

安朵仙水母(*Cassiopeia andromeda*)水母体再生研究

李 达, 王 玮, 齐继光

(青岛海洋科技馆, 山东 青岛 266003)

摘要: 本实验对安朵仙水母(*Cassiopeia andromeda*)进行不同程度(伞体、胃囊、口腕和触手)的切割, 进行 60 d 再生过程观察。首次记录了安朵仙水母水母体的再生情况: 切除部分伞体、全部胃囊、全部口腕和触手的水母体残体能够再生出缺失的部分; 切除全部伞体的水母体残体无法再生出新的伞体, 而是反向再生出新的口腕和触手; 同时切除不同部位的水母体残体在组织修复时表现出一定的再生顺序性。结果表明安朵仙水母水母体具有较强的组织再生能力, 可作为钵水母纲再生研究的潜在模式物种, 同时为刺胞动物研究以及再生生物学研究提供一定借鉴。

关键词: 安朵仙水母; 水母体; 钵水母纲; 再生; 存活

中图分类号: Q959.132.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2022)06-0109-07

DOI: 10.11759/hyxx20210823002

安朵仙水母(*Cassiopeia andromeda*)属刺胞动物门(Cnidaria)、钵水母纲(Scyphozoa)、根口水母目(Rhizostomae)、仙水母科(Cassiopeidae)、仙水母属(*Cassiopeia*)。作为海洋馆水母展示中的常见种类, 安朵仙水母色彩艳丽, 泳姿独特, 其伞体和口腕中有大量虫黄藻与之共生, 具有较高的观赏性和研究价值。

再生是后生动物的共同特征, 从海绵一直到脊索动物^[1-2]。刺胞动物具有较强的再生能力, 其大多数物种能够再生出身体的大片区域或部位, 有些物种仅用几百个细胞便能够实现完全再生^[3]。水螅的再生研究较为广泛, 其少量的组织甚至分离的细胞即可再生出完整的个体^[4]。在水母研究中, 细胞分化程度较高的阶段, 如碟状幼体, 同样被观察到原有身体结构的重组和再生^[5-8], 而水母体再生的相关报道主要集中在其修复失去的结构^[3, 9-11]。尽管水母体的形态与水螅体相比相对复杂, 但一些种类水母仍然可以再生出各种器官, 甚至由碎片重组整个身体^[12-18], 表现出强大的修复和再生能力^[19-21], 如 *Cladonema pacificum* 水母的组织中拥有大量活跃的增殖细胞, 且在空间分布上表现出一定差异性^[14], *Campanularia jonstoni* 水母在碎片化处理后首先快速恢复呈典型的钟形, 随后缓慢地进行缺失器官的再生^[15]。

刺胞动物中典型的水螅, 比如水螅属、介水母属和 *Nematostella* 海葵属已经成为理解动物再生的模式生物。而水母被认为是独特的模式生物, 用以研究复杂器官再生和全身再生的共同原理和多样机制^[22]。本实验对不同程度切割下的安朵仙水母水母

体再生过程进行了详细记录, 旨在为刺胞动物研究以及再生生物学研究提供一定借鉴。

1 材料与方 法

1.1 材 料

安朵仙水母碟状体及水母体均为本实验室自行培育。碟状体经过约 1 个月培养后, 挑选形态完整, 伞体收缩活力正常, 伞体半径 2.0 ± 0.5 cm 的水母体作为实验对象。碟状体和实验期水母体投喂饵料均为活体卤虫(*Artemia*)无节幼体。

1.2 方 法

设 1 个对照组, 7 个实验组, 每组 3 个平行, 每个平行 10 只水母。所用实验缸为 200 L 亚克力环形水母缸, 进缸 24 h 内不进行任何投喂。水母放入后, 对水流进行调节, 使每只水母自然吸附于缸体侧壁。实验组分别对水母伞体、胃囊或口腕进行不同程度切割, 切割方法为平铺于光滑玻璃板上, 用灭菌刀片进行直线切割, 切割位置如图 1 所示。具体切割细节如下: 组 a, 对照组, 不做任何处理; 组 b, 切割位置为伞缘至外伞凹陷圈中间位置; 组 c, 切割位置为外

收稿日期: 2021-08-23; 修回日期: 2021-10-12

基金项目: 青岛市市南区科技计划项目(2016-3-001-ZH)

[Foundation: Science and Technology Project of Shinan District, Qingdao, No. 2016-3-001-ZH]

作者简介: 李达(1989—), 男, 山西平遥人, 工程师, 硕士, 主要从事海洋生物研究, E-mail: seamanrickey@163.com; 齐继光(1968—), 通信作者, 男, 高级工程师, 馆长, E-mail: qjg111@vip.sohu.com

伞凹陷圈至胃囊外缘中间位置; 组 d, 胃囊外缘至伞体中心中间位置; 组 e, 对半切割, 保留 1/2; 组 f, 连续对半切割, 保留 1/4; 组 g, 伞缘至外伞凹陷圈中间位置, 且切除全部胃囊及口腕; 组 h, 切除伞体, 只保留胃囊、口腕和触手。所有组在切割伞体同时, 切除垂直面对应口腕及触手。

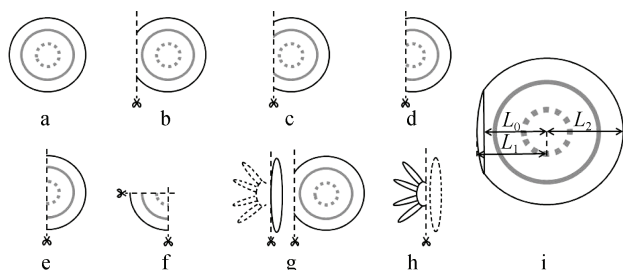


图 1 水母切割及测量示意图

Fig. 1 Schematic diagram of different cutting methods and dimensional measurement

注: 图中 a~i 分别为组 a~组 h 及测量视图, 组 a 为对照组, L_0 、 L_1 和 L_2 分别为切割线半径、再生伞体半径和正常伞体半径

每 5 d 在投喂前从各缸随机取 3 只水母, 测量和记录切割线半径(图 1 中 L_0)、再生伞体半径(即再生伞体的伞缘中心点处伞体半径, 图 1 中 L_1)及正常伞体半径(图 1 中 L_2), 观察记录胃囊愈合和口腕、触手再生情况, 记录存活数。将水母放入实验托盘, 使其伞体自然铺平, 用游标卡尺(美耐特)测量伞体半径。用显微镜(奥林巴斯 SZX2-ILLD)观察水母局部组织再生情况。投喂时间为每日上午 10:00, 投喂频率为每日 1 次。饵料投喂量满足当前水母个体所需, 且有多余残饵出现。

所用实验源水为沿海礁岩区天然海水, 经沉淀、石英砂缸过滤和紫外灯杀菌处理。各组水温维持 23 ± 1 °C, 盐度维持 32 ± 1 。选用光源为 90 W 太空灯(希帝莱), 每日光照 12 h, 昏暗 12 h, 光强变化模拟日出日落。每缸配有紫外杀菌灯, 加热装置和制冷系统。每日傍晚进行吸污处理, 清除剩余饵料和排泄物。每日使用滴流桶对所有缸进行淡水补充。每 2 d 对所有缸进行盐度、亚硝态氮(NO_2^- -N)、总氨氮(TAN)、pH 检测, 通过换水及时调整水质到理想指标(盐度 32 ± 1 , 亚硝态氮 < 0.02 mg/L, 总氨氮 < 0.05 mg/L, pH 维持 7.8~8.1)。每 5 d 更换部分海水, 换水量为总水量的 10%, 实验为期 60 d。

1.3 数据处理

伞体半径、胃囊愈合率、口腕、触手再生出现率以及存活率用平均值 \pm 标准差表示。

胃囊愈合率、口腕、触手再生出现率和存活率按下式计算:

$$\text{胃囊愈合率}/\% = w_1/w \times 100\%,$$

$$\text{口腕、触手再生出现率}/\% = k_1/k \times 100\%,$$

$$\text{存活率}/\% = n_1/n \times 100\%,$$

式中, w_1 为单次取样中胃囊完全愈合的水母数量, w 为单次取样水母数量; k_1 为单次取样中口腕和触手再生的水母数量, k 为单次取样水母数量; n_1 为存活的水母数量, n 为初始水母数量。

利用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 统计分析软件对各项数据进行整理和分析, 用 Origin 2018 软件进行绘图。用单因子方差分析法分析组间差异, 用 Student-Newman-Keul's 检验法分析组间显著性, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 不同程度切割下安朵仙水母再生情况

各处理组水母伞体恢复结果见表 1 所示。第 60 d 正常伞体半径结果显示: 对照组、组 b 和组 c 均相对较大, 相互间差异不显著, 与其他组差异显著; 组 d 和组 e 次之, 分别与其他组差异显著; 组 f 和组 g 均相对较小, 相互间差异不显著, 分别与其他组差异显著。第 60 d 再生伞体半径结果显示: 组 c 最大, 与其他组差异显著; 组 d、组 b 和组 e 次之, 其中组 d 和组 b 相互间差异不显著, 与其他组差异显著, 组 e 与其他组差异显著; 组 g、组 f 和组 h 均相对较小, 分别与其他组差异显著。对比发现: 组 b、组 c、组 d 和组 e 的再生伞体半径均大于正常伞体半径; 组 f 的再生伞体半径小于正常伞体半径; 组 g 的再生伞体半径与正常伞体半径大小相同。

表 1 不同程度切割下安朵仙水母伞体再生情况

Tab. 1 Regeneration of the umbrella in *Cassiopeia andromeda* after different degrees of cutting

组	初始正常伞体半径/cm	60 d 正常伞体半径/cm	60 d 再生伞体半径/cm
a	1.92 \pm 0.13 ^a	3.89 \pm 0.25 ^a	N
b	2.01 \pm 0.2 ^a	3.82 \pm 0.19 ^a	3.88 \pm 0.19 ^b
c	1.82 \pm 0.16 ^a	4.04 \pm 0.20 ^a	4.46 \pm 0.35 ^a
d	1.91 \pm 0.17 ^a	3.39 \pm 0.25 ^b	4.10 \pm 0.35 ^b
e	1.91 \pm 0.19 ^a	3.03 \pm 0.20 ^c	3.13 \pm 0.34 ^c
f	1.92 \pm 0.11 ^a	2.16 \pm 0.19 ^d	1.67 \pm 0.31 ^e
g	1.98 \pm 0.19 ^a	2.07 \pm 0.33 ^d	2.07 \pm 0.33 ^d
h	N	N	0 ^f

注: 同一列中上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 上标相同字母表示差异不显著($P > 0.05$), N 表示无数据。

不同时间段各处理组水母再生情况曲线图如图 2 所示。结果显示: 组 a 伞体随时间逐渐增大; 组 b 切割线第 10 d 消失, 再生伞体第 10 d 基本恢复正常, 且随后始终略微大于正常伞体; 组 c 和组 d 切割线均在第 35 d 消失, 再生伞体第 20 d 基本恢复正常, 且随后始终明显大于正常伞体, 其中组 d 水母正常伞体在初期呈现出轻微停滞随后增大; 组 e 切割线第 35 d 消失,

再生伞体第 30 d 基本恢复正常, 且随后略小于正常伞体, 在末期显现出大于正常伞体趋势; 组 f 切割线始终存在, 再生伞体从第 15 d 开始出现, 随后逐渐增大但未大于正常伞体, 正常伞体呈先缩小后逐渐缓慢恢复到切割前大小; 组 g 切割线第 20 d 消失, 正常伞体先缩小至与再生伞体大小相同, 后第 40 d 开始两者同步逐渐增大; 组 h 始终无再生伞体出现。

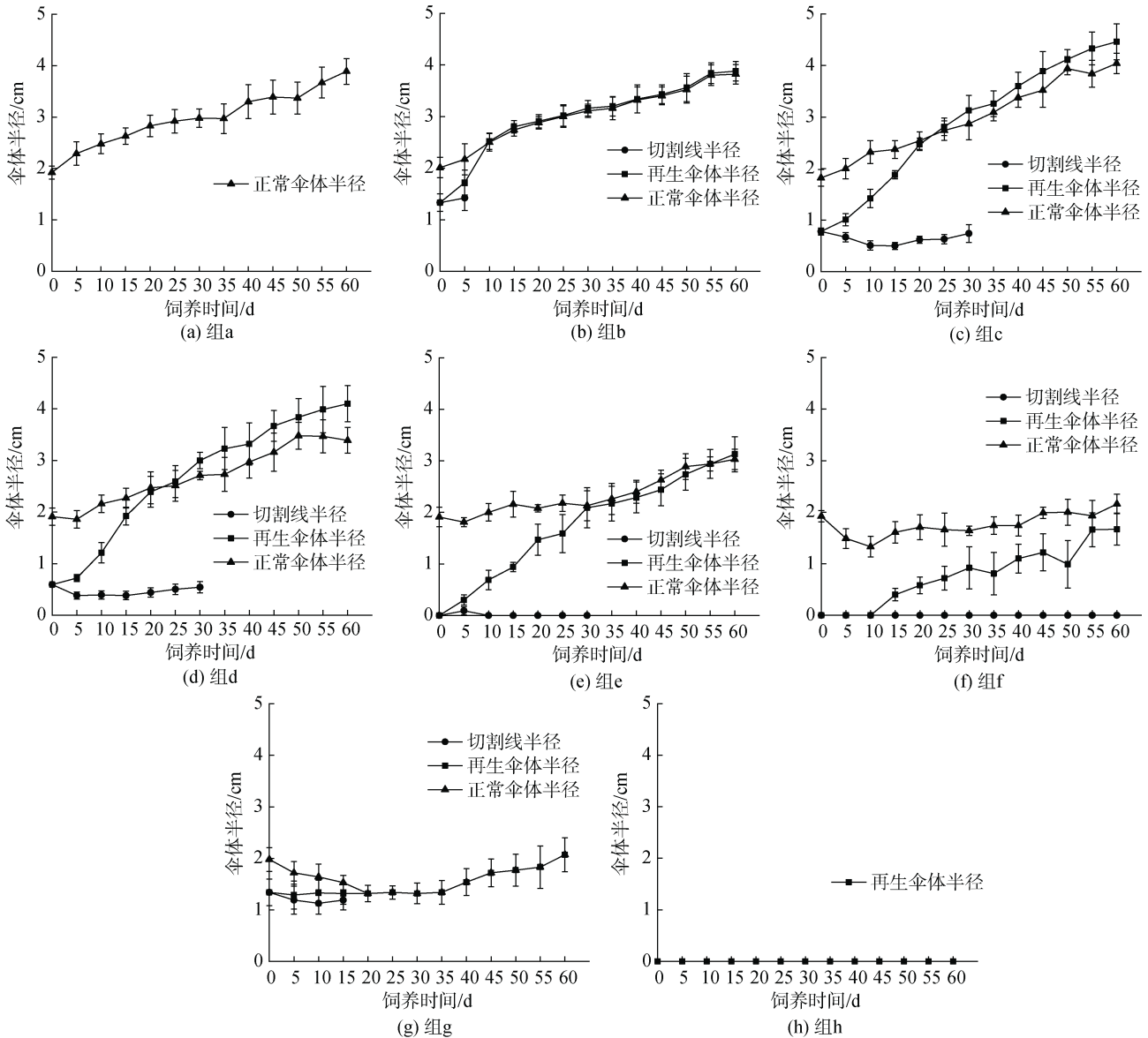


图 2 不同程度切割下安朵仙水母再生情况曲线图

Fig. 2 Regeneration of *Cassiopeia andromeda* after different degrees of cutting

不同时间段各处理组水母的胃囊愈合率见表 2 所示。结果显示: 组 d 在第 5 d 出现胃囊愈合, 且愈合率为 100%; 组 e 在第 5 d 出现胃囊愈合, 在第 15 d 胃囊愈合率达到 100%; 组 f 在第 10 d 出现胃

囊愈合, 在第 15 d 胃囊愈合率达到 100%; 组 g 在第 15 d 出现胃囊愈合, 在第 20 d 胃囊愈合率达到 100%; 组 h 在第 10 d 出现胃囊愈合, 且愈合率为 100%。

表 2 不同程度切割下安朵仙水母胃囊愈合率(%) (0~60 d)

Tab. 2 Regeneration rate of the stomach in *Cassiopeia andromeda* after different degrees of cutting (0~60 d)

时间/d	0	5	10	15	20	25	30~60
组 a	N	N	N	N	N	N	N
组 b	N	N	N	N	N	N	N
组 c	N	N	N	N	N	N	N
组 d	0	100	100	100	100	100	100
组 e	0	44.44±15.72	77.78±15.71	100	100	100	100
组 f	0	0	55.56±15.72	100	100	100	100
组 g	0	0	0	77.7±15.71	100	100	100
组 h	0	0	100	100	100	100	100

注: N 表示无数据。

不同时间段组 g 和组 h 安朵仙水母的口腕和触手再生出现率见表 3 所示。结果显示: 组 g 和组 h

均在第 20 d 开始出现再生口腕和触手, 随后均在第 30 d 全部出现再生口腕和触手。

表 3 组 g 和组 h 安朵仙水母口腕和触手再生出现率(%) (0~60 d)

Tab. 3 Percentage occurrence of regenerative oral arms and tentacles in *Cassiopeia andromeda* of group g and group h (0~60 d)

时间/d	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
组 g	0	0	0	0	55.56±15.72	66.67±27.22	100	100	100	100	100	100	100
组 h	0	0	0	0	77.78±15.71	88.89±15.71	100	100	100	100	100	100	100

2.2 不同程度切割对安朵仙水母水母体存活率的影响

不同程度切割下安朵仙水母存活率见表 4 所示。

除组 f 水母存活率为 80%±10%以外, 其他组存活率均为 100%, 组 f 的存活率对比其他组差异显著($P < 0.05$)。

表 4 不同程度切割下安朵仙水母存活率(60 d)

Tab. 4 Survival rate in *Cassiopeia andromeda* after different degrees of cutting (60 d)

组	a	b	c	d	e	f	g	h
存活率/%	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	80±10 ^b	100 ^a	100 ^a

注: 同一行中上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 上标相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)。

3 讨论

水母通过细胞动力学和协调不同的细胞/组织通信以再生相对复杂的器官和整个身体, 重建放射对称被认为可能是器官和生物体功能再生的关键步骤, 而对于自由游动的水母体, 再生模式必须包括重新建立径向对称, 以产生游动的推进力^[22]。本实验所观察的安朵仙水母水母体在伞体部分缺失的情况下, 均能再生出径向对称组织, 与上述结论一致。实验观察到, 组 b~组 d 水母在恢复期早期, 伞体并非保持原形态进行缺失部分的再生, 而是在切割处出现一定程度的伞体凹陷(图 3a), 同时正常伞体部分仍然

继续缓慢生长(图 2), 可能由于正常部分的伞体体积大于被切除部分, 正常伞体细胞增殖数量大于再生部分, 物理作用导致凹陷产生。伤口愈合是伴随着组织重建的最初的再生过程, 目的是在缩小损伤后的物理缝隙, 恢复组织的完整性^[22]。实验发现, 该水母体的伤口愈合表现为组织再生, 而非伤口闭合, 由中胶层直接再生出缺失的伞体组织。而切割后一段时间, 所有组切割线半径值基本不变(图 2), 认为切割处部分组织细胞处于增殖停滞状态。根据曲线图和图 3 可以看出, 组 b~组 e 水母的伞体再生半径均大于正常半径, 表现为再生部分伞缘外凸(图 3b), 这一现象表明水母残体在重建径向对称过程中, 再生

组织的复制程度并未达到与原形完全一致, *Campanularia jonstoni* 水母碎片在重建组织后同样与原径向对称存在差异, 认为柄在重建整体的过程中起着关键作用^[15]。

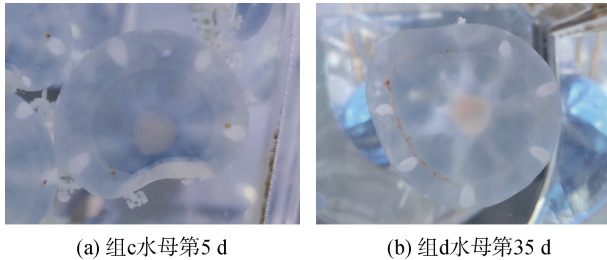


图3 安朵仙水母的形态变化图

Fig. 3 Morphological changes in *Cassiopeia andromeda*

经典的体外实验表明, 从水母伞体中分离出的肌肉组织在特殊条件培养下可以重建出新生器官^[23]。这种再生模式在 *Campanularia jonstoni* 水母中曾被报道, 各种大小和形状的伞体碎片分别在 12 h 内恢复为最初的钟形, 随后每个碎片都不同程度地再生出其缺失的器官, 如口柄、触手、辐管、性腺等, 最终恢复为具有功能性的有机体^[15]。而含有横纹肌细胞的 *Podocoryne carnea* 水母伞体组织暴露在不同的培养条件下, 可以转分化为新的细胞类型, 随后再生出摄食和性腺结构^[24]。通过使用 EdU 染色发现, *Cladonema pacificum* 水母的增殖细胞群在空间分布上表现出一定差异性, 伞体中分布均匀有助于整体体型的增大, 而触手中分布为簇状, 有助于分支结构的形成^[14]。本实验中, 安朵仙水母水母体在切除全部胃囊、口腕和触手后, 仍然能够再生出缺失的部分, 证实了安朵仙水母具有类似的再生能力, 但没有与胃囊相连的伞体组织碎片, 能否在离体后单独进行去分化和转分化以重建未曾相连的组织, 目前尚不明确。本实验中切除全部伞体的水母残体(组 h), 未像预期一样重新再生出缺失的伞体, 而是在修复完毕的胃囊表面, 反向再生出新的口腕和触手(图 4a), 并与再生的胃囊相通, 表明安朵仙水母可能不具备任意组织碎片再生出完整个体的能力。本研究中, 组 g 水母的胃囊全部愈合时间是第 20 d(表 2), 口腕和触手在第 30 d 全部开始出现再生(表 3, 图 4b), 受损伞体和正常伞体在第 40 d 开始出现生长(图 2g), 可能安朵仙水母在完全缺失胃囊、口腕、触手和轻微缺失伞体后, 会优先将能量依次用以重建胃囊、口腕和触手, 期间导致正常伞体萎缩, 再生伞体停滞,

在具备一定的摄食能力后, 再进行受损伞体的再生和正常伞体的生长, 表明了水母不同组织细胞的分化和分裂具有明显的顺序性。研究发现, 当安朵仙水母组织受损较轻时(受损伞体占整体的一半以内, 或胃囊轻微破损), 受损伞体和正常伞体均有生长趋势, 且再生伞体的恢复速度明显快于正常伞体生长速度(图 2b~图 2d)。当安朵仙水母组织受损严重时(受损伞体大于等于整体的一半且胃囊严重破损), 则优先恢复受损伞体到与正常伞体大小一致, 期间正常伞体生长缓慢甚至出现先萎缩后恢复情况(图 2e~图 2f), 可能与早期破损胃囊无法收集食物以吸收足够营养有关。

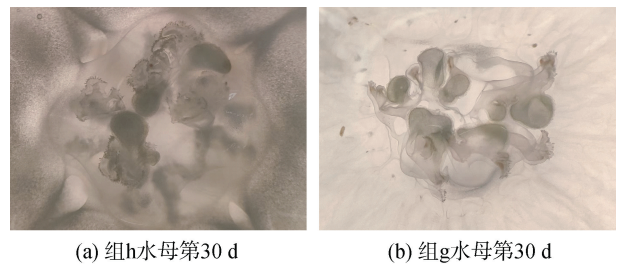


图4 安朵仙水母的胃囊、口腕和触手再生情况

Fig. 4 Regeneration of organs in *Cassiopeia andromeda*

安朵仙水母在缺失组织后仍表现出较高存活率(表 4), 甚至在切除全部伞体(组 h)或全部口腕和胃囊(组 g)后, 剩余部分仍能全部继续存活, 表明其具有较强的受创后存活能力。其中组 f 部分水母在愈合过程中出现严重畸形导致无生命活力被淘汰, 出现差异性再生情况的原因尚不明确。

仙水母属 *Cassiopea xamachana* 水母的水母体在伞体损伤后产生了新的特殊结构, 表明伞体组织有可能再生出身体的各个部位^[2]。本实验周期结束 6 个月后, 于暂养缸中发现一只安朵仙水母的复原伞体边缘另长出一个具有胃囊、口腕和触手的相连个体(图 5), 与上述研究者所记录的结果相似。该特殊结构与母体相连, 显示出独立的放射状辐管, 并与伞缘环管相连。本实验处理组水母中仅此一例情况, 且为实验结束较长时间后发现其形态改变并进行记录。由于目前还没有关于启动或停止安朵仙水母增殖、分化或转分化的细胞线索和分子诱导剂或抑制剂的相关研究^[2], 无法证实其再生机制的统一性和差异性以及刺激和调动此种再生方式为何种因素, 因此还需开展更深入的实验予以探究。

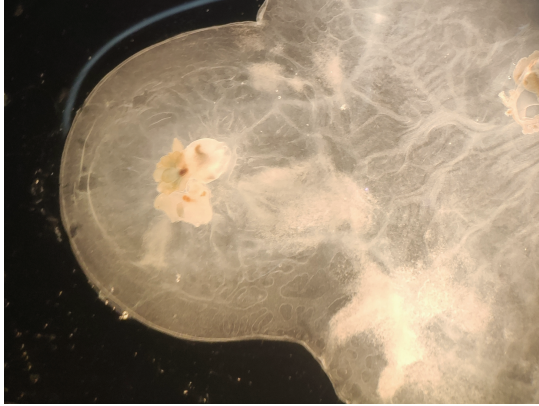


图5 安朵仙水母的特殊再生结构

Fig. 5 General view of a new set of regenerated structures in *Cassiopeia andromeda*

本研究观察到的安朵仙水母水母体在不同程度损伤下的再生过程,证实了安朵仙水母具有强大的伞体、胃囊、口腕和触手再生能力,为安朵仙水母再生时的组织生长和形态研究奠定了基础,同时也对其部分组织的再生差异性产生疑惑。随着水母在生物学研究中得到越来越多的重视,开展安朵仙水母组织动力学研究,再生过程和机理的分子生物学研究,以及人工调控基因表达,将对其他刺胞动物门生物的进化和再生机制提供理论和实践帮助。

参考文献:

- [1] BELY A E, NYBERG K G. Evolution of animal regeneration: re-emergence of a field[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2009, 25(3): 161-170.
- [2] GAMERO-MORA E, HALBAUER, BARTSCH V, et al. Regenerative capacity of the upside-down jellyfish *Cassiopeia xamachana*[J]. *Zoological Studies*, 2019, 58: 37.
- [3] STAMATIS S A, WORSAAE K, GARM A. Regeneration of the rhopalium and the rhopalial nervous system in the box jellyfish *Tripedalia cystophora*[J]. *Biological Bulletin*, 2018, 234(1): 22-36.
- [4] HOLSTEIN T W, HOBMAYER E, TECHNANAU U. Cnidarians: an evolutionarily conserved model system for regeneration?[J]. *Developmental Dynamics*, 2010, 226(2): 257-267.
- [5] DA SILVEIRA F L, JARMS G, MORANDINI A C. Experiments in nature and laboratory observations with *Nausithoe aurea* (Scyphozoa: Coronatae) support the concept of perennation by tissue saving and confirm dormancy[J]. *Biota Neotropica*, 2002, 2(2): 1-25.
- [6] JARMS G. The early life history of Scyphozoa with emphasis on Coronatae. A review with a list of described life cycles[J]. *Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg*, 2010, 45: 17-31.
- [7] ABRAMS M J, BASINGER T, YUAN W, et al. Self-repairing symmetry in jellyfish through mechanically driven reorganization[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(26): 3365-3373.
- [8] ALLEN J M, ROSS K G, ZAYAS R M. *Regeneration in invertebrates: model systems*[M]. Hoboken, NJ, US: John Wiley & Sons, Ltd, 2016.
- [9] ZELENY C. The effect of degree of injury, successive injury and functional activity upon regeneration in the Scyphomedusan, *Cassiopea xamachana*[J]. *Journal of Experimental Zoology*, 1907, 5(2): 265-274.
- [10] MILLS C E. Natural mortality in NE Pacific coastal hydromedusae: grazing predation, wound healing and senescence[J]. *Bulletin of Marine Science*, 1993, 53(1): 194-203.
- [11] STIERWALD M, YANZE N, BAMERT R P, et al. The Sine oculis/Six class family of homeobox genes in jellyfish with and without eyes: development and eye regeneration[J]. *Developmental Biology*, 2004, 274(1): 70-81.
- [12] WEBER C. Structure, histochemistry, ontogenetic development, and regeneration of the ocellus of *Cladonema radiatum* dujardin (Cnidaria, Hydrozoa, Anthomedusae)[J]. *Journal of Morphology*, 1981, 167(3): 313-331.
- [13] SINIGAGLIA C, PERON S, EICHELBRENNER J, et al. Pattern regulation in a regenerating jellyfish[J]. *eLife Sciences*, 2020, 9: e54868.
- [14] FUJITA S, KURANAGA E, NAKAJIMA Y I. Cell proliferation controls body size growth, tentacle morphogenesis, and regeneration in hydrozoan jellyfish *Cladonema pacificum*[J]. *PeerJ*, 2019, 7(10): e7579.
- [15] SCHMID V, TARDENT P. The reconstitutive performances of the Leptomedusa *Campanularia jonstoni*[J]. *Marine Biology*, 1971, 8(2): 99-104.
- [16] HARGITT C W. Experimental studies upon hydromedusae[J]. *Biological Bulletin*, 1899, 1(1): 35-51.
- [17] HARGITT G T. Regeneration in hydromedusae[J]. *Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen*, 1903, 17(1): 64-91.
- [18] MORGAN T H. Regeneration in the hydromedusa, *Gonionemus vertens*[J]. *The American Naturalist*, 1899, 33(396): 939-951.
- [19] LUCAS L, ERIC R. Diversity of cnidarian muscles: function, anatomy, development and regeneration[J]. *Frontiers in Cell & Developmental Biology*, 2017, 4: 157.
- [20] MARTINDALE M Q, PANG K, FINNERTY J R. Investigating the origins of triploblasty: 'mesodermal' gene

- expression in a diploblastic animal, the sea anemone *Nematostella vectensis* (phylum, Cnidaria; class, Anthozoa)[J]. *Development*, 2004, 131(10): 2463-2474.
- [21] GALLIOT B, SCHMID V. Cnidarians as a model system for understanding evolution and regeneration.[J]. *International Journal of Developmental Biology*, 2002, 46(1): 39-48.
- [22] FUJITA S, KURANAGA E, NAKAJIMA Y. Regeneration potential of jellyfish: cellular mechanisms and molecular insights[J]. *Genes*, 2021, 12(5): 758.
- [23] SCHMID V, ALDER H. Isolated, mononucleated, striated muscle can undergo pluripotent transdifferentiation and form a complex regenerate[J]. *Cell*, 1984, 38(3): 801-809.
- [24] SCHMID V, REBER-MÜLLER S. Transdifferentiation of isolated striated muscle of jellyfish in vitro: the initiation process[J]. *Seminars in Cell Biology*, 1995, 6(3): 109-116.

Regeneration in medusae of the upside-down jellyfish *Cassiopeia andromeda*

LI Da, WANG Wei, QI Ji-guang

(Marine Science and Technology Museum, Qingdao 266003, China)

Received: Aug. 23, 2021

Key words: *Cassiopeia andromeda*; medusae; Scyphozoa; regeneration; survival

Abstract: In this study, we cut medusae of *Cassiopeia andromeda* to different degrees (umbrella, stomach, oral arms, and tentacles) and observed them for 60 days. This study provides the first record of regeneration of medusae in *Cassiopeia andromeda*, including medusae with part of the umbrella, all the stomach, all oral arms, and tentacles. Following excision, the missing tissue can regenerate: medusae with the entire umbrella excised regenerated new oral arms and tentacles on the repaired stomach instead of the umbrella, and there was a certain sequence of regeneration in the tissue repair of different parts excised at the same time. This study showed that medusae of *Cassiopeia andromeda* have a high capacity for tissue regeneration and could be used as a potential model species of Scyphozoa for regeneration research and provide a valuable reference for research on Cnidarian and regenerative biology.

(本文编辑: 赵卫红)