

温度对黑鲷(*Sparus macrocephalus*)能量收支的影响

孙 耀, 张 波, 郭学武, 王 俊, 唐启升

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要:在以玉筋鱼为饵料生物和最大摄食水平条件下, 采用室内流水式实验, 研究了黑鲷能量收支及温度对能量分配模式的影响。结果表明, 黑鲷的摄食率、生长率、总代谢率和排泄率均随温度上升而呈减速增长趋势。不同温度条件下黑鲷的能量收支式为:

$$\begin{aligned} 11.2 \pm 1.98\text{ }^{\circ}\text{C} \quad 100C &= 6.09F + 9.38U + 77.56R + 7.02G \\ 14.7 \pm 0.45\text{ }^{\circ}\text{C} \quad 100C &= 6.76F + 8.75U + 72.77R + 11.82G \\ 19.8 \pm 0.47\text{ }^{\circ}\text{C} \quad 100C &= 2.75F + 8.94U + 73.52R + 14.79G \\ 25.0 \pm 0.50\text{ }^{\circ}\text{C} \quad 100C &= 1.16F + 9.18U + 77.30R + 12.81G \end{aligned}$$

黑鲷的能量收支分配模式随温度而显著变化; 其中能量代谢分配率和排泄分配率随温度升高呈 U 形变化趋势, 而生长能分配率则恰恰相反。不同温度下黑鲷的代谢能占了同化能的 83.25%~91.70%, 生长能仅占 8.30%~16.75%, 可见黑鲷基本上属于低生长效率、高代谢消耗型鱼类。

关键词: 能量收支; 温度; 黑鲷

Effects of temperature on energy budget of *Sparus macrocephalus*

SUN Yao, ZHANG Bo, GUO Xue-Wu, WANG Jun, TANG Qi-Sheng (Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: The energy budget of *Sparus macrocephalus* was determined by continuous-flow-through test method in the laboratory under different temperature condition. Results showed that, within the range of experiment temperature, all of food consumption energy (C), excretion energy (U), total metabolism energy (R) and growth energy (G) tended to deceleration increment with temperature's rise. The energy assigning models was expressed with 4 budget formulas.

The assigning models changed remarkably with temperature. In the models, assigning rates of metabolism and excretion energy changed as "U" shape with temperature's rise, but that of growth energy turned out contrary to it. Because metabolism and growth energy of *Sparus macrocephalus* takes 83.25%~91.70% and 8.30%~16.75% of assimilation energy respectively, it should belong to the fish of lower growth efficiency and higher metabolism consumption.

Key words: energy budget; temperature; *Sparus macrocephalus*

文章编号: 1000-0933(2001)02-0186-05 中图分类号: Q959.4, S965.399 文献标识码: A

鱼类能量学是研究食物能在鱼体内转换的学科, 其核心问题之一是能量收支各组分之间的定量关系及其各种生态因子的影响作用。随着鱼类能量学自身的不断发展和完善, 以及人类对鱼类资源开发和管理的迫切需求, 有关鱼类能量学领域的研究也正在受到愈来愈广泛的重视^[1~3]。欧美等发达国家对鱼类能量学研究起步较早, 迄今已经初步建立了多种鱼类的能量收支模式^[4,5]; 国内该领域的较系统研究起始于 90

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目 (No. 497901001)

收稿日期: 1999-02-28; 修订日期: 1999-09-20

作者简介: 孙 耀 (1956~), 男, 山东青岛人, 研究员。主要从事海洋生态环境和实验生态等研究。

年代初^[6,7];但这些研究范围仍主要局限于淡水鱼类,由于淡水鱼类与海水鱼类生态学特征间存在着巨大差异,其研究结果难以直接应用于海洋鱼类。

黑鲷(*Sparus macrocephalus*)是渤海近岸海域的重要经济和养殖鱼种,属底层肉食性鱼类,在该海域有着较为广泛的代表性。通过本研究,除有助于揭示浅海底层肉食性鱼类的生物能量学特征,也将为我国海水鱼类增养殖潜力和效果分析提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料来源与驯养 研究中所采用黑鲷,系采自渤海莱州湾近岸海域的天然苗种,经莱州市水产研究所养殖试验场在滩涂土塘中培养而成。实验用黑鲷经浓度为 2~4mg/L 氯霉素溶液处理后,置于室内水泥池中进行预备性驯养,待摄食和生长趋于正常后,再将其置于试验水槽中,在实验温度条件下进行正式驯养,待其摄食和生长再一次趋于正常后,开始生长和生态转换率模拟测定实验。一般预备性驯化时间约为 20d,正式驯化时间为 7d。

1.2 实验装置和方法 实验采用室内流水模拟测定法。实验水槽内流水速率的调节,以槽内水体中 DO、NH₄-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>6m³/d;实验海水经沉淀和沙滤处理。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 250lx。实验利用本地区 8~11 月气温的自然降低,及天然海水温度所表现出的相对稳定性,在自然水温 11.2±1.98℃、14.7±0.45℃、19.8±0.47℃和 25.0±0.50℃下进行。

实验用黑鲷的平均体重为 84.7±18.2g,在 0.25m³ 的圆形玻璃钢水槽中进行;每个实验温度下设 5 个平行组,每组中实验个体数 1 尾。实验周期为 15d;实验期间最高温度组的黑鲷生长量>其体重的 16%。为使数据具有可比性,实验数据均在以去头和内脏的玉筋鱼段为饵料和最大摄食水平条件下测得;饵料大小以实验黑鲷易于吞食为准;实验中每天投喂饵料 2 次,每次投喂后,至下一次投喂前收集残饵和粪便。由于残饵被海水浸泡后有较大幅度的增重,故本文中残饵湿重是其干重经鲜饵料含水量校正后的结果。黑鲷及饵料生物的生化组成中,比能值是采用能量计直接测定,总氮与总碳是采用元素分析仪测定,其它则按《食品卫生理化检验方法》(GB/T5009-1996)进行测定。

1.3 结果计算 能量收支配模式采用 Warren 和 Davis^[8]提出的能量在鱼体内转换的基本模型: $C=F+U+R+G$,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。

黑鲷的生态转换效率(E_g)和特定生长率(SGR)分别按下式^[4]计算: $E_g=(P_t/I_t) \times 100\%$ 和 $SGR=((\ln W_t - \ln W_0)/t) \times 100\%$,式中, P_t 为实验期间黑鲷的体重增长量, I_t 为实验期间黑鲷的摄食量,该值经实测饵料流失率校正后得到; W_t 为黑鲷的实验后重量或总能量, W_0 为黑鲷的实验前重量或总能量, t 为实验时间。

以黑鲷摄入和排泄出总碳为指标计算吸收率: $A=(C-F)/C \times 100\%$ 。

排泄能依据氮收支平衡式^[9]计算: $U=(C_N-F_N-G_N) \times 24.8$,式中, C_N 为食物中获取的氮; 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)。该式假设氮氮是唯一的氮排泄物。

总代谢能根据能量收支式 $R=C-F-U-G$ 计算。

采用方差分析和线性相关分析进行本实验数据的统计处理。

2 结果

2.1 实验生物及其粪便的生化组成

黑鲷及其粪便和饵料生物玉筋鱼的生化组成见表 1。

2.2 温度对黑鲷特定生长率及生态转换效率的影响

在本实验温度范围内,以湿重和比能值表示的黑鲷特定生长率随温度上升而增大,其与温度之间的关系可以用相同的对数曲线加以定量描述,即: $SGR=1.07\ln T-2.44(R^2=0.9821)$;黑鲷的生态转换效率(E_g)随温度上升呈倒“U”形变化趋势(见图 1),其峰值温度为 19.4℃;二者之间的关系可以用二次曲线定量描述,以湿重(W.W.)和比能值(kJ/g)为单位表示的曲线方程为: $E_{gW.W.}=-0.085T^2+3.41T-21.00(R^2=0.9973)$ 和 $E_{gK.J.}=-0.11T^2+4.09T-25.88(R^2=0.9973)$ 。经统计学检验结果表明,黑鲷特定生长

率及生态转换效率与温度之间的定量关系均呈显著相关关系。

表 1 黑鲷鱼体及其粪便和饵料的生化组成*

Table 1 Chemical composition of *S. macrocephalus* and its feces and the food

生物种类	样品种类	水分	总氮	总碳	蛋白质	脂肪	灰分	比能值
Species	Sampling	(%)	(% D. W.)	(%D. W.)	(%D. W.)	(%D. W.)	(%D. W.)	XkJ/g D. W.)
黑鲷 <i>Sparus macrocephalus</i>	生物体	69.27	8.30	50.87	51.88	27.91	13.27	23.75
	粪便	—	3.18	30.89	19.88	—	—	17.17
玉筋鱼 <i>Anmodytes personatus</i>	生物体	69.79	9.17	47.73	57.31	16.80	12.48	22.17

* 生物取样部位：黑鲷为全鱼，玉筋鱼去头与内脏；D. W. 示干重

2.3 温度对黑鲷最大摄食率和吸收率的影响

黑鲷最大摄食率($C_{W,W}$ 或 K_L)和吸收率(A)也随温度上升呈减速增长趋势(见图 2),其与温度之间的关系也同样可用的对数曲线 $C_{W,W}=95.82\ln T-217.35(R^2=0.9961)$ 、 $C_{K,L}=641.76\ln T-1455.70(R^2=0.9961)$ 和 $A=8.21\ln T-72.80(R^2=0.9738)$ 加以定量描述。其中吸收率随温度变化幅度相对较小,仅在 92.86%~99.05%之间。

2.4 黑鲷的氮收支和排泄能及其随温度变化

通过对不同温度下黑鲷从食物中摄取氮、鱼体中积累氮和粪便中损失氮的定量检测,按 Cui 等^[10]的氮收支式估算了其排泄氮(U_N)和排泄能(见表 2)。从中可见,实验温度下黑鲷从食物中所摄取的氮仅有少量用于生长,约占总摄取氮的 8.30%~16.75%,多数氮均经排泄和排粪过程排出体外,其中排泄是氮支出的主要过程,约占氮总支出的 83.25%~91.70%。黑鲷排泄氮和排泄能随温度上升均呈减速增长趋势,其与温度之间的关系可分别用对数曲线 $U_N=2.37\ln T-5.39(R^2=0.9944)$ 和 $U=58.75\ln T-133.69(R^2=0.9943)$ 加以定量描述。

2.5 黑鲷的总代谢能及其随温度的变化

在摄食能、生长能、排粪能和排泄能已知前提下,总代谢能可按 Werren^[8]的鱼体内能量转换基本模型求得(见表 3)。黑鲷的总代谢能随温度的变化趋势与摄食能、生长能和排泄能相近,也随温度上升均呈减速增长趋势,其与温度之间的关系为 $R=493.73\ln T-1126.00(R^2=0.9911)$ 。

2.6 温度对黑鲷能量分配模式的影响

依据摄食能、生长能、排粪能、排泄能和总代谢能的定量测定或估算结果,可得到不同温度下黑鲷的能量收支式为:

$$11.2\pm1.98\text{ C}$$
$$14.7\pm0.45\text{ C}$$
$$19.8\pm0.45\text{ C}$$
$$25.0\pm0.50\text{ C}$$

$$100C=6.09F+9.38U+77.56R+7.02G$$
$$100C=6.76F+8.75U+72.77R+11.82G$$
$$100C=2.75F+8.94U+73.52R+14.79G$$
$$100C=1.16F+9.18U+77.30R+12.81G$$

从上式可以看出,黑鲷的能量分配模式随温度显著变化;代谢能分配率和排泄能分配率随温度升高呈“U”形变化趋势,其中排泄能分配率的变化幅度较小;而生长能分配率则恰恰相反,随温度升高呈“倒 U”形变化趋势。

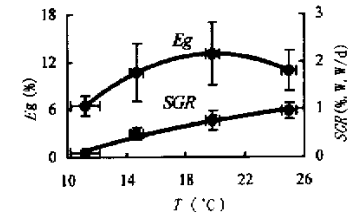


图 1 黑鲷的生态转换效率(E_g)及特定生长率(SGR)与温度的关系
Fig. 1 Relationship between ecological conversion efficiency(E_g), specific growth rate(SGR) of *S. macrocephalus* and temperature

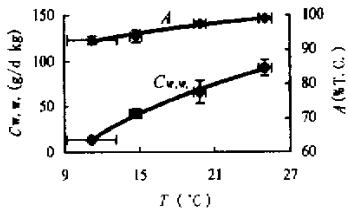


图 2 黑鲷的最大摄食率(C)及吸收率(A)与温度的关系
Fig. 2 Relationship between maximum food consumption(C), absorption efficiency(A) of *S. macrocephalus* and temperature

表 2 不同温度条件下黑鲷的氮收支量及排泄能(U)估算结果

温度(℃)	C_N	C_N	F_N	U_N	U
Temperature	g/Kg·d	(g/kg·d)	(g/kg·d)	(g/kg·d)	(kJ/kg·d)
11.2±1.98	0.378±0.020	0.022±0.011	0.010±0.004	0.346±0.028	8.57±0.71
14.7±0.45	1.168±0.142	0.137±0.015	0.035±0.12	0.995±0.115	24.68±2.86
19.8±0.47	1.828±0.135	0.214±0.032	0.021±0.005	1.593±0.146	39.503.62
25.0±0.50	2.559±0.245	0.255±0.085	0.013±0.002	2.291±0.296	56.82±7.34

表 3 不同温度条件下黑鲷的总代谢能(R)估算结果

温度(℃)	C_N	C_N	F_N	U_N	U
Temperature	(g/kg·d)	(g/kg·d)	(g/kg·d)	(g/kg·d)	(kJ/kg·d)
11.2±1.98	91.45±4.84	6.41±3.08	5.57±2.34	8.57±0.71	70.90±6.62
14.7±0.45	282.30±34.43	33.34±4.89	19.06±6.30	24.68±2.86	205.21±20.37
19.8±0.47	441.90±31.36	65.37±13.19	12.14±2.65	39.50±3.62	324.89±31.36
25.0±0.50	618.72±59.20	79.29±21.13	7.19±0.97	56.82±7.34	478.42±67.09

3 讨论与结语

黑鲷系典型的近岸性海洋鱼类,且具有越冬洄游的生态习性,故其适温能力一般较淡水鱼类相差许多,本实验温度基本概括了其在中国北部沿海生态环境中的适温范围^[10]。在本研究温度范围内,黑鲷特定生长率随温度升高呈减速增长趋势,但生态转换效率随温度升高却呈“倒 U”形变化趋势,求式 $E_{g_{w.w.}} = -0.085T^2 + 3.41T - 21.00$ 或 $E_{g_{k.j.}} = -0.11T^2 + 4.09T - 25.88$ 的最大值,可得到真鲷的最适生长温度为 19.4℃。

对淡水鱼种的一些研究结果表明,在适宜温度内及摄食不受限制时,鱼类的最大摄食能、生长能、总代谢能和排泄能一般都随温度上升呈增大趋势;但它们与温度之间关系的定量描述,却在不同研究中采用了不同的数学模型^[6,11~14]。本研究结果进一步证明,黑鲷作为一种有着较为广泛代表性的海洋鱼类,其最大摄食能、生长能、总代谢能和排泄能也随温度升高而增大,它们与温度之间的定量关系,均可用一减速增长曲线 $SGR = a \cdot \ln T - b$ 加以定量描述。从 2.6 节可见,当摄食能被设定为 100% 时,黑鲷能量收支式中生长能分配率、代谢能分配率和排泄能分配率随温度变化趋势与生长能、总代谢能和排泄能随温度变化趋势显著不同,代谢能分配率和排泄能分配率随温度升高呈 U 形变化趋势,而生长能分配率则恰恰相反,显然,高温或低温条件下代谢能分配率和排泄能分配率相对增高是导致生长能分配率减小的主要原因;而排泄能分配率和代谢能分配率随温度变化幅度相对总代谢能和排泄能较小,分别约占总支出能的 8.75%~9.38% 和 72.77%~77.56%,该结果表明代谢能和排泄能随温度改变主要决定于摄食能的改变。

Cui^[15]依据对不同温度下真 的能量分配模式研究结果,以及文献中的一些间接证据,提出了鱼类在最大摄食水平条件下能量恒定的假设,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不受温度影响;随后对南方鲷^[16]和草鱼^[6]能量收支的研究支持了这一假设。但上述假设却并不适于黑鲷。在黑鲷的能量分配模式中,其代谢能分配率($R_{D.L.}$)、排泄能分配率($U_{D.L.}$)及生长能分配率($G_{D.L.}$)与温度之间的关系可分别用二次曲线 $R_{D.L.} = 0.102T^2 - 3.66T + 105.40$ 、 $U_{D.L.} = 0.010T^2 - 0.37T + 12.20$ 和 $G_{D.L.} = -0.093T^2 + 3.79T - 23.72$ 加以定量描述。这一结果在其它海洋鱼类中是否具有普遍性,尚有待于今后研究证实。

若以同化能($A' = C - F - U$)表示,则不同温度下黑鲷的能量收支配模式为:

$$\begin{aligned} 11.2 \pm 1.98 C & \quad 100A' = 91.70R + 8.30G \\ 14.7 \pm 0.45 C & \quad 100A' = 86.03R + 13.97G \\ 19.8 \pm 0.45 C & \quad 100A' = 83.25R + 16.75G \\ 25.0 \pm 0.50 C & \quad 100A' = 85.78R + 14.22G \end{aligned}$$

Cui 等^[17]根据已发表的 14 种鱼在最大摄食水平的能量收支计算出一平均能量收支式: $100A = 60R + 40G$ 。本研究温度下,黑鲟的代谢能分别占了同化能的 83.25%~91.70%,生长能则占 8.30%~16.75%。显然,黑鲟的生长能所占同化能比例远低于其它鱼类,故黑鲟属于低生长效率、高代谢消耗型鱼类。

真骨鱼体内蛋白质代谢的最终产物以氮排泄物形式通过鳃排出体外,少量随尿排出;氮排泄物的主要成分为氨和尿素,多数情况下氨是主要排泄物,约占总氮的 80%~98%^[18,19]。显然,鱼体内蛋白质代谢加速了饵料生物中有机氮的矿化过程。本研究结果表明,不同温度下黑鲟从食物中所摄取的氮仅有少量用于生长,约占总摄取氮的 5.28%~11.72%,多数氮均经排泄和排粪过程排出体外,其中排泄是氮支出的主要过程,约占总氮总支出的 85.19%~91.53%。由于黑鲟是我国主要海水养殖鱼种,其集约化养殖时应注意防止氮排泄物所造成的氮营养盐污染。

参考文献

- [1] Hansen M J. Application of bioenergetics models to fish ecology and management; where do we go from here. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 1993, **122**(5): 1019~1031.
- [2] LaBar G W. Use of bioenergetics models to predict the effect of increased lake trout predation on Rainbow Smelt following sea lamprey control. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 1993, **122**(5): 942~950.
- [3] Tytler P and Calow Editor. *Fish energetics; new perspectives*. John Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. 1985.
- [4] 崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法. 水生生物学报, 1989, **13**(4): 369~383.
- [5] Brandt S B and Hartam K J. Innovative approaches with bioenergetics methods; future application to fish ecology and management. *J. Fish. Biol.*, 1993, **34**: 47~64.
- [6] 崔奕波, 陈少莲, 王少梅. 温度对草鱼能量收支的影响. 海洋与湖沼, 1995, **26**(2): 169~174.
- [7] 谢小军, 孙儒泳. 南方鲇的排粪量及消化率同日粮水平、体重和温度的关系. 海洋与湖沼, 1993, **24**(6): 627~631.
- [8] Warren C E and Davis G E. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics and growth of fish. In *The Biological Basis of Freshwater Fish Production*. S. D. Gerking, ed. Blackwell Scientific Publication; Oxford 1967. 175~214.
- [9] Cui Y, Liu S, Wang S *et al.* Growth and energy budget of young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val., fed plant and animal diets. *J. Fish. Biol.*, 1992, **41**: 231~238.
- [10] 邓景耀, 孟田湘, 任胜民, 等. 渤海鱼类种类组成及数量分布. 海洋水产研究, 1988, **9**: 11~ 89.
- [11] 崔奕波, 吴 登. R J. 真 *Phoxinus phoxinus*(L.) 的能量收支各组分与摄食量、体重及温度的关系. 水生生物学报, 1990, **14**(3): 193~204.
- [12] Brett J R. Environmental factors and growth. In; W. S. Hoar ed. *Fish Physiology*. Vol. VIII. Academic Press, London, 1979. 599~675.
- [13] Fonds M and Saksena V P. The daily food intake of young soles (*Salea solea* L.) in relation to their size and water temperature. *Actes de Colloques du C. N. E. X. O.*, 1977, **4**: 51~58.
- [14] Wootton R J, J Allen R. and Cole S J. Effect of body weight and temperature on the maximum daily food consumption of *Gasterosteus* L. and *Phoxinus phoxinus* L. *J. Fish. Biol.*, 1980, **17**(6): 695~705.
- [15] Cui Y and Wootton R J. Parrern of energy allocation in the minnow *Phoxinus phoxinus*(L.) (Pisces: Cyprinidae), *Funct. Ecol.*, 1988, **2**: 57~62.
- [16] Xie X. Pattern of energy allocation in the southern catfish, *Silurus meridionalis*. *J. Fish. Biol.*, 1993, **42**(2): 197~207.
- [17] Cui Y and Liu J. Comparison of energy budget among six teleosts, III. growth rate and energy budget. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1990, **97A**: 381~384.
- [18] Beamish F W H and Thomas E. Effect of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 1984, **41**: 359~371.
- [19] Sayer M D J and Davenport J. The relative importance of the gills to the ammonia and urea excretion in five seawater and one freshwater teleosts. *J. Fish. Biol.*, 1987, **31**: 561~570.