

文章编号: 1004 - 7271(2006)02 - 0195 - 06

## 毛蚶对单胞藻的滤除率、选择性和消化状况

沈和定<sup>1</sup>, 张饮江<sup>1</sup>, 卢华春<sup>1</sup>, 周培根<sup>2</sup>, 吴建中<sup>2</sup>

(1. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090;

2. 上海水产大学食品学院, 上海 200090)

**摘要:**测定了不同水温下毛蚶对 5 种单胞藻的滤除率、选择性和表观消化状况, 结果表明, 在 16 °C ~ 24 °C 的水温范围内, 毛蚶对海洋小球藻的滤除率逐步升高, 24 °C 时的最大滤除率为 1.849 4 (mL/ind·min), 24 °C ~ 26 °C 时的滤除率逐步下降。22 °C 为毛蚶对微绿球藻、球等鞭金藻 3011 和三角褐指藻的最佳滤食温度, 最大滤除率分别为 1.142 4、3.804 5 和 4.430 4。水温 8 °C ~ 24 °C 之间, 毛蚶对巴夫藻的滤除率变化不明显, 平均滤除率为 2.797 2。毛蚶不仅对不同大小、形状的藻类具有选择性, 而且对大小、形状相似的藻类也具有明显的选择性。水温 22 °C 下, 毛蚶对 5 种单胞藻的表观消化状况不同。贝类对其滤除率大、消化状况差的藻类在促进贝类净化进程中有良好的应用参考价值。

**关键词:**毛蚶; 单胞藻类; 水温; 滤除率; 选择性; 表观消化状况

中图分类号: S 917; S 966.2 文献标识码: A

## Filtration rate, selectivity and digestion of *Scapharca subcrenata* for microalgae

SHEN He-ding<sup>1</sup>, ZHANG Yin-jiang<sup>1</sup>, LU Hua-chun<sup>1</sup>, ZHOU Pei-gen<sup>2</sup>, WU Jian-zhong<sup>2</sup>

(1. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. College of Food Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** The effects of water temperature and microalgae on the filtration rates (FR) and the selectivity of the bloody clam *Scapharca subcrenata* were studied under laboratory conditions. The results showed that the FR of the bloody clam over the microalgae, *Chlorella* sp. was increased when the water temperature rose from 16 °C to 24 °C, with a maximum FR of 1.849 4 (mL/ind·min) at 24 °C, while it was decreased when the temperature further increased from 24 °C to 26 °C. It was found that 22 °C was the optimal feeding temperature for the bloody clam to filter feed *Nannochloropsis oculata*, *Phaeodactylum tricorutum* and *Isochrysis galbana*, with the maximum FR of 1.142 3, 4.430 4 and 3.804 5 (mL/ind·min) respectively. The FR of the bloody clam on *Pavlova viridis* did not show significant increase when the temperature rose from 8 °C to 24 °C, with the average FR of 2.797 2 (mL/ind·min). The bloody clam had selectivity not only on the sizes and shapes of algae, but also on the species of the same size and shape. Through the two-way significant variance analysis on the FR at different temperatures, it was found that *Isochrysis galbana* was more suitable for the bloody clam than *P. viridis*. The digestion of five species microalgae was different at 22 °C. While *Phaeodactylum tricorutum* with the highest FR and lower digestive rate

收稿日期: 2005-06-13

基金项目: 上海市教委发展基金项目(科 03 - 125); 上海市科委项目(科 99 - 18); 上海市重点学科建设项目(Y1101)

作者简介: 沈和定(1964 - ), 男, 浙江奉化人, 副教授, 硕士生导师。主要从事贝类学、贝类增养殖学和贝类净化技术研究。电话: 021 - 65710362, E-mail: hdshen@shfu.edu.cn

could be applied to the process of shellfish depuration.

**Key words:** *Scapharca subcrenata*; microalgae; water temperature; filtration rate; selectivity; digestion

毛蚶(*Scapharca subcrenata*)由于其强大的滤食能力,很容易摄食、富集水中的有毒有害物质,加之半生熟的食用方法,因此极易出现食用毛蚶传染疾病的现象。毛蚶体内细菌和甲肝病毒的净化方法和净化效果已有不少报道<sup>[1-3]</sup>;Jakson等指出了为了加快贝类净化的进程,贝类净化需要评价贝类生理状态尤其是胃肠结构和摄食活动对净化效果的影响<sup>[4]</sup>。因此研究贝类的摄食生理对贝类净化效果的影响具有重要的理论和实际意义。有关双壳贝类的摄食规律、方法比较和应用研究较多<sup>[5-10]</sup>,而对毛蚶生理生态研究仅见其温度、规格对耗氧率和排氨率的影响<sup>[11]</sup>,有关其滤食、消化规律仍缺乏必要研究。本文着重研究水温、藻类种类和浓度对毛蚶滤除率的影响以及各种藻类的消化状况,以期对毛蚶生理生态和净化技术的进一步研究提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

2003.12—2004.6采集连云港海区的毛蚶,选取大小均匀、无损伤的个体,小心刷去表面的泥沙和附着物,放入人工配置的海水中充气暂养,每日投喂单胞藻类;2~3 d换水一次,试验前停食24 h后备用。试验用毛蚶壳长×壳宽×壳高为(2.9431±0.1458) cm×(2.2827±0.1429) cm×(1.7856±0.0727) cm,软组织干重(0.5988±0.1337) g。所用单胞藻类为人工培养的小球藻(*Chlorella* sp.)、微绿球藻(*Nannochloropsis oculata*)、三角褐指藻(*Phaeodactylum tricorutum*)、球等鞭金藻3011(*Isochrusis galbana*)、巴夫藻(*Paulova viridis*);用比重1.090的浓缩海水配置成盐度25.1的人工海水供试验使用。

### 1.2 试验方法

每个1 000 mL的烧杯放入一只毛蚶,试验设置3个平行组和1个空白对照组(不放毛蚶观察饵料藻类的变化情况)。预试验获取产生假粪的藻类阈值浓度后,在该浓度以下设置各种藻类的浓度梯度;三角褐指藻、球等鞭金藻3011、巴夫藻的浓度梯度均为 $5 \times 10^4$ 、 $10 \times 10^4$ 、 $15 \times 10^4$ 、 $20 \times 10^4$  (cell/mL);小球藻、微绿球藻的浓度梯度为 $30 \times 10^4$ 、 $40 \times 10^4$ 、 $50 \times 10^4$ 、 $60 \times 10^4$  (cell/mL)。

各试验组的水温控制在5℃至26℃,分别设5~7个温度梯度;其中22℃、24℃、26℃为水浴人工控温,其它温度组为自然温度;试验时间为1~2 h。

个体记数法测定水样中藻类的浓度,根据藻类浓度变化计算滤除率。滤除率(FR)<sup>[12]</sup>用下式计算:

$$FR = \frac{\ln C_0 - \ln C_t}{t} \times \frac{V}{N}$$

式中: $C_0$ ——起始藻类浓度(cell/mL);

$C_t$ ——结束时藻类浓度(cell/mL);

$t$ ——试验时间(min);

$V$ ——试验水的体积(mL);

$N$ ——试验贝的个数(ind)。

试验结束后,用游标卡尺测定毛蚶的壳长、壳高、壳宽,称其软组织鲜重与干重(70℃下烘24 h后在精密电子天平上称重)。

### 1.3 数据分析

试验结果用方差分析进行F检验与多重比较;不同水温条件下各种藻类滤除率的平均值采用Duncan's新复极差法<sup>[13]</sup>判别之间的差异显著程度;藻类浓度和水温对毛蚶滤除率的影响采用双因素有重复观测值的方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水温下毛蚶对各种藻类的滤除率

#### 2.1.1 不同水温下毛蚶对小球藻的滤除率

F 检验显示,不同温度下毛蚶对小球藻的滤除率具有显著差异( $P < 0.01$ ),随着温度的升高,滤除率达到一个峰值后有所降低,最大的滤除率  $1.849 4 \pm 0.076 2$  (mL/ind·min) 出现在 24 °C 时,11 °C 时的最小滤除率为  $0.089 5 \pm 0.717 6$  (mL/ind·min),详见图 1。不同温度下滤除率多重比较结果为,24 °C 对 10 °C、11 °C、16 °C、26 °C 之间存在极其显著的差异( $P < 0.01$ ),与 22 °C 存在显著差异( $P < 0.05$ );22 °C 与 10 °C、11 °C、16 °C 之间存在极显著差异( $P < 0.01$ );26 °C 与 11 °C 和 16 °C 间存在极显著的差异( $P < 0.01$ ),其它各组之间差异不显著( $P > 0.05$ ),可见 24 °C 下毛蚶对小球藻的滤除率与其他水温组的差异明显,最大滤除率出现在水温 24 °C 时。

#### 2.1.2 不同水温下毛蚶对微绿球藻的滤除率

方差分析 F 检验显示不同水温下毛蚶对微绿球藻的滤除率具有极显著性差异( $P < 0.01$ ),随着水温的升高,滤除率有所上升,在 22 ~ 24 °C 时有较高的滤除率,之后略有下降,最大的滤除率出现在 22 °C 时,为  $1.142 4 \pm 0.442 6$  (mL/ind·min);最小滤除率出现在 26 °C 时,为  $0.098 9 \pm 0.442 6$  (mL/ind·min);具体如图 2 所示。对各个水温下的滤除率进行多重比较,显示 22 °C 对 8 °C、9 °C、20.5 °C、26 °C 有极显著的差异( $P < 0.01$ );24 °C 对 8 °C、9 °C、20.5 °C、26 °C 有极显著的差异( $P < 0.01$ ),22 °C 组和 24 °C 组之间的差异不显著( $P > 0.05$ )。

#### 2.1.3 不同水温下毛蚶对三角褐指藻滤除率的影响

水温对毛蚶滤食三角褐指藻的滤除率具有极显著性差异( $P < 0.01$ ),最大的滤除率出现在 22 °C,为  $4.430 4 \pm 1.910 6$  (mL/ind·min);最小滤除率出现在 10 °C 时,为  $0.186 5 \pm 0.176 6$  (mL/ind·min)。对各水温组间的滤除率多重比较显示,22 °C、24 °C、26 °C 组与其他各水温组间有极显著的差异( $P < 0.01$ ),22 °C、24 °C、26 °C 组之间的差异不显著( $P > 0.05$ )。

从图 3 可见,滤除率随温度的升高呈现增长的趋势,毛蚶在滤食三角褐指藻时,15 °C 到 22 °C 之间的滤除率呈升高趋势,22 °C 时达最高值,22 °C 到 26 °C 之间下降;22 °C 为毛蚶对三角褐指藻的最佳滤食水温。

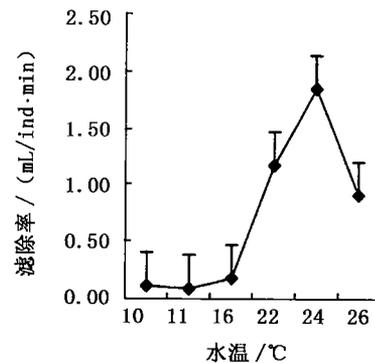


图 1 温度与小球藻滤除率的关系  
Fig.1 The relationship between the temperature and filtration rate for *Chlorella* sp.

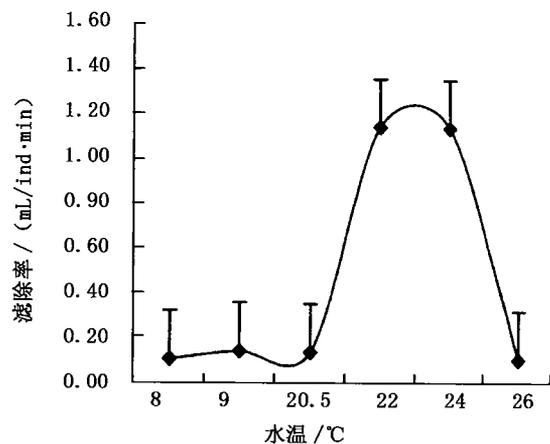


图 2 温度与微绿球藻滤除率的关系  
Fig.2 The relationship between the temperature and filtration rate for *Nannochloropsis ocluata*

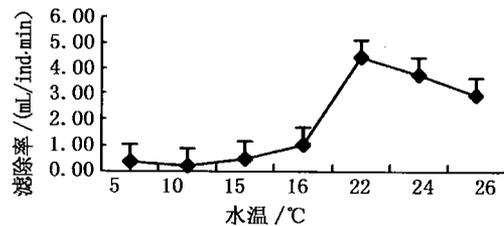


图 3 温度与三角褐指藻滤除率的关系  
Fig.3 The relationship between the temperature and filtration rate for *Phaeodactylum tricornutum*

### 2.1.4 不同水温下毛蚶对巴夫藻滤除率的影响

毛蚶滤食巴夫藻时,水温对滤除率具有显著性的差异( $P < 0.01$ ),最大的滤除率出现在26℃时,为 $10.9009 \pm 11.1253$  (mL/ ind·min);最小滤除率出现在11℃时,为 $0.0884 \pm 0.0726$  (mL/ ind·min)。滤除率随着水温的升高而平缓地上升,但在26℃时滤除率骤然升高,具体如图4所示。对其它各水温组滤除率的多重比较显示,各水温组间无显著差异( $P > 0.05$ )。

### 2.1.5 不同水温下毛蚶对球等鞭金藻 3011 滤除率的影响

毛蚶滤食球等鞭金藻 3011 时,水温对滤除率具有极显著的差异( $P < 0.01$ ),最大的滤除率出现在22℃,为 $3.8045 \pm 2.4799$  (mL/ ind·min);最小滤除率出现在11℃时。各水温组毛蚶对球等鞭金藻 3011 的滤除率多重比较发现,22℃组与11℃、14℃、16℃、24℃、26℃组之间的滤除率具有极显著差异( $P < 0.01$ ),26℃与11℃、14℃、16℃之间的滤除率存在极显著差异( $P < 0.01$ );24℃对11℃、14℃之间存在显著差异( $P < 0.05$ ),其它各组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。图5可以看出,滤除率随水温的升高呈增长的趋势,16℃到22℃之间,滤除率呈升高趋势,22℃时到达最高值,22℃至24℃之间呈下降趋势,24℃至26℃又略有上升,22℃为毛蚶滤食球等鞭金藻 3011 的最佳水温。

## 2.2 毛蚶对大小相似藻类的选择性

巴夫藻( $\phi = 11 \mu\text{m}$ )和金藻 3011( $\phi = 11 \mu\text{m}$ )在相同水温22℃和相同藻类浓度条件下,毛蚶对藻类的最大滤除率分别为2.7972和3.8045 (mL/ ind·min);分析对巴夫藻和金藻 3011 之间的滤除率存在极显著差异( $P < 0.01$ )。

对相同大小和相同藻类浓度的微绿球藻和小球藻在不同水温下的最大滤除率进行比较,得出同种贝类对大小相似藻类的滤除率也存在显著差异( $P < 0.05$ )。对不同水温、相同个体大小的藻类,毛蚶出现最大滤除率时的水温也不相同,小球藻( $\phi = 4.5 \mu\text{m}$ )组为22℃,微绿球藻( $\phi = 4.5 \mu\text{m}$ )组为24℃时。这些藻类直径都大于 $4 \mu\text{m}$ ,从图6中可以看出,毛蚶对大个体的三角褐指藻具有更为明显的选择性。

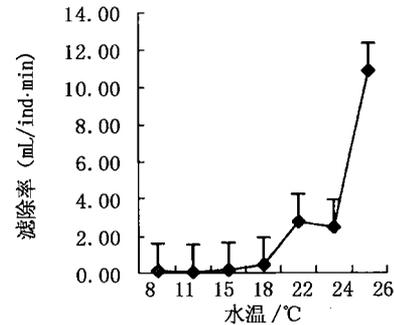


图4 温度与巴夫藻滤除率的关系  
Fig. 4 The relationship between the temperature and filtration rate for *Pavlova viridis*

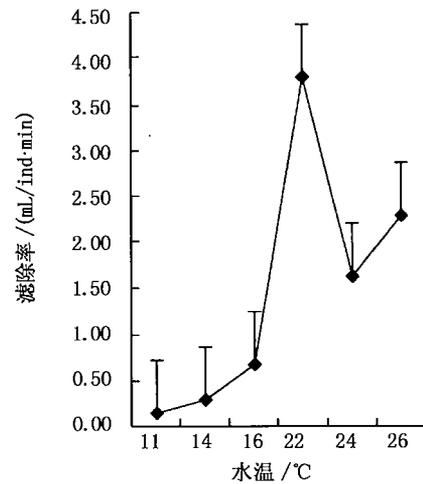


图5 温度与球等鞭金藻 3011 滤除率的关系  
Fig. 5 The relationship between the temperature and filtration rate for *Isochrusis galbana*

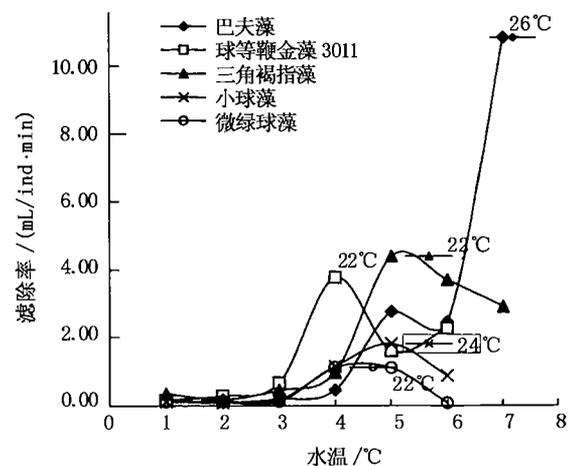


图6 温度与滤除率的关系  
Fig. 6 The relationship between the temperature and filtration rate of bloody clam for microalgae

### 2.3 假粪及粪便中藻类存活和藻类表观消化状况比较

投喂较高浓度(约  $100 \times 10^4$  cell/mL)的藻类后,毛蚶前期产生的假粪呈棉絮状,悬浮性较好;后期产生的假粪呈带状或颗粒状。随温度升高,假粪产生的速率逐渐加快,22 °C 时,投喂 15 min 后就有假粪产生。较小个体的小球藻和微绿球藻,假粪产生的速度不如个体较大的三角褐指藻,这可能与水中藻类总量大小有关。巴夫藻浓度大于  $20 \times 10^4$  cell/mL 时,毛蚶滤食不到 30 min,就会产生粘液包裹着的假粪。

22 °C 水温下,毛蚶滤食球等鞭金藻 3011 一天后排出的粪便呈棕色,镜检约有 80% 为消化个体,藻类呈碎屑状;其它 4 种藻类在毛蚶粪便中的个体完整,被消化后呈碎屑状的个体不多,表观消化率较低。与 Jin Lei 等所观察到的直径大于  $5 \mu\text{m}$  的球形颗粒,双壳类对其具有完整的保存性<sup>[7]</sup>的结果相同。其中藻类个体还有存活的现象,巴夫藻仍能颤动,可培养恢复;小球藻等藻类大多也为粘液包裹的完整个体。不仅是球形藻类颗粒,而且梭形的三角褐指藻在毛蚶粪便中也是以完整个体出现,表观消化率极低。

### 2.4 藻类浓度对滤除率的影响

单因素方差分析显示,不同水温下藻类浓度对滤除率没有显著的差异( $P > 0.05$ ),这与 Gao 等<sup>[14]</sup>的藻类浓度与滤除率影响不大的结果相同;对温度与藻类浓度进行可重复性双因素方差分析,显示温度与藻类浓度之间的交互作用不显著( $P > 0.05$ ),可以排除藻类浓度对温度的影响。

### 2.5 温度对滤除率的影响

毛蚶对 5 种藻类滤除率的最大值都出现在水温 20 °C 以上的范围内;这与王芳等的大西洋牡蛎最高滤除率出现在水温大于 20 °C 时相似<sup>[15]</sup>。方差分析显示水温对毛蚶滤食小球藻、微绿球藻、三角褐指藻、巴夫藻、球等鞭金藻 3011 的滤除率影响都具有极其显著的差异( $P < 0.01$ )。

在适宜水温范围内,毛蚶对 5 种藻类的滤除率随温度的升高而增加,超过一定的温度范围,滤除率随水温的升高而下降(如图 6),这可能与适温范围内,温度升高使贝类的代谢加强,滤食加快,滤除率升高有关;当水温超过一定范围时,贝类尤其小规格贝类则处于不正常的生理状态,导致滤除率的下降<sup>[15]</sup>。对巴夫藻的滤食不符合这种规律,滤除率在水温 24 °C 以上时仍呈上升趋势;其原因可能与藻类的活力大小有关<sup>[16]</sup>,金藻类因为具有鞭毛,活动性强,其滤食率比不能活动的硅藻小,但又比不活动的小球藻高,因此有可能存在贝类对饵料的选择鉴别机制;这与 Gao 等认为贝类滤除率与食物数量和质量关系不大只与总颗粒物有关的结果<sup>[14]</sup>有所不同。

### 2.6 个体大小对滤除率的影响

试验采用单个体的毛蚶对不同藻类的滤食,毛蚶个体大小差异不显著( $P > 0.05$ ),软组织重差异不显著( $P > 0.05$ ),试验基本排除了贝类个体对藻类浓度的影响。

## 3 讨论

### 3.1 滤除率的生理意义

Jespersen 认为滤食性贝类在饵料浓度低于产生假粪阈值时,食物在贝类体内可以得到充分地消化,但随着浓度的增加同化率下降<sup>[17]</sup>;Sprung 认为贝类滤食量增加,其同化率呈指数减少,是与不同食物浓度条件下贝类的消化能力不同有关<sup>[18]</sup>。通过滤除率的测定可以间接反应某种贝类的最适生长温度,不失为一种精确快速测定生长适温的参考方法。滤除率直接受到贝类所处环境的生物和非生物因子的影响,诸如海水的温度、盐度、饵料浓度和质量等因子的影响。研究双壳贝类对藻类的滤除率不仅能及时利用贝类控制水中浮游植物的生物量,改善水质、治理富营养化水体,预防赤潮及进行生态养殖和养殖容量研究<sup>[5,6,8,9,10]</sup>,而且能为贝类净化技术的深入研究提供参考。

### 3.2 藻类浓度对滤除率的影响机理

鳃是滤食性贝类摄食和呼吸的主要器官,摄食和呼吸是密切相连的,藻类浓度增大会造成不同程度

鳃的阻塞,影响呼吸;为保证氧气的摄入量,藻类浓度过高会造成滤除率的下降。Ward 在研究 3 种贝类的滤食器官特征时发现,高浓度下饵料颗粒在鳃表面的运动速度减慢,若鳃仍然按照正常的活动频率或提高活动频率,易造成阻鳃现象,贝类只有降低鳃活动的频率,降低滤除率才能维持正常的生理代谢<sup>[19]</sup>。这可能也是较高浓度下毛蚶对小球藻、微绿球藻的滤除率低于较低浓度下毛蚶对三角褐指藻、球等鞭金藻 3011、巴夫藻滤除率的原因之一。

### 3.3 提高贝类净化效率的措施

王艳等在不投喂饵料时,用臭氧-紫外组合法净化毛蚶 30h 后能杀灭 99.93% 的粪大肠杆菌<sup>[1]</sup>;甲肝病毒(HAV)污染的毛蚶流水暂养 2~3d,体内病毒下降 90%,但直至 14d 仍可检出 HAV<sup>[2]</sup>;而用 ClO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 和紫外线联合净化方法具有灭活毛蚶体内 HAV 的作用,其净化效果和时间与体内 HAV 浓度密切相关<sup>[3]</sup>;Jackson 等认为贝类净化需要评价贝类生理状态尤其是胃肠结构和摄食活动对净化效果的影响<sup>[4]</sup>,Chen 等在每 3d 投喂 1 次藻类浓度为 907 cell/mL 的贝类麻痹性贝毒素(PSP)净化试验中,贝类体内的 PSP 含量没有下降<sup>[20]</sup>;Graham 等在贝类神经性毒素(NSP)净化试验的第 2、3 天各投喂 1 次浓度为 200 cell/mL 的球等鞭金藻,太平洋牡蛎体内的 NSP 没有下降到安全浓度范围<sup>[21]</sup>;试验过程中的藻类浓度与本试验中贝类产生假粪时的藻类浓度 20 × 10<sup>4</sup> cell/mL 以上或 60 × 10<sup>4</sup> cell/mL 以上有极大的差距。另外,淡水贝类对饵料生物也有明显的选择性<sup>[22]</sup>,因此在贝类净化过程中高浓度投喂那些不能被贝类消化或消化率低、滤除率大的藻类,对促进贝类体内(肠道、鳃和外套膜内)细菌和病毒的消减可能有积极的作用,三角褐指藻等滤除率大、消化状况差的藻类对提高毛蚶净化效率有良好的参考作用,投喂藻类对贝类净化的效果值得深入研究。

### 参考文献:

- [1] 王 艳,周培根,徐文达,等.臭氧-紫外组合法净化贝类研究[J].水产科学,2004,23(5):31-33.
- [2] 汪健翔,胡善联,俞顺章,等.毛蚶积聚和净化甲肝病毒的研究[J].中华实验和临床病毒学杂志,1992,6(2):115-118.
- [3] 张 曦,刘国星,滕 峥,等.毛蚶中甲肝病毒净化实验研究[J].上海预防医学杂志,2002,14(7):320-321.
- [4] Jackson K L, Ogburn D M Review of depuration and its role in shellfish quality assurance[M]. NSW Fisheries Final Report Series 1999, 13.
- [5] 董 波,薛钦昭,李 军.海洋滤食性贝类摄食的研究现状[J].海洋科学,1998,6:26-29.
- [6] Fritz L W, Lutz R A, Foote M A, et al. Selective feeding and grazing rates of oyster (*Crassostrea virginica*) larvae on natural phytoplankton assemblages[J]. Estuaries, 1984,7(4b):513-518.
- [7] Jin L, Barry S P, Shao Y W. Filtration dynamics of the Zebra mussel, *Dreissena polymorpha*[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1996,(53):25-37.
- [8] Navarro J M, Velasco L A. Comparison of two methods for measuring filtration rate in filter feeding bivalves[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2003,83:553-558.
- [9] Rissgard H V, Mohlenberg F. Efficiency of particle retention in 13 species of suspension feeding bivalves[J]. Ophelia, 1978, 17(2): 239-246.
- [10] Shumway S E, Cuccl T L, Newell R C, et al. Particle selection, ingestion, and absorption in filter-feeding bivalves[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1985, 91: 77-92.
- [11] 姜祖辉,王 俊.温度和规格对毛蚶耗氧率和排氨率的影响[J].青岛大学学报,1999,12(1):75-79.
- [12] Rissgard H V. Efficiency of particle retention and filtration rate in 6 species of Northeast American bivalves[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1988, 45: 217-223.
- [13] 陈兆祥.渔业生物统计[M].北京:中国农业出版社,1995. 127-128.
- [14] Gao Q F, Wang Z L, Wong W H, et al. Effects of food quality and quantity on feeding and absorption in black-ribbed mussels, *Septifer virgatus* (wiegman)(bivalves:mytilidate)dominating wave-exposed habits in Hong Kong[J]. Journal of Shellfish Research. 2002,21(1):51-57.
- [15] 王 芳,董双林,张 硕,等.海湾扇贝和太平洋牡蛎的食物选择性及滤除率的试验研究[J].海洋与湖沼,2000,31(2):139-144.
- [16] Bougrier S, Hawkins A J S, Heral M. Preingestive selection of different microalgal mixture in *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis*, analysed by flow cytometry[J]. Aquaculture,1997,150:123-134.
- [17] Jespersen H, Olsen K. Bioenergetics in veliger larvae of *Mytilus edulis* L.[J]. Ophelia,1982,21(1):101-113.
- [18] Sprung M. Physiological energetics of mussel larvae (*Mytilus edulis*) IV [J]. Efficiency Mar Ecol Pro Ser,1984d,18:179-186.
- [19] Ward J E, Macdonald B A, Thompson R J. Mechanism of suspension feeding in bivalves: Resolution of current controversies by means of endoscopies[J]. Limn Oceanogr,1993,38(2):265-272.
- [20] Chen C Y, Chou H N. Accumulation and depuration of paralytic shellfish poisoning toxins by purple clam *Hiatula rostrata* Lightto[J]. Toxicon. 2001, 39:1029-1034.
- [21] Graham C F, Brenda E H, Margaret F S. Reducing neurotoxic shellfish poison (NSP) in pacific oysters (*Crassostrea gigas*) to levels below 20 mouse units·100G<sup>-1</sup>[J]. Journal of Shellfish Research. 2002, 21(2):465-469.
- [22] 闻海波,徐钢春,华 丹.圆背角无齿蚌在特定条件下的选择滤食与生长的初步研究[J].上海水产大学学报,2005,14(4):464-467.