

# 陆生蜗牛壳体碳氧同位素在古环境中的应用综述

曾娜, 柏松, 黄成敏

(四川大学建筑与环境学院环境科学与工程系, 成都 610065)

**摘要:** 陆生蜗牛壳体碳、氧稳定同位素组成分别受蜗牛生长时期植被中碳同位素组成和大气水中氧同位素组成的控制, 已成为古气候和古环境重建的重要代用指标。本文详细介绍了蜗牛壳体碳酸盐碳、氧同位素古气候重建的指示机理、样品预处理方法及其在<sup>14</sup>C测年、古气候和古植被研究中的应用现状。在此基础上讨论了蜗牛壳体碳酸盐碳、氧同位素古气候解释中存在的问题, 介绍了该领域未来的研究方向与趋势。

**关键词:** 陆生蜗牛壳体; 碳和氧稳定同位素; 古气候; 古环境

**中图分类号:** P579

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-4135(2008)01-0075-06

陆生蜗牛为软体腹足类动物, 分布广泛, 种属多达 22 000 多种<sup>[1]</sup>。陆生蜗牛本身有着独特的石灰质外壳, 由碳酸盐组成, 埋藏后易保存, 记录了大量的古地质、古气候等演变的自然信息。1979 年 Yapp 对陆生蜗牛碳酸盐碳、氧同位素古气候意义进行探讨<sup>[2]</sup>; 进而, Goodfriend 等为研究蜗牛壳体碳酸盐同位素与环境变化关系进行了大量工作<sup>[3-7]</sup>。研究表明, 蜗牛生长过程中, 其壳体碳酸盐碳、氧同位素的形成, 受气候因素(如降水、温度)的控制, 因此可用于重建古气候、古环境变化的研究。

在蜗牛壳体碳酸盐同位素在古气候研究中的重要性得到充分认识后, 利用其碳、氧同位素作古气候与古生态环境研究成为近三十年来全球古气候变化研究领域的热点, 并取得长足进展<sup>[8-11]</sup>。

在我国, 蜗牛壳体古气候学研究始于 20 世纪 90 年代, 吴乃琴等<sup>[12-17]</sup>开展了陆生蜗牛生态学意义和环境关系的系统研究。近来, 刘宗秀等<sup>[10-11]</sup>探讨了陆生蜗牛壳体碳酸盐碳、氧同位素的古气候、古环境意义。

## 1 蜗牛壳体指示古气候与古环境变化的理论基础

蜗牛壳体是广泛存在的次生成因碳酸盐<sup>[18-20]</sup>。

蜗牛在其生命活动时期与周围环境存在同位素平衡状态, 因而记录了蜗牛生存状态的气候环境要素。

### 1.1 碳同位素

根据光合作用类型的不同, 绿色植物可区分为 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 和 CAM 型。不同植物类型占主导地位的情况, 代表了不同的气候类型。蜗牛食物碳同位素的变化, 很大程度上取决于被蜗牛摄入的绿色植物光合作用的类型。蜗牛食物碳同位素组成的变化, 又反映在蜗牛壳体碳酸盐同位素组成上, 因而蜗牛碳酸盐碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值能用于记录气候变化<sup>[3, 21, 22]</sup>, 并且壳体同位素与植被之间存在一定的分馏值, 约为 14‰左右<sup>[23]</sup>。

### 1.2 氧同位素

陆生蜗牛壳体碳酸盐氧同位素组成与雨水的同位素组成相关<sup>[24]</sup>, 存在由温度控制的文石和水的分馏<sup>[25]</sup>。事实上, 它似乎是更直接被水蒸气同位素组成所控制, 因为蜗牛体液同位素组成取决于水蒸气, 进而决定壳体同位素<sup>[26]</sup>。由于植物代谢水在蜗牛体液中的释放<sup>[26]</sup>使得典型蜗牛壳体碳酸盐  $\delta^{18}\text{O}$  值达到 5‰, 与雨水的  $\delta^{18}\text{O}$  值相平衡<sup>[24, 27-29]</sup>。一般而言, 当水中氧同位素组成恒定时, 碳酸盐中  $\delta^{18}\text{O}$  值如有 1‰的变化, 即反映温度 T 的变化大约为 4℃, 相对于区域降水中碳酸盐平衡值的蜗牛碳酸盐的  $^{18}\text{O}$  丰度系与区域年相对湿度的倒数呈线性关系, 随着湿

收稿日期: 2008-01-18 责任编辑: 刘新秒

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目: 白垩纪重大地质事件与温室气候变化综合研究(2006CB701406)

作者简介: 曾娜(1983-), 女, 四川乐山人, 硕士研究生, 主要从事环境演变研究, E-mail: zengna628@sina.com.cn.

度的减少,蜗牛碳酸盐(与当地大气降水中的  $\delta^{18}\text{O}$  值相同)将会富集  $\delta^{18}\text{O}$ , 这为特定区域运用蜗牛壳体碳酸盐氧同位素组成恢复区域性气候变化提供了依据<sup>[9]</sup>。

## 2 样品分析与预处理

目前国际上对蜗牛壳体碳酸盐碳、氧稳定同位素分析仍采用壳体碳酸盐与 100%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  在 25℃ 下恒温反应一昼夜, 收集纯化反应产生的  $\text{CO}_2$  气体供质谱仪测量同位素组成的经典方法<sup>[9]</sup>。

蜗牛壳体同位素分析关键在于同位素分析前的预处理, 尤其是蜗牛壳体有机质的去除最为重要, 因为蜗牛壳体所含有机质对壳体碳酸盐碳、氧稳定同位素组成有污染, 所以在对蜗牛样品分析前必须进行去除有机质的预处理。

目前, 蜗牛壳体去除有机质的方法主要有四种: 1) 在真空状态下 400℃ 烘干以去除有机质<sup>[7]</sup>; 2) 用超声波和去离子水彻底清洗附着在壳体上的颗粒, 研磨后, 用 5% 次氯酸钠溶液在室温下浸泡 7 ~ 8 小时以除去有机质, 再用去离子水清洗并在 40 ~ 50℃ 风干, 这一方法最后获得的壳体碳酸盐仅为 X 射线衍射可探测的成分<sup>[11]</sup>; 3) 可以先在 1% 过氧化氢中浸泡 12 h, 在蒸馏水中用牙刷清洗壳体, 去掉沉积物和有机残留, 然后风干<sup>[12]</sup>; 4) 用超声波清洗去除壳体沉积物和有机质, 90℃ 烘干后, 研磨至 100  $\mu\text{m}$  以下粒级。然后加 10%  $\text{H}_2\text{O}_2$  进一步去除有机质, 清洗烘干<sup>[13]</sup>。用超声波清洗和真空管烘干比仅仅用刷子清理更加方便、彻底。

## 3 蜗牛壳体指示古气候与古环境应用

### 3.1 年代学上的应用

在陆生沉积物中, 蜗牛壳体是好的、有时甚至是唯一的放射性碳测年材料, 与其他一些测年材(如碳化树木, 铀系列等)的结果可以很好的对比。作为利用蜗牛壳测年的早期研究者 Burleigh 和 Kerney<sup>[10]</sup>, 通过对英格兰 Kent 郡 Brook 遗址蜗牛壳体的研究, 确定该遗址的年代为新石器时代。Brennan 和 Quade<sup>[24]</sup>发现美国南部大盆地靠近 Yucca 山脉的蜗牛  $^{14}\text{C}$  测年与相关碳化树木测年结果极为一致, 同属晚更新世。Marcel<sup>[25]</sup>对比了 Canary Islands 古土壤

中发现的陆生蜗牛化石  $^{14}\text{C}$  和铀系列测年结果, 显示蜗牛壳体的 AMS  $^{14}\text{C}$  年龄可达到 41 000 ~ 34 000 y r BP。最近, Romaniello 等<sup>[26]</sup>对意大利 Adriatic 和 Ionian 海岸陆生蜗牛  $^{14}\text{C}$  年龄进行了分析, 得出其碳放射性同位素年龄波动范围为 281 ~ 2141 yr B.P.

蜗牛壳体在  $^{14}\text{C}$  测年中优势十分明显, 但也有学者认为蜗牛壳体测年代结果偏老, 需要进一步修正。Goodfriend 和 Stipp<sup>[27]</sup>的研究指出, 由于蜗牛摄入的石灰石易被蜗牛壳体吸收并结合, 因此出土于石灰石地区的陆生蜗牛壳体测得的放射性碳年龄普遍偏老。基于此, 一些学者发展了蜗牛壳体测年的修正方法, 即通过减去贮存库效应值, 经校正后, 转变为太阳历纪年<sup>[28]</sup>。

### 3.2 古气候恢复

1979 年, Yapp 等<sup>[2]</sup>就通过陆生蜗牛壳体碳酸盐碳、氧同位素的分析, 发现约 7 100 ~ 7 800 年以前, 美国犹他州 Ivie Creek 地区的 Sudden Shelter 较现在更温暖干旱。Magaritz 等<sup>[9]</sup>发现 Negev 沙漠地区的蜗牛壳碳酸盐氧同位素指标的变化可以反映沙漠区与温暖气候区之间的过渡带向前推进的情况, 并认为, 蜗牛壳体碳酸盐氧同位素是一种有意义的反映沙漠“前缘”环境古气候变化的指标。Goodfriend 等<sup>[4, 21, 29]</sup>通过对蜗牛壳体氧同位素的进一步研究发现, Negev 沙漠地区中全新世(6 500 ~ 3 000 y r BP)时期, 该地区气候过渡带在目前位置往南偏移 20 km 处, 降雨量是现今降雨量的两倍。

Bonadonna 等<sup>[40]</sup>对阿根廷 Bonaerense 地区 Pampa 草地中蜗牛壳体碳酸盐碳、氧同位素记录了 35 ~ 15 ka BP 期间发生的一次干旱事件, 而在约 35 ~ 25 ka BP 则属于温暖气候条件。大约 9 ka BP 期间, 气候类型朝着类似于现代气候状况转变, 并伴随着一些短而剧烈的气候波动。此后, Goodfriend 和 Ellis<sup>[8, 22]</sup>根据美国德克萨斯州 Hinds 山洞陆生蜗牛壳体, 获得中晚全新世气候变化的证据, 推断美国南方大平原西部地区在距今 5 000 年前气候偏干, 中晚全新世均为湿润气候占主导; 距今 3 500 年前,  $\delta^{13}\text{C}$  达到最大值, 干旱气候盛行。

当前研究显示利用蜗牛壳体碳、氧同位素恢复过去气候变化大多处于定性研究, 只有少数研究达到定量研究的水平。如 Goodfriend 和 Mitterer<sup>[3]</sup>对牙买加北部海岸晚第四纪陆生蜗牛  $\delta^{13}\text{C}$  的研究表

明,晚全新世的最近一次冰期,温度平均变化约为4~5℃。因此,定量地恢复过去气候变化将是今后第四纪研究领域的重点和面临的挑战之一。

### 3.3 古植被与古生态变化

Goodfriend<sup>[9]</sup>对单个蜗牛壳  $\delta^{13}\text{C}$  值分析发现,其  $\delta^{13}\text{C}$  值能够很好地区分区域  $\text{C}_3$  和  $\text{C}_4$  植物比例,并认为壳体  $\delta^{13}\text{C}$  是指示古植被的有效指标。意大利中部 Umbria 的 Toppetti 采石场晚上新世蜗牛壳体和古土壤次生碳酸盐稳定同位素分析数据显<sup>[9]</sup>,近 2.5 Ma 以来,当地植被类型一直是  $\text{C}_3$  植物占优势。Balakrishnan 等<sup>[10]</sup>利用美国新墨西哥州 Folsom 遗址蜗牛壳体氧同位素分析结果揭示,大约 10 500 BP 气候变化受新仙女木事件影响,相对湿度增加,气温较低,其  $\text{C}_4$  植物的比例高于现在,且该结论与同地区的古植被证据的结论一致。最近,刘宗秀等<sup>[10-11,17]</sup>等通过对比黄土高原现生蜗牛壳体文石和软体躯干的  $\delta^{13}\text{C}$ ,验证了黄土高原古  $\text{C}_3$  和  $\text{C}_4$  植物的分布,该研究为重建黄土高原地区夏季风强度变化提供了依据。

## 4 问题讨论

长期以来,利用蜗牛壳体同位素组成反演古气候和古环境变化的依据,是它们分别与蜗牛生长时期的植被碳同位素组成和大气降水氧同位素组成具有良好的对应关系。但随着研究的深入,认识的增加,这一对应关系已面临诸多挑战。下面对蜗牛壳碳、氧同位素组成的古气候意义分别作初步讨论。

### 4.1 碳同位素解释

近 30 年来,一般认为陆生蜗牛壳体碳同位素组成与蜗牛食物碳同位素对应,后者又与蜗牛生长时期植被类型密切相关,据此可以反演古植被和古气候环境变化<sup>[8,9,41,42]</sup>,但目前这一理论尚存争论。

Balakrishnan 等研究认为,蜗牛碳酸盐碳同位素与本地植物光合作用类型相关,但其关系尚未明确,在对碳酸盐碳同位素解释时应特别小心<sup>[42-44]</sup>。Magaritz 等<sup>[45]</sup>认为陆生蜗牛壳体碳同位素组成受体液碳酸盐溶液碳同位素组成控制,后者则与蜗牛生活环境空气  $\text{CO}_2$  同位素处于平衡分馏状态,蜗牛壳体  $\delta^{13}\text{C}$  值反映其食物的同位素特征具有一定的局限性。

另外,还有学者认为蜗牛生长时期植被碳同位

素组成只是反映蜗牛有机质同位素,而不是壳体碳酸盐同位素。由于碳酸盐的来源较多,表现为食物和呼吸吸入的大气  $\text{CO}_2$ ,碳酸盐吸收的  $\text{CO}_2$ ,大气库的  $\text{CO}_2$ <sup>[27]</sup>等;经验数据表明,蜗牛碳酸盐碳同位素和降水、湿度、海拔之间存在很好的相关关系,这些参数影响  $\text{C}_3$  和  $\text{C}_4$  植物相对丰度比例,产生明显的有机质碳同位素组成。

### 4.2 氧同位素解释

一般认为,蜗牛壳体碳酸盐氧同位素组成主要反映古气温,但与决定蜗牛壳体碳酸盐碳同位素的因素相比,影响氧同位素的因素更加复杂<sup>[8,25]</sup>。

除了雨水的同位素组成和古气温外,极端气候和地理因素也影响蜗牛壳体碳酸盐氧同位素组成。Zanchetta<sup>[46]</sup>等人观察到蜗牛壳体氧同位素组成和降雨氧同位素组成间的对应关系在地中海高山和干旱地区失效,因而蜗牛的氧同位素解释还应考虑到蜗牛生命期间气候的极端变化以及生物对气候突变的响应等因素;也有研究指出蜗牛壳体氧同位素组成反映了蜗牛体液与大气水蒸气的平衡交换,后者的氧同位素组成受蒸发作用季节性和地理环境变化的影响<sup>[5,26,47]</sup>。

另外,Balakrishnan<sup>[10]</sup>等的研究发现, $\delta^{18}\text{O}$  主要受本地温度、相对湿度和蜗牛活动时期降水氧同位素综合作用的控制。而通量平衡模型模拟也显示<sup>[9]</sup>,蜗牛壳体  $\delta^{18}\text{O}$  组成受四个重要参数的影响:1)温度;2)大气湿度;3)水蒸气氧同位素  $\delta^{18}\text{O}$  值;4)蜗牛吸收的水体的  $^{18}\text{O}$  值。

### 4.3 定年

不同种类的蜗牛会不同程度地吸收老碳酸盐岩中的老碳,即无效的放射性  $^{14}\text{C}$ <sup>[34,37,47]</sup>,因此,可能会造成蜗牛壳体  $^{14}\text{C}$  测年的结果偏老。

### 4.4 样品的采集与选取

由于广泛的燃烧活动可能改变壳体碳酸钙和大气  $\text{CO}_2$  之间的交换作用,因此应避免对受热的蜗牛进行分析。一般微小的受热迹象肉眼不能辨识,要通过氨基酸消旋化(D型别异亮氨酸/L型别异亮氨酸,或 A/I)分析,选用那些氨基酸消旋化和氨基酸组成值正常(A/I < 0.08)的蜗牛进行古环境同位素分析<sup>[22]</sup>。

## 5 研究展望

陆生蜗牛壳体在古气候恢复和重建中具有分

辨率高和年代测定相对精确的特点。

目前可用于研究古气候演变的陆生记录较多,如岩石、土壤次生结核和湖相碳酸盐沉积等,但这些陆生记录的形成都需要相当长的时间,而蜗牛生长则可以由于降雨活动的增加而促进,所以蜗牛碳酸盐碳、氧同位素组成可作为估算年季降雨量的变化指标,通过对蜗牛壳体时间序列的研究能够推测季节性降雨的长期变化。

土壤和沉积记录时间的获取通常是通过平均沉积速率估算得到的,这样得到的时间序列时间分辨率相对较低。其次,土壤和其它陆生沉积记录通常含有较老或者再生的有机质或者沉积碳酸盐,并受有机质更新和碳酸盐增加的影响,进而增加定年的不确定性;与之相比,选择适当的陆生蜗牛,可反映某特定的时间点,而不是某个平均时间段<sup>[6]</sup>。

今后下列几个关键科学问题值得重视:

(1)由于陆生蜗牛的生活环境复杂,影响蜗牛壳中碳、氧同位素组成的因素较多,这些气候因素将影响蜗牛壳体对古气候研究的科学解译,因此需建立更加完善的多种因素相互影响机制。为此,必须查明两个关系:蜗牛壳体碳同位素与食物碳同位素的对应关系,以及蜗牛食物碳同位素组成与蜗牛生长时期植被碳同位素组成的对应关系。时至今日,还没有可靠数据显示陆生蜗牛壳体碳酸盐与食物同位素组成的关系<sup>[10]</sup>,也没有碳酸盐碳同位素与气候因子之间定量关系研究<sup>[6]</sup>。对于这些问题,还有很多工作要做。进一步查明蜗牛碳同位素与蜗牛生长时期植被碳同位素组成的对应关系是利用此种方法更好解释古气候的关键。

(2)蜗牛氧同位素古气候指示机理远比目前的认识要复杂得多,目前陆生蜗牛壳体古气候学研究大都停留在定性研究阶段,定量研究甚少。在进一步查明不同区域气候环境系统控制蜗牛碳酸盐氧同位素组成的主要因素后,才能探讨陆生蜗牛壳体  $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  和温度、湿度、降雨、植被等生态指标之间的定量关系,并最终建立相应的定量指标体系。

(3)在研究过程中,还需要引入优化的统计方法和数学模型,如采用蜗牛壳体稳定同位素组成的通量平衡模型和混合模型(线性模型、欧几里德模型、加权线性模型等),充分挖掘同位素数据在古环境重建中的潜在价值。

随着蜗牛壳体在古气候和古环境研究中日益

拓展和深化,其所具有的优势日益凸显,将会推动第四纪科学、古气候学、古生态学、环境演变等学科的发展。

#### 参考文献

- [1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985, 143-176.
- [2] Yapp C J. Oxygen and carbon isotope measurements of land snail shell carbonate [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, 43(4): 629-635.
- [3] Goodfriend G A, Mitterer R M. Late quaternary land snails from the north coast of Jamaica: Local extinctions and climatic change [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1988, 63(4): 293-311.
- [4] Goodfriend G A. Holocene trends in 18O in land snail shells from the Negev Desert and their implications for changes in rainfall source areas [J]. *Quaternary Research*, 1991, 35(1): 417-426.
- [5] Magaritz, M, Heller J. A desert migration indicator: oxygen isotopic composition of land snail shells [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1980, 32: 153-162.
- [6] Leone G, Bonadonna F P, Zanchetta G. Stable isotope record in mollusca and pedogenic carbonate from Late Pliocene soils of Central Italy [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, 163: 115-131.
- [7] Abell P I, Plug I. The Pleistocene / Holocene transition in South Africa: evidence for the Younger Dryas event[J]. *Global and Planetary Change*, 2000, 26: 173-179.
- [8] Goodfriend G A, Ellis G L. Stable carbon and oxygen isotopic variations in modern *Rabdotus* land snail shells in the southern Great Plains, USA, and their relation to environment [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, 66, (11): 1987-2002.
- [9] Balakrishnan M, Yapp C J. Flux balance models for the oxygen and carbon isotope compositions of land snail shells [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, 68 (9): 2007-2024.
- [10] 刘宗秀, 顾兆炎, 吴乃琴, 等. 食物控制的陆生蜗牛碳同位素组成[J]. *科学通报*, 2006, 51(20): 2410-2416.
- [11] 刘宗秀, 顾兆炎, 许冰, 等. 夏季风降水对黄土高原现生蜗牛壳体碳酸盐氧同位素组成的影响 [J]. *第四纪研究*, 2006, 26(4): 643-648.
- [12] Wu N Q, Rousseau D D, Liu T S, et al. Orbital forcing of terrestrial mollusks and climatic changes from the Loess Plateau of China during the past 350ka [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106: 20045-20054.
- [13] 吴乃琴, 裴云鹏, 吕厚远, 等. 黄土高原 35 万年来冬、夏

- 季风变化周期的差异——陆生蜗牛化石的证据 [J]. 第四纪研究, 2001, 21(6): 540-550.
- [14] 吴乃琴, 刘秀平, 顾兆炎, 等. 末次盛冰期黄土高原蜗牛化石记录的气候快速变化及其影响机制[J]. 第四纪研究, 2002, 22(3): 283-291.
- [15] 吴乃琴, Rousseau D D, 刘秀平. 25 万年来黄土蜗牛的生态演替对地球轨道变化的响应[J]. 科学通报, 2000, 45(7): 765-770.
- [16] 吴乃琴, Rousseau D D, 刘东生. 末次冰期晚期黄土蜗牛化石记录的气候不稳定性 [J]. 科学通报, 1998, 43(15): 1654-1658.
- [17] 盛雪芬, 陈骏, 杨杰东, 等. 不同粒级黄土 - 古土壤中碳酸盐碳氧稳定同位素组成及其古环境意义[J]. 地球化学, 2002, 31(2): 105-112.
- [18] Fink J, Kukla G. Pleistocene climate in Central Europe: at least 17 interglacials after the Olduvai event [J]. Quaternary Research, 1977, 7: 363-371.
- [19] Heller J, Tchernov E. Pleistocene landsnails from the Coastal Plain of Israel[J]. Isr J Zool, 1978, 27(1): 1-10.
- [20] Rousseau D D, Wu N Q. A new molluscan record of the monsoon variability over the past 130,000 yr in the Luochuan loess sequence[J]. China Geology, 1997, 25: 275-278.
- [21] Goodfriend G A. Rainfall in the Negev Desert during the middle Holocene, based on  $^{13}\text{C}$  of organic matter in land snail shells[J]. Quaternary Research, 1990, 34(2): 186-197.
- [22] Goodfriend G A, Ellis G L. Stable carbon isotope record of middle to late Holocene climate changes from land snail shells at Hinds Cave, Texas [J]. Quaternary International, 2000, 67: 47-60.
- [23] Leng M J, Heaton T H E, Lamb H F, et al. Carbon and oxygen isotope variations within the shell of an African land snail (*Limicolaria kamebul chudeau* Germanin) : A high-resolution record of climate seasonality? [J]. Holocene, 1998, 8(4): 407-412.
- [24] L'écolle P. The oxygen isotope composition of landsnail shells as climatic indicator: application to hydrogeology and paleoclimatology [J]. Chem. Geol. Isot. Geosci., 1985, 58: 157-181.
- [25] Grossman E L, Ku T L. Oxygen and carbon isotopic fractionation in biogenic aragonite: temperature effects [J]. Chem. Geol. Isot. Geosci., 1986, 59: 59-74.
- [26] Goodfriend G A, Magaritz M, Gat J R. Stable isotope composition of land snail body water and its relation to environmental waters and shell carbonate [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53(12): 3215-3221.
- [27] Goodfriend G A, Magaritz M. Carbon and oxygen isotope composition of shell carbonate of desert land snails [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1987, 86(2-4): 377-388.
- [28] Goodfriend G A. The use of land snail shells in paleoenvironmental reconstruction. [J]. Quaternary Science Reviews, 1992, 11(6): 665-685.
- [29] Sharpe S E, Forester R M, Whelan J F, et al. Molluscs as climate indicators: Preliminary stable isotope and community analysis[J]. In Proceedings of the 5th International High-level Radioactive Waste Management Conference and Exposition, Las Vegas, Nevada, 1994, 2538-2544.
- [30] McCrea J M. On the isotopic chemistry of carbonates and paleotemperature scale [J]. Journal of Physical Chemistry, 1950, 18: 849-857.
- [31] Balakrishnan M, Yapp C J, Meltzer D J, et al. Paleoenvironment of the Folsom archaeological site, New Mexico, USA, approximately 10,500 $^{\circ}\text{C}$  yr B.P. as inferred from the stable isotope composition of fossil land snail shells [J]. Quaternary Research, 2005, 63: 31-44.
- [32] Wu Jinglu, Li Shijie, Luecke A, et al. Climatic Signals in the Last 200 Years from Stable Isotope Record in the Shells of Freshwater Snails in Lake Xingcuo, Eastern Tibet Plateau, China [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2002, 21(3): 234-243.
- [33] Burleigh R, Kerney M P. Some chronological implications of a fossil molluscan assemblage from a neolithic site at Brook, Kent, England [J]. Journal of Archaeological Science, 1982, 9(1): 29-38.
- [34] Brennan R, Quade J. Reliable Late-Pleistocene Stratigraphic Ages and Shorter Groundwater Travel Times from  $^{14}\text{C}$  in Fossil Snails from the Southern Great Basin[J]. Quaternary Research, 1997, 47: 329-336.
- [35] Marcel C H, Ghaleb B, Gariepy C, et al. U-Series Dating by the TIMS Technique of Land Snails from Paleosols in the Canary Islands[J]. Quaternary Research, 1995, 44: 276-282.
- [36] Romaniello, L, Quarta G, Mastronuzzi G, et al.  $^{14}\text{C}$  age anomalies in modern land snails shell carbonate from Southern Italy [J]. Quaternary Geochronology, 2007, doi: 10.1016/j. quageo. 2007. 01. 006.
- [37] Goodfriend G A, Stipp J J. Limestone and the problem of radiocarbon dating of landsnail shell carbonate [J]. Geology, 1983, 11: 575-577.
- [38] Stuiver M, Reimer P J. Extended  $^{14}\text{C}$  data base and revised Calib 3.0  $^{14}\text{C}$  age calibration program[J]. Radiocarbon, 1993, 35: 215-230.
- [39] Goodfriend G A. Terrestrial stable isotope records of Late Quaternary paleoclimates in the eastern Mediterranean region

- [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1999, 18: 501–513.
- [40] Bonadonna F P, Leone G, Zanchetta G. Stable isotope analyses on the last 30 ka molluscan fauna from Pampa grassland, Bonaerense region, Argentina[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1999, 153: 289–308.
- [41] Stott L D. The influence of diet on the  $\delta^{13}\text{C}$  of shell carbon in the pulmonate snail *Helix aspersa* [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2002, 195: 249–259.
- [42] Metref S, Rousseau D D, Bentaleb I, et al. Study of the diet effect on  $\delta^{13}\text{C}$  of shell carbonate of the land snail *Helix aspersa* in experimental conditions [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2003, 211: 381–393.
- [43] Goodfriend G A, Hood D J. Carbon isotope analysis of land snail shells: Implications for carbon sources and radiocarbon dating[J]. *Radiocarbon*, 1983, 25: 810–830.
- [44] Yates T J S, Spiro B F, Vita-Finzi C. Stable isotope variability and the selection of terrestrial mollusc shell samples for  $^{14}\text{C}$  dating[J]. *Quaternary International*, 2002, 87: 87–100.
- [45] Magaritz M, Heller J, Volokita M. Land–air boundary environment as recorded by the  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  and  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  isotope ratios in the shells of land snails [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1981, 52(1): 101–106.
- [46] Zanchetta G, Leone G, Fallick A E, et al. Oxygen isotope composition of living land snail shells: Data from Italy [J]. *Palaeo*, 2005, 223: 20–33.
- [47] Fritz P, Poplawski S.  $^{18}\text{O}$  and  $^{13}\text{C}$  in the shells of freshwater molluscs and their environment [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1974, 24: 91–98.

## Implication and Application of Stable Carbon and Oxygen Isotopes of Land Snail Shell Carbonate

ZENG Na, BAI Song, HUANG Chen-min

(Department of Environmental Science & Engineering, School of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** The compositions of stable carbon and oxygen isotope of land snail shell carbonate depend on the composition of carbon isotope in vegetation of snail living surrounding and the composition of oxygen isotope in meteoric water, and provide a proxy indicator for paleoclimatic and paleoenvironmental reconstruction. The mechanism of stable carbon and oxygen isotopes in land snail shell carbonate for paleoclimatic reconstruction is analyzed, as well as the pre-treatment of samples, the current situation in  $^{14}\text{C}$  dating and studies of paleoclimate and paleovegetation. On the basis, the problem which existing in the paleoclimatic explanation of composition of stable carbon and oxygen isotopes of land snail shell carbonate is discussed deeply. Finally, the research trend of future is suggested.

**Key words:** land snail shell; stable carbon and oxygen isotopes; paleoclimate; paleoenvironment