

## 美洲西鲱仔鱼不可逆点及仔、稚鱼摄食特性研究

高小强<sup>1,2,3</sup>, 洪磊<sup>2,3</sup>, 刘志峰<sup>1,2,3</sup>, 郭正龙<sup>4</sup>, 王耀辉<sup>4</sup>, 雷霖霖<sup>2,3\*</sup>

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 中国水产科学院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071;

3. 中国水产科学院黄海水产研究所, 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室, 山东 青岛 266071;

4. 江苏中洋集团, 江苏 南通 226600)

**摘要:** 在水温 ( $20.5 \pm 1.0$ ) $^{\circ}\text{C}$  的条件下, 采用实验生态学的方法, 对美洲西鲱 (*Alosa sapidissima*) 仔鱼在饥饿状态下的生长、形态、不可逆点 (PNR) 及仔、稚鱼期的摄食节律进行了研究, 旨在阐明美洲西鲱早期发育过程中的摄食规律和特点。实验结果表明, 美洲西鲱初孵仔鱼全长 ( $7.45 \pm 0.15$ ) mm, 体质量为 ( $2.15 \pm 0.03$ ) mg, 卵黄囊体积为 ( $5.99 \pm 0.13$ ) mm<sup>3</sup>, 第 5 日龄, 仔鱼卵黄囊被完全吸收。对照组仔鱼全长及体质量随着卵黄囊的消耗、外源性营养的建立逐渐增加; 饥饿组仔鱼自 6 日龄开始, 全长及体质量开始呈现负增长, 至 10 日龄全部死亡。美洲西鲱初孵仔鱼初次摄食时间在 3 日龄, 摄食率为 46.67%, 5 日龄摄食率达到最大为 89.29%, PNR 发生在 7~8 日龄, 综上所述, 美洲西鲱仔鱼最佳投喂时间应在 2~3 日龄。美洲西鲱仔、稚鱼摄食节律研究表明, 美洲西鲱早期仔鱼 (4 日龄) 昼夜摄食高峰出现在 14:00, 平均摄食量达到 0.14 mg; 晚期仔鱼 (17 日龄) 在 10:00 和 14:00 出现较高的摄食量, 分别为 0.92 和 1.36 mg; 28 日龄稚鱼在 10:00、14:00 和 18:00 3 个时间段维持着较高的摄食量, 摄食量分别为 1.77、2.45 和 1.55 mg, 属于典型的白天摄食类型, 且随着仔稚鱼的生长发育, 摄食高峰期逐渐延长。美洲西鲱仔、稚鱼各阶段的日摄食率分别为 20.08% (4 日龄)、29.48% (17 日龄) 和 12.41% (28 日龄), 可将其作为美洲西鲱日投喂量的参考标准。

**关键词:** 美洲西鲱; 仔鱼; 稚鱼; 饥饿; 不可逆点; 摄食节律

**中图分类号:** S 961

**文献标志码:** A

美洲西鲱 (*Alosa sapidissima*) 俗称美洲鲱, 隶属鲱形目 (Clupeiformes), 鲱科 (Clupeidae), 西鲱属 (*Alosa*), 是鲱形目中种群数量较大的大型鱼类之一, 广泛分布在大西洋和太平洋海岸<sup>[1-3]</sup>。美洲西鲱最大体长可达 75 cm, 体质量可达 3 kg, 为典型的溯河产卵鱼类, 主要滤食浮游生物, 偶尔摄食小型鱼、虾类<sup>[4]</sup>, 其肉质细腻、鲜嫩, 味道极为鲜美, 具有很高的经济价值, 与我国濒临灭绝的鲱 (*Tenualosa reevesii*) 同属鲱科 (Clupeidae), 外形相似, 口味、营养价值相差不大, 自 21 世纪引入我国, 近年来随着美洲西鲱繁育及养殖技术的成熟, 美洲西鲱已逐步作为我国鲱替代品<sup>[5-6]</sup>, 成为市

场上备受欢迎的名贵淡水鱼类之一。目前, 国内外有关美洲西鲱的受精卵孵化<sup>[7-8]</sup>、胚胎发育<sup>[9]</sup>、苗种培育<sup>[5]</sup>、听觉形态学<sup>[10]</sup>、早期形态发育<sup>[6,11]</sup>、耐盐性<sup>[12-13]</sup>以及寄生虫<sup>[14]</sup>等方面已有详细的研究和报道, 而有关美洲西鲱早期发育阶段摄食特性的研究尚无报道。本实验通过对美洲西鲱早期发育阶段开口摄食时间、饥饿不可逆点 (PNR) 及摄食节律等方面的研究, 旨在阐明美洲西鲱早期发育过程中的摄食规律和特点, 从而进一步丰富和完善美洲西鲱早期发育阶段的生物学基础数据和资料, 为美洲西鲱苗种的大规模繁育提供理论依据。

收稿日期:2014-11-21 修回日期:2014-12-14

资助项目:国家级星火计划重大项目长江洄游珍稀鱼类产业化关键技术集成(2012GA690001)

通信作者:雷霖霖, E-mail:leijl@ysfri.ac.com

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

本实验在江苏中洋集团繁育中心进行。实验亲鱼为 3~4 龄成鱼,取同批次自然受精卵,置于流水孵化缸中进行孵化,孵化温度控制在 20.5~21.5℃。随机选取初孵仔鱼 4 000 尾,平均分为 2 组,置于相同规格的玻璃水族箱(120 cm × 45 cm × 58 cm)中。1 组进行饥饿实验,直至仔鱼 100% 死亡;另外 1 组设为对照组,实验期间正常投喂淡水轮虫[优势种萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)]。其余初孵仔鱼转移到 5 m<sup>3</sup> 室内水泥池中正常饲养,用于摄食节律研究,期间依次投喂轮虫、桡足类和枝角类,仔稚鱼期间培育水温为(20.5 ± 1.0)℃,不间断微充气,每日换等温淡水 1/3 量,培育用水为过滤地下水。

### 1.2 实验方法

**初次摄食率** 美洲西鲱初次摄食率的测定采用跟踪仔鱼摄食进程的方法进行。每天上午 10:00,从饥饿组中随机选取仔鱼 15 尾,置于 1 L 的大烧杯中,设 3 个平行组。投喂轮虫(大约 15 个/mL),自然光照下 3 h 后取出仔鱼,经 MS222 麻醉,在光学显微镜(NIKON YS100,日本)和解剖镜(CAIKON XTL-2400,中国)下逐尾解剖观察仔鱼摄食情况,记录摄食轮虫数量,得出仔鱼初次摄食率,同时测量仔鱼全长、体质量、卵黄囊长径和短径。同样,从对照组中随机选取仔鱼 15 尾,3 个平行组,测量上述形态指标。卵黄囊体积(mm<sup>3</sup>) = 4π/3 × (r/2)<sup>2</sup> × R/2,式中 r 为卵黄囊短径,R 为卵黄囊长径。仔鱼初次摄食率(%) = 摄食轮虫仔鱼的个体数量/每次观察摄食情况的仔鱼个体数量 × 100。

**不可逆点(the point of no return, PNR)的确定** PNR 为初次摄食期仔鱼耐受饥饿的时间临界点,仔鱼饥饿至该点时尽管不会立即死亡,但大多数个体已经虚弱得不能再恢复摄食能力,不久即死亡。PNR 的测定采用 Blaxter 等<sup>[15]</sup>的方法,即通过测定饥饿组仔鱼的初次摄食率,得到摄食率中的最高值,当摄食率降为最高摄食率的 50% 时即达到 PNR。本实验中 PNR 用美洲西鲱仔鱼孵化后的天数表示,仔鱼初次摄食率降到最高摄食率一半时的天数,即为仔鱼的 PNR。

**摄食节律** 仔、稚鱼阶段的划分根据洪孝友<sup>[6]</sup>的方法:将仔鱼期分为早期仔鱼和晚期仔鱼,

即从初孵仔鱼到卵黄囊完全消失为早期仔鱼;从卵黄耗尽开始到各鳍鳍条发育完整、鳞片开始形成这一阶段为晚期仔鱼;稚鱼期为从鳞片开始出现到全身披满鳞片为止。根据本实验观察到的美洲西鲱发育时序,分别取 4 日龄早期仔鱼、17 日龄晚期仔鱼和 28 日龄稚鱼,每 4 h 取样一次,自上午 6:00 到翌日上午 6:00,共设 7 个时间组:6:00、10:00、14:00、18:00、22:00、次日 2:00 和次日 6:00,每次随机取样 15 尾,三个平行组,用 MS222 麻醉,测量全长和体质量。采用目测法测定美洲西鲱仔、稚鱼消化道饱满程度:0-4 级法,其中 3 级和 4 级表示为摄食饱满<sup>[16]</sup>,在光学显微镜和解剖镜下分离仔鱼和稚鱼的消化道,对摄食的生物饵料进行分类和统计,食物团重量按照各个生物种类的平均个体大小折算而得,即轮虫、桡足类和枝角类个体的平均湿重分别折算为 2.5、24 和 85 μg<sup>[17-19]</sup>。

**参数计算** 本实验采用陈慧等<sup>[20]</sup>的方法评估美洲西鲱仔、稚鱼摄食特性,具体评估参数如下:

**饱食量:**消化道饱满度为 3 级和 4 级时的摄食量。

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

**日摄食率(%):**日摄食量与体质量的百分比。

**饱食时长(min):**空胃个体到摄食饱满(消化道饱满度为 3 级和 4 级)所需要的时间。

**消化时长(min):**饱食个体在无饵料水中至消化道排空所需要的时间。

### 1.3 数据分析

用 SPSS 18.0 计算数据平均值和标准差,应用 EXCEL 作图。形态统计值用平均值 ± 标准差(mean ± SD)表示。

## 2 结果

### 2.1 对照组和饥饿组仔鱼的生长及变化

美洲西鲱对照组仔鱼全长和卵黄囊大小的变化结果显示,美洲西鲱初孵仔鱼卵黄囊体积为(5.99 ± 0.13) mm<sup>3</sup>,2 日龄,卵黄被迅速吸收,卵黄囊体积变为到原来的 40.53%,3 日龄,仔鱼开口,开始投喂轮虫,仔鱼进入混合营养期阶段;随着日龄的增加,仔鱼卵黄逐渐被吸收,第 5 日龄卵黄囊消失,仔鱼进入外源性营养阶段(表 1)。

表 1 美洲西鲱对照组仔鱼全长和卵黄囊的变化  
Tab. 1 Change of total length and size of yolk sac of *A. sapidissima* larvae in the control group

日龄/d days of age	全长/mm total length	卵黄囊长径/mm length of yolk sac	卵黄囊短径/mm short of yolk sac	卵黄囊体积/mm <sup>3</sup> volume of yolk sac
初孵仔鱼 hatching larvae	7.45 ± 0.15	2.39 ± 0.05	2.18 ± 0.09	5.989 1 ± 0.132 7
第 1 d 仔鱼 1-day-old larvae	7.91 ± 0.23	2.24 ± 0.06	2.13 ± 0.04	5.338 5 ± 0.082 2
第 2 d 仔鱼 2-day-old larvae	8.89 ± 0.19	1.99 ± 0.05	1.53 ± 0.02	2.427 2 ± 0.113 2
第 3 d 仔鱼 3-day-old larvae	9.20 ± 0.15	1.65 ± 0.05	1.19 ± 0.02	1.231 7 ± 0.052 6
第 4 d 仔鱼 4-day-old larvae	9.30 ± 0.13	1.30 ± 0.03	0.81 ± 0.04	0.442 0 ± 0.081 1
第 5 d 仔鱼 5-day-old larvae	9.52 ± 0.29	—	—	—
第 6 d 仔鱼 6-day-old larvae	9.77 ± 0.16	—	—	—
第 7 d 仔鱼 7-day-old larvae	10.25 ± 0.19	—	—	—
第 8 d 仔鱼 8-day-old larvae	10.42 ± 0.12	—	—	—
第 9 d 仔鱼 9-day-old larvae	10.81 ± 0.15	—	—	—
第 10 d 仔鱼 10-day-old larvae	11.38 ± 0.24	—	—	—

注：“—”表示卵黄囊消失，不作测量

Notes: “—”denoted the yolk sac was absorbed completely and was not measured

美洲西鲱初孵仔鱼全长为(7.45 ± 0.15) mm, 2 日龄前, 全长迅速增加, 日增长率为 6.44%, 在混合营养期(3 ~ 5 日龄), 全长增长趋缓, 日增长率为 1.16%, 6 日龄至 10 日龄, 仔鱼进入外源性营养期, 全长增长较快, 日增长率达到 3.30%; 饥饿组在 5 日龄, 仔鱼全长达到(9.36 ± 0.17) mm, 自 6 日龄起, 仔鱼全长出现负增长现象, 到 10 日龄全长为(9.05 ± 0.28) mm(图 1)。

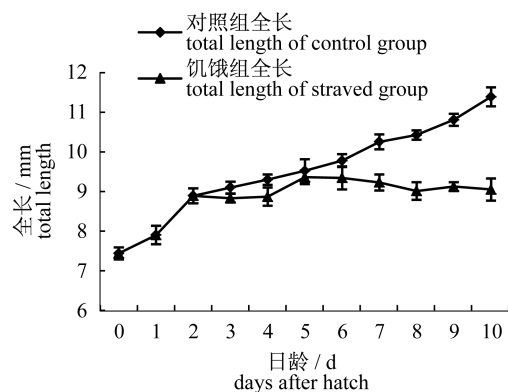


图 1 美洲西鲱仔鱼对照组和饥饿组全长比较  
Fig. 1 The comparison of total length between control and starved groups of *A. sapidissima* larvae with daily age

美洲西鲱初孵仔鱼体质量为(2.15 ± 0.03) mg, 2 日龄前, 仔鱼体质量增加较快, 日增重率为 3.68%, 在混合营养期, 体质量增加缓慢, 日增长率为 0.57%, 6 日龄至 10 日龄, 仔鱼体质量迅速增加, 日增重率达到 7.18%; 饥饿组仔鱼在 5 日龄前, 体质量随着日龄的增加而增加, 且在 5 日龄体质量

达到最大值, 为(2.50 ± 0.05) mg, 6 日龄开始, 仔鱼体质量明显降低, 出现了负增长, 到 10 日龄饥饿仔鱼全部死亡, 体质量为(1.98 ± 0.05) mg(图 2)。

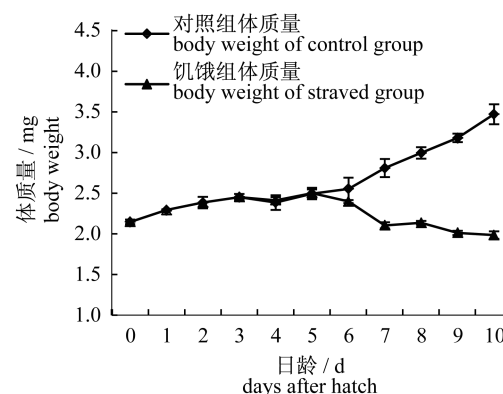


图 2 美洲西鲱仔鱼对照组和饥饿组体质量比较  
Fig. 2 The comparison of body weight between control and starved groups of *A. sapidissima* larvae with daily age

## 2.2 初次摄食率及不可逆点(PNR)

在培育水温为(20.5 ± 1.0) °C 的条件下, 美洲西鲱 3 日龄仔鱼开口, 此时肛门与外界相通, 肠道缓慢蠕动, 具有水平游泳的能力。3 日龄时, 初次摄食率为 46.67%。随着日龄的增加, 仔鱼的初次摄食率逐渐增加, 5 日龄仔鱼, 初次摄食率达到最大值, 为 89.29%。6 日龄, 仔鱼的初次摄食率开始下降, 到 8 日龄, 初次摄食率降为 43.33%, 9 日龄的初次摄食率为 15.23%。10 日龄, 鱼体消瘦, 失去了正常摄食的能力, 几乎全部死亡。综上可知, 美洲西鲱仔鱼具有初次摄食能力的时间约为 7 ~

8 d,延迟投喂超过 8 d,仔鱼在 10 日龄全部死亡。

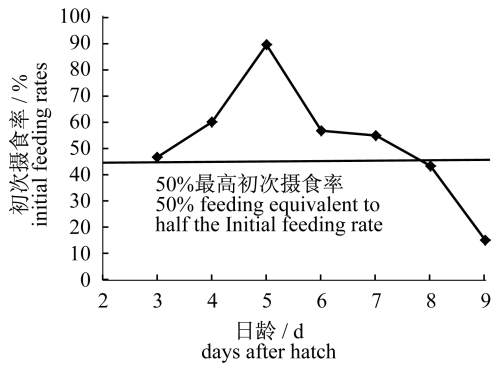


图 3 美洲西鲱饥饿仔鱼初次摄食率

Fig. 3 Initial feeding rate of *A. sapidissima* larva starvation

### 2.3 美洲西鲱仔、稚鱼的摄食节律

24 h 内,4 日龄仔鱼在 14:00 时出现摄食高峰,平均摄食量达到 0.14 mg(图 4);17 日龄仔鱼在 10:00 和 14:00 均维持相对较高的摄食量,摄食量分别为 0.92 和 1.36 mg(图 5);28 日龄稚鱼在 10:00、14:00 和 18:00 维持着较好的摄食状态,摄食量分别为 1.77、2.45 和 1.55 mg(图 6)。

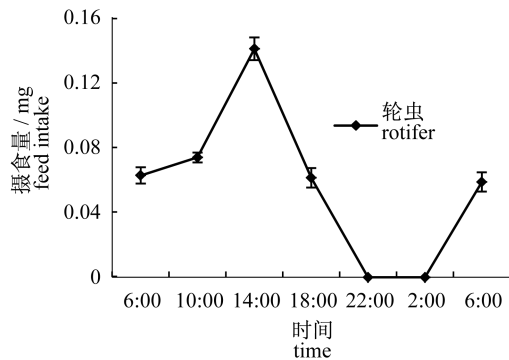


图 4 美洲西鲱 4 日龄仔鱼摄食节律

Fig. 4 The feeding rhythm of 4-day-old *A. sapidissima* larva

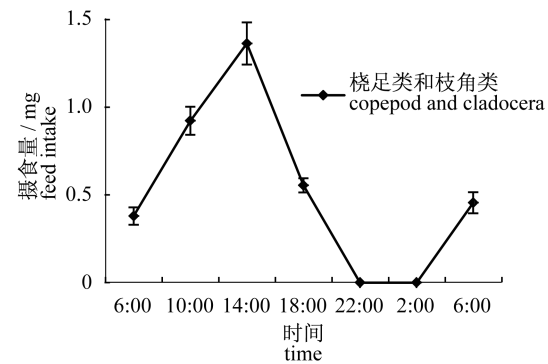


图 5 美洲西鲱 17 日龄仔鱼摄食节律

Fig. 5 The feeding rhythm of 17-day-old *A. sapidissima* larva

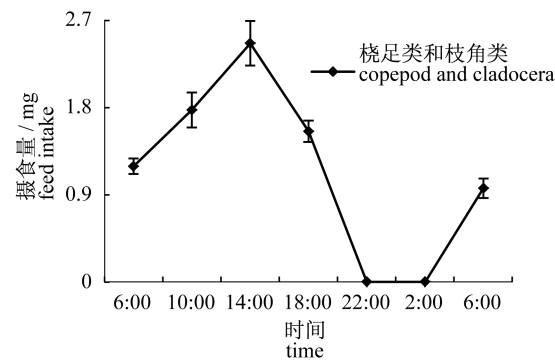


图 6 美洲西鲱 28 日龄稚鱼摄食节律

Fig. 6 The feeding rhythm of 28-day-old *A. sapidissima* juvenile

### 2.4 美洲西鲱仔、稚鱼饱食、消化时间及其日摄食情况

结果显示,4 日龄早期仔鱼大约需要 80 min 达到饱食,17 日龄晚期仔鱼约需 50 min 达到饱食,而 28 日龄稚鱼则需要 70 min 达到饱食。消化时间方面,仔、稚鱼的消化时间由 4 日龄的 70 min 增加到 17 日龄的 150 min 至 28 日龄的 180 min(表 2)。

表 2 美洲西鲱仔、稚鱼的饱食时间和消化时间

Tab. 2 The time for feeding from empty to fullness and time for digesting food from fullness to empty in gastrointestinal tract of *A. sapidissima* larvae and juveniles

日龄/d days after hatch	全长/mm total length	发育阶段 development stage	饵料 diet	水温/℃ water temperature	饱食时间 time of satiety		消化时间 time of digestion	
					S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>
4	9.30 ± 0.13	早期仔鱼	R	19.5	30 min	80 min	45 min	70 min
17	15.46 ± 1.35	晚期仔鱼	CC	20.1	15 min	50 min	55 min	150 min
28	22.80 ± 1.48	稚鱼期	CC	21.3	20 min	70 min	80 min	180 min

注:R. 轮虫;CC. 桡足类和枝角类;S<sub>0</sub>. 饱食个体出现;S<sub>1</sub>. 全部饱食;D<sub>0</sub>. 排空个体出现;D<sub>1</sub>. 全部排空

Notes: R. rotifer; CC. copepod and cladocera; S<sub>0</sub>. occurrence time of first fish satiety; S<sub>1</sub>. occurrence time of all fish satiety; D<sub>0</sub>. occurrence time of first fish gastrointestinal emptying; D<sub>1</sub>. occurrence time of all fish gastrointestinal emptying

本实验采用消化道内饵料计量法对仔、稚鱼的日摄食情况进行了观察。4日龄仔鱼日摄食量为0.50 mg,日摄食率为20.08%,17日龄仔鱼日

摄食量为4.03 mg,日摄食率为29.48%,28日龄稚鱼日摄食量为6.99 mg,日摄食率为12.41%(表3)。

表3 美洲西鲱仔、稚鱼日摄食情况  
Tab.3 Daily feeding situation of *A. sapidissima* larvae and juveniles

日龄/d days after hatch	体质量/mg body weight	发育阶段 development stage	饵料 diet	饱食量/mg feeding amount for satiety	日摄食时间/h daily feeding time	日摄食量/mg daily feed intake	日摄食率/% daily feeding rate
4	2.49 ± 0.09	早期仔鱼	R	0.09	14	0.50	20.08
17	13.67 ± 1.55	晚期仔鱼	CC	0.96	14	4.03	29.48
28	56.34 ± 6.32	稚鱼期	CC	2.08	14	6.99	12.41

注:R. 轮虫;CC. 桡足类和枝角类

Notes: R. rotifer; CC. copepod and cladocera

### 3 讨论

#### 3.1 饥饿对美洲仔鱼形态、生长的影响

鱼类早期发育过程中,食物是影响仔鱼存活和生长最重要的因子之一。在自然界中,由于季节的更替、环境的剧变或者食物在空间及时间分布的不均匀性,导致鱼类在一定周期内面临着食物资源缺乏而遭受饥饿胁迫的问题<sup>[21]</sup>。饥饿在不同程度上对早期仔鱼的存活、生长、形态、行为、代谢水平、免疫、组织结构及其消化生理等方面都有影响<sup>[22-23]</sup>。在实验中,饥饿组的美洲西鲱仔鱼随着饥饿时间的增加,在形态上鱼体细长消瘦,头大,头颈部弯曲,呈佝偻状,肠道细直、盘曲折叠不明显,肌肉萎缩;在行为上游动缓慢,对外界刺激不敏感,大多数漂浮在水层中部,有的头下尾上,垂直于水层中,身体失去平衡。

有研究表明,早期仔鱼若不能及时建立外源性营养关系,首先会利用贮存在组织中的物质,再利用重要器官和运动系统中的结构物质,来满足其基础代谢的耗能,当自身储备的能量不能满足需要时,仔鱼生长就会受到明显的限制,出现负增长现象,这表明在骨骼尚未发育完善的仔鱼对饥饿胁迫存在着一种适应性的生态对策,即延长耐饥饿时间和保持一定发育速率的替代效应<sup>[24-26]</sup>。在本研究中,美洲西鲱饥饿组仔鱼在3日龄前,未开口,充足的卵黄营养足够满足仔鱼的生长发育及其代谢耗能,自3日龄起,饥饿仔鱼并未获得外源性营养而只能靠消化自身的营养物质来维持正常的生命活动,而这时卵黄营养已大部分被消耗,仔鱼全长和体质量的增长缓慢;自6日龄至10日龄,由于卵黄囊消失,内源性营养已耗尽,体内储

存的能量不能满足其代谢耗能和正常的生长发育,仔鱼生长受到明显限制,仔鱼的全长和体质量出现负增长。这说明美洲西鲱仔鱼面对饥饿胁迫也存在着这种适应性生态替代对策,这可能是鱼类在面临饥饿胁迫条件下,为了提高存活能力,延续种群繁衍所保存下来的一种个体发育策略。类似的结果在菅玉霞等<sup>[27]</sup>、Ehrlich等<sup>[28]</sup>和Shan等<sup>[29]</sup>研究中也得到了证实。

#### 3.2 美洲西鲱仔鱼的不可逆点

初次摄食期仔鱼饥饿不可逆点(PNR)的研究,从生态学角度阐述了初次摄食仔鱼耐受饥饿的能力及其最终导致仔鱼死亡的饥饿程度<sup>[15]</sup>。美洲西鲱仔鱼3日龄开口摄食,初次摄食率为46.67%,最大摄食率出现在第5日龄,为89.29%,并持续了1d时间。与日本鳀(*Engraulis japonicus*)最高摄食率为67%持续1d<sup>[30]</sup>、条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)为83%持续1d<sup>[31]</sup>、鸭绿江水系唇鲮(*Hemibarbus labeo*)的为100%持续4d<sup>[32]</sup>相比,美洲西鲱仔鱼的摄食能力要强于鳀鱼和条石鲷,而低于唇鲮。PNR是衡量仔鱼忍受饥饿能力的常用指标,本实验中美洲西鲱在(20.5 ± 1.0)℃条件下,PNR为7~8日龄,较其他淡水鱼类如鸭绿江水系唇鲮(22 ± 2)℃培育下,PNR为12~13日龄<sup>[32]</sup>、马拉丽体鱼(*Cichlasoma managuense*)在(28 ± 1)℃培育下,PNR为9~10日龄<sup>[33]</sup>、丁鲷(*Tinca tinca*)21.5℃培育下,PNR为12日龄<sup>[34]</sup>和哲罗鱼(*Hucho taimen*)在10~12℃培育下,PNR为39~40日龄<sup>[35]</sup>的明显短,这说明了美洲西鲱仔鱼忍耐饥饿的能力较差,这可能与美洲西鲱仔鱼卵黄囊消耗较快,混合营养期较短有关;美洲西鲱仔鱼较差的

耐饥饿能力也许是目前国内养殖美洲西鲱成活率低的一个重要原因,因此,在人工大规模繁育过程中,应及时投喂适口、充足的生物饵料,保证仔鱼的营养需求,从而提高仔鱼的成活率。另外,本研究还发现美洲西鲱开口仔鱼具有较高的初次摄食率,达到 46.67%,明显高于日本鳀的 9.52%<sup>[30]</sup>、鲢 (*Miichthys miiuy*) 的 2.3%<sup>[36]</sup> 和哲罗鱼的 10%<sup>[35]</sup>,这说明了美洲西鲱仔鱼具有较强的初次摄食能力;美洲西鲱属于溯河产卵鱼类,产卵场环境可能较为复杂,而且仔鱼混合营养期较短,较高的初次摄食能力可以保证仔鱼能够及时建立外源性营养,提高成活率;其次,高小强等对美洲西鲱早期眼睛组织学的研究表明,3 日龄仔鱼视网膜分化完全,视觉细胞层具备视锥和视杆细胞,由此可知,眼睛的早期分化为仔鱼的摄食活动提供了必要的保障。美洲西鲱仔鱼较高初次摄食率特性的存在可能对提高其自然状态下种群的生存具有一定的生态意义。在美洲西鲱苗种培育期间,仔鱼在 3 日龄开口,初次摄食率为 46.67%,结合卵黄囊的吸收情况,可知美洲西鲱仔鱼最佳投喂时间应为 2~3 日龄,若拖延投喂,到达美洲西鲱 PNR 期,尽管仔鱼可存活一段时间,但已经虚弱得丧失了摄食能力,进入生态死亡阶段<sup>[37]</sup>。

### 3.3 美洲西鲱仔、稚鱼的摄食特性

Hemifan<sup>[38]</sup> 根据鱼类的日摄食变化,将鱼类的摄食分为白天摄食、晚上摄食、晨昏摄食以及无明显摄食节律 4 种类型。研究鱼类的摄食节律是了解其摄食行为的重要内容之一,体现了摄食量随时间变化的规律。不同种鱼类具有各自的摄食节律,即使是同一种类在不同的生活环境和发育阶段,其摄食节律也存在着一定的差异性。如鬼鲮 (*Inimicus japonicus*) 仔鱼阶段的摄食活动主要在白天,而营底栖生活的稚鱼和幼鱼摄食活动主要在夜间<sup>[20]</sup>,浅色黄姑鱼 (*Nibea coibor*) 则属于典型的白天摄食型<sup>[39]</sup>。在本实验中,美洲西鲱早期仔鱼(4 日龄)一昼夜中摄食高峰出现在 14:00,平均摄食量达到 0.14 mg;晚期仔鱼(17 日龄)在 10:00 和 14:00 具有较高的摄食量,分别为 0.92 和 1.36 mg;28 日龄稚鱼在 10:00、14:00 和 18:00 三个时间段维持着较高的摄食量,摄食量分别为 1.77、2.45 和 1.55 mg。结果表明美洲西鲱仔、稚鱼阶段的摄食活动主要是在白天进行,并且具有较高的摄食强度,夜间不摄食,属于典型的

白天摄食类型。以上结果同时表明美洲西鲱不同发育阶段一昼夜中摄食高峰也存在差别。梁旭方等<sup>[40]</sup> 研究表明,鱼类在白昼摄食的活动主要依靠视觉,夜间摄食则主要依靠化学感觉、特化夜视觉和侧线机械感觉。Kawamura 等<sup>[41]</sup> 研究表明,刚开口的仔鱼是纯视锥型的眼睛,故对弱光的反应性很差,在较低的光照下仔鱼不摄食。由此可推测,可能是美洲西鲱早期仔鱼视觉不发达,缺乏某些感光细胞,对弱光的反应较差,随着发育的进行,视觉系统相关组织、结构不断完善和发育,使得美洲西鲱具备了较强的感光能力,即使在较弱的光照环境下,也能进行捕食;此外随着一些化学感受器和侧线的发育,也能逐渐帮助其在弱光条件下摄食。本实验研究表明美洲西鲱早期仔鱼、晚期仔鱼和稚鱼阶段的日摄食量分别占鱼体质量的 20.08%、29.48% 和 12.41%,可将其作为美洲西鲱日投喂量的参考标准。综上所述,美洲西鲱苗种培育过程中,应根据其本身的摄食节律变化来调整投喂策略,在仔鱼后期及稚鱼期早晚均要保持足够的生物饵料密度,从而保证其正常的生长发育,以提高苗种培育的成活率。

### 参考文献:

- [1] Moyle P B. Inland fishes of California [M]. Berkeley: University of California Press, 1976:405.
- [2] Evermann B W, Jordan D S. The fishes of north and middle America: A descriptive catalogue of the species of fish-like vertebrates found in the waters of north America, north of the Isthmus of Panama (Volume 1) [M]. Washington: Government Printing Office, 1986:427-428.
- [3] Whitehead P J P. FAO species catalogue. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. Part 1-Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae [M]. Rome: United Nations Development Programme, 1985:1-303.
- [4] Piper T D. Fecundity of American shad, *Alosa sapidissima*, in the Delaware and Hudson River, USA [D]. Washington: University of Maryland, 2003: 1-107.
- [5] Wu W H, Wang B, Shi W, et al. Study on culture technology of American shad (*Alosa sapidissima*) on a large scale. I. Uveniles culturing [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2004, 17(2):61-64. [吴文化,

- 王斌,师伟,等. 美洲鲟鱼苗种规模化养殖技术研究 I. 稚鱼培育. 水产学杂志, 2004, 17(2): 61-64. ]
- [ 6 ] Hong X Y. Study on the morphogenesis and histology of the early American shad *Alosa sapidissima* [ D ]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011: 1-49. [ 洪孝友. 美洲鲟早期发育的形态学及组织学观察. 上海: 上海海洋大学, 2011: 1-49. ]
- [ 7 ] Du H. Studies on key techniques in incubation, culture and transportation of American shad *Alosa sapidissima* [ D ]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005. [ 杜浩. 美洲鲟(*Alosa sapidissima*)人工孵化、养殖及转运关键技术的研究. 武汉: 华中农业大学, 2005. ]
- [ 8 ] Barton C, Marcy J R. Spawning of the American shad, *Alosa sapidissima*, in the lower Connecticut River [ J ]. Chesapeake Science, 1972, 13(2): 116-119.
- [ 9 ] Xu G C, Zhang C X, Zheng J L, et al. Artificial propagation and embryonic development of American shad, *Alosa sapidissima* [ J ]. Marine Sciences, 2012, 36(7): 89-96. [ 徐钢春, 张呈祥, 郑金良, 等. 美洲鲟的人工繁殖及胚胎发育的研究. 海洋科学, 2012, 36(7): 89-96. ]
- [ 10 ] Higgs D M, Plachta D T T, Rollo A K, et al. Development of ultrasound detection in American shad (*Alosa sapidissima*) [ J ]. Indian Journal of Experimental Biology, 2004, 207(1): 155-163.
- [ 11 ] Zhang C X, Xu G C, Xu P, et al. Morphological development and growth of American shad (*Alosa sapidissima*) at larvae, fry and juvenile stages [ J ]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(16): 1227-1234. [ 张呈祥, 徐钢春, 徐跑, 等. 美洲鲟仔、稚、幼鱼的形态发育与生长特征. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1227-1233. ]
- [ 12 ] Zydlewski J D, McCormick S D. The ontogeny of salinity tolerance in the American shad, *Alosa sapidissima* [ J ]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1997, 54(1): 182-189.
- [ 13 ] Peng J S, Bai C, Tao H Q, et al. An experiment on cultivation of *Alosa sapidissima* fries with fresh water and sea water [ J ]. Journal of Guangdong Ocean University, 2012, 32(1): 97-100. [ 彭景书, 白成, 陶后全, 等. 美洲鲟仔稚鱼淡、海水培育试验. 广东海洋大学学报, 2012, 32(1): 97-100. ]
- [ 14 ] Zool C. Parasites of American shad, *Alosa sapidissima* (Osteichthyes: Clupeidae), from rivers of the north American Atlantic coast and the Bay of Fundy, Canada [ J ]. Canadian Journal of Zoology, 1993, 71(5): 941-946.
- [ 15 ] Blaxter J H S, Hempel G. The influence of eggs size on herring larvae (*Clupea harengus* L.) [ J ]. Journal du Conseil, 1963, 28(2): 211-240.
- [ 16 ] Su J X. Ichthyology and marine fish culture [ M ]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 292-302. [ 苏锦祥. 鱼类学与海水鱼类养殖. 北京: 中国农业出版社, 2000: 292-302. ]
- [ 17 ] Cai W Q, Li S F. The feeding and development of juveniles [ M ]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1979: 79-83. [ 蔡完其, 李思发. 稚鱼的摄饵和发育 [ M ]. 上海: 上海科技出版社, 1979: 79-83. ]
- [ 18 ] Huang F X. The quantitative method of freshwater zooplankton [ J ]. Reservoir Fisheries, 1982(4): 52-59. [ 黄祥飞. 淡水浮游动物的定量方法. 水库渔业, 1982(4): 52-59. ]
- [ 19 ] Zhang W. Hydrobiology [ M ]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 510-516. [ 赵文. 水生生物学 [ M ]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 510-516. ]
- [ 20 ] Chen H, Xie Y Y, Lin G W, et al. Feeding rhythm and tolerance of starvation during early development stage of devil stinger, *Inimicus japonicus* [ J ]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(3): 340-347. [ 陈慧, 谢友侄, 林国文, 等. 鬼鲇早期发育阶段的摄食节律与饥饿致死时间. 中国水产科学, 2009, 16(3): 340-347. ]
- [ 21 ] Xie X J, Deng L, Zhang B. Advances and studies on ecophysiological effects of starvation on fish [ J ]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1998, 22(2): 181-188. [ 谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展. 水生生物学报, 1998, 22(2): 181-188. ]
- [ 22 ] Kui L L. Studies on effects of starvation on fish [ J ]. Feed Industry, 2009, 30(20): 56-57. [ 隗黎丽. 饥饿对鱼类影响的研究. 饲料工业, 2009, 30(20): 56-57. ]
- [ 23 ] Zheng Z L, Huang C F, Peng Y H. The effect of starvation on fish growth [ J ]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 2001(4): 14-17. [ 郑宗林, 黄朝芳, 彭银宏. 饥饿对鱼类生长的影响. 江西水产科技, 2001(4): 14-17. ]
- [ 24 ] Cao Z D, Xie X J. Effects of temperature on the time of half-mortality, body weight and length in the southern catfish, *Silurus meridionalis*, at Starvation [ J ]. Journal of Southwest China Normal University:

- Natural Science,2002,27(5):746-750. [曹振东,谢小军. 温度对南方鲈饥饿仔鱼的半致死时间及其体质量和体长变化的影响. 西南师范大学学报:自然科学版,2002,27(5):746-750.]
- [25] Yin M C. Feeding ability and growth of the yolk-sac larvae of north sea herring [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1991, 22(6):554-559. [殷名称. 北海鲱卵黄囊期仔鱼的摄食能力和生长. 海洋与湖沼,1991,22(6):554-559.]
- [26] Zamal H, Ollevier F. Effect of feeding and lack of food on growth, gross biochemical and fat acid composition of juvenile catfish[J]. Journal of Fish Biology,1995,46(3):404-414.
- [27] Jian Y X, Fang H, Zhang S C, et al. Starvation and no return point study of *Hexagrammos otakii* Jordan et Starks larvae[J]. Marine Sciences,2014,38(3):111-115. [菅玉霞,房慧,张少春,等. 大泷六线鱼仔鱼饥饿试验及不可逆点的研究. 海洋科学,2014,38(3):111-115.]
- [28] Ehrlich K F, Blaxter J H S, Pemberton R. Morphological and histological changes during the growth and starvation of herring and plaice larvae [J]. Marine Biology,1976,35(2):105-118.
- [29] Shan X J, Huang W, Gao L, et al. Advances in studies of the effects of starvation on growth and development of fish larvae [J]. Journal of Ocean University of China: English Edition, 2008, 7(3):319-326.
- [30] Wan R J, Li X S, Zhuang Z M, et al. Experimental starvation on *Engraulis japonicus* larvae and definition of the point of no return [J]. Journal of Fisheries of China,2004,28(1):79-83. [万瑞景,李显森,庄志猛,等. 鲱鱼仔鱼饥饿试验及不可逆点的确定. 水产学报,2004,28(1):79-83.]
- [31] Peng Z L, Liu M H, Luo H Z, et al. Starvation and point of no return in striped knife jaw *Oplegnathus fasciatus* larvae[J]. Fisheries Science,2010,29(3):152-155. [彭志兰,柳敏海,罗海忠,等. 条石鲷仔鱼饥饿试验及不可逆点的确定. 水产科学,2010,29(3):152-155.]
- [32] Luo X N, Li J, Liu G, et al. Embryonic development, experimental starvation, and the point of no return of *Hemibarbus labeo* (Pallas) in Yalu River[J]. Journal of Fisheries Science of China, 2011,18(6):1278-1285. [骆小年,李军,刘刚,等. 鸭绿江水系鱊胚胎发育、仔鱼饥饿及其不可逆点. 中国水产科学,2011,18(6):1278-1285.]
- [33] Huang H, Yang N, Zhang X. Experimental starvation on *Cichlasoma managuense* larvae and determination of point of no return [J]. South China Fisheries Science,2014,8(2):43-50. [黄海,杨宁,张希. 马拉瓜丽体鱼仔鱼饥饿试验及不可逆点的确定. 南方水产科学,2014,8(2):43-50.]
- [34] Ling Q F, Li S F, Qiao D L, et al. The study on the embryonic development and feeding of the yolk-sac larvae of *Tinca tinca* [J]. Journal of Fisheries of China,2003,27(1):43-48. [凌去非,李思发,乔德亮,等. 丁鲷胚胎发育和卵黄囊仔鱼摄食研究. 水产学报,2003,27(1):43-48.]
- [35] Zhang Y Q, Yin J S, Du J, et al. Experimental starvation on *Hucho taimen* and definition of the point of no return [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009,33(5):945-950. [张永泉,尹家胜,杜佳,等. 哲罗鱼仔鱼饥饿实验及不可逆生长点的确定. 水生生物学报,2009,33(5):945-950.]
- [36] Peng Z L, Liu M H, Fu R B, et al. Experiment on the starvation and determination of the point of no return for the ahead of schedule breeding larvae of *Miichthys miichthys basilewsky* [J]. Marine Fisheries, 2007,29(4):325-330. [彭志兰,柳敏海,傅荣兵,等. 早繁鳊鱼仔鱼饥饿试验及不可逆点的确定. 海洋渔业,2007,29(4):325-330.]
- [37] Yin M C. Advances and studies on early life history of fish [J]. Journal of Fisheries of China, 1991, 15(4):348-358. [殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展. 水产学报,1991,15(4):348-358.]
- [38] Helfman G S. Fish behaviour by day, night and twilight [M] // Pitcher T J. The Behaviour of Teleost Fishes. Baltimore Maryland: The Johns Hopkins University Press,1986:366-387.
- [39] Zhang Y Z, Hu J C, Xie Y J, et al. Feeding habits and growth characteristics of *Nibea chuii* 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. 热带海洋学报,2006,25(5):74-79.]
- [40] Liang X F, He D R. Sensory basis in the feeding behavior of fish [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. 水生生物学报,1998,9(3):278-284.]
- [41] Kawamura G, Ishida K. Changes in sense organ morphology and behavior with growth in flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1985, 51(2):155-165.



## The definition of point of no return of larvae and feeding characteristics of *Alosa sapidissima* larvae and juveniles

GAO Xiaoqiang<sup>1,2,3</sup>, HONG Lei<sup>2,3</sup>, LIU Zhifeng<sup>1,2,3</sup>, GUO Zhenglong<sup>4</sup>, WANG Yaohui<sup>4</sup>, LEI Jilin<sup>2,3\*</sup>

(1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Key Laboratory for Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

3. Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

4. Jiangsu Zhongyang Group, Nantong 226600, China)

**Abstract:** In order to better understand the feeding characteristics of *Alosa sapidissima* at the early development stage, the effects of starvation on growth and morphology, the point of no return (PNR) of *A. sapidissima* larvae, and the feeding rhythm of *A. sapidissima* larvae and juveniles were researched by experimental ecology approach at the water temperature of  $(20.5 \pm 1.0) ^\circ\text{C}$ . It has been clearly described that newly-hatched larvae were  $(7.45 \pm 0.15)$  mm in total length (TL),  $(2.01 \pm 0.06)$  mg in body weight (BW) and the yolk sac was  $(5.99 \pm 0.13)$  mm<sup>3</sup> in volume. 5 days after hatch (DAH), the yolk sac of *A. sapidissima* larvae was absorbed completely. Both TL and BW of control group increased gradually with the consumption of yolk sac and the establishment of exogenous nutrient. In contrast, the TL and BW of the starved larvae started to decrease from 6 DAH, and all the starved larvae died at 10 DAH; The first feeding time of *A. sapidissima* larvae was 3 DAH, the feeding rate reached 46.67%, the highest feeding rate was 89.29% in 5 DAH, and the PNR was 7–8 DAH. According to the yolk sac absorption and PNR, the optimal time of initial feeding should be 2–3 DAH. The feeding rhythm of *A. sapidissima* larvae and juveniles exhibited that the feeding peak of early stage larvae (4 DAH) appeared at 14:00, and the feeding amount reached 0.14 mg; the feeding peak of late stage larvae (17 DAH) was at 10:00 and 14:00, and the feeding amount was 0.92 mg and 1.36 mg, respectively; the juvenile at 28 DAH reached three feeding peaks at 10:00, 14:00 and 18:00, and the feeding amount was 1.77, 2.45 and 1.55 mg, respectively. Therefore, *A. sapidissima* was typically feeding only in daytime, and the feeding peak period was gradually prolonged with fish growth. The result of daily feeding situation of *A. sapidissima* showed the feeding rate in daytime was 20.08% (4 DAH), 29.48% (17 DAH) and 12.41% (28 DAH), which could be a reference for *A. sapidissima* daily feeding.

**Key words:** *Alosa sapidissima*; larva; juvenile; starvation; point of no return; feeding rhythm

**Corresponding author:** LEI Jilin. E-mail: leijl@ysfri.ac.com