

# 三角帆蚌对藻类滤食及消化的研究

费志良<sup>1</sup>, 吴 军<sup>2</sup>, 赵 钦<sup>2</sup>, 唐建清<sup>3</sup>, 黄 成<sup>2</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097;

2. 南京大学生命科学学院, 南京 210093; 3. 江苏省淡水水产研究所, 南京 210017)

**摘 要:** 研究了三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii* Lea) 对藻类的滤食和消化能力。通过对三角帆蚌生活的池塘以及三角帆蚌的胃、中肠、直肠中所含藻类的鉴定和含量的对比发现, 三角帆蚌能滤食环境中大部分的藻类; 对于滤取到消化道中的藻类, 除一些结构复杂的外, 都能很好的消化。其中, 蓝藻门的总消化率为 78.8%, 消化度为 +4; 硅藻门的总消化率为 90.0%, 消化度为 +5; 隐藻门的总消化率为 41.1%, 消化度为 +3; 裸藻门的总消化率为 46.5%, 消化度为 +3; 绿藻门的总消化率为 49.1%, 消化度为 +3。研究结果为利用滤食性贝类治理富营养化水体中的水华污染提供了可行的路径。

**关键词:** 三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii* Lea); 藻类; 滤食; 消化

**中图分类号:** S917.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6907-(2006)05-0024-04

## Effect of Filtration and Digestion of *Hyriopsis cumingii* to Algae

FEI Zh+liang<sup>1</sup>, WU Jun<sup>2</sup>, ZHAO Q in<sup>2</sup>, TANG Jian-q ing<sup>3</sup>, HUANG Cheng<sup>2</sup>

(1. School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097;

2. School of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093;

3. Freshwater Fishery Research Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210017)

**Abstract** The capabilities of *Hyriopsis cumingii* in filtering and digesting algae were studied. We identified the algae in the pond *H. cumingii* lived, the stomach, the mid-intestine and the recta of the mussels and compared the results. Then the conclusion indicated that *H. cumingii* can filter and digest most sorts of algae in its living space. The algae filtered to the alimentary canal were digested thoroughly except for the ones with complex structure. The gross digestive rate for Cyanophyta was 78.8% and the digestive rank was +4. The gross digestive rate for Bacillariophyta was 90.0% and the digestive rank was +5. The gross digestive rate for Cryptophyta was 41.1% and the digestive rank was +3. The gross digestive rate for Euglenophyta was 46.5% and the digestive rank was +3. The gross digestive rate for Chlorophyta was 49.1% and the digestive rank was +3. The study suggested that it was feasible for eliminating algae in eutrophic water by filter-feeding bivalves.

**Key words** *Hyriopsis cumingii* Lea; algae; filtration; digestion

三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii* Lea) 隶属于软体动物门瓣鳃纲古异齿亚纲蚌目蚌科帆蚌属, 是我国特有的物种, 有重要的经济价值, 在淡水育珠蚌中所产珍珠质量极佳, 其肉质鲜嫩, 含丰富的蛋白质、无机盐和各类维生素, 是常见的食物。

张玺等<sup>[1]</sup>的解剖与研究发现, 三角帆蚌消化系统分为口、食道、胃、肠和肛门几个部分。口位

于前闭壳肌下, 口两侧各有一对三角形唇片, 有感觉和摄食功能。食道紧接口的后面, 极短。胃与食道相连, 体积较小, 胃中主要进行食物的机械磨碎和初步消化。周围有一对肝脏, 可分泌消化酶。肠与胃相连, 盘曲于内脏团中。肠上皮有纤毛, 是主要的消化吸收场所。直肠穿过心室, 末端为肛门, 肛门开口于后闭壳肌上出水管附近。胃肠之间有一

收稿日期: 2005-10-30

资助项目: 国家“863”计划项目“大型底栖动物控藻与净化水质技术研究”(2002AA601011-02-2)

第一作者简介: 费志良(1962-), 男, 研究员, 主要从事水产品加工与质量研究。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

晶杆，是一个具有消化酶的胶状物质构成的晶杆状构造，其功能主要是帮助消化。

三角帆蚌无专门捕食器官，靠鳃上的纤毛与唇上的纤毛扇动产生水流，水中生物和有机碎屑随水流从进水管经过鳃时会被过滤或截取下来，过滤下来的颗粒在纤毛摆动下经鳃腹部的食物凹槽送到唇片。经唇片筛选的食物颗粒如适宜(大小合适、有机物含量较高)则被吞食进入消化道，不适宜的颗粒则以假粪的形式被排出体外。

Tantichodok 等<sup>[2]</sup>的研究发现，贝类是滤食性的动物，其食物源是浮游植物和有机碎屑。龚世园等<sup>[3]</sup>曾对绢丝丽蚌的食性进行了研究，发现其食物主要是浮游植物，多达 6 门 22 属。绿藻门最多，其次是硅藻门、裸藻门、蓝藻门，在绢丝丽蚌消化道中还存在无固定形态的有机碎屑。目前对三角帆蚌滤食和消化的研究比较少。作者着重研究了这方面的情况，期望能为使用三角帆蚌作为控制富营养化水体的工具物种提供理论依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 材料

实验动物：江苏省淡水水产研究所实验池塘养殖的三角帆蚌，体长 10.05 cm。

药品：福尔马林溶液(10%)，鲁哥氏试剂。

仪器：手术刀，解剖盘，滴管，烧杯，显微镜(Olympus)，藻类计数板。

## 1.2 方法

用采水器采集水面下 30 cm 处水样，采集 3 个点的水样混合，然后取 300 mL 于塑料瓶中，加入 10 mL 鲁哥氏试剂固定，静置 48 h 后，用皮管放出上清液，留下约 100 mL 的悬浮液，吸取悬浮液滴在藻类计数板上，于 10×40 倍显微镜下观察，记录每个视野下各种藻类出现的个数，共记录 30 个视野。藻类依照文献[4]鉴定到属。

于同一池塘中取挂养的三角帆蚌，在清水中刷净外壳，清洗。解剖三角帆蚌 30 只，取出胃、中肠、直肠内含物，分别置于不同的烧杯中，用 10% 的福尔马林溶液固定。吸取此悬浮液滴在藻类计数板上，于 10×40 倍显微镜下观察，记录每个视野下各种藻类出现的个数，共记录 30 个视野。

# 2 结果与分析

## 2.1 池塘及三角帆蚌消化道各部分中藻类的鉴定与统计结果

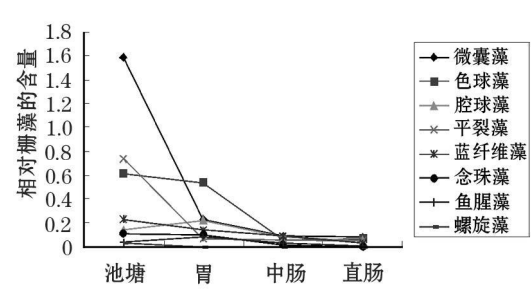


图 1 蓝藻门各藻类在池塘及消化道各部分中相对含量变化图

Fig 1 Changing curve of Cyanophyta's relative content in the pond and the alimentary canal

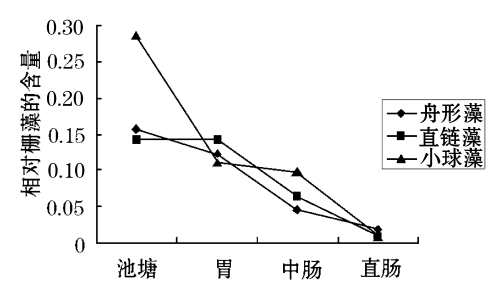


图 2 硅藻门各藻类在池塘及消化道各部分中相对含量变化图

Fig 2 Changing curve of Bacillariophyta's relative content in the pond and the alimentary canal

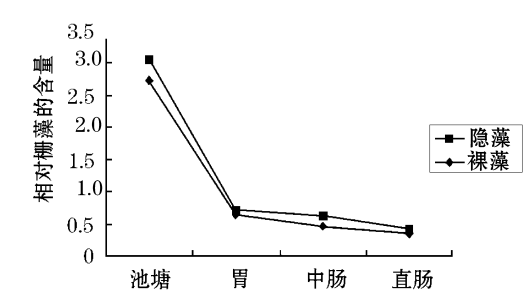


图 3 隐藻门与裸藻门各藻类在池塘及消化道各部分中相对含量变化图

Fig 3 Changing curve of Cryptophyta's and Euglenophyta's relative content in the pond and the alimentary canal

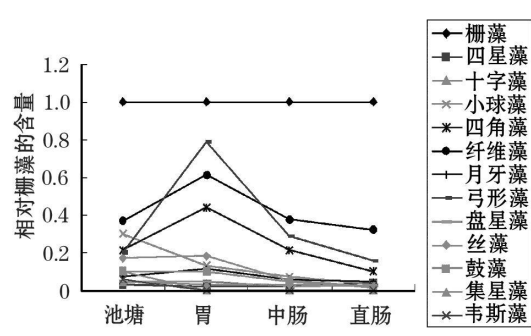


图 4 绿藻门各藻类在池塘及消化道各部分中相对含量变化图

Fig 4 Changing curve of Chlorophyta's relative content in the pond and the alimentary canal

在池塘水样中发现藻类共 5 门 26 属，在三角帆蚌的消化道中发现以上 5 个门中的 23 个属。除螺旋藻 (*Spirulina Turp*)、集星藻 (*Actinastrum Lag*)、韦斯藻 (*Westella W ill*) 外，池塘中出现的其余藻类在三角帆蚌的消化道中都有发现。池塘、胃、中肠、直肠四处藻类的种类及出现个数合计见表 1。直肠中已经是粪便，因此在直肠出现的藻类就是没有消化的。在实验中发现栅藻在蚌消化道各个部分

出现的比例都很高，远远高于其他藻类，表明三角帆蚌对栅藻的消化能力极差。故以栅藻为基准来衡量其它藻类的滤食和消化情况，即将各种藻类数量与同一样本中栅藻数量的比来作为这种藻的相对含量，将各藻类在池塘和消化道各部分中的相对含量绘成曲线图 (图 1~ 4)，从图中可以直观地看出各藻类在池塘和消化道各部分中相对含量的变化情况。

表 1 池塘、胃、中肠、直肠中藻类的种类及出现个数合计  
Tab 1 Species and amounts of the algae appearing in the pond, stomach, mid-intestine and recta

种	类	池塘合计 及相对 含量	胃中合计 及相对 含量	中肠合计 及相对 含量	直肠合计 及相对 含量	滤食率 (%)	消化率 (%)	消化度
蓝藻门	微囊藻	111( 1. 586)	23( 0. 235)	14( 0. 090)	18( 0. 085)	14. 8	63. 8	+ 4
	色球藻	43( 0. 614)	53( 0. 541)	9( 0. 058)	15( 0. 071)	88. 1	86. 9	+ 5
	腔球藻	10( 0. 143)	22( 0. 224)	12( 0. 077)	10( 0. 047)	156. 6	79. 0	+ 4
	平裂藻	52( 0. 743)	7( 0. 071)	9( 0. 058)	10( 0. 047)	9. 6	33. 8	+ 2
	蓝纤维藻	16( 0. 229)	14( 0. 143)	14( 0. 090)	7( 0. 033)	62. 4	76. 9	+ 4
	念珠藻	8( 0. 115)	10( 0. 102)	3( 0. 019)	1( 0. 005)	88. 8	95. 1	+ 5
	鱼腥藻	3( 0. 043)	8( 0. 082)	4( 0. 026)	2( 0. 009)	190. 7	89. 0	+ 5
	螺旋藻	2( 0. 029)	0( 0)	0( 0)	0( 0)	0	0	0
硅藻门	舟形藻	11( 0. 157)	12( 0. 122)	7( 0. 045)	4( 0. 019)	77. 7	84. 4	+ 5
	直链藻	10( 0. 143)	14( 0. 143)	10( 0. 065)	2( 0. 009)	100	93. 7	+ 5
	小环藻	20( 0. 286)	11( 0. 112)	15( 0. 097)	2( 0. 009)	39. 2	92. 0	+ 5
隐藻门	隐藻	214( 3. 057)	69( 0. 704)	95( 0. 613)	88( 0. 415)	23. 0	41. 1	+ 3
裸藻门	裸藻	191( 2. 729)	63( 0. 643)	70( 0. 452)	73( 0. 344)	23. 6	46. 5	+ 3
绿藻门	栅藻	70( 1. 000)	98( 1. 000)	155( 1. 000)	212( 1. 000)	100. 0	0	0
	四星藻	2( 0. 029)	2( 0. 021)	3( 0. 019)	8( 0. 038)	72. 4	- 81. 9	- 5
	十字藻	3( 0. 043)	3( 0. 031)	5( 0. 032)	4( 0. 019)	72. 1	38. 7	+ 3
	小球藻	21( 0. 300)	13( 0. 133)	11( 0. 071)	7( 0. 033)	44. 3	75. 2	+ 4
	四角藻	15( 0. 214)	43( 0. 439)	33( 0. 213)	21( 0. 099)	205. 1	77. 4	+ 4
	纤维藻	26( 0. 371)	60( 0. 612)	58( 0. 374)	67( 0. 316)	165. 0	48. 4	+ 3
	月牙藻	5( 0. 071)	11( 0. 112)	9( 0. 058)	9( 0. 042)	157. 7	62. 5	+ 4
	弓形藻	14( 0. 200)	77( 0. 786)	45( 0. 290)	33( 0. 156)	393. 0	80. 2	+ 5
	盘星藻	3( 0. 043)	4( 0. 041)	3( 0. 019)	5( 0. 024)	95. 3	41. 5	+ 3
	丝藻	12( 0. 171)	18( 0. 184)	8( 0. 052)	4( 0. 019)	107. 6	89. 7	+ 5
	鼓藻	7( 0. 1)	10( 0. 102)	7( 0. 045)	3( 0. 014)	102. 0	86. 3	+ 5
	集星藻	7( 0. 100)	0( 0)	0( 0)	0( 0)	0	0	0
	韦斯藻	4( 0. 057)	0( 0)	0( 0)	0( 0)	0	0	0

2. 2 三角帆蚌对藻类的滤食率和消化率分析

对比池塘及消化道中藻类的种类和出现比例，根据下面两个公式计算三角帆蚌对各种藻类的滤食率和消化率。

滤食率 = 胃中相对含量 / 池塘中相对含量；

消化率 = 1 - 直肠中相对含量 / 胃中相对含量。

为了便于对藻类的消化情况做出量化和对比，本文用消化度对消化率做出等级划分。消化度等级划分标准如下：

- + 5 非常彻底，即消化率大于 80%；
- + 4 彻底，即消化率在 60% ~ 80% 之间；
- + 3 较彻底，即消化率在 40% ~ 60% 之间；

+ 2 较少，即消化率在 20% ~ 40% 之间；

+ 1 少，即消化率在 0~ 20% 之间；

0 极少，即消化率为 0 或几乎为 0

下面按门来进行分析：

(1)蓝藻门：蓝藻门滤食率最大的是鱼腥藻，高达 190.7%；消化率最大的是念珠藻，高达 95.1%，消化度为 + 5，消化非常彻底。滤食率和消化率最小的是螺旋藻，皆为 0，消化度为 0，消化极少。螺旋藻只在池塘中出现，相对含量仅为 2.9%，在三角帆蚌消化道中未发现，可能是含量太低，被滤食到的几率比较低。蓝藻门其它各藻的滤食率和消化率见表 1。蓝藻门总消化率为

78.8%, 消化度为 +4 总的说来三角帆蚌对蓝藻消化彻底。

(2) 硅藻门: 舟形藻滤食率为 77.7%, 消化率为 84.4%, 消化度为 +5 直链藻滤食率为 100.0%, 消化率为 93.7%, 消化度为 +5 说明三角帆蚌对这两种藻类滤食得较多, 消化也非常彻底。小环藻滤食率为 39.2%, 消化率为 92.0%, 消化度为 +5 可见其被滤食较少, 但消化得非常彻底。硅藻门总的消化率为 90.0%, 消化度为 +5 总的说来三角帆蚌对硅藻消化非常彻底。

(3) 隐藻门和裸藻门: 隐藻有时候被分在裸藻门里, 隐藻和裸藻在池塘中含量很高, 这两种藻类的大量存在是水体富营养化的一个标志。隐藻的滤食率为 23.0%, 消化率为 41.1%; 裸藻滤食率为 23.6%, 消化率为 46.5%。二者消化度皆为 +3 相对隐藻和裸藻在池塘中的丰富含量, 其滤食绝对量还是比较大的, 消化得也较彻底。

(4) 绿藻门: 栅藻在池塘及消化道各部分含量都很大, 可见其能被滤食, 但是基本不被消化。绿藻门滤食率最大的是弓形藻, 高达 393.0%; 滤食率最小的是集星藻和韦斯藻, 皆为 0%。消化率最大的是丝藻, 高达 89.7%, 消化度为 +5 消化非常彻底; 消化率最小的是四星藻, 消化率为 -81.9%, 说明它比栅藻还难以消化。

绿藻门其它各藻的滤食率和消化率见表 1。绿藻门总消化率为 49.1%, 消化度为 +3 总的说来三角帆蚌对绿藻消化得较彻底。

### 3 讨论

王芳等<sup>[5]</sup>对几种贝类滤食器官鳃的电镜扫描研究发现, 贝类鳃丝外侧的纤毛间距大都不足 1  $\mu\text{m}$ , 且成多层重复排列, 大多数单细胞藻类都难以通过这些间隙。但是又有研究指出, 贝类对藻类的滤食是有选择性的, 并非完全被动的<sup>[6]</sup>, 这意味着贝类对藻类的滤食是一个复杂的过程, 涉及多种生态因子的共同作用。本实验发现, 三角帆蚌在滤食时对藻类的选择性与藻类的体型大小有关。以微囊藻为例, 池中的微囊藻个体都比较大(直径 70  $\mu\text{m}$ 左右), 而在消化道中所发现的微囊藻个体

都比较小(直径 25  $\mu\text{m}$ 左右), 三角帆蚌对其滤食率仅为 14.8%, 说明藻类的体型过大不利于被滤食。研究发现直径介于 10~40  $\mu\text{m}$  之间的藻类最容易被三角帆蚌滤食。

本实验还发现, 三角帆蚌对藻类的消化能力与藻类的结构有关。由单细胞组成、结构简单的容易消化; 由多细胞组成、结构复杂、排列紧密的难以消化。以消化率最低的四星藻和栅藻为例, 它们都是由多个细胞组成的真性定形群体, 细胞之间的结合非常整齐和紧密, 不容易被消化酶破坏。

本研究发现池塘中三个优势种(相对含量  $\geq 1$ ) 微囊藻、隐藻、裸藻滤食率分别为 14.8%、23.0% 和 23.6%, 消化率分别为 63.8%、41.1% 和 46.5%。滤食率和消化率虽然不是很高, 但是相对于池塘中的丰富含量, 三角帆蚌对它们滤食和消化的绝对量还是很大的。三角帆蚌对直径 25  $\mu\text{m}$  左右的微囊藻的滤食选择性很高, 说明在微囊藻水华爆发的早期, 三角帆蚌对其能进行有效的控制, 这为三角帆蚌控制微囊藻水华提供了可行的依据。

本实验是在富营养化的池塘中进行的, 考虑到不同条件下可能诱导不同的食性, 不同的季节贝类的食性也可能有所不同, 所以本研究还有待于继续深入。

#### 参考文献:

- [1] 张玺, 林振涛. 蚌的形态、习性和我国习见的种类 [J]. 生物学通报, 1959 (5): 204~212
- [2] Tantiachok P, Lopez G R. Relative importance of phytoplankton and organic detritus as food sources for the suspension-feeding bivalve, *Mytilus edulis*, in Long Island [J]. J Shellfish Res, 1988, 7(1): 178.
- [3] 龚世园, 朱子义, 杨学芬, 等. 网湖绢丝丽蚌食性的研究 [J]. 华中农业大学学报, 1997, 16(6): 589~593
- [4] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 等. 中国淡水藻类 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980
- [5] 王芳, 董双林, 范瑞青, 等. 四种滤食性贝类滤食器官鳃的扫描电镜观察 [J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(2): 240~244.
- [6] Shumway S E, Cucci T L, Newell R C, et al. Particle selection, ingestion, and absorption in filter-feeding bivalves [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1985, 91(1~2): 77~92