

云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)早期发育阶段的摄食与生长特性*

陆丽君^{1,2} 陈超¹ 马爱军¹ 翟介明³ 王新安¹ 李伟业¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 青岛 266071; 2. 上海海洋大学 上海 201306; 3. 莱州明波水产有限公司 烟台 261418)

摘要 采用随机取样实验生态学方法,对人工培育的云纹石斑鱼的仔、稚、幼鱼各发育阶段的形态特征及摄食变化状况进行了观察和描述。结果表明,云纹石斑鱼仔、稚鱼生长期间,分别以牡蛎幼体、轮虫、卤虫为饵料,幼鱼摄食配合饲料。形态学数据测量结果表明,云纹石斑鱼仔、稚、幼鱼的全长、体重和日龄三者之间存在相关关系。全长与日龄的关系式为 $L = 2.8058e^{0.0287D}$; 体重与日龄的关系式为 $W = 0.0004e^{0.0825D}$; 全长与体重的关系式为 $W = 0.001e^{0.103L}$, 相关系数分别为 0.8954、0.9054、0.7982。云纹石斑鱼摄食状况测量结果表明,在人工投喂条件下,5 日龄仔鱼的摄食率为 90%,18 日龄仔鱼饱食率为 100%。实验结果还表明,在全天光照条件下,仔鱼 16:00—18:00 达摄食高峰;自然昼夜条件下,仔鱼 14:00 达摄食高峰;在全天黑暗条件下,仔鱼没有明显的摄食高峰。说明仔鱼摄食具有明显的昼夜节律,均表现为白天摄食为主。

关键词 云纹石斑鱼,仔、稚、幼鱼,生长特性,摄食

中图分类号 S963

云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*),俗称真油斑、草斑,隶属于硬骨鱼纲(Osteichthyes)、鲈形目(Perciformes)、鲷科(Serranidae)、石斑鱼亚科(Epinephelinae)、石斑鱼属(*Epinephelus*),为暖水性(适应水温 15—32℃)底层鱼类,主要分布在韩国、日本、中国(南至香港、海南、台湾沿岸)(郭明兰等,2008)。云纹石斑鱼肉味鲜美,是海水石斑鱼中的极品,其生长快、适应性强、经济价值高,是东北亚温带池塘、室内工厂化以及海域网箱养殖的理想品种。近年来已成为我国浙江、福建、广东、广西等地沿海的重要发展养殖对象(王新安等,2008)。我国大陆沿海具有适宜养殖的广阔海域,石斑鱼养殖具有巨大的开发潜力和有利条件,而前提和关键是大批量健康苗种的生产和稳定供应。目前在国内石斑鱼大规模苗种生产一直不稳定,原因是在苗种培育过程中(主要是仔鱼开口后的营养转换期和仔鱼变态期)存在高死亡

率(唐啸尘等,2006),在自然生存和人工培育苗种的过程中,饵料转化一直是鱼苗死亡的主要阶段(张永泉等,2010)。因此,在营养转换期,仔鱼从内源性营养转换到外源性营养时,能否利用外源性食物以及外源性食物的营养价值,直接影响到苗种生产的成败。目前云纹石斑鱼养殖用的种苗主要来自天然苗和少量的人工苗,其早期发育阶段的生物学特性国内迄今未见报道。本文对人工培育条件下的云纹石斑鱼早期发育阶段的摄食和生长特性进行研究,观察其饵料转化状况,分析饵料系列的合理性,以期积累早期发育阶段和摄食状况的生物学资料,为今后大规模的苗种生产提供依据。

1 材料与方 法

实验于 2010 年 6—11 月在山东莱州明波水产有限公司进行。经催产注射的云纹石斑鱼(*Epinephelus*

* 国家国际科技合作专项项目, S2012Zi0303 号。陆丽君, E-mail: lulijun.1987@163.com

通讯作者: 马爱军, 博士, 研究员, 博士生导师, E-mail: maaj@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2010-12-23, 收修改稿日期: 2011-02-27

moara)亲鱼, 发情、产卵, 采用干法人工受精, 收集受精卵, 置于圆形塑料孵化桶中连续充气、流水孵化, 控制温度 20℃、盐度 30、pH 7.9、光照 100 lx 左右。鱼苗培育条件为: 溶氧 6.2mg/L, 温度 25℃, 盐度 30, pH 7.93, 全天 100 lx 日光灯照射。1—31 日龄为仔鱼期, 32—66 日龄大部分个体鳞被形成期为稚鱼期, 67 日龄大部分个体背鳍棘和腹鳍棘吸收完毕为幼鱼期。用 Nikon 显微镜和解剖镜观察鱼的生长状况并拍照。对各日龄鱼苗随机取样, 详细记录鱼的全长、体长、肛前体长以及三叉棘长、腹鳍棘长、眼径、口裂长和胃饱满度。

消化道饱满度的测定: 从 4 日龄开始, 在解剖镜下观察其消化道饱满度。消化道饱满度以通用的 5 级(张雅芝等, 1999a)为标准, 0 级: 胃肠内均无食物; 1 级: 胃肠内有少量食物; 2 级: 胃内食物适量; 3 级: 胃内充满食物, 胃壁不膨大; 4 级: 胃内充满食物, 胃壁膨大。

本文采用的摄食率和饱食量指标计算方法(谢仰杰等, 2007)如下:

摄食率: 摄食个体数占总个体数的百分比。

饱食量: 消化道饱满度为 3 级和 4 级的时的摄食量。

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)所需时间。

消化时间: 饱食个体在无饵水体中至饵料消化排空的时间。

全长和体重日增长率计算方法(刘冬娥等, 2007)为:

$$\text{全长日增长率}(\%) = (\lg L_2 - \lg L_1) / [0.4343(t_2 - t_1)]$$

$$\text{体重日增长率}(\%) = (\lg W_2 - \lg W_1) / [0.4343(t_2 - t_1)]$$

式中, t_1 和 t_2 代表日龄; L_1 和 L_2 代表日龄为 t_1 和 t_2 时的全长; W_1 和 W_2 分别代表日龄为 t_1 和 t_2 时的体重。

摄食节律实验部分, 设 3 个组, 1 组置于室内自然光照及自然昼夜节律条件下饲养; 2 组白天自然光照, 夜间日光灯照射, 为持续光照组; 3 组在暗室中黑暗条件饲养, 为黑暗组; 每组设 I、II 两个平行。

2 结果

2.1 云纹石斑仔、稚、幼鱼不同时期发育图

不同时期云纹石斑鱼发育状况见图 1。由图 1 可以看出, 随着日龄的增长, 油球逐渐缩小近消失, 消化道逐渐形成至完善, 胃饱满度逐渐增加至 4 级。三叉棘和腹鳍棘经历了先生长、后收缩的过程。随着日龄的增长, 鱼体出现色素, 形成斑纹, 体态逐渐接近

成鱼。

2.2 仔、稚、幼鱼的形态发育及生态习性

2.2.1 前期仔鱼 从胚体孵化出膜至 4 日龄卵黄囊即将完全消失。

初孵仔鱼平均全长(2.07±0.12)mm, 平均体长(1.84±0.10)mm, 仔鱼身体延长, 卵黄囊为长圆形。油球一个, 位于卵黄囊底部中央。刚孵出的仔鱼, 鱼体透明, 肠道明显但是肛门尚未开口于体外, 背腹部和尾部有无色透明的鳍膜。仔鱼腹部朝上, 悬挂水中, 游泳能力弱, 作不规则窜游, 尾部偶尔会快速扭动。

3 日龄仔鱼平均全长(2.60±0.07)mm, 平均体长(2.38±0.08)mm, 卵黄囊缩小成一团, 油球缩小。口裂已经形成, 未见摄食。肠道分化明显, 肛门开通, 胃肠会蠕动, 消化管加粗。视囊内开始有微量的色素沉淀。仔鱼活力好, 作水平游动。

4 日龄仔鱼平均全长(2.67±0.07)mm, 平均体长(2.46±0.08)mm, 卵黄囊全部消失, 油球近消失。口裂明显, 能摄食, 消化道膨大变粗, 蠕动有力, 内部可见摄食的牡蛎幼体。消化道及其上方的体侧布满黑色素, 在肛门和尾部之间的中央处有一由下而上环包脊索的树枝状黑色素, 视囊内黑色素加深。头部和胃上部及尾部有较小的黑色素。仔鱼胸鳍出现, 游泳和摄食能力增强, 但摄食量少, 胃饱满度几乎为 0。至此, 仔鱼开始由内源性营养转为外源性营养。

2.2.2 后期仔鱼 10 日龄仔鱼平均全长(3.06±0.22)mm, 平均体长(2.86±0.22)mm。最大个体达 3.50mm, 最小的为 2.80mm, 个体大小已经出现差异。树枝状黑色素覆盖了整个消化道及其上方的躯干部位。尾部中央的腹缘处到脊索部有一黑色素丛。胸鳍和尾鳍呈扇形, 鳍条丝清晰可见。仔鱼胸鳍发达, 尾鳍摆动有力, 反应迅速, 行动灵敏, 可作水平游动。仔鱼喜在光亮处集群, 白天几个群体集中在上层游动, 夜间均匀漂游于表层。

11 日龄仔鱼平均全长(3.28±0.15)mm, 平均体长(3.08±0.15)mm。背部和腹部鳍膜变窄, 消化道上方躯干部黑色素增多并逐渐向下延伸, 覆盖面积增大, 同时尾部中央的黑色素也明显增多。三叉棘原基和腹鳍棘原基出现。

27 日龄仔鱼平均全长(8.35±2.08)mm, 平均体长(7.18±1.63)mm。背鳍、臀鳍鳍棘和鳍条出现, 背、腹鳍膜消退明显, 脊索末端上翘, 尾下骨增大并连成块状, 尾鳍条逐渐增多。头部颅骨和听囊后方的黑色素增多。此时鱼苗的胃饱满度全部达到 4 级。大部分个

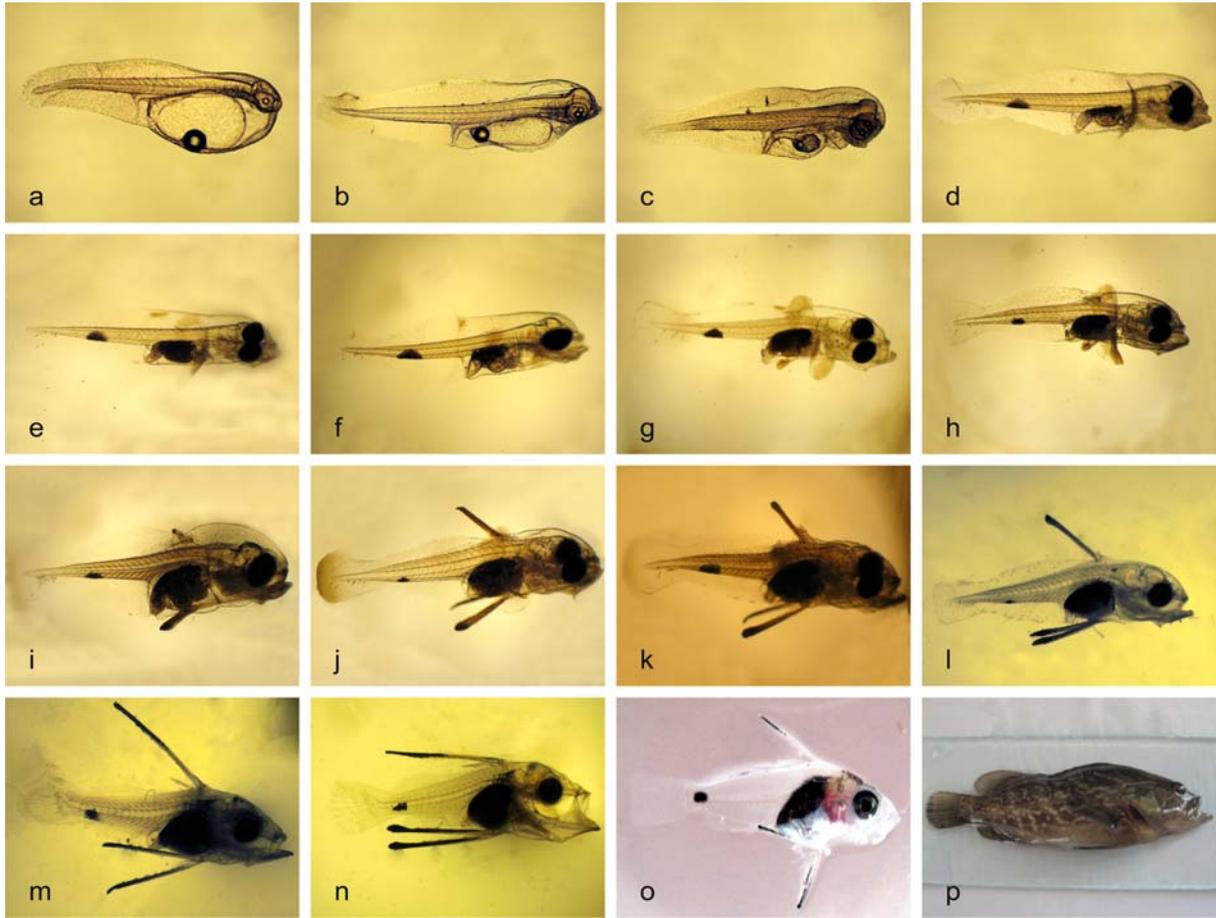


图1 云纹石斑鱼仔、稚、幼鱼发育

Fig.1 Larval, juvenile and young stages of *E. moara*

a. 初孵仔鱼; b. 2日龄仔鱼; c. 3日龄仔鱼; d. 4日龄仔鱼; e. 5日龄仔鱼; f. 7日龄仔鱼; g. 10日龄仔鱼; h. 11日龄仔鱼; i. 13日龄仔鱼; j. 14日龄仔鱼; k. 15日龄仔鱼; l. 16日龄仔鱼; m. 21日龄仔鱼; n. 27日龄仔鱼; o. 50日龄稚鱼; p. 119日龄幼鱼

体各鳍条发育完整, 将进入稚鱼期。

2.2.3 稚鱼期 31—66日龄大部分个体鳞被形成, 达稚鱼期。50日龄稚鱼眼前方和鳃盖骨有几个星状黑色素分布, 消化道上部的树枝状黑色素逐渐消退, 从眼睛上方至脊椎最前端覆盖了较为密集黑色素, 鱼体背部和脊椎上部黑色素细胞明显增长, 呈线状排列, 尾柄处有一明显的黑色素斑, 腹鳍棘出现色素丛, 呈棕色。

2.2.4 幼鱼期 67日龄鱼苗, 大部分鱼体鳞被形成, 进入幼鱼期。鱼苗完成变态, 鳞片覆盖鱼体, 为细小栉鳞, 体表粘液多, 侧线明显, 体表出现云状白色斑块, 背鳍棘和腹鳍棘已经完全收缩。鱼体各器官的发育已经完成, 形态特征与成鱼相似, 接近成鱼的生活习性, 栖息于池底, 仅在喂饵时上游集群抢食。

2.3 仔、稚、幼鱼的生长特性

云纹石斑鱼仔、稚、幼鱼的生长见表1, 全长平

均日增长率为4.19%, 波动于0.04%—34.79%, 体重平均日增长率为13.8%, 波动于-0.21%—125%。

全长(L/mm)与日龄(D/d)的关系式为 $L = 2.8058e^{0.0287D}$, 相关系数 $R^2 = 0.8954$, 见图2A; 体重(W/g)与日龄(D/d)的关系式为 $W = 0.0004e^{0.0825D}$, 相关系数 $R^2 = 0.9054$, 见图2B; 全长(L/mm)与体重(W/g)的关系为 $W = 0.001e^{0.103L}$, 相关系数 $R^2 = 0.7982$, 见图2C。

2.4 摄食率、饱食率、饱食时间和消化道饱满度

选择日龄5—30的仔鱼作为研究对象。如表2所示, 在人工培育、饵料充足的条件下, 5日龄云纹石斑鱼摄食率为90%, 5日龄以后个体摄食率达到100%。随着个体的生长, 仔鱼饱食率逐渐提高, 10日龄个体饱食率达到10%, 11日龄为30%, 15日龄为50%, 18日龄以后, 饱食率达到100%。5—30日龄仔鱼平均摄食率为99.375%, 饱食率为41.25%, 平均胃

表 1 云纹石斑鱼仔、稚、幼鱼全长和体重
Tab.1 Total lengths and body weight of larval, juvenile and young *E. moara*

发育期	日龄(d)	测定尾数(尾)	全长(mm)		平均体重(g)
			平均值±标准差	范围	
前期仔鱼	1	10	2.07±0.12	1.9—2.2	0.0002
	2	10	2.39±0.13	2.1—2.5	0.0003
	6	10	2.79±0.17	2.5—3.1	0.0005
	8	10	2.85±0.26	2.4—3.1	0.0005
	9	10	3.08±0.24	2.5—3.3	0.0005
后期仔鱼	12	10	3.55±0.25	3.2—4	0.0007
	15	10	4.35±0.39	4—5	0.0010
	21	10	6.09±1.15	4.7—7.9	0.0037
	27	10	8.35±2.08	6.5—13.7	0.0076
稚鱼	30	8	11.46±0.97	10.4—12.9	0.0225
	35	4	14.63±0.70	13.8—15.5	0.0291
	45	7	16.87±1.08	15.3—18.4	0.0493
	60	6	19.50±1.28	18.3—21.8	0.0954
幼鱼	75	7	47.00±4.24	40—52	1.0742
	119	8	103.63±7.84	94—115	18.42±4.42
	163	9	111.44±6.60	102—123	22.61±4.23

饱满度为 2.5。

9 日龄、21 日龄、35 日龄、60 日龄仔鱼的饱食时间为分别为 80min、60min、37min、20min, 详细数据见表 3。

2.5 仔、稚、幼鱼的消化时间

从表 4 可以看出, 9 日龄仔鱼在饱食后 3.3h, 胃内残余物几乎为 0, 推断 9 日龄仔鱼消化时间为 3.3h。21 日龄仔鱼消化时间约为 2.5h, 35 日龄稚鱼消化时间约为 2h, 67 日龄幼鱼消化时间约为 2h。

2.6 不同昼夜节律下仔鱼的摄食节律

对云纹石斑鱼昼夜摄食节律的测定结果表明, 15 日龄的云纹石斑鱼仔鱼属于典型的白天摄食型, 在自然昼夜、持续光照条件下, 均表现为白天摄食为主, 持续黑暗组仔鱼虽摄食量少, 但也以白天摄食为主, 仔鱼摄食呈现一定的节律性。从表 5 可以看出, 三组鱼均表现出在白天 8:00—20:00 时区摄食活跃, 在其余时区不活跃, 持续光照组稍微增加了仔鱼的夜间摄食, 黑暗组整日摄食量一直较低。对照组在 14:00 出现一个摄食高峰, 持续光照组在 16:00—18:00 出现摄食小高峰, 黑暗组没有明显的摄食小高峰。

2.7 仔、稚鱼日龄和饵料规格

研究表明, 鱼所能摄取的饵料大小是由其口径

决定的(申屠基康, 2009)。同种鱼类口径的大小与其体长相关, 不同的鱼类口径常在种间存在较大差异。在自然状态下, 鱼苗所摄取的饵料通常仅是其口径的 38%。随着鱼苗自身的长大, 投喂的饵料也必须逐渐增大, 以使得鱼苗能以最大的速率生长(Hunter, 1980)。随着鱼苗长大, 每次捕食所消耗的能量, 常常超过它消化较小食物颗粒所获得的能量(Beyer *et al*, 1981)。云纹石斑鱼日龄和饵料规格见表 6, 苗种采用牡蛎幼体作为开口饵料, 4—7 日龄仔鱼全部投喂牡蛎幼体; 8—13 日龄仔鱼, 同时投喂牡蛎幼体和 S 型轮虫; 14—23 日龄仔鱼, 全部投喂 L 型轮虫; 23—66 日龄仔鱼, 投喂卤虫无节幼体; 66 日龄以后投喂人工配合饲料。

3 讨论

3.1 饵料的适用性和选择性

目前, 海产鱼类苗种培育的饵料基本相似, 通常为贝类幼虫、轮虫(刘桂云等, 2003)、卤虫无节幼体、挠足类、鲜虾鲜鱼糜等。有关专家对人工培育的青石斑鱼仔、稚、幼鱼的饵料系列进行研究, 得出了一套适合青石斑鱼鱼苗的饵料系列(周婉霞等, 1994)。研究表明, 不同生物饵料对赤点石斑鱼稚、幼鱼生长和

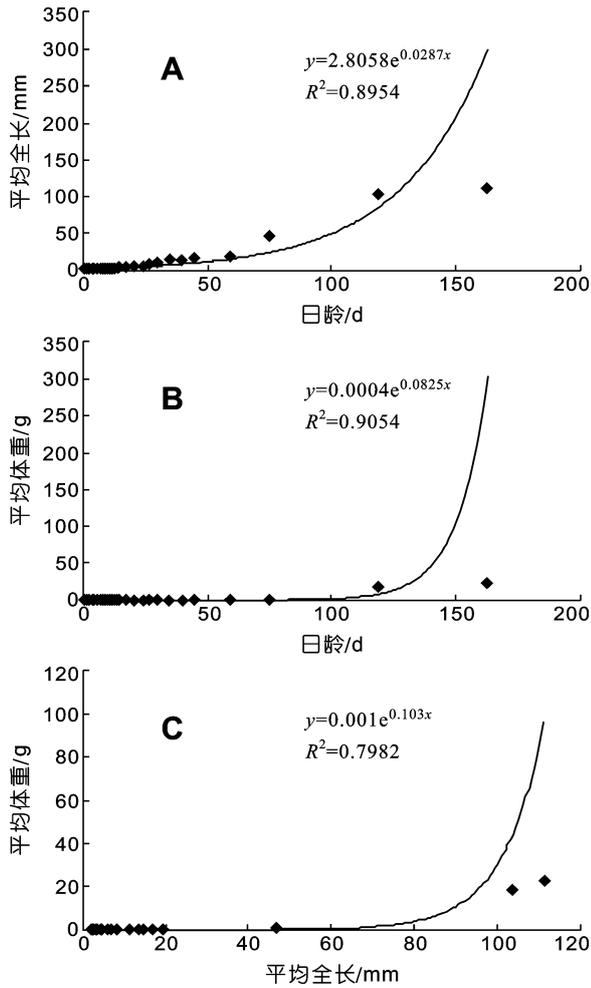


图2 云纹石斑鱼仔、稚、幼鱼全长、体重的生长曲线以及全长对体重的相关曲线

Fig.2 Growth curve (based on total length and body weight), and regression curves for total length and body weight for larval, juvenile and young *E. moara*

A. 全长的生长曲线, B. 体重的生长曲线, C. 全长对体重的相关曲线

表2 云纹石斑鱼仔、稚鱼的消化道饱满度、摄食率及饱食率

Tab.2 Plump coefficient of stomach, feeding rate and satiation rate of *E. moara*

日龄 (d)	测定 (尾)	消化道饱满度					摄食率 (%)	饱食率 (%)
		1	2	3	4	5		
5	10	1	9	0	0	0	90.00	0.00
6	10	0	9	1	0	0	100.00	0.00
7	10	0	5	5	0	0	100.00	0.00
8	10	0	5	5	0	0	100.00	0.00
9	10	0	3	7	0	0	100.00	0.00
10	10	0	1	8	1	0	100.00	10.00
11	10	0	0	7	3	0	100.00	30.00
12	10	0	1	6	3	0	100.00	30.00
13	10	0	0	9	1	0	100.00	10.00
14	10	0	0	7	3	0	100.00	30.00
15	10	0	0	5	2	3	100.00	50.00
18	10	0	0	0	2	8	100.00	100.00
21	10	0	0	0	1	9	100.00	100.00
24	10	0	0	0	0	10	100.00	100.00
27	10	0	0	0	0	10	100.00	100.00
30	8	0	0	0	0	8	100.00	100.00
合计	158	1	33	60	16	48	99.38*	41.25*

注: *为平均值

存活率的影响各不相同, 轮虫的饵料地位应是海水鱼类仔鱼开口和仔鱼期的主要饵料, 而不是稚、幼鱼阶段的适宜饵料, 因此在人工育苗的仔鱼后期和稚鱼期, 应当停止投喂轮虫, 及时进行饵料转换, 卤虫无节幼体基本可满足赤点石斑鱼稚鱼的营养需求(楼

表3 云纹石斑鱼仔、稚、幼鱼的饱食时间

Tab.3 The time for feeding from empty to full in stomach of larval, juvenile and young *E. moara*

日龄	平均全长 (mm)	发育阶段	饵料	水温()	实验开始时间	出现饱食个体时间	全部个体达到饱食时间	所需时间 (min)	消化道饱满度(级)
9	3.08±0.24	仔鱼	牡蛎幼体	23	9:00	9:50	10:20	80	1—3
21	6.09±1.15	仔鱼	L型轮虫	24	9:05	9:40	10:05	60	3—4
35	14.63±0.70	稚鱼	卤虫	25	9:08	9:40	9:45	37	4
60	19.50±1.28	幼鱼	卤虫	23	9:10	9:30	9:30	20	4

表4 云纹石斑鱼仔、稚、幼鱼的消化时间

Tab.4 The time for digesting food from full to empty stomach by larval, juvenile and young *E. moara*

日龄	尾数	平均全长	发育阶段	饵料	水温	饵料排空时间	
						开始有个体排空	全部个体排空
9	50	3.08±0.24	仔鱼	牡蛎幼体	23	3h 20min	3h 55min
21	50	6.09±1.15	仔鱼	L型轮虫	24	2h 35min	3h 15min
35	30	14.63±0.70	稚鱼	卤虫	25	1h 50min	2h 35min
67	20	19.50±1.28	幼鱼	配合饲料	23	2h	2h 35min

表 5 不同昼夜节律下云纹石斑鱼 15 日龄仔鱼的摄食强度
Tab.5 Feeding rhythm of 15-day old larval *E. moara* under different diurnal conditions

组别	时间	水温(°C)	光照(lx)	摄食强度	
				I	II
对照组	6:00	24	30	0.6	0.8
	8:00		220	4.2	4.0
	10:00		320	8.3	8.5
	12:00		365	9.2	8.8
	14:00	25	300	18.5	19.0
	16:00		201	12.3	11.5
	18:00		50	8.6	9.0
	20:00		0	3.6	3.2
	22:00	24	0	1.4	1.2
	0:00		0	0.4	0.5
	2:00		0	0.2	0.1
	4:00		0	0.4	0.6
持续光照组	6:00	24	180	2.5	3.2
	8:00		183	2.8	2.6
	10:00		185	8.2	8.5
	12:00		187	10.5	11.0
	14:00	25	190	10.8	11.2
	16:00		182	14.3	13.8
	18:00		197	15.6	14.8
	20:00		180	7.6	7.2
	22:00	24	183	2.6	2.0
	0:00		181	1.3	1.5
	2:00		192	0.8	0.5
	4:00		186	0.5	0.3
黑暗组	6:00	24	0	0.3	0.4
	8:00		0	0.5	0.6
	10:00		0	1.3	1.6
	12:00		0	2.2	2.5
	14:00	25	0	2.0	2.3
	16:00		0	2.1	1.9
	18:00		0	1.8	1.6
	20:00		0	2.3	2.0
	22:00	24	0	1.3	1.1
	0:00		0	0.3	0.2
	2:00		0	0.2	0.2
	4:00		0	0.2	0.1

宝等, 2004)。云纹石斑鱼自初孵仔鱼至幼鱼发育过程大抵有 3 个饵料转换期: 前期仔鱼到后期仔鱼由内源性营养(卵黄和油球)到外源性营养(以小型浮游动物为主)的转换期; 后期仔鱼到稚鱼期由摄食小型浮游动物到大型浮游动物转换期; 稚鱼后期和幼鱼阶段

向配合饲料转换期。在云纹石斑鱼的育苗工程中, 采用牡蛎幼体为开口饵料, 其饵料系列是牡蛎幼体和幼体-S 型轮虫-L 型轮虫-卤虫无节幼体-卤虫-配合饲料。幼鱼生长到一定阶段, 可采用糠虾、鱼虾贝肉饲料。使用配合饲料投喂, 可以避免使用鲜活饵料带来的污染。云纹石斑鱼苗的生长状况及存活率情况表明, 这一饵料系列是适用的。

许多国内外学者在饵料选择性方面进行的研究表明, 决定食饵对象是否被仔鱼喜好的最主要特征是大小, 能被摄取的食饵大小上限由仔鱼的口裂大小决定(殷名称, 1995)。云纹石斑鱼仔、稚鱼对饵料的选择性也取决于口裂大小, 因此在鱼苗发育的不同阶段, 投喂粒径大小不同的饵料, 才能保证鱼苗的正常生长和成活率。云纹石斑鱼苗种饵料的选择, 未见相关文献报道, 借鉴相近物种的饵料选择来对其投喂, 取得了较为理想的结果。

3.2 云纹石斑鱼仔、稚鱼摄食能力

在人工育苗、饵料充足的情况下, 鱼类仔、稚、幼鱼的摄食率很高, 花鲈为 99.1% (张雅芝等, 1999b), 花尾胡椒鲷为 97% (张雅芝等, 2000), 真鲷为 98.1% (张雅芝等, 1998)。5—30 日龄云纹石斑鱼平均摄食率为 99.375%, 平均饱食率为 41.25%, 18 日龄之后的鱼苗, 饱食率为 100%, 24 日龄以后鱼苗, 胃饱满度均达到 4 级。9 日龄仔鱼从胃排空状态至摄食饱满状态需约 80min 左右, 21 日龄仔鱼需 60min 左右, 而稚、幼鱼仅需 30min 左右。说明云纹石斑鱼摄食能力很强, 摄食活动旺盛。

3.3 云纹石斑鱼摄食节律特点

很多鱼类的摄食活动都表现出特定的节律, 鱼类的摄食有白天摄食、晚上摄食、晨昏摄食和无明显节律摄食四种类型(Helfman, 1986)。对半滑舌鲷摄食节律的研究表明, 在浮游生活阶段, 摄食节律相对于发育后期不明显, 但白天的摄食强度和节律明显高于晚上; 营底栖生活后的半滑舌鲷稚鱼, 摄食强度增加, 摄食节律非常明显(马爱军等, 2005)。大菱鲆和褐牙鲆在白天摄食, 主要是靠视觉摄食(Holmes *et al.*, 1986)。因此, 不同鱼类的摄食活动和摄食节律状况各不相同, 云纹石斑鱼仔鱼的摄食节律明显, 对 15 日龄仔鱼摄食节律的观察发现, 白天是云纹石斑鱼仔鱼摄食的主要时间, 在不同昼夜节律条件下, 仔鱼均表现为白天摄食为主, 由此认为, 云纹石斑鱼仔鱼属于典型的白天摄食类型。

表6 云纹石斑鱼日龄和饵料规格
Tab.6 Age (in days) and food size of *E. moara*

日龄	平均全长(mm)	平均口裂(mm)	发育阶段	饵料	饵料粒径(μm)	平均胃饱满度(级)
4	2.67±0.07	0.21±0.08	前期仔鱼	牡蛎幼体	125 以下	0
8	2.85±0.26	0.34±0.07	后期仔鱼	S 型轮虫	117—162	1.5
15	4.35±0.39	0.47±0.06	后期仔鱼	L 型轮虫	238	2.8
40	13.66±2.30	1.24±0.30	稚鱼	卤虫无节幼体	500 左右	4

3.4 光照及昼夜节律的改变对仔鱼摄食的影响

光照是影响鱼类摄食、生长、发育的重要因素之一,尤其是对那些依靠视觉进行摄食的鱼类。在光照度为 10—600 lx 范围内,漠斑牙鲆仔鱼生长最快,存活率最高,饵料转换期最短(秦志清等, 2009)。夜间适当延长光照时间可以缩短育苗周期。黄盖鲽仔鱼在 40—60 lx 光照条件下,仔鱼生长最好,在 40—7000 lx 范围内随着光照强度的增强,存活率下降,畸形个体增加(王迎春等, 1999)。因此,不同生态类型的鱼类,摄食和生长都和光照有着一定的关系,在适宜的光照强度范围下,鱼类的生长、摄食活动处于最佳状态,在过高或者过低的照度范围内会阻碍其生长和发育,并严重影响仔鱼的存活率(李大勇等, 1994),因而研究光照对仔鱼摄食及生长的影响是非常必要的。在自然昼夜节律下,室内光照白天在 100—400 lx,云纹石斑鱼仔鱼在白天各时段摄食相对活跃,而在夜间光照为 0,摄食不活跃或者不摄食。在夜间提供光照,会稍微增加仔鱼的夜间摄食,本实验在云纹石斑鱼育苗期间,采用的是全天日光灯光照方法,照度大约为 100 lx,结果表明,此光照模式使得鱼苗有较高存活率。在全黑暗的条件下,仔鱼白天摄食受到很大的影响,摄食强度显著下降,其原因是仔鱼为视觉摄食者,没有光照就不能产生视觉,无法摄食(Blaxter, 1981)。在摄食节律方面,仔鱼在自然昼夜、持续光照和黑暗条件下,均表现为白天摄食为主,摄食节律较为一致。这说明光照变化对仔鱼的摄食强度产生影响,但对节律的影响不大,推测仔鱼对昼夜节律有一定的适应性。

3.5 苗种出现畸形率高的问题及探讨

在苗种培育过程中,畸形苗种的比率占相当高的比例。鱼类畸形苗主要存在以下几种类型:尾柄基部侧弯、尾部缺失或扭转、口畸形无法闭合,脊柱侧弯、卵黄膜闭锁不全、无居维氏管、围心腔肿大、卵黄吸收障碍等,引起鱼苗畸形的因素有多方面,包括物理、化学和生物因素等。在育苗后期,云纹石斑幼

鱼出现较高的畸形率,主要表现为口无法闭合,但身体其它部位发育基本正常。在前期幼鱼阶段,对摄食的影响不明显,但是进入混合营养后期时,鱼苗因为得不到营养物质补充而死亡。

了解鱼类早期发育过程中造成畸形的原因,对提高孵化率、鱼苗成活率和增加经济效益具有重要意义。首先,本实验在云纹石斑鱼育苗过程中,未接触过重金属、有机污染物、污水、药物、过高电场-磁场辐射、过量激光照射等容易引起仔鱼畸形的因素。其次,在各个营养转化期使用的饵料系列,已经注意对轮虫、卤虫进行营养强化,从仔、稚、幼鱼的存活率来看,这一饵料系列是适用的,因此认为饵料也不是造成鱼苗畸形的因素。作者推测,亲鱼的营养强化不足可能是导致鱼苗畸形的重要原因,推测通过将各种必需的营养素按比例混合,对石斑鱼进行投喂,可以增强石斑鱼亲鱼产卵质量和初孵仔鱼质量,也可以减少鱼苗畸形率。具体采用何种营养素、各成分的比例,以及这种方法对防止鱼苗畸形的效用,有待进一步研究。

参 考 文 献

- 马爱军, 柳学周, 徐永江等, 2005. 半滑舌鳎早期发育阶段的摄食特性及生长研究. 海洋与湖沼, 36(2): 130—138
- 王迎春, 苏锦祥, 周勤, 1999. 光照对黄盖鲽仔鱼生长、发育及摄食的影响. 水产学报, 23(1): 6—12
- 王新安, 马爱军, 陈超等, 2008. 七带石斑鱼(*Epinephelus septemfasciatus*)两个野生群体形态差异分析. 海洋与湖沼, 39(6): 655—660
- 申屠基康, 2009. 轮虫在海洋鱼类苗种培育中的应用. 现代渔业信息, 24(4): 21—24
- 刘冬娥, 张雅芝, 汪涵生, 2007. 斜带石斑鱼仔、稚鱼的摄食与生长特性. 台湾海峡, 26(1): 99—107
- 刘桂云, 席贻龙, 2003. 轮虫与海产鱼类的苗种生产. 安徽师范大学学报, 26(3): 268—272
- 李大勇, 何大仁, 刘晓春, 1994. 光照对真鲷仔、稚、幼鱼摄食的影响. 台湾海峡, 13(1): 26—30
- 张永泉, 刘奕, 尹家胜等, 2010. 哲罗鱼消化系统胚后发育

- 的形态与组织学研究. 海洋与湖沼, 41(3): 422—428
- 张雅芝, 陈而兴, 1998. 春季生殖真鲷仔、稚、幼鱼的摄食与生长. 海洋科学, 3: 57—62
- 张雅芝, 郑金宝, 谢仰杰等, 1999b. 花鲈仔、稚、幼鱼摄食习性与生长的研究. 海洋学报, 21(5): 110—119
- 张雅芝, 郑斯电, 1999a. 鲉状黄姑鱼早期发育阶段的摄食与生长特性. 海洋与湖沼, 30(2): 117—126
- 张雅芝, 谢仰杰, 张文生, 2000. 花尾胡椒鲷早期发育阶段的摄食与生长特性. 台湾海峡, 19(1): 27—35
- 周婉霞, 薄治礼, 辛 俭等, 1994. 人工培育青石斑鱼仔、稚、幼鱼的饵料系列. 浙江水产学院学报, 13(2): 86—92
- 秦志清, 林越超, 张雅芝等, 2009. 光照对漠斑牙鲆仔鱼摄食、生长与存活率的影响. 集美大学学报, 14(3): 224—228
- 殷名称, 1995. 鱼类仔鱼期的摄食和生长. 水产学报, 19(4): 335—342
- 郭明兰, 苏永全, 陈晓峰等, 2008. 云纹石斑鱼与褐石斑鱼形态比较研究. 海洋学报, 30(6): 106—114
- 唐啸尘, 刘晓春, 林浩然, 2006. 三碘甲腺原氨酸对斜带石斑鱼卵黄囊期仔鱼消化道发育和存活的影响. 水产学报, 30(6): 727—732
- 谢仰杰, 翁朝红, 苏永全等, 2007. 斜带石斑鱼仔稚鱼生长和摄食的研究. 厦门大学学报, 46(1): 123—130
- 楼 宝, 史东海, 柴学军, 2004. 不同生物饵料对赤点石斑鱼稚幼鱼生长和存活率的影响. 上海水产大学学报, 13(3): 270—273
- Beyer J E, Laurence G C, 1981. Aspects of stochasticity in modeling growth and survival of clupeoid fish larvae. Rapp Proc Verb Reun Cons Int Explore Mer, 178: 17—23
- Blaxter J H S, 1981. The Rearing of Larval Fish, in Aquarium System. London: Academic Press, 303—325
- Helfman G S, 1986. Fish behaviour by day, night and twilight. The behavior of Teleost fishes. Tong J Pitchered. Baltimore Maryland: The Johns Hopkins University Press, 366—387
- Holmes R A, Gibson R N, 1986. Visual cues determining prey selection by the turbot, *Scophthalmus maximus* L.. J Fish Biol, 29(Suppl.A): 49—58
- Hunter J R, 1980. The feeding behavior and ecology of marine fish larvae. In: Bardach J E ed. Fish behavior and its use in the capture and culture of fishes. Manila, Philippines, ICLARM Conf Proc, 5: 287—330

STUDIES ON THE FEEDING BEHAVIOR AND MORPHOLOGICAL DEVELOPMENTS OF *EPINEPHELUS MOARA* IN EARLY DEVELOPMENT STAGES

LU Li-Jun^{1,2}, CHEN Chao¹, MA Ai-Jun¹, ZHAI Jie-Ming³,
WANG Xin-An¹, LI Wei-Ye¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology; Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Qingdao, 266071; 2. Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306;
3. Laizhou Mingbo Aquatic Products Co. Ltd., Yantai, 261418)

Abstract We used ecological method of simple random sampling to observe morphological features, growth changes and feeding conditions during larval development of *Epinephelus moara*. The results showed that, under hatching conditions at dissolved oxygen (DO) 6.2mg/L, temperature 20°C, salinity 30, pH 7.9, light 100 lx, it took 45 hours to hatch the larvae. The yolk of four day-old larvae almost disappeared and these lava started consuming oyster larvae. The 8—13 day-old larvae ate both the oyster larvae and S-rotifer; the 14—22 day-old larvae consumed L-rotifer; the 23—66 day-old larvae and juvenile can be fed with brine shrimp. At about 67 days, the larvae metamorphosis completed and began to eat compound feed. The results of morphological data show that, total length, body weight and the age larval, juvenile and young *E. moara* showed significant correlations. The relationship between total length and age (in days) can be expressed as $L = 2.8058e^{0.0287D}$; the relationship between body weight and age can be expressed as $W = 0.0004e^{0.0825D}$; the relationship between total length and weight can be expressed as $W = 0.001e^{0.103L}$, the cross-correlation coefficient is 0.895, 0.905, 0.798, respectively. The feeding results of *E. moara* showed that, under conditions of artificial cultivation, the intake amount of 5 day-old larvae reached 90%, the satiation rate of 18 day-old larvae was 100%. As the age increased, the plump coefficient of stomach increased too, the time for feeding from empty to full and digesting food from full to empty decreased. The results indicate that the larvae had obvious circadian rhythm of feeding, they ate mainly during the day at any circumstance.

Key words *Epinephelus moara*, Larval, juvenile and young fish, Morphological development, Feed