

日本鳗鲡仔鱼的开口饵料和行为特征

刘利平^{1*}, 刘登攀¹, 蒲金成¹, 杜力¹, 陈桃英¹,
陈文银¹, 郑春静², 吴雄飞², 吴嘉敏¹

(1. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;

2. 宁波市海洋与渔业研究院, 浙江 宁波 315000)

摘要: 在连续多年日本鳗鲡人工繁殖实验的基础上, 研究了不同饵料对日本鳗鲡仔鱼存活率的影响, 并记录了仔鱼的运动特征和摄食行为。结果显示, 与对照组(不投饵)相比, 投喂以鲨鱼卵、磷虾提取液为基础的饵料和以鲨鱼卵、海蜇匀浆液为基础的饵料以及微绿球藻液均提高了日本鳗鲡仔鱼的存活率, 仔鱼发育至柳叶鳗前期阶段; 而投喂以鲨鱼卵、卤虫匀浆液为基础的饵料和以卤虫匀浆液、磷虾提取液为基础的饵料, 以及轮虫、海带+龙须菜匀浆液或海蜇以及发酵鲨鱼肉, 均降低日本鳗鲡仔鱼的存活率。实验同时还研究了日本鳗鲡仔鱼的主动摄食行为, 摄食时仔鱼先用吻端反复多次触碰食物, 然后张开下颌咬食, 证实了日本鳗鲡早期仔鱼的摄食方式是触碰后咬食。

关键词: 日本鳗鲡; 仔鱼; 开口饵料; 摄食行为

中图分类号: S 965.2

文献标志码: A

日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)俗称河鳗, 是东亚重要的经济水产品之一, 在中国、日本和韩国广泛养殖。目前用于人工养殖的鳗苗全部来自野外捕捞, 人类的大量捕捞导致日本鳗鲡资源锐减^[1], 2014年世界自然保护联盟(IUCN)发表的“红色名录”将其认定为濒危物种^[2]。为避免日本鳗鲡的自然资源枯竭, 开展人工育苗是解决的根本途径。

我国在20世纪70年代通过人工繁殖获得了鳗鲡仔鱼^[3], 与此同期, 日本也获得日本鳗鲡仔鱼^[4]。1995年Tanaka等^[5]发现仔鱼可摄入轮虫, 随后又发现日本鳗鲡仔鱼摄食冷冻干燥的白斑角鲨(*Squalus acanthias*)卵粉, 并可以生长; 另据报道在室内条件下可获得柳叶鳗幼体和玻璃鳗^[6-7], 但是仔鱼存活率和幼鱼变态率极低^[8]。有关欧洲鳗鲡(*A. anguilla*)仔鱼开口饵料的研究正处于起步阶段^[9]。国内关于日本鳗鲡繁殖研究较多, 而鳗鲡仔鱼开口饵料及其摄食方式的研究鲜见报道。

合适的开口饵料是日本鳗鲡仔鱼存活及变态成功的关键因素。仔鱼的摄食行为与开口饵料的状态、味道、颗粒大小等紧密相关, 开展日本鳗鲡仔鱼摄食行为研究对研制日本鳗鲡仔鱼适宜开口饵料具有重要作用。由于鳗鲡特殊的生活史, 其人工繁殖及仔鱼培育均是世界性难题, 本团队对此开展初步研究, 以期为实现日本鳗鲡的全人工繁殖积累相关资料。

1 材料与amp;方法

1.1 实验亲鱼

实验用亲鱼为2015年11月在上海长江口收购的野生降海日本鳗鲡, 其中雌鱼体质量510~1000 g, 雄鱼110~340 g。先将亲鱼暂养在水泥池中, 水温控制在15~18 °C, 盐度从淡水调整至20。随后于2016年3月将亲鱼转移至海水循环养殖系统中, 温度控制在17~18 °C。2016年5月再将亲鱼转移至直径为8 m的圆形玻璃钢水槽

收稿日期: 2016-09-14 修回日期: 2016-11-17

资助项目: 上海市农委科技攻关项目(沪农科攻字2013第2-2号); 上海市科学技术委员会项目(13320502200, 08391910200)

通信作者: 刘利平, E-mail: lp-liu@shou.edu.cn

中, 水温21~22 °C, 盐度24, 1周后盐度调整至30。全程用遮阳网遮光, 实验期间亲鱼不投喂食物。

1.2 人工催熟与催产

为诱导亲鱼的性腺发育, 从1月份开始, 给雌性日本鳗鲡注射人绒毛膜促性腺激素(hCG, 200 IU/kg·次)和鲤(*Cyprinus carpio*)脑垂体匀浆液(carp pituitary extract, CPE, 10 mg/kg·次)9~12次。雄性日本鳗鲡注射剂量减半, 注射针数为7~9针。雌鳗催产前注射hCG+CPE混合液, 注射剂量为200 IU hCG/kg和15 mg CPE/kg; 24 h后再注射CPE+hCG+17 α -hydroxyprogesterone (17 α -羟基孕酮, OHP)混合液, 注射剂量分别为15 mg CPE/kg、200 IU hCG/kg和10 mg OHP/kg; 雄鳗注射剂量为1000 IU hCG/kg和15 mg CPE/kg。然后将其放入直径为8 m、水深0.7 m的圆形玻璃钢水槽中自然产卵。在日本鳗鲡成熟后期和催产时, 根据实际情况适当调整注射剂量。

1.3 胚胎发育和仔鱼培育

亲鱼在注射催产针后的12~13 h, 即次日凌晨4:00—5:00自然产卵受精。仔鱼在受精36~37 h后孵化出膜。仔鱼孵化第6天, 从孵化缸中捞取300尾健康有活力的仔鱼, 随机放入30个2 L的圆形玻璃鱼缸中, 每缸10尾仔鱼。水温控制在(22.5 \pm

0.5) °C, 盐度34.5。实验全程光照强度低于100 lx。

1.4 实验饵料

配制A、B、C、D、E、F、G、H、I共9种不同成分的饵料。饵料成分与制作方法如表1所示。对照组不投喂饵料。每天早上制作好饵料, 保存于4 °C下备用。

1.5 投喂方法与管理

将10个不同饵料组依次记作组A~组I, 每组设3个重复。按表1中的顺序投喂饵料, 以不投喂饵料组作为对照组。每天投喂3次, 投喂时间分别为9:00、15:00、21:00。每次投喂量为0.3 mL, 用胶头滴管吸取稀糊状饵料, 分散投喂在鱼缸底部。投喂饵料时开灯, 时间持续0.5 h, 其余时间均为弱光或者黑暗状态。每次投喂完饵料1 h后用虹吸管吸出缸底的残饵和死苗, 每次换水量占总体积的2/3。每日8:00和20:00统计每个鱼缸中存活的仔鱼数量。仔鱼每天的存活率取3组的平均数。饵料实验在12 dph(孵化后的天数, days post-hatch, dph)时结束。

1.6 仔鱼观察

仔鱼孵化出膜后, 定期取样; 用带有数码相机(Nikon, DS-Fi2)的显微镜(Nikon, Ci-S)观察并拍照。在18 dph时, 用数码相机(SONY, ILCE-7)拍摄记录仔鱼的运动和摄食行为, 拍摄间歇投

表1 仔鱼开口饵料配方和制作方法

Tab. 1 Formula and manufacturing method for first-feeding of *A. japonica* larvae

组别 group	饵料成分 ingredient	制作方法和说明 manufacturing process and illustration
A	2.4 g冻干白斑角鲨鱼卵, 1.75 mL南极磷虾提取液, 0.3 g大豆肽, 0.01 g复合维生素, 3 mL蒸馏水	取冰冻鲨鱼卵, 经冷冻干燥, 获得干燥鲨鱼卵粉末。取南极磷虾(<i>Euphausia superba</i>)尾部肌肉, 与蒸馏水按照1:1比例混合匀浆, 经100目纱绢网过滤, 过滤液在60 °C水浴30 min。将冻干鲨鱼卵、磷虾提取液、大豆肽、复合维生素、蒸馏水按比例混合搅拌均匀, 置于4 °C保存待用
B	2.4 g冻干鲨鱼卵, 0.5 mL海蜇匀浆液, 0.1 g大豆肽, 0.01 g复合维生素, 4 mL蒸馏水	伞径1~2 cm的活海蜇经过匀浆, 获得海蜇匀浆液。其余制作方法同组A
C	1.2 g冻干鲨鱼卵, 1.2 g卤虫匀浆液, 0.5 mL磷虾提取液, 0.1 g大豆肽, 0.01 g复合维生素, 2 mL蒸馏水	新鲜卤虫放入碾钵中碾碎获得卤虫匀浆液。其余制作方法同组A
D	2.4 g卤虫匀浆液, 0.5 mL磷虾提取液, 0.1 g大豆肽, 0.01 g复合维生素, 1 mL蒸馏水	制作方法同组C
E	微绿球藻(<i>Nannochloropsis oculata</i>)藻液	浓度为(0.5~1) $\times 10^6$ /mL的新鲜微绿球藻藻液
F	活褶皱臂尾轮虫(<i>Brachionus plicatilis</i>)	密度7 $\times 10^3$ /mL的活轮虫
G	海带(<i>Saccharina japonica</i>)、龙须菜(<i>Gracilariopsis lemaneiformis</i>)匀浆液	海带和龙须菜按照1:1混合后匀浆机搅碎, 再用碾钵碾碎成微粒
H	海蜇(<i>Rhopilema esculentum</i>)	伞径2 cm的新鲜海蜇剪成两半
I	发酵鲨鱼肉	新鲜鲨鱼肉搅碎后浸没在23 °C海水中发酵3 d

喂组A饵料。相机分辨率为6000×4000像素, 曝光时间1/50 s。仔鱼视频处理软件为Adobe Premier Pro CC, 图像处理软件为Photoshop CC。

2 结果

2.1 不同饵料对仔鱼存活率的影响

日本鳗鲡受精卵在温度23 °C、盐度34时的孵化时间为36~37 h。仔鱼从7 dph开始投喂, 随着时间的延长, 存活率逐渐下降(图1)。7~12 dph, 平均存活率为组E>组A>组B>对照组>组F>组I>组H>组G>组D>组C。仔鱼在8和9 dph的存活率急剧下降, 在10和11 dph, 存活率趋于稳定, 12 dph时存活率再度下降(图1)。组D中的仔鱼在9 dph全部死亡; 组I、组G、组C和组H中的仔鱼在10 dph全部死亡。在12 dph, 组E、组A和组B中仍有仔鱼存活, 部分仔鱼存活时间达20 d。与对照组相比, 组E、组A和组B中的饵料延长了仔鱼的存活时间; 与之相反, 组F、组I、组H、组G、组D和组C中的饵料减少了仔鱼的存活时间, 而且其存活率在投喂初期就迅速下降, 直至全部死亡。在组H中, 伞径被剪成两半的海蜇仍然存活, 但其对日本鳗鲡仔鱼有蜇伤致死或者捕食作用, 同时也观察到日本鳗鲡仔鱼对海蜇有咬食行为, 肠道中有透明状食物。

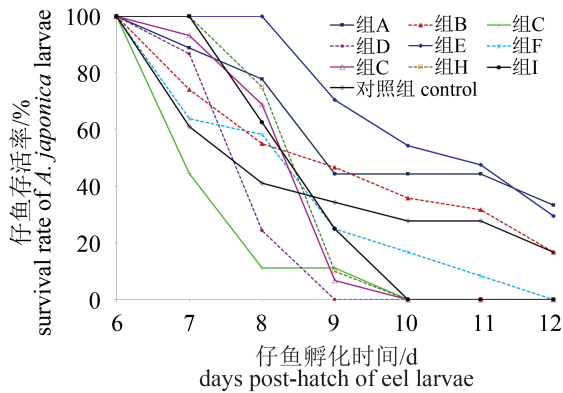


图1 不同饵料对日本鳗鲡仔鱼存活率的影响
各时间点的存活率数据为平均值

Fig. 1 Effects of different diets on survival rate of *A. japonica* larvae

Data of survival rate were means of replicates

2.2 仔鱼外部形态和行为特征观察

仔鱼在6 dph肠道贯通, 8 dph卵黄和油球基

本吸收完毕。在10 dph时, 仔鱼心率为110~120次/min; 颌齿4对, 尖锐锋利, 下颌齿长于上颌齿, 口腔不能完全闭合。仔鱼在7 dph之后, 大部分时间在鱼缸的底层活动。仔鱼游动敏捷, 游动方向无规律(图版-2, 3, 4); 有时沿着缸壁作鳗形巡游, 缓慢轻柔; 有时仔鱼会头朝下尾朝上, 倾斜静止在水的中、下层, 做较长时间的停顿, 靠胸鳍和尾鳍的轻微快速摆动来控制平衡, 下颌会有规律的一张一合; 有时仔鱼会长时间在缸底休息, 有外界刺激时才游动。仔鱼在摄食时, 先用吻端轻轻触碰食物, 然后张开下颌, 上颌保持不动, 口张开至最大时迅速闭合下颌, 同时尾部高频率摆动并伴有甩头动作, 使仔鱼在上、下颌咬合的瞬间突然快速后退, 随后再返回重复之前的摄食动作(图版-5)。当强光突然照射处在黑暗中的仔鱼时, 仔鱼会迅速摆动头部和尾部, 向后逃避。

在显微镜下, 可以观察到18 dph仔鱼的牙齿上粘附有饵料, 前肠没有食物, 中、后肠饱满(图版-1)。有部分仔鱼的颌部长有水霉, 这可能是由于摄食时仔鱼的上、下颌反复触碰到玻璃缸壁致受伤感染。

3 讨论

3.1 日本鳗鲡仔鱼开口饵料分析

植物性饵料作为日本鳗鲡仔鱼开口饵料的效果 微绿球藻作为一种饵料生物, 常应用于贝类的育苗中。本研究发现, 投喂微绿球藻(组E)的鳗鲡仔鱼存活率均高于对照组(不投喂组), 但该组的大部分仔鱼体形瘦弱, 个体大小与对照组相当, 说明微绿球藻并不能为鳗鲡仔鱼的生长提供足够的营养。这可能是由于鳗鲡仔鱼消化功能不完善^[10], 难以破坏微绿球藻的细胞壁、无法吸收其细胞内的营养物质所导致。

此外, 本研究发现, 海带、龙须菜匀浆液组中日本鳗鲡仔鱼的存活率也较低, 说明日本鳗鲡早期仔鱼对较硬且体积较大的食物没有摄食能力。因此在今后的研究中, 可尝试选择一些没有细胞壁的微藻如金藻、盐藻等作为其开口饵料。

动物性饵料作为日本鳗鲡仔鱼开口饵料的效果 目前已报道的日本鳗鲡仔鱼开口饵料主要由鲨鱼卵、磷虾水解物、大豆肽和维生素等构

成^[6-7]。本研究发现,以鲨鱼卵、磷虾提取液为基础的饵料(组A)和以鲨鱼卵、海蜇匀浆液为基础的饵料(组B)的日本鳎仔鱼存活率均高于对照组(不投喂组)。其中组A是根据Tanaka等^[6]和Okamura等^[11]的方法配制而成, Tanaka等^[6]用该饵料可将人工繁殖的日本鳎仔鱼养成玻璃鳎,但此配方极易败坏水质,水质恶化和频繁的换水操作严重影响了仔鱼的存活率。

Tanaka等^[5]发现日本鳎早期仔鱼可以被动摄入少量高密度的活轮虫。随后Hagiwara等^[12]发现仔鱼可以摄食处死的轮虫,但基本不摄入活的轮虫,且投喂效果明显差于以鲨鱼卵为基础的糊状饵料。Butts等^[9]通过给16和20 dph欧洲鳎仔鱼投喂以轮虫糊状物(rotifer paste)为基础的饵料,发现仔鱼均获得了一定的摄入率。本研究发现,活轮虫组(组F)中日本鳎早期仔鱼的存活率并不理想,分析原因可能是轮虫密度较低,且运动能力较强,日本鳎早期仔鱼难以捕食所致。

发酵鲨鱼肉组(组I)的仔鱼存活情况明显低于不投喂组,这可能与发酵鲨鱼肉会释放一些胺类、硫化氢等物质有关,这些物质会严重影响水质,对仔鱼有直接的毒害作用。

自然海域中日本鳎仔鱼开口饵料 目前使用效果较好的饵料中,鲨鱼卵和磷虾是主要成份。由于鲨鱼卵有一层厚厚的卵鞘^[13],而南极磷虾生活在远离鳎产卵场的南极海域^[14-15],由此推断,这两种成份均不可能成为日本鳎仔鱼的天然开口饵料。Miller等^[16]通过氨基酸氮同位素分析法,得出大洋中的鳎仔鱼以颗粒有机物,即所谓的海雪(marine snow)为食。Riemann等^[17]通过DNA条码技术研究野外日本鳎仔鱼肠道内食物的组成,发现其中有大量的浮游生物有机体。在大洋中,海雪含有大量微小生物,如细菌、原生动物和附生动物(纤毛虫类、桡足幼虫、珊瑚虫、软体动物、多毛纲幼体)等^[18-19]。海雪中还含有细菌和浮游植物的分泌物,可以提供胶质将小的颗粒粘在一起^[18]。研究表明,海雪中的细菌释放多糖和单糖^[20],这也可能是柳叶鳎的一种重要食物来源^[16];柳叶鳎体内的碳水化合物含量比其他鱼类幼体高5~15倍^[21],也说明鳎仔鱼需要糖类物质作为营养来源。因此,根据目前的研究结果,海雪可能是日本鳎仔鱼的天然开口饵料^[16, 22]。

影响日本鳎仔鱼开口摄食的其他因素

日本鳎仔鱼对开口饵料的选择性和适应性与其特殊的头部构造紧密相关。日本鳎仔鱼的口腔大,但是其消化道狭窄,且缺乏肌肉细胞^[23],因此仔鱼只能摄入柔软、微小、顺滑的食物^[12]。Bouilliant等^[24]通过对欧洲鳎早期仔鱼头部三维重构的方法,估测出仔鱼上、下颌最大咬合力为65 μN ,能够摄入的食物直径小于100 μm 。在本实验中,饵料中有较大颗粒的组,如含有卤虫匀浆液、海藻匀浆液、海蜇等,仔鱼可能无法正常吞咽,存活率均较低。

此外,培养水体温度、盐度、水体体积和水中微生物等外界因子^[25-29]以及孵化批次和个体差异等因素^[30-31]均会影响日本鳎仔鱼的摄食。

3.2 日本鳎仔鱼的行为特征

日本鳎早期仔鱼行为特征及摄食方式

研究发现,1~5 dph的仔鱼呈豆芽状垂直悬挂在水的中、上层,头部朝上,尾部向下,大部分时间处于静止状态,游动能力较弱;5~7 dph的仔鱼开始从水的中、上层向中、下层游动,游动能力加强。7~18 dph的仔鱼在无外界刺激时(强光、投饵等),会沿着缸壁作较长距离的缓慢巡游,或者在中、下层作长时间的停歇,停歇时头部向下、尾部朝上倾斜;有时仔鱼在向前S形游动中会突然剧烈扭动身体迅速后退,类似逃避敌害的动作。仔鱼的这些行为动作与Butts等^[9]在欧洲鳎早期仔鱼中观察的行为非常类似。在饵料实验后期,仔鱼开始作鳎形游动,说明仔鱼正从柳叶鳎前体向柳叶鳎转变^[6]。

海水鱼类仔鱼摄食时,其摄食行为与食性以及食物类型紧密相关,一般分为两种方式:S形攻击和触碰后咬食方式。多数海水鱼类如太平洋鲱(*Clupea pallasii*)、真鲷(*Pagrosomus major*)和牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)等的仔鱼普遍采取S形攻击的方式捕食浮游动物^[32-34]。本研究中观察到日本鳎仔鱼都以触碰后咬食的方式摄食,这是因为日本鳎仔鱼上、下颌均长有牙齿,致使口腔无法闭合,口腔内不能形成负压,导致仔鱼无法吸入食物^[17, 35]。

光照对日本鳎仔鱼行为的影响

日本鳎仔鱼对光照比较敏感。本研究中,用强光照射水中的仔鱼时,仔鱼会迅速游向鱼缸底部的暗处。早期仔鱼对强光表现出明显的逃避行为^[36],

说明仔鱼在自然海域中可能生活在较深的水层^[37], 在较暗的环境中觅食。在欧洲鳗鲡早期仔鱼中也有类似的负趋光性^[38]。日本鳗鲡仔鱼的视网膜由视杆组成^[39], 这不同于一般具有纯视锥型视网膜的真骨鱼类, 而视锥型视网膜是仔稚鱼成功捕食所必需的^[33], 这说明日本鳗鲡仔鱼在自然环境中可能不以运动能力强的小型浮游动物为食^[34]。日本鳗鲡仔鱼对活轮虫的极低摄入率也证实了这一点^[7]。最近的研究观察到欧洲鳗鲡仔鱼在黑暗和光照条件下均可摄入食物, 表明鳗鲡仔鱼的摄食还可能与嗅觉, 味觉以及机械刺激有关^[9]。

参考文献:

- [1] Tsukamoto K, Aoyama J, Miller M J. The present status of the Japanese eel: resources and recent research [M]//Casselman J, Cairns D. Eels at the Edge. Bethesda: American Fisheries Society Symposium, 2009, 58: 21-35.
- [2] Shirotori F, Ishikawa T, Tanaka C, *et al.* Species composition of anguillid glass eels recruited at Southern Mindanao Island, the Philippines[J]. Fisheries Science, 2016, 82(6): 1-8.
- [3] 王义强, 赵长春, 施正峰, 等. 河鳗人工繁殖的初步研究[J]. 水产学报, 1980, 4(2): 147-156.
Wang Y Q, Zhao C C, Shi Z F, *et al.* Studies on the artificial inducement of reproduction in common eel[J]. Journal of Fisheries of China, 1980, 4(2): 147-156(in Chinese).
- [4] Yamamoto K, Yamauchi K. Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium[J]. Nature, 1974, 251(5472): 220-222.
- [5] Tanaka H, Kagawa H, Ohta H, *et al.* The first report of eel larvae ingesting rotifers[J]. Fisheries Science, 1995, 61(1): 171-172.
- [6] Tanaka H, Kagawa H, Ohta H. Production of leptocephali of Japanese eel (*Anguilla japonica*) in captivity[J]. Aquaculture, 2001, 201(1-2): 51-60.
- [7] Tanaka H, Kagawa H, Ohta H, *et al.* The first production of glass eel in captivity: fish reproductive physiology facilitates great progress in aquaculture[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2003, 28(1): 493-497.
- [8] Ijiri S, Tsukamoto K, Chow S, *et al.* Controlled reproduction in the Japanese eel (*Anguilla japonica*), past and present[J]. Aquaculture Europe, 2011, 36(2): 13-17.
- [9] Butts I A E, Sørensen S R, Politis S N, *et al.* First-feeding by European eel larvae: a step towards closing the life cycle in captivity[J]. Aquaculture, 2016, 464: 451-458.
- [10] Ozaki Y, Tanaka H, Kagawa H, *et al.* Fine structure and differentiation of the alimentary canal in captive-bred Japanese eel *Anguilla japonica* preleptocephali[J]. Fisheries Science, 2006, 72(1): 13-19.
- [11] Okamura A, Yamada Y, Horie N, *et al.* Hen egg yolk and skinned krill as possible foods for rearing leptocephalus larvae of *Anguilla japonica* Temminck & Schlegel[J]. Aquaculture Research, 2013, 44(10): 1531-1538.
- [12] Hagiwara A, Wullur S, Marcial H S, *et al.* Euryhaline rotifer *Proales similis* as initial live food for rearing fish with small mouth[J]. Aquaculture, 2014, 432: 470-474.
- [13] Flammang B E, Ebert D A, Cailliet G M. Intraspecific and interspecific spatial distribution of three Eastern North Pacific catshark species and their egg cases (*Chondrichthyes: Scyliorhinidae*)[J]. Breviora, 2011, 525: 1-18.
- [14] Greene C H, Stanton T K, Wiebe P H, *et al.* Acoustic estimates of Antarctic krill[J]. Nature, 1991, 349(6305): 110.
- [15] Brierley A S, Fernandes P G, Brandon M A, *et al.* Antarctic krill under sea ice: elevated abundance in a narrow band just south of ice edge[J]. Science, 2002, 295(5561): 1890-1892.
- [16] Miller M J, Chikaraishi Y, Ogawa N O, *et al.* A low trophic position of Japanese eel larvae indicates feeding on marine snow[J]. Biology Letters, 2013, 9(1): 20120826.
- [17] Riemann L, Alfredsson H, Hansen M M, *et al.* Qualitative assessment of the diet of European eel larvae in the Sargasso Sea resolved by DNA barcoding[J]. Biology Letters, 2010, 6(6): 819-822.
- [18] Alldredge A L, Silver M W. Characteristics, dynamics and significance of marine snow[J]. Progress in Oceanography, 1988, 20(1): 41-82.
- [19] Kiørboe T. Colonization of marine snow aggregates by invertebrate zooplankton: abundance, scaling, and possible role[J]. Limnology and Oceanography, 2000,

- 45(2): 479-484.
- [20] Engel A, Händel N. A novel protocol for determining the concentration and composition of sugars in particulate and in high molecular weight dissolved organic matter (HMW-DOM) in seawater[J]. *Marine Chemistry*, 2011, 127(1-4): 180-191.
- [21] Pfeiler E. Developmental physiology of elopomorph leptocephali[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 1999, 123(2): 113-128.
- [22] Miller M J, Otake T, Aoyama J, *et al.* Observations of gut contents of leptocephali in the North Equatorial Current and Tomini Bay, Indonesia[J]. *Coastal Marine Science*, 2012, 35(1): 277-288.
- [23] Yoshimatsu T, Matsuda, Y. Optimum feeds for the normal development of eel larvae[J]. *Fisheries Research Agency*, 2008, 11: 72-79.
- [24] Bouilliart M, Tomkiewicz J, Lauesen P, *et al.* Musculoskeletal anatomy and feeding performance of pre-feeding engyodontic larvae of the European eel (*Anguilla anguilla*)[J]. *Journal of Anatomy*, 2015, 227(3): 325-340.
- [25] Kurokawa T, Okamoto T, Gen K, *et al.* Influence of water temperature on morphological deformities in cultured larvae of Japanese eel, *Anguilla japonica*, at completion of yolk resorption[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2008, 39(6): 726-735.
- [26] Okamoto T, Kurokawa T, Gen K, *et al.* Influence of salinity on morphological deformities in cultured larvae of Japanese eel, *Anguilla japonica*, at completion of yolk resorption[J]. *Aquaculture*, 2009, 293(1-2): 113-118.
- [27] Okamura A, Yamada Y, Mikawa N, *et al.* Effect of salinity on occurrence of notochord deformities in Japanese eel *Anguilla japonica* larvae[J]. *Aquaculture International*, 2016, 24(2): 549-555.
- [28] Unuma T, Kondo S, Tanaka H, *et al.* Determination of the rates of fertilization, hatching and larval survival in the Japanese eel, *Anguilla japonica*, using tissue culture microplates[J]. *Aquaculture*, 2004, 241(1-4): 345-356.
- [29] Sørensen S R, Skov P V, Lauesen P, *et al.* Microbial interference and potential control in culture of European eel (*Anguilla Anguilla*) embryos and larvae[J]. *Aquaculture*, 2014, 426-427: 1-8.
- [30] Okamura A, Yamada Y, Mikawa N, *et al.* Notochord deformities in reared Japanese eel *Anguilla japonica* larvae[J]. *Aquaculture*, 2011, 317(1-4): 37-41.
- [31] Tanaka H. Progression in artificial seedling production of Japanese eel *Anguilla japonica*[J]. *Fisheries Science*, 2015, 81(1): 11-19.
- [32] Fukuhara O. Morphological and functional development of Japanese flounder in early life stage[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1986, 52(1): 81-91.
- [33] Blaxter J H S. Development of sense organs and behaviour of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1986, 115(1): 98-114.
- [34] 梁旭方, 谢骏, 王秋荣, 等. 日本鳗鲡仔鱼摄食机理及其营养策略[J]. *水产学报*, 2002, 26(6): 556-560.
Liang X F, Xie J, Wang Q R, *et al.* The feeding mechanism and nutritional strategy of early and leptocephalus larvae of *Anguilla japonica*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 26(6): 556-560(in Chinese).
- [35] 柳凌, 张洁明, 郭峰, 等. 人工条件下日本鳗鲡胚胎及早期仔鱼发育的生物学特征[J]. *水产学报*, 2010, 34(12): 1800-1811.
Liu L, Zhang J M, Guo F, *et al.* Biological characteristics of embryo and larval development in Japanese eel under artificial incubation[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(12): 1800-1811(in Chinese).
- [36] 张涛, 张洁明, 郭峰, 等. 日本鳗鲡早期幼苗趋光性及视觉发育特征[J]. *淡水渔业*, 2009, 39(3): 18-25.
Zhang T, Zhang J M, Guo F, *et al.* Characteristics of phototaxy and optical development of Japanese eel (*Anguilla japonica*) larva[J]. *Freshwater Fisheries*, 2009, 39(3): 18-25(in Chinese).
- [37] Tsukamoto K, Chow S, Otake T, *et al.* Oceanic spawning ecology of freshwater eels in the western North Pacific[J]. *Nature Communications*, 2011, 2: 179.
- [38] Politis S N, Butts I A E, Tomkiewicz J. Light impacts embryonic and early larval development of the European eel, *Anguilla anguilla*[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2014, 461: 407-415.
- [39] Pankhurst N W. Retinal development in larval and juvenile European eel, *Anguilla anguilla* (L.)[J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1984, 62(3): 335-343.

Effects of different initial diets on the survival and behavior characteristics of the larvae of Japanese eel (*Anguilla japonica*)

LIU Liping^{1*}, LIU Dengpan¹, PU Jincheng¹, DU Li¹, CHEN Taoying¹,
CHEN Wenyin¹, ZHENG Chunjing², WU Xiongfei², WU Jiamin¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

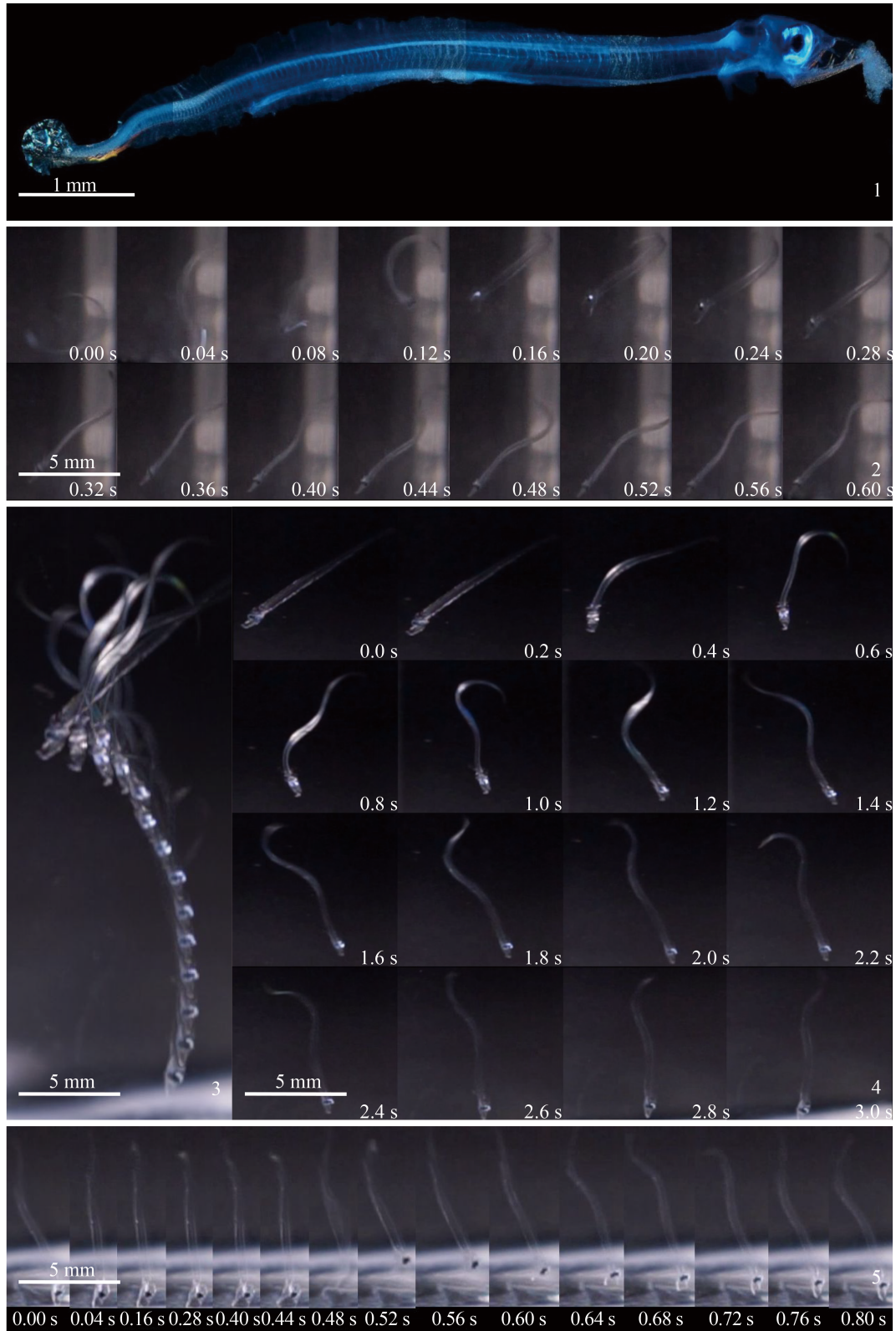
2. Marine and Fisheries Research Institute of Ningbo, Ningbo 315000, China)

Abstract: Based on the continuous research on artificial propagation of Japanese eel *Anguilla japonica*, the effects of different initial diets on the survival of eel larvae were investigated, and the motion characteristics and feeding behavior of larvae were observed and recorded. The results showed that the shark eggs, krill extract-based diet and shark eggs, jellyfish-based diet and exclusively microalgae had positive effects on larval survival; However, the shark eggs, artemia-based diet and artemia, krill extract-based diet, rotifers and kelp, seaweed homogenate, jellyfish and fermented shark flesh reduced larval survival. The larvae touched the diets repetitiously, and then opened the lower jaw widely and bit, which confirmed that the way for eel larvae to ingest diets was biting after touching.

Key words: *Anguilla japonica*; larvae; initial diet; feeding behavior

Corresponding author: LIU Liping. E-mail: lp-liu@shou.edu.cn

Funding projects: Key Project of Science and Technology Promoting Agriculture by Shanghai Agriculture Commission (2013-2-2); Shanghai Municipal Science and Technology Commission (13320502200, 08391910200)



图版 早期鳗鲡仔鱼及摄像机下仔鱼的动态行为

1. 显微镜下18 dph仔鱼; 2. 突然扭动身体时的仔鱼; 3, 4. 由静止到运动时的仔鱼游动轨迹和对应的姿态; 5. 仔鱼触碰后咬食的摄食行为

Plate A. japonica at 18 dph and its swimming activities under video camera

1. larvae at 18 days post-hatch under microscope; 2. larvae twisting its body unexpectedly; 3, 4. trajectory and corresponding posture of larvae from stillness to movement; 5. foraging behavior of biting after touching