

两种饵料条件下鲮的碳收支研究

康 斌^{1,2}, 线薇薇¹, 武云飞³

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 云南大学 自然科学研究院, 云南 昆明 650091; 3. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 根据对鲮(*Liza haematocheila*)进行 21 d 的室内模拟实验所得数据, 分析了两种饵料条件(饵料 1: 高营养价饵料; 饵料 2: 低营养价饵料)饲育下鲮的碳循环过程。结果表明: 鲮摄食高营养价饵料后的碳消化率显著低于摄食低营养价饵料。摄入碳量受饵料种类影响, 与饵料营养价值成反比。碳摄入量中用于生长的部分(以比例衡量)不受饵料种类影响, 通过非粪便途径流失量远远高于粪便途径, 约为后者的 8~10 倍。转运碳(y)与体质量(x)之间成线性关系为: $y=723.13x-62.124$ (饵料 1)与 $y=718.99x+832.32$ (饵料 2)。鲮的碳收支方程式为 $100 \text{ 摄入碳}=13.03 \text{ 生长碳}+13.08 \text{ 粪便碳}+73.89 \text{ 非粪便流失碳}$ (饵料 1)和 $100 \text{ 摄入碳}=12.70 \text{ 生长碳}+8.18 \text{ 粪便碳}+79.12 \text{ 非粪便流失碳}$ (饵料 2)。

关键词: 鲮(*Liza haematocheila*); 碳收支; 饵料

中图分类号: S917.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)03-0011-04

碳对一切生命而言是一种非常重要的基本构成元素, 是一切有机物的基本成分。海洋是碳的一个重要贮存库, 海洋含碳量远远大于大气中的碳含量, 它们很小的变化就会对大气中二氧化碳浓度产生很大的影响^[1,2]。海洋中的碳循环主要在真光层内完成, 其中光合作用固碳量的 1% 到达沉积物进入长期循环^[3]。腐屑食性鱼类通过摄食沉积物中的有机颗粒, 将沉积物中的营养有机质转运到水体中, 其对生源要素的利用和生产直接影响生态系统的物质循环。

鲮(*Liza haematocheila*)是中国河口内湾的重要腐屑食性鱼种, 以低营养价的腐屑为食, 同时作为养殖业主养或混养对象, 又摄食高营养价商用饵料。由于饵料中的营养成分多样, 各种营养素不仅具有各自的营养作用, 而且相互之间有着极为错综复杂的关系。任何一种营养素在机体内从消化吸收开始到代谢结束都与其他营养素密切相关, 它们或相互协同, 或相互制约, 或相互拮抗^[4]。任何一种饵料的营养成分组成都不会与摄入者的营养需要完全相符, 因此, 深入研究不同种食物在生命有机体的吸收利用率以及流通途径具有重要的现实意义。本实验对鲮投喂以两种不同营养价饵料, 研究其对生源要素碳循环的作用, 量化其对环境中碳的转运能力, 并构建碳收支模式。

1 材料与方法

1.1 样品收集

鲮捕自青岛第一海水浴场及沙子口沿岸, 暂养驯化。实验前 10 d 将每尾鱼单独转移至底部半径 25 cm、顶部半径 35 cm、高 80 cm 的白色圆柱形塑料桶中, 水量保持在距桶底 60 cm 处。实验用水为沿岸天然海水, 经沙滤后于养殖池存放 1 d 后(盐度 30, 水温 25 ℃)使用。实验前鱼体饥饿 48 h, 以排空体内粪便。称质量, 精确至 0.01 g。留取 7 尾鱼作为对照样品。采用 2 种不同化学组成饵料以自由摄食方式每天于 9: 00 和 15: 00 投喂, 分别在投喂 1 h 后收集粪便, 次日 7: 30 再次收集粪便。自由摄食指鱼体摄食可达饱食状态, 根据以下两方面判断: (1) 摄食强度和摄食频率逐渐降低, (2) 投喂后 30 min 还存留残饵。虹吸法收集粪便, 烘箱内 70 ℃ 干燥, 称质量。每日 8: 00 换水, 换水量为总体积的 1/3。光照周期为 12 L(7: 00~19: 00)/12 D(19: 00~次日 7: 00)。实验持续 21 d。实验结束后, 鱼体再次饥饿 2 d, 排空, 称质量

收稿日期: 2007-06-27; 修回日期: 2009-11-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 40206001)

作者简介: 康斌(1975-), 男, 江西人, 博士, 主要从事鱼类生态生理学研究, 电话: 0871-5033118, E-mail: binkang@ynu.edu.cn; 线薇薇, 通信作者, 电话: 0532-82898594, E-mail: wxian@ms.qdio.ac.cn

表 1 实验对象鲮的初始状态

Tab. 1 The initial status of experimental redlip mullet

| 组别 | 组数(个) | 每组鱼数(条) | 体质量 (g) | 平均值 (g) | 标准误 |
|------|-------|---------|-----------|--------------------|--------|
| 对照组 | 3 | 7 | 2.54~4.23 | 3.213 ^a | 0.1996 |
| 饵料 1 | 3 | 11 | 2.17~4.60 | 3.040 ^a | 0.2353 |
| 饵料 2 | 3 | 11 | 2.38~4.55 | 3.516 ^a | 0.2079 |

注: a 表示无显著差异

表 2 实验用两种饵料营养成分组成

Tab. 2 The compositions of two experimental diets

| 饵料 | 水分(%) | 蛋白质(%) | 脂肪(%) | 灰分(%) | 碳(%) | 氮(%) | 磷(%) | 能量(kJ/g) |
|----|-------|--------|-------|-------|-------|------|------|----------|
| 1 | 7.51 | 53.19 | 12.58 | 12.34 | 42.99 | 8.51 | 0.75 | 19.752 |
| 2 | 8.00 | 44.19 | 11.73 | 9.30 | 40.84 | 7.07 | 0.38 | 18.282 |

后,留作样品,烘箱内 70 干燥,再次称质量。实验鱼初始状态见表 1。

1.2 饵料组成

表 2 列出了两种饵料的组成成分。饵料 1 在蛋白质、脂肪、能量和营养元素含量方面都高于饵料 2,是相对高营养价饵料。

1.3 样品测量与指标分析

1.3.1 样品测量^[5]

测定指标包括水分、蛋白质、脂肪、灰分、碳、氮、磷含量和能值。水分采用烘干法测定。除饵料直接研成粉末,其他样品均经 70 干燥后研成粉末以备测定。碳、氮样品交由中国地质科学院测试中心测定(检测方法依据:碳——GB 7730.5-1987;氮——LY/T 1228-1999)。磷采用铝黄分光光度法(中华人民共和国国家标准 GB/T 6437-2002)测定。蛋白质采用换算法,为氮量与系数 6.25 的乘积。脂肪采用索氏抽提法测定。灰分采用盐酸不溶性灰化法(GB/T9825-1988)测定。能量采用美国 Parr 1281 热量计直接测定。

1.3.2 指标计算^[6,7]

碳表观消化率(ADC-C, %)= $[1-(\text{粪便中灰分含量}/\text{饵料中碳含量}) \times (\text{饵料中灰分含量}/\text{粪便中灰分含量})] \times 100$

摄入碳(mg)= $\text{摄食量(g)} \times \text{饵料中碳含量}(\%) \times 1000$

生长碳(mg)= $[\text{结束鱼体质量(g)} \times \text{结束鱼碳含量}(\%) - \text{初始鱼体质量(g)} \times \text{初始鱼碳含量}(\%)] \times 1000$

粪便碳(mg)= $\text{粪便量(g)} \times \text{粪便中碳含量}(\%) \times 1000$

非粪便流失碳(mg)= $\text{摄入碳} - \text{生长碳} - \text{粪便碳}$

运碳(mg)= $\text{摄入碳} - \text{粪便碳}$

1.4 数据处理与统计分析

数据处理采用协方差分析、独立样本 *T*-test 检验分析,方差显著性检验取阈值为 $P < 0.05$ 。分析与作图采用 Microsoft Excel 和统计软件 Spss 11.5。

2 结果与讨论

2.1 碳表观消化率

鲮对饵料 1(高营养价饵料)的碳表观消化率为 84.60%,显著低于饵料 2(低营养价饵料)的值 90.40%,同时协方差显示体质量对表观消化率没有显著性作用(图 1)。表观消化率体现了种类的消化能力,受到许多生物及非生物因素的影响,如鱼体质量、生理状态、摄食水平和水温等^[8]。此外,粪便的收集完全与

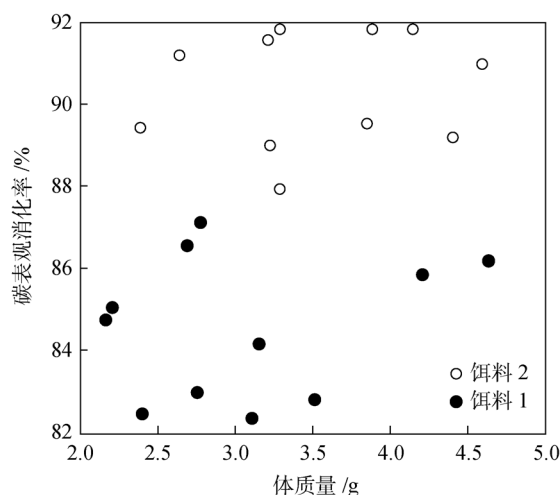


图 1 饵料种类、体质量与鲮碳表观消化率的关系

Fig. 1 The relationship between body weight and apparent coefficient of carbon digestibility in two diets

否(受制于饵料收集方法)也在很大程度上造成碳消
化率值的偏高或偏低。Hajen 等^[9] 认为在盐水中收集
粪便时, 粪便中一定数量的盐分会稀释粪便组分,
造成过低地估计干物质消化率。

2.2 碳收支式组成

表 3 列出了两种饵料条件下碳收支模式各组成
部分及相关指标的均值以及方差分析显著性检验
结果。

表 3 两种饵料饲育条件下鲮收支式各组成部分值及统计分析结果

Tab. 3 Partitions of carbon budget of redlip mullet fed on two different diets

| 饵料 | | 摄入碳(mg) | 生长碳(%) | 粪便碳(%) | 非粪便流失碳(%) |
|--------------------------|---|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | | 2 521.911±662.003 | 13.034±2.264 | 13.080±2.247 | 73.886±3.175 |
| 2 | | 3 713.730±587.968 | 12.700±1.025 | 8.179±1.060 | 79.121±1.240 |
| 协方差分析: 主变量——饵料, 协变量——体质量 | | | | | |
| 饵料 | F | 84.958 | 0.389 | 34.918 | 33.386 |
| | p | 0.000 | 0.540 | 0.000 | 0.000 |
| 体质量 | F | 188.517 | 13.049 | 0.323 | 9.818 |
| | p | 0.000 | 0.002 | 0.577 | 0.005 |
| T 检验 | | 0.000 | 0.663 | 0.000 | 0.000 |

鲮对饵料 2 碳的摄入量为 1 806.01~3 728.95 mg,
明显高于饵料 1 的摄入碳量。摄入量(y)随体质量(x)
增加而线性增长, 分别为饵料 1: $y = 782.16x + 964.07$ ($R^2=0.841 0$)和饵料 2: $y = 832.43x - 8.689 5$ ($R^2=0.963 2$)。

饵料 2 组的生长碳量随体质量增加而显著增加,
饵料 1 组的生长碳也与体质量成正性关系, 但没有
统计学意义。T-test 检验分析表明摄入饵料 2 后的鲮
生长碳量为 471.64 mg, 显著高于摄入饵料 1 后的生
长碳量 328.71 mg, 但在比例上两者间没有显著性
差异。

摄食两种饵料后通过非粪便途径流失的碳量存在
差异, 饵料 1 组明显低于饵料 2 组。任一种饵料条
件下, 流失碳量(y)与体质量(x)成线性正关系。关系
式为饵料 1: $y = 690.08x - 278.59$ ($R^2 = 0.936 6$)和饵料
2: $y = 637.73x + 647.41$ ($R^2 = 0.812 8$)。从比例上看,
饵料 1 组非粪便流失碳占摄入量的 66.44%~77.16%,
饵料 2 组为 75.86%~80.27%, 高于饵料 1。经 T-test
检验分析, 两者间具有显著性差异。

饵料 2 条件下的粪便碳量变化范围为 214.965~
368.676 mg, 均值为 301.992 mg, 显著低于饵料 1 条
件下的 326.856 mg。粪便碳量随体质量增加呈增加
趋势, 但不见规律性关系。从比例上看, 粪便碳占摄
入碳比例在饵料 1 组为 9.68%~16.38%, 在饵料 2 组
为 7.08%~9.90%, 前者显著高于后者。

2.3 转运碳

图 2 显示了两种饵料条件下鲮对碳的转运能力。

可以看出, 摄食饵料 2 组的鱼体转运碳的能力要高
于饵料 1 组, 两组间具有显著差异。此外, 转运碳(y)
与体质量(x)之间成线性关系: $y = 723.13x - 62.124$ ($R^2=0.952 9$)(饵料 1); $y = 718.99x + 832.32$ ($R^2=0.798 6$)
(饵料 2)。

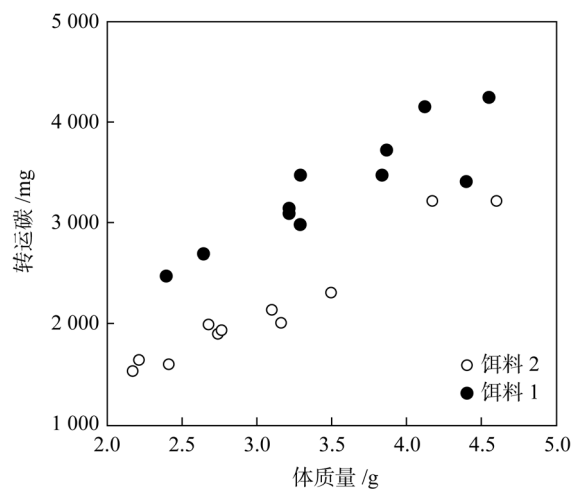


图 2 饵料种类、体质量与鲮转运碳的关系

Fig. 2 The relationship between body weight and scavenging carbon in two diets

3 结语

目前关于碳元素在体内流通和分布途径见温
度、摄食水平等影响的研究^[10, 11], 但对于饵料种类
的影响鲜有报道。从本实验可以看出, 饵料种类对鲮碳
消化率影响不同, 鲮摄食碳含量高的饵料时的碳消

化率较低,这可能是由于鱼体对碳需求量在摄食低碳含量饵料时已满足。碳收支模式中,摄入碳量受饵料种类影响,与饵料营养价值成反比,这主要是由于饵料 2 营养价值低,鱼体为满足需求摄入较多饵料,相应地摄入饵料中碳总量也增高。摄入量中用于生长的部分(以比例衡量)不受饵料影响,归因于两种饵料的碳含量已达到腐屑食性鱼类需求量,甚至更高。摄入碳量中通过非粪便途径流失量远远高于粪便途径,约为后者的 8~10 倍。此外,饵料 1 中碳通过非粪便流失的比例显著低于饵料 2,相应地通过粪便途径流失量则显著高于饵料 2。鲮的碳收支方程式为:

100 摄入碳=13.03 生长碳+13.08 粪便碳+73.89 非粪便流失碳(饵料 1);

100 摄入碳=12.70 生长碳+8.18 粪便碳+79.12 非粪便流失碳(饵料 2)。

参考文献:

- [1] Post W M, Peng T-H, Emanuel W R. The global carbon cycle [J]. *American Scientists*, 1990, 78: 310-326.
- [2] Bacastow R, Maier-Reimer E. Ocean-circulation model of the carbon cycle1 [J]. *Climate Dynamics*, 1990, 4: 95-125.
- [3] 杨永亮,李悦,潘静. 海洋碳循环系统——开放的复杂巨系统的特点[J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2004, 1: 68-77.
- [4] Cho C Y, Kaushik S J. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout[J]. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 1990, 61: 132-172.
- [5] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.8-122.
- [6] Kang B, Xian W W. Feeding level-scaled retention efficiency, growth and energy partitioning of a marine detritivorous fish, redlip mullet (*Liza haematocheila* T. & S.) [J]. *Aquaculture Research*, 2005, 36: 906-911.
- [7] Kang B, Xian W W, Liu R Y. Transporting nutrients from sediments: nitrogen and carbon as indicators to measure scavenging ability of a detritivorous fish, *Liza haematocheila*[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2005, 74: 283-290.
- [8] Nengas I, Alexis M N, Davies S J, et al. Investigation to determine digestibility coefficients of various raw materials in diets for Gilthead sea bream, *Sparus aurata* L. [J]. *Aquaculture Research*, 1995, 26: 185-194.
- [9] Hajen W E, Higgs D A, Beames R M, et al. Digestibility of various foodstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 2. Measurement of digestibility [J]. *Aquaculture*, 1993, 112: 333-348.
- [10] Xian W, Liu R, Zhu X. Carbon budget of bastard halibut *Paralichthys Olivaceus* in relation to body weight and temperature [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2003, 21: 134-140.
- [11] 李军,徐长安,徐世宏,等.真鲷能量收支和氮与碳收支的初步研究[J].*海洋科学*, 1998, 2: 46-48.

Carbon budgets of redlip mullet (*Liza haematocheila*) fed on two diets

KANG Bin^{1,2}, XIAN Wei-wei¹, WU Yun-fei³

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071, China; 2. Academy of Natural Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China; 3. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: Jun., 27, 2007

Key words: *Liza haematocheila*; carbon budget; diet

Abstract: The carbon budget of redlip mullet (*Liza haematocheila*) was studied based on the data from a 21 d laboratory experiment. The apparent carbon digestibility coefficient of redlip mullet fed on high nutrition diet was lower than that of fish fed on low nutrition diet. The amount of carbon allocated into growth was not influenced by diet type, and the carbon loss in non-faecal pathway was 8~10 times higher than the loss in faecal pathway. The relationship between scavenging carbon (y) and fish body weight (x) was $y = 723.13x - 62.124$ (fed on high nutrition diet) or $y = 718.99x + 832.326$ (fed on low nutrition diet). The carbon budget of redlip mullet was 100 intaken = 13.03 retention + 13.08 faeces + 73.89 excretion (fed on high nutrition diet) or 100 intaken = 12.70 retention + 8.18 faeces + 79.12 excretion (fed on low nutrition diet).

(本文编辑: 谭雪静)