 3 个、黄色 3 个、绿色 3 个和灰色 1 个, 于 60 cm 水深处沉底、随机

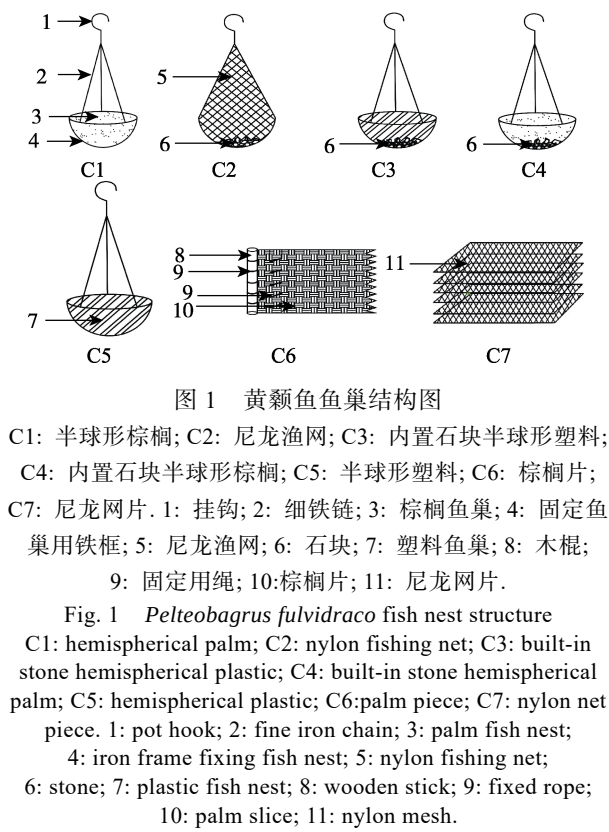


图 1 黄颡鱼鱼巢结构图

C1: 半球形棕榈; C2: 尼龙渔网; C3: 内置石块半球形塑料; C4: 内置石块半球形棕榈; C5: 半球形塑料; C6: 棕榈片; C7: 尼龙网片. 1: 挂钩; 2: 细铁链; 3: 棕榈鱼巢; 4: 固定鱼巢用铁框; 5: 尼龙渔网; 6: 石块; 7: 塑料鱼巢; 8: 木棍; 9: 固定用绳; 10: 棕榈片; 11: 尼龙网片.

Fig. 1 *Pelteobagrus fulvidraco* fish nest structure

C1: hemispherical palm; C2: nylon fishing net; C3: built-in stone hemispherical plastic; C4: built-in stone hemispherical palm; C5: hemispherical plastic; C6: palm piece; C7: nylon net piece. 1: pot hook; 2: fine iron chain; 3: palm fish nest; 4: iron frame fixing fish nest; 5: nylon fishing net; 6: stone; 7: plastic fish nest; 8: wooden stick; 9: fixed rope; 10: palm slice; 11: nylon mesh.

间隔放置于 28~32 ℃ 水环境下, 进行黄颡鱼对 5 种鱼巢颜色的产卵偏好性对比实验(表 1)。

(3)不同材料产卵鱼巢 鱼巢材料选用半球形棕榈(无石子) 6 个、半球形棕榈(有石子) 5 个、半球形塑料 6 个、棕榈片 4 个和水泥池 1 个, 于 60 cm 水深处沉底, 随机间隔放置于 24~26 ℃ 水环境下, 进行黄颡鱼对 5 种鱼巢材质的产卵偏好性对比实验; 鱼巢选用半球形棕榈(无石子) 3 个、半球形棕榈(有石子) 3 个、半球形塑料 6 个、尼龙网片 4

表 1 产卵鱼巢设计分组			
Tab. 1 Spawning fish nest design			
产卵鱼巢设计分组 spawning fish nest design grouping	鱼巢设计 fish nest design	水泥池 cement pool (24~26 ℃)	水泥池 cement pool (28~32 ℃)
水温 water temperature	半球形棕榈(无石子) hemispherical palm (no stone)	3	3
	半球形棕榈(有石子) hemispherical palm (with stones)	3	3
鱼巢颜色 color of spawning fish nests	棕色 brown	3	3
	粉色 pink	3	3
	黄色 yellow	3	3
	绿色 green	0	3
	灰色 gray	1	1
鱼巢材料 spawning fish nest material	半球形棕榈(无石子) hemispherical palm (no stone)	6	3
	半球形棕榈(有石子) hemispherical palm (with stones)	5	3
	半球形塑料 hemispherical plastic	6	6
	尼龙网片 nylon net	0	4
	棕榈片 palm slice	4	4
	水泥池 cement pool	1	1

注: 表中数字表示鱼巢数量。

Note: Figures in the table are the numbers of fish nests.

个、棕榈片 4 个和水泥池 1 个, 于 60 cm 水深处沉底, 随机间隔放置于 28~32 ℃ 水环境下, 进行黄颡鱼对 6 种鱼巢材质的产卵偏好性对比实验(表 1)。

1.2.5 野外定性验证实验 野外验证实验在网箱(长 60 cm, 宽 60 cm, 高 150 cm)中进行, 网箱内水深 60 cm, 选择半球形棕榈(无石子) 7 个、半球形塑料 7 个和棕榈片 7 个沉至网箱底部, 随机间隔放置于江内, 进行黄颡鱼对 3 种材质的产卵偏好性对比实验, 江内水温范围在 24~26 ℃。

1.3 偏好性指标统计和数据分析

不同处理实验组产卵鱼巢的附卵效果, 采用个体平均附卵量(单位面积内附卵密度)、个体单位面积平均附卵率等指标, 利用 Excel 2016、SPSS 19.0 和 Origin 2017 软件进行统计分析。

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{y_i}}{n} \times 100\%, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中, $\bar{Z}$ 表示某处理组产卵附着基的平均附卵率(%); x_i 表示某处理组产卵附着基在一次实验中所附卵的数量(粒); y_i 表示所有产卵附着基在一次实

验中所附卵的总数量(粒); n 表示重复实验次数。

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \times 100\%, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中, $\bar{A}$ 表示某处理组产卵附着基的平均附卵量(粒); a 表示某处理组产卵附着基在一次实验中附卵的总数量(粒); b 表示在一次实验中某处理组产卵附着基的数量(个)^[5]。

$$\bar{W} = \frac{\bar{A}}{NS}$$
$$\bar{P} = \frac{\bar{Z}}{NS}$$

式中, $\bar{W}$ 表示个体平均附卵量(单位面积内附卵密度, 粒/ m^2); N 表示某处理组亲本数量(条); S 表示鱼巢表面积(m^2); $\bar{P}$ 表示个体单位面积平均附卵率(%)。

2 结果与分析

2.1 繁殖力

本研究统计了 36 尾卵巢发育至 IV、V 期黄颡鱼雌性亲本的规格、绝对繁殖力和成熟系数(表 2), 其体长(167.8 ± 19.0) mm, 体重(99.9 ± 21.7) g。对绝对繁殖力进行单因素方差分析, 结果显示 1 组和 2 组, 1 组和 3 组呈显著差异($P < 0.05$), 1、4 组差异不显著($P > 0.05$), 2、3、4 组之间差异均不显著($P > 0.05$), 4 组和 1、2、3 组差异均不显著($P > 0.05$)。经回归分析, $W = 5E-06L^{3.2935}$ ($R^2 = 0.7275$, $P < 0.01$, $n = 36$), 体长和体重呈幂函数相关; $F = 4.0514W_n^2 + 394.65W_n + 37.651$ ($R^2 = 0.9331$, $P < 0.01$, $n = 36$); $F_L = 0.0458W_n^2 + 1.6454W_n + 6.7334$ ($R^2 = 0.9108$, $P < 0.01$, $n = 36$); $F_W = 0.1159W_n^2 - 0.1895W_n + 49.205$ ($R^2 = 0.574$, $P < 0.01$, $n = 36$), 个体绝对繁殖力、体长相对繁殖力和体重相对繁殖力均与性腺重呈二次函数正相关。

表 2 不同规格黄颡鱼的繁殖力
Tab. 2 The fecundities of *Pelteobagrus fulvidraco* with different sizes

$\bar{x} \pm \text{SD}$						
组别 group	样本量 number of specimens	体长/mm body length	体重/g body weight	性腺重/g gonad weight	绝对怀卵量/粒 absolute fecundity	成熟系数 maturity factor
1	9	131.79±5.87	42.52±6.76	6.12±2.07	2746±1076 ^a	0.145±0.05
2	7	152.79±3.15	83.42±23.08	14.75±9.10	6915±4780 ^b	0.166±0.08
3	8	168.45±5.85	91.5±24.65	15.49±6.16	6748±4219 ^b	0.171±0.06
4	5	188.04±1.28	99.71±29.72	8.15±6.98	4989±3160 ^{ab}	0.073±0.04

注: 绝对怀卵量指直观可数的卵粒数; 同列数据上标不同表示组间存在显著差异($P < 0.05$)。
Note: Absolute fecundity refers to the number of visually countable eggs. Values in each column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

2.2 产卵偏好性

2.2.1 不同水温产卵偏好性效果 图 3a 和图 3b 结果显示, 半球形棕榈(无石子)鱼巢在高温($28 \sim 32$ °C)水环境下个体平均附卵量为 225.48 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 1.40%; 在低温($24 \sim 26$ °C)水环境下个体平均附卵量为 628.49 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 2.77%。单因素方差分析结果显示, 两者差异性显著($P < 0.05$)。半球形棕榈(无石子)作为鱼巢时, 黄颡鱼对于低温的产卵偏好性明显。半球形棕榈(有石子)鱼巢在高温水环境下个体平均附卵量为 125.96 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%; 在低温水环境下个

体平均附卵量为 182.57 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%。单因素方差分析结果显示两者差异不显著($P > 0.05$)。黄颡鱼对两种材质鱼巢均表现出低温($24 \sim 26$ °C)水环境下产卵效果较好, 对半球形棕榈(无石子)鱼巢产卵偏好性显著, 对半球形棕榈(有石子)鱼巢产卵偏好性不显著。
2.2.2 不同鱼巢颜色产卵偏好性效果 图 3c 显示, 在高温($28 \sim 32$ °C)水环境下, 棕色鱼巢个体平均附卵量为 200.60 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 1.37%; 粉色鱼巢个体平均附卵量为 0.30 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%; 黄色鱼巢个体平均附卵量为 0.45 粒/ m^2 , 个体单

位面积平均附卵率为 0.01%。单因素方差分析结果显示粉色和黄色两者差异性不显著($P>0.05$)。绿色鱼巢个体平均附卵量为 0.40 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%。灰色鱼巢个体平均附卵量为 1.07 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%。黄颡鱼对不同颜色鱼巢产卵偏好性表现为: 棕色>灰色>粉色、黄色和绿色。

图 3d 显示, 在低温(24~26 °C)水环境下, 棕色鱼巢个体平均附卵量为 628.49 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 2.77%; 粉色鱼巢个体平均附卵量为 1.96 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%。单因素方差分析结果显示两者差异性显著($P<0.05$)。灰色鱼巢个体平均附卵量为 1.13 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%。黄颡鱼对不同颜色鱼巢产卵偏好性表现为: 棕色>灰色>粉色。

2.2.3 不同鱼巢材料产卵偏好性效果 图 3e 结果显示, 在高温(28~32 °C)水环境下, 半球形棕榈(无石子)鱼巢个体平均附卵量为 225.48 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 1.40%; 半球形棕榈(有石子)鱼巢个体平均附卵量为 125.96 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.78%, 单因素方差分析结果显示, 两者差异性显著($P<0.05$)。半球形塑料鱼巢个体平均附卵量为 0.38 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%; 尼龙网片鱼巢个体平均附卵量为 0.40 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%, 单因素方差分析结果显示, 两者差异性不显著($P>0.05$)。水泥池个体平均附卵量为 1.07 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%。黄颡鱼对不同材质鱼巢产卵偏好性表现为: 半球形棕榈(无石子)>半球形棕榈(有石子)>水泥池、半球形塑料和尼龙网片。

图 3f 结果显示, 在低温(24~26 °C)水环境下, 半球形棕榈(无石子)鱼巢个体平均附卵量为 628.49 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 2.77%; 半球形棕榈(有石子)鱼巢个体平均附卵量为 182.57 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.81%。单因素方差分析结果显示两者差异性显著($P<0.05$)。悬挂棕榈片鱼巢个体平均附卵量为 0.83

粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%; 平铺棕榈片鱼巢个体平均附卵量为 24.58 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.11%; 半球形塑料鱼巢个体平均附卵量为 1.96 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%; 单因素方差分析结果显示三者间差异均不显著($P>0.05$)。水泥池个体平均附卵量为 1.13 粒/ m^2 , 个体单位面积平均附卵率为 0.01%。黄颡鱼对不同材质鱼巢产卵偏好性表现为: 半球形棕榈(无石子)>半球形棕榈(有石子)>平铺棕榈片、悬挂棕榈片和半球形塑料。

2.2.4 野外定性验证黄颡鱼产卵偏好性实验效果

图 4a 为半球形棕榈(无石子)附卵效果, 观测期间鱼巢内多次发现黄颡鱼亲本, 且鱼巢内卵粒大量附着, 分布均匀; 图 4b 为半球形塑料附卵效果, 卵粒零星附着; 图 4c 为棕榈片附卵效果, 卵粒零星附着。

3 讨论

3.1 黄颡鱼的亲本规格

生产中黄颡鱼人工繁殖成功的关键是繁殖力和繁殖环境。不同鱼类繁殖力与生物学指标的关系不同, 如陈氏短吻银鱼(*Neosalanx tangkahkeii*)绝对繁殖力与体长呈幂函数相关, 与体重呈直线相关; 鲃(*Megalobrama mantschuricus*)的绝对繁殖力除成熟系数外, 与体长、体重和性腺重等指标都存在显著相关性^[17-18]。本研究经回归分析, 黄颡鱼个体绝对繁殖力、体长相对繁殖力与性腺重和体长相关性较强, 且与性腺重相关性最强, 但体重相对繁殖力与性腺重相关性较弱, 推测体内脂肪含量过高可能会导致对黄颡鱼亲本繁殖力的误判。单因素方差分析结果显示, 繁殖力仅在一定范围内与鱼体规格相关性较大, 当鱼体规格过小或过大时, 繁殖力未发生显著变化。在实际生产中可根据性腺重和体长预测黄颡鱼亲本繁殖力, 如在 6 月上旬初夏时的正常水温范围内, 选择体长和体重分别为(161.14±9.32) mm、(87.73±23.44) g 规格的黄颡鱼雌性亲本进行催产繁殖, 可达到亲本繁殖理想效果。

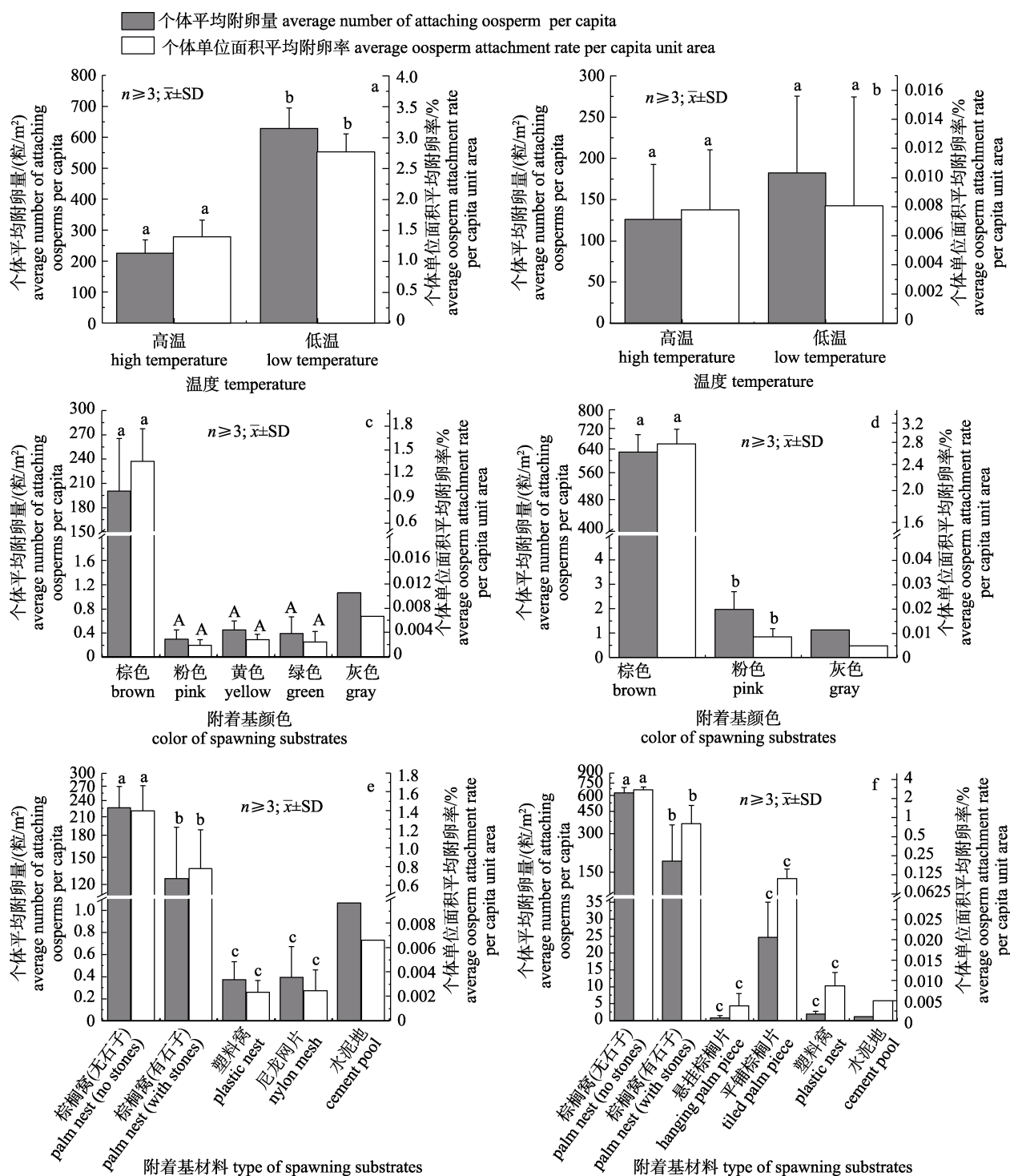


图 3 黄颡鱼对不同鱼巢的产卵偏好性

a. 不同水温下对半球形棕榈(无石子)偏好性效果; b. 不同水温下对半球形棕榈(有石子)偏好性效果; c. 高温环境下对鱼巢不同颜色偏好性效果; d. 低温环境下对鱼巢不同颜色偏好性效果; e. 高温环境下对鱼巢不同材料偏好性效果; f. 低温环境下对鱼巢不同材料偏好性效果。图上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Fig. 3 The spawning preference of *Pelteobagrus fulvidraco* for different fish nests

a. The adhesion preference effects of hemisphere palm (no stones) under different water temperature; b. The adhesion preference effects of hemisphere palm (with stones) under different water temperature; c. The adhesion preference effects of different color fish nests in high temperature environment; d. The adhesion preference effects of different color fish nests in low temperature environment; e. The adhesion preference effects of different materials fish nests in high temperature environment; f. The adhesion preference effects of different materials fish nests in low temperature environment. Different letters on the figure indicate significant differences ($P<0.05$).

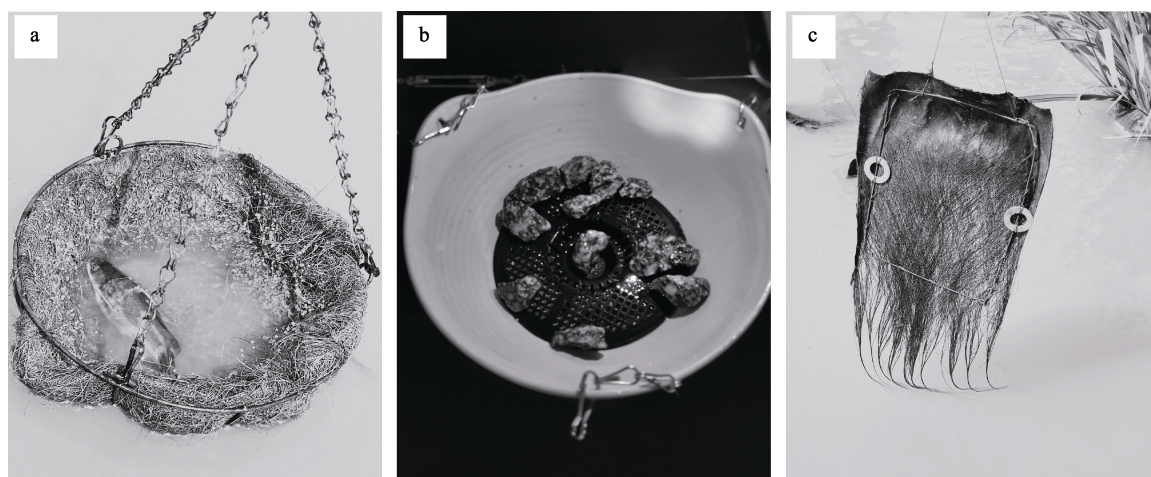


图4 野外3种黄颡鱼巢的附卵偏好性效果图

a. 半球形棕榈(无石子)附卵效果; b. 半球形塑料附卵效果; c. 棕榈片附卵效果.

Fig. 4 The spawning preference of 3 kinds of fish nests for *Pelteobagrus fulvidraco* in the wild

a. The effect of egg attachment of hemispherical palm (without stones); b. The effect of egg attachment of hemispherical plastic; c. The effect of egg attachment of palm piece.

3.2 黄颡鱼对不同温度的产卵偏好性

不同水温环境下鱼类的产卵力表现不同,一般鱼类在最适产卵温度,其产卵力位于产卵力抛物线的高峰。如普通神仙鱼(*Pterophyllum scalare*)产卵温度区间在 23~35 °C,最适产卵水温为 28 °C^[19];孔雀鱼(*Poecilia reticulata*)最适产卵水温为 25 °C^[20]。而有些分批产卵鱼类如加州鲈(*Microp terus salmoides*)在正常产卵温度范围内产卵力则与温度无关^[21]。黄颡鱼繁殖季节在 5—7 月,属一次产卵鱼类,22 °C 以上可进行人工催产^[22-23]。本研究中黄颡鱼在两个水温区间内产卵时表现为对 6 月上旬初夏时的 24~26 °C 水温区间较为偏好,个体绝对繁殖力最高达 13594 粒,个体单位面积平均附卵量为 628.49 粒,推测温度对内分泌的影响是产卵力在该温度区间达到最高的主要因素。通过温度刺激鱼体皮肤感受器,然后传入神经刺激下丘脑分泌促性腺激素释放激素(gonadotropin releasing hormone, GnRH),经“脑/下丘脑-脑垂体-性腺”轴(brain-pituitary-gonad axis, BPG 轴)调控后可导致产卵^[24]。但是繁殖水环境温度的变化可能引起黄颡鱼生殖系统代谢机制的改变,如水温从 16 °C 上升到 24 °C 后金乌贼精英中糖代谢酶活性增强,而脂代谢酶则先升后稳^[25]。因此,6 月初夏时的 24~26 °C 水温区间作为适宜黄颡鱼产卵的水温不仅可以维持机体一般代谢酶的活性,而且

对与生殖有关的内分泌系统功能的发挥具有促进作用。但高温胁迫会使黄颡鱼机体酶活降低,生殖细胞活性减弱,故而当水温超过 26 °C 时,随着温度的升高已经开始出现卵粒吸收现象,此时黄颡鱼性腺开始退化以适应水温变化,待水温降至适宜温度后性腺再次发育。

3.3 黄颡鱼对不同鱼巢颜色的产卵偏好性

鱼类具有改变体色的能力,鱼体颜色的变化伴随着自身能量的消耗,并且与栖息地的选择息息相关,某些鱼类在体色变化之后,优先选择与自身体色相似的栖息地和浅滩,但也可能消耗与限制栖息地和环境相关的机会能量,且与原体色或生存环境颜色差异性越大,鱼体则需要分泌更多的黑色素浓缩激素(melanin-concentrating hormone, MCH)来改变体色以适应环境^[14, 26]。黄颡鱼属底栖鱼类,偏好于黑暗环境中生存且喜欢藏匿^[27],其视觉作用随着黄颡鱼的生长逐渐减弱,主要依靠触觉和嗅觉完成生长活动中的需要^[28]。本研究中,根据黄颡鱼行为学研究发现部分亲本会在粉色和黄色两种颜色鱼巢上方徘徊,但结果显示黄颡鱼产卵时显著偏好于选择棕色鱼巢。而 Li 等^[29]对大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)的颜色偏好性研究发现,在没有同体色颜色的情况下会选择浅色。意味着在距离与黄颡鱼躯体比较近的水域内,对比自身体色较深和较浅的鱼巢选择上,可能选

择浅色,而规避较深的颜色,推测是由于形成黑色素浓缩激素过程更加消耗能量。而繁殖期间由于卵巢对消化道的挤压使其难以通过进食补充能量,为避免进一步的变色能量消耗和更好的藏匿,亲本会选择与自身体色接近的鱼巢。进一步推测,黄颡鱼非繁殖期间对颜色偏好由高到低的顺序可能为:同体色颜色、较体色浅的颜色、较体色深的颜色,但是繁殖期间为了更好的隐匿效果,在能量消耗可控范围内可能选择深色。但当无安全性隐患时对颜色趋向性不明显,如路波等^[27, 30]研究发现在流水并且有光补偿的情况下,瓦氏黄颡鱼(*Pseudobagrus vachellii*)在白色和黑色之间会选择黑色,但静水条件下对颜色的选择无显著差异;同时,推断黄颡鱼视觉系统未完全退化,颜色反差程度的不同刺激黄颡鱼对鱼巢选择偏好程度的不同,这也可能影响其非繁殖期间的摄食。动物普遍具有趋利避害性,而与黄颡鱼体色相接近的棕色具有很好的保护作用,因此安全感也是黄颡鱼偏好性选择鱼巢的原因之一。但是,鱼类对于颜色有着适应过程,如 Spence 等^[31]在研究斑马鱼(*Danio rerio*)对背景色的选择时发现,斑马鱼会逐渐适应红色。在实际生产中,不排除黄颡鱼历经多次产卵后,部分亲本会由于对环境产生适应而选择其他颜色鱼巢的可能性。

3.4 黄颡鱼对不同鱼巢材质的产卵偏好性

2019 年 6 月下旬,在长江如皋江段进行的黄颡鱼鱼巢偏好性野外定性验证实验结果显示,半球形棕榈鱼巢(无石子)内卵粒附着密集且均匀,而另外两种材质上有卵粒零星附着。此结果验证了黄颡鱼确实存在主动选择鱼巢产卵的行为,且对半球形棕榈(无石子)具有明显偏好性。鱼巢的材质、大小和形状也是繁殖成功的关键,虽然这些条件会因限制胚胎生长环境、雄性亲本接触的卵粒数和隐匿程度从而影响成活率,但是鱼类对最佳鱼巢的选择并不一定是质量最好的鱼巢,而是鱼巢价值和维护成本的折中的结果,如雄性蟾鱼(*Lusitanian toadfish*)会选择与体型大小相似的巢用于雌性产卵^[32-35]。本研究中棕榈鱼巢属植物材质,整体大小与雄鱼挪动筑巢面积大小相似,鱼巢底部弧度与鱼体弯曲弧度吻合,雌鱼旋转产

卵期间与鱼巢内表面贴合。且表面具有总体上相对平滑的沟壑,因此表面积相对较大,适宜更多卵粒黏附从而避免堆积缺氧,这与张星朗等^[10]发现用棕榈片覆盖橡胶盆用于黄颡鱼人工繁殖效果较好,以及博氏鲃(*Luciobarbus bocagei*)倾向于在粗基质中产卵等研究结果相似^[36]。

4 小结

本研究结果表明,低温(6 月初夏季节的 24~26 °C 水温区间)水环境、棕色半球形棕榈鱼巢更适合黄颡鱼产卵。研究中所涉及的鱼巢首次结合控制大小、形状、颜色和材料等方式,且半球形鱼巢更符合黄颡鱼自然水域产卵做窝习性,边缘弧度具有很好的隐蔽性,有很好的保护作用的同时使其具有安全感。为了更好地发挥人工鱼巢在江河湖泊鱼类资源增殖方面的作用,可在水温达到 24~26 °C 的初夏,于湖泊水域放置不同规格半球形棕榈鱼巢用于黄颡鱼产卵和其他产沉黏性卵鱼类产卵场的修复,从而对其进行资源增殖与保护。由于本研究着重于鱼巢对黄颡鱼产卵的影响,对于亲本内在因素如生理响应等在产卵时所起到的作用暂未涉及,基于前述研究,后续将进一步开展黄颡鱼产卵偏好的生理机制研究。

参考文献:

- [1] Huang X F, Zhao F, Song C, et al. Effects of stereoscopic artificial floating wetlands on nekton abundance and biomass in the Yangtze Estuary[J]. Chemosphere, 2017, 183: 510-518.
- [2] Mercader M, Mercière A, Saragoni G, et al. Small artificial habitats to enhance the nursery function for juvenile fish in a large commercial port of the Mediterranean[J]. Ecological Engineering, 2017, 105: 78-86.
- [3] Pan P, Li Y F, Li X H. Effect evaluation of artificial fishnest on common carp (*Cyprinus carpio*) in Xijiang River[J]. Freshwater Fisheries, 2016, 46(6): 45-49. [潘澎, 李跃飞, 李新辉. 西江人工鱼巢增殖鲤鱼效果评估[J]. 淡水渔业, 2016, 46(6): 45-49.]
- [4] Wang J H, Jiang W, Gao Y, et al. Use of artificial fish nests and incubators in three georges reservoir to conserve fish species with adhesive eggs[J]. Journal of Hydroecology, 2018, 39(5): 116-120. [王军红, 姜伟, 高勇, 等. 人工鱼巢及孵化暂养槽在三峡水库产黏性卵鱼类资源保护中的应用[J]. 水生态学杂志, 2018, 39(5): 116-120.]

- [5] Niu C, Yang C J, Huang Y X, et al. The efficacy of new spawning substrates for *Sepia esculenta* oosperm adhesion[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(6): 1234-1244. [牛超, 杨超杰, 黄玉喜, 等. 金乌贼新型产卵附着基的实验研究[J]. 中国水产科学, 2017, 24(6): 1234-1244.]
- [6] Wang W M. Studies on the artificial breeding of *Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson) in largescale[J]. Fisheries Science, 1999, 18(3): 9-12. [王卫民. 黄颡鱼的规模人工繁殖试验[J]. 水产科学, 1999, 18(3): 9-12.]
- [7] Yang G, Liu J L, Bai D Q, et al. Gonadal characteristics of *Pelteobagrus fulvidraco* during breeding season[J]. Freshwater Fisheries, 2005, 35(6): 31-33. [杨广, 刘金兰, 白冬清, 等. 繁殖季节黄颡鱼的性腺特征[J]. 淡水渔业, 2005, 35(6): 31-33.]
- [8] Yang P, Zhou T S, Tang W Q, et al. Abundance dynamic of catfishes in Jingjiang section of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(1): 135-144. [杨佩, 周天舒, 唐文乔, 等. 长江靖江段鲿形目鱼类的数量动态分析[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(1): 135-144.]
- [9] Zhang Z H. Biology and reproduction and culture techniques of *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Fisheries Economy Research, 2000(4): 21-23, 27. [张志华. 黄颡鱼的生物学及繁殖和养殖技术[J]. 渔业经济研究, 2000(4): 21-23, 27.]
- [10] Zhang X L, Gao H W, Zhou X Y, et al. Preliminary study on artificial breeding technology of *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Journal of Aquaculture, 2014, 35(8): 25-26. [张星朗, 高宏伟, 周小愿, 等. 黄颡鱼人工繁育技术初探[J]. 水产养殖, 2014, 35(8): 25-26.]
- [11] Wang N, Teletchea F, Kestemont P, et al. Photothermal control of the reproductive cycle in temperate fishes[J]. Reviews in Aquaculture, 2010, 2(4): 209-222.
- [12] Yamaguchi S, Iwasa Y. Temperature-dependent sex determination, realized by hormonal dynamics with enzymatic reactions sensitive to ambient temperature[J]. Journal of Theoretical Biology, 2018, 453: 146-155.
- [13] Smithers S P, Rooney R, Wilson A, et al. Rock pool fish use a combination of colour change and substrate choice to improve camouflage[J]. Animal Behaviour, 2018, 144: 53-65.
- [14] Rodgers G M, Gladman N W, Corless H F, et al. Costs of colour change in fish: food intake and behavioural decisions[J]. Journal of Experimental Biology, 2013, 216(14): 2760-2767.
- [15] Lehtonen T K, Rintakoski S, Lindstrom K. Mate preference for multiple cues: Interplay between male and nest size in the sand goby, *Pomatoschistus minutus*[J]. Behavioral Ecology, 2007, 18(4): 696-700.
- [16] Sheng X S. Studies on annual reproductive cycle of female *Pelteobagrus vachelli* in Jia-Ling River[D]. Chongqing: Southwest University, 2008. [盛晓洒. 嘉陵江瓦氏黄颡鱼雌性性腺发育周年变化的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.]
- [17] Gong S Y, Luo Z B, Liu J, et al. Study on individual fertility of *Neosalanx tangkahkeii* in Fushui Reservoir[J]. Reservoir Fisheries, 1999, 19(2): 38-40. [龚世园, 罗作兵, 刘军, 等. 富水水库太湖新银鱼个体生殖力的研究[J]. 水利渔业, 1999, 19(2): 38-40.]
- [18] Xu W, Xiong B X, Cheng Z X, et al. Growth and fecundity of *Megalobrama Skolkovii* in the Xujiuhe reservoir of Hubei, China[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2010, 16(1): 91-95. [徐薇, 熊邦喜, 程志学, 等. 徐家河水库鲂的生长与繁殖力研究[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(1): 91-95.]
- [19] Gong Z D, Wang Z B, Ma Z Q. The influence of water on the productivity of *Pterphyllum eimekei* and their descents[J]. Journal of Qufu Normal University (Natural Science), 1996, 22(1): 73-76. [龚兆铎, 王转斌, 马宗琪. 水质因素对热带神仙鱼繁殖力及后代生活力的影响[J]. 曲阜师范大学学报(自然科学版), 1996, 22(1): 73-76.]
- [20] Xia J G, Zeng X, Cai R Y, et al. Effects of temperature and reproductive status on the fast-start swimming performance of guppy[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2017, 34(3): 28-32. [夏继刚, 曾曦, 蔡瑞钰, 等. 温度和繁殖状态对孔雀鱼快速启动游泳能力的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2017, 34(3): 28-32.]
- [21] Chen J C, Su R R, Lu Y M, et al. Artificial propagation technique of *Micropterus salmonoides*[J]. Fisheries Science, 2001, 20(4): 21-23. [陈建酬, 苏润荣, 吕贻民. 加州鲈人工繁殖技术[J]. 水产科学, 2001, 20(4): 21-23.]
- [22] Liu W B, Zhang X J. Study on the development and annual change in the ovary of *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2003, 26(2): 73-78. [刘文彬, 张轩杰. 黄颡鱼的卵巢发育和周年变化[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2003, 26(2): 73-78.]
- [23] Zhang G Q, Luo X N, Li B. Critical techniques for artificial propagation of *Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson)[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2000, 15(4): 293-299. [张国强, 骆小年, 李勃. 黄颡鱼人工繁殖关键技术研究[J]. 大连水产学院学报, 2000, 15(4): 293-299.]
- [24] Zhang Y, Li S S, Liu Y, et al. Current research and future direction of reproductive related gene in fish farming[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 363-368. [张勇, 李水生, 刘云, 等. 养殖鱼类生殖内分泌调控相关功能基因的研究和应用[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2):

- 363-368.]
- [25] Wang Z, Wang L L, Li W T, et al. Effects of temperature and dissolved oxygen on sperm energy metabolism and motility in the golden cuttlefish, *Sepia esculenta*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(1): 183-192. [王展, 王林龙, 李文涛, 等. 温度和溶解氧对金乌贼精子能量代谢和活性的影响[J]. 中国水产科学, 2019, 26(1): 183-192.]
- [26] Amiya N, Amano M, Takahashi A, et al. Effects of tank color on melanin-concentrating hormone levels in the brain, pituitary gland, and plasma of the barfin flounder as revealed by a newly developed time-resolved fluoroimmunoassay[J]. General and Comparative Endocrinology, 2005, 143(3): 251-256.
- [27] Lu B, Shi X T, Liu D F, et al. White and black substrate preference and hiding behavior of *Pelteobagrus vachelli*[J]. Journal of Hydroecology, 2012, 33(5): 36-40. [路波, 石小涛, 刘德富, 等. 瓦氏黄颡鱼对黑白底质颜色偏好和藏匿行为研究[J]. 水生态学杂志, 2012, 33(5): 36-40.]
- [28] Yang R B. Study on ontogenetic development of the digestive system and feeding in yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* larvae[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010. [杨瑞斌. 黄颡鱼仔稚鱼消化系统发育及摄食特性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.]
- [29] Li X, Chi L, Tian H Q, et al. Colour preferences of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*)[J]. Physiology & Behavior, 2016, 156: 64-70.
- [30] Lu B, Bai Y Q, Liu D F, et al. Catfish *Pelteobagrus vachelli* has not preferred in different environment colors[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2012, 34(6): 103-105, 114. [路波, 白艳勤, 刘德富, 等. 瓦氏黄颡鱼对环境颜色无趋性行为[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2012, 34(6): 103-105, 114.]
- [31] Spence R, Smith C. Innate and learned colour preference in the Zebrafish, *Danio rerio*[J]. Ethology, 2008, 114(6): 582-588.
- [32] Pampoulie C, Sasal P, Rosecchi E, et al. Nest use by the common goby *Pomatoschistus microps* in Camargue (France)[J]. Ethology Ecology & Evolution, 2001, 13(2): 181-192.
- [33] Lindström K, Pampoulie C. Effects of resource holding potential and resource value on tenure at nest sites in sand gobies[J]. Behavioral Ecology, 2005, 16(1): 70-74.
- [34] Järvi-Laturi M, Lindström K, Kvarnemo C, et al. Sand goby males trade off between defence against egg predators and sneak intrusions[J]. Journal of Zoology, 2011, 283(4): 269-275.
- [35] Carriço R, Amorim M C P, Fonseca P J. Reproductive success in the Lusitanian toadfish *Halobatrachus didactylus*: Influence of male and nest sizes[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2014, 456(7): 65-69.
- [36] Boavida I, Jesus J B, Pereira V, et al. Fulfilling spawning flow requirements for potamodromous cyprinids in a restored river segment[J]. Science of the Total Environment, 2018, 635: 567-575.

Spawning preference of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) for different artificial fish nests

YANG Xuejun^{1,3}, WANG Xingyan^{2,3}, FENG Xiaoting^{1,3}, LIU Yi^{1,3}, YANG Xiwen^{1,3}, FANG Di'an^{1,3}, XU Dongpo^{1,3}

1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;
3. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China

Abstract: To explore the spawning preferences of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) for artificial fish nests during the breeding period, preferences for different nest colors and materials were determined under different water temperatures in June to July 2018. The experimental spawning fish nests were hemispherical (25 cm in diameter and 12 cm deep). Gravel palm and plastic fish nests (4–6 pieces) were placed in the same specification. Additionally, 6-layer nylon fishing nets (30 cm×40 cm) and palm pieces of fish nests (30 cm×40 cm) were folded. In the cement tank (290 cm×120 cm×100 cm), the egg-laying preference experiment was carried out under two temperature intervals (24–26 °C and 28–32 °C). The ratio of males to females in the experimental compartment was 1 : 1. The body length and weight of females was (167.8±19.0) mm and (99.9±21.7) g, respectively, whilst for males the body length and weight was (235.1±18.8) mm and (188.5±38.1) g, respectively. The results showed that the average number of eggs in the hemispherical brown palm (no stone) fish nest, under a water temperature of 24–26 °C, was 628.49 grains/m² and the average egg attachment rate per unit area was 2.77%. The average egg attachment in the hemispherical palm (no stones) fish nest, under a water temperature of 28–32 °C, was 225.48 grains/m² and the average egg attachment rate per unit area was 1.40%. After analyzing the experimental results, it was concluded that 24–26 °C is the optimal water temperature range for yellow catfish spawning. The analysis also showed that yellow catfish have a significant preference for spawning in brown fish nests ($P<0.05$), compared to gray, pink, yellow, and green nests. Furthermore, the sticking effect of eggs on the hemispherical palm (no stone) fish nest was significant ($P<0.05$). The diminishing preference order for other fish nests was: hemispherical palm (with stones)>flat palmettos>hanging palms>hemispherical plastics>cement pool. For sticking eggs, the top preference is the brown hemispherical palm fish nest under the water temperature environment of 24–26 °C. The results of this study have important significance for guiding the artificial reproduction of yellow catfish, spawning field repair, and resource proliferation of sticky egg fish.

Key words: *Pelteobagrus fulvidraco*; spawning preference; artificial fish nest

Corresponding author: FANG Di'an, E-mail: fangda@ffrc.cn; XU Dongpo, E-mail: xudp@ffrc.cn