

文章编号: 1000-0615(2003)03-0245-06

现场胃含物法测定鲈的摄食与生态转换效率

孙 耀, 于 淼, 刘 勇, 张 波, 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: 2000 年 7 月至 9 月在山东半岛南部沿海鲈繁殖海域的鱼类养殖网箱中, 应用胃含物法测定了渤海优势鱼种鲈的摄食、生态转换效率等生态能量学参数。结果表明, (1) 在饵料不受限制时, 鲈的摄食量和生长呈不规则波浪式变化, 其波距比较恒定, 但波高变化较大; (2) 鲈的瞬时胃含物重量随时间变化可用指数模型 $S_t = 9.0876e^{-0.1868t}$ 描述, 瞬时排空率 $R_t = 0.1868 \text{ g} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (按湿重计算); (3) 按 Eggers 公式可求得鲈日摄食量 $C_d = (15.60 \pm 2.55) \text{ g} \cdot (100\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ (按湿重计算) 或 $(69.84 \pm 11.42) \text{ kJ} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; (4) 实验期间鲈体重随时间的变化可用线性方程 $W_t = 2.23t + 16.71$ 描述, 由该式可求得其相对平均日生长量 $G_d = 3.72 \text{ g} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 或 $30.00 \text{ kJ} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; (5) 由于已知的平均日摄食量和平均日生长量, 可求得鲈生态转换效率 $E_g = 23.85\%$ (按湿重计算) 或 $42.96\% \text{ kJ}$ 。

关键词: 鲈; 摄食; 生态转换效率; 胃含物法

中图分类号: S917 文献标识码: A

Determination of food consumption and ecological conversion efficiency of *Pneumatophorus japonicus* by stomach contents method

SUN Yao, YU Miao, LIU Yong, ZHANG Bo, TANG Qi-sheng

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

Abstract The ecological energetic parameters of *Pneumatophorus japonicus* (Houttyn), such as food consumption, growth and ecological conversion efficiency, were determined by gut content method in net cages which were situated in fish reproductive waters in offshore area of Shandong peninsula. The results indicated that, (1) under constant experimental conditions, the fish's maximum daily food consumption and daily growth change as irregular sine wave. The wave distance is constant, but the wave height's change is bigger; (2) the Relationship between instantaneous food content in stomach and corresponding time could be described as $S_t = 9.0876e^{-0.1868t}$, and instantaneous gastric evacuation rate calculated by the formula was $R_t = 0.1868 \text{ g} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; (3) the daily food consumption calculated according to Eggers' formula was $C_d = 15.60 \pm 2.55 \text{ g} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{d}^{-1} = 69.84 \pm 11.42 \text{ kJ} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; (4) the change of fish's body weight with time was linear, which could be described as $W_t = 2.23t + 16.71$. The daily growth could be obtained by the linear formulae and average body weight at experiment period and was $G_d = 3.72 \text{ g} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{d}^{-1} = 30.00 \text{ kJ} \cdot$

收稿日期: 2002-06-17

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: 孙 耀(1956-), 男, 山东青岛人, 研究员, 从事海洋环境生态学研究。Tel: 0532-5836341, E-mail: sunyao@ysfri.ac.cn

$(100\text{g})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. So ecological conversion efficiency could be obtained as $E_g = 23.85\% = 42.96\%$ kJ from known C_d and G_d values.

Key words: *Pneumatophorus japonicus*; food consumption; ecological conversion efficiency; stomach content method

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]。随着简化食物网概念^[4]被人们广泛接受,食物网中关键种的生态作用越来越受到重视。鲈(*Pneumatophorus japonicus* Houttyn)是典型的以捕食游泳动物为主的暖水大洋性中上层鱼类,广泛分布于西北太平洋沿岸水域,在中国的渤、黄、东、南海均有分布;鲈也是重要的大中型经济鱼类,具有年总产约 2.0×10^6 t 的生产规模^[5]。由于鲈在渤、黄海食物网结构中扮演着重要角色,故有关其摄食、生态转换效率等生态能量学参数的研究,将为渤、黄海食物网物流、能流过程的定量和食物网营养动力学模型的建立提供基础资料。但迄今为止,尚鲜见有关鲈该方面研究的报道。

摄食和生长是决定生态转换效率的两个基本变量,而胃含物法是测定鱼类上述两个生物学变量的重要现场方法。Elliott-Persson^[6]模型和 Eggers^[7]模型已被证实是现场研究鱼类摄食的两种很好的模型^[8-11];但当将这两种模型运用到鲈的现场研究中时,因自然环境中的鲈游泳迅速,具有强烈的结群和游动觅食行为,故在花费大量资金和人力后,仍无法保证完成对同一鲈群体定时、定点重复取样等实验步骤;因此,本研究在鱼类网箱养殖的环境中,采用 Eggers 胃含物模型测定了饵料不受限制条件下鲈的摄食、生长和生态转换效率等生态能量学参数。

1 材料与方法

1.1 材料来源与驯养

所采用鲈,平均体重(28.9 ± 5.4)g,捕获自山东半岛北部沿海的鲈繁殖海域。在鲈繁殖季节过后,位于上述海域的鱼类网箱养殖区,由于大量残饵而诱集了许多鲈幼体在网箱周围进行索饵活动;利用这一特点,在鲈幼体频繁出现的区域内,将 $6\text{m} \times 6\text{m} \times 4.5\text{m}$ 网箱的一端沉入海中,在网箱中部投饵诱鱼,待发现诱饵区有鲈活动迹象后,迅速将网缘提升至水面;应用该法捕获的鲈无任何损伤且鱼的规格整齐划一。按实验需求量,将 600 余尾鲈移入邻近网箱内,在实验条件下驯养 7d 后,开始实验。

1.2 实验装置和方法

实验于 2000 年 7 月至 9 月在山东半岛南部沿海鲈繁殖海域的鱼类养殖网箱中进行。实验采用现场胃含物方法。实验用网箱规格为 $6\text{m} \times 6\text{m} \times 4.5\text{m}$,网目为 10mm。实验期间水温为 25.9 ± 0.8 °C。实验饵料采用小黄鱼鱼糜;每天 7:30 和 16:30 时两次投饵,每次投饵至鲈无明显摄食行为后停止,以使其生态能量学参数在最大摄食水平下测得。收集实验前后鲈样品和刚摄食后鲈胃含物样品,经 70 °C 低温烘干、粉碎和全样过 20 目套筛后,进行能值和生化组成测定;能值是采用热量计(XYR-1)直接测定燃烧能方法测得,总氮与总碳是采用元素分析仪(P-E240C)测定,其它则按文献[12]进行测定。

1.2.1 胃含物测定实验

该实验每间隔 6d 进行 1 次 24h 连续测定,共做 5 次;每次连续测定的取样时间为 0:00、3:00、6:00、9:00、12:00、15:00、18:00、21:00,届时随机取鲈样品 10 尾,取样后立即用 10% 福尔马林固定,然后测定其体重、体长和胃含物重量。

1.2.2 排空率实验

在胃含物测定实验过半时,插入排空率实验。取饱食后实验鱼类 120 尾,置于规格为 4m^3 、用 300 目筛绢制成的网箱内;自鲈移入起始,每间隔 1.0h 取样 10 尾,共取 11 次。由于鲈活动耗氧强烈,而排空

率实验为防止浮游生物进入网箱, 所使用网箱的网目尺寸微小, 故实验水体仍需充气处理, 以加速网箱内外的海水交换和提高水中的溶解氧含量。

1.3 结果计算

日摄食量按 Eggers^[7] 公式 $C_d = 24 \times S \times R_t$ 进行估算, 式中: S 为 24h 内平均胃含物重量; R_t 为瞬时排空率, 如果以瞬时胃含物重量的自然对数值与所对应的胃排空实验时间进行线性回归, 其线性回归方程的斜率就是 R_t 值。日生长量(G_d) 是将胃含物测定实验期间鲈重量变化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。生态转换效率则由公式 $E_g(\%) = (C_d / G_d) \times 100$ 求得^[12]。

2 结果

2.1 能值和生化组成的测定

鲈及其胃含物的能值和生化组成测定结果见表 1。

表 1 鲈及其胃含物的能值和生化组成

Tab. 1 Energy values and biochemical compositions of *Pneumatophorus japonicus* and its stomach content

样品种类 sample species	水分 (%) water content	总氮 (% D. W.) total nitrogen	总碳 (% D. W.) total carbon	蛋白质 (% D. W.) protein	脂肪 (% D. W.) fat	灰分 (% D. W.) ash content	比能值 (kJ·g ⁻¹ D. W.) energy content
鲈 <i>P. japonicus</i>	69.48	9.18	54.66	57.38	35.14	12.67	26.42
胃含物 stomach content	78.54	UD	UD	UD	UD	UD	20.88

注: D. W., 干重; kJ, 能值(千卡); UD, 未检测

Notes: D. W. means dry weight; kJ means energy value (kilocalorie); UD means undetermined

2.2 鲈的最大摄食量与生长

从图 1 可见, 在饵料不受限制时, 鲈的摄食量并非数值, 而呈不规则波浪式变化, 其波距比较恒定, 但波高起伏较大; 体重则呈波浪式上升趋势, 且与摄食水平相对应, 当最大摄食量上升时, 体重增长量即特定生长率也增大, 反之则降低。

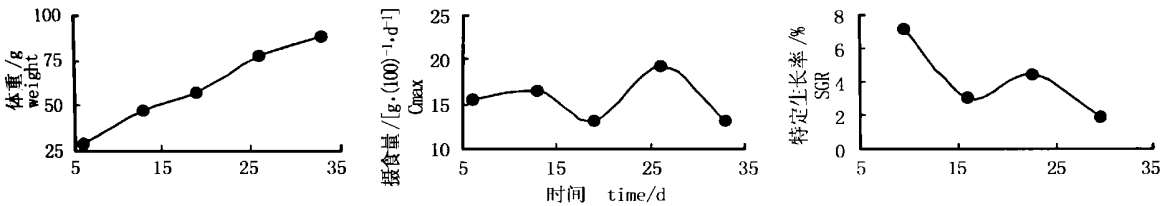


图 1 鲈最大摄食量和特定生长率随时间的变化

Fig. 1 Change of C_{max} and SGR with time

2.3 鲈的排空率及其模型

排空率的测定结果见表 2。用以湿重(W. W.) 为单位的胃含物瞬时含量与所对应的时间进行曲线回归分析, 可得到两者之间的定量描述公式分别为:

$$S_t = 9.0876e^{-0.1868t}, R^2 = 0.9342$$

如果将 $\ln S_t$ 与所对应的时间进行线性回归分析, 其线性回归方程的斜率即鲈的瞬时排空率 $R_t = 0.1868 \text{ g} \cdot (100\text{g})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

2.4 日摄食量估算

根据本实验中不同时期鲈胃内 24h 平均食物含量的实测值, 及上一节中所估算出的瞬时排空率 R_t 值, 按 Eggers 公式可求得各实验时期鲈的日摄食量(表3)。从表1可知, 鲈胃内刚摄入饵料的含水量为 78.56%, 比能值为 $20.88\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}\text{D.W.}$, 则可求得以湿重或能值为单位表示的其在整个实验期内平均日摄食量 $C_d = 15.60 \pm 2.55\text{g W.W.}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 或 $69.84 \pm 11.42\text{kJ}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$; 由于投喂方式保证了鲈可以获得充足的饵料, 所以这一结果可认为是其最大平均日摄食量。

表2 鲈胃排空率的测算参数

Tab.2 Determined and calculated parameters of the evacuation rate

时间(h) time	尾数 no. of sample	S_t $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	$\ln S_t$
0	10	8.4207 ± 0.9321	2.1307
1.0	10	7.0492 ± 1.4955	1.9529
2.0	10	6.4360 ± 1.0133	1.8619
3.0	10	6.2926 ± 1.9551	1.8394
4.0	10	3.9477 ± 2.4495	1.3731
5.0	10	3.6788 ± 1.7749	1.3026
6.0	10	3.0121 ± 1.3165	1.1027
7.0	10	3.2328 ± 0.6549	1.1733
8.0	10	1.4107 ± 0.8630	0.3441
9.0	10	1.7042 ± 1.0434	0.5331
10.0	10	1.4742 ± 1.0213	0.3881

表3 鲈 24h 平均胃含物含量和日摄食量

Tab.3 24h s average contents in stomach and daily ration

日期(M-D) date	体重(g W.W) body weight	S $[\text{g W.W.}\cdot(100\text{g})^{-1}]$	C_d $[\text{g W.W.}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{d}^{-1}]$
08-02	28.85 ± 3.39	3.4223 ± 2.3431	15.57
08-09	47.67 ± 5.30	3.6966 ± 2.9189	16.57
08-15	57.19 ± 7.81	2.9555 ± 2.0480	13.25
08-22	77.76 ± 8.44	4.3171 ± 2.7081	19.35
08-29	88.51 ± 9.26	2.9531 ± 2.1426	13.24
平均值 mean value	60.00 ± 23.76	3.4794 ± 0.5697	15.60 ± 2.55

2.5 鲈的日生长量及生态转换效率

对鲈摄食量测定期间体重变化与对应的时间进行线性回归分析, 可得到二者之间的线性方程为: $W_t = 2.23t + 16.71 (R^2 = 0.8404)$, 由该式可求得鲈的绝对平均日生长量, 然后结合实验期间鲈平均体重及体内含水量和含能量, 可求得其相对平均日生长量 $G_d = 3.72\text{gW.W.}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 或 $30.00\text{kJ}\cdot(100\text{g})^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。由于已知鲈的平均日摄食量和平均日生长量, 按公式(1)可求得其生态转换效率 $E_g = 23.85\% \text{ W.W.}$ 或 $42.96\% \text{ kJ}$ 。

3 讨论

室内流水条件下的个体实验法和现场胃含物法均为获得鱼类能量学参数的重要方法^[13]。现场胃含物法以群体生物为研究对象, 所测得的参数接近于自然状况^[14]; 鉴于这一原因, 起初拟采用该方法进行本项研究, 但由于天然环境中的鲈具有强烈的结群和游动觅食行为, 且游泳迅速, 故用 36Ma 对拖船在青岛沿海的鲈繁殖水域取样时, 因无法完成胃含物法的取样要求而导致实验失败。因此, 将鲈转移至网箱内, 在人工控制投饵的条件下, 测定了其摄食、生长和生态转换效率。本研究中所测得的鲈食物转换效率为 23.85%, 位于鱼类食物转换效率的一般范围 10% ~ 30% 之内^[15, 16], 且较接近于其高限。鉴于鲈具有强烈的结群游动习性, 应该有更多的摄入能用于活动代谢, 从而降低其生态转换效率; 所以, 可能造成鲈生态转换效率较高的原因可能有二, 其一可能是影响鱼类生态转换效率的因素众多, 其中活动代谢的高低并不起着决定性作用; 其二则可能因为现有许多研究结果是在室内条件下测得的, 室内环境与现场环境的巨大差异造成了研究结果的普遍偏低; 孙耀等^[17]以个体生物为研究对象, 在室内 1.0m^3

流动水槽中测定了鲈的生长、摄食和生态转换效率,其结果显著较低。因此,应用现场或现场模拟方法有选择、有目的去校正一些室内鱼类能量学研究结果,应该成为今后该方面研究的重要内容。

现场胃含物法在应用中也存在着许多操作细节上的差异^[6, 7, 9, 18]。Eggers模型和Elliott-Persson模型是该方法中最常用的两种模型;起初Eggers模型被认为不太适合节律性很强的食鱼鱼类,但后来的研究表明,这种观点过于保守;Elliott-Persson模型适合夜间不摄食且具有明显摄食节律的鱼类,其排空率的获得依赖于不摄食阶段;Boisclair和Leggett^[8]通过比较研究发现,两种模型具有同等的准确性。由于实验模拟条件下,Eggers模型具有取样次数相对较少,既大大简化了实验操作过程,又减少了对实验中鲈的干扰,且排空率实验在网排上易于操作等优点,故在本研究中被采用。

Cui^[19]依据对*Phoxinus phoxinus*的研究结果,提出了鱼类生长调控模型,即在食物不受限制时,鱼类能够通过体内某种物质(如某一激素、血液指标、脂肪储存等)的变化来觉察“生长误差”,并予以调控;该假设预测,在食物不受限制且环境条件恒定时,鱼类摄食率及生长率呈波浪形变动,而体重呈阶梯式上升。本研究结果则进一步表明,该假设同样适用于鲈,但这种波浪式变化是不规则的,其主要表现为波距比较恒定,而波高变化显著;且与摄食量变化相对应,随摄食量增大,体重增长速度增大,生长速度加快。

鱼类胃排空方式复杂多样,从而决定了其胃排空率描述模型的多样性;目前较为常用的模型有:直线模型^[20, 21],指数模型^[22, 23],平方根模型^[24]等。Jobling^[25]重新分析了许多业已发表的数据认为,指数模型在描述鱼类摄食粒度小、易消化食物的胃排空曲线时最好,而直线模型更适合较大的食物;Persson^[26]和Elliott^[27]则认为指数模型对一些大的食物也能很好地适合。应用上述模型对本研究结果进行拟合与比较后,认为当鲈摄食鱼糜时,应用指数模型 $S_t = 9.0876e^{-0.1868t}$ 能更好地描述其胃排空规律。

参考文献:

- [1] Tang Q S, Su J L. Study on ocean ecosystem dynamics in China I. Key Scientific questions and developing stratagem[M]. Beijing: Science Press 2000, 45- 49. [唐启升, 苏纪兰. 中国海洋生态系统动力学研究 I. 关键科学问题与研究发展战略[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 45- 49.]
- [2] Christensen V, Pauly D. Ecopath II. A software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics[J]. Ecol Modeling, 1992, 61: 160- 185.
- [3] Walters C, Christensen V, Pauly D. Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments[J]. Rev Fish Biol Fish, 1997, 7: 139- 172.
- [4] Steele J. The structure of marine ecosystems[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1974.
- [5] Chen D G. Fisheries ecology in Chinese Yellow Sea and East Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 1991. 224- 228. [陈大刚. 黄渤海渔业生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 1991. 224- 228.]
- [6] Elliott J M, Persson L. The estimation of daily rates of food consumption for fish[J]. J Animal Ecol, 1978, 47: 977- 991.
- [7] Eggers D M. Factors in interpretation data obtained by diel sampling of fish stomachs[J]. J Fish Res Board Can, 1977, 34: 290- 294.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Post J R. Metabolic allometry of larval and juvenile yellow perch (*Perca flavescens*): in situ estimates and a bioenergetic models[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1990, 47: 554- 560.
- [12] National Standard of China (GB/T5009- 1996). Method of food hygienic analysis, physical-chemical section[S]. 1996. [中华人民共和国国家标准(GB/T5009- 1996). 食品卫生理化检验方法—理化部分[S]. 1996.]
- [13] Cui Y B. Bioenergetics of fisheries: theory and methods[J]. Acta Hydrobio Sin, 1989, 113(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, 113(4): 369- 383.]
- [14] Nex J J. Bioenergetics modeling today: growing pains on the cutting edge[J]. Trans Amer Fish Soc, 1993, 122: 736- 748.

- [15] Stewart D J, Binkowski F P. Dynamics of consumption and food conversion by Lake Michigan alewives: an energetics modeling synthesis[J]. Trans Amer Fish Soc, 1986, 115: 643– 659.
- [16] Swenson W A, Smith 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.
- [17] Sun Y, Zhang B, Guo X W, et al. Effect of food species on energy budget of *Pneumatophorus japonicus* [J]. Mar Fish Res, 1999, 20(2): 97– 100. [孙耀, 张波, 郭学武, 等. 鲇鱼能量收支及其饵料种类的影响[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 97– 100.]
- [18] Madon S P, Culver D A. Bioenergetics model for larval and juvenile walleyes: an *in situ* approach with experimental ponds[J]. Trans Amer Fish Soc, 1993, 122: 797– 813.
- [19] Cui Y. Bioenergetics and growth of a teleost *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae)[R]. Ph. D. thesis, University of Wales, Aberystwyth. 1987.
- [20] Hopkins T E, Larson R J. Gastric evacuation of three food types in the black and yellow rockfish, *Sebastes drosomelas* (Jordan and Gilbert) [J]. J Fish Biol, 1990, 36: 673– 682.
- [21] Swenson W A, Smith 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.
- [22] Durbin E G, Durbin A G, Langton R W, et al. Stomach contents of silver hake, *Merluccius bilinearis*, and Atlantic cod, *Gadus morhua*, and estimation of their daily ration[J]. Fish Bull, 1983, 81: 437– 454.
- [23] Elliott M. Rate of gastric evacuation in brown trout, *Salmo trutta* L[J]. Fresh Biol, 1972, 2: 1– 18.
- [24] Jobling M. Mathematical models of gastric emptying and the estimation of daily rates of food consumption for fish[J]. J Fish Biol, 1981, 19: 245– 257.
- [25] Jobling M. Influences of food particle size and dietary energy content on patterns of gastric evacuation in fish: test of a physiological model of gastric emptying[J]. J Fish Biol, 1987, 30:299– 314.
- [26] Persson L. The effects of temperature and meal size on rate of gastric evacuation in perch, *Percifluviatilis*, fed on fish larvae[J]. Fresh Biol, 1981, 11: 131– 138.
- [27] Elliott J M. Rates of gastric evacuation of piscivorous brown trout, *Salmo trutta*[J]. Fresh Biol, 1991, 25: 297– 305.