

文章编号:1000-0615(2000)06-0516-06

牙鲆仔鱼早期阶段的摄食能力

龚小玲¹, 鲍宝龙¹, 姜秀凤², 苏锦祥¹, 段晓英²

(1.上海水产大学渔业学院,上海 200090; 2.中国水产科学研究院北戴河中心实验站,河北北戴河 066100)

摘要:本文主要在实际观察值的基础上,利用发育反应方程 $C = KW^Y$ 与功能反应 Holling、Ivlev 方程对 2~10 日龄的牙鲆仔鱼的摄食能力进行了计算与预测。其结果表明:牙鲆仔鱼在 2~6 日龄、轮虫饵料密度不超过 $3000 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水体中,摄食强度不超过 $1.7 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$;随着日龄的增加,摄食强度迅速增强,在 4、6、10 日龄、饵料密度为 $3000 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水体中,摄食强度分别是 1.35、1.68、 $3.89 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ 。牙鲆仔鱼的摄食发生率随仔鱼的发育而加大,仔鱼在 2 日龄、饵料密度为 $15000 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水体中,其摄食发生率仅为 $0.69 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$,而在 10.4 日龄时,同饵料密度下的摄食发生率为 $18.72 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$,后者是前者的 27 倍。食饵操纵时间、饵料搜寻时间随仔鱼的发育而迅速下降:仔鱼在 2、10.4 日龄的食饵操纵时间分别为 0.485 、 $0.040 \text{ h} \cdot \mu\text{g}^{-1}$,前者是后者的 12 倍多,而在饵料密度为 $15000 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 下,搜寻时间分别为 1.449 、 $0.053 \text{ h} \cdot \mu\text{g}^{-1}$,前者又是后者的 27 倍多,亦即是说,仔鱼在初孵前几天的摄食能力较低,到后期逐步提高。

关键词:牙鲆;仔鱼;摄食能力;发育反应;功能反应

中图分类号:S917 文献标识码:A

Feeding ability of *Paralichthys olivaceus* during early development stage

GONG Xiao-ling¹, BAO Bao-long¹, JIANG Xiu-feng², SU Jin-xiang¹, DUAN Xiao-ying²

(1. Fisheries College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. Beidaihe Central Experiment Station, CAFS, Beidaihe 066100, China)

Abstract: Through the development response $C = KW^Y$ and function response Holling, Ivlev equation counted and predicted the feeding ability of 2-10 age in days of *Paralichthys olivaceus* larvae. The result showed: the feeding intensities were not more than $1.7 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ at prey rotifer density level no more than $3000 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$. The feeding intensities increased rapidly with the age increasing, at 4、6、10 age in days and $3000 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ food density level, the feeding intensities were 1.35、1.68、 $3.89 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ respectively. The feeding occurrence rate increased with the larvae development, at 2 age in days、 $15000 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ food density level, the feeding occurrence rate ($\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$) was only 0.69, but at the 10.4 age in days、 $15000 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ food density level, the feeding occurrence rate was 18.72 $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$, the later's was 27 times of the former's. Prey handing times and searching times decreased rapidly with the larvae developing, at the 2 and 10.4 age in days, prey handing times were 0.485 and $0.040 \text{ h} \cdot \mu\text{g}^{-1}$ respectively, the former's was more than 12 times of the later's, but at the $15000 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ prey density level, 2 and 10.4 age in days, the searching times were 1.449 and $0.053 \text{ h} \cdot \mu\text{g}^{-1}$ respectively, the former's was more than 27 times of the later's, that indicated the feeding abilities were lower at the early days of first feeding, and

收稿日期:1999-07-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39470556)

作者简介:龚小玲(1972-),女,湖北蕲春人,硕士,助教,从事鱼类学和鱼类生态学研究。Tel:021-65710525, E-mail: xlgong@shfu.edu.cn

then increased gradually.

Key words: *Paralichthy olivaceus*; larvae; feeding ability; development response; function response

在仔鱼早期发育阶段,由于饵料保障和仔鱼器官功能形态发育的共同作用,常构成仔鱼大量死亡的危险期,亦称临界期(Critical period),临界期前、后仔鱼的摄食能力差异较大。国外学者 Laurence、Houde 等分别对冬鲽、菱羊鲽和鳀鱼等早期阶段的摄食能力,利用发育反应 $C = KW^Y$ 和功能反应 Holling、Ivlev 方程进行了评估^[1-4]。本研究也借用了发育与功能反应方程的数学模型对牙鲆早期阶段的摄食能力进行了模拟与评估,能为仔鱼在海洋生态环境中的高死亡率从饵料方面进行解释,同时为实验生态、生产育苗提供理论依据与基础数据。

1 材料与方法

1.1 仔鱼的来源及饲养

牙鲆亲鱼人工饲养,自然产卵、卵浮性,在 400L 透明有机玻璃缸中孵化。两天后孵出的仔鱼在开口第一天即投喂褶皱臂尾轮虫 *Brachionus plicatilis*, 密度 $10 \sim 12 \text{ ind} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。饲养期间,牙鲆仔鱼温控均在 $18.5 \sim 20.0^\circ\text{C}$, 盐度为 $30 \sim 33$, 海水经安全系统过滤,随仔鱼日龄的增加,饲养大缸中的日换水量由 $1/5$ 增至 $1/2$ 。

1.2 生长指标的测定

每天或隔天取 $20 \sim 30$ 尾仔鱼在投影仪上放大 20 倍测体长,以锡箔纸在感量为 0.0001 g 的分析天平上测仔鱼的湿重、干重,干重(W)是仔鱼在 60°C 的恒温干燥箱中经 24 h 后的重量。

1.3 牙鲆仔鱼摄食能力的分析

随机从大饲养缸取出一批仔鱼,让其饥饿一晚后,将仔鱼分别放入轮虫密度为 $1, 3, 5, 7, 10, 15 \text{ ind} \cdot \text{mL}^{-1}$ 盛 800mL 水的烧杯中,各杯中仔鱼为 20 尾左右,2 h 后取出、麻醉,逐尾在解剖镜下检查肠道中的轮虫数,设有平行组和对照组。

1.4 摄食成功率

是仔鱼袭击饵料成功的比例。牙鲆仔鱼摄食成功率与日龄关系的参数参考线纹无臂鲷 (*Achirus lineatus*) $S = 0.52T^{0.23}$ ^[4], 式中, S—摄食成功率, t—日龄。

从摄食成功率可以推断仔鱼的捕食能力,不同大小的仔鱼在不同饵料密度下的摄食发生率。

1.4.1 仔鱼的发育反应与功能反应

发育反应表示摄食强度与仔鱼生长发育(以干重表示)的关系。可以用 $C = KW^Y$ 来描述,仔鱼干重限制在 $10 \sim 200 \mu\text{g}$ 之间。功能反应表示摄食强度与饵料密度(P)及仔鱼摄食能力(以操纵时间表示)的关系,可以用 Holling 方程 $C = ap/(1 + afp)$ ^[1] 或 Ivlev 方程 $C = C_{\max}(1 - e^{-@p})$ ^[2] 描述。

式中, C—摄食强度($\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ 或 $\text{n} \cdot \text{h}^{-1}$), K—回归系数, W—仔鱼干重(μg), Y—指数, 摄食能力指标, P—饵料密度($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{n} \cdot \text{h}^{-1}$), f—操纵时间, a—衡量仔鱼与饵料相遇率的参数, @—饵料密度与摄食强度关系的相关系数, C_{\max} —一定干重仔鱼的最大摄食潜力($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{n} \cdot \text{h}^{-1}$)。

2 结果和分析

2.1 牙鲆仔鱼的生长

牙鲆初孵仔鱼体细长、透明、卵黄囊内油球一个。从图 1、2 可以看出:2 日龄后,7 日龄前的混合营

养期,仔鱼的体长、体重尤其是体重增加较为缓慢,7日龄后,内源性营养消失,存活下来的大部分都是已建立外源摄食的强壮仔鱼,其体长、体重尤其是体重增加显著。

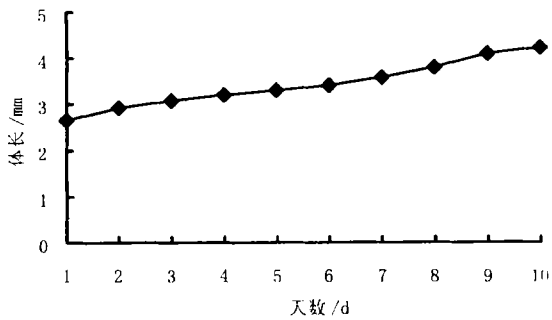


图1 日龄与体长的关系

Fig.1 Relationship between age in days and body length of *P. olivaceus*

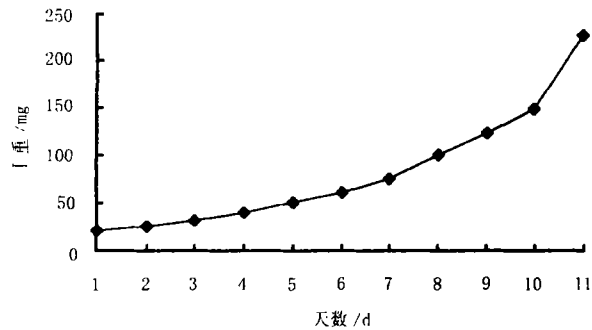


图2 日龄与干重的关系

Fig.2 Relationship between age in days and dry weight of *P. olivaceus*

2.2 摄食率

摄食率为肠道中含有轮虫的仔鱼数占实验鱼数的百分比。从表1可以看出,3~4日龄牙鲆仔鱼的摄食率随饵料密度的增加而增加,每个肠道中饵料平均数、摄食仔鱼肠道中饵料平均数,前者均为后者的3倍多。

2.3 摄食成功率

牙鲆仔鱼在干重(W)为40、60、80、100、120 μ g(相应的日龄为2.04、3.71、5.68、7.72、10.37)时,其摄食成功率分别为61.3%、70.3%、77.5%、83.7%、89.0%。牙鲆仔鱼初次摄食成功率就比较高,达61.3%,也就是说,仔鱼一旦摄食动作发生,就有超过半数的摄食成功,随着仔鱼干重的增加,仔鱼的摄食成功率越来越大。

2.4 摄食强度与仔鱼日龄

在8日龄时,摄食强度由饵料密度为1 000 ind \cdot L $^{-1}$ 的1.34 μ g \cdot h $^{-1}$ 增到15 000 ind \cdot L $^{-1}$ 下的7.39 μ g \cdot h $^{-1}$;在饵料密度为7 000 ind \cdot L $^{-1}$ 下的摄食强度由4日龄的1.65 μ g \cdot h $^{-1}$ 增到10日龄的14.07 μ g \cdot h $^{-1}$,因此,牙鲆仔鱼摄食强度一定条件下随日龄、饵料密度增加而增加,但大多数情况下,饵料密度分别为7 000、10 000、15 000 ind \cdot L $^{-1}$,各日龄摄食强度相差不大。

表1 牙鲆3~4日龄仔鱼在各饵料密度下各组摄食轮虫的百分比

Tab.1 The percentages of feeding rotifers of *P. olivaceus* larvae at 3~4 age in days that fed in different food density

项 目	饵料密度(ind \cdot L $^{-1}$)			
	1 000	3 000	5 000	7 000
肠道中轮虫数0	60.0	49.3	44.5	38
1~2	32.9	21.4	27.6	20
3~4	7.1	11.4	17.2	16
5~6	0	10.7	6.9	12
7~8	0	7.1	0.3	14
9~10	0	0	0	0
11~12	0	0	0	0
≥ 13	0	0	0	0
所检查仔鱼数(尾)	76	80	108	98
每尾仔鱼肠道中轮虫平均数(个)	0.8	2.2	2.7	4.2
摄食仔鱼肠道中轮虫平均数(个)	1.7	3.6	4.1	5.9

表2 牙鲆仔鱼在不同日龄、饵料密度下的摄食强度(μ g \cdot h $^{-1}$)

Tab.2 Feeding intensity of *P. olivaceus* larvae at different age in days and food density (μ g \cdot h $^{-1}$)

日 龄 (d)	饵料密度(ind \cdot L $^{-1}$)					
	1 000	3 000	5 000	7 000	10 000	15 000
4	0.60	1.35	1.40	1.65	1.70	1.78
5	0.76	1.52	2.30	2.72	3.15	3.27
6	0.94	1.68	3.44	3.76	3.15	3.27
8	1.34	3.61	5.41	5.51	6.17	7.39
9	1.82	3.72	6.50	9.43	10.21	11.65
10	1.90	3.89	8.12	14.07	14.42	19.83

2.5 发育反应

因仔鱼的生长、发育而导致仔鱼摄食强度的变化,是仔鱼的发育反应,发育反应 $C = KW^Y$ 是评估早期仔鱼摄食能力的基本参数之一。从表 3 中的数据可知,牙鲆仔鱼的摄食能力指标 Y 值随饵料密度的增加而增加,但在饵料密度为 7 000、10 000、15 000 ind·L⁻¹ 下却比较接近。

2.6 功能反应

因饵料密度及仔鱼摄食能力的变化而导致摄食强度的变化是仔鱼的功能反应,它反应了仔鱼对环境的适应性,也是评估早期仔鱼摄食能力的基本参数之一^[5],采用 Holling 方程要求在不同饵料密度下保证仔鱼一定的成活率,且仔鱼有较快的生长率,一般日生长率在 15%~50% 之间(牙鲆仔鱼能满足以上条件);仔鱼的摄食能力与一般的捕食理论还可用 Ivlev 方程来描述,但二者适用于不同的种类。由表 4 的结果可知,从二者相关系数的高低比较看,Holling 方程更适合用来描述牙鲆仔鱼的功能反应,但 Ivlev 方程中的一些参数如 C_{max} 亦有参考价值。

表 4 Holling 方程与 Ivlev 方程的参数

Tab.4 Parameters of the Holling and Ivlev equation

干重 (μg)	日龄 (t)	Holling 方程					Ivlev 方程				
		a ($\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)	A ($\text{ind}\cdot\text{h}^{-1}$)	f ($\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)	F ($\text{ind}\cdot\text{h}^{-1}$)	r	C_{max} ($\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)	C_{max} ($\text{ind}\cdot\text{h}^{-1}$)	@ ($\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)	@ ($\text{ind}\cdot\text{h}^{-1}$)	r
40	2.04	5.853E-4	4.097E-4	3.220	2.254	0.808 1	2.946	2.062	1.699E-5	1.189E-5	0.554 4
60	3.71	7.350E-4	5.145E-4	0.763	0.534	0.997 1	2.248	1.574	1.262E-4	8.834E-5	0.965 1
80	5.68	1.081E-3	0.757E-3	0.254	0.178	0.999 2	7.348	5.144	1.086E-4	7.601E-5	0.993 5
100	7.92	1.313E-3	0.919E-3	0.099	0.069	0.995 3	17.683	12.378	9.566E-5	6.696E-5	0.991 8
120	10.4	1.781E-3	1.247E-3	0.040	0.028	0.992 5	35.891	25.124	8.457E-5	5.920E-5	0.988 6

Ivlev 中的参数 C_{max} 与 @ 的变化也同样说明了仔鱼摄食能力的增强,并且从 C_{max} 的值可知,牙鲆仔鱼的摄食潜力与其实际的摄食强度相差较远,也就是说在现有的条件,牙鲆仔鱼平均的摄食强度并未达到理想的结果,还需创造更有利的条件,促进仔鱼的摄食。

2.7 摄食强度的观察值与预测值($\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)

根据发育反应、功能反应模拟出的方程对牙鲆仔鱼的摄食强度进行预测,其结果见表 5。

将牙鲆仔鱼摄食强度的预测值与观察值进行比较,在干重较小、饵料密度较低($W \leq 80 \mu\text{g}$ 、 $P \leq 7 000 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$)时,功能反应模拟出的摄食强度会较观察值低估,这是因为在仔鱼较小时,那些摄食强度低到不能满足生长需要的小个体的存在,影响了结果。而发育反应的摄食强度是在平均体重的基础上推算出来的,与实际情况相符,因而用发育反应估计出的摄食强度值与观察值就较接近。而在牙鲆仔鱼干重大于 $100 \mu\text{g}$ 以后,功能反应模拟出的

表 3 牙鲆仔鱼的摄食强度与仔鱼干重的关系

Tab.3 Relationship between feeding

intensity and dry weight of *P. olivaceus* larvae

饵料密度 ($\text{ind}\cdot\text{L}^{-1}$)	参 数		观察数 n	相关系数 r
	K	Y		
1 000	1.863 8E-4	1.939 1	6	0.999 9
3 000	3.114 7E-4	1.992 1	6	0.959 9
5 000	1.587 9E-5	2.761 7	6	0.999 9
7 000	2.521 0E-6	3.222 4	6	0.999 9
10 000	2.917 0E-6	3.206 3	6	0.999 9
15 000	1.354 0E-6	3.410 0	6	0.999 9

表 5 牙鲆仔鱼摄食强度的观察值与预测值

Tab.5 Observed and predicted value of feeding intensity of *P. olivaceus* larvae

饵料密度 ($\text{ind}\cdot\text{L}^{-1}$)		仔 鱼 干 重(μg)				
		40	60	80	100	120
1 000	观察值	0.238	0.522	0.912	1.410	2.007
	预测值 H	0.238	0.523	0.913	1.408	2.001
	预测值 I	0.252	0.528	0.907	1.390	1.969
3 000	观察值	0.485	1.084	1.923	3.007	4.321
	预测值 H	0.484	1.086	1.926	3.003	4.319
	预测值 I	0.354	1.014	2.056	3.498	5.321
5 000	观察值	0.423	1.291	2.856	5.309	8.777
	预测值 H	0.422	1.293	2.861	5.299	8.768
	预测值 I	0.385	1.241	2.755	5.022	8.067
7 000	观察值	0.368	1.350	2.412	7.030	12.643
	预测值 H	0.367	1.354	3.421	7.021	12.634
	预测值 I	0.400	1.373	3.224	6.175	10.357
10 000	观察值	0.401	1.463	3.680	7.559	13.548
	预测值 H	0.396	1.466	3.688	7.543	13.534
	预测值 I	0.412	1.492	3.697	7.459	13.161
15 000	观察值	0.352	1.480	4.113	9.137	17.450
	预测值 H	0.393	1.567	4.180	8.946	16.658
	预测值 I	0.423	1.601	4.172	8.899	16.670

注:预测值 H 指依 Holling 方程推测出的摄食强度预测值;预测值 I 指依 Ivlev 方程推测出的摄食强度预测值。

摄食强度值则和实际观察值较接近,这是因为这个阶段存活下来的都是较健康的仔鱼,其摄食强度值均能接近平均值,甚至超过平均值,其模拟的结果与实际观察值之间总会有些偏差。

2.8 摄食发生率

摄食发生率是摄食强度除以摄食成功率求得的,是衡量仔鱼在每小时内发生摄食的频率。由表6可知,牙鲆仔鱼的摄食发生率随仔鱼干重、饵料密度的增加而增加。牙鲆仔鱼在干重为40 μg 时,在各饵料密度下,摄食发生率均小于1;到干重为60 μg 时,除了饵料密度为1 000ind $\cdot\text{L}^{-1}$ 的摄食发生率小于1外,其它的均大于1,在干重为80 μg 、饵料密度为7 000ind $\cdot\text{L}^{-1}$ 时摄食发生率为4.16 $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ 。由此可见,仔鱼在开口的前几天,摄食发生率低,但高密度下的仍较低密度下的高出很多。随着仔鱼干重的增加,摄食发生率迅速增大,牙鲆仔鱼在饵料密度为1 000ind $\cdot\text{L}^{-1}$ 、干重为120 μg 的摄食发生率是干重为40 μg 的53.8倍。

食饵操纵时间包括仔鱼袭击、捕捉、吞咽和重新搜寻前的停留,它是摄食发生率的倒数。仔鱼在干重为40、60、80、100、120 μg 时,其食饵操纵时间分别为0.485、0.635、0.194、0.084、0.040h $\cdot\mu\text{g}^{-1}$ 。仔鱼从干重为40 μg 到120 μg ,其食饵操纵时间下降了12倍多,亦即说,食饵操纵时间随仔鱼的发育而迅速下降。

发生摄食反应的搜寻时间与仔鱼干重的关系见表7,根据方程估算求得,即单位时间除以摄食发生率。搜寻时间包括仔鱼搜寻及休息的时间。

仔鱼的搜寻时间随仔鱼干重的增加而迅速下降。同在饵料密度为1 000ind $\cdot\text{L}^{-1}$ 下的干重为40 μg 的搜寻时间是120 μg 的5.4倍;仔鱼的搜寻时间随饵料密度的增加而下降,但随干重的增加搜寻时间下降的速度较随饵料密度的增加而下降的速度要快得多,在干重为40 μg 时,饵料密度为1 000ind $\cdot\text{L}^{-1}$ 的搜寻时间仅为15 000 ind $\cdot\text{L}^{-1}$ 下的1.7倍,也就是说仔鱼自身的发育情况对它搜寻饵料的限制作用较外界环境中的饵料密度对它的限制作用要大得多,仔鱼在发育初期搜寻饵料的能力较弱的情况下,若不给予足量的饵料,则仔鱼花费在捕食上的能量就要增多,这对仔鱼的存活、发育极为不利。

3 讨论

仔鱼早期阶段的摄食能力可以从发育反应与功能反应两个方面来讨论,就其本身发育而言“在视觉受到很大限制时,侧线在捕食活动中往往具有较大作用”^[6],”仔鱼的饥饿程度、游泳能力也极大地影响了鱼类的摄食”^[7];发育不良的个体,再好的环境条件,也不会有较强的摄食能力。就功能来说,主要的影响因素是环境条件,环境中的理化因子如水温、盐度、pH、氨氮等对仔鱼的摄食能力影响也很大^[8];另外,仔鱼的摄食能力还受到环境中饵料生物的限制,如饵料生物的适口性、颜色、活动能力、口味、饵料密度等^[9]。

本实验中,环境因子中除饵料密度外,其它的均设在牙鲆仔鱼生长的最适条件下,饵料密度在低于7000ind $\cdot\text{L}^{-1}$ 时对仔鱼生长影响是较为显著的,饵料密度过低,即使是发育强壮的仔鱼,其摄食能力也会受到很大的限制,自然海区尽管饵料成片层分布^[10],但这个片层的饵料密度还是没有超过500ind $\cdot\text{L}^{-1}$ ^[11],这样低的饵料密度分布区,极大限制了仔鱼从外界摄取饵料、获得能量,再加上早期阶段的仔鱼由于受到自身发育条件的限制,搜寻时间、食饵操纵时间较长,要花费体内较多能量,二者交互作用,无

表6 牙鲆仔鱼摄食发生率($\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)

Tab.6 Feeding occurrence rates of *P. olivaceus* larvae ($\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)

干重 (μg)	日龄 (t)	饵料密度(ind $\cdot\text{L}^{-1}$)					
		1 000	3 000	5 000	7 000	10 000	15 000
40	2.04	0.041	0.577	0.628	0.653	0.672	0.690
60	3.71	0.751	1.441	1.756	1.953	2.122	2.277
80	5.68	1.170	2.653	3.555	4.160	4.770	5.383
100	7.92	1.661	4.179	6.000	7.378	8.912	10.632
120	10.40	2.212	5.979	9.064	11.640	14.790	18.720

表7 牙鲆搜寻时间与干重的关系(h $\cdot\mu\text{g}^{-1}$)

Tab.7 Relationship between larvae dry weight and searching time of *P. olivaceus* larvae(h $\cdot\mu\text{g}^{-1}$)

饵料密度 (ind $\cdot\text{L}^{-1}$)	干重(μg)				
	40	60	80	100	120
1 000	2.433	1.332	0.854	0.602	0.452
3 000	1.733	0.694	0.377	0.239	0.167
5 000	1.592	0.567	0.283	0.167	0.110
7 000	1.531	0.512	0.240	0.136	0.086
10 000	1.448	0.471	0.210	0.112	0.068
15 000	1.449	0.439	0.186	0.094	0.053

疑会造成仔鱼大量死亡。但也并不是饵料密度越高,摄食能力就越强,牙鲆仔鱼在饵料密度为7 000、10 000、15 000 ind·L⁻¹下的摄食能力指标分别为3.224、3.206、3.410,三者相差不大,也就是说在饵料密度达到一定程度以后,再高的饵料密度对仔鱼的摄食强度影响也不明显,这可能是由于“在捕食鱼周围有大量饵料时易造成捕食鱼感觉上的混乱,当它决定捕食其中之一时,其它饵料生物的运动将会分散它的注意”^[12]而造成的,太高的饵料密度还会加重水环境的负担,因而在生产过程中,既要保证饵料达到一定的密度,又不能过高。

Holling 和 Ivlev 方程均可用来描述仔鱼的摄食能力,Holling 和 Ivlev 方程中的参数变化,表明了随仔鱼的生长,基本的功能反应也随之变化。Holling 方程中的相遇参数 a 随仔鱼游泳速度和视野的增加而对饵料敏感区域的扩大。Ivlev 方程中的 α 参数越小,表明饵料密度对仔鱼摄食能力的影响越小。牙鲆仔鱼模拟出的 α 值随仔鱼干重的增加总体上呈递减的趋势,这个结果与 Laurence^[3]用 Ivlev 方程分析冬鲈(*Pseudopleuronectes americanus*) α 随仔鱼干重增加而减小相一致,与 Houde 等^[4]对线鲷和鲱鱼的 α 随仔鱼干重增加而增加相反,这种相似与差异可能是由于种间差异造成的。操纵时间在饵料大小不变的情况下(本实验自始至终使用同一来源的轮虫),随仔鱼的生长而下降,这与牙鲆所模拟出的结果是十分一致的,一旦饵料大小发生变化,操纵时间并不一定会随仔鱼的生长而下降,也可能维持在一个较恒定的范围内,但同质量的饵料,操纵时间随仔鱼的生长是必然要下降的,这也反应了仔鱼的生长,器官发育的完善,捕食能力的增强。

参考文献:

- [1] Holling C S. The functional responses of prey density and its role in mimicry and population regulation[J]. *Men Ent Soc Can*, 1965, 45:1-60.
- [2] Ivlev V S. On the utilization of food by planktophage fishes[J]. *Bull Matj Biophysics*, 1960, 22:371-389.
- [3] Laurence G C. A bioenergetic mode for the analysis of feeding and survival potential of winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*, larvae during the period from hatching to metamorphosis[J]. *Fish Bull*, 1977, 75:529-546.
- [4] Houde E D, Schekter R C. Feeding by marine fish larvae: developmental and functional responses[J]. *Enu Biol Fish*, 1980, 5(4):315-334.
- [5] Holling C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. *Can Ent*, 1959, 91:385-398.
- [6] 梁旭方. 鳃侧线管结构和行为反应特征及其对捕食习性的适应[J]. *海洋与湖沼*, 1996, 27(5):457-461.
- [7] 窦硕增. 鱼类摄食生态研究的理论及方法[J]. *海洋与湖沼*, 1996, 27(5):556-560.
- [8] 王渊源. 鱼虾的摄食行为[J]. *海洋渔业*, 1992, 2:66-68.
- [9] 韩希福, 王军萍, 杨秀芬. 甜菜碱和二甲亚砜对麦穗鱼的诱食活性及麦穗鱼摄食行为的研究[J]. *河北渔业*, 1996, 6:58.
- [10] Lasker R, Iweifel J R. Growth and survival of first-feeding north archovy larvae (*Engraulis mordax*) in patches containing different proportion of large and small prey[A]. In: Steele J H ed. *Spatial pattern in plankton communities*[C]. New York: Plenum Publ Corp, 1978. 329-354.
- [11] Blaxter J H S, Staines M E. Food searching potential in marine fish larvae[A]. Crisp D J, ed. *Fourth European Marine Biology Symposium* [C], Cambridge Univ Press, 1971. 467-485.
- [12] 何大仁, 蔡厚才. 鱼类行为学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1998. 27-98.