

第十章 底栖动物

第一节 基本概念

第二节 底栖动物的习见类群

- 一、海绵动物门
- 二、刺胞动物门
- 三、扁形动物门
- 四、线虫动物门
- 五、环节动物门
- 六、软体动物门
- 七、节肢动物门
 1. 甲壳动物亚门
 2. 单肢动物亚门

第三节 底栖动物的生活类型

- 一、固着动物
- 二、穴居动物
- 三、攀爬动物
- 四、钻蚀动物

第四节 功能摄食类群

第五节 生活史及化性

- 一、生殖方式
- 二、幼体发育
- 三、化性

第六节 周年生产量

第七节 底栖动物与环境的关系

一、物理因素

1. 底质
2. 流速
3. 水深

二、营养元素

1. 总氮
2. 总磷
3. 有机物

三、水草

第八节 底栖动物在不同性质水体中的种类数量分布

- 一、湖泊
- 二、河流
- 三、水库

第九节 底栖动物在渔业和环境生物监测上的价值

- 一、渔业经济价值及渔产潜力的估算
- 二、在环境生物监测上的运用

第一节 基本概念

在淡水环境中，有不少动物主要以水体底部作为它们栖息、觅食、生殖等活动的场所。这些动物的系统位置不一定接近，形态和个体大小也存在差异，在水底生活的周期还因种类而长短不一，其中不少种类终生营水底生活，如蠕虫及软体动物；另外一些种类如多数水生昆虫则在幼虫或稚虫阶段营水底生活，成虫则飞入大气层。尽管有种种差别，但以水体底部为主要生境是它们的共同生态特点，通称底栖动物。因此，底栖动物(zoobenthos 或 benthic animal)是指生活史的全部或大部分时间生活于水体底部的水生动物群。

底栖动物可按其起源及大小进行基本划分。在起源方面，底栖动物可分为原生底栖动物(primary zoobenthos)和次生底栖动物(secondary zoobenthos)。原生底栖动物的特点是能直接利用水中溶解氧的种类，包括常见的蠕虫、底栖甲壳类、双壳类软体动物等；次生底栖动物是由陆地生活的祖先在系统发育过程中重新适应水中生活的动物，主

要包括各类水生昆虫，软体动物中的肺螺类（Pulmata）如椎实螺（*Lymnea*）也属此类。

在底栖动物的大小方面，近代研究常根据筛网孔径的大小将它们划分为不同的类型。一般而言，将不能通过 500 μm 孔径筛网的动物称为大型底栖动物（macrofauna），能通过 500 μm 孔径筛网但不能通过 42 μm 孔径筛网的动物为小型底栖动物（meiofauna），能通过 42 μm 孔径筛网的动物为微型底栖动物（nanofauna）（Higgins and Thiel, 1988; Palmer and Strayer, 1996）。这种分类方法是为了研究的方便，与分类地位和生态习性无关。同时，一种生物的幼体可能是小型底栖动物，成体则可能是大型底栖动物。国内在大型底栖动物方面已有较多资料，在小型底栖动物的研究方面则几乎尚未着手进行。据 Kajak 和 Rybak（1966）的研究，小型底栖动物的生物量在波兰湖泊中有时可达大型者的 50%~60%；Anderson 和 Henau（1980）发现加拿大的一些湖泊中小型底栖动物占全部底栖动物数量的 97%，生物量的 1/3，是底栖动物中不可忽视的部分，因此，国外有较多学者从事这部分的研究。

底栖动物是淡水生态系统的一个重要组分，对了解生态系统的结构和功能有理论意义。在应用上，底栖动物是鱼类等经济水生生物的天然食料，一些底栖动物（如河蟹等）本身就具有很高的经济价值。此外，底栖动物还常作为环境监测的生物指标，因此，研究底栖动物在渔业和环境科学上均有裨益。

第二节 底栖动物的习见类群

淡水底栖动物的种类繁多，在无脊椎动物方面几乎包括了除棘皮动物外所有较大的门类。在脊椎动物方面，严格地说，一些底栖性鱼类以及有尾两栖类等也应纳入底栖动物的范畴。但在本章中，一方面考虑到工作方法的统一性，同时也考虑到鱼类等有另外章节予以叙述，我们在这里将底栖动物的范围限定于较大型的无脊椎动物。由于分类学并非本书宗旨，这里只对主要类群进行简单介绍。读者在实际工作中应参考有关动物学书籍。

一、海绵动物门（Spongia）

或称多孔动物门（Porifera）：形体不规则，间或有辐射对称，无真正组织分化，无器官，体表多小孔，成体多固着生活。淡水主要有寻常海绵纲（Demospongiae）的淡水海绵科（Spongillidae），如针海绵（*Spongilla*）。

二、刺胞动物门（Cnidaria）

刺胞动物门旧称腔肠动物门（Coelenterata）：辐射对称，成体有口无肛门，有刺细胞。淡水中仅有一纲，即水螅纲（Hydrozoa），常见的如水螅（*Hydra*）。

三、扁形动物门 (Platyhelminthes)

背腹扁平，两侧对称，不分节，一般有口无肛门，原肾管末端具焰细胞构造。自由生活的是涡虫纲 (Turbellaria) 的种类，体表一般具纤毛。淡水中主要有：①单肠目 (Rhabdocoela)：肠简单，口在前端。如微口虫 (*Microstomum*)。②三肠目 (Tricladida)：肠分三主干，口在腹面近中央。如真涡虫 (*Dugesia*)。

四、线虫动物门 (Nematoda)

体长圆筒形，两侧对称，不分节，雌雄异体。包括：①有侧尾腺纲 (Secernentea)：无头刚毛和体刚毛，化感器缝状或孔状，无尾腺，有尾感器。淡水中常见的如赫希曼线虫 (*Hirschmannia*)。②无侧尾腺纲 (Adenophorea)：有头刚毛和体刚毛，化感器形状各异，通常有尾腺，无尾感器。淡水中常见的如矛线虫 (*Dorylaimus*)、附三叶线虫 (*Epitobrilus*) (图10.1 A, B)。

五、环节动物门 (Annelida)

体同律分节，常有刚毛，雌雄同体或异体，异体受精。主要包括3个纲：①多毛纲 (Polychaeta)：头部明显，每节有疣足一对，刚毛复杂。在淡水中主要分布在江河的下游，如日本沙蚕 (*Nereis japonica*) (图10.1 C)。②寡毛纲 (Oligochaeta)：头不明显，有口前叶，无疣足，刚毛简单。常见的有线蚓科 (Enchytraeidae)、仙女虫科 (Naididae) 和颤蚓科 (Tubificidae) (图10.1 D~G)。③蛭纲 (Hirudinea)：体扁平，无疣足，有后吸盘。如扁舌蛭 (*Glossiphonia*) (图10.1 H)。

六、软体动物门 (Mollusca)

体不分节，身体由外套膜及贝壳包裹。淡水中常见的有：①腹足纲 (Gastropoda)：除小型的木盾螺科 (Ancylidae) 外，均具螺旋状贝壳。如萝卜螺 (*Radix*)、短沟蜷 (*Semisulcospira*)、豆螺 (*Bithynia*) (图10.2 A~C)。②瓣鳃纲 (Lamellibranchia) 或称斧足纲 (Pelecypoda)、双壳纲 (Bivalvia)：常具一对贝壳，两侧对称。包括各种蚌类、蚶类 (图10.2 D~F)。

七、节肢动物门 (Arthropoda)

体异律分节，一般由头、胸、腹三部分组成，具几丁质外骨骼，附肢分节，混合体腔，开管式循环系统。淡水中常见的有以下两个亚门：

1. 甲壳动物亚门 (Crustacea)

触角两对，头、胸常愈合为头胸部，背侧常有头胸甲。主要包括：①鳃足纲 (Branchiopoda) 身体分节，节数不定 (数节至 20 节)。如蚌壳虫 (*Cyzicus*) (图 10.1 I)。②介形纲 (*Ostracoda*)：体小，身体分节不明显，背甲为两瓣介壳，有闭壳肌与

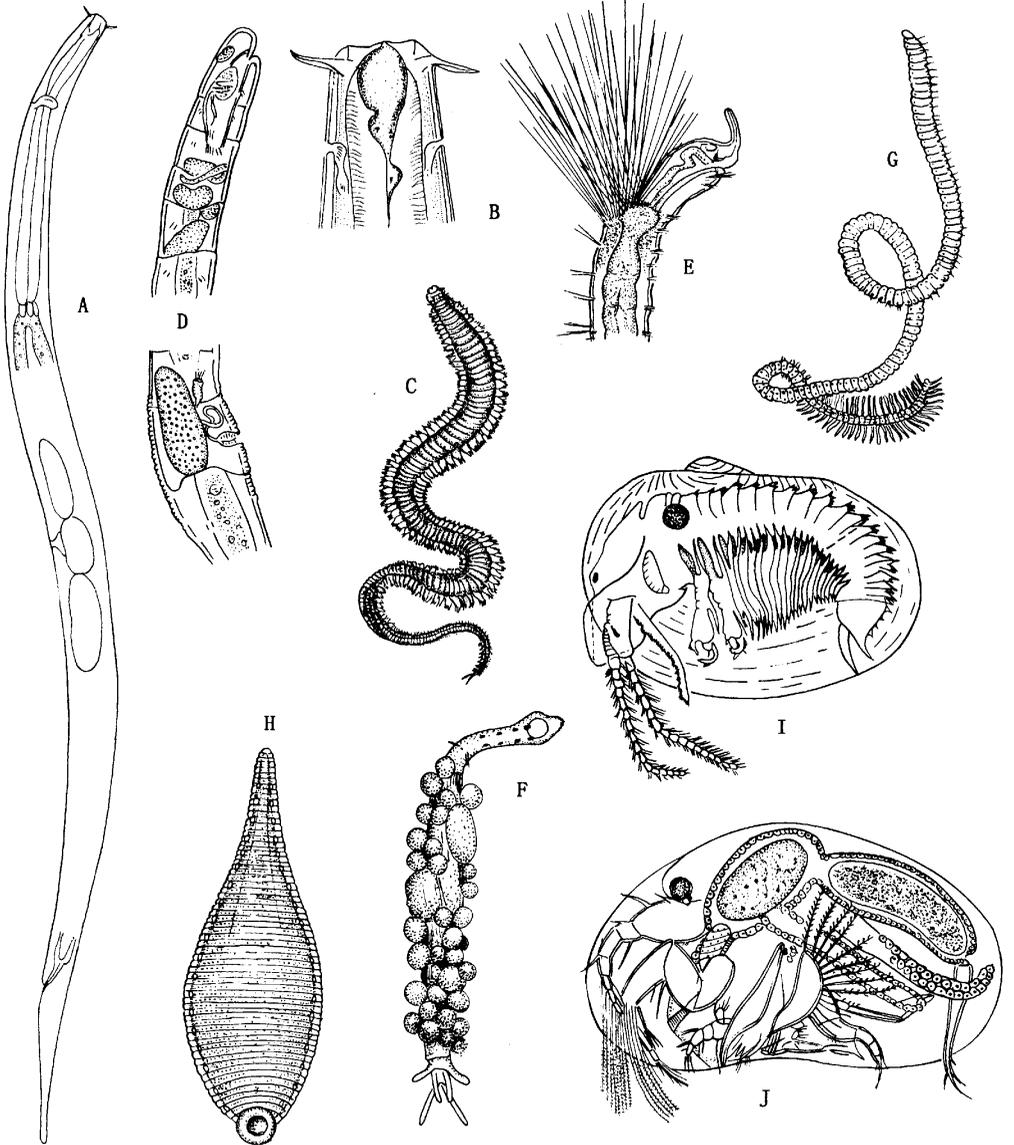


图 10.1 A, B. 附三叶线虫 (*Epitobrillus*); C. 沙蚕 (*Nereis*); D. 半线蚓 (*Hemienchytraeus*); E. 蓬头虫 (*Ripistes*); F. 管盘虫 (*Aulophorus*); G. 尾鳃蚓 (*Branchiura*); H. 扁舌蛭 (*Glossiphonia*); I. 蚌壳虫 (*Cyzicus*); J. 介腺虫 (*Cypris*) (A, B 自 Abebe et al., C, H 自陈义, I 自 Barnes, J 自 Ward et al.)

双壳类相似，第一和第二触角发达。如介腺虫 (*Cypris*) (图 10.1 J)。③桡足纲 (*Copepoda*) 体小，一般无背甲，第一胸节与头愈合，胸节有附肢。底栖的种类主要为猛水蚤

(*Harpacticoida*)。④软甲纲 (Malacostraca): 较大型的甲壳动物, 头与胸或胸的一部分愈合形成头胸部, 具背甲, 腹部除末节外, 通常每节一对附肢。包括各类虾、蟹。

2. 单肢动物亚门 (Uniramia)

淡水中主要是昆虫纲 (Insecta): 触角一对, 体分头、胸、腹三部分, 成虫常具 3 对足 2 对翅, 气管呼吸。约 80 万种, 30 多目, 其中约 10 个目有水栖或半水栖成员, 底栖生活的主要为幼虫。常见的如: ①蜉蝣目 (Ephemeroptera): 咀嚼式口器退化, 翅膜质, 后翅小, 有 2~3 条尾须, 不完全变态, 稚虫腹部具叶状气管鳃。如蜉蝣 (*Ephemera*)、四节蜉 (*Baetis*) (图 10.2 G)。②蜻蜓目 (Odonata): 咀嚼式口器, 翅多横脉, 复眼大, 触角短, 腹部细长, 不完全变态, 稚虫下唇特化成捕捉器, 尾部有肛

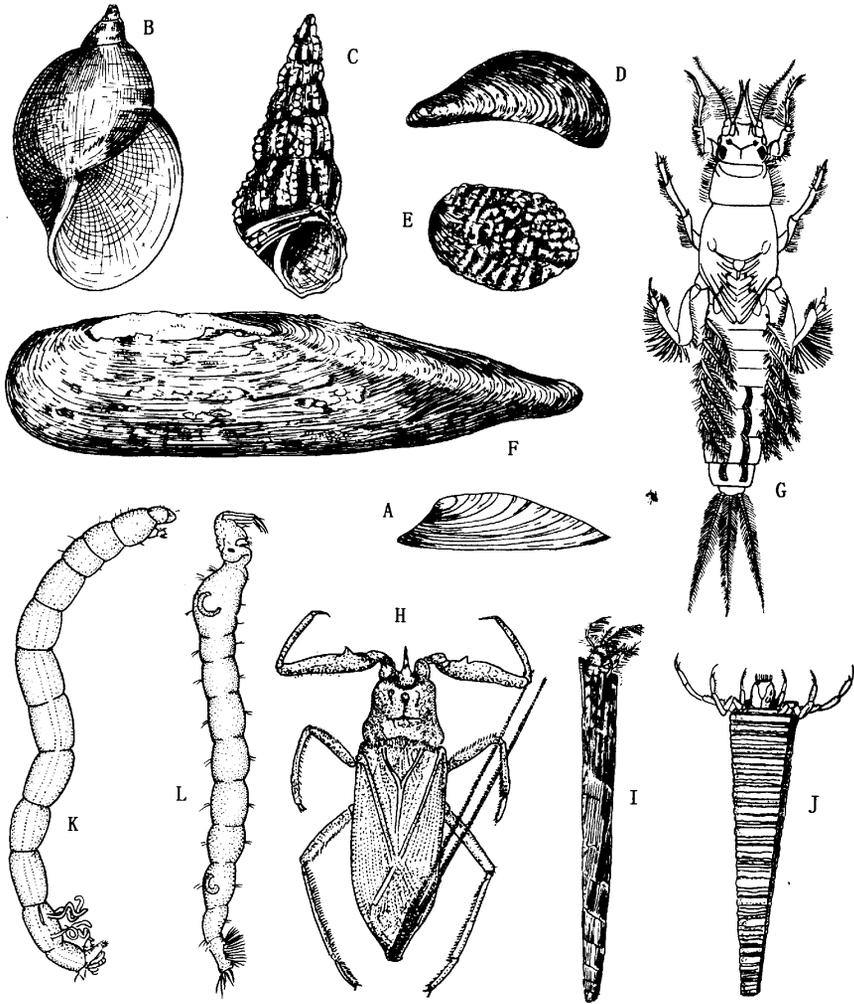


图 10.2 A. 笠贝 (*Ferrissia*); B. 萝卜螺 (*Radix*); C. 短沟蜷 (*Semisulcospira*); D. 壳菜 (*Limnoperna*); E. 丽蚌 (*Lampratula*); F. 矛蚌 (*Lanceolaria*); G. 蜉蝣 (*Ephemera*) 若虫; H. 红娘华 (*Laccotrephes*); I, J. 石蛾幼虫 (*Triaenodes*, *Branchycentrus*); K. 摇蚊 (*Chironomus*) 幼虫; L. 幽蚊 (*Chaoborus*) 幼虫 (A, G, I, J, K, L. 自 Penak)

门锥体。如蜻蜓 (*Anax*)、豆娘 (*Agrion*)。③ 襁翅目 (Plecoptera): 咀嚼式口器, 翅长, 后翅较宽, 触角和尾须长而多节, 不完全变态, 稚虫体扁平, 胸部有丝状气管鳃。常见有石蝇 (*Perla*)、网石蝇 (*Perlodes*) 等。④ 半翅目 (Hemiptera): 刺吸式口器, 翅两对, 前翅基部革质, 其余部分为膜质, 后翅膜质, 不完全变态, 若虫与成虫构造相似, 但不少种类体色、花斑、体表结构、毛被等与成虫迥异。常见如田鳖 (*Kirkaldyi-a*)、红娘华 (*Laccotrephes*) (图10.2 H)。⑤ 鞘翅目 (Coleoptera): 咀嚼式口器, 翅两对, 前翅角质, 称鞘翅, 后翅膜质, 褶叠于鞘翅下, 全变态, 幼虫蛆状或蠕虫状。如龙虱 (*Cybister*)。⑥ 毛翅目 (Trichoptera): 小蛾状, 翅和体多被毛, 前后翅不相等, 全变态, 幼虫具下唇腺, 胸足发达, 多数幼虫筑巢筒, 爬行时头胸和足露出, 携带巢筒爬行。如沼石蛾 (*Limnephilus*)、纹石蛾 (*Hydropsyche*) (图10.2 I, J)。⑦ 双翅目 (Diptera): 刺吸式口器, 翅仅一对, 透明, 后翅成平衡棍, 全变态, 幼虫蛆状或蠕虫状。如摇蚊 (*Chironomus*) 和幽蚊 (*Chaoborus*) 幼虫 (图10.2 K, L)。

第三节 底栖动物的生活类型

众多的底栖动物并非简单地平铺于水底, 而是按照各自的空间生态位特点形成一定的分布格局, 从而使水底的有限空间得以充分利用。换言之, 即动物具有不同的生活类型。根据这一生态特性可将底栖动物分为以下各类:

一、固着动物 (sessile benthos)

在水底表面或其突出物上营终生固着或临时固着。淡水中终生固着的种类比海洋少得多, 但有共同点。较低等的种类主要包括海绵动物和刺胞动物, 它们都具有辐射对称的体形, 以便与周围环境保持平衡。较高等的永久固着动物在淡水中仅有淡水壳菜 (*Limnoperna lacustris*), 成体以足丝固着于坚硬的底质上。由于长期营固着生活, 这类动物身体的构造通常都较简单, 除感觉器官 (如触手、触丝) 相对发达外, 一些器官还有退化现象, 如壳菜的足完全消失, 有些海产种类如藤壶 (*Balanus*) 虽仍保留附肢, 但已丧失运动功能, 而成为捕食器官。固着动物常形成群体, 过度孳生时可造成不利影响, 如淡水壳菜常损害水工建筑或堵塞工厂供水管道。

临时固着的动物则种类甚多, 方式亦不相同, 如蛭类用吸盘固定, 某些摇蚊及石蛾幼虫则营固定于底质上的巢、管等等。后者在流水环境中相当普遍。

二、穴居动物 (burrowing benthos)

这类动物通常将身体的全部或大部分埋藏于疏松的底质中。其成员在淡水中如一些线虫、颤蚓科寡毛类、双壳类软体动物以及摇蚊类幼虫等。它们对穴居有种种适应, 首先, 多数种类都具有细长的体形, 使之易于在底质中穿行。这个特点除见于多数蠕虫外, 一些真穴居双壳类如中国淡水蛭 (*Novaculina chinensis*) 的贝壳也是相当纵长的。其次, 为解决底质中氧气 (有时包括食物) 供应不足问题, 穴居动物常有部分身体露出

于底质外。如颤蚓类，常将尾部露出并不断摇摆，造成水流以取得氧气，有些种类如尾鳃蚓 (*Branchiura*) 则更在尾部各节有成对的指状鳃，以提高气体交换效率。淡水蛭则有很长的进出水管，以便从水体中取得氧气及悬浮食物颗粒。另外，许多蚌类具有肌肉发达的斧足也是湖底开凿穴道的一种适应。

穴居动物的分布在淤泥为主的底质中有时可达到相当大的深度，如颤蚓类在日本琵琶湖南部有时可钻至湖底以下0.9 m (成田 1984)。因此在采集底栖动物定量样品时应考虑采泥器是否能达到一定的深度。就疏松湖底而言，一般认为至少应穿透 20cm 底质才有可能采到该处 90% 的生物 (Kajak 1971)。

三、攀爬动物 (climbing benthos)

泛指爬行于底质表面和攀缘于水底突出物 (包括水草) 上的动物。它们的组成非常复杂，不但体型差异很大，运动能力和方式也不相同。一般而言，在底质表面爬行的类群个体都较大，常有较厚重的贝壳或被甲，常见的如腹足类的环棱螺 (*Bellamya*)、圆田螺 (*Cipangopaludina*) 以及甲壳类的各种蟹类和螯虾 (*Astacus*) 等，昆虫中亦有较多爬行种类，如蜻蜓幼虫和半翅目的田鳖、红娘华等。在突出物和植物上攀缘的种类大都体形较小，贝壳亦相对较单薄，常见的如淡水线虫及寡毛纲中的仙女虫科种类，软体动物则以觶螺科 (*Hydrobiidae*) 种类为主。

攀爬动物中有不少种类有营造负管或负囊的习性，负管由砂粒或植物种子构成，并随虫体而移动。有负管的种类以毛翅目幼虫为多，仙女虫中的管盘虫 (*Aulophorus*) 亦常见。有厚重负管的种类多只在泥表爬行，而负管轻巧的种类则常见于水生植物上。这一类群的活动能力一般都不大。与此相反，攀爬动物中又有活动能力相当强的种类，如龙虱和一些虾类，不但善于主动游泳，而且活动范围很广，由于其栖息地主要仍为水底，故有些学者称此类动物为自游底栖动物 (nektonic benthos)。

四、钻蚀动物 (boring benthos)

这类动物能用机械或化学方法在较坚硬的物体上钻蚀洞穴，多见于海洋生物如船蛆 (*Teredo*)。在淡水中并未发现真正代表，故重要性不大。

第四节 功能摄食类群

功能摄食类群 (functional feeding groups) 是根据摄食对象和方法的差异对水生动物进行的一项生态分类，已在第三章有过论述，它包括撕食者、收集者、刮食者和捕食者。这个概念是由 Cummins (1973, 1974) 在研究水生昆虫时首先提出的。表10.1 详细列出了不同类群昆虫的摄食方式和食物类型。在其他习见的底栖动物中，颤蚓类和双胃线虫 (*Diplogasteridae*) 常为直接收集者，双壳类常为过滤收集者，螺类和仙女虫类常为刮食者，蟹类常为撕食者，独齿线虫 (*Monochidae*) 常为捕食者中的吞食者，而矛线虫 (*Dorylaimida*)、垫刃线虫 (*Tylenchida*) 则以刺吸植物组织液为生，其功能相当于

捕食者中的刺吸者。

表10.1 水生昆虫的摄食方式和食物类型(仿 Wetzel 1983)

功能群	食物颗粒	功能亚群	主要食物	主要分类阶元
撕食者	CPOM, >1mm	咀嚼者和 钻食者	新鲜维管 束植物	毛翅目[石蛾科(Phryganeidae)、长角石蛾科(Leptoceridae)],鳞翅目(Lepidoptera),鞘翅目[叶甲科(Chrysomelidae)],双翅目[摇蚊科、水蝇科(Ephydriidae)]
		同上	死亡维管 束植物	襍翅目[丝襍翅亚目(Filipalpia)],毛翅目[沼石蛾科(Limnephiliidae)、鳞石蛾科(Lepidostomatidae)],双翅目[大蚊科(Tipulidae)、摇蚊科]
收集者	FPOM- UPOM, <1mm	过滤收集 者	悬浮藻类 和有机碎 屑	蜉蝣目[二尾蜉科(Siphonuridae)],毛翅目[等翅石蛾科(Philopotamidae)、管石蛾科(Psychomyiidae)、短石蛾科(Brachycentridae)],鳞翅目,双翅目[蚋科(Simuliidae)、摇蚊科、蚊科(Culicidae)]
		直接收集 者	沉积有机 碎屑	蜉蝣目[细蜉科(Caenidae)、蜉蝣科(Ephemeridae)、小袋蜉科(Lep-tophlebiidae)、四节蜉科(Baetidae)、小蜉科(Ephemerellidae)、五节蜉科(Heptageniidae)],半翅目[水龟科(Gerridae)],鞘翅目[水龟甲科(Hydrophilidae)],双翅目[摇蚊科、螻科(Ceratopogonidae)]
刮食者	<1mm	泛刮食者	生物和非 生物基质 上附着的 藻类等	蜉蝣目(五节蜉科、四节蜉科、小蜉科),毛翅目[Glossomatidae、钩翅石蛾科(Helicopsychidae)、细翅石蛾科(Molannidae)、齿角石蛾科(Odontoceridae)、瘤石蛾科(Goeridae)],鳞翅目,鞘翅目[长角泥甲科(Elmidae)、扁泥甲科(Psephenidae)],双翅目[摇蚊科、虻科(Tabanidae)]
		有机刮食 者	附着于生 物基质上 的藻类等	蜉蝣目(细蜉科、小袋蜉科、五节蜉科、四节蜉科),半翅目,毛翅目[长角石蛾科(Leptoceridae)],双翅目(摇蚊科)
捕食者	>1mm	吞食者	动物全部 或部分	蜻蜓目,襍翅目[鬃须襍翅亚目(Setipalpia)],广翅目(Magalloptera),毛翅目[原石蛾科(Rhyacophilidae)、多距石蛾科(Polycentropidae)、纹石蛾科(Hydropsychidae)],鞘翅目[龙虱科(Dytiscidae)、豉甲科(Gyrinidae)],双翅目(摇蚊科)
		刺吸者	动物细胞 和组织液	半翅目[负子蝽科(Belostomatidae)、蝎蝽科(Nepidae)、仰泳蝽科(Notonectidae)、潜水蝽科(Naucoridae)],双翅目[鹬虻科(Rhagionidae)]

* CPOM (coarse particulate organic matter), 粗有机物颗粒; FPOM (fine particulate organic matter), 细小有机物颗粒; UPOM (ultrafine particulate organic matter), 超微有机物颗粒

浅水湖泊底栖动物的摄食类群的研究至今不多,我们(梁彦龄等 1995)曾以种类为单元,分析湖北保安湖底栖动物不同功能摄食类群的相对数量,发现湖泊中撕食者极少,其他各类则普遍存在。属于收集者的种类占 2/3,刮食者和捕食者合计占 1/3,说明底栖动物对湖底有机碎屑的转化起很大作用。捕食者在各湖区所占的比例较恒定,约为种类数的 5%。

第五节 生活史及化性

各类底栖动物的生物学特性直接影响其种族的盛衰。因此，在研究底栖动物的种群动态及生物生产力时，首先必须对其生活史有所了解。本节扼要论述底栖动物生活史的最基本内容。

一、生殖方式

生殖方式视种类而异，有的类群主要行无性生殖，有性生殖只偶然见到；不少种类则只行有性生殖。

无性生殖分为以下三类：①出芽生殖 (budding)：由体壁向外凸出形成芽体，芽体在一个个体上可能同时出现 2~3 个，这类生殖在淡水中仅见于水螅；②芽裂生殖 (fission)：在扁形动物及低等环节动物中常见，这类生殖系在身体的某个部位出现组织增生并形成芽裂。以低等寡毛类为例，通常在中部的某一体节形成芽区 (budding zone)，在该区增生若干新节，前面若干新节形成母体尾部而后面新节则发育为幼体的头部，待幼体成熟后脱离母体。这类生殖常见于扁形动物单肠目如微口虫以及寡毛类仙女虫科的许多种类；③断裂生殖 (fragmentation)：由虫体自切为若干段，每段再生出新的头部和尾部，形成完整的成体，这种现象以寡毛类的带丝蚓 (*Lumbriculus*) 最为常见。

有性生殖在底栖动物中是个普遍现象，不论是雌雄同体还是雌雄异体，生殖时都须经过异体受精，形成受精卵并发育成幼体。不少种类能分泌膜状物将或多或少的受精卵包裹起来，以利幼体在其中孵化，这个构造通称卵茧 (cocoon)。

二、幼体发育

底栖动物幼体的发育可分为直接发育和间接发育两种方式。直接发育是幼体孵化后，其形态即与成体无大差异；间接发育是幼体形态与成体不同，须经简单或复杂的变态阶段，其典型代表如昆虫的发育。水生昆虫的变态主要有两类：一类为不完全变态 (incomplete metamorphosis)，变态过程无蛹期，幼虫常有气管鳃和翅芽，通称稚虫 (naiad)，见于蜻蜓、蜉蝣等目；另一类为完全变态 (complete metamorphosis)，发育过程包括卵、幼虫、蛹、成虫四个阶段，常见于鞘翅目和双翅目。

水生昆虫是次生底栖动物，其变态过程与陆生同类相似，说明深水环境对其变态并不起主导作用。相反地，淡水环境对许多原生底栖动物生活史特性的形成却有密切的关系。淡水中除蚌类和虾类有幼虫而营间接发育外，许多底栖动物如涡虫类、寡毛类以至软体动物都是直接发育的，这方面与它们的海洋近亲形成明显的反差，海洋种类多有浮游性幼虫，如海生涡虫有牟勒氏幼虫而环节动物和软体动物则有担轮幼虫。这些幼虫在淡水种类中都不存在。就连亲缘关系非常接近的贻贝科 (*Mytilidae*) 种类，海洋种如贻贝 (*Mytilus edulis*) 有担轮幼虫，而淡水种 (淡水壳菜) 则是卵胎生的。这一现象有很重要的生态学意义，说明它们的祖先在进入淡水后，由于淡水环境很不稳定，无法保

证浮游幼虫的存活，因而在其系统发育的过程中出现了简化生活史的现象，并最终形成现代的淡水底栖动物类群。

三、化 性

化性 (voltinism) 是指某类动物在单位时间 (通常为一年) 内出现的世代数。化性的概念普遍用于农业昆虫, 如螟虫有一年一代的一化螟, 一年两代的二化螟等。当前在底栖动物生物学中亦普遍应用。底栖动物的生活史有长有短, 若一年多世代者通称多化种 (multivoltine), 一年为二世代者和一世代者则分别称为二化种 (bivoltine) 和一化种 (univoltine) 等等, 这种情况常见于多数昆虫。对于世代时间达到或超过二年的种类, 则可称二年生的, 三年生的, 等等, 这类现象常见于软体动物。

化性不但是研究动物生活史的重要参数, 也是测定动物的生产量时所必须掌握的内容。因为我们当前测定动物生产量是常以一个世代为基础, 但表达则通常以一年为单位时间, 因此, 某动物的周年生产量应为一世代生产量与化性的乘积。

第六节 周年生产量

底栖动物都是消费者, 故所测生产量均为净生产量。其测算方法有两类, 即种群动

表10.2 底栖动物的化性(阿拉伯字, 代·年⁻¹; 罗马字, 年·代⁻¹)、
年生产量($P, g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 湿重或带壳湿重)和 P/B 系数

	种类	化性	P	P/B	地点	作者
寡毛类	霍甫水丝蚓 (<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>)	3	0.29	11.4	武汉后湖	阎云君等(待发表)
	苏氏尾鳃蚓(<i>Branchiura sowerbyi</i>)	1	6.66~8.55	3.6~7.8	武汉东湖	Liang 1984
			3.41	4.0	武汉后湖	阎云君等(待发表)
			2.68	5.0	湖北保安湖	
软体动物	圆扁螺一种(<i>Hippeutis</i> sp.)	2	1.63	7.1	湖北保安湖	陈其羽 1987
	铜锈环棱螺(<i>Bellamyx aeruginosa</i>)	III~IV	308.99~554.36	1.1	武汉东湖	
			15.77	0.5	湖北保安湖	
			33.13	0.8	武汉后湖	
	长角涵螺(<i>Alocinma longicornis</i>)	I~II	2.12	4.3	湖北保安湖	
			2.18	5.4	武汉后湖	
	短沟蜷一种(<i>Semisulcospira</i> sp.)	III	6.18	1.4	湖北保安湖	
	湖球蚬(<i>Sphaerium lacustre</i>)	1	1.18	3.4	武汉后湖	
昆虫幼虫	幽蚊一种(<i>Chaoborus</i> sp.)	1	0.14	1.8	湖北保安湖	阎云君等 (待发表)
	菱跗摇蚊(<i>Clinotanvpus</i> sp.)	2	3.90	6.6	武汉后湖	
	菱跗摇蚊(<i>Clinotanvpus</i> sp.)	2	0.27	6.2	湖北保安湖	
	大红德永摇蚊(<i>Tokunagavusurika akamusi</i>)	2	3.16	4.4	武汉后湖	
			1.48	4.4	湖北保安湖	
	羽摇蚊(<i>Chironomus plumosus</i>)	1	2.17	3.9	武汉后湖	
			2.66	3.2	湖北保安湖	
	摇蚊一种(<i>Chironomus</i> sp.)	2	1.16	4.0	湖北保安湖	
隐摇蚊(<i>Cryptochironomus</i> sp.)	2	0.60	4.9	武汉后湖		
前突摇蚊一种(<i>Procladius</i> sp.)	2	0.96	5.3	武汉后湖		

力学方法和能量学方法（参看第五章）。我国底栖动物的周年生产量及 P/B 系数列表 10.2。 P/B 系数在多化的种类为 $4.0 \sim 11.4 (\bar{X} \pm S. E. = 6.0 \pm 2.28)$ ；一化的为 $1.8 \sim 7.8 (4.1 \pm 0.62)$ ；多年生的为 $0.5 \sim 5.4 (2.1 \pm 0.73)$ ；范围为 $0.50 \sim 11.4 (4.2 \pm 0.52)$ 。可以看出，多化动物的 P/B 系数高，反之则低。就各个类群而言，寡毛类为 $3.6 \sim 11.4 (6.4 \pm 1.46)$ ，软体动物（不包括大型蚌类）为 $0.5 \sim 5.4 (2.8 \pm 0.79)$ ，昆虫为 $1.8 \sim 6.6 \pm 4.5 (0.44)$ 。蚌类的生产量国内尚无资料，据报道其生命周期可达 $10 \sim 12$ 年， P/B 系数为 $0.13 \sim 0.33$ (Waters 1977)。

表中生产量也可用干重、能量等表示，换算系数一般为： 1g 干重 $\approx 6\text{g}$ 湿重； 1g \approx 干重 20.9kJ ； 1g 干重 $\approx 0.5\text{gC}$ 。

第七节 底栖动物与环境的关系

底栖动物的种类组成和现存量在不同水体和区域间存在着明显的差异，现按以下几个方面对影响其分布和多度的因素进行一些分析。

一、物理因素

1. 底质

水体的底质，根据颗粒的大小以及有机质的多寡大体可分为岩石、砾石、粗砂、细砂、粘土和淤泥。由于粗砂和细砂的底质最不稳定，通常生物量最低。岩石、砾石多见于急流区域，多出现有一定适应性的附着或紧贴石表的种类，如蛭类、螺类和仙女虫类。淤泥和粘土的底质富含沉积物碎屑，饵料基础丰富，故生物量大（表 10.3），但多样性往往不如岩石底质。就某个种而言，在不同底质中的密度有很大的差别。据在东湖的研究，铜锈环棱螺在不同的底质中密度的均数 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 有较大的差异，为软泥： 14.3 ；腐泥： 5.9 ；粘土： 0.9 ；砂： 168.0 ，可见这种螺类主要生活于含砂的湖底（陈其羽等 1975）。

表 10.3 湘江及其支流不同底质底栖动物的密度
($D, \text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 和生物量 ($B, \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) (括号中数据为%)

类群	仙女虫科	颤蚓科	蛭科	螺类	双壳类	昆虫幼虫	合计	
卵石	D	52 000(90.6)	80(0.1)	1000(1.7)	360(0.6)	80(0.1)	3900(6.8)	57 420(99.9)
	B	4.0(12.5)	0.02(0.1)	8.0(25.1)	18(56.4)	0.9(2.8)	1.0(3.1)	31.9(100.0)
粗砂	D	0(0)	120(100)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	120(100.0)
	B	0(0)	0.1(100)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0.1(100)
淤泥	D	47 780(75.1)	14 720(23.1)	20(0.03)	20(0.03)	580(0.9)	520(0.8)	63 640(100.0)
	B	12.0(3.0)	42.6(10.8)	0.02(0.005)	22.0(5.6)	303.5(76.8)	15.1(3.8)	395.2(100.0)

2. 流速

流速对底栖动物的现存量和种类组成有较大的影响。通常静水水体中的生物量和物

种多样性大于流水水体，但要求较清水的种类有时在江河中反而较常见，如寡毛类中的维氏沼丝蚓 (*Telmatodrilus vejdoskyi*)，软体动物中的壳菜。溪涧由于水流较急，则多为营固着生活的昆虫幼虫，如毛翅目幼虫和双翅目中的蚋类。据 Cummins (1975) 报道，水流体制可以相当精确地控制底质颗粒大小，还能影响颗粒的积累和生物特征，如水生维管束植物的生长。推测流速是通过作用于底质等生境来影响底栖动物。

3. 水深

底栖动物数量明显地随水深的增加而不断递减的现象在国外有许多报道。在长江流域浅水湖如东湖，虽然水深一般不超过 5m，但动物的数量仍然能够看出随水深而递减的规律 (陈其羽等 1980)。图 10.3 中两回归线及方程 D_{6-7} 和 D_{10-11} 分别代表东湖 1973 年 6~7 月及 10~11 月间底栖动物密度与水深的情况，可以看出，尽管夏秋两季的多度不同，但递减率却非常接近，大致水深每增加 1m，底栖动物便将减少 $330 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

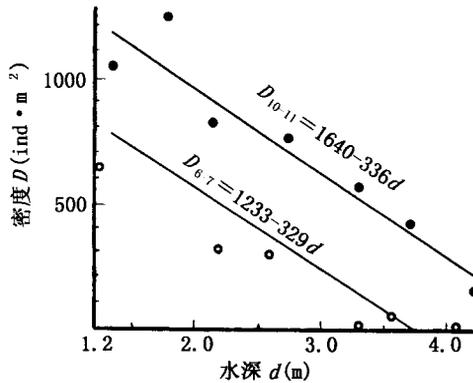


图 10.3 1973 年 6~7 月和 10~11 月底栖动物 (包括螺类) 密度与水深的关系 (水深、密度系以 0.5 m 为组距分别算得的均数)

上述趋势只是就整个底栖动物群落而言，但对某个类群则有可能出现不同的趋势。深度对寡毛类的影响就不明显。在环境条件适宜时，深水处寡毛类的现存量很大，甚至比浅水区还要高，如在丹江口水库坝前 47m 水深处寡毛类达到最大值。

二、营养元素

陈其羽等 (1980) 将东湖 3 个区 1973 年底栖动物的现存量 (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比较分析，得如下结果：

1. 总氮

底栖动物密度 ($D, \text{ ind} \cdot \text{ m}^{-2}$)、生物量 ($B, \text{ g} \cdot \text{ m}^{-2}$) 对总氮 ($TN, \text{ mg} \cdot \text{ L}^{-1}$) 的关系可用直线回归方程 (图 10.4) 表示为： $D = 1863 TN - 1207$ ； $B = 13.441 TN - 9.091$ 。这就意味着，在东湖的条件下，当总氮含量的年平均值增加 $1 \text{ mg} \cdot \text{ L}^{-1}$ 时，底栖动物的密度有可能增加约 $1900 \text{ ind} \cdot \text{ m}^{-2}$ ，生物量将相应增加 $13 \text{ g} \cdot \text{ m}^{-2}$ 左右。

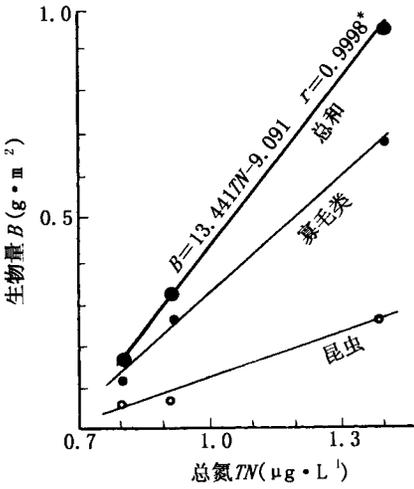


图10.4 1973年10~11月东湖底栖动物生物量与总氮的关系(总氮为4~11月的均数)

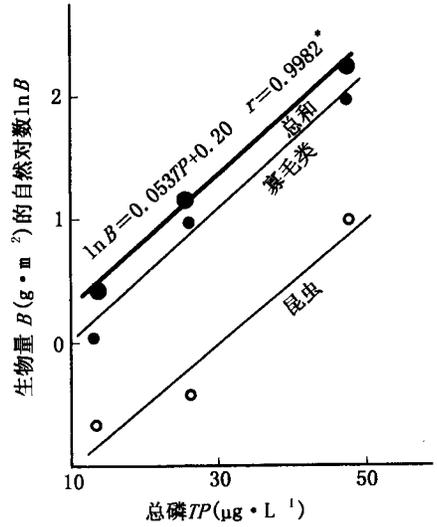


图10.5 1973年10~11月东湖底栖动物生物量与总磷的关系(总磷为4~11月的均数)

2. 总磷

总磷(TP, $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)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显著地正相关(图10.5),回归方程为: $\ln D = 0.046 TP + 5.04$; $\ln B = 0.053 TP + 0.20$ 。这说明,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式的增减。其瞬时增长率为0.05(0.046~0.053),故总磷每上升 $1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,底栖动物实际增长率也在5%左右($e^{0.05} - 1 = 0.0513$)。从上述模型中可以看出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,回归方程如图10.6所示;与密度的相关亦高,但未能达到显著水平。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。回归方程表明水中有机物耗氧量每提高 $1 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,则底栖动物的生物量可期望增加 $2.3 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

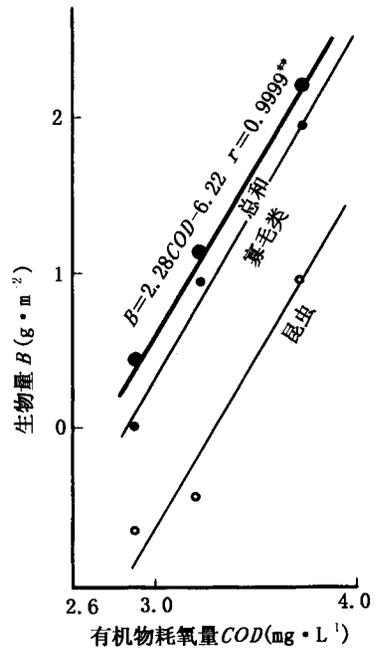


图10.6 1973年10~11月东湖底栖动物生物量与有机物耗氧量的关系(有机物耗氧量为4~11月的均数)

三、水 草

在生物环境中，水草是影响底栖动物的重要因素。通常螺类的现存量随水草的增加而增加。水草为小型螺类提供了繁殖和生长的场所。水草上生长着大量的着生藻类，是小型螺类的主食对象。但就种类而言，不同的螺类与水草关系亦不相同，如纹沼螺 (*Parafossarulus striatulus*) 和长角涵螺 (*Alocinma longicornis*) 的现存量与水草的现存量正相关，而铜锈环棱螺似乎有随水草的增加而数量反而减少的趋势，因为铜锈环棱螺的成体皆在底部生活，以底部着生的藻类为食，间食水底的一些细菌以及淤泥中的有机碎屑。双壳类的情况与螺类不同，主要滤食悬浮碎屑、细菌和浮游植物。在水草茂密之处，不但浮游植物的密度较低，也不利蚌类的穴居生活 (陈其羽 1975)。

据在湖北望天湖的研究 (陈其羽等 1982)，湖泊中大部分水生昆虫如蜻蜓幼虫和毛翅幼虫等的密度也是随着水草的增加而增大，只有摇蚊幼虫的密度随水草的增加而下降，但其生物量则呈相反的趋势。寡毛类的密度与水草关系不很明显，但生物量明显随着水草的减少而增加。

总之，动物的密度和生物量与水草的关系，主要是取决于各类动物的生活习性，大部分螺类、昆虫幼虫和仙女虫类均集中于水草地区生活，蚌类、摇蚊幼虫和颤蚓类等都有钻泥穴居的习性，与水草的关系并不密切。

第八节 底栖动物在不同性质水体中的 种类数量分布

一、湖 泊

不同类型湖泊底栖动物的物种多样性列于表10.4。在盐度较高的湖泊如青海湖、柴窝堡湖和黄河水系的曹岗湖，底栖动物的种类较贫乏，软体动物极少。60年代青海湖底栖动物的密度为 $400\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ，昆虫占89.5%，生物量为 $0.973\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，昆虫占86.3%。又如柴窝堡湖，1985年底栖动物密度为 $799\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ，寡毛类占65.0%，生物量为 $4.72\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，昆虫占78.4%。深水湖泊底栖动物种类很少，但现存量有时很大，常以寡毛类为主。如天池，水深达75m，1985年底栖动物仅有6种，但密度达 $6580\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ，其中99.6%为寡毛类；生物量为 $9.72\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，寡毛类占99.5%。浅水湖泊底栖动物的物种较多，通常以螺类的生物量最大，其中主要种类如沼螺 (*Parafossarulus*)、涵螺 (*Alocinma*)、短沟蜷、环棱螺等。某些底质较硬，略具流水条件的湖泊则可盛产蚌、蚬等双壳类软体动物。其他动物如水栖寡毛类中颤蚓科和仙女虫科种类以及水生昆虫中的摇蚊科幼虫等亦普通，虽所占生物量较低，但数量则可能超过软体动物。如60年代的湖北花马湖，其底栖动物密度为 $529\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ，昆虫和寡毛类合计占92%，生物量 (不包括双壳类) 为 $28.3\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，其中螺类占91%。又如湖北洪湖，1981~1982年的底栖动物密度为 $973\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ，其中螺类占72%；生物量为 $139.3\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，其中螺类占91%。底栖动物现存量季节变动的例子如图10.7所示。

表10.4 湖泊中不同类群底栖动物的种类数

湖泊	盐度(‰)	深度(m) *	种数					调查时间	资料来源
			寡毛类	软体动物	昆虫	其他	合计		
青海湖	12.5	5.5~28.7	3	5	11	1	20	1961~1962	伍焯田等,1979
新疆柴窝堡湖	2.2	3.2	2	0	13	0	15	1985	吴天惠等,1989
新疆福海	0.1	0.3~14.3	9	11	42	7	69	1985	吴天惠,1991
新疆天池	0.3	52.3	2	0	4	0	6	1985	吴天惠等,1989
河南曹岗湖	1.4	0.3~2.1	15	1	12	1	29	1990~1991	谢志才等,1996
武汉东湖	0.2~0.5	2.2	18	41	54	/	113	1960s	陈其羽等,1990
湖北保安湖	0.2~0.3	1.5~2.5	36	23	41	7	107	1992~1993	梁彦龄等,1995
湖北西凉湖	0.1	1.8~2.2	12	17	38	4	71	1992~1993	梁彦龄等,1995
湖北洪湖	0.2~0.5	1.0~1.8	13	21	46	18	98	1992~1993	王士达,1995

* 单个数据为平均水深

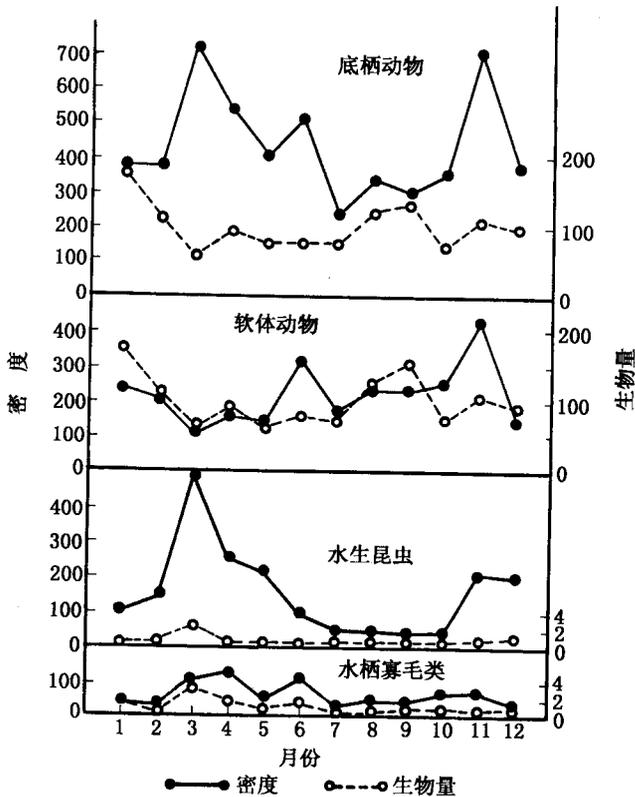


图10.7 1992年3月~1993年2月保安湖底栖动物现存量的逐月变动 (自梁彦龄等1995)

二、河 流

河流底栖动物的组成有突出的特点，由于江水中带有大量有机碎屑并逐渐沉积下来，因此，本类动物中占优势的是以腐败碎屑作为营养的水栖寡毛类，其中在淤泥较厚的江底多水丝蚓 (*Limnodrilus*)，在近岸沙泥底质地带则常以仙女虫科的种类为主，有些种类如肥满仙女虫 (*Nais inflata*)、维氏沼丝蚓和钝毛水丝蚓 (*Limnodrilus amblysetus*) 等只在江河见到。除寡毛类外，摇蚊幼虫如前突摇蚊 (*Procladius*)、多足摇蚊 (*Polypedium*) 和隐摇蚊 (*Cryptochironomus*) 亦占一定比重。软体动物很少，只有一些淡水壳菜。以长江为例，上游干流底栖动物的主要成员几乎都是寡毛类 (表10.5, 图

表10.5 长江上游干流和支流不同类群底栖动物的种类数

类群	干流		支流			
	三峡段	云阳—重庆	香溪	大宁河	乌江	嘉陵江
寡毛类	12	12	0	0	3	6
昆虫	8	11	1	3	4	8
软体动物	2	2	0	0	2	0
其他	1	2	0	0	0	0
总计	23	27	1	3	9	14

10.8)。1984年三峡江段底栖动物有23种，密度为 $283 \text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ，生物量为 $1.012 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ，其中寡毛类分别占52.2%，89%和96.4%；在云阳—重庆江段，种类数为27，密度为 $5908 \text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ，生物量为 $4.097 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ，寡毛类分别占44.4%，90%和60%，在有些地区，寡毛类形成极大的种群，密度竟高达 $90\,000 \text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ，大大高于一般湖泊的水平。支流的底栖动物则视水质情况而有不同，香溪和大宁河水较清澈，底栖动物密度和生物量都低，且都是昆虫。在乌江，昆虫的种类数占44.4%，密度占72%，生物量占63%。嘉陵江则寡毛类较多，种类数占42.8%，密度占62%，生物量达77.5%。在季节变动方面，一般地说，在干流中底栖动物的现存量以秋季较高。

表 10.6 水库不同类群底栖动物的种类数

水库	种数					调查时间	资料来源
	寡毛类	软体动物	昆虫	其他	合计		
新疆红雁池水库	1	1	10	2	14	1985	吴天惠等 1995
天津团泊洼水库	3	1	11	1	16	1989	谢志才等 1996
安徽太平湖水库	9	1	14	2	26	1992~1993	刘保元等 1997
湖北丹江口水库	7	2	7	0	16	1985	著者
葛洲坝黄柏河库湾	5	8	7	0	20	1984	著者

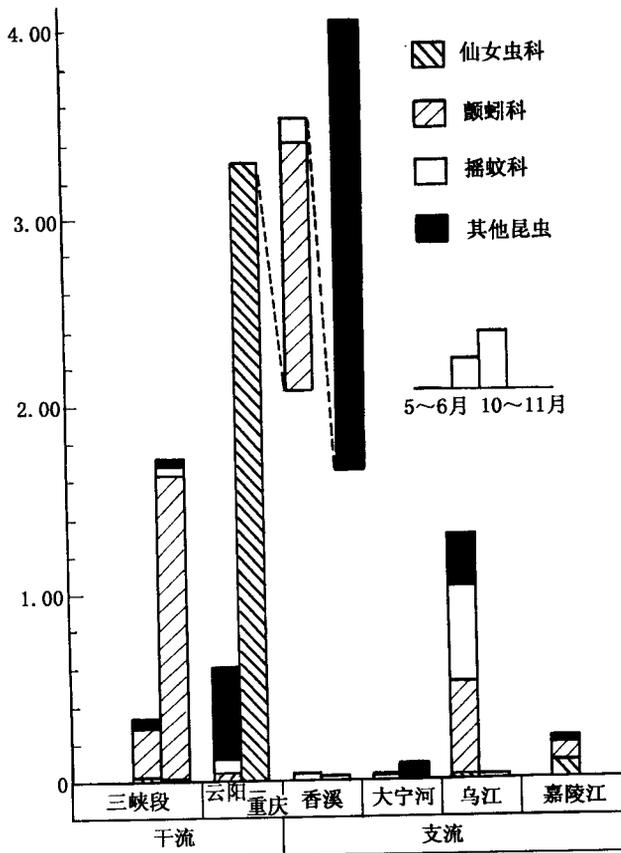


图10.8 1984年长江上游干流及其支流底栖动物的生物量

三、水 库

水库较深，底栖动物的物种数一般较少（表10.6），主要是寡毛类和昆虫，软体动物缺乏。寡毛类是山谷水库和水库深水区的优势类群，并发展成相当单纯的种群，如湖北潭口水库，未采到昆虫，但寡毛类的密度为 $2830 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ，生物量为 $3.16 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ；三

表10.7 1985~1986年安徽太平湖水库底栖动物的密度 ($D, \text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 和生物量 ($B, \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) (括号内数据为%) (仿刘保元等 1997)

类群	上游		中游		下游		库湾	
	D	B	D	B	D	B	D	B
寡毛类	13.2(8.2)	0.022(12.5)	18.3(35.6)	0.041(39.8)	727.6(96.5)	1.732(98.9)	38.5(33.0)	0.051(22.3)
摇蚊类	146.9(90.7)	0.150(85.2)	33.1(64.4)	0.062(60.2)	26.7(3.5)	0.020(1.1)	67.4(57.8)	0.167(72.9)
其他	1.8(1.1)	0.004(2.3)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	10.7(9.2)	0.011(4.8)
合计	161.9(100)	0.176(100)	51.4(100)	0.103(100)	754.3(100)	1.752(100)	116.6(100)	0.229(100)

道河水库中昆虫的密度仅有 $27\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ，生物量仅为 $0.25\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，而寡毛类为 $4380\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ， $5.60\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。寡毛类的种类如巨毛水丝蚓 (*Limnodrilus grandisetosus*) 和克拉泊水丝蚓 (*Limnodrilus claparedeianus*) 等，虽属颤蚓科，但有喜低温和清洁水的特点，在长江沿岸浅水湖泊中不易见到。在平原型水库和水库的浅水区昆虫较多，如太平湖水库的上游、中游和库湾地区摇蚊占优势，而在下游则以寡毛类为主 (表10.7)。

第九节 底栖动物在渔业和环境生物监测上的价值

一、渔业经济价值及渔产潜力的估算

在渔业上，一些底栖动物本身如虾、蟹等就有很高的经济价值，大型蚌类则用于生产淡水珍珠，故经济价值亦高。但就一般而言，底栖动物与渔业的基本关系是作为鱼类的天然食料，并有较高的能含量和转化效率。据测定寡毛类和昆虫每克干重的能量是 23.12kJ ，软体动物为 19.65kJ ，对鱼类的转化效率约为 32% 。可见底栖动物是一类较佳的食料资源。为了在持续利用这一资源的基础上制订渔业生产规划，通常都以底栖动物作为水体渔业生产潜力估算的项目之一。

一般认为，若要保护资源而不致过度开发，底栖动物可供利用的资源量是其生产量 P (一般以年计) 与现存量 B 的差额 (即 $R = P - B$)，以此乘以其在天然条件下对鱼的转化效率 C (常取 $1/6$) 即得鱼产量 F ，即 $F = (P - B) \cdot C$ 。 P 值一般使用 P/B 系数进行估算，因此，上式可改写为： $F = B (P/B - 1) \cdot C$ 。我国底栖动物 P/B 系数的均值为 4.2 (见前文)，但在实际应用时常采取 $P/B = 2 \sim 3$ 这样的数据，因为动物在觅食时并不分幼龄稚虫 (幼虫) 还是老熟稚虫，若对幼龄稚虫捕食率较高则势必压低其正常周年生产量。这个方法是将底栖动物群落作为一个整体来考虑的，当然也可对不同类群分别进行估算。

二、在环境生物监测上的运用

底栖动物寿命较长，迁移能力有限，且包括敏感种和耐污种，故常称为“水下哨兵”，能长期监测有机污染物慢性排放。以颤蚓科寡毛类和一些摇蚊幼虫作为水质有机物污染的指示生物，在早期的工作中用得最多，例如用颤蚓科寡毛类的密度作为衡量污染程度的标准，Wright (1955) 认为在 $100\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 以下时为无污染； $100 \sim 999\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 时为轻微污染； $1000 \sim 5000\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 时为中度污染；而在 $5000\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上时则为严重污染。也有人认为颤蚓类密度达 $1100\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 时才算存在污染。这一标准国内也使用过 (陈其羽等，1980)。除用这种简单方法外，目前倾向于使用多种生物及多种指标，以便取得更多的信息。一类是生物指数 (biotic index)，方法是根据耐污能力给不同的种类打分，然后通过一定方式计算出污染指数，常见的如 Trent 生物指数 (Trent biotic index) 和 Chandler 生物记分法 (Chandler biotic score) (Mason 1981)；另一类为多样性指数，已在第三章介绍过。黄玉瑶等 (1982) 在用 Shannon 指数评价天津蓟运河的污染时提出下列标准： $H = 0'$ (无大型无脊椎动物，以区别于只有一种动物) 为严重污染； H

=0~1 为重污染; $H=1\sim2$ 为中度污染; $H=2\sim3$ 为轻度污染; $H>3$ 为清洁。陈其羽等 (1980) 曾运用不同方法测算武汉东湖水质的生物指标数值, 发现各项方法测算的结果在说明水质情况上并不十分一致。事实上目前还没有一种十分完善的方法, 况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。因此, 在使用时应将指数的计算结果与实际情况结合起来作出综合判断。

思考题

1. 简述底栖动物的概念及其主要类群。
2. 试述底栖动物的生活类型和功能摄食类群。
3. 试述影响底栖动物种类组成和现存量的主要因素。
4. 简述湖泊、河流和水库底栖动物群落结构的主要特点。

主要参考文献

- [1] Cummins K W. Macroinvertebrates. In: B. A. Whitton (ed.), River ecology, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1975, pp. 170~198
- [2] Higgins R P and Thiel H. Introduction to the study of meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington, 1988
- [3] Liang Y L. Annual production of *Branchiura sowerbyi* (Oligochaeta: Tubificidae) in the Donghu Lake, Wuhan, China. Chin. J. Oceanol. Limnol., 1984, 2 (1): 102~108
- [4] Wetzel R G. Limnology (second edition). Saunders College Publishing, Philadelphia, 1983
- [5] 刘保元, 梁小民. 太平湖水库的底栖动物. 湖泊科学, 1997, 9 (3): 235~243
- [6] 吴天惠, 陈其羽. 底栖动物资源及其渔业利用. 载: 中国科学院新疆资源开发考察队, 新疆水生生物与渔业. 北京: 科学出版社, 1989, 75~96
- [7] 陈其羽. 武汉东湖铜锈环棱螺种群变动和生产量的初步观察. 水生生物学报, 1987, 11 (2): 117~129
- [8] 陈其羽, 梁彦龄, 宋贵保, 王士达. 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, 1975, 5 (3): 371~379
- [9] 陈其羽, 梁彦龄, 吴天惠. 武汉东湖底栖动物群落结构和动态的研究. 水生生物学集刊, 1980, 7 (1): 41~56
- [10] 梁彦龄, 吴天惠, 谢志才. 保安湖底栖动物现状及渔业评价. 载: 梁彦龄、刘伙泉 (主编), 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理 (一). 北京: 科学出版社, 1995, 178~193