

赤点石斑鱼仔鱼日间摄食量和摄食日周期的研究

山本章造

掌握仔稚鱼发育生长过程中的摄食量,对摸清天然海域中仔稚鱼的减耗过程和存活机理,研究资源变动;在人工育苗生产上,有计划地培养生物饵料,根据仔稚鱼发育阶段投喂适量饵料方面来说,是很重要的。为此,过去许多学者曾研究了香鱼、牙鲆、真鲷、条石鲷、鲈鱼以及鲷鱼等仔鱼的日间摄食量。

赤点石斑鱼初孵仔鱼全长小于 2mm,开口摄食时,因为不能摄食普通的皱褶臂尾轮虫(以下简称轮虫),所以苗种生产难度较大。近几年由于使用泰国产小轮虫作为初期饵料,使苗种产量得以迅速增加。但是,有关赤点石斑鱼的摄食研究,仅限于开口摄食时的投饵量等,在仔稚鱼发育生长过程中的摄饵生态、日间摄食量变化等还不完全清楚。

笔者研究了育苗池中赤点石斑鱼仔鱼期的摄食行为与光照的关系以及摄食日周期,同时估算了日间摄食量。

1. 实验方法

赤点石斑鱼仔鱼消化道内饵料数量的周日变化调查及日间摄食量的估算,在不同生长发育阶段进行二次。第一次取孵化后 9 日(以后用 H-9 表示)仔鱼,观察其摄食小轮虫的摄食量,第二次取孵化后 17 日(用 H-17 表示)仔鱼,观察其摄食丰年虫幼体(以后简称丰年虫)的摄食量。

供试鱼和实验条件:1990 年 8 月,在冈山县水产试验场栽培渔业中心,用该中心人工养成亲鱼产卵,8 月 13 日孵化出的仔鱼作饲育实验。饲育水池 30kl,室内混泥土水池,饲育仔鱼约 8000 尾。

饵料:根据仔稚鱼生长发育阶段,相应投喂轮虫和丰年虫。饲育水中添微粒藻、微流水育苗。

摄饵量实验在 1990 年 8 月 22 日及 8 月 30 日进行,实验时仔鱼平均全长分别为 3.9mm, 9.9mm。实验所用轮虫用微粒藻和面包酵母培养,湿体重为 $1.5\mu\text{g}/\text{只}$,丰年虫为美国犹他州产,经 24 小时培养孵化,湿体重为 $14\mu\text{g}/\text{只}$ 。

实验不使用人工照明,在自然光照下进行,采集仔鱼时,测定水表面照度(以后简称照度),观察光照与摄食行为的关系。另外,实验期间适当测查池中饵料密度。轮虫密度要求保持 13.2~14.8 只/ml,丰年虫保持 0.5~0.7 只/ml。

育苗水温:H-9 仔鱼为 $28.7\sim 28.9^\circ\text{C}$,H-17 仔鱼为 $28.4\sim 29.1^\circ\text{C}$ 。

摄食量估算:仔稚鱼的摄食量多数从投饵量和残饵量的差值中推算出来,或者是直接计数消化道内的饵料数,再进一步从饵料量与消化时间的关系中求取。笔者对香鱼仔鱼摄食量的估算法加以改进。用来推算石斑鱼仔鱼的摄食量。

仔鱼消化道内饵料数 F 的周日变化如图 1 所示。在图中,从 t_{m-1} 到 t_m 每小时被摄食的饵

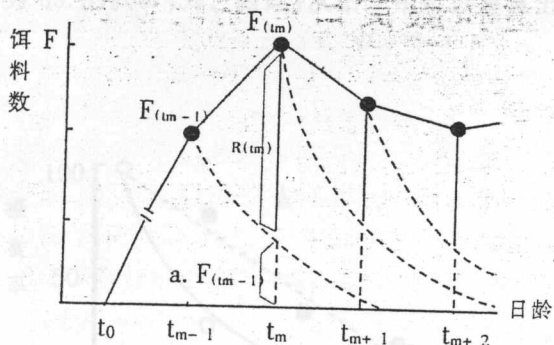


图1 仔鱼消化道内饵料数的周日变化

料数 $R(t_m)$, 用 t_m 时消化道内饵料数 $F(t_m)$, 扣除 t_{m-1} 时消化道内饵料数 $F(t_{m-1})$, 到 t_m 之前未消化排出的饵料数之差值来表示, 把一小时内的未消化系数设为 a , 每小时的摄食数为:

$$R(t_m) = F(t_m) - a \cdot F(t_{m-1}) \quad (1)$$

日间摄食数 DR 为每小时摄食数的累加之和, 设 n 为摄食可能时间, 日间摄食数即可从下式中求得:

$$DR = \sum_{m=1}^n [F(t_m) - a \cdot F(t_{m-1})] \quad (2)$$

消化道内饵料的计数法: 天亮前, 光线黑暗, 仔鱼营浮游状态, 尚不能摄食。此时, 给育苗池中投喂一定量的饵料生物, 然后, 每小时采集 10~

45 尾仔鱼, 并立刻将其活的放在载玻片上, 盖上盖玻片, 用显微镜观察消化道内的饵料, 计算其饵料生物。在仔鱼采集, 用福尔马林溶液等固定时, 由于物理刺激, 往往会排出消化道内容物。但是, 在采集时, 即刻用盖玻片轻轻压碎载玻片上的仔鱼, 消化道内饵料就不会散失, 从而能正确计算出饵料生物量。另外, 还要注意找出轮虫卵, 丰年虫卵及气泡, 这些不能算在饵料数量里。

仔鱼采集和消化道内饵料计数从天亮前仔鱼尚未开始摄食行为的空胃状态起, 到日落后停止摄食, 消化道内不见饵料为止, 约每小时进行一次。

仔稚鱼摄食量用摄食率和平均摄食数表示, 摄食率(%)为在消化道内能找到饵料的尾数占所采集的仔鱼的比例, 平均摄食数即为消化道内饵料数的平均值。有关仔鱼期的饵料消化时间, 福所认为是平均摄食率减少到 10% 所需的时间, 但未见有明确的定义。本文从群体摄食率与平均摄食率的关系中求取。笔者认为: 把从饵料摄入到消化道内饵料消失, 或者到完全被消化了的饵料仅在直肠部少量可见的时间作为仔鱼的饵料消化时间是恰当的。这时, 采集仔鱼中半数以上个体已处空胃状态, 群体摄食率为 50%, 平均摄食率不到 5%。平均摄食率为摄食停止后与停止时消化道内饵料数之比值。

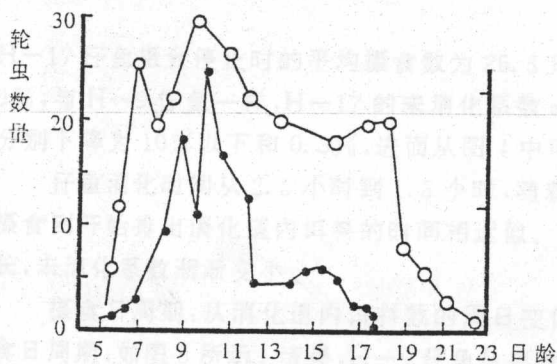


图2 全长 3.9mm 仔鱼消化道内轮虫数和育苗池光线照度的周日变化

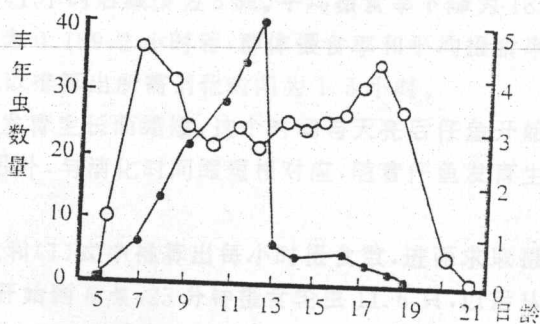


图3 全长 9.9mm 仔鱼消化道内丰年虫数和育苗池光线照度的周日变化

2. 结果

消化道内饵料数的周日变化: H-9 仔鱼消化道内轮虫数和育苗池光线照度的周日变化如图 2 所示, 天亮后, 照度迅速上升, 清晨 5 点钟, 照度在 5Lx 以内, 仔鱼呈浮游悬垂状随水流漂移, 照度上升到 150Lx 后, 仔鱼开始正位游泳, 出现摄食行为, 当照度上升到 250Lx 时, 仔鱼摄食已很活跃。6 点 30 分, 照度超过 1000Lx, 9 点以后达到最高为 12000Lx。中午, 由于光线太强, 超过育苗适宜照度, 故用遮光帘把其调节在 3000Lx 左右。日落后, 照度急剧下降, 18 点, 照度低于 150Lx, 仔鱼停止摄食, 照度低于 50Lx 以下, 仔鱼以正位游泳变为浮游状态, 密集分布群渐渐分散消失。

天亮前, 仔鱼完全不摄食; 天亮后, 随着照度上升, 消化道内轮虫数量急剧增加。6 点消化道内平均轮虫数为 11.6 只, 7 点为 23.7 只, 9 点达到最高, 平均为 28 只, 11 点以后为 20 只左右, 相当于最高数量的约 70%。日落后, 18 点停止摄食, 消化道内轮虫数量急剧减少, 22 点几乎完全消失。

观察被仔鱼摄食的轮虫, 7 点到达直肠, 8 点左右只看到消化过的轮虫外壳。因此, 从空胃到开始摄食, 进一步到开始排出的时间估算约需 2.5 小时。

H-17 仔鱼消化道内丰年虫数和育苗池光线照度的周日变化如图 3 所示, 清晨 5 点 20 分, 照度为 6Lx, 仔鱼呈浮游悬垂状态, 而当照度上升到 40Lx 时开始正位游泳, 超过 50Lx 开始摄食, 超过 60Lx 摄食就变得很活跃了。12 点照度上升到 800Lx, 但因为为阴天, 所以照度又下降, 下午约为 500Lx 左右。

天亮前, 仔鱼空胃。天亮后随着照度上升, 消化道内丰年虫数急剧增加, 6 点平均为 11.3 只, 7 点平均为 36.3 只, 达到最大饵料数。以开始摄食到达到最大数的时间约为 1 小时。另外, 7 点, 直肠部可见消化过的丰年虫, 7 点 30 分开始排出, 因此, H-17 仔鱼从空胃到开始摄食, 再到排出消化道内饵料的时间, 估计约需 1.5 小时。

消化道内丰年虫数量, 9 点以后略有减少, 一直到 15 点, 丰年虫约减少为 20~25 只。16 点以后消化道内丰年虫再次增加, 18 点左右平均为 34 只, 而 16 点以后仔鱼摄食又明显活跃起来, 消化道内充满未消化的丰年虫。

18 点 45 分光线照度下降为 35LX, 仔鱼此时仍呈正位但不进行摄食, 开始随水流缓缓漂移, 以后消化道内丰年虫急剧减少, 21 点几乎全消失。仔鱼表现出摄食行为的光线照度, 天亮时为 50LX, 日落时为 35LX, 二者之间差距不大。

比较 H-9 与 H-17 仔鱼消化道内饵料, 其从天亮开始摄食, 到达到最大数, 尔后又逐渐变少的周日变化趋势是一致的。但是, H-17 仔鱼有个明显的特点, 即在日落前后, 消化道内饵料数会再次增加。

消化时间和未消化系数的估算: 傍晚、仔鱼停止摄食行为后的群体摄食率和平均摄食率的经时变化如图 4 所示。

H-9 和 H-17 仔鱼, 摄食停止后的群体摄食率呈直线下降, 而平均摄食率呈指数函数下降。

H-9 仔鱼摄食停止时的平均摄食数为 20.5 只, 1 小时后却仅在直肠看到消化过的 6 只轮虫, 减少为摄食停止时的 29.3%。摄食停止 1 小时后的平均摄食率可以认为是图 1 中的未

消化系数 a , 从而得出: H-9 仔鱼的 a 为 0.293。3 小时后, 群体摄食率和平均摄食率分别下降为 33.3%、3.4%。因此, 从图 4 中可以推算出所需消化时间约为 2.5 小时。

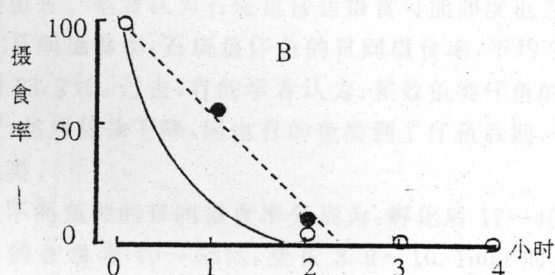
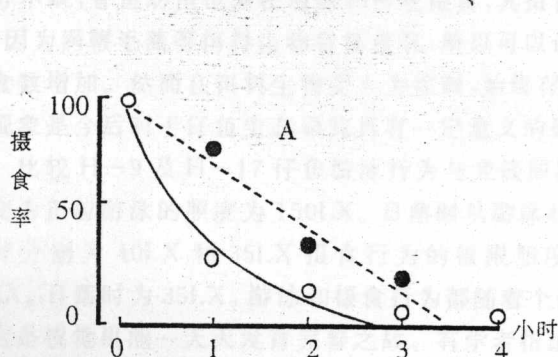


图4 全长 3.9mm(A)和 9.9mm(B)仔鱼停止摄食行为后的群体摄食率和平均摄食率的经时变化

●——群体摄食率
○——平均摄食率

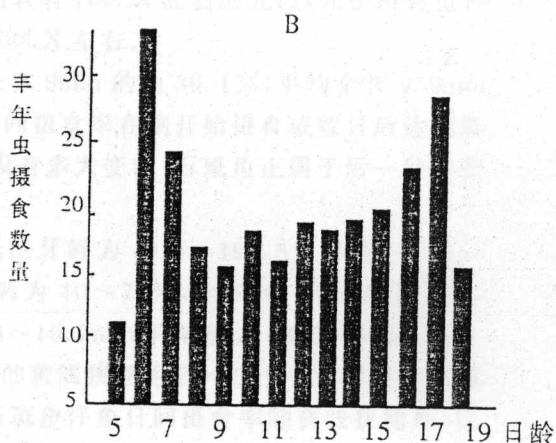
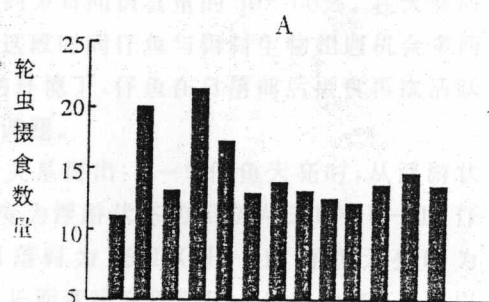


图5 全长 3.9mm(A)和 9.9mm(B)仔鱼每小时饵料摄食数量的日周期变化

H-17 仔鱼摄食停止时的平均摄食数为 26.5 只, 1 小时后减少为 5 只。平均摄食率下降为 18.9%, 与 H-9 仔鱼一样, H-17 的未消化系数 a 为 0.189, 2 小时后, 群体摄食率和平均摄食率分别下降为 10% 以下和 0.3%, 进而从图 4 中可以推算出所需消化时间为 1.5 小时。

仔鱼消化时间从 2.5 小时到 1.5 小时, 随着发育生长而缩短。这个时间与天亮后仔鱼开始摄食到开始排出消化道内饵料的时间相近似。另外, 与消化时间缩短相对应, 随着仔鱼发育生长, 未消化系数渐渐变小。

摄食日周期: 从消化道内饵料数的周日变化和(1)式中推算出每小时摄食数, 进而求取摄食日周期, 如图 5 所示。清晨, H-9 仔鱼从摄食开始到 6 点, 25 分钟摄食轮虫 11.6 只, 以后从 6 点到 10 点左右, 每小时摄食 13~21 只。10 点以后每小时摄食 13 只左右。摄食数达到最大之前的摄食速度为 0.27 只/分, 以后为 0.2 只/分。从 5 点 35 分到 18 点, 一天中可能摄食的时

间为 12.4 小时,其中从摄食开始到上午 10 点的 4.4 小时内,约摄食 1 天摄食数的 40% 以上。

H-17 仔鱼从摄食开始到 6 点,10 分钟摄食丰年虫 11.3 只,6 点到 8 点每小时摄食 24~34 只,8 点到 16 点每小时摄食 18 只左右。16 点以后再次增加,每小时摄食 25 只左右,8 点,摄食数达到最大,在此之前,摄食速度为 0.57 只/分,其后为 0.3 只/分。16 点以后为 0.42 只/分,一天中可能摄食的时间约为 13 小时,其中在天亮和日落前后的 5 个小时内约摄食一天摄食数的 50% 以上。

H-9 和 H-17 仔鱼一样,消化道内饵料数达到最大之前的摄食速度早上要比中午快 1.35~1.9 倍。这可以认为:仔鱼空胃进行主动,积极摄食,而且其速度随着个体长大而加快。另外,仔鱼摄食数 H-9 多在天亮空胃时大量摄食,摄食数增加,而在日落前后没有出现摄食数再次增加的现象,H-17 仔鱼即除天亮空胃时摄食数多外,在日落前后会出现摄食数再次增加的现象。

日间摄食量:从(2)式中求取日间摄食数,再乘以饵料生物的湿体重即为日间摄食量。H-9 仔鱼日间摄食轮虫数平均为 192.9 只,日间摄食量即为 289.1 μ g,平均全长为 3.9mm 的仔鱼湿体重为 960 μ g,日间摄食量与体重之比,即日间摄食率为 30.1%。H-17 仔鱼日间摄食丰年虫数平均 292.9 只,日间摄食量即为 4.1mg,平均全长为 9.9mm 仔鱼湿体重为 14.5mg,日间摄食率即为 28.8%。显而易见,平均全长为 3.9mm 和 9.9mm 的仔鱼,其日间摄食率没有很大差异。

3. 讨论

摄食的日周期性:实验中可以看出:赤点石斑鱼中午的摄食量未必能维持得了白天的饱食量。平均全长 3.9mm 仔鱼摄食高峰只有一次,在天亮后仔鱼空胃时出现,而平均全长 9.9mm 仔鱼摄食高峰出现二次,分别在天亮后及日落前后,从而可以肯定,随着仔鱼发育生长,摄食日周期发生变化。

过去已经知道,天然海域仔稚鱼移动行为具有周日垂直移动的日周期性,那是由于仔鱼后期,随着个体发育生长,视觉机能得以发育完善而出现的现象,且当鱼鳔形成后,周日垂直移动更加明显。对于育苗池内仔鱼行为,曾有学者研究了牙鲆和真鲷的日周期性后指出:仔鱼日周期行为为节律,从刚孵化出的仔鱼阶段开始出现,且每种鱼具有各自不同的相位。但是,以上这些报道主要是研究仔鱼昼夜移动行为变化的,而探讨中午摄食活动和摄食量变化的研究还很少。

仔鱼消化道内饵料数,天亮后一旦摄食达到饱食数后,其白天摄食就变为小于饱食数这一现象,不仅是赤点石斑鱼,其它在香鱼、真鲷、牙鲆等仔鱼中也可看到。因为白天消化道内的饵料数相当于饱食数的 60~70%,且可以找到各种消化阶段的饵料个体,所以估计仔鱼不是边摄食边排出,而是摄食一定程度后再一下子排出,接着再进行摄食,这样间断性地进行。

平均全长 3.9mm 仔鱼的摄食高峰只有一次,生长到 9.9mm 时,在日落前后游泳活动和摄食行为又会变得活跃,摄食数再次增加。这可以认为是因为这个大小的赤点石斑鱼从仔鱼期变态为稚鱼期,仔鱼消化肠道前部从筒状发育成袋状,变为贮藏型,所以日落前后仔鱼摄食活跃,积极摄食到饱食数,出现所谓多吃现象。

一般地说,多数动物的摄食高峰出现在清晨和傍晚,摄食活动和体内的某种酶活性周日变化节律相同。1 龄真鲷、竹夹鱼、鲷鱼仔稚鱼等在天然海域有日出和日落前后摄食活跃,中午

食欲稍低的现象。这认为是因为海区饵料生物周日垂直移动之故。可是,在育苗池里饵料始终充分不缺,香鱼幼鱼也多在清晨和傍晚摄食,其摄食量约为日间摄食量的50~60%。在天然海域,因为涡鞭毛藻等饵料生物昼浮夜沉,所以可以认为这段时间仔鱼与饵料生物相遇机会多而摄食数增加。然而在饵料生物受人为控制,始终存在的环境下,仔鱼在日落前后摄食再次活跃的现象是今后对于仔鱼生态研究具有一定意义的研究课题。

比较H-9及H-17仔鱼游泳行为与光线照度的关系得出:H-9仔鱼天亮时,从浮游状态变为正位游泳的照度为150LX。日落时从游泳状态变为浮游状态的照度为50LX,H-17仔鱼即分别为40LX和35LX摄食行为的极限照度,日落时为150LX;H-17仔鱼天亮时为50LX。日落时为35LX。游泳和摄食行为都随着个体生长而变得在低照度上反应出来。这可以认为是视觉机能一天天发育完善之故。有学者指出:某种鲷鱼类仔鱼停止摄食行为的光照,在变态前为1~10LX,变态后为0.01LX。也有学者指出:若有100LX左右的光线,几乎所有鱼种都会摄食。笔者认为石斑鱼仔鱼摄食可能照度也为100LX左右。

日间摄食率:石斑鱼仔鱼的日间摄食率,平均全长3.9mm的为30.1%,平均全长9.9mm的为28.2%。过去,有的学者认为:多数鱼类仔鱼的日间摄食率在刚开始摄食或数日后达到最大值,然后徐徐下降,但也有的鱼类到了仔鱼后期,也没有多大变化,石斑鱼正属于后一种类型的鱼类。

不同鱼种的日间摄食率分别为:孵化后17~45天的牙鲆为40.4~192.5%,体重0.25~2mg的香鱼为40~65%,全长3.9~10.1mm的真鲷为40~70%,全长4.8mm的黑鲷为87%,而全长4.9~11.4mm的为79~167%,全长5.4~10.7mm的鲈鱼为43.5~60%,全长3.9~6.9mm的条石鲷为48~116%,孵化后7~21日的黄线狭鳕为24~58%。日间摄食率随着仔鱼生长而变化,超过100%的鱼类也很多。但是石斑鱼仔鱼日间摄食率除黄线狭鳕外,比其它鱼类都低。

一般地说,在鱼类适温范围内,饲养水温越高,摄食越旺,生长越快,石斑鱼也不例外。有的学者提出:栖息适宜水温高的鱼类生长快是因为摄食量增加之故。但是,饲养适宜水温为25℃左右的石斑鱼的日间摄食率却比适宜水温为15~20℃的鲷类及牙鲆还低。另一方面,石斑鱼仔鱼日间生长为0.41~0.52mm,又比真鲷的0.25mm/日,牙鲆的0.35mm/日都大。所以,今后还有必要从摄食生态、消化吸收能力,饵料转换效率及能量收支等方面着手,对石斑鱼仔鱼较低的摄食率产生较快的生长机制进行综合研究。

俞存根 余方平 译自《日本水产学会志》1996, NO. 3

