

武汉东湖底栖动物群落结构和动态的研究

陈其羽 梁彦龄 吴天惠
(中国科学院水生生物研究所)

提 要

根据1973—1975年对东湖底栖动物的调查研究结果,列出了31种东湖底栖动物的名录,比较了各湖区各类动物的现存量及其在不同年份的变动情况,进而估算了全湖底栖动物资源的蕴藏量。此外还分析了7个优势种在现存量中的意义及分布型式。

环境分析表明:底栖动物的密度有随水深的增加而递减的趋势。昆虫和寡毛类在密度和生物量方面从属于湖水中总氮和总磷的含量,它们的生物量与湖水的有机物耗氧量也有从属关系。对以上关系进行了简单的数学描述。

讨论了底栖动物在渔业上的合理利用问题,测算了湖中底栖动物的供饵能力,提出了青鱼和杂食性鱼类的增放量。

从水质生物监测的角度,根据底栖动物的密度或生物量推算出五项生物指标数值,对各湖区污染程度和年变化情况作了初步评价。

1962—1964年作者曾对东湖的底栖动物进行过调查,并作了报道^[3]。但十多年来,由于湖泊环境条件发生了较大的改变,底栖动物的种类和数量情况都可能与过去有所不同。1973年起,随着“东湖渔业增产试验和水体生物生产力的研究”这项综合性工作的开展,我们又对底栖动物进行了调查,取得了东湖现阶段底栖动物群落结构和动态的基本资料。

底栖动物既是鱼类的天然食料资源,又能起到较好的水质监测作用。因此研究底栖动物时就必须两者兼顾。特别是象东湖这样的水体,它既是渔业基地,又是游览区和饮用水的供应基地,更要求我们在调查工作中同时注意渔业和环境保护两方面的问题。为此,本文在叙述底栖动物现状的同时,还对其在合理放养和水质监测上的作用进行了初步分析。

一、工作方法

1. 采集点和采集时间

本报告包括1973年至1975年的野外调查资料。在1973年,为了能够比较全面地了解东湖底栖动物的情况,我们根据分层采样的原则,按水体环境的特点在不同湖区设置断面,包括水果湖1个断面(断面4点);郭郑湖4个断面(断面II, III, IV, V, 共20点);汤林湖2个断面(断面VI, VII, 共8点),合计7个断面(32点,图1)。采集时每点均采一个泥样,采集时间选定在6—7月及10—11月间。根据以往的经验,前者是补充群体开始出现,老熟个体相对地少的时期,故生物量通常较低,而后者则系动物进行肥育越冬的时期,

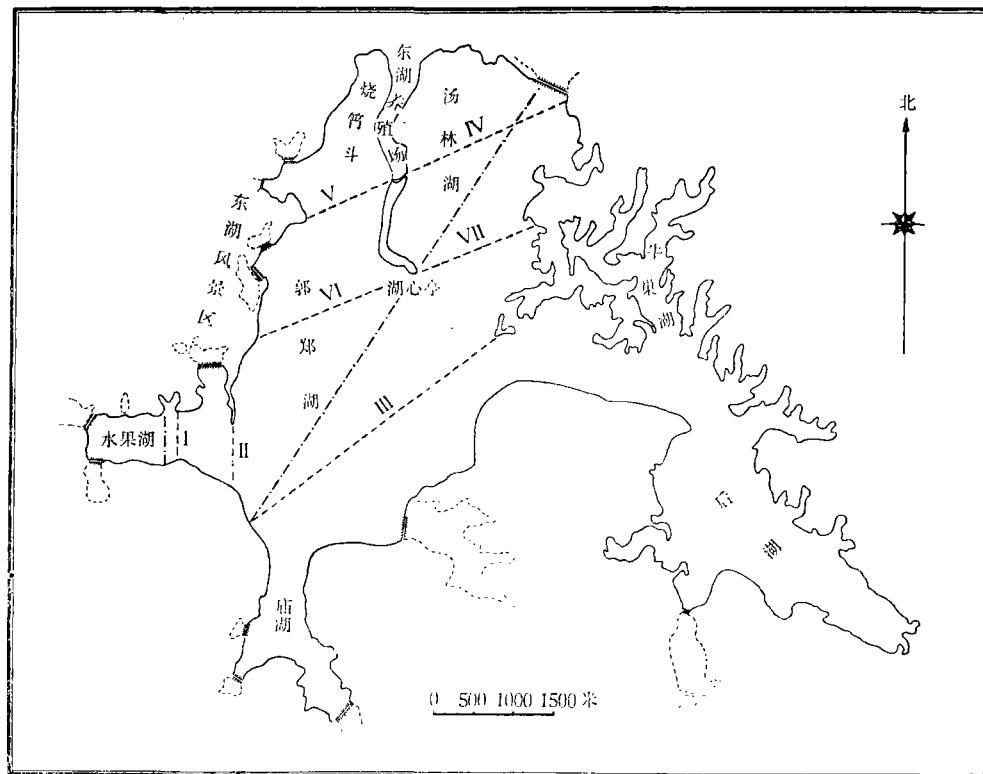


图1 东湖底栖动物采样断面分布

----线为1973年采样断面，—·—·—线为1974—1975年采样断面。

故生物量较高。因此，两次样品的平均结果基本上可以反映一年中动物的平均现存量。其后二年(1974, 1975年)，在总情况业已有所了解的基础上，将采样点减为11点，即水果湖1个断面3点，郭郑湖1断面4点，汤林湖1断面4点(图1)。采集时间仍为每年6—7月和10—11月，以便比较三年的结果。

2. 采样方法及资料的整理和分析

用面积为 $1/16$ 平方米的彼得生采泥器进行采样，泥样经40目·英寸 $^{-2}$ 的铜筛筛选后按常规方法检出标本，固定后进行计数及称重，换算成种群密度(个·米 $^{-2}$)和生物量(克·米 $^{-2}$)。

表1 东湖各湖区的面积及其所占比例
(按20.5米高程计算)

| 湖 区 | 面 积 | | 所占比例(%) |
|-----|--------|--------|---------|
| | 平方公里 | 亩 | |
| 水果湖 | 1.333 | 2,000 | 7.7 |
| 郭郑湖 | 10.670 | 16,000 | 61.5 |
| 汤林湖 | 5.335 | 8,000 | 30.8 |
| 合 计 | 17.338 | 26,000 | 100.0 |

估计各湖区底栖动物的现存量时都用算术平均数，但在估计整个东湖动物的现存量时因各湖区采集点的多寡与该区面积不成比例，为了减少偏倚，我们按表1的数据对动物进行加权平均。

在分析动物与环境的关系时，常测定相关系数，也进行了一些回归的运算。

二、种类组成

定量样品中计有寡毛类5种，软体动物15种，水生昆虫12属。这些种类都比较普

表2 1973年武汉东湖底栖动物出现率(100% = 32采集点)

| 种 类 | 出现次数 | 占总次数的% |
|----------------------------------------|------|--------|
| 寡毛类 Oligochaeta | | |
| 苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i> | 21 | 66 |
| 霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> | 5 | 15 |
| 中华河蚓 <i>Rhynacodrilus sinicus</i> | 3 | 9 |
| 多毛管水蚯 <i>Aulodrilus pluriseta</i> | 4 | 12 |
| 印西头鳃虫 <i>Branchiodrilus hortensis</i> | 1 | 3 |
| 软体动物 Mollusca | | |
| 铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i> | 7 | 22 |
| 梨形环棱螺 <i>Bellamya purificata</i> | 1 | 3 |
| 长角涵螺 <i>Alocinma longicornis</i> | 5 | 15 |
| 纹沼螺 <i>Parafossarulus striatula</i> | 6 | 18 |
| 亦沼螺 <i>Parafossarulus fuchsiana</i> | 1 | 3 |
| 光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i> | 1 | 3 |
| 长莎卜螺 <i>Radix perger</i> | 1 | 3 |
| 狭萝卜螺 <i>Radix lagotis</i> | 2 | 6 |
| 白旋螺 <i>Gyranus albus</i> | 4 | 12 |
| 光亮隔扁螺 <i>Segmentina nitidella</i> | 1 | 3 |
| 方格短沟蜷 <i>Semisulcospira cancellata</i> | 4 | 12 |
| 蚶形无齿蚌 <i>Anodonta arcaeformis</i> | 1 | 3 |
| 圆背角无齿蚌 <i>Anodonta woodiana</i> | 1 | 3 |
| 河蚬 <i>Corbicula fluminea</i> | 1 | 3 |
| 窄扁球蚬 <i>Sphaerium compressum</i> | 1 | 3 |
| 水生昆虫 Insecta* | | |
| 四节蜉 <i>Caenis</i> | 1 | 3 |
| 粗腹摇蚊 <i>Pelopia</i> | 13 | 41 |
| 前突摇蚊 <i>Procladius</i> | 10 | 31 |
| 长足摇蚊 <i>Clinotanypus</i> | 7 | 22 |
| 异腹鳃摇蚊 <i>Einfeldia</i> | 13 | 41 |
| 隐摇蚊 <i>Cryptochironomus</i> | 2 | 6 |
| 长跗摇蚊 <i>Tanytarsus</i> | 1 | 3 |
| 直突摇蚊 <i>Orthocladius</i> | 2 | 6 |
| 幽蚊 <i>Chaoborus</i> | 1 | 3 |
| 库蠓 <i>Culicoides</i> | 5 | 15 |
| 金花虫 <i>Haemonia</i> | 1 | 3 |
| 叶蝉 <i>Donacia</i> | 1 | 3 |

* 主要是幼虫，只鉴定到属。

通，在长江中下游浅水湖泊中都可采到（表 2）。

从表 2 可以看出，东湖底栖动物中最常见的种类在寡毛类中有苏氏尾鳃蚓和霍甫水丝蚓；在昆虫中有粗腹摇蚊，前突摇蚊和异腹鳃摇蚊；在软体动物方面，尽管其种类比 1963 年^[4]有所减少，但其主要种类仍为铜锈环稜螺和纹沼螺，这七种不但出现率高，在种群密度和生物量方面，从下文可以看到它们也占优势。

三、现存量

1. 现存量的季节差异

1973 年在各湖区的采样面较广，其结果大体上能反映夏、秋两季各湖区底栖动物的密度（个·米⁻²）和生物量（克·米⁻²，表 3）。

表 3 1973 年夏、秋两季各湖区底栖动物的现存量

| 年、月 | 动物类别 | 湖 区 | | 水 果 湖 | | 郭 郑 湖 | | 汤 林 湖 | |
|-------------------|------|---------|---------|-------|--------|-------|---------|-------|-----|
| | | 密度 | 生物量 | 密度 | 生物量 | 密度 | 生物量 | 密度 | 生物量 |
| 1973 年 6—7 月 | 寡毛类 | 135.9 | 3.416 | 2.0 | 0.514 | 28.0 | 0.608 | | |
| | 水生昆虫 | 941.8 | 1.511 | 7.2 | 0.003 | 86.0 | 0.254 | | |
| | 软体动物 | 65.0 | 151.0 | 22.4 | 39.811 | 338.0 | 24.352 | | |
| | 合 计 | 1142.7 | 155.927 | 31.6 | 40.328 | 452.0 | 25.214 | | |
| 1973 年 10—11 月 | 寡毛类 | 228.0 | 6.917 | 84.8 | 2.579 | 76.0 | 1.051 | | |
| | 水生昆虫 | 1148.0 | 2.604 | 392.8 | 0.637 | 210.0 | 0.511 | | |
| | 软体动物 | 68.0 | 348.0 | 16.4 | 46.480 | 635.0 | 143.498 | | |
| | 合 计 | 1,444.0 | 357.521 | 494.0 | 49.696 | 921.0 | 145.060 | | |

表 3 表明：就各类动物的数量而言，在密度方面，水果湖及郭郑湖均以昆虫为最高，其次为寡毛类，再次为软体动物；在生物量方面三个湖区均以软体动物为最高。

比较两次动物现存量的情况。10—11 月间各湖区各类动物比 6—7 月有显著增加，如在总生物量的增加方面，水果湖增加 1.3 倍，郭郑湖增加 0.2 倍，汤林湖最多达 4.8 倍。

2. 现存量在三年间的变动

1973—1975 年各湖区各类底栖动物现存量的情况如表 4。

从表 4 大致可以看出，在 1973—1975 年期间，寡毛类和昆虫的数量都以水果湖为最高，而且或多或少有上升的趋势。而软体动物的密度则以汤林湖为最高，但生物量却不一定最大，这是因为与水草的分布有从属性的纹沼螺等在汤林湖较多，而生物量的高低则主要取决于环稜螺的多寡。

就整个底栖动物群落而论，在三年中的密度和生物量大体上以水果湖最高，其次为汤林湖，再次为郭郑湖。表 5 列出各湖区三年中的每亩底栖动物的储存量。

3. 全湖平均现存量及东湖底栖动物资源储藏量的估计

东湖单位面积内的底栖动物现存量列于表 6。从中可以看出东湖单位面积底栖动物

表4 1973—1975年各湖区各类底栖动物的现存量

| 年份 | 动物类别 | 湖区 | | 水 果 湖 | | 郭 郑 湖 | | 汤 林 湖 | |
|------|------|---------|---------|-------|--------|-------|---------|-------|-----|
| | | 密度 | 生物量 | 密度 | 生物量 | 密度 | 生物量 | 密度 | 生物量 |
| 1973 | 寡毛类 | 182.0 | 5.167 | 43.4 | 1.547 | 52.0 | 0.830 | | |
| | 水生昆虫 | 1,044.9 | 2.058 | 200.0 | 0.320 | 148.0 | 0.383 | | |
| | 软体动物 | 66.5 | 249.500 | 19.4 | 43.146 | 486.5 | 83.923 | | |
| | 合计 | 1,293.4 | 256.725 | 262.8 | 45.013 | 686.5 | 85.136 | | |
| 1974 | 寡毛类 | 917.4 | 18.107 | 111.3 | 3.946 | 26.0 | 0.264 | | |
| | 水生昆虫 | 728.0 | 2.362 | 297.4 | 0.599 | 43.0 | 0.054 | | |
| | 软体动物 | 154.6 | 321.333 | 0 | 0 | 170.0 | 80.351 | | |
| | 合计 | 1,800.0 | 341.802 | 408.7 | 4.545 | 239.0 | 80.669 | | |
| 1975 | 寡毛类 | 573.3 | 4.538 | 150.0 | 6.027 | 66.0 | 0.808 | | |
| | 水生昆虫 | 1,098.6 | 2.547 | 26.5 | 0.018 | 192.0 | 0.539 | | |
| | 软体动物 | 10.7 | 7.656 | 4.0 | 0.159 | 178.0 | 109.624 | | |
| | 合计 | 1,682.6 | 14.741 | 180.5 | 6.204 | 436.0 | 110.971 | | |

表5 1973—1975年各湖区每亩面积中底栖动物的储存量

| 亩产 | 水 果 湖 | | 郭 郑 湖 | | 汤 林 湖 | |
|------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | 密 度 (个) | 生物量 (公斤) | 密 度 (个) | 生物量 (公斤) | 密 度 (个) | 生物量 (公斤) |
| 1973 | 862,000 | 172 | 175,000 | 30 | 458,000 | 57 |
| 1974 | 1,200,000 | 228 | 272,000 | 3 | 159,000 | 54 |
| 1975 | 1,122,000 | 10 | 120,000 | 4 | 290,000 | 75 |

的点估计量为：

1973年总密度约462个·米⁻²，其中寡毛类占12%，软体动物(主要为螺类)占35%，昆虫最多，达53%；生物量约为72克米⁻²，其中软体动物占96%以上，寡毛类占2.5%左右，而昆虫所占重量最小，不到1%。

1974年总密度为455个米⁻²，其中寡毛类占31%，软体动物最少，仅占14%，昆虫最多，达55%；生物量约为51克米⁻²，其中软体动物占91.4%，寡毛类占7.5%，昆虫占1.1%，

1975年总密度为363个·米⁻²，其中寡毛类占43%，软体动物仅占16%左右，昆虫占42%；生物量为38克米⁻²，其中软体动物占88%，寡毛类占11.4%，而昆虫则仅占1%。

根据以上资料可以粗略估计东湖底栖动物的储藏量为：1973年东湖每亩有底栖动物48公斤，整个东湖渔场经营的湖区(以26,000亩计算)计有底栖动物1,248吨；1974年每亩底栖动物为34公斤，整个湖区底栖动物计884吨；1975年每亩底栖动物为25.5公斤，整个湖区计有底栖动物663吨。

表 6 东湖每平方米中各类动物的平均现存量(加权均数)

| 动物现存量 | | 年 份 | 1973 | 1974 | 1975 |
|-------|---------|--------|--------|--------|------|
| 寡毛类 | 密度(个) | 55.6 | 142.1 | 154.4 | |
| | 占总密度的% | 12.0 | 31.2 | 42.6 | |
| | 生物量(克) | 1.835 | 3.832 | 4.357 | |
| | 占总生物量的% | 2.55 | 7.5 | 11.4 | |
| 水生昆虫 | 密度(个) | 243.5 | 251.3 | 151.4 | |
| | 占总密度的% | 52.7 | 55.2 | 41.8 | |
| | 生物量(克) | 0.461 | 0.558 | 0.351 | |
| | 占总生物量的% | 0.64 | 1.1 | 1.0 | |
| 软体动物 | 密度(个) | 162.9 | 61.8 | 56.7 | |
| | 占总密度的% | 35.3 | 13.6 | 15.6 | |
| | 生物量(克) | 69.824 | 46.598 | 33.523 | |
| | 占总生物量的% | 96.81 | 91.4 | 87.6 | |
| 合计 | 密度(个) | 462.0 | 455.2 | 362.5 | |
| | % | 100 | 100 | 100 | |
| | 生物量(克) | 72.120 | 50.988 | 38.231 | |
| | % | 100 | 100 | 100 | |

四、优势种在现存量中的比重及分布型式

1. 优势种在底栖动物现存量中的比重

上文提到的 7 个优势种在湖中不仅分布广泛, 在整个底栖动物现存量中, 它们也占有颇大的比重(表 7)。

从表 7 中可以看出, 1973—1975 年间, 在寡毛类的现存量方面, 尾鳃蚓和水丝蚓合占该类动物生物量的 85% 以上; 在昆虫方面, 三种摇蚊合计约占昆虫密度的 75% 以上; 两种螺类的密度之和除 1975 年稍偏低外, 均占该类动物的 50% 以上, 而两者生物量之和则高达 80%。就总的来说, 7 种优势种的密度合计占底栖动物总密度的 70% 以上, 生物量合计等于底栖动物总生物量的 85% 左右。因此, 我们认为上述优势种的现存量已基本可反映整个水体中底栖动物的现存量, 在探讨湖泊底栖动物的变动规律时, 也应优先对它们进行研究。

2. 优势种的分布型式

在我们以前发表的报告中^[4]曾对东湖的环棱螺、纹沼螺和长角涵螺的分布型式进行探讨, 结果这些螺类的 $\Sigma(x - \bar{x})^2 / \bar{x}(n - 1)$ 的值(5% 界为 $\frac{2\sqrt{2n}}{(n - 1)^2}$) 均显著 > 1 , 证明它们的分布为核心分布, 同时还证明了它们的分布符合 Polya-Eggenberger 核心分布的理论概率。从 1974 年所获得的上述螺类的数据进行分析, 结果仍符合以上的结论。

对于其他优势种的分析, 我们也作了一些探讨, 看出其分布也常常属于核心分布(表 8)。

表7 东湖各类优势种现存量加权均数及其占该类动物现存量的百分比

| 种类 | | 年份 | 1973 | 1974 | 1975 |
|-------|-----|-------------------|--------|--------|--------|
| 苏氏尾鳃蚓 | 密度 | 个·米 ⁻² | 44.5 | 80.8 | 105.3 |
| | | 占寡毛类动物的% | 80.0 | 61.1 | 67.6 |
| 霍甫水丝蚓 | 生物量 | 克·米 ⁻² | 1.566 | 3.124 | 4.290 |
| | | 占寡毛类动物的% | 85.3 | 81.5 | 98.5 |
| 粗腹摇蚊 | 密度 | 个·米 ⁻² | 3.4 | 78.9 | 26.4 |
| | | 占寡毛类动物的% | 6.1 | 34.4 | 17.1 |
| 前突摇蚊 | 密度 | 个·米 ⁻² | 94.8 | 189.0 | 50.7 |
| | | 占水生昆虫的% | 38.9 | 75.3 | 35.2 |
| 异腹鳃摇蚊 | 生物量 | 克·米 ⁻² | 0.240 | 0.460 | 0.158 |
| | | 占水生昆虫的% | 52.1 | 82.4 | 35.8 |
| 铜锈环棱螺 | 密度 | 个·米 ⁻² | 25.1 | 11.2 | 15.1 |
| | | 占软体动物的% | 10.3 | 4.5 | 10.5 |
| 纹沼螺 | 生物量 | 克·米 ⁻² | 0.046 | 0.019 | 0.017 |
| | | 占软体动物的% | 10.0 | 3.4 | 3.9 |
| | 密度 | 个·米 ⁻² | 71.5 | 5.2 | 28.0 |
| | | 占水生昆虫的% | 29.4 | 2.1 | 19.5 |
| | 生物量 | 克·米 ⁻² | 0.070 | 0.070 | 0.029 |
| | | 占水生昆虫的% | 15.2 | 12.5 | 6.6 |
| | 密度 | 个·米 ⁻² | 26.1 | 22.5 | 25.3 |
| | | 占软体动物的% | 16.0 | 36.4 | 44.6 |
| | 生物量 | 克·米 ⁻² | 55.706 | 41.319 | 25.970 |
| | | 占软体动物的% | 77.2 | 88.7 | 77.5 |
| | 密度 | 个·米 ⁻² | 75.9 | 26.4 | 2.7 |
| | | 占软体动物的% | 46.6 | 42.7 | 4.8 |
| | 生物量 | 克·米 ⁻² | 8.745 | 3.742 | 0.357 |
| | | 占软体动物的% | 12.1 | 0.8 | 1.1 |

将10—11月间尾鳃蚓进行随机分布的测验,得 $S^2/\bar{x}(n-1) = 2.71(5\% \text{ 界} = 0.32)$,说明仍趋于核心分布。摇蚊幼虫中的前突摇蚊,在6—7月间,均方差与自由度之比可高达44.99,表现出较高度的核心分布现象。总之,从我们以前的工作以及现在的工作,基本上可以看出,不论是较大型的底栖动物(如螺类),还是较小型的种类(如寡毛类和水生昆虫)在东湖的分布都表现为核心分布。

五、环境分析

考虑到底栖动物通常具有世代周期较长(数月至数年不等)繁殖能力较小、以及分布

表 8 1973年5—6月苏氏尾鳃蚓在东湖中分布型式的测验

| 每个泥样中的虫数 | 实际出现频数 | Poisson 分布理论频数 | P-E 核心分布理论频数 |
|------------|--------|----------------|--------------|
| 0 | 15 | 9.360 | 19.421 |
| 1 | 8 | 12.075 | 8.471 |
| 2 | 5 | 7.788 | |
| 3+ | 6 | 4.777 | 6.103 |
| χ^2 | | 6.084 | 3.423 |
| 概率 (P) | | <0.05 | >0.05 |
| 适合程度 | | 不适合 | 适合 |

的集中性等特点。我们在进行环境分析时主要根据下列原则：

(1) 在时间上主要着眼于因素的长周期(如一年)的影响；

(2) 在空间上多从水体的较大范围(各湖区)来考虑；

(3) 从生态学观点上看底栖动物是个整体，在分析时，我们主要着眼于底栖动物群落。

由于软体动物在东湖的分布很不均匀，在颇大面积中都较缺乏，其原因我们在以前已做过分析^[3]。因此，当前底栖动物群落主要由寡毛类和水生昆虫组成，下文即分析这两类动物的总数量与环境的关系。

1. 水深的影响

在较深的水体中(如海洋)，底栖动物的数量明显地出现随水深的增加而不断递减的现象^[6]。在象东湖这样的浅水湖泊中，虽然水深一般不超过5米，但动物的数量仍然能够看出随水深而递减的规律(图2)。图2中两回归线分别代表1973年6—7月及10—11月的情况，其表达式为：

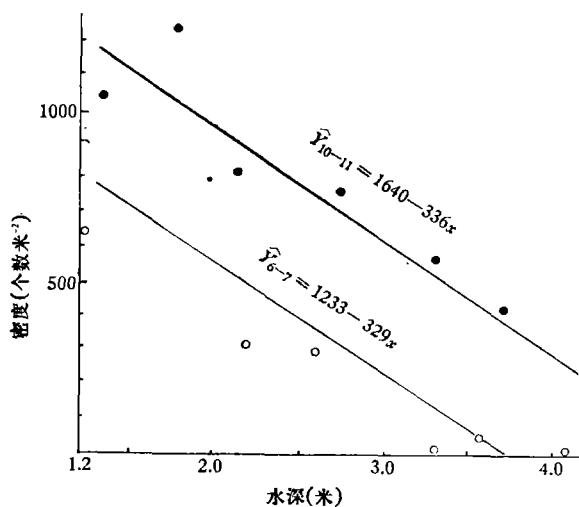


图2 东湖1973年6—7月和10—11月底栖动物(包括腹足类)密度与水深的关系(水深、密度系以每0.5米深度为组距分别算得的均数)

$$\text{夏季(6—7月)} \hat{Y}_{6-7} = 1233 - 329x$$

$$\text{秋季(10—11月)} \hat{Y}_{10-11} = 1640 - 336x$$

式中 \hat{Y} 为动物密度 米^{-2} ; x 为水深(米)

上述方程式只是动物密度与水深关系的近似描述。从其中可以看出,尽管夏、秋两季生物的多度不同,但其递减率却非常接近,大致上水深每增加1米,底栖动物密度将减少330个·米 $^{-2}$ 。

2. 主要营养元素的影响

将东湖三个区(水果湖、郭郑湖和汤林湖)1973年秋季(10—11月)底栖动物的采样结果(不包括软体动物)与各区域的水中营养元素含量的年平均值进行对比分析,发现底栖动物不论在种群密度方面还是在生物量方面均明显从属于总氮和总磷的含量,生物量与湖水的有机物耗氧量也有明显的从属关系,其具体结果如下:

(1) 总氮 底栖动物与总氮的关系如图3和图4。从图可以看出,密度、生物量与总氮的含量之间都存在明显的正相关。

就定量角度而论,底栖动物密度、生物量对总氮(x)的从属关系可用直线回归方程表示为:

$$\hat{Y}_n = 1863x - 1207$$

$$\hat{Y}_B = 13.441x - 9.091$$

式中: \hat{Y}_n 为密度(个·米 $^{-2}$); \hat{Y}_B 为生物量(克·米 $^{-2}$)。 x 为总氮(毫克·升 $^{-1}$)。

这就意味着,在东湖的条件下,当总氮含量的年平均值增加1毫克·升 $^{-1}$ 时,每平方米面积内底栖动物的密度有可能增加约1,900个,生物量将相应增加13克左右。

(2) 总磷 总磷对底栖动物的影响与总氮不同,其含量的对数值与底栖动物的密度和生物量构成显著的正相关(图5,6),其回归方程分别为:

$$\log_e \hat{Y}_n = 0.046x + 5.04$$

$$\log_e \hat{Y}_B = 0.053x + 0.20$$

式中 \hat{Y}_n , \hat{Y}_B 分别为密度(个·米 $^{-2}$)和生物量(克·米 $^{-2}$)。 x 为总磷(微克·升 $^{-1}$)

上面的回归方程说明,水中总磷含量的消长将使底栖动物的密度和生物量出现指数形式的增减。其瞬时增长率平均为0.05(0.046—0.053),故总磷每上升1ppb时,底栖动物实际增长率也在5%左右($e^{0.05} - 1 = 0.0513$),这种预测的真实性如何,还有待于将来的

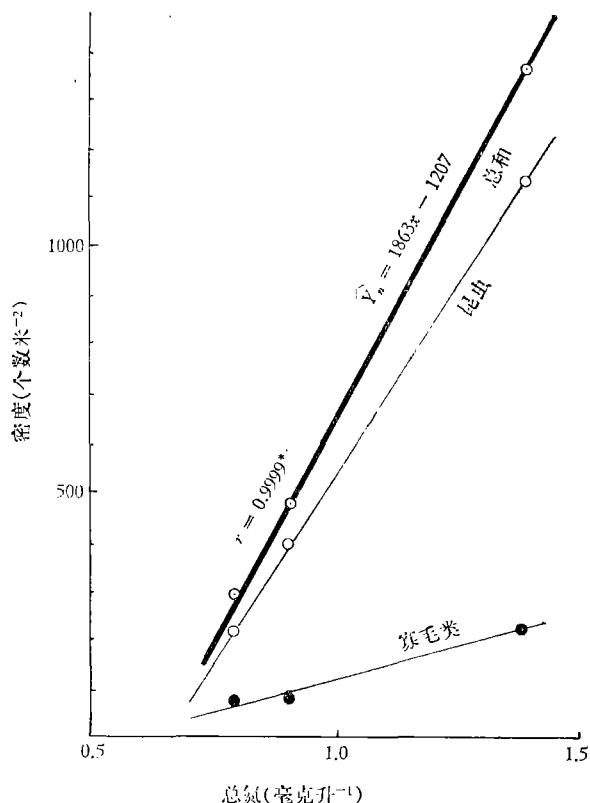


图3 1973年10—11月东湖底栖动物密度与总氮的关系(总氮系为4—11月的均数)

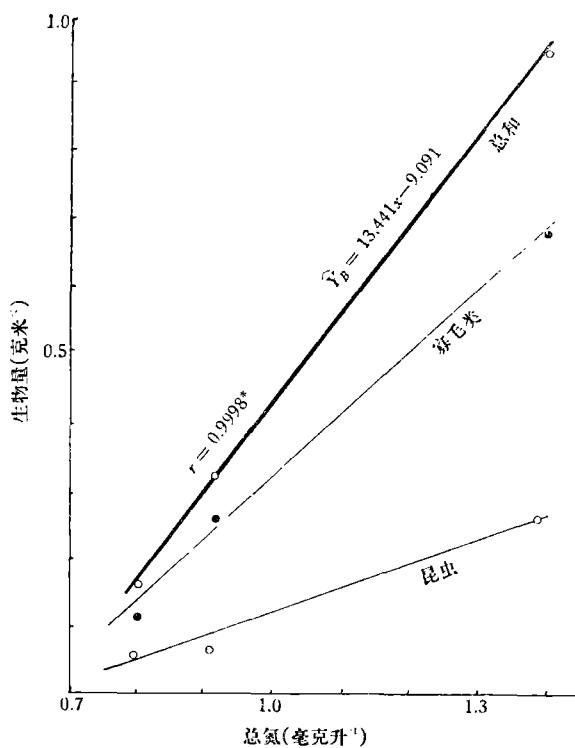


图 4 1973 年 10—11 月东湖底栖动物生物量与总氮的关系(总氮为 4—11 月的均数)

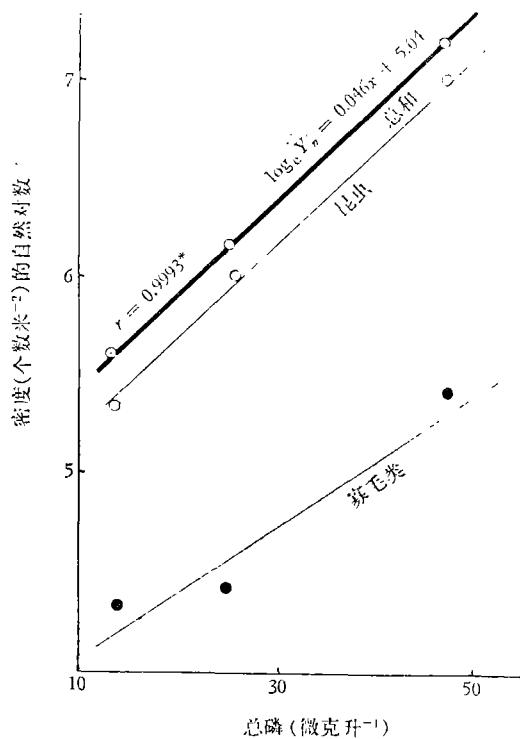


图 5 1973 年 10—11 月东湖底栖动物密度与总磷的关系(总磷为 4—11 月的均数)

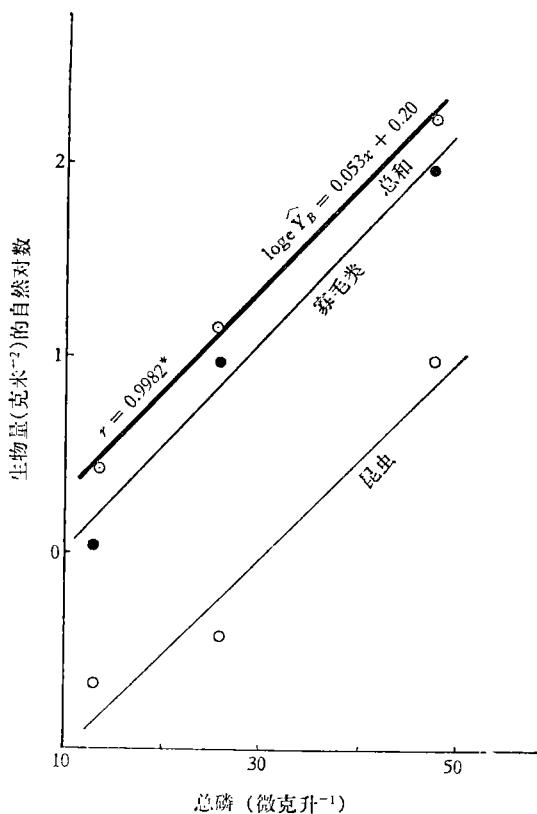


图 6 1973 年 10—11 月东湖底栖动物生物量与总磷的关系
(总磷为 4—11 月的均数)

事实去判断,但从上述模型中至少可看出在东湖中,磷对底栖动物是个最重要的限制因素。

(3) 有机物 有机物耗氧量的年平均值与底栖动物生物量之间存在非常显著的正相关 ($r = 0.9999$; $p < 0.01$, 图 7) 与密度的相关系数亦高 ($r = 0.9967$), 但未能达到 5 % 的水准。

有机物耗氧量与底栖动物生物量的关系可描述为:

$$\hat{Y}_B = 2.28x - 6.22$$

式中 \hat{Y}_B 为生物量(克·米⁻²); x 为有机物耗氧量(毫克·升⁻¹)。

由于有机物与前述总氮含量有密切关系,因此,有机物对底栖动物的影响也和总氮的情况相似,即表现为随着水中有机物的增加,底栖动物将按比例增加的简单关系。上面的方程式表明水中有机物耗氧量每提高 1 毫克·升⁻¹, 则底栖动物的生物量可期望增加 2.3 克·米⁻²。

六、在合理放养和水质监测方面的作用

1. 渔业利用问题

湖泊中天然饵料的储藏量究竟能满足多少鱼类的需要, 是拟订家鱼合理放养计划的

基本问题之一^[1]。从三年中底栖动物的调查结果来看，由于东湖近年来富营养化程度的

增加和水草大量减少，底栖动物中螺类已随之出现下降趋势，而较耐“肥”的种类如水蚯蚓和摇蚊幼虫则倾向于逐步增加。根据这种情况，就必须考虑到以摄食螺蛳为主的青鱼的放养量不可能很大，而能利用水蚯蚓、摇蚊等的杂食性鱼类（如鲤鱼）的放养量在今后应逐步加大。这是我们对底栖动物在渔业利用上的总的评价。但将底栖动物的实际情况与这几年东湖青鱼和鲤鱼产量很低的情况相比（表 9），仍可看出湖中底栖动物就总的而论尚有一定的生产潜力，还可以在目前的基础上增放青鱼和杂食性鱼类，以取得渔业增产效果。下面我们就对湖中底栖动物的供应能力进行具体估计，并提出增放家鱼的初步看法。

虽然中下层鱼类的食谱并不是十分单纯的。但为了简便起见，我们在这里是根据螺蛳的储藏量估计青鱼的增放量，水蚯蚓等的储藏量则用来估算杂食鱼类的增放量。

(1) 青鱼的增放量 目前在东湖除汤林湖区尚有为数不多水草之外，其他湖区的水草趋于灭绝。因此与水草关系密切的长角涵螺、纹沼螺等软体动物数量逐年减少，今后东湖软体动物的数量充其量也只能维持在 1975 年现存量的水平，

故采用 1975 年的软体动物现存量作为估计供应能力的依据。

表 9 1972—1975 年东湖青鱼鲤鱼渔获物的统计*

| 年份 | 种类 | 青 鱼 | | 鲤 鱼 | |
|------|----|--------|-------|--------|-------|
| | | 产量(万斤) | 占总产量% | 产量(万斤) | 占总产量% |
| 1973 | | 0.54 | 0.74 | 1.08 | 1.48 |
| 1974 | | 0.44 | 0.59 | 0.07 | 0.10 |
| 1975 | | 0.26 | 0.32 | 2.19 | 2.70 |

* 数据是我所第四研究室鱼类生态组供给的。

已知 1975 年湖中每亩平均有底栖动物 51 斤(25.5 公斤)，其中有软体动物(主要是螺类) 44.7 斤(连壳)，则由东湖渔场经营的 26,000 亩水面中有螺蛳 1,162,200 斤。这个数字实际上只能代表湖中软体动物被放养的青鱼、杂交鲤和非放养的鲤鱼利用后的“余额”。为了保护资源，我们只能利用这些螺类每年增殖出来的那部分。根据国外资料，螺类的净增能力每年在 0.59—19 倍^[7,13]。这里使用最保守的估计，即每年可增加现有生物量的 50%。即 581,100 斤，这就是在不损害现有资源的情况下可以供鱼消耗的螺类重量。这部分螺

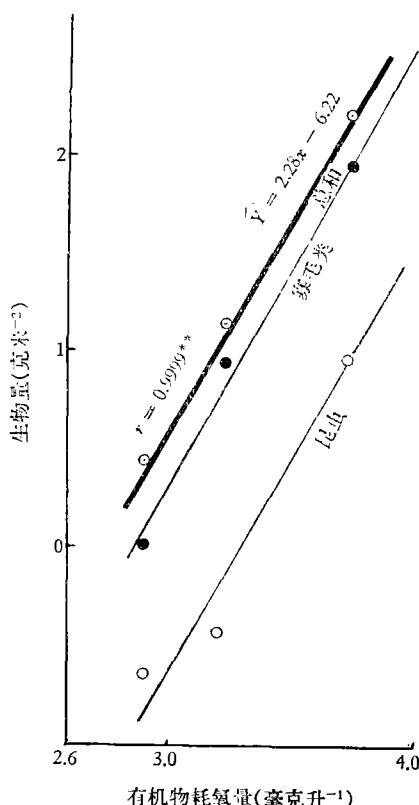


图 7 1973 年 10—11 月东湖底栖动物生物量与有机物耗氧量的关系(有机物耗氧量为 4—11 月的均数)

类的重量能生产多少青鱼呢？根据已有资料，软体动物的饵料系数为 $60^{[2]}$ 。因此 581,100 斤螺蛳可生产 9,685 斤即 1 万斤左右的青鱼，其产量可比当前增加 1 倍。由于东湖中青鱼在放养的当年可生长到 2 斤左右，因此全湖共增放 4843 尾青鱼即可。要说明的是投放的鱼种并不可能全部存活，故实际投放量还要根据存活情况来确定。但总的说来，青鱼投放量宁少勿多。

(2) 杂食性鱼类的增放量 水蚯蚓、摇蚊幼虫之类在东湖中是丰富的，并有逐年增多趋势，渔业利用潜力较大（表 6）。这里仍按 1975 年的结果进行估算。已知东湖每亩平均有水蚯蚓、摇蚊等计 6.3 斤，全湖共有 163,800 斤。根据文献记载，这些动物的最低增殖能力每年达 1.5 倍（摇蚊）—2.2 倍（水蚯蚓）^[2]，即利用现有数量的 1.5 倍—2.2 倍亦不致破坏现有资源。这里我们仍然使用最保守的估计，即利用 1 倍（163,800 斤）以生产鱼肉。水蚯蚓、摇蚊等的饵料系数当前缺少具体资料，目前只有陆生蚯蚓对鲤鱼的饵料系数即 6 可供参考^[3]，这里姑且采用 6 为系数。由此可算出 163,800 斤这两类动物可生产杂食性鱼类 27,300 斤，按鲤鱼等当年可生长至 1.5 斤计，可放鲤鱼等共计 18,200 尾左右。在实际放养时同样必须考虑其存活率问题。看来多放些亦无妨碍。

假如能达到上述要求，则东湖底层鱼类每年可增产 36,985 斤。比 1974 年底层鱼类的产量要增产 7.2 倍强，比 1975 年底层鱼类的产量也要翻一番。

2. 环境保护问题

底栖动物中颤蚓科寡毛类和一些摇蚊幼虫是水质有机物污染的指示生物，在用它们的数量作为环境质量的指标方面已提出许多方法，例如用颤蚓科寡毛类在单位面积湖底的数量作为衡量污染程度的标准，根据国外一些资料，认为每平方米湖底的颤蚓类的数量在 100 条以下时为不污染；100—999 条时为轻微污染；1000—5000 条时为中度污染；而在 5000 条以上时则为严重污染^[4]，也有认为颤蚓类数量达 1100 条·米⁻²时才算存在污染^[11]。就国内的情况而言，从我们以往的工作结果来看，也基本上符合上述标准。如 1959 年曾对湖北省鄂城县的花马湖做过调查，测量寡毛类（主要为颤蚓类）的数量为：缺少污染源的加桨径湖和走马湖两区域的数量分别为 40 条·米⁻² 和 20 条·米⁻²；有少量有机污染（主要源于居民点和耕地）的石头湖和花家湖，其数量分别为 135 条·米⁻² 和 138 条·米⁻²。1975 年曾对专门利用城市生活污水养鱼的汉口养殖场 8 个湖塘作过调查^[4]，除个别湖塘外，其颤蚓类数量一般有 1—7 千条·米⁻²。可见颤蚓类的数量能反映水质情况（至少是反映了有机污染），此外，尚有种种表示方法，现试将一些比较简单易行的方法及利用东湖底栖动物进行测算的结果列成表 10。

表 10 中各项方法测算的结果在说明水质情况上并不十分一致，事实上还没有一种十分完善的方法，而且生物的种类和数量的变化还受到其他因素（如水深）的影响，但就总的来说，东湖与武汉市郊的许多水体相比，其水质污染还不算严重，但可以看出：(1) 水质情况各湖区不同，根据水蚯蚓、水丝蚓以及多样性指数等参数可以认为汤林湖区水质较好，其次是郭郑湖区，最差的是接纳生活污水较多的水果湖区。(2) 水质情况各年存在变异，1973 年水质普遍较好，以后汤林湖区和郭郑湖区有逐年变坏的趋势，表现为水蚯蚓的增加和多样性指数的下降，水果湖区在 1974 年水质最差，水蚯蚓多度超过 900，接近中度污染水准，但 1975 年以来已略有恢复，水蚯蚓的数量比 1974 年下降 40% 左右，多样性指数

表 10 东湖水质的生物指标数值

| 名 称 | 表 示 方 法 | 水果湖 | | | 郭郑湖 | | | 汤林湖 | | |
|--------------------------|------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 1973 年 | 1974 年 | 1975 年 | 1973 年 | 1974 年 | 1975 年 | 1973 年 | 1974 年 | 1975 年 |
| 水丝蚓多度 ^[10,14] | 水丝蚓(个·米 ⁻²) | 20 | 699 | 360 | 22 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 |
| 水蚯蚓多度 ^[11,13] | 水蚯蚓(个·米 ⁻²) | 182 | 917 | 573 | 43 | 111 | 150 | 52 | 26 | 66 |
| 生物指数 ^[8] | 昆虫(克·米 ⁻²)/水 蚯蚓(克·米 ⁻²) | 0.40 | 0.13 | 0.56 | 0.27 | 0.15 | 0.003 | 0.46 | 0.20 | 0.67 |
| 污染指数 ^[7] | 水蚯蚓(个·米 ⁻²)/底 栖动物(个·米 ⁻²) | 0.14 | 0.51 | 0.34 | 0.17 | 0.27 | 0.83 | 0.08 | 0.11 | 0.15 |
| 多样性指数 ^[9] | $d = \frac{S - 1}{\log e N}$ | 2.93 | 2.76 | 3.43 | 4.17 | 1.87 | 2.18 | 7.73 | 6.29 | 0.15 |

略有上升。

七、小 结

1. 根据东湖底栖动物种类出现率的大小和现存量的多寡, 用加权均数及其占该类动物现存量的百分比的分析中可以看出: 苏氏尾鳃蚓、霍甫水丝蚓、铜锈环棱螺、纹沼螺、粗腹摇蚊、前突摇蚊和异腹鳃摇蚊为东湖中的优势种。这些优势种密度合计占底栖动物总密度的 70% 以上, 生物量等于底栖动物总生物量 85% 左右。因此, 在探讨湖泊底栖动物的变动规律时, 应优先对它们进行研究。

2. 上述这些优势种不论是较大型的底栖动物(如螺类), 还是较小型的种类(如寡毛类和水生昆虫)在东湖中的种群分布情况, 均属核心分布。

3. 底栖动物生物量的季节变化是明显的, 就 1973 年调查结果而论, 秋季各湖区底栖动物比夏季有显著增加, 即水果湖增加 1.3 倍, 郭郑湖增加 0.2 倍, 汤林湖最多达 4.8 倍。

4. 东湖各湖区环境条件不同使各类动物出现差异。寡毛类和水生昆虫的数量均以水果湖为最高, 其次为郭郑湖, 再次为汤林湖。而软体动物的密度则以汤林湖为最高。

5. 1973—1975 年东湖各湖区底栖动物生物量的比较结果是: 水果湖为最高, 其中又以 1974 年生物量最大, 每亩 228 公斤; 汤林湖次之, 以 1973 年最高, 每亩 74 公斤; 最差是郭郑湖, 1973 年最高生物量每亩只达 30 公斤。

6. 估计整个东湖底栖动物的储藏量, 1973 年整个东湖渔场经营的湖区为 48 公斤·亩⁻¹, 约 1,248 吨; 1974 年为 34 公斤·亩⁻¹, 约 884 吨; 1975 年为 25.5 公斤·亩⁻¹, 约 663 吨。

7. 从东湖底栖动物的年变化情况, 可以看出寡毛类动物的数量是逐年增加的; 软体动物则相反, 其数量逐年减少; 至于水生昆虫, 前两年变化不大, 1975 年也有减少的趋势。

8. 底栖动物(主要是寡毛类和水生昆虫)的数量有随水深而递减的规律, 大致上水深每增加 1 米, 生物密度将减少 330 个·米⁻², 底栖动物无论在密度还是生物量方面均明显地从属于总氮和总磷的含量, 在东湖的条件下, 当总氮含量的年平均值增加 1 毫克·升⁻¹时, 每平方米面积内底栖动物的密度有可能增加约 1,900 个, 生物量将相应增加 13 克左右。总磷每上升 1 ppb 时, 底栖动物实际增长率可在 5% 左右。水中有机物耗氧量每上升

1毫克·升⁻¹，则底栖动物的生物量可期望增加2.3克·米⁻²。

9. 根据1975年底栖动物现存量的统计，东湖渔场经营的湖区软体动物现有的供食能力可增放青鱼4,843尾，增产9,685斤青鱼；寡毛类和水生昆虫现有的供食能力可增放鲤鱼18,200尾，增产鱼肉27,300斤。

10. 东湖水质的生物指标数值测算的结果，就总的来说，东湖水质的污染并不算严重。以汤林湖区较好，其次是郭郑湖区，最差是水果湖区；水质的年变异，以1973年较好，至1974年时迅速变坏，1975年有所恢复。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院水生生物研究所，1965。花马湖水生生物资源和渔业利用。太平洋西部渔业研究委员会第六次全体会议论文集，1—24页。科学出版社。
- [2] 刘建康，1955。养鱼池单位面积产量试验。水生生物学集刊，1955，(1):25—43。
- [3] 陈其羽等，1975。武昌东湖软体动物的生态分布及种群密度。水生生物学集刊，5(3):371—379。
- [4] 吴天惠等，1976。城郊湖塘的底栖动物及其渔业利用的初步评价。湖泊水库渔业增产科技资料汇编，222—224页。
- [5] 银丕振译（马尔第舍夫著），1957。怎样在池塘里养鱼。科学出版社。
- [6] Edmondson, W. T. and G. G. Winberg, 1971. A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh water. IBP Handbook no. 17. Table 2. 5. 2 (*Viviparus viviparus*). Blackwell, Oxford.
- [7] Goodnight, C. J. and L. S. Whitley, 1960. Oligochaetes as indicators of pollution. Proceedings 15th Annual waste Conference. Purdue Univ., Lafayette, Ind. pp. 139—142.
- [8] King, D. L. and R. C. Ball, 1964. A quantitative biological measure of stream pollution. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, 36, 650.
- [9] Margalef, R., 1951. Diversidad de Especies en las Comunidades Naturales. *Proc. Inst. Biol. Apl.*, 9: 5—27.
- [10] Purdy, W. C., 1926. The biology of polluted water. *Jour AWW*4, 16: 45.
- [11] Surber, E. W., 1957. Biological criteria for the determination of lake pollution. In: C. M. Tarzwell (ed.): Biological problems in water pollution. U. S. Public Health Service. pp. 164—174.
- [12] Winberg, G. G., 1971. Methods for the estimation of production of aquatic animals. Table 6.3 (Gastropods). Academic Press, London.
- [13] Wright, S., 1955. Limnological survey of western Lake Erie. U. S. Fish and Wildlife Service, Spec. Sci. Rept. Fisheries, 139, 341.
- [14] Zahner, R., 1964. Relations between the occurrence of Tubificids and the import of organic matter in Bodensee. *Intl. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, 49(3): 417—454.

STUDIES ON COMMUNITY STRUCTURE AND DYNAMICS OF ZOOBENTHOS IN LAKE DONG HU, WUHAN

Chen Qiyu Liang Yanling and Wu Tianhui

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica)

Abstract

Investigations on zoobenthos in Lake Dong Hu (Tung-Hu) of Wuhan, Hubei Province, were undertaken during 1973—1975. The results may be summarized as follows:

1. Zoobenthic community of the Lake is chiefly composed of 5 species of aquatic oligochaetes, 15 species of molluses and 12 genera of aquatic insects. Among them, *Branchiura sowerbyi*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Bellamya aeruginosa*, *Parafossarulus striatula* and the Chironomid species belonging to the genera *Pelopia*, *Procladius* and *Einfeldius* are predominant.

2. The annual standing crops of zoobenthos in the Lake during the surveying period were 362—462 ind. m^{-2} in density and 38.2—72.1 g m^{-2} in biomass. It was found that the standing crops were lower in June-July and higher after October in each year.

3. Standing crops varied with the three subregions of the Lake. Higher values were always obtained in the subregion Shuiguohu, a bay receiving a larger amount of sewage water, while the lower values were found in the subregion Guozhenghu, the largest openwater area in the Lake.

4. Standing crops including oligochaetes and insects in various subregions were found to be correlated positively to the total nitrogen and to the total phosphorus in the water. Regression formulae calculated from biological and environmental variables showed that both density and biomass of the animals would increase exponentially when phosphate compounds increase even at ppb level and thus total phosphorus is considered to be the most important factor limiting the abundance of the benthic macroinvertebrates.

5. Suggestions concerning fishery management and water quality monitoring of the Lake based on some zoobenthic parameters are offered.