

文章编号: 1000-0615(2017)02-0285-12

DOI: 10.11964/jfc.20160510418

许氏平鲉仔、稚鱼的摄食特性及幼鱼胃排空率

郭浩宇, 张秀梅*, 张宗航, 李超

(中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 山东青岛 266003)

摘要: 为阐明人工育苗条件下许氏平鲉早期发育阶段的摄食特性及变化规律, 采用实验生态学方法, 对人工育苗条件下许氏平鲉仔、稚鱼摄食特性及不同生长阶段幼鱼的胃排空率进行了研究。结果显示, 许氏平鲉仔、稚鱼已具有较强的摄食能力, 前期仔鱼(2日龄)昼夜摄食高峰出现于16:00; 后期仔鱼(15日龄)与稚鱼(25日龄)的摄食高峰均出现在16:00—20:00, 表现为白天摄食类型。许氏平鲉仔、稚鱼各阶段的日摄食率分别为42.26%(2日龄)、16.25%(15日龄)和13.07%(25日龄), 可将其作为许氏平鲉早期发育阶段日投喂量的参考标准。在水温(22±0.5)℃条件下, 摄食人工配合饵料的不同规格许氏平鲉幼鱼(平均体质量1.78和8.52 g)表现出明显不同的胃排空特征。采用线性模型、指数模型、平方根模型和Logistic模型均能较好地拟合实验幼鱼的胃排空数据。以 R^2 、RSS、SDR为标准进一步比较, 结果显示, 体质量1.78和8.52 g幼鱼胃排空最佳拟合模型分别为线性模型和Logistic模型, 其胃排空率分别为0.007和0.047 g/h, 根据其胃排空特征以及投喂频率对幼鱼生长离散的影响等, 建议将饱食投喂2~3次/d作为60~90日龄幼鱼的适宜投喂频率。

关键词: 许氏平鲉; 早期发育阶段; 日摄食量; 胃排空率; 数学模型

中图分类号: S 965.3

文献标志码: A

鱼类的摄食与消化规律是鱼类摄食生态学领域的重要研究内容。早期发育阶段的鱼类对外界环境最为敏感, 水体中的饵料质量、饵料密度等的变动往往会引起仔、稚鱼的摄食异常, 导致苗种大批死亡^[1]。仔、稚鱼摄食特性的研究将有助于把握鱼类早期发育阶段的摄食规律, 从而为临界期、变态期等育苗关键期制定适宜的投喂策略, 提高苗种的成活率^[2]。目前, 针对仔、稚鱼摄食特性的测定方法主要有2种, 即水体饵料减量法和消化道内饵料计数法^[3]。前者较直观、简便, 但取样误差较大, 准确度较低; 后者操作较复杂, 但相对来说准确度较高。由于早期发育阶段仔、稚鱼个体较小, 摄食量较少, 且摄食饵料一般为轮虫、卤虫等可计数的生物饵料, 因而在室内实验条件下通常

采用消化道内饵料计数法测算鱼类仔、稚鱼期的摄食特性^[4-5]。胃排空率(gastric evacuation rate, GER)则是指鱼类摄食后食物从胃中(或消化道)排出的速率^[6]。鱼类的胃排空与食欲恢复状况之间存在着密切的关系。选择食欲恢复时投喂饵料可以增加鱼类的摄食量, 提高饵料的利用率^[7-8]。在人工育苗条件下, 研究幼鱼的胃排空率有助于了解其摄食后的消化规律, 进而估算最佳投喂频率, 制定适宜的投喂策略, 节约饵料成本。通过将消化道内饵料计数法与胃排空研究相结合, 可以全面了解育苗过程中不同发育阶段鱼类的摄食特性, 完整把握养殖鱼类从仔鱼期到幼鱼期的摄食规律, 从而制定更加科学的投喂策略, 增加育苗效益。

许氏平鲉(*Sebastes schlegelii*)隶属于硬骨鱼纲

收稿日期: 2016-05-30 修回日期: 2016-07-27

资助项目: 国家自然科学基金(31172447, 41176117); 国家公益性行业(海洋)科研专项(201405010)

通信作者: 张秀梅, E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn

(Osteichthyes), 鲉形目(Scorpaeniformes), 鲉科(Scorpaenidae), 是一种典型的岩礁肉食性鱼类^[9], 生长快、抗病抗寒能力强、易于繁育, 是我国北方沿海地区重要的增养殖品种。然而在其人工苗种繁育过程中, 目前仍存在着前期仔、稚鱼死亡率较高(主要是饵料转换期及变态期), 后期人工饵料成本较高等问题, 严重制约了苗种的生产效益。目前, 国内外对人工育苗条件下许氏平鲉发育各阶段的摄食特性研究相对较少, 仅见张静等^[10]对其仔、稚鱼生长发育与摄食节律等做过初步观察, 确定了许氏平鲉仔鱼饥饿不可逆转点(PNR)为3日龄; Lee等^[11]通过投喂实验研究了饵料水分对均重20 g许氏平鲉胃排空时间的影响。但是, 针对人工育苗条件下许氏平鲉从初孵仔鱼至幼鱼期的完整摄食规律研究尚未见报道。本实验通过对许氏平鲉早期发育阶段摄食特性及不同生长阶段幼鱼胃排空率的研究, 旨在阐明人工育苗条件下许氏平鲉早期发育阶段的摄食习性及其变化规律, 为许氏平鲉的大规模苗种生产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验在青岛金沙滩水产有限公司的育苗车间开展。选用4~5龄的怀仔雌鱼, 于室内育苗池内自然产仔。采用流水法收集初产仔鱼后重新布放于3个实验用育苗池内(5.4 m×1.7 m×0.9 m)。池内仔鱼布放密度为 $0.8 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^4$ 尾/ m^3 。实验所用海水为砂滤海水, 0~7日龄采用静水培育, 日换水1次, 每次更换50%。8日龄后采用流水培育, 日交换量为2~3个循环。实验期间(5—8月)育苗池内水温随自然海水温度由(13±0.5) °C逐渐升高至(24±0.5) °C。鱼苗饵料系列为小球藻和鱼油强化的轮虫、卤虫幼体及粒径逐渐增大的配合饲料(鱼宝牌, 日本林兼产业株式会社)。

1.2 实验方法

仔、稚、幼鱼阶段的划分 仔、稚、幼鱼阶段的划分参照刘立明等^[12]的方法: 将仔鱼期分为前期仔鱼和后期仔鱼, 即从初孵仔鱼至卵黄囊完全吸收为前期仔鱼; 从卵黄耗尽开始到背鳍、臀鳍、尾鳍等运动器官基本形成为后期仔鱼; 稚鱼期为从奇鳍发育完成到全身披满鳞片为

止; 幼鱼期指鳞片发育完全, 基本具备成鱼的形态结构与行为习性。根据许氏平鲉发育时序, 分别选取2日龄早期仔鱼、15日龄后期仔鱼和25日龄稚鱼开展仔、稚鱼摄食特性实验; 分别选取65和95日龄幼鱼开展胃排空实验。

仔、稚鱼摄食节律测定 自上午8:00到次日上午8:00, 共设7个时间组: 8:00、12:00、16:00、20:00、24:00、次日4:00和次日8:00。每4小时取样1次, 每次从3个平行实验育苗池中取样20尾, 测量鱼全长和体质量。采用目测法确定消化道饱满度: 0~4级法, 其中3级和4级表示为摄食饱满^[13]。在光学显微镜(Nikon E600)和解剖镜(Nikon C-DSS230)下分离解剖仔、稚鱼消化道, 分类统计摄食的饵料生物, 食物团重量按各类饵料生物的平均个体大小折算而得, 即轮虫和卤虫个体的平均湿重分别折算为3和11 μg ^[10]。实验期间通过不间断投喂, 使育苗池内始终保持充足的饵料生物密度(轮虫10~20个/mL; 卤虫5~10个/mL)。育苗池水面为自然光照, 光照周期与自然昼夜时间一致(白昼为5:00—19:30; 黑夜为19:30—次日5:00), 使用Hobe (Onset, USA)光照和温度数据采集器以2 h为间隔测量记录育苗池内水下光照度和温度, 实验期间育苗池内水下光照度(lx)的昼夜平均变化如图1所示。

仔、稚鱼饱食时长和消化时长测定 在实验水泥池内布置3个小网箱(0.3 m×0.3 m×0.3 m)。育苗期间, 取100尾仔、稚鱼放入网箱内, 饥饿排空(12~18 h)后随机选取20尾, 置于2000 mL大

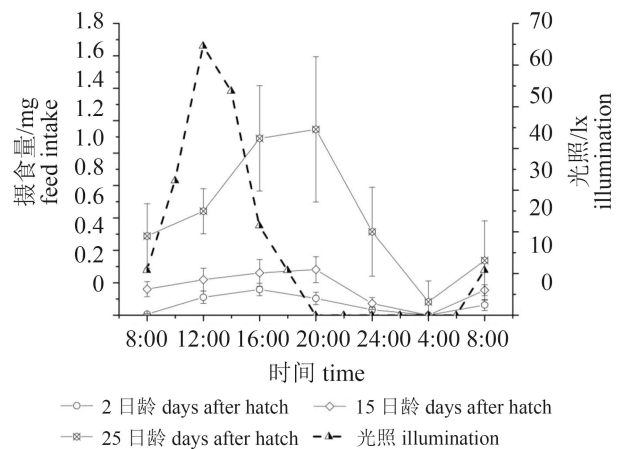


图1 育苗池内水下光照度及不同发育阶段许氏平鲉仔、稚鱼摄食节律变化

Fig. 1 The underwater illumination change and the feeding rhythm of *S. schlegelii* larvae and post-larvae

烧杯中,设置3组平行。实验开始后投喂饵料生物,早期仔鱼投喂轮虫(约20个/mL),后期仔鱼及稚鱼期投喂卤虫无节幼体(10~20个/mL)。投喂后开始计时,记录出现饱食个体以及全部饱食的时间。将饱食后的仔、稚鱼转移至无饵料的大烧杯内(2000 mL),观察并记录仔、稚鱼从饱食至出现排空个体及全部排空所用的时间。仔、稚鱼实验期间水温分别为(13±0.5)和(17±0.6)°C。

幼鱼胃排空率测定 选取600尾健康无病、大小较一致的许氏平鲉幼鱼在实验水泥池中暂养1周后进行胃排空实验。实验开始前将实验鱼饥饿1~2 d确保其消化道内饵料完全排空。结束饥饿后随机取出10尾鱼,解剖确认鱼胃、肠内已无饵料残留。实验开始后连续投喂颗粒饵料30 min,使网箱内始终有多余饵料存在,确保所有实验鱼均充分摄食。投喂结束后(即实验开始后30 min)将残饵捞出并随机取出10尾鱼解剖,称量此时鱼消化道内容物质量作为其总摄食量。之后每间隔1.5~2 h取样1次,每次随机取样10尾鱼。将取样鱼麻醉后(MS-222, 100 mg/L)逐尾测定体长和体质量。称量后解剖出完整消化道并称重(Sartorius BT1L5D电子天平,精度0.0001 g)。仔细分离、剔除消化道内的饵料食物,用蒸馏水将消化道冲洗干净,用吸水纸吸干表面水分后称量空消化道重量。前后称量的重量之差即为消化道内容物重量(湿重)。因实验幼鱼个体较小,故将实验鱼全消化道内含物作为其胃含物指标^[11, 14-15]。每次取样所得消化道内饵料重量的平均值作为该取样时刻鱼胃内饵料重量。当90%以上取样个体消化道内无残余饵料时确定为胃完全排空,结束实验。实验过程中随机选取了20条其内无残余饵料的完整消化道,称量并计算完整消化道重量与剖洗后空消化道的重量之差,计算消化道内消化液的平均重量(平均体质量1.78和8.52 g幼鱼消化道内消化液的平均重量分别为0.04和0.15 g),用于矫正取样个体消化道内饵料重量的测量值。实验共进行2次,分别使用平均体质量(1.78±0.21) g的65日龄幼鱼和平均体质量(8.52±1.22) g的95日龄幼鱼开展实验,2次实验水温均维持在(22±0.5)°C。

1.3 数据分析与计算方法

仔、稚鱼摄食特性 实验采用高小强等^[16]的方法评估许氏平鲉仔、稚鱼摄食特性,具体

参数计算方法:

摄食发生率(%)为消化道内含有饵料的个体占总取样个体的比率。

饱食率(%)为所测个体中饱食(消化道饱满度为3级和4级)个体占所测总个体数的百分比。

饱食量(mg)为仔、稚鱼消化道饱满度为3级和4级时的摄食量。

饱食时长(min)为胃排空个体至饱食状态(消化道饱满度为3级或4级)所需要的摄食时间。

消化时长(min)为饱食个体在无饵料环境中消化道排空所需要的时间。

日摄食量(mg)为24 h内摄食的饵料量。日摄食量=饱食量×[24 h内可能的摄食时长/(消化时长+饱食时长)]。

日摄食率(%)为日摄食量与鱼体质量的比值。

幼鱼胃排空率 分别使用线性、指数、Logistic和平方根4种数学模型拟合幼鱼胃排空率实验数据^[6, 17-19],各模型的表达式为

线性模型: $Y=A-B \times t$

指数模型: $Y=A \times e^{-B \times t}$

平方根模型: $Y^{0.5}=A-B \times t$

Logistic模型: $Y=A+(C-A)/[1+(t/D)^E]$

式中, Y 为胃含物重(湿重); A 、 C 、 D 、 E 为常数; B 为瞬时排空率(g/h); t 为摄食后时间(h)。

采用SPSS 17.0和Origin 9.0进行数据统计分析及绘图。通过比较分析各拟合模型的相关系数 R^2 、残差标准差(SDR)、残差平方和(RSS)值,确定许氏平鲉幼鱼最佳胃排空模型。

2 结果

2.1 许氏平鲉仔、稚鱼的摄食节律

采用摄食发生率、饱食率、消化道充塞度以及摄食量来描述许氏平鲉3个发育时期(2日龄早期仔鱼、15日龄后期仔鱼、25日龄稚鱼)昼夜摄食节律变化。

不同发育阶段许氏平鲉仔、稚鱼消化道充塞度及摄食发生率变化均表现出一定的节律性。在24 h内,8:00—16:00,仔、稚鱼摄食发生率始终维持在较高水平,消化道充塞度不断增大,16:00—20:00达到最高水平(3~4级)。20:00—次日8:00,消化道充塞度水平逐渐减小,至次日4:00降至最低水平(0~1级),鱼群内的摄食发生率也随之降到最低(表1)。

表1 不同发育阶段许氏平鲉仔、稚鱼昼夜摄食发生率、饱食率及消化道充塞度

Tab. 1 The degree of digestive tract fullness, feeding incidence, and satiation rate of *S. schlegelii* larvae and post-larvae in a day

日龄/d days after hatch	全长/cm total length	时刻 time	充塞度/尾 degree of fullness					解剖尾数/尾 sample number	摄食发生率/% feeding incidence	饱食率/% satiation rate
			0	1	2	3	4			
2	0.62±0.03	8:00	4	16	0	0	0	20	80	0
		12:00	0	0	13	7	0	20	100	35
		16:00	0	0	11	8	1	20	100	45
		20:00	0	3	10	6	1	20	100	35
		0:00	3	15	2	0	0	20	85	0
		次日4:00	20	0	0	0	0	20	0	0
		次日8:00	0	14	6	1	0	21	100	4.8
		15	0.92±0.05	8:00	0	1	17	2	0	20
12:00	0	0		12	8	0	20	100	40	
16:00	0	0		7	11	3	21	100	66.7	
20:00	0	0		7	10	4	21	100	66.7	
0:00	1	16		3	0	0	20	95	0	
次日4:00	20	0		0	0	0	20	0	0	
次日8:00	0	2		18	0	0	20	100	0	
25	1.14±0.11	8:00		0	9	11	0	0	20	100
12:00		0	1	17	2	0	20	100	10	
16:00		0	1	4	11	4	20	100	75	
20:00		0	1	7	6	5	19	100	57.9	
0:00		0	9	9	2	0	20	100	10	
次日4:00		13	7	0	0	0	20	35	0	
次日8:00		0	16	3	1	0	20	100	5	

通过对比不同发育阶段仔、稚鱼消化道充塞度变化可以发现,早期仔鱼(2日龄)在一昼夜内处于饱食状态(3~4级)的时间较短,仅在16:00时段出现。0:00—8:00时间段内鱼群内的摄食发生率较低,4:00时段基本停止摄食。仔鱼饱食率较低,最高饱食率为45%。而15日龄后期仔鱼和25日龄稚鱼出现饱食状态时间较长,在16:00和20:00两个时间段内均维持较高水平的消化道充塞度(3~4级)。仔、稚鱼的饱食率随日龄的增加也有所提高,至25日龄稚鱼期最高饱食率已达75%。夜间摄食时间相比于早期仔鱼也逐渐延长,仅在4:00时间段内出现较低的摄食发生率。

不同日龄仔、稚鱼摄食量测定结果显示,

2日龄仔鱼在一昼夜内的摄食量随光照度的增加而不断增大,高峰出现于16:00,平均摄食量为0.16 mg;15日龄仔鱼在16:00和20:00时段均保持较高的摄食量,摄食量分别为0.26和0.28 mg,夜间随着光照的消失,摄食量随之降低;25日龄稚鱼的摄食高峰也出现在16:00和20:00,摄食量分别为1.09和1.15 mg,昼夜摄食节律与15日龄仔鱼相似,但摄食量显著增加(图1)。

2.2 许氏平鲉仔、稚鱼饱食时长、消化时长和日摄食情况

许氏平鲉2日龄早期仔鱼由胃排空状态到饱食状态大约需要90 min,15日龄后期仔鱼需要约80 min,25日龄稚鱼需要约60 min。随着仔、稚

鱼摄食量的增大, 消化时间由2日龄的100 min, 逐渐延长到15日龄的120 min, 再增加至25日龄的190 min (表2)。

结果显示, 2日龄前期仔鱼日摄食量为0.71 mg, 日摄食率为42.26%; 15日龄后期仔鱼日摄食量为1.53 mg, 日摄食率为16.25%; 25日龄稚鱼日摄食量为2.40 mg, 日摄食率为13.07% (表3)。

2.3 不同生长阶段许氏平鲉幼鱼的胃排空特征

投喂颗粒饵料情况下, 平均体质量1.78 g许氏平鲉幼鱼在摄食23 h后消化道内饵料已完全排

空(图2-a), 其消化道内饵料质量减少呈匀速变化, 与时间呈现典型的线性相关关系。通过其最优拟合线性模型可知, 体质量1.78 g许氏平鲉幼鱼的胃排空率约为0.007 g/h。50%和99%胃排空的理论时间分别为摄食后10和23 h。

平均体质量8.52 g许氏平鲉幼鱼在摄食27 h后消化道内饵料已基本排空(图2-b)。前4 h幼鱼消化道内摄食的干颗粒饵料因吸水膨胀呈现重量增加趋势, 6~18 h饵料排出速率较快, 而20 h后排出速率逐渐变慢。通过其线性拟合模型可

表2 许氏平鲉仔、稚鱼的饱食时长和消化时长

Tab. 2 Satiation feeding time and digesting time of *S. schlegelii* larvae and post-larvae

日龄/d days after hatch	全长/cm total length	发育阶段 development stage	饵料 diet	水温/°C water temperature	饱食时长/min time of satiation		消化时长/min time of digestion	
					S ₀	S ₁	D ₀	D ₁
2	0.62±0.03	前期仔鱼	R	17.0	30	90±5	20	100±11
15	0.92±0.05	后期仔鱼	A	17.5	30	80±7	60	120±20
25	1.14±0.11	稚鱼期	A	18.2	30	60±8	110	190±11

注: R. 轮虫; A. 卤虫; S₀. 饱食个体出现; S₁. 全部饱食; D₀. 排空个体出现; D₁. 全部排空; 下同

Notes: R. rotifer; A. brine shrimp; S₀. occurrence time of first fish satiated; S₁. occurrence time of all fish satiated; D₀. occurrence time of first fish gastrointestinal emptying; D₁. occurrence time of all fish gastrointestinal emptying; the same below

表3 许氏平鲉仔、稚鱼日摄食情况

Tab. 3 Daily feeding traits of *S. schlegelii* larvae and post-larvae

日龄/d days after hatch	体质量/mg body weight (mean±SD)	发育阶段 development stage	饵料 diet	饱食量/mg satiation feeding amount	日摄食时间/h daily feeding time	日摄食量/mg daily feed intake	日摄食率/% daily feeding rate
2	1.68±0.22	前期仔鱼	R	0.16±0.02	14	0.71	42.26
15	9.41±2.70	后期仔鱼	A	0.31±0.02	14	1.53	16.25
25	18.36±6.33	稚鱼期	A	0.80±0.06	14	2.40	13.07

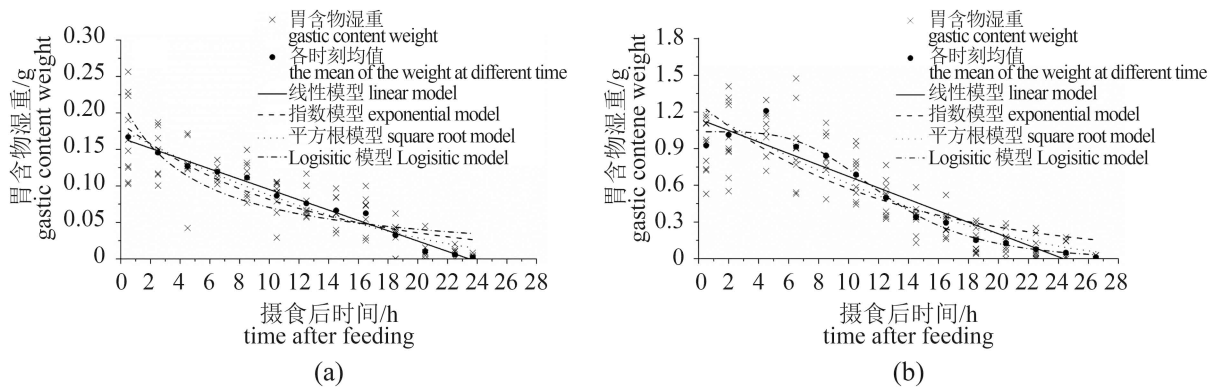


图2 不同规格许氏平鲉幼鱼摄食后胃排空变化情况

(a) 平均体质量1.78 g; (b) 平均体质量8.52 g

Fig. 2 Curve fitted to gastric evacuation data of different sizes of juvenile *S. schlegelii*

(a) average weight 1.78 g; (b) average weight 8.52 g

知, 体质量8.52 g幼鱼平均胃排空率约为0.047 g/h。其50%和99%胃排空的理论时间分别为摄食后12和30 h。相比较小规格幼鱼, 大规格幼鱼的胃完全排空时间延长, 胃排空特征变化明显。

2.4 不同规格许氏平鲉幼鱼最佳胃排空模型选择

通过对2种规格许氏平鲉幼鱼胃排空模型的拟合发现, 4种数学模型(线性模型、指数模型、平方根模型、Logistic模型)均能较好地拟合2种规格幼鱼的胃排空变化($P < 0.001$)(表4)。为了选择最佳胃排空模型, 进一步比较了4种数学模型的

R^2 、RSS以及SDR。结果显示, 以 R^2 为标准, 线性模型和Logistic模型对体质量1.78 g幼鱼的拟合度优于指数模型和平方根模型, 其中线性模型拟合效果最好。而Logistic模型对于体质量8.52 g幼鱼的胃排空变化拟合度要优于其他3种模型, 其次是线性模型。以RSS以及SDR为标准, 体质量1.78 g幼鱼的4种胃排空模型拟合结果差异不显著, 而体质量8.52 g幼鱼的模型最优性与 R^2 的评价结果一致。综上分析可知, 线性模型更适于定量描述体质量为1.78 g幼鱼的胃排空变化, 而Logistic模型则是描述体质量为8.52 g幼鱼胃排空特征的最优数学模型。

表4 不同规格许氏平鲉幼鱼胃排空模型拟合参数比较

Tab. 4 Comparison of fitting degree parameters of gastric evacuation models of *S. schlegelii* juveniles with different sizes

鱼体质量/g body weight	模型 model	R^2	RSS	SDR	P
1.78	线性模型 linear model $Y=0.165-0.007t$	0.986	0.0004	0.0037	<0.001
	指数模型 exponential model $Y=0.185e^{-0.082t}$	0.912	0.002	0.0074	<0.001
	平方根模型 square root model $Y^{0.5}=0.421-0.012t$	0.960	0.001	0.005	<0.001
	Logistic模型 logistic model $Y=-0.0051+(0.22+0.005)/[1+(t/5)^{0.98}]$	0.766	0.006	0.010	<0.001
8.52	线性模型 linear model $Y=1.142-0.047t$	0.906	0.191	0.070	<0.001
	指数模型 exponential model $Y=1.270e^{-0.079t}$	0.817	0.374	0.084	<0.001
	平方根模型 square root model $Y^{0.5}=1.113-0.033t$	0.886	0.232	0.083	<0.001
	Logistic模型 logistic model $Y=-0.0207+(1.03+0.02)/[1+(t/12.51)^{3.93}]$	0.967	0.055	0.052	<0.001

3 讨论

3.1 许氏平鲉仔、稚鱼的摄食能力

早期发育阶段, 鱼类的摄食能力通常与其种类、个体大小以及饵料密度、大小、种类等密切相关^[20]。人工育苗条件下, 当育苗池内饵料充足时, 鱼类的仔、稚鱼通常具有较高的摄食发生率。如云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)6日龄仔鱼的摄食发生率已达100%, 仔、稚鱼的平均摄食发生率高达97.63%^[21]。斜带石斑鱼(*E. coioides*)4日龄以上仔、稚、幼鱼的摄食发生率均达到100%, 饱食个体达到60%~100%^[22]。本研究表明, 许氏平鲉2日龄仔鱼已能够开口摄食, 白天最高摄食发生率已达100%, 饱食个体比例达45%, 至25日龄稚鱼期, 取样鱼的饱食率已增至75%。表明许氏平鲉仔、稚鱼具有较强的摄食能力, 在白天的摄食活动旺盛。张静等^[10]研究认为, 环境水温

15~22 °C时, 大部分许氏平鲉仔鱼在1日龄后已开口摄食, 摄食发生率高达95%, 这与本实验结果相一致。在育苗生产过程中, 应在仔鱼产出1 d后及时投喂饵料, 确保仔鱼能够及时摄取饵料生物, 顺利完成内外源营养的转换, 建立外源性营养。

3.2 许氏平鲉仔、稚鱼的摄食节律

鱼类的摄食行为通常具有节律性。摄食节律是鱼类的摄食感觉机能对温度、光照、饵料等周期性变动的外在生态因子的主动适应^[23]。Hemifan^[24]根据鱼类的日摄食活动特点, 将鱼类的摄食分为白天摄食、夜间摄食、晨昏(早晨和黄昏)摄食以及无明显摄食节律等4种类型。本实验发现, 许氏平鲉早期仔鱼(2日龄)和后期仔鱼(15日龄)摄食活动均出现在白天, 且摄食强度随着光照度的增强而不断增大, 摄食高峰为每天的12:00—20:00, 夜间几乎未发现任何摄食迹象, 属于白

天摄食型。稚鱼期(25日龄)摄食高峰出现在16:00—20:00,摄食节律仍属于白天摄食,但在夜间出现了少量摄食,摄食时间有所延长,摄食高峰有逐渐偏向黄昏时段的趋势。分析认为,鱼类的摄食节律性通常有其感觉基础,与其摄食感觉器官的发育程度密切相关。白天摄食型鱼类通常利用其视觉器官。早期仔鱼视觉系统不发达,弱光环境下对饵料的捕食能力较差。随着幼体的生长发育,其视觉器官的组织结构逐渐发育完善,具备了较强的感光能力,在一昼夜内的摄食强度和摄食时长均有所提高。这与美洲西鲱(*Alosa sapidissima*)仔稚鱼^[16]、真鲷(*Pagrosomus major*)^[23]以及斜带石斑鱼^[22]等的研究结果一致,表明随着生理机能的变化,鱼类在不同发育阶段其摄食节律存在一定的差异性。然而张静等^[10]研究发现,许氏平鲉早期仔鱼阶段(1~19日龄)在凌晨4:00左右也有少量摄食现象,这可能与其实验环境的夜间光照度有关,因报道中未提供光照数据故难以做进一步分析。根据本研究结果分析,在许氏平鲉育苗过程中应根据其不同生长阶段的摄食节律变化调整投喂策略,在仔鱼期,应在8:00—20:00保持育苗池内有足够密度的饵料生物。为促进初产仔鱼的生长,提高其成活率,夜间可适当增加人工照明,延长仔鱼摄食时长。而在稚鱼阶段,育苗池内应24 h保持适宜的饵料密度。

3.3 许氏平鲉仔、稚鱼的日摄食量及消化时间

鱼类的摄食量通常与个体的规格密切相关。Brett等^[25]认为,鱼类处于早期生活史阶段个体较小,胃部发育不完善,胃容量小,因而单次摄食量少,个体需要更高的摄食频率来满足生长发育所需的摄食量。较大个体的幼鱼或成鱼胃容量增大,单次摄食量多,因而需要更长的消化时间,如半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)6日龄仔鱼摄食量仅0.09 mg,到16日龄时则迅速增加至0.44 mg。摄食率则由6日龄的65%降为16日龄的39.7%^[26]。本研究发现,许氏平鲉前期仔鱼(2日龄)、后期仔鱼(15日龄)以及稚鱼(25日龄)的平均日摄食量逐渐增加,分别为0.71、1.53和2.40 mg,平均日摄食率则呈现降低趋势,由2日龄的42.26%、逐渐降至25日龄的13.07%。2日龄仔鱼对轮虫的消化时长约为1.6 h,而15日龄后期仔鱼及25日龄稚鱼对卤虫无节幼体的消化时间分

别为2和3 h,消化时间随个体的生长以及摄食量的增大而不断延长。以上结果表明不同发育阶段许氏平鲉的摄食量及摄食率存在显著差异,在育苗过程中应按照摄食量、摄食率及消化时间的变化及时调整投饵时间与投饵量。通过本研究可知许氏平鲉前期仔鱼(2日龄)、后期仔鱼(15日龄)和稚鱼期(25日龄)的平均日摄食量分别占其鱼体质量的42.26%、16.25%和13.07%,可将其作为仔、稚鱼阶段日投喂量的参考标准。

3.4 不同规格许氏平鲉幼鱼的胃排空特征

鱼类的胃排空特征主要分为3种类型。第1种表现为摄食后胃内食物快速进入肠道,初始胃排空速率较快,随后迅速降低。主要出现于玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)、斑鰾(*Clupanodon punctatus*)等摄食细小分散、低能量食物(如浮游生物)的鱼类当中。第2种类型是摄食后胃内容物质量随时间的延长呈直线下降趋势,如红拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)^[27]、黑鲷(*Sparus macrocephalus*)^[28]等大型肉食性鱼类。第3种胃排空类型表现为排空速率先慢后快再变慢,如日本黄姑鱼(*Nibea japonica*)幼鱼^[29]、南方鲈(*Silurus meridionalis*)^[30]等。本研究发现,不同规格许氏平鲉幼鱼的胃排空特征有所不同,平均体质量1.78 g幼鱼在摄食后胃内容物质量随时间的延长呈直线下降趋势,表现为上述3种类型中的第2种排空类型。平均体质量8.52 g幼鱼在摄食后0~4 h胃内容物质量并未出现明显的减少,其湿重反而有所上升。在摄食后6~18 h,胃内容物质量迅速减少,在摄食20 h后胃排空速率又显著降低。因此,8.52 g幼鱼的胃排空特征更倾向于第3种类型。分析认为,与已有的诸多胃排空实验不同,本研究所采用的实验饵料为干颗粒饵料,其物理性质与浮游生物以及肉块、肉糜等生物饵料均有所不同。Jobling^[31]认为,食物的大小和性质是影响鱼类胃排空的重要因素。食物颗粒越小,其表面积越大,食物与胃内消化酶以及胃酸的接触面积也就更大,从而导致食物在胃中更快地消化和排出。本实验中平均体质量1.78 g幼鱼单次摄食量要远小于8.52 g幼鱼的摄食量,且所摄食的颗粒饵料粒径较小,具有较大的颗粒表面积,在胃部机械研磨、胃液消化等作用下可以迅速消化排出。较大个体的幼鱼单次摄食量大,且干颗粒饵料的粒径较大,被吞食后

会在胃部逐渐吸水膨胀,表现为胃内容物的质量不降反增,在消化排空之前出现一个大约4 h的排空延滞阶段。相同的实验现象也见于Grove等^[32]针对大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)的研究报道,在投喂较硬的颗粒饵料时,大菱鲂幼鱼的胃排空延迟时间甚至达到13 h。在延滞期过后,随着颗粒饵料在胃中的破碎、糜化,幼鱼的消化及排空速率迅速加快,饵料中部分难以消化或消化速率较慢的组分会留在消化道内继续消化,呈现后期缓慢的排空过程。

鱼类的胃排空率除了受食物颗粒的大小、性质等影响外,还与鱼体的自身生理状况、体质量等密切相关,但对于鱼体质量或年龄是否对鱼类的胃排空特征有影响,一直是一个存在争论的问题^[6]。Lambert^[33]认为,同种鱼类不同体质量和年龄排空方式的不同是由于鱼类不同生长阶段胃肠道结构的不同引起的,但Jobling^[31]认为不同生长阶段鱼类排空方式的差异是由各阶段鱼类摄食食物种类的不同而引起的。根据本研究结果分析认为,人工养殖条件下,许氏平鲈幼鱼体质量或日龄与胃排空率之间存在密切关系,不同生长阶段许氏平鲈幼鱼的胃容量大小以及所摄食干颗粒饵料的大小、性质等差异均对幼鱼的胃排空方式产生了一定影响。

3.5 不同规格许氏平鲈幼鱼胃排空最优数学模型

鱼类的胃排空方式复杂多样,因而用于表现不同鱼类胃排空方式的胃排空模型种类较多。目前已报道的模型有线性模型、指数模型、平方根模型、幂函数模型、Logistic模型、Gompertz模型、倒数模型等10余种。其中线性模型、指数模型以及平方根模型为较常用的模型^[6]。已有研究发现,肉食性鱼类的胃排空模型存在着较大差异,如黑鲷^[28]、日本黄姑鱼^[29]、大眼梭鲈(*Stizostedion vitreum vitreum*)^[34]等的胃排空特征适用于线性模型,而南方鲂幼鱼^[30]、真鲷^[35]、方氏云鲷(*Enedrias fangi*)^[36]等的胃排空特征则更适用于指数模型。此外,张波等^[6]认为,采用排空模型拟合的数据为实验平均值而非实际观测值,因而只有通过统计学方法才能选择出最佳的排空模型。本研究发现,常用的几种数学模型对于不同规格许氏平鲈幼鱼的胃排空均有较好的拟合效果,但综合 R^2 、SDR以及RSS统计结果的

比较分析后发现,线性模型更适于定量描述体质量1.78 g幼鱼的胃排空变化。由于在胃排空前期存在延滞阶段,Logistic模型则是描述体质量为8.52 g幼鱼胃排空特征的最优数学模型^[37]。

3.6 不同规格许氏平鲈幼鱼的胃排空时间及其对摄食的影响

鱼类的胃排空程度与其食欲恢复密切相关^[38]。在鱼类食欲恢复时投喂饵料可以使其摄食率达到最大,从而有效提高饲料的利用率^[7]。因此,胃排空时间的确定对于养殖鱼类投喂频率的确定具有重要的指导意义和参考价值^[39]。通常情况下,当鱼类胃内残留饵料为零或胃内容物完全排空时鱼类食欲完全恢复,可视为鱼类食欲恢复的极限点^[39]。Lee等^[11]报道了平均体质量20 g的许氏平鲈胃完全排空时间至少为24 h,认为许氏平鲈(平均体质量20 g)的适宜投喂频率为每天饱食投喂1次,即当幼鱼达到食欲恢复极限点时再投喂。然而通过Grove等^[40]的研究发现,尽管虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)在摄食15 h后才能达到胃完全排空,但在摄食6 h后,其胃排空已达到80%~90%,此时虹鳟食欲已基本恢复,故可以将6 h作为其适宜的投喂间隔时间。Riche等^[39]在对尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的摄食研究中也发现,在摄食后18 h才能达到95%胃排空,但在摄食后4 h胃排空已达到80%,食欲也已恢复到接近摄食前的水平。相同的结论还见于平均体质量4.2 g的尼罗罗非鱼幼鱼的胃排空研究^[7]。本研究表明,平均体质量1.78及8.52 g许氏平鲈幼鱼的99%理论胃排空时间分别为摄食后23和30 h。综合以上研究结果以及养殖过程中的实际观察,认为两种规格许氏平鲈幼鱼(1.78与8.52 g)达到50%胃排空时食欲已明显恢复,所对应的投喂间隔时间约为10和12 h,即每天饱食投喂1~2次,即可保证该规格幼鱼在食欲恢复后的第一时间及时投喂。考虑到实际养殖条件下投喂频率对幼鱼生长离散的影响^[9],综合分析认为,可将饱食投喂2~3次/d作为60~90日龄幼鱼的适宜投喂频率。冒树泉等^[41]对许氏平鲈幼鱼饵料投喂频率的研究结果也支持此观点。

综上所述,在许氏平鲈苗种培育过程中,应根据不同发育阶段许氏平鲈仔、稚、幼鱼的摄食特点及变化规律及时调整投喂策略,提高饵料的利用率,实现苗种的高效健康生产。

参考文献:

- [1] 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.
Yin M C. Advances and studies on early life history of fish[J]. Journal of Fisheries of China, 1991, 15(4): 348-358(in Chinese).
- [2] 殷名称. 鱼类早期生活史阶段的自然死亡[J]. 水生生物学学报, 1996, 20(4): 363-372.
Yin M C. Natural mortality of early life stages of fish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1996, 20(4): 363-372(in Chinese).
- [3] 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.
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(in Chinese).
- [4] 张雅芝, 谢仰杰, 张文生. 花尾胡椒鲷早期发育阶段的摄食与生长特性[J]. 台湾海峡, 2000, 19(1): 27-35.
Zhang Y Z, Xie Y J, Zhang W S. Feeding habits and growth of *Plectorhynchus cinctus* in early developmental stage[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2000, 19(1): 27-35(in Chinese).
- [5] 张雅芝, 郑斯电. 鲩状黄姑鱼早期发育阶段的摄食与生长特性[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(2): 117-126.
Zhang Y Z, Zheng S D. The feeding habits and the growth of *Nibea miichthioides* in the early developmental stage[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1999, 30(2): 117-126(in Chinese).
- [6] 张波, 孙耀, 唐启升. 鱼类的胃排空率及其影响因素[J]. 生态学报, 2001, 21(4): 665-670.
Zhang B, Sun Y, Tang Q S. Gastric evacuation rate of fish and its influence factors[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(4): 665-670(in Chinese).
- [7] 孙晓锋, 冯健, 陈江虹, 等. 投喂频率对尼罗系吉富罗非鱼幼鱼胃排空、生长性能和体组成的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(11): 1677-1683.
Sun X F, Feng J, Chen J H, *et al.* Effects of feeding frequency on gastric evacuation, growth benefit and body composition of juvenile genetic improved farmed tilapia strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1677-1683(in Chinese).
- [8] 覃志彪, 赵海祥, 赵华林, 等. 投饲频率对瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachelli*) 幼鱼胃排空、生长效益及体组成影响[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 506-511.
Qin Z B, Zhao H X, Zhao H L, *et al.* Effects of feeding frequency on gastric evacuation, growth performance and body composition of juvenile darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachelli* Richardson)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 506-511(in Chinese).
- [9] 郭浩宇, 张秀梅, 高天翔. 人工隐蔽物及投喂频率对许氏平鲈幼鱼生长和行为的的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 319-331.
Guo H Y, Zhang X M, Gao T X. Effects of artificial shelters and feeding frequency on growth and behavior of juvenile *Sebastes schlegelii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(2): 319-331(in Chinese).
- [10] 张静, 薛美岩, 姜海滨, 等. 黑鲷早期发育与摄食的初步观察[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 8-15.
Zhang J, Xue M Y, Jiang H B, *et al.* Study on early development and feeding of larval *Sebastes schlegelii*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(2): 8-15(in Chinese).
- [11] Lee S M, Hwang U G, Cho S H. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*)[J]. Aquaculture, 2000, 187(3-4): 399-409.
- [12] 刘立明, 姜海滨, 王茂剑, 等. 黑鲷仔、稚、幼鱼生长、发育与成活率变化的研究[J]. 中国海洋大学学报, 2013, 43(3): 25-31.
Liu L M, Jiang H B, Wang M J, *et al.* Study on the growth, development and survival rate of larval, juvenile and young *Sebastes fuscescens*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(3): 25-31(in Chinese).
- [13] 苏锦祥. 鱼类学与海水鱼类养殖[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 292-302.
Su J X. Ichthyology and marine fish culture[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 292-302(in Chinese).
- [14] Boisclair D, Leggett W C. An in situ experimental evaluation of the Elliott and Persson and the Eggers models for estimating fish daily ration[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1988, 45(1): 138-145.
- [15] 冯宪斌, 杨德国, 李茜, 等. 人工养殖条件下岩原鲤幼鱼排空率与摄食量[J]. 中国水产科学, 2012, 19(4): 654-661.

- Feng X B, Yang D G, Li X, *et al.* Gastric evacuation rate and daily food consumption of artificially-reared juvenile rock carp *Procypris rabaudi* (Tchang)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(4): 654-661(in Chinese).
- [16] 高小强, 洪磊, 刘志峰, 等. 美洲西鲱仔鱼不可逆点及仔、稚鱼摄食特性研究[J]. 水产学报, 2015, 39(3): 392-400.
- Gao X Q, Hong L, Chen Z F, *et al.* The definition of point of no return of larvae and feeding characteristics of *Alosa sapidissima* larvae and juveniles[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(3): 392-400(in Chinese).
- [17] Hopkins T E, Larson R J. Gastric evacuation of three food types in the black and yellow rockfish *Sebastes chrysomelas* (Jordan and Gilbert)[J]. Journal of Fish Biology, 1990, 36(5): 673-681.
- [18] Persson L. Patterns of food evacuation in fishes: a critical review[J]. Environmental Biology of Fishes, 1986, 16(1-3): 51-58.
- [19] 曾令清, 李凤杰, 李秀明, 等. 饥饿对南方鲂幼鱼胃排空及其数学模型选择的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1263-1269.
- Zeng L Q, Li F J, Li X M, *et al.* Effect of starvation on gastric evacuation and associated mathematical models in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1263-1269.
- [20] 殷名称. 鱼类仔鱼期的摄食和生长[J]. 水产学报, 1995, 19(4): 335-342.
- Yin M C. Feeding and growth of the larva stage of fish[J]. Journal of Fisheries of China, 1995, 19(4): 335-342(in Chinese).
- [21] 刘银华, 张雅芝, 钟幼平, 等. 云纹石斑鱼仔稚鱼的摄食习性与生长特性[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(3): 388-396.
- Liu Y H, Zhao Y Z, Zhong Y P, *et al.* Studies on feeding habit and growth characteristic of larva and juvenile of *Epinephelus moara*[J]. Journal of Applied Oceanography, 2015, 34(3): 388-396(in Chinese).
- [22] 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.
- Xie Y J, Weng C H, Su Y Q, *et al.* Studies on growth and feeding of larva and juvenile of *Epinephelus coioides*[J]. Journal of Xiamen University(Natural Science), 2007, 46(1): 123-130(in Chinese).
- [23] 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.
- Li D Y, Liu X C, He D R. Feeding rhythm of *Pagrosomus major* during the early development stage[J]. Tropic Oceanology, 1994, 13(2): 82-87(in Chinese).
- [24] Helfman G S. Fish behaviour by day, night and twilight[M]//Pitcher T J. The Behaviour of Teleost Fishes. US: Springer, 1986: 366-387.
- [25] Brett J R, Groves T D D. Physiological energetics[J]. Fish Physiology, 1979, 8: 279-352.
- [26] 马爱军, 柳学周, 徐永江, 等. 半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)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.
- Ma A J, Liu X Z, Xu Y J, *et al.* Study on feeding behavior and growth of tongue sole *Cynoglossus semilaevis* in early development stage[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2005, 36(2): 130-138(in Chinese).
- [27] 余方平, 许文军, 薛利建, 等. 美国红鱼的胃排空率[J]. 海洋渔业, 2007, 29(1): 49-52.
- Yu F P, Xu W Y, Xue L J, *et al.* The gastric evacuation rate of *Sciaenops ocellatus*[J]. Marine Fisheries, 2007, 29(1): 49-52(in Chinese).
- [28] 张波, 孙耀, 唐启升. 黑鲷的胃排空率[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 287-289.
- Zhang B, Sun Y, Tang Q S. Gastric evacuation rate of black sea bream (*Sparus macrocephalus*)[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(2): 287-289(in Chinese).
- [29] 朱云海, 王跃斌, 胡则辉, 等. 日本黄姑鱼幼鱼的胃排空率[J]. 海洋渔业, 2013, 35(4): 448-452.
- Zhu Y H, Wang Y B, Hu Z H, *et al.* Gastric evacuation of juvenile *Nibea japonica*[J]. Marine Fisheries, 2013, 35(4): 448-452(in Chinese).
- [30] 曾令清, 李凤杰, 曹振东, 等. 南方鲂幼鱼的胃排空特征及其数学模型[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 231-237.
- Zeng L Q, Li F J, Cao Z D, *et al.* The analysis of gastric evacuation characteristics and associated mathematical models in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(2): 231-237(in Chinese).
- [31] Jobling M. Influences of food particle size and dietary energy content on patterns of gastric evacuation in fish:

- test of a physiological model of gastric emptying[J]. *Journal of Fish Biology*, 1987, 30(3): 299-314.
- [32] Grove D J, Moctezuma M A, Flett H R J, *et al.* Gastric emptying and the return of appetite in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* L., fed on artificial diets[J]. *Journal of Fish Biology*, 1985, 26(3): 339-354.
- [33] Lambert T C. Gastric emptying time and assimilation efficiency in Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*)[J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1985, 63(4): 817-820.
- [34] Swenson W A, Smith J L L. Gastric digestion, food consumption, feeding periodicity, and food conversion efficiency in walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*)[J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1973, 30(9): 1327-1336.
- [35] 张波, 孙耀, 郭学武, 等. 真鲷的胃排空率[J]. *海洋水产研究*, 1999, 20(2): 86-89.
- Sun Y, Zhang B, Guo X W, *et al.* Gastric evacuation rate of red sea bream (*Pagrosomus major*)[J]. *Marine Fisheries Research*, 1998, 20(2): 86-89(in Chinese).
- [36] 刘顺涛, 郭学武, 陈政强. 方氏云鳎的排空率研究[J]. *海洋水产研究*, 2002, 23(4): 20-23.
- Liu S T, Guo X W, Chen Z Q. Evacuation rate of *Enedrias fangi*[J]. *Marine Fisheries Research*, 2002, 23(4): 20-23(in Chinese).
- [37] Bromley P J. The effects of food type, meal size and body weight on digestion and gastric evacuation in turbot, *Scophthalmus maximus* L.[J]. *Journal of Fish Biology*, 1987, 30(4): 501-512.
- [38] Ware D M. Predation by rainbow trout (*Salmo gairdneri*): the influence of hunger, prey density, and prey size[J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1972, 29(8): 1193-1201.
- [39] Riche M, Haley D I, Oetker M, *et al.* Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.)[J]. *Aquaculture*, 2004, 234(1-4): 657-673.
- [40] Grove D J, Loizides L G, Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and gastric emptying rate in *Salmo gairdneri*[J]. *Journal of Fish Biology*, 1978, 12(5): 507-516.
- [41] 冒树泉, 邹明好, 王春生, 等. 许氏平鲉幼鱼适宜投喂频率的研究[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(8): 2379-2385.
- Mao S Q, Zou M Y, Wang C S, *et al.* Optimal feeding frequency for *Sebastes schlegeli* Juveniles[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(8): 2379-2385(in Chinese).

Study on feeding habits of *Sebastes schlegelii* larvae and gastric evacuation rate of juvenile

GUO Haoyu , ZHANG Xiumei * , ZHANG Zonghang , LI Chao

(Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Feeding habit is one of the most important reference bases for making feeding strategy in fish aquaculture. During the fish seedling culture stage, the feeding amount, feeding species and feeding time which fit the fish feeding habits well will not only increase the survival rate but also improve the feed efficiency greatly. The *Sebastes schlegelii* is one of the most important aquaculture and enhancement fish species in China, Japan and Korea. In culture conditions, though the feeding cost is the greatest production cost during the *S. schlegelii* seedling culture, an excessive mortality still often occurred during the early development culturing stage due to inappropriate feeding strategy. Therefore, in order to better understand the feeding characteristics of *S. schlegelii* during the early development stage, the feeding habits of larvae and the gastric evacuation rate of juvenile in the condition of artificial seedling were examined by using an experimental ecology approach. Results show that *S. schlegelii* had already acquired good foraging capability at larvae stage. For the feeding rhythm of 2 days after hatch (DAH), *S. schlegelii* larvae exhibited feeding peak at 16:00, and the feeding peak of post-larvae (15 DAH and 25 DAH) was at 16:00 and 20:00. So the feeding behavior of *S. schlegelii* larvae mainly appeared at daytime and the feeding peak period was gradually prolonged with fish growth. The daily feeding intake rates of larvae *S. schlegelii* were 42.26% (2 DAH), 16.25% (15 DAH) and 13.07% (25 DAH), which could be used as a reference for daily feeding of larvae in seedling culture. The results show that juvenile *S. schlegelii* with different body weight (average body weight 1.78 and 8.52 g) exhibited different gastric evacuation traits at 22 °C. The linear, exponential, square root and Logistic models were used to fit the gastric evacuation data and all the four models fit the data well. After a composite analysis, it can be concluded that the best mathematical model fitted to the gastric evacuation data of 1.78 and 8.52 g juveniles were the linear model and the Logistic model respectively. Through the mathematical model, it can be calculated that the gastric evacuation rate of 1.78 and 8.52 g juvenile *S. schlegelii* were 0.007 and 0.047 g/h respectively. Based on the gastric evacuation traits and the effect of feeding frequency on the coefficient of variation of fish body weight, it can be concluded that feeding to satiation twice or thrice per day is appropriate for 60-90 DAH juvenile *S. schlegelii* in the rearing practices.

Key words: *Sebastes schlegelii*; early developmental stage; daily feeding intake; gastric evacuation rate; mathematical model

Corresponding author: ZHANG Xiumei. E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31172447, 41176117); Public Science and Technology Research Funds Projects of Ocean (201405010)