

综 述

湖泊食鱼性鱼类渔业生态学的理论与方法

谢松光 崔奕波 李钟杰

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

ECOLOGICAL STUDIES ON LAKE FISHERIES ON PISCIVOROUS FISHES: THEORY AND METHODS

XIE Song-guang, CUI Yi-bo and LI Zhong-jie

(Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

关键词: 湖泊渔业, 食鱼性鱼类, 饵料鱼类, 下行效应

Key words: Lake fisheries, Piscivorous fishes, Forage fishes, Top-down effects

中图分类号: S964.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2000)01-12

食鱼性鱼类是指鱼类群落中以鱼类为食的鱼类,它们处于较高的营养级,是水生态系统中主要的顶级消费者。食鱼性鱼类渔业是北美湖泊渔业的主要方式,已形成了比较完善的理论与方法。一些研究表明,食鱼性鱼类的放养通过营养串联效应(Trophic cascading effect)有改善湖泊水质的作用^[1-2]。我国有关湖泊食鱼性鱼类渔业生态学研究还非常有限。

长江中、下游湖泊水深一般不超过5m,自然条件下水草茂密。由于湖区人口密集,这些湖泊的渔业利用强度一般很高^[3]。人工放养营养级较低而渔产量较高的经济鱼类如草鱼、鲢、鳙、鲤等,是这些湖泊主要的渔业方式。草鱼的过度放养常导致湖区水草锐减或完全消失,使初级生产者由高等水生植物转变为藻类;同时,人们常将生活污水引入湖中或通过施肥提高水体浮游生物生产力,以提高鲢、鳙等浮游生物食性鱼类的产量。因此,这种渔业模式常导致湖泊水质恶化^[4]。长江中、下游湖泊一些土著的食鱼性鱼类,如鳊、乌鳢等,味美价优,具有较大的经济价值。放养食鱼性鱼类被认为是解决长江中、下游湖泊渔业发展与水质保护矛盾的重要途径。饵料鱼类的供饵能力和食鱼性鱼类的摄食量研究是食鱼性鱼类渔业的基础;食鱼性鱼类对湖泊生态系统的影响也是渔业生态学家关注的焦点^[1]。作者就这三方面研究进行综述,并结合长江中、下游湖泊特点探讨长江中、下游湖泊食鱼性鱼类渔业前景。

收稿日期: 1999-04-02; **修订日期:** 1999-08-25

基金项目: 本研究得到国家“九五”攻关项目(合同编号: 96-008-02-3)、国家自然科学基金(批准号: 39670575、39625006)、中国科学院资环局重大项目(编号: KZ951-A1-102-01)和淡水生态与生物技术国家重点实验室项目(项目号: 9604E4)资助

作者简介: 谢松光(1968年-),男,湖南省湘阴人,理学博士,研究方向: 渔业生态学。

1 饵料鱼类供饵能力

饵料鱼类是指作为食鱼性鱼类捕食对象的鱼类类群。由于它们一般个体较小, 直接经济价值低, 常又称为小型鱼类或野杂鱼类^[5]。饵料鱼类的供饵能力是湖泊食鱼性鱼类渔产潜力研究的重要内容, 它主要包括两个方面: 饵料鱼类的现存量和生产力。

1.1 饵料鱼类现存量研究方法

饵料鱼类活动范围一般较小, 由于它们直接经济价值一般较低, 渔捞强度也非常有限。因此, 常用的鱼类种群数量研究方法(如标志回捕法、收获法等)常不适合湖泊饵料鱼类^[6]。采用样方法, 通过确定样方内的饵料鱼类密度, 把结果推广到整个水体是湖泊饵料鱼类现存量研究的主要途径^[6, 7]。常用的样方法有以下几种主要类型:

1.1.1 潜水直接计数法 在选定位置设置一定长度和宽度的样带(Transect), 由潜水员潜入水中观察记录样带中鱼类的种类、数量和个体大小^[8-10]。这种方法主要适应于透明度高, 水草密度适中的湖泊近岸区域, 且对活动能力较强的中、上层鱼类不易准确计数^[10]。

1.1.2 蹦网(Pop-net)和罩网(Drop-net)法 蹦网和罩网均由上、下框及连接上、下框的围网构成。采样时, 蹦网上、下框紧压在一起静置于水底, 通过特殊装置释放上框, 由水底向上围住一定面积的水体^[11-12]; 而罩网则相反: 由水面向水底围住一定面积^[13, 14]。蹦网和罩网采样操作简便, 易进行重复采样^[14], 但单位样方面积一般较小(一般 10m²), 造成渔获物物种数较少^[11-12]。由于罩网的阴影及下沉响声的影响, Serafy 等研究发现蹦网采样效果比罩网更理想^[11]。谢松光等发现蹦网上框的上浮过程惊扰上层活动能力较强的种类, 使它们逃离网围区域。因此, 蹦网主要适应于研究中、下层活动能力较低的饵料鱼类^[15]。

1.1.3 围网或围隔法 采用围网或围隔在湖泊中隔离一定面积的样方, 确定其中饵料鱼类的密度, 推广到整个水体, 可以研究湖泊饵料鱼类的现存量。样方中鱼类密度估算主要有电捕^[16, 17], 毒杀^[16, 18]和标志回捕^[19]等方法。

电捕研究样方内鱼类密度一般有两种方法: 1) 连续实施电捕, 直至基本不能捕捞到渔获物, 收集渔获物的总量即为样方区域鱼类的数量。这种方法劳动强度较大^[16]。2) 定义一定大小的单位捕捞努力量, 进行三个以上单位捕捞努力量的渔获物收集, 采用去除法(如 Zippin 法^[20]和 Leslie 回归法^[21])估算鱼类的密度^[17]。

毒杀法采用药物将样方内鱼类毒死, 收集所有渔获物。它是一种最直接最彻底的鱼类密度研究方法^[16, 18], 但在水草密度较高的生境中彻底收集渔获物比较困难^[18]。在毒杀前投入标志鱼, 研究标志鱼的回捕效果可以克服渔获物收集不彻底的不足^[22]。

标志回捕法包括一次标志一次回捕和多次标志多次回捕两种方法^[7]。张堂林等采用一次标志回捕法研究了保安湖一围隔(3.33ha)中麦穗鱼的种群大小^[19]。谢松光等曾在牛山湖中用围网隔离 100m²的区域, 采用多次标志多次回捕法对其中 4 种小型鱼类的密度进行了估算^[1]。即使在围隔和围网中, 标志回捕法主要适合中、上层活动能力较强的小型鱼类。这种方法与蹦网采样相结合, 是比较理想的长江中、下游浅水草型湖泊饵料鱼类密度研究方法。

1) 谢松光等。用围网-标志回捕法研究小型鱼类的密度(未发表)。

1.1.4 声波鱼探仪法 鱼的密度可以通过反射波的多少直接计数,鱼的大小(体长或体重)则通过反射波的强度换算获得^[23]。这种方法速度快,消耗低,样方面积大,近几年被广泛应用于饵料鱼类资源的研究,是一种主要适合深水湖泊及水库敞水区中、上层鱼类密度和分布的研究方法^[23--25]。声波鱼探仪法不能直接辨别种类,必须与同时进行的拖网渔获物分析相结合估算鱼类组成^[23, 24];一些研究表明,鱼类的集群性常导致反射波重叠,使密度估算偏低^[24, 25]。

由于水温、水深、水草植被、鱼类活动的昼夜变化和季节变化特点以及样方设置过程对鱼类活动和分布的影响等,样方法研究湖泊饵料鱼类现存量常有较大偏差^[6--15]。探索理想的饵料鱼类密度研究方法是饵料鱼类资源研究的难点。

1.2 饵料鱼类的生产力

鱼类生产力的估算一般通过一年内对多个时间段的种群数量和生物量的研究获得。但这种方法应用于湖泊饵料鱼类的生产力研究劳动强度大,操作困难。P/B系数法是湖泊饵料鱼类生产力研究的常用方法^[19]。通过隔离湖泊中操作方便、有代表性的部分水域,逐时间段研究其中饵料鱼类的密度和生物量,采用 Allen 图形法 (Allen's graphical method)^[26]或 Ricker 公式法^[27]计算饵料鱼类生产力,可以获得研究种群的 P/B 系数。将 P/B 系数与全湖种群生物量 (B_c) 的研究相结合计算湖泊饵料鱼类的生产力 (P_c):

$$P_c = P/B \times B_c \quad (1)$$

张堂林等通过逐月标志回捕研究了保安湖-围隔中 (3.33ha) 麦穗鱼的生产力,估算其 P/B 系数为 2.03。该结果可以应用于保安湖全湖及其它相似水体麦穗鱼生产力研究^[19]。

1.3 饵料鱼类的可获得性

由于受食鱼性鱼类与饵料鱼类分布差异以及饵料鱼类的大小、形态和抗捕食行为等的影响,饵料鱼类的生产力一般不能被食鱼性鱼类完全利用。饵料鱼类的可获得性也是湖泊饵料鱼类供饵能力研究的重要内容^[6]。

只有捕食者与被食者的分布区域重叠时,捕食者才能实现对被食者的成功捕食。霍伊白鲑 [*Coregonus hoyi* (Gill)], 是 Michigan 湖中优势小型鱼类种群之一,湖中的主要食鱼性鱼类鲑亚科种类 (Salmonine), 因与白鲑的喜好温度不同而出现空间分离,使其对后者种群的利用率很低^[28];此外,食鱼性鱼类与饵料鱼类生境利用的时间差异也是影响饵料鱼类可获得性的重要因素^[24, 25]。

在被食压力下,饵料鱼类常表现出选择保护生境^[29, 30]和集群^[30, 31]等抗捕食行为。水草结构的复杂性通过视觉屏障和游泳障碍能减小食鱼性鱼类的捕食效率^[32],许多小型鱼类选择水草生境作为保护生境^[29, 30];此外,很多饵料鱼类具有集群行为以减小捕食压力^[30, 31]。饵料鱼类的这些抗捕食行为使食鱼性鱼类对其利用率降低。

形态因素也是影响饵料鱼类可获得性的重要原因。很多饵料鱼类具有发达的棘鳍,能阻碍捕食者的捕食效率和消化利用率^[33, 34];大部分食鱼性鱼类的口腔齿仅有捕捉功能,饵料鱼类被捕捉后一般被完整地吞入消化道进行消化,因此饵料鱼类的大小也是影响饵料鱼类可获得性的重要因素^[35, 36]。

有关食鱼性鱼类与饵料鱼类分布差异以及饵料鱼类的大小、形态和抗捕食行为等对饵料鱼类可获得性的定量研究还处于起步阶段。Goyke 等利用声波鱼探仪和地理信息

系统(GIS, Geographic Information Systems)研究了饵料鱼类的密度和环境参数(温度等)的空间格局。结合鱼类生长的生物能量学模型,他们建立了湖泊中鲑亚科鱼类(Salmonine)生长潜力的空间模型,以评价空间因素对饵料鱼类可获得性及食鱼性鱼类生长的影响^[37]。Rice 等根据川鲮 [*Platichthys flesus* (Linnaeus)], 对饵料鱼类平口石首鱼, [*Leiostomus xanthurus* (Lacepede)] 的大小选择性,建立了食鱼性鱼类-饵料鱼类个体大小关系模型^[38]。

2 食鱼性鱼类的摄食量

鱼类摄食量的主要研究方法有胃含物分析法、生物能量学模型法和生产力-转化系数法。

2.1 胃含物分析法

胃含物分析法通过对自然种群渔获物胃含物分析直接估算鱼类日摄食量。它主要包括胃饱满度法、胃含物-排空率法和饵料鱼类退算法。

2.1.1 胃饱满度法 胃饱满度法通过对自然种群 24h 内多个时间段渔获物的胃含物分析,获得胃含物变化的日节律来估算鱼类的日摄食量^[39,40]。Nakashima & Leggett 以 3h 为间隔研究了金鲈, [*Perca flavescens* (Mitchill)] 的摄食日周期,发现其胃含物重量存在早、晚两个峰值,并以两个峰值之和作为其日摄食量^[39]。Keast & Welsh 则采用摄食日周期的峰值与低值的差值之和作为日摄食量^[40]。任何时候胃含物重量都受摄食与消化的双重影响,鱼类的摄食过程具有阶段性,而消化过程是连续的。胃饱满度法仅以胃含物重量的日周期研究鱼类的摄食量,而不考虑摄食过程中的食物消化,造成摄食率估算偏低^[6]。

2.1.2 胃含物-排空率法 胃含物-排空率法研究鱼类的摄食量常采用 Elliott & Persson 方程法^[41]。Elliott & Persson 方程已在崔奕波的综述中介绍:假定食物消化率恒定,一定时间内鱼类的食物消耗量(C_i)可以根据胃排空率及胃含物的初始和最终重量估算^[42]。对种群 24h 内多时间段采样,鱼类的日摄食量(FD)可以由下式计算:

$$FD = \sum C_i \quad (2)$$

由于把胃含物分析与食物消化过程相结合,胃含物-排空率法在一定程度上克服了胃饱满度方法的不足。鱼类的胃排空率一般在实验室中测定^[43]。由于受水温、食物种类和大小、投喂量等因素的影响,人工控制条件下胃排空率与自然水体中鱼类有一定的差距^[44]。胃排空率也可以通过野外研究获得。假定研究种群有一定的摄食时间段和摄食终止时间,从鱼类终止摄食开始对种群进行多时间段食物消化状况分析,直至食物完全消化,可以计算胃排空率^[39,45]。野外研究方法假设种群有一定的摄食时间段和摄食终止时间往往与鱼类摄食的实际情况不符,它要求对自然种群进行连续多时间段采样,劳动强度大,操作困难。因此,胃排空率估算仍以实验室研究为主^[44]。

2.1.3 饵料鱼类退算法 根据胃含物中饵料鱼类的消化状况分析,结合实验室中测定的食鱼性鱼类对饵料鱼类的消化速度、饵料鱼类骨骼组织与鱼类的体长(全长或标准长度)的回归关系及饵料鱼类的体长体重回归关系,可以退算捕食者的摄食时间和饵料鱼类的大小,鱼类的日摄食率(单位体重摄食量)由下式计算^[46]:

$$C_D = [\sum (C_i/W_i)]/N \quad (3)$$

式中: C_i = 食鱼性鱼类 i 24h 内消耗的饵料鱼类总重量; W_i = 食鱼性鱼类 i 的重量; N = 食鱼性鱼类 i 的采样数量。

由于食鱼性鱼类每次摄食的饵料鱼类数量较少(仅有 1 尾或几尾饵料鱼类), 个体较大, 在胃中消化时间较长, 采用胃含物退算摄食量比较方便^[47]。这一方法的前提是采样时间间隔应小于消化最快的饵料鱼类种类的消化时间^[48]。

2.2 生物能量学模型法

鱼类生物能量学模型是根据能量收支式建立的预测鱼类生长或摄食率的模型。鱼类的能量收支式常表示为:

$$G = C - F - U - R_s - SDA - R_a \quad (4)$$

式中: G = 生长能; F = 排粪能; U = 排泄能; R_s = 标准代谢; SDA = 特殊动力作用; R_a = 活动代谢。

从实验数据求出式中右边各项与环境因子(摄食率、水温、体重)的定量关系, 利用计算机模拟, 即可预测在不同环境条件下的生长率。根据已知的某一生长期初始体重及最终体重, 采用模拟可求出最终体重的预测值与实测值最为接近时的摄食率, 即为摄食率的预测值^[42]。

目前已建立了许多鱼类的生物能量学模型, 并被广泛应用于估算食鱼性鱼类的食物需求^[49, 50]。Cui & Wootton 应用系统的实验数据建立了真鲃(*Phoxinus phoxinus*)的生物能量学模型, 但模型的预测效果并不好。他们指出许多鱼类生物能量学模型采用间接数据及大量假设, 而未对模型可靠性进行检验, 模型对鱼类代谢及鱼体能值的假设也过于简化^[51]。此类模型需进一步完善, 才能合理地应用于渔业管理。

2.3 生产力-转化系数法

生产力-转化系数法利用种群生产力(P)与饵料转化系数(G/C)估算种群的摄食量^[50]。一定时间内鱼类种群摄食量(C_T)可以由下式计算:

$$C_T = P / (G/C) \quad (5)$$

由于 P - G/C 模型要求的数据少, 原理简单, 被广泛应用于渔业管理和研究中^[50]。食物转化系数一般通过饲养实验获得。由于受水温、活动状况、个体大小及投喂量的影响, 实验条件下获得的食物转化系数常与自然种群有一定差距^[6], 一些研究表明, 应用 P - G/C 模型研究的种群摄食量较其它方法估算值低^[52]。

3 食鱼性鱼类对湖泊生态系统的影响

生态系统的动态平衡受上行效应(Bottom-up effects)(即营养元素的作用)和下行效应(Top-down effects)(即高营养级生物的作用)的双重调节^[53]。食鱼性鱼类是湖泊生态系统中主要的顶级消费者, 其捕食作用通过下行效应影响湖泊鱼类及其它生物群落, 甚至水体理化因子, 从而影响整个湖泊生态系统的结构和功能^[53]。

食鱼性鱼类对湖泊鱼类群落结构的影响主要表现在饵料鱼类的密度和种类组成两个方面。湖泊中, 常有报道由于食鱼性鱼类种群的增大导致饵料鱼类种群的减小甚至崩溃^[54, 55]。非洲 Victoria 湖由于外源食鱼性鱼类尼罗尖吻鲈 [*Lates niloticus*(Linnaeus)] 的入侵使湖中土著的小型鱼类种群几近崩溃^[54]。食鱼性丽鱼 [*Cichla ocellaris* (Bloch and

Schneider)] 的入侵使 Gatun 湖中 11 种优势小型鱼类种群中的 7 种完全消失, 另有 3 种鱼类种群明显减小^[55]。食鱼性鱼类种群的控制也是导致长江中、下游湖泊小型鱼类大量繁衍的重要因素^[56]。食鱼性鱼类对饵料鱼类的选择性常导致鱼类群落种类组成的改变。对 Alberta 湖鱼类群落的研究发现, 一些湖泊中由于食鱼性鱼类北方狗鱼 (*Esox lucius* Linnaeus) 的选择捕食作用, 小型鱼类以棘鳍鱼类占优势; 而在没有大型食鱼性鱼类的湖泊中软鳍小型鱼类的种类数和丰度均较高^[34]。

饵料鱼类以较低营养级饵料生物为食, 它们种群的变化常导致后者资源的改变。许多饵料鱼类为浮游动物食性, 在食鱼性鱼类捕食压力下它们种群的减小常导致浮游动物数量和生物量增加, 浮游动物群落个体增大^[53]。此外, 一些食鱼性鱼类的饵料鱼类主要捕食昆虫, 在 Gatun 湖中, 食鱼性鱼类的捕食压力使一些食昆虫的小型鱼类种群减小导致湖区的蚊子数量猛增^[55]。

许多浮游动物以浮游植物为食。Vanderploeg 等对 Michigan 湖的研究认为鲑亚科鱼类的捕食压力使湖中优势浮游动物食性鱼类灰西鲱种群减小导致枝角类大量繁衍, 使浮游植物的丰度降低^[57]。浮游植物丰度的减小常导致水体的透明度的增大^[58], 并进一步引起叶绿素、初级生产力的变化及湖泊中营养物质循环的改变^[53, 59]。Carpenter & Kitchell 报道, 在 Michigan 湖、Tuesday 湖和 Peter 湖中放养食鱼性鱼类后, 滤食性鱼类的数量显著减少导致叶绿素含量和初级生产力显著降低^[1]。

综上所述, 食鱼性鱼类的捕食压力通过食物链影响整个湖泊生态系统, 其一般规律是: 食鱼性鱼类捕食压力增加, 使食浮游动物食性的饵料鱼类的密度减小, 浮游动物密度增加, 浮游植物数量减小, 从而使水体的叶绿素含量和初级生产力降低。同时, 浮游植物数量的减少也使水体的透明度增大。因此, 放养食鱼性鱼类在一定程度上能控制湖泊水体富营养化, 从而改善水质。

4 长江中下游湖泊食鱼性鱼类渔业展望

长江中下游湖泊多种土著食鱼性鱼类如鳊、乌鳢、鳙、青梢红鲃等, 味美价优, 均是重要的经济鱼类^[60]。由于对放养鱼类苗种的捕食压力, 传统的湖泊渔业中食鱼性鱼类常是除野的对象, 种群一般相当低^[61]。小型鱼类是食鱼性鱼类的主要饵料生物。长江中、下游湖泊小型鱼类资源丰富, 约占湖泊鱼类种类数一半以上^[19, 60]。其中一些优势种类如鲫、麦穗鱼、黄魮和鲮亚科种类等是湖中重要的食鱼性鱼类如鳊、乌鳢等的主要饵料鱼类^[62, 63]。由于小型鱼类直接经济价值一般较低, 湖泊中小型鱼类渔捞强度非常有限; 对食鱼性鱼类种群的控制, 使湖泊中小型鱼类被食压力减小^[61]; 而在一些大中型湖泊中由于过度捕捞, 主要经济鱼类种群很小, 导致湖泊生态系统大量空间和营养生态位空出^[64], 为小型鱼类种群增大创造了条件。小型鱼类的大量繁衍已成为长江中、下游湖泊普遍的渔业问题^[56]。由于小型鱼类一般与湖泊中重要的经济鱼类如鲢、鳙、鲤等处于相似的营养级, 它们的大量存在造成与主要经济鱼类的食物竞争, 影响这些经济鱼类增养殖^[60]。放养食鱼性鱼类不仅能控制小型鱼类种群, 实现湖泊生态系统结构优化, 收获食鱼性鱼类产品, 而且还能提高主要经济鱼类的渔产潜力。国外一些研究表明, 放养食鱼性鱼类还有改变湖泊水质的作用^[1, 2]。因此, 在长江中、下游湖泊中发展食鱼性鱼类渔业具有重要的生态

和经济效益。

我国有关食鱼性鱼类和饵料鱼类的研究,主要局限于一些种类的个体发育、年龄与生长、食性等方面^[62,63-65,66],而有关食鱼性鱼类的渔产潜力研究非常有限。近年来,随着生态渔业理论的倡导,食鱼性鱼类渔业作为湖泊生态渔业的重要手段开始受到渔业生态学家的重视。一些主要的食鱼性鱼类(如鳊、乌鳢)的生物能量学模型已经建立^[67]。有关饵料鱼类生产力研究也进行了一些方法探讨^[15,19]。与北美深水湖泊相比,长江中、下游湖泊生态系统结构和鱼类区系组成具有鲜明的个性,这决定了这类湖泊中发展食鱼性鱼类渔业应有自己的特点。在借鉴北美湖泊食鱼性鱼类渔业理论与方法的同时,作者认为现阶段长江中、下游湖泊食鱼性鱼类渔业研究应强调以下几个方面:

4.1 饵料鱼类生产力及供饵能力

样方法研究湖泊饵料鱼类现存量常受样方代表性的影响。通过研究影响长江中、下游湖泊饵料鱼类空间格局的生境因子,将湖泊划分为不同的生境类型指导样方的设置,可以增加样方的代表性,并减少样方数量,降低劳动强度。

4.2 食鱼性鱼类的摄食生态学

已有的食鱼性鱼类摄食生态学的研究主要局限于胃含物组成^[62-63]。而有关食鱼性鱼类对饵料鱼类个体大小及形态的选择性研究很少。结合湖泊饵料鱼类资源研究,食鱼性鱼类摄食生态学研究可为放养种类的筛选提供参考,并为饵料鱼类的可获得性和供饵能力研究提供数据。

4.3 食鱼性鱼类种群生态学

通过对食鱼性鱼类渔获物分析可以获得种群年龄结构、生长特征、死亡率等基本种群参数。这些参数是研究湖泊食鱼性鱼类种群摄食量的基本数据。

4.4 食鱼性鱼类的摄食量

我国在应用生产力-转化系数法研究经济鱼类(如草鱼、鲢、鳙、鲤等)的摄食量和渔产潜力方面已有较成熟的理论和方法^[68],应尝试将这些方法应用于湖泊食鱼性鱼类渔业管理中。长江中、下游湖泊一些主要的食鱼性鱼类(如鳊、乌鳢)的生物能量学模型正在研究,或已经建立^[67],有待尝试应用于渔业管理。

4.5 食鱼性鱼类-饵料鱼类-水草之间的关系

水草茂密是天然状态下长江中、下游湖泊的重要特征。水草密度太高影响饵料鱼类的可获得性,从而降低饵料鱼类的供饵能力;而水草密度太低时又会导致食鱼性鱼类对饵料鱼类的过度利用,使饵料鱼类资源遭受破坏,从而影响湖泊食鱼渔业的可持续发展。因此,开展食鱼性鱼类-饵料鱼类-水草之间的关系研究对饵料鱼类的可获得性研究及湖泊食鱼性鱼类渔业的可持续发展具有重要的意义。

4.6 食鱼性鱼类对生态系统的影响

湖泊渔业发展应以不破坏湖泊环境为前提。研究食鱼性鱼类对生态系统的影响是发展湖泊食鱼性鱼类的基础。

参 考 文 献

- [1] Carpenter S R, Kitchell, J F. Consumer control of lake productivity [J]. *Bioscience*, 1988, 38:764—769

- [2] Van, L L, Gulati, R D. Restoration and recovery of shallow eutrophic lake ecosystems in the Netherlands: epilogue [J]. *Hydrobiologia*, 1992, **233**:283—287
- [3] 谢 平, 崔奕波. 长江中游湖泊生物多样性与渔业发展 [J]. 水生生物学报, 1996, **20**(增): 1—5
- [4] 陈洪达. 养鱼对东湖生态系统的影响 [J]. 水生生物学报, 1989, **13**: 359—368
- [5] Lyons, J. Distribution, abundance, and mortality of small littoral-zone fishes in Sparkling Lake, Wisconsin [J]. *Env. Biol. Fish.*, 1987, **18**(2):93—107
- [6] Ney, J J. Trophic economics in fisheries: assessment of demand-supply relationships between predators and prey [J]. *Reviews in Aquatic Sciences*, 1990, **2**:55—81
- [7] Robson, D S, Regier, H A. Estimation of population number and mortality rates. In: W. E. Ricker (Editor) Methods for assessment of fish production in fresh waters, (Second edition). IBP handbook No. 3, Blackwell Scientific Publications [M]. Oxford and Edinburgh, 1971, 131—165
- [8] Keast, A, Harker, J. Strip counts as means of determining densities and habitat utilization patterns in lake fishes [J]. *Env. Biol. Fish.*, 1977, **1**:181—188
- [9] Werner, E E, et al. Littoral zone fish communities of two Florida Lakes and a comparison with Michigan Lakes [J]. *Env. Biol. Fish.*, 1978, **3**:163—172
- [10] Rodgers, J D, et al. Comparison of three techniques to estimate juvenile coho salmon populations in small streams [J]. *N. Amer. J. Fish. Manag.*, 1992, **12**:79—86
- [11] Serafy, J E, et al. Quantitative sampling of small fish in dense vegetation: design and field testing of portable pop-nets [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 1988, **4**:149—157
- [12] Morgan, R P, et al. Modified popnet design for collecting fishes in varying depths of submersed aquatic vegetation [J]. *J. Fresh. Ecol.*, 1988, **4**:533—539
- [13] Barnett, B S. A technique for fish population sampling in densed vegetation [J]. *Progress Fish-Culturist*, 1973, **35**:181—182
- [14] Chick, J H, et al. A comparison of four encloure traps and methods used to sample fishes in aquatic macrophytes [J]. *J. Fresh. Ecol.*, 1992, **7**:353—361
- [15] 谢松光等. 扁担塘小型鱼类的丰度与分布 [J]. 水生生物学报, 1996, **20**(增): 178—185
- [16] Bayley, P B, Austen, D J. Comparison of detonating cord and rotenone for sampling fish in warmwater impoundments [J]. *N. Amer. J. Fish. Manag.*, 1988, **8**:310—316
- [17] Machena, M J, et al. Estimating harvestable largemouth bass abundance in reservoir with electrofishing catch depletion technique [J]. *N. Amer. J. Fish. Manag.*, 1995, **15**:103—109
- [18] Shireman, J V, et al. Efficiency of rotenone sampling with large and small block nets in vegetated and open-water habitats [J]. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1981, **110**:77—80
- [19] 张堂林等. 保安湖麦穗鱼种群生物学研究 V. 生产力 [J]. 水生生物学报(待出版)
- [20] Zippin, C. An evaluation of the removal method of estimating animal populations [J]. *Biometrics*, 1956, **12**: 163—189
- [21] Ricker, W E. Computation and interpretation of biological statistics of fish population [J]. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 1975, **191**:1—391
- [22] Durocher, P P, et al. Relationship between abundance of largemouth bass and submerged vegetation in Texas reservoirs [J]. *N. Amer. J. Fish. Manag.*, 1984, **4**:84—88
- [23] Brandt, S B. Acoustic measures of the abundance and size of pelagic planktivores in lake Michigan. *Can [J]. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1991, **48**:894—908
- [24] Appenzeller, A R, Leggett, W C. Bias in hydroacoustic estimates of fish abundance due to acoutic shadowing: evidence from day-night surveys of vertically migrating fish [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1992, **49**:2179—2189
- [25] Appenzeller, A R, Leggett, W C. An evalution of light-mediated vertical migration of fish based on

- hydroacoustic analysis of the diel vertical movements of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1995, **52**:504—511
- [26] Chapman, D W. Net production of juvenile coho salmon in three Oregon streams [J]. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1965, **94**:40—52
- [27] Ricker, W E. Production and utilization of fish populations [J]. *Ecol. Monogr.*, 1946, **16**:374—391
- [28] Stewart, D J, Ibarra, M. Predation and production by salmonine fishes in lake Michigan. 1978—88 [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1991, **48**:909—922
- [29] Rozas, L P, Odum, W E. Occupation of submerged aquatic vegetation by fishes: testing the roles of food and refuge [J]. *Oecologia*, 1988, **77**:101—106
- [30] Aboul Hosn, W, Downing, J A. Influence of cover on the spatial distribution of littoral-zone fishes [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1994, **51**:1832—1838
- [31] Mittelbach, G G. Predator-mediated habitat use: some consequences for species interactions [J]. *Env. Biol. Fish.*, 1986, **16**:159—169
- [32] Dibble, E D, et al. Assessment of fish-plant interactions [J]. *Amer. Fisher. Soc. Symposium*, 1996, **16**: 357—372
- [33] Hahl, D H, Stein, R A. Selective predation by three esocids: the role of prey behavior and morphology. *Trans [J]. Amer. Fish. Soc.*, 1988, **117**:142—151
- [34] Robinson, C L K, Tonn, W M. Influence of environmental factors and Piscivory in structuring fish assemblages of small Alberta lakes [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1989, **46**:81—89
- [35] Persson, L, et al. Size-specific interactions in lake systems: predators gape limitation and prey growth rate and mortality [J]. *Ecology*, 1996, **77**:900—911
- [36] Keast, A. Trophic and spatial interrelationships in the fish species of an Ontario temperate lake [J]. *Env. Biol. Fish.*, 1978, **3**:7—31
- [37] Goyke, A P, Brandt, S B. Spatial models of salmonine growth rates in lake Ontario [J]. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1993, **122**:870—883
- [38] Rice, J A, et al. Interactions between size-structure predator and prey populations: experimental test and model comparison [J]. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1993, **122**:481—491
- [39] Nakashima, B S, Leggett, W, C. Daily ration of yellow perch (*Perca lucius*) from lake Mephremagog, Quebec-Vermont, with a comparison of methods for in situ determination [J]. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 1978, **35**:1597—1603
- [40] Keast, A, Welsh, L. Daily feeding periodicities, food uptake rates, and dietary changes with hour of day in some lakes fishes [J]. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 1968, **25**:1133—1144
- [41] Elliott, J M, Persson, L. The estimation of daily rates of food consumption for fish [J]. *J. Anim. Ecol.*, 1978, **56**:83—98
- [42] 崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法 [J]. *水生生物学报*, 1989, **13**(4): 369—383
- [43] Talbot, C. Laboratory methods in fish feeding and nutritional studies. In: P. Tyler, and P. Calowin (Editors) *Fish energetics: new perspectives* [M]. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1985, 125—154
- [44] Windell, J T. Digestion and the daily ration of fishes. In: S. D. Gerking (Editor), *Ecology of freshwater fish production* [M]. John Wiley and Sons, New York. 1978, p.159—170
- [45] Doble, B D, Eggers, D M. Diel feeding chronology, rate of gastric evacuation, daily ration, and prey selectivity in Lake Washington juvenile sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) [J]. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1978, **107**:36—45
- [46] Swenson, W A, Smith, L L Jr. Gastric digestion, food consumption, feed periodicity, and food conversion efficiency in walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) [J]. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 1977, **30**:1327—1136
- [47] Diana, J S. The feeding pattern and daily ration of a top carnivore, the northern pike (*Esox lucius*) [J].

Can. J. Zool., 1979, **57**:2121—2127

- [48] Adams, S M, et al. Structuring of a predator population through temperature-mediated effects on prey availability [J] *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1982, **39**:1175—1184
- [49] Kitchell, J F, Crowder, L B. Predator-prey interactions in Lake Michigan: model predictions and recent dynamics [J]. *Env. Biol. Fish.*, 1987, **16**:205—211
- [50] Ney, J J. Bioenergetics modeling today: growing pains on the cutting edge [J]. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1993, **122**:736—748
- [51] Cui, Y, Wootton, R J. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus* (L.): development and testing of a growth model [J]. *J. Fish Biol.*, 1989, **34**:47—64
- [52] Stewart, D J. et al. An energetics model for lake trout, *Salvelinus namaycush*: application to the Lake Michigan population [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1983, **40**:681—698
- [53] Northcote, T G. Fish in the structure and function of freshwater ecosystems: a “top-down” view [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1988, **45**:361—379
- [54] Kaufman, L. Catastrophic change in species-rich freshwater ecosystems: the lessons of Lake Victoria [J]. *Bioscience*, 1992, **42**:846—858
- [55] Zaret, T M, Paine, R T. Species introduction in a tropical lake: a newly introduced piscivore can produce population changes in a wide range of trophic levels [J] *Science*, 1973, **182**:449—455
- [56] 曹文宣等. 洪湖鱼类资源小型化现象的初步探讨. 见: 洪湖水体生物生产力综合开发及湖泊生态环境优化研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 1991, 148—152
- [57] Vanderploeg, H A, Eadie, B J, Liebig, J R, et al. Contribution of calcite to the particulate-size spectrum of Lake Michigan seston and its interactions with the plankton [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1987, **44**: 1898—1914
- [58] Carruthers, A D. Effects of silver carp on blue-green algal blooms in Lake Orakai [J]. *N. Z. Minist. Agric. Fish. Fish. Res. Div. Fish. Environ. Rep.*, 1986, **68**:63
- [59] Reynolds, C S. The ecology of freshwater phytoplankton [M] Cambridge University Press, London, 1984.
- [60] 方榕乐等. 保安湖鱼类区系结构特点及其渔业利用 [M]. 见梁彦龄、刘伏泉主编, 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理. 北京: 科学出版社, 1995, 205—212
- [61] 陈敬存, 林永泰, 伍卓田. 长江中、下游水库凶猛性鱼类的演替规律及其种群控制措施 [J]. 海洋与湖沼, 1977, **9**: 49—58
- [62] 蒋一珪. 梁子湖鳊鱼的生物学 [J]. 水生生物学集刊, 1959, **3**: 376—385
- [63] 杜金瑞. 梁子湖乌鳢生物学研究 [J]. 水生生物学集刊, 1962, **2**: 54—65
- [64] 张幼敏. 中国湖泊、水库生产增殖技术的进展 [J]. 水产学报, 1992, **16**: 179—187
- [65] 王志玲等. 长江中、下游大口鲶的年龄和生长 [J]. 淡水渔业, 1990, **6**: 3—7
- [66] 曹克驹等. 金沙河水库乌鳢个体生殖力的研究 [J]. 水利渔业, 1996, **1**: 9—11
- [67] Liu, J, Cui, Y, Liu, J. Food consumption and growth of two piscivorous fishes, the mandarin fish and the Chinese snakehead [J] *J. Fish Biol.*, 1988, **53**:1071—1083
- [68] Liang, et al. Primary production and fish yields in Chinese ponds and lakes [J]. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1981, **110**:346—350