

## 人工鱼巢材料选择及实施效果影响因素分析

李跃飞, 陈蔚涛, 夏雨果, 杨计平, 朱书礼, 李新辉

(中国水产科学研究院珠江水产研究所/中国水产科学研究院珠江流域渔业资源养护与生态修复院重点实验室/  
农业农村部珠江中下游渔业资源环境科学观测实验站, 广东广州 510380)

**摘要:** 为找出最适合的人工鱼巢材料, 形成产黏性卵鱼类产卵场修复技术, 该研究于2019年3—5月在西江肇庆江段利用芦竹(*Arundo donax*)、芒草(*Miscanthus* sp.)、象草(*Pennisetum purpureum*)、蒲葵(*Livistona chinensis*)、仿真水草、尼龙网布共6种材料制作人工鱼巢, 分析了材料及环境因素对鱼巢实施效果的影响。结果表明, 鲤(*Cyprinus carpio*)鱼卵对黏附介质具有较强的偏好性, 芦竹制作的鱼巢有卵黏附的比例和单件鱼巢黏附鱼卵数量均显著高于其他材料制作的鱼巢( $P<0.05$ ), 可知芦竹是制作鱼巢的最佳材料。有卵黏附的比例和鱼卵数量均随着入水天数的延长而下降, 主成分分析表明鱼巢入水天数是影响实施效果的最主要因素, 径流量和水位的上涨可促使鲤到鱼巢产卵, 而天气状况对鱼巢效果影响不大。此外, 还讨论了鱼巢投放时间、地点对实施效果的影响。

**关键词:** 人工鱼巢; 生态修复; 鲤; 黏性卵

中图分类号: S 931.5

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Selection of artificial fish nest material and influencing factors of implementation effects

LI Yuefei, CHEN Weitao, XIA Yuguo, YANG Jiping, ZHU Shuli, LI Xinhui

(Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of Fishery Resources Conservation and Ecological Restoration in Pearl River, Chinese Academy of Fishery Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Middle and Lower Reaches of Pearl River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510380, China)

**Abstract:** To determine the optimal artificial fish nest material, and to promote the restoration technology of spawning grounds for fish species with adhesive eggs, we had made fish nests with six kinds of materials (*Arundo donax*, *Miscanthus* sp., *Pennisetum purpureum*, *Livistona chinensis*, simulation aquatic plants and nylon mesh) at Zhaoqing section in Xijiang River from March to May in 2019, and studied the effects of materials and environmental factors on the implementation of fish nests. Common carps (*Cyprinus carpio*) had strong preference for adhesion medium, and *Arundo donax* was the best material for making fish nests, since the eggs adhesion ratio and the number of eggs in each nest were significantly higher for *A. donax* than for the other materials ( $P<0.05$ ). The eggs adhesion ratio and the number of eggs decreased with the increase of days of entering water. The principal component analysis reveals that days of entering water are the most important influencing factor on the implementation effect. The increase of discharge

收稿日期: 2019-10-10; 修回日期: 2019-12-03

资助项目: 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(2017HY-ZD0103); 广东省自然科学基金项目(2016A030313147)

作者简介: 李跃飞(1982—), 男, 硕士, 助理研究员, 从事渔业资源与生态保护研究。E-mail: liyuefei815@163.com

通信作者: 李新辉(1961—), 男, 研究员, 从事渔业资源与生态学研究。E-mail: lxhui01@aliyun.com

and rise of water level can promote common carps to gather to nests and lay eggs, but weather condition had little effect. Besides, we discussed the effects of implement time and location.

**Key words:** Artificial fish nest; Ecological restoration; Common carp; Adhesive eggs

护岸工程、航道整治、水坝建设等虽然给人类生活带来了便利，但也导致了水生生物栖息地减少或丧失、洄游通道阻断、多样性下降、资源衰退等问题<sup>[1-2]</sup>。为了缓解开发活动对水生态环境的影响，修复受损河流生态系统十分必要<sup>[3]</sup>，而渔业资源增殖和栖息地修复是我国现阶段水生生态修复的重要内容之一。由于产卵类型和繁殖生态习性的差异，最优的资源恢复方式不尽相同。已有研究者针对产漂流性卵鱼类和洄游鱼类开展了大量关于鱼道建设<sup>[4-6]</sup>、生态水文需求<sup>[7-8]</sup>以及生态调度<sup>[9]</sup>等方面的研究以期修复其种群资源，但关于产黏性卵鱼类资源恢复的相关研究还未受到重视。

鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)等产黏性卵的鱼类是江河鱼类的重要类群，在生态系统中的作用不容忽视<sup>[10]</sup>。自然状况下，繁殖季节鱼类会自深水区集中到近岸浅水植被茂盛的水域进行产卵繁殖<sup>[11]</sup>，产出的鱼卵黏附在水草上孵化出膜。然而，由于环境污染、河道治理与开发等原因导致水草减少，产黏性卵鱼类产卵场面积减小或丧失，因此需要人工干预对其资源进行增殖恢复。人工鱼巢是目前最常见的增殖技术，即人工制作鱼巢投放到自然水体中，为产黏性卵鱼类产卵提供所需的附着介质，实现资源增殖的目的<sup>[12]</sup>。立体

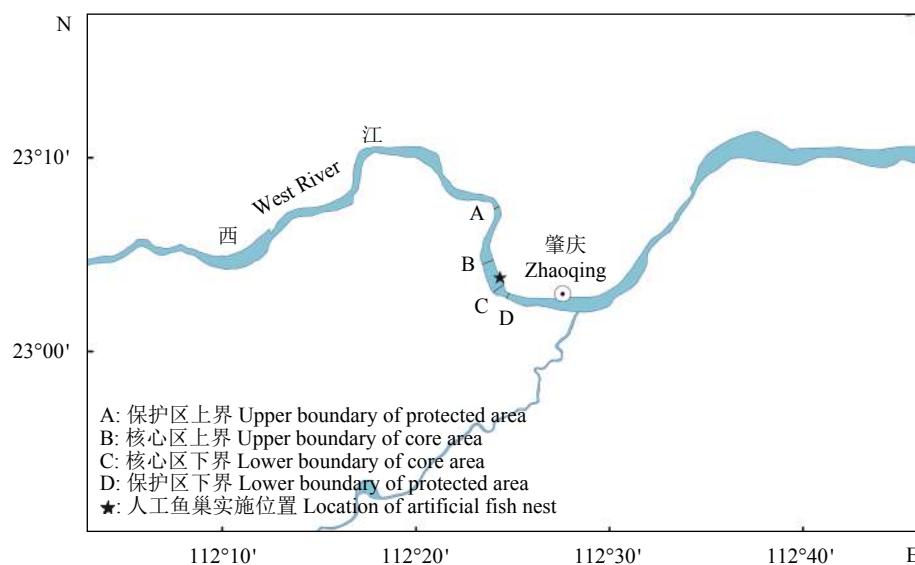
的人工结构投放也可实现为鱼类提供庇护场所、提高多样性的目的<sup>[13]</sup>，达到类似人工鱼礁的功能<sup>[14-15]</sup>。20世纪80年代，采用人工鱼巢的方式提高天然水域中鲤、鲫的资源量<sup>[16-17]</sup>已取得了良好的效果，但关于其修复机理方面仍未有深入的研究报道。

近年来，人工鱼巢在我国江河的资源养护工作中得到推广应用<sup>[18-19]</sup>，但实施效果差异较大。各地用作建造人工鱼巢的材料多种多样，池塘人工繁殖也有使用聚乙烯、锦纶等人工材料的成功经验<sup>[20]</sup>，但是否适合在天然江河中应用推广还不得而知。因此，为探索江河流水生态系统中人工鱼巢修复技术和方法，本研究在西江肇庆江段选择不同的材料制作人工鱼巢，对比实施效果，筛选出最优的修复材料，分析影响实施效果的环境因素，从而为江河人工鱼巢修复提供技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 实施水域

人工鱼巢试验在“西江肇庆段国家级水产种质资源保护区”内组织实施(图1)。该保护区于2009年由农业部划定，重点保护对象为鲤，还包括海南鲌(*Culter recurvirostris*)、鮰(*Silurus asotus*)



等产黏性卵鱼类。保护区上边界自西江禄步镇始,下边界至龟顶山江段结束,全长约10 km,总面积约13 000 hm<sup>2</sup>。实施地点位于核心区江段,江面宽阔(宽度900~1 000 m),近岸坡度平缓,植被覆盖率几乎达100%。下游有一较大的沙洲(桂林沙),沙洲长约600 m、宽70 m,其上芦竹、芒草等植被丛生。在自然状况下,若水位能淹没沙洲周边及近岸植被则可为鲤、鲫等鱼类提供产卵繁殖场所,但多数情况下水位较低、植被裸露,产卵场功能丧失。

## 1.2 鱼巢制作与投放

制作人工鱼巢的材料包括天然植物材料[芦竹(*Arundo donax*)、芒草(*Miscanthus* sp.)、象草(*Pennisetum purpureum*)、蒲葵(*Livistona chinensis*)]和化工材料(仿真水草和尼龙网布)等。鱼巢以件为单位,选择绿色无干枯的茎叶,将植物的根部切割整齐,根据叶片数量取5~10枝植被为一束,在距植物材料根部10 cm处用绳扎紧,固定在两片竹片中间。在距根部50 cm处将植被尽可能地散开,同样固定在两片竹片之间。其中芦竹、芒草和象草3种鱼巢每件上固定4束同样的植物材料,制成约2 m×2 m的正方形。蒲葵鱼巢以4个叶片为一组制作一件鱼巢。仿真水草材料选用绿色株高约50

cm,每株15小支,每小支约175个叶片(长20 mm×宽8 mm),每8株制作一件鱼巢。网布材料选用孔径5 mm的绿色尼龙网布布,切割成1.5 m<sup>2</sup>的网片,扎成束,每3束制成一件鱼巢。各种鱼巢制作件数、叶片数量、材料总面积等见表1,制成之后的鱼巢见图2。人工鱼巢的投放采用边制作边投放的方式进行,投放在水深约2~3 m的近岸。鱼巢之间用绳索连接,分3列平行布置,每60件为一个方阵,用竹竿和船锚固定。

表1 各种鱼巢的基本参数

Table 1 Parameters of fish nests made of different materials

材料 Material	鱼巢叶片数量 Number of fish leaf/个	材料表面积 Superficial area/m <sup>2</sup>	制作鱼巢数量 Number of fish nests/个
芦竹 <i>Arundo donax</i>	10 368	26.12	150
芒草 <i>Miscanthus</i> sp.	672	6.44	40
象草 <i>Pennisetum purpureum</i>	540	7.76	40
蒲葵 <i>Livistona chinensis</i>	4	1.17	60
仿真水草 Simulation aquatic plants	21 000	3.36	50
尼龙网 Nylon net	-	4.5	50

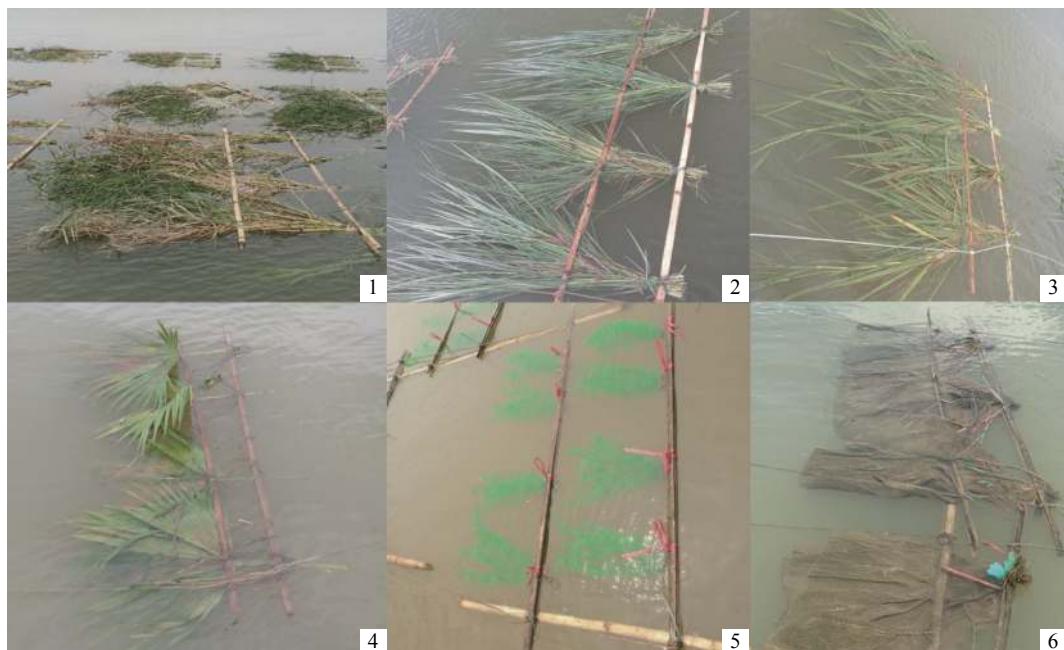


图2 不同材料制作的人工鱼巢

1. 芦竹; 2. 芒草; 3. 象草; 4. 蒲葵叶; 5. 仿真水草; 6. 尼龙网

Figure 2 Artificial fish nests made of different materials

1. *A. donax*; 2. *Miscanthus* sp.; 3. *P. purpureum*; 4. *L. chinensis*; 5. Simulation aquatic plants; 6. Nylon net

根据谭细畅等<sup>[21]</sup>的调查,每年2—4月是西江肇庆段鲤的主要繁殖期,故人工鱼巢试验在2019年3—5月开展。实施期间视天然植物材料叶片变黄和枯萎程度进行更新,平均27 d更换一次,共制作3个批次。

### 1.3 数据采集与处理

鱼巢投入水后,由专人负责管护,及时清理黏附在鱼巢上的泥沙及悬浮垃圾。根据实施期间水温情况,自全部鱼巢入水后第2天开始,每隔3~4 d抽样1次,每次抽样为早上和下午各1次。每种鱼巢随机抽取约30件查看是否黏附鱼卵,统计有卵黏附的鱼巢比例;对有鱼卵附着的鱼巢随机抽取部分枝叶进行鱼卵数量统计,每次统计不少于150个叶片。每次仅统计新产鱼卵数量,霉变的鱼卵不作计数。根据每件鱼巢的支数和叶片数量估算每件鱼巢黏附鱼卵的数量。每种材料鱼巢有卵黏附比例( $P$ )和平均每件鱼巢黏附鱼卵数量( $N$ )用下列公式计算。

$$P = \frac{a}{b}$$

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} \times M$$

式中 $a$ 为抽样中有卵鱼巢件数, $b$ 为抽样件数; $N$ 为有卵黏附时平均每件鱼巢黏附鱼卵数量(粒); $A_i$ 为抽样每个叶片鱼卵数量(粒); $n$ 为抽样叶片数量(个); $M$ 为平均每件鱼巢叶片数量(个)。

通过方差分析比较不同材料有卵黏附鱼巢比例及平均每件鱼巢黏附数量的差异,确定鱼巢材料的优劣。方差齐性检验显示为非正态分布,故使用

Kruskal-Wallis检验进行非参数检验。通过相关分析解析有卵黏附鱼巢比例、鱼巢黏附鱼卵数量与鱼巢入水天数之的关系。所有分析用R软件进行。

为分析影响芦竹人工鱼巢实施效果的关键环境因素,将最高气温、最低气温、水温、径流量、水位、天气状况(雨天、阴天、晴天)、鱼巢入水天数等与平均每件鱼巢黏附鱼卵数量、有卵黏附鱼巢比例建立数据集,进行主成分分析。主成分分析使用R软件Vegan包进行。为减小不同变量参数量纲对分析结果的影响,分析时对数据进行了归一化处理。

实施期间将鱼巢黏附鱼卵置于鱼缸中充氧孵化,孵出的仔鱼利用形态学观察和基因条码两种方法进行种类鉴定。

## 2 结果

### 2.1 有卵黏附鱼巢比例

整个试验期间芦竹鱼巢有卵次数15次,芒草鱼巢5次,象草鱼巢1次,蒲葵鱼巢1次,仿真水草鱼巢2次,尼龙网布鱼巢0次。对6种材料有卵黏附鱼巢比例的统计分析表明,芦竹鱼巢有卵附着的比例最高,平均为(45.1±40.7)%,其次为芒草(2.4±3.6)%,其他依次为仿真水草(1.4±3.2)%,象草(0.2±0.9)%,蒲葵(0.2±0.7)%,尼龙网布0.0%。单因素方差分析表明,芦竹鱼巢有卵黏附比例显著高于其他材料制作的鱼巢( $P<0.05$ ),其他各种材料之间不存在显著性差异(表2)。根据形态学和分子鉴定结果,鱼巢黏附鱼卵全部为鲤卵。由此可知,鲤对鱼卵附着介质有较高的偏好性,芦竹是最佳的人工鱼巢材料。

表2 不同鱼巢有卵黏附比例及黏附鱼卵数量

Table 2 Eggs adhesion ratio and number of eggs in different fish nests

鱼巢材料 Fish net material	芦竹 <i>A. donax</i>	芒草 <i>Miscanthus</i> sp.	象草 <i>P. purpureum</i>	蒲葵 <i>L. chinensis</i>	仿真水草 Simulation aquatic plants	尼龙网 Nylon net
有卵黏附鱼巢比例 Eggs adhesion ratio/%	45.1±40.7 <sup>a</sup>	2.4±3.6 <sup>b</sup>	0.2±0.9 <sup>b</sup>	0.2±0.7 <sup>b</sup>	1.4±3.2 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>
每件鱼巢黏附鱼卵数量 Eggs number in each nest/粒	12 458±14 788 <sup>a</sup>	896±2 010 <sup>b</sup>	2±9 <sup>b</sup>	0.3±1.1 <sup>b</sup>	3±7 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>

注:同一行数据不同字母表示数据间差异显著( $P<0.05$ )

Note: The data with different letters within the same row indicate significant difference ( $P<0.05$ ).

随着人工鱼巢入水天数的延长,鱼卵附着率呈先升高后降低的变化规律。芦竹鱼巢自入水第2天开始有鱼卵附着,产卵高峰期100%的鱼巢上均有鱼卵。第20天是监测到有鱼卵的最长期限,仅

20.0%的鱼巢有卵附着。对芦竹鱼巢入水天数和有卵黏附鱼巢比例进行相关分析表明,两者存在负相关关系( $P=0.055$ )。

## 2.2 鱼巢黏附鱼卵数量

试验期间平均每件芦竹鱼巢黏附鱼卵数量为 $(12458\pm14788)$ 粒, 芒草鱼巢为 $(896\pm2010)$ 粒; 象草、蒲葵、仿真水草、尼龙网布制作的人工鱼巢平均黏附鱼卵数量均小于5粒(表2)。芦竹鱼巢黏附鱼卵数量极显著高于其他材料制作的鱼巢( $P<0.05$ ), 其他各种材料之间不存在显著性差异( $P>0.05$ )。单件芦竹鱼巢平均黏附鱼卵量最高值达46915粒。以3d为间隔统计分析显示, 芦竹鱼巢黏附鱼卵数量在鱼巢入水后的一周达到峰值, 之后快速下降(图3)。对芦竹鱼巢黏附鱼卵数量与鱼巢入水天数进行相关分析表明, 两者存在极显著负相关关系( $P<0.01$ )。

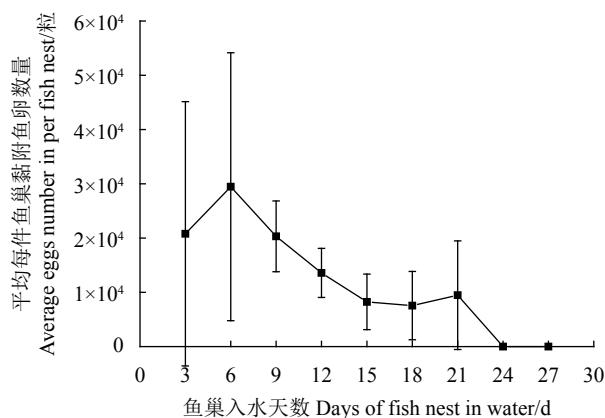


图3 芦竹鱼巢黏附鱼卵数量随入水天数的变化

Figure 3 Change of eggs number in *A. donax* fish nest with days of entering water

## 2.3 影响鱼巢实施效果的环境因素分析

对芦竹鱼巢有鱼卵附着的15次记录及其环境因子进行主成分分析, 各主成分及其特征根、方差和累计贡献率见表3。结果显示, 前3个排序轴的累计贡献率为84.27%, 说明其能解释大部分的数据结构信息。根据各个环境因子特征向量在排序轴上的位置(图4)及解释率可知, 鱼巢入水天数是影响鱼巢实施效果的最主要因素。径流量、水位与平均每件鱼巢黏附鱼卵数量、有卵鱼巢比例之间呈正相关关系, 但与温度因素(最高气温、最低气温、水温)略呈负相关关系, 这可能主要是由于鱼巢实施时间处于鲤主要繁殖期至繁殖期尾声阶段, 3—5月在实施江段气温、水温都处于一个上升期有关。第三排序轴主要反映天气状况对鱼巢实施效果的影响, 其方差解释率仅为13.9%。鱼巢主要实施期多云及阴天比例为38.6%, 小雨及阵雨天气

表3 各参数主成分的特征向量及贡献率

Table 3 Eigenvector and contribution rate of principal components of each parameter

环境因子 Environment factor	PC1	PC2	PC3
入水天数 Days of entering water	-0.948 46*	-0.184 1	-0.041 62
最高气温 Maximum temperature	-0.727 29	0.722 2	0.347 04
最低气温 Minimum temperature	-0.851 04	0.639 1	0.025 44
水温 Water temperature	-0.797 87	0.639 8	-0.299 04
天气 Weather	-0.070 87	-0.235 4	-1.011 97*
水位 Water level	0.478 28	0.924 7	-0.283 14
径流量 Discharge	0.519 91	0.942 2*	-0.188 14
特征值 Eigenvalue	3.641 4	2.691 9	1.251 2
解释率 Proportion explained/%	40.46	29.91	13.90
累计解释率 Cumulative proportion explained/%	40.46	70.37	84.27

注: \*某主成分中特征向量最大的因子

Note: \*. Factor of the largest eigenvector in principal component

为31.6%, 中到大雨天气为29.8%, 基本无晴天。鱼巢有卵附着的天气38.6%为多云及阴天, 61.4%为雨天, 基本无晴天, 说明天气状况对鱼巢实施效果的影响相对较小。

## 3 讨论

### 3.1 材料对鱼巢效果的影响

鱼类对产卵栖息地环境有特殊需求, 因此开展人工鱼巢增殖产黏性卵鱼类的实施地点选择尤为重要, 这在产漂流性卵鱼类、洄游鱼类资源养护方面已经引起了重视, 但在定居性、产黏性卵鱼类栖息地生境需求方面的关注仍不够。通常人们认为产黏性卵鱼类的资源量不会因为人为因素造成剧烈波动。然而, 由于过度捕捞、河流调控、栖息地丧失或减少等原因, 产黏性卵鱼类在我国多数江河和水库呈现资源衰退的趋势<sup>[22-23]</sup>。因此, 人工鱼巢修复技术被广泛用于增殖天然水域中产黏性卵鱼类资源。在天然河流或湖泊中, 鲤的产卵场多分布在近

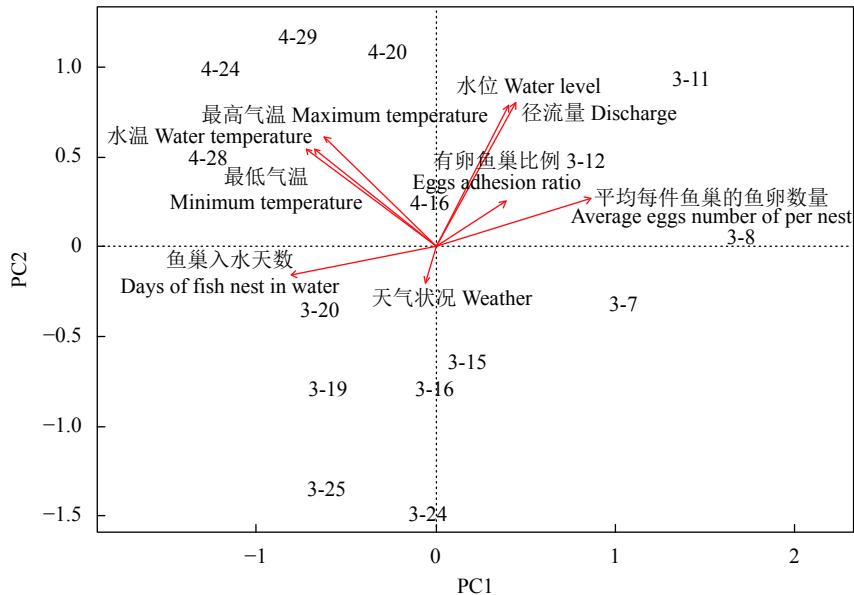


图4 芦竹人工鱼巢实施效果影响因素主成分分析

Figure 4 Principal component analysis of influencing factors on *A. donax* artificial fish nest

岸的浅滩或水草丰茂的水域，近岸陆生的野草、树木、庄稼等都可以在涨水被淹没后成为鲤产卵繁殖的场所<sup>[16]</sup>，说明鲤的产卵场要求近岸、缓流、浅水的环境<sup>[11, 24-25]</sup>，且分布有可作为鲤产卵黏附介质的水生植物和陆生植物。在鲤苗种生产上，人们也模拟自然生境创造出了利用稻田、土坑、池塘和河边浅水区域等作为产卵场进行人工繁殖。在自然江河中开展人工鱼巢增殖工作，最优位置是在原有产卵场江段，本研究选择在西江以鲤为重点保护对象的肇庆段国家级水产种质资源保护区近岸、浅水水域开展人工鱼巢增殖试验，选择了合适的位置，这也是取得良好实施效果的前提。

鲤产卵对鱼卵附着介质有一定的选择性，但也能根据环境条件做出适应性改变，表现出较强的可塑性。人工繁殖生产中通常选用凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*)、小叶眼子菜 (*Potamogeton pusillus*)、金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*)、棕榈皮、柳树须根和蕨类等天然植物材料<sup>[26]</sup>，其诱鱼效果良好，但缺点是材料来源有限、使用寿命短、加工费时且鱼卵易发生水霉病<sup>[27]</sup>；相较之，人工材料可以规模化生产制作，成本低且可重复使用，但黏附鱼卵效果通常没有天然植物材料好<sup>[20, 28]</sup>。本研究选择了4种天然植物材料和2种人工材料制作鱼巢，结果表明天然植物材料芦竹的效果最好，同样是植物材料的芒草、象草和蒲葵诱鱼效果与芦竹相差甚远，黏附鱼卵比例和数量均显著低于芦竹制作的鱼巢；

仿真水草和尼龙网布均为绿色，但效果同样较差。许品诚等<sup>[20]</sup>在池塘环境中使用化学材料制作仿真水草、聚丙烯网状纤维人工鱼巢诱鱼产卵，利用大阪鲫 (*C. auratus cuvieri*) 和团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 进行试验，虽黏附效果不如杨树根，但比苦草好。然而，在天然河流中，使用人工材料获得成功的报道相对较少，且黏附鱼卵量一般较少。赵从钧等<sup>[29]</sup>研究发现大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 对产卵环境的偏好顺序为粗河沙和黑色小石子片>柳树须根>绿色聚乙烯网布>麻袋片，说明其对砂石材料有偏好，但在无最适介质时，柳树须根也可作为产卵介质，且数量同样客观，效果理想。Adamek 等<sup>[30]</sup>研究发现，鲤产卵除了偏好植物以外，在一些石质材料上也能产卵，这说明像大口黑鲈、鲤等产黏性卵鱼类对产卵介质虽有选择性，但仍具有较强的可塑性，会随着环境的变化而做出适应性改变。

对于天然植物材料制作的鱼巢，不同材料的实施效果也差异显著，说明鲤对植物材料也有选择。这主要可能与附着介质材料的属性有关，如附着介质的颜色、形态、表面结构与质地软硬程度等<sup>[31]</sup>。本试验选取的芒草、象草叶片表面相对较为粗糙，没有芦竹叶片光滑，这也导致了这两种鱼巢更易吸附水体中的泥沙，从而更不利于鱼卵的黏附；而蒲葵的叶片硬度较大，质地不够柔软，可能不是亲鱼喜欢的介质类型，也有可能是由于不同的植物叶片

在水中浸泡后会分泌特殊的物质, 引起化感效应导致鱼卵产卵的喜好不同。

试验期间在4月25—29日有一次涨水过程, 水位涨水为1.2 m, 近岸和实施地点位置下游沙洲边缘有大量植被被淹没, 在沙洲边缘芦竹上发现大量鱼卵附着, 但近岸的莎草(*Cyperus* sp.)、水马齿(*Callitriches* sp.)等无鱼卵附着, 这也说明在自然状况下鲤也存在产卵介质的选择性。

### 3.2 环境因素对鱼巢实施效果的影响

水温是影响鱼类产卵繁殖的最主要因素。这是由于必须达到一定的积温条件后鱼类的性腺才能发育成熟, 而产卵繁殖又有最低水温要求。因此在开展人工鱼巢增殖鱼类资源时, 应选择在增殖对象的繁殖季节进行。关于鲤的繁殖积温需求的报道不多, 一般认为水温达15℃以上鲤可以产卵, 嘉陵江鲤在13℃即可产卵繁殖<sup>[18]</sup>。珠江下游肇庆江段每年最低水温出现在1—2月, 多年月平均最低水温为15.7℃, 鲤的性腺发育状况也表明V期卵巢在每年1—3月出现, 早期资源监测在2—4月有鲤苗出现<sup>[21]</sup>。因此, 本研究人工鱼巢试验选择在鲤的繁殖季节进行, 但由于实施期间(3—5月)刚好是鲤由繁殖盛期到产卵结束的转变阶段, 水温则处于一年中快速升高的时期, 故呈现鱼巢实施效果与温度略成负相关关系。

鱼巢入水天数与平均每件鱼巢黏附鱼卵数量、有卵鱼巢比例呈显著的负相关关系。这主要是由于天然植物材料放入水后, 植物的叶片黏附水中的泥沙等悬浮物会逐渐枯萎、腐烂, 而腐烂的叶片不利于鱼卵的黏附, 诱鱼效果也更差。叶片腐烂的速度与水温呈正相关关系, 3—5月鱼巢入水后可有效发挥作用的时间逐渐变短。试验过程中还发现, 利用芦苇和芒草制作的鱼巢叶片在3—4月有被鱼捕食的现象, 但不严重, 而5月更新的鱼巢叶片在入水后很快被大量捕食, 仅剩余较粗的茎。这可能是由于繁殖季节鲤相对较少进食, 而5月基本进入繁殖后的恢复阶段、食量大增造成。另外, 春季水温回升, 其他草食性鱼类或杂食性鱼类的捕食也更加活跃。故针对鲤增殖的人工鱼巢工作, 应当根据水温和鲤繁殖生物学特征, 选择在鲤繁殖前期到盛期实施为最优。

主成分分析显示流量和水位与鱼巢实施效果呈正相关关系, 这可能是鲤繁殖对环境适应的一种结

果。在自然状况下, 近岸的陆生植被会随着流量和水位的上涨而被淹没, 进而成为鲤的产卵场, 鲤繁殖群体也会在涨水后寻找适宜产卵的水域进行产卵繁殖, 但其具体的影响机理还有待进一步研究。天气状况如阴雨、晴天, 对鱼巢黏附鱼卵数量和有卵鱼巢数量比例的影响不明显, 但晴天表层水温稍高, 更有利于鱼巢卵的孵化出膜, 对鱼巢的增殖效果可能更有利。

目前, 人工鱼巢在我国黄河及其以南的水域均有推广实施, 且多数都取得了良好的效果。然而, 鲤在澳大利亚、美国、加拿大等国家作为外来物种成功建群、入侵, 给当地的河流和湖泊生态系统造成了较严重的问题<sup>[32-33]</sup>。鲤密度较高会造成水生植被减少、氨氮浓度增加, 进而导致水体由清澈变浑浊, 呈现类似富营养化的现象<sup>[34]</sup>。但这种负面的作用可能与水体类型有关, 对于浅水湖泊的影响可能更为明显<sup>[35]</sup>。因此, 在开展人工鱼巢增殖工作时, 需先对实施江段资源水体环境状况、资源本底进行初步的了解, 才能达到既增殖了渔业资源又实现生态环境修复的双重目标。

致谢: 鲁东大学实习生敖茂川同学在人工鱼巢的维护和数据记录方面给予了帮助, 谨此致谢!

### 参考文献:

- [1] GÖTHE E, DEGERMAN E, SANDIN L, et al. Flow restoration and the impacts of multiple stressors on fish communities in regulated rivers[J]. *J Appl Eco*, 2019, 57(6): 1687-1702.
- [2] 董哲仁, 孙东亚, 彭静. 河流生态修复理论技术及其应用[J]. 水利水电技术, 2009, 40(1): 4-9, 28.
- [3] 徐菲, 王永刚, 张楠, 等. 河流生态修复相关研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(3): 515-520.
- [4] 李捷, 李新辉, 潘峰, 等. 连江西牛鱼道运行效果的初步研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(4): 53-57.
- [5] 谭细畅, 黄鹤, 陶江平, 等. 长洲水利枢纽鱼道过鱼种群结构[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1548-1552.
- [6] WILKES M A, MCKENZIE M, WEBB J A. Fish passage design for sustainable hydropower in the temperate Southern Hemisphere: an evidence review[J]. *Rev Fish Biol Fish*, 2018, 28: 117-135.
- [7] BAN X, CHEN S, PAN B, et al. The eco-hydrologic influence of the Three Gorges Reservoir on the abundance of larval fish of four carp species in the Yangtze River, China[J]. *Ecohydrology*, 2017, 10(1): e1763.
- [8] TAO J, YANG Z, CAI Y, et al. Spatiotemporal response of pelagic fish aggregations in their spawning grounds of middle

- Yangtze to the flood process optimized by the Three Gorges Reservoir operation[J]. *Ecol Eng*, 2017, 103: 86-94.
- [9] XU W, QIAO Y, CHEN X J, et al. Spawning activity of the four major Chinese carps in the middle mainstream of the Yangtze River, during the Three Gorges Reservoir operation period, China[J]. *J Appl Ichthyol*, 2015, 31(5): 846-854.
- [10] 钟大森, 王芳, 王春生, 等. 不同密度下的鲤鱼扰动作用对沉积物-水界面硝化、反硝化和氨化速率的影响 [J]. *水生生物学报*, 2013, 37(6): 1103-1111.
- [11] HENNEN M J, BROWN M L. Movement and spatial distribution of common carp in a South Dakota glacial lake system: implications for management and removal[J]. *N Am J Fish Manag*, 2014, 34(6): 1270-1281.
- [12] 李云涛, 郭美玉, 詹诚, 等. 人工鱼巢渔业资源增殖效应研究进展 [J]. *淡水渔业*, 2018, 48(04): 58-62.
- [13] ZHOU L, GUO D, ZENG L, et al. The structuring role of artificial structure on fish assemblages in a dammed river of the Pearl River in China[J/OL]. [2018-4-30](2019-10-25). *Aquat Living Resour*, <https://doi.org/10.1051/alr/2018003>.
- [14] 张伟, 李纯厚, 贾晓平, 等. 人工鱼礁附着生物影响因素研究进展 [J]. *南方水产*, 2008, 4(1): 64-68.
- [15] 梁君, 王伟定, 潘国良, 等. 朱家尖人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物群落结构变动初探 [J]. *南方水产*, 2010, 6(4): 13-19.
- [16] 安徽省巢湖地区水产资源调查组. 巢湖鲤鱼的繁殖及人工鱼巢的效果观察报告 [J]. *动物学杂志*, 1981(2): 14-17.
- [17] 祖国掌, 汪敦铭, 李安全. 响洪甸水库大规模人工鱼巢增殖效果的检测初报 [J]. *水库渔业*, 1985(4): 45-47.
- [18] 李天才, 刘中菊, 郑秋松, 等. 嘉陵江北碚江段人工鱼巢增殖效果调查 [J]. *淡水渔业*, 2019, 49(1): 57-61.
- [19] 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.
- [20] 许品诚, 吉英泉, 陈文海, 等. 人造鱼巢试验 [J]. *水产科技情报*, 1983(6): 30-32.
- [21] 谭细畅, 李新辉, 林建志, 等. 珠江肇庆江段鲤早期发育形态及其补充群体状况 [J]. *大连水产学院学报*, 2009, 24(2): 125-129.
- [22] 蒋晓辉, 赵卫华, 张文鸽. 小浪底水库运行对黄河鲤鱼栖息地的影响 [J]. *生态学报*, 2010, 30(18): 4940-4947.
- [23] 阮瑞, 张燕, 沈子伟, 等. 三峡消落区鱼卵、仔稚鱼种类的鉴定及分布 [J]. *中国水产科学*, 2017, 24(6): 1307-1314.
- [24] 张志广, 梁瑞峰, 龙启建, 等. 基于历史水文资料的华南鲤产卵场水力参数适宜度分析 [J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2014, 46(6): 36-41.
- [25] TAYLOR A H, TRACEY S R, HARTMANN K, et al. Exploiting seasonal habitat use of the common carp, *Cyprinus carpio*, in a lacustrine system for management and eradication[J]. *Mar Freshw Res*, 2012, 63(7): 587-597.
- [26] 广西壮族自治区水产实验场. 鲤鱼产卵场和鲤鱼孵化鱼巢材料 [J]. *广西农业科学*, 1959(9): 24-25.
- [27] 张堂林. 人工鱼巢试验 [J]. *人与生物圈*, 2016(3): 30-31.
- [28] 朱文锦, 介子林, 胡亚东, 等. 人工鱼巢作为黄河鱼类增殖措施试验研究 [J]. *河南水产*, 2012(2): 29-30.
- [29] 赵从钧, 汪留全, 沈新玉. 加州鲈亲鱼对不同材料和不同深度的人工鱼巢的适应性试验 [J]. *淡水渔业*, 1995, 25(6): 10-11.
- [30] ADAMEK Z, PARDO M A, VILIZZI L, et al. Successful reproduction of common carp *Cyprinus carpio* in irrigation waterways[J]. *Fish Manag Ecol*, 2015, 22(4): 279-285.
- [31] BRAMBURGER A J, MOIR K E, HICKEY M B C. Preferential incorporation of dark, coloured materials into nests by a mound-nesting stream cyprinid[J]. *J Fish Biol*, 2018, 93(4): 719-722.
- [32] BICE C M, ZAMPATTI B P. Engineered water level management facilitates recruitment of non-native common carp, *Cyprinus carpio*, in a regulated lowland river[J]. *Ecol Eng*, 2011, 37(11): 1901-1904.
- [33] BAJER P G, SULLIVAN G, SORENSEN P W. Effects of a rapidly increasing population of common carp on vegetative cover and waterfowl in a recently restored Midwestern shallow lake[J]. *Hydrobiologia*, 2009, 632(1): 235-245.
- [34] BADIOU P H J, GOLDSBOROUGH L G. Ecological impacts of an exotic benthivorous fish, the common carp (*Cyprinus carpio* L.), on water quality, sedimentation, and submerged macrophyte biomass in wetland mesocosms[J]. *Hydrobiologia*, 2015, 755(1): 107-121.
- [35] WEBER M J, BROWN M L. Biomass-dependent effects of age-0 common carp on aquatic ecosystems[J]. *Hydrobiologia*, 2015, 742(1): 71-80.