

鬼鲉早期发育阶段的摄食节律与饥饿致死时间

陈慧, 谢友佳, 林国文, 林小金, 陈武, 王兴春

(福建省闽东水产研究所, 福建 宁德 352100)

摘要: 采用实验生态学方法研究鬼鲉 (*Inimicus japonicus*) 早期发育阶段的摄食特性和仔鱼饥饿致死时间。结果表明, 仔鱼和营游泳生活的稚鱼摄食高峰出现在白天, 并以白天摄食为主, 6日龄仔鱼、17日龄营游泳生活稚鱼的摄食率高峰为 10:00 和 14:00。随着生活习性的转变, 其摄食节律也发生明显变化, 稚鱼和幼鱼在营底栖生活方式的阶段, 以夜间摄食为主, 另一摄食小高峰出现在早晨。进入底栖生活阶段的 29日龄稚鱼、40日龄幼鱼的摄食高峰为 22:00 和 6:00。鬼鲉仔、稚、幼鱼各阶段的日摄食率分别为: 6日龄仔鱼 69.7%, 17日龄稚鱼 57.7%, 29日龄稚鱼 42.3%, 40日龄幼鱼 17.7%。在饥饿条件下鬼鲉初孵仔鱼、1、3、5、8 和 10日龄仔鱼的全部死亡时间分别为 192 h、216 h、168 h、80 h、178 h 和 264 h, 半数死亡时间分别为 144 h、120 h、120 h、60 h、108 h 和 144 h, 说明 5日龄仔鱼是鬼鲉早期发育中最为敏感的阶段。饥饿仔鱼呈现头大、体短、身瘦、体色发白等形态特征, 行为上表现为游动缓慢, 反应迟钝和静卧底部。长期饥饿后仔鱼脑后部下陷明显, 其形态特征可作为判断仔鱼饥饿致死的重要指标。[中国水产科学, 2009, 16(3): 340-347]

关键词: 鬼鲉; 早期发育; 摄食节律; 饥饿致死

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2009)03-0340-08

鬼鲉 (*Inimicus japonicus*) 俗称虎鱼, 隶属于鲉形目 (Scorpaeniformes)、毒鲉科 (Synanceiidae), 分布于中国、朝鲜和日本, 为近海底栖肉食性小型鱼类。因肉质鲜美, 具有清凉解毒功效, 已成为出口创汇的经济鱼类之一, 目前中国已有部分沿海地区开展了鬼鲉人工养殖生产并取得了良好的经济效益。有关鬼鲉的研究报道较少, 沙学绅等^[1]首先进行了鬼鲉卵子及仔稚鱼发育的观察和研究, 并对其各阶段的形态特征作了较系统的描述, 此外, 鬼鲉人工繁殖也获得成功并培育出批量苗种^[2-4]。但有关鬼鲉仔、稚、幼鱼阶段的摄食节律和饥饿耐受力的研究尚未见报道, 因此, 开展对鬼鲉摄食行为和饥饿致死时间的研究不仅具有生产指导意义, 而且对其他鲉形目鱼类的开发也具有参考价值。本研究对人工苗种培育条件下鬼鲉早期发育阶段的摄食特性和饥饿耐受力进行分析与

探讨, 以为鬼鲉的人工繁育及养殖提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

实验于 2007 年 4-6 月在福建省宁德市水产技术推广站试验场进行, 实验材料由本课题组提供。鬼鲉亲鱼来源于当地海域捕获的野生鱼, 经激素 LRH-A₃ 注射催产获得受精卵, 育苗池水体 15 m³, 采用连续充气方式培育。苗种培育阶段水温为 20.0~22.6℃, 培育用水为二次砂滤海水, 盐度 26~28。仔、稚、幼鱼的饵料系列分别为经小球藻强化的褶皱臂尾轮虫、卤虫无节幼体及桡足类, 其个体直径分别为 237.0~401.2 μm、425.3~639.4 μm 和 779.4~2 105.9 μm。

1.2 方法

1.2.1 摄食节律 根据鬼鲉的不同发育阶段, 取样 6 日龄、17日龄、29日龄及 40日龄仔稚幼鱼。以每 4 h

收稿日期: 2008-01-28; 修订日期: 2008-10-12.

基金项目: 福建省科技厅资助项目 (2006T0018); 福建省海洋与渔业局重点资助项目 (闽海渔 [2007]015 号).

作者简介: 陈慧 (1963-), 男, 副研究员, 主要从事水产养殖技术研究. Tel: 0593-2099606; E-mail: chuimds@163.com

为1个时区,从上午6:00至翌日上午6:00,共设7个时点,6:00-18:00为昼时区,18:00-6:00为夜时区。每个时点分别在3个池中取样,每池取样10尾,共30尾,测定体质量和体长。用目测法测量消化道饱满度(采用0~4级法,3级和4级为摄食饱满)^[5],然后解剖消化道,对饵料生物进行计数,食物团重量按各类饵料生物平均个体大小折算而得,将轮虫、卤虫无节幼体和桡足类的湿重按平均个体大小分别折算为3 μg 、11 μg 和24 μg ^[6]。实验与人工育苗生产同步进行,光照强度50~320 lx。实验数据以平均值 \pm 标准差($\bar{x}\pm\text{SD}$)表示,用SPSS 10.0及Excel 2003处理。

1.2.2 运动和摄食行为观察及饥饿时间 在人工育苗期间,每天分别取15~30尾仔、稚、幼鱼放入置于育苗池上方的2 000 mL烧杯中,同时观察育苗池和烧杯中的仔稚幼鱼运动方式和摄食行为,观察间隔时间为4 h。此外,测量仔稚幼鱼全长后,在光镜下观察仔稚幼鱼的形态特征并记录。取初孵仔鱼、1日龄、3日龄、5日龄、8日龄和10日龄仔鱼各10尾放入500 mL烧杯中,在无饵料不换水的条件下,每2 h观察一次并记录仔鱼游泳行为的变化和死亡个体数及形态变化。

1.3 参数计算

本研究所采用的各指标计算方法如下:

摄食率(%):摄食饵料个体占所测总个体的百分比。

摄食强度:实验鱼在同一时点的摄食量的平均值。

日摄食量:24 h所摄食的饵料量。采用消化道内饵料计数法测定,日摄食量=饱食量 \times [24 h内可能摄食时间/(饱食时间+消化时间)]。

日摄食率(%):日摄食量占鱼体质量的百分比。

饱食量:消化道饱满度为3级和4级时的摄食量。

饱食时间:空胃个体至摄食饱满(消化道饱满度为3级和4级)所需的时间。

消化时间:饱食个体在无饵料水体中消化道排空所需的时间。

耐饥饿时间:在无饵料不换水的条件下,空胃个体至死亡所需的时间。

2 结果与分析

2.1 鬼鲇仔稚幼鱼运动和摄食行为的观察

2.1.1 仔鱼 初孵仔鱼全长(3.36 \pm 0.175) mm,自破膜孵出后,初孵仔鱼身体很快伸直,先以腹部朝上漂浮水中,并间歇性摆动尾部游动,有时以旋转方式向下潜游,然后又向水体上层漂浮。4日龄仔鱼全长(4.18 \pm 0.137) mm,体内卵黄囊已全部吸收完毕并开始摄食轮虫,通过外源食物获得营养。6日龄仔鱼全长(5.38 \pm 0.405) mm,主要分布于水体中上层,仔鱼以扇状胸鳍作波浪状运动,能主动摄食轮虫个体,在水体中处于悬停状态时,常以胸鳍交替或同时摆动,使鱼体保持平衡状态。

2.1.2 稚鱼 17日龄稚鱼全长(8.05 \pm 1.218) mm,在水体上、中、下层均有分布,扇状胸鳍进一步发育变大,其边缘出现金黄色的环带,整个鱼体外观呈黄色。水平游动和上下垂直游动能力加强,可频繁改变游动方向,运动方式仍是依靠宽大的胸鳍摆动完成。摄食能力明显加强,以摄食卤虫无节幼体为主。29日龄稚鱼全长(13.29 \pm 2.051) mm,鱼体初具成鱼形态,体色鲜艳,胸鳍、背鳍、尾鳍及臀鳍出现黄、红、乳白色的圆形或不规则形的斑点,口位逐渐演变为口上位,胸鳍下方的2根鳍条末端开始游离,但仍有鳍膜相连,运动方式已从中下层的自由游泳转为底层匍匐爬行。已完全摄食卤虫无节幼体,摄食量和摄食频率显著加大。

2.1.3 幼鱼 40日龄幼鱼全长(19.25 \pm 2.866) mm,鱼体形态与成鱼相似,呈灰棕色或黄褐色,色彩鲜艳斑斓。口上位,体侧和各鳍(除腹鳍外)上分布有不同颜色的点状或圆形或不规则的斑纹,扇状胸鳍内侧的圆形斑点为桔红色,并呈弧形排列,外侧的圆形斑点则为浅黄色。胸鳍下方的2根指状游离鳍条清晰,鳍膜已退化,第1根游离鳍条长度8.9~12.3 mm,第2根游离鳍条长度9.1~12.1 mm。进入幼鱼阶段完全营底层匍匐生活,少数幼鱼窜游到水体上层捕食后迅速斜游回底部。白天幼鱼呈团簇状群体栖息,也有少量幼鱼单独或3~5尾成群集中,夜间幼鱼则均匀分布于底层,个体间相互保持一定距离。幼鱼

的运动方式先以胸鳍的指状游离鳍条向前伸展,然后整个胸鳍向身体两侧收拢,推动鱼体向前滑行,其过程较为迟缓,移动范围较小,或配合尾部摆动,改变身体滑行方向。以摄食桡足类无节幼体为主,常在桡足类幼体下方进行连续捕食。

2.2 鬼鲇仔、稚、幼鱼的摄食节律

6日龄仔鱼、17日龄营游泳生活稚鱼在24 h内不同时间段的摄食率和摄食强度如图1、图2和图3所示。6日龄仔鱼和17日龄稚鱼1昼夜出现2个摄食高峰,

分别出现在10:00和14:00,在22:00和2:00的时点上不摄食或很少摄食。29日龄稚鱼开始转入底层匍匐生活后,其摄食节律发生了相应变化,29日龄稚鱼1昼夜出现2个摄食高峰,分别为22:00和6:00,相应的摄食强度也出现在这两个时段,摄食量明显下降时段为2:00(图1和图4)。40日龄幼鱼完全营底栖生活后,其摄食强度和摄食率所出现的高峰时段与29日龄稚鱼相一致,但在2:00时段的摄食量略有上升(图1、图5)。

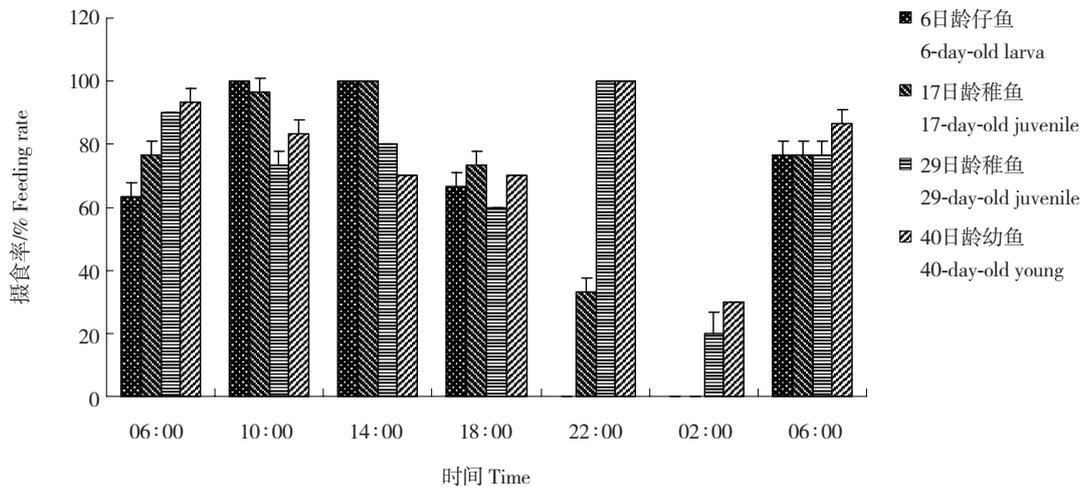


图1 鬼鲇仔、稚、幼鱼的摄食率

Fig.1 Feeding rate of larva, juvenile and young *Inimicns japonicus*

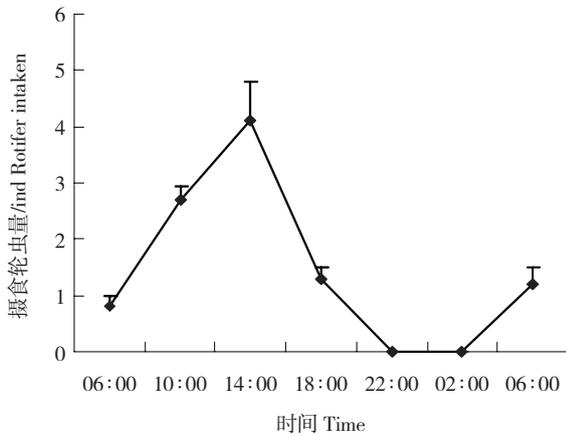


图2 鬼鲇6日龄仔鱼的摄食强度

Fig. 2 Feeding intensity of 6-day-old larva *I. japonicus*

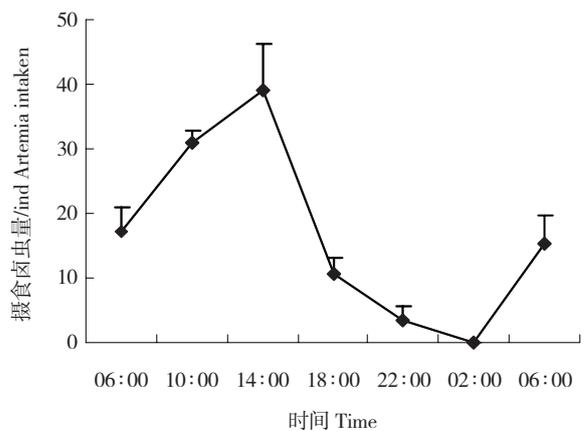


图3 鬼鲇17日龄稚鱼的摄食强度

Fig. 3 Feeding intensity of 17-day-old juvenile *I. japonicus*

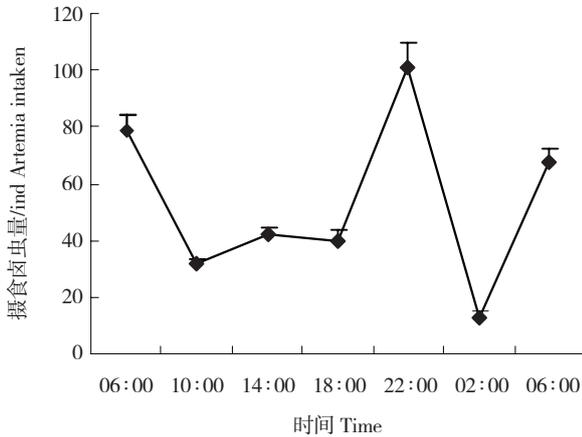


图4 鬼鲉29日龄稚鱼的摄食强度

Fig. 4 Feeding intensity of 29-day-old juvenile *I. japonicus*

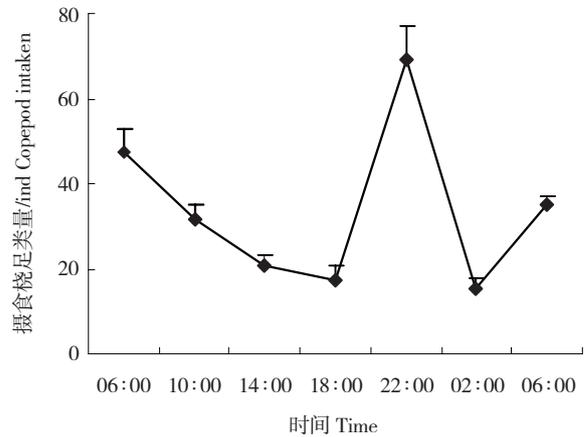


图5 鬼鲉40日龄幼鱼的摄食强度

Fig. 5 Feeding intensity of 40-day-old young *I. japonicus*

2.3 鬼鲉仔稚幼鱼的饱食时间和消化时间

表1显示了6日龄、17日龄、29日龄和40日龄的鬼鲉仔、稚、幼鱼的饱食时间和消化时间。6日龄仔鱼、17日龄稚鱼约经过2 h达到饱食,29日龄稚鱼约需1 h

30 min可达饱食,40日龄幼鱼约需2 h可达饱食。从表1可知消化时间随着仔稚幼的发育和摄食能力、摄食量的增加由6日龄的1 h增加到17日龄的3 h、29日龄的2 h 30 min和40日龄的3 h 30 min。

表1 鬼鲉仔、稚、幼鱼的饱食时间和消化时间

Tab. 1 Feeding time from empty to fullness and time for digesting from fullness to empty in stomachs of larval, juvenile and young *Inimicus japonicus*

日龄/d Days of age	全长/mm Total length (n=10; $\bar{x} \pm SD$)	发育阶段 Development stage	饵料 Diet	水温/℃ Water temperature	饱食时间 Time for fullness		消化时间 Digestion time	
					A ₀	A ₁	B ₀	B ₁
6	5.38 ± 0.419	仔鱼 Larva	轮虫 Rotifer	20.5	1 h 30 min	2 h	40 min	1 h
17	8.21 ± 0.392	稚鱼 Juvenile	卤虫 Artemia	21.0	1 h	2 h	1 h	3 h
29	13.17 ± 1.386	稚鱼 Juvenile	卤虫 Artemia	21.7	40 min	1 h 30 min	1 h	2 h 30 min
40	18.96 ± 2.422	幼鱼 Young fish	桡足类 Copepod	22.0	1 h	2 h	2 h	3 h 30 min

注: A₀-出现饱食个体; A₁-全部个体饱食; B₀-出现排空个体; B₁-全部个体排空。

Note: A₀-Time of first fish presenting satiety; A₁- Time of total fish presenting satiety; B₀-Time of first fish presenting digestive tract evacuation; B₁- Time of total fish presenting digestive tract evacuation.

2.4 鬼鲉仔、稚、幼鱼的相对最大饱食量

4日龄仔鱼相对最大饱食量为6个轮虫,6日龄仔鱼饱食量迅速增至29个轮虫。17日龄营游泳运动方式稚鱼的相对最大饱食量为65个卤虫无节幼体,29日龄营底栖生活的稚鱼摄食卤虫无节幼体增至124个才达到饱食。40日龄幼鱼完全营底栖生活后,一次摄食桡足类个体可达102个(表2)。

2.5 鬼鲉仔、稚、幼鱼的日摄食量及摄食率

本实验中采用消化道内饵料计量法对鬼鲉仔、稚、幼鱼的日摄食率进行测定和计算,测定结果见表3。从表3中可知,6日龄、17日龄、29日龄和40日龄鬼鲉的日摄食率分别为69.7%、57.7%、42.3%和17.7%。

表2 鬼鲇仔、稚、幼鱼的相对最大饱食量

Tab. 2 Relative amount of food in full stomach of larval, juvenile and young *I. japonicus*

日龄/d Days of age	全长/mm Total length (n=10; $\bar{x} \pm SD$)	相对最大饱食量/ind Relative amount of food in full stomach			饵料质量/mg Weight of diets
		轮虫 Rotifer	卤虫 Artemia	桡足类 Copepod	
4	4.25±0.227	6	-	-	0.018
6	5.31±0.341	29	-	-	0.087
10	6.62±0.691	35	4	-	0.149
14	7.53±0.135	42	10	-	0.236
17	8.48±0.957	-	65	-	0.715
20	9.59±0.554	-	78	-	0.859
25	10.81±1.823	-	91	-	1.001
29	12.94±1.065	-	124	-	1.346
33	14.76±2.718	-	109	15	1.559
40	19.35±3.242	-	-	102	2.448

注：“-”表示无。

Note: “-” indicates none.

表3 鬼鲇仔、稚、幼鱼的日摄食量及日摄食率

Tab. 3 Daily food consumption and daily ration of larval, juvenile and young *I. japonicus*

日龄/d Days of age	全长/mm Total length (n=10; $\bar{x} \pm SD$)	体质量/mg Body weight	饵料 Diet	平均饱食量/mg Average food amount for satiety	饱食时间/h Time for fullness	消化时间/h Digestion time	日摄食时间/h Ingestion time	日摄食量/mg Daily food consumption	日摄食率/% Daily feeding ratio
6	5.31±0.341	0.59±0.115	R	0.077	2	1	16	0.411	69.7
17	8.48±0.957	3.89±0.453	A	0.623	2	3	18	2.243	57.7
29	12.94±1.065	12.85±4.534	A	1.207	1.5	2.5	18	5.432	42.3
40	19.35±3.242	41.09±9.086	C	2.218	2	3.5	18	7.259	17.7

注: R-轮虫; A-卤虫; C-桡足类。

Note: R- Rotifer; A- Artemia; C-Copepod.

2.6 鬼鲇仔鱼的耐饥饿时间及其形态和行为的变化

初孵仔鱼、1日龄、3日龄、5日龄、8日龄和10日龄仔鱼在水温21.5~23.7℃、盐度26的条件下,对饥饿耐受力的结果表明(表4),10日龄仔鱼对饥饿的耐受力最强,经过264 h全部死亡,而5日龄仔鱼在饥饿条件下的全部死亡时间仅为80 h。初孵仔鱼、1日龄、3日龄、5日龄、8日龄和10日龄仔鱼的半数死亡时间分别为144 h、120 h、120 h、60 h、108 h和144 h。因此可以推断5日龄仔鱼为鬼鲇早期发育中较为敏感的阶段。

观察表明,经过饥饿的仔鱼头大、体短、身瘦,体

表黄色素和黑色素逐渐退淡,体色发白,头部的棘相对变长,胃部模糊,肠道不可见,长期饥饿后脑后部明显下陷。仔鱼在饥饿条件下的行为首先表现为在水体表层游动觅食,游泳速度逐渐缓慢,对外界刺激反应的敏感性减弱;其次大部分仔鱼蛰伏底部,有时挣扎着窜到水面后又迅速头部向下沉入水底,活动能力很弱,部分仔鱼的躯体开始弯曲;饥饿仔鱼最后在底层静卧不动或鱼体侧翻,躯体扭曲摆动后死亡,死亡个体大多向腹部弯曲为“V”字形。实验过程中饥饿鬼鲇仔鱼未发生残食现象。

表4 鬼鲉仔鱼的饥饿致死时间

Tab.4 Mortality time of larva *I. japonicus* under starvation

日龄/d Days of age	全长/mm Total length (n=10; $\bar{x} \pm SD$)	水体/mL Volume	出现死亡个体时间 Time of first death	半数死亡时间/h Time of 50% mortality	全部死亡时间/h Time of total death
0	3.18±0.115	500	48 h	144	192
1	3.85±0.184	500	48 h	120	216
3	4.03±0.092	500	45 h	120	168
5	4.49±0.107	500	24 h	60	80
8	5.42±0.071	500	60 h	108	178
10	6.54±0.139	500	72 h	144	264

3 讨论

3.1 鬼鲉仔、稚鱼的摄食节律特性

摄食节律是摄食行为学研究的重要内容之一,鱼类的摄食活动具有特定的节律性,不同种类或同一种类的不同发育阶段其摄食节律的特性有一定差别,这是对其生活环境的一种主动适应。Helfman^[7]将鱼类的摄食类型归为4种:白天摄食、晚上摄食、晨昏摄食和无明显节律摄食。本研究结果表明,鬼鲉仔鱼和营游泳生活稚鱼阶段的摄食活动主要在白天进行,摄食强度的高峰时间为10:00–14:00,夜时区基本不摄食或摄食率很低。该阶段的仔稚鱼仍保持浮游性鱼类的白天摄食的摄食习性。开始营底栖生活稚鱼期到幼鱼期完全营底栖匍匐生活后,其摄食节律发生了明显改变,营底栖生活稚鱼和幼鱼的摄食高峰均出现在22:00,同时,另一摄食小高峰出现在6:00,此阶段的摄食节律已转为以夜间摄食为主。根据鬼鲉仔、稚、幼鱼摄食特征,可以认为仔鱼阶段与营游泳生活稚鱼期属白天摄食类型,营底栖生活稚鱼期和幼鱼阶段属夜间摄食偏晨间性类型。实验结果还表明,鬼鲉仔鱼、游泳生活稚鱼、底栖生活稚鱼和幼鱼的日摄食量分别占其体质量的70%、60%、45%和20%左右,可将此作为鬼鲉仔、稚、幼鱼日投喂量的参考依据。此外,鬼鲉人工育苗时期的合理投饵时间应按不同发育阶段摄食节律的变化进行确定,在仔鱼和营游泳生活稚鱼培育阶段,应在白天保持适宜的饵料密度,进入营底栖生活稚鱼和幼鱼时

期,应在早晨(6:00)和夜间(18:00–22:00)保持有足够的饵料密度,这样既可保持仔稚幼鱼的充分摄食,保证其正常发育生长,又可避免饵料的不必要浪费和水质的污染,适时投饵还可保持卤虫无节幼体的营养价值。

3.2 鬼鲉仔、稚、幼鱼的摄食节律与生态习性

鱼类摄食节律是与其生态习性相适应的,鱼类的摄食是一种内源节律,是对光照、温度、饵料等周期性变动的生态因子的一种主动适应,其内源性摄食节律的变化是以生理机能的变化为基础的^[8]。鬼鲉仔鱼和稚鱼前期阶段可自由游动于水体中,进入稚鱼后期和幼鱼阶段逐步转为底栖和完全底栖生活方式,随着生态习性的转变,其摄食节律也发生变化。尽管鬼鲉早期发育阶段的形态变化不像半滑舌鲷那样发生根本性的转变,但其生活习性和摄食节律转变规律与半滑舌鲷具有相似性^[9]。梁旭方等^[10]指出,鱼类的白昼摄食行为是利用视觉进行的,夜间摄食行为是利用化学感觉、特化夜视觉和侧线机械感觉完成的。此外,还有研究表明,黑海凶猛鱼类(鲈、黑海石首鱼和三须鲷等)的捕食行为,在光照0.1~0.01 lx时开始活跃起来,由于视网膜具有很大的会聚性,对光敏感性极高,因而在非常低的光照下也能发挥作用。这些凶猛鱼类主要是利用其发达的夜视觉和侧线机械感觉进行捕食,即使它们在视觉被除去后仍能正常摄食^[10]。鬼鲉仔鱼期和稚鱼前期口前位,摄食高峰出现在白天,此阶段摄食节律可能与视觉和触觉有关,稚鱼后期和幼鱼期口上位,侧线

已开始形成并逐渐完善,此时期的摄食节律可能与嗅觉、特化夜视觉和侧线系统有关,在这摄食节律变化过程中究竟是哪种生理功能起主要作用,还有待于从行为学、组织学等方面进行深入研究探讨。

3.3 饥饿对鬼鲉仔鱼外部形态和运动行为的影响

一般认为,饥饿和敌害、捕食及海洋环境的水质污染等是海洋鱼类仔鱼死亡的主要因素,早期发育阶段是鱼类最脆弱、最敏感的阶段。在仔稚鱼阶段,饥饿后半数死亡时间短,这个时间就是仔稚鱼的敏感阶段,此阶段对饥饿的耐受力最差^[11]。本研究表明,鬼鲉初孵仔鱼、1日龄、3日龄、5日龄、8日龄和10日龄仔鱼全部死亡时间分别为192 h、216 h、168 h、80 h、178 h和264 h,半数死亡时间分别为144 h、120 h、120 h、60 h、108 h和144 h,说明5日龄仔鱼应是鬼鲉早期发育中更为敏感的阶段。柳敏海等^[12]报道了在水温27.8~28.8℃的条件下,5日龄和10日龄点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)的饥饿仔鱼半数死亡时间均为1.5 d,并认为5日龄和10日龄仔鱼是点带石斑鱼早期发育中最为敏感的阶段,此阶段对饥饿的耐受力最差。鬼鲉成熟卵为无油球的浮性卵,卵黄均匀。初孵仔鱼卵黄囊很大,呈椭圆形,前缘突出吻端,长径1.2 mm,占全长30%。5日龄鬼鲉仔鱼的卵黄囊已全部吸收完毕,完全转入外源性营养阶段。因仔鱼体内的消化酶缺乏或酶活力不足^[13],对外源性营养食物难以消化或消化能力弱,此时就成为进入外源性营养后的关键期,表现为对饥饿的耐受力差。比较结果显示,5日龄鬼鲉仔鱼耐饥饿的半数死亡时间长于5日龄点带石斑鱼仔鱼,这与种类差异和试验水温不同有关,还与鬼鲉仔鱼开口口径大(355~499 μm),易于捕食饵料等有关。10日龄点带石斑鱼由于前期仔鱼体内聚集的DHA、EPA等必需脂肪酸已消耗完毕,进入外源性营养后因食物转换发生营养转换的一个关键时期^[12],导致出现另一个饥饿耐受力差的敏感阶段。而鬼鲉仔鱼在单独投喂轮虫和卤虫无节幼体时就可保证仔鱼发育直至变态完成,其摄食饵料营养需求低,饵料系列简单且仔稚鱼对环境的适应能力强^[2]。说明8日龄和10日龄鬼鲉仔鱼可

顺利度过饵料和营养的转换期,因而对饥饿的耐受力也大大增加。

鬼鲉仔鱼经长时间的饥饿后脑后部下陷明显,该结果与点带石斑鱼^[12]、日本牙鲆^[14]和半滑舌鲷^[15]仔鱼的结论相同。Dou等^[14]指出,由于仔鱼脑后部下陷,因而头高度下降可以作为日本牙鲆仔鱼饥饿较为敏感的指标。作者认为,头高的变化可能受一些不确定因素的影响,因而以光镜下观察脑后部凹陷的特征作为鬼鲉仔鱼饥饿的指标更为合适。饥饿状态下鱼类行为变化显著,主要表现为游泳速度和对刺激的反应率的变化^[16-17]。由于饥饿个体头部脂肪被代谢消耗,失去浮力,常见头朝下,给捕食带来困难,因而会造成仔鱼摄食量的不足致使体质虚弱并很快死亡。根据这些饥饿仔鱼形态和行为的变化,可初步评价鱼类早期发育阶段的营养水平,并为鱼类苗种生产中的饵料品种的选择和搭配提供科学依据。

参考文献:

- [1] 沙学坤,阮洪超,何桂芬. 鬼鲉卵子及仔稚鱼的发育[J]. 海洋与湖沼,1981,12(4): 365-371.
- [2] 林锦宗,洪跃家,刘荣利,等. 鬼鲉人工繁殖与育苗技术的初步研究[J]. 厦门水产学院学报,1992,14(1): 1-8.
- [3] 李显森,李琼珍. 日本鬼鲉工厂化育苗技术研究[J]. 湛江海洋大学学报,1999,19(4): 16-20.
- [4] 刘振勇,全汉锋. 鬼鲉人工育苗技术研究[J]. 上海水产大学学报,2005,14(1): 30-34.
- [5] 张雅芝,胡家财,谢仰杰,等. 浅色黄姑鱼早期发育阶段的摄食习性与生长特性[J]. 热带海洋学报,2006,25(5): 74-79.
- [6] 张雅芝,陈而兴. 春季生殖真鲷仔、稚、幼鱼的摄食与生长[J]. 海洋科学,1998,3: 57-62.
- [7] Helfman G S. Fish behaviour by day, night and twilight [M]. In: Tong J Pitcher ed. The behaviour of teleost fishes. Baltimore Maryland: The Johns Hopkins University Press, 1986: 366-387.
- [8] 李大勇,刘晓春,何大仁. 真鲷早期发育阶段的摄食节律[J]. 热带海洋,1994,13(2): 82-87.
- [9] 马爱军,柳学周,徐永江,等. 半滑舌鲷早期发育阶段的摄食特性及生长研究[J]. 海洋与湖沼,2005,36(2): 130-138.
- [10] 梁旭方,何大仁. 鱼类摄食行为的感受基础[J]. 水生生物学报,1998,9(3): 278-284.

- [11] Benjaming H, Rice J A, Crowder L B. Size-dependent effects of continuous and intermittent feeding on starvation and mass loss in starving yellow perch larvae and juveniles [J]. *Trans Am Fish Soc*, 1996, 125: 14–26.
- [12] 柳敏海, 施兆鸿, 陈波, 等. 饥饿对点带石斑鱼饵料转换期仔鱼生长和发育的影响 [J]. *海洋渔业*, 2006, 28 (4): 292–298.
- [13] 陈品健, 王重刚, 郑森林. 夏、冬两季真鲷仔、稚、幼鱼消化酶活性的比较 [J]. *海洋学报*, 1998, 20 (5): 90–94.
- [14] Dou S, Masuda R, Tanaka M, et al. Feeding resumption, morphological changes and mortality during starvation in Japanese flounder larvae [J]. *Fish Biology*, 2002, 60: 1 363–1 380.
- [15] 吴莹莹, 柳学周, 马爱军, 等. 饥饿对半滑舌鲷仔鱼生长和发育的影响 [J]. *海洋水产研究*, 2006, 27 (2): 87–93.
- [16] 殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展 [J]. *水产学报*, 1991, 15 (4): 348–358.
- [17] Miyazaki T, Masuda R, Furuta S, et al. Feeding behaviour of hatchery-reared juveniles of the Japanese flounder following a period of starvation [J]. *Aquaculture*, 2000, 190: 129–138.

Feeding rhythm and tolerance of starvation during early development stage of devil stinger, *Inimicus japonicus*

CHEN Hui, XIE You-quan, LIN Guo-wen, LIN Xiao-jin, CHEN Wu, WANG Xing-chun

(Mindong Fisheries Research Institute of Fujian Province, Ningde 352100, China)

Abstract: The devil stinger, *Inimicus japonicus*, a valuable marine lumpfish distributed in China, Korea and Japan, has been successfully cultured by artificial breeding for mass propagation. In this study, the feeding rhythm and lethal time during starvation of devil stinger were investigated by experimental ecology approach. It has been clearly demonstrated that larvae and juvenile fish taking planktonic life style have two peaks of feeding intensity in the daytime. The feeding intensity at age of 6 days post hatching were the highest at 10 : 00 a.m and 14 : 00 p.m, respectively, and the same feeding rhythm occurred in 17-day-old juvenile fish. With living habit changing from planktonic style to benthonic style, the juvenile and young fish ingested food relatively actively at night and the feeding rhythm showed an obvious change. It was found that the juvenile at 29 days old reached double feeding peaks at 22 : 00 p.m. and 6 : 00 a.m., respectively, while young fish of 40 days old also showed the same feeding rhythm. The feeding incidence amount tested was 69.7%, 57.7%, 42.3% and 17.7 % for 6-day-old larvae, 17-day-old juvenile, 29-day-old juvenile and 40-day-old young fish respectively. The survival rate of larvae varied with the development stages that 0 d, 1 d, 3 d, 5 d, 8 d and 10 d after hatching, the larvae were all dead after 192 h, 216 h, 168 h, 80 h, 178 h and 264 h of starvation, respectively. Under the same condition, half lethal time of the larvae were 144 h, 120 h, 120 h, 60 h, 108 h and 144 h of starvation respectively, which indicated that the larvae of 5 days after hatching was the most sensitive stage to starvation in the process of food transformation in the early life stage. After starvation, larvae became shorter and thinner, with larger head, pale body, while its responses and actions became slow, always resting at the bottom. The posterior part of brain sunk obviously after a long time of starvation, all of which could be regarded as an important index of lethal time. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16 (3): 340–347]

Key words: *Inimicus japonicus*; early development stage; feeding rhythm; starvation; mortality