

# 河蚬的生态习性及其对重金属的富集作用

刘敏 熊禧\* (华中农业大学水产学院, 湖北武汉 430070)

**摘要** [目的] 为增加对河蚬的认识, 更好地利用其在医药健康和环境监测方面的作用。[方法] 简要概括河蚬的繁殖习性、生长分布、生物扰动活动等生态习性, 介绍河蚬富集重金属的种类、富集机制、单一和联合重金属的富集作用及金属污染与河蚬贝壳运动的关系。提出利用河蚬来进行生物监测所存在的问题, 对其在医药健康领域的利用提出建议。[结果] 河蚬在水体中分布广, 生活期长, 对部分有毒物质及重金属有很强的富集作用, 通过直接测量死亡率和体内重金属的浓度或者间接测定相关的耗氧率、排氮率、MI<sup>-1</sup> 浓度、及其他蛋白和酶的活性变化, 能反应出水体的污染程度, 对环境变化具有指示作用。[结论] 加强该领域的研究, 使其更好地为人类健康服务, 具有重要意义。

**关键词** 河蚬; 生态习性; 重金属; 富集

中图分类号 S917 文献标识码 A 文章编号 0517 - 6611(2008) 01 - 00221 - 04

## Ecological Characteristics of *Corbicula fluminea* and Its Effect on the Heavy Metals Accumulation

LIU Min et al. (College of Fishery, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070)

**Abstract** The objective of the experiment is to improve the understanding of *Corbicula fluminea* so as to better apply its function in medicine, health and environment monitoring. The ecology characteristics of *Corbicula fluminea* including reproductive habit, growth and distribution, biology disturbance were reviewed, the type of heavy metals, accumulation mechanism, accumulation effect of single and joint heavy metals, the relationship between metal pollution and the movement of the shells were introduced. The paper has proposed problems in using *Corbicula fluminea* to monitor environment, and put forward suggestions about the animal's application in medicine, health, and environment monitoring. The conclusion is that it is essential to strengthen research on this domain, serve better for human health, which has more important significance.

**Key words** *Corbicula fluminea*; Ecological characteristics; Heavy metals; Accumulation

河蚬 (*Corbicula fluminea*), 俗称沙蚬、蚬潦, 瓣鳃纲 (Lamellibranchia)、真瓣鳃目 (Eulamellibranchia)、异齿亚目 (Heterodonta)、蚬科 (Corbiculidae)、蚬属 (*Corbicula*), 双壳类软体动物。壳长约 28 mm, 厚而硬, 呈圆底三角形; 壳顶膨胀, 突出, 具有同心圆的粗生长轮脉; 壳内面紫色, 有光泽。河蚬栖息于淡水及咸淡水的江河、湖泊及入海口, 原产我国, 现已广泛分布于世界各地水域, 成为数量较大的重要底栖动物, 并成为江河水库等淡水生态系统的优势种, 影响着当地水生生态系统的物质循环。由于生活区域环境不同, 河蚬形成黑蚬、黄蚬、黑褐色花纹蚬等。近年来, 河蚬 (特别是黑蚬) 由于营养价值高, 在国内外市场热销。河蚬不仅营养价值很高, 而且对肝病、恶性贫血、高血压、心脏病等均有显著疗效。我国江浙、福建、广东等地群众喜食用。河蚬是我国一个重要的出口水产品。日本、韩国每年向我国进口上万吨的鲜活河蚬, 作醒酒、护肝药膳。大量研究表明, 由于河蚬对环境变化敏感, 可以作为环境检测的指示生物。目前国内外对河蚬的研究主要集中在生物学特性、分类、胚胎发育、人工繁殖、时空分布、营养成分分析、呼吸和排泄等生理生化活性、对潮间带无机氮迁移转化的影响、对重金属及有毒物质的富集作用等方面。由于受人类活动的影响, 水域污染加剧, 尤其是一些难降解的有毒、有害重金属类污染物质在沉积物和生物体中不断累积, 对水体生态环境构成了直接和潜在的危害。由于软体动物中的一些双壳类是人类的直接食品, 所以它们的健康状况会直接影响人类的健康。为增加对河蚬的认识, 更好地利用它在医药健康和环境监测方面的作用, 笔者对河蚬生态习性及其对重金属的富集作用作一概述。

## 1 生态习性

### 1.1 繁殖习性

河蚬生活在底质为砂、砂泥或泥砂的江河、

湖泊、池沼、沟渠中, 以通海江河的咸淡水交汇处分布密度较大; 营穴居生活, 穴居深度 2 ~ 5 cm。水温低于 5 ℃ 时, 停止摄食; 高于 32 ℃ 时, 可能死亡; 适宜生长水温为 9 ~ 32 ℃。河蚬杂食性, 摄食底栖藻类、浮游生物和有机碎屑等, 以鳃过滤的方式取食。河蚬 3 月龄 (壳长 1.1 ~ 1.2 cm) 达性成熟, 雄雌异体 (偶有雄雌同体), 分批成熟、分批产卵类型, 体外受精。在福建的生殖期为 1 ~ 12 月, 以 7 ~ 8 月为盛期; 在江苏以 6 月上旬至 9 月下旬为盛期。在适宜孵化的条件下, 受精卵的胚体在担轮幼体期之后脱膜, 此时体长 200 μm; 脱膜后进入面盘幼体期, 期间营浮游生活; 结束浮游生活后沉入水底, 再经 15 ~ 30 d 的发育, 变态为针尖状的幼蚬, 开始埋栖生活, 这时把壳体埋在泥砂中, 只露出水管进行呼吸和摄食、排泄<sup>[1]</sup>。

**1.2 水体分布** 软体动物的生长、分布与水生植被、食物等关系密切。如, 保安湖中由于缺乏碎屑、细菌和浮游植物等食物资源, 河蚬的密度较低<sup>[2]</sup>。20 世纪 60 ~ 80 年代, 由于洪泽湖存在有利于河蚬生长与繁殖的环境 (如适宜的流速、底质和食物资源等), 河蚬逐渐成为优势种<sup>[3]</sup>。水体中理化因子总磷、氨氮、铜、铬等尤其是 COD 的变化对河蚬的分布、密度等也有着较大的影响<sup>[4]</sup>。河蚬的种群密度和生物量随水体富营养化的加剧而下降, 其分布型为核心型。近岸带河蚬的密度和生物量明显高于敞水区, 有利于捕捞<sup>[5]</sup>。在水体富营养化较严重的江苏昆承河, 水体理化因子对河蚬的分布和种群密度产生一定程度的影响。较高浓度的营养盐 (氮和磷) 抑制河蚬的分布和产量<sup>[4]</sup>。

**1.3 生物扰动** 底栖动物的栖息活动和分布受沉积作用的影响很大。河口区沉积过程活跃, 在一定程度上影响底栖动物的定着、栖息和活动。在沉积速率较高的粗颗粒区域, 底栖动物的生物量和密度很低, 常难以发现; 但在粗颗粒沉积少而有机物含量较高的区域, 常常有大量底栖生物, 形成特殊的生物群落。底栖生物的生命活动又常干扰水底沉积物的里层结构, 改变其性质, 尤其是大量食沉积物的底栖动物。

作者简介 刘敏 (1984 - ), 女, 安徽临泉人, 硕士研究生, 研究方向: 水生生态。\* 通讯作者。

收稿日期 2007-08-23

这种活动成为生物扰动。陈振楼等探讨了双壳类底栖动物河蚬对长江口潮滩沉积物-水界面无机氮交换的影响及机制<sup>[6]</sup>。研究发现,潮滩无机氮界面交换中,河蚬的钻穴活动能增加向上覆水方向氨氮和硝氮的通量值;河蚬长期栖息对界面的生物扰动和代谢物排放能促进氨氮向上覆水的释放,并逐渐加强沉积物氧化层中的硝化活动;界面附近河蚬的扰动和喷灌活动改变了沉积物中无机氮的垂直剖面特征,加速了沉积物中有机质的矿化分解和两相界面间氨氮的离子交换,促进沉积物氮库向滨岸水体的释放输出。余婕等在底栖动物对潮滩N迁移转化的影响研究中发现,河蚬主要通过排泄和生物扰动影响N在沉积物-水界面间的迁移转化<sup>[7]</sup>。在富氧的环境下,底栖动物的活动使得NO<sub>3</sub>-N在上覆水中有明显的持续累积效应,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N在较深层孔隙水中积累,而NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N易在沉积物中累积。

## 2 河蚬对重金属的富集

由于河蚬具有分布广泛、个体较大、生活史较长、不主动摄取食物、容易采集等特点,同时由于河蚬是一种滤食性的动物,以水中的浮游生物(如硅藻、绿藻、原生动物、轮虫等)为食料<sup>[8]</sup>,对毒物有很高的浓缩系数,能直接反映水体的重金属污染,被认为是非常适于作为水生生态毒理学上的重金属污染生物指示物<sup>[9-10]</sup>。

**2.1 富集重金属种类** 大量研究表明,河蚬体内所富集的重金属主要有Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Ni。河蚬对不同的金属有不同的富集能力,同时河蚬身体的不同部位对金属的富集能力不同。研究表明,河蚬对沉积物中的重金属元素Cu、Zn的富集能力强,对Pb、Cr的富集能力弱。其中,河蚬体内Pb含量与沉积物中Pb含量呈0.01水平显著负相关<sup>[11-13]</sup>。河蚬不同部位的重金属含量分析结果表明,大部分重金属都集中在肉质部中,含量约为钙质外壳的12.4~1793.8倍,且壳内的重金属含量与肉内的重金属含量没有相关性<sup>[13]</sup>。另外,河蚬对其他有机和无机污染物,如多氯联苯(PCBs)<sup>[14]</sup>、甲基汞(MeHg)<sup>[15]</sup>、三氯乙烯(Trichloroethylene)和甲苯(Toluene)<sup>[16]</sup>、矿山开采排出物<sup>[17]</sup>、有机杀虫剂<sup>[18-19]</sup>等物质,也有明显的吸收积累作用,并且吸收达到平衡的时间较长。研究发现,河蚬肾和鳃对Cd的富集能力较强,外套膜和腹足对甲基汞的富集能力较好,而汞在内脏团中累积较多。同时,污染物的分布与河蚬早期幼体的死亡率一致。从表层水到间隙水再到沉积物,随着Zn、Cu、Cr等金属离子浓度的不断增大,河蚬幼体的死亡率也逐渐升高<sup>[20]</sup>。

**2.2 影响河蚬对重金属富集的因素** 生物对重金属的积累与水温、季节变化及其本身的繁殖、生长等生理活动有密切的关系。尤其是温度,可影响底栖动物的生理过程,从而使动物的富集量产生季节性差异。李丽娜等通过对影响长江口滨岸带河蚬体内重金属富集量的4个主要非生物因子依次进行分析,发现河蚬对Cu、Zn、Cr、Ni 4种重金属元素累积的总体趋势是夏季>春秋,说明较高温度有助于河蚬对重金属的吸收<sup>[21]</sup>。

许多学者针对不同的研究对象研究了盐度对底栖动物重金属富集量的影响。Derton等研究表明,盐度对棘刺牡蛎(*Saccostrea echinata*)累积Cd和Pb有明显的影响,低盐度组牡

蛎的Cd和Pb含量明显高于高盐度组牡蛎的Cd和Pb含量<sup>[22]</sup>。Phillips用贻贝*M. edulis*进行了一些试验,发现在盐度为1.5%时贻贝对Cu、Cd的蓄积比在盐度为3.5%时快。因此,在制定水质标准时,盐度是应该考虑的主要因素之一<sup>[23]</sup>。通过分析春、秋2个季节长江口滨岸带采样点的盐度与河蚬重金属累积量的关系,发现秋季河蚬体内累积的Cu、Zn含量分别与盐度呈正相关,而春季两者之间的相关性不大,说明盐度对底栖动物重金属累积量的影响机理比较复杂。Derton等认为,盐度的变化会影响水体金属的形态和金属间的作用,从而影响金属的生物可利用性<sup>[22]</sup>。

河蚬体内的Cu含量与沉积物的粒径存在0.01水平显著的正相关;河蚬体内Zn含量与沉积物中有机质含量存在一定的正相关;河蚬体内Pb含量与沉积物中有机质含量存在负相关<sup>[21]</sup>。金属间的相互作用一般都是通过采样分析而得出的。研究表明,长江口滨岸带分布最为广泛的底栖动物河蚬体内Cu-Cr、Cu-Ni、Zn-Cr、Zn-Ni、Cr-Ni之间呈显著正相关,Zn-Pb之间呈显著负相关<sup>[21]</sup>。

孙平跃等研究表明,季节变化对河蚬积累重金属没有明显的影响,春季和秋季河蚬体内的重金属含量较为接近<sup>[24]</sup>。河蚬体内Cu的积累量在不同大小个体间存在着明显的差异,大个体体内的Cu含量明显高于小个体;但Zn、Cd、Cr和Pb的含量在不同大小个体间的差异不明显。总体上看,季节变化和个体大小对河蚬积累重金属的影响均不是很显著。

吴宏海等研究了水体中低浓度镉(1 μg/L)单独存在以及低浓度镉(1 μg/L)和腐殖酸(1、10 mg/L)共存情况下河蚬对低浓度镉的蓄积和释放<sup>[25]</sup>。结果发现,2种处理方式下均存在镉在河蚬体内蓄积的现象。该蓄积效应与蓄积时间呈显著线性正相关,但在腐殖酸影响下其河蚬对低浓度镉的蓄积减少。研究还表明,低浓度镉进入河蚬体内后难以释放。腐殖酸对镉从河蚬体内的释放效应影响极小。不同溶氧环境对河蚬体内重金属的富集作用也不同。缺氧条件下鳃中镉的累积更明显<sup>[26]</sup>。

研究表明,其他底栖动物的生物扰动也会影响重金属在河蚬体内的累积。在有颤蚓活动的底泥中,Cd随着沉积物的再悬浮转移释放到上覆水中,在河蚬体内的生物积累有限,并且不依赖于藻类的摄食。在无生物扰动的条件下,Cd随河蚬摄食有变化。河蚬通过摄食藻类使得Cd在其体内积累。有藻类时河蚬体内Cd含量高,无藻类时河蚬体内Cd含量低,且加入藻类的最后10h河蚬体内Cd含量最高<sup>[27]</sup>。

**2.3 单一和联合金属在河蚬体内的富集** 当水域受到污染时,最先接触污染物质的是活动力差的贝类品种,因无回避能力、暴污时间较长,易将有害物质富集于体内,使同区域的贝类产品重金属含量高于甲壳类、鱼类,从而使贝类正常的生长代谢受影响。

以河蚬作为指示生物,采用室内培养方法,研究不同浓度重金属的单独、联合作用的毒性效应。研究表明,水体中不同浓度(10~50 μg/L)的Cd和Cu单独作用下,河蚬体内的Cd和Cu含量分别与其在该环境中的暴露时间和浓度呈显著正相关<sup>[28-29]</sup>,在同样浓度的Cd和Cu共同存在的环境中河蚬体内的Cd和Cu含量仍与环境中的该物质的浓度呈显著

正相关,且随着暴露时间的延长均表现出对污染物质积累的增加<sup>[28]</sup>。在Zn、Cu 联合作用时,两者也呈现明显的正相关<sup>[12]</sup>。但也有研究表明,在低浓度(1  $\mu\text{g/L}$ )的Cd、Zn、Cu 联合作用时,积累效应与暴露时间呈显著正相关,而在浓度为10  $\mu\text{g/L}$ 的Cd、Zn、Cu 联合作用时,河蚬对Cd的吸收发生明显的抑制<sup>[29]</sup>。这种波动的情况也出现在类似的试验中<sup>[30]</sup>,其原因仍有待进一步的研究。这说明河蚬对水体中较低浓度重金属有明显的积累效应。

水体重金属含量对河蚬的耗氧率和排氮率也有影响。与受100、200、400  $\mu\text{g/L}$  重金属镉和铜的单独和联合污染情况下河蚬耗氧率和排氮率进行比较,结果表明随着重金属浓度的增大,河蚬的耗氧率、排氮率均有明显的下降<sup>[31]</sup>。因此,当环境中金属元素含量超出河蚬的阈值时,即使河蚬并未表现出死亡的效应,通过测定呼吸和排泄过程中耗氧率和排氮率的变化也可以反映毒性效应。

随着工农业的迅速发展,有毒化学品的数量和种类也急剧增加,多种污染物同时进入水环境,在水体中共存,所以单一毒物的毒性试验结果往往不能客观反映出污染物共存对人类的危害程度。因此,在对毒性较强的单一重金属的污染研究并且进行理化监测的同时,要注重在多种重金属联合作用的情况下进行理化监测和生物监测相结合的研究。河蚬是世界范围淡水水域中广泛分布的底栖动物,也是重要的淡水经济贝类。以往试验已经显示,河蚬对高浓度的有机物污染物、重金属等淡水中常见污染物反应灵敏,而对于中、低浓度的污染则具有相当高的蓄积能力,且体内的浓度与在水体中的暴露时间和浓度有明显的相关关系。因此,河蚬这一重要的淡水底栖生物可以作为水环境中的污染物尤其是重金属污染物的监测指示生物,为我国城市河流、湖泊等水体中的重金属生物监测提供有益的参考。

**2.4 重金属污染与河蚬贝壳运动** 目前,在重金属污染与河蚬贝壳运动方面也有相关研究。Damien 等利用电磁感应技术,采用机械方法研究河蚬贝壳的运动,同时研究河蚬在受到污染后的闭壳反应之后,通过壳的闭合反应表达重金属毒性的设备和方法<sup>[32]</sup>。Hitchinson 等于1993 年用激光质谱微探针对软体动物河蚬的角质层生物监测,发现经过不同重金属类型、剂量的污染后河蚬产生不同的特征图谱,可以与未污染情况下的典型图谱进行对照来反映重金属毒性<sup>[33]</sup>。Liao Chung-Min 等通过水中金属研究了河蚬壳的关闭情况、人工模拟壳的关闭节律,重建了Cu 和Cr 的时间-剂量反应模型。风险评估结果表明,在小于30 min 时间内,Cu 和Cr 的浓度对河蚬壳的关闭无明显的影响;而在大于120 min 的时间内模型则有警示信号显示<sup>[34-36]</sup>。

**2.5 河蚬对重金属及有毒物质的降解机制** 河蚬对有毒物质、重金属的吸收、降解机制主要依赖于体内存在的一种物质——金属硫蛋白(MT)。试验表明,MT 浓度与Cd、Zn 的累积显著相关,MT 能限制Cd 的生物累积,减少Zn 的浓度<sup>[37-38]</sup>。另外,体内的相关蛋白和缩氨酸也能对重金属产生抑制作用<sup>[38]</sup>。以河蚬为原料,对6 种蛋白酶的酶解液清除羟自由基的能力进行研究,发现经酶解河蚬清除羟自由基的能力得到提高;不同蛋白酶酶解液对羟自由基清除率不同,

木瓜蛋白酶酶解液清除能力最强,羟自由基( $\cdot\text{OH}$ ) 的清除率可达到57.89%<sup>[39]</sup>。从河蚬中提取的糖蛋白(CFp-a) 具有体外抗癌作用,能明显抑制肝癌细胞BEL7404 的增殖,并诱导细胞凋亡<sup>[40]</sup>。采用20 和40  $\mu\text{g/ml}$  CFp-a 分别处理BEL7404 48 h 后,用流式细胞仪(FCM) 检测细胞凋亡情况,可以在DNA 直方图上观察到典型的亚“G1” 峰,凋亡率分别为10.99% 和15.51%<sup>[41]</sup>。河蚬肌肉蛋白经热水提取、冷冻处理及2 次水解处理后得到的肌肉蛋白水解产物对血管紧张素有明显的抑制作用,能明显降低心脏的收缩压和舒张压<sup>[42]</sup>。因此,河蚬在医药健康领域也有很高的应用价值。

### 3 小结

河蚬是淡水水域系统底栖动物的重要组成部分,在水体中分布广,生活期长,对部分有毒物质、重金属有很强的富集作用,通过直接测量死亡率和体内重金属的浓度或者间接测定相关的耗氧率、排氮率、MT 浓度及其他蛋白、酶的活性变化,能反映水体的污染程度,对环境变化具有指示作用。但是,目前河蚬作为生物监测指示生物进行现场监测和室内试验研究中,往往由于复杂因素的影响导致结果难以解释,而且由于急性致死或慢性中毒试验等生物监测的持续时间长,较难用于实时监测。因此,仍需完善已有的各项指标的检测方法手段。河蚬不仅营养价值很高,而且对肝病、恶性贫血、高血压、心脏病等均有显著疗效。蛋白酶解液具有清除羟自由基的能力;糖蛋白(CFp-a) 具有体外抗癌作用,能抑制肝癌细胞的增殖;肌肉蛋白水解产物对血管紧张素有明显的抑制作用。因此,加强在这一领域的研究具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 刘月英,张文珍,王跃先. 中国经济动物志——淡水软体动物 M. 北京: 科学出版社,1979:119-123.
- [2] 胡传林,黄祥飞. 保安湖渔业生态和渔业开发技术研究文集 C. 北京: 科学出版社,1991.
- [3] 朱松泉,窦鸿身. 洪泽湖水资源和水生生物资源 M. 合肥: 中国科技大学出版社,1993.
- [4] 凌去非,宋学宏,康华东,等. 昆承湖河蚬资源及水体理化因子的初步探讨 J. 水利渔业,2001,21(1):44-46.
- [5] 邓道贵,周琼,过龙根,等. 巢湖富营养化对河蚬和环棱螺分布及种群密度影响 J. 应用生态学报,2005,16(8):1502-1506.
- [6] 陈振楼,刘杰,许世远,等. 大型底栖动物对长江口潮滩沉积物-水界面无机氮交换的影响 J. 环境科学,2005,26(6):43-50.
- [7] 余婕,刘敏,侯立军,等. 底栖穴居动物对潮滩N 迁移转化的影响 J. 海洋环境科学,2004,23(2):1-4.
- [8] 周一兵,尹春霞,杨建立. 菲律宾蛤仔的呼吸与排泄对三种重金属慢性毒性的反应 J. 大连水产学院学报,1998,13(1):8-16.
- [9] CRANEY R L, CHERRY D S, CAIRNS J J. Heavy metal indicator potential of the Asiatic clam (*Corbicula fluminea*) in artificial stream system J. Hydrobiologia, 1983,102:81-87.
- [10] KRAAK M, SCHOLTEN M C T, PEETERS W, et al. Biomonitoring of heavy metals in the western European rivers Rhine and Meuse using the freshwater mussel *Deissena polymorpha* J. Environmental Pollution, 1991,74:101-114.
- [11] 李丽娜,陈振楼,许世远,等. 长江口滨岸带河蚬的时空分布特征及其指示作用 J. 应用生态学报,2006,17(5):883-886.
- [12] 孙平跃,王斌. 长江口区河蚬体内的重金属含量及其污染评价 J. 应用与环境生物学报,2003,10(1):79-83.
- [13] 李丽娜,陈振楼,许世远,等. 铜锌铅铬镉重金属在长江口滨岸带软体动物体内的富集 J. 华东师范大学学报: 自科版,2005,8(3):66-70.
- [14] 聂湘平,魏泰莉,蓝崇钰. 多氯联苯在模拟水生态系统中的分布、积累与迁移动态研究 J. 水生生物学报,2004,28(5):478-483.
- [15] INZA B, RIBEYRE F, BOUDOU A. Dynamics of cadmium and mercury compounds (inorganic mercury or methyl mercury): uptake and depuration in *Corbicula fluminea*. Effects of temperature and pH J. Aquatic Toxicology, 1998, 43:273-285.
- [16] VIDAL M L, BASSE 'RES A, NARBONNE J F. Potential biomarkers of trichloroethylene and toluene exposure in *Corbicula fluminea* J. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2001,9:87-97.
- [17] DAVID J, TRAMS S. In situ studies with Asian clams (*Corbicula fluminea*)

- detect acid mine drainage and nutrient inputs in low order streams[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2001, 3: 602-608.
- [18] JOSEPH R, BIDWELL R, JERRY FARRIS L. Comparative response of the zebra mussel, *Drissena polymorpha*, and the Asian clam, *Corbicula fluminea*, to DGH QUAT, a nonoxidizing molluscicide[J]. *Aquatic Toxicology*, 1995, 33: 183-20.
- [19] SIMONO, RIBEYRE F, BOUDOU A. Comparative experimental study of cadmium and methyl mercury trophic transfers between the Asiatic Clam *Corbicula fluminea* and the crayfish *astacus astacus*[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000, 38: 317-326.
- [20] CATALDO D, BOLTOVSKOY D, BLOS C, et al. Environmental toxicity assessment in the Parana river delta (Argentina): simultaneous evaluation of selected pollutants and mortality rates of *Corbicula fluminea* (Bivalvia) early juveniles[J]. *Environmental Pollution*, 2001, 112: 379-389.
- [21] 李丽娜, 陈振楼, 许世远, 等. 非生物因子对河蚬重金属富集量的影响[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(9): 1017-1020.
- [22] DENTON G R W, BURDON JONES C. Influence of temperature and salinity on the uptake, distribution and depuration of mercury, cadmium and lead by the black lip oyster *Saccostrea echinata*[J]. *J Experimental Marine Biol Ecol*, 1981, 64: 317-326.
- [23] 黄文祥, 王树芬. 重金属污染生物指标种 双壳类 研究概况[J]. *海洋环境科学*, 1988, 7(3): 54-61.
- [24] 孙平跃, 王斌. 季节变化和个体大小对河蚬积累重金属的影响[J]. *海洋通报*, 2004, 23(2): 19-24.
- [25] 曾丽璇, 吴宏海, 张秋云, 等. 水体腐殖酸影响下河蚬对低浓度镉的蓄积和释放[J]. *生态科学*, 2006, 25(3): 240-242.
- [26] LECEAY A, MAUD ACHARD JORIS M, BAUDRIMONT M, et al. Impact of cadmium contamination and oxygenation levels on biochemical responses in the Asiatic clam *Corbicula fluminea*[J]. *Aquatic Toxicology*, 2005, 74: 242-253.
- [27] CIUTAT A, GERINO M, BOUDOU A. Remediation and bioavailability of cadmium from historically contaminated sediments: Influence of bioturbation by tubificids[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2006, 61: 147-152.
- [28] 曾丽璇, 陈桂珠, 余日清, 等. 水环境中Cd和Cu污染对监测生物河蚬积累效应的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(5): 964-967.
- [29] 曾丽璇, 陈桂珠, 余日清, 等. 水体中低浓度镉污染对河蚬的影响[J]. *水利渔业*, 2004, 24(6): 57-58.
- [30] BARHELD ML, FARRIS J L. Biomarker and bioaccumulation responses of Asian clams exposed to aqueous Cadmium[J]. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 2001, 63: 495-510.
- [31] 曾丽璇, 陈桂珠, 吴宏海. 重金属镉和铜对河蚬呼吸和排泄的毒性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1): 175-178.
- [32] DAMIENT, ELODIE F, GILLES D, et al. Copper detection in the Asiatic clam *Corbicula fluminea*: optimum valve closure response[J]. *Aquatic Toxicology*, 2004, 66(3): 333-343.
- [33] HUICHINSON P J, ROLLINS H, SHARKEY A G, et al. A freshwater bioprobe periostracum of the Asian clam, *Corbicula fluminea* (Miller) combined with laser mass spectrometer[J]. *Environmental Pollution*, 1993, 79(1): 95-100.
- [34] HIAO C M, JOUL J, CHEN B C. Risk based approach to appraise valve closure in the clam *Corbicula fluminea* in response to waterborne metals[J]. *Environmental Pollution*, 2005, 13: 41-52.
- [35] JOUL J, HIAO C M. A dynamic artificial dam (*Corbicula fluminea*) allows passivity online measurement of waterborne metals[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 144: 172-183.
- [36] HIAO C M, HINC M, JOUL J, et al. Linking valve closure behavior and sodium transport mechanism in freshwater dam *Corbicula fluminea* in response to copper[J]. *Environmental Pollution*, 2007, 147: 656-667.
- [37] MARIE V, BAUDRIMONT M, BOUDOU A. Cadmium and zinc bioaccumulation and metallothionein response in two freshwater bivalves (*Corbicula fluminea* and *Drissena polymorpha*) transplanted along a poly-metallic gradient[J]. *Chemosphere*, 2006, 65: 609-617.
- [38] BAUDRIMONT M, ANDRES S, DURRIEU G, et al. The key role of metallothioneins in the bivalve *Corbicula fluminea* during the depuration phase, after in situ exposure to Cd and Zn[J]. *Aquatic Toxicology*, 2003, 63: 89-102.
- [39] 万细妹, 徐明生, 蒋艳, 等. 河蚬酶解液抗氧化作用的研究[J]. *江西农业大学学报*, 2007, 129(2): 282-287.
- [40] 祝雯, 林志铿, 吴祖建, 等. 河蚬糖蛋白对人肝癌细胞凋亡的影响[J]. *中国公共卫生*, 2004, 20(6): 674-675.
- [41] 祝雯, 林志铿, 吴祖建, 等. 河蚬中活性蛋白 Cf-pa 的分离纯化及其活性[J]. *中国水产科学*, 2004, 11(4): 349-353.
- [42] TSAI J S, LINT C, CHEN J L, et al. The inhibitory effects of freshwater dam (*Corbicula fluminea*, Miller) muscle protein hydrolysates on angiotensin I converting enzyme[J]. *Process Biochemistry*, 2006, 41: 2276-2281.

(上接第214页)

分别为0.910 1、0.908 5,说明线性度很好。

**2.3 计算程序** 鲁西黄牛成年母牛体重计算程序界面,见图1,界面包括体尺数据输入框,模型类别选择框,分别输入测得的数据并选择其中的模型后点击计算,即可在体重输出窗口显示计算结果。



图1 计算程序界面

Fig. 1 Interface of calculation program

### 3 小结与讨论

(1) 研究共得到2个估测鲁西黄牛成年母牛体重的回归模型。表明鲁西黄牛成年母牛体重与体高、体长、胸围、管围存在明显的线性关系,此结论与国内外相关研究相吻合。判断回归模型好坏的标准是多方面的,就数量统计角

度而言,根据回归模型来计算拟合值与实测值之间的决定系数( $R^2$ ),通过比较 $R^2$ 值的大小以择其优劣更为适宜。第1个回归模型的 $R^2$ 值大于第2个回归模型的 $R^2$ 值,因此以选择第1个回归模型更为适宜,但如果同时考虑体尺测量的繁琐程度可以考虑第2个回归模型。

(2) 在实测体重与估测体重数据比较中发现410 kg体重是一个界值,实测体重小于410 kg的成牛母牛,2个模型的体重估测值有略高于实测值的趋势,而大于410 kg的成牛母牛,估测值则有略低于实测值的趋势。这可能与鲁西黄牛的饲养水平和营养因素有关。

(3) 根据2个回归模型用Visual Basic 6.0软件编写了鲁西黄牛成年母牛的体重计算程序,此程序为免安装的可执行程序,具有操作简单,界面友好,实用性强,替代了人工繁琐的计算过程,提高计算的精确性。

### 参考文献

- [1] 王占红,何永涛,郭维春,等.沿江牛成年母牛体重与体尺指标的相关与回归分析[J].*中国畜牧杂志*,2007,43(1):12-13.
- [2] 杨公社,毛玉胜.用二元回归方程式估测秦川牛成牛母牛的体重[J].*黄牛杂志*,1983(3):39-47.
- [3] 武彬,庞之洪,陈幼春,等.黄牛体尺差异性分析方法的研究[J].*畜牧兽医学报*,1990,21(2):121-126.
- [4] 张显华,王威,王振民.黄牛体尺的聚类与主成分分析[J].*黄牛杂志*,1997,23(2):9-10.
- [5] 张爱玲,张丽娟,耿社民,等.秦川母牛不同年龄阶段体尺和体重的主成分分析[J].*西北农林科技大学学报:自然科学版*,2003,31(2):29-32.
- [6] 洪楠,侯军.SAS for Windows (v8) 统计分析系统教程新编[M].北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社:2004:240-294.
- [7] 王根林,易建明,梁学武,等.养牛学[M].北京:中国农业出版社,2000:71-72.