

# 丕质年轮法在旧石器时代 动物考古学中的应用

栗静舒<sup>1,2</sup>, 张双权<sup>1</sup>

1. 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京, 100044;

2. 中国科学院大学, 北京, 100049

**摘要:** 在旧石器时代考古遗址研究中, 动物的死亡年龄往往能够反映古人类的生存能力及猎物选择趋向; 死亡季节则是研究古人类人口数量变化、聚居模式等生存适应问题的重要途径。牙齿丕质切片研究表明, 丕质的沉积与树木年轮的生长相似, 具有较强的季节规律性和终生生长的特点, 可被用于同时推断动物的死亡年龄与季节。丕质年轮法在国外已经有不少较为成功的应用范例, 但由于其自身局限及我国旧石器时代动物考古学的发展状况, 这一方法至今并未得到较好的应用。本文主要介绍丕质年轮法原理及其在旧石器时代考古学研究中的应用实例, 并对该方法在国内遗址相关研究中的应用前景做出展望。

**关键词:** 丕质年轮; 死亡年龄; 死亡季节; 旧石器时代

中图分类号: K871.11; Q983<sup>+</sup>.8; 文献标识码: A; 文章编号: 1000-3193(2014)02-0177-10

## 1 引言

旧石器时代考古遗址中动物死亡年龄与季节的研究在重建古人类行为如季节性流动、捕食策略、资源利用等方面具有重要意义<sup>[1-3]</sup>。通常, 遗址中某些猎物的死亡年龄往往能够反映出古人类在生存能力及猎物选择趋向方面的重要特点, 例如: 狩猎或食腐行为的分异、古人类对于壮年猎物的捕获能力与选择性策略等<sup>[4]</sup>。考古遗址中数量较多的优势动物种群, 其死亡季节不仅能够为遗址生态环境方面的研究提供依据, 而且在古人类的季节性资源利用模式、饮食偏好、人口的季节性集聚或扩散、社会组织方式变迁甚至于文化活动<sup>[3]</sup>等方面都具有其独特价值。

学术界通常用来判断动物死亡年龄的方法主要有三种: 骨骺愈合、牙齿萌出次序和磨蚀程度(多用于低冠齿动物的年龄推断)、齿冠高度测量(用于高冠齿动物的年龄推断)<sup>[5]</sup>。其中, 骨骺的密度较小, 抗腐蚀和破碎能力弱, 在旧石器时代遗址中保存几率相对较低; 相反, 牙齿的釉质十分坚硬, 具有较强的抗腐蚀、破碎能力, 所以目前更为普遍的做法还是通过牙齿来推断动物的死亡年龄。但是, 根据牙齿的萌出顺序、磨蚀程度来确定年龄往

收稿日期: 2013-7-15; 定稿日期: 2013-10-08

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-QN110); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-15); 中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA05130302); 国家自然科学基金项目(41302017)。

作者简介: 栗静舒(1988-), 女, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所硕士研究生, 主要从事埋藏学与旧石器时代动物考古学研究。E-mail: lijingshu11@mailsucas.ac.cn

通信作者: 张双权, 男, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所副研究员。E-mail: zhangshuangquan@ivpp.ac.cn

往具有一定的主观性，并且很多情况下只能反映出各年龄组动物的相对年龄；齿冠高度测量法只有在游离齿牙根及牙冠全部保存完好的情况下才可以发挥其作用，这种要求在埋藏时间较长、埋藏情况复杂的旧石器时代遗址中往往很难实现<sup>[6,7]</sup>。判断动物死亡季节的方法目前主要包括骨骺愈合程度、牙齿的萌出与磨损、角的生长和骨质疏松的表现等（动物的许多生理变化一般都发生于某个固定的季节）<sup>[3]</sup>。这些方法同样因为考古材料的保存问题而受到较大程度的限制<sup>[8]</sup>。

垩质年轮法（cementum increment analysis）的出现为考古遗址动物的死亡年龄与季节方面的研究注入了新的活力。相对于骨骺愈合、牙齿萌出或磨损等传统方式，垩质年轮法能够更为准确地推算不同阶段的动物死亡年龄<sup>[5,9,10]</sup>。此外，对某一牙齿标本而言，垩质年轮切片一次就能够同时完成动物死亡年龄与季节两方面的分析工作。更重要的是，这一方法的适用对象并不局限于完整的牙齿材料，旧石器遗址中更为广泛存在、但往往却被研究者所忽视的残破动物牙齿也有可能成为提取古人类活动信息的重要来源。目前，垩质年轮分析法已被成功运用至世界范围内多个旧石器时代考古遗址的动物群研究之中<sup>[11]</sup>，但在国内至今尚未得到较好的应用。本文对垩质年轮分析法的原理、操作步骤、应用实例进行简单介绍，并对其在我国旧石器时代考古遗址中的应用前景做出展望。

## 2 垩质年轮法基本原理

动物的牙齿一般由釉质、齿质及垩质三部分构成（图1）。垩质是指覆盖在牙根表面的薄层骨样组织，具有终生生长的特点<sup>[1,5]</sup>。垩质的分布在不同动物中存在差异，以有蹄类动物为例：偶蹄类动物的垩质一般分布于牙龈线以下的牙颈部及牙根外围，而奇蹄类动物如马的颊齿，其垩质不仅覆盖于牙根表面，更扩散至除嚼面外的整颗牙齿外围<sup>[12]</sup>。

### 2.1 怎样通过垩质年轮推断动物死亡年龄与季节

垩质在牙齿中是以不连续的条带逐年沉积的，每年形成的垩质包括生长层（growth zone）与间歇层（annulus/LAGs）两种沉积。夏天（或食物资源的充裕时期）形成较宽的生长层，冬天（或营养物质的匮乏时期）形成较窄的间歇层，像树木的生长年轮一样，因此每年形成的不同垩质沉积又可被统称为垩质年轮<sup>[5,13-16]</sup>。通过偏光显微镜观察垩质切片时可以看到，随着载物台的旋转，生长层与间歇层依次呈现出暗色、亮色或者亮色、暗色的相间分布。通过计算垩质年轮的数量，可以推断动物的死亡年龄，而观察最后一条垩质年轮的生长情况，就可以推断动物的死亡季节<sup>[13]</sup>。鉴于现生动物的垩质年轮与其系统分类位置较近的化石属种具有较强类比性，如许家窑遗址出土的普氏野马，其垩质生长模式与现代马类极为接近（图2），该法可以被用于提取遗址中动物的死亡年龄与季节信息<sup>[12]</sup>。

值得注意的是，垩质年轮的数量并不简单等同于动物的死亡年龄，不同动物的第一条垩质年轮形成时间并不完全相同，如驼鹿 *Alces alces* 第一颗门齿萌出之时（出生后的七到八个月之间），第一条垩质年轮已经形成。当其年龄到达一周岁时，第二条垩质年轮也形成。因此垩质年轮的数量减去一才是该动物的真正年龄<sup>[17]</sup>。相反，加拿大马鹿 *Cervus canadensis*，则因为垩质是从第一颗门齿萌出后（出生一年之后）才开始生长，所以垩质

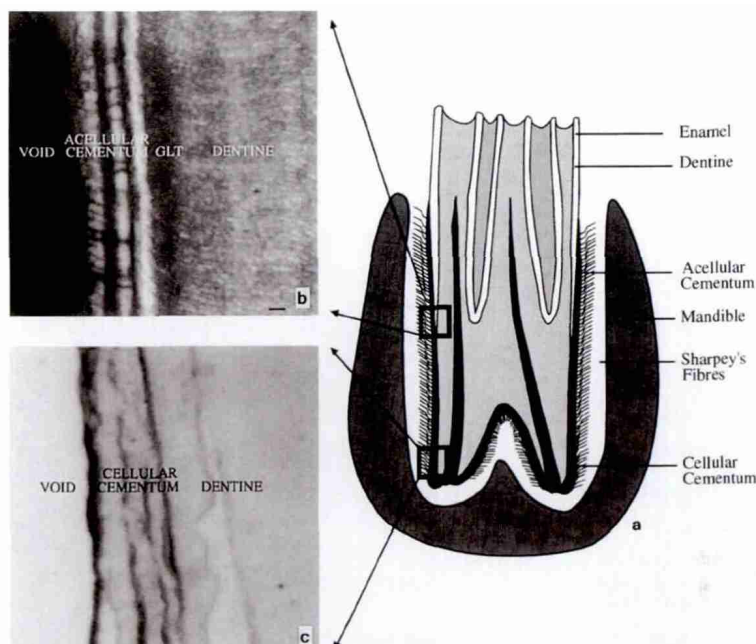


图 1 高冠齿动物牙齿的垩质位置示意图及无细胞垩质、有细胞垩质在牙齿部位的分布情况<sup>[13]</sup>

**Fig.1 (a) Schematic cross-sectional view of a hyposodont tooth in the mandible; (b) Acellular cementum bands; (c) Cellular cementum bands**

a: 从上至下依次为：牙釉质、牙本质、无细胞垩质、下颌骨、夏普氏纤维、有细胞垩质；b: 从左至右依次为：无内容、无细胞垩质、Tomes 颗粒、牙本质；c: 从左至右依次为：无内容、有细胞垩质、牙本质

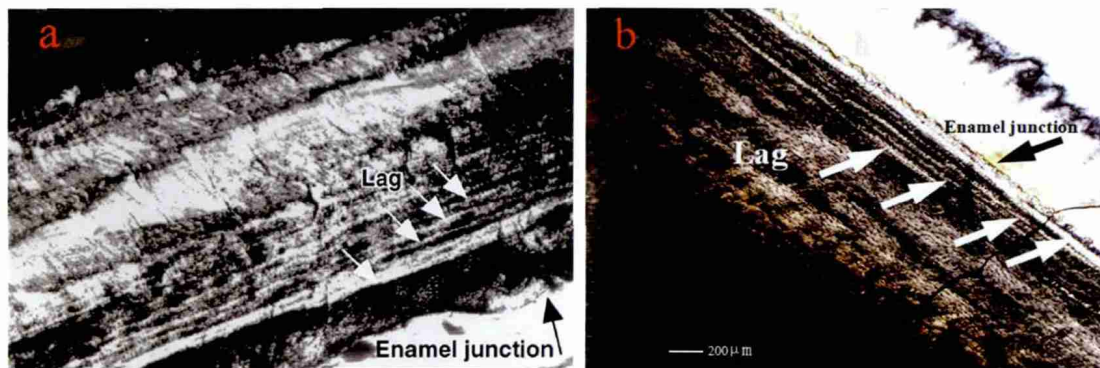


图 2 现代普通马<sup>[12]</sup>与许家窑遗址出土普氏野马垩质切片对比图

**Fig.2 Growth marks in the dental cement of the horse (a) *Equus caballus*<sup>[12]</sup>; (b) *Equus przewalskii***

a 为现代马的 P2 垩质切片，X25；b 为普氏野马 m1/m2 垩质切片，X50；

Lag 代表垩质间歇层，Enamel junction 为釉质和垩质交界部分

年轮的数量增加一才是该动物的真正年龄<sup>[18]</sup>。

此外，因为第一条垩质年轮与牙齿齿质（有些动物为牙齿釉质，如马类动物）或者是钙化不完全的 Tomes 颗粒层相连，最后一条垩质年轮则易受风化、流水作用、动物的啃咬以及埋藏环境的土壤、湿度、微生物等自然因素的影响，形成假的垩质条带或者直接被完全破坏<sup>[15, 19]</sup>，所以只有首先正确辨别出动物牙齿的第一条以及最后一条垩质年轮并了解其生长情况，才能得到较为准确的动物死亡年龄与季节信息<sup>[13, 15, 19, 20]</sup>。

### 2.2 珐质沉积为什么会出现季节性差异——珐质沉积的生理基础

珐质在不同季节的沉积过程中，会出现以下三种较为明显的变化：第一，珐质细胞的生长速率与分布范围会出现变化。通过对马类动物珐质切片观察发现，珐质细胞的生长与个体食物摄取、所处环境的气候有关：当外界气候较为温暖、食物资源较为充裕时，珐质细胞生长速度较快并且分布密集；反之，若气候较为干冷、营养物质匮乏时，珐质细胞生长速度减缓同时分布稀疏<sup>[12]</sup>。第二，胶原纤维方向发生改变（图3）。珐质胶原纤维包括两种类型：一种为外源性纤维（Sharpey's fibre），纤维方向一般与牙根表面垂直；另一种为内源性纤维（intrinsic fibre），纤维方向通常与牙根表面平行<sup>[13]</sup>。Lieberman 对山羊的控制性饮食实验证明，这两种胶原纤维方向变化与季节性饮食相关，如动物咀嚼不同季节食物的频率和咀嚼时产生的张力会对珐质沉积产生不同压力，从而改变胶原纤维方向<sup>[13]</sup>。第三，珐质的矿化速率。Lieberman 的实验同样证明动物在不同季节的饮食状况会导致其营养获取出现差异，进而影响珐质的矿化速率<sup>[13]</sup>。

### 2.3 珐质影响因素

#### 2.3.1 不同部位珐质构成不同

珐质可分为无细胞珐质(acellular cementum)和有细胞珐质(cellular cementum)(图1)。无细胞珐质较薄，主要由外源性纤维组成，常分布在牙根的近牙颈部；有细胞珐质稍厚，内含珐质细胞，分布在牙根之间的连接部位以及牙颈部以下。其中，无细胞珐质的沉积更加稳定并具有持续性，所以学者们更倾向于对无细胞珐质进行切片观察<sup>[13]</sup>。但是也有特例，如通过对马的研究发现，无细胞珐质与有细胞珐质的沉积差异并不明显<sup>[12]</sup>。

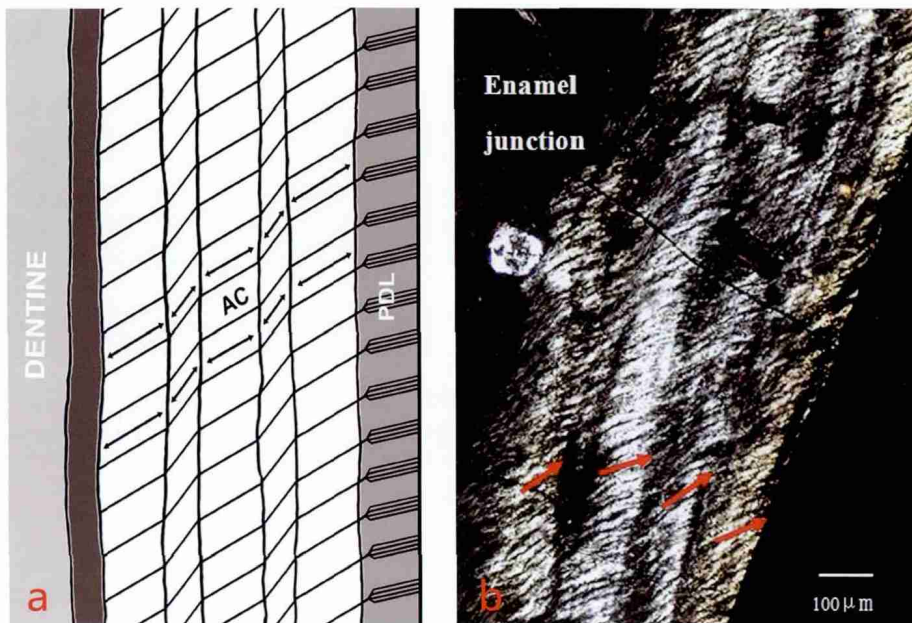


图3 牙齿珐质中胶原纤维方向示意图

Fig. 3 The angle of collagen fibre of the cementum

(图 a 为示意图<sup>[2]</sup>，图 b 为许家窑遗址出土普氏野马的珐质切片图，箭头代表胶原纤维方向)

Dentine —— 牙本质；AC —— 无细胞珐质层；PDL —— 牙周膜；Enamel junction 釉、珐质交界

### 2.3.2 牙齿垩质存在性别差异

以海生动物为例，雌性海象牙齿垩质沉积较雄性更具规律性<sup>[21]</sup>。这种现象在部分有蹄类动物中同样存在，对南非开普敦跳羚的研究发现，雌性跳羚的垩质年轮与季节的对应关系较雄性跳羚更加密切。Lam 认为出现这种现象源于跳羚的两性之间对饮食的需求不同所致<sup>[22]</sup>，因此对性别间饮食差异较大的动物研究最好建立在与其系统分类位置接近的不同性别动物的垩质观察基础之上，才能缩小结果的误差<sup>[23]</sup>。

### 2.3.3 不规律的垩质生长条带

即使是同一属种的动物，在不同气候的生存环境下也会产生不同的生长条带<sup>[24, 25]</sup>，例如，Levant 地区的降水集中于寒冷的冬季，对该地区生活的瞪羚研究发现，本应在夏、秋季形成的垩质条带在这里却形成于冬季<sup>[13]</sup>，因此垩质年轮分析同样还应该建立在与动物相关的气候环境研究基础之上。

## 3 垩质年轮法实验步骤

### 3.1 样品选择

在挑选研究样品时，可以优先挑选季节性饮食差异大的动物。由于其在不同季节摄取的食物在营养、硬度等方面存在明显差异，导致形成于不同季节的垩质年轮更易于被辨别<sup>[13]</sup>。此外，不同解剖部位的牙齿，其垩质沉积状况不同。一般白齿的垩质沉积较门齿更具有规律性，形成的垩质年轮也更为清楚<sup>[26]</sup>。

### 3.2 切片制作

Lieberman 及其团队发现牙根的近牙颈处垩质沉积的切片效果较好，同时，无细胞垩质层也主要分布于此，所以这里是最佳的取样位置。这一观察也得到了多位学者的认同<sup>[13, 15, 19, 27]</sup>。从截取切片的方向来看，学者多选择平行于齿槽的纵切面<sup>[28]</sup>，但也有学者对横切面进行切片也得到了理想的效果<sup>[26]</sup>，所以截取样品的切面方向可以根据所研究动物的牙齿结构来确定。

对现生动物的垩质进行切片实验时，首先要对其垩质进行脱钙处理，其次使用苏木素对切片染色，才能观察到较为清楚的垩质年轮。考古遗址出土动物的切片制作程序则有所不同，一般不对其进行脱钙、染色的程序<sup>[5]</sup>。具体操作步骤如下：

1) 通过超声波清洗样本表面的浮土。

2) 将牙齿置于包埋盒内，倒入液体状的聚酯树脂，抽 6 小时真空后放入光固化仪，照射蓝光、黄光各 6 小时。

通过微距切片机将牙齿修至大小合适，P320-800 砂纸磨平切面。P2500-4000 砂纸抛光后，再次通过微距切片机将薄片切至 200-400 微米。

通过数控硬组织连续磨片机及砂纸 P500 磨片成 40-100 微米，P2500-4000 砂纸抛光。去离子水冲洗切面，晾干，聚酯树脂封片<sup>[29]</sup>。

### 3.3 通过偏光显微镜观察

在偏光显微镜下观察牙齿珐质年轮时，放大倍数一般控制在 50 倍到 200 倍之间。值得注意的是，胶原纤维具有双折射的特性，每条珐质年轮条带会在偏光显微镜进行旋转过程中，分别出现两次亮色及暗色。因此，全部样本的观察应该在固定的观察角度下进行，才能得到准确的结果<sup>[30]</sup>。

### 3.4 通过扫描电镜 (SEM) 观察

#### 3.4.1 牙齿珐质细胞的分布

以现生普通马牙 P<sub>2</sub> 珐质切片为例，将样品放大至 125 倍可以清楚地观察到牙齿珐质细胞生长情况，将样品放大至 580 倍，则可以观察到生长层与间歇层分界线的情况<sup>[31]</sup>。

#### 3.4.2 胶原纤维生长情况<sup>[13]</sup>

1) 营养摄入与胶原纤维的变化 Lieberman 连续 12 个月对山羊进行控制性喂食实验，并在其中的 4 个月内减少营养物质的投入量。从扫描电镜图像中可以看到，胶原纤维的生长方向总体基本保持一致 (图 4 左)，但在营养摄入量减少的 4 个月中，部分胶原纤维的方向发生偏转 (图 4 右)。

2) 食物硬度与胶原纤维方向的变化 Lieberman 将对两只山羊 12 个月的食物喂养期分为 3 个阶段，一只山羊在 3 个阶段内全部食用较坚硬的食物，而另一只山羊在 1、3 阶段食用坚硬食物，2 阶段食用较软食物。从电镜扫描图像中可以明显观察到，一直食用坚硬食物的山羊其珐质胶原纤维一直保持统一方向，而在第 2 个阶段食用较软食物的山羊其胶原纤维方向在此阶段发生偏移<sup>[13]</sup>。

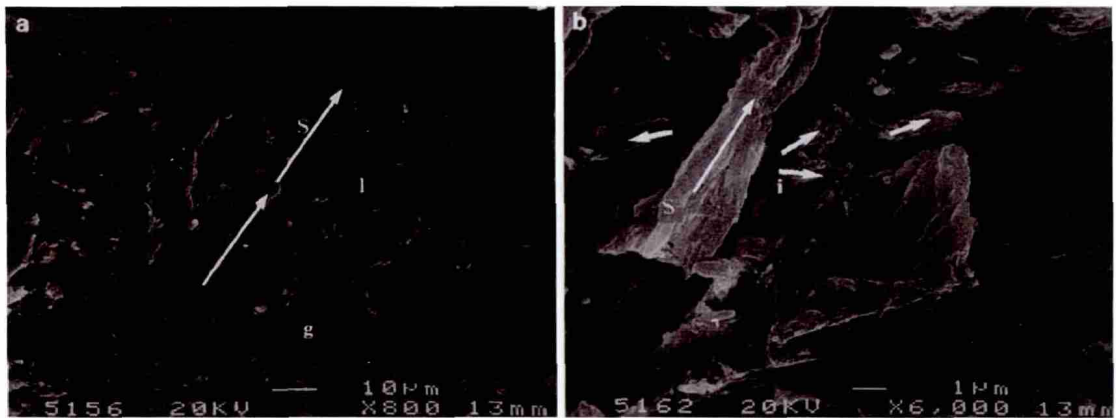


图 4 ×800 (左) ×6000 (右) 牙齿珐质三维微观结构电镜扫描图像<sup>[13]</sup>

Fig.4 The three dimensional microstructure of the cementum viewed under SEM<sup>[13]</sup>

S---Sharpey' fibre; g--- 牙本质和牙齿珐质连接部位; l-- 减少营养摄入的四个月内胶原纤维矿化情况; i-- 内源性纤维

## 4 珐质年轮法的应用实例

Laws 最早观察到海狮牙齿的珐质季节性沉积特性，于是，他通过计算珐质年轮的数量来估算海狮的死亡年龄，并通过观察最外层珐质年轮来推断其死亡季节<sup>[32,33]</sup>。认识到该方法的潜力之后，Higham 于 1968 年率先将珐质年轮分析法运用于考古遗址出土的动物

化石研究之中。他选取现生的绵羊牙齿与铁器时代的绵羊牙齿进行对比，推断铁器时代的绵羊死亡于夏季<sup>[34]</sup>。而直至 1975 年 Movius 成功地在法国旧石器时代晚期（距今 20,000-35,000）考古遗址的驯鹿牙齿中，观察到了清楚的垩质生长年轮<sup>[35]</sup>，才将该方法引入旧石器时代考古遗址的研究中。

Kay 对美国 Mellor (Missouri) 遗址中白尾鹿的垩质切片研究是该方法在考古研究运用中的重要突破。他借鉴了地质学家制作脆弱岩石切片的方法来制作化石切片，而非简单照搬现生动物切片制作方法。新的垩质切片制作法不但能够使垩质年轮更清楚地呈现，同时还能通过该法进一步地分辨埋藏作用形成的假生长年轮<sup>[36]</sup>。在此之后，Spiess 于 1979 年综合评价了该方法的理论体系及其在考古学的运用，认为该方法完全适用于旧石器时代考古遗址的研究，这才真正掀起垩质年轮法在旧石器考古遗址中的应用热潮<sup>[37]</sup>。

以牛科动物为例，Lam 通过对比旧石器时代中晚期 South African Cape 遗址中跳羚的垩质和当地已知死亡季节的跳羚发现，该地每年三个雨季的气候特征在两种跳羚的垩质年轮中都能找到对应，Lam 据此研究旧石器时代中晚期季节对于捕食策略的影响<sup>[22]</sup>。近东地区是研究定居起源比较重要的地区之一，Jones 等学者通过对瞪羚垩质年轮的观察来推断其死亡年龄和季节，从而研究新旧石器时代之交古人类在近东地区 Azrap 盆地的季节性流动模式，进而探索 Natufian 产生永久定居模式的原因及其发展过程<sup>[11]</sup>。

关于鹿科动物的研究则更加丰富。Arthur Spiess 在研究法国旧石器时代晚期 Abri Pataud 遗址的驯鹿时，通过对垩质年轮的观察，证实了这些动物被猎杀于十月到次年的三月之间<sup>[38]</sup>。Koike 和 Ohtaishi 则旨在通过该方法来研究日本绳纹时代 (Jomon-period) 早期至晚期的遗址所出土的梅花鹿死亡年龄，进而去评估更新世晚期至全新世初期人口数量增长导致猎取梅花鹿频率激增的课题<sup>[39]</sup>。Gordon 在 1988 年利用法国和比利时马格德林时期 (Magdalenian) 遗址中得来的牙齿垩质信息，对如下假说予以评估，即晚冰期人口密度和文化复杂性程度的上升与高度专业化的捕猎经济的出现密不可分<sup>[40]</sup>。此外，Pike-Tay 及其团队运用此法对 El Castillo 丰富的马鹿遗存进行死亡年龄研究时发现，动物的死亡率曲线符合壮年居优模式，从其死亡季节的研究中观察到古人类对于该地区的运用有一个明显的动态变化过程：在旧石器时代中期晚段，捕猎活动贯穿于全年，至奥瑞纳时期 (Aurignacian) 早段，捕猎活动集中于冬季，在奥瑞纳时期中后段则集中于春季，这表现了人们对于该地点从多季节利用到仅利用春季的使用策略，初步证实了生活在 Cantabria 地区古人类的捕猎活动在旧石器时代中期至晚期具有连续性和多样化特征<sup>[41]</sup>。

Burke 和 Castanet 对马科动物进行过较为深入的研究。她们运用偏光显微镜、扫描电镜、x 射线显微照相术等多种手段，对来自法国西南部末次盛冰期 (18000~14000BP) 12 个遗址的 104 颗马类牙齿标本做了垩质的组织切片观察。结果显示，这些马类动物分别死于不同的季节，从而证明了一些曾被推断为单一季节使用的地点并不符合事实<sup>[12]</sup>。

## 5 存在的问题及展望

垩质年轮法对于研究样品的破坏性一直是其在考古遗址研究中难以得到广泛应用的重要因素，如以 Bruce J. Bourque 为代表的多位学者曾经就此表示了担忧<sup>[42]</sup>。虽然可以在

制作丕质切片之前先行保存足够的标本信息,如测量数据、照片等<sup>[13]</sup>,甚至有学者直接为样本制作了模型<sup>[12]</sup>,但是都不可避免地对本标本造成了一定程度的破坏。此外,制作组织切片需要一整套较完备的硬组织切片设备,才能将误差控制到最小,并且其制作过程相对较复杂,最好有专业的人员进行操作才能保证结果的准确性<sup>[13]</sup>。

对于旧石器时代遗址出土的动物化石而言,由于埋藏过程的影响,一般能够完整保存下来的标本数量相对较少。以许家窑动物群为例:在遗址出土的近 4000 多颗马类牙齿标本中,齿根、齿冠都完好保存完好的还不足 1000 件,其他绝大多数标本都较为残破。通常情况下,这些破碎的牙齿化石在传统形态观察、种属鉴定、年龄统计以及遗址古环境恢复方面的价值较为有限,因此难以在遗址动物群的研究成果中得到体现;而丕质年轮法的重要价值即在于:它不但能够针对旧石器遗址中出土的完整游离齿进行分析,更为重要的是,仅仅选择遗址中分布更为广泛且往往都被学者们所忽视的破碎动物牙齿,就有可能得出遗址中某一动物属种死亡年龄与季节方面的科学信息,而不需要破坏保存完好的样本。至于切片的制作问题,目前国内许多医学院、研究所的实验室都已具备了制作硬组织切片的能力,并且制作成本也随着技术的进步而不断降低。因此,这一问题也不足以成为国内运用丕质年轮法研究的障碍。

此外,化学成岩作用对于丕质年轮的破坏,成为学者们质疑该方法准确性的焦点所在。这是因为,丕质同其它骨组织一样,其化学成分与结构在长期埋藏中会发生改变,如有机质胶原的流失会促进磷灰石的再结晶,从而形成假生长年轮等。近年来,经 Stutz 等学者研究发现,使用偏光显微镜观察丕质切片时,只要增加 $\lambda$ 补偿板,并且同时结合体视显微镜、扫描显微镜等多种观察手段,就可以分辨出成岩作用形成的假年轮,从而最大限度保证结果的准确性<sup>[2, 30, 43]</sup>。

我国已经发现的旧石器时代遗址数以千计,大多数遗址中都出土了丰富的动物化石材料,其中,以残破的游离齿数量最为可观。若能通过丕质年轮法从这些残碎牙齿中提取到遗址动物群的死亡年龄与季节信息,无疑能够丰富我们对旧石器时代考古遗址的性质以及古人类生存适应能力等方面的认知。丕质年轮法已经被成功应用于非洲、欧洲、美洲等区域的旧石器时代考古研究中,大量的研究成果充分证明了其在考古研究中的重要价值<sup>[2, 5, 11, 12, 42-45]</sup>,但这一方法在国内旧石器考古遗址中的应用尚属空白。目前在许家窑遗址马类化石的丕质切片实验中,我们已经能够观察到比较清楚的丕质生长年轮,初步显示了这一方法在我国旧石器时代考古学研究中的重大潜力。相信随着今后国内学者对于丕质年轮法认知程度的不断提高与深化,该方法一定能够成为我们提取考古遗址出土动物死亡年龄与季节信息的重要工具。

**致谢:**在本文撰写过程中,作者曾就有关问题与张乐博士、张晓凌博士、仪明洁博士等进行过有益的讨论,审稿人对本文的修改也提出了宝贵建议,在此一并感谢!

## 参考文献

- [1] O'Brien CJ. Determining Seasonality and Age in East African Archaeological Faunas: An Ethnoarchaeological Application of Cementum Increment Analysis[D]. Madison: University of Wisconsin-Madison, 1994.
- [2] Stutz AJ. Pursuing Past Seasons: A Re-evaluation of Cementum Increment Analysis in Paleolithic Archaeology[D]. Michigan:



- University of Michigan, 2002.
- [3] Monks GG. Seasonality studies[J]. *Advances in Archaeological Method and Theory*, 1981,4: 177-240.
- [4] 张双权. 河南许昌灵井动物群的埋藏学研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2009.
- [5] Hillson S. *Teeth*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [6] Klein RG. Age (mortality) profiles as a means of distinguishing hunted species from scavenged ones in Stone Age archeological sites[J]. *Paleobiology*, 1982,8: 151-158.
- [7] Klein RG. *The Analysis of Animal Bones from Archeological Sites*[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1984.
- [8] 邓涛. 中国的真马化石及其生活环境 [D]. 西安: 西北大学, 1997.
- [9] Pike-Tay A. Variability and synchrony of seasonal indicators in dental cementum microstructure of the Kaminiriak caribou population[J]. *Archaeofauna: International Journal of archaeozoology*, 1995, 4: 273-284.
- [10] Spiess A. Deer tooth sectioning, eruption, and seasonality of deer hunting in prehistoric Maine[J]. *Man in the Northeast*, 1990, 39: 29-44.
- [11] Jones JR. Using gazelle dental cementum studies to explore seasonality and mobility patterns of the Early-Middle Epipalaeolithic Azraq Basin, Jordan[J]. *Quaternary International*, 2012, 252: 195-201.
- [12] Burke A, Castanet J. Histological observations of cementum growth in horse teeth and their application to archaeology[J]. *Journal of Archaeological Science*, 1995, 22: 479-493.
- [13] Lieberman DE. The biological basis for seasonal increments in dental cementum and their application to archaeological research[J]. *Journal of Archaeological Science*, 1994, 21: 525-525.
- [14] Klevezal GA. *Recording Structures of Mammals: Determination of Age and Reconstruction of Life History*[M]. Rotterdam: AA Balkema Publishers, 1996.
- [15] Lieberman DE. Life history variables preserved in dental cementum microstructure[J]. *Science*, 1993,261:1162-1164.
- [16] Klevezal GA, Kleinenberg SE. *Age Determination of Mammals from Snnual Layers in Teeth and Bones*[M]. Vol.69. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations 1969.
- [17] Sergeant DE, Pimlott DH. Age determination in moose from sectioned incisor teeth[J]. *The Journal of Wildlife Management*, 1959, 23: 315-321.
- [18] Keiss RE. Comparison of eruption-wear patterns and cementum annuli as age criteria in elk[J]. *The Journal of Wildlife Management*, 1969, 33: 175-180.
- [19] Lieberman DE, Meadow RH. The biology of cementum increments (with an archaeological application)[J]. *Mammal review*, 1992,22:57-77.
- [20] Landon DB. Testing a seasonal slaughter model for colonial New England using tooth cementum increment analysis[J]. *Journal of Archaeological Science*, 1993,20:439-455.
- [21] Klevezal GA, Stewart BS. Patterns and calibration of layering in tooth cementum of female northern elephant seals, *Mirounga angustirostris*[J]. *Journal of Mammalogy*, 1994, 75: 483-487.
- [22] Lam Y. Variability in cementum deposition in springbok from the South African Cape[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2008, 35: 1062-1073.
- [23] Morris P. A review of mammalian age determination methods[J]. *Mammal Review*, 1972, 2: 69-104.
- [24] Klevezal G. A retrospective evaluation of the individual features of mammal growth based on the structure of dentine and bone layers[J]. *Ontogenes*, 1970, 1: 362-372.
- [25] Castanet J. *Recherches sur la Croissance du Tissu Osseux des Reptiles*[D]. Paris: Paris 7 University, 1982.
- [26] Wolfe ML. Age determination in moose from cemental layers of molar teeth[J]. *The Journal of Wildlife Management*, 1969, 33: 428-431.
- [27] Lieberman DE, Deacon TW, Meadow RH. Computer image enhancement and analysis of cementum increments as applied to teeth of *Gazella gazella*[J]. *Journal of Archaeological Science*, 1990, 17: 519-533.
- [28] Miller FL. Age determination of caribou by annulations in dental cementum[J]. *The Journal of Wildlife Management*, 1974, 38: 47-53
- [29] 胡荣, 赵凌霄, 吴新智. 华南化石猩猩牙齿的芮氏线生长周期 [J]. *科学通报*, 2012,57: 448-452.
- [30] Stutz AJ. Polarizing microscopy identification of chemical diagenesis in archaeological cementum[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2002, 29: 1327-1347.
- [31] Burke AM. Observation of incremental growth structures in dental cementum using the scanning electron microscope[J]. *Archaeozoologia*, 1993, 5: 41-54.
- [32] Laws RM. *A New Method of Age Determination in Mammals with Special Reference to the Elephant Seal (Mirounga leonina, Linn) [M]*. Norwich: Her Majesty's Stationery Office, 1953.

- [33] Laws RM. A new method of age determination for mammals[J]. *Nature*, 1952, 169: 972-973.
- [34] Saxon A, Higham CFW. Identification and interpretation of growth rings in the secondary dental cementum of *Ovis aries* L[J]. *Nature*, 1968, 219: 634-635.
- [35] Movius Jr HL. Excavation of the Abri Pataud, Les Eyzies (Dordogne): Stratigraphy[M]. Cambridge: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, 1977.
- [36] Kay M. Dental annuli age determination on white-tailed deer from archaeological sites[J]. *The Plains Anthropologist*, 1974:224-227
- [37] Spiess AE. Reindeer and Caribou Hunters: An Archaeological Study[M]. New York: Academic Press 1979.
- [38] Spiess A. Determining season of death of archaeological fauna by analysis of teeth[J]. *Arctic*, 1976, 29: 53-55.
- [39] Koike H, Ohtaishi N. Prehistoric hunting pressure estimated by the age composition of excavated sika deer (*Cervus Nippon*) using the annual layer of tooth cement[J]. *Journal of Archaeological Science*, 1985, 12: 443-456.
- [40] Gordon BC. Of Men and Reindeer Herds in French Magdalenian Prehistory[M]. Oxford: British Archaeological Reports, 1988.
- [41] Pike-Tay A, Cabrera Valdés V, Bernaldo de Quirós F. Seasonal variations of the Middle–Upper Paleolithic transition at El Castillo, Cueva Morin and El Pendo (Cantabria, Spain)[J]. *Journal of Human Evolution*, 1999, 36: 283-317.
- [42] Bourque BJ, Morris K, Spiess A. Cementum annuli in mammal teeth from archeological sites[J]. *Science*, 1978, 202: 542.
- [43] Stutz A, Lieberman D. Cementum increment analysis of Ungulate teeth from the Kebara cave faunal assemblages: discriminating seasonal signals from their diagenetic mimics[A]. In: Bar-Yosef O, Meignen L, eds. Kebara Cave, Mont Carmel, Israel. The Middle and Upper Paleolithic Archaeology. Part I [C]. Cambridge: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University, 2007, 261-278.
- [44] Bourque BJ, Morris K, Spiess A. Determining the season of death of mammal teeth from archeological sites: A new sectioning technique[J]. *Science*, 1978, 199: 530-531.
- [45] Chritz KL, Dyke GJ, Zazzo A, et al. Palaeobiology of an extinct Ice Age mammal: Stable isotope and cementum analysis of giant deer teeth[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2009, 282: 133-144.

## Determining Age and Seasonality in Paleolithic Faunal Remains by Cementum Increment Analysis

LI Jingshu<sup>1,2</sup>, ZHANG Shuangquan<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

**Abstract:** Age-at-death distributions, or mortality profiles from Paleolithic archaeological faunal assemblages, are important for reconstructing critical aspects of ancient behaviours such as hunting strategies and the use of resources. Seasonality, as well, provides a powerful tool in studying the residential mobility, foraging activity, dispersion and aggregation of populations of ancient people. The study of numerous thin sections of dental cementum has shown that the growth structures observed in recent mineralized tissues are in correspondence with homologous structures observed in fossil specimens of the same species and thus can be used to analyze animal fossils from archaeological sites. Considering the potential importance of the method for archaeological research in general, this article presents the theory and methodology of cementum increment analysis and describes some applications in Paleolithic archaeological studies. Furthermore, attention is given to the method's future application at Paleolithic archaeological sites in China.

**Key words:** Cementum increment; Age-at-death; Seasonality; Paleolithic