

武汉东湖中浮游植物与鲢鱼 相互作用的量的评价

三浦泰藏

朱志荣

(京都大学理学部附属大津临湖实验所,日本) (中国科学院水生生物研究所,中国,武汉)

提 要

以东湖郭郑湖为研究对象,将其生态系统中在质和量方面占重要地位的浮游植物-鲢作为亚系统,研究它们之间的相互作用。

比较了夏季两个月中鲢的生长和让其充分摄食后的生长,发现最初20天没有差异,20天后两者开始出现差别。

将两者的相互作用模型化,计算的结果是,浮游植物被鲢摄食后密度下降,而鲢得不到充足的饵料,导致生长缓慢。

观察此期间的氮平衡,浮游植物所生产的氮几乎全部被鲢利用,但浮游植物所需要的78%的氮又是鲢提供的。这说明在湖区整个生态系统中,此相互作用系统在量的方面是很重要的。

浮游植物与以其为食的鲢所形成的相互作用系统,无论从质还是从量来说都是东湖生态系统中最重要亚系统。本文首先分析浮游植物与以其为食的鱼类之间相对量的关系,然后尝试对这个亚系统在东湖整个生态系统中的作用作出量的评价。

上述分析结果对预测东湖生态系的变化及制订人工管理方案将有很大的帮助,同时有助于确定经济效益高的鱼类生产系统。就水质管理而言,在开发和应用鱼类对浮游植物进行生物防除,防止湖泊富营养化方面,上述分析结果亦有应用价值。

本研究承日本文部省提供海外学术调查费(研究课题号5804033,59043033),系与中国科学院水生生物研究所淡水生态研究室合作的日中共同研究项目(日本的研究代表为三浦泰藏;中国的研究代表为刘建康)“有关东湖水质管理与合理的渔业生产的生态学”的一部分。

东 湖 概 况

东湖位于长江中游的武汉市,整个湖泊由人工堤分隔成几个湖区,本研究限于郭郑湖区,面积约10.7平方公里,最大深度为4.5米,一般水深仅3—4米,湖底平坦。近几年来湖中水草几乎绝迹,初级生产者只有浮游植物,其生产力相当高,由此判断该水体为富

1986年3月15日收到。

营养型湖泊(王、沈,1981)^[1]。

亚系统的限定

为了便于分析,只以鲢作为研究对象。鲢占整个放养总数的 70% 以上,为求简化,假定渔获量的大部分为 1⁺ 鱼。

东湖中鲢的生长期为 4 月份到 11 月份止。7 月中旬至 9 月中旬两个月内水温高达 30℃ 左右,鱼类在此期间生长最为迅速(刘伙泉等,1976)^[2]。故本研究的鱼类样品均取自上述 60 天内。

此外岩田等已求出这两个月中鲢的一些生长参量(摄食量、同化量、维持代谢量、运动代谢量等)^[3]。

鲢的生长率和摄食速率

刘伙泉等(1976)指出,放养时全长 15 厘米以下的鲢的回捕率一般远低于 1%。而 15 厘米以上时则回捕率很高,为 21%。因放养的 15 厘米以下的鲢易被凶猛鱼类所捕食,造成很高的死亡率(朱志荣等,1976)^[4]。所以近几年放养的鱼种长度规格均大于 15 厘米。

刘伙泉等(1976)还指出,放养时全长 15 厘米的鱼种到 7 月份平均体重为 365 克,9 月份为 1 公斤左右^[2]。这个期间的测定值符合逻辑斯蒂曲线,用下式表示:

$$W(T) = 1.131 / (1 + 2.272e^{-0.0568T}) \quad (1)$$

T : 7 月 15 日实验开始后的天数;

W : 体重(公斤、湿重)。

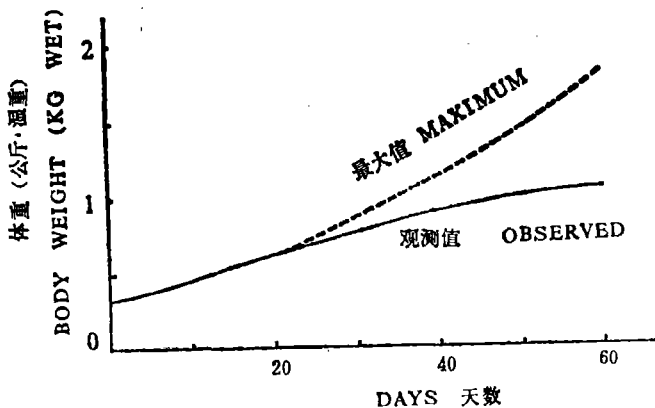


图 1 鲢在东湖生长最旺盛的 60 天中的生长曲线(实线)和充分摄食的鲢的生长曲线(虚线)

Fig. 1. The growth curve of silver carp during the most productive 60 days in Donghu (solid line) and that of sufficiently fed fish (broken line).

1) 参看王骥、沈国华(1981)报告中的图 13 以及有关部分。

图 1 中的实线为鲢 60 天的生长曲线。将其与摄食条件好、能充分摄食的鲢的生长作一比较,可评价上述鲢在 60 天中的生长情况。

据岩田等的推算^[3],鲢在湖中的充分摄食量为:

$$C_{MAX} = 1.281W^{0.834} \quad (2)$$

C_{MAX} : 每天最大摄食量(克,湿重)

W : 体重(克,湿重)

用湿重计算的同化率为 15%(岩田等,1986,待刊)^[3],则每天的同化量(A_{MAX} ,克,湿重)为:

$$A_{MAX} = 0.15C_{MAX} = 0.192W^{0.834} \quad (3)$$

岩田等指出^[3],总代谢量(包括标准代谢量和运动代谢量)(M 、克,湿重)为:

$$M(T) = 0.0686W(T)^{0.900} \quad (4)$$

假设从 T 到 $T+1$ 的最大生长量为 ΔW_{MAX} (克,湿重),则:

$$\Delta W_{MAX} = A_{MAX} - M(T) \quad (5)$$

因此,时间 $T+1$ 时鱼的体重为

$$W_{MAX}(T+1) = W_{MAX}(T) + \Delta W_{MAX}(T) \quad (6)$$

将式(2)–(4)代入式(6),

$$W_{MAX}(T+1) = W_{MAX}(T) + 0.192W(T)^{0.834} - 0.0686W(T)^{0.900} \quad (7)$$

用式(7)可求出任意 $W_{MAX}(T)$,在图 1 中用虚线表示。

比较两者可清楚看出,实验开始后的 20 天内两者没有差别,20 天以后差异逐渐加大。

根据湖中的观测值,鲢生长(式(1))时的摄食量(C ,克,湿重)可用下式求出。

$$\Delta W(T) = W(T+1) - W(T) \quad (8)$$

$$A(T) = \Delta W(T) + M(T) \quad (9)$$

将(4)式代入(9)式:

$$A(T) = \Delta W(T) + 0.0686W(T)^{0.900} \quad (10)$$

$$C(T) = A(T)/0.15 \quad (11)$$

为了了解 60 天中鲢的摄食充足度($S(T)$),比较了用观测值推算的实际摄食量和按其体重计算的最大摄食量。从式(2)和式(11)得出:

$$S(T) = C(T)/1.281W(T)^{0.834} \quad (12)$$

计算式(12)可知,第 11 天开始 S 值由 1 逐渐变小,第 20 天降为 0.91,开始出现生长差(图 1)。第 40 天为 0.72,最后一天为 0.63,即只得到 63% 的充足度。虽然湖中的鲢在这个时期中生长速度最高,但大部分时间内仍处于饵料不足的状态。

浮游植物和鲢之间的相互作用

浮游植物的瞬时增殖率(B)不是恒定的,而是与密度有很大的关系。同时,水体的容纳能力有上限值。本研究以 B_{MAX} 作为没有密度影响时的速度,以 Y_{MAX} 作为最大现存

量,假设 B 根据下述密度依赖公式变化,即:

$$B = B_{\text{MAX}} (1 - Y/Y_{\text{MAX}}) \quad (13)$$

Y ——任意时间中的现存量

假如鱼类完全停止摄食,浮游植物的增殖量可由下式求出:

$$dY/dT = B_{\text{MAX}}(1 - Y/Y_{\text{MAX}})Y \quad (14)$$

用王、沈(1981)发表的数据计算每单位面积 (m^2) 水柱的最大现存量为 1.5 克氮¹⁾, 最大瞬时增殖率 (B_{MAX}) 为 0.79, 因此(14)式可以写成:

$$dY/dT = 0.79(1 - Y/1.5)Y \quad (15)$$

用式(1)和(8)–(12)可求出每尾鲢的摄食速度, 3 月份鲢的总数估算约 100 万尾(立川等手稿)。而前一年未放养的鱼为 300 万尾左右, 故推测越冬期有 2/3 的鱼死亡。冬季过后, 水体环境条件好转, 且放养的鱼种全长均大于 15 厘米, 可以不考虑因凶猛鱼捕食而死亡的部分。由此推测 7 月份存活的鱼为 100 万尾。

根据上述推测, 在生长最快时期中, 鲢初期的平均现存量约为 36 克/米² (氮量为 0.64 克/米²), 期末为 100 克/米² (氮量为 1.87 克/米²)²⁾。这个时期过后马上进行了捕捞, 渔获量为 600—800 吨, 每单位面积为 56—79 克/米², 即渔获量占 56—75%。推测 1983 年捕捞后湖中存活的鱼有 36 万尾^[3], 捕捞了 60% 的鱼, 这说明上述估计数据比较真实。

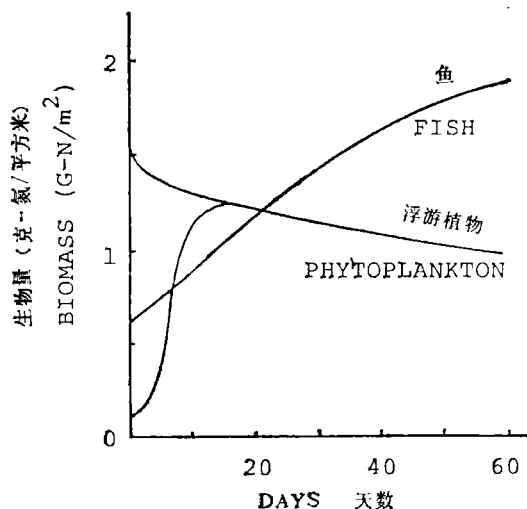


图2 在东湖鱼类生长最旺盛的60天中, 鲢生物量的生长曲线和浮游植物生物量的生长曲线(克, 氮/米²)。浮游植物的曲线中, 示最初起始生物量(1.5]克, 氮/米²)及该值十分之一的量(0.15 克, 氮/米²)。

Fig. 2 The biomass growth curve of silver carp and that of phytoplankton during the most productive 60 days in Donghu (g N/m^2). In phytoplankton curves in case of the maximum initial biomass (1.5 g N/m^2) and 1/10 of that (0.15 g N/m^2) were drawn.

1) 用岩田等^[3]文章中有关换算成含氮量的公式: 氮含量(克, 氮)=湿重 $\times 0.00702$; 最大现存量按 60 克/米² 鲜藻及 3.5 米水深估算。

2) 用岩田等^[3]文章中有关换算成含氮量的公式: 氮含量=湿重 $\times 0.0190$ 。

湖中的浮游植物(Y), 只有净生产部分(ΔY)使现存量增大, 但同时又被鱼摄食而减少。可用下述公式将每个体的摄食量($C(T)$)换算成每平方米的氮量($C'(T)$)。

$$C'(T) = 0.000656 C(T) \quad (16)$$

由式(16)得出式(17):

$$Y(T+1) = Y(T) + \Delta Y(T) - C'(T) \quad (17)$$

但鲢摄食浮游植物经消化后在粪便中仍有 22% 是存活的, 能进行光合作用 (Miura 和 Wang, 1985)^[5], 因此式(17)需改成式(18):

$$Y(T+1) = Y(T) + \Delta Y(T) - 0.78C'(T) \quad (18)$$

用 Runge-kutta 法计算式(15), 求出 $Y(T)$, $\Delta Y(T)$, 用式(1)、(8)–(11)和(16)求出 $C'(T)$, 代入式(18)便可计算。另外, 让 Y 的初期值 ($Y(0)$) 从 $0.1 Y_{\text{MAX}}$ 到 Y_{MAX} 变化, 分别计算了 60 天的 Y 值。

计算结果如图 2 所示。浮游植物 $Y(0)$ 从 $0.1 Y_{\text{MAX}}$ 到 Y_{MAX} 之间的值都包括在这两条线中间。当浮游植物现存量低时其增殖速度快, 同时初期由于被鱼所摄食的现存量少, 故浮游植物迅速增长, 至 2 周末其曲线便趋近于初期值 Y_{MAX} 的曲线。随着鱼的生长, 鱼所摄食的浮游植物的量越来越大, 使浮游植物的现存量下降, 直到 Y_{MAX} 的 63%。

可见浮游植物现存量的下降与鲢摄食的充足度下降有密切的关系。

相互作用中的氮平衡

鱼所摄食的浮游植物的氮的利用如图 3 所示。图中值均以个体平均值表示。将从式(8)–(11)求出的湿重换算成氮量, 便可得到这些量。尽管鱼体增大, 但鱼的摄食量并不随之增大, 在生长的后期反而下降。岩田等^[3]指出, 以氮作为指标时的同化率是 39.2%,

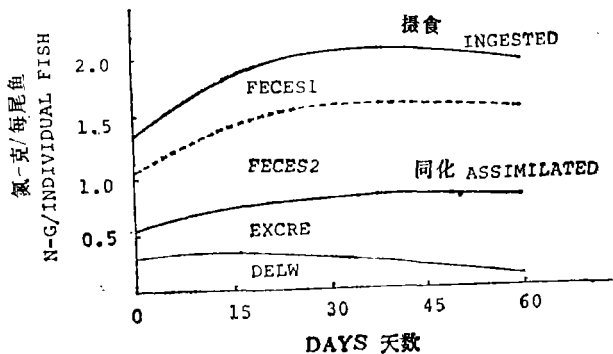


图 3 1+年龄组的鲢在生长最旺盛的60天中氮平衡(克,氮/鱼/天)。INGESTED: 摄食, ASSIMILATED: 同化, FECEs1: 鱼粪中存活的藻, FECEs2: 鱼粪中死亡的藻, EXCRE: 排泄, DELW: 生长增量。

Fig. 3 The nitrogen balance of 1+ silver carp during the most productive 60 days (g-N/fish/day). INGESTED: Ingestion, ASSIMILATED: assimilation, FECEs1: Viable algae in feces, FECEs2: Dead algae in feces, EXCRE: Excretion, DELW: Growth increment.

60.8% 作为粪排出的。如前所述,鱼摄食的浮游植物经排出后,尚有 22% 是存活并回归到水中(图 3 FECES1)。因此进入分解过程的粪占 38.8%(图 3 FECES2)。

不管鱼的摄食量大小如何,其所排泄的氮量是由鱼体的大小来决定的。生长后期氮量占的比例大,达 30% 以上(图 3 EXCRE),因此用于生长的氮量(图 3 DELW)极小。

将这些数值换算成单位面积(米²)的数值,包括浮游植物的活性,60 天的氮平衡如图 4 所示。以最大值 Y_{MAX} 的 10% 作为浮游植物的初期现存量 $Y(0)$ 。

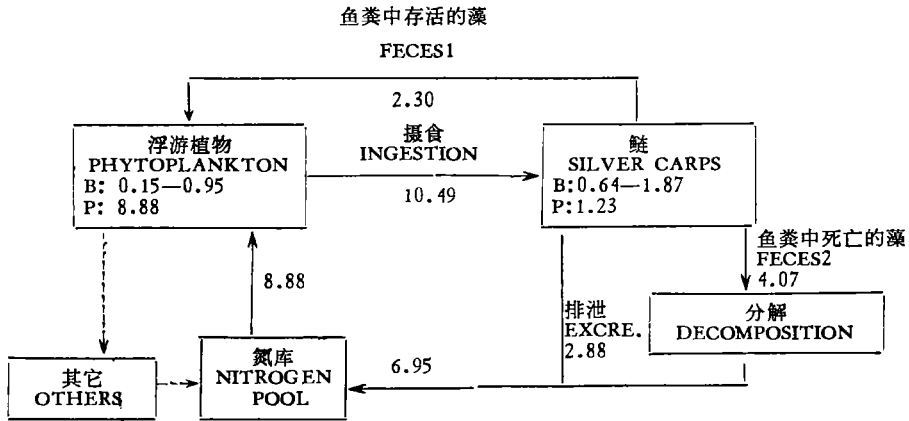


图 4 在生长季节中该亚系统的氮的总收支(克,氮/米²);“其他”是指鲢和浮游植物以外的生物类群。B:生物量, P:生产量。

Fig. 4. The total nitrogen budget of the subsystem in the season(gN/m²). Others include biotic groups other than silver carp and phytoplankton. B: Biomass, P: Production.

浮游植物的净生产量(图 4P)为 8.88 克,氮/米²,比鲢所需要的摄食量(图 4 Ingestion) 10.49 克,氮/米²低,其不足的部分由粪中回归的 2.30 克,氮/米²藻类(图 4 FECES1)补充,再次为鱼所利用。这样增加了浮游植物的现存量,使氮收支平衡。

浮游植物生产所需要的氮为 8.88 克,氮/米²,而经鲢的排泄(图 4 EXCRE.)和从进入分解过程的粪(图 4 Decomposition)回归的只有 6.95 克,氮/米²。剩下的 1.93 克,氮/米²便由流入湖泊的污水,从底泥中的回归以及其他生物群的活性而生成的各种氮源来补充。

在氮的收支图中,只将食浮游植物的鱼作为浮游植物的相互作用者,尽管忽略了浮游动物的作用,但浮游植物的变化并未脱离东湖的现实。因为在夏季生产期中,浮游植物和以其为食的鱼之间,从量的方面来讲起着很大的作用。而其他生物(如浮游动物)所起的作用较小。

存在的问题

此分析中存在几个问题。首先需要指出的是在进行分析时,假设摄食浮游植物的鱼的种群是由 1⁺ 年龄组的鲢组成。东湖的鲢种群中个体数少的高龄鱼也包括在内。鱼越大,每单位体重的生产诸参量越小,因此,对其相互作用可能出现评价偏高的现象。另外也需要分析占现存量 20% 的鳙。鳙除摄食浮游植物以外,还摄食一部分浮游动物,若将

其包括在鲢内,对鱼和浮游植物的相互作用也会出现评价偏高的现象。

其次,数值计算所用的各参数中,有关总代谢的参数里包括运动代谢量,而湖中的行动量用的是假设值^[3]。鱼的运动代谢量在总代谢量中占的比例很大,尤其是对游泳迅速的鱼更需注意。因此需要取得鱼在湖中的运动量,游泳速度等有关资料。

最后必须指出的是,浮游植物和鱼以外其他生物群形成的相互作用系统未纳入模型。特别值得提出的是需要研究与浮游动物有关的相互作用系统。

本研究虽然存在以上几个问题。不过根据这种近似的、粗略的研究,可大致了解东湖生态系统的动态。这对制定下阶段的研究计划是大有帮助的。同时,此分析也可作为水质管理及鱼类生产管理的基础资料来使用。

致 谢

此研究若没有中国科学院水生生物研究所研究人员的支持和协作是不能成功的。借此机会表示感谢。

对提供分析资料及宝贵意见的刘建康、章宗涉、陈少莲、刘肖芳、王骥、王建等中国研究人员以及岩田勝哉、立川賢一等日本研究人员均表示谢意。

最后衷心感谢将此文译成中文的水生生物研究所编译室的张春梅女士。

参 考 文 献

- [1] 王骥、沈国华,1981。武汉东湖浮游植物的初级生产力及其若干生态因素的关系。水生生物学集刊,7(3): 295—311。
- [2] 湖北省水生生物研究所第四室鱼类生态组,1976。武昌东湖渔获物的分析及合理放养的初步探讨。水生生物学集刊,6(1): 16—26。
- [3] 岩田勝哉、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。本刊待刊。
- [4] 朱志荣、林永泰、方榕乐,1976。武昌东湖蒙古红鲢和翘咀红鲢的食性及其种群控制问题的研究。水生生物学集刊,6(1): 36—52。
- [5] Miura, T. and J. Wang, (三浦泰藏, 王骥) 1985。Chlorophyll a found in feces of phytoplanktonivorous cyprinids and its photosynthetic activity. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22: 2636—2642。

THE INTERACTION BETWEEN PHYTOPLANKTON AND SILVER CARP IN DONGHU (EAST LAKE)—A QUANTITATIVE EVALUATION OF THE INTERACTION

Taizo Miura

(Otsu Hydrobiological Station, Kyoto University, Japan)

Zhu Zhirong

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, China, Wuhan)

Abstract

The phytoplankton-silver carp subsystem in the Guozhenghu basin ecosystem of Donghu (East Lake) was examined for the purpose of a quantitative evaluation of the interaction between the two.

The growth rate of silver carp during the most productive 60 days in the lake and that of the sufficiently fed fish were compared. The result indicates that no difference existed between the rates in the first 20 days, while in the later 40 days the rate of the lake fish was lower than that of the sufficiently fed fish.

The result of application of the simulation technique to the interaction reveals that such a retardation in growth of the lake fish was due to lowering of the biomass of phytoplankton caused by fish feeding and consequently to insufficient ingestion by the fish.

The nitrogen budget of the subsystem indicates that the phytoplankton mass produced in the season was entirely consumed by the carp and that the carp supplied 78% of the total nitrogen source which was required by phytoplankton. The result suggests that the interacting subsystem is quantitatively the most important one in the lake.

Key words Interaction nitrogen budget, phytoplankton silver carp