

文章编号:1000-0615(2007)03-0391-09

·综述·

鱼类与水环境间相互关系的研究回顾和设想

刘恩生

(安徽农业大学动物科技学院,安徽 合肥 230036)

关键词:鱼类;水环境;相互关系;水质保护

中图分类号:S 917 文献标识码:A

Review on the interrelationship between fishes and water environment

LIU En-sheng

(College of Animal Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: For the sake of devising fish composition with the functions of protecting water environment, the progress of studies on the mutual relationship between fishes and water environment was analyzed and then the suggestion of devising reasonable fish community and the problems which had to be solved before devising were put forward, based on the preliminary study in Lake Taihu and the papers in the world. The contents including three parts were as follows: 1. Methods of estimating fish productivity in lake fisheries and the characteristics of fish composition in most of Chinese lakes: there were totally four kinds of methods of estimating fish productivity such as regression analysis methods based on regression statistics, energy methods based on food and inverted efficiency of energy, integrated analogy methods and systemic evaluated methods. The characteristics of fish composition in most of Chinese lakes was that the dominant fish species were phytoplanktivores, zooplanktivores and omnivores fishes usually with short food chain and that little-sized fishes increased because of controlling of piscivores, over fishing, the obstructed between river and lake and environmental deterioration. 2. The top-down effects of fishes on environment: the developed countries played much more attention to the study and the practice of the top-down effects of fishes on environment. Changing fish composition was one of the important ways to carry out restoration and rebuilding of ecosystem to deal with eutrophication. For instance, the traditional biomanipulation which Shapiro put and the non-traditional biomanipulation which Xie put were such ways. It was the main mechanism of the traditional biomanipulation that large-sized zooplankton were protected and developed by adjusting the structure and composition of fish fauna. The main mechanism of the non-traditional biomanipulation was that restocking fishes such as bighead and silver carp directly fed on cyanobacteria bloom. The fish composition in most of Chinese lakes with the characteristics of short food chain helped to sharpen the degree of eutrophication and reduce diversities of ecosystem. Chinese researches had studied the effects of grass carp on ecosystem and vegetation, the effects of bighead and silver carp on the structures and functions in micro-

收稿日期:2006-09-29

资助项目:中科院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-12-IV);国家“八六三”高技术研究发展计划(2002AA60101)

作者简介:刘恩生(1957-),男,山东诸城人,博士,副教授,主要从事湖泊生态学和鱼类生态学研究。Tel:0551-5786397, E-mail:

liues13579@163.com

ecosystem, and the effects of Chinese carp and crucial carp on the recycling of N and P. The course of the aggravation of eutrophication in Chinese lakes was considered to be consistent with the development of lake fisheries in which "four fishes" such as bighead, silver carp, grass and black carp were mainly cultured. 3. Devising reasonable fish composition with the functions of protecting water environment and the problems which had to be solved before devising: reasonable fish community should had such functions as protecting zooplankton, protecting vegetation, protecting zoobenthos and not disturbing bottom mud. If fish composition with the functions of protecting water environment was to be designed, these problems should be solved: the changes of fish composition corresponding to environmental change, the changes of diet composition of main fishes, the efficiencies of fish assimilating and absorbing cyanobacteria bloom and the estimating of fish productivity under conditions of eutrophication, the quantificational index and methods of analyzing fish diet composition which could be compared, the quantificational model of fish population changes which could express the mutual effects among fish population.

Key words: fishes; water environment; interrelationship; protecting water environment

鱼类是湖泊生态系统中较高级的消费者,通过上行效应和下行效应与环境间存在着紧密的相互作用关系。湖泊环境等理化因子的变化通过上行效应改变鱼类群落结构和数量^[1-2],而鱼类群落结构的变化通过营养级联和下行效应对水体的理化特征以及其它生物的组成、分布、丰度、生物量等水生态系统结构与功能的许多方面产生影响^[3]。因此,有必要研究我国湖泊在环境不断恶化、尤其是富营养化日趋加重过程中鱼类群落组成的变化规律和机制,以及相应鱼类群落的变化对湖泊环境的影响。这可以为设计具有环境保护功能的鱼类群落组成提供理论依据。为此,根据国内外已发表论文和作者对太湖鱼类组成的初步研究工作,就鱼类与水环境间相互关系的研究进展予以综述,并分析了设计具有环境保护功能的鱼类群落需解决的问题。

1 水域生物生产力估计和湖泊鱼类组成

湖泊环境理化因子的变化通过上行效应可以改变鱼类群落结构和数量,这是传统水生生物学研究的重点。因此,鱼类群落结构变化可以反映水体生物群落结构和水质的状况^[1]。如 Karr^[4-5]提出了用鱼类群落监测水质的生物完整性指标,而这一指标在美国已得到广泛应用。我国学者也发现随着环境不断恶化、尤其是富营养化程度的加重,许多湖泊的鱼类种类减少,数量下降,鱼群出现小型化、低龄化、杂鱼化^[6-7]。有关水生生物学国内外在理论上的研究重点之一是水域生物生产力的估计;我国大多数湖泊渔业生产中鱼类组

成的主要特点基本是以浮游生物食性和底栖杂食性鱼类为优势种。

1.1 水域生物生产力估计

作为生态学的一个分支,内陆水域生物学从一开始就把如何提高和开发水域生物生产力作为学科的研究重点,在 20 世纪 20 年代后就已开始。如加拿大的 Vollenweider、丹麦的 Steemann-Nielsen、美国的 Wetzel 和 Ryther 以及英国的 Talling 和 Westlake 等是 20 世纪研究初级生产力的主要代表人物。30 - 70 年代初级生产力的研究更加深入和广泛。1964 年在巴黎召开的第一次 IBP (International Biological Program) 大会上就以“生产力的生物学基础与人类福利”作为研究的主题。此后的 10 年中(1964 - 1974 年)国际上以开发水体生物生产力为主要目的的发展方向有力地促进了内陆水体生态系统的研究。70 年代后,很多学者开始研究初级生产力和鱼产量间的关系^[8]。

在我国,初级生产力的系统研究始于王骥和沈国华^[9]用黑白瓶法在武汉东湖的工作。70 年代,王骥和梁彦龄^[10]研究了武汉地区水体的初级生产力和鱼产量间的关系,提出了用浮游植物初级生产量估算鲢、鳙鱼产力的能量估算法和回归法。陈洪达^[11]提出了根据水草生物量估算草食性鱼类生产潜力的方法。而 90 年代崔奕波^[12]应用能量学原理,系统地研究了多种鱼类的能量收支模型,为测算内陆水体鱼产力奠定了基础。国内外有关水域鱼产力的估计方法可以分为四大类:建立在回归统计基础上的回归分析法,根据饵

料和能量转换效率的能量计算法,综合类比法和系统评价法^[13]。

1.2 我国大多数湖泊的鱼类组成特点

建国后我国一直把开发生物生产力和提高鱼类产量作为内陆水生生物学的研究重点。因此,理论和实践上都取得了很高的成就^[14]。我国对湖泊、水库等内陆水域资源的调查研究始于 50 年代,对长江中下游及淮河流域 612 个湖泊进行了以发展渔业为目的的综合调查;70 年代起重点研究了湖泊生物生产力和渔业开发问题。其中有代表性的工作是中国科学院水生生物研究所在武昌东湖的研究。在理论上确定了根据饵料生物估算主要放养鱼类生产潜力的指导方针。在技术上,通过主要放养鲢、鳙和控制凶猛鱼类达到了较高的单产水平,并总结出湖泊放养鱼业的五项增产措施。其核心内容是:尽可能发展食物链短的鲢、鳙等鱼类和控制凶猛鱼类^[15]。到 80 年代和 90 年代,我国学者已开始注意到渔业开发和环境的问题,但在实践中还是以开发生物生产力为主。这一期间,除了继续开展湖泊、水库的人工放养渔业外,围网养鱼和网箱养鱼也大规模兴起^[14]。“七五”期间,对长江中、下游的浅水草型湖泊进行了技术攻关。总之,我国的湖泊渔业基本是以提高鱼类产量为目的。为了达到这一目的,就要充分利用饵料生物资源和提高饵料能量的转化效率。为了提高能量转化效率,就要以生产食物链较短鱼类为主和严格控制凶猛鱼类数量。因此,主要放养鲢、鳙利用浮游生物饵料,增殖鲤、鲫利用底栖生物,控制凶猛鱼类数量提高能量转化效率,已经成为我国湖泊渔业鲜明的技术特色^[16]。

根据水域饵料资源确定鱼类放养量,是湖泊、水库渔业中鱼类组成调控管理的主要理论根据。如 1956 年饶钦止^[17]研究了如何根据饵料生物量确定鱼类的放养量。此后,很多学者都以类似的观点研究了合理利用饵料资源确定鱼类放养量的问题^[11]。如胡保同^[18]和曹富康^[19]研究了不同大小和营养类型水库的鱼类放养标准。刘建康^[20]总结了我国湖泊、水库的鱼类放养工作,认为鱼类放养量中鲢、鳙一般占 80%~90%,草鱼、鲤、鲫、鳊、鲂合计占 15%~20%。由于这些鱼类的食物链较短,因此能量转化效率很高。我国学者何志辉^[21]把鱼产量 F 和浮游植物生产量 P 的比例关系看作是能量转化效率的最重要指标,认为我国

湖泊水库的 F/P 值在 0.02%~6.15% 之间。

为了提高能量转化效率,还要控制凶猛鱼类数量。由于凶猛鱼类食物链较长,降低了饵料生物的能量转化效率。因此,在我国的湖泊、水库渔业中,传统上凶猛鱼类是作为敌害鱼类加以清除的。有关凶猛鱼类的食性及对鱼类组成变化的影响有很多研究。陈敬存^[22]研究了凶猛鱼类在不同水体的演替规律和控制问题;朱志荣等^[23]研究了武汉东湖蒙古红鲌、翘嘴红鲌的食性及其种群控制问题;许品诚^[24]研究了太湖翘嘴红鲌的生物学。大多研究认为凶猛鱼类要控制,也有少数研究者认为可以适当利用^[25]。

由于我国的湖泊渔业生产方式长期来是以提高鱼类产量为目的,以充分利用饵料生物资源和提高饵料能量转化效率为理论依据,因此,大多数湖泊的鱼类组成特点是以浮游生物食性和底栖杂食性等食物链较短鱼类为优势种。而控制凶猛鱼类又使小型鱼类得到发展。此外,随着我国工农业的发展,污水排放量的增加,湖泊富营养化程度不断加重也是导致湖泊鱼类组成变化的原因之一。Liu^[26]认为,鱼类对水域的污染程度和受污染的时间会作出不同的反应,如存活率下降,生长和繁殖受到影响等。我国在 70 年代的围湖造田、不合理的大量放养草食性鱼类及富营养化导致水生植被的不断减少,直接影响了草食性鱼类、草上产卵鱼类的数量变化。我国湖泊环境的变化对鱼类资源的主要影响是鱼类的小型化、大中型鱼类的低龄化和个体小型化^[16]。作者对太湖鱼类组成变化趋势的研究也发现,太湖鱼类组成的均匀程度在不断下降,表现为以小型鱼类鲢为绝对优势种的逐渐增加^[27],主要鱼类低龄化趋势加重^[28]。环境的不断恶化,尤其是湖泊富营养化及过度捕捞等又加剧了湖泊鱼类的小型化趋势^[7,27-29]。

2 鱼类对环境的影响

国外,尤其是发达国家已把研究重点从内陆水体生物生产力的开发转移到水环境的保护^[30]。50-60 年代始,湖沼学家注意到不仅环境中的低营养级生物对高营养级生物有上行作用,高营养级生物对低营养级生物也有控制作用。70 年代,开始出现有关高营养级生物对生态系统结构与功能影响的研究。80 年代后有更多报道发表。

2.1 经典与非经典生物操纵技术

发达国家非常重视下行效应的研究和实践。通过改变鱼类组成是进行生态系统恢复、重建及富营养化治理的重要方法之一。如美国利用水生植被恢复、重新引进土著鱼类、调整鱼类群落结构等生物措施,在伊利湖、密执安湖等五大湖中的渔业资源的恢复和自然景观的重建等方面都已取得了显著效果^[31]。英国应用生物操纵技术使伦敦附近的水库一直保持低藻生物量和高透明度^[32]。发达国家还十分重视鱼类对环境影响的理论研究。如 Northcote^[3]对内陆水体鱼类下行效应的类型、作用机制及结果进行了归纳。Carpenter^[33]等提出了营养级联反应假说。McQueen^[2]提出了上行-下行作用模型。而影响最大的是 Shapiro 提出的生物操纵技术^[34-35]。

“生物操纵 (biomanipulation)” 概念最早是 Shapiro 等^[34]于 1975 年提出的。国外发达国家的湖沼学家从 50-60 年代开始就注意到鱼类对生态系统的影响,80 年代后有更多报道发表。如 Hrbacek 等、Brooks 和 Donson 较早注意到鱼类通过食物链可以影响生态系统中较低级生物类群如藻类^[36-37]。继他们的开拓性工作后, Hurlbert 开始意识到鱼类也能成为调节湖泊生态系统中浮游生物群落和水质的重要驱动因子^[38]。Zaret 和 Paine^[39]进一步研究证实。此后, Shapiro 等明确提出了生物操纵技术^[35]。生物操纵技术的主要原理是通过调整鱼类群落结构,保护和大型牧食性浮游动物,从而控制藻类的过量繁殖^[34-35]。

在我国,对水域生态系统恢复和重建的研究工作起步较晚,在 70 年代后才逐渐开始。如 1973 年中国科学院对官厅水库污染现状、污染分布以及污染引起的生态效应进行了全面调查。“六五”、“七五”期间把水源保护的研究课题列入国家攻关项目。“八五”期间重点对全国湖泊富营养化的状况进行了调查和评价。“九五”期间三河三湖的治理与生态恢复列入国家行动计划。目前,在湖泊生态系统恢复工作中,有关鱼类和环境间的研究也已受到重视。有学者研究认为我国湖泊富营养化的发展过程与“四大家鱼”为主体鱼的养殖渔业的发展是同步的^[6]。我国学者在武汉东湖开展了一系列研究工作。他们研究了放养草鱼对水生植被及生态系统的影响;鲢、鳙对微生态系统结构与功能的影响;鲤、鲫对氮磷再循环的作用

等^[40-41];其中在国内外引起广泛注意的工作是对武汉东湖蓝藻“水华”消失之谜的论述^[42],以及谢平等^[43-44]提出的利用鲢、鳙控制蓝藻的非经典生物操纵技术。

非经典生物操纵技术认为:鲢、鳙能滤食 10 μm 至数个毫米的浮游植物,而枝角类仅能滤食 40 μm 以下的较小浮游植物。与枝角类相比,鲢、鳙可有效地摄取形成水华的群体蓝藻、有效控制大型蓝藻。并提出了这样的结论:在东湖有效控制蓝藻水华的鲢、鳙生物量的临界阈值是 50 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,即“一吨水一两鱼”。非经典生物操纵技术与 Shapiro 提出的经典生物操纵技术的主要区别是:非经典生物操纵技术所依靠的放养对象正好是经典生物操纵论者要求捕除或毒杀的对象^[44]。非经典生物操纵技术已引起国内外学者广泛关注。

2.2 我国湖泊放养渔业对生态系统的影响

我国的湖泊渔业生产方式对水域环境的危害主要表现为两个方面。(1)使湖泊生态系统多样性下降。鱼类作为生态系统食物网中较高级的消费者,其长期放养使得湖泊生物群落结构发生了变化,进而对整个湖泊生态系统结构和功能产生了不良影响。(2)使湖泊的富营养化程度加重。草鱼的放养是很多湖泊水生植被减少的主要原因之一^[6,45-47],并由此导致了相应的次生演替,使蓝藻水华更容易暴发。鳙的放养首先利用了大量的浮游动物和个体较大的浮游植物。其结果是湖泊中的小型浮游植物快速增殖。如 Smith^[48]的研究结果表明,滤食性鱼类促进了浮游植物的增加;陈少莲在东湖的研究也发现,鲢、鳙的放养大量摄食了浮游动物和加快了水体营养物质的分解释放过程^[49]。国内外很多研究认为滤食性鱼类的放养可以加速湖泊的富营养化^[6,33,50-51]。鲤、鲫通过摄食和搅动底泥导致无脊椎动物减少和水体氮磷增加^[3,52-54]。作者在研究太湖鲤、鲫的食性时发现,鲤食物中水草的比例很高,可能对水草破坏力很大;太湖鲫食物中主要是蓝藻,其生态作用值得进一步深入研究^[55]。

3 设计具水质保护功能鱼类组成的设想

和需解决的问题

无论是上行效应还是下行效应过程中,不同的鱼类区系组成会产生不同的效果。而我国现有

的湖泊放养渔业的生产方式加速了湖泊富营养化。因此,通过设计具有环境保护功能的鱼类群落组成应该是湖泊生态修复和湖泊富营养化治理的途径之一。如何设计具有环境保护功能的鱼类群落组成在理论上还存在很多需要解决的问题:需要研究随环境变化鱼类组成的相应变化规律、机制及鱼类组成所要求达到的目标。

3.1 定量描述鱼类组成的连续变化规律

要设计具有环境保护功能的鱼类群落组成,就需要研究随环境变化鱼类组成的相应变化规律。在我国,研究鱼类组成变化规律的主要方法是渔获物组成分析和渔获量统计^[17,56]。但渔获物组成分析是静态指标,只能说明在调查期间的鱼类组成情况;通过比较也只能说明鱼类组成间断的变化情况,不能解释鱼类组成的年际间的连续变化规律;而渔获量统计资料不能够简洁明了地反映鱼类组成的连续的总体变化趋势。为了反映鱼类组成的年际间的连续变化规律,需用综合性指标来进行描述。国外学者有的用多样性指数来描述鱼类群落的变化,如 Shannon 多样性指数可以反映群落组成的均匀度情况^[57-58]。国内学者如费鸿年^[59]对南海底栖鱼类的多样性进行了研究。而我国关于内陆水域鱼类多样性的研究极少,凌去非等^[60]曾对长江天鹅洲故道鱼类进行了研究。作者根据鱼类分类产量的统计数据,用 Wilhm 改进式计算均匀度指标,对研究太湖鱼类组成的连续变化规律进行了尝试。研究结果表明,太湖鱼类组成的均匀度指标在不断下降^[27]。要研究一个水域连续多年的鱼类组成的连续变化规律,需要探讨可以简洁明了地描述鱼类组成连续变化的新方法和指标。

3.2 富营养化条件下鱼类食性的变化

鱼类群落演替的过程及其原因主要受环境条件变动的影响^[61]。研究鱼类组成变化的机制需要了解鱼类群落演替的外部因素的变化。在富营养化条件下的初级生产力几乎全部是由蓝藻所形成。蓝藻是否可以被鲢、鳙消化利用?倪达书等^[62]认为鲢、鳙几乎很难消化蓝藻;而许多研究均证实鲢、鳙可以消化蓝藻^[44,63-65]。大多数鱼类的食物组成是随着环境饵料组成的变化而变化的。因此,需要研究在富营养化条件下鱼类的食物组成变化情况。根据作者的初步研究,太湖主要鱼类的食物组成在富营养化条件下已发生了变

化。如在 2003 年、2004 年 6-12 月份期间的调查表明,太湖鲫、鲢、鳙的食物中微囊藻约占食物体积的 70%~90%^[55];而鲚及其它原来主要摄食浮游动物的鱼类食物中蓝藻的比例也很高。因此,深入研究湖泊富营养化条件下主要鱼类食物组成的变化、对蓝藻的利用率及鱼产力估计是非常必要的。

3.3 鱼类间相互关系的研究——食性分析和比较

鱼类群落演替的过程及其原因主要受环境条件变动的影响,但同时演替在很大程度上还是群落本身所具有的一种特性^[61]。外部因素是通过内部因素起作用的。鱼类间因摄食形成的捕食与被捕食、食物竞争等相互关系是影响鱼类群落演替的主要内部因素^[66]。而通过食性分析和食性比较是揭示鱼类间相互关系的重要途径^[67]。国外有关方面的研究很多,并且把食物关系的研究从定性转向定量研究^[68-71]。我国对食物关系的研究也非常重视,如孟田湘^[72]对渤海底层鱼类食物重叠系数的研究和邓景耀等^[67]用饵料重叠系数对渤海主要生物种间关系进行的研究。国内外对鱼类食性研究的主要内容包括食物组成、食性比较、摄食的时空变化、食物选择性、营养级、摄食量、食物网和营养动力学等几个方面^[67]。其中食物组成和食性比较是揭示鱼类间相互关系的主要方法。食物组成主要研究鱼类食物的种类组成并判断各种饵料的重要程度;食性比较是通过研究不同鱼类间食物组成的差别从而了解它们对饵料资源的竞争情况^[73]。

食物组成的研究中单一指数主要有出现频率、个数百分比、体积百分比和重量百分比等。综合指数主要有相对重要性指数、优势指数和几何指数等^[73]。由于研究目的不同,我国一些学者常用出现频率来研究一些鱼类的食物组成。出现频率可以反映鱼类对某种饵料的喜好程度,但其主要缺点是不能区分某种饵料占总食物量的比例。因此,这一指数难以较准确地说明某种饵料的相对重要性,从而很难判断食性相近鱼类对共同饵料资源的竞争程度。如以食物出现频率为指标对太湖鲚和陈氏短吻银鱼食性的研究表明:鲚食物中桡足类的出现率是 67%~97%,枝角类的出现率是 67%~100%^[74];而陈氏短吻银鱼食物中桡足类的出现频率是 96%,枝角类的出现频率是 74.1%^[75]。从这一指标判断,可以认为两种鱼类

的食性是基本一致的。但作者在2004年的分析结果表明:鲚的主要食物是枝角类,占总食物个数的 $89.77\% \pm 13.69\%$,而桡足类仅占 $7.84\% \pm 11.53\%$ ^[28];陈氏短吻银鱼的主要食物是桡足类,占总食物个数的 $70.11\% \pm 10.57\%$,而枝角类仅占 $29.84\% \pm 10.62\%$ ^[76]。这说明两种鱼类的主要食物是不同的。

食性比较是国外学者较常用的定量研究鱼类食物竞争程度的方法,包括食物重叠指数法、统计学方法和聚类分析。食物重叠指数是进行食性比较常用的方法:鱼类间食物重叠指数越高表明食物组成越相似,对饵料资源的竞争越激烈。如Shorygin重叠指数 PS ^[77], Morisita重叠指数 C ^[78-79], Pianka重叠指数 O_{ij} ^[80-81]等。作者用Pianka重叠指数研究太湖鲚和陈氏短吻银鱼的食物关系发现,两种鱼类没有达到 $O_{ij} > 0.5$ 有意义的重叠水平^[76]。这和过去的研究结果是不同的。

总起来看,国外学者在进行鱼类食性分析时,常以食物重叠指数为指标,采用聚类分析的方法,把食物重叠指数大于一定数值的鱼类划分为同一食性类型。而我国的一些学者常用饵料的出现频率或相对重要性指标作为依据进行划分,带有一定的主观性。此外,国外学者在分析时非常重视用统计学的方法进行检验,如 χ^2 检验、列联表、方差分析等,国内一些学者常常忽视统计检验的重要性,这就降低了研究结果的可信性^[73]。因此,在通过食物组成分析鱼类间关系时,采用可以定量比较的指标是非常重要的。

3.4 鱼类种群数量变化间的关系

鱼类群落的演替可以表现为主要鱼类种群数量的变动。影响鱼类种群数量变动的因素有很多,如食物条件、理化环境、捕捞强度和种间关系(如食物竞争、捕食与被捕食)等^[13]。鱼类群落内因食物竞争、捕食与被捕食所引起的种间关系往往也是影响数量变动的重要因素。鱼类种群间相互作用的研究国内外大多采用食物组成、日粮及能量转化效率等方法。但这些方法并不能回答鱼类种群间相互作用的数量关系。因此,有必要对此进行研究。这可以为调控湖泊鱼类区系组成及生态渔业管理提供理论依据。多元分析方法可以

揭示各变量间真实的数量关系,评断各自变量对依变量变化的相对重要性。用多元分析方法对鱼类产量或种群数量变动与环境主要因子关系的研究已有很多^[82-85],但用来研究鱼类种群间相互影响的定量关系的报道很少见到。这可能是因为在环境中影响因素很多,而鱼类种群间的相互影响并不一定是线性关系或者函数关系。但作者认为:当环境中其它因素相对稳定时,鱼类间因捕食和被捕食、食物竞争等所形成的相互关系可能就成为影响种群数量变化的主要方面,而这种相互关系可能会体现在种群数量的变化上。因此,可以通过种群数量的变化来研究鱼类间相互关系的模型。为此,作者曾对太湖鲚和主要鱼类间的数量变化关系,用SAS统计软件进行了尝试,得到的模型和食性分析的结果是基本吻合的^[86]。虽然这一工作还存在很多不足,但作者认为这是一项值得探讨的有意义的工作。

3.5 具有水质保护功能的合理鱼类组成

要设计具有环境保护功能的鱼类群落组成需要确定计划达到的目标。随着我国鱼类产量的不断提高,水产品的供应已经基本满足我国人们的生活要求。而环境的日趋恶化,水资源的结构性短缺已成为制约我国经济发展的主要问题。湖泊是工农业和生活用水的主要水源,如何建立有利于水域环境保护的渔业生产方式应该成为我国湖泊渔业中必须重视的问题。因此,有学者提出建立具有水质保护功能的渔业生产方式^[6]。设计具有环境保护功能的鱼类群落组成的目标是什么?应该是生态系统恢复和水质保护。因此,合理的鱼类组成至少要具备上、中、下功能。上—是指在水体的上层保护浮游动物;中—是指在水体的中下层保护水生植物;下—是指在水体的底层保护底栖动物并不使底泥被搅动。在设计具有水质保护功能鱼类组成时,利用鱼类间的关系应该是建立稳定的群落以及进行调控管理的重要理论依据之一。此外,建立具有水质保护功能的渔业生产方式和过去提出的生态渔业应该是不同的概念。生态渔业强调的是如何充分利用生物能量,而建立具有水质保护功能的渔业生产方式应该是:利用鱼类环境保护的功能达到保护水质的目的。

参考文献:

- [1] 黄玉瑶. 内陆水域污染生物学-原理与应用[M]. 北京:科学出版社, 2001:153-154,248-254.
- [2] McQueen D J. Manipulating lake community structure: where do we go from here? [J]. *Freshwater Biol*, 1990, 23:613-620.
- [3] Northcote T G. Fish in the structure and function of freshwater ecosystems: a "top-down" view[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1988,361-379.
- [4] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. *Fishes*, 1981,6:21-27.
- [5] Karr J R. Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management [J]. *Ecol Applications*, 1991,1:66-84.
- [6] 张国华,曹文宣,陈宜瑜,等. 湖泊放养渔业对我国湖泊生态系统的影响[J]. *水生生物学报*, 1997,21(3):273.
- [7] 黄玉瑶. 白洋淀鱼类资源变化及影响因素分析[J]. *动物学集刊*, 1993,10:33-42.
- [8] 刘健康. 高级水生生物学[M]. 北京:科学出版社, 1999:129,301-302.
- [9] 王 骥,沈国华. 武汉东湖浮游植物的初级生产力及其与若干生态因素的关系[J]. *水生生物学集刊*, 1981,5(3):295-331.
- [10] 王 骥,梁彦龄. 用浮游植物的初级生产量估算东湖鲢鳙生产潜力与鱼种放养量的探讨[J]. *水产学报*, 1981,5(4):343-350.
- [11] 陈洪达. 湖泊水库渔业的合理放养[J]. *淡水渔业*, 1981,(4):5-10.
- [12] 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.
- [13] 史为良(主编). 内陆水域鱼类增殖与养殖学[M]. 北京:中国农业出版社, 1996:45,67-76.
- [14] 李辛夫,陈宜瑜. 内陆水体生物学研究与淡水渔业的可持续发展[J]. *水生生物学报*, 22(2):175.
- [15] 刘建康. 东湖渔业增产试验综述[J]. *海洋与湖沼*, 1980,11(2):185-188.
- [16] 张幼敏. 中国湖泊、水库水产增殖技术进展[J]. *水产学报*, 1992,16(2):179-187.
- [17] 饶钦止. 湖泊调查基本知识[M]. 北京:科学出版社, 1956:250-260.
- [18] 胡保同. 水库放养鱼种的几个问题[J]. *淡水渔业科技杂志*, 1974,(3):8-13.
- [19] 曹富康. 水库放养鱼种规格指标和解决办法[J]. *淡水渔业科技杂志*, 1976,(2):27-30.
- [20] 刘建康. 我国湖泊水库的生产实践和科技动态[M]//湖泊水库渔业科技资料汇编, 1976:43-44.
- [21] 何志辉. 中国湖泊水库的初级生产力及其能量转化效率[J]. *水产科学*, 1987,6(1):24-30.
- [22] 陈敬存. 长江中下游水库凶猛鱼类的演替规律和种群控制途径的探讨[M]//湖泊水库渔业增殖资料汇编, 1976:130-141.
- [23] 朱志荣,林永泰,方榕乐,等. 武昌东湖蒙古红鲌和翘嘴红鲌的食性及其种群控制问题的研究[J]. *水生生物学集刊*, 1976,6(1):36-52.
- [24] 许品诚. 太湖翘嘴红鲌的生物学及其增殖问题的探讨[J]. *水产学报*, 1984,8(4):279.
- [25] 刘恩生,郑玉林,江河. 对乌鳢在花园湖渔业开发中生态地位初析[J]. *水产学报*, 1992,16(2):147-153.
- [26] Liu J K, He X Q. Quantitative and qualitative aspects of fish crop in relation to environment quality [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1987, 13:61-75.
- [27] 刘恩生,刘正文,陈伟民,等. 太湖鱼类产量、组成的变动规律及与环境的相互关系[J]. *湖泊科学*, 2005, 17(3):251-256.
- [28] 刘恩生,刘正文,陈伟民,等. 太湖鲢鱼渔获量变化及与生物环境间相关关系的研究[J]. *湖泊科学*, 2005, 17(4):340-345.
- [29] 曹文宣. 洪湖鱼类资源小型化现象的初步探讨[M]//洪湖水体生物生产力综合开发及湖泊生态环境优化研究. 北京:海洋出版社, 1991:148-152.
- [30] 许木启,黄玉瑶. 受损水域生态系统恢复与重建研究[J]. *生态学报*, 1998,18:547-558.
- [31] National Research Council. Restoration of Aquatic Ecosystems[M]. Washington D C: Nat Acad Press, 1992:552.
- [32] Bjork S. Redevelopment of lake ecosystem-A case study approach[J]. *AMBIO*, 1988,17:90-98.
- [33] Carpenter S R, Kitchell J F, Hodgson J R. Cascading trophic interactions and lake productivity[J]. *Bioscience*, 1985,35(10):634-639.
- [34] Shapiro J, Lamarra V, Lynch M. Biomanipulation: an ecocystem approach to lake restoration [M]//Brezonik P L, Fox J L, eds. Proceedings of a Symposium on Water Quality Management through Biological Control. University of Florida, Gainesville, 1975:85-89.
- [35] Shapiro J. Biomanipulation: The next phase-making it stable[J]. *Hydrobiologia*, 1990,200/201:13-27.
- [36] Hrbacek J, Dvorakova M, Korinek V, et al. Demonstration of the effect of the fish stock on the species composition of zooplankton and the intensity of metabolism of the whole plankton assemblage [J]. *Verh int Ver*

- Theoret, *Angew Limnol*, 1961,14:192 – 195.
- [37] Brooks J L, Dodson S J. Predation, body size, and composition of plankton[J]. *Science*, 1965,150:28 – 35.
- [38] Hurlbert S H, Zedler J, Fairbanks D. Ecosystem alteration By mosquitofish (*Gambusia affinis*) predation [J]. *Science*, 1972,175:639 – 641.
- [39] Zaret T M, Paine R T. Species introduction in a tropical lake[J]. *Science*, 1973,182:449 – 455.
- [40] 刘建康. 东湖生态学研究(一)[M]. 北京:科学出版社, 1990.
- [41] 刘建康. 东湖生态学研究(二)[M]. 北京:科学出版社, 1995.
- [42] 刘建康, 谢平. 揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜[J]. *长江流域资源与环境*, 1999,8(3):312 – 319.
- [43] Xie P, Liu J K. Practical success of biomanipulation using filter fish to control cyan bacteria blooms: a synthesis of decades of research and application in a subtropical hypereutrophic lake[J]. *The Scientific World*, 2001,1:337 – 356.
- [44] 谢平. 鲢、鳙与藻类水华控制[M]. 北京:科学出版社, 2003:103 – 129.
- [45] 杨清心, 李文朝. 高密度围网养鱼对水生植被的影响及生态对策[J]. *应用生态学报*, 1996,7(1):83 – 88.
- [46] 杨清心. 东太湖水生植被的生态功能及调节[J]. *湖泊科学*, 1998,10(1):67 – 72.
- [47] 金 刚, 李钟杰, 刘伙泉, 等. 保安湖沉水植被恢复及其渔业效益[J]. *湖泊科学*, 1999,11(3):260 – 266.
- [48] Smith D W. Biological control of excessive phytoplankton growth and enhancement of aquacultural production [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1985,42:1940 – 1945.
- [49] 陈少莲, 刘肖芳, 华 俐. 鲢、鳙在东湖生态系统的氮磷循环中的作用[J]. *水生生物学报*, 1991,15(1):8 – 15.
- [50] Carpenter S R, Kitchell J F, Hodgson J R, *et al.* Regulation of lake primary productivity by food web structure[J]. *Ecology*, 1987,68:1863 – 1876.
- [51] Carpenter S R, Kitchell J F. Consumer control of lake productivity[J]. *Bio Science*, 1993,38:764 – 769.
- [52] Richardson W B, Wickham S A, Threlkeld S T. Food web response to the experimental manipulation of a benthivore (*Cyprinus carpio*), zooplanktivore (*Menidia beryllina*) and benthic insects[J]. *Arch Hydrobiol*, 1990,119:143 – 165.
- [53] Andersson G. Effects of planktivorous and benthivorous fish on organisms and water chemistry in eutrophic lakes [J]. *Hydrobiologia*, 1978,59:9 – 15.
- [54] Horppila J, Kairesalo T. A fading recovery: the role of roach (*Rutilus rutilus*) in maintaining high phytoplankton productivity and biomass in Lake Vesjarvi, southern Finland[J]. *Hydrobiologia*, 1990,200/201:153 – 165.
- [55] 刘恩生, 刘正文, 鲍传和. 太湖鲫鱼数量变化的规律及与水环境间关系的分析[J]. *湖泊科学*, 2007,19(3):340 – 345.
- [56] 黄祥飞, 陈伟民, 蔡启明. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 北京:中国标准出版社, 1999:95 – 102.
- [57] Tonn W M J J, Magnusm A M F. Community analysis in fishery management: an application with northern Wisconsin Lakes[J]. *Trans amer Fish Soc*, 1983,112:368 – 377.
- [58] Eadie J, Keast A. Resource heterogeneity and fish species diversity in lakes[J]. *Can J Zool*, 1984,62:1689 – 1695.
- [59] 费鸿年, 何宝金, 陈国铭. 南海北大陆架底栖鱼类群聚的多样性以及优势种区域和季节变化[J]. *水产学报*, 1981,5(1):1 – 20.
- [60] 凌去非, 李思发. 长江天鹅州故道鱼类群落种类多样性[J]. *中国水产科学*, 1998,5(2):1 – 5.
- [61] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京:中国农业出版社, 1995:220 – 221.
- [62] 倪达书, 蒋燮治. 花鲢和白鲢的食性问题[J]. *动物学报*, 1954,6:59 – 71.
- [63] 朱 蕙, 邓文瑾. 鱼类对藻类消化吸收的研究(ii) 鲢、鳙对微囊藻和裸藻的消化吸收[C]//鱼类学论文集, 1983,3:77 – 91.
- [64] 陈少莲, 华元渝, 朱志荣, 等. 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[J]. *水生生物学报*, 1989,13:114 – 123.
- [65] 岩田腾哉, 陈少莲, 刘晓峰. 滤食性鲤科鱼类-鲢、鳙鱼对蓝藻(铜绿微囊藻)的利用[M]//朱学宝, 施正峰. 中国池塘生态学研究. 上海:上海科学出版社, 1995:159 – 174.
- [66] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2001:426 – 429.
- [67] 邓景耀, 姜卫民, 杨纪明, 等. 渤海主要生物间关系及食物网的研究[J]. *中国水产科学*, 1997,4(4):1 – 7.
- [68] Gramer S, Daan N. Consumption of Bebtos by North Sea sod and haddock in 1981[J]. *ICES CM* 1986/G:56.
- [69] Joes R. Estimates of the food consumption of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) and cod (*Gadus morhua*) [J]. *Con Int Mer*, 1978,38:18 – 27.
- [70] Mehl S. The Northeast Arctic cod stock's consumption of commercially exploited prey species in 1984 – 1986 [J]. *Rapp P-v Reun Cons Explor Mer*, 1989,188:185 – 205.
- [71] Ponomarenko V P, Poncomarenko I Y. Consumption of the Barents Sea capelin by cod and haddock[J]. *ICES CM/*

- 1975, F:10.
- [72] 孟田湘. 渤海重要底层鱼类食物重叠系数与鱼类增殖[J]. 海洋水产研究, 1989,10:1-7.
- [73] 薛莹,金显仕. 鱼类食性和食物网研究评述[J]. 海洋水产研究, 2003,24(2):76-87.
- [74] 唐渝. 太湖湖鲢种群数量变动及合理利用的研究[J]. 水产学报, 1987,11(1):61-73.
- [75] 倪勇,朱成德. 太湖鱼类志[M]. 上海:上海科技出版社, 2005:218.
- [76] 刘恩生,鲍传何,吴林坤,等. 太湖新银鱼、鲢的食性比较及相互影响分析[J]. 湖泊科学, 2007,19(1):103-110.
- [77] Blaber S J M, Bluman C M. Diets of fishes of the upper continental slope of eastern Tasmania: content, calorific values, dietary overlap and trophic relationships[J]. Mar Biol, 1987,95:345-356.
- [78] Horn H S. Measurement of overlap in comparative ecological studies[J]. Am Nat, 1966,100:419-423.
- [79] Macarthur R H, Levins R. The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species[J]. Am Nat, 1967,101:377-385.
- [80] Pianka E R. The structure of Lizard communities[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973,4:53-74.
- [81] Keast. Trophic and spatial interrelationships in the fish species of an Ontario temperate lake[J]. Environmental Biology of Fishes, 1978,3,7-31.
- [82] 蔡庆华. 武汉东湖主要生物类群与环境因子间相关关系的多元分析. 东湖生态学研究(二)[M]. 北京:科学出版社,1995:422-439.
- [83] 严小梅,胡绍坤,施须坤. 太湖银鱼资源变动关联因子及资源预报方法探讨[J]. 水产学报, 1996,20(4):307-313.
- [84] 熊邦喜,刘金星,张青. 水库不同指标体系的生态因子与鱼产量的回归模型[J]. 华中农业大学学报, 1993,12(2):279-284.
- [85] 高桂庭. 水库渔获量与环境因素的多元回归模型[J]. 水库渔业, 1983,2:35-38.
- [86] 刘恩生,许建新,程建新,等. 太湖鲢鱼渔获量变化与主要鱼类渔获量间关系的多元分析[J]. 安徽农业科学, 2005,33(9):1657-1659.