

文章编号:1000 - 0615(2002)03 - 0219 - 07

黄、渤海 8 种鱼类的生态转换效率及其影响因素

唐启升, 孙 耀, 郭学武, 张 波

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 研究应用室内或现场实验生态方法测定了黄、渤海 8 种鱼类的生态转换效率及其主要影响因素, 比较了室内与现场方法所测得数据的差异。结果表明: (1) 8 种鱼类的生态转换效率有显著差异, 以湿重或比能值为单位表示的生态转换效率变化范围分别为 12.9% ~ 39.0% 和 14.8% ~ 46.1%; (2) 温度、体重、摄食水平、饵料种类和群居行为等生态、生理因素均可能引起鱼类生长和生态转换效率等生态能量学特征的改变。其中, 生态转换效率随温度和摄食量增大均呈倒 U 型变化趋势, 随体重增大则呈减速下降趋势。当鱼类摄食不同饵料生物或群居行为发生变化时, 能引起其摄食率与生长率显著差别, 却不能使以比能值为单位表示的能量转化效率发生显著变化; (3) 不同研究方法可能引起测定结果的显著不同, 且其差异程度随鱼种不同而变化。

关键词: 生态转换效率; 影响因素; 海洋鱼类; 黄、渤海

中图分类号: Q959.4; S965.399

文献标识码: A

Ecological conversion efficiencies of 8 fish species in Yellow Sea and Bohai Sea and main influence factors

TANG Qi-sheng, SUN Yao, GUO Xue-wu, ZHANG Bo

(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: The ecological conversion efficiencies of 8 fish species in the Yellow Sea and the Bohai Sea and main influence factors were studied by laboratory and *in situ* methods. Moreover, results determined by laboratory method were compared with those by *in situ* one. The results showed that: (1) There were significant differences among ecological conversion efficiencies of 8 fish species. The change range of food or energy conversion efficiencies of the fishes were 12.9% - 39.0% or 14.8% - 46.1% respectively. (2) Both of the specific growth rates and ecological conversion efficiencies changed along with differences of following ecological and physiological factors, such as temperature, body weight, feeding level, food species and social behavior etc. The ecological conversion efficiencies tended to show inverted "U" change with rise of temperature and feeding level, and decelerating decrease with body weight increment. The feeding levels and specific growth rates could be significantly changed by differences of food species and social behavior, but energy conversion efficiencies could not. (3) There were significant differences, which changed with different fish species, between the results determined by laboratory and *in situ* methods.

Key words: ecological conversion efficiency; influence factors; marine fish; Yellow Sea and Bohai Sea

收稿日期: 2001 - 09 - 19

资助项目: 国家自然科学基金重大资助项目(497901001); 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043710)

作者简介: 唐启升(1943 -), 男, 辽宁大连人, 研究员, 从事海洋生物资源与生态学研究。Tel: 0532 - 5822941, E-mail: ysfri @public. qd.

sd. cn

生态转换效率是指处于食物链某一环节的生物生长量与食物摄入量的比值;食物网营养级的生态效率取决于这一营养级上各种生物的生态转换效率。因此,研究不同生物种的生态转换效率是研究海洋生态系统食物网营养动力学的基础^[1-3]。本文根据简化食物网的研究思路^[3],选择了黄、渤海8种生态和经济价值较为重要的鱼类,研究它们的生态转换效率,以及相关的生态生理因素的影响,并尝试着进行方法间的比较。无疑,通过对这些鱼类生态转换效率的定量研究,将有助于揭示海洋鱼类的生态能量学特征,也将为海洋生态系统高营养层次的食物网定量分析及建立生态系统动力学模型提供基础研究资料。

1 材料与方法

1.1 室内流水实验法

采用室内实验生态研究方法测定了5种底层鱼类真鲷(*Pagrosomus major*)、黑鲷(*Sparus macrocephalus*)、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)、黑斑鲷(*Sebastes schlegeli*)、矛尾鰕虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)和2种中上层鱼类鲈鱼(*Pneumatophorus japonicus*)、斑鰵(*Clupanodon punctatus*)的生态转换效率;并利用室内实验能较好地控制实验条件等特点,研究了温度、体重、摄食水平、饵料种类和群居性等因子对真鲷、黑鲷、黑斑鲷及鲈鱼等鱼类摄食、生长和生态转换效率的影响。

真鲷、黑鲷和红鳍东方鲀均系人工培育苗种经在浅海网箱中养成的当年幼鱼,而鲈鱼、黑斑鲷、矛尾鰕虎鱼、斑鰵则捕自青岛或莱州湾沿岸海域的当年幼鱼。实验鱼经浓度为 $2 \sim 4 \text{ mg L}^{-1}$ 氯霉素溶液处理后,置于室内小型水泥池中暂养 $15 \sim 30 \text{ d}$,待摄食正常后,再置于试验水槽中驯养约 $7 \sim 10 \text{ d}$,待摄食再一次趋于正常后开始实验。实验在 $0.1 \sim 0.25 \text{ m}^3$ 玻璃钢水槽中进行,实验持续时间为 15 d 。每个测定条件下设 $4 \sim 5$ 个平行组,每组中实验个体数 $1 \sim 5$ 尾。实验水槽内流水速率的调节,以槽内水体中 DO 、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 、 pH 值和盐度等化学指标与自然海水无显著差别为准,一般水交换量大于 $6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ 。实验海水经沉淀和砂滤处理。实验中采用自然光照周期,经遮光处理后的实验最大光强为 250 lx 。温度实验在自然水温下进行。实验前后将鱼饥饿 $1 \sim 2 \text{ d}$ 后,称重,精度为 $\pm 0.1 \text{ g}$ 。除摄食水平实验外,实验数据均在最大摄食水平的条件下测得;除饵料种类实验和杂食性小型鱼类斑鰵用卤虫成体为饵料外,真鲷、黑鲷、红鳍东方鲀、黑斑鲷、矛尾鰕虎鱼和鲈鱼均用玉筋鱼为饵料。为减少饵料流失,玉筋鱼被去除头部和内脏,并切成适于鱼类吞食的小段。每天投饵2次,每次投喂前收集上次的残饵。鱼类的生长转换效率(E_g)和特定生长率(SGR)分别按式(1)和(2)计算^[4]:

$$E_g \% = (G_d / C_d) \times 100 \quad (1)$$

$$SGR \% = [(\ln W_t - \ln W_0) / t] \times 100 \quad (2)$$

式中, G_d 为实验鱼体重的日平均增长量, C_d 为实验鱼的日平均摄食量,该值经饵料流失率校正后得到; W_t 为实验后的鱼重量, W_0 为实验前的鱼重量, t 为实验持续时间。

1.2 现场胃含物法

采用 Eggers^[5]和 Elliott-Persson^[6]胃含物法测定了赤鼻鲷(*Thrixa kammalensis*)和斑鰵的摄食率和生态转换效率。实验在水深 1.5 m 、面积约 $15\,000 \text{ m}^2$ 弃用对虾养殖土池中进行,每隔 $2 \sim 3 \text{ d}$ 在池内用围网 24 h 连续取样,每间隔 3 h 取样一次,每次取样 5 尾以上。取样后立即用 10% 福尔马林溶液保存,随后测定其样品的体重和全消化道内含物重量,全消化道食物量的定量方法如下:取全消化道称重,洗去消化道(食道+胃+肠道)内食物,称重空消化道,两个重量之差即为全消化道内含物重量。

上述实验进行约 15 d 后,取摄食高峰期的赤鼻鲷约 100 余尾置于孔径 $54 \mu\text{m}$ 尼龙筛绢网箱内,以保证在无网采浮游动物饵料的条件下进行胃排空率实验。实验中首次取样 10 尾,以后每隔 1 h 取样 1 次,每次取样 5 尾,共取 10 次,剩余的鱼在网箱中饥饿 36 h 后,测定叉长-空消化道重量关系。然后,根据 Eggers 提出的胃含物模型(式3)估算赤鼻鲷的日摄食量:

$$Cd = 24 \times S \times R_t \quad (3)$$

式中, S 为 24h 内平均全消化道内含物量; R_t 为瞬时排空率, 如果以瞬时全消化道内含物量 (S_t) 的自然对数值与所对应排空率实验时间 (t) 进行线性回归, 其线性回归方程的斜率就是 R_t 值^[7]。

测定斑叉长 - 空消化道重量关系的方法与赤鼻鲷相同, 但其胃排空率和日摄食量的估算按 Elliott-Persson 提出的胃含物模型进行^[6]。首先从日摄食周率变化曲线上找出鱼的不摄食阶段, 并假定这段时间内全消化道内含物重量按指数减少, 对这段时间内全消化道内含物随时间变化做回归分析, 可求得胃排空率, 按式 (4) 可进一步求得鱼斑叉长的日摄食量:

$$C_d = [(S_t - S_0 \cdot e^{-R_t \cdot t}) \cdot R_t] / (1 - e^{-R_t \cdot t}) \quad (4)$$

式中, S_t 和 S_0 分别为摄食阶段结束和开始时全消化道内含物重量, t 为摄食阶段的时间。鱼的日生长量 (G_d), 系由实验期间鱼体重量与所对应的时间进行线性回归, 然后由该回归方程计算得到的。鱼的生态转换效率同样按式 (1) 计算。

1.3 实验生物的生化组成测定方法

比能值是采用热量计直接测定燃烧能方法测定, 总氮与总碳是采用元素分析仪测定, 其它则按文献^[8]进行测定。

2 结果

2.1 生态转换效率的测定与比较

8 种鱼类的生态转换效率测定结果见表 1。通过比较可发现, 不同鱼类及用不同实验方法测得的生态转换效率有显著差异, 以湿重表示的食物转换效率或比能值表示的能量转换效率变化范围分别为 5.2%~39.0% 和 7.1%~46.1%。

表 1 黄、渤海 8 种鱼类的生态转换效率

Tab. 1 Ecological conversion efficiency of 8 fish species in Yellow Sea and Bohai Sea

测定方法 methods	鱼 种 species	测定温度() temperature	鱼初始体重(g) initial weight	Eg (%)	
				按湿重 by wet weight	按比能值 by energy value
室内流水实验法 flow-through method in lab.	真 鲷* <i>Pagrosomus major</i>	19.4 ± 0.5	37.7 ± 6.2	23.6 ± 2.8	26.0 ± 3.3
	黑 鲷* <i>Sparus macrocephalus</i>	19.8 ± 0.5	63.4 ± 13.4	12.9 ± 2.8	14.8 ± 3.3
	黑 斑* <i>Sebastes schlegeli</i>	14.7 ± 0.5	30.5 ± 8.7	39.0 ± 4.7	46.1 ± 5.0
	矛尾斑虎鱼* <i>Chaeturichthy stigmatias</i>	17.6 ± 2.3	42.7 ± 8.6	30.0 ± 5.6	37.4 ± 7.0
	红鳍东方鲀* <i>Hexagrammos otakii</i>	19.2 ± 0.9	35.6 ± 4.5	25.1 ± 8.0	23.2 ± 7.4
	鲈 鱼** <i>Pneumatophorus japonicus</i>	23.1 ± 0.5	59.5 ± 9.2	15.4 ± 3.1	21.6 ± 4.3
	斑 鲷** <i>Clupanodon punctatus</i>	18.7 ± 2.3	8.9 ± 2.0	5.2 ± 2.6	7.1 ± 3.5
	现场胃含物法 stomach content method in situ	斑 鲷** <i>Clupanodon punctatus</i>	25.2 ± 3.0	8.87 ± 1.95	16.5
赤鼻鲷** <i>Thrixa kammalensis</i>		22.4 ± 0.6	1.29 ± 0.70	35.1	39.3

* 表示底层鱼类, ** 表示中下层鱼类。

* means bottom fish, ** means pelagic fish.

2.2 主要生态、生理因子对生长和生态转换效率的影响

2.2.1 温度对鱼类生长和生态转换效率的影响

在 11.2 ~ 24.0 的实验温度范围内,真鲷与黑鲷的特定生长率随温度上升而减速增大(图 1),而黑斑鲷的特定生长率则随温度上升呈倒 U 型变化趋势,其与温度之间的关系分别可用对数曲线或二次曲线加以定量描述:

真鲷: $SGR = 2.01 \ln T - 4.69, R^2 = 0.9881 \quad (P < 0.01)$

黑鲷: $SGR = 1.07 \ln T - 2.44, R^2 = 0.9821 \quad (P < 0.01)$

黑斑鲷: $SGR = -0.02 T^2 + 0.55 T - 3.41, R^2 = 0.8836 \quad (0.01 < P < 0.05)$

真鲷、黑鲷和黑斑鲷的食物转换效率随温度上升均呈倒 U 型变化趋势,最大生态转换效率分别出现在 20.8、19.4 和 16.2,其与温度之间的关系均可用二次曲线加以定量描述:

真鲷: $Eg (\% W. W.) = -0.17 T^2 + 7.19 T - 54.06, R^2 = 0.9945 \quad (P < 0.01)$

黑鲷: $Eg (\% W. W.) = -0.12 T^2 + 4.64 T - 29.74, R^2 = 0.9590 \quad (P < 0.01)$

黑斑鲷: $Eg (\% W. W.) = -0.15 T^2 + 5.09 T - 5.66, R^2 = 0.9658 \quad (P < 0.01)$

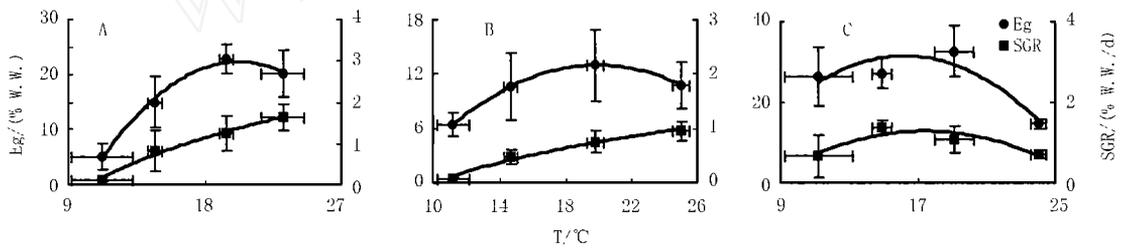


图 1 温度对鱼类特定生长率 (SGR) 和生态转换效率 (Eg) 的影响

Fig. 1 Effect of temperature on SGR and Eg of the fishes

A. 真鲷 (*Pagrosomus major*); B. 黑鲷 (*Sparus macrocephalus*); C. 黑斑鲷 (*Sebastes schlegelii*)

2.2.2 摄食水平对鱼类生长和生态转换效率的影响

真鲷、黑鲷和黑斑鲷的特定生长率均随摄食水平增大呈减速增长趋势(图 2),其与摄食水平之间的关系分别可用对数曲线加以定量描述:

真鲷: $SGR = 0.97 \ln(FL) - 0.25, R^2 = 0.9984 \quad (P < 0.01)$

黑鲷: $SGR = 0.46 \ln(FL) - 0.07, R^2 = 0.9927 \quad (P < 0.01)$

黑斑鲷: $SGR = 0.72 \ln(FL) - 0.17, R^2 = 0.9873 \quad (P < 0.01)$

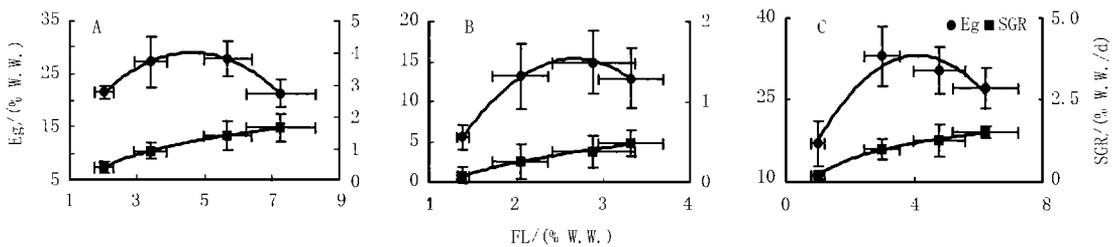


图 2 摄食水平对鱼类特定生长率 (SGR) 和生态转换效率 (Eg) 的影响

Fig. 2 Effect of ration level on SGR and Eg of the fishes

A. 真鲷 (*Pagrosomus major*); B. 黑鲷 (*Sparus macrocephalus*); C. 黑斑鲷 (*Sebastes schlegelii*)

而真鲷、黑鲷和黑斑鲷的食物转换效率随摄食水平增大则呈倒 U 型变化趋势,其与摄食水平之间的关系分别可用对数曲线加以定量描述:

真鲷: $Eg (\% W. W.) = -1.10 FL^2 + 10.16 FL - 5.54, R^2 = 0.9995 \quad (P < 0.01)$

黑鲷: $Eg (\% W. W.) = - 5.92 FL^2 + 31.57 FL - 26.69, R^2 = 0.9992 \quad (P < 0.01)$

黑斑: $Eg (\% W. W.) = - 1.61 FL^2 + 13.25 FL - 5.77, R^2 = 0.9377 \quad (0.01 < P < 0.05)$

2.2.3 个体大小对鱼类生长和生态转换效率的影响

对黑斑的实验结果显示,其生长及食物转换效率均随鱼个体体重的增大呈减速降低趋势,其关系可用幂函数曲线加以定量描述:

$SGR = 3.94 W^{-0.19}, R^2 = 0.6577 \quad (P < 0.01)$

$Eg = 86.49 W^{-0.23}, R^2 = 0.8069 \quad (P < 0.01)$

2.2.4 饵料生物种类对生长及生态转换效率的影响

对真鲷、黑鲷、黑斑和鲈鱼摄食不同饵料生物时的生长及生态转换效率进行方差检验,结果表明,当摄食玉筋鱼时,真鲷的特定生长速率显著大于鹰爪糙对虾或日本枪乌贼,食物转换效率也同样有显著差异,但考虑到上述两种饵料生物体内含水量显著不同,应用食物转换效率难免对比较结果带来偏差;因此,又以比能值为参数重新进行计算和比较,结果表明,当摄食不同饵料生物时,实验鱼类的能量转换效率均无显著性差异(表 2)。

表 2 摄食不同饵料生物对特定生长率(SGR)和生态转换效率(Eg)的影响

Tab.2 Effect of different food organisms on SGR and Eg of the fishes

实验鱼种 fish species	饵料种类 food species	SGR		Eg	
		% W. W. or kJ d ⁻¹	% W. W.	% W. W.	% kJ
真 鲷 <i>Pagrosomus major</i>	玉 筋 鱼	1.67 ± 0.32	21.2 ± 2.7	26.3 ± 2.9	
	鹰爪糙对虾	1.17 ± 0.28	14.5 ± 3.2	28.9 ± 6.6	
黑 鲷 <i>Sparus macrocephalus</i>	玉 筋 鱼	0.49 ± 0.17	13.26 ± 3.72	14.4 ± 4.1	
	鹰爪糙对虾	0.29 ± 0.13	6.37 ± 1.61	12.8 ± 3.2	
黑 斑 <i>Sebastes schlegeli</i>	玉 筋 鱼	1.56 ± 0.37	26.1 ± 2.8	34.05 ± 4.53	
	鹰爪糙对虾	0.98 ± 0.29	18.3 ± 3.4	38.86 ± 7.28	
鲈 鱼 <i>Pneumatophorus japonicus</i>	玉 筋 鱼	2.75 ± 0.66	14.0 ± 2.0	21.6 ± 4.3	
	鹰爪糙对虾	1.91 ± 0.20	11.4 ± 1.4	23.9 ± 2.8	
	日本枪乌贼	2.48 ± 0.59	11.0 ± 2.1	23.3 ± 4.3	

注:玉筋鱼(*Ammodyte personatus*);鹰爪糙对虾(*Trachypenaeus curvirostris*);日本枪乌贼(*Loligo japonica*)。

2.2.5 群居行为对鱼类生长及生态转换效率的影响

在自然生态环境中,真鲷、黑鲷等有显著的群居性。从表 3 可见,真鲷和黑鲷的群居行为,均能显著的增大其生长速率,但对生态转换效率却无显著影响。

2.3 两种方法测定结果的比较

鉴于直接对现场法和室内法进行实验比较困难较大,故将 Eggers 胃含物法转移至室内,使两种方法的比较研究同步进行,并始终保持摄食不受限制状态。从表 4 可见,由于饵料种类不同,真鲷的食物转换效率差异较大,但能量转换效率却基本相近,两种方法测定的斑生态转换效率也基本相近。但与表 1 对照,现场胃含物法测得的斑生态转换效率显著大于在室内用两种方法测定的结果。

表 3 群居行为对生长(SGR)及生态转换效率的影响

Tab.3 Effect of social behavior on SGR and Eg of the fishes

实验鱼种 fish species	群居行为 social behavior	SGR	Eg
		(% W. W. d ⁻¹)	(%)
真 鲷 <i>Pagrosomus major</i>	5 尾/组,无群居性	0.82 ± 0.40	13.9 ± 4.8
	50 尾/组,有显著群居性	1.43 ± 0.21	13.7 ± 2.8
黑 鲷 <i>Sparus macrocephalus</i>	2~3 尾/组,无群居性	0.49 ± 0.17	13.3 ± 3.7
	30 尾/组,有显著群居性	0.69 ± 0.08	14.1 ± 1.5

注:无群居性 no social behavior; 有显著群居性 significant social behavior。

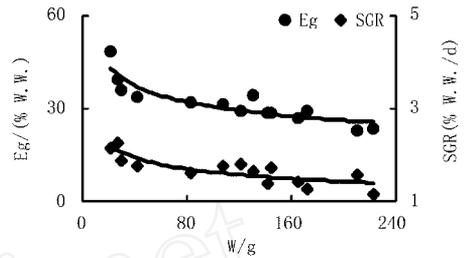


图 3 体重对黑斑特定生长率(SGR)和生态转换效率(Eg)的影响

Fig.3 Effect of weight on SGR and Eg of the fish

表4 两种方法测定鱼类摄食、生长和生态转换效率的结果比较

Tab.4 Comparison of Cd, Gd and Eg determined with two kinds of the method

实验鱼种 fish species	测定方法 methods	饵料种类 food species	Gd		Eg	
			gW. W./kg d ⁻¹	gW. W./kg d ⁻¹	% W. W.	% KJ
真 鲷 <i>Pagrosomus major</i>	LDM	玉筋鱼	15.7 ± 3.4	73.3 ± 15.2	21.4 ± 2.7	24.4 ± 3.6
	SDM	小黄鱼糜	14.1	129.7	10.9	21.8
斑 𩷶 <i>Cuppanodon punctatus</i>	LDM	卤虫	7.6 ± 4.9	135.9 ± 26.7	5.2 ± 2.6	7.1 ± 3.5
	SDM	卤虫	9.5	108.0	8.8	10.8

注:LDM—室内模拟测定法 determination in lab; SDM—现场测定法 determination in situ, 玉筋鱼—*Ammodyte personatus*; 小黄鱼糜—surimi of *Pseudosciaena polyactis*; 卤虫—Chirocephalidae.

3 讨论与结语

本研究采用的室内流水法和现场胃含物法均为目前鱼类能量学参数测定的重要方法^[4],其中:室内法因具有能严格控制实验条件、实验费用低、操作简单等优点,故迄今许多有关鱼类能量学的研究结果均源于该法,但采用该法测得的参数往往难以准确反映自然状态下情形^[9];现场法所测得的参数更接近于自然状况,且 Eggers 或 Elliott - Persson 模型已被证实是研究鱼类能量学的一种较好的模型^[7, 10-12],但受无法控制实验条件、定时重复取样困难、实验费用高等诸多因素的限制,采用该法测得的鱼类能量学参数尚较少。由于上述两种方法不可相互替代性,故在尚未找到能兼顾两者优点的方法之前,两种方法还需共存,需要探讨两种方法对不同生态习性鱼类的适用性。本研究结果表明,对于像真鲷这一类比较容易进行室内驯养和操作、活动量较小的底层鱼类来说,室内流水法是一个适用的方法,所测得的结果基本是可信的,而对斑𩷶等中上层鱼类情况大不相同,由于中上层鱼类集群性较强,活动量大,活动范围大,摄食量也大,室内流水法的实验空间可能使它们的生态习性受到限制,而影响了实验结果。因此,对中上层鱼类来说,现场胃含物法可能更为合适,也就是说,本研究应用现场胃含物法测得的斑𩷶生态转换效率更为可信。由此推论用室内流水法测得的鲈鱼生态转换效率可能偏低,该推论是否正确,有待于进一步的现场实验予以证实。

根据上述研究方法讨论,去掉不确定的研究结果,本研究所测得的8种海洋鱼类的食物转换效率和能量转换效率分别为12.9%~39.0%和14.8%~46.1%,平均约为23%和29%。与淡水鱼类相比,这些海洋鱼类的生态转换效率偏低约5%^[13],与海洋鱼类相关的研究结果相近^[14-15]。

这8种海洋鱼类生态转换效率的种间差异是十分显著的,其中:真鲷、黑鲷和红鳍东方鲷等鱼种生态转换效率偏低,而黑𩷶、赤鼻鲷、矛尾虎鱼和斑𩷶则比较高。本项研究还难以对产生上述差异的原因给予确切的解释,故有待于进一步研究。

Allen 等^[16-19]对一些淡水鱼类的研究表明:在适宜温度内及摄食不受限制时,鱼类生长率随温度上升而增大,其特定生长率与温度之间的关系可用对数曲线 $SGR = a \ln T - b$ 定量描述;在相同温度下,鱼类生长率与摄食水平的关系为一减速增长曲线。本研究结果表明,海洋鱼类(如真鲷、黑鲷和黑𩷶)的生长与温度或摄食水平之间基本符合上述关系;但也有例外情况,如黑𩷶生长随温度升高呈倒U型变化趋势,其定量关系需用二次曲线描述,这主要是因为黑𩷶适宜生长温度的上限较低,当实验温度升高且超过了黑𩷶适宜生长温度后,引起生长速率的下降。依据本文2.2.2节中特定生长量与摄食水平的关系公式,令式中 $SGR = 0$,可求得实验条件下真鲷、黑鲷和黑𩷶的维持摄食量分别为其体重的1.3%、1.2%和0.8%;黑𩷶的维持摄食量明显低于真鲷、黑鲷,其原因可能与其属岩礁鱼类、日常游动量较小等生态特征相关,低游动量必将通过降低代谢水平而减小其体内维持能量,这可能是黑𩷶生态转换效率较高的原因之一。

真鲷、黑鲷和黑𩷶等鱼类的生态转换效率随温度和摄食量增大分别呈倒U型变化趋势。如果将生态转换效率达到最大时的温度和摄食水平称为最佳生长温度和最佳摄食量,依据生态转换效率与温度或摄食水平之间的定量关系,可求得真鲷、黑鲷和黑𩷶的最佳生长温度分别为20.8、19.4和

15.8, 均显著低于其最大生长温度;最佳摄食量分别为其体重的 4.6%、2.6%和 4.1%,约是其最大摄食量的 63%、79%和 66%。可见,适宜的温度和摄食水平将会产生最佳的生态转换效率。

对同一鱼种而言,不同的饵料会导致不同的食物转换效率^[20-21],但不会显著影响鱼类的能量分配模式^[22];本研究结果证明该结论同样适用于海洋鱼类,摄食比能值不同的饵料能改变真鲷、黑鲷、黑斑和鲈鱼等鱼类的食物转换效率,但却不能显著改变其能量转换效率。因此,当比较不同饵料种类条件下的鱼类生态转换效率时应采用能量转换效率,但是,食物转换效率仍是一个有价值的指标,它在某种程度上直观地表达了食物营养质量,正如实验结果(表 2 和表 4)所示,摄食鹰爪糙对虾和小黄鱼鱼糜时的鱼类生态转换效率比摄食玉筋鱼时要低的多,这主要是因为前两种饵料中含有较多水分所致。

参考文献:

- [1] Anon. Global Ocean Ecosystem Dynamics Implementation Plan[R]. IGBP Report 40. Stockholm: IGBP Secretariat, The Royal Swedish Academy of Sciences. 1999. 1 - 207.
- [2] Christensen V, Pauly D. Ecopath II. a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics[J]. Ecological Modelling, 61:169 - 185.
- [3] Tang Q S, Su J L, et al. Study on Chinese marine ecosystem dynamics I[A]. Key scientific questions and developing stratagem[M]. Beijing: Science Press, 2000. 45 - 49. [唐启升,苏纪兰,等. 中国海洋生态系统动力学研究 I[A]. 关键科学问题与研究发展战略[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 45 - 49.]
- [4] Cui Y B. Bioenergetics of fisheries: theory and methods[J]. Acta Hydrobio Sinica, 1989, 13(4): 369 - 383. [崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法[J]. 水生生物学报, 1989, 13(4): 369 - 383.]
- [5] Eggers D M. Factors in interpreting data obtained by diel sampling of fish stomachs[J]. J Fish Res Board Can, 1977, 34: 290 - 294.
- [6] Elliott J M, Persson L. The estimation of daily rates of food consumption for fish[J]. J Anim Ecol. 1978. 47: 977 - 993.
- [7] 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.
- [8] GB/T 5009 - 1996. Method of food hygienic analysis, physical - chemical section[S]. [GB/T 5009 - 1996. 食品卫生理化检验方法[S].]
- [9] Ney J J. Bioenergetics modeling today: growing pains on the cutting edge[J]. Trans Amer Fish Soc, 1993, 122: 736 - 748.
- [10] Post J R. Metabolic allometry of larval and juvenile yellow perch (*Perc flavescens*): in situ estimates and a bioenergetic models[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1990, 47: 554 - 560.
- [11] Boisclair D, Sirois P. Testing assumptions of fish bioenergetics models by direct estimation of growth, consumption, and activity rates[J]. Trans Amer Fish Soc, 1993, 122: 784 - 796.
- [12] Mehner T. Predation impact of age - 0 fish on a copepod population in a Baltic Sea inlet as estimated by two bioenergetics models[J]. J Plankton Res, 1996. 18(8): 1323 - 1340.
- [13] Cui Y, Liu J. Comparison of energy budget among six teleosts . growth rate and energy budget[J]. Comp Biochem Physiol, 1990, 97A(3): 381 - 384.
- [14] Jobling M. A review of the physiological and nutritional energetics of cod, *Gadus morhua* L., with particular reference to growth under farmed conditions [J]. Aquac, 1988, 70(1 - 2): 1 - 19.
- [15] Smith R L, Paul A J, Paul J M. Aspects of energetics of adult walleye pollack, *Theragra chalcogramma* (Pallas), from Alaska[J]. J Fish Biol, 1988. 33(3): 445 - 454.
- [16] Brett J R, Groves T D D. Physiological energetics[A]. In Fish Physiology Vol [M]. New York: Academic Press, 1979. 279 - 352.
- [17] Allen J R M, Wootton R J. The effect of ration and temperature on the growth of the threespined sticleback, *Gasterosteus aculeatus* L. [J]. J Fish Biol, 1982, 20: 409 - 422.
- [18] Cui Y B, Wootton J R. Components of the energy budget in the European minnow, *Phoxinus Phoxinus*(L.) in relation to ration, body weight and temperature[J]. Acta Hydrobio Sinica, 1990, 14(3):193 - 204. [崔奕波, J R 吴登. 鳉(*Phoxinus Phoxinus*(L.)) 的能量收支各组分与摄食量、体重及温度的关系[J]. 水生生物学报, 1990, 14(3): 193 - 204.]
- [19] Cui Y B, Chen S L, Wang S M. Effect of temperature on the energy budget of the grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* Val [J]. Oceano et Limno Sinica, 1995, 26(2): 16 - 174. [崔奕波,陈少莲,王少梅. 温度对草鱼能量收支的影响[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(2): 169 - 174.]
- [20] Li J, Yang J M, Pang H Y. Study on the ecological growth efficiency of five marine fishes[J]. Mar Sci, 1995, 3: 52 - 54. [李 军,杨纪明,庞鸿艳. 5 种海鱼的生态生长效率研究[J]. 海洋科学, 1995, 3: 52 - 54.]
- [21] Yang J M, Guo R X. Study on the ecological growth efficiency of two marine fishes[J]. J Fish China, 1987, 11(3): 251 - 253. [杨纪明,郭如新. 石鲈和皱唇鲨生态生长效率的研究[J]. 水产学报, 1987, 11(3): 251 - 253.]
- [22] Lyons J, Magnuson J J. Effects of walleye predation on the population dynamics of small littoral-zone fishes in a northern Wisconsin Lake[J]. Trans Amer Fish Soc, 1987, 116: 29 - 39.