

温度对草鱼能量收支的影响*

崔奕波 陈少莲 王少梅

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提要 于 1992 年 4 月—1992 年 5 月在 22, 26 及 30℃ 下, 以莴苣叶为食物, 不限量摄食, 测定草鱼的能量收支。结果表明, 草鱼摄食率及生长率均随温度上升而增加; 最大摄食率 (C_w : % W/d) 与水温 (T : °C) 的关系为: $C_w = 0.0405T^{2.224}$; 温度对食物能分配于能量收支各组分比例没有显著影响, 在 3 个温度下测定的平均能量收支式为: $100C = 29.89F + 3.30U + 52.48R + 14.34G$, 式中 C 为食物能, F 为排粪能, U 为排泄能, R 为代谢能, G 为生长能。

关键词 温度 草鱼 能量收支 生长

草鱼是我国的重要经济鱼类, 对于草鱼能量收支的研究, 有助于揭示草食性鱼类的能量学特征。关于温度对草食性鱼类生长及能量收支影响的研究甚少。Wiley 等(1986)估算了草鱼在 14—30℃ 下的能量收支, 但他在不同温度下所用饵料及实验鱼的体重均不同, 因此无法将温度的作用与体重、饵料的作用区分开。本项研究探讨在不同温度下, 相同体重的草鱼摄取同一饵料时的能量收支, 以期为草鱼的养殖与放养提供科学依据。

1 材料与与方法

于 1992 年 4 月—1992 年 5 月进行实验。

1.1 饲养设备 饲养设备为 250L 玻璃水族箱。每一水族箱与一过滤器相连, 过滤器中含斜发沸石粒 40L (斜发沸石对氨有很强的吸附能力), 放鱼前先用盐水将沸石再生。水族箱与过滤器之间的水循环靠一气升泵维持, 流速为 1 L/min; 另引入微流去氯自来水, 流速约 0.1 L/min。利用空压机对水族箱每小时充气 30 min。水温用控温仪及加热线控制。实验室的光照周期用日光灯及定时器控制。

1.2 实验步骤 实验草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus* Val.) 为隔年鱼种, 于 1992 年 3 月取自黄冈水产研究所养殖场。鱼的初始体重见表 2。实验室驯化。光照为每天 12h。投喂饵料为莴苣叶 (*Lactuca sativa* var. *asparagina*)。数周后将水温逐渐 (2—3℃/d) 升至实验温度, 并在实验温度下饲养 1 周后, 才开始实验。

实验温度分 22, 26, 30℃ 3 个水平。每一温度下设 3 个水族箱, 每箱放鱼 3 尾。实验开始时, 先将鱼饥饿 2d, 然后称重 (精确度 0.01g)。利用剪鳍法对同一水族箱的鱼进行标记。同时取 10 尾鱼作为对照, 称重后在 70℃ 下 (下同) 烘干, 用以估算实验开始时鱼体的

* 国家自然科学基金资助项目, 3907163 号; 淡水生态与生物技术国家重点实验室资助。崔奕波, 男, 出生于 1962 年 3 月, 研究员。

收稿日期: 1994 年 3 月 7 日, 接受日期: 1994 年 5 月 4 日。

干物质含量、能量及氮含量。每天称取过量的莴苣叶投喂,第二天回收吃剩食物并称重。称量时先将叶梗去掉,将叶片浸入水中,然后在脱水机中离心 3min,再称重。每天将一份新鲜莴苣叶及吃剩莴苣叶在烘箱中烘干,以测定干物质含量。用虹吸法每天一次收集粪便样品,并烘干。

实验周期为 15d。由于 30℃下实验鱼的体重在这期间已增加 1 倍以上,故未延长实验周期,以避免不同温度下最终体重差异过大。实验结束时先将鱼饥饿 2d,然后称重,烘干,磨碎。对各实验鱼及对照鱼的氮含量及能量含量,饵料的氮含量、脂肪含量、灰分含量、能量含量及纤维素含量,以及各水族箱粪便样品的氮含量、能量含量及纤维素含量进行测定。氮含量用克氏法测定,脂肪含量用氯仿-甲醇抽提法测定(崔奕波,1989),灰分含量采用 550℃下灰化法,能量含量采用 Phillipson 微量能量计测定,纤维素含量采用纤维素测定仪(Fibertec System, Tecator 公司)测定。蛋白质含量计算为 $6.25 \times$ 氮含量。

1.3 结果计算 特定生长率 $SGR = 100 \times (\ln S_t - \ln S_0) / t$, 式中, S_t 为实验结束时的湿重、干重、蛋白质总量或能量总量; S_0 为实验开始时的湿重、干重、蛋白质总量或能量总量; t 为试验天数。

$$\text{转化效率计算为: } 100 \times \frac{\text{生长量}}{\text{摄食量}}$$

鱼类的能量收支式为: $C = F + U + R + G$, 式中, C 为从食物中摄取的能量(食物能); F 为粪便中损失的能量(粪能); U 为氮排泄物中损失的能量(排泄能); R 为代谢能; G 为贮存于鱼体内的能量(生长能)(以上符号意义,全文同)。

每天投喂饵料量与次日剩余饵料量之差为摄食量。对剩余饵料重量根据新鲜饵料与剩余饵料的干物质含量进行校正。将 15d 摄食量的平均值乘上饵料的能量含量,即为食物能。

采用纤维素为内在指示物,以计算吸收效率(消化率) $[100 \times (C - F) / C]$:

$$\left[1 - \frac{(\text{饵料中纤维素含量}) : (\text{粪便中营养物或能量含量})}{(\text{粪便中纤维素含量}) : (\text{饵料中营养物或能量含量})} \right] \times 100$$

排泄能根据 (Cui et al., 1992) 氮收支式计算: $U = (C_N - F_N - G_N) \times 24.8$, 式中, C_N 为从食物中获取的氮; F_N 为粪便中损失的氮; G_N 为鱼体中积累的氮; 24.8 为每克氮氮的能值 (kJ)。这里假定氮是唯一的氮排泄物。

鱼的体重乘上单位体重的能值即为鱼体总能量含量。实验结束时的总能量含量减去实验开始时的总能量含量,即为生长能。实验开始时单位体重的能值按对照鱼的平均值计算。

代谢能根据能量收支式 $R = C - F - U - G$ 计算。

2 结果

2.1 饵料(莴苣叶)的生化组成 见表 1。

2.2 水温对草鱼生长率及转化效率的影响结果 见表 2。方差分析表明,水温对湿重、干重、蛋白质及能量特定生长率均有显著影响 ($P < 0.01$)。生长率随水温上升而增加。回归分析表明,特定生长率 ($SGR, \% / d$) 与水温 ($T, ^\circ C$) 的关系为:

$$\text{湿重 } SGR = -8.67 + 3.07 \ln T, r^2 = 0.864, n = 9, P < 0.01$$

表 1 莴苣叶的生化组成

Tab. 1 Chemical composition of the experimental diet, *Lactuca Sativa* var. *asparagina*

干重 ¹⁾ (%湿重)	蛋白质 (%干重)	脂肪 (%干重)	灰分 (%干重)	纤维素 (%干重)	能量 (kJ/g 干重)
7.43±0.16 (n = 14)	30.75	3.40	8.93	10.47	20.60

1) 均值±标准误。

表 2 水温对草鱼特定生长率 (SGR) 及转化效率的影响结果(均值±标准误)

Tab. 2 Effect of temperature on the specific growth rate (SGR) and conversion efficiency in the grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* Val.) (mean±S.E.)

水温(°C)		22	26	30
n		3	3	3
始重(g)		17.02±1.89	16.54±1.02	15.56±2.90
终重(g)		23.28±3.56	27.79±2.13	37.10±8.11
SGR (%/d)	湿重	2.22±0.16	4.26±0.66	5.70±0.30
	干重	2.55±0.29	4.91±0.74	6.44±0.38
	蛋白质	2.63±0.27	4.91±0.80	6.23±0.22
	能量	2.99±0.49	5.66±0.82	7.26±0.50
转化效率 (%)	湿重	3.60±0.46	4.28±0.23	4.89±0.17
	干重	8.91±0.48	14.12±0.69	16.05±0.96
	蛋白质	20.36±10.76	31.52±0.72	33.81±0.67
	能量	10.06±5.88	15.38±0.89	17.57±1.44

干重 $SGR = -8.43 + 3.04 \ln T$, $r^2 = 0.829$, $n = 9$, $P < 0.01$

蛋白质 $SGR = -7.75 + 2.83 \ln T$, $r^2 = 0.820$, $n = 9$, $P < 0.01$

能量 $SGR = -8.08 + 2.97 \ln T$, $r^2 = 0.765$, $n = 9$, $P < 0.01$

虽然转化效率随着水温上升有增加趋势,但方差分析表明,不同温度下的转化效率并无显著差异($P > 0.05$)。湿重、干物质、蛋白质及能量的平均转化效率分别为 4.3%, 13%, 28.6% 及 14.3%。

2.3 水温对草鱼的摄食率、吸收效率的影响结果 见表 3。摄食率随水温上升而增加,最大摄食率(湿重)(C_w , % 体重/d) 与水温 (T , °C) 的回归关系为:

$$C_w = 0.0405T^{2.324}, r^2 = 0.933, n = 9, P < 0.01.$$

草鱼对干物质、蛋白质及能量的吸收效率见表 3。方差分析表明,水温对吸收效率没有显著影响 ($P > 0.05$)。干物质、蛋白质、能量吸收效率的平均值分别为 63.9%, 84.2% 及 70.1%。

2.4 水温对草鱼能量收支影响结果 方差分析表明,不同温度下食物能损失于排泄物中的比例无显著差异 ($P > 0.05$),其平均值为 3.30%(表 4)。代谢耗能占食物能的比例为 51.42%—54.56%。方差分析表明,不同温度下这一比例无显著差异($P > 0.05$),其平均值为 52.48%。由于不同温度下食物能分配于能量收支各组分比例无显著差异,故可计算一平均能量收支式:

$$100C = 29.89F + 3.30U + 52.48R + 14.34G$$

表 3 水温对草鱼最大摄食率及吸收效率的影响结果 (均值±标准误)

Tab. 3 Effect of temperature on the maximum food consumption and absorption efficiency in the grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* Val.) (mean±S.E.)

水温(°C)		22	26	30
最大摄食率 (%W/d)		53.90±1.44	78.38±3.84	110.15±0.98
吸收效率(%)	干物质	62.14±1.44	64.01±1.32	65.61±0.45
	蛋白质	83.75±0.79	84.70±0.95	84.23±1.01
	能量	68.37±1.08	69.98±0.83	71.98±0.35

表 4 水温对草鱼能量收支的影响结果 (均值±标准误)

Tab. 4 Effect of temperature on the energy budget of the grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* Val.) (mean±S.E.)

水温(°C)	22	26	30
C [kJ/(g·d)]	0.825±0.066	1.198±0.061	1.686±0.050
以下各项表示为 C 的百分比			
F	31.63±1.08	30.02±0.83	28.02±0.35
U	3.75±0.59	3.15±0.04	2.99±0.10
R	54.56±4.47	51.45±0.07	51.42±1.70
G	10.06±5.88	15.38±0.89	17.57±1.44

若表示为同化能 ($A = C - F - U$) 的百分比,则收支式为:

$$100A = 78.79R + 21.21G。$$

3 讨论与结语

草鱼摄食率、生长率随水温升高而增加。当食物不受限制时,鱼类的摄食率及生长率一般均值随水温上升而增加。但当水温超过某一最适温度时,摄食率及生长率则急剧下降 (Brett et al., 1979)。在本研究中,摄食率及生长率在 22—30°C 范围内均呈上升趋势,实验结果以 30°C 时生长速度最高,故草鱼摄食及生长的最适温度应高于 30°C。

Cai 等(1989)列举了不同研究中得出的草鱼的生长率,其中最高值为 3.5%/d。本研究中,草鱼在 30°C 时的湿重 SGR 达到 5.7%/d。这说明草鱼可很好地利用植物性饵料生长。这与刘文郁等(1963)、Shireman 等(1978)、Cai 等(1989)及 Cui 等(1992)的实验结果相一致。但 Stanley (1974) 及 Fischer 等(1973)的实验表明,草鱼仅以植物性饵料为食时,几乎不能生长,故得出草鱼不能利用植物性饵料正常生长的结论。Cui 等(1993)提出,由于植物性饵料营养物含量及消化率较低,草鱼在以植物为食时,每天需耗费大部分时间用于摄食,以获取较高的摄食量。在实验系统中,如果不注意保证草鱼有足够的时间摄食,则实验鱼有可能无法获得足够的营养进行正常生长。

Cui 等(1988)发现在食物不受限制时,真鲷的能量分配模式(食物能分配于能量收支各组分的比例)在 5—15°C 之间没有变化。根据这一结果及文献中的一些间接证据,他们提出了鱼类在最大摄食水平能量分配模式恒定的假设:即在水温不是处于极端水平,摄食不受限制时,食物能分配于能量收支各组分的比例不受温度影响。对南方鲇能量收支的研究支持了这一假设 (Xie et al., 1993)。本研究中草鱼食物能分配于能量收支各组

分的比例在不同温度亦无显著差异,为该假设提供了新的证据。根据这一假设,可以通过比较不同鱼类在适中水温,最大摄食水平下的能量收支,来探讨能量收支的种间差异。

根据已发表的 14 种鱼在最大摄食水平的能量收支, Cui 等(1990)计算了一平均能量收支式: $100A = 60R + 40G$ 。本研究中,草鱼代谢耗能占了同化能的 78.79%, 而生长能仅占 21.21%。故与其它鱼类相比,草鱼属于低生长效率,高代谢消耗型。这一结论与 Carter 等(1991)及 Cui 等(1992)对草鱼的实验结果相符。然而, Stanley (1974)及 Wiley 等(1986)则认为,草鱼属于低代谢消耗、高生长效率型,他在计算能量收支时,假定体重的增长完全是脂肪增长。这一假设显然是错误的,因为鱼体的大部分物质是水分,而且干物质中也有很大一部分为能值较低的蛋白质及不含能量的灰分。Wiley 等(1986)仅测定了摄食率、标准代谢及生长率,而假定 SDA 为食物能的 7%, 活动代谢为标准代谢的 0—3 倍;排粪及排泄能量损失是由食物能与生长,代谢能之差计算所得。这些假设未经过实验检验,因而很可能导致不正确的结论。植物性饵料营养价值低,并且草鱼在摄取植物性饵料时,要花费大量时间摄食 (Cui et al., 1993), 这可能是造成草鱼代谢耗能高,生长效率低的原因。

参 考 文 献

- 刘文郁、李燕娟、陈锡涛、刘福兴等, 1963, 草鱼鱼种对几种植物性饲料的消化与利用, 水生生物集刊, **3**(3): 112—120。
- 崔奕波, 1989, 鱼类生物能量学的理论与方法, 水生生物学报, **13**(4): 369—383。
- Brett, J. R. and Groves, T. D. D., 1979, Physiological energetics, In Fish Physiology, Vol. 8, ed. by Hoar, W. S. et al., Academic Press (New York), pp. 279—352.
- Cai, Z. and Curtis, L. R., 1989, Effects of diet on consumption, growth and fatty acid composition in young grass carp, *Aquaculture*, **81**: 47—60.
- Carter, C. G. and Brafield, A. E., 1991, The bioenergetics of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Val.): energy allocation at different planes of nutrition, *J. Fish Biol.*, **39**: 873—887.
- Cui, Y., Chen, S., Wang, S. et al., 1993, Laboratory observations on the circadian feeding patterns in the grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.) fed three different diets, *Aquaculture*, **113**: 57—64.
- Cui, Y. and Liu, J., 1990, Comparison of energy budget among six teleosts III. Growth rate and energy budget, *Comp. Biochem. Physiol.*, **97A**: 381—384.
- Cui, Y., Liu, S., Wang, S. et al., 1992, Growth and energy budget of young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val., fed plant and animal diets, *J. Fish Biol.*, **41**: 231—238.
- Cui, Y. and Wootton, R. J., 1988, Pattern of energy allocation in the minnow *Phoxinus phoxinus* (L.) (Pisces: Cyprinidae), *Funct. Ecol.*, **2**: 57—62.
- Fischer, Z. and Lyakhovich, V. P., 1973, Biology and bioenergetics of grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.), *Polsk. Arch. Hydrobiol.*, **20**: 521—557.
- Shireman, J. V., Colle, D. E. and Rottmann, R. W., 1978, Growth of grass carp fed natural and prepared diets under intensive culture, *J. Fish Biol.*, **12**: 457—463.
- Stanley, J. G., 1974, Energy balance of white amur fed egeria, *Water Hyacinth Control J.*, **12**: 62—66.
- Wiley, M. J. and Wike, L. D., 1986, Energy balances of diploid, triploid and hybrid grass carp, *Trans. Am. Fish. Soc.*, **115**: 853—861.
- Xie, X. and Sun, R., 1993, Pattern of energy allocation in the southern catfish (*Silurus meridionalis*), *J. Fish Biol.*, **42**: 197—207.

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE ENERGY BUDGET OF THE GRASS CARP, *CTENOPHARYNGODON IDELLUS* VAL.

Cui Yibo, Chen Shaolian, Wang Shaomei

(*Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan 430072*)

ABSTRACT

Energy budgets were constructed for fingerling grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* Val.) at 22, 26 and 30°C, based on an experiment conducted during April—May, 1992. The fish were fed lettuce leaves using *Lactuca sativa* var. *asparagina* rations for a period of 15 days. Food consumption, faecal production and growth were estimated directly, and nitrogen excretion and metabolism estimated indirectly from nitrogen and energy budgets respectively. Rates of maximum food consumption and growth increased with increased water temperature. The relationship between maximum rate of food consumption (C_w : % body weight day⁻¹) and temperature (T : °C) was: $C_w = 0.0405T^{2.324}$. Temperature had no significant effects on the proportions of food energy allocated to each component of the energy budget. The average energy budget was: $100C = 28.89F + 3.30U + 52.48R + 14.34G$, where C is food consumption, F is faecal production, U is excretion, R is metabolism and G is growth.

Key words Temperature Grass carp Energy budget Growth