

文章编号: 1000-0615(2000)05-0422-06

## 赤鼻 的摄食与生态转换效率

郭学武, 唐启升

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 1998年9月利用对虾养殖土池中的赤鼻 进行了摄食与生态转换效率的观察研究。结果显示, 赤鼻 是典型的浮游动物食性鱼类, 偏食大型桡足类和介形类, 无明显摄食节律性; 消化道日均食物含量  $1.2196\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ , 排空率  $0.3141\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , 日摄食量  $10.8135\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ; 食物转换效率 35.08%, 能量转换效率 39.30%。渤海赤鼻 的年饵料需求量约为 87 000t。研究表明, 较高的生态转换效率保证了赤鼻 较高的生长率, 因此较低的浮游动物生物量可支持这一鱼种较高的生产力, 这被认为是渤海浮游动物生物量大幅下降的同时赤鼻 资源量却迅速增加的原因之一。

**关键词:** 赤鼻 ; 摄食; 生态转换效率

中国分类号: S917 文献标识码: A

## Consumption and ecological conversion efficiency of *Thrissa kammalensis*

GUO Xue-wu, TANG Qi-sheng

(Yellow Sea Fisheries Research Institute, CAFS, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Consumption and ecological conversion efficiency of rednose anchovy, *Thrissa kammalensis*, was determined with samples of 38.69–64.45mm in fork length and 0.5179–2.1878g in body weight, caught in an earthen pond for shrimp rearing. Being a typical zooplanktonvore, rednose anchovy preferred to feed large copepods and ostracods without distinct feeding rhythm. Daily food content in its complete digestive tract was  $1.2196\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  on average, and its daily food consumption was  $10.8135\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  with an evacuation rate of  $0.3141\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ . Food and energy conversion efficiency of this fish was 35.08% and 39.30% respectively. In terms of its daily ration and abundance in the Bohai Sea, food requirement of rednose anchovy was deduced about 87 000 tones per year. Results indicate that high conversion efficiency ensures the anchovy high growth rate, and lower zooplankton abundance may support its higher productivity. That supplies a reason for that the stock of rednose anchovy increased rapidly while the biomass of zooplankton declined obviously in the Bohai Sea in recent years.

**Key words:** *Thrissa kammalensis*; feeding; ecological conversion efficiency

在渤海, 传统经济鱼类已被小型中上层鱼类所替代, 目前4个优势鱼类种群中有3个皆属小型中上层鱼类, 即 鱼、黄鲫和斑 ; 赤鼻 的生物量从1982年的1 680t增加到1992年的2 280t, 增加36%, 从第23位上升到第7位, 而在夏季则是第5大优势鱼类种群<sup>[1]</sup>。可见渤海生物资源的种类交替和质量下降, 与小型中上层鱼类的资源变动密切相关, 它们在渤海食物结构中扮演着重要角

收稿日期: 2000-03-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(497901001)

作者简介: 郭学武(1964-), 男, 硕士, 副研究员, 山东诸城人, 从事渔业生态学研究。Tel: 0532-5836344, E-mail: xguo@public.qd.sd.cn

色。小型中上层鱼类多为浮游动物食性者,彼此是否存在激烈的种间食物竞争?渤海的浮游动物生物量 1992 年比 1982 年下降了 44%<sup>①</sup>,却没有抑制这些鱼类资源量的大幅增长。研究赤鼻 的摄食和生态转换效率,将有助于认识小型中上层鱼类之间的食物关系,对次级生产力的捕食影响,在食物物流、能流过程中的作用,以及渔业资源优势种类交替规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

实验用赤鼻 发现于山东莱州中国对虾养殖土池,池面积约 15 000m<sup>2</sup>,水深 1.5m。此土池在纳水时,由于非常规操作,进水口未加挂滤网,致使赤鼻 的受精卵或仔稚鱼从海区进入池内,在其中生长并成为优势鱼种。这为我们进行实验研究提供了便利条件。1998 年 9 月 4-28 日,利用该池中的赤鼻 进行了现场实验。

### 1.2 生态转换效率

用 Eggers 模式<sup>[2]</sup>评估赤鼻 的摄食率,在此基础上计算生态转换效率。对于无明显摄食节律的鱼类,  $D = MF \cdot ER \cdot 24$ , 式中  $D$  为日摄食量( $g \cdot (100g)^{-1} \cdot d^{-1}$ ),  $MF$  为全消化道日均食物含量( $g \cdot (100g)^{-1} \cdot d^{-1}$ ),  $ER$  为排空率( $g \cdot (100g)^{-1} \cdot h^{-1}$ ), 24 指每日 24h。 $D$ 、 $MF$  和  $ER$  均表示为湿态下百克体重所对应的量。

日摄食量与摄食率( $C$ )的关系为  $C = D \cdot W / 100$ , 式中  $W$  为体重。

### 1.3 摄食周率实验

9 月 4-28 日,每隔 2~3 天在池内用围网取样。取样当天自 9:00 起每 3h 取样一次,到第二天 9:00,共取 9 次。取样后立即麻醉并用 10% 甲醛溶液固定。测定叉长、体重和全消化道重量(精度为 0.000 1g 电子天平称重)。

### 1.4 饥饿实验

9 月 5-7 日和 9 月 21-22 日分别取 60 和 40 尾赤鼻 放入安置在虾池内的 300 目(孔径 54  $\mu$ m) 尼龙筛绢网箱(1m<sup>3</sup>)中。进入网箱内的水经网箱自身过滤,所以箱内无网采浮游动物饵料。赤鼻 在网箱中饥饿 36h,取出后用 10% 甲醛溶液固定。测定叉长、体重和空消化道重量(EDT),确立叉长-空消化道重量关系。根据叉长-空消化道重量关系和个体的叉长,计算个体空消化道重。全消化道重与空消化道重之差即为全消化道内含物重。全消化道内含物的量( $CDC$ ,  $g \cdot (100g)^{-1}$ )表示为湿态下百克体重对应的全消化道内含物重量。

### 1.5 排空率实验

用围网捕获赤鼻 约 100 尾,放入安置在虾池内的网箱(孔径 54  $\mu$ m, 1m<sup>3</sup>)中,同时取第一个样品(10 尾)。此后每隔 0.5~1h 取一次样,每次至少 5 尾。全消化道内含物的量随排空时间( $t$ )的变动可用指数函数表达,  $CDC = a \cdot e^{-b \cdot t}$ , 斜率  $b$  即排空率。

### 1.6 饵料选择性

在进行摄食周率取样的同一天,在 6:00、12:00 和 18:00 三个时刻进行虾池浮游动物取样。使用

① 高尚武. 渤海浮游动物生物量及主要种类数量变动的研究. 渤海水域生态系统特征研究. 青岛: 黄海水产研究所, 1995. 论文报告 7

内径 70mm、长 2m 的取样管<sup>[3,4]</sup>在虾池 5 个点上取样, 每点取 3 管。用 300 目(孔径 54  $\mu\text{m}$ ) 金属筛网过滤后, 5% 甲醛溶液固定保存。分析浮游动物的种类和数量组成。另外, 在测定摄食周率的样品时, 留取胃肠较饱满个体的全消化道, 分析其内含物种类及数量组成。用 Chesson  $\alpha$  饵料选择系数<sup>[5,6]</sup>确定赤鼻的饵料选择性。

## 1.7 比能值测定

在实验开始阶段、中期阶段和结束阶段各收集一次环境浮游动物, 方法是当虾池排水时, 在池内靠近排水口的位置安放一 300 目的尼龙筛绢网, 网口沉于水面以下并用 30 目的筛绢封闭, 以防漂浮物及较大的杂物入网。根据浮游动物的数量收集 1~2h。去除杂物并经淡水洗去盐分, 于 70 $^{\circ}\text{C}$  下烘干 72h, 用 XRY-1 型氧弹仪测定比能值。赤鼻排空 24h 后的样品, 烘干后测定水分含量和比能值。

## 2 结果

赤鼻的初始和终了大小根据 9 月 4~5 日和 9 月 27~28 日的测定数值确定, 初始叉长 27.8~54.5mm, 平均为 (38.69  $\pm$  7.78) mm, 终了叉长 46.5~85.0mm, 平均为 (64.45  $\pm$  5.83) mm; 初始体重 0.170 0~1.471 7g, 平均为 (0.517 9  $\pm$  0.372 3) g, 终了体重 0.778 3~5.555 2g, 平均 (2.187 8  $\pm$  0.746 0) g。

### 2.1 摄食周率

#### 2.1.1 叉长与空消化道重量的关系

根据饥饿实验数据, 将赤鼻的空消化道重量(EDT)与个体的叉长(FL)作回归分析, 获得叉长-空消化道重量相关关系, 并确定净重(W)-空消化道重相关关系和叉长-净重相关关系(图 1)。这三种关系皆符合幂函数关系, 分别为

$$\begin{aligned} \text{EDT} &= 10^{-5} \cdot \text{FL}^{2.0524}, R^2 = 0.811 \\ \text{EDT} &= 0.039 \cdot \text{W}^{0.6823}, R^2 = 0.8508 \\ \text{W} &= 6 \times 10^{-6} \cdot \text{FL}^{3.0499}, R^2 = 0.9797 \end{aligned}$$

#### 2.1.2 摄食周率

赤鼻摄食周率实验进行了 7 次(实验 1~7)。观测个体数 858 尾(包括表 1 中未列出的 10~11 日 95 尾和 23~24 日 116 尾), 在每日平均值的基础上求得实验期间个体平均叉长 53.79mm, 平均净重 1.411 8g。全消化道内含物量的日变动状况, 反映出赤鼻的摄食不具明显的节律性(图 2)。全消化道内含物量在夜间(21:00~3:00)虽然亦表现下降趋势, 但与其他时间的摄食水平相比并没有显著差异。根据排空率证明赤鼻在夜间也有明显的摄食行为。

### 2.2 摄食率与饵料需求量

由于赤鼻的摄食无明显节律性, 所以采用 Eggers<sup>[2]</sup>模式来评估其摄食率。

#### 2.2.1 全消化道日均食物含量

将每个实验 9 次取样的全消化道内含物量平均, 获得每个实验的全消化道日均食物含量 MF(表 1)。实验期间全消化道日均食物含量变化不大, 总平均值 (1.219 6  $\pm$  0.392 7)  $\text{g} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。体重、体长皆表现为线性生长(图 3)。

$$\begin{aligned} \text{W} &= 0.0754 \cdot \text{DATE} + 0.1606, R^2 = 0.9381 \\ \text{FL} &= 1.1251 \cdot \text{DATE} + 35.355, R^2 = 0.8765 \end{aligned}$$

式中 DATE 为实验天数。由上式获得体重和体长的生长率(GR)分别为  $75.4\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$  和  $1.13\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

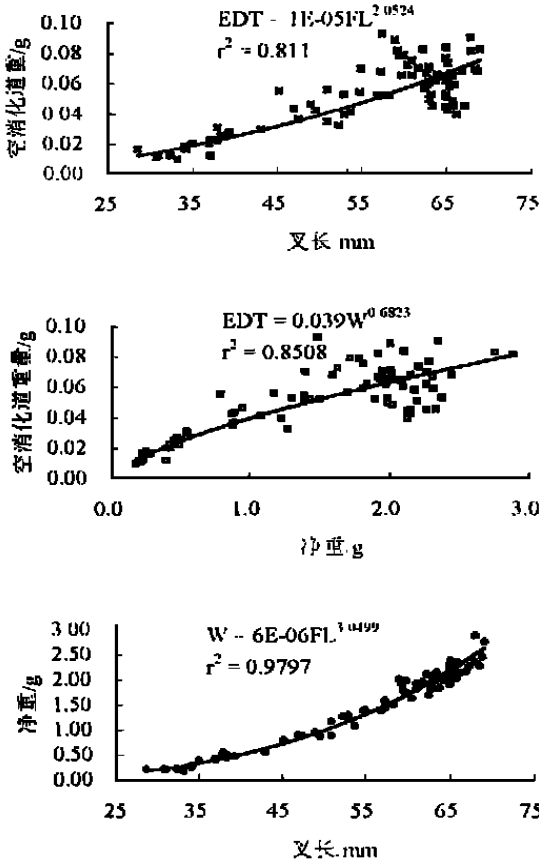


图1 赤鼻 空消化道重量、叉长、净重相关关系  
Fig. 1 Interrelationship of empty digestive tract weight, fork length, and net body weight of *T. kammalensis*

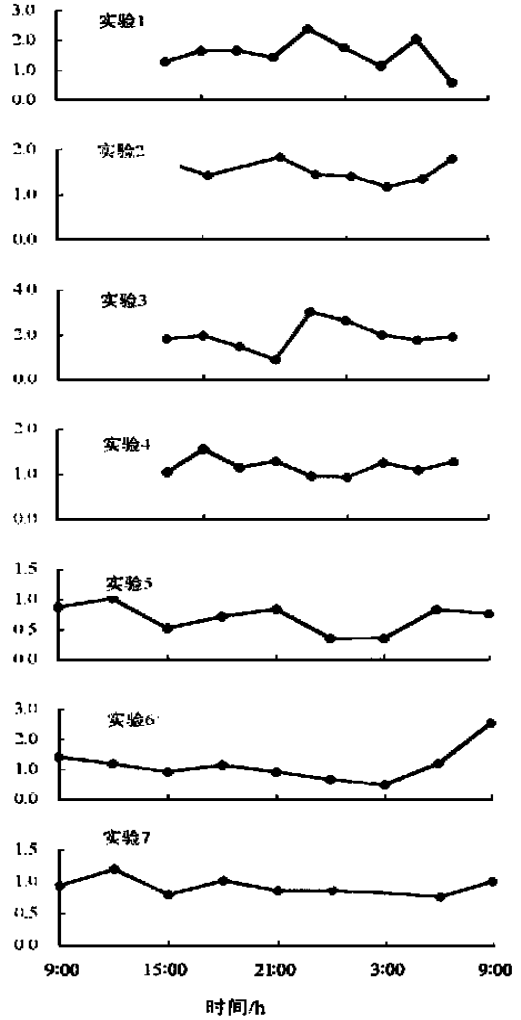


图2 赤鼻 的摄食周期  
Fig. 2 Feeding periodicity of *T. kammalensis*

表1 赤鼻 摄食周期7次实验的水温、观测个体数、个体大小和全消化道日均食物含量

Tab. 1 7 trials of feeding periodicity. Show water temperature, number of fish tested, fish size and mean daily food content in complete digestive tract of *T. kammalensis*

日期	水温(℃)	观测个体数	平均叉长(mm)	平均体重(g)	全消化道日均食物含量 ( $g \cdot (100g)^{-1} \cdot d^{-1}$ )
9. 4- 5	26.6	123	38.69±7. 78	0. 5179±0. 3723	1. 2433±1. 1036
9. 6- 7	27.3	75	42.02±6. 96	0. 6407±0. 3189	1. 3629±0. 9498
9. 8- 9	28.2	68	42. 35±7. 57	0. 6373±0. 3062	1. 9518±1. 3399
9. 13- 14	27.7	87	58. 38±8. 74	1. 5804±0. 8629	1. 1074±0. 6291
9. 15- 16	23.0	82	56. 58±8. 66	1. 3901±0. 7077	0. 6553±0. 7359
9. 25- 26	21.6	133	63. 15±7. 96	2. 0896±0. 9127	1. 1871±0. 9566
9. 27- 28	21.9	79	64. 45±5. 83	2. 1878±0. 7460	1. 0296±0. 6310

2.2.2 排空率

排空率实验共进行4次(表2), 观测个体数219尾, 个体平均叉长62.02mm, 平均体重1.9875g。全消化道内含物随排空时间的变动如图4所示。按公式  $CDC = a \cdot e^{-bt}$  分别求得4次实验的排空率, 其平均值为  $ER = 0.314 \text{ lg} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

表2 赤鼻 4次排空率实验的水温、观测个体数、个体大小和排空率  
 Tab. 2 4 trials of evacuation rate. Show water temperature, tested fish number, fork length and body weight of fish and evacuation rates of *T. kammalensis*

实验	日期	水温(°C)	观测个体数	平均叉长(mm)	平均体重(g)	排空率( $g \cdot (100g)^{-1} \cdot h^{-1}$ )
1	9.23	22.0	41	61.78 ± 5.39	2.0026 ± 0.4801	0.3669
2	9.25	21.9	82	59.98 ± 7.35	1.7361 ± 0.6609	0.2934
3	9.26	22.5	63	62.60 ± 5.91	2.0671 ± 0.6960	0.1480
4	9.27	23.2	33	63.74 ± 5.79	2.1442 ± 0.5403	0.4480
平均				62.03	1.9875	0.3141

### 2.2.3 摄食率

按公式  $D = MF \cdot ER \cdot 24$ , 求得赤鼻 日摄食量  $D = 10.813 \text{ } 5g \cdot (100g)^{-1} \cdot d^{-1}$ 。与排空率试验相对应的个体平均体重  $W = 1.987 \text{ } 5g$ , 按公式  $C = D \cdot W / 100$  计算得赤鼻 个体平均摄食率  $C = 0.214 \text{ } 9g \cdot d^{-1}$ 。

### 2.2.4 生态转换效率

食物转换效率(FCE)是生长率与摄食率之比,  $FCE = 100 \cdot GR / C = 35.08\%$ 。

经测定, 干重下赤鼻 的比能值为  $18.91 \text{ } kJ \cdot g^{-1}$ , 干湿比 25: 6: 100。浮游动物的比能值为  $17.28 \text{ } kJ \cdot g^{-1}$ , 干湿比按 25: 100 计<sup>[7]</sup>。从食物转换效率换算出能量转换效率(ECE)为 39.30%。

### 2.2.5 饵料需求量

据 1992 年调查资料, 渤海赤鼻 的生物量为 2 200t<sup>②</sup>, 按上述日摄食量计算, 渤海赤鼻 的年饵料需求量约为 87 000t, 相当于 7 000t 碳。

### 2.3 摄食选择性

赤鼻 消化道内含物的主要组分是桡足类(62.63%)、介形类(21.67%)和螺类(10.36%), 这三类组分占饵料数量组成的 94.66%。其他种类还有蔓足类幼体、多毛类幼体、糠虾类、双壳类(0.26%)、头足类幼体(0.14%)等, 约占数量组成的 5.34%。

环境当中浮游动物的种类组成与赤鼻 消化道内含物的种类组成基本一致, 主要种类有螺类(35.96%)、桡足类(32.60%)、蔓足类幼体(15.32%)和多毛类幼体(11.69%), 这四类组分占浮游动物数量组成的 95.57%。根据 Chesson  $\alpha$  饵料选择系数计算结果(表 3), 赤鼻 特别偏食介形类, 其次是大型桡足类( $\alpha > 1/m$ )。虽然也偏食其他种类(此处主要是双壳类和头足类幼体), 但由于环境中数量极少, 对其饵料的贡献并不大。环境当中的螺类、小型桡足类(包括桡足类幼体)、蔓足类幼体和多毛类幼体的数量虽然较大, 但并非赤鼻 喜食种类( $\alpha < 1/m$ ), 对这些种类具有近似的选择系数。

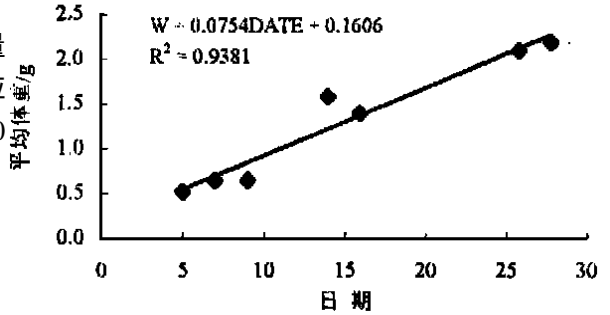


图3 赤鼻 的生长  
 Fig. 3 Body weight growth of *T. kammalensis*

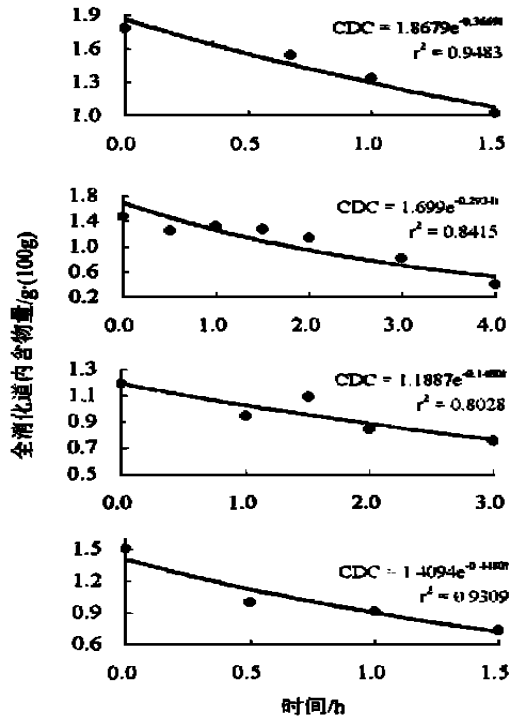


图4 赤鼻 4次排空实验中全消化道内含物的量(CDC)随排空时间(t)的变化

Fig. 4 Changes of complete digestive tract content (CDC) with time in 4 trials on the evacuation rate of *T. kammalensis*

② 唐启升, 金显仕. 渤海渔业资源结构、数量分布及其变化. 渤海水域生态系统特征研究. 青岛: 黄海水产研究所. 1995. 论文报告 11.

表 3 赤鼻 消化道内含物组分(r)和环境浮游动物组分(p)以及饵料选择系数 $\alpha$ 。m 是环境当中浮游动物的种类数Tab. 3 Prey categories in digestive tract of *T. kammalensis*, ambient zooplankton components(p), and Chesson $\alpha$ . m is the number of ambient zooplankton kinds

种类	大型桡足类	小型桡足类	介形类	螺类	蔓足类幼体	多毛类幼体	糠虾类	其他
r (%)	61.92	0.71	21.67	10.36	1.34	0.91	2.54	0.55
p (%)	12.36	20.24	3.01	35.98	15.32	11.69	1.38	0.03
r/p	5.01	0.04	7.20	0.29	0.09	0.08	1.84	18.33
$\alpha$	0.15	0.00	0.22	0.01	0.00	0.00	0.06	0.56
$\alpha - 1/m$	0.03	-0.12	0.09	-0.12	-0.12	-0.12	-0.07	0.43

注: m= 8。

### 3 讨论

赤鼻 的摄食周率表明这一鱼种无明显的摄食节律性。Eggers<sup>[2]</sup>模型特别适于评估具有这种摄食周率的鱼类的摄食率<sup>[8,9]</sup>。事实上 Eggers 模型本身不需要进行如本文这样的多次摄食周率重复实验。但在实验之前,是不清楚其摄食周率特征的,所以做了两种准备,要么使用 Eggers 模型,要么使用其他模型。

据本实验观测,赤鼻 是典型的浮游动物食性鱼类。这和李明德等人<sup>[10]</sup>的研究结果一致。但也有报道说赤鼻 除摄食浮游动物外还摄食圆筛藻、舟形藻等浮游植物,具有杂食性<sup>[11]</sup>。

赤鼻 的日摄食量为体重的 10.8%,属于一般(10%~30%)偏低水平<sup>[12,13]</sup>,但其生态转换效率却较高,达 39.3%。渤海水域的浮游动物生物量 1992 年比 1982 年下降了 44%<sup>①</sup>,而与此同时赤鼻 的生物量则增加了 36%<sup>[1]</sup>。为什么浮游动物生物量的减少并没有导致这一浮游动物食性鱼类的资源量减少呢?从生物调控角度来看,渤海食鱼鱼类资源量减少<sup>[1]</sup>使赤鼻 所承受的捕食压力相应减少是一重要因素,而赤鼻 较低的日摄食量和对浮游动物较高的生态转换效率则成为支持这一种群数量增长的另一重要因素。换言之,较低的浮游动物生物量可以支持较高的赤鼻 生产力。多种小型中上层鱼类在渤海同时得以发展<sup>[1]</sup>,可能是由于它们各具不同的摄食格局。赤鼻 对浮游动物的高效利用便可缓和其他小型中上层鱼类的种间食物竞争,而以摄食沉积物为主的斑 <sup>[14]</sup>则更不易受到这种竞争的影响。

### 参 考 文 献:

- [1] 金仕仕,唐启升. 渤海渔业资源结构、数量分布及其变化[J]. 中国水产科学, 1998, 5(3): 18-24.
- [2] Eggers D M. Factors in interpretation data obtained by diel sampling of fish stomachs[J]. J Fish Res Board Can, 1977, 34: 290-294.
- [3] Bremigan M T, Stein R A. Experimental assessment of the influence of zooplankton size and density on gizzard shad recruitment[J]. Trans Am Fish Soc, 1997, 126: 622-637.
- [4] Lewis W M, Saunders J F. Two new integrating samplers for zooplankton, phytoplankton, and water chemistry[J]. Arch Hydrobiol, 1979, 85(2): 244-249.
- [5] Chesson J. The estimation and analysis of preference and its relationship to foraging models[J]. Ecology, 1983, 64: 1297-1304.
- [6] DeVries D R, Stein R A. Complex interactions between fish and zooplankton: quantifying the role of an open-water planktivore[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1992, 49: 1216-1227.
- [7] GB 12763.6-91. 海洋调查规范. 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社出版, 1991. 104.
- [8] Boisclair D, Sirois P. Testing assumptions of fish bioenergetics models by direct estimation of growth, consumption, and activity rates[J]. Trans Am Fish Soc, 1993, 122: 784-796.
- [9] Boisclair D, Leggett W C. An in situ experimental evaluation of the Elliott and Persson and the Eggers models for estimating fish daily ration[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1988, 45: 138-145.
- [10] 李明德,张洪杰. 渤海鱼类生物学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 141.
- [11] 陈大刚. 黄渤海渔业生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 1991. 505.
- [12] Stewart D J, Binkowski F P. Dynamics of consumption and food conversion by Lake Michigan alewives: an energetics modeling synthesis[J]. Trans Am Fish Soc, 1986, 115: 643-659.
- [13] Swenson W A, Smith Jr L L. Gastric digestion, food consumption, feeding periodicity, and food conversion efficiency in walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*)[J]. J Fish Res Board Can, 1973, 30: 1327-1336.
- [14] 郭学武,唐启升,孙耀,等. 斑 的摄食与生态转换效率[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 17-25.