

# 鲢和鳙的氮平衡研究\*

## I. 在高温季节(夏季)氮平衡 几个参数的测定

岩田勝哉

(日本和歌山大学教育学部)

陈少莲 刘肖芳

(中国科学院水生生物研究所,武汉)

### 提 要

高温季节,在静止时(摄食状态)的氮代谢方程式鲢为  $M_R = 0.054W^{0.884}$  (毫克-氮/小时); 鳙为  $M_R = 0.073 W^{0.782}$  (毫克-氮/小时);氮的运动代谢量随游泳速度(s)的增大呈指数增长。氮的收支公式鲢为  $0.44 C_N = 0.181 W^{0.61} + \frac{24}{0.75} \{0.054 - 0.021(1 - e^{0.216s})\}W^{0.884}$ ; 鳙为  $0.57 C_N = 1.98 W^{0.61} + \frac{24}{0.75} \{0.075 - 0.033(1 - e^{0.179s})\}W^{0.782}$ 。以鲢和鳙对微囊藻和溞的氮的消化吸收率为基础,推算出在湖中的鲢、鳙对食物的消化率(按氮计算)分别为44%和57%。上述摄食量与使用森下(1968)公式所求得的结果极为一致。按湿重计算,20克的鲢每天的摄食量为体重的65—80%,鳙则为47—55%。

以整个东湖作为一个系统,在弄清其磷、氮等营养盐类的时间、空间动态的同时,评价与这些营养盐类有关的各类生物的作用、是这次日中共同研究的主要目的。作者在此项研究中主要测定鱼类在东湖物质循环中,特别是氮循环中的作用。

由于测定以浮游植物为食的鱼的摄食量较困难,至今提出的推算摄食量的方法还存在很多问题。因此,本研究用氮平衡法和森下(1968)<sup>[6]</sup>提出的方法求出高温季节鲢、鳙对藻类的摄食量和氮代谢量,以此作为评价这两种鱼在东湖氮循环中所起作用的基础,并相互核对两者的测定值。

### 材 料 和 方 法

用中国科学院水生生物研究所鱼类养殖试验场饲养的体长5.5—29.2厘米的鲢和鳙

\* 本文由中国科学院水生生物研究所张春梅女士译成中文谨此致谢。  
1986年3月15日收到。

作实验材料。

### (一) 氮平衡

用下式可表示鱼的氮平衡

$$C_N = \Delta G_N + M_R + \Delta M_A + F_N \cdots \cdots (1)$$

$$\beta C_N = \Delta G_N + M_R + \Delta M_A \cdots \cdots (2)$$

式中  $C_N$  为一定时间内摄取的食物中的氮;  $\Delta G_N$  为鱼体内氮的增量(生长量);  $M_R$  为静止时氮代谢量;  $M_A$  为运动时氮代谢增量;  $F_N$  为粪中的氮;  $\beta$  为氮的消化吸收率。

式(2)各项中,东湖鲢、鳙的生长量已由水生生物研究所测定<sup>[1]</sup>并求出了本研究期间的年生长率和消化吸收率<sup>[3]</sup>。因此,本研究主要测定氮代谢量。

#### 1. 静止时的氮代谢量

按个体大小,分别将鲢、鳙装入玻璃容器内,每隔 15—24 小时用靛酚法 (Solorzano, 1969)<sup>[10]</sup> 测定容器中的氨氮量。容器中的水是通过活性炭柱除去了氯的水。每次取出测定氨氮的水样后,容器内的水就全部更换。氮代谢量的测定都是在东湖水温 30℃ 的条件下进行的。

氨氮排出量换算成总氮排出量是采用在白鲫 (*Carassius auratus cuvieri*) 试验中测得的值(氨氮排出量/总氮量=0.752) (Iwata, 1970)<sup>[13]</sup>。

#### 2. 运动时的氮代谢量

将鱼放入图 1 所示的装置内,用电动机驱动螺旋桨产生水流,促使鱼顶流游动。流速可从 0 连续调节到 42 厘米/秒,根据  $KMnO_4$  显色所通过的流程测定流速。

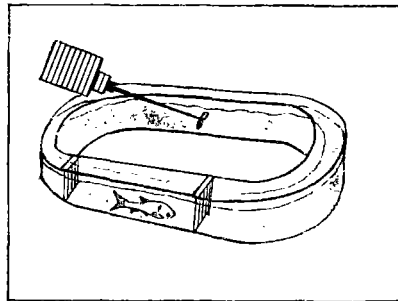


图 1 运动代谢(以氮为依据)的测定装置

Fig. 1 Apparatus for the measurement of active metabolism in terms of nitrogen

鱼在流水中游动时最初位置不定,经常碰撞到装在测定室前、后的网栅上。但稍过一段时间,便能固定在一定位置,进行正常的游泳。当鱼适应流速后,取试验水作为对照水样,在其游泳 3—4 小时后再次取水样,从两者的氨氮浓度之差,求出运动状态下的氮代谢

[1] 胡传林,黄祥飞。1976 大水面培养鱼种的实践和效果。湖泊水库渔业增产科技资料汇编, 94—102。

量。改变流速时,要更换装置内的水,再用上法测定。

**(二) 用森下公式推算摄食量**

森下 (1968)<sup>[6]</sup> 假设消化道内含物的瞬时减少率和一定时间内的瞬时摄食率是恒定的,其摄食量的计算公式如下:

$$\text{总摄食量} = d\tau \left\{ \sum_{i=1}^n V_{\tau i} - (V_0 - V_n) \frac{e^{-\alpha\tau}}{1 - e^{-\alpha\tau}} \right\}$$

$\alpha$ : 消化道内含物的瞬时减少率

$V$ : 消化道内含物的量

$\tau$ : 每  $\tau$  时间的测定

上式中当  $V_0 = V_n$  时,则可写成下述简化公式:

$$\text{总摄食量} \sum_{i=1}^n C_{\tau i} = \alpha\tau \sum_{i=1}^n V_{\tau i}$$

**1. 消化道内含物的昼夜变化**

湖中安装了 17 个网箱(容积 1 立方米),每个网箱分别放入体长 10—12 厘米的鲢、鳙各 30 尾。为尽量减少操作的影响,每隔 3 小时取 1 个网箱,连续 24 小时检查鱼的消化道内含物的量的变化。测出整条肠管及内含物的总重量,然后减去空肠的重量,求出消化道内含物量。其余网箱则主要用于测定湖中鲢、鳙的生长量。

**2. 消化道内含物的减少速度**

通过测定排粪速度,求出消化道内含物的减少速度。

让鲢、鳙(体长 10—12 厘米)充分摄食从湖中采集的微囊藻,然后将鱼分别移入收集鱼粪的容器内并停止喂食。鱼移入容器后,每 30 分钟收集容器内的粪一次。用已知重量的玻璃纤维滤膜(Whatman, GF/C)过滤鱼粪,干燥至恒重。由于投喂微囊藻时鲢、鳙的摄食量很低,因此,在微囊藻中还混入少量的蚤。

用森下公式求摄食量时,需求出消化道内含物的瞬时减少率( $\alpha$ ),将粪的排出量( $V_t$ )和时间( $t$ )代入下式可求出  $\alpha$ 。

$$V_t = V_0(1 - e^{-\alpha t})$$

**表 1 鲢鳙鱼体及其食料生物的水分(%)及氮含量(毫克-氮/克干重)**

Tab. 1 Water and nitrogen content in the fish body of the silver carp and bighead and in their foods

	水分含量(%)		氮含量(毫克-氮/克干重)
鲢	81.09±0.74	鲢 鳙	100.50±9.19
鳙	83.36±0.76		115.71±4.45
微囊藻	92.17±1.18(陈,手稿)	微囊藻 透明蚤	89.60(陈,手稿)
透明蚤	89.90±0.16(陈,1985)		95.70(陈,1985)

$V_t$  为  $t$  时间后的排粪量

$V_0$  为测定开始前消化道内含物的量

### (三) 几个数据的换算

用森下公式计算的摄食量(湿重)和用氮平衡法求得的摄食量(氮量), 其含氮率都是用凯氏定氮法(Kjeldahl method)测定的(表1)。按王骥和梁彦龄(1981)<sup>[1]</sup>提出的标准, 将含氮率换成卡值(鱼体 1.2 千卡/克, 湿重; 藻类 0.575 千卡/克, 湿重)。

## 结果和讨论

### (一) 用氮平衡法推算摄食量

#### 1. 静止代谢

将鲢(体重 10—390 克)和鳙(体重 20—500 克)停食 3—6 天, 求出饥饿期间的氨氮排出量(图 2)。下列回归公式示停食期间鲢、鳙的氨氮排出量( $M$ )与体重( $W$ )的关系。

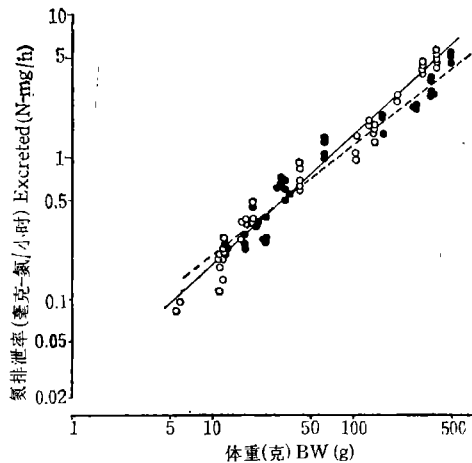


图 2 饥饿状态下氨氮排泄量(毫克-氮/小时)与体重(克)的关系(30°C)

(○——鲢; ●——鳙; 以后各图, 符号均同本图)

Fig. 2 Relationship between the rate of ammonia excretion (mg-N/hr) at 30°C and body weight (g) of the starved fishes. Open and solid circles indicate silver carp and bighead respectively. Symbols in the following figures are the same as Fig. 2

$$\text{鲢} \quad M_s = 0.021W^{0.884} \text{ (毫克-氮/小时)}$$

$$\text{鳙} \quad M_s = 0.033W^{0.782}$$

对鲢、鳙的两条回归直线进行协方差分析, 发现 Y 截距无显著差异, 而斜率则有非常显著的差异 ( $F = 11.67$ ,  $n = 97$ ,  $p < 0.01$ )。

用氮平衡法推算摄食量, 需事先求出摄食状态下的氮代谢量。因此, 在鱼的摄食活动强度最大的时间(16 点钟), 从网箱取出鱼(体重约 20 克), 立即装入测定氮排出量的容器

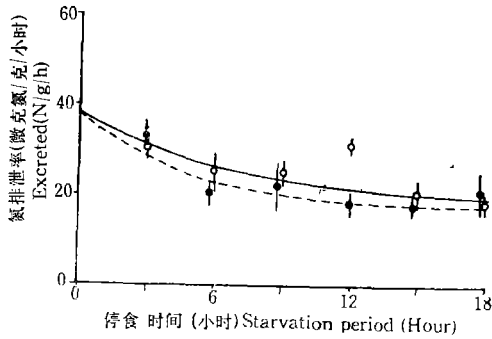


图3 饥饿时间和氨氮排泄率(微克-氮/克/小时)的关系(30℃)

Fig. 3 Relationship between the rate of ammonia excretion ( $\mu\text{g N/g/hr}$ ) and the period of starvation

中,马上停食,每隔3小时测定氨氮排出量(图3)。氨氮排出率随时间的延长而下降。

$$\begin{aligned} \text{鲢} \quad Y &= 21.1e^{-0.113t} + 16.78 \\ \text{鳙} \quad Y &= 20.4e^{-0.217t} + 17.70 \end{aligned} \quad (\text{微克-氮/克/小时})$$

Y为氨氮排出率; t为停食时间

由此求出  $t = 0$  时的排出率,推算摄食状态下静止时的代谢量。

如上所述,若停食时的氨氮排出量和体重之间的关系适用于摄食状态下的排出量,那么摄食状态下静止时的氨氮排出量可用下式表示。

$$\begin{aligned} \text{鲢} \quad M_R &= 0.054W^{0.881} \\ \text{鳙} \quad M_R &= 0.073W^{0.782} \end{aligned} \quad (\text{毫克-氮/小时})$$

## 2. 运动代谢

鲢、鳙的氨氮排出率(微克-氮/克/小时)和游泳速度之间的关系如图4所示。考虑到流速对鱼的大小的影响,用水流速度与鱼体长度的比值作为流速的单位(体长/秒)。已知鱼的能量代谢量随游泳速度的增大而呈指数增长。鲢、鳙的氮代谢量和游泳速度之间也发现存在同样关系。

$$\begin{aligned} \text{鲢} \quad Y &= 16.7e^{0.216s} \\ \text{鳙} \quad Y &= 17.1e^{0.179s} \end{aligned} \quad (\text{微克-氮/克/小时})$$

s为流速(体长/秒)

鲢的各测定值与上述回归方程配合得较好。当流速约为鳙体长的1.4倍时,其氨氮排出率出现急剧增大。因此,上述鳙的方程式是不包括低流速的测定值而求得的。

鲢、鳙很快就能适应较高的流速,并停留在一定的位置。但实验表明在相当于体长约1倍的流速中,维持一定的游泳速度较为困难,表现为鱼体忽进忽退,难于固定在一定位置。特别是鳙对低流速的适应能力比鲢差。

已知红大麻哈鱼(Brett, 1964)<sup>[9]</sup>和驼背鳞鳃太阳鱼 *Lepomis gibbosus* (Brett 和 Sutherland, 1965)<sup>[10]</sup> 在与其体长相同的每秒速度中游泳时代谢量比在高流速下游泳时的代谢量大。Brett指出,这是因为鱼在低流速中主动付出的运动量相对增加。大概鳙的氮代

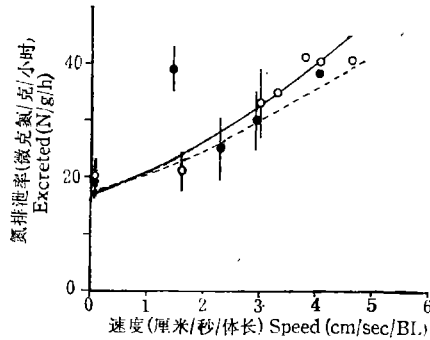


图4 氨氮排泄率(微克-氮/克/小时)和游泳速度(体长/秒)的关系(30°C)(图中游泳速度为0时的各点表示两种鱼饥饿状态下氨氮排泄率的平均值)

Fig. 4 Relationship between the rate of ammonia excretion ( $\mu\text{g N/g/hr}$ ) and the swimming speed (lengths/sec.) at 30°C. Each point on the swimming speed at 0 represents the mean rate of excretion at rest of the starved fishes

谢量在低速游泳时增大也出于上述原因。

图4已给出流速为0时两种鱼在饥饿状态下氮排出率的实测值均数。以此值与用公式算得的 $s=0$ 时的估算值相比,鲢的值比鳙的稍高。鲢和鳙的氨氮排出量是将鱼放入小容器中而求得的,但不可能完全限制鱼的运动。因此求得的值还包括鱼主动的运动所增加的部分。不过如图4所示,静止时氨氮排出率的实测值和估算值相差甚小,因此可以忽略小容器内因鱼的运动导致氮代谢量增大的问题。

为了求出运动效率,本文将鱼在单位时间内游动一定距离所需的氮量称之为氮的相对运动排泄率(在特定的游泳速度条件下氮的排泄量除以当时的游泳速度)。以上述的鲢、鳙氮排泄量和游泳速度的关系式为基础,求出最低运动排泄率,在鳙为5.6(体长/秒);在鲢为4.6(体长/秒)。不过当鲢的游速为4—5(体长/秒),鳙为4—6(体长/秒)时,运动排泄率的变化不大。因此,可将鲢、鳙的游泳速度4—5作为运动排泄率的最小值。

迄今所报道的依据鱼的运动代谢量(呼吸量)和游泳速度的关系式求出运动排泄率的最小值:红大麻哈鱼<sup>[9]</sup>是2.0(20°C),2.6(24°C);驼背鳞鳃太阳鱼<sup>[10]</sup>是1.4(20°C);鲫鱼<sup>[7]</sup>是2.5(25°C),1.8(30°C)(速度单位与本研究中使用的相同)。以上述3种鱼的呼吸量作为指标的运动排泄率的最小值(任何游泳速度)约为2,为本研究中以氮作为指标求得的鲢、鳙游泳速度的1/2。虽然不能简单地地下结论说上述差异是源于鱼的种类不同,但鱼的游泳速度越增大,总消耗能量中蛋白消耗的比例则减少,而碳水化合物及脂肪消耗的比例却增大,可以说明上述的差异。

### 3. 消化吸收率

已求出鲢、鳙摄取从东湖采集到的微囊藻和溞时氮的消化吸收率(表2)。调查了夏

表 2 在 30℃ 时鲢、鳙对微囊藻和蚤的氮的消化吸收率(%)

Tab. 2 Assimilation efficiency in terms of nitrogen for *Microcystis* and *Daphnia* by the silver carp and bighead at 30℃

	鲢	鳙
微囊藻	39.2	33.5(陈少莲手稿)
透明蚤	94.1	94.0 <sup>[3]</sup>

季湖中捕捞的鲢、鳙消化道内含物的组成：鲢消化道内含物的 93.2% (体积的%) 是浮游植物(主要是微囊藻), 6.8% 是浮游动物(主要是原生动物)。鳙消化道内含物的 68.5% 是浮游植物(主要是微囊藻), 其余 31.5% 是枝角类, 挠足类和轮虫。夏季东湖中浮游动物占整个浮游生物(包括浮游植物)的 11%, 浮游动物中枝角类只不过占 0.8% 左右。而鳙消化道内的枝角类占 13%, 说明鳙选食枝角类, 不仅夏季, 全年都可观察到这种现象(陈少莲, 1982)<sup>[2]</sup>, 可见鲢、鳙食性有差异。

为了测定两种鱼在湖水中的摄食量, 需要知道它们所摄取的食物消化率。为此, 分别按上述鲢、鳙消化道内含物的组成情况, 根据表 1 和表 2, 换算出湖中两种鱼对食物中氮的消化吸收率, 鲢是 44.2%, 鳙是 57.0%。浮游动物摄取量多的鳙的消化吸收率比鲢高。

#### 4. 生长速度

湖中鲢、鳙夏季的生长速度的数据取自水生生物研究所 1976 年的研究结果(表 3-1)<sup>1)</sup>。鳙每单位体重的增长率(毫克-氮/克/天)比鲢约高 2 倍。由于两种鱼的放养规格不同, 所以不能根据上述的值来评价它们的生长速度的大小。为了正确评价两种鱼的生长速度, 需要知道两种鱼的生长量和体重的关系, 而目前尚未得到这方面的资料。此外, 已报道鱼类的生长率一般与体重(W)的 0.61 次方成比例(Case, 1978)<sup>[4]</sup>。所以这次以鲢、鳙的生长量与体重的 0.61 指数成比例, 尝试校正生长速度。校正后两种氮的增长速度( $G_N$ )没有很大差异。

$$\text{鲢 } G_N = 1.81W^{0.61} \text{ (毫克-氮/日)}$$

$$\text{鳙 } G_N = 1.98W^{0.61}$$

网箱内两种鱼的生长量测定的结果如表 3-2 所示。用两只体积为 1 立方米的网箱, 每只网箱放入鲢、鳙各 30 尾。结果一只网箱内的鱼全部死亡, 另一只网箱内鲢仅存活 3 尾, 鳙存活 20 尾。因鱼的密度高, 网箱是用 6 面网围起来的箱型沉入水下, 所以鱼经常触网受伤, 死亡率很高。网箱内鱼的肠管充塞度低, 存活个体的生长, 特别是鳙, 同上述的湖水中的值相比明显偏低。刘建康(私人通信)指出, 按中国迄今的经验, 将鲢鳙放养在小水体中, 鲢的生长好, 而在东湖这样的大水体中鳙的生长快。

栖息于东湖的鳙是有选择地摄食枝角类的。由于在网箱内行动受到限制, 不能充分摄取浮游动物, 致使鳙的生长率明显降低。用上述同样的方法求出鲢、鳙网箱内氮的增长

1) 胡传林、黄祥飞, 1976。大水面培养鱼种的实践和效果。湖泊水库渔业增产科技资料汇编, 94—102。

表 3-1 夏季鲢、鳙在湖中的生长速度(表中的瞬时速度根据鱼体湿重求得)

Tab. 3-1 Growth rate of the silver carp and bighead in the Lake Dong Hu during summer (Liu et al., 1976)

	原体重 (克)	终体重 (克)	持续时间 (日)	瞬时生长率	生长率 (毫克-氮/克/日)
鲢	13.6	54.4	41	0.033812	0.653
鳙	3.8	93.0	54	0.059021	1.171

表 3-2 鲢、鳙网箱内的生长速度

Tab. 3-2 Growth rate of the silver carp and bighead in the net cage placing in the Lake Dong Hu from Aug. 18 to Sep. 22, 1983

	原体重 (克)	终体重 (克)	持续时间 (日)	瞬时生长率	生产率
鲢	21.0	38.8	34	0.01809	0.347
鳙	24.7	28.2	34	0.00390	0.075

量和体重之间的关系。

$$\begin{aligned} \text{鲢} \quad G_N &= 1.14W^{0.61} \\ \text{鳙} \quad G_N &= 0.26W^{0.61} \end{aligned} \quad (\text{毫克-氮/日})$$

## 5. 摄食量

归纳上述各项,用下式可表示鱼的氮平衡。

$$\beta C_N = gW^b + f\{a - a'(1 - e^{cs})\}W^d$$

$C_N$ , 摄食氮量;  $\beta$ , 消化吸收率;  $W$ , 鱼体重;  $g$ ,  $b$ , 生长量的常数;  $a$ ,  $a'$ ,  $d$ , 摄食(静止时)和停食时氮氮排泄量的常数;  $s$ , 游泳速度(体长/秒);  $c$ , 运动代谢常数;  $f$ , 氮氮排泄量换算成总氮的系数。

将各系数代入上述公式求出摄食量(表 4)。表中主要用氮量和湿重表示体重为 20 克的鲢、鳙每天的摄食量。由于不了解两种鱼在湖中的游泳速度,所以不能正确求出摄食量。但如上所述,以各种鱼的呼吸量作为指标的巡游速度为 4—5 (体长/秒),因此,本文

表 4 用氮平衡法求出体重 20 克鲢、鳙的摄食量(毫克-氮/日)

(括号内的值为换算成食物湿重(克)的值网箱内的值的计算方法请参阅正文)

Tab. 4 Ingestion rates (mg-N/day) of the silver carp and bighead (body weight 20g). The figures in parenthesis indicate the rates in terms of wet weight (g) of their foods

游 速 (体长/秒)	鲢 毫克-氮/日(克/日)	鳙 毫克-氮/日(克/日)
0	81.3 (11.3)	64.3 (8.2)
2	92.7 (12.9)	72.6 (9.2)
4	110.7 (15.4)	84.4 (10.7)
6	138.4 (19.3)	101.4 (12.9)
网箱	69.4 (9.9)	74.2 (12.9)



将游泳速度 (s) 在 2—4 (体长/秒) 的值作为两种鱼在湖中的摄食量。由于网箱小, 鱼的运动量以 0 计算, 假设两种鱼在网箱内都只摄取微囊藻, 得出表中所示的值。

将 W 值代入上述的氮平衡式中所求得的摄食量 (C, 湿重) 和体重之间的关系如下。

鲢  $s = 2, C = 1.065W^{0.830}$  (克/日)

$s = 4, C = 1.237W^{0.839}$

鳙  $s = 2, C = 0.999W^{0.740}$

$s = 4, C = 1.142W^{0.747}$

(二) 用森下公式推算摄食量

1. 消化道内含物量的昼夜变化

东湖湖汉内鲢、鳙的消化道内含物量的昼夜变化和养鱼池中的变化如图 5 所示<sup>[4]</sup>。湖中鲢、鳙消化道内含物量在 16—19 时达最高峰, 显示出明显的昼夜变化。浮游植物食性的尼罗罗非鱼, 栖息在非洲 (乌干达) 富营养化的湖中, 其胃内含物量在黎明时开始增大, 到黄昏时达最高峰, 然后下降 (Moriarty 等, 1973)<sup>[46]</sup>。与图 5 所示鲢、鳙的变化相似。

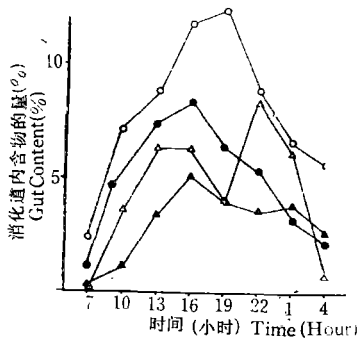


图 5 消化道内含物量 (用占鱼体湿重的百分数表示) 的昼夜变化

(三角形表示在池中的变化)

Fig. 5 Diurnal changes in the gut content (% of wet weight of fish body) of the silver and bighead carps (Chen, 1986). Circles and triangles indicate the values of both species in the Lake Dong Hu and in the fish pond respectively

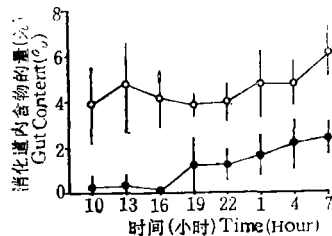


图 6 东湖网箱中鲢鳙消化道内含物量的昼夜变化

Fig. 6 Diurnal changes in the gut content of the silver and bighead carps in the net cages placed in the Lake Dong Hu

网箱内饲养的两种鱼的消化道内含物量几乎无昼夜变化。无论何时鲢消化道内含物量都比鳙多 (图 6)。图 5 中鲢、鳙的消化道内含物量从午夜开始到早上急剧减少, 而网箱内的鱼在这个时间内却稍有增加。尚未弄明这种变化的原因。可能与网箱的容积太小, 又是六面封闭, 致使鱼的行动不正常, 不能利用水表面大量存在的微囊藻有一定的关系。

### 2. 排粪速度

将饱食了微囊藻的鲢、鳙置于粪采集容器中，求出时间和排粪量之间的关系(图7)。两种鱼的排粪量是按曲线  $V_t = V_0(1 - e^{-\alpha t})$  的形式变化。以此公式的  $\alpha$  值作为瞬时排粪速度，即作为森下公式中消化道内含物的瞬时减少率(表5)。两种鱼的  $\alpha$  值的个体差都很大。鲢的肠管比鳙的约长 1.5 倍，由此认为鲢、鳙排粪速度的不同是因为两种鱼的肠管长度不同所致。

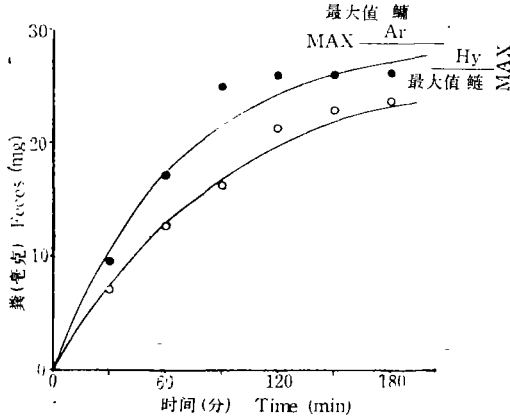


图7 排粪量(毫克干重)和饥饿时间的关系  
(实线是使各测定值适合  $V_t = V_0(1 - e^{-\alpha t})$  后求出的)

Fig. 7 Relationship between the defecation rate and the starvation period

表5 鲢、鳙的瞬时排粪速度 ( $\alpha$ )

Tab. 5 The instantaneous rate of defecation ( $\alpha$ ) of silver carp and bighead

瞬时排粪速度 ( $\alpha$ )	鲢	鳙
最大值	1.27	1.84
最小值	0.43	0.57
平均±标准差 (n = 8)	0.74±0.30	1.07±0.48

### 3. 摄食量的比较

将上述的消化道的昼夜变化和瞬时排粪速度( $\alpha$ )代入森下公式，求出的摄食量如表6所示。但用作消化道内含物量昼夜变化的鱼的平均体重不同，湖中(鲢 24.7 克，鳙 8.7 克)；池中(鲢 11.5 克，鳙 16.0 克)；网箱(两种鱼均约 20 克)，不能直接对计算值进行比较。因此表6的值是用前述的氮平衡法求得的摄食量和体重的关系而求得的。假设鲢按  $W^{0.83}$ ，鳙按  $W^{0.74}$  变化，则可用体重 20 克(湿重)的鱼的值。用氮平衡法求出摄食量的值(表6)。由于瞬时排粪速度( $\alpha$ )的个体差异大，在表6中用  $\alpha$  的最高、最低和平均值求得摄食量(森下公式计算值)。

用森下公式求得的鲢的摄食量表明，根据湖中鱼的消化道内含物量的昼夜变化求得

表 6 用森下公式求出的两种鱼的摄食量和用氮平衡法求出的摄食量的比较  
(表中的值都是湿重(克),用体重 20 克鲢鳙的值作了校正)

Tab. 6 The ingestion rates computed With the formula of Morishita as compared with ingestion rates in terms of nitrogen of silver carp and bighead (body weight 20g)

		湖	池塘	网箱	氮平衡
鲢	最大值	50.2	24.3	30.6	12.9—15.6
	最小值	17.0	8.2	10.4	
	平均	29.3	14.1	17.8	
鳙	最大值	34.7	24.4	10.3	9.4—11.0
	最小值	10.8	7.6	3.2	
	平均	17.0	14.2	6.0	

的值比池中和网箱中的约高 2 倍。鳙在湖中和在池中的值相同，网箱内的摄食量的推算值和用森下公式计算出来的值，用氮平衡法求得鲢的值与池中和网箱中的平均值求得值大致相同。鳙的氮平衡法求得值与从池中  $\alpha$  的平均值求得值无很大差异。用森下公式求摄食量时，排粪速度是在小容器内求出的。由于每隔 30 分钟收集一次鱼类，对鱼产生应力 (Stress)，因此鱼有可能比一般情况提前排粪。所以用森下公式推算的值可能偏高。而用氮平衡法推算时是以停食状态中鱼的氮代谢为基础求得值，又可能偏低。但本项研究中用两种方法求得的摄食量的推算值极为一致。

用氮平衡法求得的摄食量为基础，求出鲢、鳙的生长效率 ( $K_1$ ) (表 7)。依据此表，以能量为指标的鲢的生长效率是 8—10%，鳙是 12—14%。据梁彦龄<sup>1)</sup>指出，以鲢鳙的呼吸量为基础求得的生长效率约为 7%。已知白鲫 (*Carassius auratus curieri*, 浮游植物食性) 的生长期(夏季)中以能源为基础的生长效率为 6—20% (三浦泰藏, 1973)<sup>[5]</sup>。上述结果和本研究所得到的鲢、鳙的生长效率的结果一致。由此可见,本研究中摄食量的推算是较为正确的。

表 7 按湿重、氮和能量计算的生长效率(K)的比较

Tab. 7 Comparison of growth efficiency (k) in terms of wet weight, nitrogen, and caloric

	湿重 %	氮 %	热值 %
鲢	3.8—4.6	10.0—12.1	7.9—9.6
鳙	5.8—6.8	14.2—16.7	12.1—14.1

关于鲢的摄食量已有一些报告，主要是波兰和苏联的。其实验时的水温是 23℃，而在本研究所用的高温中进行实验尚无先例。上述波兰和苏联的报告中指出，水温 20—23℃ 中，0.3—2.4 克的鲢每天的摄食量以湿重计算为体重的 35—55% (Herrmann, 1983)<sup>[12]</sup>，45—47 克的鱼为体重的 21% (Omarov, 1970)<sup>[17]</sup>，875 克的鱼为体重的 11.7% (Biaokoz 和 Krzywosz, 1981)<sup>[8]</sup>。将这些推测值(C)和鱼体重(W)用双对数直线回归方

1) 梁彦龄(手稿)。

程绘于图 8。其回归方程式为  $C = 0.64W^{0.76}$ 。与氮平衡法求得的相比较,两者体重的指数相同。本研究中的 Y 截距的值约高 2 倍。此外根据本研究 1981 年所做的预备调查(10—11 月),平均体重为 11.3 克的鲢在水温 20℃,处于停食状态时的氨氮排泄率是  $10.0 \pm 4.6$  (微克-氮/克/小时  $\pm S, D, n = 20$ )。水温 30℃,停食状态中的氨氮排泄率是 22.0。20—30℃ 之间的  $Q_{10}$  约是 2。鲢在 30℃ 中标准代谢量 (M) 与体重 (W) 的关系式为  $M = 0.652W^{0.611}$  (毫克- $O_2$ /小时),刘友亮、陈少莲 (1976)<sup>1)</sup> 已有报告。已知 20℃ 中鲢幼鱼的标准代谢量是 0.306 (毫克- $O_2$ /克/小时) (Herrmann, 1983)<sup>[12]</sup>,在标准代谢的情况下,20—30℃ 中的  $Q_{10}$  亦为 2。由此可认为本研究中的摄食量比图 8 所示的 20—30℃ 的推测值约高 2 倍的值是正确的。

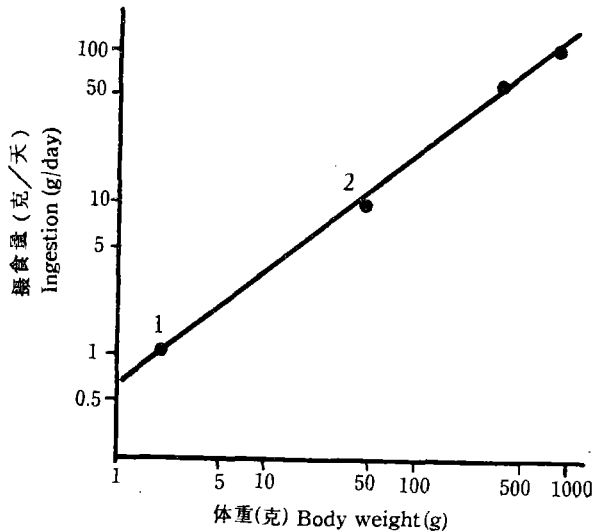


图 8 前人报告过的鲢的摄食量(克/日、湿重)和体重(克)的关系  
(测定水温为 20—30℃,回归方程为  $C = 0.64W^{0.76}$ ,各测定  
值所标明的数字表示资料来源)

1 Herrmann (1983) 2 Moskul (1987) 3 Omarov (1970)  
4 Biaokoz and Krzywosz (1981)

Fig. 8 Relationship between body-weight (g-wet weight) and ingestion rate (g/day, wet weight) of *Hypophthalmichthys molitrix* under 20—30℃. Regression formula being  $C = 0.64w^{0.76}$ , data from: 1 Herrmann (1983) 2 Moskul (1987) 3 Omarov (1970) 4 Bialokoz and Krzywosz (1981)

如果鲢、鳙维持本研究中推算的高摄食量,那么其相应环境中藻类的现存量也应相当高。可以说这些鱼是适应富营养化环境的鱼,以摄取大量食物取得高生长量。

鲢、鳙摄取藻类后排出的粪中仍有一部分存活藻类,可能回归到水体初级生产中去。Miuka 和 Wang (1985)<sup>[14]</sup> 已指出这些鱼排出的大量粪便如何回归到初级生产,以及未回归的部分又是怎样为湖中动物群落利用的,这点在考虑东湖的生态系统时是重要的,也是很有兴趣的一个研究课题。

1) 刘友亮、陈少莲,1976。六种养殖鱼种的耗氧量。湖泊水库渔业增产科技资料汇编,87—94。

## 参 考 文 献

- [1] 王驥、梁彦齡,(1981)。用浮游植物的生产量推算武昌东湖鲢鳙生产潜力与鱼种放养量的探讨。水产学报,5: 343—350。
- [2] 陳少蓮,1982。东湖放养鲢、鳙鱼种的食性分析。水库渔业,(3): 21—26。
- [3] 陳少蓮等,1985。鲢、鳙鱼种对透明藻消化利用的研究。鱼类论文集 4: 163—170。
- [4] 陳少蓮等,1986。鲢、鳙鱼在天然条件下的摄食强度(1)鲢、鳙鱼种在夏季的摄食强度。水生生物学报 10(3):277—284。
- [5] 三浦泰蔵,1973。エネルギー収支法によるカワナアナ个体群の攝食量の推定。大阪府淡水魚試験場研究報告増補,(1): 109—118。
- [6] 森下正明,1968。陆水生物生产研究法。陆水生物生产测定方法论研究会编。pp. 357—361。講談社サイエンスライク。
- [7] 鈴木紀雄,1971。フナの運動代謝量。滋賀大学教育学部纪要(自然科学),21: 69—74。
- [8] Bialokoz, W. and T. Krzywosz, 1981. Feeding intensity of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) from the Paproteckie Lake in the annual cycle., *Ekol. Pol.*, 29: 53—61.
- [9] Brett, J. R., 1964. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon., *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 21: 1183—1226.
- [10] Brett, J. R. and D. B. Sutherland, 1965. Respiration metabolism of pumpkinseed (*Lepomis gibbosus*) in relation to swimming speed. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 22: 405—409.
- [11] Case, T. J., 1978. On the evolution and adaptive significance of post natal growth rates in the terrestrial vertebrates. *Quarterly Review of Biology*, 53: 243—282.
- [12] Herrmann, V. J., 1983. Experimentelle untersuchungen zur filtrationsleistung und zum energiehaushalt junger silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.), *Arch. Hydrobiol.*, Suppl. 65: 268—299.
- [13] Iwata, K., 1970. The relationship between food and growth in young crucian carp (*Carassius auratus cuvieri*) as determined by the nitrogen balance., *Jap. J. Limnol.*, 31: 129—151.
- [14] Miura, T. and J. Wang. 1985. Chlorophyll *a* found in feces of phytoplanktivorous cyprinids and its photosynthetic activity. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22.
- [15] Moskul, G. A., 1977. Osobennosti pitaniya dvuchletkov belogo i pestrogo tolstolobikov v nagul'nykh Limanach Krasnod arskogo Kraja., *Gidrobiol. Z.*, (3): 45—50.
- [16] Moriarty D. J. W. et al. 1973. Feeding and grazing in Lake George, Uganda., *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 184: 299—319.
- [17] Omarov, M. O., 1970. Sutocnyj racion belogo tolstolobika. *Hypophthalmichthys molitrix* Val., *Vop. Ichtiol.*, 10: 580—582.
- [18] Solorzano, L., 1969: Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method., *Limnol.*, 14: 799—801.

## NITROGEN BALANCE IN THE SILVER AND BIGHEAD CARPS I. ESTIMATION OF SEVERAL PARAMETERS IN RELATION TO THE NITROGEN BALANCE DURING THE GROWING SEASON (SUMMER) OF FISH

Katsuya Iwata

(Dept. of Biology, Fac. of Education, Wakayama Univ., Japan)

Chen Shaolian and Liu Xiaofang

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan)

### Abstract

In terms of nitrogen, several parameters such as the metabolic rate, the assimilation effici-

ency and the ingestion rate of the silver and bighead carps were determined during the summer months.

On the basis of the rate of ammonia excretion during starvation periods, the resting metabolic rates of fish at 30°C may be expressed as the following equations:

$$\text{Silver carp: } M_R = 0.054W^{0.884}(\text{mg-N/h})$$

$$\text{Bighead carp: } M_R = 0.073W^{0.782}(\text{mg-N/h})$$

Where,  $M_R$  and  $W$  denote the resting metabolic rate and the body weight (g) respectively.

The active metabolic rate of both fishes increased exponentially with the increase of swimming speed. At the swimming speed (lengths/sec.) around 4, the least swimming cost (in terms of nitrogen) for both fishes were recorded.

During the summer months, about 90% of food items of the silver carp in the Dong Hu Lake are phytoplankton (*Microcystis*), whereas the bighead carp selectively takes up cladoceran (about 30%) in addition to phytoplankton. On the basis of the assimilation efficiency for *Microcystis* and *Daphnia* of both fishes, the assimilation efficiency in terms of nitrogen for natural food organisms in the lake was estimated as 44% for silver carp and 57% for bighead.

The nitrogen balance of the silver and bighead carps can be formulated as follows:

$$\text{Silver carp: } 0.44C_N = 1.81W^{0.61} + \frac{24}{0.75} \{0.054 - 0.021(1 - e^{0.216s})\}W^{0.884}$$

$$\text{Bighead carp: } 0.57C_N = 1.98W^{0.61} + \frac{24}{0.75} \{0.073 - 0.033(1 - e^{0.179s})\}W^{0.782}$$

Where,  $C_N$ : ingestion rate in terms of nitrogen, s; swimming speed (lengths/sec.),  $W$ : body weight (g). Calculated from the above equations, the ingestion rates (wet weight of foods/day) of the silver and bighead carps (20 g in wet weight each) were 65—80% and 47—57% of their body weights respectively. These results agreed well with the rates estimated by a different method (Morishita, 1968) based on the daily changes of the gut content and rate of the food passage in fish intestines.

**Key words** *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*, Phytoplanktivorous fish, Nitrogen balance Ingestion rate, metabolic rates