

110 ka 来洛川黄土地层中蜗牛化石记录 与环境因子分析*

吴乃琴

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

D. D. Rousseau

刘东生

(Laboratoire de Palynologie-URA327, Université Montpellier II, France)

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

摘要 通过分析洛川黄土剖面 S1 以上地层 118 个样品的蜗牛化石, 划分出 6 个蜗牛化石组合带。对 22 个蜗牛化石种类的数据进行分析, 选取了 6 个环境意义明确的主因子。结果表明: 约 110 ka 以来, 洛川古气候长周期变化具有冷干、暖湿交替演化的总体趋势。但即使在古气候总体趋势呈现干冷的时期, 也会阶段性地出现短期的、季节性的湿润环境。文中对影响各类环境因子变化的因素做了初步的讨论。

关键词 黄土 蜗牛 环境因子

已有的黄土古气候替代性指标, 成功地揭示出长周期的气候变化具有冷干、暖湿的演变规律^[1]。然而随着研究的深入, 发现在相对较短的时间尺度上, 气候变化并不是单纯的冷干、暖湿这两个组合^[2]。对这类较短时间尺度尤其是所谓“轨道尺度”以下的温度、湿度组合关系及影响因素的深入研究, 有可能加深对气候系统变化的进一步了解。

对季节性气候变化敏感的蜗牛化石, 一直是用来恢复古环境变化的重要指标之一^[3]。但以往的研究多限于半定量或定性的描述。近年来, 通过多变量统计分析提取控制蜗牛化石组合的环境因子, 使得蜗牛化石组合的古环境恢复初步进入了定量阶段^[4,5], Rousseau 利用蜗牛-气候因子转换函数定量估算了法国 Achenheim 黄土 339 ka 以来最冷月和最暖月温度、降水量的变化^[4]。转换函数的建立要求有不同气候带的大量现代表层土壤蜗牛组合数据的支持。本文作者近年来采集到我国 28 个表层土壤的蜗牛样品, 目前用其有限的的数据建立转换函数尚难取得较高可信度的统计结果, 但这对于参考前人对我国各地蜗牛种属生态环境的研究成果^[6], 了解黄土地层中蜗牛化石组合的生态类型, 提供了较多的依据。

本文就洛川黄土剖面 S1 以上地层 118 个样品的蜗牛化石资料, 利用对应分析正交因子旋转提取环境意义明确的主因子, 初步探讨影响这些环境因子变化的可能因素。

1 材料与方法

我们对陕西洛川坡头 ($35^{\circ}15'$, $109^{\circ}25'$) 黄土剖面 S1 以上地层, 按 10 cm 间距进行了采样. 每样取 10~12 kg, 共采得 118 个样品, 经 0.5 mm 的筛网冲洗, 除 S1 下部 4 个样品中没有发现蜗牛化石外, 其余 114 个样品中都有蜗牛化石, 并且绝大部分样品中可鉴定种属的蜗牛化石个体在 100~500 个左右. 在所有样品中, 共鉴定出 22 个蜗牛化石种类, 它们是:

(1) *Vallonia* cf. *pulchella* (Müller), (2) *V. tenera* (Reinhardt), (3) *Pupilla muscorum asiatica* (Nevill), (4) *P. aeoli* (Hilber), (5) *Macrochalamys angigrya* Yen, (6) *Punctum orphana* (Heude), (7) *Opeas striatissimum* (Gredler), (8) *Vitrea pygmaea* (Boettger), (9) *Gastrocopta armigerella* (Reinhardt), (10) *G. sp.*, (11) *Kaliella lamprocystis* Moellendorff, (12) *K. sp.*, (13) *Metodontia huaiensis* (Crosse), (14) *M. yantaiensis* (Crosse et Debaux), (15) *M. beresowskii* (Moellendorff), (16) *Succinea* sp., (17) *Cathaica pulveratrix* (Martens), (18) *C. richthofeni* (Martens), (19) *C. pulveraticula* (Martens), (20) *C. sp.*, (21) *Trichochlorites* sp., (22) Slug.

通过对蜗牛化石组合的研究, 采用最优分割法自下而上划出了 6 个蜗牛化石组合带 (图 1).

对 22 个蜗牛化石种类分别用百分含量和单位体积的个体数量做对应分析, 并进行了正交因子旋转, 使每个原始变量尽可能只与少数因子有关. 化石百分含量反映了各类化石的相对变化, 受减少补偿律的影响^[7], 正交因子旋转后的主因子载荷常常有正负两个方向的极大值. 单位体积的化石个体数量不受减少补偿律的影响, 正交旋转后的主因子载荷常常只有一个方向的极大值. 利用蜗牛化石的百分含量和单位体积个体数量进行对应分析的计算结果表明, 前 15 个主因子分别提取了原始变量的 93% 和 95% 的信息.

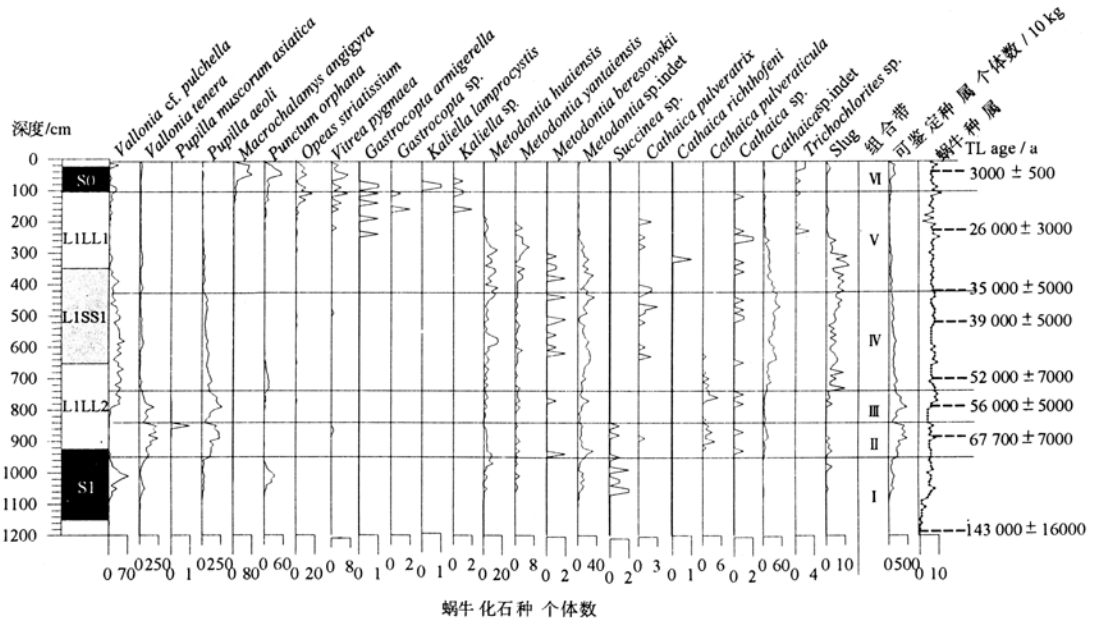


图 1 洛川黄土剖面蜗牛化石数量分布图式 (TL 年龄引自文献 [8])

洛川黄土剖面是我国黄土研究的标准剖面之一,前人已做了大量测年工作,本文采用的时间序列是根据文献[8]的测年数据经拉格朗日二点插值方法得出的。

2 结果与讨论

2.1 主因子环境意义的判别

通过对应分析 R 型正交因子解判别主因子的环境意义,某种程度上取决于对各种蜗牛化石生态意义是否有深入的了解。本文选取了如下 6 个环境意义较明确的主因子:

(1)第 1 主因子 F1(%), ((%) 表示百分含量主因子,无 (%) 为个体数量主因子,下同)正载荷载极大值为 *P. orphana* 和 *M. angigyra*, 负载荷载极大值为 *P. aeoli* 和 *V. tenera* (图 2, F1(%)). *P. orphana* 和 *M. angigyra* 是温暖、潮湿的生态种类,现生种主要分布于长江以南地区,生长在植被丰富的暖湿环境。*P. aeoli* 和 *V. tenera* 是寒冷、干旱的生态种类,*P. aeoli* 现生种主要分布于甘肃、陕西、河北和北京等地区, F1(%) 综合了上述两类蜗牛化石组合的环境意义,是冷干(负载荷)– 暖湿(正载荷)因子。

(2)第 5 主因子(F5)只有正载荷极大值,代表种为 *M. yantaiensis* 和 *M. huaiensis* (图 2, F5), 是典型的喜湿生态种类。*M. yantaiensis* 现生种分布于河北、陕西、山西、山东和内蒙古一直到长江流域一带,生长于潮湿的灌草丛中。*M. huaiensis* 现生种分布于山东、安徽、湖南、湖北、陕西、甘肃和新疆等地,生长环境与 *M. yantaiensis* 大致相同。可以认为 F5 主因子温湿程度。

(3)第 11 主因子(F11)只有正载荷极大值,代表种为 *M. beresowskii* 和 Slug 类(图 2, F11)。*M. beresowskii* 现生种主要分布于甘肃、陕西和山西等省,在托木尔峰、嘉陵江、岷江等第四纪黄土地层和在海拔 6 000 m 以上的黄土地层中发现此种化石^[9], 生长环境与 *M. yantaiensis* 大致相同^[1,9]。但从现生种和地层化石的分布区域判断,此种更适合生长于相对凉湿的环境。Slug 类蜗牛是一类分布范围较广、喜栖息于阴暗潮湿多腐殖质环境的蛞蝓科蜗牛。初步判断 F11 主因子正载荷极大值指示了相对凉湿的气候环境。

(4)第 10 主因子(F10)只有正载荷极大值,代表种为 *Cathaica* sp. (图 2, F10), 是尚无现生种和化石模式标本可对比的未定种。*Cathaica* 属几乎所有的种都是喜冷的种类,主要分布于西北和华北地区。*Cathaica* sp. 在地层中的出现较有规律,数量很少,可能是一个生态环境较窄的稀少种类。初步判断 F10 主因子正载荷极大值至少指示了相对冷的气候环境。

(5)第 6 主因子(F6)只有负载荷极大值,代表种为 *V. cf. pulchella*, *P. orphana* (图 2, F6)。*V. pulchella* 现生种广布于欧洲各国和前苏联,在我国主要分布于新疆天山山脉一带,生长于山区谷地潮湿的草丛、落叶下,是相对冷湿的种类。当前的标本总体特征与 *V. pulchella* 相似,但口缘不具有较厚的白瓷状环肋,故暂定为相似种。*P. orphana* 如前所述,是分布于我国南方的潮湿种类。由于这两个种在 F6 主因子上都具有负载荷极大值,说明 F6 主因子的负方向只提取了两者都具有的湿润(无论是冷湿还是暖湿)环境信息,反映了较宽温度范围内(寒冷~温暖)的湿度变化,正方向某种程度上可以作为气候干旱度的指标。

(6)第 4 主因子(F4(%))负载荷极大值为 *V. cf. pulchella*, 正载荷极大值为 *V. tenera* (图 2, F4(%))。如前所述,这两种蜗牛分别反映了相对冷湿和相对冷干的环境, F4(%) 主因子载荷的负方向反映了相对冷湿的环境,正方向反映了相对冷干的环境。样品在 F4(%) 主因子得分大小的曲线反映了在相对寒冷条件下,气候干、湿变化的程度。

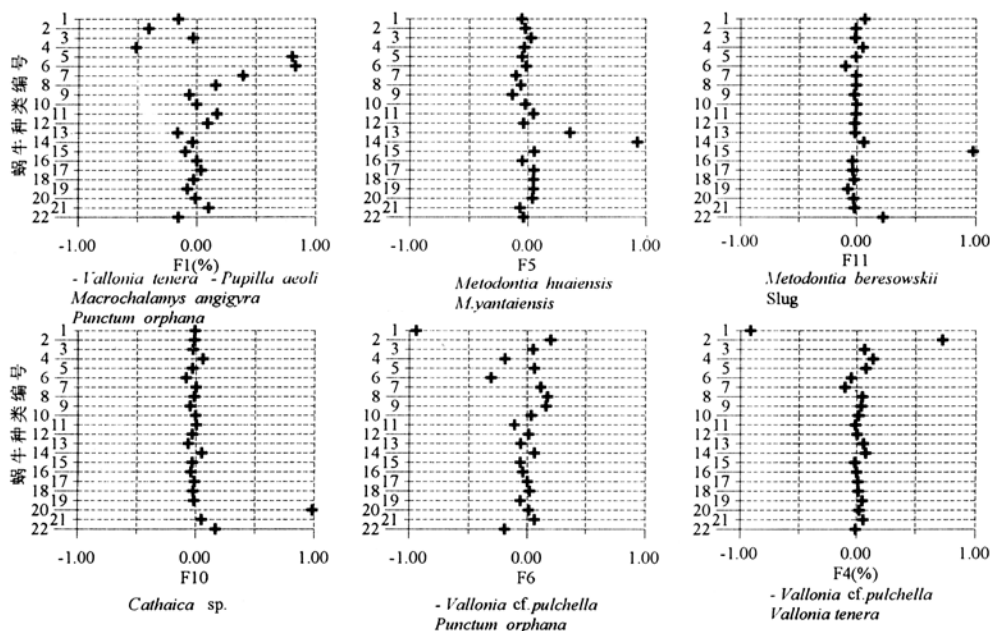


图 2 不同蜗牛化石在 6 个主因子上载荷大小的分布图式

图中左边数字为 22 个蜗牛化石种类编号

2.2 约 110 ka 来洛川古气候变化

由于洛川黄土剖面 S1 下部 105 ~ 118 号样品中, 蜗牛化石含量较少或缺失, 本文只讨论约 110 ka 来不同环境因子的变化规律。图 3 是 6 个环境因子的变化曲线与反映印度季风强弱变化的粒度曲线^[9]、非洲干旱指数曲线^[9]及北大西洋 Heinrich 事件^[10]的对比。

(1) 古气候变化的总体趋势 6 个蜗牛化石组合带的变化, 反映了这一地区总的古气候、古环境状况: 组合 I 带, 从 71 ~ 110 kaBP, 蜗牛化石组合以温暖型的 *P. orphana*, *M. yantaiensis*, *M. huaiensis*, *Succinea* sp. 种类占优势; 组合 II 带, 从 71 ~ 59.5 kaBP, 蜗牛化石组合以 *P. aeoli*, *V. tenera* 占绝对优势, 伴随有少量 *Metodontia* 的分子, 显示出干冷的气候环境中短暂的温暖湿润期; 组合 III 带, 从 59.5 ~ 54 kaBP, 除 *V. tenera*, *P. aeoli* 种继续保持优势外, 增加了 *V. cf. pulchella* 种的数量, *M. yantaiensis* 和 *M. huaiensis* 的数量与 II 带相近, 表明这一时期干冷的气候状况有所改善; 组合 IV 带, 从 54 ~ 35 kaBP, 反映干冷气候状况的 *V. tenera* 和 *P. aeoli* 种的数量急剧下降, 代之而起的是反映相对凉湿环境的 *V. cf. pulchella* 占优势, 同时 *Metodontia* 的分子占有较大的比例, 表明这一时期的气候无论是温度还是湿度都得到加强, 并且湿度的变化显得更为明显(图 3, F5, F6, F4(%)); 组合 V 带, 从 35 ~ 10 kaBP, 这一组合带反映了两种环境状况, 前期(35 ~ 22 kaBP)基本上延续了前一阶段的气候状况, 但 *V. cf. pulchella* 的数量急剧下降。后期(22 ~ 10 kaBP)与先前的研究结果^[1]不同, 这一阶段除出现了反映干冷环境的 *G. armigerella* 种类外, *O. striatissimum*, *V. pygmaea* 及 *Kaliella* 等温暖湿润型种类的出现, 反映了季节性或短时间的温湿气候环境的变化, 甚至在末次冰期最盛期阶段, 多次间断性地出现温湿环境, 显示出夏季风对这一地区短暂而明显的影响; 组

合 VI 带, 全新世以来, 蜗牛化石组合以 *M. angigyra*, *P. orphana*, *O. striatissimum* 和 *V. pygmaea* 等暖温种类占优势, 反映了气候温暖、湿润的特点, 但其间仍有较大的波动。

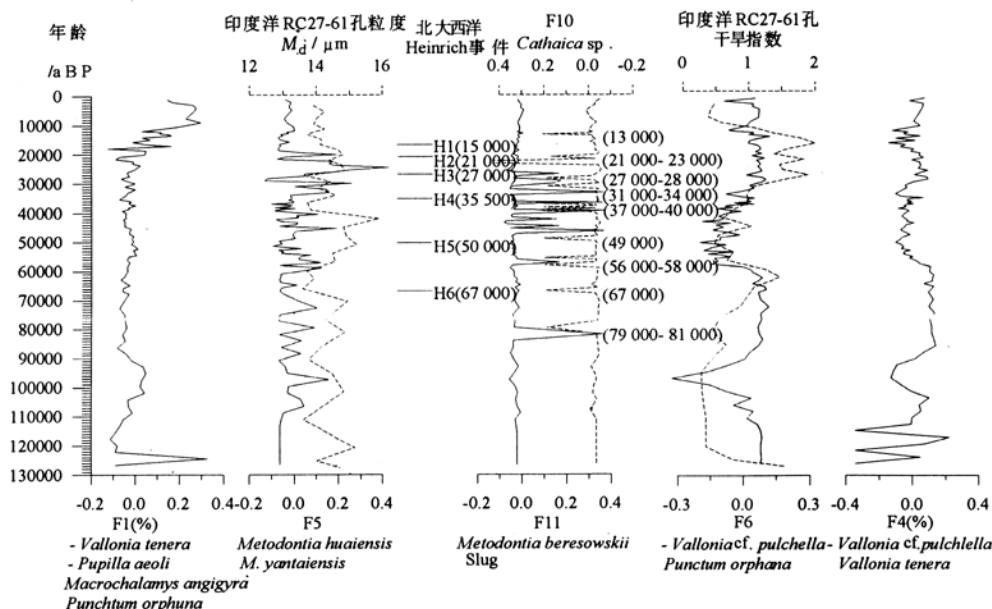


图3 6个环境因子曲线与印度洋粒度曲线、非洲干旱指数曲线及北大西洋 Heinrich 事件的对比关系

图3中 F1(%) 主因子环境变化曲线, 正、负方向分别对应了暖湿和冷干的气候变化总体趋势, 与上述的6个蜗牛化石组合带所反映的气候环境变化是相同的。但主因子曲线不像转换函数可以给出定量的变化幅度, 某种程度上仍是一种定性指标, 它与已有的古气候替代性指标所得出的古气候变化规律只是趋势上的一致^[1]。

(2) 古气候的湿度(干旱度)变化及其与印度季风和非洲干旱指数变化的关系 图3中 F5 主因子环境变化曲线, 正方向反映了古气候季节性温湿程度的加强。可以看出, 季节性温湿程度的变化是频繁的。即使在古气候总体趋势相对干冷的时期, 季节性的温湿气候也会阶段性地影响到黄土高原, 为温湿生态类型的蜗牛提供了赖以生存的环境。季节性温湿程度的变化与反映印度季风强弱的印度洋 RC27-61 孔粒度变化曲线^[9] 有较好的对应关系, 印度季风强盛时期, 黄土高原季节性的或短期的温湿程度得到加强。现代气候学表明, 黄土高原同时受到东亚季风和印度季风的影响^[11]。古气候温湿程度的变化, 为我们了解亚洲古季风系统的演化过程提供了有意义的证据。

图3中 F6 和 F4(%) 主因子环境变化曲线, 分别代表了古气候干旱程度的总体变化趋势和相对寒冷条件下干、湿程度的变化, 正方向都代表了干旱度的增强。两条曲线与印度洋 RC27-61 孔风尘物质沉积速率的变化所反映的非洲大陆干旱指数^[9] 的变化有较好的对应关系, 我国黄土高原地区约 110 ka 以来总体干旱趋势与非洲大陆大致是同步的。现代气候条件下, 短期的洪涝灾害是干旱、半干旱地区的重要特点^[12], 这似乎是黄土高原长周期总体干旱的趋势中, 阶段性地出现短期的或季节性的湿润环境的一个缩影。在各种时间尺度的气候变化中, 不存在单纯的冷干、暖湿的对应模式。

(3)短期气候变冷期与北大西洋 Heinrich 事件^[10] 图 3 中 F11 主因子环境变化曲线, 在正方向频繁出现的极大值, 指示出古气候可能发生过多多次短期凉湿的变化; F10 主因子环境变化曲线, 在正方向频繁出现的极大值, 指示出古气候发生过多多次突然变冷. 这两种主因子曲线突然变化的层位几乎接连出现, 但无一重合, 可能是每一次气候变冷事件在较短的时间内引发了两类气候类型的快速演变. 这些突然变冷的气候过程与长周期的气候变冷过程, 被正交旋转在不同的主因子上, 表明它们具有不同的驱动因素. Porter 和安芷生^[13] 及郭正堂^[14] 曾分别分析黄土地层的粒度变化和冰融层、风化指数的变化, 发现黄土高原古气候演化过程中, 多次快速变冷事件可能与北大西洋 Heinrich 事件有关. 在我们的研究中, F11 和 F10 主因子环境曲线突然变冷的层位多达十几层, 其中有几次可以与 ‘Heinrich 事件’ 相对应(图 3), 但多数并不可能对比, 这表明黄土高原在末次冰期中出现的这些 ‘突然变冷事件’, 或许并非是 Heinrich 事件影响的结果, 它们有可能同时受到更高层次驱动因素的控制. 最近的研究表明, 末次冰期中全球性的气候波动可能导致了这些变冷事件的产生. 有关这类气候突变事件的诱导因素、驱动机制值得进一步深入研究.

致谢 宋长青、陈锦石、姜文英、任建璋等同志协助了野外采样工作, 德国 Senkerberg 自然博物馆和法国国家自然博物馆提供了蜗牛化石的模式标本, 郭正堂、丁仲礼、吕厚远同志对本文给予了热情的帮助并提出了许多有益的建议, 在此谨致谢忱.

参 考 文 献

- 1 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985
- 2 吕厚远, 吴乃琴, 刘东生等. 最近 15 万年以来宝鸡黄土剖面植物硅酸体组合所反映的季节性气候变化. 中国科学, D 辑, 1996, 26(2): 131 ~ 136
- 3 陈德牛, 卢演涛, 安芷生. 黄土地层中蜗牛化石组合及其意义. 见: 中国第四纪研究会主编, 第三届全国第四纪学术会论文集. 北京: 科学出版社, 1982. 7 ~ 15
- 4 Rousseau D D. Climatic transfer function from Quaternary molluscs in European loess deposits. Quaternary Research, 1991, 36: 195 ~ 209
- 5 吴乃琴, 吕厚远, 陈德牛等. 陕西渭南晚冰期时的环境与气候 - 蜗牛化石的证据. 第四纪研究. 1995, (2): 139 ~ 149
- 6 陈德牛, 高家祥. 中国经济动物志 —— 陆生软体动物. 北京: 科学出版社. 1987
- 7 孙湘君. 第四纪花粉研究方法某些方面的进展. 见: 穆西南主编, 古生物学研究的新技术新方法. 北京: 科学出版社, 1987. 87 ~ 118
- 8 Forman S L. Late Pleistocene chronology of loess deposition near Luochuan, China. Quaternary Research, 1991, 36: 19 ~ 28
- 9 Clemens S C, Prell W L. Late Pleistocene variability of Arabian sea summer monsoon and continental aridity: Eolian records from the lithogenic component of deep-sea sediment. Paleoceanography, 1990, 5: 109 ~ 145
- 10 Heinrich H. Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic ocean during the past 130 000 years. Quaternary Research, 1988, 29: 142 ~ 152
- 11 陈隆勋, 朱乾根, 罗会邦等. 东亚季风. 北京: 气象出版社, 1991
- 12 张家诚. 气候干旱化问题. 见: 兰州干旱气象研究所编, 干旱气象文集. 北京: 气象出版社, 1989. 4 ~ 22
- 13 Porter S C, An Z S. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glaciation. Nature, 1995, 375: 305 ~ 308
- 14 郭正堂, 刘东生, 吴乃琴等. 最后两个冰期黄土中记录的 Heinrich 型气候节拍. 第四纪研究, 1996, (1): 21 ~ 30