

UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫摄食的影响

冯 蕾^{1, 2}, 王洪水¹, 潘 蔚¹, 周文礼², 唐学玺²

(1. 东营职业学院, 山东 东营 257091; 2. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 研究了 UV-B 辐射条件下壶状臂尾轮虫 (*Brachionus urceus*) 对 6 株海洋微藻: 小球藻 (*Chlorella* sp.)、绿色巴夫藻 (*Pavlova uiridis*)、扁藻 (*Tetraselmis chuii*)、球等鞭金藻 8701 (*Isochrysis galbana* Park 8701)、牟氏角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*) 和小新月菱形藻 (*Nitzschia clostertum*) 的室内摄食实验。结果表明, UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫的摄食有显著的抑制作用。与对照组相比, 壶状臂尾轮虫对给定饵料单胞藻的滤水率和摄食率都随 UV-B 辐射剂量的增大而显著减小 ($P < 0.05$)。而且壶状臂尾轮虫对每一种饵料单胞藻的滤水率和摄食率是不相同的, 这说明壶状臂尾轮虫对饵料单胞藻是有选择性的。

关键词: UV-B 辐射; 壶状臂尾轮虫 (*Brachionus urceus*); 摄食率; 滤水率; 饵料单胞藻; 抑制作用

中图分类号: S963.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2006)09-0031-05

由于人类对卤代烃物质的大量使用, 地球大气平流层中的臭氧层日趋变薄, 特别自 1970 年以来, 全球臭氧总量呈现下降趋势, 近十几年来更呈加剧下降之势。臭氧层减薄已成为当今最引人注目的全球变化现象之一。臭氧层耗减的直接结果是使到达地表的中波紫外线, 尤其是对生物具严重损伤作用的紫外线 B 波段 (UV-B) (280~320 nm) 的辐射增强, 从而对全球产生明显的生态学和生物学效应^[1]。研究表明: 北海海水表面紫外线辐射率的 10% 能够穿透到 6 m 深的水层, 而在北冰洋的清澈水域, 其表面 10% 的辐射率可到达 30 m 的水层^[2]。因此, 整个海洋生态系统, 尤其是生活在水体表层的海洋浮游生物 (包括浮游植物和浮游动物) 极易受到紫外光 UV-B 辐射的威胁, 它们受紫外线辐射影响和伤害的潜在危险性不断增加。UV-B 辐射对海洋微藻^[3,4]、海洋细菌^[5]、海洋无脊椎动物^[6,8] 及鱼^[7] 等伤害的研究国内外已有一些报道。但对重要海洋浮游动物类群轮虫影响的研究, 国内外却尚未见报道。作者以世界性广泛分布、对水产养殖有重要饵料学意义、又在世界范围内作为环境监测和生态毒理学研究受试生物的壶状臂尾轮虫为材料, 研究了在 UV-B 辐射条件下, 壶状臂尾轮虫对 6 种饵料单胞藻的摄食, 以期阐明 UV-B 辐射对海洋生态系统

的影响, 特别是对海洋牧食食物链的影响提供一些科学依据。

1 材料和方法

1.1 轮虫

壶状臂尾轮虫 (*Brachionus urceus*) 由 2004 年 10 月采自威海乳山虾池沉积物中的休眠卵孵化而得。挑选活泼健壮携非混交卵雌体, 在实验室恒温光照培养箱内培养 2 个月备用。

培养条件: 温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$; 光照 3 000 lx (光暗周期为 12L: 12D); 培养所用海水均取自青岛汇泉湾, 经脱脂棉过滤、煮沸消毒后待用。海水盐度为 30 ± 1 , pH 为 8.6。

收稿日期: 2006-04-18; 修回日期: 2006-07-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30270258, 40506028); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目 (03BS120); 中国博士后科学基金项目 (2005037237)

作者简介: 冯蕾 (1965-), 女, 山东东营人, 博士, 副教授, 主要从事生态毒理学研究, E-mail: leifeng0601@163.com; 唐学玺, 通讯作者, E-mail: tangxx@ouc.edu.cn

1.2 饵料单胞藻

6 株海洋微藻均由中国海洋大学水产学院微藻种质库 (MACC) 提供: 小球藻 (*Chlorella* sp.); 绿色巴夫藻 (*Pavlova viridis*); 扁藻 (*Tetraselmis chuii*); 金藻 8701 (*Isochrysis galbana* Park 8701); 牟氏角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*); 小新月菱形藻 (*Nitzschia clostertum*)。

以上 6 株海洋微藻实验前均在 f/2 培养液、盐度 30±1、温度 23℃±1℃、光照 4 000 lx 及光暗周期为 12 L: 12D 的条件下培养至对数生长期, 备用。

1.3 UV-B 辐射体系

采用北京师范大学光电仪器厂生产的 8W 紫外 B 灯为光源, 同厂生产的 UV-B 型紫外辐射强度仪测定辐射强度, 紫外 B 灯外用乙酸纤维素薄膜 (上海生化试剂公司生产, 厚度为 0.12 mm) 包被, 以除去小于 280 nm 的短波辐射。整个体系在正式实验前需连续照射 72 h, 以减小薄膜滤过作用的不稳定性。所用薄膜每周更换 1 次, 防止薄膜的老化作用^[9]。

1.4 UV-B 辐射处理

辐射强度为 30 μW/cm², 通过调整辐射时间控制辐射剂量。在预备实验的基础上, UV-B 辐射时间梯度设置为: 30, 60, 90, 120, 150 和 180 min, 其相应的辐射剂量分别为: 0.54, 1.08, 1.62, 2.16 和 2.70 kJ/m²。

1.5 UV-B 辐射对壶状臂尾轮虫摄食的影响

壶状臂尾轮虫为典型的滤食性浮游动物, 所以本实验采用了饵料浓度差减法, 主要是通过对比摄食和对照瓶中饵料密度的差异来研究轮虫的摄食。6 株海洋微藻的实验密度: 小球藻为 200×10⁴ 个/mL、绿色巴夫藻为 150×10⁴ 个/mL、扁藻为 30×10⁴ 个/mL、金藻 8701 为 150×10⁴ 个/mL、小新月菱形藻为 50×10⁴ 个/mL、牟氏角毛藻为 50×10⁴ 个/mL (根据预实验, 6 株海洋微藻的设置密度均采用了培养轮虫种群增长的最适投喂密度)。

实验在 50 mL 烧杯中进行, 实验物体积为 30 mL (轮虫液+微藻液+实验用海水)。实验前先将预培养的壶状臂尾轮虫分别在相应要摄食的 6 株不同海洋微藻中驯化培养 3~5 d, 再饥饿 24 h, 并使其浓缩成一定密度, 然后定量量取一定体积, 并最终使 30 mL 实验液中轮虫密度为 20 只/mL, 即 600 只/杯。

同样, 实验前也将预培养的处于指数生长期的 6 株海洋微藻分别用血球计数板在显微镜下计数, 并根

据以上设置密度定量量取一定体积于实验物中。然后在实验物中补加一定量实验用海水, 最终使实验物总体积为 30 mL。

具体实验步骤是: 先将定量量取的 600 只轮虫于 50 mL 培养皿中行以上所设置梯度的 UV-B 辐射处理, 然后再将其转移到 50 mL 烧杯中, 并分别加入以上相应要摄食的 6 种饵料单胞藻, 最后放入用黑布包裹的纸箱内, 并置于 100 r/min 的恒温振荡器上 (以保持饵料藻始终处于均匀状态而不沉降) 黑暗培养 24h。培养温度和盐度同上。每组实验设 3 个平行样, 3 个对照 (不加轮虫, 观察藻类的变动情况), 每个实验重复 3 次。

实验结束后, 用鲁哥氏碘液固定, 用血球计数板在显微镜下计数, 观察各种藻密度的变化, 计算摄食率和滤水率。

壶状臂尾轮虫对 6 株海洋微藻的摄食率和滤水率的计算按 Frost^[10] 公式:

$$F = \frac{V}{N} \cdot \frac{\ln C_t - \ln C_{tr}}{t}$$

$$G = \frac{V}{N} \cdot \frac{\ln C_t - \ln C_{tr}}{t} \cdot \frac{C_{tr} - C_0}{\ln C_{tr} - \ln C_0}$$

式中, F 为滤水率 (mL/(只·h)), 指的是一定量水样中浮游动物个体在单位时间内滤过的含有一定数量浮游植物的水样的量; G 为摄食率 (个/(只·h)), 即为每只轮虫单位时间内滤过的饵料细胞数; V 为实验溶液体积 (mL); t 为摄食时间 (h); N 为每个实验杯中轮虫个体数 (只); C_0 为起始饵料密度 (×10⁴ 个/mL); C_t 为对照杯中的最终饵料密度 (×10⁴ 个/mL); C_{tr} 为实验杯中的最终饵料密度 (×10⁴ 个/mL)。

1.6 数据统计

微藻细胞密度的变化以细胞密度平均值±标准差给出 ($n = 3$)。运用 SPSS 11.0 软件分析实验组与对照组之间的差异显著性, $P < 0.05$ 被认为是在 $\alpha = 0.05$ 水平上差异显著。

2 结果

2.1 UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫滤水率的影响

图 1 为 UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫滤水率影响的实验结果。由图 1 可知, UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫的滤水率有很大影响。单因素方差分析表明, 在本实验 UV-B 辐射强度和条件下, 当壶状臂尾

轮虫分别以小球藻、绿色巴夫藻、牟氏角毛藻和小新月菱形藻为饵料时,与对照组相比,各实验组轮虫的滤水率都随辐射剂量的增大而显著减小 ($P<0.05$)。而当轮虫以扁藻和金藻 8701 为饵料时,最低剂量的 0.54 kJ/m^2 处理组与对照组相比轮虫的滤水率显著减小 ($P<0.05$),但在 1.08 kJ/m^2 处理组,轮虫的滤水率又会渐渐升高,在高剂量的 $1.26, 2.16$ 和 2.70 kJ/m^2 处理组则又比对照组显著减小 ($P<0.05$)。

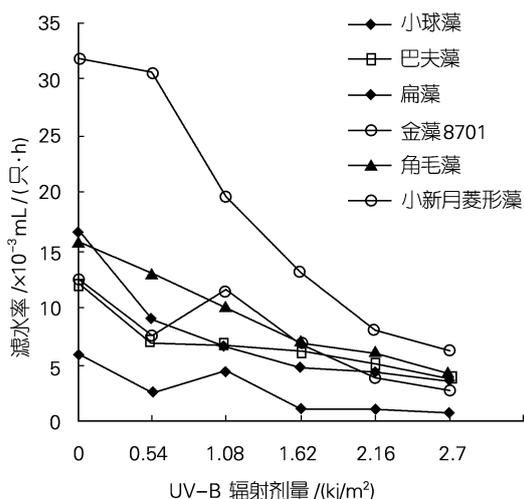


图 1 UV-B 辐射对壶状臂尾轮虫滤水率的影响

Fig.1 Effects of UV-B radiation on the filtering rate of *Brachionus urceus*

2.2 UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫摄食率的影响

图 2 为 UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫摄食率的实验结果。由图 2 可知: UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫的摄食率也有很大影响。单因素方差分析表明,在本实验条件下,当壶状臂尾轮虫分别以小球藻、绿色巴夫藻、扁藻和牟氏角毛藻为饵料时,与对照组相比,各 UV-B 辐射剂量组都表现出,随 UV-B 辐射剂量的增大,轮虫的摄食率显著减小 ($P<0.05$)。当轮虫以小新月菱形藻为饵料时,除最低剂量的 0.54 kJ/m^2 处理组与对照组相比轮虫的摄食率无显著差异外,其它各 UV-B 辐射剂量组,轮虫的摄食率也都随 UV-B 辐射剂量的增大显著减小 ($P<0.05$)。而当轮虫以金藻 8701 为饵料时,最低剂量的 0.54 kJ/m^2 处理组

与对照组相比,轮虫的摄食率显著减小 ($P<0.05$),但在 1.08 kJ/m^2 处理组,轮虫的摄食率又会渐渐升高,在高剂量 $1.26, 2.16$ 和 2.70 kJ/m^2 处理组轮虫的摄食率又比对照组显著减小 ($P<0.05$)。

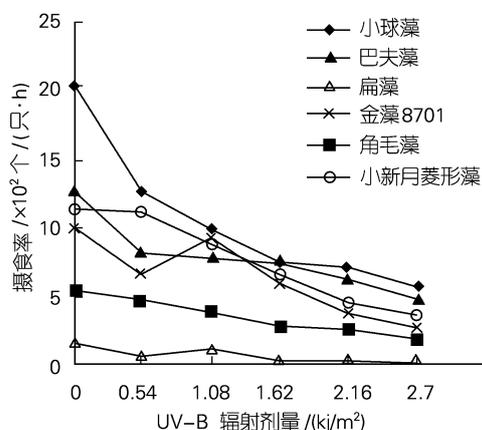


图 2 UV-B 辐射对壶状臂尾轮虫摄食率的影响

Fig.2 Effects of UV-B radiation on feeding rate of *Brachionus urceus*

3 讨论

轮虫是世界性广泛分布的重要海洋浮游动物类群之一。轮虫繁殖迅速,生活周期短,其不仅在水域生态系统结构和功能上具有重要意义,对水产养殖有重要饵料学价值,而且在世界范围内还可作为环境监测和生态毒理学研究受试生物^[11]。目前,国内外对轮虫的研究主要都集中在培养技术^[12]、饵料生物的饵料效果^[13]、急性毒性实验^[14]、种群数量^[15]和实验种群动态等方面^[16,17],而对轮虫基础摄食的研究却较少^[18-20],特别是 UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫摄食影响的研究国内外仍尚未见报道。

许多研究都已证明,UV-B 辐射增强对浮游动物会产生一定的伤害作用。UV-B 辐射不但会影响浮游动物的行为^[21,22],而且还会影响其生理生化特征^[23,24]。本实验结果也同样证明 UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫的摄食表现出明显的抑制效应。在本实验 UV-B 辐射强度和剂量范围内,壶状臂尾轮虫对小球藻、绿色巴夫藻、牟氏角毛藻和小新月菱形藻的滤水率和摄食率都随 UV-B 辐射剂量的增大显著减小 ($P<0.05$);对扁藻和金藻 8701 的滤水率和摄食率,最低剂量 (0.54

kJ/m²) 处理组和高剂量 (1.26, 2.16 和 2.70 kJ/m²) 处理组也都比对照组显著减小 ($P < 0.05$)。这充分说明 UV-B 辐射增强对壶状臂尾轮虫的摄食产生了明显的抑制作用, 且随着 UV-B 辐射剂量的增大, 对轮虫摄食的抑制作用越明显。实验观察发现, 当轮虫受到一定剂量的 UV-B 辐射时, 具有游泳、摄食、滤食功能的头冠纤毛环的运动变慢, 因此作者认为作为轮虫摄食器官的头冠纤毛环受到了 UV-B 辐射的伤害, 导致了其摄食活动迟缓和摄食能力的降低, 具体表现在其滤水率和摄食率的显著降低, 这可能是 UV-B 辐射增强抑制轮虫摄食作用的主要原因之一。另外可能的原因是调控轮虫摄食行为的神经系统受到了损伤, 导致其信号传导的阻断, 因而同样使其摄食活动受到了一定程度的抑制。

由本实验结果还可以看出, 壶状臂尾轮虫对 6 株不同饵料单胞藻的滤水率和摄食率是不相同的, 由此还可以说明, 壶状臂尾轮虫对不同饵料单胞藻的摄食是有选择性的。

致谢: 在实验材料壶状臂尾轮虫种类的鉴定中, 得到了中国海洋大学水产学院李德尚教授的悉心指导, 谨致谢忱。

参考文献:

- [1] Teramura A H, Murali N S. Intraspecific difference in growth and yield of soybean exposed to UV-B radiation under greenhouse and field conditions[J]. *Environ Experi Bot*, 1986, **26** (1): 89-95.
- [2] Ryan K G. UV radiation and photosynthetic production in Antarctic sea ice microalgae[J]. *Photochem Photobiol*, 1993, **40**: 235-240.
- [3] 王悠, 杨震, 唐学玺, 等. 7种海洋微藻对 UV-B 辐射的敏感性差异分析[J]. *环境科学学报*, 2002, **22**(2): 225-230.
- [4] 唐学玺, 黄健, 王艳玲, 等. UV-B 辐射和葱对三角褐指藻 DNA 伤害的相互作用[J]. *生态学报*, 2002, **22**(3): 375-378.
- [5] Dietmar U, Jorg S. Bacterial photomutagenicity testing: distinction between direct, enzyme-mediated and light-induced events[J]. *Mutat Res- Environ Mutag Related Subj*, 1996, **361**: 41-48.
- [6] Preston B L, Snell T W, Kneise L R. UV-B exposure increases acute toxicity of pentachlorophenol and mercury to the rotifer *Brachionus calyciflorus*[J]. *Environ Poll*, 1999, **106**(1): 23-31.
- [7] Jani H, Eeva V, Aimo O. High sensitivity of northern pike larvae to UV-B but no UV-photoinduced toxicity of retene[J]. *Aquatic Toxicology*, 2004, **66**(4): 393-404.
- [8] Hardy J, Gucinski H. Stratospheric ozone depletion: implications for marine ecosystems[J]. *Oceanography*, 1989, **36**(3): 18-21.
- [9] Alan H, Termura Lewis H, Ziska Ester Sztain A. Changes in growth and photosynthetic capacity of rice with increased UV-B radiation[J]. *Physiol planta*, 1991, **83**: 373-380.
- [10] Frost B W. Effects of size and concentration on the feeding behavior of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*[J]. *Limnol Oceanogr*, 1972, **17**: 805-815.
- [11] Snell T W, Janssen C R. Rotifers in ecotoxicology: a review [J]. *Hydrobiologia*, 1995, **313/314**: 231-247.
- [12] 廖永岩. 褶皱臂尾轮虫室内高密度培养及在远海梭子蟹育苗中的运用[J]. *海洋科学*, 2003, **27**(4): 68-71.
- [13] 王金秋, 李德尚, 曹吉祥. 5 种藻和 2 种酵母对萼花臂尾轮虫饵料效果的比较研究[J]. *水生生物学报*, 2003, **27**(5): 476-486.
- [14] 赵含英, 杨家新, 陆正和, 等. Cu²⁺对萼花臂尾轮虫的毒性影响[J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 2002, **25**(4): 85-90.
- [15] 徐继林, 王丹丽. 食物、光照及接种密度对褶皱臂尾轮虫种群增殖的影响[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2003, **22** (1): 26-30.
- [16] 徐晓平, 席贻龙, 储昭霞, 等. 溴氰菊酯对萼花臂尾轮虫实验种群动态的影响[J]. *动物学报*, 2005, **51**(2): 251-256.
- [17] 马蕊, 牛翠娟, 鲍蕾, 等. 食物浓度对方形臂尾轮虫发育历期与实验种群增长参数的影响 [J]. *动物学报*, 2004, **50**(5): 753-758.
- [18] Hansen B, Wernberg-Moller T, Wittrup L. Particle grazing efficiency and specific growth efficiency of the rotifer *Brachionus plicatilis* (Muller) [J]. *Oceanogr Liter Rev*, 1997, **44**: 217-233.
- [19] Heerkloss R, Hlawa S. Feeding biology of two brachionid rotifers: *Brachionus quadridentatus* and *Brachionus plicatilis*[J]. *Oceanogr Liter Rev*, 1996, **43**: 907.
- [20] Navarro N. Feeding behaviour of the rotifers *Brachionus plicatilis* and *Brachionus rotundiformis* with two types of food: live and freeze-dried microalgae[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1999, **237**: 75-87.

- [21] Brooker K A. The effect of the ultra - violet component of sunlight on certain marine organisms[J]. *Can J Res*, 1929 , 1 : 100 - 109.
- [22] Christa L S , Stephen M B , Sean R A. The effect of ultraviolet radiation on the vertical distribution and mortality of estuarine zooplankton[J]. *J Plankton Res*, 2000, 22(12) : 2 325-2 350.
- [23] Kouwenberg H M, Browman H I , Runge J A , *et al.* Biological weighting of ultraviolet (280~400 nm) induced mortality in marine zooplankton and fish. II. *Calanus finmarchicus* (Copepoda) eggs[J]. *Mar Biol*, 1999, 134 : 285-293.
- [24] Karanas J J , Worrest R C, Van Dyke H. Impact of UVB radiation on the fecundity of the opepod *Acartia clausi*[J]. *Mar Biol*, 1981, 65 : 125-133.

Effects of UV-B radiation on the feeding of the rotifer *Brachionus urceus*

FENG Lei^{1,2}, WANG Hong-shui¹, PAN Wei¹, ZHOU Wen-li², TANG Xue-xi²

(1. Dong Ying Vocational College, Dongying 257091, China; 2. Marine Life College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: Apr.,18,2006

Key words: UV-B radiation; *Brachionus urceus*; feeding rate; filtering rate; food algae; inhibition effect

Abstract: The feeding of the rotifer *Brachionus urceus* for six strains of marine microalgae(*Chlorella* sp., *Pavlova uiridis*, *Tetraselmis chuii*, *Isochrysis galbana* Park 8701, *Chaetoceros muelleri* Lermumerman and *Nitzschia clostertum*) under the treatment of UV-B radiation was studied. The results show that the feeding of the rotifer *B. urceus* is inhibited significantly by UV-B radiation treatment ($P<0.05$) . Compared with control, the filtering rate and feeding rate of the rotifer *B. urceus* are significantly lower ($P<0.05$) with increasing dose of UV-B radiation. In addition, the filtering rate and feeding rate of the rotifer *B. urceus* vary with the studied marine microalgae. This result indicates that the rotifer *B. urceus* feeding is selective on the six strains of marine microalgae.

(本文编辑:张培新)