

浮游动物生态学研究进展^{*}

杨宇峰¹ 黄祥飞²

(1: 汕头大学海洋生物实验室, 汕头 515063; 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071;

2: 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要 本文综述了近年来浮游动物生态学研究的最新进展, 内容包括: 长期生态学研究, 浮游动物种类组成和现存量动态的研究, 捕食生态研究, 温度、食物等因子对浮游动物影响的研究, 此外, 还对浮游动物分子生物学、微表层浮游动物生态学、大型水利工程和能源设施建设对水生生态系和浮游动物的影响及浮游动物大规模高密度培养技术等热点问题进行了讨论。

关键词 浮游动物 生态学 进展

分类号 Q958.1

浮游动物(Zooplankton)几乎存在于各种类型水体中, 与其它水生动物比较, 它们的个体较小, 但数量极多, 代谢活动强烈。浮游动物既能以浮游植物、细菌、碎屑等为食, 同时它们又是鱼类和其它水生动物的食物, 特别是许多名优水产品的开口饵料, 因此, 它们在水域生态系统中起着极其重要的作用。此外, 浮游动物还可通过排泄和分泌作用, 参与水生生态系统中有机质的分解和循环。一些浮游动物对污染物极为敏感, 且有积累和转移作用, 从而使它们在生态毒理和水环境保护等研究方面占据重要地位。正因为如此, 有关浮游动物的生态学研究, 受到了水生生物学家的广泛关注。本文就其研究进展作一综述。

1 浮游动物生态学研究的主要进展

1.1 长期生态学研究

生态学发展到20世纪初还处在以描述性为主的阶段, 此后吸收了其它学科的方法开始对自然生态系统的定位试验研究。长期生态研究的主要目标通常是提供对基线(base-line)变动的可靠估计, 预测处于基线平均水平的长期变化趋势, 调查获得极少发生的生态学变化, 从而提供有价值的科学信息。由于生态系统的变化过程需要很长时间, 因此, 长期研究在深入了解生态过程方面显得极为重要^[1]。如Brooks和Dodson通过比较Crystal湖浮游动物群落结构在1942年及1965年长达20多年的变化, 提出了大小效率假说(Size-Efficiency Hypothesis), 该假说为研究鱼类与浮游动物的相互关系奠定了理论基础^[2]。英国科学家对Leven湖的长期监测始于20世纪40年代。1954至1966年, 由于当地羊毛厂向湖中排放了狄氏杀虫剂(insecticide dielarin), 致使蚤类种群从湖中消失, 直到20世纪70年代初期蚤类才在湖中重新出现。正是这种长期性的研究, 使人们认识到了人类活动对水生生物及水环境影响的重要性^[3]。近几十年

* 国家重点基金项目(39630090)和国家杰出青年基金项目(39625008)联合资助。

收稿日期: 1999-07-30, 收到修改稿日期: 1999-09-20。杨宇峰, 男, 1963年12月出生, 博士, 副研究员。Email: yfyang@mailserv.stu.edu.cn.

来,浮游动物的长期生态学研究已在欧洲、北美、中东和东亚相继展开,大量有价值的研究结果被发表,极大地丰富了浮游动物生态学的研究内容^[4-9]。由于浮游动物的种类组成、体长频度分布、营养水平、空间分布、功能特点和定量数据,能揭示生态过程的演变机制,提供很多的有价值的信息,因此,长期生态学研究已越来越受到世界各国科学家的广泛重视。

1.2 浮游动物种类组成和现存量动态的研究

本世纪以来,水生生物学家一直都把水体中浮游动物种类组成及其动态变化作为重要研究内容。Juday 报道了 Wisconsin 州 4 个湖泊中浮游甲壳动物的种类组成和数量变化^[10]。Edmondson 和 Litt 以美国西雅图华盛顿湖为研究基地,对溞类的数量动态进行了深入研究,详细阐述了溞类的变化与营养类型变迁之间的关系^[11]。重视基本资料的积累和基础研究是前苏联和东欧各国水生生物学家研究的重要特点。他们曾组织庞大的科学考察队对有代表性水域浮游动物进行了广泛的调查^[5,12]。此外,其它国家的生物学家通过对本国湖泊、水库、池塘、河口、海湾等水体的资源调查,出版了一系列浮游动物的专业文献^[2,7,13,14]。

在浮游动物专著方面,加拿大的生态学家 Downing 和 Rigler 合编了《A Manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters》一书,该书为浮游动物现存量和生产量的测定提供了多种实用的方法,至今仍是被广泛应用的经典著作^[15]。William(1979)通过对菲律宾 Lanao 湖浮游动物数量的时空分布、次级生产力、死亡率等的深入分析,出版了《Zooplankton Community Analysis》的专著^[16]。这些专著的出版,有力地推动了浮游动物生态学研究的发 展。

从 1950 年开始在江苏五里湖进行的定位定期的周年性调查,可以说是我国综合性湖泊生物学调查研究工作的开端。1953-1954 年,对湖泊比较密集的湖北、安徽、江苏三省的七百多个湖泊进行了包括浮游动物在内的生物资源调查。此后,在全国进行了许多以渔业利用为主要目的的湖泊学调查。例如:江苏省的太湖、湖北省的梁子湖和花马湖、武汉市的东湖、河北省的白洋淀、辽宁省的达里湖等等。国内对淡水浮游动物数量的季节变动进行较系统研究当首推白国栋先生 1951 年对江苏五里湖的湖泊学调查^[17]。对武汉东湖浮游动物的研究最为深入^[8,9,18-22]。由于大量生态学论文(包括浮游动物)在国内外的发表,使武汉东湖成为国际湖沼学界最为熟悉的湖泊之一。除了对浮游动物的现存量变化进行研究外,堵南山还对我国淡水枝角类的区系特点和地理分布作了分析^[23]。在上述研究基础上,一批浮游动物专著被出版,如《中国淡水轮虫志》,《中国动物志·淡水枝角类》,《中国动物志·淡水桡足类》,《淡水浮游生物研究方法》等。这些专著出版发行以来,一直作为淡水浮游动物研究的主要参考书目,有些被译成外文在国外出版。所有这些工作,为进行淡水浮游动物的实验湖沼学研究奠定了基础。

在海洋浮游动物研究方面,科学家通过多年调查,对世界海洋(包括南大洋和北冰洋)浮游动物的时空分布有了一定程度的了解,从平面分布和海流的关系中找出了世界各海流的指示种(Current indicator)^[24]。60 年代,海洋生物学家开始研究栖息于海洋表层的漂浮生物(neuston),对其种类组成、时空分布、研究方法等进行了详尽研究,Zaitsev(1970)还出版了海洋漂浮生物学(Marine Neustonology)的专著^[25]。在国内,郑重先生等就海洋浮游动物的摄食生态、斑块分布(patchy distribution)等进行了深入研究^[26,27]。一些海洋生物学家对南海、东海、渤海及一些重要海湾、河口浮游动物进行了研究^[28-30]。特别是陈清潮先生通过对中国海特别是南沙的综合科学考察,出版了大量海洋浮游动物专著和论文,为我国海洋浮游动物的生态学

研究作出了重要贡献^[31]。

1.3 捕食生态研究

1.3.1 脊椎动物对浮游动物的捕食 近年来,通过用生物调控手段,即改变鱼群数量和结构来研究水生态系统已受到水生生物学家的广泛关注。脊椎动物和无脊椎动物的捕食可以极大地改变浮游动物的群落结构和大小组成,从而影响浮游植物现存量、初级生产力及营养物的转换率。当食浮游生物鱼的放养密度高,则捕食作用强,大型浮游动物被首先捕食,导致浮游动物小型化;而当鱼的密度低,捕食作用弱甚至无鱼捕食时,则有大型浮游动物存在^[32-34]。食浮游生物鱼类主要捕食大型个体^[2];而无脊椎捕食者趋向于摄食小型个体^[13,35]。

(1) 鱼类捕食对浮游动物种类组成和现存量的影响:早在 60 年代初期, Hrbacek 等首先证实了鱼类在调节浮游动物的种类组成和大小方面具有重要作用^[12]。60 年代中期, Brooks 和 Dodson 提出了著名的大小效率假说^[2]。自此以后,鱼类捕食被认为是影响浮游动物群落结构的重要因素^[21,34,36]。鱼类对浮游动物的捕食主要集中在两点:一是大小选择,二是猎获物的可见性^[37]。另一方面,浮游动物的个体大小、摄食范围及对脊椎动物的敏感性各不相同(表 1)。

如表 1 所示,轮虫、枝角类、桡足类都能摄食 5-20 μm 之间的颗粒,它们之间也必定产生食物竞争。目前,竞争和捕食相互影响被认为是导致浮游动物群落演替的重要原因。鱼类对大型浮游动物,特别是对大型甲壳动物的捕食,国外学者已从多方面得到证实。研究表明,食浮游生物鱼类在选择食物时,首先选择的是枝角类,而不是桡足类^[32]。Arcifa 等的围圈实验表明:在无

表 1 浮游动物重要类群的主要特征^[13]

Tab.1 Main characteristics of the most important taxonomic groups of zooplankton

类 群	轮 虫	枝角类	桡足类
典型成体体长 mm	0.2-0.6	0.3-3.0	0.5-5.0
最大个体体长 mm	1.5	5.0	14.0
食物大小范围 μm	1-20	1-50	5-100
过滤率	很低	高	低
对脊椎动物的易感性	很低	高	低

鱼的围圈中,有个体较大的枝角类,如 *Daphnia gesseri*, *D. ambigua*, *Moina micrura* 存在;而在有鱼的试验围圈中这些枝角类均没有出现^[33]。杨宇峰和黄祥飞也通过实验证实:在鲢鳙混养的围圈,蚤类一直没有建立起大的种群;但在无鱼的两个围圈中,蚤的数量较多。可以认为这是鲢鳙直接摄食的结果^[34]。

近年来,关于蚤类数量变动的的原因主要有两种不同的观点:一是鱼类捕食的下行效应决定,二是由可利用食物的上行效应决定。北美学者主要强调鱼类捕食的重要性^[2],而欧洲学者则强调食物可能是更重要的决定因素^[38]。

(2) 鱼类摄食对浮游动物个体大小的影响:Brooks 和 Dodson 在研究美国 Crystal 湖滤食性鱼类鲱鱼 (*Alosa*) 的种群变动对水体中浮游动物个体大小影响时发现:在同一湖泊,当 *Alosa* 种群密度很高时,绝大多数浮游动物个体的体长 0.6mm,而当水体中 *Alosa* 种群密度不高或缺乏时,浮游动物的体长多在 0.5mm 以上^[2]。可见, *Alosa* 的捕食,促进了浮游动物小型化。另据 Brooks 报道,由于虹鳟鱼的引入,导致蚤类平均体长由 1.4mm 下降到 0.8mm^[39]。

Vanni 在对美国 Dynamite 湖的研究中,发现鱼的捕食对枝角类的大小有重要影响。*Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia laustris*, *Diaphanosoma birgei* 的体长,在没有鱼时要比有鱼时大得多。在鱼的捕食压力下,枝角类体长减小主要是为了增加自身运动的灵活性,以增强逃避被鱼捕食能力,维持种群的稳定性^[40]。

Galbraith 用河鲈 (*Perch*) 成体, 研究对蚤的大小选择, 发现河鲈所摄食的蚤都在 1.3mm 以上^[41]。在 Sportley 湖, 由于鱼的捕食, 蚤的平均体长由 1.4mm 下降到 0.8mm; 1.3mm 以上的个体所占的百分比从 53.8% 下降到 4.7%^[42]。

作者 1990 年的围圈试验也得到了相似的结论。大型甲壳动物体长频度在有鱼的围圈比无鱼围圈低得多。1.5mm 以上甲壳动物的体长频度分布差异明显, 这显然是由于鲢鳙摄食大型甲壳动物的结果^[34]。

综上所述, 鱼类摄食是导致浮游动物小型化的重要原因。

1.3.2 无脊椎动物的捕食对浮游动物的影响 食浮游动物的无脊椎动物捕食者主要有剑水蚤、一些轮虫(如晶囊轮虫)、枝角类(如薄皮蚤)和昆虫(如幽蚊和幼龄期的摇蚊幼虫)^[13, 43]。在这些捕食者中, 透明薄皮蚤是一种体大、透明的浮游动物捕食者, 其猎物包括枝角类、桡足类和轮虫。据报道, 透明薄皮蚤的最高密度可达到 2.5 ind. L^{-1} 。当它的密度较低(如小于 0.15 ind. L^{-1} 时), 对猎物(如秀体蚤)种群几乎没有影响; 当种群密度超过 0.5 ind. L^{-1} 时, 它可有效地控制猎物的种群密度(如薄皮蚤可摄食超过 50% 的秀体蚤幼体); 另一方面, 这种枝角类尽管身体非常透明, 由于其复眼有颜色很深的色素区, 从而成为鱼类捕食的重要目标^[37]。

桡足类的摄食活动决定着从初级生产到次级生产的转换, 在食物链中起着承先起后的作用。桡足类的摄食行为通常包括游泳、相遇、攻击、捕获和消化等一系列过程^[35]。此外, 捕食强度还受猎物个体大小的影响。当不同大小的轮虫处于同一生境, 剑水蚤首先选择个体小的轮虫。由于枝角类短的增代时间和高的繁殖率, 通常无脊椎动物的捕食对枝角类密度影响不大; 但在无脊椎动物捕食者的密度很高时, 可有效地控制枝角类种群。脊椎动物和无脊椎动物摄食枝角类时, 前者选择个体较大者, 而后者则选择幼小的个体^[13]。

近邻剑水蚤早期桡足幼体是杂食性的, 从第 4 桡足幼体至成体才具有捕食性, 其猎物包括轮虫、蚤类、秀体蚤、象鼻蚤、桡足幼体和无节幼体等。近邻剑水蚤在其密度达到最大时, 具有特别重要的意义, 因为它是其它桡足类的捕食者, 通过对 Constance 湖数年的观察, 发现近邻剑水蚤能有效地控制广布中剑水蚤种群, 甚至能导致幼鱼的巨大损失^[4]。

目前, 对桡足类摄食的研究对象仅局限在少数几个种类, 如淡水中的广布中剑水蚤 (*Mesocyclops leuckarti*) 和近邻剑水蚤 (*Cyclops vicinus*), 海洋中的中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) 等。今后, 桡足类的摄食研究应扩大研究对象, 同时应研究食性转变机制、食性与感受器的关系, 进一步加强摄食模型研究, 提高摄食生态学研究水平。

1.4 温度、食物等因子对浮游动物影响的研究

1.4.1 温度对浮游动物的影响 除了竞争和捕食作用影响浮游动物群落演替外, 非生物的因素(如水温、光强等)对浮游动物群落演替也具有重要作用^[44]。据报道, 温度是影响浮游动物水平分布的一个重要因素。一般热带狭温性种类不能分布到寒带, 反之, 寒带狭温性种类也不能分布到热带^[45]。

据陈受忠报道, 在武汉东湖, 广布中剑水蚤在春季水温近 10°C 时开始出现, 秋季水温降至 10°C 左右时消失。水温在 20°C 以上时数量较多, 30°C 以上出现高峰^[20]。另据 Fryer 和 Smyly 研究, 低温是促使广布中剑水蚤进入休眠的主要原因, 而且还发现水温为 2°C 时进入休眠的桡足幼体不能恢复活力^[46]。根据武汉东湖 1979 - 1983 年记录, 近邻剑水蚤每年 10 月上旬水温约 $20 - 22^{\circ}\text{C}$ 时在湖中出现, 至翌年 5 月下旬水温约在 $25 - 27^{\circ}\text{C}$ 时消失, 表明温度可能是影响该

种群增长的主要生态因子。在 6.5 - 20℃ 范围内,无节幼体、桡足幼体的发育速度随温度升高而加快,但当温度升高到 25℃ 时,其发育速度反而减慢,近邻剑水蚤卵的发育时间主要受温度的影响,其它各发育阶段的时间除受温度因子影响外,其它生态条件(如食物),亦会直接影响其生长^[47]。黄祥飞通过对武汉东湖透明蚤(*D. hyalina*)和隆线蚤-亚种(*D. carinata* ssp.)的研究,发现这两种蚤的发育时间随温度升高而缩短。低温时培养的个体普遍大于高温时培养的个体,龄期、寿命也随温度升高而变短^[48]。另据报道,透明薄皮蚤是一夏季种类,它的数量与温度密切相关^[37]。

1.4.2 食物对浮游甲壳动物的影响 食物对浮游动物的生长发育具有重要意义。食物对于浮游动物的影响可能比温度复杂得多,这一方面是因为食物的多样性,另一方面是由于不同食物的营养价值差异。

近邻剑水蚤的桡足幼体是杂食性的,其食性常随环境中的食物而异;不光吃动物性食物;也吃象酵母粉那样营养价值较高的植物性食物,但其长成成体的比率却有差异^[47]。枝角类、轮虫和小型纤毛虫均能过滤 1 - 15 μm 的食物,但大型枝角类的过滤效率更高^[2]。这样枝角类在食物竞争中处于优势。蚤类主要摄食小于 50 μm 的颗粒,合适而丰富的食物提供可使蚤类怀卵量增加。蚤类通过下行效应从而控制浮游植物,因为它滤食的食物颗粒范围很广,从细菌到大量的浮游植物^[49]。温度和食物被认为是调控浮游动物数量的变动的两个重要因素。

1.4.3 其它因素对浮游动物的影响 除了温度和食物是影响浮游动物的两个重要因素外,盐度、pH、光强、大型水生植物、水深、水体大小等对浮游动物的种群变动也有重要影响。例如,大型蚤的耐盐上限为 13.2‰^[50];刺剑水蚤(*Acanthocyclops*)大都生活在 pH3.0 的酸性水域,而中剑水蚤则生活在 pH7.0 的中性水域,此外,枝角类和桡足类中的一些种类的昼夜垂直移动与光强变化密切相关^[20,45]。如透明薄皮蚤白天在湖底活动,晚上则迁移到湖面,这种习性似乎可以降低鱼在白天对它的捕食压力,在 Neusiedler See 湖,尽管鱼类可摄食透明薄皮蚤,而且鱼产量有所增加,但在同一时期,薄皮蚤的种群也同样增加,说明鱼和薄皮蚤之间有一种较稳定的捕食者-猎物关系^[37]。

在浅水湖泊,当沉水植物覆盖的面积达到 15% - 20% 时,鱼类捕食对浮游动物群落结构仅有较小的影响。这可能是因为沉水植物为浮游动物提供了较好的荫蔽场所,减弱了鱼类的捕食压力^[51]。对于深水水体,浮游动物在水体上层(0 - 10m)的数量和生物量远高于深水层^[5]。在很多温带湖泊,浮游动物种类的丰富度与湖泊大小密切相关^[52]。

2 当前浮游动物生态研究的几个热点

2.1 浮游动物分子生物学研究

进入 90 年代,将分子生物学技术引入浮游动物生态学研究已受到生物学家的广泛关注。其主要研究方法是将 RAPD 即随机扩增多态 DNA(Randomly Amplifies Polymorphic DNA)技术引入浮游动物特别是蚤类的生态学研究,寻找用于浮游动物种间和种群间鉴定的分子遗传标记,揭示浮游动物的遗传变异规律及其与环境条件变化的关系,探讨种间的亲缘关系和进化关系。如 Muller 和 Seitz 对蚤类的遗传结构差异和生态多样性问题进行研究^[53]。Schwenk 等研究了分子标记在蚤类物种复合体进化中的作用^[54]。这些研究是宏观生物学与微观生物学结合的有益尝试,对推动浮游动物生态学的发展将有积极意义。

2.2 微表层浮游动物生态学研究

微表层(Surface microlayer)是由于表面张力作用下的一层几个毫微米、几十个毫微米到几千毫微米的薄层,它能富集金属离子、无机离子和石油烃、酞酸酯等类型离子、化合物和人类污染物,富集因数从几倍到几千倍.此外,微表层内还有为数众多的细菌、浮游植物和浮游动物,因而在微表层中存在着复杂多样的生物学过程和光化学过程.由于海洋约占地球表面的70%,是全球物质循环中关键一环.位于海-气界面的海洋微表层是气体交换(如 CO_2 和 O_2 转运)的重要场所^[55,56].因此,海洋微表层研究已成为众多生物学家、化学家和物理学家所瞩目的学科发展前沿.到目前为止,有关海洋微表层细菌和浮游植物的研究较多,但浮游动物的研究报导较少,淡水微表层的研究则更少.据作用对大亚湾海洋微表层浮游动物的初步研究,证实大亚湾微表层浮游动物主要由原生动物和桡足类无节幼体组成,微表层浮游动物群落结构特征与本体水(bulk waters)浮游动物结构有明显不同.可以预见,通过对微表层浮游动物的深入研究,将大大推动水气界面生物学学科的发展,将将为解决全球环境变化(如温室气体 CO_2 问题)等重大科学问题作出贡献.

2.3 大型水利工程和能源设施建设对水生态系和浮游动物的影响

大型水利工程和能源设施(如核电站)建设,在发展经济和促进社会进步的同时,也对水域生态环境造成了较大影响.如葛洲坝、三峡大坝的建成,改变了一些重要的水生生物类群,如中华鲟的栖息环境,对河流生态系产生了较大影响.

近年来,由于对电力的需要,核电站发展迅速.核电站是靠核裂变产生巨大热量发电的,因此需要大量的水传递热量,并将废热排放出去.温排水的排放,必然将大量生物(特别是浮游生物)携带进入冷却水系统,一些沿海地区的核电站,为了防止污损生物对冷却水系统的损害,还在水中加入一些强氧化剂(如氯等).同时,核电站的运转,还可能使邻近水域放射性物质增多.这样,核电站邻近水域的生物可能同时受到热、机械、化学和放射性等因素的影响^[57].研究表明,浮游动物经过冷却水系统后数量大大降低^[58].

2.4 浮游动物高密度规模培养技术

浮游动物由于其富含蛋白质、碳水化合物及鱼、虾等早期生长发育所必需的氨基酸,是鱼类等养殖对象人工育苗中被广泛采用的饵料动物.为了加速养殖业的发展,必须高密度大规模地培养浮游动物,以满足鱼、虾养殖的需要.目前我国的海淡水育苗业主要有鱼、虾、蟹、贝和大型海藻等.目前,全国从事鱼、虾、蟹育苗的苗场近千个,育苗水体有几十万立方米.育苗业主迫切希望有商品化的饵料浮游动物面市,其理由显而易见:轮虫和枝角类能使苗种健壮,减少因饲料不适而造成的幼体死亡,可以减少生产的不稳定因素,减少生产风险,使育苗生产更具计划性、稳定性和可预见性,从而最终降低生产成本,提高经济效益,使养殖业得以可持续发展.目前,国外已能大量培养臂尾轮虫和某些桡足类,而我国大规模培养浮游动物方面的研究不多,尚有待加强.

3 结语

浮游动物学研究已开始从以分类、形态为主的阶段发展到以自然生态为主和实验生态相结合的研究阶段.分类研究是其它各项研究工作的基础,通过实验生态研究阐明自然生态现象是近代生态学的一个主要研究方向.目前,浮游动物生态学正向微观和宏观两个方向发展.

在微观方面,已开展了溞类的遗传生态学研究.宏观方面,随着资源卫星、遥感、地理信息系统和计算机的广泛使用,使得浮游动物与环境关系的生态调查,能以最少的人力物力解决以前难以解决的生态问题.如在现有海洋生物学调查研究的基础上,绘制了世界范围的浮游动物生物量分布图,从而使浮游动物生态学研究发展到以生物群落和海洋环境作为一个整体的生态学研究.

参 考 文 献

- 1 Elliott J M. The need for long-term investigations in ecology and the contribution of the freshwater Biological Association. *Freshwat Biol*, 1990, 23:1-5
- 2 Brooks J L, Dodson, body-size and composition of plankton. *Science*, 1965, 150:28-35
- 3 Gunn I D M & May L. Analysis of 1995 zooplankton samples Loch Leven NNR (Report to Scottish Natural Heritage). Institute of Freshwater Ecology, Edinburgh, 1996
- 4 Einsle U. Long-term changes in planktonic associations of crustaceans in Lake Constance and adjacent water and their effects on competitive situations. *Hydrobiologia*, 1983, 106:127-134
- 5 Andronikova I N. zooplankton characteristics in monitoring of Lake Ladoga. *Hydrobiologia*, 1996, 322:173-179
- 6 Kratz T, Frost T M & Magnuson J J. Inferences from spatial and temporal variability in ecosystem: long-term zooplankton data from lakes. *American Naturalist*, 1987, 129:830-846
- 7 Gophen M, Seruya S & Spataru P. Zooplankton community changes in Lake Kinneret (Israel) during 1969-1985. *Hydrobiologia*, 1990, 191:39-46
- 8 Yang Y F, Huang X F & Liu J K. Long-term changes in zooplankton of subtropical Lake Donghu (Wuhan, China) under conditions of increased fish predation. *Russian J Aqua Ecol*, 1994, 3(1):23-30
- 9 Yang Y F, Huang X F & Liu J K. Long-term changes in crustacean zooplankton and water quality in a shallow, eutrophic Chinese lake densely stocked with fish. *Hydrobiologia*, 1999, 391:195-203
- 10 Juday C. The summer standing crop of plants and animals in four Wisconsin lakes. *Trans Wis Acad Sci Arts Lett*, 1942, 34:103-135
- 11 Edmondson W T & Litt A H. *Daphnia* in Lake Washington. *Limnol Oceanogr*, 1983, 27:272-293
- 12 Hrbacek J, Dvorakova M, Korinek V, et al. Demonstration of the effect of the fish stock on the species composition of zooplankton and intensity of metabolism of whole plankton association. *Verh Int Ver Limnol*, 1961, 14:192-195
- 13 de Bernardi R, Giussani G & Manca M. Cladocera: predators and prey. *Hydrobiologia*, 1987, 145:225-243
- 14 Schneider G, Lenz J & Rolke M. Zooplankton standing stock and community size structure within the epipelagic zone: a comparison between the central Red Sea and the Gulf of Aden. *Mar Biol*, 1994, 119:191-198
- 15 Downing J A & Rigler F H. A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters. Oxford: Blackwell, 1971. 336-412
- 16 William M L Jr. Zooplankton community analysis. New York: Springer-Verlag, 1979. 1-156
- 17 白国栋.五里湖 1951 年湖泊学调查(四).浮游动物.水生生物学集刊, 1962, (1):93-108
- 18 王家楫,伍焯田,戈敏生.武昌东湖轮虫种类与数量季节变动的初步观察.水生生物学集刊, 1965, 5(2):183-201
- 19 沈耀芬,陈受忠.武昌东湖浮游动物数量季节变动的初步观察.水生生物学集刊, 1965, 5(2):133-145
- 20 陈受忠.武昌东湖桡足类数量的周年资料.水生生物学集刊, 1965, 5(2):202-219
- 21 黄祥飞,陈雪梅,伍焯田等.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, 1984, 8(3):345-358
- 22 Shei P, Lin W L, Wang Sh M, et al. Plankton and seston structure in a shallow, eutrophic subtropic Chinese lake. *Arch Hydrobiol*, 1993, 129(2):199-220
- 23 堵南山.中国淡水枝角类的地理分布.动物学报, 1963, 15(3):403-416
- 24 郑重.中国海洋浮游生物学研究的回顾与前瞻.台湾海峡, 1988, 7(4):313-323.

- 25 Zaitsev Y P. Marine Neustonology. Nauk Nunka (Isreal Prog Sci Trans), 1970
- 26 郑重. 海洋浮游动物的摄食生态学研究, 自然杂志, 1985, 8:657-660
- 27 郑重, 李少菁. 海洋浮游生物斑块分布的研究. 海洋科学, 1988, 2:58-62
- 28 尹光德. 胶州湾沙南纤毛虫之初步调查. 山东大学学报, 1951, 2:36-56
- 29 陈清潮, 章淑珍. 黄海和东海的浮游桡足类(暂水蚤目). 海洋科学集刊, 1965, 7:20-131
- 30 尹健强, 黄良民, 陈清潮等. 珠江口某些浮游动物的食性研究. 见: 黄创剑等编. 珠江及沿岸环境研究, 广州: 广东高等教育出版社, 1995. 34-45
- 31 Chen Q C. Zooplankton of China seas (1). Beijing: Science Press, 1992. 1-87
- 32 Smyly W J P. Some effects of enclosure on the zooplankton in a small lake. *Freshwat Biol*, 1976, 6:241-251
- 33 Arcifa M S, Northcote T G & Froehlich O. Fish-zooplankton interactions and their effects on water quality of a tropical Brazilian reservoir. *Hydrobiologia*, 1986, 139:49-58
- 34 杨宇峰, 黄祥飞. 鲢鳙对浮游动物群落结构的影响. 湖泊科学, 1992, 4(3):78-86
- 35 Williamson C E. The predatory behavior of *Mesocyclops edax*: Predator preferences, prey defense and starvation-induced changes. *Limnol Oceanogr*, 1980, 25(5):903-909
- 36 Gliwicz Z M. Relative significance of direct and indirect effects of predation by planktivorous fish on zooplankton. *Hydrobiologia*, 1994, 272(1-3):201-1210
- 37 Herzig A. *Leptodora kindtii*: efficient predator and preferred prey item in Neusiedler See, Austria. *Hydrobiologia*, 1995, 307:273-282
- 38 Benndorf J & Horne W. Theoretical considerations on the relative importance of food limitation and predation in structuring zooplankton communities. *Archiv für Hydrobiologie*, 1985, 21:383-396
- 39 Brooks J L. Eutrophication and changes in the composition of the zooplankton. In: Eutrophication: cause, consequences, correctives. National Academy of Sciences, Washington D C, 1969. 236-255
- 40 Vanni M J. Effects of food availability and fish predation on a zooplankton community. *Ecological Monographs*, 1987, 57(1):61-88
- 41 Galbraith M G Jr. Size-selective predation on *Daphnia* by rainbow trout and yellow perch. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1967, 96(1):1-10
- 42 Lazzaro X & Carlos S. A review of planktivorous fishes: Their evolution, feeding behaviours, selectivities and impacts. *Hydrobiologia*, 1987, 146:97-167
- 43 Lair N. effects of invertebrate predation on the seasonal succession of a zooplankton community: a two year study in Lake Aydat, France. *Hydrobiologia*, 1990, 198:1-12
- 44 Sommer U Ed. Plankton Ecology, succession in plankton communities. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 253-296
- 45 郑重著. 浮游生物学概论. 北京: 科学出版社, 1964
- 46 Fryer G & Smyly J P. Some remarks on the resting stages of some freshwater cyclopoida and Harparcticoid copepods. *Ann Mag Nat Hist*, 1954, 127(73):65-72
- 47 陈雪梅. 温度对武汉东湖近郊邻水蚤发育及繁殖的影响. 水生生物学集刊, 1984, 8(4):419-426
- 48 黄祥飞. 温度对透明镖和隆线镖一亚种发育及生长的影响. 水生生物学集刊, 1984, 8(2):207-224
- 49 Jeppesen E, Sondergaard M, Jensen J P et al. Fish-induced changes in zooplankton grazing on phytoplankton and bacterioplankton: a Long-term study in shallow hypertrophic Lake Sobygaard. *J. plankton Reserach*, 1996, 18(9):1605-1625
- 50 何志辉, 张建国, 姜宏. 海水盐度对大型溞存活和内禀增长率的影响. 大连水产学院学报, 1996, 11(3):1-7
- 51 Schriver, P, Bogstrand J, Jeppesen E et al. Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton-phytoplankton interactions: large-scale enclosure experiments in a shallow eutrophic Lake. *Freshwat Biol*, 1995, 33:255-270
- 52 Dodson S I & Silva-Briano S. Crustacean zooplankton species richness and associations in reservoirs and ponds of Aguascalientes State, Mexico. *Hydrobiologia*, 1996, 325:163-172
- 53 Muller J & Seitz A. Differences in genetics structure and ecological diversity between parental forms and hybrids in a *Daphnia* species complex. *Hydrobiologia*, 1995, 307:25-32

- 54 Schwenk K, Ender A. & Streit B. What can molecular markers tell us about the evolutionary history of *Daphnia* species complex. *Hydrobiologia*, 1995, 307:1 - 7
- 55 Hardy J T. The sea surface microlayer; biology, chemistry and anthropogenic enrichment. *Prog Oceanogr*, 1982, 11:307 - 328
- 56 Minura T, Romano J, de Souza-Lima Y. Microbiomass structure and respiratory activity of microneuston and microplankton in the northwestern Mediterranean Sea influenced by Rhone river water. *Mar Ecol Prog Ser*, 1988, 49:151 - 162
- 57 阎位兵. 核电站对周围水体环境中生物的影响综述. 见:潘金培, 蔡国雄主编. 中国科学院海洋生物研究所大亚湾海洋生物综合实验站研究年报, 第一期(1991 - 1993). 北京:科学出版社, 1996. 175 - 182
- 58 Perissinotto R & Wooldridge T. Short-term thermal effects of a power-generating plant on zooplankton in the Swartkops estuary, South Africa. *Mar Ecol*, 1989, 10(3):205 - 219

Advances in Ecological Studies on Zooplankton

YANG Yufeng¹ HUANG Xiangfei²

(1: Marine Biological Laboratory, Shantou University, Shantou 515063, P. R. China;
Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, P. R. China
2: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P. R. China)

Abstract

Advances in ecological studies on zooplankton were reviewed based on the published papers and authors' studies. Contents include long-term ecology, dynamics changes of zooplankton, predation ecology and effects of environmental factors such as temperature, food resources on zooplankton. Long-term studies on zooplankton are very important to understand changes of ecosystem, especially those driven by slow processes, rare or episodic events and highly variable, stable or complex processes. The major objectives of long-term investigations are to provide reliable estimates of base-line variation, to detect long-term trends in the mean level of base-line, to detect rare events and to provide information for meaningful, testable hypotheses. A lot of research results demonstrated that changes in zooplankton community structure were determined largely by fish in the water bodies, with high stocking rate of planktivorous fish, and also by predation of invertebrate animals such as some copepods. Water temperature, food resources etc. may cause a stable zooplankton community. Among the freshwater zooplankton community, *Daphnia* and *Cyclops vicinus* may be the key groups. Because *Daphnia* plays a key role in the top-down control of phytoplankton, and *C. vicinus* are key factors in aquatic food chain during the period of their maximum abundance.

In addition, several research topics such as molecule biology of zooplankton, zooplankton ecology of the surface microlayer, influence of engineering water conservancy project on ecosystem and zooplankton, and batch culture of zooplankton were discussed.

Key Words Zooplankton, ecology, advance