

鲢、鳙在东湖生态系统的氮、磷循环中的作用

陈少莲 刘肖芳 华 俐

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要

我们研究了鲢、鳙在停食状况下氮、磷的排泄量及在有鱼及无鱼的水环境中鱼类及微囊藻的氮、磷释放率。结合有关参数进行换算,从量的方面评价了鲢、鳙在东湖生态系统物质循环中所起作用:①鲢、鳙摄食过程加速了水体氮、磷释放进程(有鱼水体氮、磷释放率分别为无鱼水体的1.88和1.41倍),但其释放量(粪便的氮、磷释放量分别为水体氮、磷总含量的11.45%和3.4%)不足以左右东湖水体初级生产量的变动;②鲢、鳙摄食过程一方面提高了对初级生产量的利用率,而另一方面却通过鱼体积贮从水体中移出大量氮(52.20吨)、磷(11.36吨),分别占水体浮游物总氮、磷的3.01%和5.28%;③鲢、鳙大量摄食浮游动物,降低了被摄食种群的密度,缩短被摄食种群生物量周转期(1982年被摄食种群的生产量为1981年的1.05倍,鲢、鳙放养量为1981年的7倍;这两年鱼摄食量分别占其被摄食种群产量的31.73%及0.63%,被摄食种群的 ρ/B 系数分别为67.92及48.01);这样水体中浮游动物产量的相对稳定,也就促使浮游植物产量相对平衡。

关键词 鲢,鳙,粪,排泄物,氮,磷,排泄率,释放率

湖泊生态系统同其它生态系统一样,其中生物生产过程是始于处在食物链始端的生产者(绿色植物和光合细菌),它们利用太阳能把二氧化碳、水和营养盐合成有机物;生产者被处于食物链的第二环节的一级消费者(食草性鱼类及浮游动物)所利用,而后者又被处在食物链第三环节的二级消费者(如食动物性鱼类及无脊椎动物)或处在食物链末端的三级消费者(食肉性凶猛鱼类)所利用;未被后一营养级利用而死亡的有机体及水生生物代谢产物(排粪及分泌物),在还原细菌的作用下又分解为营养盐类;重新供生产者利用,参加物质再生产过程。这就是湖泊生态系统中所发生的生物学过程,即各个营养级的生物之间的互相依赖,互相调节、互相控制的自身反馈的过程,这个过程主要是受着能量流动和物质循环规律所制约。

鱼类是水生态系统中的消费者,通过人类渔业活动,鱼类把初级生产量转化为次级生产量,即把有机物最后转化为鱼产品,为人类提供高级蛋白质及能量;鱼类也同其它生物一样,是依赖于环境而生存,同时又作用于其生活的环境,所以鱼类除了以渔获物的方式

从系统中输出外,还参加水体能量流动和物质循环。鱼类在摄食、排粪及排泄过程中,同时还伴随着一系列的反馈作用,因此在水体中放养鱼类对水体生态平衡是起着调节作用,还是导致生态平衡失调,造成生态系统崩溃,这是一个相当复杂的生物学过程,也是人们十分关注的问题,有待生态学工作者回答的问题。迄今为止,涉及有关鱼类在水体物质循环中所起作用的定量方面资料是缺乏的。要揭示其中的规律性和内在联系,必须通过应用有关生理、生化、生物物理等实验手段,通过野外及实验室控制条件下互相配合,进行整体系统分析,取得定量方面的资料,进行评价。

东湖是进行人工放养的浅水湖泊,以放养鲢、鳙为主,这两种鱼放养量自 1974 年的 116 万尾递增至 1986 年的 394 万尾,鱼产量也逐年提高,从 1974 年 36.5 万 kg 至 1986 年 112.5 万 kg,占总渔获量的 80%^[4]。氮、磷是水体三大营养盐类的主体组分,水体的生产力常常取决于氮、磷化合物的数量^[23,25,27];因此,氮、磷元素在水生态系统中具有重要的生态学意义。根据东湖鲢 (*H. molitrix*)、鳙 (*A. nobilis*),食性分析的研究^[7],查明湖中浮游生物是两种鱼类所需营养物质的主要来源。鲢、鳙摄食后通过代谢过程,这些食物中一部分营养物质营造了鱼的机体,以鱼产品的形式移出水体,参加水体外陆相循环;同时另一部分物质,则随着鱼类及排泄物回到水体,被其中生物重新利用,参加水体物质再循环。虽然鲢主要处在食物链的第二营养级,鳙主要处在第三个营养级,其食物链虽短,但是要查明它们在水体物质循环中所起作用,仍是一个相当复杂的问题。为了排除各种因子的影响,本研究在实验室恒定水温条件下,鲢、鳙在停食状况下的氮、磷排泄量,及在无鱼及无浮游生物的水体中测定了鱼粪的氮、磷释放率。并将取得的数据与有关参数^[5,7-14,16,21,22]进行换算。以期从水体-鱼饵-鱼体的氮、磷转移过程中含量的变化,阐明鲢、鳙在东湖生态系统的物质循环中的作用。

材 料 和 方 法

实验鱼是本所试验场培育的越冬及当年鲢(体长 6.7—21.0 cm,体重 4.2—151.3 g)及鳙(体长 7.0—23.0 cm,体重 5.2—231.3 g)鱼种。作为饵料用的微囊藻 (*Microcystis*) 及浮游动物取自东湖水果湖区,作饵料用的鱼粪是用微囊藻饲养鲢、鳙所得。

(一) 鲢、鳙的氮、磷排泄量的测定方法

实验鱼在室内暂养 2—3 天(在暂养期间用微囊藻及浮游动物饲养),选择体质正常不同规格的鱼停食 24 h 后(肠道已排空),逐条分别放入试验缸内(预先注入定量经过二次活性炭柱过滤的自来水,放鱼前取水样 100 ml 作为对照水样),经 24 h 后,从各试验缸中取水样 100 ml。结束实验,称量鱼体长及体重。对照及试验水样均放冰箱内冻结,供分析氮、磷含量用。

$$\text{计算公式: } E = \frac{(B - A) \times V}{T}$$

式中: E——氮(磷)排泄率(mg/尾·h)

A——对照水样氮(磷)含量(mg/L)

B——试验结束水样氮(磷)含量(mg/L)

V——试验缸水总体积(L)

T——24 h

(二) 鲢、鳙鱼粪的氮、磷释放量的测定方法

在实验室条件下分别用微囊藻及鱼粪(鱼摄食微囊藻后排出的粪)作为饲料,饲养鲢、鳙,然后收集这两种鱼粪经搅匀后取定量分别注入各试验缸中,均用过滤自来水定容至 2 000 ml,用气泵充气,使鱼粪碎屑悬浮于水中。分 4 组(0、24、48 及 72 h)采样,每组设两个平行组。在采样时将水中悬浮物搅匀取定量水样两份,注入称量瓶烘干(105℃),恒重,换算为水总体积中干物质的重量。同时将试验缸全部水样沉淀、离心,弃去上清液,收集沉淀物烘干(105℃)恒重,置干燥器中保存,供分析氮、磷含量用。

(三) 微囊藻的氮、磷释放量的测定

从东湖捞取微囊藻,放入锥形缸中漂洗、浓集,取 50 g 湿藻,注入试验缸中,定容至 2 000 ml。按上述方法处理,分组试验,采样测定。

$$\text{计算公式: } R = \frac{A - B}{A} \times 100$$

式中: R——鱼粪、微囊藻的氮、磷释放量(%)

A——原初样品干物质氮、磷总含量(g)

B——试验结束时样品干物质氮、磷总含量(g)

再将氮、磷释放量除以相应试验组的试验时间(24、48、72 h)即为氮、磷释放率。

(四) 样品氮、磷含量分析方法

水中总氮(T-N)用凯氏微量定氮法消解,靛酚蓝法比色;氨氮(NH₃-N)用靛酚蓝法比色^[24];总磷(T-P)用硫酸消化钼蓝法比色^[1]。

鱼粪及微囊藻的干物质总氮用 Carlo Erba-1106 型元素分析仪测定;总磷用硫酸-高氯酸消化钼锑法比色测定^[2];氨基酸用日立 835-50 型氨基酸分析仪测定。

结果与讨论

(一) 鲢、鳙氮、磷排泄量

在实验条件下(光照度 2 800 lx,溶解氧 6 mg/L 以上,pH7.0—8.0,室温 10℃、20℃及 30℃)测定鲢(38 尾,体长 6.7—21.0 cm,体重 4.2—151.3 g)、鳙(38 尾,体长 7.0—23.0 cm,体重 5.2—231.0 g)在停食后 24 h(肠道已排空),静止状态下的氮、磷排泄量。

根据实验测定数据,求得鲢、鳙在不同水温条件下氮、磷的排泄量(y)与体重(x)的关系式(表 1,2)。表中各式表明:①鲢、鳙的氮、磷排泄量(绝对值)随着鱼体增重而上升,而其排泄率(相对值)则随着鱼体重增加而下降。鲢的氮、磷代谢强度较高于鳙。②在

表 1 鲢、鳙(停食 24 h)氮、磷排泄量(毫克/尾·时)与体重关系式
Tab. 1 Equations relating nitrogen and phosphorus excretion (mg/Ind. h) to body weight (g)
of the starved (for 24 h) silver carp and bighead

鱼别 Fish	水温 Temp. (°C)	No.	氮 Nitrogen	毫克/尾·时 mg/Ind. h.	No.	磷 Phosphorus	毫克/尾·时 mg/Ind. h.
鲢 Silver carp	10	1	$Y = 0.0119X^{0.7643}$	($r = 0.9993, n = 10$)	5	$Y = 0.0022X^{0.4337}$	($r = 0.9806, n = 10$)
	20	2	$Y = 0.0249X^{0.7716}$	($r = 0.9976, n = 10$)	6	$Y = 0.0050X^{0.4337}$	($r = 0.9894, n = 8$)
	30	3	$Y = 0.0498X^{0.7942}$	($r = 0.9719, n = 16$)	7	$Y = 0.0099X^{0.4593}$	($r = 0.9296, n = 15$)
	10—30	4	$Y = 0.0077 \times t + 0.0046 \times 2.1^{\frac{t-10}{10}} X^{0.5786}$ ($SR = 0.616, n = 36$)	$- 0.0764$	8	$Y = 0.0002 \times t + 0.0017 \times 2.1^{\frac{t-10}{10}} X^{0.5297}$ ($SR = 0.003, n = 33$)	$- 0.0027$
鳙 Bighead	10	9	$Y = 0.0114X^{0.7021}$	($r = 0.9988, n = 10$)	13	$Y = 0.0011X^{0.4026}$	($r = 0.9675, n = 9$)
	20	10	$Y = 0.0235X^{0.6978}$	($r = 0.99994, n = 10$)	14	$Y = 0.0025X^{0.5106}$	($r = 0.9587, n = 8$)
	30	11	$Y = 0.0466X^{0.7073}$	($r = 0.9538, n = 16$)	15	$Y = 0.0072X^{0.4131}$	($r = 0.8689, n = 14$)
	10—30	12	$Y = 0.0026 \times t + 0.0043 \times 2.1^{\frac{t-10}{10}} X^{0.5010}$ ($RS = 0.257, n = 36$)	$- 0.0278$	16	$Y = 0.0008 \times t + 0.0003 \times 2.1^{\frac{t-10}{10}} X^{0.5342}$ ($RS = 0.063, n = 31$)	$- 0.0054$

表 2 在不同水温条件下不同体重鲢、鳙氮、磷排泄量比值的比较

Tab. 2 Ratio of nitrogen to phosphorus in the excreta of silver carp and bighead in relation to body weight and temperature.

鱼别 Fish	水温 (°C) Temp.	体重 (g) Body weight					
		5	25	50	100	150	200
		氮磷排泄量比值 (N/P Ratio)					
鲢 Silver carp	10	6.94	12.48	16.57	22.21	26.44	29.96
	20	12.61	13.96	16.88	21.58	25.31	28.49
	30	11.66	13.11	15.92	20.41	23.98	27.00
鳙 Bighead	10	4.18	8.81	10.16	10.94	11.18	11.29
	20	4.67	8.07	9.46	10.44	10.81	10.98
	30	5.33	8.71	9.95	10.77	11.05	11.18

同一水温条件下,两种鱼氮、磷排泄量的比值,随鱼体增重而增大;而同一体重鲢的氮、磷排泄量的比值在 10℃ 时最低,20℃ 时稍高于 30℃;同一体重鳙(除 5 g 体重组外)10℃ 时比值最高,30℃ 时次之,20℃ 最低,但三者差异不大。也就是说,在同一水温条件下,随着鱼体增长,磷排泄强度增加相对地低于氮。而同体重的鲢,10℃ 时磷的排泄强度增加相对地高于氮;而同体重的鳙,在三种温度条件下,氮、磷排泄强度的加强相对稳定。前者属于鲢、鳙生长过程氮、磷代谢的特性,后者属于环境因子的影响。③从归纳的经验公式 4、8、12、16 表明,水温每相隔 10℃ 时,鲢的氮排泄的温度系数 (Q_{10}) 为 2,磷为 2.1;鳙的氮、磷排泄温度系数均为 2.1。

鱼类的代谢强度与鱼类的种的活动性、体重和环境因子(主要是水温及溶氧)有密切关系。活跃的鱼比不活跃的鱼代谢强度高^[26,28],由于氮属于能量元素,而磷则属于营养元素,所以上述结果所揭示两种鱼的排泄量变化的差异,乃是它们生活习性不同,在代谢过程中物质的量变化差异的反映。表 1 所列的经验公式反映了鱼类代谢的一般规律,其氮、磷排泄的温度系数值 (Q_{10}) 与有关报道^[17,26,28] 是一致的。

(二) 鲢、鳙鱼粪及微囊藻的氮、磷释放量

在实验条件下,收集 700 余尾鲢、鳙鱼粪作为氮、磷释放率试验材料。在东湖的水果湖区捞取微囊藻,过度密集地(每升水体含有 25 g 湿藻)存放于实验容器中,促使藻体死亡分解,作为测定藻体在死亡分解过程中氮、磷的试验材料。同时与鱼粪氮、磷释放试验相比较。试验分为三个部分,共 20 个试验组(表 3、4)。

第一部分试验——用微囊藻饲养鲢、鳙排出的粪(以下简称 M 粪)作试验材料,测定这些粪在水中氮、磷的释放率。M 粪在水中悬浮 24 h 和 48 h 的释放量接近,72 h 最低;其释放率则 24 h 最高,48 h 次之,72 h 最低。

第二部分试验——用鱼粪饲养鲢、鳙排出的粪(以下简称 F 粪),测定这些粪在水中氮、磷的释放率。F 粪在水中悬浮 24 h 的释放量最低,48 和 72 h 的较一致,而释放率则随着时间的延长而下降。

第三部分试验——过度密集的微囊藻在死亡过程中(以下称死藻)氮、磷释放率的测

定。死亡微囊藻悬浮在水中 24、48、72 h 的试验组氮、磷的释放量随着时间的延长而增高,而释放率则比较接近。

据上述结果我们认为: ① F 粪氮、磷释放率均比 M 粪及死藻高,这主要是由于 F 粪是通过鱼肠道第二次消化的排出物,被破坏的程度高,因此在水中释放速度快; ② 鲢排出的 M 粪氮、磷释放率高于鳙,而其排出 F 粪的氮、磷释放率则低于鳙,这与两种鱼对两种食物消化率的差异有关,鲢对微囊藻消化率(29.45%)高于鳙(26.07%),而鳙对鱼粪的消化率(68.57%)高于鲢(58.54%),因为食物的消化率高,一般意味着它被破坏程度大,所以它经过肠道消化后的排出物在水中物质释放速度快; ③ M 粪在水中悬浮 72 h, 其氮、磷的释放量下降仅仅是表面现象,只要比较表 3 及表 4 中各试验组中干物质所含的氮、氨基酸及磷的百分含量,便可以看出 M 粪试验组中这些物质的百分含量随着时间的伸延而逐渐回升。例如鲢排出的 M 粪在水中冲动悬浮 48 h 时,其干物质中氨基酸的百分含量(16.43%)比 24 h 时干物质中氨基酸含量(11.56%)增加 42.13%; 72 h 时干物质中氨基酸的百分含量(23.79%)比 24 h 时增加 105.8%。而 F 粪及死藻试验组的干物质中这些组分的百分含量则随着时间的延续而下降。而微囊藻是不易被鲢、鳙消化的食物,在 M 粪中存着被消化和半消化及存活的藻体^[11],因此在这些水中鱼粪的分解过程及活藻的生物合成过程是在同时发生着。在 24 h 过程中, M 粪试验组中被消化及半消化了的藻体残骸在水中迅速分解,释放出大量物质,存活的藻体同时利用这些营养物质作为自身营养进行繁殖和生长,起初分解过程释放的氮、磷可能大大地超过生物合成过程中吸收的氮、磷,因此表现出释放率迅速上升,此后,由于藻体不断增殖,合成过程中吸收量也就不断地增加,当吸收量超过释放量时,干物质中氮、磷含量就增加,这可能就是 72 h 试验过程中 M 粪试验组氮、磷释放量下降的实质。在 F 粪试验组中氮、磷释放量均随时间的延长而上升,其中干物质氮及磷的含量下降,这是因为 F 粪经过第二次消化的食物,其中存活的藻体数量甚少(鲢: $7.39 \pm 2.13\%$, 鳙: $9.76 \pm 0.24\%$)比 M 粪(鲢: $35.09 \pm 1.76\%$, 鳙: $40.4 \pm 1.27\%$)低 78.94%(鲢)及 75.84%(鳙),所以在同一时间内增殖数量也相应地低,其中物质分解过程释放量始终超过生物合成吸收量。在死藻试验组,由于藻体高度密集,及营养源缺乏,藻体不断自溶分解。这个分解过程是比较缓慢的,这种现象是自然界有机体死亡过程的一般规律。所有这些表明鲢、鳙在水体中加剧物质分解释放进程,例如鲢、鳙排出的 M 粪在水中悬浮的最初 24 h 氮、磷的释放速度分别为死藻的 2 及 3 倍; F 粪在最初 24 h 的氮、磷释放速度分别为死藻的 2.8 及 3.8 倍。从 M 粪的 48 h 及 72 h 试验组干物质中氮、氨基酸及磷的百分含量回升值,说明了释放物质重新被水体中生物所利用,参加物质再循环。

(三) 东湖鲢、鳙氮、磷排泄量及排粪的氮、磷含量的估算

1. 鲢、鳙氮、磷排泄量的估算

将鲢、鳙在静止状态下氮、磷排泄量与水温及体重关系的经验公式(表 1 中公式 4, 8, 12 及 16)结合有关东湖鲢、鳙生长速度资料^[4], 东湖水温周年月变动数据, 求出鲢、鳙氮、磷年排泄量(毫克/尾·年)。假设鱼类的总代谢为基础代谢的 2 倍, 将公式乘以 2, 再乘 24 及每月天数, 便可求出 12 个月总和的年排泄量(克/尾·年)(表 5)。

表 3 鱼粪及死微囊藻

Tab. 3 Rate of release of nitrogen and phosphorus

喂鱼饲料 Food for feeding fish	样品 Sample	原初干物质 Initial dry weight			占干物质重% % dry weight					
		0 h			24 h		48 h		72 h	
		干物质 Dry weight (g)	N %	P %	N %	P %	N %	P %	N %	P %
微囊藻 <i>Microcystis</i>	鲢 粪 Feces of silver carp	3.45±0.05	8.05 ±0	0.72 ±0	4.21 ±0	0.39 ±0	4.40 ±0	0.40 ±0	6.17 ±0	0.52 ±0
	鳙 粪 Feces of bighead	3.73±0.11	8.48 ±0	0.79 ±0.26	4.88 ±0	0.47 ±0	5.06 ±0	0.52 ±0	6.75 ±0	0.58 ±0
鱼粪 Fish feces	鲢 粪 Feces of silver carp	3.59±0.14	3.24 ±0.04	0.34 ±0.02	1.59 ±0.04	0.18 ±0.01	1.52 ±0.02	0.17 ±0	1.51 ±0.1	0.17 ±0
	鳙 粪 Feces of bighead	3.54±0.01	2.99 ±0.02	0.30 ±0.01	1.31 ±0.01	0.16 ±0.01	13.0 ±0	0.15 ±0	13.2 ±0.01	0.15 ±0
	死微囊藻 Dead <i>Micro-</i> <i>cystis</i> (50g)	4.38±0.03	10.85 ±0	1.03 ±0	9.37 ±0	0.98 ±0	8.11 ±0	0.80 ±0	7.50 ±0	0.63 ±0
备注 Remarks	每试验组水容量: 2000ml (2000ml water/group)									

表 4 鲢、鳙粪中氨基酸

Tab. 4 Release of amino acids from

样品成分 Composition of sample			氮 N	天冬氨酸 ASP	苏氨酸 THR	丝氨酸 SER	谷氨酸 GLU	甘氨酸 GLY	丙氨酸 ALA	胱氨酸 CYS
样品 Sample										
漂浮 在水中 (h) Time suspended in water	0	鲢粪	8.05	4.02	2.02	1.88	4.21	2.05	2.96	0.31
	24	Feces of silver carp	4.21	1.31	0.73	0.62	1.39	0.77	0.97	0.09
	48		4.40	2.00	1.02	1.11	2.03	0.87	1.39	0.07
	72		6.17	3.53	1.47	1.32	2.72	1.24	1.73	0.09
	0	鳙粪	8.48	3.92	2.12	1.93	4.46	2.20	3.21	0.39
	24	Feces of bighead	4.88	1.76	0.99	0.98	1.73	1.15	1.23	0.17
	48		5.06	2.07	1.08	1.20	2.20	0.97	1.57	0.07
	72		6.75	3.55	1.60	1.48	3.15	1.48	2.27	0.20
	0	微囊藻	10.85	4.46	1.98	1.81	4.71	1.82	2.93	0.18
	24	Microcystis	9.37	3.95	1.77	1.61	3.77	1.55	2.24	0.16
48	8.11		3.08	1.81	1.56	3.13	1.77	2.22	0.17	
72	7.50		3.07	1.51	1.42	2.44	1.29	1.76	0.13	

氮、磷释放率 (30°C)

from the fish feces and dead *Microcystis* (30°C)

释 放 率 (%) Rate of release											
24 h 采样 Sampling time 24 hr				48 h 采样 Sampling time 48hr				72 h 采样 Sampling time 72hr			
24 h		1 h		48 h		1 h		72 h		1 h	
N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
55.41 ±3.06	53.82 ±0.66	2.31	2.24	56.59 ±1.28	55.88 ±1.30	1.18	1.16	44.07 ±1.39	47.30 ±1.31	0.61	0.66
50.34 ±2.48	48.61 ±2.52	2.10	2.03	49.37 ±0.38	43.73 ±0.27	1.03	0.91	38.54 ±0.77	43.32 ±0.72	0.54	0.60
69.50 ±0.42	66.99 ±1.12	2.90	2.79	78.54 ±1.05	76.74 ±1.59	1.64	1.60	78.74 ±1.45	76.52 ±1.94	1.09	1.06
73.14 ±0.34	67.85 ±2.08	3.05	2.83	81.70 ±0.80	78.62 ±1.18	1.70	1.64	81.18 ±0.32	78.27 ±0.54	1.13	1.09
25.00 ±1.55	17.33 ±1.70	1.04	0.72	48.76 ±1.42	46.75 ±1.47	1.02	0.97	78.28 ±0.27	80.78 ±0.24	1.09	1.12

酸的释放率 (30°C)

feces of silver carp and bighead

缬 氨 酸 VAL	蛋 氨 酸 MET	异 亮 氨 酸 ILE	亮 氨 酸 LEU	酪 氨 酸 TYR	苯 丙 氨 酸 PHE	赖 氨 酸 LYS	组 氨 酸 HIS	精 氨 酸 ARG	脯 氨 酸 GRO	氨 基 酸 总 和	释放率 Rate of release (%)
2.62	0.48	2.29	3.20	1.52	1.56	1.63	0.45	2.30	0.95	34.45	66.44
0.86	0.14	0.71	1.03	0.44	0.58	0.65	0.19	0.63	0.45	11.56	
1.34	0.11	1.20	1.64	0.61	0.64	0.76	0.14	1.01	0.48	16.43	
1.60	0.17	1.44	2.02	0.81	1.11	1.16	0.25	2.28	0.84	23.79	
2.75	0.43	2.41	3.37	1.50	1.69	1.87	0.46	2.14	1.05	35.88	56.86
1.13	0.14	0.93	1.35	0.57	0.86	0.83	0.29	0.75	0.62	15.48	
1.47	0.11	1.31	1.79	0.61	0.68	0.83	0.14	1.06	0.52	17.68	
1.99	0.33	1.75	2.35	1.10	1.32	1.39	0.31	2.20	0.88	27.36	
2.44	0.48	2.17	3.20	1.42	1.65	1.73	0.44	3.32	1.29	36.03	17.46
2.04	0.41	1.80	2.50	1.11	1.45	1.33	0.32	2.72	1.00	29.74	
2.00	0.20	1.73	2.57	1.15	1.47	1.46	0.41	1.53	1.05	27.31	
1.73	0.24	1.59	2.17	0.92	1.17	1.11	0.24	1.62	0.72	23.14	

表5 东湖鲢、鳊氮磷排泄量的估算
Tab. 5 Estimates of nitrogen and phosphorus excretion of silver carp and bighead in East Lake

月 Month	水温 Temp (°C)	鲢 Silver carp				鳊 Bighead					
		体重 B. W. (g)	Nitrogen excretion		Phosphorus excretion		体重 B. W. (g)	Nitrogen excretion		Phosphorus excretion	
			氮排泄量 mg-N/h	g-N/月 Month	磷排泄量 mg-P/h	g-P/月 Month		氮排泄量 mg-N/h	g-N/月 Month	磷排泄量 mg-P/h	g-P/月 Month
1(31)	8.0*	100	0.7879	0.5862	0.0362	0.0269	50	0.2832	0.2107	0.0300	0.0223
2(28)	5.0*	100	0.6286	0.4224	0.0285	0.0192	50	0.2228	0.1498	0.0232	0.0156
3(31)	13.4	100	1.1088	0.8249	0.0501	0.0373	50	0.3898	0.2900	0.0405	0.0301
4(30)	22.0	150	3.0340	2.1845	0.1211	0.0872	153	2.0067	1.4448	0.1850	0.1332
5(31)	23.7	250	5.4945	4.0879	0.1791	0.1333	250	3.5070	2.6092	0.3154	0.2347
6(30)	27.5	290	8.2193	5.9179	0.2566	0.1848	265	4.8928	3.5228	0.4367	0.3144
7(31)	31.8	365	13.7491	10.2293	0.3974	0.2957	300	7.5028	5.5821	0.6634	0.4936
8(31)	30.3	800	26.3660	19.6163	0.5356	0.3985	750	15.2039	11.3117	1.3503	1.0046
9(30)	23.7	1050	21.7269	15.6434	0.3784	0.2724	1080	12.9221	9.3039	1.1580	0.8338
10(31)	21.0	1050	18.0131	13.4017	0.3094	0.2302	1300	12.4874	9.2906	1.1234	0.8358
11(30)	15.6	1100	12.6903	9.1370	0.2112	0.1521	1350	8.6428	6.2228	0.7779	0.5601
12(31)	12.0	1150	10.4838	7.7999	0.1643	0.1222	1350	6.6042	4.9135	0.5931	0.4413
年排泄量 Annual excretin (g)		90.0628				1.9596		54.853		4.918	
排泄量 Excretin (mg/g)		85.77				1.87		42.20		3.78	

* (分别用 15°C 及 18°C 代入公式 4、8、12、16 取得值) ÷ 2 × 2

表 6 东湖鲢、鳊前肠内含物氮磷含量 (占湿重%) 换算
(按前肠内含物组分百分比)

Tab. 6 Calculation of N and P (% wet) in the fore gut content of silver carp and bighead in East Lake
(According to the composition of fore gut content)

占饵料% (湿) % of food (wet)		氮 (%), N% of food (wet)					磷 (%), P% of food (wet)				
饵料种类 Food type		浮游植物 Phyt.	浮游动物 Zoop.	腐屑 Det.	细菌 Bact.	占比例 %	浮游植物 Phyt.	浮游动物 Zoop.	腐屑 Det.	细菌 Bact.	占比例 %
饵料含 N、P % of food (wet)		0.79	0.96	0.42	1.85*		0.0825	0.141	0.037	0.032*	

8 月 August (30°C), 鱼前肠内含物饵料组分 Composition of fore gut content of fishes											
鲢 Silver carp	组分(%) Composition %	30.95	3.5	33.08	32.47	100	30.95	3.50	33.08	32.47	100
	组分中氮、磷含量% N、P % of food	0.2445	0.0336	0.1389	0.6007	1.0177	0.0266	0.0049	0.0122	0.0104	0.054
鳊 Bighead	组分(%) Composition %	35.63	22.74	22.99	18.64	100	35.63	22.74	22.99	18.64	100
	组分中氮、磷含量% N、P % of food	0.2815	0.2183	0.0966	0.3448	0.9412	0.0306	0.0321	0.0085	0.0060	0.0772

年平均值 Annual mean value (5—31.8°C), 前肠内含物饵料组分 Composition of fore gut content of fishes											
鲢 Silver carp	组分(%) Composition %	23.67	11.42	38.32	26.59	100	23.67	11.42	38.32	26.59	100
	组分中氮、磷含量(%) N、P % of food	0.1870	0.1096	0.1609	0.4919	0.9494	0.0204	0.0161	0.0142	0.0085	0.0592
鳊 Bighead	组分(%) Composition %	16.40	39.87	25.45	18.28	100	16.40	39.87	25.45	18.28	100
	组分中氮、磷含量(%) N、P % of food	0.1296	0.3828	0.1069	0.3382	0.9575	0.0141	0.0562	0.0094	0.0059	0.0856

* 引用参考文献 [15]

2. 鲢、鳙排粪的氮、磷含量的估算

估算东湖鲢、鳙排粪的氮、磷含量, 必须掌握两种鱼前肠内含物的消化率。因此按鱼前肠内含物的组分的百分比^[7], 求出鱼前肠内含物的氮、磷含量(表 6), 然后折合各类食物氮、磷消化率, 换算出鱼前肠内含物氮、磷消化率(表 7)。根据表 5—7 的参数, 求出实验室(8 月份、30℃)和东湖天然条件(8 月份 30.3℃) 鱼的摄食量(表 8)。从表中可以看出, 两种条件下鱼的摄食量是接近的。为了反映客观情况, 我们采用东湖条件下(年水温 5—

表 7 鲢、鳙对东湖几种饵料氮磷消化率(按鱼前肠内含物组分百分比)(8 月, 30℃) 换算

Tab. 7 Calculation of N and P digestibilities of some foods in East Lake by silver carp and bighead (According to the composition of fore gut content of fishes) (August, 30℃)

元素 Element			氮 Nitrogen				磷 Phosphorus			
饵料种类 Food type			浮游植物 Phyt.	浮游动物 Zoop.	腐屑 细菌 Det. Bact.		浮游植物 Phyt.	浮游动物 Zoop.	腐屑 细菌 Det. Bact.	
饵料氮磷含量 N and P (% wet wt)			0.79	0.96	0.42*	(%)	0.0825	0.1410	0.037*	(%)
鲢 Silver carp	饵料氮磷消化率 Digestibility of N,P		39.20	94.31	74.49		47.74	90.23	68.97	
	前肠内含物 Fore gut content	组分(%) Comp.	30.95	3.50	65.55	100	30.95	3.50	65.55	100
		组分中氮磷含量 (%) N, P	0.2445	0.0336	0.2753	0.5534	0.0255	0.0049	0.0243	0.0547
		氮磷消化率(%) Digestibility of N, P	17.32	5.73	37.06	60.11	22.26	8.06	30.64	60.96
鳙 Bighead	饵料氮磷消化率 Digestibility of N, P		33.71	94.01	80.41		40.42	87.83	76.39	
	前肠内含物 Fore gut content	组分(%) Comp.	35.63	22.74	41.63	100	35.63	22.74	41.63	100
		组分氮磷含量(%) N, P	0.2815	0.2183	0.1745	0.6743	0.0294	0.0321	0.0154	0.0769
		氮磷消化率 Digestibility of N, P	14.07	30.43	20.81	65.31	15.45	36.66	15.30	67.41

* 在天然水体中细菌及腐屑往往在一起, 无法分离, 故其氮磷消化率采用腐屑消化率换算。

31.8℃) 鱼的摄食量、代谢量及生长量代入日粮平衡等式, 求出食物消化率(表 9)。然后将鱼的摄食量折合食物消化率算出鱼粪中的氮、磷含量, 最后求出每尾鲢、鳙一年生长其排粪的氮、磷总量(表 10)。

归纳表 10 的估算结果, 可知鲢经一年生长(增重 1.05 kg), 每增重 1 g (氮 26.29 mg 及磷 5.72 mg) 摄食氮、磷分别为 171.11 mg 及 10.67 mg, 回到水体中的氮、磷分别为 144.82 mg 及 4.95 mg。鳙经一年生长(增重 1.3 kg), 每增重 1 g (氮 26.40 mg 及磷 5.74 mg) 摄食氮、磷分别为 128.11 mg 及 11.45 mg, 回到水体中的氮、磷分别为 101.71 mg 及 5.71 mg。

表 8 鲢、鳙在不同摄食条件下氮日粮的比较 (8 月份, 30℃)

Tab. 8 Comparison of daily N ration of silver carp and bighead under different conditions of feeding (August, 30℃)

摄食条件 Conditions of feeding	鱼别 Fish	C 摄食量① Ingestion (g-N)	M 代谢量② Metabolism (g-N)	G 生长量③ Growth (g-N)	U 消化率④ Digestibility (%)
实验室条件下限制摄食量 Limited feeding in laboratory (30℃)	鲢 (B. W. 800g) Silver carp	1.66*	0.6328 (38.12%)	0.3799 (22.89%)	60.11*
	鳙 (B. W. 750g) Bighead	1.12*	0.3649 (31.73%)	0.3682 (32.88%)	65.31*
东湖天然条件下自由摄食 Feeding in East Lake (30℃)	鲢 (B. W. 800g) Silver carp	2.05**	0.6328 (30.87%)	0.3799 (18.53%)	49.40**
	鳙 (B. W. 750g) Bighead	1.20**	0.3649 (30.40%)	0.3682 (30.68%)	61.09**

① * 30℃ 时日摄食量, 代入公式 $C = \frac{M+G}{U}$ 求得 C 值。

** 8 月份 (30.3℃) 东湖鲢日摄食量 201.44 克^[13], 食物含氮 1.0177% (表 6); 鳙日摄食量 127.50 克^[13], 食物含氮 0.9412 (表 6)。

② 从表 5 中查得 8 月份值乘上 24 得 M 值。

③ 将 7 及 8 月份鱼体重 (表 5) 分别代入公式 (陈少莲手稿, 待发表), 分别求得两月值之差除以 31 便得 G 值。

④ * 见表 7。

** 代入公式 $U = \frac{M+G}{C} \times 100$, 求得 U 值。

表 9 东湖鲢、鳙对天然饵料中氮磷消化率换算 (周年, 5°—31.8℃)

(按鱼前肠内含物组分百分比)

Tab. 9 Calculation of N and P digestibility of natural foods by fishes in East Lake
(According to the composition of fore gut content of fishes) (Annual, 5—31.8℃)

鱼别 Fish	元素 Element	摄食量(g)/尾·年① Ingestion rate/ Ind. Y	代谢量(g)/尾·年② Metabolic rate/ Ind. Y	生长量(g)/尾·年③ Growth rate/ Ind. Y	消化率(%)④ Digestibility
鲢 Silver carp	氮 N	179.6645	89.3473 (49.73%)	27.6000 (15.36%)	65.09
	磷 P	11.2030	1.9366 (17.27%)	6.0042 (53.60%)	70.88
鳙 Bighead	氮 N	166.5380	54.6727 (32.83%)	34.3200 (20.61%)	53.44
	磷 P	14.8884	4.4327 (29.77%)	7.4664 (50.15%)	79.92

① 周年(5—31.8℃)摄食量: 鲢 18924g^[13], 氮含量 0.9494% (湿重), 磷 0.0592% (湿重)(表 6)。

周年(5—31.8℃)摄食量: 鳙 17393g^[13], 氮含量 0.9575% (湿重), 磷 0.0856% (湿重)(表 6)。

② 见表 5 年代谢量 ③ 见[13]年增长量。

④ $U = \frac{M+G}{C} \times 100$ 。()——表示占摄食量%, % of ingestion rate.

(四) 鱼类在东湖生态系统氮、磷循环中的作用初步评价

根据本研究结果,在有关实验数据范围内,我们对鲢、鳙在东湖物质循环中的作用,提

表 10 东湖鲢、鳙摄食过程中回归水体的氮磷量的估算
Tab. 10 Estimates of N and P returned to water from fish feeding in East Lake. (1983)

元素 Element	鱼别 Fish	取自水体 Taking from water		回归水体 Return to water				从水体输出 Out going from water		实际消耗量 Actual consumption rate
		摄食量 Ingestion rate		排泄量 Excretion rate		粪产量 Fecal production		生长量 Growth rate		
		g/尾·年 Ind. Y.	总数① Total kg/Y	g/尾·年 Ind. Y.	总数① Total kg/Y	g/尾·年 Ind. Y.	总数② Total kg/Y	g/尾·年 Ind. Y.	总数 Total kg/Y	
氮 N	鲢* Silver carp	179.6645	137423.76	89.3473	68340.95	62.7172	47971.82	27.6000	21110.99	28637.16 (16.46%)
	鳙** Bighead	166.5380	36520.78	54.6727	11989.40	77.5457	17005.31	34.3200	7526.17	
	总和 Total		173944.54		80330.35 (46.35%)		64977.13 (37.36%)		28637.16 (16.46%)	
磷 P	鲢* Silver carp	11.2030	8569.74	1.9366	1481.29	3.2622	2495.23	6.0042	4592.56	6229.90 (52.64%)
	鳙** Bighead	14.8884	3264.94	4.4327	972.07	2.9893	655.54	7.4664	1637.34	
	总和 Total		11834.68		2453.36 (20.73%)		3150.77 (26.62%)		6229.90 (52.64%)	

① 总数——放湖鱼种存活量 (占放养量 30%, 1983); * 鲢 764 891 尾; ** 鳙 219 294 尾。
Total—number survived (30% of stocked fishes): * silver carp 764 891; ** Bighead 219 294。
括弧内数值表示占摄食量%。

出以下几点看法:

1. 鲢、鳙能加速水体物质氮、磷的释放进程, 但鱼摄食过程中氮、磷的释放量不是左右东湖初级生产量的变动的主要因素

在测定鲢、鳙代谢过程中氮、磷的排泄量及鱼排粪的氮、磷释放率的试验中, 从量的方面比较了离体鱼粪及藻体在死亡过程中的氮、磷释放率, 前者为后者 2—3.8 倍。被鱼摄食的食物, 其物质的释放应始于被鱼摄食时, 因此计算释放率的时间应从食物被鱼摄食开始推算。被鱼摄食的食物氮、磷的释放量包括摄食过程中氮、磷排泄量及鱼类释放到水中的释放量。据此, 以微囊藻为例, 取得有关实验参数, 比较藻体在有鱼和无鱼的水环境中, 藻体的氮、磷释放进程 (图 1)。

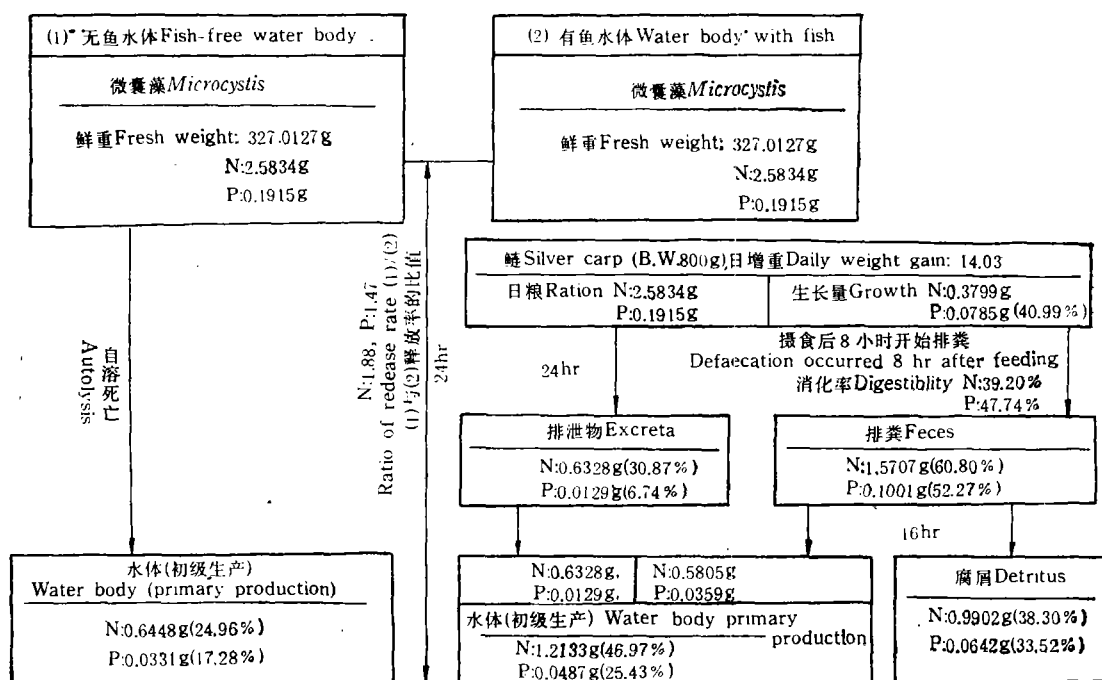


图 1 微囊藻在有鱼及无鱼水体中氮、磷的释放进程(32 h) 图示

Fig. 1 Process of release of nitrogen and phosphorus in *Microcystis* in water bodies with or without fishes

在有鱼的水体中藻体被鱼摄食后, 代谢过程排泄物回归水中, 在摄食状况下食物消化速度为 8 h^[10], 即摄食后 8 h 排粪。鱼粪在水中漂浮 24 h 内, 其氮、磷释放量约为离体鱼粪含量 50%, 以后释放量逐渐下降。因此我们以 24 h 为时间指标, 计算有鱼及无鱼水体的氮、磷释放量。从图 1 可以看出, 有鱼水体的藻体氮、磷释放率分别为无鱼水体的 1.88 及 1.47 倍。结果表明摄食浮游生物的鲢、鳙在利用水体初级生产量的同时加速了水体物质释放进程, 同时鱼类的摄食还增加了饵料生物的死亡率, 缩短了物质循环周期。

为了从量方面评价鱼在摄食过程中回归到水体的氮、磷对初级生产力的影响,我们以 1983 年东湖鱼产量的资料换算,将从鱼体回归水体的氮、磷年总量与水体氮、磷的年总量进行比较(图 2)。根据东湖养殖场提供资料,1983 年东湖的放养量为 345.3934 万尾,其中鲢 254.9636 万尾(占 73.82%),鳙 73.0980 万尾(占 21.16%),鲢、鳙占总放养量 94.98%。根据刘伏泉等(1982)^[5]关于东湖鲢、鳙生长速度的资料,按成活率 30% 计算,鲢年增重 803.14 吨(年增重率 1050%),鳙增重 285.08 吨(年增重率 2600%)。鲢、鳙占渔获量 80%,其它鱼类占 20%,因此年总增重为 1 360.275 吨(1983 年东湖渔获量为 830 吨,按回捕率 60% 计算^[8],年总产量为 1 383.33 吨,可见两值是接近的)。此外,1982 年留存量为 553.33 吨(东湖养殖场提供资料,1982 年渔获量 830 吨,其中鲢占 48.78%,鳙占 51.22%;按回捕率为 60%,则留存量为 40%)。东湖 2 龄鱼生长至 3 龄鱼时,鲢平均年增重率为 130.08%,鳙为 95.8%^[5],两种鱼年总增重量为 622.76 吨(鲢占总重 56.38%,鳙占 43.82%),那么留存鱼及放养鱼的年增重量总和为 1 983.035 吨。再按本研究取得鲢、鳙增重 1 克的氮、磷摄食量,排粪量、排泄量及生长量等参数,以及东湖水化学^[16],浮游物¹⁾有关氮、磷参数进行换算,取得水-饵-鱼之间关系值进行评价。

从图 2 可以看出鱼类的年摄食氮、磷量分别占水体浮游物的 17.99% 及 10.07%,贮存于鱼体的氮、磷分别占其摄食量的 16.71% 及 52.47%。鱼类通过摄食活动实际上仅消耗水体浮游物中氮、磷的 3.01% 及 5.28%。鱼类摄食量中大部分氮(83.28%)及磷(47.53%)离体后回归水体。鱼粪离体后有 53% 的氮及 51% 的磷释放到水体或鱼排泄物中的氮、磷在细菌的作用下纳入水体溶解性盐类的组成中,这一部分氮、磷占输入水体溶解性氮、磷(东湖外源输入氮 536.30 吨及 80.80 吨^[16])的 38.12% 及 8.56%,而仅占水体浮游物氮、磷的 11.78% 及 3.50%。鱼粪中有 22% 氮、磷随幸存的活藻回归到浮游植物的行列,这一部分仅占水体浮游植物氮、磷含量的 4.23% 及 1.69%。鱼粪中有 25% 氮及 27% 磷加入腐屑、细菌行列,这一部分仅占水体腐屑、细菌氮、磷含量的 4.82% 及 1.79%。由此可见,在鱼摄食活动过程中,利用水体中浮游物氮、磷营造机体仅是其中很少部分,未被鱼类利用的浮游物中的氮、磷分别占 96.99% 及 94.72%,所以大部分氮、磷循环是在浮游物之间(浮游植物-浮游动物-腐屑-细菌)的同化及异化相互作用过程中发生的。水生动物的代谢产物经过细菌的分解作用增加水体氮、磷营养物质的含量,而且大多数水生动物代谢产物主要为氨,其次是尿素及尿酸,水生动物排泄的氨氮可被藻类直接利用参加水体初级生产力,促进藻类的繁殖和生长。在一般情况下,浮游动物摄食量平均占体重 50%,同化率平均为 24%^[6]。而摄食浮游物的鲢、鳙日粮分别占体重 25.18% 及 17.00%(30℃),消化率分别为 55.14% 及 67.58%(30℃),由此可见浮游动物的代谢产物中氮、磷远远超过鱼粪。因此,从水体溶解性氮、磷局部作比较,鱼在摄食过程中起着促进水体物质释放的作用,这一点是肯定的;然而从水体浮游物所占的氮、磷值及系统外输入的氮、磷量的总体进行评价,可以认为:鱼在摄食过程中释放的氮、磷量,不足以左右东湖生态系统中初级产量的变动,影响初级产量变化的决定因素是系统外输入氮、磷及水体浮游物释放的氮、磷浓度。

1) 林婉莲, 1987。(手稿)

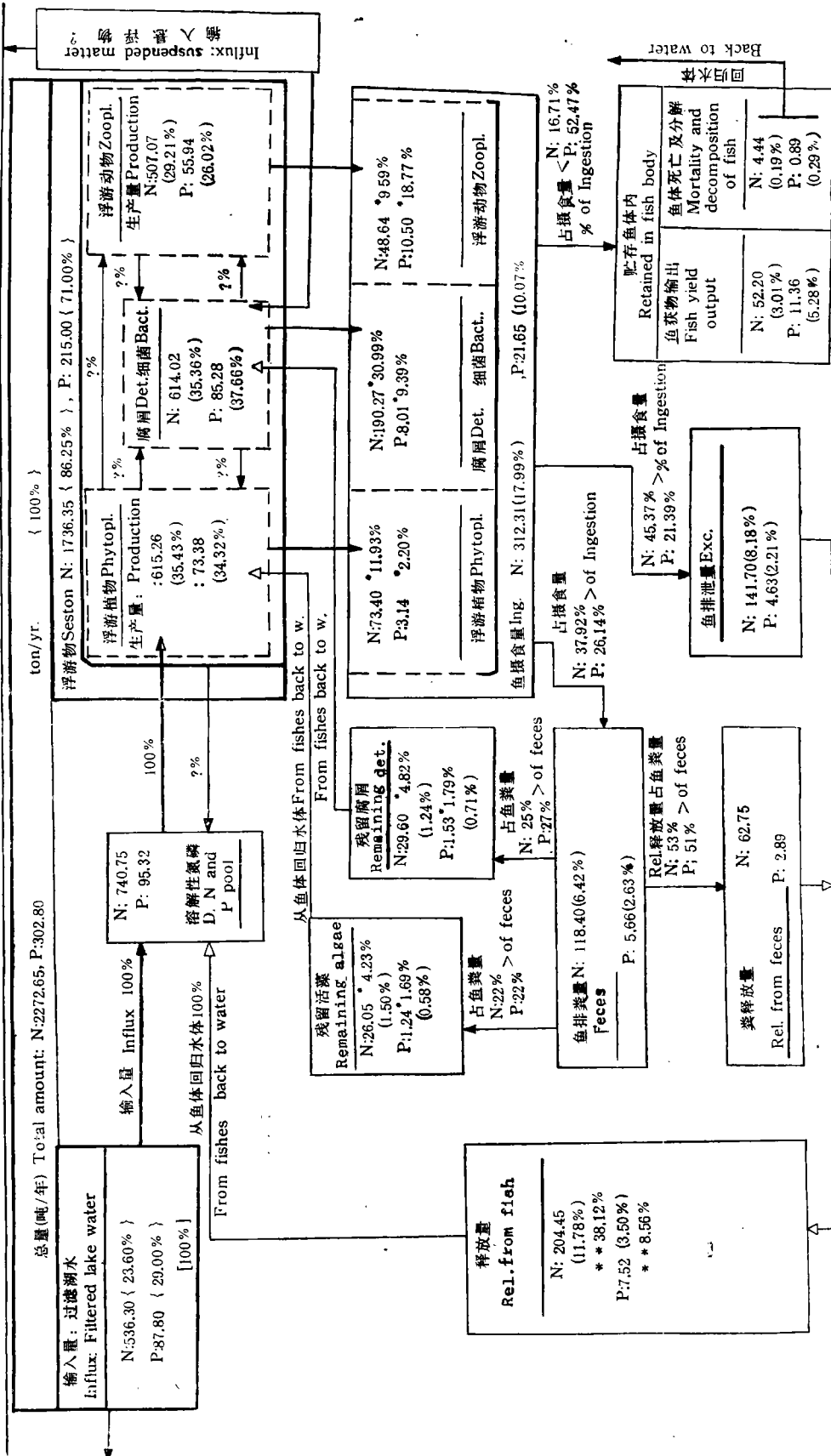


图 2 鱼粪在东湖生态系统的氮、磷循环中的作用(注:图右下方框内“鱼获物输出”改为“活鱼积贮”)

2. 鲢、鳙摄食对东湖次级生产量的影响

上面已经阐明鲢、鳙摄食过程中释放氮、磷量,不足以左右东湖初级产量的变动。那么鱼摄食对东湖浮游动物的数量变动的影响又是如何呢?众所周知,决定种群数量变动的因素有二,即种群自身内部调节(密度制约与非密度制约因素)及环境因素(气候、种间及食物因素)。从东湖浮游动物数量变动有关研究结果可认为温度、水体富营养化及鱼大量摄食是影响浮游动物数量变动因素^[21,22]。那么鱼摄食对浮游动物数量变动是不是起着主导作用呢?

关于东湖浮游动物的变动规律,已有详细报道^[14,21,22],我们仅从鱼的摄食量与浮游动物年产量关系进行分析,根据鳙的食性资料,其食物选择指数表明,浮游动物是鳙喜食的食物,由于鳙的鳃耙结构所决定,鳙摄食的浮游动物中大部分是大型浮游动物(枝角类及挠足类),约占浮游动物总数 90% (体积)以上,其余为少数轮虫及原生动物。由于东湖枝角类及挠足类数量变动资料比较详细,因此,以鳙年摄食量中浮游动物与水体大型动物的年产量及 P/B 系数,查明两者的关系。例如 1981 年及 1982 年东湖鳙放养量分别为 17.5988 万尾及 121.5098 万尾。按成活率 30% 计算 1981 及 1982 年鳙的摄食量分别为 366 吨及 2525.83 吨,枝角类及挠足类年产量分别为 5850.88 吨及 4808.96 吨, P/B 系数分别为 48.01 及 67.92。1981 年由于鳙放养量少,鳙年摄食量仅占被食种群生产量 6.3%,可以认为鱼的摄食对大型浮游动物数量变动影响不明显;而 1982 年由于鳙放养量较大(为 1981 年的 7 倍)其年摄食量占被食种群的生产量 52.52%,可以认为由于鱼的摄食,引起水体被食种群的密度下降。在东湖水体中营养源是丰富的,在这种情况下,被食种群的生物量周转率随着其密度下降而提高(1982 年比 1981 年提高 41.47%),也就是说其生物量周转期缩短了。所以 1982 年被食种群生产量下降不明显(比 1981 年下降 17.81%)。可见鱼摄食量不超过被食种群再生产潜力时,鱼的摄食对被食种群密度调节起着积极作用。从东湖历年鲢、鳙渔获量随着放养量增加而提高以及历年浮游动物的波动范围^[14,21,22]表明,我们上述判断是符合于客观实际的,也是反映了种群数量变动自身调节与环境因素关系的一般规律。

3. 东湖渔业与水体富营养化

有关东湖浮游植物的演变及评价东湖富营养化的资料认为东湖富营养化作用加速的人为原因有:①东湖周围人口的增加和工农业的发展,使东湖氮、磷负荷量大幅度增加:是东湖富营养化的最主要原因,②渔业利用的强化,为了提高鱼产量过量地投放草鱼,使原来全湖均匀分布的水草几乎绝迹,从而促使浮游植物的种群增长^[19],根据东湖水体浮游植物的演变及种群数量,自 1973 年以来增加鲢、鳙的放养量,而且生产量也逐年提高。早在 50 至 60 年代东湖由于过量放养草鱼,破坏了东湖生态平衡,致使东湖由“富营养-甲藻、硅藻型”逐渐演变为“富营养-蓝藻、绿藻型”的富营养化湖泊。那么 70 年代以来大量放养鲢、鳙,对东湖的富营养化的作用又是如何呢?根据本研究的结果表明,①鲢、鳙摄食过程加速水体氮、磷释放过程,但其释放量不足以左右东湖水体初级生产量的变动;②鲢、鳙摄食过程一方面提高了对初级生产量的利用率,另一方面却通过鱼体积贮从水体移出

大量氮、磷(年移出量分别为 52.20 吨及 11.36 吨); ③鲢、鳙大量摄食浮游动物, 降低了被摄食种群的密度, 缩短被摄食种群生物量周转期, 这样水体浮游动物的相对稳定, 也就促进了浮游植物相对平衡。据上述三点, 我们认为自 70 年代以来, 东湖渔业不仅提供了鱼产品, 提高了经济效益, 而且也延缓了东湖水体富营养化的进程, 对东湖的生态平衡起着调节作用。

参 考 文 献

- [1] 中国医学科学院卫生研究所编, 1974. 水质分析法. 113—115 页. 人民卫生出版社。
- [2] 中国土壤学会农业化学专业委员会编, 1983. 土壤农业化学常规分析法. 95—97 页. 科学出版社。
- [3] 立川贤一、朱志荣、三浦泰藏, 1986. 用浅水湖泊型鱼探仪估算东湖鱼群数量. 水生生物学报, 10(4): 311—326。
- [4] 湖北省水生生物研究所第四研究室生态组, 1976. 武昌东湖渔获物的分析研究及合理放养的初步探讨. 水生生物学集刊, 6(1): 16—26。
- [5] 刘伏泉、谢洪高、黄尚务、黄根田、邓宝玲, 1982. 略论武昌东湖鲢鳙鱼种的年轮形成及湖泊放养的规格问题. 水产学报, 6(2): 130—138。
- [6] 何志辉, 1983. 淡水生物学(下册). 农业出版社。
- [7] 陈少莲, 1982. 东湖放养鲢鳙鱼种的食性分析. 水库渔业, (3): 21—26。
- [8] 陈少莲、胡传林、华元渝, 1983. 鲢、鳙肌肉生化成分的分析. 水生生物学集刊, 8(1): 125—132。
- [9] 陈少莲、胡传林、田玲、孙晓雯, 1985. 鲢鳙鱼种对透明藻消化利用与研究. 鱼类学论文集(第四辑): 163—170。
- [10] 陈少莲、胡传林、张水元, 1986. 鲢、鳙在天然条件下的摄食强度 (I) 鲢、鳙鱼种在夏季的摄食强度. 水生生物学报, 10(3): 277—285。
- [11] 陈少莲、胡传林、刘肖芳、田玲, 1989. 论鲢、鳙对微囊藻的消化利用. 水生生物学报, 13(1): 49—59。
- [12] 陈少莲、刘肖芳, 1989. 鲢、鳙对鱼粪的消化利用研究. 水生生物学报, 13(3): 250—258。
- [13] 陈少莲、华元渝、朱志荣、田玲, 1989. 鲢、鳙在天然条件下的摄食强度 (II) 武汉东湖鲢、鳙周年摄食强度的研究. 水生生物学报, 13(2): 114—123。
- [14] 陈雪梅, 1985. 武汉东湖桡足类生物量及生产量的初步研究. 水生生物学报, 9(2): 144—157。
- [15] 张元尤, 1958. 微生物学. 47 页. 高等教育出版社。
- [16] 张水元、刘衡霞、黄耀桐, 1984. 武汉东湖营养物质氮磷的主要来源. 海洋与湖泊, 15(3): 203—213。
- [17] 岩田胜哉、陈少莲、刘肖芳, 1986. 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. 水生生物学报, 10(4): 298—310。
- [18] 费鸿年译(勃朗, M. E. 著), 1957. 鱼类生理学(上册). 科学出版社。
- [19] 饶钦止、章宗涉, 1980. 武汉东湖浮游植物的演变(1956—1975)和富营养化问题. 水生生物集刊, 7: 1—18。
- [20] 倪达书、蒋雯治, 1954. 花鲢和白鲢的食料问题. 动物学报, 6(1): 59—72。
- [21] 黄祥飞、胡春英, 1984. 武汉东湖透明藻和隆线藻一亚种的种群变动和生产量. 水生生物学集刊, 8(4): 406—417。
- [22] 黄祥飞、陈雪梅、伍焯田、胡春英, 1984. 武汉东湖浮游动物数量和生物量变动的研究. 水生生物学集刊, 8(3): 345—358。
- [23] Mori, S. and Yamamoto, G., 1975. Productivity of communities in Japanese inland waters. Japan, Univ. of Tokyo press.
- [24] Solorzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by phenol hypochlorite method. *Limnology and Oceanography*, 14(5): 799—801.
- [25] Андроникова, И. Н., 1980. Эвтрофирование мезотрофного озера. изд. «Наука» ленинград.
- [26] Винберг, Г. Г., 1956. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Издательство белгосуниверситета имени В. И. Ленина Минск.
- [27] Шилькрот, Г. С., 1979. Типологические изменения режима озер в условиях культурных ландшафтов. изд. «Наука» москва.
- [28] Шульман, Г. Е., 1978. Особенности азотистого обмена у рыб при плавании. Элементы Физиологии и Биохимии общего и активного обмена у рыб. «Наукова Думка» киев, С. 87—99.
- [29] Шульман, Г. Е., 1978. Липиды и их использование при плавании рыб. Элементы Физиологии и биохимии общего и активного обмена у рыб. С. 100—121.

THE ROLE OF SILVER CARP AND BIGHEAD IN THE CYCLING OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN THE EAST LAKE ECOSYSTEM

Chen Shaolian Liu Xiaofang and Hua Li

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan 430072)

Abstract

Through the metabolic processes after feeding, some of the nutrients from the food of the silver carp and bighead become part of the fish body, and some return to the water body as faeces and excreta, joining the recycling of substances in the ecosystem. Therefore, the processes of feeding, metabolism and defaecation in the fish are accompanied by a series of feedbacks. This study investigated the excretion rate of nitrogen and phosphorus by the silver carp and bighead during starvation and the rate of release of nitrogen and phosphorus from the fish faeces and *Microcystis* in waters with and without fish. From these results, the role of the two fish species in the cycling of nitrogen and phosphorus in the East Lake ecosystem can be assessed, using parameters from some other studies for calculation.

(1) The feeding processes of the silver carp and bighead accelerated the release of nitrogen and phosphorus from the algae bloom. The rates of release of nitrogen and phosphorus in the water with fish were 1.88 and 1.41 times respectively the rates in the water without fish. However, the amounts of nitrogen and phosphorus released did not significantly influence the dynamics of the production from the algae bloom in the East Lake. The amount of nitrogen released from faeces and excreta was 11.45% of the total nitrogen, and that of phosphorus released was 3.4% of the total phosphorus in the water body.

(2) The feeding process of the silver carp and bighead does increase the utilization of the aquatic production, but, on the other hand, it takes large quantities of nitrogen (52.20 tons) and phosphorus (11.36 tons) out of the water, which were 3.01% and 5.28% of the total nitrogen and phosphorus respectively in the seston in the water body.

(3) The intensive feeding of zooplankton by the two species decreased the densities of the population, and shortened the turnover period of the prey populations. The production by the prey populations in 1982 was 1.05 times that in 1981, while the number of silver carp and bighead stocked in 1982 was 7 times that in 1981. In these two years, food consumption by these two fish species took 31.73% and 0.63% respectively of the total production by the prey population; the P/B coefficient of the prey populations was 67.92 and 48.01 respectively. Thus, the relative stability of the zooplankton also stabilized the phytoplankton populations.

From the three points mentioned above, we think that, since the 1970s the fisheries in the East Lake have not only supplied fishery products and increased the economic efficiency, but also slowed down the process of eutrophication of the East Lake. The fisheries have a role of regulation on the ecological balance of the East Lake.

Key words *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*, *Microcystis*, Faeces, Excreta, Nitrogen, Phosphorus, Excretion rate, Release rate