

# 海月水母的生长规律及水管系统发育

赵鹏<sup>①②</sup> 庄志猛<sup>②</sup> 陈四清<sup>②\*</sup> 刘春胜<sup>②</sup> 刘长琳<sup>②</sup> 陈昭廷<sup>②</sup>

① 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; ② 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071

**摘要:** 海月水母 (*Aurelia*) 是世界性的大型灾害水母, 其捕食强度与其体型规格密切相关, 目前国内外尚未有关于其生长规律及水管系统的研究报道。本文以烟台海域海月水母 (*Aurelia* sp.) 为研究对象, 通过室内受控实验, 获得不同发育阶段的水母体, 并对其伞径、腕长及体重的生长规律进行了研究; 此外, 本研究还对海月水母水管系统进行了详细地观察。结果表明, 海月水母体重 ( $W$ , 单位 g) 与伞径 ( $D$ : 15 ~ 150 mm) 呈幂函数关系; 腕长 ( $L$ , 单位 mm) 与伞径 ( $D$ , 单位 mm) 呈线性关系。伞径生长曲线方程为:  $D_t = 4 \times 10^{-6} t^4 - 0.0014 t^3 + 0.1087 t^2 + 0.5079 t + 9.428$  ( $R^2 = 0.9993$ ), 式中,  $D_t$  为第  $t$  天水母伞径, 单位 mm,  $t$  为生长时间, 单位 d。海月水母初生碟状体出现主辐管与间辐管, 3 日龄时碟状体出现纵辐管, 11 日龄时出现环管和分离点。随着水母伞径的增长, 水管系统的分离点数与聚合点数均逐渐增多, 成熟时 1/4 伞部的分离点数最多, 为 66 个, 聚合点数亦最多, 为 32 个。研究结果进一步完善了海月水母的基础生物学资料, 可为海洋生物资源调查提供参考。

**关键词:** 海月水母; 生长; 水管系统; 聚合点; 分离点

中图分类号: Q954 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2014)06-913-08

## The Growth Pattern of Moon Jellyfish and Development of Its Radial Canals

ZHAO Peng<sup>①②</sup> ZHUANG Zhi-Meng<sup>②</sup> CHEN Si-Qing<sup>②\*</sup> LIU Chun-Sheng<sup>②</sup>  
LIU Chang-Lin<sup>②</sup> CHEN Zhao-Ting<sup>②</sup>

① *College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306*; ② *Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China*

**Abstract:** The scyphozoan *Aurelia* is a cosmopolitan species, which has caused lots of bad consequences. It has been reported that the predation intensity of *Aurelia* is related to its size. However, its growth model and radial canals development are both unclear. In this study, the growth models of the diameter, wrist length and medusae weight of *Aurelia* sp. in Yantai coastal area were studied under the laboratory condition. Moreover, the development of radial canals was also observed in details for the first time. Our results showed that medusae (bell diameter from 15 mm to 150 mm) displayed a power function growth equation between weight ( $W$ : g) and diameter ( $D$ : mm) (Fig. 1), and a linear relationship between the wrist length ( $L$ : mm) and diameter ( $D$ : mm) (Fig. 2). The growth curve equation of diameter of *Aurelia* sp. is  $D_t = 4 \times 10^{-6} t^4 - 0.0014 t^3 + 0.1087 t^2 + 0.5079 t + 9.428$  ( $R^2 = 0.9993$ ) ( $D_t$ : diameter of medusa at  $t$  days, unit: mm;  $t$ : growth time, unit: d,

**基金项目** 国家重点基础研究发展计划(973)项目(No. 2011CB403605), 青岛市科技计划项目(No. 11-3-1-6-hy), 黄海水产研究所基本科研业务费专项资金项目(No. 20603022011008);

\* 通讯作者, E-mail: chensq@ysfri.ac.cn;

第一作者介绍 赵鹏, 男, 硕士研究生; 研究方向: 鱼类繁育技术; E-mail: pzhaol988@163.com。

收稿日期: 2014-02-28, 修回日期: 2014-06-18

Fig. 3). The perradial canals and interradial canals appeared in the newly released ephyrae (Fig. 5a). The adradial canals formed in the 3-day ephyrae (Fig. 5c). The ring canal formed in the 11-day ephyrae with the divergences (Fig. 5f). The number of convergences and divergences increased with the growth of medusae. Moreover, the maximum numbers of convergences and divergences in 1/4 umbrella of mature medusae were 66 and 32, respectively (Table 1). The results are helpful for understanding the basic biology of *Aurelia* sp., and provide the reference data for marine biological resources survey.

**Key words:** *Aurelia* sp.; Growth; Radial canals; Convergences; Divergences

海月水母 (*Aurelia*) 是全球性分布的物种, 广泛分布于 70°N ~ 40°S 之间的海域, 在瑞典、德国、英国、北美、日本等地区均有报道 (王建艳等 2012)。据统计海月水母有 3 ~ 7 个种 (Kramp 1961, Dawson 2001)。其对环境的适应能力很强, 在盐度 8 ~ 36 范围内均可存活 (Watanabe 2001), 既可经历冬季冰封期, 也可生存在常年水温 31 ~ 32°C 的帕劳水母湖中 (Hamner 1982)。其体内碳含量少而水分含量多, 在饵料丰富的状态下生长速度可以达到 5.7 mm/d (Möller 1980)。Olesen 等 (1994) 进行了不同伞径海月水母对汤氏纺锤水蚤 (*Acartia tonsa*) 与褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*) 的摄食实验, 个体大的海月水母摄食量明显大于个体小的海月水母, 表明海月水母伞径大小与其摄食生物量密切相关。

水管系统作为刺胞动物消化循环系统的主要组成部分, 具有运输、消化吸收和排泄的功能 (姜连新等 2007)。海月水母作为腔肠动物钵水母纲旗口水母目的典型物种, 具有发达的水管系统, 在其半透明的身体内清晰可见 (郑凤英等 2010)。水管系统包括主辐管、间辐管、纵辐管和环管, 自胃囊向伞缘分布有 4 条分枝的间辐管, 胃囊间向伞缘分布有 4 条分枝的主辐管, 主辐管与间辐管之间分布有 8 条不分枝的纵辐管, 环管为环绕整个伞缘的一条水管, 主辐管、间辐管末端的分枝及纵辐管与伞缘的环管相连 (和振武 1988)。随着海月水母的不断生长, 主辐管和间辐管自胃囊向伞缘方向发散状生成许多纵横交错的管网。管网中, 由 1 个网管分叉形成 2 个细小网管的结点为分离点, 由 2 个细小网管聚合形成 1 个网管的结

点为聚合点 (Greenberg et al. 1996)。目前关于海月水母水管系统的研究较少, 和振武 (1988)、郑凤英等 (2010) 曾对海月水母水管系统组成、功能等进行描述, Greenberg 等 (1996) 通过计数伞径 138 ~ 170 mm 海月水母的聚合点数和分离点数来鉴别不同地区的海月水母。

本文通过测量海月水母伞径、腕长、体重, 研究其生长发育规律, 并对其水管系统发育过程进行观测。

## 1 材料与方法

**1.1 实验材料** 实验所用海月水母水母体为本实验室培养。是 2013 年 8 月份采自烟台海域海月水母亲体繁育获得螅状体, 继而在实验室条件下, 由螅状体横裂获得水母体。

实验用水取自青岛薛家岛海域, 经黑暗沉淀、砂滤后使用, 海水盐度为 31 ~ 32, pH = 7.8 ± 0.2, 溶解氧大于 5 mg/L。饵料为人工孵化的卤虫无节幼体。

实验所用仪器包括 Olympus SZX 体视镜、Canon 60D 数码相机、直尺 (精密度 0.1 mm)、电子游标卡尺 (精密度 0.01 mm, 量程 0 ~ 300 mm, 青海量具厂)、电子秤 (精密度 0.1 g, LT1002B, 常熟市天量仪器有限责任公司)、分析天平 (精密度 0.0001 g, PRACTUM224-1CN, 德国赛多利斯)。

## 1.2 实验方法

**1.2.1 海月水母生长指标的测量** 当碟状体生长变态为水母体后, 将其从 1 m<sup>3</sup> 的圆形塑料桶移至亚克力水母缸 (直径 70 cm, 高 30 cm) 中培养, 通过控制水流速度, 营造适宜海月水母生长的环境, 保障其正常生长。实验水温

( $20 \pm 3$ ) $^{\circ}\text{C}$ , 每天早、晚各投喂一次卤虫无节幼体, 投喂 2 h 后换水。每隔 1 d 取 30 个海月水母, 测量其伞径、腕长和体重。测量前将海月水母置于含适量海水容积为 10 L 的塑料箱中。实验初期, 水母伞径较小, 用小捞网将水母从培养箱水中轻轻捞出后, 可连带捞网平铺在底面朝上的培养皿上, 用电子游标卡尺测其伞径和腕长。由于此时水母伞径较小, 易受损伤, 因此测量时动作要轻, 并尽快测量防止其过长时间暴露在空气中影响其以后的生长发育。测完伞径、腕长后, 将水母放入加有适量海水的烧杯中测其体重。实验后期, 水母伞径较大, 用捞网将水母从培养箱水中轻轻捞出后, 可以将水母口腕向上平铺在透明的实验台上测量其伞径和腕长。

**1.2.2 海月水母水管系统发育的观测** 海月水母螅状体横裂出碟状体后, 每天观测碟状体水管系统发育情况, 并用 Olympus SZX 体视镜拍照。

由于海月水母水母体阶段水管系统的分布对称、均匀, 一条间辐管和与其相邻的一条主辐管(1/4 水管系统)上的聚合点数和分离点数即可反映海月水母的整个水管系统特征。通过观察测定不同伞径海月水母 1/4 水管系统的聚合点数和分离点数, 统计海月水母水管系统的

发育生长规律。每隔 1 d, 从水母缸中取出 30 个以上伞径相近的海月水母, 观察水管系统发育情况, 测定其 1/4 水管系统上聚合点数和分离点数。随着海月水母的生长, 中胶层增厚, 影响观测结果, 这时可利用水母摄食卤虫无节幼体之后, 水管系统颜色由透明变为橘黄色的特点进行计数。实验过程用 Olympus SZX 体视镜和 Canon 60D 数码相机拍照。

**1.2.3 数据处理** 实验数据均用“平均值  $\pm$  标准差”表示, 采用 Excel 2007 软件进行统计分析。

## 2 实验结果

### 2.1 海月水母的生长特性

**2.1.1 海月水母伞径与体重、腕长的关系** 随着海月水母的生长其伞径、腕长、体重均不同程度的增长, 通过趋势拟合可得海月水母水母体体重( $W$ , 单位 g)与伞径( $D$ , 单位 mm)呈幂函数增长关系, 生长方程为  $W = 6 \times 10^{-5} D^{3.0178}$  ( $R^2 = 0.992$ )。随着水母伞径增大, 曲线的切线斜率逐渐增大, 水母体重与伞径比值也随之增大, 水母体重随着伞径增大而迅速增加(图 1)。

海月水母从刚变态的水母体(伞径 15 mm)生长到伞径 150 mm, 其腕长( $L$ , 单位 mm)与

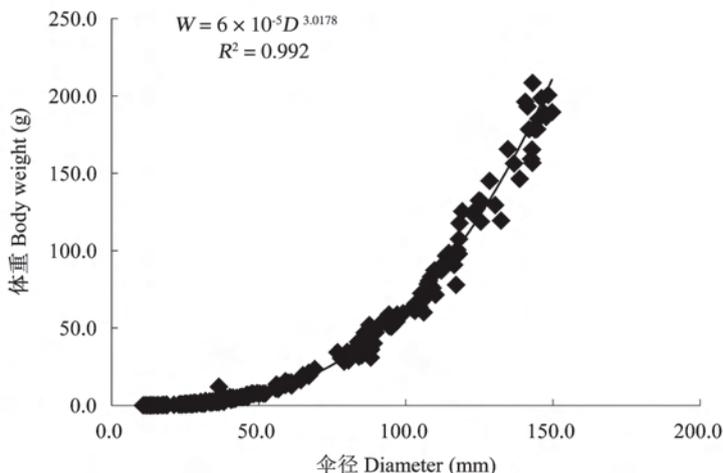


图 1 海月水母水母体体重与伞径的关系

Fig. 1 The relationship between diameter and weight of *Aurelia* sp.

伞径( $D$ , 单位 mm)呈线性增长关系(图 2), 方程式为  $L = 0.6208 D - 2.8393$  ( $R^2 = 0.9871$ )。

**2.1.2 海月水母伞径生长规律** 以时间( $t$ , 单位 d)与平均伞径作图, 得到一条“S”型曲线(图 3), 水母伞径有最大值, 超过最大值后伞径下降。采用高次方程模拟海月水母的生长,

通式为  $D_t = \sum_{i=0}^n a_i t^i$ ,  $D_t$  为伞径, 定义水母体出现时间为 0, 通过数据拟合, 发现取  $n = 4$  最合适。得到方程式为  $D_t = 4 \times 10^{-6} t^4 - 0.0014 t^3 + 0.1087 t^2 + 0.5079 t + 9.4284$ , ( $R^2 = 0.9993$ )。

方程式求导, 得到海月水母伞径生长速度

方程  $dD_t/dt = 1.6 \times 10^{-5} t^3 - 0.0042 t^2 + 0.2174 t + 0.5079$ 。刚变态为水母体的海月水母伞径生长速度缓慢, 随后不断增加, 在培养到 30 d 时, 生长速度达到最大值; 之后随着水母生长伞径继续增大, 但生长速度逐渐降低, 培养至 75 d 时, 生长速度接近零, 海月水母伞径达到最大值, 超过 75 d 时, 生长速度为负值, 伞径逐渐收缩(图 4)。

**2.2 海月水母水管系统的发育** 海月水母水管系统自初生碟状体开始发育, 随着碟状体不断生长, 水管系统逐渐形成。1 日龄: 初生碟状体半透明, 缘瓣末端之间的直径为 4~5 mm (图 5a)。通常具有 8 个缘瓣和 8 个感觉棍, 沿

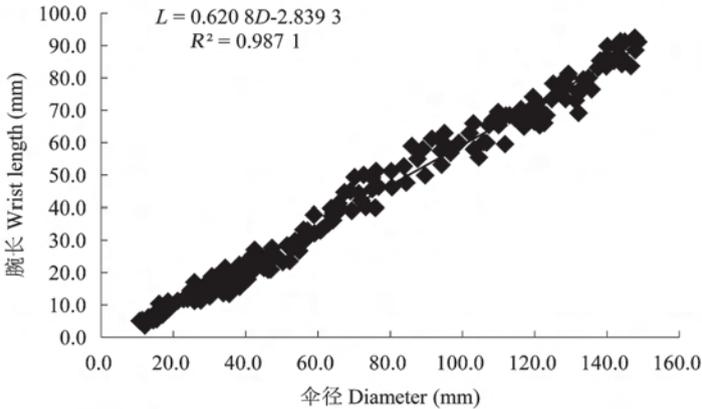


图 2 海月水母水母体腕长与伞径的关系

Fig. 2 The relationship between wrist length and diameter of *Aurelia* sp.

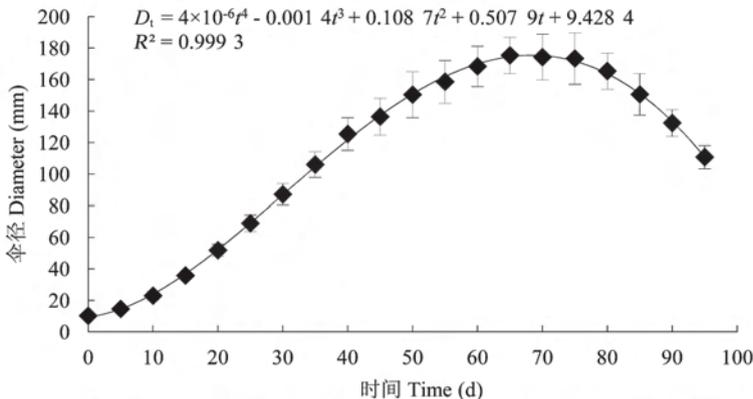


图 3 海月水母伞径生长曲线

Fig. 3 Growth curve of diameter of *Aurelia* sp.

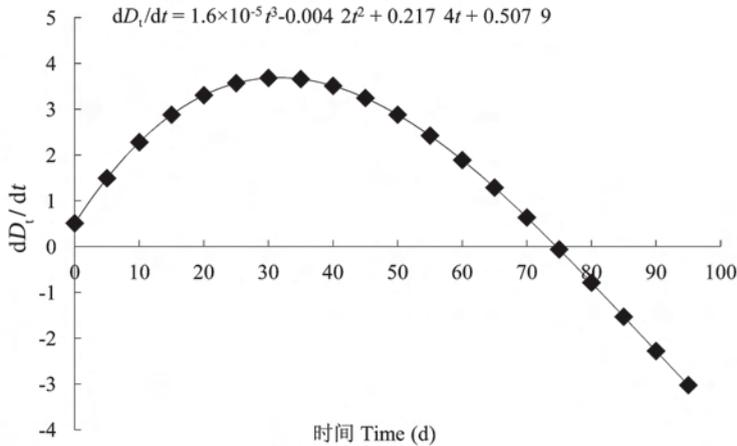


图 4 海月水母伞径生长速度曲线

Fig. 4 Growth velocity curve of diameter of *Aurelia* sp.

胃丝方向伸出 4 条水管为间辐管雏形, 胃丝间伸出 4 条水管为主辐管雏形, 间辐管与主辐管间隔排列分别与感觉棍相连。3 日龄: 碟状体缘瓣末端之间直径为 6 ~ 7 mm (图 5b), 口柄增长, 中央口呈十字星形, 4 个胃丝团清晰可见, 主辐管与间辐管可清晰区分开来, 主辐管与间辐管之间出现纵辐管 (图 5c)。7 日龄: 碟状体缘瓣末端之间直径为 8 ~ 9 mm (图 5d), 口柄继续增长, 纵辐管生长迅速, 间辐管与纵辐管长度比例约为 2:1, 纵辐管末端出现纵辐缘瓣。9 日龄: 碟状体缘瓣末端之间直径为 9 ~ 11 mm (图 5e), 间辐管与纵辐管长度比例约为 3:2, 间辐管与主辐管上将出现分离点。纵辐管末端与间辐管、主辐管中部相连, 形成环管雏形。11 日龄: 碟状体伞径为 11 ~ 12 mm (图 5f), 间辐管与纵辐管长度比例约为 5:4, 口柄将要发育为口腕, 胃丝团位置形成胃腔, 碟状体伞缘位置环管清晰可见。各间辐管、主辐管上出现 2 个分离点。13 日龄: 碟状体完全变态为水母体, 伞径 12 ~ 15 mm (图 5g), 纵辐管长度接近间辐管、主辐管长度。口柄完全发育为 4 条口腕, 间辐管与主辐管出现更多细小分支, 分离点数不断增加。

海月水母水母体水管系统清晰可见 (图 5h): 自 4 个胃囊伸出 4 条分枝的间辐管, 各胃囊间伸出的 4 条分枝的主辐管, 主辐管与间辐

管之间 8 条不分枝的纵辐管, 以及环绕整个伞缘的环管。主辐管、间辐管上分布有数目不等的聚合点与分离点 (图 5i)。聚合点数和分离点数随着伞径的增加而不断增多 (表 1)。实验中海月水母生长至伞径 180 mm 时性腺成熟, 1/4 伞部分离点数为 66 个, 聚合点数为 32 个, 此后分离点数聚合点数不再增加。

表 1 海月水母 1/4 伞部水管系统聚合点与分离点数目 ( $n = 56$ )Table 1 The numbers of intersections within a quarter of *Aurelia* sp.

伞径 Diameter (mm)	分离点数(个) Divergences	聚合点数(个) Convergences
30~60	24 ± 6	5 ± 3
60~90	33 ± 3	12 ± 4
90~120	40 ± 4	19 ± 3
120~150	51 ± 7	24 ± 2
150~180	62 ± 4	29 ± 3

### 3 讨论

**3.1 海月水母的生长特性** 本研究发现海月水母伞径由 15 mm 生长至 150 mm 时, 其体重与伞径呈幂函数增长关系, 腕长与伞径呈线性关系。对福建海区海蜇渔业资源调查 (戴泉水等 2004) 及对东山湾海域霞水母生物量调查 (卢振彬等 2003), 海蜇或水母体重均与伞径均呈幂函数增长关系。水母是一类肉食性低等

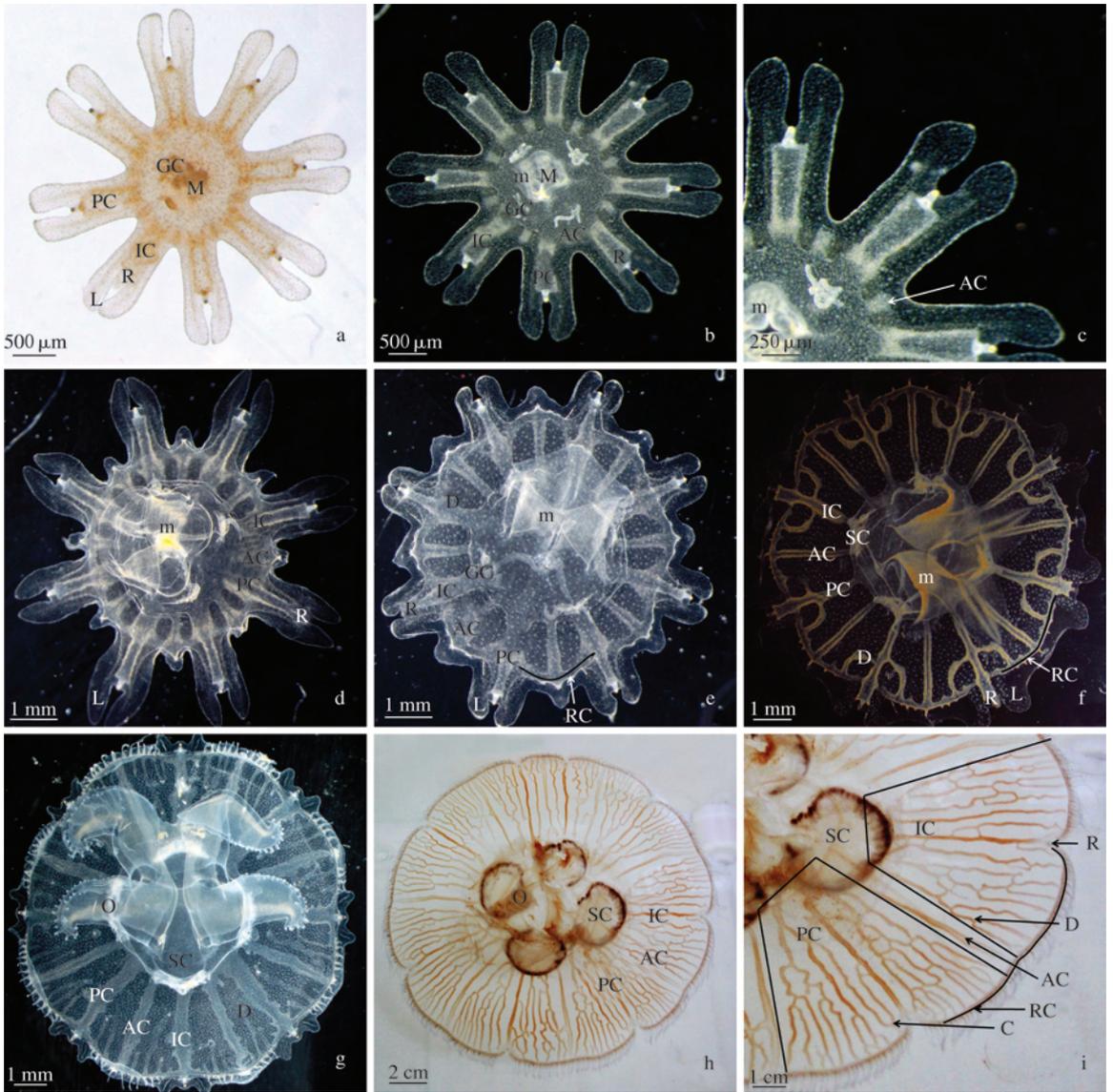


图 5 海月水母水管系统发育

Fig. 5 Development of the radial canal structure of *Aurelia* sp.

a. 初生碟状体; b. 3 日龄碟状体; c. 纵辐管; d. 7 日龄碟状体; e. 9 日龄碟状体; f. 11 日龄碟状体; g. 刚变态的水母体; h. 海月水母成体(伞径: 120 mm); i. 海月水母成体水管系统。

a. Newly released ephra; b. 3-day ephra; c. Adradial canal; d. 7-day ephra; e. 9-day ephra; f. 11-day ephra; g. Newly metamorphic medusa; h. Adult medusa (diameter: 120 mm); i. The radial canal structure of medusa.

M. 中央口; GC. 胃丝; IC. 间辐管; PC. 主辐管; R. 感觉棍; L. 缘瓣; m. 口柄; AC. 纵辐管; RC. 环管; SC. 胃腔; D. 分离点; C. 聚合点; O. 口腕。

M. Central mouth; GC. Gastric cirrum; IC. Interradial canals; PC. Perradial canals; R. Rhopalium; L. Lappet; m. Manubrium; AC. Adradial canals; RC. Ring canal; SC. Stomachic cavity; D. Divergence; C. Convergence; O. Oral arm.

生物, 在食物充足的条件下生长迅速, 在德国 Kiel 海域, 当食物充足时水母体伞径生长速度可达到 5.7 mm/d (Möller 1980)。海月水母不

仅摄食浮游动物, 还能够通过身体的刺细胞系统, 杀死大部分它们所碰触到的小型生物, 包括鱼类的卵和幼体, 导致海水中其他生物的大

量死亡(孙松 2012a)。Titelman 等(2006)研究发现约有 300 尾大西洋鲱(*Gadus morhua*)仔鱼在 2.5 h 内被伞径为 7.4 cm 的海月水母捕食。在德国 Kiel 湾,大西洋鲱仔鱼大量死亡的原因并非饥饿或病害,而是被海月水母大量捕食,并且海月水母对大西洋鲱的捕食率随水母的生长而不断增大(Möller 1980)。由此可见海月水母一旦暴发会对海洋内浮游动物、仔稚鱼造成巨大危害。

在我国,每年的 6~9 月份是水母的快速生长期,9 月末海月水母繁殖期结束,之后很难看到水母暴发现象。本实验后期观测到,海月水母进入繁殖期后,口腕部分收缩,中胶层变得坚实,运动缓慢,伞径缩小,体重减小。海月水母在伞径达到最大值后,伞径逐渐收缩,因此水母类的生长与鱼类生长不同,没有渐进值,而有最大值(图 3)。这与目前渔业生物学中常应用的 von Bertalanffy 生长方程所描述有渐近值的曲线不同(李培军等 1989)。随着海月水母繁殖期的结束,其进入衰老期,代谢能力和摄食能力都明显下降,逐渐老化直至死亡(Möller 1980)。李培军等(1989)描述辽东湾海蜇(*Rhopilema esculentum*)的生长特征时提到,海蜇生长后期由于产卵消耗大量能量,伞径和体重会逐渐萎缩变小。这些都为我国黄海、东海海域水母暴发主要集中在 6~9 月份的现象提供了依据(孙松 2012b)。

### 3.2 海月水母水管系统的发育

腔肠动物水管系统十分发达,有运输、循环、吸收等功能。丁耕芜等(1981)对海蜇生活史研究时指出,海蜇初生碟状体具有 4 条主辐管和 4 条间辐管,纵辐管仅有雏形,2 日后纵辐管外伸达伞缘,各辐管中部向两侧分枝形成网管,后随着水母体的生长,网管纵横交错发育形成完整的水管系统。本研究观察发现,海月水母的水管系统发育与海蜇类似,初生碟状体即可观测到主辐管与间辐管,3 日龄时出现纵辐管,碟状体后期主辐管和间辐管上开始出现分离点,随着碟状体变态成为水母体,主辐管与间辐管不断发育形成许多细小分枝,水管系统分离点数与聚

合点数不断增加,水管系统逐渐复杂。至伞径 180 mm 时 1/4 伞部分离点数达 66 个,聚合点数达 32 个,之后其聚合点、分离点数不再增加。

聚合点数和分离点数以及总交叉点数是区分水母种类很好的形态特征(Schroth et al. 2002)。Greenberg 等(1996)对美国蒙特利湾和日本东京湾海域伞径 13.8~17.0 cm 海月水母进行了形态学的比较,主要计数了海月水母 1/8 伞部上的聚合点数和分离点数,结果发现东京湾伞径为 15.8 cm 的海月水母 1/8 伞部的聚合点数为 12 个,分离点数为 30 个,总交叉点数为 42 个,而蒙特利湾伞径为 15.6 cm 的海月水母 1/8 伞部上聚合点数为 153 个,分离点数为 192 个,总交叉点数 345 个。本研究测得烟台海域伞径 15 cm 的海月水母 1/8 伞部平均聚合点数 13 个,分离点数 29 个,总交叉点数 42 个,这表明烟台海域与蒙特利湾海月水母水管系统相差较大,而与日本东京湾海域海月水母水管系统极为相似。另外 2007 年我国烟台、威海海域暴发的海月水母极有可能是从日本海域入侵的(苏丽敬等 2007)。因此,从形态学上推测烟台海域与日本东京湾海域海月水母属同一种海月水母。

**封面照片** 海月水母的水母体,陈四清、陈昭廷 2014 年 10 月 7 日摄于黄海水产研究所生态室水母研究实验室。

## 参 考 文 献

- Dawson M N, Jacobs D K. 2001. Molecular evidence for cryptic species of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphozoa). *The Biological Bulletin*, 200(1): 92-96.
- Greenberg N, Garthwaite R L, Potts D C. 1996. Allozyme and morphological evidence for a newly introduced species of *Aurelia* in San Francisco Bay, California. *Marine Biology*, 125(2): 401-410.
- Hamner W M, Gilmer R W, Hamner P P. 1982. The physical, chemical, and biological characteristics of a stratified, saline, sulfide lake in Palau. *Limnology and Oceanography*, 27(5): 896-909.
- Kramp P L. 1961. Synopsis of the medusae of the world. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*,

- 40: 7 - 382.
- Möller H. 1980. Population dynamics of *Aurelia aurita* medusae in Kiel Bight, Germany (FRG). *Marine Biology*, 60(2/3): 123 - 128.
- Olesen N J, Riisgård H U. 1994. Population dynamic, growth and energetics of Jellyfish, *Aurelia aurita*, in a Shallow Fjord. *Marine Ecology: Progress Series*, 105(1/2): 9 - 18.
- Schroth W, Jarms G, Streit B, et al. 2002. Speciation and phylogeography in the cosmopolitan marine moon jelly, *Aurelia* sp. *BMC Evolutionary Biology*, 2(1): 1.
- Titelman J, Hansson L J. 2006. Feeding rates of the jellyfish *Aurelia aurita* on fish larvae. *Marine Biology*, 149(2): 297 - 306.
- Watanabe T, Ishii H. 2001. In situ estimation of ephyrae liberated from polyps of *Aurelia aurita* using settling plates in Tokyo Bay, Japan. *Hydrobiologia*, 451(1/3) 247 - 258.
- 戴泉水, 卢振彬, 叶孙忠, 等. 2004. 福建海区海蜇渔业资源状况及其渔业生物学. *福建水产*, (2): 1 - 8.
- 丁耕芜, 陈介康. 1981. 海蜇的生活史. *水产学报*, 6(2): 93 - 102.
- 和振武. 1988. 海月水母的胃循环系. *动物学杂志*, 23(4): 46 - 48.
- 姜连新, 叶昌臣, 谭克非, 等. 2007. 海蜇的研究. 北京: 海洋出版社, 11 - 12.
- 李培军, 谭克非, 叶昌臣. 1989. 辽东湾海蜇生长的研究. *水产学报*, 12(3): 243 - 250.
- 卢振彬, 戴泉水, 颜尤明. 2003. 福建东山岛海域霞水母的渔业生物学研究. *应用生态学报*, 14(6): 973 - 976.
- 苏丽敬, 王轶. 2007. 破解烟台神秘水母爆发之谜. *北京科技报*, (37): 16 - 17.
- 孙松. 2012a. 水母暴发研究所面临的挑战. *地球科学进展*, 27(3): 257 - 261.
- 孙松. 2012b. 对黄, 东海水母暴发机理的新认知. *海洋与湖沼*, 43(3): 406 - 410.
- 王建艳, 于志刚, 甄毓, 等. 2012. 环境因子对海月水母生长发育影响的研究进展. *应用生态学报*, 23(11): 3207 - 3217.
- 郑凤英, 陈四清, 倪佳. 2010. 海月水母的生物学特征及其爆发. *海洋科学进展*, 28(1): 126 - 132.