

# 中国主要流域河蚶 [ *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) ] 形态及其对环境的适应性<sup>\*</sup>

周会<sup>1,2\*\*</sup> 刘丛强<sup>1</sup> 闫慧<sup>3</sup> 艾慈<sup>1,2</sup> 王兵<sup>1</sup> 江伟<sup>1,2</sup> 赵彦龙<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; <sup>2</sup>中国科学院研究生院, 北京 100049; <sup>3</sup>河南许昌大学城市与环境学院, 河南许昌 461000)

**摘要** 双壳动物形态变化是适应环境变化的一个重要方面。但不同环境条件下的适应机制可能存在差异。河蚶是一种底栖双壳类动物, 原产东南亚, 现分布于世界许多地区。本研究采集了我国江、淮、黄河和西江等主要流域的河蚶样品, 进行了三度空间尺度分析, 以认识壳体形态的区域变化及其影响因素。结果表明, 长江上游和西江上游等高山与峡谷地区河蚶的相对高度、圆度和凸度均小于黄淮、汉水流域和西江中下游等低山和平原地区。水流速度是造成这种形态适应性变化的主要原因。流速的增加使河蚶向相对长、矮和扁的方向发展, 这种形态利于个体在底质中固定下来而不被水流冲走; 而缓慢的水流使河蚶向相对宽圆的方向发展。环境温度、水体化学与河蚶形态之间不存在相关性, 表明二者对河蚶形态的影响不明显。上述结果不仅有助于认识双壳动物对环境变化的适应性, 而且对我国的河蚶养殖和捕捞也具有指导意义。

**关键词** 软体动物; 双壳类; 经济贝类; 形态变化; 水流速度; 生物适应性

**中图分类号** B92 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2011)7-1497-07

Shell morphology of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) and its implication for the adaptation to environmental change in the major drainage basins of China. ZHOU Hui<sup>2\*\*</sup>, LIU Cong-qiang, YAN Hui, DING Wen-chi<sup>2</sup>, WANG Bing, JIANG Wei<sup>2</sup>, ZHAO Yan-long<sup>2</sup> (<sup>1</sup>State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; <sup>2</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; <sup>3</sup>College of Urban Planning and Environment Science, Xuchang University, Xuchang 461000, Henan, China). Chinese Journal of Ecology 2011, 30(7): 1497-1503. Abstract: The morphological change of bivalve mollusk is believed to be an adaptation to environmental change, but the adaptation mechanism under different environmental conditions may differ. *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) is a benthic bivalve native to South and East Asia and a dominant invasive species in many aquatic environments globally. In this paper, specimens of *C. fluminea* were collected along a transect crossing the major watersheds of China, including the Yellow River, Huaihe River, Han River, Yangtze River and Xijiang River, with the morphometry studied aimed to understand the regional change of *C. fluminea* shell morphology and its affecting factors. In the upstream tributaries of the Yangtze and Xijiang Rivers, which were located in the mountainous regions of western China, the *C. fluminea* shell was relatively long, low and thin, while in the lower reaches of Yellow River, upstream tributaries of Huai River and Han River, and middle and lower reaches of Xijiang River, which were located in the hilly areas or plains in the south and east China, the shell was relatively short, high and thick. These changes revealed the adaptation of the clam to the changes of water current rate. The large contrast of topography created high flow rate in mountainous regions, where the clam evolved to become longer, lower and thinner so as to resist the involuntary displacement by high flow rate water current, while the slow

\* 国家自然科学基金项目 (40403010, 40721002) 资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: zhohui@mail.igec.ac.cn

收稿日期: 2010-12-01; 接受日期: 2011-04-16

flow rate in the plains or low mountain areas encouraged the shell morphology to become relatively short and round. The changes of water temperature and water chemistry (mainly  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{K}^+$  concentrations) had little effects on the shell morphology. These results not only provided insight into the adaptation mechanism of clams to environmental change, but also helped guiding the cultural practices of *Corbicula fluminea* in China.

**Key words:** mollusc; bivalve; economic shellfish; morphologic allometry; water current; biological adaptation

双壳类动物个体形态变异是壳体在不同方向上生长速率变化或异速生长的结果 (Huxley & Tessier, 1936), 环境条件的变化被认为是造成双壳类动物异速生长的重要原因 (Tan Tiū, 1986; Belanger, 1991; Tan Tiū & Prezañt, 1992; Síties et al., 1995)。然而环境因素如何影响双壳类动物形态特征至今缺乏有力的证据。对此问题进行研究有助于认识双壳类动物对环境变化的适应性, 从而为全球变化背景下生物多样性的保护提供科学依据。

河蚬 [*Corbicula fluminea* (Müller, 1774)] 原产于东南亚地区, 是一种低栖双壳类软体动物, 具有很强的环境适应能力。早期的中国移民将其带到了美国的西海岸地区 (Counts, 1986; USGS, 2001), 从而在美洲大陆, 尤其是北美洲, 快速传播 (Iuarre, 1985; Counts, 1986; Cazzaniga & Perez, 1999; Lee et al., 2005)。此后, 船只的往来又使河蚬从美洲传播到了欧洲 (Araujo et al., 1993)。目前河蚬已成为世界范围内越来越多陆地淡水生态系统的优势底栖动物种类 (Sousa et al., 2008)。作为一种软体类双壳动物, 河蚬具有软体动物所具有的高度形态变异特性 (Hillis & Patton, 1982; Britton & Morton, 1986; Morton, 1987; Renard et al., 2000; Alyakrinskaya, 2005)。利用壳体形态特征划分河蚬种类较困难 (Britton & Morton, 1986; Renard et al., 2000; Bagatini & Panaraj, 2005; Sousa et al., 2007)。河蚬还是一种重要的经济贝类。据《本草纲目》记载, 河蚬具有益肝的药用价值, 加之其肉味鲜美, 营养丰富, 历史上我国东南沿海地区和日本、韩国一直将河蚬作为滋补佳品和醒酒、护肝药膳广泛食用 (Phelps, 1992)。最近数十年, 河蚬更是中国国内消费和出口日本、韩国等东南亚国家的经济贝类 (Phelps, 1994); 北美地区也开始考虑将河蚬作为一种经济贝类进行开发 (Sickel et al., 1981; Kubly & Landye, 1984; Phelps, 1992)。因此, 认识河蚬形态变化及其与环境因素的关系不仅有助于认识双壳类动物对环境变化的适应性, 而且对我国河蚬养殖实践也具有

实际指导意义。据此, 本文利用中国黄河、淮河、长江和西江等主要流域环境条件的巨大差异, 通过对河蚬壳体三度空间大小的调查, 研究了河蚬形态的变化及其与环境条件变化的关系。

## 1 材料和方法

### 1.1 采样路线及其地质背景

样品采集利用路线采样法, 即根据研究目的设计采样路线, 沿线布点进行样品采集。采样路线的设计不仅兼顾了流域的主河道, 更着重流域的支流系统, 使样品之间环境条件的差异最大化。如图 1 所示, 采样路线的展布北起黄河入海口, 向西南至贵州省贵阳市, 然后再向东南至珠江入海口。根据地貌特征, 可把整个采样路线分为 3 个部分, A 段地处黄河下游、淮河上游和汉水中游地区, 地貌类型主要为冲积平原。河流多为曲流河, 水流速度缓慢。B 段地处长江和西江上游支流系统。其中长江流域包括地处巴东的长江上游谷地及其以南的清江、澧水、酉水和乌江、清水江流域, 西江上游支流包括都柳江、打狗河、刁江和红水河谷地。地貌主要为高山和峡谷相间。河流多为下切强烈的辫状河, 水流湍急。C 段穿越了西江中下游流域, 包括邕江谷地、西江干流及其南部的北流江、罗定江、新兴江和珠江流域。地貌上属于低山和丘陵地区, 水流速度的空间变化较大 (图 1A)。

A 段中, 黄河下游干道和淮河上游支流系统位于第四纪松散堆积物和沉积岩石地区。但从河南省郑州以南的许昌市至湖北神农架, 采样河流发育或流经岩浆岩或变质岩石及部分碳酸盐岩地区。B 段岩石以碳酸盐岩和碎屑沉积岩为主。C 段从河池至南宁, 岩石类型以碳酸盐岩和碎屑沉积岩为主。南宁以东至珠江入海口, 岩石以岩浆岩和变质岩为主, 其次是碎屑沉积岩, 偶尔出露碳酸盐岩 (图 1B)。

沿采样线自北向南的气候变化具有明显的规律性。A 段地处暖温带亚湿润区和北亚热带湿润区, B 段为中亚热带湿润区, C 段为南亚热带湿润区 (图 1C)。

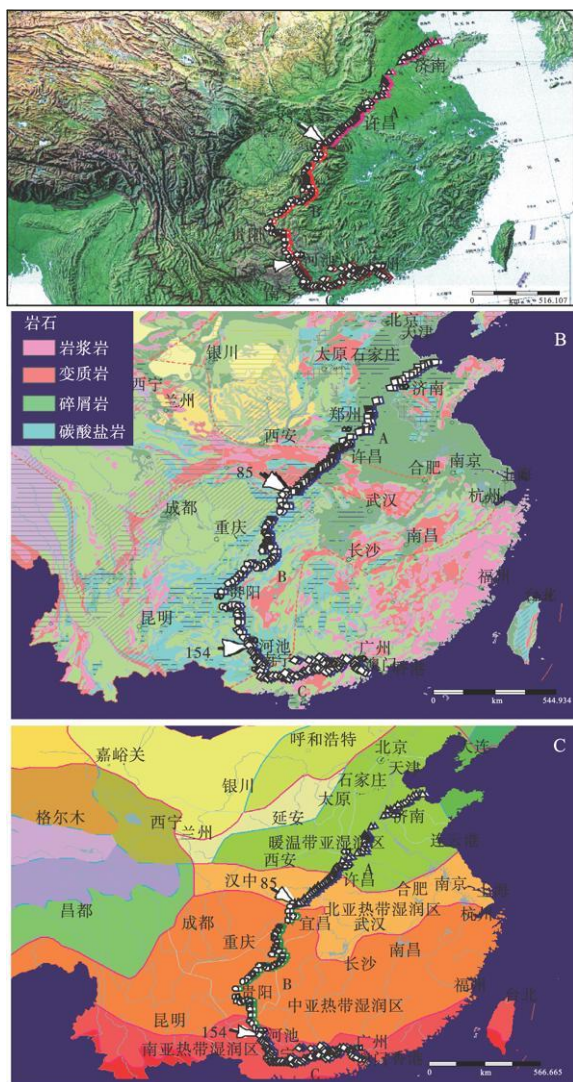


图 1 采样路线、采样点分布的地理地貌 (A)、区域岩石 (B) 和气候 (C) 背景示意图

Fig. 1 Background of geography (A), lithology (B) and climate (C) of this study

数字 85 和 154 指示 A、B、C 三段采样路线的大致分界点, 其中第 85 采样点为湖北房县东郊, 第 154 采样点为广西河池市九圩镇。底图据廖克, 1999

## 1.2 样品采集和分析方法

样品的采集分两次完成。黄河入海口至贵州省贵阳市之间的采样于 2005 年 9 月完成, 贵阳市至珠江入海口之间的采样于同年 12 月完成。在采样路线上的河流或湖泊相距 10 km 左右无论大小均为采样对象。总采样点为 208 个, 其中采集到河蚬的样点为 132 个。河蚬的采集用一个自制的不锈钢耙网完成, 口径为 30 cm × 20 cm, 后部联接一个尼龙网, 网孔大小为 0.8 mm。所采集到的河蚬总数为 1510 个, 每个采样点的样品数量从数个至数十个不等。

采样所用聚乙烯瓶均经 10% 硝酸溶液浸泡, 并

用超纯水冲洗、晾干。所采水样均用 Millipore 针头式过滤器 (Swinnex47) 和 Whatman 玻璃纤维滤膜 (Whatman Glass Microfibre GF/F,  $\Phi = 47$  mm) 现场过滤。用于元素地球化学分析的水样装满 60 mL 样品瓶后, 再加入 50  $\mu$ L 经亚沸蒸馏的超纯硝酸, 并置于冰箱保存。

室内  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^{+}$  元素分析在环境地球化学国家重点实验室利用原子吸收分光光度计 (PE-5100-PC) 完成, 含量用外标法标定, 重复样品多次测量的相对标准偏差分别为 8.9% 和 1.4%。

河蚬壳体三度空间大小的测定用游标卡尺完成。根据通用的河蚬壳体形态定义, 壳长为壳体前后方向最大距离, 壳高为壳体背部与腹部方向最大距离, 壳宽为相联的左右两个壳瓣之间的最大距离 (Britton & Morton, 1982)。

## 2 结果与分析

### 2.1 河蚬壳体大小及其年龄分布

由于双壳类幼年个体与成年个体在壳体形态上存在较大差异 (Nichols & Black, 1994; Kovitvadi et al., 2007), 本研究在采样过程中有意忽略了幼年个体的采集, 网孔大小的选择使所采河蚬样品长度都在 0.8 cm 以上。对所采集到的 1510 个河蚬个体的测量结果显示, 壳体长度在 1.1 ~ 2.3 cm 的河蚬样品占 87%, 2.3 ~ 2.9 cm 的河蚬样品占 11%, 超过 3 cm 的河蚬个体不足 1%。这一结果显示了中国主要流域河蚬大小的分布情况。河蚬的生长速度随年龄的增加而降低, 同时也与水体温度存在密切的关系。世界不同地区河蚬生长速度的研究显示, 一龄河蚬的长度约为 1 ~ 2 cm, 二龄河蚬长度为 2 ~ 3 cm, 三龄河蚬的长度为 3 cm 左右 (Ituarte, 1985; Hombach, 1992)。据此推测我国主要流域河蚬的年龄多在 3 年以内, 尤以 1 ~ 2 年居多。

### 2.2 相对高度及其变化

河蚬三度空间的比值, 即高长、宽长、宽高 (特别是前两者) 常用来表征壳体的形状或壳体三度空间的异速生长 (allometry) 情况 (Renard et al., 2000; Bağatın & Panarar, 2005; Sousa et al., 2007)。其中高长值表示壳体相对高度。中国主要流域河蚬壳体的高长值变化在 0.80 ~ 0.97, 平均为 0.87, 沿采样路线存在显著的区域变化特征 (图 2)。黄河下游、淮河上游和汉水流域 (A 段) 的河蚬高长值平均为 0.88, 略高于总体水平, 但从山东济南到河

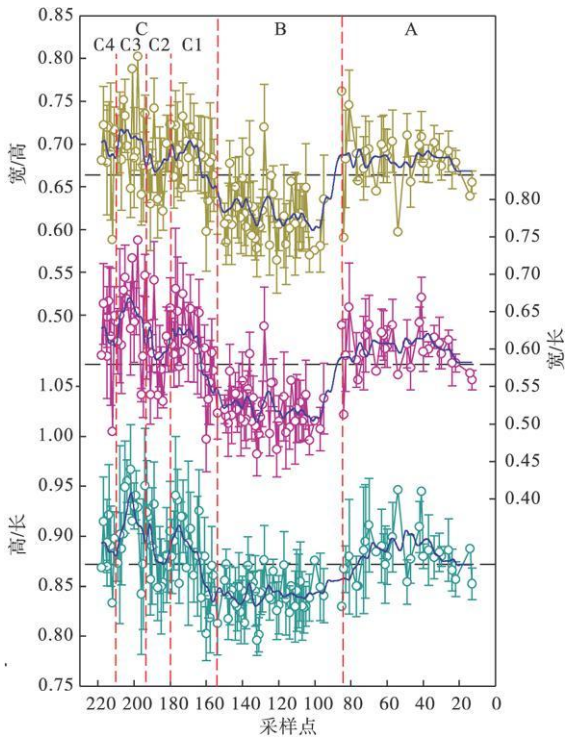


图2 中国主要流域河蚶壳体形状区域变化特征  
Fig. 2 Regional variations of the morphology of the Asian clam *Corbicula fluminea* in the major drainage basins of China

水平虚线分别表示沿采样路线河蚶三度空间尺度比的平均值。A、B、C的区域代表意义同图1。下同。

南许昌, 壳体的高/长值逐渐增加。但在汉水流域西部, 也即河南南阳与湖北省交界地区, 河蚶高/长值逐渐降低。长江上游和西江上游的都柳河、打狗河和刁江流域(B段), 壳体高/长值平均为0.84, 低于总体平均水平0.03。西江中下游(C段)河蚶高/长值平均为0.89, 明显大于黄、淮和汉水流域, 但存在显著的次级区域变化特征。从广西河池市附近的刁江至南宁市北约60 km的陆斡镇, 高/长值有所增加, 但总体上与长江上游和西江上游相近。此后经南宁市向东至横县与兴业县之间的寨圩镇, 采样点多位于邕江谷地, 高/长值迅速增加, 然后向玉林市方向降低由此形成一个峰值(C<sub>1</sub>, 0.94)。继续向东在北流江与罗定江之间, 以岑溪为中心形成一个高/长平均值为0.85的低谷值(C<sub>2</sub>)。从广东德庆县至珠江口淇澳岛的西江干流, 构成了第2个峰值(C<sub>3</sub>, 0.94)。从德庆县沿西江和浔江干流向上游至桂平市, 高/长值有所降低, 平均为0.89(C<sub>4</sub>), 与南宁至横县之间的邕江谷地一致。上述河蚶高/长值变化特征表明, 黄淮和汉水流域的河蚶形态相对较高, 而长江上游和西江上游的河蚶相对较矮, 西江中下游

地区总体相对也较高, 但次级区域变化较大。

### 2.3 壳体圆度及其变化

河蚶壳体的宽/长值指标被用来表示其形态的圆度(roundness) (Froloy 2006, Sousa et al., 2007)。沿采样路线河蚶的宽/长值变化范围为0.46~0.75, 平均值为0.58。该比值小于相对高度, 但其区域变化特征与后者几乎完全相同(图2)。黄淮和汉水流域的宽/长平均值为0.60, 但在徒骇河与淮河流域的增加和在南阳与湖北交界地区的降低幅度弱于相对高度的变化。在长江上游和西江上游地区, 宽/长平均值为0.52, 低于总体平均值0.06, 显著大于该区域相对高度与其总体平均值之间的差异。这表明河蚶在长江流域的形状不仅较矮而且更窄。西江流域的宽/长平均值为0.61, 与相对高度的变化一样也表现出较大的波动。由此可以看出, 黄淮和汉水流域以及西江流域的河蚶较长江和西江上游河蚶形态更圆更接近球形。相对宽度和圆度区域变化特征的一致性表明河蚶形态变化中, 宽和高的变化是同步的。

### 2.4 壳体相对凸度及其变化

从长江流域河蚶壳体形态的宽/长值偏离总体平均值较远这一现象上看, 河蚶壳体形态变异中虽然相对高度和相对宽度具有相同的变化趋势, 但变化幅度并不相同。宽/高值表示壳体的相对凸度(convexity) (Froloy 2006), 考察壳体的宽/高值可以进一步认识相对高度和相对宽度的变化幅度问题。宽/高值的变化范围在0.56~0.80, 平均值为0.66。沿采样路线同样存在区域变化, 其变化特征与相对高度和相对宽度一致(图2)。黄河下游、淮河支流和汉水流域的宽/高平均值为0.69, 但在徒骇河与淮河流域和在南阳与湖北交界地区的变化远弱于相对高度和圆度的变化。而在长江上游和西江上游地区, 宽/高平均值为0.62, 低于总体平均值0.04。西江流域的宽/高平均值0.70, 并且具有与相对宽度和圆度一致的次级区域变化。宽/高值在长江和西江上游地区显著低于其总体平均值的现象表明河蚶在这一地区圆度的降低程度大于宽度的降低程度, 即壳体形状更向片状发展。综合上述三度空间的变化特征可以看出, 长江和西江上游地区的河蚶形态更接近长而窄的薄片形状。

### 2.5 河蚶形状与年龄的关系

河蚶壳长的差异代表年龄的不同。为认识不同生长阶段是否对壳体异速生长存在影响, 本研究分

析了壳体三度空间比值与壳长的关系。统计分析结果显示, 虽然河蚬壳体长度相差 2~3 mm, 但壳体的三度空间大小之比始终保持同一水平 (图 3), 表明成年河蚬形态并不随年龄的增长而变化。

## 2.6 河蚬形态变化与环境条件的关系

### 2.6.1 水体流速的区域变化及其对河蚬壳体形态的影响

水流速度 (Fuman et al., 1999) 和水体动荡强度 (Hinch & Bailey, 1988) 的变化被认为影响双壳类的异速生长, 但目前尚缺乏有说服力的证据。地形的相对高度是河流流速的决定因素, 据此可以利用采样点间相对高度变化反映河水流速大小的区域变化特征。黄淮和汉水流域采样线海拔高度在 16~130 m, 地势平坦, 采样点间相对高度近乎于零, 因此水流缓慢。但从山东济南到河南许昌 (采样点为 13~40 点), 由于样品采集于徒骇河和淮河支流源头的黄河灌渠, 水流速度反而较大。随着采样路线越来越接近许昌, 采样点与源头的距离也越来越远, 水流速度逐渐变缓, 与此相对应出现了河蚬壳体相对高度和圆度逐渐增加的现象 (图 4)。在汉水流域西部 (73~85 点) 开始出现丘陵地貌, 地形相对高度开始增加, 并向神农架迅速提高, 河蚬壳体相对高度随之降低。长江上游至西江上游海拔高度变化在 150~1100 m, 地形相对高差变化大, 河水流速急, 整个区域的河蚬相对高度均很小。广西河池至南宁市北陆斡镇之间 (153~164 点) 为低山地区, 海拔高度变化在 145~220 m, 地形相对高差较大, 河蚬相对高度虽然总体上与长江上游和西江上游相对高度处于类似的低值, 但开始出现增加现象。从陆斡经南宁至玉林之间的邕江河谷地区 (164~173 点), 地形高度变化在 53~66 m, 地势平缓, 水流缓慢, 壳体相

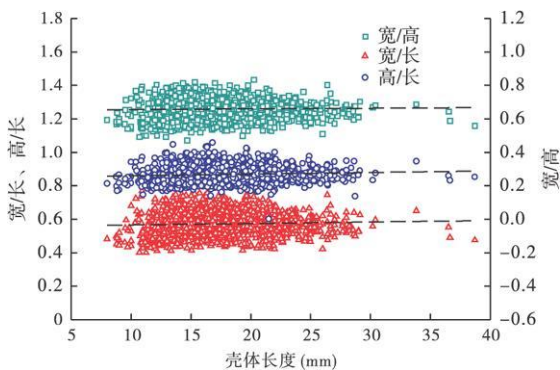


图 3 中国主要流域河蚬形态与壳体长度 (年龄) 的关系  
Fig 3 Morphometry in the process of growth of the Asian clam *Corbicula fluminea* in the major drainage basins of China

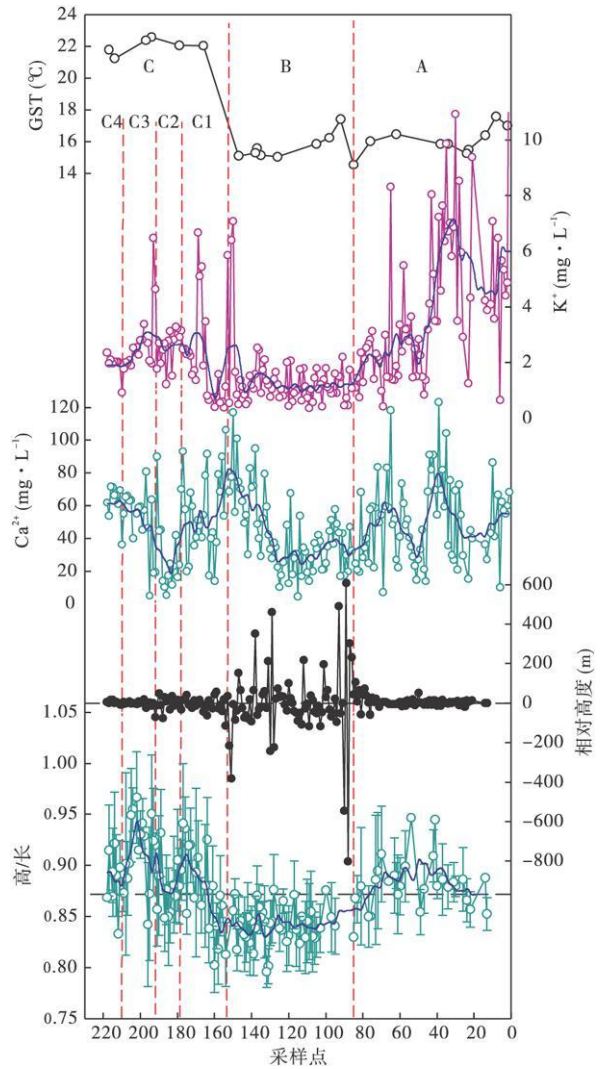


图 4 河蚬形态变化及其与地形高度、水体  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^{+}$  含量和气候变化的对应关系

Fig 4 Comparison of the regional changes of morphology of the Asian clam *Corbicula fluminea* to those of the topography, water chemistry and climate

GST 表示生长季节气温。

对高度迅速升高, 最终在邕江河谷中形成了相对高度的一个峰值 (图 4 中 C1 段)。北流江和罗定江流域 (178~192 点) 为低山丘陵区, 地形高度变化在 63~110 m, 水流较急, 与此对应出现了相对高度的一个低谷 (C2 段)。西江干流和珠江三角洲地区 (193~208 点) 地势平缓, 高度变化于 6~19 m, 水流缓慢, 河蚬相对高度达到了所有研究地区的最高水平 (C3 段)。德庆县以西的西江干流和浔江干流河段 (208~218 点), 向上游方向高度从 4 m 增加到 30 m, 对应河床坡度的增加, 壳体相对高度又一次降低 (C4 段)。由于河蚬的圆度与相对高度变化具有一致性, 因此, 随着河水流速的增加, 壳体相对宽度、

相对高度降低,也即河蚬形态向着长、窄和扁的形状变化。这种形状有利于河蚬固定于底质之中,从而避免了圆球形壳体易于被水流冲走的可能。研究表明,双壳类为了避免因水流而造成的位移,壳体形状会向更宽和更高方向发展(Eagar 1978; Hinch & Bailey 1988)。但本研究数据显示,河蚬对水流速度的适应所产生的异速生长规律与此相反。

**2.6.2 环境水体中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^{+}$  含量变化**  $\text{Ca}^{2+}$  是河蚬壳体组成的主要元素,对沿线河蚬壳体元素地球化学的分析显示,壳体对环境水体中  $\text{Ca}^{2+}$  的富集系数在 10000~60000。因此,本研究将  $\text{Ca}^{2+}$  作为水体元素的一个代表考察其对壳体形态发育的影响。 $\text{K}^{+}$  被认为尤其影响河蚬壳体的颜色(Morton 1987),在此被作为另一个元素代表考察其对形态发育的可能影响。黄、淮和汉水流域  $\text{Ca}^{2+}$  含量平均为  $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,存在 3 个相对高值区域和 2 个低值区域。高值区域的  $\text{Ca}^{2+}$  含量平均达到  $59 \sim 81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,而低值区域  $\text{Ca}^{2+}$  含量平均为  $27 \sim 29 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。长江上游地区  $\text{Ca}^{2+}$  含量较低,平均为  $33 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。西江流域以广西河池地区为中心出现了一个  $\text{Ca}^{2+}$  含量的高值区域,平均达到  $77 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,而在北流江与罗定江之间以岑溪为中心形成的一个  $\text{Ca}^{2+}$  含量的低值区域,平均达到  $17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。黄河干道的高  $\text{Ca}^{2+}$  源于黄河中游蒸发岩矿物的溶解(Yang et al., 2004; Chen et al., 2005),而其他地区的高  $\text{Ca}^{2+}$  源于流域碳酸盐岩的溶解,低  $\text{Ca}^{2+}$  值则是非碳酸盐岩地区岩石风化的结果(图 1)。黄河及其附近受其影响的淮河支流系统  $\text{K}^{+}$  含量较高,平均为  $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,是黄河中游蒸发岩矿物溶解的结果。汉水流域次之,平均为  $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。长江上游地区的  $\text{K}^{+}$  较低且含量稳定,平均为  $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  左右。西江流域  $\text{K}^{+}$  含量略高于长江上游地区,但远低于黄淮地区(图 4)。统计分析结果表明,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^{+}$  的区域变化与壳体形态的区域变化之间都不存在相关性,因此环境水体的化学组成不应是造成河蚬壳体异速生长的原因。

**2.6.3 环境温度变化** 水体温度是河蚬及其他双壳类发育及其生长速度的重要影响因素(Iuarte 1985; Hombach 1992)。本研究中的河蚬采自不同气候带,壳体形态变化的三大区域与气候存在很好的对应关系(图 1),表明气候变化影响壳体形态。但采样沿线生长季节气温的变化与壳体形态变化之间并不存在统计上的相关性(图 4)。生长季节的气温是零度以上月份的气温平均值。在我国东部平原

地区,  $0^{\circ}\text{C}$  气温下的水体温度在  $4^{\circ}\text{C}$  左右(刘乃壮和郑美秀, 1991),此水温条件下河蚬仍能缓慢生长(Butner & Heidinger 1980)。黄淮和汉水流域与长江和西江上游流域的河蚬形态差异较大,但生长季节的气温平均都在  $16^{\circ}\text{C}$  左右。上述对比结果表明,温度变化不是中国主要流域河蚬形态变化的主要影响因素。

### 3 结论

研究表明,中国主要流域河蚬形态存在显著的区域变化。长江上游和西江上游地区河蚬的相对高度、圆度和相对凸度均小于黄淮、汉水流域和西江中下游地区,这是较强的水流速度所造成的河蚬适应性变化的结果。水流速度的增加使河蚬向相对长、矮和扁的方向发展,更接近一个窄而长的片状,以利于其在底质中固定下来而不被水流冲走。相反,在水流较缓的黄淮、汉水流域和西江中下游地区,河蚬的形状相对宽圆,更接近球形。因此,中国主要流域河蚬壳体形态的区域差异是水流速度的差异所致,而水体化学组成和温度的变化与形态变化之间不存在相关性。

### 参考文献

- 廖克. 1999. 中华人民共和国国家自然地图集. 北京: 中国地图出版社.
- 刘乃壮, 郑美秀. 1991. 淡水水温测算的气候方法. 水产养殖, (1): 22-25
- Алѣксѣевскаѣ О. 2005. Functional significance and weight properties of the shell in some mollusks. Biology Bulletin 32: 397-418
- Araujo R, Moreno D, Ramos MA. 1993. The Asiatic clam *Corbicula fluminea* (Müller 1774) (Bivalvia: Corbiculidae) in Europe. American Malacological Bulletin 10: 39-49
- Bagatini YM, Panarari RS. 2005. Morphological and molecular characterization of *Corbicula* (Mollusca: Bivalvia) at Rosana Reservoir, Brazil. Acta Scientiarum Biological Sciences 27: 397-404
- Belanger SE. 1991. The effect of dissolved oxygen, sediment and sewage treatment plant discharges upon growth, survival and density of Asiatic Clams. Hydrobiologia 218: 113-126
- Britton JC, Morton B. 1986. Polymorphism in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae) from North America. Malacological Review 19: 1-44
- Britton JC, Morton B. 1982. A dissection guide, field and laboratory manual for the introduced bivalve *Corbicula fluminea*. Malacological Review 3 (suppl.): 1-82
- Butner K, Heidinger RC. 1980. Seasonal variations in growth of the asiatic clam *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae) in a southern Illinois fish pond. Nautilus 94: 8-10

- Cazzaniga NJ, Perez C. 1999. Asiatic clam *Corbicula fluminea* in northwestern Patagonia (Argentina). *Journal of Freshwater Ecology* **14**: 551–552.
- Chen J, Wang F, Meybeck M, et al. 2005. Spatial and temporal analysis of water chemistry records (1958–2000) in the Huanghe (Yellow River) basin. *Global Biogeochemical Cycles* **19**. doi: 10.1029/2004GB002325.
- Counts CL III. 1986. The zoogeography and history of the invasion of the United States by *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae). // Britton JC, ed. *Proceedings of the Second International Corbicula Symposium*. American Malacological Bulletin Special Edition: 7–39.
- Eagar RMC. 1978. Shape and function of the shell: A comparison of some living and fossil bivalve mussels. *Biological Reviews* **53**: 169–210.
- Frolov AA. 2006. Changes in the external morphology of shells of freshwater bivalves of the superfamily Pisidioidae depending on the geographic location of their habitats. *Doklady Biological Sciences* **411**: 464–465.
- Fuiman LA, Gage JD, Lamont PA. 1999. Shell morphology of the deep sea protobranch bivalve *Ledella pustulosa* in the Rockall Trough, northeast Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **79**: 661–671.
- Hillis DM, Patton JC. 1982. Morphological and electrophoretic evidence for two species of *Corbicula* (Bivalvia: Corbiculidae) in North America. *American Midland Naturalist* **108**: 74–80.
- Hinch SG, Bailey RC. 1988. Within and among lake variation in shell morphology of the freshwater clam *Elliptio complanata* (Bivalvia: Unionidae) from south-central Ontario lakes. *Hydrobiologia* **157**: 27–32.
- Hombach DJ. 1992. Life history traits of a riverine population of the Asian Clam *Corbicula fluminea*. *American Midland Naturalist* **127**: 248–257.
- Huxley JS, Tessier G. 1936. Terminology of relative growth. *Nature* **137**: 780–781.
- Iuarte CF. 1985. Growth dynamics in a natural population of *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Sphaeriacea) at Punta A Talaya, Rio de la Plata, Argentina. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* **20**: 217–226.
- Kovivadhi S, Kovivadhi U, Sawangwong P, et al. 2007. Morphological development of the juvenile through to the adult in the freshwater pearl mussel *Hyriopsis* (Limnoscapha) *meyersiana* under artificial culture. *Invertebrate Reproduction & Development* **50**: 207–218.
- Kubly DM, Landye JJ. 1984. *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae) as a Potential Commercial Fishery in Arizona. U.S. Department of Commerce, NOAA Project No. CF4-56-D. Arizona Game and Fish Department Final Report: 87.
- Lee T, Siripattawan S, Iuarte CF, et al. 2005. Invasion of the clonal clam *Corbicula lineages* in the New World. *American Malacological Bulletin* **20**: 113–122.
- Morton B. 1987. Polymorphism in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae) from Hong Kong. *Malacological Review* **20**: 105–127.
- Nichols SJ, Black MG. 1994. Identification of larvae: The zebra mussel (*Dreissena polymorpha*), quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*), and Asian clam (*Corbicula fluminea*). *Canadian Journal of Zoology* **72**: 406–417.
- Phelps HL. 1992. Possible development of the freshwater Asiatic clam *Corbicula fluminea* as a new aquaculture product in the US. *National Shellfisheries Association Fish Culture Section American Fisheries Society and World Aquaculture Society Aquaculture 92-Growing toward the 21st Century*. Orlando, Florida: 21–25 May.
- Phelps HL. 1994. Potential for *Corbicula* in aquaculture. *Journal of Shellfish Research* **13**: 319.
- Renard E, Bachmann V, Carjou ML, et al. 2000. Morphological and molecular differentiation of invasive freshwater species of the genus *Corbicula* (Bivalvia: Corbiculidae) suggest the presence of three taxa in French rivers. *Molecular Ecology* **9**: 2009–2016.
- Siddeci JB, Johnson DW, Rice GT, et al. 1981. Asiatic Clam and Commercial Fishery Evaluation. Kentucky Department of Fish and Wildlife, NOAA National Marine Fisheries Service Project No. 2344 R: vii+83.
- Sousa R, Anunces C, Guihemino L. 2008. Ecology of the invasive Asian clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in aquatic ecosystems: An overview. *Annales De Limnologie Internationale Journal of Limnology* **44**: 85–94.
- Sousa R, Freire R, Rufino M, et al. 2007. Genetic and shell morphological variability of the invasive bivalve *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in two Portuguese estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **74**: 166–174.
- Stites D, Benke A, Gillespie D. 1995. Population dynamics, growth, and production of the Asiatic clam *Corbicula fluminea* in a backwater river. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **52**: 425–437.
- Tan Tiú A. 1986. Temporal and seasonal variation in shell microstructure of *Corbicula fluminea* and *Polymesoda colini* (Bivalvia: Sphaeriacea) from Mississippi. U.S.A. *American Malacological Bulletin* **4**: 234.
- Tan Tiú A, Prezant RS. 1992. The role of environment in shell growth dynamics of the Asiatic clam *Corbicula fluminea* (Mollusca: Bivalvia). *Malacological Review* **25**: 109–118.
- USGS. 2001. Nonindigenous species information bulletin: Asian clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Mollusca: Corbiculidae).
- Yang S, Jung H, Li C. 2004. Two unique weathering regimes in the Changjiang and Huanghe drainage basins: Geochemical evidence from river sediments. *Sedimentary Geology* **164**: 19–34.

作者简介 周会, 女, 1972年生, 博士。主要从事生物地球化学研究。Email: zhouhu@mail.gygc.cn  
责任编辑 魏中青