

# 短蛸(*Octopus ocellatus*)胚胎发育生物学 零度和有效积温的研究\*

董根<sup>1,2</sup> 杨建敏<sup>2</sup> 王卫军<sup>2</sup> 郑小东<sup>1</sup> 宋向军<sup>2</sup>  
冯艳微<sup>2</sup> 韦秀梅<sup>2</sup> 孙国华<sup>2</sup>

(1. 中国海洋大学水产学院 青岛 266003; 2. 山东省海洋水产研究所 山东省海洋生态修复重点实验室 烟台 264006)

**摘要** 本研究通过对短蛸(*Octopus ocellatus*)受精卵室内控温孵化实验, 并采用直线回归、Sine 模型模拟等数理统计学方法, 研究其发育的生物学零度( $C$ )、有效积温( $K$ )、胚胎发育的温度系数( $Q_{10}$ )和胚胎发育时期( $T_s$ )与生长积温( $K$ )的相关性。结果表明, 短蛸受精卵发育的生物学零度为  $5.15^{\circ}\text{C}$ , 受精卵发育到初孵幼体的有效积温为  $589.45^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , 胚胎发育最适温度范围为  $19.46\text{—}23.06^{\circ}\text{C}$ 。利用 Sine 模型计算出的各温度下胚胎发育积温模拟值, 与实际有效积温无显著差异。在不同温度条件下, 短蛸胚胎发育至各个时期的生长积温需求总量是一致的, 胚胎发育阶段所处时期( $T_s$ )和生长积温( $K$ )呈线性函数关系:  $K = 26.72T_s + 55.34$  ( $R^2 = 0.996$ )。本研究获得了关于短蛸胚胎发育生物学零度和生长积温的相关信息, 为短蛸人工育苗、渔业资源管理等提供有力的理论支持; Sine 模型作为一种有效的积温模拟估算方法可为其它海洋生物胚胎发育研究提供借鉴。

**关键词** 短蛸; 胚胎发育; 生物学零度; 有效积温

**中图分类号** Q955

短蛸(*Octopus ocellatus*), 俗称饭蛸、坐蛸、短腿蛸、小蛸(山东名)、短爪蛸、四眼鸟(广东名), 属软体动物头足纲(Cephalopoda)、八腕目(Octopoda)、蛸科(Octopodidae)、蛸属(*Octopus*), 广泛分布于西太平洋沿岸, 在我国南北沿海及日本群岛海域均有分布, 是我国北部沿海蛸类中最重要的经济物种之一, 仅黄、渤海沿岸年渔获量超过数百吨(董正之, 1988)。短蛸生活史一般为一年, 生长迅速, 是优良的池塘养殖和浅海增殖品种。

近年来, 随着市场消费和出口需求的不断增长, 对短蛸渔业捕捞强度的加大, 使得自然资源正面临着严重衰退。因此, 开展短蛸繁育生物学研究, 对提高人工繁育技术, 恢复自然资源以及满足市场需求意义重大。我国学者积极开展短蛸的养殖和繁育技术相关工作: 王卫军等(2009, 2010)对短蛸的繁殖行为

和胚胎发育过程、幼体同类相残现象进行了研究; 张学舒(2002)在人工环境下观察了短蛸的繁殖行为和胚胎发生; Yang 等(2011)详细描述了短蛸精英的超微结构, 但是关于环境因子对短蛸胚胎发育影响的研究仍然较少。

海洋无脊椎动物的受精卵需要温度达到一定值时才能够开始发育和生长, 这个值在生物学中称为发育阈温度或生物学零度, 但仅仅温度达到所需尚不足以完成整个胚胎发育和生长, 还需要一定温度和时间的结合, 即需要一定的总热量, 称为总积温或有效积温。有效积温法则是温度与海洋无脊椎动物发育关系中最普遍的规律之一, 在贻贝、西施舌上等已进行相关研究(何义朝等, 1986; 刘德经等, 2003), 但关于短蛸的研究尚未见报道。本文旨在探讨短蛸受精卵发育生物学零度及其发育至初孵幼体的有效积温,

\* 国家自然科学基金项目资助, 31272643 号; 烟台市科技发展计划项目资助, 2011068 号; 水生动物营养与饲料“泰山学者”岗位资助。董根, 硕士研究生, E-mail: talentdg@163.com

通讯作者: 杨建敏, 博士, 研究员, E-mail: ladderup@126.com

收稿日期: 2012-02-17, 收修改稿日期: 2012-04-25

深入认识其繁育习性, 为人工育苗生产、渔业管理提供理论支持, 从而实现受精卵孵化的人工预报。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验用短蛸(*Octopus ocellatus*)亲体于 2011 年 4 月在山东日照近海采捕, 运输至山东省海洋水产研究所东营养殖实验基地进行室内暂养和产卵孵化, 共约 400 只, 体重范围 95—115g, 胴长 6—7cm。暂养 20d 后, 亲体于同一天产卵, 产卵量为 300—500 粒/只。

### 1.2 实验设计

实验分为 A、B、C、D 四个实验组, 设定水温分别为自然水温(14—22℃)和 21℃、23℃、25℃, 由加热棒(220V, 50Hz, 北京金通名佳水族厂)设定温度并控温。实验在 150cm×60cm×50cm 的白色塑料箱中进行, 每日早、中、晚记录温度。每个实验组中放置三个产卵亲体, 投放陶罐作为遮蔽物, 投喂杂蟹、菲律宾蛤仔等饵料。受精卵产于陶罐并由雌蛸看护, 自然条件下孵化通常需要 40—55d (董正之, 1988), 每日肉眼观察其胚胎发育状况, 每隔 5d 取 5—8 粒/只在显微镜下进行观察。实验用水为自然海水, 经沉淀砂滤, 盐度 28—32, pH 7.8—8.1, 孵化过程微充气, 使水体中溶解氧保持在 5mg/L 以上, 氨氮含量在 0.2mg/L 以下, 每日换水 2 次, 换水量为 1/3—1/2。

### 1.3 胚胎发育生物学零度和受精卵发育出膜的有效积温推算方法

运用有效积温法则:  $K = N(T - C)$  (其中  $K$  为有效积温、 $N$  为发育所需时间、 $T$  为生境温度值、 $C$  为生物学零度), 及直线回归方法(邬祥光, 1963), 计算出短蛸胚胎发育生物学零度、受精卵发育至幼体孵化破膜的有效积温(℃·d)。计算公式如下:

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

式中,  $V = 1/N$ ;  $n$  为数据组数。

### 1.4 利用 Sine 模型计算有效积温

Single Sine 计算方法参照吕昭智等(2005)。本实验中 Single Sine 法是将每天温度变化作为一个阶段, 采用正弦函数拟合计算和分析生长积温的方法, 参与计算参数有生物发育起点温度  $T_L$ 、生物发育上限温度  $T_U$  和每天最高气温  $T_{max}$  和最低气温  $T_{min}$ 。依据

$T_{max}$ 、 $T_{min}$  和  $T_U$ 、 $T_L$  的关系, 计算公式如下:

当条件限定为  $T_U < T_{max}$ ,  $T_L < T_{min}$  时, 计算公式为:

$$DD = \frac{1}{\pi} \left\{ \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_L \right) \left( \theta_2 + \frac{\pi}{2} \right) + (T_U - T_L) \left( \frac{\pi}{2} - \theta_2 \right) - [\alpha \cos(\theta_2)] \right\}$$

其中,  $\theta_2 = \sin^{-1} \frac{\left( T_U - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right)}{\alpha}$ ,  $\alpha = \frac{T_{max} - T_{min}}{2}$ ,  $\pi$  为 3.14,  $DD$  为生长积温, 下同。

当条件限定为  $T_U < T_{max}$ ,  $T_L > T_{min}$  时, 计算公式为:

$$DD = \frac{1}{\pi} \left\{ \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_L \right) (\theta_2 - \theta_1) + (T_U - T_L) \left( \frac{\pi}{2} - \theta_2 \right) + \alpha [\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)] \right\}$$

其中,  $\theta_1 = \sin^{-1} \frac{\left( T_L - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right)}{\alpha}$ ,

$$\theta_2 = \sin^{-1} \frac{\left( T_U - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right)}{\alpha}.$$

当条件限定为  $T_U > T_{max}$ ,  $T_L < T_{min}$  时, 计算公式为:  $DD = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_L$

当条件限定为  $T_U < T_{min}$  时, 计算公式为:  $DD = (T_U - T_L)$

当条件限定为  $T_L > T_{max}$  时, 计算公式为:  $DD = 0$

当条件限定为  $T_U > T_{max}$ ,  $T_L > T_{min}$  时, 计算公式为:

$$DD = \frac{1}{\pi} \left\{ \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_L \right) \left( \frac{\pi}{2} - \theta_1 \right) + [\alpha \cos(\theta_1)] \right\}$$

其中,  $\theta_1 = \sin^{-1} \frac{\left( T_L - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right)}{\alpha}$ 。

计算采用美国加尼佛尼州立大学 Degree-day Utility (DDU DOS 版本 2.3) 软件, 采用 Single Sine 模型, 在 DDU 软件下计算短蛸生长积温。

### 1.5 胚胎发育的温度系数( $Q_{10}$ )计算

$$Q_{10} = \left( \frac{H_0}{H_a} \right)^{\frac{10}{(T_a - T_0)}}$$

式中,  $Q_{10}$  值代表温度每升高  $10^{\circ}\text{C}$  时胚胎发育速度加快的倍数,  $H_0$  和  $H_a$  分别表示温度  $T_0$  和  $T_a$  时的孵化时间(谢仰杰等, 2001)。

## 2 结果

### 2.1 不同温度下幼体孵化出苗所需时间

在四组实验中, A、B、C、D 组平均值分别为 19.46、21.12、23.06、25.93 $^{\circ}\text{C}$ ; 受精卵发育至幼体孵化出膜时间(d), 在 A、B、C、D 四组中分别为 41.00、37.67、31.67、29.00d(表 1)。

### 2.2 受精卵发育的生物学零度及受精卵发育出膜的有效积温推算

将表 1 数据代入上述计算公式, 求受精卵发育生物学零度( $C$ )及受精卵发育至幼体的有效积温( $K$ )

值, 得:

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2} = 5.15^{\circ}\text{C}$$

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2} = 589.45^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$$

理论上得出短蛸受精卵发育至初孵幼体的有效积温为  $589.45^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ , 胚胎发育的生物学零度为  $5.15^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.3 Sine 法计算生长积温

通过 DDU 软件计算生长积温, 生长温度下限  $T_L$  为生物学零度  $5.15^{\circ}\text{C}$ , 生长温度上限  $T_U$  根据张学舒(2002)的相关研究设为  $28^{\circ}\text{C}$ , 结果如表 2 所示。各温度条件下胚胎发育有效积温的实测结果与理论模拟值( $589.45^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ )差异并不明显( $t=0.010, P>0.05$ )。

表 1 短蛸卵子发育至初孵幼体的数据统计

Tab.1 Data of *O. ocellatus* eggs developed to hatchlings

组别	平均孵化时间(d)	平均温度( $^{\circ}\text{C}$ )	$V(1/N)$	$VT$	$V^2$
A	41.00	19.46 $\pm$ 2.34	0.024	0.475	0.00060
B	37.67	21.12 $\pm$ 0.95	0.027	0.561	0.00071
C	31.67	23.06 $\pm$ 0.18	0.031	0.728	0.00099
D	29.00	25.93 $\pm$ 0.44	0.035	0.894	0.00119
	139.34	89.57	0.117	2.658	0.00349

表 2 利用 Sine 法各温度条件下的短蛸受精卵孵化有效积温  
Tab.2 Effective accumulated temperature for embryonic development of *O. ocellatus* at different temperature by using Sine method

温度( $^{\circ}\text{C}$ )	孵化时间(d)	Sine 模型有效积温( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ )
19.46 $\pm$ 2.34	41.00	586.6
21.12 $\pm$ 0.95	37.67	605.1
23.06 $\pm$ 0.18	31.67	573.0
25.93 $\pm$ 0.44	29.00	602.6

### 2.4 胚胎发育过程中生长积温的积累

胚胎发育过程中生长积温与时间的关系如图 1 所示。由图 1 可知, 受精卵在不同温度下发育到相应的生长阶段所积累的生长积温基本处于同一水平线上, 说明受精卵发育至各个阶段所需的生长积温是一致的。

短蛸从受精卵发育至各代表阶段所需的平均生长积温见表 3, 利用线性拟合的方法分析, 发育阶段所处时期( $T_s$ )和生长积温( $K$ )呈线性函数关系:  $K = 26.72T_s + 55.34 (R^2 = 0.996)$ 。

### 2.5 胚胎发育温度系数( $Q_{10}$ )

理论上采用胚胎发育速度的  $Q_{10}$  来定量表示某一

温度范围内温度变化对胚胎发育速度的影响。一般认为, 当  $Q_{10}$  在 2 附近时, 这一温度范围就是胚胎发育的最适温度范围(谢仰杰等, 1996)。短蛸胚胎发育的  $Q_{10}$  在  $19.46\text{—}23.06^{\circ}\text{C}$  的范围内为 2.05, 最接近于 2, 可推测是胚胎发育的最适温度范围(表 4)。

## 3 讨论

### 3.1 头足类胚胎发育时间的影响因素

#### 3.1.1 卵型

头足类胚胎发育时间与其卵的大小类型和地理分布有关。不同类型的卵所需发育时间不同, 孵化所需时间从无保护的小型卵如滑柔鱼(*Illex illecebrosus*)的 5—10d (O'Dor *et al.*, 1998)到大型卵黄质的卵如深海种类 *Bathypolypus arcticus* 可能会超过 1 年(Wood *et al.*, 1998; Voight *et al.*, 2000; Boletzky, 2003)。Boletzky(1977)根据卵径与亲体胴长比例将其分型, 当卵径小于亲体胴长的 10% 时, 属于小卵型, 发育较快; 当卵径大于其胴长的 12% 时, 属于大卵型, 发育较慢。本文研究结果表明短蛸受精卵在平均温度  $19.46\text{—}25.93^{\circ}\text{C}$  的条件下, 孵化天数为 29—41d。真蛸(*O. vulgaris*)的卵径比短蛸小(郑小东等, 2009), 因此

发育速度一般要快一些, 在 20.4—23.6℃条件下需要 25—35d (郑小东等, 2011); 而长蛸(*O. minor*)的卵径比短蛸大(郑小东等, 2009), 发育速度则相对慢一些, 在 24—26.5℃条件下需要约 70d (钱耀森, 2009)。

**3.1.2 温度** 温度是影响蛸类胚胎发育周期的关键因素之一。在适温范围内, 通常与胚胎发育的时间呈反比例关系(Neaf, 1928), 如真蛸孵化水温平均 17℃ (14—19℃), 需要 80—87d; 平均 18.8℃ (14—23℃), 需要 65—74d; 平均 21℃ (20—22.5℃), 需要 57—65d; 22—23℃, 则缩短到 29—49d (Caverivere *et al*, 1999)。

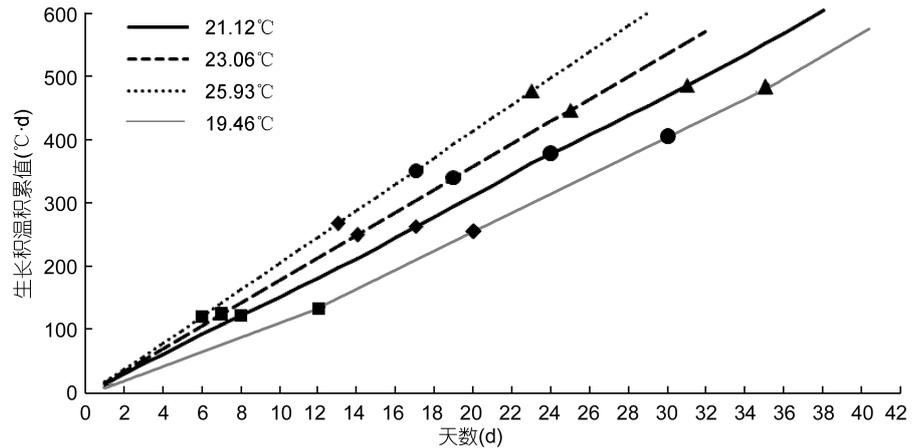


图 1 短蛸胚胎发育中的生长积温积累过程

Fig.1 The accumulation process of effective temperature in the embryonic development of *O. ocellatus*

注: 图中四种曲线分别代表四个温度下生长积温的积累过程。代表短蛸胚胎发育至期, 盘状胚出现, 卵黄上皮在未分裂的卵黄上向植物极扩散; 代表短蛸胚胎发育至期, 胚胎发生第一次翻转, 各器官原基出现并开始发育; 代表短蛸胚胎发育至期, 胚胎眼珠呈红色, 俗称“红珠期”; 代表短蛸胚胎发育至期, 胚胎眼珠呈黑色, 俗称“黑珠期”。分期根据 Naef(1928)的标准, 将短蛸胚胎发育过程划分为 20 期

表 3 短蛸胚胎发育至各代表阶段所需生长积温

Tab.3 Effective accumulated temperature for several representative embryonic development stages of *O. ocellatus*

发育阶段(期)					
生长积温(℃·d)	125.99±5.41	259.94±8.03	369.59±28.76	479.56±21.82	591.80±14.98

表 4 短蛸胚胎发育各温度范围的  $Q_{10}$

Tab.4 Temperature coefficient of embryonic development of *O. ocellatus* at different temperature ranges

温度(℃)	19.46	21.12	23.06	25.93
19.46	—	1.67	2.05	1.71
21.12	1.67	—	2.45	1.72
23.06	2.05	2.45	—	1.36
25.93	1.71	1.72	1.36	—

同时, 水温也是影响受精卵孵化质量的重要因素。本文通过  $Q_{10}$  推断得出短蛸的适宜范围为 19.46—23.06℃, 在此温度范围外, 胚胎发育停滞或者死亡。张学舒(2002)的研究获得了与本文基本一致的结果, 当环境温度在 18℃以下时, 卵子发育缓慢, 20d 左右仍未见卵质有明显变化; 而温度超过 28℃时, 孵化率明显下降, 且幼蛸出膜时间差异加大, 笔者在实验过程中观察到, 受精卵在平均水温 25.93℃条件下, 发育速度虽然加快, 但坏卵量却明显增加, 孵化率相对较低。在养殖过程中, 短蛸个体性腺成熟度并不完全一致, 且卵子分批成熟产出(王卫军等, 2010), 集中破膜产卵时期可持续 15d 左右, 这给短蛸的规模化

幼体培育带来一定难度, 因此通过在适宜范围内调控培育水温, 改变发育速度, 从而保证孵化率, 使仔稚幼体破膜时间趋于一致, 实现苗种的规模化生产。

**3.1.3 地理分布** 张学舒(2002)在研究短蛸的胚胎发育时发现, 孵化温度为 18℃时, 短蛸卵子发育至“红珠期”约 18—20d, 其记录的发育速度较快, 与本文结果以及王卫军等(2010)利用烟台近海短蛸获得的实验结果不同, 这可能与分布在不同地理环境形成的种群差异有关。依据吕振明等(2011)和张龙岗等(2009)有关中国沿海短蛸群体区域分化的分析, 本研究采集的日照群体属于北方类群, 而张学舒(2002)研究中的浙江群体属于南方类群, 南方类群可能更加适应较高水温环境, 因此发育更快, 关于南北两大类群的孵化过程差异值得在以后的研究中探讨。

### 3.2 头足类有效积温与发育分期

不同种类海洋变温动物胚胎发育的生物学零度和有效积温不同, 而且会受到亲体所处的环境温度及其生理状态的影响(刘德经等, 1998)。Sakaguchi 等(1999)通过对真蛸进行了 3 年的人工孵化实验, 确定胚胎孵化与时间的关系, 认为最低孵化温度为 11.9℃,

有效积温  $299.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  ( $Y = 0.0032X - 0.0395$ )。张建设等(2011)的研究发现,曼氏无针乌贼受精卵发育生物学零度为  $(6.48 \pm 0.44)^{\circ}\text{C}$ , 受精卵发育为初孵幼体的有效积温为  $(396.91 \pm 2.81)^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , 最适温度范围  $18.0\text{—}24.0^{\circ}\text{C}$ 。本研究得出日照海区短蛸受精卵发育的生物学零度为  $5.15^{\circ}\text{C}$ ; 胚胎从受精卵到幼体孵化出膜的有效积温为  $589.45^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

本研究发现,有效积温除了存在个体差异,还表现出与发育分期的显著线性相关。关于头足类发育过程的划分,不同学者曾给出不一的标准,Naef(1928)采取早期(I—XIII阶段)根据天数来划分,后期根据胚胎的形态特征变化来划分的方式,这个过程与短蛸各时期需要的生长积温呈  $K = 26.72T_s + 55.34$  ( $R^2 = 0.996$ )的线性关系,这种规则的对应性,是否能够作为头足类胚胎发育分期的参考标准之一,也值得探讨。

### 3.3 有效积温的计算方法

目前,国内有效积温的计算多采用日均温度减去发育起点温度获得(竺可桢等,1980),但是此方法在自然条件下有一定局限性:首先,昼夜温度变化呈曲线关系,可能一天内某一时间段的温度处于生物学零度以下,此阶段内生长积温并不能算入积累;其次,通常未考虑生长温度上限,当温度达到生长上限温度以上时,生长积温的积累要减半或者不计入内。国外采取温度模拟技术,通过计算模拟函数积分值,计算出生物发育到特定阶段的生长积温,有效避免了上述问题(Kenneth, 1983; Potter *et al*, 1983; Lindblad *et al*, 1996)。由于本实验的温度范围始终处于温度上下限之间,根据 Single Sine 法,以上述材料方法中条件的方式计算,即日均温度减去发育起点,其计算结果与国内方法所得结果一致,但由于 Sine 模型的适用性更广,生长积温的积累更加精确,此模型更适用于自然海区中的生长积温计算,更具有实际的应用价值。

### 参 考 文 献

王卫军,杨建敏,周全利等,2009.短蛸幼体同类相残行为的观察.水产养殖,30(10):14—18  
 王卫军,杨建敏,周全利等,2010.短蛸繁殖行为及胚胎发育过程.中国水产科学,17(6):1157—1165  
 吕昭智,田建华,沈佐锐等,2005.有效积温 Sine 函数拟合模型及其应用.生态学杂志,24(12):1549—1552  
 吕振明,李 焕,吴常文等,2011.基于 16S rDNA 序列的中国沿海短蛸种群遗传结构.中国水产科学,18(1):29—37  
 邬祥光,1963.昆虫生态学的常用数学分析方法.北京:农业

出版社,232—234,277—279  
 刘德经,陈杰明,1998.西施舌早期胚胎发育温度效应的研究.动物学杂志,33(2):1—3  
 刘德经,黄德尧,王家滂等,2003.西施舌胚胎发育生物学零点和有效积温的初步研究.特产研究,25(4):22—24  
 何义朝,张福绥,1986.贻贝胚胎发育的有效温度范围的变化.中国贝类学会.贝类学论文集(第二集).北京:科学出版社,89—93  
 张龙岗,杨建敏,刘相全等,2009.短蛸(*Octopus ocellatus*)四个地理群体遗传特性的 AFLP 分析.海洋与湖沼,40(6):803—807  
 张学舒,2002.人工环境中短蛸的繁殖行为和胚胎发生.浙江海洋学院学报(自然科学版),21(3):220—224  
 张建设,迟长凤,吴常文,2011.曼氏无针乌贼胚胎发育生物学零度和有效积温的研究.南方水产科学,7(3):45—49  
 竺可桢,宛敏渭,1980.物候学.北京:科学出版社,56—65  
 郑小东,刘兆胜,赵 娜等,2011.真蛸(*Octopus vulgaris*)胚胎发育及浮游期幼体生长研究.海洋与湖沼,42(2):317—323  
 郑小东,韩 松,林祥志等,2009.头足类繁殖行为学研究现状与展望.中国水产科学,16(3):459—465  
 钱耀森,王培亮,郑小东等,2009.人工繁育条件下长蛸的生物学特性及胚胎发育.中国动物学会、中国海洋湖沼学会贝类学会分会第十四次学会研讨会论文摘要汇编,27  
 董正之,1988.中国动物志 软体动物门 头足纲.北京:科学出版社,174—176  
 谢仰杰,孙帽英,1996.河川沙塘鳢的胚胎和胚后发育以及温度对胚胎发育的影响.集美大学学报(自然科学版),18(1):55—62  
 谢仰杰,翁朝红,管延华等,2001.温度对花尾胡椒鲷胚胎发育的影响.集美大学学报(自然科学版),6(2):138—143  
 Boletzky S V, 1977. Post-hatching behaviour and mode of life in cephalopods. Symposia of the Zoological Society of London, 38: 557—567  
 Boletzky S V, 2003. Biology of early life stages in cephalopod mollusks. Advances in Marine Biology, 44: 143—200  
 Caverivere A, Domain F, Diallo A, 1999. Observations on the influence of temperature on the length of embryonic development in *Octopus vulgaris* (Senegal). Aquatic Living Resources, 12(2): 151—154  
 Kenneth P P, 1983. Day-degree method for pest management. Environment Entomology, 12: 613—619  
 Lindblad M, Sigvald R, 1996. A degree-day model for the regional prediction of first occurrence of frit flies in oats in Sweden. Crop Protection, 15: 559—565  
 Naef A, 1928. Die cephalopodan (Embryologie). Fauna flora Golf Neapel, 35: 1—357  
 Potter D A, Timmons G M, 1983. Forecasting emergence and flight of the *Lilac borer* (Lepidoptera: Sessiidae) based on pheromone trapping and degree day accumulation. Environmental Entomology, 12: 400—403

- Sakaguchi H, Hamano T, Nakazono A, 1999. Relationship between incubation days and rearing temperature of *Octopus vulgaris* eggs. Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography, 63(4): 188—191
- Voight J R, Grehan A J, 2000. Egg brooding by deep-sea octopuses in the north Pacific Ocean. Biological Bulletin, 198: 94—100
- Wood J B, Kensington E, O'Dor R K, 1998. Reproduction and embryonic development time of *Bathypolypus arcticus*, a deep-sea octopod (Cephalopoda: Octopoda). Malacologia, 39: 11—19
- O'Dor R K, Dawe E G, 1998. *Illex illecebrosus*. In: Rodhouse P G, Dawe E G, O'Dor R K ed. Squid Recruitment Dynamics—The Genus *Illex* as a Model, the Commercial *Illex* Species and Influences on Variability. FAO Fisheries Technical Paper, 376: 77—104
- Yang Jianmin, Wang Weijun, Zheng Xiaodong *et al*, 2011. The ultrastructure of the spermatozoon of *Octopus ocellatus* Gray, 1849 (Cephalopoda: Octopoda). Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 29(1): 199—205

## STUDIES ON BIOLOGICAL ZERO AND EFFECTIVE ACCUMULATED TEMPERATURE FOR EMBRYONIC DEVELOPMENT OF *OCTOPUS OCELLATUS*

DONG Gen<sup>1,2</sup>, YANG Jian-Min<sup>2</sup>, WANG Wei-Jun<sup>2</sup>, ZHENG Xiao-Dong<sup>1</sup>,  
SONG Xiang-Jun<sup>2</sup>, FENG Yan-Wei<sup>2</sup>, WEI Xiu-Mei<sup>2</sup>, SUN Guo-Hua<sup>2</sup>

(1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao, 266003; 2. Shandong Marine Fisheries Research Institute, Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai, 264006)

**Abstract** With the help of mathematical statistics method and conducting indoor incubation experiment under controlled temperature, we studied the biological zero ( $C$ ), effective accumulated temperature ( $K$ ) and temperature coefficient ( $Q_{10}$ ) for the embryonic development of *Octopus ocellatus* as well as the correlation between the embryonic stages ( $T_s$ ) and  $K$ . We found that the  $C$  for the embryonic development of *O. ocellatus* is  $5.15^{\circ}\text{C}$ , the  $K$  at which the zygotes develop into early juveniles is  $589.45^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , and the optimum hatching temperature ranges from  $19.46^{\circ}\text{C}$  to  $23.06^{\circ}\text{C}$ . We compared the linear regression method with Single Sine method, which was using to simulate the accumulation of  $K$ , the results have no significant differences with the  $K$  has been inferred. The  $K$  is a fixed value for zygotes develop into any representative embryonic stages under different temperature conditions. There is a significant linear correlation between  $T_s$  and  $K$ :  $K = 26.72T_s + 55.34$  ( $R^2 = 0.996$ ). These results will provide a theoretical support for artificial breeding and fishery resources management. Single Sine method was a useful practical tool for calculating effective accumulated temperature deserved for reference in the further embryonic development research.

**Key words** *Octopus ocellatus*; embryonic development; biological zero; effective accumulated temperature