

# 潮间带大弹涂鱼产卵习性和自然受精卵孵化研究

张其永, 洪万树, 陈仕玺, 吴仁协, 王 琼

(厦门大学海洋与环境学院海洋学系, 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 从环氧树脂模型揭示了福建省福宁湾潮间带滩涂大弹涂鱼 *Boleophthalmus pectinirostris* 洞穴的整体结构。多数洞穴略呈 Y 字形, 每个洞穴有主洞口和次洞口之分。春季 5—6 月大弹涂鱼洞穴的中下部出现 1 个产卵室, 产卵室横切面的上方呈拱形, 底部平坦。潮间带滩涂产卵习性实验表明, 产卵前雄性成熟雄鱼建造产卵室, 并引诱性成熟雌鱼进入产卵室内交配产卵, 受精卵依靠粘着丝粘在产卵室的顶部和周壁。产卵后雄鱼留洞护卵。每个产卵室的受精卵总数为 3 595—4 314 粒, 平均为 3 957 粒, 平均受精率高达 99.67%, 受精卵密度为 58—114 粒· $\text{cm}^{-2}$ , 平均为 87 粒· $\text{cm}^{-2}$ 。产卵室顶部和周壁受精卵的粘着丝位于上端, 胚体位于下端, 呈倒立状态, 大多数受精卵的胚体头部朝下, 为反向卵(平均占 98.07%), 易于孵化出仔鱼。将潮间带洞穴内产卵室受精卵取回实验室, 模拟洞穴的小生境进行孵化实验。2 次模拟孵化实验结果表明, 受精卵始终全淹没于海水的平均孵化率(81.19%—82.90%)高于受精卵湿露 24h 后才全淹没于海水的平均孵化率(76.38%—79.19%)。湿露而不淹没于海水的受精卵不能孵化出仔鱼。

**关键词:** 大弹涂鱼 *Boleophthalmus pectinirostris*; 产卵室; 产卵习性; 自然受精卵; 孵化率

**中图分类号:** Q954.4; S965 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5470(2006)05-0068-06

## Spawning habits of *Boleophthalmus pectinirostris* in intertidal mudflat and hatching experiment of natural fertilized eggs

ZHANG Qi yong, HONG Wan shu, CHEN Shi xi, WU Ren xie, WANG Qiong

(Department of Oceanography, College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University;

State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** The burrow shapes of mudskipper (*Boleophthalmus pectinirostris*) in the intertidal mudflat of the Funing Bay, Fujian Province, were revealed by the models made from resin with hardener. Most burrows showed a “Y” shape, with a primary and a secondary openings. From May to June, a spawning chamber was formed in the middle bottom of the burrow. The top of the spawning chamber was vaulted and the bottom was even from transection view. Field investigation demonstrated that during spawning seasons the male built a spawning chamber inside the burrow and attracted the female to enter the spawning chamber to mate and spawn. The female left the burrow and the male stayed there to guard the fertilized eggs after spawning. The fertilized eggs adhered to the ceiling of the chamber and the walls around the chamber with filaments. The filaments were upwards and the heads of embryos were downwards. The head direction of most embryos (accounting for 98.07%) of fertilized eggs was opposite to that of the filaments. This type of egg is called opposite egg. The egg number in the chambers ranged from 3 595 to 4 314, with an average of 3 957. Average fertilization rate of eggs reached 99.67%. The density of fertilized eggs in the chamber varied from 58· $\text{cm}^{-2}$  to 114· $\text{cm}^{-2}$ , with an average of 87· $\text{cm}^{-2}$ . Fertilized eggs in the chambers were collected and incubated under the conditions imitating the burrow habitat. The results from two experiments showed that the average hatching rates (81.19% and 82.90%) of the fertilized eggs which had been submerged in seawater all the time were higher than those (76.38% and 79.19%) of the

收稿日期: 2005 11 01; 修订日期: 2006 02 23. 刘学东编辑

基金项目: 国家自然科学基金项目(40476056); 福建省重大科技项目(2003No26); 福建省科技重大专项(2004SZ01 02)

作者简介: 张其永(1927—), 男, 福建省福州市人, 教授, 主要从事海洋鱼类生物学研究。E-mail: wshong@jingxian.xmu.edu.cn

fertilized eggs which were submerged in sea water after 24h of wet exposure. The fertilized eggs which were only exposed wet but not submerged in seawater all the time could not hatch out.

**Key words:** *Boleophthalmus pectinirostris*; spawning chamber; spawning habit; naturally fertilized egg; hatching rate

大弹涂鱼 *Boleophthalmus pectinirostris* 为暖水广温广盐性两栖鱼类, 钻洞穴居于河口海岸潮间带滩涂, 其产卵习性颇为特殊, 生殖期间雌、雄鱼配对在洞穴内交配产卵受精, 受精卵在洞穴产卵室中自然孵化。道津喜卫等<sup>[1]</sup> 对日本有明海大弹涂鱼产卵习性进行了调查。Clayton 等<sup>[2]</sup> 研究了科威特滩涂薄氏大弹涂鱼 *Boleophthalmus boddarti* 的领域性和洞穴形态。Takita 等<sup>[3]</sup> 研究报道了马六甲海峡薄氏大弹涂鱼、杜氏大弹涂鱼 *B. dussumieri* 和犬齿背眼鰕虎鱼 *Oxuderces dentatus* 等背眼鰕虎鱼类的分布和栖息地。戴庆年等<sup>[4]</sup> 采用人工授精方法获得大弹涂鱼受精卵, 在不同实验环境条件下对受精卵的孵化率进行了比较研究。洪万树等<sup>[5]</sup> 用人工授精方法或者催熟后亲鱼在陶瓷管道内产卵的方法获得受精卵, 将它们分别放在塑料桶和网箱中进行孵化率比较研究, 并分析了孵化率差异的原因。蒙子宁等<sup>[6]</sup> 研究报道了不同的超声辐射时间和辐射次数对大弹涂鱼受精卵孵化的影响。本文对福建省福宁湾潮间带滩涂自然海区大弹涂鱼栖息洞穴和产卵室的形态结构、产卵习性以及产卵室内受精卵分布和受精率进行了观察研究, 并采集潮间带大弹涂鱼产卵室内的受精卵, 在模拟洞穴环境条件下研究了受精卵的孵化率, 以探讨海区潮间带大弹涂鱼自然受精卵的孵化水平, 为大弹涂鱼人工繁育和土池生态育苗提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 洞穴形态结构观察

大弹涂鱼生殖季节(5—6月)的退潮期间, 在福建省福宁湾潮间带高潮区滩涂现场观察大弹涂鱼洞穴的形态结构, 先观察主洞口和次洞口的形状并拍照, 然后沿着洞穴的走向挖至洞穴底部, 观察整个洞穴管道的形态和走向以及产卵室在洞穴中的位置, 另用环氧树脂和聚酰胺树脂固化剂混合(1:1)后从主洞口灌入洞穴中, 凝固后形成洞穴树脂模型, 24h后取出测量并拍照, 研究洞穴的整体结构。

### 1.2 产卵习性研究

在生殖季节观察潮间带大弹涂鱼洞穴的形态结构时也同时观察大弹涂鱼群体产卵时间和受精卵在

产卵室内的分布情况, 并将受精卵连同整个产卵室带回实验室, 测量产卵室的长、高和宽度, 以面积法计算产卵室内受精卵的数量, 以发育至原肠后的胚体计算受精率。

为了揭示大弹涂鱼的交配产卵行为, 生殖期间在福宁湾潮间带高潮区滩涂用尼龙网围成1个4m<sup>2</sup>的实验区, 清除区内的所有生物, 将滩涂面平整, 中间用一张尼龙网隔开, 将其分为2个小区, 第1小区为雌鱼区, 放养6尾性成熟的雌性大弹涂鱼; 第2小区为雄鱼区, 放养6尾性成熟的雄性大弹涂鱼。放养5d后在第1小区和第2小区内分别见到6个大弹涂鱼主洞口, 然后将实验区中间的那张隔离尼龙网取走, 让性成熟雌、雄鱼自由求偶交配产卵, 10d后挖洞观察其交配产卵情况。

### 1.3 自然受精卵孵化实验

每次用于孵化实验的大弹涂鱼自然受精卵取自潮间带同一个洞穴产卵室, 开始实验时胚体已发育到血液循环期(受精后1d2h)。将产卵室粉砂质黏土连同受精卵一起切成1cm×1.5cm方块, 然后分别将其粘附在人造海绵板表面, 将粘有受精卵的人造海绵板倒放在600ml烧杯口上(图1)。自然受精卵孵化实验共进行2次, 每次实验分4组, 每组均设6个平行组( $n=6$ )。自然受精卵孵化实验期间模拟洞穴黑暗环境, 实验室昼夜均保持黑暗, 以数字照度计(Model LX-1330, 日本生产)测定照度。依据洪万树等<sup>[7]</sup> 鉴定大弹涂鱼胚胎发育期。孵化实验所得数据表示为平均值±标准误差。经单因素方差分析, 检验样品之间的差异显著性, 当 $p <$

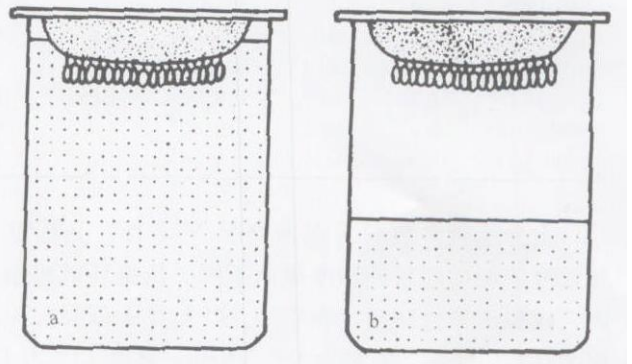


图1 大弹涂鱼自然受精卵孵化方式

a. 倒立、全淹没于海水; b. 倒立、湿露, 不淹没于海水

Fig 1 Indoor hatching pattern of naturally

fertilized eggs of *Boleophthalmus pectinirostris*

0.05 时, 认为差异性显著;  $p < 0.01$  时, 认为差异性极显著。采用的分析软件为 SPSS 11.0。

## 2 结果

### 2.1 大弹涂鱼洞穴及其产卵室的形态结构

大弹涂鱼洞穴为粉砂质黏土结构。每个洞穴有 2 个拟圆形的洞口, 其中一个是大弹涂鱼进出的主

洞口, 其周围常有大弹涂鱼胸鳍爬过的痕迹; 另一个是畅通水流和空气的次洞口, 有时被薄层泥土盖住(图 2a, b)。主洞口长径为 2.5—4.2cm, 短径为 1.6—3.0cm。次洞口长径为 2.1—3.5cm, 短径为 1.4—2.2cm。主洞口的长、短径平均值分别为 2.9 和 2.0cm; 次洞口分别为 2.7 和 1.7cm。主洞口与次洞口的间距为 11—23cm(表 1)。

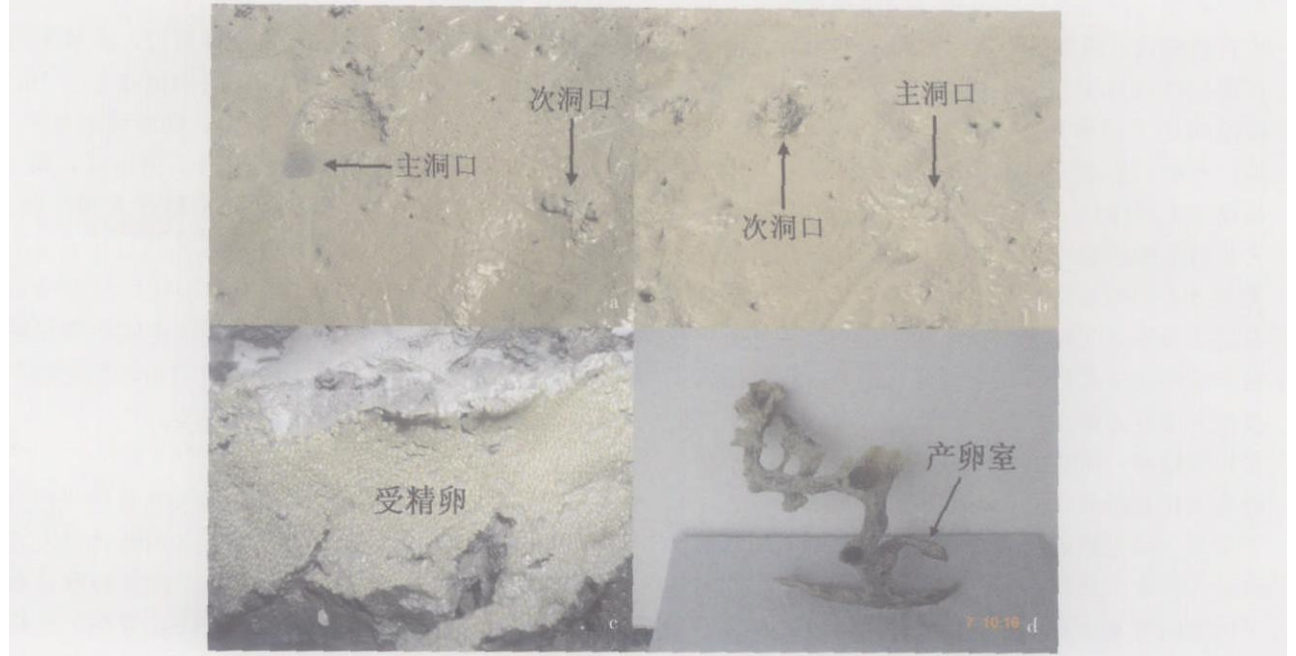


图 2 大弹涂鱼洞穴结构和产卵室内的受精卵

1. 主洞口开放; 2. 主洞口封闭; 3. 产卵室顶部的受精卵; 4. 洞穴树脂模型, 示产卵室

Fig. 2 Burrow structure and fertilized eggs in spawning chamber of *Boleophthalmus pectinirostris*

表 1 大弹涂鱼洞穴树脂模型的测量

单位: cm

Tab 1 Burrow measurements of *Boleophthalmus pectinirostris* by resin model

Unit: cm

日期	洞 穴		主 洞 口		次 洞 口		洞口间距	产 卵 室		
	深度	宽度	长径	短径	长径	短径		长度	高度	宽度
2002 10 21	30.0	35.0	2.5	2.0	3.0	1.8	17.0	空白	空白	空白
2002 10 24	22.0	19.0	2.5	1.5	2.5	1.4	17.5	空白	空白	空白
2002 10 24	21.0	36.0	2.5	1.7	3.0	1.5	14.0	空白	空白	空白
2002 10 29	44.0	56.0	2.5	1.6	3.0	1.5	17.0	空白	空白	空白
2002 10 29	11.0	30.0	2.8	2.0	3.5	2.2	23.0	空白	空白	空白
2003 05 19	35.5	50.0	2.7	1.9	2.5	1.9	20.0	14.0	2.4	3.8
2003 05 19	50.0	60.0	3.6	2.4	2.2	1.6	22.0	10.0	2.0	3.5
2003 05 19	13.0	76.0	4.2	3.0	2.1	1.9	11.0	14.0	3.5	4.5

大弹涂鱼多数洞穴剖面略呈 Y 字形, 其深度和宽度依泥层的软硬和厚薄而不同。依据环氧树脂洞穴模型的测量结果, 春季(5 月)大弹涂鱼洞穴深度为 13—50cm, 宽度为 50—76cm; 秋季(10 月)洞穴深度为 11—44cm, 宽度为 19—56cm(表 1)。春季洞穴的深度和宽度平均值(分别为 32.8 和 62.0cm)均大于秋季(分别为 25.6 和 35.2cm)。

从表 1 可以看出春季(5 月)大弹涂鱼洞穴内出现 1 个产卵室, 秋季(10 月)则无产卵室。环氧树脂洞穴模型中的产卵室位于洞穴中下部(图 2d), 产卵室的入口处较低, 末端较高, 向上倾斜  $10^{\circ}$ — $15^{\circ}$ , 产卵室长度为 10.0—14.0cm, 高度为 2.0—3.5cm, 宽度为 3.5—4.5cm。现场实测粉砂质黏土结构的产卵室长度为 14.0cm, 高度为 3.8cm,

宽度为 6.5cm。产卵室横切面的上方呈拱形, 底部平坦。

### 2.2 大弹涂鱼产卵习性及其产卵室内的受精卵

潮间带现场多次调查观察发现, 在非生殖季节大弹涂鱼雌、雄分居于各自的洞穴内, 洞穴内没有产卵室; 生殖季节洞穴内出现一个产卵室, 性成熟雌、雄鱼配对在产卵室内交配产卵受精, 产卵后雌鱼离洞, 由雄鱼留洞护卵。大弹涂鱼群体分批产卵, 每个月群体产卵 2 批次, 一般是农历初八至十三和廿三至廿八(小潮水到临近大潮水期间)。交配产卵期间洞穴的主洞口和次洞口大多封闭(图 2b)。潮间带滩涂产卵习性实验表明, 雌鱼区的 6 个洞穴内均无产卵室, 而在雄鱼区的 6 个洞穴内都有产卵室, 其中在 1 个产卵室内发现有受精卵, 1 尾雄鱼留在洞穴内护卵。本实验结果显示, 产卵前性成熟雄鱼先在其栖息的洞穴内建造产卵室, 然后引诱性成熟雌鱼进入洞穴内交配产卵。

受精卵依靠粘着丝粘附在产卵室的顶部和周壁(图 2c), 产卵室底部未见有受精卵粘着。依据面积法计数, 每个产卵室的受精卵总数为 3 595—4 314 粒, 平均为 3 957 粒, 受精率高达 98%—100%, 平均为 99.67%±0.75%(n=12)。产卵室内受精卵密度为 58—114 粒·cm<sup>-2</sup>, 平均为 87.13±14.56 粒·cm<sup>-2</sup>(n=15)。产卵室受精卵的粘着丝位于上端, 胚体位于下方, 受精卵均呈倒立状态(图 3)。倒立状态的受精卵, 其胚体有反向卵和正向卵之分: 胚体头部与粘着丝朝向相反的受精卵称为反向卵(图 3a), 其出现频率占受精卵总数的 90.91%—100.00%, 平均为 98.07%±3.33%(n=6); 胚体头部与粘着丝朝向相同的受精卵称为正向卵(图 3b), 其出现频率占 0.00%—9.09%, 平

均为 1.93%±3.33%(n=6)。

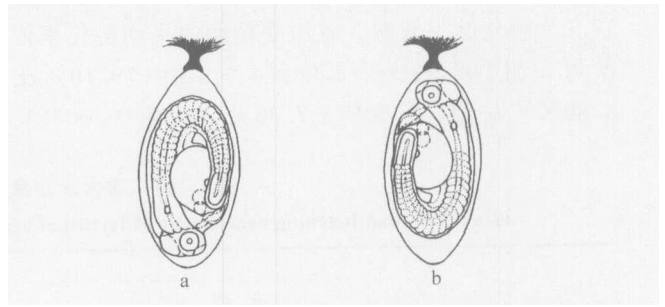


图 3 大弹涂鱼的反向卵(a)和正向卵(b)  
Fig. 3 Opposite (a) and non opposite (b) eggs of *Boleophthalmus pectinirostris*

### 2.3 第一次自然受精卵孵化实验

第一次自然受精卵孵化实验于 2005 年 6 月 3 日 16:00 开始, 6 月 7 日 17:00 结束, 历时 4d1h。实验分为 a、b、c 和 d 4 组, 受精卵均以倒立方式孵化, 即有粘着丝一端朝上。a 组的受精卵始终全淹没于海水(图 1a); b 组的受精卵淹没、湿露交替, 每天全淹没 12h, 湿露 12h; c 组的受精卵湿露 24h 后一直全淹没于海水; d 组的受精卵始终保持湿露(图 1b)。保持受精卵湿露的方法是每天早上 08:00 和傍晚 18:00 分别从人造海绵板上方滴入少许过滤海水。受精卵在光照 20lx、水温为 20.4—25.2℃、盐度为 17.2 条件下孵化。孵化结果表明, 各组受精卵的平均孵化率高低依次为 a 组(81.19%±1.90%)> b 组(78.18%±3.47%)> c 组(76.38%±3.54%)> d 组(0.00%), a 组与 c 组的平均孵化率差异显著(p<0.05)。d 组的胚体虽然能够正常发育到孵出期, 但因受精卵孵化实验期间始终未被海水淹没, 所以仔鱼无法孵出(表 2)。

表 2 第一次大弹涂鱼自然受精卵孵化实验(n=6)

Tab 2 First hatching experiment of fertilized eggs from burrow of *Boleophthalmus pectinirostris* (n=6)

	实验组			
	a 组	b 组	c 组	d 组
受精卵胚体 / 个	42 - 93	37 - 66	35 - 51	39 - 71
孵出仔鱼 / 尾	34 - 76	29 - 51	27 - 42	0
未孵出胚体 / 个	8 - 17	8 - 15	8 - 12	39 - 71
孵化率 / %	78.57 - 84.21	72.09 - 82.76	70.73 - 82.35	0
平均孵化率 / %	81.19±1.90 <sup>bc</sup>	78.18±3.47 <sup>ab</sup>	76.38±3.54 <sup>a</sup>	0

注: a 组为倒立、全淹没于海水; b 组为倒立、淹没、湿露交替, 每天淹没 12h, 湿露 12h; c 组为倒立、湿露 24h 后一直全淹没于海水; d 组为倒立、始终保持湿露, 不淹没于海水。平均孵化率(%)= 平均值±标准误差; 同一行具不同上标的数值为差异显著(p<0.05)。各实验组自然受精卵的样品数 n=6。

### 2.4 第二次自然受精卵孵化实验

大弹涂鱼第一次自然受精卵孵化实验于 2005 年 6 月 7 日 20:00 开始, 6 月 12 日 08:00 结束, 历时 4d12h。实验分为 a、b、c 和 d 4 组, 受精卵

以倒立方式孵化。a 组的受精卵始终全淹没于海水(图 1a), b 组的受精卵湿露 24h 后一直全淹没于海水, c 组的受精卵湿露 48h 后一直全淹没于海水, d 组的受精卵始终保持湿露(图 1b)。实验期间照度

为 20Lx, 孵化水温 23.1—28.8℃, 孵化盐度为 17.2。孵化结果表明, 各组受精卵的平均孵化率依次为 a 组(82.90%±4.60%)> b 组(79.19%±6.89%)> c 组(69.50%±7.33%)> d 组(0.00%)。

表 3 第二次大弹涂鱼自然受精卵孵化实验 (n=6)

Tab 3 Second hatching experiment of fertilized eggs from burrow of *Boleophthalmus pectinirostris* (n=6)

	实 验 组			
	a 组	b 组	c 组	d 组
受精卵胚体 / 个	105 - 153	69 - 115	70 - 91	81 - 117
孵出仔鱼 / 尾	81 - 134	58 - 96	44 - 72	0
未孵出胚体 / 个	19 - 24	11 - 32	19 - 26	81 - 117
孵化率 / %	77.14 - 88.50	65.59 - 84.06	62.86 - 79.12	0
平均孵化率 / %	82.90±4.60 <sup>bc</sup>	79.19±6.89 <sup>ab</sup>	69.50±7.33 <sup>a</sup>	0.00

注: a 组为倒立、全淹没于海水; b 组为倒立、湿露 24h 后全淹没于海水; c 组为倒立、湿露 48h 后全淹没于海水; d 组为倒立、始终保持湿露, 不淹没于海水。平均孵化率(%)=平均值±标准误; 同一行具不同上标的数值为差异性显著( $p < 0.05$ )。各实验组自然受精卵的样品数  $n=6$ 。

### 3 讨 论

大弹涂鱼是潮间带洞穴内雌雄配对产卵鱼类, 其生殖行为可能与性信息素的作用有关。已有研究证实, 大弹涂鱼雄鱼精巢液和贮精囊液、雌鱼的卵巢液中均含有性信息素, 性成熟时雄鱼和雌鱼分别释放性信息素吸引对方, 引起配对产卵的生殖行为<sup>[8,9]</sup>。雄鱼吸引雌鱼到其洞穴内交配产卵, 是潮间带滩涂鱼类一种比较常见的生殖产卵行为<sup>[10]</sup>。

大弹涂鱼雄鱼的精液量少<sup>[11]</sup>, 但产卵室内成熟卵的受精率却很高(平均高达 99.67%)。这可能是由于产卵室的体积小, 精子的密度相对大, 产卵室内水体处于相对静止状态, 而且大弹涂鱼精子的寿命很长(80—90min)<sup>[11]</sup>, 使得成熟卵子能够充分受精。大弹涂鱼洞穴产卵室内受精卵的高孵化率是经过长期自然选择形成的结果, 洞穴环境黑暗, 产卵室中的受精卵呈倒立状态, 大多数反向卵(平均占 98.07%)的胚体头部朝下, 有利于仔鱼孵出。本研究模拟潮间带大弹涂鱼受精卵孵化时所处的状态以及洞穴内昼夜黑暗的环境进行自然受精卵人工孵化实验, 平均孵化率达到 82.90%, 如果受精卵始终都在自然海区洞穴产卵室内孵化, 其孵化率还会更高。戴庆年等<sup>[4]</sup>采用人工授精方法获得大弹涂鱼脱粘的受精卵(呈游离状态), 在黑暗或光亮的环境中进行孵化率对比实验, 结果是黑暗环境中的孵化率(52.25%)高于光亮环境中的孵化率(26.25%)。洪万树等<sup>[5]</sup>将粘着在陶瓷管道内的大弹涂鱼受精卵分别置于网箱内和塑料桶内, 在自然光照下孵化, 结果表明网箱内的孵化率为 5.9%—25.2%, 塑料桶内的孵化率为 33.6%—76.3%。

a 组与 c 组的平均孵化率差异显著( $p < 0.05$ )(表 3)。由此可见, 受精卵全淹没于海水以前, 如果湿露时间太长, 其平均孵化率会降低。

比较大弹涂鱼受精卵的几种不同孵化方式可以看出, 黑暗环境条件、自然成熟的受精卵、受精卵粘着并且倒立是高孵化率的重要条件。

自然海区大弹涂鱼受精卵孵化前正处于小潮水, 产卵室内无海水, 但潮间带湿地的海水能通过粉砂质黏土层的渗滤使产卵室内受精卵的表面始终保持湿润和洁净, 保证了胚体的正常发育。临近大潮水时, 海水进入中、高潮区的洞穴产卵室内, 使孵化期的胚体能及时孵出仔鱼。可见自然海区大弹涂鱼受精卵在孵化前需要湿露一段时间。本研究 2 次孵化实验的受精卵均采用发育到血液循环期的自然受精卵, 这些受精卵在进行孵化实验以前就已在潮间带产卵室内湿露了大约 1d2h。在 2 次受精卵孵化实验中, a 组受精卵的孵化条件与潮间带自然受精卵的孵化条件近似, 因此 2 次孵化实验结果都是 a 组的平均孵化率最高, 分别为 81.19%和 82.90%。本孵化实验所使用的人造海绵板, 其渗滤海水的性能和湿润受精卵作用还是不如潮间带粉砂质黏土, 这可能是自然受精卵在室内模拟孵化实验的孵化率低于自然海区潮间带滩涂洞穴产卵室内受精卵孵化率的原因之一。

### 参考文献:

- [1] 道津喜卫, 中野昌次. ムツブロウの増・养殖に関する研究—I 产卵习性・催熟による采卵 [R]. 昭和 59 年度科学研究费补助金(一般 B)研究成果报告书, 1985, 1—13.
- [2] CLAYTON D A, VAUGHAN T C. Territorial acquisition in the mudkipper *Boleophthalmus boddarti* (Teleostei: Go biidae) on the mudflats of Kuwait [J]. J Zool, 1986, 209: 501—519.
- [3] TAKITA T, AGUSNIMAR, ALI A B. Distribution and

- habitat requirements of oxudercine gobies (Gobiidae: Oxudercinae) along the Straits of Malacca [ J ]. *Ichthyol Res*, 1999, 46(2): 131—138.
- [ 4 ] 戴庆年, 张其永, 胡建兴. 大弹涂鱼孵化率研究[ J ]. 福建水产, 1993, (2): 1—3.
- [ 5 ] 洪万树, 张其永, 黄富钦. 大弹涂鱼受精卵孵化技术[ J ]. 厦门大学学报(自然科学版), 2000, 39(2): 241—246.
- [ 6 ] 蒙子宁, 洪万树, 王清池, 等. 超声波对4种海水鱼类受精卵孵化的影响[ J ]. 厦门大学学报(自然科学版), 2001, 40(3): 832—834.
- [ 7 ] 洪万树, 戴庆年, 张其永, 等. 大弹涂鱼的早期发育研究[ J ]. 热带海洋, 1988, (2): 1—8.
- [ 8 ] 赵卫红, 洪万树, 吴鼎勋, 等. 性外激素诱导大弹涂鱼成熟和产卵[ J ]. 台湾海峡, 2002, 21(3): 284—291.
- [ 9 ] 赵卫红, 洪万树, 张其永, 等. 中华乌塘鳢 (*Bostrichthys sinensis*) 和大弹涂鱼 (*Boleophthalmus pectinirostris*) 成熟产卵过程中  $17\alpha$  羟基孕酮和前列腺素水平的研究[ J ]. 海洋与湖沼, 2004, 35(1): 69—73.
- [ 10 ] GIBSON R N. Recent studies on the biology of intertidal fishes[ J ]. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev*, 1982, 20: 363—414.
- [ 11 ] 洪万树, 张其永, 周东晨. 四种海产经济鱼类精子的生理特性和环境因子的关系[ J ]. 海洋科学, 1997, (3): 64—65.