

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.01172

## 以标志物对长江上游漂流性鱼卵漂流方式的研究

姜伟<sup>1,2</sup> 刘焕章<sup>1</sup> 段中华<sup>1</sup> 曹文宣<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 2008年4月7日在长江上游重庆江津-珞璜 31 km 的江段采用标志物对自然条件下大流量河流漂流性鱼卵的漂流方式进行模拟实验。结果显示在流量稳定的情况下, 在同一投放点投放的标志物的平均漂流速度具有显著差异, 标志物在河流中的漂流密度以高峰值和低峰值相间的方式出现, 高峰值随漂流时间的增加呈逐渐下降趋势。在水平方向上标志物的分布以主流水域的漂流密度高于缓流水域, 缓流水域未采集到标志物。采用传统产卵规模计算方法对标志物投放数量进行估算, 各组的估算数量均小于实际投放数量, 估算数量的准确性随漂流时间的增加而降低, 总体估算数量为实际投放数量的 16.6%。根据实验结果, 建议在长江上游鱼类产卵规模计算中引入时间系数以弥补随漂流时间的增加而引起的估算准确性降低。

**关键词:** 长江上游; 标志物; 漂流性鱼卵; 漂流方式; 产卵规模

中图分类号: S932.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2010)06-1172-07

由于鱼类早期群体对资源量补充的重要性, 国内外许多鱼类科学研究工作者开展了对鱼类早期生活史的详细研究<sup>[1-5]</sup>。研究者通过对鱼类早期生活史的研究确定某区域产卵鱼类种类组成<sup>[3,6]</sup>、季节变化<sup>[7-9]</sup>、日夜及空间分布方式<sup>[2,10,11]</sup>、估算资源量<sup>[4]</sup>、评价河流管理对鱼类群落结构的影响等<sup>[4,5,12-15]</sup>。在已经进行的工作中, 研究者往往将鱼类早期生活史研究聚焦于与鱼类产卵活动相关的一系列生物因子(如食物及捕食者等)<sup>[2,16]</sup>及非生物因子(如水温、透明度、光照等)<sup>[1,4,7]</sup>, 而对漂流密度与漂流时间或漂流距离之间关系的关注较少。尽管早期仔鱼具有一定的游泳能力并且在一定程度上能够控制在水体中的垂直运动, 但是它们并不具备对抗自然状况下一般流速及复杂水文状况的能力, 降河漂流的鱼卵及早期仔鱼与水中的漂浮颗粒一样受到水流扩散过程的影响<sup>[17]</sup>, 所以对河流内含物被动漂流方式的研究将为以后鱼类早期资源调查的采样设计提供很好的指导。漂流性鱼卵、仔鱼降河漂流的速度根据研究种类及研究河段的不同表现出极大的差异, 文献记载

的漂流速度变化在 3—86 km/d 之间<sup>[18-20]</sup>, 最大的累积漂流距离可以达到上千公里<sup>[1,4]</sup>。通过可溶性染料的漂流实验建立的一些经验及理论模型已经可以被用来预测固定河流河段中因偶然事故排放的污染物的漂流速度及到达某地的时间, 而针对鱼卵、仔鱼漂流速度的定量研究还较少<sup>[4]</sup>, 这些模型是否可以用来预测不溶性颗粒漂浮物的漂流过程尚未可知。况且, 因流量对漂流方式的复杂影响, 已进行的实验多是在拦河坝下游流量小且稳定的条件下进行, 这样就排除了自然状况下某些偶然因素的干扰。但是, 在大流量的自然河流中, 漂浮物会以怎样的方式进行漂流呢? 希望本文的数据对以后的实验提供一些参考价值。

鱼类早期阶段的降河漂流是许多鱼类生活史中的一个重要组成部分<sup>[2]</sup>, 根据处于此阶段鱼卵、仔鱼的性质, 鱼类科学工作者发明出一套根据鱼卵和仔鱼的调查估算资源量的方法<sup>[4]</sup>。尤其是易伯鲁等建立的针对长江产漂流性卵鱼类的产卵规模计算方法, 自 20 世纪 60 年代以来, 被广泛应用于长江流域干

收稿日期: 2009-09-17; 修订日期: 2010-05-12

基金项目: 国家科技计划课题(2008BAC39B03); 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-YW-08-01)资助

作者简介: 姜伟(1982—), 男, 河北唐山人; 在读博士研究生; 主要从事鱼类生态学和鱼类早期资源研究。E-mail: jiangwei0309@qq.com

通讯作者: 曹文宣, E-mail: wxcao@ihb.ac.cn

支流的资源量调查<sup>[5,21]</sup>,但是调查结果往往是精确的数字结果,缺少对计算结果的准确性的评价。另外,由于长江流域不同河流流量差异大、水文状况不一,对于在不同河流或不同河段中应用此计算方法的准确性也会有所差别。作者通过采用标志物模拟鱼卵漂流的方法,尝试对在长江上游采用此方法计算的产卵规模的准确性进行验证。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

选择大木耳菜、茺菘种子和花椒为实验材料,作为漂流性卵的模拟物。实验材料具有与此水域所采集的漂流性卵相似的直径,一般变化在 3—5mm 之间。经过测试,实验材料具有良好的漂浮性,经过一昼夜的浸泡仍能保持漂浮状态。花椒与大木耳菜种子的重量为 1.8 g/100 粒,茺菘种子的重量为 1.5 g/100 粒。实验材料分为 6 组,分别用油漆染成红色、绿色、白色、黑色、蓝色和黄色,采用重量-数量比例关系计算的各组的数量分别为 80966、80968、80966、80966、80968、80966 粒。染色后的实验材料仍然具有相同的漂浮性。

### 1.2 实验过程

实验于 2008 年 4 月 7 日在长江上游重庆江津市与珞璜镇之间 31 km 长的江段进行,实验当天天气

晴朗,微风,风速小于 2 m/s。

实验设两个投放点和一个采集点。一个投放点(Site1)位于重庆市江津区河段,为对照投放点;另一个投放点(Site2)位于 Site 1 下游 10 km 处,为主要投放点,与 Site1 之间有一个较大的河湾,用以比较说明两点投放的标志物回收结果的差异;采集点(Site3)位于江津区珞璜镇河段,距 Site1 约 31 km(图 1)。红色标志物在 Site1 投放,其他颜色标志物在 Site 2 投放。在主要投放点各组标志物的投放顺序依次为绿色、白色、黑色、蓝色和黄色,各组之间的投放时间间隔为 0.5h(表 1)。投放时,租用渔船沿投放点江断面快速航行,在航行过程中均匀投放标志物,同时记录投放时间。

实验当天,采集点河断面宽度约 800 m,河床左岸陡且深,右岸缓且浅。左岸流速快,为主航道所在一侧,右岸流速较慢。在采集断面左岸与右岸均设一个采样点,左岸主流水域采样点(Site A)离左岸约 150 m,采样点水深 7 m,右岸缓流水域采样点(Site B)离右岸约 300 m,采样点水深 3 m。因在采集点只有一艘采样船只,采集时先在流速快的左岸采集,然后在流速慢的右岸采集。

标志物用筛网进行定量收集,采集筛网网口呈半圆形,网口直径 1 m,长 2 m,尾部连接集苗网箱,网目直径 500  $\mu\text{m}$ 。标志物的采集自当天上午 8:00

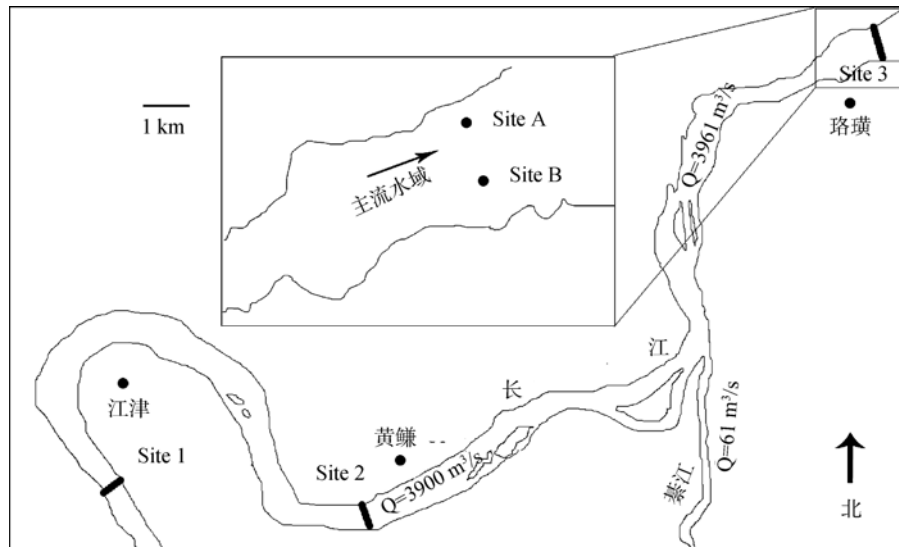


图 1 漂流模拟实验江段及实验材料的投放点与采集点位置

Fig. 1 The sketch of tracer experiment and the location of releasing and collecting sites  
Site 1、Site 2 为投放点, Site 3 为采集点; Site A 为左岸主流采集点, Site B 为右岸缓流采集点

Site 1 and Site 2 were releasing site, Site 3 was collecting site; Site A were mainstream collecting site in left bank, Site B was slow flowing site in right bank

表 1 标志物投放时间地点及投放数量  
Tab. 1 Releasing time, position and number of tracers

分组 Group	红色 Red	绿色 Green	白色 White	黑色 Black	蓝色 Blue	黄色 Yellow
投放点 Releasing site	Site 1	Site 2	Site 2	Site 2	Site 2	Site 2
与采集断面距离 Distance from collecting site (km)	31	21	21	21	21	21
投放时间 Releasing time	6:30	7:48	8:14	9:02	9:30	10:01
投放数量 Releasing number	80966	80968	80966	80966	80968	80966

在采集点进行, 一直持续到下午 16: 00(采集结束时连续 2h 未采集到标志物), 集苗网具每隔 15min 清空一次, 记录收集到的标志物的数量及颜色。用流速仪测量江断面主流流速以及网口流速。用透明度盘(萨氏盘)测量江水透明度。流量数据采用朱沱水文站与綦江水文站流量之差算得, 朱沱水文站与綦江水文站的流量数据从中国水利部水文局网站([http://xxfb.hydroinfo.gov.cn/index\\_dataList.jsp?type=1](http://xxfb.hydroinfo.gov.cn/index_dataList.jsp?type=1))上获取(2008 年 4 月 7 日访问)。

### 1.3 数据处理

每种颜色标志物的平均漂流速度采用如下公式计算:

$$V = \frac{S(n_1 + n_2 + \dots + n_m)}{n_1 t_1 + n_2 t_2 + \dots + n_m t_m}$$

其中  $V$ : 平均漂流速度(m/s);  $S$ : 漂流距离(m);  $n_1, n_2, \dots, n_m$ : 不同时间间隔内采集的标志物的数量;  $t_1, t_2, \dots, t_m$ : 标志物漂流时间(s)。

所采集到两个投放点标志物的平均漂流速度差异采用 T-Test 进行检验, 所采集到的在主要投放点投放的各组标志物的平均漂流速度差异采用 Oneway ANOVA 进行检验。各检验的计算均在 SPSS15.0 中完成。对标志物径流量(投放数量)的估算参照易伯鲁等介绍的计算方法进行<sup>[4]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 标志物漂流方式

实验期间, 实验江段的平均流量为 3961 m<sup>3</sup>/s。水温 18.3℃, 透明度 35 cm。实验期间天气晴朗, 微风, 风速小于 2 m/s。采集断面主流平均流速 1.50 m/s, 左岸采集点(Site A)平均流速 1.17 m/s, 右岸采集点(Site B)平均流速 0.55 m/s。

实验中共采集到 6 粒红色标志物, 8 粒绿色标志物, 9 粒白色标志物和 35 粒黑色标志物(表 2), 各组

平均漂流密度表现出较大差异。不同时间间隔所采集标志物的数量(即漂流密度)随漂流时间的增加而降低(图 2)。尽管绿色、白色与黑色标志物的投放时间间隔均相差 0.5h, 但是在所采集标志物中, 96%的个体在 0.5h 内被集中采集到。没有采集到蓝色与黄色标志物。

在主要投放点投放的绿色、白色及黑色标志物的平均漂流速度分别为 1.03、1.05 和 1.22 m/s, 在对照投放点投放的红色标志物的平均速度为 1.19 m/s, 与在主要投放点投放的标志物的平均漂流速度没有显著差异( $P > 0.05$ )。在主要投放点投放的各组标志物的平均漂流速度之间具有显著差异( $P < 0.05$ )。所有标志物均在主流水域的左岸采样点(Site A)采集。

统计不同时间投放所有标志物在不同漂流时长的漂流密度可以看出, 标志物的漂流密度随漂流时间的增加呈逐渐下降的趋势, 且下降过程呈非连续变化(图 2)。

### 2.2 对传统径流量计算方法的验证

各组标志物径流量估算数量均低于实际投放数量, 红色、绿色、白色及黑色标志物的估算数量分别为实际投放数量的 10.3%、13.8%、15.5%和 60.2%, 随漂流时间增加, 估算的准确度降低。没有采集到蓝色及黄色标志物, 对这两组标志物的估算数量为 0。整体标志物的估算数量为实际投放数量的 16.6%。各组具体估算结果(表 3)。

## 3 讨论

### 3.1 漂流方式

水中溶解物质在垂直方向的混合在很短的时间内完成, 水平方向的混合依水平宽度的不同一般在几公里的范围内完成, 而在沿水流方向的混合是个无限的过程, 随着漂流时间及距离的增加不断地变化<sup>[22]</sup>。被动漂流的鱼卵、仔鱼在随水漂流过程中同

表 2 标志物漂流实验采集结果  
Tab. 2 Collecting result of drifting experiment

分组 Group	红色 Red		绿色 Green		白色 White		黑色 Black		蓝色 Blue		黄色 Yellow	
	漂流时间 Drift time (h)	采集数量 Collect Number	漂流时间 Drift time (h)	采集数量 Collect number	漂流时间 Drift time (h)	采集数量 Collect number	漂流时间 Drift time (h)	采集数量 Collect number	漂流时间 Drift time (h)	采集数量 Collect number	漂流时间 Drift time (h)	采集数量 Collect number
采集结果 Collecting result	7.0	2	4.4	1	5.2	2	4.6	1	0	0		
	7.2	4	4.6	0	5.4	0	4.8	34				
			4.8	1	5.6	6						
			5.0	0	5.8	1						
			5.2	0								
			5.4	0								
			5.6	0								
			5.8	0								
			6.0	5								
			6.2	1								
采集数量 Collecting number	6		8		9		35		0		0	
最大漂流速度 Max drift speed (m/s)	1.22		1.31		1.1		1.25		/		/	
最小漂流速度 Min drift speed (m/s)	1.18		0.92		0.99		1.22		/		/	
平均漂流速度 Mean drift speed (m/s)	1.19		1.03		1.05		1.22		/		/	

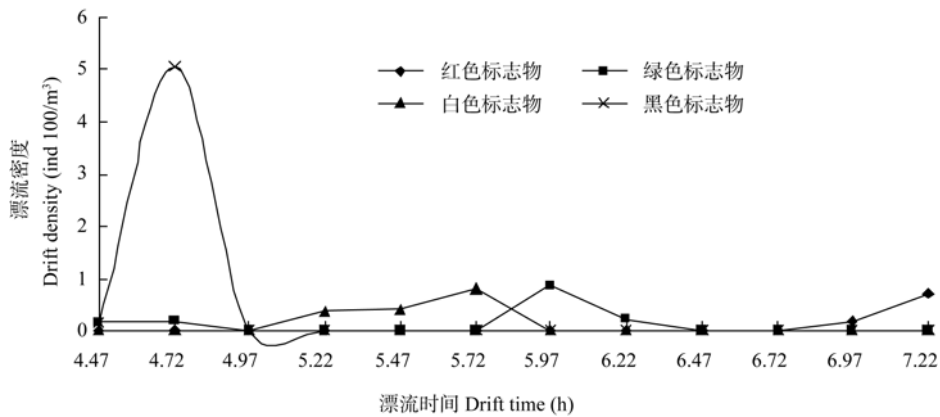


图 2 标志物漂流密度与漂流时间变化关系图

Fig. 2 Result of the tracer experiment, shown as drift density plotted against time since injection

表 3 标志物实际投放数量与估算数量  
Tab. 3 Releasing number and estimated number of each group of tracers

分组 Group	投放数量(粒) Released number	估算数量(粒) Estimated number	估算量占投放量的比例(%) Estimated number/released number
红色 Red	80966	8356	10.3
绿色 Green	80968	11141	13.8
白色 White	80966	12533	15.5
黑色 Black	80966	48741	60.2
蓝色 Blue	80968	0	0.0
黄色 Yellow	80966	0	0.0
合计 Total	485800	80770	16.6

时进行着早期发育过程,在发育到有主动游泳能力的鳔充气阶段之前,一般要经过 5—6d 的时间。在这段时间内,鱼卵、仔鱼往往要随水漂流很远的距离<sup>[19]</sup>,有的种类能够扩散至几百甚至上千公里远的下游河段<sup>[1]</sup>。关于降河被动漂流的速度,已有一些科学工作者做过相关研究,但是因为被动漂流扩散的过程受到流量、河道形态以及天气状况等的影响,漂流速度及漂流距离在不同的河流中显示出较大的差别<sup>[1,17,23,24]</sup>。同时先前的研究也通过实验发现一些测定变量间存在着某种特定的关系,如在许多河流及河流的不同河段中,漂流物的初次到达时间与峰值到达时间能够通过一个简单的线性模型来预测<sup>[22]</sup>,并且峰值的密度大小随漂流距离的增加呈对数下降<sup>[25]</sup>。

本实验中,在流量相对稳定且漂流所经河段及距离相同的情况下,标志物的漂流时长表现出很大的变化,漂流时间最短的为 4.4h,最长的为 7.2h(表 2),而且尽管每相邻两组之间的投放时间间隔为 0.5h,96%的标志物集中在相同的 0.5h 内采集到。相同时间间隔内标志物漂流密度与漂流时间呈现出波浪变化关系(图 2),这样的结果与以可溶性染料漂流实验为基础建立的聚集死水区模型(Aggregated Dead Zone model)相吻合<sup>[24]</sup>。根据此模型,漂流物体流经下游某点的漂流密度是不连续变化的,是以一系列高峰值与低峰值交互的方式出现,且高峰值随漂流时间的增加成对数下降趋势。聚集死水区模型假设标志物的扩散过程是许多流水区域与静水区域(如死水、不规则河床、漩涡和岸线等)复杂相互作用的结果,在静水区域标志物会被聚集及耽滞,这就导致下游低峰值的出现。本实验江段中存在部分回水河段,可能是造成在不同时间投放的漂流物同时出现在下游采集点的原因之一。另外,不同标志物投放时间差异也可能对相同漂流时间的漂流密度变化产生一定影响。虽然本实验中采用的实验材料与漂流性卵的形态及大小相似,经过实验比较也具有较好的漂浮性,但是实验材料密度与漂流性卵具有一定差别,也可能对漂流方式产生一定影响。

聚集死水区模型预测大部分漂流物体的纵向扩散(Longitudinal dispersion)过程是快速发生的,只有小部分将在上游滞留较长的时间<sup>[17]</sup>。本实验中尽管在不同时间投放的标志物可以同时出现在下游的采集点,但它们在采集点的密度呈现出很大差别。随着漂流时间的增加,漂流的密度呈现出明显的下降

趋势(图 2)。这必然导致因采集时间及地点的不同所估算资源量的差异,因此也必然降低不同河流甚至同一河流不同时间的所估算资源量的可比性。尤其当采集时间较短时,对资源量估算的准确性将大大降低。因为在鱼卵、仔鱼的调查中,所采集样本的发育期是确知的,再加上实际测量的水温等水文数据,所以可以对采集样本的实际漂流时间进行比较准确的估计。这样可以根据重要河段的漂流密度与漂流时间的经验公式或数学模型,把采集到的不同发育期的样本数量,换算为某一特定发育期(如产出时)的密度(未考虑死亡率等影响)。这样不同河流、同一河流不同河段或者不同年份的调查结果可以进行直接比较,对于科学的掌握鱼类群体数量的变化趋势有重要的实际意义。

本实验中,在漂流时间 4.9—5.4h 的时间间隔内采集到的标志物数量远远小于聚集死水区模型理论预测下的采集数量,但实际实验过程中,因为 A 采样点流速过大,采集网具曾被江水冲断,耽误 5min 的采样过程,因此可能错过部分标志物,或者正是因在大流量江河自然条件下流态的复杂性,造成以上结果的出现。

### 3.2 水平分布

针对被动漂流的鱼卵、仔鱼水平分布的研究已有一些报道<sup>[2,9,10]</sup>。有的研究指出沿岸的漂流密度高于江中<sup>[1,9]</sup>,有时江中的漂流密度高于沿岸<sup>[2,22]</sup>,这与河道形态及流速分布甚至与所采集对象所处的发育期有很大关系<sup>[2,9]</sup>。根据此次定量实验的结果可以看出,排除早期仔鱼微弱游泳能力的影响,由河道形态及水力学引起的漂流密度分布为江中主流水域高于沿岸静水区。在采样断面的 B 采样点,没有采集到标志物,说明在缓流水域的漂流密度很低。因此,在常规的早期资源调查采样中,可能要尽量包含江中主流水域采样点。并且,主流水域的流量远远大于沿岸流量,即使在主流水域鱼卵、仔鱼漂流密度低于沿岸水域的情况下,实际漂流经过主流水域的资源量也是远大于沿岸的资源量的<sup>[1]</sup>。由于实验江段水文状况复杂,河道形态多变,会使靠近岸边缓流水域漂流的标志物漂流速度缓慢或者进入回水区而大大减缓漂流速度,造成采样点缓流水域的采集数量减少,从而低估缓流水域的实际漂流密度。

### 3.3 产卵规模计算

从产卵规模的计算结果看出,随漂流时间的增

加, 估算数量的准确度下降(表 2), 在实际的采样工作中, 也就是用来计算产卵规模的鱼卵、仔鱼的发育期越晚, 估算结果较实际的产卵规模越小。在产卵规模的估算中, 流量及漂流时间对计算的准确性有很大影响。在本次实验中标志物的漂流时长约在 4—7h 之间, 相当于一般鱼卵发育的中早期(以四大家鱼为例, 水温 18—24℃时, 发育到孵出期一般需要 35—40h), 而且实验时的流量小于一般情况下四大家鱼等产卵时的流量, 但是经过估算的投放数量只为实际投放数量的 16.6%, 所以在自然条件下估算的产卵规模可能已经在实际产卵规模的 1—2 个数量级以下。因此, 有必要在此计算方法的基础上, 引入一个时间系数, 而且这个系数是随漂流时间的增加而增加的, 这样才能更真实地反映实际的产卵规模。因为受快速的分散作用以及复杂的自然条件影响, 尚没有看到在大的江河中进行此类定量实验的报道。尽管在此实验中投放了 48 万标志物, 在实际的采样中只采集到 58 粒, 因此尚不足以构建数学模型或者对此江段的时间系数准确值进行估算, 希望此数据能为以后的研究者提供基本的参考以进行相关的实验研究。

#### 参考文献:

- [1] Araujo-Lima C, Oliveira E C. Transport of larval fish in the Amazon [J]. *Journal of Fish Biology*, 1998, **53**(Supplement A): 297—306
- [2] Pavlov D S. The downstream migration of young fishes in rivers: mechanisms and distribution [J]. *Folia Zoologica*, 1994, **43**(3): 193—208
- [3] Zitek A, Schmutz S, Unfer G, *et al.* Fish drift in a Danube sidearm-system: I. Site-, inter- and intraspecific patterns [J]. *Journal of Fish Biology*, 2004, **65**(5): 1319—1338
- [4] Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, *et al.* The distribution, natural conditions and breeding production of the spawning grounds of four famous freshwater fishes on the main stream on the Yangtze River [A]. In: Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, *et al.*, Gezhouba water control project and four famous fishes in Yangtze River [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press. 1988, 1—46 [易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊, 等. 长江干流草、青、鲢、鳙四大家鱼产卵场的分布, 规模和自然条件. 见: 易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊, 等. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼. 武汉: 湖北科学技术出版社. 1988, 1—46]
- [5] Yu Z T, Deng Z L, Xu Y G, *et al.* The present situation of the spawning grounds of the four Chinese domestic fishes in the Changjiang (Yangtze River) after construction of the Gezhouba water control project [A]. In: Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, *et al.* Gezhouba water control project and four famous fishes in Yangtze River [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press. 1988, 47—68 [余志堂, 邓中麟, 许蕴珩, 等. 葛洲坝水利枢纽兴建后长江干流四大家鱼产卵场的现状及工程对家鱼繁殖影响的评价. 见: 易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊, 等. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼. 武汉: 湖北科学技术出版社. 1988, 47—68]
- [6] King A J, Crook D A, Koster W M, *et al.* Comparison of larval fish drift in the Lower Goulburn and mid-Murray Rivers [J]. *Ecological Management & Restoration*, 2005, **6**(2): 136—139
- [7] Reichard M, Jurajda P, Ondrackova M. Interannual variability in seasonal dynamics and species composition of drifting young-of-the-year fishes in two European lowland rivers [J]. *Journal of Fish Biology*, 2002, **60**(1): 87—101
- [8] Zitek A, Schmutz S, Ploner A. Fish drift in a Danube sidearm-system: II. Seasonal and diurnal patterns [J]. *Journal of Fish Biology*, 2004, **65**(5): 1339—1357
- [9] Tan X C, Li X H, Tao J P, *et al.* Spatial and temporal distribution of larval resources of fishes in Xijiang River [J]. *Freshwater Fisheries*, 2007, **37**(4): 37—40 [谭细畅, 李新辉, 陶江平, 等. 西江肇庆江段鱼类早期资源时空分布特征研究. 淡水渔业, 2007, **37**(4): 37—40]
- [10] Gadomski D M, Barfoot C A. Diel and distributional abundance patterns of fish embryos and larvae in the lower Columbia and Deschutes rivers [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1998, **51**(4): 353—368
- [11] Tonkin Z, King A, Mahoney J, *et al.* Diel and spatial drifting patterns of silver perch *Bidyanus bidyanus* eggs in an Australian lowland river [J]. *Journal of Fish Biology*, 2007, **70**(1): 313—317
- [12] Del Mar Torralva M, Angeles Puig M, Fernandez-delgado C. Effect of river regulation on the life-history patterns of *Barbus sclateri* in the Segura river basin (south-east Spain) [J]. *Journal of Fish Biology*, 1997, **51**(2): 300—311
- [13] Humphries P, Lake P S. Fish larvae and the management of regulated rivers [J]. *Regulated Rivers: Research & Management*, 2000, **16**(5): 421—432
- [14] Humphries P, Serafini L G, King A J. River regulation and fish larvae: variation through space and time [J]. *Freshwater Biology*, 2002, **47**(7): 1307—1331
- [15] Zhou C S, Liang Z S, Huang H N. Ecological features of the spawning of certain fishes in the Hanjiang River after the construction of dams [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1980, **7**(2): 175—188 [周春生, 梁秩燊, 黄鹤年. 兴修水利枢纽后汉江产漂流性卵鱼类的繁殖生态. 水生生物学集刊, 1980, **7**(2): 175—188]
- [16] Sheaffer W A, Nickum J G. Backwater areas as nursery habitats for fishes in Pool 13 of the upper Mississippi River [J]. *Hydrobiologia*, 1986, **136**(1): 131—139
- [17] Dudley R K. Ichthyofaunal Drift in Fragmented Rivers: Empirically Based Models and Conservation Implications [D].

- Ph.D. thesis. University of New Mexico, Albuquerque. 2004
- [18] Nesler T P, Muth R T, Wasowicz A F. Evidence for baseline flow spikes as spawning cues for Colorado squawfish in the Yampa River, Colorado [C]. American Fisheries Society Symposium. 1988, 5: 68—79
- [19] Tyus H M. Life strategies in the evolution of the Colorado squawfish (*Ptychocheilus lucius*) [J]. *Great Basin Naturalist*, 1986, 46(4): 656—661
- [20] Tyus H M, Haines G B. Distribution, habitat use, and growth of age-0 Colorado squawfish in the Green River basin, Colorado and Utah [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1991, 120(1): 79—89
- [21] Li X F, Huang D M, Xie W X, *et al.*. Spawning sites of four major Chinese carps in the middle reaches of Hanjiang River [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2006, 41(2): 76—80 [李修峰, 黄道明, 谢文星, 等. 汉江中游江段四大家鱼产卵场现状的初步研究. *动物学杂志*, 2006, 41(2): 76—80]
- [22] Jobson H E. Prediction of travel time and longitudinal dispersion in rivers and streams [R]. US Geological Survey Water Resources Investigations Report, 1996, 96—4013
- [23] Atkinson T C, Davis P M. Longitudinal dispersion in natural channels: I. Experimental results from the River Severn, UK [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2000, 4(3): 345—353
- [24] Beer T, Young P C. Longitudinal dispersion in natural streams [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 1983, 109: 1049
- [25] Kilpatrick F A, Taylor K K. Generalization and applications of tracer dispersion data [J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 1986, 22(4): 537—548

## STUDIES ON THE DRIFT PATTERN OF DRIFTING FISH EGGS WITH TRACERS IN UPPER YANGTZE RIVER

JIANG Wei<sup>1,2</sup>, LIU Huan-Zhang<sup>1</sup>, DUAN Zhong-Hua<sup>1</sup> and CAO Wen-Xuan<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;  
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Investigation of fish early life history is an important technique to calculate spawning sites and estimate spawning size for fish with drifting eggs. But, drift patterns of drifting eggs are greatly different for the diverse hydrological condition in different river reach. The drift pattern of drifting fish eggs was studied in this experiment with drifting tracers, and the classic estimate method of spawning size was tested to evaluate the applicability in upper Yangtze River. The experiment was conducted in the 31 km river reach in the upper Yangtze River from Jiangjin city to Luohuang town on 7th April 2008. A total of 485800 tracers were separated into 6 groups and dyed into red, green, white, black, blue and yellow respectively, the total number of tracers of every group was 80966, 80968, 80966, 80966, 80968 and 80966 in turn. Two releasing sites were set up to test the influence of configuration of river channel on the drifting speed. A total of 58 tracers were collected in the collecting site. The results showed that the mean drifting speeds of tracers released in the same releasing site were significantly different. Drift density of tracers showed a pattern of alternate with peak and low density, and the peak density showed gradual decline as drift time increase. All the 58 tracers were collected in the main stream, it reflected that drift density in the main stream was higher than the slow flow region. So we advise the main stream should be surveyed in the fish early life history investigation. Mean drifting speeds were 1.19 m/s, 1.03 m/s, 1.05 m/s and 1.22 m/s for red, green, white and black tracers respectively. There was no significantly difference for mean drifting speeds released in the two releasing sites. Estimated releasing numbers of red, green, white and black tracers were 8356, 11141, 12533 and 48741, and corresponding for 10.3%, 13.8%, 15.5% and 60.2% of the total number released respectively, so the accuracy of estimation showed greatly declining as drift time increasing. No blue and yellow tracers were collected for the low drift density in the slow flow region. The total estimated number was 16.6% of the real releasing number only. So a coefficient should be added into the calculation formula to compensate the decline of accuracy caused by drift time increase when estimate spawning size in the upper Yangtze River.

**Key words:** The upper Yangtze River; Tracers; Drifting eggs; Drift pattern; Spawning size