

# 鳗鲡的生活史和人工育苗技术探讨\*

黄大明

陈世群

(清华大学生物科学与技术系 北京 100084) (国家海洋局第一海洋研究所)

**摘要** 鳗鲡(*Anguilla*)是逆河降海的洄游性鱼类,一个多世纪以来,其生活史问题一直是不解之谜,早已成为一道世界名题。随着鳗鲡养殖业的发展,人们正努力探索鳗鲡的人工育苗技术。本文总结了鳗鲡的生活史、种类、分布、产卵地、人工育苗技术等问题的研究情况,并分别进行了讨论。

**关键词** 鳗鲡 生活史 种类 产卵地 人工育苗技术

近年来,由于有限的天然鳗鱼苗产量,限制了淡水饲养鳗鲡事业的迅速发展,使鳗鲡人工育苗的这道世界名题倍受关注。通过长时间的艰苦努力,我国学者认识到:(1)鳗鲡人工育苗的问题是一个非常复杂的问题。(2)鳗鱼苗过捕,鳗鱼资源破坏严重,使天然鳗鱼苗产量锐减,如此恶性循环下去,有可能使鳗鲡资源枯竭。鳗鲡为生殖洄游性鱼类,在淡水中性腺不能成熟,成年的鳗鲡要由淡水回到海洋中产卵,因此在过去很长一段时间里人们一直认为鳗鲡无雌雄之分。直到1856年,Kaup才在地中海捕到第一条鳗鱼<sup>[1]</sup>。1876年,Syrski发现了雄鳗鲡的叶状精巢<sup>[2]</sup>。1897年,意大利的Grassi和Calandrucio才首次发现了欧洲鳗鲡的卵巢<sup>[3]</sup>。鳗鲡是肉食性鱼类,嗅觉灵敏,常在夜间觅食,在淡水中喜食小鱼、虾、蟹、螺、蚬、蚌、轮虫、水生昆虫、蚯蚓及陆生动物的尸体等。一旦食物缺乏,也会弱肉强食,相互残杀。由于鳗

鲡对淡水环境和食物条件要求并不十分严格,加之许多国家有食鳗习惯,鳗鲡已经成为重要的水产养殖种类。

## 1 鳗鲡的生活史

本世纪20年代,丹麦的海洋生物学家Johannes Schmidt将欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)的生活史分为8个阶段:(1)在Sargasso海产卵、孵化,幼鱼呈透明柳叶状幼体,称柳叶鳗(*Leptocephalus*)。(2)在洋流中向陆地淡水中洄游。(3)柳叶鳗变态成为透明的稚鳗,又叫Elvers。(4)稚鳗进入陆地淡水。(5)稚鳗变态成为黄鳗。(6)黄鳗在江河湖泊中生长。(7)最

\* 清华大学生命科学与工程研究院项目和国家“八·五”攻关项目支持。

收稿日期:1996-08-21,修回日期:1996-10-31

后变态成为银鳗,发育成为雌雄成体。(8)银鳗从淡水向海洋进行生殖洄游,返回 Sargasso 海,在那里繁殖并死亡。而目前鳗鲡(*Anguilla japonica*)的全程生活史过程还不十分清楚,一些研究表明,鳗鲡在淡水中雄鳗生活 2-3 年,雌鳗生活 3-4 年。也有人认为由于饵料、环境的限制,一般 3-20 年才能达到性成熟(降海鳗鲡的性腺只达 III 期)。于秋冬季成群降海,开始生殖洄游,进入海水后性腺开始发育。到达产卵场性腺成熟后,开始产卵。目前人们还不清楚鳗鲡在自然环境中的产卵条件和过程,还没有人在海洋中发现过鳗鲡的交配、产卵和孵化过程。有人认为:鳗鲡的受精卵,随海流漂浮,孵化出白色透明的幼体。在自然界,见到最早期的鳗鲡是携带卵黄的幼体。卵黄完全吸收后幼体呈长扁形的柳叶状,即柳叶鳗。柳叶鳗随海流漂向近海,当进入沿岸河口水域时,幼体变态为透明圆柱形,称稚鳗(Elver),并伺机上溯江河进入淡水发育阶段。自海洋进入江河口水域,溯河而上,在淡水中生长。幼鳗进入淡水通常又被称为黄鳗,这段时间主要是体重与体长的增加,因此黄鳗阶段在鳗鲡的生活史中被称作营养期。据对欧洲鳗鲡的调查结果得知,在同龄中雌雄比例约为 20:1。欧洲鳗鲡的雌雄个体体长分别长到 62cm 和 40cm 时体色由黄变成银色,这时的鳗鲡被称为银鳗。在体色变化的同时,鳗鲡开始适应海水生活,生殖腺开始发育并过度到性成熟,故银鳗阶段在鳗鲡的生活史中被称作生殖期。对于向银鳗的转变来说体长因素比年龄因素更重要,雌雄都是如此<sup>[2]</sup>。由于人们从来没有发现过产完卵的亲鱼再返回原觅食生长区的现象,因此过去普遍认为鳗鲡产卵后亲鱼即死亡。但是,在实验室人们进行的人工催产研究发现,产卵后的亲鱼并不死亡,而且可以再次达到性成熟,<sup>[1,4,5,6]</sup>。

仔鳗的溯河期,日本为 10 月中旬至第 2 年 5 月下旬,盛期 1 月底至 3 月初,仔鳗体长 50-60mm 为主。5 月已有一定稚鳗,7 月底,体长达 150mm,但量少而分散。台湾 10 月中旬出现仔鳗,11 月开始捕苗,仔鳗平均体长

57.8mm,盛期 1-2 月,平均体长 57.6mm,2 月下旬,部分仔鳗带有色素,三月出现灰黑稚鳗,此时数量较少。我国广东韩江 11 月底至 12 月初见苗,2 月为最高峰;九龙江、闽江、欧江一带汛期为 12-3 月间;浙江钱塘江口、江苏、上海长江口一带汛期有 1-5 月间,高峰期在 3 月。张有为等根据我国自南向北的温度梯度差异,将我国沿海地区鳗鲡溯河期顺序区划为:(1)台粤闽南区;(2)闽北浙江区;(3)苏鲁区;(4)冀辽区;本区包括渤海湾至鸭绿江口的沿岸区,受大陆性气候的影响,具有高纬度河流的水文特点,日差较大,饵料生物贫乏,全区鳗鲡溯河期在 4-6 月之间,鳗鲡上溯量少,上溯期短暂,实际各水系为期只有一个月左右<sup>[7]</sup>。

## 2 鳗鲡的种类与分布

世界上鳗鲡属的种类究竟有多少?迄今仍有争议,这是因为鳗鲡具有奇妙的生活史和独特的生殖洄游习性,给正确的系统分类增加难度,长期以来本属在种及亚种的分类上一直处于较混乱的状态。kaup(1856)报道该属鱼类 45 种,后来 Gunther(1870)把它归并成 28 种,其后 Maxweber(1912),Schmidt(1939)通过系统发生学和地理分布学的研究,认为世界上鳗鲡属总共有 19 种和亚种,这一研究结果为多数学者所接受。全世界现在 19 种和亚种的鳗鲡中,有两种分布在大西洋,欧洲和美洲大陆各 1 种,其余 17 种分别分布于太平洋 13 种,印度洋 6 种,其中两种为这两洋的共有种,就太平洋南北两半球鳗鲡分布来看,南半球有 10 种,北半球有 5 种,赤道附近有 2 种,其中 4 种为共有种,印度洋南北两半球各分布 4 种,其中 2 种为共有种<sup>[3]</sup>。

也有学者认为:鳗鲡目,鳗鲡亚目,鳗鲡科,鳗鲡属(*Anguilla*)。全世界有 23 种,其中 21 种分布于太平洋和印度洋,两种分布在大西洋。研究较多的只有两个:欧洲鳗鲡和鳗鲡。它们的生活习性,生理生态特征都比较相近,染色体数目均为  $2n=38$ <sup>[12]</sup>,但它们的分布地区不同。

多数学者认为,我国淡水鳗鲡有 3 种,即鳗

鳗,花鳗鲡(*A. marmorata*)以及仅分布在台湾北部的台湾北部的双色鳗鲡(*A. bicolor bicolor*),根据最近研究的结果,在云南怒江发现有云纹唇鳗鲡,但分布最广的还是鳗鲡和花鳗鲡,后2种的数量极为稀少。也有学者认为,我国有鳗鲡属中的6个种,其中常见的是鳗鲡和花鳗鲡,主要区别是:鳗鲡体侧上部呈翠绿色或暗绿色,腹部白色,无花斑,脊椎骨112-119枚;花鳗鲡体背侧呈灰或灰黄色,具有很不规则的花斑,脊椎骨100-110枚。花鳗鲡主要分布在长江以南,浙江、福建、广东、海南等省比较普遍,但与鳗鲡相比,数量少,产量也低,目前仅在海南省试养。

表1 鳗鲡的种类与分布

种类	学名	分布	丰盛度
欧洲鳗鲡	<i>Anguilla anguilla</i>	大西洋	+
澳洲鳗鲡	<i>A. australis</i>	印度-太平洋	-
新澳鳗鲡	<i>A. australis schmidtii</i>	印度-太平洋	
太平洋双色鳗鲡	<i>A. bicolor pacifica</i>	印度-太平洋	
双色鳗鲡	<i>A. bicolor bicolor</i>	中国(包括台湾)	
加里曼丹鳗鲡	<i>A. borneensis</i>	印度-太平洋	
短头鳗鲡	<i>A. brevirostris</i>	中国(包括台湾)	
西时伯斯鳗鲡	<i>A. celebensis</i>	中国(包括台湾)	
大鳗鲡	<i>A. dieffenbachii</i>	印度-太平洋	
疏茎鳗鲡	<i>A. elphinstoni</i>	中国(包括台湾)	
福州鳗鲡	<i>A. fochowensis</i>	中国(包括台湾)	
内唇鳗鲡	<i>A. interioris</i>	印度-太平洋	
鳗鲡	<i>A. japonica</i>	中国(包括台湾)	+
花鳗鲡	<i>A. marmorata</i>	中国(包括台湾)	+
大口鳗鲡	<i>A. megastoma</i>	印度-太平洋	
莫桑比克鳗鲡	<i>A. mossambica</i>	印度-太平洋	+
烟纹鳗鲡	<i>A. nebulosa nebulosa</i>	中国(包括台湾)	
云纹唇鳗鲡	<i>A. nebulosa labiatus</i>	印度-太平洋	
乌耳鳗鲡	<i>A. nigricans</i>	中国(包括台湾)	
瓦鳗鲡	<i>A. obscura</i>	印度-太平洋	
东澳鳗鲡	<i>A. reinhardtii</i>	印度-太平洋	
美洲鳗鲡	<i>A. rostrata</i>	大西洋	+
中华鳗鲡	<i>A. sirenus</i>	中国(包括台湾)	

\* 为有争议种

在亚洲,鳗鲡分布于太平洋西部的沿海诸国,如中国、朝鲜、日本、菲律宾、泰国等国家。鳗鲡在我国的分布,北起鸭绿江,南至北仑河、海南岛,东起台湾省,西达长江上游的泯、沱、嘉陵及金沙江;除辽河以北,渭水的宝鸡以西,黄河的龙门以上,云南、贵州以西外,几乎遍及所

有江河湖泊。四川的深谷河川中早有发现,特别是广东、台湾、福建、浙江、江苏省及上海市分布广,因位于河口,产量高。目前,广东、福建、浙江、江苏省及上海市养鳗业迅速发展,食用鳗产量与日俱增。

### 3 鳗鲡的产卵地

鳗鲡在海洋什么地方产卵是许多鱼类学家很感兴趣的问题<sup>[8,9]</sup>。鳗鲡目(Anguilliformes)的种类,现知全世界有19科17属约600种。绝大多数在太平洋,为海产鱼类,我国约产100多种,绝大多数为海产鱼类。只有少数种类进入淡水生长,发育。淡水鳗的生殖和产卵场的问题,在公元前384-322年由博物学家Aristotle(亚里士多德)提出并研究过。最早进行科学探讨的是意大利的Grassi和Calandrecio,1856年意大利的Kaup发现一种柳叶鳗,体长约7.5cm。本世纪20年代,丹麦海洋生物学家Johannes Schmidt博士等,对欧洲鳗鲡(*A. anguilla*)的产卵场进行调查,直到1933年他死去前不久,前后花了28年时间,才把欧洲鳗鲡生活史查清。欧洲鳗鲡在河川生活6.5-8.5年,性腺发育开始趋向成熟时,进行降河生殖洄游,到达百慕大群岛附近,在400m深处生殖。百慕大群岛的东南海域,是大西洋最深和最暖的海区,欧洲鳗鲡的产卵场在大西洋西部,北纬22-30°,西经48-65°之间,曾在Sargasso海面下400m处采到体长5-7mm尚带卵黄囊的幼鳗<sup>[10]</sup>,这里是大西洋的最深处(6000-7000m),水温16-17℃,接近恒温,无浪。美洲鳗鲡(*Anguilla rostrata*)的产卵场在欧洲鳗鲡产卵场以西相距不远,在百慕达群岛东海海域。鳗鲡生殖以后,亲鳗精疲力竭,不久死亡。欧洲鳗鲡的仔鱼是被动地洄游,洄游路线很长,孵化后的仔鱼,体扁细长,透明似柳叶状称为柳叶鳗,依靠大西洋暖流漂向欧洲沿岸,约需3年才能到达沿海河口一带,在进入淡水以前发生变态,捕捞鳗苗为白仔鳗。美洲鳗鲡的仔鱼期比欧洲鳗鲡短得多,才一年。印度洋6种鳗鲡的产卵场在民大诺海沟和马达加斯加岛的东部海

域。南太平洋 6 种鳗鲡的产卵场在新几内亚西北部和塔西提岛附近海域。根据对自然环境的调查结果,人们普遍认为鳗鲡是在压力大、无光、无浪的深海水层产卵。关于鳗鲡产卵场,最早论述者是 Meek(1996),认为日本产的鳗鲡与澳大利亚产的鳗鲡同属一种,可认为其产卵场都在南太平洋的密克罗尼亚海域。Schmidt(1925)也研究了太平洋鳗鲡的产卵场,认为在北太平洋中,在接近日本热带的南方海域中层高温水是产卵场,这个海域是指黑潮。依据 Matsui(1957)的数年研究,认为产卵场在  $22^{\circ}\text{N}$  以北,水深 400-500m、水温约  $17^{\circ}\text{C}$  的深水层。以大东群岛与冲绳群岛连线为北界,西至台湾、冲绳群岛,东到大东群岛,拉撒岛包括琉球海沟在内,呈南北方向长的椭圆形海域为最可能的产卵场。1991 年 7 月报道鳗鲡的产卵场约在北纬  $10-22^{\circ}$ 、东经  $131-155^{\circ}$ 。在北纬  $14-16^{\circ}$ 、东经  $137^{\circ}$  水深约 100m 处捕到全长 10mm 叶状幼体多尾,被认为孵化后不到 2 周。另外郭河指出:仔鳗接岸以台湾西海岸为主,苗汛期,仔鳗首先出现于台湾南面的屏东县恒春的下淡水溪附近,沿高雄、台南、嘉义、云林、彰化、台中、苗栗、新竹、桃园、台北、基隆向北推移,且仔鳗数量逐渐减少。若按日本已发现的产卵场来分析,台湾东部的仔鳗捕获量应比台湾西部多,但事实上,几乎只在台湾西海岸才能捕到鳗鲡的仔鳗,而且捕获仔鳗并不受黑潮影响。所以海峡两岸的鳗鲡的仔鳗很可能是从中国南海某一海区随潮流移动向北接近台湾西海岸<sup>[9]</sup>。

随着调查深入,日本对在调查鳗鲡产卵场投入了巨额资金和人力、物力。1973 年 2、3、11、12 月,1986 年 8-10 月,重点调查了琉球海域为中心的西北太平洋及南海北部海域,1991 年 6-7 月,由东京大学海洋研究所派出专船“白风丸”号,共 6 个航次,参加人员有全国各大学及研究所 80 多人,平均每采集一尾柳叶鳗花费 2 千 5 百万日元,91 年重点调查北赤道流海域,采到了较多柳叶鳗,个体比以往采到的小。另外,1975-1981 年 2、4、8、9 月由长崎大学的多部田修利用“耕洋丸”调查船进行了五个航次

调查,均无收获。1988 年 6-7 月,鹿儿岛大学“启天丸”调查船在北赤道流海区采到了 8 尾柳叶鳗。

我国调查鳗鲡产卵场的工作主要由国家海洋局第一海洋研究所陈世群担任。1984 年 6、12 月,1985 年 1 月,1986 年 6-7 月,1987 年 7-8 月,12 月,1988 年 1 月、5-6 月、10-11 月,1989 年 4 月,10-11 月、1990 年 4-5 月、10-11 月,1991 年 10 月,11-12 月,1992 年 4、11-12 月,1993 年 1-3 月,1994 年 7 月、11 月,1995 年 11 月,共计 18 个航次,调查区域范围  $20^{\circ}-34^{\circ}\text{N}$ ,  $123^{\circ}-145^{\circ}\text{E}$ ,  $18^{\circ}-25^{\circ}\text{N}$ ,  $121^{\circ}-129^{\circ}\text{E}$ ,  $18^{\circ}-25^{\circ}\text{N}$ ,  $121^{\circ}-129^{\circ}\text{E}$ ,  $18^{\circ}\text{N}-2^{\circ}\text{S}$ ,  $154^{\circ}30'\text{E}$ , 有东海陆架区,东海黑潮区,日本黑潮区,北赤道流区,赤道区。鉴定了鳗鲡亚目卵 421 粒,变态期仔鳗 162 尾,体长为 4-267mm,共计 12 科 40 余种。其中鳗鲡科 3 种,分别为鳗鲡(*A. japonica*)、花鳗鲡(*A. marmorata*)、*Anguilla* sp.。陈世群认为:各种鳗都有各自产卵区、产卵季节和变态期仔鳗漂流路线。东海陆架区主要是蛇鳗科 Ophichthidae,海鳗科 Muraenesocidae,东海黑潮区主要是前肛鳗科 Dysommataidae,康吉鳗科 Congridae,北赤道流区主要是鳗鲡科 Anguillidae,颈鳗科 Derichthyidae。产卵场地理位置:海产鳗类是陆架区和陆架的边缘区,而进入淡水生长的鳗类降河生殖洄游,逆黑潮暖流到达北赤道流的北侧大洋产卵。

根据调查结果,花鳗产卵比鳗鲡产卵时间要早,产卵场的位置相距不远。产卵场环境条件与大西洋欧洲鳗鲡产卵场有所不同。最明显特征:大西洋产卵场在 400m 处,温度为  $16-17^{\circ}\text{C}$ ,并且在 50m 至表层出现盐度峰,表层为低盐,平均为 34.1,显然 400m 处不是鳗鲡的产卵层次。随着调查的深入,估计鳗鲡产卵场的自然条件,初孵仔鳗垂直移动层次,满足新陈代谢要求和维持生命活动的饵料,保证仔鳗消化吸收饵料,以及相应的环境条件是可以调查清楚的。

陈世群从 1984 年到 1993 年 10 年间,先后

乘“向阳红 09 号”、05 号、10 号等大型调查船, 在东海黑潮区、日本黑潮区、北赤道流海区、西北太平洋海域等, 分别在春、夏、秋、冬四季进行了 15 个航次调查, 总航程为 75900 海里 1008 个测站取样, 于 1993 年 3 月采取 80 粒鳗鲕目鱼卵, 其中 19 粒为鳗鲕卵, 分别隶属 2 细胞期和神经胚后发育期, 根据采到卵的地理位置, 确定鳗鲕产卵场在马里亚纳群岛西侧、北赤道流北侧边缘海域, 产卵场表层水温为 26.00 - 26.43℃, 表层盐度为 34.82 - 34.95。推测鳗鲕产卵对温度、盐度可能有特殊要求。1996 年 5 - 6 月我国学者黄大明和陈世群乘“向阳红 1 号”在中日副热带环流合作调查(第二航次中, 对鳗鲕部分洄游的水文资料(深度、压力、温度、氧分压、营养盐)进行分析, 认为鳗鲕卵孵化水层不可能在 40m 深, 因为其水温不到 20℃。估计在 150m 以内。或者水层深度不是鳗鲕卵孵化的主要因素。但一般认为: 鳗鲕起源于热带海洋, 其产卵场位于深海的最暖海区, 敌害最少, 有利于鳗鲕的早期发育。欧洲鳗鲕的产卵场是在 16 - 17℃ 等温线之间, 而美洲鳗鲕是在 17℃ 等温线内(400m 深处), 也是盐度最高的海区。

#### 4 鳗鲕的人工育苗技术

鳗鲕的人工育苗技术是一道世界名题。对鳗鲕催产的研究已经有一些报告。催产一般经过以下过程: 捕获降海洄游途中的鳗鲕, 在一定温度和盐度的海水中进行驯化和调整水温的同时, 使用性激素进行间断性刺激, 可以诱导雌雄鱼达性成熟, 并交配产卵。使用的激素有: 人的绒毛促性腺激素、鲤鱼脑垂体提取液、睾丸激素等。处理的方式有投喂和注射等。从目前的研究结果来看。鳗鲕的人工催产和受精技术已经基本解决<sup>[12]</sup>。1934 年, Boucher 等用孕妇尿催熟雄鳗成功。1964 年, Fontaine 首次用鲤鱼脑垂体注射使一尾 654g 雌鳗产卵。

日本对鳗鲕进行的人工繁殖试验始于 1960 年, 直到 1973 年 12 月才先后使 2 尾雌鳗成熟排卵并受精孵化出一百多尾仔鳗, 但仔鳗

在卵黄吸收完毕后全部死亡。日本的石田、石井(1970)选择体长 820 - 855mm, 体重 1045 - 1175g 的 5 尾下海雌鳗作试验。蓄养亲鳗的环境条件如下: 水深 58cm, 水循环量为每分钟 15 升, 水槽用牛皮纸遮光, 白天用荧光灯照明, 水面照度 40 伦琴, 夜间息灯, 水槽盛天然海水, 盐度 18.8‰ - 19.02‰, pH8.1 - 8.4, 水温 20℃ 左右, 催熟和催产剂由恩那霍林, 乙烯雌酚(DES), 虹鳟脑垂体和维生素 E 构成, 5 尾雌鳗于 1970 年 12 月 23 日在水槽中自然产卵, 卵径平均为 1.0358mm, 产卵水温 20℃, pH7.8, 水比重 1.024。只有 1 尾雌鳗产卵, 其余 4 尾雌鳗经注射后腹部膨大, 有的卵巢已突出体外, 但都先后死亡。山本等(1972)则以 40 尾鳗鱼作试验对象。催熟和催产剂均用鲑鱼的脑垂体。先后使两尾雌鳗产卵并受精。受精卵在 23 - 25℃ 水温中经 38 - 40 小时的孵化, 获得一批仔鳗, 仔鳗体长 3.5mm。依靠吸收卵黄取得营养, 仔鳗在卵黄吸收完后全部死亡, 总存活时间为 120h。

1975 年山本等依据成熟亲鳗, 进一步进行人工繁殖鳗鲕研究, 孵化后 4 日可达到 6.0mm, 1976 年 Vamauchi 使孵化仔鳗达到 7.0mm, 存活日期达到 14d。1979 年佐藤使孵化仔鳗达到 10.0mm, 存活日期达到 19d。目前日本的人工繁殖仔鳗存活日期达到 22d, 与我国人工繁殖水平基本相当。今后趋势采用自然生态环境条件和实验室高科技手段相结合实验方法, 人工繁殖鳗鲕, 加速育苗技术进程。我国人工繁殖鳗鲕试验和生物学研究从 70 年代初期开始, 1973 年开始进行鳗鲕的人工繁殖试验, 1974 年 5 月获得一大批仔鳗。至 1979 年, 我国人工繁殖鳗鲕的仔鳗存活时间达 19d (434h)<sup>[12]</sup>。1974 - 1978 年, 厦门水产学院王义强等进行人工繁殖鳗鲕试验, 试验用的亲鳗雌性 350 - 600g, 雄性 100 - 200g。亲鳗蓄养于水泥池中, 水池面积 10 - 100m<sup>2</sup>, 水深 0.7 - 2.1m。水源为直接抽取海水, 盐度为 23‰ - 29.8‰, 试验期间水温 14.0 - 26℃, 催熟期间水温 14.0 - 22.5℃, 催产水温 18.5 - 26℃, 孵

化水温 19 - 26℃。催熟剂用鲤鱼脑垂体和绒毛膜促性腺激素(HCG)。雌性催熟剂量为:甲组每尾雌鳊用鲤脑垂体 1mg 加 HCG 0.5mg, 两次注射的时间间隔为 15 - 20d。雄鳊催熟剂量为甲组雌鳊的一半, 不定期注射。甲组雌鳊经注射 6 - 7 次后, 5 - 10% 的个体性腺已成熟; 注射 8 - 10 次后, 85 - 90% 的个体性腺都已成熟; 极少数个体虽经多次注射。但性腺仍无反应。乙组雌鳊所用剂量较甲组高, 性腺成熟也较早。经注射 5 - 6 次, 约 20% 的个体性腺成熟; 注射 7 - 8 次后, 几乎全部成熟, 只有极少数个体注射 10 次后才成熟。催产试验时, 选取腹部膨大, 柔软的雌鳊和轻压腹部时能流出精液且遇水易化开的雄鳊作为试验对象。催产剂除用鲤鱼脑垂体混以 HCG 外, 也有的用促黄体素释放激素类似物(LHRH-A)。前者剂量与催熟相同, 后者剂量为 0.1 - 0.3mg/尾。从 1974 - 1978 年, 王义强等(1980)共催产 593 尾鳊, 产卵受精者 50 尾, 平均产卵率 8.4%, 人工催产的鳊多数在凌晨 4 时至 6 时 20 分之间产卵。这时在离水面 20 - 25cm 深处测得的光照度为 0 - 5 伦琴。产卵是在水表略下的区域进行的。产卵的百分率随水温上升而增高。根据珠江水产研究所谢刚 1992 - 1994 年对鳊胚胎发育与水温 and 盐度的关系试验, 其合适水温范围是 20 - 26℃, 临界水温上限 30℃, 下限 16℃; 胚胎发育的合适盐度范围是 15‰ - 35‰, 临界盐度上限 40‰ - 45‰, 下限 5‰ - 10‰。根据这些实验数据, 太平洋鳊自然产卵场层次应在 200m 以上水层产卵。林鼎, 林浩然等(1977)研究了下海鳊雌雄性状差异和鉴别问题, 为进行人工繁殖时准确识别和选择亲鳊奠定了基础。(1984)从组织学和细胞学的角度探讨了下海鳊人工催熟过程中的 GtH 分泌活动, 性腺发育状况和脑垂体 GtH 细胞的超微结构。研究结果表明, 人工注射的雌二醇通过正反馈作用能促进脑垂体促性腺激素(GtH)细胞的合成活动, 使脑垂体 GtH 水平显著升高。促黄体素释放激素的类似物(LHRH-A)和利血平(reserpine, RES)能促进脑垂体

GtH 细胞的分泌活动, 使血液中 GtH 含量显著升高。鲤鱼脑垂体, 人体绒毛膜促性腺激素(HCG)和 LHRH-A 三种激素混合进行多次注射能诱导雄雌鳊性腺发育成熟, 其催熟效果明显优于它们分别单独注射或鲤鱼脑垂体和 HCG 的多次注射, 表明内源和外源的促性腺激素对于诱导鳊性腺发育成熟都是重要的。对鳊脑垂体 GtH 细胞超显微结构的观察证实了这些细胞在激素性腺发育过程处于活跃的合成和分泌状态。在“七五”期间和“八五”期间, 由上海水产大学, 河北省水产研究所, 水科院珠江水产研究所, 复旦大学进行了人工繁殖鳊试验研究, 经过多年反复试验, 对亲鳊催熟、催产、孵化、得苗等方面都取得很大的进展, 并已获得数百万尾仔鳊, 仔鳊存活达到 23d。鳊受精卵的人工孵化研究已取得基本成功: 产卵温度为 21 - 22℃, 受精卵透明、为浮性、直径在 1mm 左右。每尾鳊可产卵 100 万粒左右。产卵过程都是在实验室中的水槽内进行的。产卵时雌雄亲鱼活动增加, 最后浮到上层产卵。鳊产的卵, 孵化后下沉, 随着生长再上浮。在深海中采到的幼体可能是孵化后下沉的幼体, 这些观点还有待证实。当水温在 25℃ 时, 受精后约 40h 开始孵化。刚孵化出的幼体体长约 3mm, 卵黄在孵化后约 3d 时大部分被吸收, 这时体长为 5.5mm 左右。从孵化后的第 3d 起开始摄食。从一些资料上知道: 1970 年, 日本获得孵化鳊幼体存活 17d 的记录<sup>[4]</sup>。台湾有成活 24d 的记录。我国自 1973 年开始研究, 王义强等于 1987 - 1992 年先后孵化出 54 万尾仔鳊, 仔鳊成活 22d。珠江水产研究所谢刚等正在继续探索。人工孵化鳊都是在实验室内的普通容器中进行的, 目前国内人工繁殖鳊苗成活也已达 24d。但人工鳊育苗技术问题仍是世界性难题, 至今尚无人解决<sup>[12-14]</sup>。

鳊育苗技术的研究是我国“七·五”和“八·五”的重点课题。经过数年的艰苦努力, 解决了催产和孵化问题。但是, 在孵化出 3 - 5d 时, 仔鳊大量死亡, 由几十万尾死到几十尾, 为什么在 3 - 5d 时会有如此高的死亡率? 一些学者估

计:在自然界中,仔鳎在这一时间应该发生变态,成为柳叶鳎,但在人工育苗中,并没有发生变化也不开口取食,反而大量死亡,因此最大的可能就是此时没有满足仔鳎所需的生态条件,估计这些条件与现在所提供的条件会有非常大的差别,否则不会有如此高的死亡率。那么是哪些生态条件呢?一些研究者认为:水压、开口饵料、盐度、水流、…等等。找到和解决这些问题是鳎人工育苗技术的最主要任务。

王义强认为鳎人工繁殖之所以不成功,问题在于:(1)催熟工作:按自然情况下,在太湖流域,鳎是在冬至前后集群降河入海,此时其性腺几乎不发育,入海以后经过相当长时间的洄游(可能半年以上),才能到性腺成熟。这种自然发育成熟是靠自身循序渐进地分泌促性腺激素达到催熟的。而人工繁殖则是经过几次催熟注射,以冲动式的注射剂量把它催熟,两种催熟方式对性腺发育作用显然有差别,因而很难把握性腺成熟度。虽然性腺成熟了,但受精率低,仅百分之十几,其余不是流卵不能受精,就是不产卵,雌鳎腹部膨胀而死。或者说不是过熟就是不熟。总之,尚未掌握催熟工作的规律。(2)仔鳎的发育:孵出的仔鳎绝大部分都有围心腔扩大现象,显然发育不正常,是由于实验海水(约千分之二十几)对仔鳎来说低渗,还是由于催产的受精卵不正常所致,尚未找出原因。(3)仔鳎的摄食问题:仔鳎在一个星期后,油球残留极小(0.02mm),此时完全应该进食,否则将营养不良;此时显微镜下观察仔鱼消化道有吞咽和蠕动动作,且有纤毛运动,表明此时仔鱼应该能够被动摄食;仔鱼牙齿向斜前方伸出,长而稀,说明此种牙齿是不能主动摄食的;这时仔鱼眼睛大而黑,视网膜下有明显的银光层,说明感光能力很强。以上现象说明十几天的仔鳎没用进食是不正常的,考虑到仔鳎的发育逐渐向深层下沉,所以曾用增压促其变态和摄食,但均未奏效。这是由于仔鱼发育不正常,还是未掌握其特殊生态环境和适口饵料之故,尚不能答复。(4)仔鳎的生态环境问题:因为鳎集群底栖下海,从深海几百公尺下捕到柳叶鳎,所以过去人

们认为鳎深海产卵,但鳎下海后至柳叶鳎之前的阶段,没有有关报道。自从人工出苗后,我们认为鳎是海洋表层产卵,因为其产卵行为在表层,卵有油球,是浮性卵。随着发育,油球消失而下沉,直到变态,能主动游泳才到水上层来。虽然推测如此,但必须承认:前人在深海中捕到柳叶鳎的事实,也就是柳叶鳎处于深海的事实。既然是有处于深海的阶段就有在深海高压下摄食的问题,这更加难以解决。(5)产卵场和变态问题:鳎的自然产卵场调查,多年来就是根据捕获的柳叶鳎个体大小和分布的水层判断,实则从未捕到受精卵,所以确切的产卵位置尚无定论。至于仔鳎过渡到柳叶鳎的变态阶段,在人工繁殖中至今尚未获得,而在自然条件下也未捕获到。近来有人认为孵化后5-7d就可变态为柳叶鳎。日本人进行海洋调查,认为日本鳎产卵场的确切位置是在马里亚纳群岛西海岸。并判断是正在变态的柳叶鳎阶段,但有关产卵场和变态阶段的具体报道尚未见到。据中国科学院青岛海洋研究所进行的仔鳎耳石日龄和柳叶鳎耳石日龄的研究,结合太平洋黑潮海流的流向,推断产卵位置,结论与日本人的相似。但这终究是推断。

有些学者认为目前有必要开展以下方面的研究:(1)鳎对产卵地是否有选择性?选择性机制?是开口饵料?在我国近海有产卵场分布吗?利用电子示踪技术进一步调查鳎的自然产卵场,搞清楚在自然环境中鳎卵的孵化、发育和变态所需的一系列条件。日本学者为寻找鳎的自然产卵场,已经进行了5个航次的远洋调查。我国学者陈世群发现的鳎自然产卵场(1993),是一个很好的工作基础。(2)压力试验:压力对幼鳎生长是否有影响需要通过实验证实。有人推测认为水压是关键所在,而在一般的实验室内比较难创造出相当于400m水深下的压力环境(40个大气压)。到底压力对卵的发育是否有影响尚无定论。国外的科学家在实验室内创造了可达101个大气压的高压循环水系统<sup>[15]</sup>。模拟水中的垂直压力变化工作正在进行中。(3)温度与光照的变化对产卵、孵

化、幼体生长的影响都需要有进一步的研究。造成在孵化后 3-5d, 仔鳎大量死亡的主要原因是缺乏仔鳎所需的生态条件? 还是仔鳎本身先天不足? (4) 开口饵料似乎是一个很重要的问题。鳎从孵化后的第 3 天起开始摄食。在人工孵化过程中, 可能由于没有合适的开口饵料, 仔鳎直到 20 多天仍无法进食。这一问题可能会在下垫面环境因子的研究中得到解决。或者对天然仔鳎的食性进行调查。(5) 尽管有实验证明鳎的人工繁殖条件下, 对盐度的要求并不十分严格, 但是还没有人对此做详细的研究, 这也许是导致鳎幼体不能存活的一个因素。

还有些学者建议研究工作应从以下几方面进行: 从亲鳎降河洄游到产卵场, 经历了上千海里的路程, 亲鳎依靠肝脏贮藏的营养物质和肌肉积累的脂肪, 完成繁殖前性腺的后期发育的生理机能。从产卵到受精, 孵化后的仔鳎游泳方式, 在度过短暂卵黄营养期以后, 完全改食外界食料, 以满足新陈代谢的要求和维持生命活动所需要的饵料, 保证仔鳎新陈代谢过程的进行, 并促进生长发育的保障包括饵料生物和合适的水文环境。仔鳎要经历几次变态, 迁移过程要依靠海流, 直到上溯河口的白仔鳎, 约经历一年的时间完成早期生活史的内容。在研究鳎的早期生活史中, 涉及海洋学, 海洋物理学, 海洋化学, 地理学, 海洋生物学, 鱼类学, 鱼类生理学等。(1) 选择降河洄游亲鳎, 做三级海洋环境条件模拟: 一级是陆架区的温、盐、流、营养盐, 亲鳎游动的速度、距离, 以完成陆架区洄游的过程, 观察亲鳎营养消耗和性腺发育状况。二级是亲鳎逆高温、高盐、流速大的黑潮暖流, 模拟观察亲鳎营养消耗和性腺发育状况。三级是产卵场的温、盐、流、营养盐等环境条件模拟, 观察亲鳎是否自然排卵。(2) 研究和对比: 亲鳎在模拟条件下以及光靠催产物质条件下的 GtH 分泌活动、性腺发育状况和脑垂体 GtH 细胞的超微结构是否一样。(3) 利用调查船在大洋中, 做亲鳎增减压, 层次调节渗透压的生理功能、性腺发育状况和适应大洋生理变化的研究。(4) 根

据鳎卵形态特征, 卵为浮性, 卵子以流的速度漂浮, 漂浮距离, 在特定温度、盐度进行孵化的研究。(5) 初孵仔鳎以静止方式, 头向上, 尾向下垂直在一定水层中, 在这期间, 主要依靠卵黄营养度过短暂的混合营养期所依靠环境条件研究。(6) 仔鳎卵黄吸收完后, 完全改食外界食料时, 仔鳎游泳方式进行垂直移动, 白天下降, 夜晚上升, 上下水层距离、压力、温、盐、营养盐 pH 值、含氧量、接收光照强度等保证消化吸收饵料用以营造机体的条件研究。(7) 仔鳎以集群性, 在温跃层中进行垂直移动, 经过几期变态, 使身体发育能适应流输送的成度, 进入北赤道流, 转换黑潮暖流, 然后脱离暖流后进入陆架区所依靠输送机制的研究。

我们认为: 一方面, 鳎在自然界能够生殖、繁衍后代, 说明自然界能提供其完成生活史的环境条件。调查洄游路线的大洋环境并不是难事, 那么问题集中在: 如何用自然水流将鳎催熟产卵? 只要能得到正常的卵或变态前的仔鳎, 则可以用船载水族箱或孵化装置, 沿洄游路线用深水泵提取海水或拖在船下, 解决其人工繁殖问题还是有希望的。另一方面, 由于鳎的饲养业发展迅速, 对鳎鱼苗的需求量日益增加, 造成鳎鱼严重过捕, 加上各淡水流域污染严重, 淡水鳎捕捞量增加, 使天然鳎鱼的幼苗数量持续下降, 加剧了鳎鱼苗的短缺。如继续恶性循环, 将有可能导致鳎资源的枯竭。加强研究鳎的生活史, 生态资源的分布, 各主要洄游路线, 数量分布, 成鱼与幼苗定点捕捞限量。鳎资源保护区域划分, 水上“鳎牧场”的确定。鳎资源管理和保护模式及其社会支撑体系也是非常必要的。此外, 王义强同志认为“鳎人工繁殖是一个复杂的问题, 象过去那样由各单位承担课题, 单枪匹马干, 作了彼此相似的重复性工作是不能解决问题的。有人认为, 我们国家穷, 经费少, 不可能遍地开花, 主张“重赏之下必有勇夫”的做法。我觉得这种思想是不妥的, 不科学的。经费固然是少了些, 但我们要将有限的经费用在刀刃上。从国外的一些报道看, 他们这些年积极开展基础研究, 并不急于产卵



出苗,我国在这这方面的工作做的较少。故建议领导部门认真组织一些有特点有优势的单位,包括具有学科特点和优势(基础学科、专业学科),人才特点和优势(特殊技术、先进技术),实验条件和优势(重点实验室、海洋实验室)等方面的,能够实干的单位进行分工大协作,不一定马上要求仔鳎成活多少天,而是能在几方面做出深入细致的调查,做必要的基础研究,要有针对性突破,我相信鳎人工繁殖不久定会获得成功。”

## 5 鳎资源的利用现状

近年来,养鳎国家遍及亚洲,欧洲,非洲及北美洲等地。鳎是一种名贵水产品,其肉嫩味美,蛋白质和脂肪含量丰富。我国广东、福建、浙江、江苏沿海的养鳎事业也蓬勃兴起,1994年我国鳎产量已达7万吨,居世界首位,鳎在我国已跃居水产品出口创汇第二位,达数亿美元。养鳎业崛起,带动了饮料,加工等产业及外贸出口的发展,就其经济效益,创汇,提供就业机会而言,已成为我国渔业中不可忽视的一项支柱产业。做为养鳎业的第一基础——鳎苗,长期以来完全依赖捕捞天然苗。”我国的海岸线漫长河流众多,通海河流是鳎苗溯河的主要通道,1987年,江苏省沿海产鳎苗达40t左右,价值上亿美元,我国是鳎苗的主要受益者。鳎苗价格随着市场经济的发展,逐年上升,由1993年每尾6元、9元、11元到1995年上升到18元/1尾,鳎身价贵似水中软黄金。但是由于对鳎苗的酷捕滥捞,堵截下海亲鳎导致沿海鳎苗资源急剧下降和严重衰竭。现在天然苗源的捕获量已经越来越不能满足日趋增长的市场需求。每年鳎苗生产季节,众多的小船聚集在河口作业形成鳎鱼苗“大战”,阻塞航道,给航运业带来巨大困难,还浪费大量的人力、物力,甚至造成船毁人亡事故。我国从原来每年输出几十吨鳎苗,到现在每年花巨额外汇进口几十吨鳎苗的被动局面,为保护鳎自然资源,发展我国养鳎业,因此人工育苗技术研究和开发已成为重要的问题。目前鳎鱼苗的需求量仍

趋上涨,据估算,除了天然捕获的鳎苗外,目前我国及周边国家和地区至少还有每年价值数十亿元的鳎苗需求市场。鳎人工育苗技术的研究和开发对我国渔业发展具有重要意义。并且我国开展鳎人工繁殖技术,在“七五”和“八五”期间已经有比较好的基础,经过多年反复试验,对亲鳎催熟催产、孵化、育苗等方面都取得较大的进展。鳎生活史,自然生态调查等课题在“八五”期间列为国家重点课题,经过多年大洋调查,1993年终于发现了鳎自然产卵场。

鳎又叫日本鳎、鳎鱼、河鳎、青鳎、白鳎,属温水性鱼类,主要分布于太平洋西北部,北限于北纬45°,从北海道起,日本沿岸、朝鲜西海岩和中国沿海各河流域,南限为南纬20°至越南。早在1880年,日本首次开始尝试养鳎,1894年,日本就开始养殖鳎,1926年,服部仓次郎创立鳎养殖业。目前日本消费量已超过10万吨,而养殖产量一直在4万吨以内,天然产量仅0.1万吨,大部分仍靠我国大陆和台湾省供应。本世纪70年代,在欧洲和加拿大养鳎还处于实验阶段,尽管欧洲鳎与鳎无多大差异,但从法国引到日本的欧洲玻璃鳎不象鳎那样能适应许多生态条件,特别是不耐高温,而产量极低。

我国台湾省于1923年试验养殖鳎,到1945年还处于实验阶段,1952年聘日本松井魁博士至桃园试养鳎。1957年台湾省取得初步成功,随后在竹北、驻鹿港、宜兰、台北、新苗等地迅速发展。1964年日本鳎苗大减产,台湾出口鳎苗成功。台湾养鳎产量达54054吨(t),换取外汇0.45亿美元。

我国沿海自1973年开始实验研究,在福建、广东等沿海均有试养。1977年,我国开始出口鳎苗到日本,当时仅有12t。而后我国养鳎业发展迅速,已获得池塘养鳎每公顷净产0.2t,余热温排水养鳎每公顷净产2.9t。1990年底,养鳎业在我国已跃居水产品出口创汇第二位,达9223t,创汇0.91亿美元。

1992年,鳎苗的放养量,台湾为45t,大陆

为 15t, 日本 30-40t, 其它(朝鲜、韩国、中南半岛)地区合计约 10t。而台湾每年的生产量却在 10-30t, 不得不从国内沿海和韩国进口鳗苗; 日本鳗苗的采捕量也略有欠缺, 情况与台湾相似。我国大陆鳗苗南从北仑河口, 北至鸭绿江口均有分布, 但主要分布在苏北沿海至广东一带。几个重要鳗苗产区在江苏盐城, 长江下游的江阴、南通、崇明等地, 其中盐城为鳗苗最大产区。1987 年, 江苏沿海鳗苗产量已超过 40t。

随着台湾、日本等地对鳗苗需求量的增大, 由此而引起的“鳗苗掠夺大战”在我国沿海越演越烈。1992 年厦门鳗苗的收购价为 8 元/条, 1994 年厦门达到 12-20 元/条, 1995 年初上海长江口的收购价为 16-20 元/条。年复一年的河口围捕, 使进入江河的仔鳗和进入海洋的亲鳗的数量越来越少。因此鳗鲡的人工育苗具有重大的经济价值。

近年来, 一方面由于鳗鱼出口量增大, 另一方面由于近海渔业资源衰退、主要河流污染, 滩涂、海水养殖业受病毒危害严重, 许多渔民纷纷转向鳗鱼养殖, 因此沿海养鳗业发展迅速, 同时也造成鳗鱼苗过捕, 鳗鱼苗资源濒危。现在天然苗的捕获量已经越来越不能满足日趋增长的市场需求, 由于鳗鱼苗的人工育苗问题一直是一道世界性难题, 至今尚无人解决, 因此支撑如此庞大养鳗业的鳗鱼苗要靠人工在浅海、河口一条一条的捕捞。如此不仅会造成天然鳗鱼资源的枯竭, 鳗鱼苗生存环境破坏, 而且每年众多的小船聚集在河口作业形成鳗鱼苗“大战”、阻塞航道, 给航运、航道清理带来巨大困难。通常一个小集散点的日销售量为 40 万条左右的水平。而且大部分被销往海外, 走私鳗鱼苗特别严重, 这样下去, 不过数年就会造成鳗鱼的濒危或灭绝。因此人工繁殖鳗苗技术的研究和开发已迫在眉睫。鳗鲡是洄游性鱼类, 其生活中的一段时间要在淡水中生活, 在东南亚, 我国拥有最多的淡水河流, 拥有最多的天然鳗鱼资源, 因此鳗鱼苗的人工育苗问题应该属于中国。

**致谢** 承蒙郑昌学、赵南明、倪正泉、孟凡、王亚辉、李城华等先生的热情支持, 审稿人认真细致的修改, 谨此致谢。

### 参 考 文 献

- 1 Kaup, J. J. Catalogue of apodal fish in the collection of the British Museum, London, London, Trustees of the British Museum, 1856.
- 2 Syrsko, S. Lecture on the organs of reproduction and the fecundation of fishes and especially of eels. *Rep. U. S. Commnr. Fish.*, 1876, 3: 719-734.
- 3 Grassi, B. & S. Calandrucci. Fortpflanzung und metamorphose des aales. *Allg. Fischztz.*, 1897, 22: 402-408.
- 4 Satch, H., K. Yamamoto and Hibiya. Induced spawning of the Japanese eel. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1992, 58: 825-832.
- 5 Tesch, F. W. The eel, Biology and management of Anguillid eels. London, Man and Hall, 1973.
- 6 Vollestad, L. A. and B. Jonsson. Life-history characteristics of the European eel *Anguilla - anguilla* in the IMSA River Norway. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 1986, 115(6): 864-871.
- 7 张有为, 肖真义, 张世义. 鳗鲡在我国的溯河洄游和分布. *动物学集刊*, 1981, 1: 117-121.
- 8 Bertin, L. Eels, a biological study. London, Cleaver-Hume Press Ltd.
- 9 Fontaine, M. Do all eels die after reproduction and do they necessarily spawn at sea? *C. R. Seances Acad. Sci. Ser. II Sci. Veil.* 1982, 294(16): 809-812.
- 10 Schrudet, J. The breeding places of the eel. *Philoso. Roy. Soc. London.*, ser B 1992, 211: 179-208.
- 11 Guo-buo. Approach of eel elvers to the land in Taiwan. *Aquaculture*, 1971, 10(1): 52-56.
- 12 王义强, 赵长春, 施正峰. 河鳗人工繁殖的初步研究. *水产学报*, 1980, 4(2): 147-156.
- 13 董金海, 祝 茜. 鳗鲡属鱼类研究现状及存在的若干问题探讨. *海洋科学*, 1993, 621-623.
- 14 马海飞. 鳗鲡(*Anguilla japonica*)人工育苗技术研究进展. *生物工程进展*, 1994, 14(2): 28-30.
- 15 Sebert, P. Laboratory system snabbing longterm exposure greater than ofr equal to 30 D to hydrostatic pressure less than or equal to 101 atm of fishes of other animals bereathing water. *Mar. Biol.* (Berl), 1990, 104: 164-168.