

文章编号: 1004 - 7271(2005)03 - 0282 - 06

## 黑鲷幼鱼趋流性的初步研究

张 硕<sup>1</sup>, 陈 勇<sup>2</sup>

(1. 上海水产大学海洋学院, 上海 200090; 2. 大连水产学院海洋工程学院, 辽宁 大连 116023)

**摘 要:**在垂直循环回流水槽中对黑鲷(*Sebastes fuscescens*)幼鱼个体的趋流性进行了统计分析。实验测定黑鲷幼鱼个体的感应流速为 0.10~0.15 m/s, 喜爱流速为 0.20~0.45 m/s, 极限流速为 0.6~0.7 m/s。用线性回归的方法对流速与体长的关系进行了统计分析, 并应用  $t$  检验的方法对相关进行了显著性分析, 结果表明,  $t_{\text{喜爱流速}} = 31.06 > t_{0.01}(23) = 2.81$ ;  $t_{\text{极限流速}} = 47.71 > t_{0.01}(23) = 2.81$ , 因此, 可以认为喜爱流速和极限流速与体长的相关关系是极显著的。为从触觉角度和鱼类的趋性对黑鲷的聚礁机理研究提供参考。

**关键词:**黑鲷; 人工鱼礁; 集鱼效果; 鱼类行为; 趋流性

中图分类号: S 953.1 文献标识码: A

## Preliminary study on the rheotaxis of juvenile *Sebastes fuscescens*

ZHANG Shuo<sup>1</sup>, CHEN Yong<sup>2</sup>

(1. Ocean College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. Ocean College, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Under the condition on the laboratory, with the behaviouristics method, a study on the rheotaxis of the juvenile *Sebastes fuscescens* was carried out in vertical recirculating water flume. During the experiment, the induction, the sustainable, the limit velocity of individual *Sebastes fuscescens* were measured as 0.10~0.15 m/s, 0.2~0.45 m/s, 0.55~0.7 m/s respectively. With the method of linear regression, the correlativity of body length and velocity was analysed and the difference of correlativity was tested by the method of  $T$ -test. The results showed that  $t_{sv} = 31.06 > t_{0.01}(23) = 2.81$ ;  $t_{lv} = 47.71 > t_{0.01}(23) = 2.81$ , so the correlativity of the sustainable and limit velocity of individual *Sebastes fuscescens* with the body were both length was extremely remarkable. The experiment aimed at providing reference for the study of the mechanism of *Sebastes fuscescens* attractiveness to artificial reef in terms of sense of touch and the tropism.

**Key words:** *Sebastes fuscescens*; artificial reef; attractive effect; fish behavior; rheotaxis

生活在流水中的鱼类大多具有趋流性, 它们能根据水流方向和流速随时调整自身的游泳方向和流速, 使自身保持逆流游泳状态或长时间地停留在某一特定位置<sup>[1]</sup>。研究鱼类趋流性对于了解和分析鱼类的习性特征, 尤其是对于洄游性和岩礁性鱼类, 以及人工鱼礁渔场的形成和人工鱼礁的集鱼机理方面的研究具有十分重要的意义。安永义畅等<sup>[2-5]</sup>通过水槽实验研究了人工鱼礁的设置对真鲷

收稿日期: 2004-10-08

基金项目: 上海水产大学捕捞学重点学科基金和研究生科研基金(科 04-111, 科 04-55), 辽宁省科技厅科技攻关项目(2002023003)

作者简介: 张 硕(1976-), 男, 天津市人, 博士研究生, 专业方向为人工鱼礁及其生态效应。Tel: 021-65710835; E-mail: suresg@sina.com.cn

通讯作者: 陈 勇(1956-), 男, 辽宁大连人, 博士, 教授, 从事人工鱼礁和海洋牧场工程研究。E-mail: chen Yong@dlfu.edu.cn

(*Pragrosomus major*) 和日本竹筴鱼 (*Trachurus japonicus*) 等趋流性影响。今井義弘等<sup>[6]</sup>对远东多线鱼 (*Pleurogrammus azonus* Jordan et Metz) 和六线鱼 (*Hexagrammos otakii* Jordan et Starks) 等在回流水槽中进行趋流性和耐流性的研究。何大仁<sup>[1]</sup>报道了几种淡水鱼的趋流性。但对野生黑鲷 (*Sebastes fuscescens*) 幼鱼趋流性的研究, 目前还未见报道。黑鲷是典型的岩礁性鱼类, 研究它的趋流性和游泳行为对于探讨人工鱼礁的集鱼机理及适宜其栖息的人工鱼礁具有十分重要的意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

供试鱼为 2004 年 5 月 25 日在大连海域捕获的 60 尾野生黑鲷 (*Sebastes fuscescens*) 幼鱼, 实验开始前在实验室暂养半个月, 期间投喂新鲜的小杂鱼, 水温 18~20 °C。而后选择其中的 25 尾鱼(表 1) 进行实验。实验时间为 6 月 10 日到 7 月 15 日, 期间水温 19.5~22 °C, 盐度 33.5~34, pH7.9~8.1, 水槽中央照度保持在 1000 lx 左右(光线不足用 40 W 日光灯补充), 实验前日停止投喂。

实验水槽为长 255 cm, 高 110 cm, 宽 32 cm 的垂直循环回流水槽。实验观测部分长 100 cm, 宽 25 cm, 高 25 cm。流速采用 KENEK VR-201H 便携式直读流速仪测量。

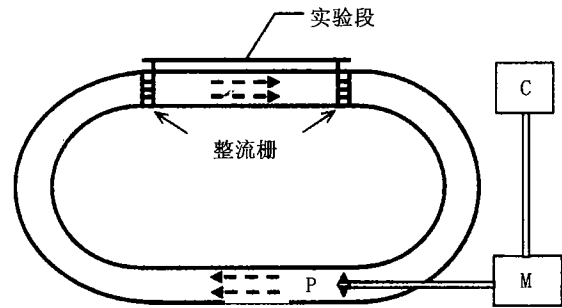


图 1 垂直循环回流水槽示意图

Fig.1 Schematic drawing of vertical recirculating water flume  
C- 流速控制面板; M- 调频电机; P- 螺旋桨

表 1 实验鱼的形态学测量数据

Tab.1 Morphometric data for each of the *Sebastes fuscescens* (Schlegel's black rockfish)

实验组	项目	1 #	2 #	3 #	4 #	5 #	平均值
A	体长 (cm)	8.13	8.65	8.77	8.90	8.86	8.662
	体重 (g)	13.61	16.05	17.82	17.08	18.03	16.518
B	体长 (cm)	9.22	9.25	9.71	9.29	9.86	9.466
	体重 (g)	17.23	19.6	21.42	20.81	22.84	20.380
C	体长 (cm)	10.31	10.34	10.47	10.39	10.73	10.448
	体重 (g)	25.25	25.85	28.81	27.88	30.06	27.570
D	体长 (cm)	11.11	11.26	11.19	11.32	11.68	11.312
	体重 (g)	30.48	36.21	36.87	37.63	41.02	36.442
E	体长 (cm)	11.82	11.96	12.12	12.18	12.45	12.106
	体重 (g)	40.68	42.05	44.03	46.13	48.86	44.350

### 1.2 实验方法

实验前一天将鱼放在水槽中进行适应性驯化, 每次选择一尾鱼作为实验对象, 让其适应 5~10 min, 而后开始调整流速, 流速调整范围为: 0~0.75 m/s, 流速梯度设置为 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.25, 0.35, 0.45, 0.60, 0.75 m/s。分别测定鱼的感应流速、喜欢流速和极限流速<sup>[1]</sup>。实验期间为减少外界干扰, 用布将观测段遮挡, 实验记录为两台与计算机相连的红外一体摄像机, 从观测段的正面和侧面分别对实验鱼进行监控。每个梯度的实验时间一般控制在 60 min 之内。每进行完一个梯度的实验, 在进行下一个梯度的实验之前让鱼有 20~30 min 的恢复时间(0 梯度除外)。

### 1.3 实验指标

感应流速又称起点流速, 是指鱼类刚刚能够产生反应的流速值。喜欢流速是指鱼所能克服的各种流速值中对于它们的游动最为适合的某一流速范围<sup>[1]</sup>, 本实验中, 以鱼能在该流速下持续游泳 40~60

min 为标准。极限流速又称临界流速,是指鱼类所能克服的最大流速<sup>[1]</sup>,本实验中,以鱼能在该流速下持续游泳 1 min 左右为标准。

尾鳍振动频数是以开始实验后 5 min 内的尾鳍往返振动次数作为依据来计算<sup>[7-9]</sup>。

鱼头方向逆向水流方向百分比(趋流率)  $F(\%) = \sum n_i / N_j$ , 式中  $n_i$  指第  $i$  ( $i = 1 \dots, 5$ ) 条实验鱼的鱼头方向逆向水流方向在实验过程中的次数(每 10 s 观察记录一次,实验时间为 60 min),  $N_j$  指实验组( $j = A \dots, E$ )在实验期间总的观察次数。

鱼在水槽前半部分出现的百分比,即分布率:是指在整个实验过程中,在水槽前半部分停留时间与总时间的比值。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 趋流性分析

供试鱼在不同的流速下趋向来流方向的关系如图 2 所示,从图中可以看出,A、B、C、D、E 五组鱼在无流或流速较低的情况下,趋流率在 40% 左右,比较低,而且各组的趋流率波动比较大。当流速达到 0.1 m/s 时,各组实验鱼趋流率已经接近 80%,随着流速的增加各组鱼趋流率不断增加,当流速达到 0.6 m/s 时,趋流率接近 100%。

实验中对 A、B、C、D、E 五组鱼中相应的 1# 和 2# 鱼在不同流速下对其尾鳍振动频数做了统计,如图 3~7 所示。从图中可以看出在流速小于 0.1 m/s 情况下,各组实验鱼尾鳍振动频数为 0~0.30 次/s,当流速为 0.1~0.15 m/s 时,鱼尾鳍振动频数为 0.35~0.85 次/s;当流速为 0.2~0.45 m/s 时,鱼尾鳍振动频数为 0.75~1.85 次/s;当流速为 0.55~0.7 m/s 时,鱼尾鳍振动频数为 2.2~3.5 次/s。可见随着流速的增加尾鳍振动频数在不断的增加。从图 3~7 中曲线上升的趋势可以看出当流速为 0.6~0.7 m/s 时,尾鳍振动频数上升的趋势更加明显且幅度也比较大。

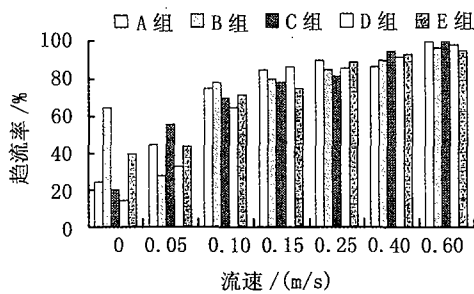


图 2 鱼头部的趋流率

Fig.2 Frequency of individual direction of the head against the current

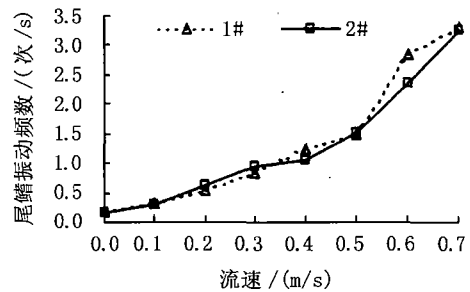


图 3 A 组鱼尾鳍在不同流速下的振动频数

Fig.3 The caudal fin beating frequency of group A at different velocity

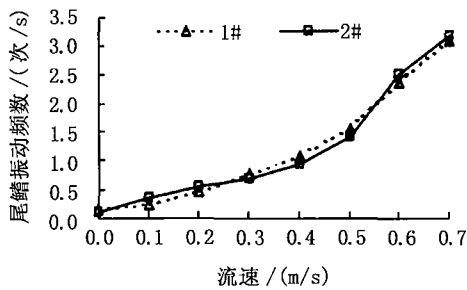


图 4 B 组鱼尾鳍在不同流速下的振动频数

Fig.4 The caudal fin beating frequency of group B at different velocity

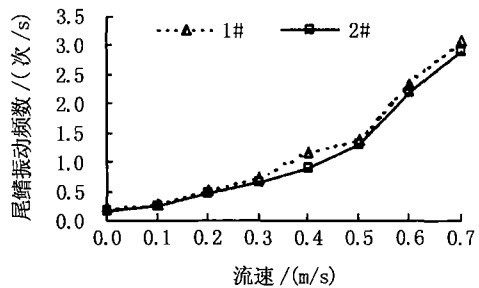


图 5 C 组鱼尾鳍在不同流速下的振动频数

Fig.5 The caudal fin beating frequency of group C at different velocity

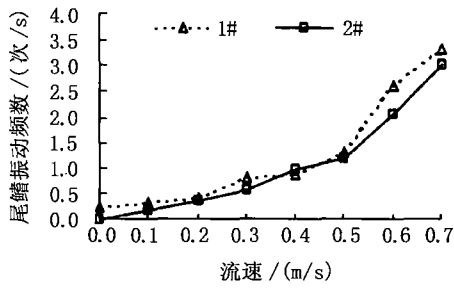


图 6 D 组鱼尾鳍在不同流速下的振动频数  
Fig.6 The caudal fin beating frequency of group D at different velocity

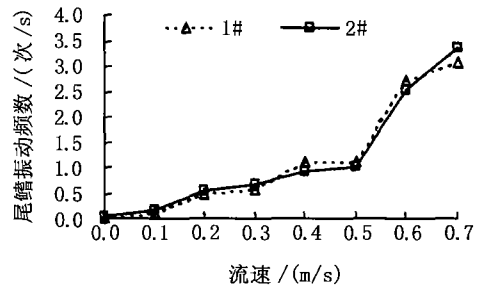


图 7 E 组鱼尾鳍在不同流速下的振动频数  
Fig.7 The caudal fin beating frequency of group E at different velocity

### 2.2 顶流能力分析

鱼的顶流能力可以通过水流与各组供试鱼在水槽前半部分的分布率关系,以及供试鱼在不同流速下的持续游泳时间来反映。如图 8 所示,从图中可以看出流速在 0~0.05 m/s 时,各组鱼在水槽前半部分分布率波动比较大而且比较低。随着流速增加鱼在水槽前半部分的分布率逐渐变大,流速为 0.25~0.35 m/s 时,分布率达大都超过 80%,最大已接近 100%,而后随着流速的增加分布率在逐渐减小。当流速为 0.6~0.7 m/s 时,分布率下降到 20% 以下。

不同流速下各组实验鱼的持续游泳时间如图 9 所示,从图中可以看出五组鱼在流速小于 0.2 m/s 时的持续游泳时间都在 60 min 左右,且随着流速的增加在逐渐下降,但各组鱼的起始下降点的流速值又不尽相同。当流速超过 0.6 m/s 时持续游泳时间达到极低水平,一般都在几分钟甚至几秒钟。由此可见,当流速达到 0.6 m/s 时,几乎达到了实验鱼的承受极限。

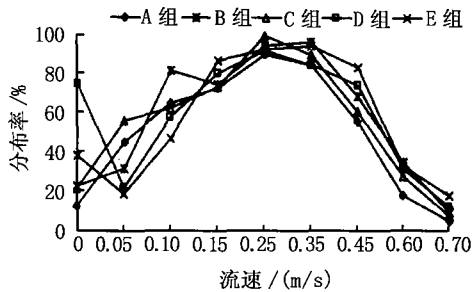


图 8 不同流速下各组鱼在水槽前半部分的分布率  
Fig.8 The ratio of distribution in the front of the half of the fish of group A, B, C, D, E at different velocity

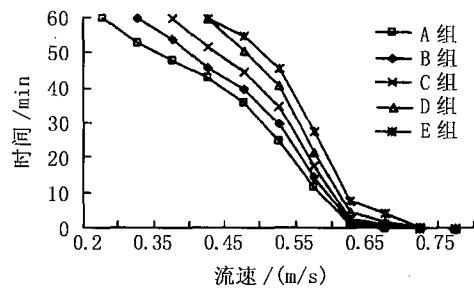


图 9 不同流速下各组鱼持续游泳的时间  
Fig.9 The time of sustained swimming of group A, B, C, D, E in different velocity

### 2.3 鱼的喜欢流速和极限流速分析

从图 10 可以看出,实验鱼的喜欢流速范围为 0.2~0.45 m/s,而且鱼的喜欢流速范围是随着体长的增加而增加。图 11 为鱼体长与极限流速的关系,实线为实测值,虚线为应用经验公式  $V = (5 \sim 6)L/s$  ( $L$  为体长,这里取  $5.5 L/s$  来计算)计算所得的理论值。从图中可以得出,实验鱼的极限流速范围为 0.55~0.7 m/s。实验鱼的极限流速值总的趋势也是随着体长的增大而增加,且实测值与理论计算值基本吻合。图 12 和 13 分别为喜欢流速、极限流速与体长的线性和乘幂回归分析,分析的结果表明,喜欢流速与体长的线性回归关系式为:  $V = 0.3015 L (R^2 = -33.255)$ ;乘幂回归的关系式为:  $V = 4.4125 L^{-0.1394} (R^2 = 0.5351)$ ;但线性回归的相关系数为负,而乘幂回归的相关系数为正,表明用乘幂回归曲线形式来拟合体长与喜欢流速之间相关关系比用线性回归更合适,因而,本实验采用乘幂回归的曲线形式来拟合

体长与喜欢流速之间的相关关系。同样,极限流速与体长的回归分析也表明:采用乘幂回归的曲线形式来拟合体长与极限流速之间相关关系比线性回归更合适,因而,实验采用了乘幂回归关系式: $V = 19.295 L^{-0.4849}$  ( $R^2 = 0.9887$ )。对相关系数应用  $t$  检验法进行检验得出: $t_{\text{喜爱流速}} = 31.06 > t_{0.01}(23) = 2.81$ ;  $t_{\text{极限流速}} = 47.71 > t_{0.01}(23) = 2.81$ ,因此,喜欢流速和极限流速与体长的相关关系是显著的。

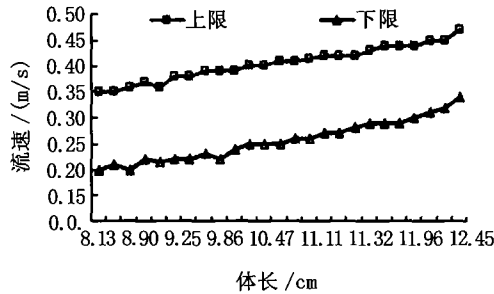


图 10 体长与喜欢流速的关系

Fig. 10 The relationship of body length and sustainable velocity

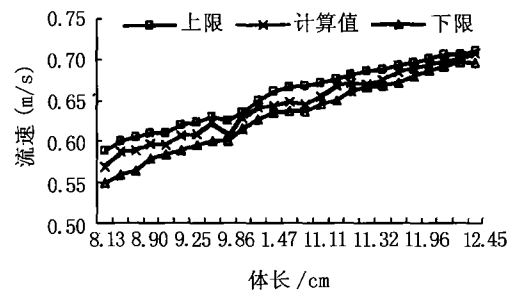


图 11 体长与极限速度的关系

Fig. 11 The relationship of body length and maximum achievable velocity

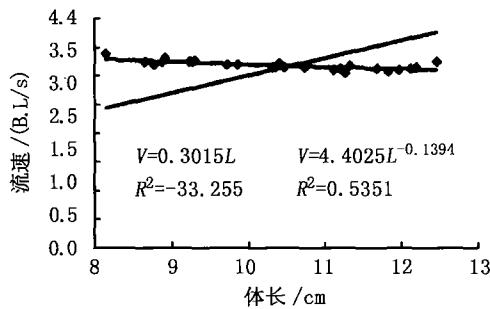


图 12 体长与喜欢流速的相关关系

Fig. 12 The correlativity of body length and sustainable velocity

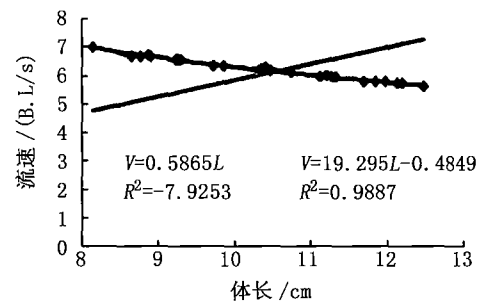


图 13 体长与极限流速的相关关系

Fig. 13 The correlativity of body length and maximum achievable velocity

### 3 讨论

鱼逆流而游,头部顶流的行为称为趋流性<sup>[10]</sup>,它几乎是鱼类的一种天性,而顶流能力是用于考查和评价鱼类趋流性强弱的重要手段之一。何大仁<sup>[1]</sup>认为即使同种鱼类,由于体长不同顶流能力也不尽相同,故本实验根据黑鲟幼鱼体长的不同将其分为五组进行研究。对于鱼的趋流性,用鱼头部逆向水流方向的比率(趋流率)和尾鳍振动频数作为衡量指标。而对顶流能力用鱼在水槽前半部分的分布率和持续游泳时间来评价。

实验结果表明,黑鲟趋流性较强,它对于低于 0.1 m/s 的流速不敏感,对流速在 0.1 ~ 0.15 m/s 范围内时,黑鲟幼鱼开始趋流,且随着流速的增加这种现象越明显。今井義弘<sup>[6]</sup>对远东多线鱼的游泳行为和趋流性进行了研究,结果表明在无流和流速较低的情况下,鱼头的趋流率在 48% ~ 82%,尾鳍的振动频数为 0 ~ 0.8 次/s;当流速为 8.2 m/s 时趋流率为 79% ~ 92%;当流速为 17.9 m/s 时尾鳍的振动频数为 0.5 ~ 1.3 次/s;当流速为 77.8 m/s 时尾鳍的振动频数为 3.7 ~ 4.4 次/s。这与本实验的研究结果相类似。

有研究表明,鱼游泳超过 1 ~ 5 min 后,即使游泳更长时间,游泳速度也无明显减小,故喜欢流速测定以 20 ~ 60 min,而极限游泳速度的测定以 1 ~ 5 s 为基准<sup>[1]</sup>。Wendy<sup>[11]</sup>认为幼鱼在适宜流速下持续游

泳时间为 200 min 左右,而极限持续游泳时间在 20 s 以下。本实验中对幼鱼适宜流速下持续游泳时间为 40~60 min 左右,而极限持续游泳时间在 1 min 以下。何大仁<sup>[10]</sup>报道底层鱼类的趋流性是以触觉为定向机制的,其特点是具有很大的流速阈值和低的临界速度即极限流速。实验结果也表明:在流速为 0.2~0.45 m/s 时各组鱼的持续游泳时间在 60 min 左右,随着流速的增加持续游泳时间都有不同程度的下降趋势,当流速为 0.65 m/s 持续游泳时间下降到几分钟甚至几秒钟。这说明鱼对流速的可承受阈值范围为 0.2~0.45 m/s,而临界速度为 0.65 m/s。

另外,在研究鱼的游泳行为时,有学者采用了巡航速度作为衡量鱼类游泳能力的标准<sup>[12]</sup>,所谓巡航速度是指鱼类在正常状态下的自然游泳速度,鱼类用这样的速度可持续耐久地作长距离的运动,它包括长距离的洄游速度、有海流时的游泳速度、个体和群体的游泳速度等;而本实验采用的喜欢流速和极限流速分别是指适宜鱼类游泳的海流速度范围和鱼类作游泳状态所能承受的最大海流的速度范围。有学者认为幼鱼能够承受的极限流速值可以用公式  $V = (2 \sim 3)L$  或  $V = 1.98 L^{1/2}$ <sup>[1]</sup>;Wendy<sup>[10]</sup>认为幼鱼游泳所能承受的极限流速可以分别用公  $V = (6 \sim 7)L$  来计算。通过实验测定得到黑鳍幼鱼的喜欢流速和极限流速的经验公式分别为: $V = 4.4125 L^{-0.1394}$ 和  $V = 19.295 L^{-0.4849}$ 。

#### 参考文献:

- [1] 何大仁. 鱼类行为学[M]. 厦门:厦门大学出版社,1998. 141-145,216-235.
- [2] 安永义畅,日向野纯也. 鱼礁への鱼类的集と物理・化学环境との关系に関する行动实验[J]. 水工研技报,1991,(13):1-13.
- [3] 安永义畅. 小型环流水槽によるマダイ幼鱼の走流行动の观察[J]. 水工研报告,1984,(5):1-23.
- [4] 安永义畅. 鱼礁に対する鱼の反態[J]. 海洋科学,1987,19(3):147-151.
- [5] 安永义畅,日向野纯也. 2,3の海产鱼の走流性状に関する基础的考察[J]. 水工研报告,1985,(6):17-26
- [6] 今井義弘,高谷义幸. 回流水槽による北海道西南沿岸の鱼类的行动观察[J]. 北水试验报,1998,(52):9-16.
- [7] 梨本胜昭. 鱼の動きと游泳速度との关系[J]. 日水誌,1980,46(3):307-312.
- [8] 梨本胜昭. 鱼の游泳速度と尾部の振動数[J]. 海洋科学,1983,15(4):184-188.
- [9] 徐 刚,有元贵文,井上富. マアジ *Trachurus japonicus* の游泳速度の測定[J]. 日水誌,1988,54(9):1493-1497.
- [10] 何大仁. 俄国鱼类行为与感觉研究(1)[J]. 台湾海峡,1996,15(2):191-199.
- [11] <http://www-heb.pac.dfo-mpo.gc.ca/congress/2000/papers/migration.pdf/mcfarlane.pdf>[Z].
- [12] 周仕杰,何大仁,吴请天. 几种幼鱼曲线游泳能力的比较研究[J]. 海洋与湖沼,1993,24(6):621-626.