

## 人工鱼礁的矩形间隙对黑鲷幼鱼聚集效果的影响

王 森<sup>1</sup>, 章守宇<sup>1\*</sup>, 王伟定<sup>2</sup>, 虞宝存<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316100)

**摘要:** 为了解人工鱼礁的矩形间隙大小对鱼类行为产生的影响, 实验利用特征礁体的不同组合来模拟人工鱼礁矩形间隙的大小, 在来流速度分别为 19.1、23.4 和 27.7 cm/s 情况下, 探讨不同礁体矩形间隙(水平、垂直)的大小对黑鲷幼鱼行为产生的影响, 总结出黑鲷幼鱼的喜好流速范围。实验结果表明: 当礁体矩形间隙设计为水平 38.8 cm 时, 相对其他情况来说, 黑鲷幼鱼具有最大趋礁率 43.1%, 对应的喜好流速范围为 9.6 ~ 23.4 cm/s; 当礁体矩形间隙设置为垂直 20 cm 时, 黑鲷有最大趋礁率 50.1%, 对应的喜好流速范围为 6.7 ~ 27.9 cm/s。总体来说, 礁体矩形间隙设计为水平时的集鱼效果要好于礁体矩形间隙设计为垂直时。

**关键词:** 黑鲷幼鱼; 人工鱼礁; 结构间距; 流速

**中图分类号:** S 931.5

**文献标识码:** A

人工鱼礁是人们在海中设置的构造物, 其目的是改善海洋环境, 为鱼类等游动生物提供繁殖、生长发育、索饵等生息场所, 达到保护、增殖和提高渔获量的目的。已有的调查研究表明, 所有趋礁型鱼类根据其栖息于礁体内部、周边与外围的相对位置大致可划分为 I 型、II 型和 III 型鱼类。鱼类对应于礁体的这些不同行为特征是人工鱼礁的饵料效应、流场效应以及声响效应等在不同鱼种间的相应差异的表现<sup>[1]</sup>。但实际鱼礁海域使用的礁体矩形多种多样, 不同鱼类对应它们的栖息位置都是相对的, 这是由于不同结构的鱼礁所产生的各种效应之差异所致。已有的研究较多地针对某些特定结构的礁体类型、在静止水体下的行为特点来展开, 其实际海域限制性较大是显而易见的。本研究更进一步地着眼于动水条件下鱼礁流场效应对 II 型鱼类代表种黑鲷 (*Sparus macrocephalus*) 的行为的影响, 通过对比实验, 探索不同来流条件下黑鲷幼鱼对礁体结构间隙的选择特点, 以期为人工鱼礁的结构设计和投放地点的选择提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验装置

实验利用室内 5 m × 6 m 矩形水池进行, 池深 1 m。如图 1 所示, 水池中央设置环形隔离板, 利用水泵产生的推力使水体循环流动, 隔离板两侧放置 2 片网栅, 将鱼隔离在实验区域内, 实验区为 6 m × 2 m 之矩形。实验水体为净化海水, 水深 0.9 m, 水温变化范围 11.5 ~ 13.8 °C。



图 1 实验水槽平面俯视图

Fig. 1 The ichnograph of experimental tank

收稿日期:2010-04-17 修回日期:2010-08-08

资助项目:国家“八六三”高技术研究发计划(2006AA100303); 国家科技支撑计划(2007BAD43B03); 上海市教委重点学科(J50702)

通讯作者:章守宇, E-mail: syzhang@shou.edu.cn

利用平行安装于图 1 左上角的 3 台潜水泵使水体产生循环流动,其中大泵型号 AT300QJ-1/9,流量  $160 \text{ m}^3/\text{h}$ ;中泵型号 150QJ,流量  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ ;小泵型号 QDN15-14-1.1KW,流量  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ;分别开启大、中、小 3 个泵,对应产生的来流区平均流速分别为 27.7、23.4 和 19.1 cm/s。

水池上方约 2 m 的屋顶横梁悬挂安装有 4 个高清摄像头(型号为 AN-50W3H),实验区两端池底固定 2 个水下探头(型号 GW0106),分别用于垂直和水平方向的监控和观察。6 个探头均通过线缆连接放置在水池外 3 m 处的控制电脑(方正飞越 V580-5201),可无干扰地监控并记录水池实验区的黑鲷行为。

流速使用 ALEC-QL1X3061 流速仪对水池内多个定点的测量来确定实验区的流速分布。

## 1.2 实验鱼种

选取实验鱼种为自然海区深水网箱中养殖的黑鲷幼鱼共 44 尾,先将其暂养于另一水池中 3 d,期间投喂饲料,以新鲜鱼肉为主,待实验开始时,随机选择其中的 32 尾(体长:16.7~25.1 cm,体重:20.4~29.6 g,均叉长:21.5 cm,均体重:26.5 g)进行实验。

## 1.3 礁体的矩形间隙

选取混凝土材质的长方体 4 块作为特征礁体,代表实际人工鱼礁内部单个梁柱体,规格为  $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$ 。利用特征礁体的不同组合来表征人工鱼礁矩形间隙的大小,在礁体放置区内,取 2 块特征礁体平放并进行架空(高度分别为 10、15、20 cm),以此来表征实际礁体的垂直矩形间隙;同样在礁体放置区内,分别以等间距竖直放置 4 礁体、3 礁体、2 礁体(礁间距分别为 28、38.8、56.7 cm),以此来表征实际礁体的水平矩形间隙。

## 1.4 实验方法

**鱼类行为观察记录** 通过悬挂在水槽上方的摄像头来观察黑鲷幼鱼的趋礁行为。根据礁体影响区域大致为礁体宽度的 10~12 倍,将摄像头的摄像区域确定为距离礁体放置区前后 1.5 m 范围,而大于该范围的区域视为远礁区不作观察。实验时间固定为每天上午 8:00-11:00,下午 13:00-16:00,按照垂直间距 10、15、20 cm、水平间距 28、38.8、56.7 cm 的顺序依次进行。实验开始后,同时开启 4 台水上摄像头和 2 台水下摄像头,对水槽内黑鲷幼鱼的行为和分布进行实时监控。每隔 1 分

钟截取一次图像,共截取 50 张图像。

**流速测定** 为了防止鱼类行为受到干扰,流速测定选择在实验结束之后进行。在实验区域内选择 40 个固定点来测定流速,设置 ALEC 流速仪为每秒钟记录一次数据,周期为 1 min。将得到数据取平均值作为该点的流速。通过开启不同的水泵组合来实现速度的变换,对应的来流流速分别为:19.1、23.4 和 27.7 cm/s。

**数据处理方法** 利用 PowerPoint 将截取的 4 张图像进行拼接,以使图像对应于实验区域中的相应位置。利用 gri 软件画出实验区域平面图,将鱼类在水槽中的位置用黑点表示出来,并将坐标记录下来。利用 surfer 软件画出流速等值线图,插值法求出每一坐标下的流速,利用 sigmaplot 软件画出流速正态分布图,从而求出鱼类的喜好流速范围。最后利用 excel2003 进行数据处理,SPSS 16.0 软件进行独立样本  $t$  检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑鲷幼鱼对不同水平间距分布率的变化

设图 2 中左半边区域为礁体前方,右半边区域为礁体后方,水流方向为从左至右。黑鲷幼鱼在不同水平间距情况下的分布率为:前区:56.7 > 38.8 > 28(cm);后区:28 > 38.8 > 56.7(cm)(图 3)。这表明在一段稳定的时间内,随着礁体间距的缩小,黑鲷幼鱼的分布范围会逐渐从礁体前方过渡到礁体后方。通常,鱼礁投放到海区后,在海流的作用下,一般会在礁体后方位置产生一定的紊流,该地方的流态变化也比较复杂。礁体的水平间距越小,在礁体后方区域的流速越快,流态越复杂,II型鱼类就是根据流速流态的改变而选择栖息地点的。从本实验结果来看,黑鲷幼鱼的分布范围也是由礁体间距的缩小而发生转移的,这也验证了II型鱼类喜好流态变化较复杂的区域栖息的理论。

### 2.2 黑鲷幼鱼对礁体水平间距的选择性

因条件限制,本实验只讨论了水平间距为 28、38.8、56.7 cm 情况下,黑鲷幼鱼的趋礁性反应。水泵开启以后,黑鲷幼鱼先是产生应激性反应,鱼头全部趋向于来流方向,并随着流速的增大而不断向来流方向游动。当流速趋于稳定后,黑鲷幼鱼开始以群体为单位(一般 5~9 条为一单位群体)游走于实验区域,寻找合适的栖息地点。大约 10 min 以后,黑鲷幼鱼行动趋于稳定,并在

某一区域长时间驻留。黑鲷幼鱼在不同水平间距下的平均趋礁率大小为 38.8 cm(43.1%) > 56.7 cm(41.5%) > 28 cm(40.6%)。尽管当水平间距设置为 38.8 cm 时,黑鲷幼鱼的趋礁率比其他两种情况高 2% ~ 3%,但是和其他两种情况相比差

异并不显著(分别为  $P = 0.108 > 0.05$ ;  $P = 0.796 > 0.05$ );当水平间距设置为 56.7 cm 和 28 cm 时,相互之间差异也不显著( $P = 0.147 > 0.05$ )。这说明在礁体间距 28 ~ 56.7 cm 范围内,黑鲷幼鱼对水平间距的变化没有选择性(图 4)。

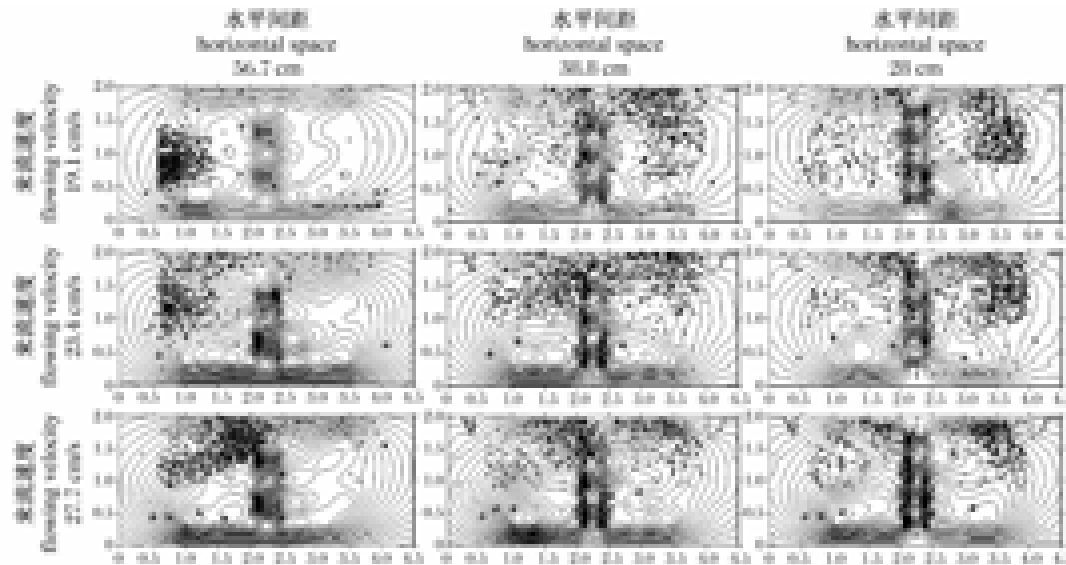


图2 黑鲷幼鱼的分布

Fig. 2 The distribution of juvenile *S. macrocephalus* in tank

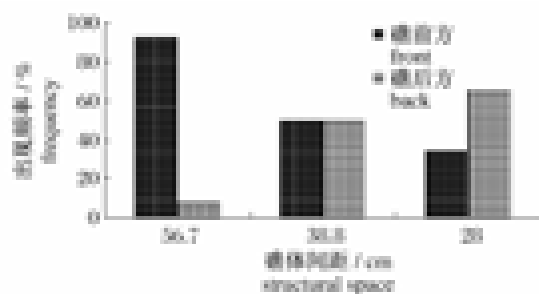


图3 黑鲷幼鱼在礁体前后方出现频率

Fig. 3 Appearance frequency of juvenile *S. macrocephalus* in front or back of reefs

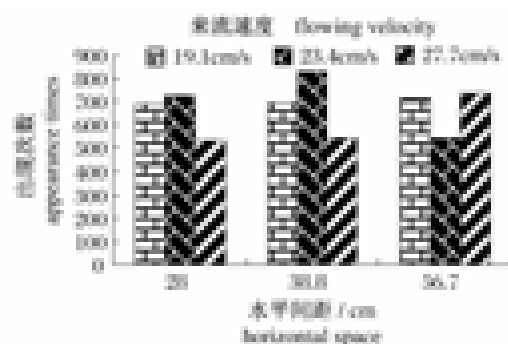


图4 黑鲷幼鱼在不同水平间距下的出现次数

Fig. 4 Appearance times of juvenile *S. macrocephalus* under different types of structure condition

### 2.3 黑鲷幼鱼在礁体水平间距下的喜好流速

黑鲷幼鱼在三种不同礁体间距(28、38.8和56.7 cm)情况下的分布位置是不同的,因为II型鱼类主要是根据礁体周围流速流态的变化而选择栖息地点的,在来流速度为 19.1 ~ 27.7 cm/s、礁体水平间距为 28 ~ 56.7 cm 情况下,黑鲷幼鱼的喜好流速成正态分布,在 95% 置信区间内的喜好流速范围为 9.6 ~ 23.4 cm/s(图 5)

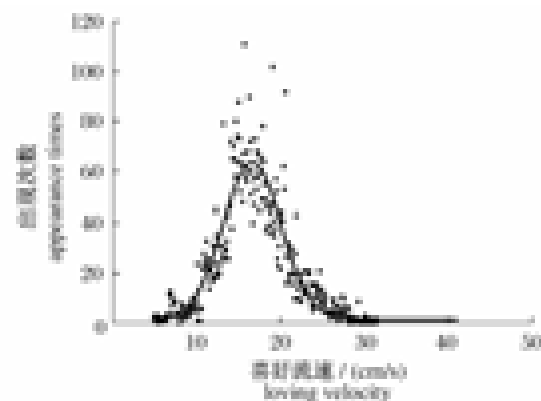


图5 黑鲷幼鱼的喜好流速正态分布

Fig. 5 Normal distribution of velocity with juvenile *S. macrocephalus*

## 2.4 黑鲷幼鱼对不同垂直间距分布率的变化

黑鲷幼鱼在不同垂直间距下,在礁体前后区的分布率大小分别为:前区 20 cm > 15 cm > 10 cm;后区 10 cm > 15 cm > 20 cm。这类似于水平间距下黑鲷幼鱼的分布情况,但水平间距下黑鲷在前区的分布率变化为 92.7% ~ 34.7%,后区的分布率变化为 65.3% ~ 7.3%;而垂直间距下黑鲷幼鱼在前区的分布率变化为 62.7% ~ 37.9%,

后区的分布率变化为 62.1% ~ 37.3% (图 3、图 7),无论前区还是后区,在水平间距下黑鲷幼鱼的分布率变化都要大于在垂直间距下的分布率变化,这说明当间距变化范围较大时(56.7 ~ 28 cm),黑鲷幼鱼的分布区域变化也大,这也间接说明了礁体间距改变会对黑鲷幼鱼分布范围产生影响。

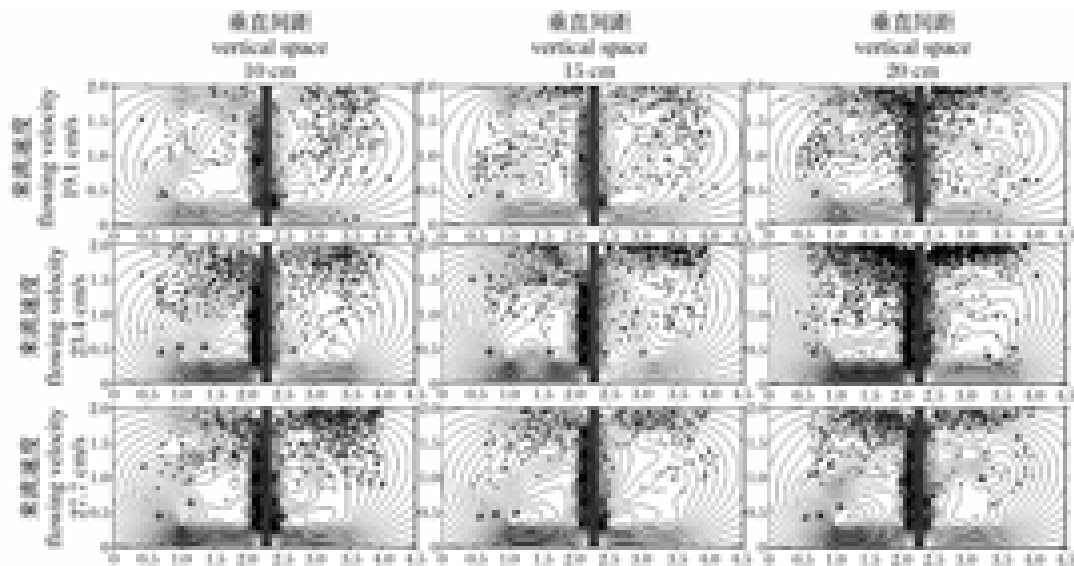


图 6 黑鲷幼鱼的分布图

Fig. 6 The distribution of juvenile *S. macrocephalus* in tank

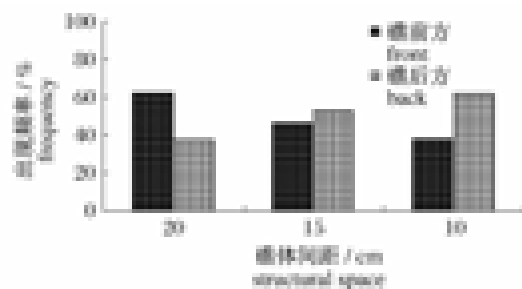


图 7 黑鲷幼鱼在礁体前后方出现频率

Fig. 7 Appearance frequency of juvenile *S. macrocephalus* in front or back of reefs

## 2.5 黑鲷幼鱼对礁体垂直间距的选择性

实验开始后,黑鲷幼鱼的行为特征类似于礁体间距设置为水平,同样是在开启水泵 10 min 后,鱼类开始长时间驻留某地,但黑鲷幼鱼的栖息地点更接近于礁体下方。黑鲷幼鱼在不同垂直间距下的趋礁率大小分别为:20 cm (50.1%) > 10 cm (31.1%) > 15 cm (24.6%) (图 8)。当礁体垂直间距设置为 20 cm 时,黑鲷幼鱼的趋礁率最大,分别与另外两种情况具有显著差异 ( $P < 0.05$ )。而当礁体垂直间距设置为 10

cm 和 15 cm 时,两者同样具有显著差异 ( $P < 0.05$ )。由此可知,礁体垂直间距变化对黑鲷幼鱼的影响很大,在间距变化仅为 5 cm 情况下,趋礁性差异仍然十分显著。

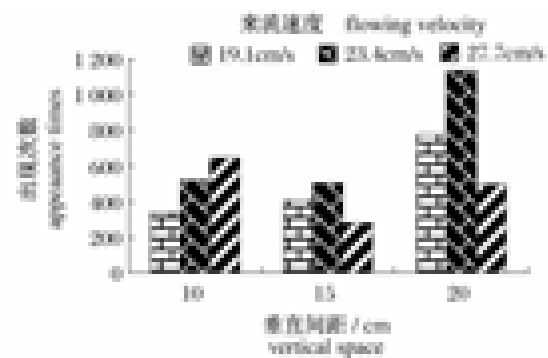


图 8 黑鲷幼鱼在不同垂直间距下的出现次数

Fig. 8 Appearance times of juvenile *S. macrocephalus* under different types of structure condition

## 2.6 黑鲷幼鱼在礁体垂直间距下的喜好流速

在礁体垂直间距设置为 10、15、20 cm 情况下,黑鲷幼鱼分布区域较多集中在礁体附近下方,在较

小间距下,礁体所产生的流态变化也比较复杂,也就导致了黑鲷幼鱼在垂直间距下的喜好流速变化较大,范围也比较宽广。在来流速度为 19.1~27.7 cm/s、礁体垂直间距为 10~20 cm 情况下,黑鲷幼鱼的喜好流速也大致服从正态分布,95% 置信区间内的喜好流速范围为 6.7~27.9 cm/s(图 9)。

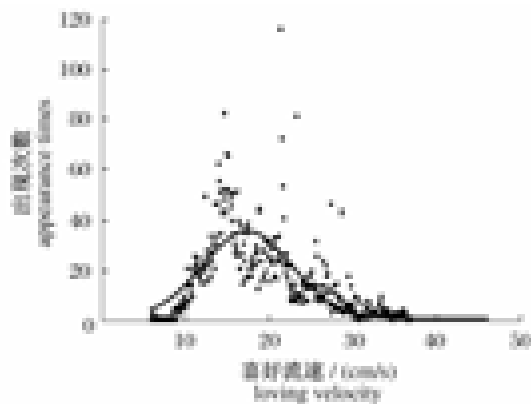


图 9 黑鲷幼鱼喜好流速正态分布图

Fig. 9 Normal distribution of velocity with juvenile *S. macrocephalus*

### 3 讨论

#### 3.1 人工礁体对鱼类的诱集效果的探讨

国内外关于人工鱼礁的集鱼效果研究比较少,有学者曾经于 20 世纪 60~70 年代做过类似研究<sup>[2-4]</sup>,主要是人工鱼礁对近海鱼类聚礁行为的一系列水槽实验。20 世纪初我国学者也开始了鱼类趋礁行为的研究<sup>[5-11]</sup>,研究了不同类型人工鱼礁模型对牙鲆、许氏平鲉幼鱼及一些底栖生物的诱集效果,结果表明鱼礁模型对这些生物具有明显的聚集效果。

从实验方法上看,这种研究方法只局限于静水条件下的礁体模型实验,不能从根本上反应出礁体结构对鱼类行为产生影响。礁体模型是由实际投放人工鱼礁按等比例缩小而成,其礁体内部间距同样也被等比例缩小。对于鱼类本身来说,穿越一个 30 cm 宽度的结构间隙易如反掌,但是结构间距如果按等比例缩小为 3 cm,那么原先可以穿越的结构间隙就变得不可穿越,从而大大影响了实验结果的准确性。本实验正是利用特征礁体不同组合来表征人工鱼礁结构间隙的大小,从根本上解决了模型礁体结构不能反映现实礁体结构的缺陷。本实验分别设置了 6 种不同礁体间距来反应现实鱼礁的结构间距大小,这些间距的选

择并无任何理论依据,主要是考虑到了现场环境条件的限制和鱼类本身的大小。

#### 3.2 人工鱼礁流场效应对鱼类行为的影响

人工鱼礁投放到海区之后,受到海流的影响,礁体周围水体的压力场随之发生变化,流场重新分布并形成新的流场效应<sup>[12-13]</sup>。礁体的形状和结构千差万别,决定了其所产生的流态也是极其复杂的。而在海域中生活得鱼类大多具有趋流性,当外界流向和流速变化时以便随时调整自身的游泳方向和游速,而使自身保持逆流游泳状态<sup>[14]</sup>,特别是对于在礁体周围活动的 II 型鱼类更是如此,研究 II 型鱼类在流场作用下的喜好流速范围对于人工鱼礁的内部结构设计及趋礁性鱼类的游泳能力研究都具有十分重要的意义。

为了使实验条件更加接近于现实,本实验观察了有流条件下,礁体周围产生的流场以及鱼类的趋礁行为。根据实际投放人工鱼礁的海域平均流速以不超过 1.5 nmile/h(约 77 cm/s)的原则<sup>[1]</sup>,并考虑到浙江人工鱼礁投放区的平均流速大约为 20~30 cm/s,确定使用三种不同的水泵组合来产生流速,测得来流速度分别为 19.1、23.4 和 27.7 cm/s。本实验设置的水流方向均为逆时针,而没有进行顺时针方向的对比实验,对实验结果会有一些影响。建议今后的实验要考虑水流的顺、逆时针两种实验情况,并将实验结果进行对比以提高结果的精确性。

本实验鱼种—黑鲷喜欢在岩礁和沙泥底质的清水中生活,并经常在海底岩礁周围觅食,这主要是由于岩礁附近流态变化复杂,并且易于捕食。从本实验结果看,黑鲷幼鱼随着礁体结构间距的缩小而逐渐向礁体后方移动,礁体后方区域的流态变化往往更加复杂,这也与黑鲷的生活习性相一致。实验水动力装置—水泵具有价格低廉、操作简便、产生流速变化多端等特点,建议在今后的相关实验中可以考虑以此作为动力装置,并根据当地海区的实际情况灵活地利用水泵的组合使之产生合理的来流速度,从而使得实验研究更具有可信性。

#### 3.3 海洋其他环境因子对鱼类行为的影响

海洋环境中的光、温度是影响鱼类分布和行为的两大重要因素。鱼类的游动趋向于选择适宜的光照强度和水温<sup>[15-16]</sup>。光照强度不适宜,鱼类表现出趋光、避光等行为。水温不适宜,鱼类表现出行动迟缓、摄食减少等行为<sup>[17-19]</sup>。从本实验结

果中可看(图2、图6),无论是垂直间距实验还是水平间距实验,黑鲷幼鱼总体偏向于在水槽内部靠近隔离板处聚集,而靠近池壁处则很少有黑鲷幼鱼出现,这主要是由于光照度分布不均所致。实验水槽的池壁紧挨着窗口,光线比较充足,而往水槽隔离板方向的光线逐渐减弱,致使黑鲷幼鱼偏向于贴靠中央隔离板方位游动。从实验结果上看,光照强度确实对鱼类的趋礁行为产生影响,这也是本实验设计的欠缺之处。如何能够在消除光照影响的情况下进行鱼类趋礁行为的水槽实验,这也是今后的实验设计者需要慎重考虑的问题。

本实验是在春季进行,实验水温变化为11.5~13.8℃,较低的环境温度会对黑鲷的生殖和觅食活动产生影响<sup>[19-20]</sup>。实验选择在8:00-16:00期间进行就是为了消除温度的变化对黑鲷幼鱼趋礁行为的影响。

声响也是影响鱼类行为不可忽略的一个因素,鱼类在一定频率声响的刺激下,会表现出逃避或者趋近行为。本实验水泵开启时会产生很大的噪音,必然对黑鲷幼鱼的行为产生影响,在实验开始前提前将水泵开启,使鱼适应噪音10 min,会有效消除水泵噪音对鱼类趋礁行为的影响。从实验结果来看,无论是垂直间距实验还是水平间距实验。黑鲷幼鱼偏向于停留的区域都是在靠近水泵的内侧区域,也证明了水泵产生的噪音没有“吓到”黑鲷幼鱼。

本实验并没有对上述环境因子进行定量分析,对实验结果也有一定影响。以后实验者的工作重点便是环境因子与鱼类趋礁行为之间的定量关系研究,以便从更深层次上探讨影响鱼类趋礁行为外界环境因素。

感谢浙江省海洋水产研究所为本实验提供的实验场地,感谢周应祺教授对本实验进行的理论指导,感谢陈清满、刘卫云两位同学在实验过程中给予的大力帮助。

#### 参考文献:

- [1] 杨吝,刘同渝,黄汝堪. 中国人工鱼礁的理论与实践[M]. 广州:广东科技出版社,2005.
- [2] 小川良德,竹村嘉夫. 人工鱼礁に対する鱼群行动の试验的研究 I - VI[J]. 东海水研报,1966(45):107-161.
- [3] 小川良德. 人工鱼礁と鱼付き:人工鱼礁とその効果[J]. 水増殖臨,1968(7):1-21.
- [4] 岗本峰雄,黑木敏郎. 人工鱼礁近傍の鱼群生 〇に關する予備的研究 - 猿島北方鱼礁群の概要[J]. 日本水学会誌,1979,45:709-713.
- [5] 吴静,张硕,孙满昌,等. 不同结构的人工礁模型对牙鲆的诱集效果初探[J]. 海洋渔业,2004,26(4):271-276.
- [6] 张硕,陈勇,孙满昌. 光强对刺参行为特性和人工礁模型集参效果的影响[J]. 中国水产科学,2006,13(1):20-27.
- [7] 陈勇,吴晓郁,邵丽萍,等. 模型礁对幼鲍,幼海胆行为的影响[J]. 大连水产学院学报,2006,21(4):361-365.
- [8] 陈勇,于长清,张国胜,等. 人工鱼礁的环境功能与集鱼效果[J]. 大连水产学院学报,2002,17(1):64-69.
- [9] 陈勇,刘晓丹,吴晓郁,等. 不同结构模型礁对许氏平鲈幼鱼的诱集效果[J]. 大连水产学院学报,2006,21(2):153-157.
- [10] 张硕,孙满昌,陈勇. 人工鱼礁模型对大龙六线鱼和许氏平鲈幼鱼的个体诱集效果[J]. 大连水产学院学报,2008,13(1):13-19.
- [11] 张硕,陈勇. 黑鲷幼鱼趋流性初步分析[J]. 上海水产大学学报,2005,14(3):282-287.
- [12] 何国民,曾嘉,梁小芸. 人工鱼礁建设的三大效益分析[J]. 中国水产,2001,5:65-66.
- [13] 李冠成. 人工鱼礁对渔业资源和海洋生态环境的影响及相关技术研究[J]. 海洋学研究,2007,25(3):93-102.
- [14] 何大仁. 鱼类行为学[M]. 厦门:厦门大学出版社,1998:141-145,216-235.
- [15] 周显青,牛翠娟,李庆芬. 光照对鱼类生理活动影响的研究进展[J]. 生态学杂志,1999,18(6):59-61.
- [16] Sekine M, Imai T, Ukita M. A model of fish distribution in rivers according to their preference for environmental factors [J]. Ecological Modelling, 1997,104:215-230.
- [17] Britz P J, Hecht T, Mangold S, et al. Effect of temperature on growth, feed consumption and nutritional indices of *Halibut midae* fed a formulated diet[J]. Aquaculture,1997,152:191-203.
- [18] Jain K E, Farrell A P. Influence of seasonal temperature on the repeat swimming performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Journal of Experimental Biology,2003,206:3569-3579.
- [19] 孙耀,张波,陈超,等. 黑鲷的生长和生态转换效率及其主要影响因素[J]. 海洋水产研究,1999,20(2):7-11.
- [20] 孙耀,张波,郭学武,等. 温度对黑鲷能量收支的影响[J]. 生态学报,2001,21(2):187-190.

## Experimental study on the juvenile *Sparus macrocephalus*'s tendency to different structural spaces of artificial reef

WANG Miao<sup>1</sup>, ZHANG Shou-yu<sup>1\*</sup>, WANG Wei-ding<sup>2</sup>, YU Bao-cun<sup>2</sup>

(1. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Zhejiang Marine Fishery Research Institution, Zhoushan 316100, China)

**Abstract:** In order to find out how the structural space of artificial reefs influence fish behavior, we used the combination of different representative reefs to simulate the structural space of artificial reefs, under the different flowing velocity of 19.1, 23.4, and 27.7 cm/s. This paper discussed how the different sizes of structural space influence the distribution of juvenile *Sparus macrocephalus* in tank, and summarized the range of loving flowing velocity of juvenile *S. macrocephalus*. The result shows that when the horizontal size of structural space is 38.8 cm, the juveniles *S. macrocephalus* have a highest tendency ratio to reefs (43.1%) compared with other cases, and the range of loving flowing velocity is 9.6–23.4 cm/s; when the vertical size of structural space is 20 cm, the juveniles *S. macrocephalus* have a highest tendency ratio to reefs (50.1%) compared with other cases, and the range of loving flowing velocity is 6.7–27.9 cm/s. On the whole, the horizontal structural space has a higher effect of gathering fishes compared with the vertical structural space.

**Key words:** *Sparus macrocephalus*; artificial reefs; structural space; flowing velocity

**Corresponding author:** ZHANG Shou-yu. E-mail: syzhang@shou.edu.cn