大荔人化石地层的年龄

尹功明① 赵 华②③ 尹金辉① 卢演俦①②

(①中国地震局地质研究所, 北京 100029; ②中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质重点实验室, 西安 710054; ③中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061. E-mail: yingongming@sina.com)

摘要 对大荔人化石埋藏地点的地貌、沉积地层剖面层序的调查和气候年代学研究表明, 大荔人所在地层剖面是由上部的黄土-古土壤序列和下部的河流相砂砾层组成, 而在上部黄土-古土壤序列中发育有相当于黄土高原的黄土 L_1, 古土壤 S_1, 黄土 L_2 和古土壤 S_2 的地层; 含大荔人化石的地层位于古土壤 S_2 之下 13 m 处的河流相地层中. 根据黄土-古土壤的红外释光(IRSL)测年、大荔人化石层的贝壳化石电子自旋共振(ESR)测年和哺乳动物牙齿化石的铀系测年等多种技术测年的综合结果, 认为大荔人化石所在地层的年龄应大于距今约 260 ka 和小于距今约 350 ka, 比较合理的估计应为距今 260～300 ka.

关键词 大荔人 地层 年代学

1978 年春, 刘顺堂在陕西省大荔县段家乡解放村东的甜水沟(109° 44′E, 34° 52′N)发现了一个人头骨化石[1]. 此头骨基本完整, 无下颌骨, 脑颅左侧后上部及左侧颧弓大部缺损. 吴新智[2]把大荔人定为早期智人的一种古老类型, 代表一个新的亚种 ——智人大荔亚种*(Homo sapiens daliensis)*, 处于人类从直立人向智人演化过渡的环节之中. 自从发现大荔人以来, 已有多次大规模考古发掘, 揭露出大量的石制品和动物化石[3～5]. 大荔是我国为数不多的层位清楚和人类特征明确的古人类发掘地点之一. 因此, 确定大荔人的年代具有重要的古人类学意义.

由于受大荔人所处的时间段及测年样品材料的制约, 大荔人的年代学研究相对较少. 大部分研究者认为大荔人的年龄小于距今 250 ka[4～7]; 而薛祥煦等人[8]认为大荔人早于黄土-古土壤序列中 S_3 的年龄, 即早于 330 kaBP. 鉴于以上争议, 大荔人的年代值得进一步研究.

我们对采自大荔人所在层位的化石作了电子自旋共振(ESR)和铀系(U-series)测年, 并对大荔人所在剖面的气候地层年代学进行了研究, 获得了大荔人化石地层的一些认识.

1 大荔人化石埋藏地点的地层年代学

1.1 大荔人化石所在地点的地貌特征

大荔人化石所在地点处于黄土高原与渭河谷地的交接地带. 大荔人化石产于渭河的一级支流洛河第 3 级阶地的河流相地层之中. 洛河在段家梁附近发育有三级阶地, 第 1 级阶地河拔高 3～15 m, 由下部的砂、砂砾和上部的粉砂土组成; 第 2 级阶地河拔高 36～46 m, 由河流相的砂、砂砾和杂色砂质黏土组成, 上覆风成的马兰黄土; 第 3 级阶地河拔高 50～80 m, 由河流相的砂、砂砾、杂色砂质粉砂以及上覆风成的黄土-古土壤序列组成.

1.2 大荔人化石所在剖面的沉积层序

关于大荔人化石埋藏地点甜水沟的沉积地层层序和岩性已有许多研究者从不同角度进行过观测和描述[1,3,6,8], 根据本文作者的多次现场观测, 大荔人所在地点甜水沟的地层结构自上而下为(图 1):

(1) 扰动耕作层, 厚 100 cm;

(2) 黄土(L_1), 厚 600 cm, 淡黄色(2.5Y7/3)粉砂, 块状结构, 无层理, 根系、垂直节理发育, 质地均匀疏松;

(3) 古土壤(S_1), 厚 275 cm, 见亮棕色(7.5YR5/6)的淋溶层和淀积层;

(4) 黄土(L_2), 厚 550 cm, 浅淡黄色(2.5Y8/4)粉砂, 块状结构, 无层理, 根系、垂直节理发育, 质地均匀疏松, 其中含两层各约 30 cm 厚的浊棕色(7.5YR5/4)弱发育古土壤;

(5) 古土壤组合(S_2), 总厚 205 cm, 由两层亮棕色(7.5YR5/6)古土壤夹 62 cm 厚的浅淡黄色(2.5Y8/4)粉砂(黄土)组成, 其中, 上层古土壤厚 60 cm, 见白色碳酸盐淀积层和明显的钙质结核, 下层古土壤厚约 83 cm, 见白色菌丝体, 但未见明显的钙质结核, 此层古土壤的底部母质为漫滩相的粉砂质黏土, 颗粒略粗于黄土高原和本剖面其他古土壤的颗粒, 并显薄层理, 与下伏(河流相)地层在颜色和颗粒大小上呈

渐变过渡关系;

(6) 浊黄色(2.5Y6/4)细砂-粉砂, 厚 680 cm, 层理发育, 往上渐变为粉砂质黏土, 颜色也呈棕色, 属漫滩相;

(7) 亮黄棕色(2.5Y7/6)中粗砂, 含少量泥质团块和角砾, 厚 575 cm, 局部见崩塌结构, 往上颗粒变细, 属漫滩和边滩相;

(8) 淡黄色(2.5Y7/3)中细砂层, 厚 45 cm, 具交错层理, 属河床相;

(9) 总体灰白色(2.5Y8/1)砾石层, 含少量紫红色和黄色的砾石, 厚 80 cm, 砾径以 0.5 ~ 3 cm 为主, 圆状-次圆状, 分选性好, 属河床相沉积, 层内含大量贝壳、石器、骨化石, 是大荔人化石的产出层位;

(10) 钙质胶结的砂砾石层, 厚 5 ~ 10 cm, 其顶部出现明显的侵蚀面;

(11) 淡黄色(2.5Y7/3)粗砂砾石层, 厚 150 cm, 具交错层理, 未见底.

1.3 黄土-古土壤序列的磁化率特征

在本剖面的黄土-古土壤序列及河流相上部地层中每隔 5 cm 采集磁化率样品 363 块, 磁化率曲线与洛川典型黄土-古土壤序列的磁化率曲线比较可知(图 1), 在解放村甜水沟剖面中古土壤 S_1 的磁化率特征明显, 黄土 L_2 中的两层弱古土壤层在磁化率曲线中有明显的反映. 但是, 古土壤 S_2 下部的磁化率特征变化与典型黄土剖面中的有明显不同, 可能是该层为河漫滩上近源风积环境所致. 在本剖面中没有发育全新世古土壤 S_0, 这是因为本剖面位于黄土梁的前缘, 而且, 洛河是一条中等规模的河流, 剖面的顶部可能被后期破坏. 在与本剖面相邻不远的地方观察到全新世古土壤 S_0. 磁化率曲线表明本剖面的黄土-古土壤序列只发育了黄土 L_1, 古土壤 S_1, 黄土 L_2 和古土壤 S_2. 同时, 本剖面的古土壤 S_2 由两层古土壤夹 62 cm 的黄土组成, 与洛川黄土剖面的第 2 层古土壤层(S_2)十分相似[10]. 从野外观察和剖面磁化率变化来看, 本剖面不存在黄土层 L_3 和古土壤 S_3.

1.4 黄土-古土壤序列的红外释光(IRSL)年龄

在黄土古土壤序列的上部采集了 5 个红外释光测年样品(图 1), 并采用细颗粒红外释光技术测定了

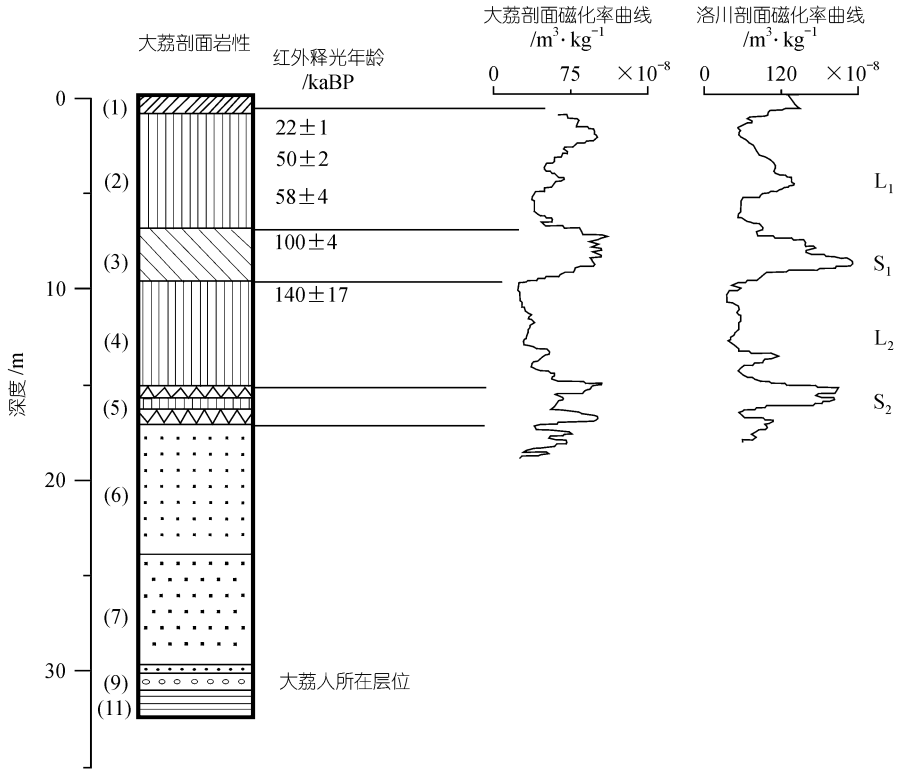

图 1 大荔人所在剖面岩性、磁化率曲线与洛川剖面磁化率曲线对比

洛川黄土-古土壤序列剖面磁化率数值据文献[9]

这 5 个样品的年龄. 红外释光测年中有关样品前处理、测试条件见文献[11,12]. 具体如下:

分离细颗粒和制备测片: 取 200 g 左右样品置于烧杯中, 用 30%的 H_2O_2 和 40%的 HCl 去除有机质和碳酸盐, 用蒸馏水清洗至中性, 按静水中沉降原理, 分离出 4 ~ 11 μm 细颗粒组分. 然后使细颗粒沉淀在 9.8 mm 直径的铝片上, 制成测片, 每片含细颗粒约 1 mg, 每个样品制成约 40 个测片的一套测样.

测样处理: 一个样品的一套测片随机分成 4 组, 第 1 组 6 个测片进行天然 IRSL 测量; 第 2 组 6 个测片分 3 档(每档 2 个)进行不同剂量的 β 辐照, 再进行 IRSL 测量; 第 3 组 6 个测片分 3 档(每档 2 个)进行不同剂量的α辐照, 再进行 IRSL 测量; 第 4 组样品 14 个测片在阳光下晒退 90 分钟, 然后分成 7 档(每档 2 个)进行不同剂量的 β 辐照, 再进行 IRSL 测量. 测片都在 Daybreak 801 型多样品自动照射仪上进行 β 或 α 辐照.

测样的 IRSL 测量: 经过上述处理的测片在 IRSL 信号测量前都要在 220℃进行 5 分钟预热. 所有测片都在 Daybreak 1100 型 TL/OSL 自动测量系统中进行 100 s 的 IRSL 测量. IRSL 信号用(880 ± 80) nm 的红外线束激发, 检测滤光片为 Corning 7-59 和 Schott BG-39 滤光片组合, 使被检测到的 IRSL 信号波长为 330 ~ 480 nm.

古剂量测定: 采用再生法(图 2(b)). 样品的红外释光信号随附加辐照 β 剂量呈指数增长, 并随着样品

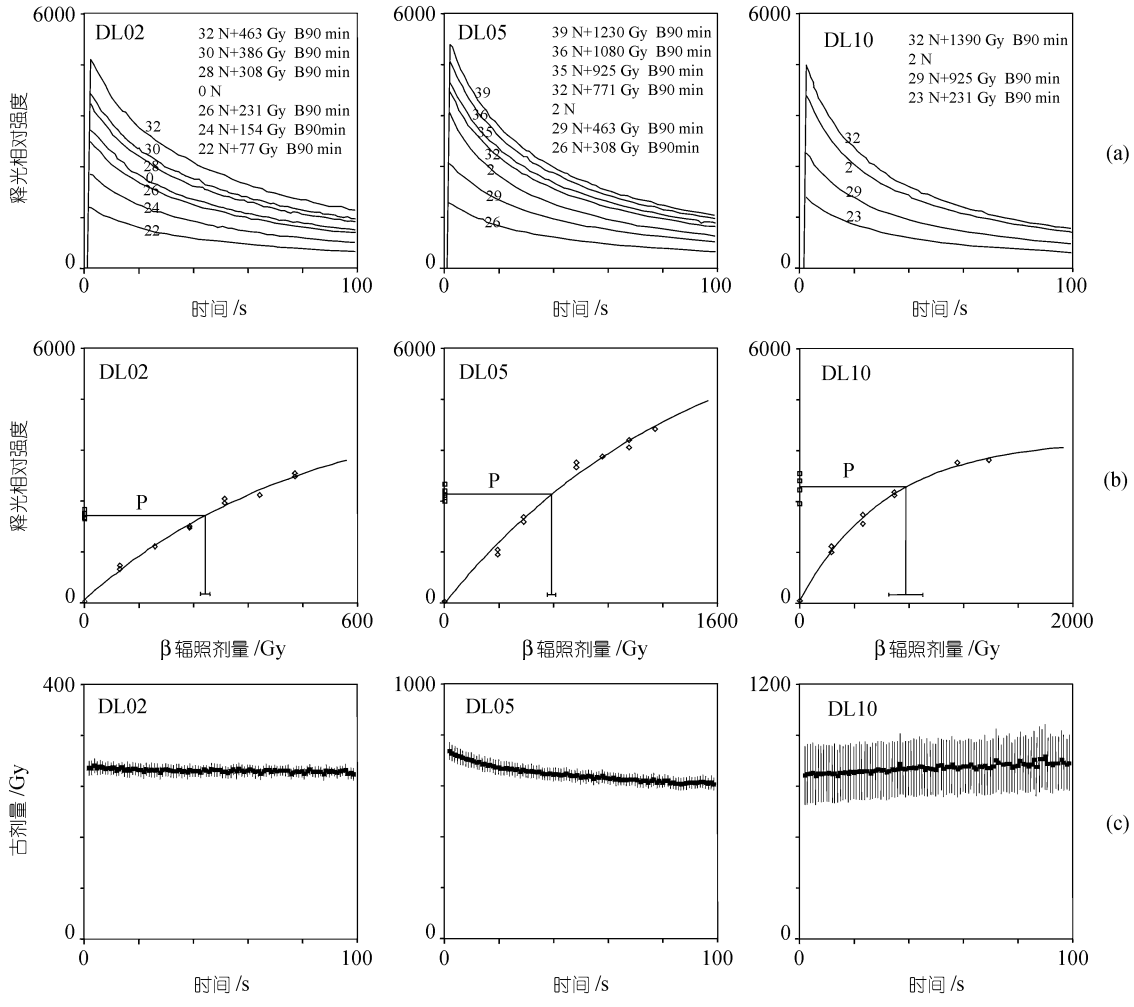

图 2 样品 DL02, DL05 和 DL10 的红外释光曲线(a)、IRSL 增长曲线(再生法)(b)和古剂量坪曲线(c)

(a)中有关数字的含义(以样品 DL02 为例): 32 N + 463Gy B90 min, 表示 32 号测片对应的释光曲线, N + 463Gy B90 min 为天然(N)测片经 90 分钟太阳光晒退后再经 463 Gy β 辐照后的释光曲线

年龄的变老，指数饱和程度增加(图 2(b))，用线性加饱和指数拟合获得的古剂量值都有良好的古剂量坪(图 2(c)).

环境剂量率测定：用中子活化技术测量样品中的铀(U)和钍(Th)含量，用火焰光度计法测定钾含量，同时也考虑了样品含水量对剂量率的影响和宇宙射线的贡献，应用Aitken(1985)的转换系数获得环境剂量率[13].

红外释光测年对于距今 100 ~ 150 ka 以来的黄土样品，其实验技术比较成熟，年龄值准确性较高[14]. 这批样品进行再生法测量时，未考虑释光对辐照剂量响应灵敏度改变问题，据本实验室经验，黄土样品的光晒退导致灵敏度变化并不明显，即使有变化，其影响变化范围也是有限的(约在 20%以内). IRSL 测年的其他方面(如环境剂量测定等)也有一定的不确定性存在，但是总的来说，所有不确定性之总和不会对本文的问题讨论产生根本性影响. 可以认为本文给出的红外释光年龄值具有较高的可信度，如表 1 和图 1 所示. 此外，在黄土 L_2 下部和古土壤 S_2 及其下伏河漫滩相泥质细-粉砂层中都采集了释光测年样品. 但经测试，这些样品的细颗粒(4 ~ 11 μm)测样的 IRSL 信号都已饱和，粗颗粒(90 ~ 250 μm)长石测样的蓝光释光(BLSL)因异常衰减，都未获相应的测年结果.

根据表 1 中的红外释光年龄值，与黄土高原典型黄土-古土壤序列的年龄值比较可知[15]，大荔人所在剖面的黄土-古土壤序列从上至下的第 1 层黄土、第 1 层古土壤、第 2 层黄土相当于黄土高原典型黄土-古土壤序列中的 L_1, S_1, L_2. L_2 与下伏第 2 层复合古土壤之间未见沉积间断，可以认为是连续沉积. 所以，根据红外释光年龄，所研究的黄土-古土壤序列剖面中只发育有 L_1, S_1, L_2 和 S_2.

综上所述，根据大荔人所在剖面的黄土-古土壤序列的结构特征、磁化率特征，以及红外释光年龄，大荔人所在的黄土-古土壤序列中发育有黄土 L_1，古土壤 S_1，黄土 L_2 和古土壤 S_2. 在气候地层上，黄土高原的 S_2 与深海氧同位素阶段 7 相当，其下限年龄约 247 kaBP[15]. 大荔人化石埋藏在古土壤 S_2 之下约 13 m 处约 0.8 m 厚的冲积砂砾层中，在大荔化石埋藏层与古土壤 S_2 之间发育了约 13 m 厚的高河漫滩相泥质细-粉砂 ~ 中-粗砂层. 因此，大荔人化石埋藏地层的年龄应当大于距今 247 ka.

2 大荔人化石层的动物化石年龄

2.1 大型动物牙齿化石的铀系年龄

大荔人化石所在地点虽然经过多次的大型发掘，获得了许多动物化石. 但是，目前可供研究的能够用于确定年代的大型动物的牙齿化石只有少量的几枚. 对其中的一枚披毛犀上臼齿化石作了铀系法测定，其年龄结果见表 2 和 3.

表 2 和 3 中牙本质的 ^{230}Th 年龄和 ^{227}Th 年龄一致，在绝大多数情况下可以推测样品处于铀的封闭体系之中. 但是，样品构成铀的封闭体系是 ^{230}Th 年龄和 ^{227}Th 年龄一致的必要而非充分条件，当样品处于长期的缓慢的铀加入之中，二者年龄也会一致[16]. 当考虑到该样品牙本质的铀含量(134.8 μg/g)显著高

表 1 大荔人化石所在剖面黄土古土壤样品红外释光(IRSL)年龄测定值和分析数据

样品号	深度/cm	所在地层位置	含水量/%	U/μg · g^{-1}	Th/μg · g^{-1}	K/%	剂量率/Gy·ka^{-1}	古剂量/Gy	年龄/ka
DL01	130	第 1 层黄土	5	3.85	9.64	1.98	5.984	134 ± 8	22 ± 1
DL02	320	第 1 层黄土	5	2.66	8.92	1.86	5.560	277 ± 13	50 ± 2
DL03	545	第 1 层黄土	5	2.80	9.54	1.88	5.791	337 ± 25	58 ± 4
DL05	730	第 1 层古土壤上部	5	3.26	9.81	2.00	6.277	630 ± 25	100 ± 4
DL10	1020	第 2 层黄土上部	5	2.90	9.56	1.59	5.600	780 ± 96	140 ± 17

表 2 大荔披毛犀牙齿 ^{230}Th/^{234}U 法测年结果

实验室分析号	材料	铀含量/μg · g^{-1}	^{230}Th/^{232}Th	^{234}U/^{238}U	^{230}Th/^{234}U	^{230}Th 年龄/ka
0054	牙珐琅质	2.0	70	1.831 ± 0.058	1.024 ± 0.033	258^{+34}_{-26}
0048	牙本质	134.8	240	1.847± 0.024	1.111 ± 0.026	349^{+53}_{-38}

表 3 大荔披毛犀牙齿 $^{227}Th/^{230}Th$ 法测年结果

实验室分析号	材料	$^{234}U/^{238}U$	$^{227}Th/^{230}Th$	^{227}Th 年龄/ka
0052	牙本质	1.847 ± 0.024	0.0225 ± 0.0004	349^{+83}_{-50}

于现代牙齿牙本质的铀含量(每克几至几十微克)时, 可以认为该牙齿的牙本质处于长期的缓慢的铀加入之中, 从而导致其铀系年龄偏老. 因此, 这颗牙齿的牙本质年龄可视为该牙齿的下限年龄.

由于受样品量的限制, 没有进行牙珐琅质的 ^{227}Th 年龄测定. 从牙齿结构和以前的测量表明, 牙珐琅质比牙本质致密坚硬, 对于铀系其封闭性高于牙本质. 鉴于该齿牙珐琅质的铀含量低(2.0 μg/g), 不能排除由于长期风化侵蚀使该齿牙珐琅质铀丢失的可能性. 这样, 该牙珐琅质年龄(距今 (258^{+34}_{-26}))也许可视为该牙齿埋藏年龄的上限. 这可能是导致牙珐琅质与牙本质年龄值相差约 90 ka 的原因. 因此, 这颗牙齿的铀系年龄值应介于距今约 258 ~ 349 ka 之间, 更有可能接近于距今 260 ~ 300 ka.

2.2 贝壳化石的电子自旋共振(ESR)年龄

在大荔人所在层位中, 伴生有大量的贝壳化石, 主要种类有波状丽蚌(*Lamprotula undula Odhner*)、古丽蚌(*Lamprotula antiqua Odtiqua Odhner*)和假丽蚌(*Lamprotula spuria*). 贝壳个体大, 其中有的贝壳最厚达 18 mm. 经显微镜下薄片鉴定, 贝壳为文石矿物组成, 还未转化为方解石. 先后对前两类贝壳的 10 个个体进行了电子自旋共振测年研究. 各样品具有良好的 ESR($g = 2.0010$)信号, 采用附加剂量法测定各样品的古剂量值. 有关实验过程和第 1 批测量的 3 个贝壳的 ESR 年龄值及参数见文献[17]. 10 个贝壳的 ESR 年龄值处于约 297 ~ 210 kaBP 之间, 平均约 270 ka. 其年龄值与前述的气候地层年代学和铀系年龄值相吻合.

3 结论

大荔人所在剖面是由上部黄土-古土壤序列和下部的河流相砂砾层组成, 而在上部黄土-古土壤序列中发育有相当于黄土高原的黄土 L_1, 古土壤 S_1, 黄土 L_2 和古土壤 S_2 的地层; 含大荔人化石的地层位于古土壤 S_2 之下 13 m 处的河流相地层中; 根据多种测年技术的综合结果, 含大荔人化石层的地层年龄应大于距今 260 ka 和小于距今约 350 ka, 比较合理的估计应为距今 260 ~ 300 ka.

致谢 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所张森水研究员提供了本文的牙齿样品; 牙齿的铀系年龄由南京师范大学沈冠军教授测试完成; 野外工作得到陕西省考古研究所周春茂研究员的协助; 中国科学院地质与地球物理研究所孙继敏研究员提供了洛川剖面的磁化率数据. 作者表示衷心感谢. 本工作受国家自然科学基金(批准号; 49702032)资助.

参 考 文 献

1 王永焱, 薛祥煦, 岳乐平, 等. 陕西大荔人化石的发现及其初步研究. 科学通报, 1979, (7): 303 ~ 306
2 吴新智. 陕西大荔县发现的早期智人古老类型的一个完好头骨. 中国科学, 1981, 11(2): 200 ~ 206
3 吴新智, 尤玉柱. 大荔人遗址的初步观察. 古脊椎动物与古人类, 1979, 17(4): 294 ~ 303
4 张森水, 周春茂. 大荔人化石地点第二次发掘简报. 人类学学报, 1984, 3(1): 19 ~ 29
5 陕西省考古研究所, 荔县文物管理委员会. 大荔-蒲城旧石器——大荔人遗址及其附近旧石器地点群调查发掘报告. 北京: 文物出版社, 1996. 1 ~ 11
6 孙建中, 赵景波. 黄土高原第四纪. 北京: 科学出版社, 1991. 39 ~ 45, 144 ~ 153
7 陈铁梅, 原思训, 高世君. 铀子系法测定骨化石年龄的可靠性研究及华北地区主要旧石器地点的铀子系年代序列. 人类学学报, 1984, 3(3): 259 ~ 269
8 薛祥煦, 于学锋, 李永项. 大荔人头骨化石产地地层的再研究. 地层学杂志, 2000, 21(3): 210 ~ 214
9 Sun Jimin, Liu Tungsheng. Stratigraphy evidence for uplift of the Tibet-Qinghai plateau between ~ 1.1 and ~ 0.9 Myr ago. Quarternary research, 2000, 50: 309 ~ 320
10 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 50 ~ 55
11 赵华, 卢演俦, 陈杰, 等. 华北晚第四纪沉积物细颗粒组分红外释光与绿光释光测年. 科学通报, 2000, 45(21): 2332 ~ 2336
12 Lu Yanchou, Zhao Hua, Yin Gongming, et al. Luminescence dating of Loess-paleosol sequences in the past about 100 ka in North China. Special Issue of the Bulletin of the REKIHAKU, Japan, 1999, 66 ~ 78
13 Aitken M J. Thermoluminescence Dating. London: Academic Press, 1985. 66 ~ 68
14 Prescott J R, Robertson G B. Sediment dating by luminescence: A review. Radiation Measurements, 1997, 27: 893 ~ 922
15 刘东生等编译. 第四纪环境. 北京: 科学出版社, 1997. 189 ~ 239
16 沈冠军, 房迎三. 从巢县人年代争议谈钟乳石、骨化石铀系定年. 人类学学报, 1996, 15(2): 166 ~ 171
17 尹功明, 孙瑛杰, 业渝光, 等. 大荔人所在层位贝壳的电子自旋共振年龄. 人类学学报, 2001, 20(1): 34 ~ 38

(2001-11-16 收稿, 2002-02-21 收修改稿)