

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14521

棕点石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交 F₁ 仔、稚、幼鱼的摄食与生长特性分析

于欢欢^{1,2}, 李炎璐², 陈超², 孔祥迪^{1,2}, 张廷廷^{1,2}, 刘莉^{1,2}, 徐万土⁴, 庞尊方³, 李文升³

1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 山东 青岛 266071;

3. 莱州明波水产有限公司, 山东 烟台 261400;

4. 宁波象山港湾水产苗种有限公司, 浙江 宁波 315700

摘要: 采用生态学方法, 观察分析了人工育苗条件下棕点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*, ♀)×鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*, ♂)杂交 F₁ 仔、稚、幼鱼的摄食习性和生长特性。结果表明, 在水温 29~30℃, 盐度为 29~30 时, 其杂交 F₁ 仔鱼 3 天开口摄食, 开口饵料为 ss 型褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*), 随后饵料系列为 L 型褶皱臂尾轮虫、卤虫无节幼体(*Artemia salina*)、卤虫(*Artemia*)和配合饵料; 6 日龄仔鱼的摄食率为 92.31%, 7~9 日龄以后仔鱼的饱食率大都达到 90%~100%; 随着仔稚幼鱼的生长发育, 其饱食时间逐渐缩短, 消化时间逐渐增加。杂交 F₁ 仔稚鱼的摄食高峰都出现在白天, 仔稚鱼夜间几乎不摄食, 属白天摄食型。此外, 仔、稚、幼鱼纯体重(W)与摄食量(Y)的关系为 $Y=0.2078W-3.3738$, 全长(L)与日龄(X)的关系为 $L=2.3159e^{0.0595X}$, 纯体重(W)与日龄(X)的关系为 $W=0.0748e^{0.2021X}$, 全长(L)与纯体重(W)的关系为 $W=0.0045L^{3.3775}$, 口裂宽(Y)与日龄(X)的关系为 $Y=1.9687e^{0.0605X}$ 。由此可知杂交 F₁ 仔、稚、幼鱼的生长属于均匀生长型。

关键词: 棕点石斑鱼; 鞍带石斑鱼; 杂交 F₁; 仔、稚、幼鱼; 摄食; 生长

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)05-0968-10

棕点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*, ♀)与鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*, ♂)杂交的新品种, 又名珍珠龙胆石斑鱼, 其肉质鲜美, 抗逆性强, 生长速度快, 是近年来海水养殖石斑鱼的新宠^[1]。棕点石斑鱼与鞍带石斑鱼同属于鲈形目(Perciformes)、鲈科(Serranidae)、石斑鱼亚科(Epinephelinae)、石斑鱼属^[2-3]。棕点石斑鱼主要分布于太平洋和印度洋热带及亚热带海区, 资源量稀少, 其体表棕褐色斑纹丰富; 鞍带石斑鱼又称龙趸或龙胆石斑, 主要分布于东南亚、澳洲海域和中国的南海海域, 是石斑鱼类群中体型最大的石斑鱼类, 有巨石斑之称, 生

长速度较快; 珍珠龙胆石斑鱼表现出很强的杂交优势, 遗传了父本的生长速度和母本的强抗病力, 具有“虎斑头龙胆尾”的靓丽外型, 养殖前景广阔, 是石斑鱼养殖的优质品种之一^[4]。

近年来, 由于珍珠龙胆石斑鱼有较好的养殖优势, 受到越来越多养殖户的喜爱。其人工苗种繁育技术有了一定的发展, 但还存在各种问题, 制约着苗种的大规模生产, 远远无法满足养殖户对商品规格鱼苗的需求。影响石斑鱼鱼苗正常生长、发育的因素很多, 如盐度、温度、pH 等生态因子, 病害、营养等。其中营养是制约鱼苗正常

收稿日期: 2014-12-12; 修订日期: 2015-02-02.

基金项目: 科技部国际合作项目(2012DFA30360); 宁波市农业重点择优委托科技攻关项目(2012C10021).

作者简介: 于欢欢(1987-), 硕士研究生. 研究方向为海水鱼类繁育与养殖技术研究. E-mail: yuhuanhuan0612@163.com

通信作者: 陈超, 研究员. E-mail: ysfrichenchao@126.com

生长发育的重要因素之一; 石斑鱼在苗种繁育过程中存在的高死亡率, 主要出现在仔鱼开口后的营养转换期、三叉棘伸长和收缩生长的变态期^[5]。仔、稚、幼鱼在营养转换期或饵料转化过程中能否及时利用饵料中的营养物质直接影响到苗种繁育的成败; 石斑鱼属于凶猛的肉食性海水鱼类, 育苗过程中若饵料不足, 稚、幼鱼期会出现互相残食现象, 使苗种繁育遭受很大的损失。因此, 掌握石斑鱼的生长过程的摄食特性, 对石斑鱼苗种繁育的实际生产具有很好的指导意义。目前, 有关石斑鱼饵料系列的摄食特性已有不少报道, 例如, 谢仰杰等^[6]、刘冬娥等^[7]分别对斜带石斑鱼(*Epinphelus coioides*)仔稚鱼和仔稚幼鱼摄食特性进行了报道, 吴雷明等^[8]对七带石斑鱼(*Epinphelus septemfasciatus*)早期仔鱼摄食节律进行了报道。关于珍珠龙胆石斑鱼在仔、稚、幼鱼生长过程中对饵料的摄食习性还鲜有报道。本研究在珍珠龙胆石斑鱼人工育苗过程中, 跟踪观察记录了其摄食和生长特性, 以期能为珍珠龙胆石斑鱼苗种繁育提供基础的生物学规律, 为规模化苗种繁育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 受精卵的来源和鱼苗培育

本研究于 2014 年 4—6 月在山东省莱州市莱州明波水产有限公司进行。珍珠龙胆石斑鱼受精卵购自海南三亚晨海水产养殖有限公司种鱼场, 采用尼龙袋充氧密封运输至公司。受精卵经过盐度约为 33~35 的海水分离后, 取上浮卵布入育苗池中。育苗池为方形抹角的水泥池, 中心排水, 大小为 6 m×6 m×1.2 m, 育苗池内设有 12 个充气石, 每排 3 个, 共 4 排; 培育所用的海水为砂滤沉淀过的新鲜海水, 水温为 29~30℃, 盐度为 29~30, 白天光照强度为 500~1 000 lx, 晚上无光照; 前期仔鱼采用微流水、微充气培育, 仔鱼开口后向育苗池中添加浓缩小球藻(*Chlorella vulgaris*)。随着仔鱼的生长, 充气量逐渐加大, 换水量逐渐增加, 最大换水量达到 200%。本研究根据陈超等^[4]的仔、稚、幼鱼划分方法, 将 32 日龄以内的珍珠龙胆鱼苗归为仔鱼, 32~46 日龄鱼苗归为稚鱼; 46 日龄以后为幼鱼,

此时鱼体表鳞片长齐, 体色和形态特征与成鱼一致。研究期间所用饵料为 ss 型褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)、L 型轮虫、卤虫无节幼体(*Artemia salina*)、卤虫(*Artemia*)和配合饵料。

1.2 取样、观察及测量

仔鱼摄食量的测定自其开口摄食起, 下午投喂之后, 从育苗池中取样, 每次取 15 尾左右, 前 10 天每天连续取样, 之后隔天取样; 其他指标的测定根据需求另行取样, 取样数量 10~100 尾不等。取样后立即在显微镜下观察鱼苗的形态特征, 测量其各个形态学指标, 并在显微镜或解剖镜下观察其消化道饱满程度, 消化道饱满程度分为 5 级: 0 级—胃肠内无饵料; 1 级—胃肠内有少量饵料, 未达其容量的一半; 2 级—超过其一半容量的饵料, 但未充满; 3 级—充满饵料但胃壁未膨胀; 4 级—充满饵料且胃壁膨胀^[9]。随后在显微镜或解剖镜下用解剖针挑开消化道, 对动物饵料种类和数目进行统计, 食物团的重量按照各类饵料湿重平均大小分别折算。仔鱼为 8 日龄、10 日龄、12 日龄时, 从早上 8:00 至次日早上 8:00, 每隔 1 h 从育苗池中取样 1 次, 每次 15 尾, 在解剖镜下解剖观察其消化道内饵料情况, 分析其摄食节律特征。每天投喂饵料之后, 在池边观察仔稚幼鱼的摄食行为。

1.3 各指标计算方法

摄食量(g)为仔、稚、幼鱼摄食饵料的重量, 饱食量(g)为消化道饱满度为 3 级或 4 级时的饵料摄食量, 饱食时间(t_0)是空胃个体达到饱食状态所需要的时间, 消化时间(t)是饱食状态个体在无饵料的水体中至饵料消化排空所需要的时间。

摄食率(%)=摄食个体数目/所测样总个体数目×100
消化道饱满系数(%)=消化道内饵料重量(g)/鱼纯体重(g)×100

饱食率(%)=消化道饱满度为 3 级或 4 级的个体数目/所测样总个体数目×100

体重日增长率(%)=($\lg W_2 - \lg W_1$)/[0.4343($t_2 - t_1$)]×100

全长日增长率(%)=($\lg L_2 - \lg L_1$)/[0.4343($t_2 - t_1$)]×100

式中, t_1 和 t_2 分别代表相邻的日龄; W_1 和 W_2 分别代表日龄为 t_1 和 t_2 时的体重; L_1 和 L_2 分别代表日龄为 t_1 和 t_2 时的全长^[7, 9-10]。

2 结果与分析

2.1 摄食率和消化道饱满度

珍珠龙胆石斑鱼在培育水温为 29~30℃ 时, 仔鱼 3 日龄开口, 开口饵料投喂 ss 型褶皱臂尾轮虫。3 日龄仔鱼摄食能力较弱, 摄食率为 32%, 摄食量为 0.0117 mg, 饱食率仅为 25%; 4 日龄仔鱼的摄食率为 80%, 饱食率为 26.67%; 5 日龄仔鱼的摄食率为 81.82%, 饱食率为 36.36%; 6 日龄仔鱼的摄食率为 92.31%, 饱食率为 53.85%; 7 日龄及以后仔鱼的摄食率达到 90%~100%, 9 日龄及以后仔鱼的饱食率达到 90%~100%。

2.2 摄食量和消化道饱满系数

珍珠龙胆仔稚幼鱼全长、纯体重、平均摄食量和消化道饱满系数见表 1。刚开口仔鱼摄食量较小, 3 日龄仔鱼的平均摄食量仅为 0.01 mg, 消

化道饱满系数为 16.74%。随着仔鱼的生长发育, 平均摄食量也发生变化, 3~34 日龄, 仔稚鱼的平均摄食量缓慢增加; 38 日龄稚鱼的摄食量开始急剧增加, 为 38.32 mg, 消化道饱满系数为 18.24%。仔鱼期的消化道饱满系数为 1.3%~33.49%, 稚鱼期之后的消化道饱满系数为 3.76%~27.17%。随着摄食量的增加变化, 仔、稚、幼鱼的全长和纯体重也发生相应的变化。仔鱼期全长和体重的增长较为缓慢, 12 日龄仔鱼的全长仅为(4.52±0.62) mm, 纯体重为 0.59 mg; 进入稚鱼期以后, 摄食量增加较明显, 全长和纯体重也增加较快, 34 日龄稚鱼全长为(20.99±2.90) mm, 纯体重为 117.41 mg。以 x 代表纯体重, y 代表摄食量, 对其进行多项式回归分析, 可得到回归方程 $y=0.2078x-3.3738$, 相关系数 $R^2=0.9609$, 表明两者显著相关(图 1)。

表 1 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼的摄食量和消化道饱满系数
Tab. 1 Feeding amount and the plump coefficient of stomach of larval, juvenile, and young fish of crossbreed F₁

日龄/d days after hatching	测定数/尾 number of samples	全长/mm total length	纯体重/mg net weight	平均摄食量/mg feeding amount	饱满系数/% plump coefficient of stomach
3	10	2.72±0.12	0.07	0.01±0.01	16.74
4	10	2.73±0.18	0.11	0.02±0.01	18.09
5	10	2.83±0.21	0.17	0.04±0.01	24.40
6	10	2.90±0.36	0.22	0.04±0.02	20.29
7	10	3.05±0.26	0.27	0.06±0.01	23.64
8	10	3.18±0.35	0.36	0.09±0.02	24.04
9	10	3.73±0.25	0.43	0.09±0.02	21.80
10	11	3.95±0.41	0.54	0.14±0.04	26.38
12	10	4.52±0.62	0.59	0.17±0.04	29.47
14	10	6.36±1.06	0.64	0.21±0.06	33.49
16	10	7.34±0.78	1.28	0.22±0.16	17.24
18	10	7.45±0.31	2.11	0.37±0.15	17.36
20	12	7.72±0.62	5.57	0.24±0.20	4.28
22	9	8.48±1.23	32.00	0.42±0.21	1.30
24	10	11.0±1.66	34.88	0.50±0.11	1.44
26	8	13.1±2.08	36.93	0.57±0.22	1.54
28	15	13.3±1.54	38.04	1.65±0.60	4.33
30	12	16.1±2.31	45.46	3.03±0.88	6.67
32	8	16.0±2.43	47.86	4.75±1.52	9.93
34	6	20.9±2.90	117.41	11.10±2.55	9.46
36	6	23.5±2.77	208.63	7.84±5.48	3.76
38	8	23.7±2.39	210.13	38.32±22.11	18.24
40	8	22.4±2.05	125.38	8.91±7.28	7.11
42	7	26.4±3.60	273.89	33.71±25.56	12.31
44	6	30.6±1.65	472.90	91.02±49.92	19.25
46	7	31.4±2.94	518.24	140.79±45.75	27.17
48	5	36.6±1.59	809.10	218.92±71.57	27.06
50	5	38.8±1.94	1019.22	189.29±63.83	18.57
52	5	45.1±2.12	1654.03	325.04±107.38	19.65

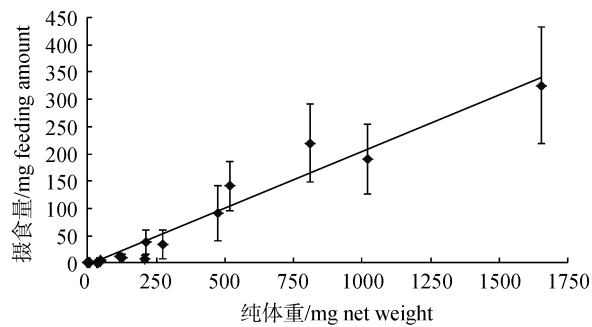


图 1 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼摄食量与纯体重的相关性曲线图

Fig. 1 Correlation between the feeding amount and net weight of the larval, juvenile, and young fish of crossbreed F₁

2.3 饱食时间、消化时间和平均饱食量

珍珠龙胆仔稚幼鱼饱食时间和消化时间的观察结果见表 2。10 日龄仔鱼主要以 L 型轮虫为饵料, 仔鱼需要 2 h 30 min 左右可以达到饱食状态, 消化道饱满度达到 4 级; 经过 1 h 45 min 的消化, 大部分仔鱼消化道无饵料残留。34 日龄稚鱼主要

以卤虫无节幼体为饵料, 经过 35 min 左右的摄食, 大部分稚鱼达到饱食状态, 消化道饱满度为 4 级, 用肉眼能看到稚鱼消化道部位明显隆起; 稚鱼需要 3 h 20 min 左右将饵料完全消化。48 日龄幼鱼的饵料主要为卤虫, 经过 30 min 即可达到饱食状态, 需要经过 10 h 25 min 才能将饵料完全消化。

在人工育苗过程中, 随着珍珠龙胆仔稚幼鱼的生长, 其在消化器官、消化酶等作用下发生一系列的变化, 特别是其平均饱食量发生着很大的变化(表 3)。可以看出, 全长为 3.91~4.90 mm 的仔鱼饱食量仅为 0.16 mg, 约为 35.50 个 L 轮虫; 全长为 13.91~16.90 mm 的稚鱼饱食量为 3.89 mg, 需要摄食约 353.88 个卤虫幼体才能达到饱食, 这时期稚鱼的摄食量已经是全长为 2.50~2.90 mm 仔鱼的 97 倍。全长为 31.91~45.90 mm 的幼鱼, 平均饱食量为 218.49 mg, 需要摄食 45.71 只卤虫才能达到饱食状态, 这是仔鱼时期平均饱食量的 1383 倍。

表 2 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼饱食时间和消化时间

Tab. 2 Time for feeding from empty to full and the time for digesting food from full to empty in stomach spent by larval, juvenile, and young fish of crossbreed F₁

日龄/d day after hatching	全长/mm total length	发育阶段 developmental stage	饵料 food	水温/℃ temperature	饱食时间 satiation time, <i>t</i> ₀	消化时间 digestion time, <i>t</i>
10	3.95±0.41	仔鱼	L 轮虫	29~30	2 h 30 min	1 h 45 min
34	20.99±2.90	稚鱼	卤虫幼体	29~30	35 min	3 h 20 min
48	36.66±1.59	幼鱼	卤虫	29~30	30 min	10 h 25 min

表 3 珍珠龙胆石斑鱼仔稚幼鱼的平均饱食量

Tab. 3 Average amount of food in full stomach of larval, juvenile, and young fish of crossbreed F₁

全长范围/mm length range	ss 轮虫 <i>ss Brachionus plicatilis</i>	L 轮虫 <i>L Brachionus plicatilis</i>	卤虫无节幼体 <i>Artemia salina</i>	卤虫 <i>Artemia</i>	饵料重量/mg amount of food
2.50~2.90	19.10±4.39	—	—	—	0.04±0.01
2.91~3.90	20.85±12.77	12.47±3.83	—	—	0.09±0.02
3.91~4.90	—	35.50±4.95	—	—	0.16±0.02
4.91~6.90	—	43.60±14.11	—	—	0.19±0.06
6.91~8.90	—	27.36±12.19	15.39±8.73	—	0.22±0.08
8.91~11.90	—	—	45.80±10.10	—	0.50±0.11
11.91~13.90	—	—	100.59±69.32	—	1.11±0.76
13.91~16.90	—	—	353.88±110.73	—	3.89±1.22
16.91~22.90	—	—	402.65±231.22	1.38±0.98	11.02±3.61
22.91~26.90	—	—	330.56±128.31	4.81±3.53	26.63±10.20
26.91~31.90	—	—	50.84±56.34	24.13±7.50	115.90±18.24
31.91~45.90	—	—	—	45.71±14.93	218.49±71.37

2.4 摄食节律和摄食行为

对珍珠龙胆石斑鱼仔稚幼鱼的摄食行为跟踪观察可见: 珍珠龙胆仔鱼夜间并无明显摄食, 其摄食高峰一般出现在 9:00 和 14:30 左右, 这个时间水体中饵料充足且新鲜, 仔鱼刚开口时摄食经验相对不足, 只是在水体中缓慢游动着摄食, 摄食时口张大, 并有明显的捕食动作, 仔鱼有小部分聚拢在一起。进入稚鱼期后, 随着体重增加, 口裂变大, 消化器官等出现一系列的变化, 稚鱼的摄食能力有了明显提高。稚鱼夜间也无明显摄食, 摄食高峰一般也是 9:00 和 14:30 左右, 稚鱼明显聚拢在一起, 在水池中随着水流的反方向游动, 泳动能力明显增强, 投喂饵料后, 能明显看到稚鱼朝有饵料的方向游动, 并有明显的抢食现象。珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的生活习性和形态特征很一致, 幼鱼泳动速度很快, 有明显的躲避敌害的行为, 摄食能力很强, 对大的食物团有明显的抢食和撕咬现象。

2.5 生长特性

2.5.1 全长生长曲线 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼全长的生长曲线和全长日增长率分别如图 2、图 3 所示。珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼全长的平均日增长率为 5.69%, 波动于-2.69%~17.08%; 从图 3 来看, 其增长率并没有特定的规律, 仔鱼期生长速度较快, 稚鱼期生长速度趋于平缓; 在 12 日龄时其增长率达到最大值 17.08%; 其中仔鱼的平均全长日增长率为 6.36%, 稚鱼的平均全长日增长率为 4.25%; X 代表日龄, L 代表平均全长, 对其全长的生长曲线进行多项式回归分析, 可得到指数函数方程 $L=2.3159e^{0.0595X}$, 相关系数 $R^2=0.9618$, 表明两者显著相关。

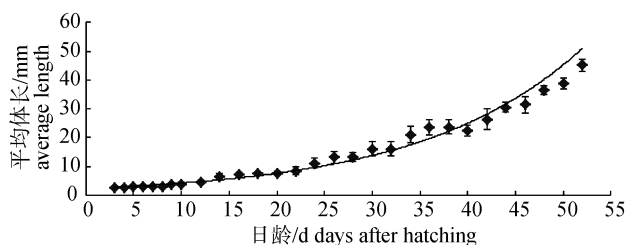


图 2 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼平均全长的生长曲线
Fig. 2 Growth curve of the average length for the larval, juvenile, and young fish of crossbreed F_1

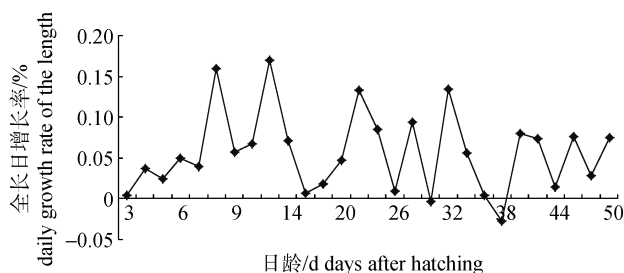


图 3 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼全长日增长率
Fig. 3 The daily growth rate of length for the larval, juvenile, and young fish of crossbreed F_1

2.5.2 体重增长曲线 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼体重的生长曲线和体重日增长率分别如图 4、图 5 所示。珍珠龙胆仔稚幼鱼体重的平均日增长率为 21.63%, 波动于-25.82%~87.42%; 由图 5 来看, 其日增长率没有特定的规律, 在 20 日龄时, 其日增长率达到最大值 87.42%, 其中仔鱼的体重平均日增长率为 22.42%, 稚鱼体重的平均日增长率为 14.70%。 X 代表日龄, W 代表平均纯体重, 对其体重的生长曲线进行多项式回归分析, 可得到指

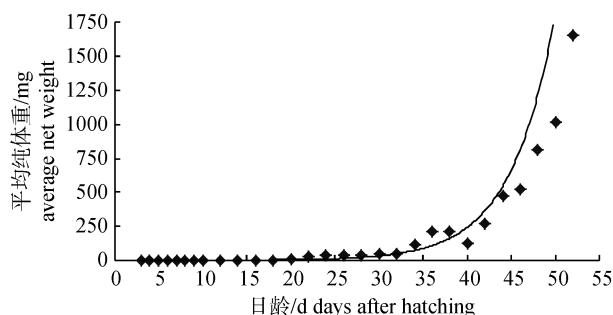


图 4 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼体重的生长曲线
Fig. 4 Growth curve of net weight for the larval, juvenile, and young fish of crossbreed F_1

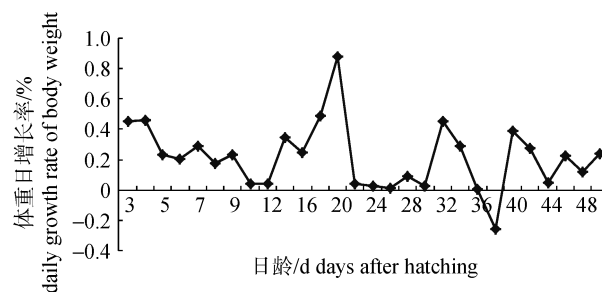


图 5 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼体重日增长率
Fig. 5 The daily weight growth rate of the larval, juvenile, and young fish of crossbreed F_1

数函数方程 $W=0.0748e^{0.2021X}$, 相关系数 $R^2=0.4726$, 两者相关关系显著性较小。

2.5.3 全长与体重的关系 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼平均全长与平均纯体重的关系见图 6。其平均全长为 2.72~45.12 mm, 平均纯体重为 0.07~1654.03 mg, L 代表平均全长, W 代表平均纯体重, 对其体重的生长曲线进行多项式回归分析, 得到幂函数方程 $W=0.0045L^{3.3775}$, 相关系数 $R^2=0.9959$, 表明两者相关关系非常显著。

2.5.4 口裂宽的生长 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼口裂宽的变化见图 7。其口裂宽从刚开口时的 2.1 mm 增长至 52 日龄的 40.4 mm, 增长了近 19 倍。 X 代表日龄, Y 代表口裂宽, 对其进行多项式回归分析, 得到指数函数方程 $Y=1.9687e^{0.0605X}$, 相关系数 $R^2=0.9761$, 表明两者显著相关。

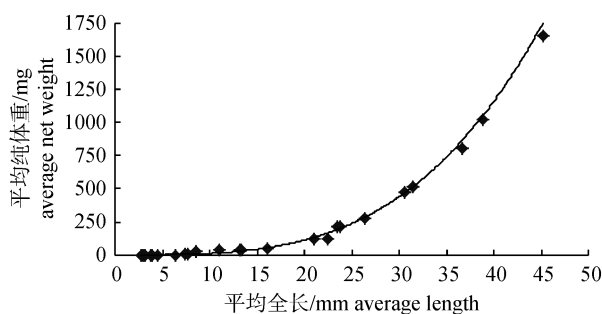


图 6 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼平均全长与平均纯体重的相关曲线

Fig. 6 Regression curve for the average length and the average net weight of the larval, juvenile and young fish of crossbreed F₁

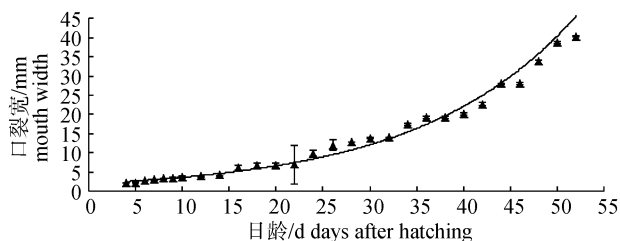


图 7 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼口裂宽变化曲线

Fig. 7 The mouth width of the larval, juvenile and young fish of crossbreed F₁

3 讨论

3.1 饵料系列的选择和适用性

目前, 人工繁育海水鱼类的过程中, 使用的

饵料系列基本相似, 通常是贝类幼虫、轮虫、卤虫无节幼体、桡足类、鱼虾糜等^[11]。海水鱼类仔鱼开口和仔鱼期的主要饵料还是轮虫, Lubzens 等^[12]认为, 轮虫能为仔鱼提供营养物质, 亦可作为药物和营养物质的载体, 满足仔鱼的营养需求, 提高成活率。张雅芝等^[9]认为, 浮游甲壳类是苗种生产过程中关键的一环, 效果最佳的是海水桡足类, 其所含的高度不饱和脂肪酸较高, 能满足石斑鱼稚鱼生长发育的营养需要^[13-14]。但目前海水桡足类不能大量人工培育, 尤其是本研究在春季进行, 桡足类非常缺乏, 故采用卤虫无节幼体替代。有研究指出, 在真鲷(*Pagrosomus major*)繁育过程中, 大量使用卤虫无节幼体, 会致使稚鱼由于营养缺乏和消化不良而大量死亡^[15-16]。这可能是由于卤虫无节幼体所含的高度不饱和脂肪酸较低, 不能满足稚鱼生长发育的需要^[13]。本研究在给仔稚鱼投喂卤虫无节幼体过程中, 并未出现营养缺乏和消化不良等原因引起的仔稚鱼大量死亡现象, 说明这一饵料适用于珍珠龙胆石斑鱼。

珍珠龙胆石斑鱼从初孵仔鱼发育至幼鱼需要经历 3 个主要的饵料转换期: 前期仔鱼到后期仔鱼即内源性营养向外源性营养的转换时期, 后期仔鱼到稚鱼期由摄食小型浮游动物到大型浮游动物的转换时期, 稚鱼后期和幼鱼时期的配合饵料转换期。这一点与云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)相似, 陆丽君等^[17]对云纹石斑鱼仔稚幼鱼的饵料系列进行了观察跟踪和记录, 得出了一套适合人工繁育云纹石斑鱼的饵料系列; 刘冬娥等^[7]对斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)仔稚幼鱼的摄食特性进行了研究, 得出了一套满足斜带石斑鱼生长发育所需营养物质的饵料系列。殷名称^[18]认为, 仔鱼对饵料的喜好主要取决于饵料的大小, 能被摄取的饵料大小上限也主要由仔鱼的口裂大小决定。在珍珠龙胆石斑鱼人工繁育过程中, 从其仔稚幼鱼口裂宽的生长曲线看, 口裂宽生长变化较快, 生长曲线的回归方程为指数函数。在育苗过程中采用 ss 轮虫作为开口饵料, 饵料系列是 ss 轮虫-L 轮虫-卤虫无节幼体-卤虫-配合饲料。实验结果表明, 这一饵料系列是符合其口裂宽生长变

化大小的,同时也说明这一饵料系列适用于珍珠龙胆石斑鱼的苗种培育。

3.2 珍珠龙胆石斑鱼仔、稚、幼鱼的摄食能力

在人工繁育石斑鱼过程中,饵料相对充足,各种鱼类仔稚幼鱼的摄食率都较高。大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)仔鱼的平均摄食率为71.43%,稚鱼为99.29%,幼鱼为99.04%^[19];秋冬季生殖真鲷仔、稚、幼鱼的平均摄食率高达98.1%^[16];春季生殖真鲷为100%^[20];斜带石斑鱼仔稚鱼的平均摄食率达95.1%^[7];花鲈(*Lateolabrax japonicus*)仔稚幼鱼为99.1%^[9];云纹石斑鱼仔稚鱼为99.375%^[17];珍珠龙胆仔鱼的平均摄食率为71.53%,饱食率为35.47%,稚幼鱼的摄食率高达100%,饱食率也达100%,消化道饱满度达到4级以上,部分稚幼鱼出现过饱食现象,在池塘边能明显观察到其膨胀的腹部。此外,珍珠龙胆仔稚幼鱼从空腹状态至摄食饱满分别需要2 h 30 min、35 min、30 min,这表明珍珠龙胆仔、稚、幼鱼的摄食能力强,摄食活动非常旺盛。

3.3 珍珠龙胆石斑鱼摄食节律特点

研究表明,鱼类的摄食活动规律可以分为白天摄食、晚上摄食、晨昏摄食和无明显节律4种类型^[21-23]。这种摄食活动的日节律性有一定的感觉基础:利用视觉白天摄食,利用化学感觉夜间摄食,利用特化视觉夜间捕食大型浮游动物,以及利用侧线机械感觉夜间摄食^[24]。摄食节律有种属特异性,而且每种鱼的不同发育阶段的摄食节律也有所不同。漠斑牙鲆(*Paralichthys lethostigma*)仔鱼属于白天摄食型^[25];卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)仔稚鱼属于晨昏摄食型,摄食活动较偏向于白天^[26];春季生殖真鲷仔稚鱼^[20]与浅色黄姑鱼(*Nibea chui*)^[27]也属于晨昏摄食型;云纹石斑鱼仔鱼属于白天摄食型^[17];赤点石斑鱼(*Epinephelus akaara*)的摄食高峰也出现在白天,傍晚和晚上光线强度较暗时摄食率不断下降^[28];珍珠龙胆仔稚鱼摄食高峰都出现在白天,仔稚鱼夜间几乎不摄食,因此属于白天摄食型。在人工育苗过程中,根据其摄食规律,在摄食高峰到来之前,可将充足的饵料投入水体中,以满足仔稚幼鱼生长发育过

程中的营养需要。

3.4 珍珠龙胆石斑鱼的全长生长和体重增长的特性

珍珠龙胆仔、稚、幼鱼的全长生长和体重增加趋势基本相似。仔鱼期的生长速度较快,日增长率较高,全长日增长率的最高值出现在仔鱼期,其平均全长日增长率为6.36%,是仔、稚、幼鱼全长总平均日增长率(5.69%)的1.12倍。仔鱼期体重的日增长率(22.42%)是稚鱼期(14.70%)的1.53倍。稚鱼期的生长速度趋于平缓,增长率有所下降,幼鱼期的生长率又迅速回升。从体重与全长的回归方程进行分析,其幂指数约等于3,表明了其体重与全长的三次方成正比的关系。因此可以认为,珍珠龙胆仔稚幼鱼属于均匀生长类型,这与斜带石斑鱼仔稚幼鱼的生长特性相似^[7]。图4和图5表明,珍珠龙胆仔稚幼鱼体重与日龄相关关系的生长曲线显著性较低,表明其生长趋势以指数函数的生长方式开始出现偏离。

3.5 残食现象和苗种成活率的问题

珍珠龙胆石斑鱼生长速度较快,尤其是投喂卤虫之后,因稚幼鱼个体间大小差异较大,导致大小鱼之间产生严重的残食现象,个体较大的稚幼鱼常会攻击较小的个体,特别是水体中饵料供应不充足时,导致稚幼鱼期苗种数量下降^[11]。根据稚幼鱼的生长情况进行大小规格分选、筛苗可以有效减少苗种数量下降,但珍珠龙胆稚幼鱼时期身体娇弱,筛选容易给鱼苗带来惊吓和伤害。因此,给鱼苗投喂足够的饵料,使其经常处于饱食状态,降低苗种个体的大小分化,减少残食行为,是提高出苗率的有效途径。

参考文献:

- [1] Liang H F, Huang D K, Wu Y H, et al. Effects of temperature and salinity on survival and food intake of grouper hybrid(*Epinephelus lanceolatus*♂×*E. fuscoguttatus*♀)[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2013, 33(4): 22-26. [梁华芳, 黄东科, 吴耀华, 等. 温度和盐度对龙虎斑存活与摄食的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2013, 33(4): 22-26.]
- [2] Zhou L, Weng W M, Li J L, et al. Studies on embryonic development, morphological development and feed change-over of *Epinephelus lanceolatus* larva[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(1): 293-302. [周玲, 翁文明,

- 李金亮, 等. 鞍带石斑鱼胚胎发育及仔鱼的形态发育、饵料转变的观察研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(1): 293–302.]
- [3] Lin B, Huang Z W, Luo J, et al. Embryonic development observation of *Epinephelus fuscoguttatus*[J]. Journal of Hainan Normal University: Nature Science, 2010, 23(1): 87–92. [林彬, 黄宗文, 骆剑, 等. 棕点石斑鱼胚胎发育的观察[J]. 海南师范大学学报: 自然科学版, 2010, 23(1): 87–92.]
- [4] Chen C, Kong X D, Li Y L, et al. Embryonic and morphological development in the larva, juvenile, and young stages of *Epinephelus fuscoguttatus*(♀)×*E. lanceolatus*(♂)[J]. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(5): 135–144. [陈超, 孔祥迪, 李炎璐, 等. 棕点石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交子代胚胎及仔稚幼鱼发育的跟踪观察[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(5): 135–144.]
- [5] Tang X C, Liu X C, Lin H R. The effects of 3, 5, 3'-triiodo-L-thyronine on the alimentary development and survival of orange-spotted grouper yolk-sac larvae[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(6): 727–732. [唐啸尘, 刘晓春, 林浩然. 三碘甲状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[J]. 水产学报, 2006, 30(6): 727–732.]
- [6] Xie Y J, Weng Z H, Su Y Q, et al. Studies on growth and feeding of larvae and juvenile of *Epinephelus coioides*[J]. Journal of Xiamen University: Nature science, 2007, 46(1): 123–130. [谢仰杰, 翁朝红, 苏永全, 等. 斜带石斑鱼仔稚鱼生长和摄食的研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2007, 46(1): 123–130.]
- [7] Liu D E, Zhang Y Z, Wang H S. Feeding habits and growth of larval and juvenile *Epinephelus coioides*[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2007, 26(1): 99–107. [刘冬娥, 张雅芝, 王涵生. 斜带石斑鱼仔、稚鱼的摄食与生长特性[J]. 台湾海峡, 2007, 26(1): 99–107.]
- [8] Wu L M, Chen C, Zhai J M, et al. Observation of the larval feeding habits of seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(2): 58–64. [吴雷明, 陈超, 翟建明, 等. 七带石斑鱼仔鱼摄食习性的观察[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(2): 58–64.]
- [9] Zhang Y Z, Zheng J B, Xie Y J, et al. The feeding habits and growth of larval, juvenile and young *Lateolabrax japonicus*[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1999, 21(5): 110–119. [张雅芝, 郑金宝, 谢仰杰, 等. 花鲈仔、稚、幼鱼摄食习性与生长的研究[J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 110–119.]
- [10] Qin Z Q, Lin Y J, Zhang Y Z, et al. Feeding behavior and growth of *Paralichthys lethostigma* in early stage of development[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2008, 27(3): 317–324. [秦志清, 林越超, 张雅芝, 等. 漠斑牙鲆早期发育阶段的摄食与生长特性[J]. 台湾海峡, 2008, 27(3): 317–324.]
- [11] The Japanese Society of Fisheries Science. Feeding and Development of Juvenile[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1979. [日本水产学会 稚鱼的摄食和发育[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.]
- [12] Lubzens E, Tandler A, Minkoff G. Rotifers as food in aquaculture[J]. Hydrobiologia, 1989, 186–187(1): 387–400.
- [13] Zhou W X, Bo Z L, Xin J, et al. Food conditions of larvae, fry and juvenile of *Epinephelus awoara* in artificial culture[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1994, 13(2): 86–92. [周婉霞, 薄治礼, 辛俭, 等. 人工培育青石斑鱼仔、稚、幼鱼的饵料系列[J]. 浙江水产学院学报, 1994, 13(2): 86–92.]
- [14] Jiang J B, Lu J X. The nutrition of marine copepods and its application in fish, shrimp and crab larvae culture[J]. Fishery Information & Strategy, 2012, 27(1): 61–65. [蒋建斌, 陆建学. 海水桡足类的营养及在鱼、虾、蟹幼体培育中的应用[J]. 渔业信息与战略, 2012, 27(1): 61–65.]
- [15] Lin J Z, Zhang Y Z, Zheng J B, et al. Studies on the fry rearing techniques of the autumn–winter spawning groups of red porgy, *Pagrosomus major* (Temminck et Schlegel)[J]. Journal of Xiamen Fisheries College, 1994, 16(2): 1–9. [林锦宗, 张雅芝, 郑金宝, 等. 真鲷(*Pagrosomus major*)秋冬季生生殖群育苗技术研究[J]. 厦门水产学院学报, 1994, 16(2): 1–9.]
- [16] Zhang Y Z, Zheng J B, Chen C S, et al. Studies on the feeding habits and the growth of larval, juvenile and young red sea bream (*pagrosomus major* T. et S.). Spawning in the autumn–winter season[J]. Journal of Xiamen Fisheries College, 1994, 16(2): 16–27. [张雅芝, 郑金宝, 陈昌生, 等. 秋冬季生殖真鲷仔、稚、幼鱼摄食和生长的研究[J]. 厦门水产学院学报, 1994, 16(2): 16–27.]
- [17] Lu L J, Chen C, Ma A J, et al. Studies on the feeding behavior and morphological developments of *Epinephelus moara* in early development stages[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(6): 821–829. [陆丽君, 陈超, 马爱军, 等. 云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)早期发育阶段的摄食与生长特性[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(6): 821–829.]
- [18] Yin M C. Feeding and growth of the larva stage of fish[J]. Journal of Fisheries of China, 1995, 19(4): 335–342. [殷名称. 鱼类仔鱼期的摄食和生长[J]. 水产学报, 1995, 19(4): 335–342.]
- [19] Yu H R, Mai K S, Duan Q Y, et al. Feeding habits and growth performance of larvae and juveniles of *Pseudosciaena crocea* under artificial rearing conditions[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(6): 495–501. [于海瑞,

- 麦康森, 段青源, 等. 人工育苗条件下大黄鱼仔、稚、幼鱼的摄食与生长[J]. 中国水产科学, 2003, 10(6): 495–501.]
- [20] Zhang Y Z, Chen E X. The feeding habits and the growth of larval, juvenile and young red sea bream (*Pagrosomus major*) spawning in the spring season[J]. Marine Sciences, 1998, 22(3): 57–62. [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, 22(3): 57–62.]
- [21] Helfman G S. Fish behavior by day, night and twilight[M]//Pitcher T J. The Behaviour of Teleost Fishes. London & Sydney: Croom Helm Ltd, 1986: 366–387.
- [22] Okada Y K. On the feeding activity of the young sea bream, *Chrysophrys major* Temminck et Schlegel, in the Yellow Sea[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1965, 31: 999–1005.
- [23] Schwassmann H O. Biological rhythms: their adaptive significance[M]//Ali M A. Environmental Physiology of Fishes. New York: Springer, 1980, 35: 613–630.
- [24] Liang X F, He D R. Sensory basis in the feeding behavior of fishes[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1998, 9(3): 278–284. [梁旭方, 何大仁. 鱼类摄食行为的感觉基础[J]. 水生生物学报, 1998, 9(3): 278–284.]
- [25] Qin Z Q, Lin Y J, Zhang Y Z, et al. Effects of lights on feeding, growth and survival of larval *Paralichthys lethostigma*[J]. Journal of Jimei University: Natural Science, 2009, 14(3): 224–228. [秦志清, 林越赳, 张雅芝, 等. 光照对漠斑牙鲆仔鱼摄食、生长与存活的影响[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2009, 14(3): 224–228.]
- [26] Gan L, Guo B Y, Liu L, et al. Feeding habits and growth characteristics of larval and juvenile *Trachinotus ovatus* in pond[J]. Journal of South China Agriculture University, 2009, 30(4): 74–77. [甘炼, 郭邦勇, 刘丽, 等. 池养条件下卵形鲳鲆仔、稚鱼生长与摄食特性[J]. 华南农业大学学报, 2009, 30(4): 74–77.]
- [27] Zhang Y Z, Hu J C, Xie Y J, et al. Feeding habits and growth characteristics of *Nibea chui* in early developmental stages[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2006, 25(5): 74–79. [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.]
- [28] Wang H S. Studies on the daily consumed numbers of rotifer fed by the early larvae of *Epinephelus akaara*[J]. Journal of Fisheries of China, 1996, 20(4): 365–369. [王涵生. 赤点石斑鱼早期仔鱼轮虫日摄食量的研究[J]. 水产学报, 1996, 20(4): 365–369.]

Feeding habits and growth characteristics of larval, juvenile, and young F₁ of *Epinephelus fuscoguttatus* (♀) × *E. lanceolatus* (♂)

YU Huanhuan^{1,2}, LI Yanlu², CHEN Chao², KONG Xiangdi^{1,2}, ZHANG Tingting^{1,2}, LIU Li^{1,2}, XU Wantu⁴, PANG Zunfang³, LI Wensheng³

1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. Laizhou Mingbo Fisheries Ltd. Corp, Yantai 261418, China;
4. Ningbo Xiangshan Harbor Aquatic Fingerlings Ltd. Corp, Ningbo 315700, China

Abstract: Nutrition is an important factor that restricts the normal growth of fish fry. In the nutrition transition period or feeding conversion process, it is crucial that the larval, juvenile, and young fish have access to adequate nutrition. Groupers are ferocious, carnivorous marine fish; if food supply is not sufficient, they feed on their own larvae and juveniles, and breeding efforts undergo substantial loss. In this research, we studied the feeding habits and growth characteristics of larval, juvenile, and young fish of the F₁ generation of *Epinephelus fuscoguttatus*(♀) × *E. lanceolatus* (♂) cross using artificial ecological methods. The larvae were fed when their mouths opened, and samples selected from the breeding pool every afternoon after the larvae were fed. We sampled every day before the larvae were 10 days old; then, we sampled every 2 days. Each sample consisted of about 15 fish. All samples were used to test how much the fish ate. Other indexes were tested with other samples, the number of samples ranged from 10 to 100. After sampling, we observed morphological characteristics of the fish fry using a dissecting microscope, dissected the digestive tract under the dissecting microscope, and recorded amount of bait that had been consumed. The results showed that: (1) the larval grouper started feeding 3 days after hatching when the water temperature was approximately 29–30°C and the salinity was approximately 29–30. The fish fry's first bait was the ss type rotifer, followed by the L type rotifer, brine shrimp, and compound feed. The 3-day-old larvae were very weak, with a feeding rate of 32% and repletion rate of 25%. The 5-day-old larvae were more dynamic than the 3-day-old larvae, with a feeding rate of 81.82% and repletion rate of 36.36%. The feeding rate was above 90% when the larvae were older than 7 days old, and the repletion rate was above 90% when the larvae were older than 9 days old. (2) With growth and development of fish fry, the average feeding amount changed. The larvae required 2 h 30 min to achieve satiation at 10 days old, and digestion took 1 h 45 min. The juveniles required 35 min to achieve satiation at 34 days old, and digestion took 3 h 20 min. Young fish required 30 min to achieve satiation and 10 h 25 min for digestion at 48 days old. (3) The correlations between net weight (W) and feeding amount (Y) was expressed as $Y = 0.2078W - 3.3738$; average length (L) and days after hatching (X) was expressed as $L = 2.3159e^{0.0595X}$; net weight and days after hatching was expressed as $W = 0.0748e^{0.2021X}$; average length (L) and net weight (W) was expressed as $W = 0.0045L^{3.3775}$; and mouth width (Y) and days after hatching (X) was expressed as $Y = 1.9687e^{0.0605X}$. In this paper, feeding habits and growth characteristics were observed to provide a theoretical basis for large-scale breeding of F₁ *Epinephelus fuscoguttatus* (♀) × *E. lanceolatus* (♂) offspring.

Key words: *Epinephelus fuscoguttatus*; *E. lanceolatus*; crossbred F₁; larvae, juveniles, and young fish; feeding habits; growth performance

Corresponding author: CHEN Chao. Tel: +86-532-85844459; E-mail: ysfrichenchao@126.com