

白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻摄食量和 利用率的研究*

石志中 方德奎

(陕西省水产研究所) (陕西省渭南地区水产工作站)

张 卫

(中国科学院西北水土保持生物土壤研究所)

STUDIES ON THE FEEDING CAPACITY AND RATE OF ASSIMILATION OF FINGERLING SILVER CARP FED ON ANABAENA SPIROIDES

Shi Zhi-zhong

Fang De-kuei

(Fisheries Institute of Shensi Province) (Fisheries Station of Weinan District, Shensi Province)

Chang Wei

(The North-Western Institute of Water and Soil Conservation,
Biology, and Soil Science, Academia Sinica)

提 要

在通过示踪试验肯定了白鲢鱼种能消化利用螺旋鱼腥藻之后,我们继续用放射性磷³²做了白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻摄食量和利用率的示踪试验,同时做了鱼体自射线显影。通过以上研究工作,证实了螺旋鱼腥藻是白鲢鱼种易摄食和消化利用的良好食物,是白鲢鱼种快速生长的主要物质基础。

前 言

螺旋鱼腥藻(*Anabaena spiroides*)大量繁殖的池塘里,不论以何种比例放养白鲢[*Hyphothalmichthys molitrix* (C. et V.)]鱼种,表层水中几乎每天都出现由大量螺旋鱼腥藻形成的翠绿色絮状的水华(塘水中藻的浓度一般是 $1-2 \times 10^7$ 个/升)。由于白鲢鱼种能消化吸收螺旋鱼腥藻^[1],因此,这种藻的水华的出现表明了在此塘中白鲢鱼种有极充沛的天然饵料。

为了进一步搞清出现螺旋鱼腥藻水华的池塘里白鲢鱼种快速生长的主要物质基础是

1976年4月22日收到。

* 试验中得到中国科学院西北水土保持生物土壤研究所张仲先同志的具体指导,赵润青、赵永安、伊虎英同志协助拍制照片,何志辉等同志提了不少宝贵意见,在此一并致谢。

否是螺旋鱼腥藻，还必须就白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻的摄食量和利用率两方面的问题进行研究。

我们利用标记有磷³²的螺旋鱼腥藻饲养白鲢鱼种，通过对藻、水和鱼体的一系列活性测定，算出了白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻的摄食量和利用率。同时，除了观察白鲢鱼种对标记的螺旋鱼腥藻消化情况之外，还对磷³²在其肌肉、骨骼等组织内的分布概况，做了鱼体的自射线显影^[2]。

材料和方法

(一) 材料

螺旋鱼腥藻采自陕西省水产研究所内的螺旋鱼腥藻塘（图2）。白鲢鱼种取自陕西省渭南地区水产工作站，全长9—12厘米。

鱼体自射线显影用的感光片是医用X光胶片。

(二) 方法

1. 白鲢鱼种摄食螺旋鱼腥藻干重的计算（以E表示）。

(1) 求出单位重量干藻的活性（D）。

将淋洗好的一定体积的标记浓藻置于已知重量的坩埚内，在90℃下，经24小时烘干后称重，求出干藻重，同时测定每毫升浓藻的活性。根据此活性和一定体积浓藻的干重，即可求出单位重量干藻的活性。即：

$$D = \frac{\text{每毫升标记浓藻的活性} \times \text{干制时所取标记浓藻的体积}}{\text{干制后的标记浓藻干重}} \quad (1)$$

(2) 求出鱼种摄食的藻的干重（E）

养鱼开始前和结束后，我们分别测定了槽内藻液的总活性，前后两者活性之差，再减去水中进入试验鱼体内的活性（此活性等于对照鱼体单位重量活性乘以试验鱼体重），即为整个养鱼过程中鱼种摄食标记螺旋鱼腥藻后，使槽内藻液减少的活性。此活性与单位重量干藻活性之比，为鱼种摄食的藻的干重，即：

$$E = \frac{L_1 - (L_2 + W)}{D} \quad (2)$$

L_1 ——开始养鱼前槽内藻液的总活性；

L_2 ——养鱼结束后槽内藻液的总活性；

W ——水中进入试验鱼体内的活性。

2. 白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻利用率的计算（以U表示）

利用率为吸收利用量与摄食量的百分比，即： $U = \frac{A}{E} \times 100\%$ ；而鱼种利用的藻所相当的干重（A）= $\frac{\text{通过螺旋鱼腥藻进入鱼体的活性}(F)}{\text{单位重量干藻的活性}(D)}$ ，则

$$U = \frac{A}{E} \times 100\% = \frac{F}{L_1 - (L_2 + W)} \times 100\% \quad (3)$$

其中： F = 试验鱼体总活性 — W

3. 鱼体自射线显影

将标记螺旋鱼腥藻槽内饲养48小时的白鲢鱼种, 电死取出, 反复冲洗鱼体及鳃部, 去掉鳃和鳞后再行冲洗。然后解剖, 除保留心脏外, 其余内脏及肠道全部弃去。将鱼体沿脊椎骨方向纵切, 把带有脊柱、背鳍、尾鳍及臀鳍的一半鱼体置于红外灯下烘干。然后装入塑料小袋内, 使剖开鱼体的一面朝上, 将X光胶片紧贴鱼体, 进行感光。

试验步骤与结果

(一) 试验步骤

1. 螺旋鱼腥藻的采集与标记, 基本仿照“白鲢等鱼种对螺旋鱼腥藻消化吸收的示踪试验报告”一文中的有关方法进行^[1]。

2. 鱼种的饲养

饲养前将鱼种在内径29厘米、深30厘米的玻璃圆水槽内驯养, 以使其适应槽内环境, 排出肠内的粪便, 并淘劣留良, 利于试验。

将部分洗好的标记浓藻倒入玻璃圆水槽中(各次试验用量见表1), 加自来水稀释至1万毫升, 搅匀取样¹⁾, 重复6次²⁾, 在红外灯下烘干, 测其活性, 用以计算藻槽开始养鱼前的总活性。同时计数螺旋鱼腥藻的浓度为 $1-2 \times 10^7$ 个/升。然后将鱼种放入槽内饲养。每槽放3—6尾, 饲养时间为48小时, 试验期间概不再投喂其他饲料。为了解饲养过程中槽内清液活性变化情况, 作为配制对照养鱼用水活性强度的依据, 每隔12小时取出部分养鱼水样, 过滤(弃去刚滤出的部分清液), 将滤下的清液取样, 测定其活性。

在整个饲养过程中, 为避免鱼种粪便给实验带来影响, 及时吸除刚排出的粪便。

为排除试验槽养鱼水中的放射性对鱼体的影响, 我们在每次试验中都做了相应的没有螺旋鱼腥藻的对照试验。水的活性按稍大于试验槽各时间内测定的清液活性平均值的强度配制, 然后放入鱼种, 以同样方法测定鱼体活性, 在计算鱼种对螺旋鱼腥藻的摄食量和利用率的过程中减去这一部分的活性。

另外, 为了解鱼种肠道内摄食和消化利用的螺旋鱼腥藻概况, 我们在同样的条件下, 用未标记的螺旋鱼腥藻饲养鱼种, 24小时后取出, 冲洗解剖, 将其肠道露出, 进行拍照, 以观察肠道内螺旋鱼腥藻的饱满情况(图1)。同时在其肠后段三分之一处切破取样, 检查肠道内螺旋鱼腥藻被消化利用的状态, 并拍照(图3)。

3. 鱼样活性测定

饲养完毕, 取出鱼种, 冲洗体表及鳃, 立即放入缓流的自来水中暂养一天, 以尽量减少鱼体表及鳃部的污染, 并让鱼种排出肠道内的粪便。然后电死鱼种, 取出肠道, 将样品放入烘箱, 在85—95℃的温度下, 经12小时烘干, 分别称重, 并在不同研钵内分别研细, 于有机玻璃样品盘内制样。

试验中均用端窗式盖革管测定活性。

(二) 试验结果

1. 单位重量干藻活性(D)的计算

1) 液体样品每次取样为0.5毫升, 鱼的干样品每次取样为100毫克。

2) 除开始养鱼前和结束养鱼后所取藻水样品各重复6次外, 其他取样均重复3次, 在各次误差小于1%的情况下, 取其均值进行演算。

试验中有关标记藻的数据如表 1。

表 1 标记螺旋鱼腥藻概况 (每盆加磷³²量为 1 毫居里)

| 试验编号 | 标记藻浓度 (个/升) | 标记时间 (小时) | 洗好后的浓藻测定 | | | | | 供养鱼用的 浓藻体积 (毫升) |
|------|--------------------|--------------|--------------------|---------------------------|---------------------|---------------|---------------------|-----------------------|
| | | | 浓 度 (个/毫升) | 烘干后活性 (脉冲/分 0.5 毫升) | 干制用浓藻 体积 (毫升) | 干制后重量 (毫克) | 每毫升浓藻 干重 (毫克) | |
| I | 5.97×10^7 | 38 | 64.5×10^5 | 263746 | 25 | 598 | 23.9 | 40 |
| II | 5.97×10^7 | 38 | 64.5×10^5 | 263746 | 25 | 598 | 23.9 | 38 |
| III | 5.65×10^7 | 24 | 51.1×10^5 | 153100 | 10 | 183 | 18.3 | 19 |

注: I、II 次试验均用同一批标记浓藻养鱼, 所用浓藻体积不同; 由于 III 次试验中洗好后的浓藻浓度比 I、II 次试验中的小, 而且其中每个藻体的螺旋数也比 I、II 次试验中的少 (这是由于标记时水温偏高造成的), 故 III 次试验中每毫升浓藻干重比 I、II 次试验中的小。

由表 1 查知有关数据分别代入 (1), 得:

$$D_I \text{ 和 } D_{II} \text{ 都是 } 22,052 \text{ 脉冲/分, 毫克 } D_{III} \text{ 是 } 16,732 \text{ 脉冲/分, 毫克}$$

2. 各槽每尾鱼平均日摄食的螺旋鱼腥藻量详见表 2。

由表 2 查知有关数据, 分别代入 (2) 得鱼种摄食的藻的干重是:

$$E_I = 135.5 \text{ 毫克 } E_{II} = 143.8 \text{ 毫克 } E_{III} = 210.9 \text{ 毫克}$$

3. 白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻的利用率 (U) 的计算

表 2 白鲢鱼种摄食螺旋鱼腥藻量

| 试验 编 号 | 开始养鱼前 藻水总活性 L_1 (脉冲/分) | 养鱼结束后 藻水总活性 L_2 (脉冲/分) | 养鱼水中进 入鱼体内的 活性 W (脉冲/分) | 活性差 $L_1 - (L_2 + W)$ (脉冲/分) | 单位重量干 藻的活性 D (脉冲/分、 毫克) | 鱼种摄食的 藻的干重 E (毫克) | 每尾鱼日食 藻的干重 (毫克) | 每槽 (试验 或对照) 养 鱼尾数 | 养鱼水温 ($^{\circ}$ C) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| I | $1,812 \times 10^4$ | $1,512 \times 10^4$ | 12,126 | 2,987,874 | 22,052 | 135.5 | 22.6 | 3 | 21 |
| II | $1,784 \times 10^4$ | $1,464 \times 10^4$ | 29,705 | 3,170,295 | 22,052 | 143.8 | 24.0 | 3 | 21 |
| III | 544×10^4 | 190×10^4 | 11,650 | 3,528,350 | 16,732 | 210.9 | 17.6 | 6 | 27 |

由表 2 查到各次试验中的 $L_1 - (L_2 + W)$ 值后, 分别除以试验鱼数, 得到各次试验中每尾白鲢鱼种摄食利用螺旋鱼腥藻后使槽内藻液减少的活性。由表 3 查到各试验中每尾鱼的 F 值, 将以上数值代入 (3), 得到各次试验中每尾白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻的平均利用率分别为:

$$U_I = 77.5\% \quad U_{II} = 74.4\% \quad U_{III} = 62.1\%$$

三次试验中每尾鱼对螺旋鱼腥藻的平均利用率为 71.3%, 去除肠道后对螺旋鱼腥藻的平均利用率为 64.6%。

表 3 白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻的利用率

| 试验 编 号 | 对照鱼(尾) 平均值 | | 试验鱼(尾) 平均值 | | | | 利用 率(%) | |
|--------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|---------------------------------------|------------|----------------|
| | 全 长 (厘米) | 活 性 (脉冲/分、 100 毫克) | 全 长 (厘米) | 干 重 (毫克) | 总 活 性 (脉冲/分) | 通过螺旋鱼腥藻 进入鱼体内的活 性 F (脉冲/分) | 每尾鱼 平均 | 除去肠道后 每尾鱼平均 |
| I | 11.70 | 204.9 | 11.66 | 1,972.7 | 775,772.5 | 771,730.5 | 77.5 | 74.0 |
| II | 11.50 | 523.7 | 11.44 | 1,890.7 | 795,700.3 | 785,798.7 | 74.4 | 63.6 |
| III | 9.20 | 240.7 | 9.00 | 806.7 | 366,839.3 | 364,897.6 | 62.1 | 56.4 |

4. 鱼体自射线显影

由图 4 可清楚地看出鱼种摄食标记螺旋鱼腥藻之后, 示踪磷在其骨骼和肌肉等组织内的分布概况。总的看来, 以骨骼和脑颅部分获得的活性最大。感光过程中, 由于原来脑颅的部分组织未十分干固, 在压力作用下, 使脑及周围的脑磷脂、顶骨、基枕骨和较软的咽鳃骨等联成了一片, 这一片感光面积大而且强。

头部前上端的强感光处为中筛骨^[3], 与此相连的一条细感光线为副蝶骨。另外, 可清楚地看出脊椎骨、鳍条基骨、肋骨等的显影。胸部下方的强感光点为心脏, 心脏前方较粗的感光处为匙骨, 脊椎上部隐约可见背部肌肉的显影。

讨 论

1. 鱼的硬骨组织和骨髓里均含有卵磷脂, 骨内的无机物成分以磷酸钙为主^[4], 故当白鲢鱼种消化了标记螺旋鱼腥藻之后, 骨骼里积聚的示踪磷比较多, 这是自射线显影上鱼的骨骼部分显得感光特别强的原因。

至于心脏部分也呈现了强感光现象, 说明了螺旋鱼腥藻被消化后, 示踪磷参与了鱼体的血液循环(鱼的血液及心肌内均含有无机磷酸、三磷酸腺甙、磷酸己糖等含磷物质)。当然, 这种循环也是骨骼内获得示踪磷的必经之路。

2. 白鲢鱼种摄食螺旋鱼腥藻的量是很大的, 这可从其肠道的饱满度和摄食量两方面得到证实。由图 1 可知, 试验前的白鲢鱼种肠道基本上是空的, 而与试验槽同样条件下饲养 24 小时后的白鲢鱼种肠道很饱满。又以图 2 及图 3 相比, 可清楚地看出肠道内的螺旋鱼腥藻被消化得比较良好, 螺旋均已断散, 很多细胞是空的, 甚至有的厚膜孢子也已破裂。因此, 从外观上就可以肯定它的摄食量是很大的, 消化情况也是良好的。

另外, 以试验 I、II 为例, 每尾鱼种每天平均摄食鲜藻的干重为 23.3 毫克(表 2), 由表 1 可知, 折合浓度为 64.5×10^5 个藻/毫升的藻液约 1 毫升, 即每尾鱼种每天约吞食 6×10^6 个左右的螺旋鱼腥藻。

3. 鱼类对饲料的消化和吸收利用是一个比较复杂的生理过程, 它将随着鱼种、饲料状况和水温、溶氧等条件不同而有所差异。在我们 I、II 次试验中, 由于标记藻的强度、藻的浓度、鱼种大小、密度、水温等条件相似, 故两次试验的吸收利用率也相差不大。III 次试验中鱼体大小, 放养密度, 螺旋鱼腥藻浓度等条件与 I、II 次试验中的不同; 更重要的是天气突然转热, 水温高达 27℃, 养鱼后期出现较严重的浮头现象, 这给鱼种对螺旋鱼腥藻的消化和吸收, 都带来了不良影响。我们认为这是该次试验的利用率较前两次低的主要原因。

另外, 由于 II 次试验养鱼槽内每 12 小时测定一次所得的清液(即水)活性均值比 I 次试验中的大, 因而 II 次试验中对照养鱼用水的活性(54 脉冲/分, 0.5 毫升)配得也比 I 次对照试验中的(35 脉冲/分, 0.5 毫升)大。这是 II 次试验中, 由养鱼水中进入鱼体里的活性比 I 次试验中的大(表 2), 同时该次试验中对照鱼体活性也比 I 次试验中对照鱼体活性大的重要原因(虽然 I、II 次试验所用鱼种规格相似)。

4. 试验中我们采取了反复冲洗鱼体及鳃部, 并进行缓流式的清水养鱼等措施, 以除去鱼体表面及鳃表面附着的和肠道内残存的标记螺旋鱼腥藻; 同时为了消除试验槽内水中

活性对鱼体的污染,又做了相应的对照试验。据此,我们初步认为在计算鱼种对螺旋鱼腥藻的利用率时,宜将鱼体各部分获得的活性全部计算进去。

为了排除虽经清水养鱼,鱼体肠道里仍可能有残存的标记藻体,会给计算鱼种对螺旋鱼腥藻的利用率带来影响,还可以将鱼体肠道除外进行计算(即不计算整个肠壁所吸收利用的螺旋鱼腥藻),这样,三次试验的平均利用率仍达 64%。这就进一步说明了螺旋鱼腥藻是白鲢鱼种易消化利用的藻类。《中国淡水鱼类养殖学》里将此藻列入鱼类不易消化的藻类,我们认为是不妥的。

5. 我们在生产实践中,尚未发现像 Round 报道的鱼腥藻的水华毒死水生动物的现象^[6],相反,螺旋鱼腥藻塘里的白鲢等鱼种,往往生长得特别迅速肥壮,其出塘率显著高于一般池塘。这倒与冯德尔氏关于单类藻类(鱼腥藻或束丝藻)强烈的和延续整个夏季形成水华的池塘是生产力最高的池塘^[5]的论述相吻合的。

根据以上的生产实践和论述,结合本试验中的白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻的摄食量和利用率的计算,以及观察鱼体肠道饱满状况和肠道内螺旋鱼腥藻被利用的状态等,我们认为该藻是“螺旋鱼腥藻塘”里白鲢鱼种快速生长的主要物质基础。

结 论

以浮游植物为主食的白鲢鱼种,不但能消化螺旋鱼腥藻,而且其摄食量是很大的,对螺旋鱼腥藻的利用率也是很高的。

在我们的试验条件下,每尾白鲢鱼种平均日摄食螺旋鱼腥藻的干重是 21.4 毫克,其利用率平均为 71.3%,除去整个肠道后的利用率平均为 64.6%。

参 考 资 料

- [1] 石志中等, 1975。白鲢等鱼种对螺旋鱼腥藻消化吸收的示踪试验报告。水生生物学集刊, 5(4):497—502。
- [2] 汤良知译, 1958。(W. J. 华脱斯等著)。放射性同位素。上海科学技术出版社。
- [3] 孟庆闻、苏锦祥, 1960。白鲢的系统解剖。科学出版社。
- [4] 刘纶译, 1959(大岛幸吉著)。水产动物化学。科学出版社。
- [5] 章宗涉译, 1956(Г. Г. 温别尔格等著)。鱼池施肥问题。科学出版社。
- [6] Round, F. E., 1965. The Biology of the Algae. Edward Arnold (publishers) Ltd. London.

勘 误

本刊第 5 卷第 4 期第 498 面的第 7 行和第 500 面的第 24 行“3—6 × 10⁸ 个/升”应为“3—6 × 10⁷ 个/升”; 第 498 面的第 20 行“2—3 × 10⁸ 个/升”应为“2—3 × 10⁷ 个/升”。

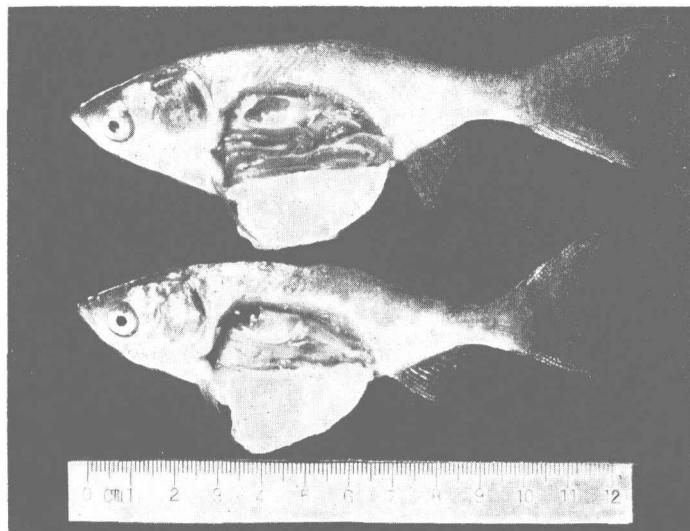


图 1 试验前(下)和放入螺旋鱼腥藻槽饲养 24 小时后(上)的鱼体肠道外观

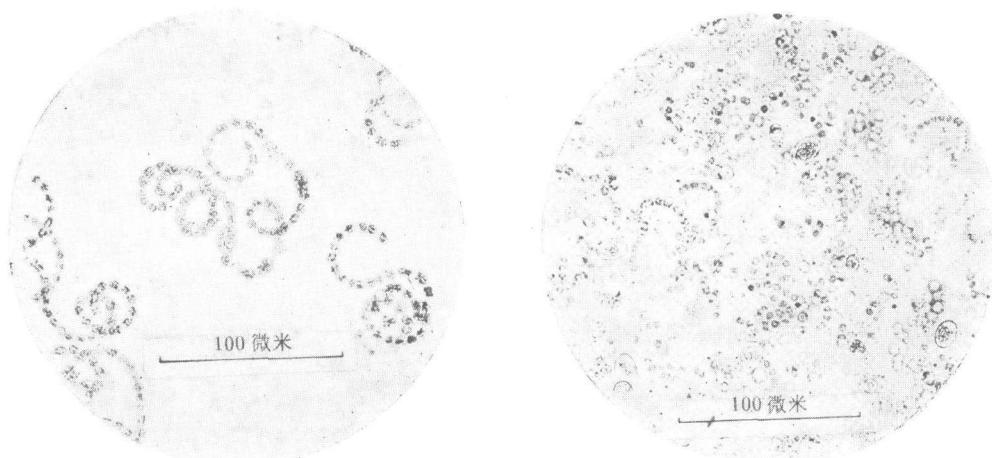


图 2 试验用的螺旋鱼腥藻

图 3 在藻槽内饲养 24 小时后, 鱼体肠道后 1/3 处的藻体消化概况

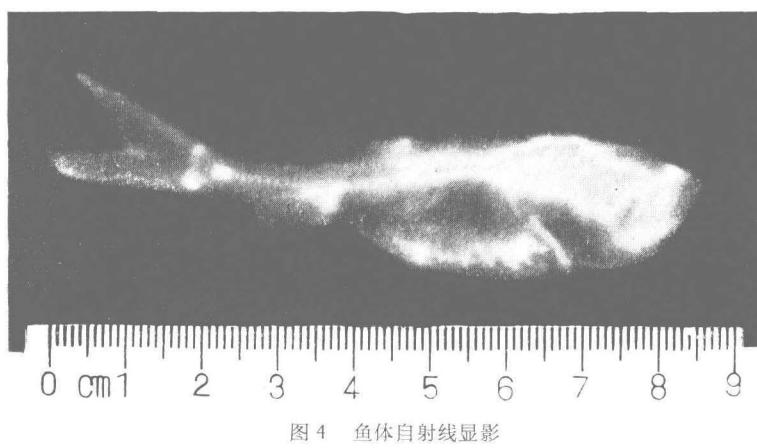


图 4 鱼体自射线显影