

# 塔玛亚历山大藻对卤虫干重及能值的影响

周立红<sup>1,2,3</sup>, 王新<sup>1,3</sup>, 郑天凌<sup>1,3</sup>, 陈晓升<sup>2</sup>

(1. 厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005; 2. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021;

3. 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:** 研究了有毒赤潮藻塔玛亚历山大藻 *Alexandrium tamarense* 对甲壳动物卤虫的干重及能值的影响。实验表明, 经过 18h 的染毒实验, 7 500 尾卤虫 *Artemia parthenogenetica* 在水体中有塔玛亚历山大藻细胞或过滤液(细胞密度均为  $200\text{cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) 存在的情况下, 其总干重及总能值的增加明显受到抑制。卤虫总干重, 对照组增加  $0.0104\text{g}$ , 而滤液组和藻细胞组均增加了  $0.0022\text{g}$ , 仅为对照组的 21.1%; 卤虫总能值, 对照组增加  $0.1435\text{kJ}$ , 而滤液组和藻细胞组则分别增加  $0.0180\text{kJ}$  和  $0.0568\text{kJ}$ , 分别为对照组的 39.5% 和 12.5%。经 SAS 软件分析, 塔玛亚历山大藻细胞对卤虫总干重的影响与对照组比较有显著性差异( $p = 0.0370$ ), 而对其总能值增加则无显著差异( $p = 0.1251$ ); 而塔玛亚历山大藻过滤液对卤虫的总干重、总能值的增加与对照组都有显著性差异( $p$  分别为  $0.0215$  和  $0.0135$ )。另外, 无论是藻细胞或是过滤液对卤虫的比能值均无影响。有毒塔玛亚历山大藻使卤虫总干重减少可影响其他相关海洋动物的食物供给, 而对卤虫能值的影响则表明毒藻可改变食物链中能量的传递效率, 从而影响处于较高营养层的生物。研究还显示该藻的不利影响可出现在赤潮发生期及消退期, 这为全面了解赤潮危害提供新的视角。

**关键词:** 塔玛亚历山大藻 *Alexandrium tamarense*; 卤虫 *Artemia parthenogenetica*; 干重; 能值

中图分类号: Q958.1225 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2007)04-0056-05

## Effects of *Alexandrium tamarense* on dry weight and energy of *Artemia parthenogenetica*

ZHOU Li-hong<sup>1,2,3</sup>, WANG Xin<sup>1,3</sup>, ZHENG Tian-ling<sup>1,3\*</sup>, CHEN Xiao-sheng<sup>2</sup>

(1. School of Life Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Fishery College, Jimei University, Xiamen 361021, China;

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

**Abstract:** The effects of a red tide causing alga — *Alexandrium tamarense* on the dry weight and energy of *Artemia parthenogenetica* were studied. The results showed that the increases of total dry weight and total energy of 7 500 individuals of *Artemia parthenogenetica* were significantly inhibited when they were cultured for 18 hours in the mediums with and without the cells of *Alexandrium tamarense* (cell abundance of  $200\text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ). So far as the total dry weight of *Artemia parthenogenetica* is concerned,  $0.0104\text{g}$  increase was obtained for the control group, while only  $0.0022\text{g}$  increase was obtained for both the two experimental groups, only accounting for 21.1% of the increase of the control group. The total energy value increase was  $0.1435\text{kJ}$  for the control group, and was  $0.0180\text{kJ}$  and  $0.0568\text{kJ}$  respectively for the groups cultured in the mediums with and without the algal cells, only accounting for 39.5% and 12.5% of the increase of the control group respectively. According to the SAS analysis, compared with the control group, the experimental group with cells of *Alexandrium tamarense* had significant influence on the total dry weight ( $p = 0.0370$ ) but not on the total energy values ( $p = 0.1251$ ) of *Artemia parthenogenetica*, while the medium without the algal cells significantly affected both the total dry weight ( $p = 0.0215$ ) and the to-

收稿日期: 2006-08-05; 修订日期: 2006-12-26. 刘学东编辑

基金项目: 国家自然科学基金项目(30370276, 40376032)

作者简介: 周立红(1964—), 江苏省常州市人, 副教授, 在职博士生, 主要从事赤潮生态毒理学及治理的研究。

通讯作者: 郑天凌, E-mail: wshwzh@xmu.edu.cn

tal energy values ( $p = 0.0135$ ) of *Artemia parthenogenetica*. In addition, both the mediums with and without the algal cells had no impact on the calorific values of *Artemia parthenogenetica*. Therefore, it is suggested that the negative effect of the poisonous alga—*Alexandrium tamarense* on the increase of dry weight of *Artemia parthenogenetica* may influence the development of the other aquatic animals which feed on them, and then influence the numbers of these animals. In addition, the energy decrease of *Artemia parthenogenetica* may change the energy transfer through food chain and consequently affect the animals at higher nutrition levels even though the numbers of zooplanktons such as *Artemia parthenogenetica* were not significantly affected. The negative influences of both the algal cells and the filtrate imply that the negative effect of red tide on *Artemia parthenogenetica*—an important feed living thing will occur not only during algal bloom periods but also at the time after red tides subsidise.

**Key words:** *Alexandrium tamarense*; *Artemia parthenogenetica*; dry weight; energy value

塔玛亚历山大藻 *Alexandrium tamarense* 是一种较为常见的赤潮藻, 在我国南方和北方海域都有分布。有些情况下该藻能产生麻痹性贝毒 (PSP), 并通过食物链在贝类等经济海洋生物体内蓄积, 从而威胁人类的健康。研究发现, 该藻也能影响其他海洋生物的生命活动, 其对海洋生态系统的危害已引起了国内外学者的高度重视<sup>[1]</sup>。在我国, 甲壳类生物是重要的海产养殖品种, 近年来也受到这种赤潮藻的威胁。如 1989 年在台湾, 塔玛亚历山大藻赤潮引起当地养殖的斑节对虾 *Penaeus monodon* 大量死亡; 而 1994 年厦门海域对虾养殖池中发生的一起由塔玛亚历山大藻引起的赤潮事件, 几天内使池内对虾全部死亡<sup>[1]</sup>。为此, 国内外学者对该藻的产毒过程、毒素的性质<sup>[2]</sup>以及对甲壳动物的危害机制<sup>[3-5]</sup>等做了大量的研究。至今为止, 该藻对生态系统的物流、能流的影响, 尤其在低密度情况下可能的生态毒理作用研究甚少。生态学原理告诉我们, 能量流动是生态系统的一项重要功能, 初级消费者作为从生产者到不同级别的消费者的中间环节, 在生态系统的物流、能流中起承上启下的作用, 它不仅是转换器, 还起着控制物流、能流方向路线的作用<sup>[6]</sup>。研究赤潮对海洋生态系统能量流动的影响将从更高层次上了解赤潮危害, 并可能发现在低细胞密度时不造成大量生物死亡的赤潮藻是否可能存在其他更深远的影响。由于卤虫 *Artemia parthenogenetica* 在生理、代谢、行为等方面与其它小型海洋浮游生物非常类似, 而且易于培养, 因此被广泛用来作为小型海洋浮游生物的模式生物<sup>[7]</sup>。以卤虫作为初级消费者进行能流实验的研究目前还是以揭示食物链中正常的能量流动规律为主<sup>[8,9]</sup>, 而对赤潮生物是否能影响能量的流动过程国内则未见报道。本文对此进行了初步探索, 希望从另一个层次上了解赤潮生物可能造成的危害。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

塔玛亚历山大藻藻种由厦门大学环境科学中心提供, 为 ATCI01 株系。以 f/2 培养液在 3L 锥形瓶内进行单种培养, 温度为  $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 光照为 3 000lx, 光暗比 12h: 12h (使用 LRH-250G 光照培养箱培养)。通过小鼠法、轮虫及卤虫的毒性实验可见本研究所使用的藻及滤液均具有较稳定的毒性。选用指数生长期中期 (密度为  $7\ 000 - 11\ 000$  cells  $\cdot$  ml<sup>-1</sup>) 的藻液用于实验。实验前取藻样用浮游生物计数框在显微镜下计数。并将藻培养液经 500 目的筛绢过滤得细胞 (随后再悬浮于砂滤海水中, 获得所需的细胞密度) 及滤液 (以砂滤海水稀释成所需浓度) 作为实验溶液。

小球藻为集美大学水产学院保存的藻种, 培养方法同塔玛亚历山大藻, 选用指数生长期 (密度为  $3.00 \times 10^6 - 3.50 \times 10^6$  cells  $\cdot$  ml<sup>-1</sup>) 藻液用于实验。

实验所用的卤虫幼体由休眠卵孵化而得。在室温 ( $19 - 25^\circ\text{C}$ ) 给以 1 200—1 800 lx 的光照强度进行孵化, 约 30h 后移出幼虫, 充气培养, 用小球藻投喂 5d 后作为实验材料。

本实验所用的海水均为集美大学水产学院海水试验场的砂滤海水, 盐度为 31.37。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 实验前卤虫干重及能值的测定

实验开始前将 5 日龄的卤虫幼虫置于砂滤海水中空腹 5h, 然后取一定数量 (7 500 尾) 在  $70^\circ\text{C}$  的烘箱中干燥 15h 至恒重, 称其干重, 得实验前卤虫的总重量, 称重之后再用 Parr1425 型氧弹式热量计测定其能值。

## 1.2.2 染毒实验

卤虫培养于砂滤海水中并投喂小球藻(密度为  $2.20 \times 10^6 - 2.50 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) 作为对照组; 实验组投喂与对照组等量的小球藻, 另外加入塔玛亚历山大藻再悬浮细胞(细胞密度为  $200 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) 作为藻细胞组; 加入塔玛亚历山大藻过滤液(浓度为相当于藻细胞密度为  $200 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) 的作为过滤液组。每个容器中所放卤虫数均为 7500 尾。每组设 2 个平行, 重复 3 次。实验过程在黑暗、通气条件下进行, 实验容器为 5L 的圆形玻璃缸, 内有砂滤海水 3L, 实验持续 18h。18h 后收集各组中的卤虫, 并置于烘箱中于  $70^\circ\text{C}$  下干燥约 15h 至恒重。最后测定其干重和能量, 方法同 1.2.1 节。

统计方法参照《生物统计学》一书<sup>[10]</sup>, 实验数据经 SAS 软件进行方差检验( $F$ -test) 和差异显著性检验( $T$ -test), 差异性水平  $\alpha$  取 0.05。

## 2 结果

### 2.1 塔玛亚历山大藻藻细胞对卤虫总干重、能值增加的影响

塔玛亚历山大藻藻细胞对卤虫干重、能值的增加都有非常明显的影响。在对照组中, 经过 18h 的实验后, 卤虫的总干重增加了 51.23%, 总能量增加了 43.21%, 而在有塔玛亚历山大藻细胞存在的情况下, 其总干重仅增加了 10.84%, 总能量则增加了 17.10%, 分别比对照组少了近 40% 和 27% (图 1)。塔玛亚历山大藻细胞对卤虫干重增加的影响比卤虫能值增加的影响更大。

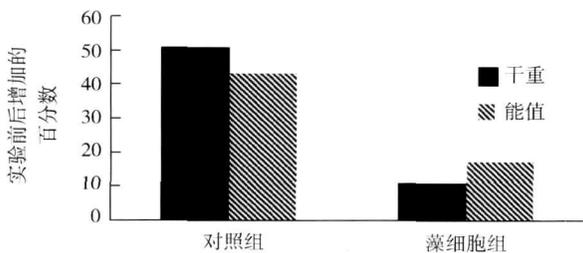


图 1 塔玛亚历山大藻细胞对卤虫干重及能值的影响  
Fig 1 Effects of *Alexandrium tamarense* cells on dry weight and energy of *Artemia parthenogenetica*

### 2.2 塔玛亚历山大藻过滤液对卤虫总干重、能值的影响

塔玛亚历山大藻过滤液对卤虫的总干重和总能量的增加都造成了非常明显的影响。在干重方面, 对照组增加了 51.23%, 而过滤液组仅增加了

10.84%, 比对照组低了近 40%; 能量方面, 对照组增加了 43.21%, 而过滤液组增加了 5.42%, 比对照组低了约 38% (图 2)。

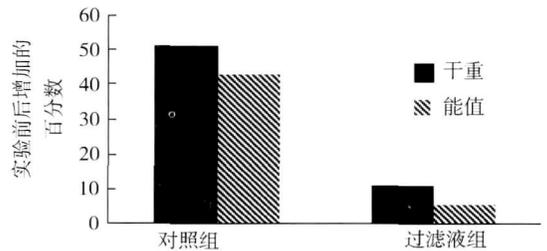


图 2 塔玛亚历山大藻过滤液对卤虫干重及能值的影响  
Fig 2 Effects of medium without *Alexandrium tamarense* cells on dry weight and energy of *Artemia parthenogenetica*

### 2.3 塔玛亚历山大藻对卤虫比能值的影响

经 SAS 软件分析, 18h 后不同组卤虫的比能值没有显著差异 ( $p = 0.6012$ ); 但塔玛亚历山大藻藻细胞对卤虫总干重增加的影响较显著 ( $p = 0.0370$ ), 而对其总能值的增加则无显著差异 ( $p = 0.1251$ ); 藻过滤液对卤虫的总干重、总能值的增加都有显著影响 ( $p$  分别为 0.0215 和 0.0135) (表 1)。

## 3 讨论

本研究结果表明, 塔玛亚历山大藻藻细胞和过滤液对卤虫干重的增加有影响, 这与国内外同类研究结果一致。谭志军等<sup>[3]</sup>研究塔玛亚历山大藻对黑褐新糠虾 *Neomysis awatschensis* 的影响实验中, 将黑褐新糠虾放于密度为  $900 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  的塔玛亚历山大藻液中进行 62d 的慢性毒性实验, 结果黑褐新糠虾的体长和体重分别为对照组糠虾的 95.6% 和 81.9%。Edward 等<sup>[11]</sup>研究也发现, 褐潮 (brown tide) 期间成年雌性纺锤水蚤 *Acartia tonsa* 的体长由未发生赤潮时的 0.75mm 降低到 0.6mm。有毒赤潮藻对海洋浮游生物的生长、体重的增加都能产生不利影响, 而这种不利影响有可能使食物链中某个环节的生物群体数量及质量发生较大变化, 从而影响与其有直接食物联系的其它生物的生长。

有关塔玛亚历山大藻对海洋浮游生物能值的影响在国内外少见报道。本研究发现在较低细胞浓度下 ( $200 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ), 塔玛亚历山大藻细胞或其培养液的过滤液中的卤虫尽管在实验期间未见明显的死亡现象, 但其总能值的增加却减少了, 特别是过滤液。经统计学检验其中的卤虫能量值明显低于对照组。但是从其比能值来看, 各实验组与对照组卤

表1 实验18h后各组卤虫总干重、总能值及比能值

Tab 1 Total dry weight, total energy and calorific values of *Artemia parthenogenetica* after testing for 18 hours

	卤虫总干重/g	平均值±S. D. /g	卤虫总能值/kJ	平均值±S. D. /kJ	比能值/kJ·g <sup>-1</sup>	平均值±S. D. /kJ·g <sup>-1</sup>
对照组	0.026 6		0.617 0		23.195	
	0.025 4		0.499 2		19.654	
	0.033 7	0.475 6±0.086 8	0.479 0	0.030 7±0.005 1	14.214	15.925±4.46
	0.029 5		0.403 8		13.688	
	0.039 3		0.487 4		12.402	
	0.029 6		0.366 9		12.395	
0.014 1	0.298 5		21.170			
0.018 2	0.425 5		23.379			
藻细胞组	0.032 0	0.0225±0.0066*	0.502 3	0.388 9±0.092 5	15.697	17.776±3.68
	0.028 0		0.473 1		16.896	
	0.022 7		0.355 2		15.648	
	0.020 1		0.278 7		13.866	
	0.017 2		0.309 6		18.000	
	0.025 0		0.378 5		15.140	
过滤液组	0.029 0	0.0225±0.0046*	0.380 4	0.350 1±0.029 8*	13.117	15.873±1.85
	0.020 5		0.344 0		16.780	
	0.020 7		0.338 0		16.329	

\* 相对于对照组有显著差异( $p < 0.05$ )。

虫间却没有明显差异, 即该赤潮藻对卤虫比能值没有影响。说明实验卤虫群体总能值增量的减少更可能是因为卤虫干物质积累量速度下降所致, 而非其能量代谢出现异常。据国内外有关学者报道, 塔玛亚历山大藻的麻痹性贝毒是由石房蛤 *Saxidomus* 毒素(STX) 和其衍生物共同组成的, 这类毒素及其衍生物不像一般的抑制性毒素那样对浮游生物的摄食产生影响, 但当大量摄入石房蛤毒素时, 则可能对其消化产生不良影响或使浮游生物为了排毒而必须付出大量能量<sup>[12]</sup>。据周立红等<sup>[13,14]</sup>报道, 在该藻细胞表面或胞外可能含有一种未知毒素, 这种未知毒素可与浮游生物直接接触或排到海水中以海水为介质产生间接毒性作用, 从而影响浮游生物的生长和能量的增加。本研究结果可见实验组与对照组中的卤虫都有相同的饵料(小球藻)供应, 但塔玛亚历山大藻过滤液能显著抑制卤虫总能值的增加, 而活细胞组则抑制作用不明显。说明细胞分泌于水体中的毒素或某些代谢产物可能干扰了卤虫对饵料的摄取、消化或吸收的生理过程, 从而对其能量传递造成影响。尽管本研究只是初步揭示了赤潮藻在食物链能量传递中可能造成一定影响, 其机理尚不清楚, 但对有毒赤潮藻的这种影响却值得关注。这表明即使有毒赤潮未对卤虫等浮游动物的数量造成明显的影响, 也可能使其生长受到抑制, 使整个群体含有的能量值降低, 使能量在食物链间的传递发生改变, 从而影响处于较高营养级的生物。另外赤潮

细胞或其培养液的过滤液均有这种不利影响, 这暗示了赤潮的这种影响不仅可能在赤潮发生期出现, 也可能在赤潮消退后仍然存在。因此有必要对有毒赤潮藻造成的生态毒理效应作更深入的研究。本研究结果为全面了解赤潮危害提供了新的视角。

## 4 结 语

本研究选用小球藻为初级生产者, 卤虫作为初级消费者, 从而构成一简单的食物链, 就塔玛亚历山大藻对该食物链的物流、能流的影响进行了初步研究, 结果显示塔玛亚历山大藻细胞和过滤液均能抑制卤虫总干重和能值的增加, 但不影响其比能值的大小, 其影响的机理及生态学意义将是下一步研究的重点, 进而为研究赤潮藻对海洋生态系统能量传递及海洋渔业资源的影响提供科学依据。

## 参考文献:

- [1] 林之烧. 有毒甲藻塔玛亚历山大藻在厦门地区虾塘引起赤潮[J]. 台湾海峡, 1996, 15(1): 16-18.
- [2] 邹迎麟, 朱明远, HALL S. 两种亚历山大藻产毒过程和毒素特征研究[J]. 黄渤海海洋, 2001, 19(3): 65-70.
- [3] 谭志军, 颜天, 周名江, 等. 塔玛亚历山大藻对黑褐新糠虾存活、生长以及种群繁殖的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(10): 1635-1639.
- [4] 周立红, 陈学豪, 赖伯涛. 塔玛亚历山大藻对贝类鳃组织

- $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATP 酶活性的影响[J]. 集美大学学报, 2002, 7(2): 125—128.
- [ 5 ] 周立红、陈学豪. 塔玛亚历山大藻对罗非鱼肝及鳃组织 ATP 酶活性的影响[J]. 海洋科学, 2003, 27(12): 75—77.
- [ 6 ] 唐启升, 苏纪兰. 海洋生态系统动力学研究与海洋生物资源可持续利用[J]. 地球科学进展, 2001, 16(1): 5—11.
- [ 7 ] PERSOONE G, SORGELOOS P, ROELS O, et al. The brine shrimp *Artemia*[M] // Ecology, culturing, use in aquaculture. Wetteren. Belgium: Universa Press, 1980, 3: 465.
- [ 8 ] 杨纪明, 周名江. 一个海洋食物链能流的初步研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(5): 517—519.
- [ 9 ] 周名江, 颜天. 单胞藻-卤虫能流实验研究[J]. 生态学报, 1996, 16(2): 221—223.
- [ 10 ] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 78—93, 260, 266.
- [ 11 ] EDWARD J B, DEAN A S W. Effects of a persistent “brown tide” on zooplankton populations in the laguna madre of south Texas[M] // Smayda T J, Shimizu Y. Toxic Phytoplankton Blooms in the sea. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B V, 1993: 659—666.
- [ 12 ] DU TZ J. Repr ession of fecundity in the neritic copepod *Acartia clausi* exposed to the toxic dinoflagellate *Alexandrium lusitanicum*: relation ship between feeding and egg production[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1998, 175: 97—107.
- [ 13 ] 周立红, 王大志. 塔玛亚历山大藻对褶皱臂尾轮虫实验种群动态的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2005, 4(11): 444—447.
- [ 14 ] 周立红, 王大志. 塔玛亚历山大藻对两种单胞藻生长的影响[J]. 台湾海峡, 2004, 23(1): 43—50.