

匙吻鲟仔稚鱼开口规格及摄食选择的研究

朱爱民 梁银铨 黄道明 胡小建 吴生桂 胡传林

(水利部中国科学院水工程生态研究所, 武汉 430079)

STUDY ON STARTING-FEEDING SIZE AND FOOD SELECTION OF LARVAL AND JUVENILE PADDLEFISH (POLYODON SPATHULA)

ZHU Ai-Min, LIANG Yin-Quan, HUANG Dao-Ming, HU Xiao-Jian, WU Sheng-Gui and HU Chuan-Lin
(Institute of Hydroecology, the Ministry of Water Resources P. R. C and the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079)

关键词: 匙吻鲟; 仔稚鱼; 开口规格; 浮游动物; 摄食选择

Key words: *Polyodon spathula*; Larvae and juvenile; Starting-feeding fish size; Zooplankton; Food selection

中图分类号: S965.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2009)06-1202-05

我国匙吻鲟 (*Polyodon spathula*) 仔稚鱼培育历史将近 20 年, 目前成活率总体上还不高且有很大的波动性^[1-5], 与原产地美国本土相比有一定的差距, 影响了我国匙吻鲟养殖业的发展。仔稚鱼培育是匙吻鲟养殖过程中非常重要的环节, Tania, et al.^[6]观察到开口摄食阶段是匙吻鲟高死亡率的一个临界点。研究仔稚鱼开口摄食规格和对饵料的摄食选择对于提高匙吻鲟仔稚鱼培育技术具有重要意义。

有关匙吻鲟苗种食性及饵料种类, 国内外已有较多的报道^[7-10]。虽然有些报道涉及到仔稚鱼的开口规格^[5, 6, 11], 但由于不是研究重点, 其结果缺乏必须的统计学要求或确定开口规格的方法有待进一步探讨。除 Michaletz, et al. 指出在鳃耙发育完全之前, 匙吻鲟能有效选择摄食蚤 (*Daphnia*) 外^[8], 目前尚未见到更多匙吻鲟仔稚鱼对浮游动物摄食选择的专门报道。为此, 我们开展了这方面的实验研究, 期望为提高匙吻鲟苗种培育技术提供依据, 同时为匙吻鲟仔稚鱼摄食生物学积累资料。

1 材料与方法

在上部为圆柱形 (直径 100 cm)、下部为圆锥形的水族箱中放养孵化出膜 7 日龄的匙吻鲟鱼苗 400 尾, 每天上午定时投喂一次足量、用 120 目筛绢网捞取的浮游动物, 现捞现喂。投喂前后, 按章宗涉等方法^[12]取水族箱水样, 于室内显微镜和解剖镜下鉴定轮虫、枝角类和桡足类种类, 计算水族箱中各种类的密度, 并测量各种类的体长, 出现较少的种类

全部测量, 出现较多的种类测量 30—43 个。

投喂饵料约 1 h 后随机取仔稚鱼 3—5 尾, 同时, 在实验初期, 同样不定期取其他水族箱中仔稚鱼数尾, 用中性福尔马林固定后, 分别测量全长、体重, 并在解剖镜和显微镜下逐尾解剖, 鉴定食物种类, 记录各种类的数量, 并全部或尽可能多测量每尾仔稚鱼食物中各种枝角类和桡足类的体长。

实验从 2007 年 4 月 13 日开始至 5 月 8 日结束, 共采集水样 14 号、解剖仔稚鱼 124 尾。实验期间调节好水族箱进出水的水量, 保持水位稳定。每次投喂前排除水族箱中沉积的污物, 保持水质清新。实验期间水温为 15—25℃。

2 结果

2.1 开口摄食规格

在解剖的 124 尾全长 14.0—95.5 mm 的仔稚鱼中, 全长 14.0—15.0 mm, 共有 11 尾, 均未开口摄食。全长 15.2—16.3 mm, 共有 31 尾, 其中 18 尾开口摄食, 占总尾数的 58.06%, 其平均全长为 (15.9 ± 0.3) mm、平均体重为 (0.0174 ± 0.0033) g。开口摄食最小全长 15.2 mm、体重 0.0177 g, 未开口摄食最大全长 16.3 mm、体重 0.0230 g。全长 16.5 mm (5 尾) 及以上的所有仔稚鱼均全部开口摄食。这表明仔稚鱼开口摄食的全长范围在 15.2—16.5 mm 之间。解剖中还发现, 2 尾全长 15.8 mm 和 16.5 mm、体重 0.0188 g 和 0.0196 g 的鱼体内存有黄色油球, 也摄食枝角类, 表明仔稚鱼开口摄食时具有混合营养。

收稿日期: 2008-04-11; 修订日期: 2009-02-03

基金项目: 湖北省“十一五”科技攻关计划项目 (2006AA203A02、2006AA203A03) 资助

通讯作者: 朱爱民 (1963—), 男, 汉族, 湖北武汉人; 副研究员; 主要从事水库水生态与渔业生态研究。E-mail: zham9928@sina.com

2.2 摄食选择

2.2.1 对浮游动物类别的摄食选择

水簇箱中,检出的浮游动物饵料种类包括轮虫 24种、枝角类 19种及其幼体、桡足类有剑水蚤和哲水蚤及其幼体。轮虫的平均密度为 1539.8 ind./L (112.5—10133.3 ind./L)、占饵料总密度的 20.00%,枝角类的平均密度为 4543.0 ind./L (607.5—29475.0 ind./L)、占饵料总密度的 59.00%,桡足类的平均密度为 1618.5 ind./L (200.0—16875.0 ind./L)、占饵料总密度的 21.00%。

在所有解剖的仔稚鱼胃中,发现的食物种类共有 15种枝角类 (占饵料中枝角类种类的 78.9%)和剑水蚤及哲水蚤成体,均未发现轮虫和桡足类幼体,也未发现浮游植物。这表明无论水簇箱中轮虫、枝角类和桡足类之间的密度高低状

况如何,仔稚鱼不摄食轮虫和桡足类幼体,也未见摄食浮游植物,只摄食大多数的枝角类和桡足类成体。此外,在 1尾匙吻鲟胃中检测到某种昆虫幼虫。

2.2.2 对枝角类和桡足类的摄食选择

水簇箱中枝角类密度占 82.80% (60.87%—91.72%)、桡足类占 17.20% (8.28%—39.13%),仔稚鱼胃中枝角类占 98.96% (94.06%—100.00%)、桡足类占 1.04% (0—5.94%) (表 1)。从水簇箱到仔稚鱼胃中,枝角类和桡足类的比例分别上升和下降了 16.16个百分点。5月 2日,水簇箱中桡足类的密度比例达到最高、枝角类密度比例最低,而胃中桡足类数量比例仅占 0.87%,枝角类数量比例仍然高达 99.13%,其比例在各次测定中分别处于较低和较高水平 (表 1)。这表明仔稚鱼对枝角类具有极强摄食选择。

表 1 水簇箱与匙吻鲟仔稚鱼胃中枝角类和桡足类的比例

日期 Month/day	水簇箱中的密度相对比例 Composition in aquarium (%)		仔稚鱼胃中的数量相对比例 Composition in the gut of paddlefish (%)	
	枝角类 Cladocerans	桡足类 Copepods	枝角类 Cladocerans	桡足类 Copepods
4/13 *	86.36	13.64	100	0
4/14 *	83.67	16.33	100	0
4/15 **	87.56	12.44	98.53	1.47
4/15 *	90.88	9.12	98.48	1.52
4/16 *	91.72	8.28	97.93	2.07
4/17 *	84.57	15.43	100	0
4/18 *	88.58	11.42	100	0
4/19 *	84.06	15.94	98.73	1.27
4/20 *	71.93	28.07	100	0
4/21 *	71.48	28.52	99.18	0.82
4/22 *	85.68	14.32	99.36	0.64
4/27 *	81.78	18.22	100	0
5/2 *	60.87	39.13	99.13	0.87
5/8 *	90.06	9.94	94.06	5.94
平均值 Average	82.80	17.20	98.96	1.04

注: *投喂浮游动物后; **投喂浮游动物前;下同
Note: * after feeding with zooplankton; ** before feeding with zooplankton; The same as follows

2.2.3 对枝角类种类的摄食选择

水簇箱中的枝角类主要是网纹蚤 (*Ceriodaphnia*)、蚤状蚤 (*Daphnia pulex*)、透明蚤 (*D. hyalina*)、大型蚤 (*D. magna*)、小栉蚤 (*D. cristata*)等 5种,它们的密度占总密度比例为 98.05% (90.52%—100%),其他枝角类密度比例平均值均小于 1% (表 2)。仔稚鱼胃中的枝角类主要是大型蚤、蚤状蚤、透明蚤、网纹蚤、裸腹蚤 (*Moina*)等 5种,它们的数量占总数量比例为 93.72% (71.44%—100%),秀体蚤 (*Diaphanosoma*)和小栉蚤的数量比例平均值均小于 1% (表 3)。

某种枝角类在胃中的数量比例与水簇箱中的密度比例的比值 (*R*)高低可以反映仔稚鱼对该种枝角类选择摄食程

度高低。在不同时间,由于仔稚鱼规格和种类组成不同,仔稚鱼对枝角类种类选择摄食程度顺序也有所不同。总体上,仔稚鱼对枝角类种类的选择摄食程度高低 (*R*值)依次为:大型蚤 (5.09)、裸腹蚤 (3.05)、蚤状蚤 (1.10)、秀体蚤 (0.57)、透明蚤 (0.53)、网纹蚤 (0.14)、小栉蚤 (0.03)。个体较小的盘肠蚤、象鼻蚤和尖额蚤等极少摄食。这与它们个体大小的顺序基本一致,其大小顺序依次为:大型蚤 (1407.0 μm)、裸腹蚤 (1099.3 μm)、蚤状蚤 (1066.5 μm)、透明蚤 (1005.8 μm)、秀体蚤 (963.6 μm)、网纹蚤 (782.5 μm)、小栉蚤 (682.2 μm)、盘肠蚤 (269.5 μm)、象鼻蚤 (221.0 μm)、尖额蚤 (208.0 μm)。

受仔稚鱼对个体越大的枝角类种类选择摄食程度越高的影响,实验期间,仔稚鱼胃中枝角类的平均体长是水簇箱

中枝角类平均体长的 1.2 倍 (1.1—1.5 倍)、最大体长的 0.6 倍 (0.5—0.7 倍)。

表 2 水簇箱中各种枝角类的密度比例
Tab.2 Main cladoceran species and their percentages of amount in aquarium (%)

日期 Month/date	网纹蚤 <i>Ceriod- aphnia</i>	大型蚤 <i>D. magna</i>	蚤状蚤 <i>D. pulex</i>	透明蚤 <i>D. hyalina</i>	裸腹蚤 <i>Moina</i>	秀体蚤 <i>Diaph- anosoma</i>	小栉蚤 <i>D. cristata</i>	盘肠蚤 <i>Chyd- orus</i>	象鼻蚤 <i>Bosmina</i>	尖额蚤 <i>Alona</i>
4/13*	70.56	5.74	10.06	11.04	1.52	0	1.08	0	0	0
4/14*	74.06	5.76	8.43	9.98	1.77	0	0	0	0	0
4/15**	64.93	4.09	15.49	14.13	0.17	0	1.19	0	0	0
4/15*	80.01	2.49	10.3	6.13	0.27	0.27	0.53	0	0	0
4/16*	62	7.33	11.93	13.97	1.36	0.68	2.56	0.17	0	0
4/17*	49.28	8.29	18.25	20.62	0.95	0.24	2.37	0	0	0
4/18*	51.56	12.77	10.26	18.52	2.38	0	4.13	0.38	0	0
4/19*	24.59	12.59	26.67	31.11	0.15	0	4.89	0	0	0
4/20*	9.58	14.49	28.97	39.25	0.47	1.89	5.35	0	0	0
4/21*	0.55	18.17	27.87	25.14	0.96	8.25	18.79	0.27	0	0
4/22*	1.86	10.34	42.18	33.42	1.33	0	9.28	1.59	0	0
4/27*	0	5.7	44.55	34.12	0.47	0	13.74	0.95	0.47	0
5/2*	0	18.86	27.14	28	0	0	26	0	0	0
5/8*	0.65	6.83	46.75	32.14	0	0	13.31	0	0	0.32
平均值 Average	34.97	9.53	23.49	22.68	0.84	0.81	7.37	0.24	0.03	0.02

表 3 匙吻鲟仔稚鱼胃中各种枝角类数量比例
Tab.3 Cladoceran species and its percentage of amount in the stomach of larval and juvenile paddlefish (%)

日期 Month/date	网纹蚤 <i>Ceriod- aphnia</i>	大型蚤 <i>D. magna</i>	蚤状蚤 <i>D. pulex</i>	透明蚤 <i>D. hyalina</i>	裸腹蚤 <i>Moina</i>	秀体蚤 <i>Diaph- anosoma</i>	小栉蚤 <i>D. cristata</i>	外形损害种类 Other species
4/13*	0	0	75	0	25	0	0	0
4/14*	10.26	56.41	21.79	11.54	0	0	0	0
4/15**	4.48	37.31	41.79	16.42	0	0	0	0
4/15*	21.54	40	33.84	4.62	0	0	0	0
4/16*	14.29	19.05	25.4	11.11	1.59	0	0	28.56
4/17*	2.5	42.5	22.5	21.67	0.83	1.67	0	8.33
4/18*	4.94	29.63	32.1	19.75	2.47	0	0	11.11
4/19*	3.21	37.82	28.85	22.43	1.28	0	0	6.41
4/20*	1.73	41.04	21.39	20.81	2.89	2.89	0	9.25
4/21*	2.75	57.3	18.18	15.43	1.93	1.93	0.55	1.93
4/22*	0	63.55	21.94	11.94	0	0	0.32	2.25
4/27*	0	91.73	4.55	3.72	0	0	0	0
5/2*	0	90.44	5.73	2.95	0	0	0.88	0
5/8*	0.48	72.44	9.19	5.99	0	0	0.96	10.94
平均值 Average	4.73	48.52	25.88	12.03	2.57	0.46	0.19	5.63

2.3 仔稚鱼全长与摄食枝角类大小的变化

全长 15.5—95.5 mm 的仔稚鱼 (80尾)摄食枝角类的平均体长 (共测定 1096个)为 758.3—1643.3 μm ,它们之间的变化呈曲线关系 (图 1)。从图 1可以看出,在全长较小的时候,随着全长的增长,摄食枝角类的体长大幅增加,之后随着全长的增长,摄食枝角类的体长增幅减小。从 15.5 mm 到 34.8 mm,全长增加 19.3 mm,摄食枝角类的体长增加了 466.4 μm ,增长 49.9%。从全长 34.8 mm 到全长 95.5 mm,全长增加 60.7 mm,摄食枝角类的体长仅增加 143.0 μm ,增长 10.2%。

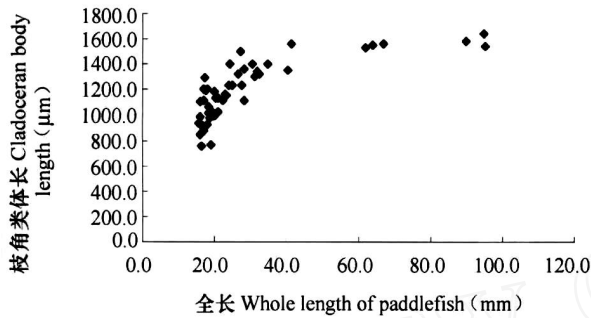


图 1 匙吻鲟仔稚鱼全长与摄食枝角类体长的关系

Fig. 1 The correlation between whole length of

larval and juvenile paddlefish and cladoceran body length

3 讨 论

3.1 仔鱼的开口规格

仔鱼开口摄食的全长范围在 15.2—16.5 mm 之间,开口摄食的最小全长为 15.2 mm、平均全长为 15.9 mm,这与曾幸等^[5]报道的 1.6 cm、Tania, et al.^[6]报道的 1.57 cm、杨明生等^[11]报道的 14.7 mm 一致。从最小开口摄食规格到最大未开口摄食规格 (16.3 mm 或 16.5 mm),全长最大增加仅 1.3 mm,增幅很小。如果同批受精卵孵化发育时间同步、生长整齐,仔稚鱼会集中在很短时间内全部开口摄食。实际上,由于个体间的差异,同批受精卵孵化、发育生长的速度会有所不同,达到开口摄食全长的时间也不尽一致,同批孵化的仔鱼完成全部开口摄食的时间长短取决于仔鱼生长差异的大小。本实验在水温 15—25℃条件下,从首次解剖到仔鱼已摄食到未解剖到仔鱼没有摄食,经历的最短时间为 76.5h (3d 多),因此,同批仔鱼全部开口需要经历一段时间。

3.2 对饵料的摄食选择

一般认为,匙吻鲟主要摄食浮游动物,特别是枝角类,也摄食水生昆虫^[5,7-10,13]。在天然条件下,随着环境中饵料的可得性不同,匙吻鲟摄食的饵料种类有较大的差别。Rudolph, et al.^[14]报道了匙吻鲟食物主要是甲壳纲的浮游动物,水生昆虫和异脚目偶然出现在胃内,大量的屑粒和一些水藻也被吞入,他同时指出饵料中大量的剑水蚤在长 139—855mm 匙吻鲟胃内出现率很低。林永泰等^[15]报道了饲养在池塘和水库中、体长 38.5—73.0 cm 的匙吻鲟食物有虾、小鱼、水生昆虫以及浮游动物等。摄食虾的匙吻鲟比例达

97.7%—100%,食物中全部为虾或以虾为主的比例分别占 79.1%、95.7%,以小鱼为主的占 4.3%,以甲壳纲浮游动物为主要食物的占 4.7%,全部为浮游动物的占 2.3%。Michaletz, et al.^[18]指出蚤 (*Daphnia*)是匙吻鲟仔稚鱼食物中的主要成分,除曾幸等^[5]在全长 1.7 cm 的仔稚鱼胃中还检测到 1次轮虫外,所见报道均未明确提出是否摄食轮虫。

本实验在轮虫、枝角类和桡足类等饵料充足的条件下,无论它们之间的密度高低如何变化,仔稚鱼具有极为明显的摄食选择,即几乎只摄食枝角类,很少摄食桡足类,偶尔摄食水生昆虫,不摄食轮虫,也未见摄食浮游植物。对枝角类的摄食选择上,个体越大的枝角类种类,仔稚鱼选择摄食的程度越高,个体较小的盘肠蚤、象鼻蚤和尖额蚤等极少摄食。

Jan, et al.^[16]认为仔稚鱼通过探测跟踪蚤 (*Daphnia*)发出的微弱电信号来捕食它们。Kasumyan^[17]报道了蚤 (*Daphnia*)提取汁气味与仔稚鱼摄食的实验。但对蚤属 (*Daphnia*)不同种类及其他枝角类种类的选择摄食机理还未见报道。

3.3 仔稚鱼全长与摄食枝角类大小的变化

匙吻鲟在全长达到 125 mm、筛耙发育完善前,采取吞食方式,口的大小、发育情况必然影响其摄食枝角类的大小。实验结果显示,仔稚鱼全长与摄食枝角类大小呈曲线变化关系。在全长达到 34.8 mm 之前,随着全长增长,仔稚鱼摄食枝角类的体长大幅增加,全长达到 34.8 mm 之后,随着个体长大,摄食枝角类的体长增幅减小。这是否与仔稚鱼口的发育变化有关还需进一步探讨,相关的研究只报道了匙吻鲟在全长 10.5—95.0 mm 期间口宽增长较快、全长 96.0—300.0 mm 期间口宽增速减慢,口径则随全长增长呈直线相关^[18],尚未见到仔稚鱼更详细的口宽和口径发育的报道。

参考文献:

[1] Cui H, He J X, Zheng W Z. Status of sturgeons industry and its suggestions in China [J]. *China Fisheries*, 2006, 6: 8—10 [崔禾, 何建湘, 郑维中. 我国鲟鱼产业现状分析及发展建议. 中国水产, 2006, 6: 8—10]

[2] Zeng X, Dong H W, Zhou Z Y. Experiments in incubation of fertilized eggs and rearing of the fry paddlefish (*Polyodon spathula*) [J]. *Inland Fisheries*, 2006, 7: 9 [曾幸, 董宏伟, 邹作宇. 匙吻鲟受精卵孵化及仔稚鱼养殖试验. 内陆水产, 2006, 7: 9]

[3] Dai X J, Shao Q J, Xu X J, et al. Techniques in incubation of fertilized eggs and fry rearing of paddlefish (*Polyodon spathula* Walbaum) [J]. *Freshwater Fisheries*, 2003, 33 (1): 44—45 [戴贤君, 邵庆均, 徐旭江, 等. 匙吻鲟受精卵的孵化及仔稚鱼培育技术. 淡水渔业, 2003, 33 (1): 44—45]

[4] Kang Z P, Dong H W. Techniques in incubation of fertilized eggs and rearing of the fry paddlefish (*Polyodon spathula*) in high altitude and cold regions [J]. *Heilongjiang Fisheries*, 2007, 3: 29—31 [康志平, 董宏伟. 高寒地区匙吻鲟受精卵孵化及仔稚鱼培育技术. 黑龙江水产, 2007, 3: 29—31]

[5] Zeng X, Dong H W, Zhou Z Y, et al. The key measures of improvement on fertilized eggs hatchability and rearing of the fry paddlefish (*Polyodon spathula*) in high altitude and cold regions

- [J]. *Heilongjiang Fisheries*, 2005, 5: 7—9 [曾幸, 董宏伟, 邹作宇, 等. 高寒地区提高匙吻鲟受精卵孵化率及仔稚鱼成活率的关键措施. 黑龙江水产, 2005, 5: 7—9]
- [6] Tania Hubenova, Angel Zaikov, Penka Vasileva. Management of paddlefish fry and juveniles in Bulgarian conditions [J]. *Aquacult Int*, 2007, 15: 249—253
- [7] Liu J S, Yu Z T. The paddlefish (*Polyodon spathula*) and its fisheries in U. S. A. [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1990, 14 (1): 75—83 [刘家寿, 余志堂. 美国的匙吻鲟及其渔业. 水生生物学报, 1990, 14 (1): 75—83]
- [8] Michaletz P H, Rabeni C F, Taylor W W, et al. Feeding ecology and growth of young-of the-year paddlefish in hatchery ponds [J]. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1982, 111: 700—709
- [9] Russell T R. Biology and Life History of the Paddlefish— a Review. The Paddlefish: Status, Management and Propagation [A]. North Central Division, American Fisheries Society, Special Publication Number 7. 1986, 2—20
- [10] Ruelle R. Paddlefish (*Polyodon spathula*), growth and food of young of the year and a suggested technique for measuring length [J]. *Trans Amer Fish Soc.*, 1997, 106 (6): 609—613
- [11] Yang M S, Xiong B X, Huang X X. Observation on early development of F2 of artificial propagation of *Polyodon spathula* [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2005, 24 (4): 391—393 [杨明生, 熊邦喜, 黄孝湘. 匙吻鲟人工繁殖 F2 的早期发育. 华中农业大学学报, 2005, 24 (4): 391—393]
- [12] Zhang Z S, Huang X F. Techniques on freshwater planktons [M]. Beijing: Science Press. 1993 [章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社. 1993]
- [13] Michaletz P H, et al. Factors affecting *Daphnia* declines in paddlefish rearing ponds [J]. *The Progressive Fish-Culturist*, 1980, 45 (2): 76—80
- [14] Rudolph A Rosen, Donald C Hales. Feeding of paddlefish, *Polyodon Spathula* [C]. *Copeia*, 1981, 2: 441—455
- [15] Lin Y T, Cai Z Q. Studies on the feeding habits of the adult paddlefish *Polyodon spathula* [J]. *Reservoir Fisheries*, 2000, 20 (4): 10—11 [林永泰, 蔡志全. 匙吻鲟成鱼摄食虾的食性观察. 水利渔业, 2000, 20 (4): 10—11]
- [16] Jan A Freund, Lutz Schimansky-Geier, Beatrix Beisner, et al. Behavioral stochastic resonance: how the noise from a *Daphnia* swarm enhances individual prey capture by juvenile paddlefish [J]. *J. theor. Biol.*, 2002, 214: 71—83
- [17] Kasumyan A O. Paddlefish *Polyodon spathula* juveniles food searching behaviour evoked by natural food odour [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2007, 23 (6): 636—639
- [18] Liu J H, Chen C Q, Diao X M, et al. Study on post-embry development of quantitative characters of feeding organs in paddlefish, *Polyodon spathula* [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1998, 7 (4): 288—293 [刘建虎, 陈昌齐, 刁晓明, 等. 匙吻鲟摄食器官数量性状胚后发育研究. 上海水产大学学报, 1998, 7 (4): 288—293]