



稳定同位素技术在个体溯源中的应用*

秦 皓^{1,2)} 于子洋^{1,2)} 黄 阳^{1,2)} 胡 灿²⁾ 朱晓晗^{1,2)} 解伟亚^{1,2)} 郭洪玲²⁾
王 萍²⁾ 李亚军²⁾ 郑继利²⁾ 朱 军^{2)**} 梅宏成^{2)**}⁽¹⁾ 中国人民公安大学侦查学院, 北京 100038; ⁽²⁾ 公安部物证鉴定中心, 北京 100038)

摘要 个体身份确认是自然灾害、空难、爆炸、火灾、交通事故等事(案)件处置中的一项重要工作。利用稳定同位素分布的地域差异性对个体进行溯源, 可以为个体身份确认提供重要信息。本文简要介绍了稳定同位素技术原理, 系统阐述了用于个体溯源的元素类型和不同人体组织中稳定同位素蕴含的特征信息, 并对该技术在个体溯源中的应用现状、存在问题以及未来发展进行了分析和展望。

关键词 稳定同位素, 法庭科学, 个体溯源

中图分类号 R89, Q989

DOI: 10.16476/j.pibb.2022.0462

个体身份确认是自然灾害、空难、爆炸、火灾、交通事故等事(案)件处置中的一项重要工作。随着社会的发展和技术的进步, 中国在预防和应对此类事(案)件方面的能力越来越强。指纹识别、DNA检测、牙齿印痕比对等技术在个体身份的确认中发挥了重要作用^[1]。这些技术具有准确的识别能力, 但它们都依赖与已知的个体数据进行比较, 当无法获取死者生前的指纹、DNA等数据时, 上述方法也难以识别个体身份^[2], 这往往会使事(案)件处置陷入困境。因此, 引入新的分析检验技术对个体进行溯源和身份确认, 成为法庭科学领域的重要研究方向之一。

稳定同位素技术基于稳定同位素分布的地域差异性在物质溯源方面具有广泛的应用。目前该技术已在农产品溯源、食品科学、动植物生态学、考古学、环境科学等诸多领域中开展了大量的应用研究^[3-7]。吕军等^[8]利用多种稳定同位素对中国牛肉进行产地溯源研究, 结果表明, 从山东省、内蒙古自治区和山西省采集的牛肉样品 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值都有显著的差异, 利用这些比值可对牛肉产地来源进行追溯, 且可利用 $\delta^{13}\text{C}$ 值推断各地牛饲料

中的主要成分。吴浩等^[9]对不同产地(中国、法罗群岛、挪威、智利、加拿大以及澳大利亚)三文鱼的肌肉、表皮、鳞片以及骨骼中的碳、氮、氢、氧、硫稳定同位素比值进行分析, 结果表明, 采用稳定同位素能完全将以上产地的样品区分开, 且还能将中国的虹鳟与进口的三文鱼进行区分。在考古领域, 人骨稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 分析是古人类食物状况研究的主要方法, $\delta^{13}\text{C}$ 可以显示人的主食状况, $\delta^{15}\text{N}$ 则反映其食肉程度的多少, 两者相结合可以大致区分出人骨样品来自一般农业区、牧区, 还是临近河海的地区^[10]。将稳定同位素技术应用于法庭科学领域的研究也越来越多^[11-12]。通过对多种身体组织(如头发、指甲、牙齿和骨骼)中的多种元素(C、N、O、H、S)进行稳定同位素分析,

* 公安部物证鉴定中心基科费发展支撑类项目(2018JB002), 国家重点研发计划(2017YFC0803803)和公安部技术研究计划(2016JSYJB10)资助。

** 通讯联系人。

朱军 Tel: 010-66269505, E-mail: zhujun001cn@126.com

梅宏成 Tel: 010-83752662, E-mail: meihongcheng@163.com

收稿日期: 2022-09-26, 接受日期: 2022-11-16

可以对个体进行溯源, 推断其出生地、生活移动轨迹、长期居住地以及饮食习惯等^[13-14], 为确认其身份提供重要的线索。

为了促进稳定同位素技术在个体溯源领域的应用, 本文简要介绍了稳定同位素技术原理, 对用于个体溯源的元素和不同人体组织中稳定同位素蕴含的信息特征进行了综述分析, 并对该技术在个体溯源中的研究应用现状、存在问题以及未来发展方向进行了总结展望。

1 稳定同位素技术的基本原理

1.1 稳定同位素

同位素是指原子序数(质子数)相同但质量数(中子数)不同的同一类元素, 几乎所有天然元素都以同位素形式存在。根据性质不同, 同位素分为稳定同位素和放射性同位素, 前者是指物理性质相对较稳定, 没有放射性和辐射效应的一类同位素, 而能够自发地放出粒子并可以衰变为另一种同位素的一类同位素被称为放射性同位素, 例如¹²C和¹³C为C的稳定同位素, 而¹⁴C为C的放射性同位素。同一元素的不同同位素质量不同, 物理和化学性质也存在差异, 其丰度在各种物理、化学和生物代谢过程中常会发生改变。稳定同位素在不同化合物或不同物质间分布不同, 在环境分布上具有差异性。由于重同位素的自然丰度一般都很低, 进行同位素分析一般不直接测定其绝对丰度, 而是测定它们的相对丰度或同位素比率*R* (isotope ration), 即某一元素的重同位素原子丰度与轻同位素原子丰度之比, 例如²H/¹H、¹³C/¹²C。在实际研究中, 为便于比较不同来源同一物质稳定同位素组成的细微差异, 稳定同位素比值常用千分偏差值(δ 值)来表示, 其计算公式如下^[15]:

$$\delta = \left\{ \frac{\left[\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} \right] - 1}{\left[\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} \right]} \right\} \times 1000\text{‰}$$

其含义为样品中重、轻两种同位素比值相对于某一标准物质对应比值的相对千分差。 δ 值的大小基于标准物质确定, 国际原子能组织(IAEA)和美国国家标准局(NBS)颁布了国际通用的同位素标准物质^[15]。H、C、N、O、S稳定同位素的国际标准物质分别为标准平均大洋海水(SMOW)、美国南卡罗来纳州白垩纪皮狄组层位中的拟箭石化石

(PDB)、大气氮气(N₂-atm)、标准平均大洋海水(SMOW)、铁陨石中的陨硫铁(CDT)。

1.2 稳定同位素分析的方法与原理

稳定同位素研究中常用的测定方法有激光同位素分析法和稳定同位素比质谱法。激光同位素分析法基于连续波长的红外波谱被待测样品吸收之后的红外吸收光谱特征来定量样品含量和同位素组成^[16]。根据原理差异, 主流的激光同位素分析可分为两种: 由LGR公司研发的离轴积分腔输出光谱(OA-ICOS)和Picarro公司研发的波长扫描光腔衰荡光谱(WS-CRDS)^[17]。OA-ICOS技术基于高分辨率激光吸收光谱, 将激光射入装有目标气体的光腔中, 使其在谐振腔两端反射镜中反复震荡并多次穿过样品, 光与样品充分作用后可根据待测样品的吸收光谱测量其浓度, 进而精确计算同位素含量^[17-18]。WS-CRDS技术将激光二极管发射出的单频光束射入含有三面高反射率镜子的腔室进行连续反射, 光电感应达到某一阈值时关闭连续激光, 光强度会随时间呈指数衰减直至为零, 通过样品吸收的衰荡时差计算待测样品的分子浓度和同位素比值^[17, 19-20]。稳定同位素比质谱法则将待测样品中C、N、O、H、S等元素转换成气体进行不同稳定同位素比率测定, 根据用途和样品状态不同可与元素分析仪(EA)、气相色谱(GC)、液相色谱(LC)等仪器联用^[21]。

激光同位素分析法多适用于气态、液态样品同位素的测定, 在生态学、环境学、地质学等领域有广泛的应用^[16-17, 19]。法庭科学领域中用于个体溯源的样本多为固体(头发、指甲、骨骼、牙齿等), 因此一般使用元素分析-稳定同位素比质谱仪(EA-IRMS)进行分析。EA-IRMS由3部分构成, 元素分析仪(EA)、连续流接口装置(Conflo)、稳定同位素比质谱仪(IRMS)(图1)。分析样品时, 经前处理后的样品首先进入元素分析仪, 通过高温裂解(H、O)或燃烧(C、N、S)将样品中的H、O、C、N和S元素分别转化为H₂、CO、CO₂、N₂和SO₂, 然后经气相色谱柱分离后通过Conflo接口导入稳定同位素比质谱仪, 同时引入高纯度H₂、CO、CO₂、N₂和SO₂作为参考气, 重、轻稳定同位素质荷比不同, 在磁场中飞行轨道不同, 从而被不同的法拉第杯收集, 形成原始检测信号和数据^[21-22]。

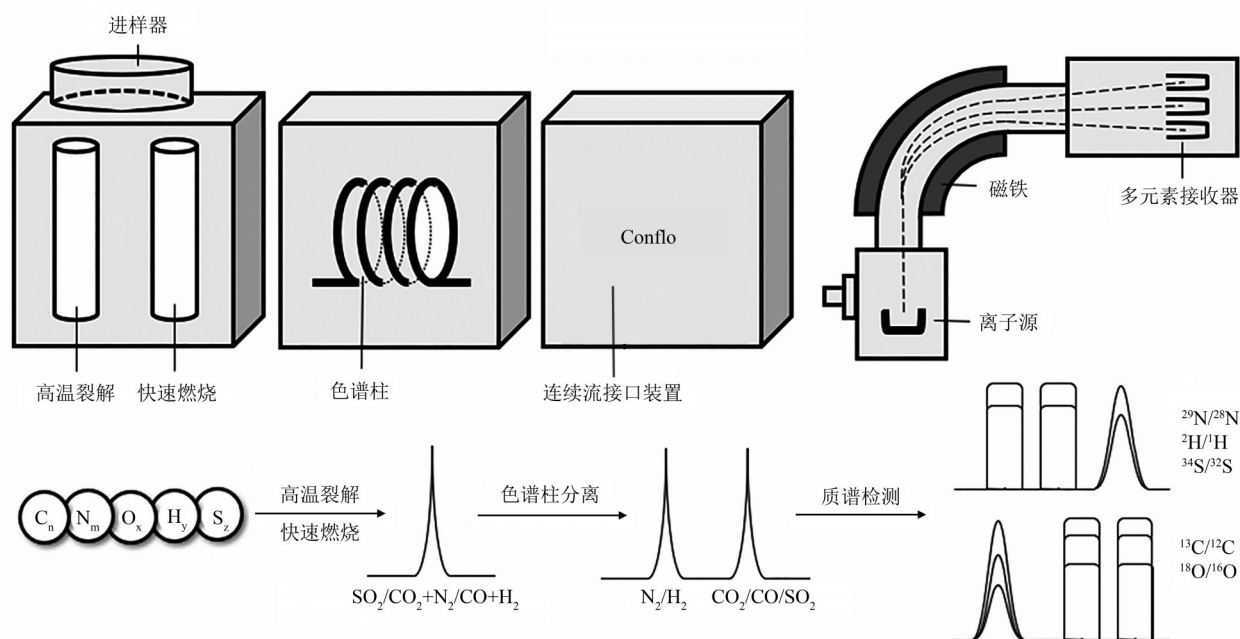
Fig. 1 Schematic diagram of EA-IRMS^[23]

图1 EA-IRMS原理示意图

2 个体溯源中常用的稳定同位素

人体组织中稳定同位素组成与其生长过程中个体摄入的食物以及饮用水的同位素组成密切相关^[24]。研究表明,动植物体和水的稳定同位素组成具有地域特征性,生活在不同地区人们的农业习俗和文化饮食习惯差异可以通过饮食、饮水等体现在人体组织(如头发、指甲、骨骼和牙齿)的稳定同位素组成中^[25]。因此,人体组织中蕴含了一个人的生活史信息,包括旅居信息和饮食信息,通过稳定同位素分析能提供有关身份不明死者的生活地区和移动轨迹信息,进而对个体进行溯源。法庭科学领域对于人体组织稳定同位素的研究和分析主要集中在5个非金属元素及其稳定同位素上(H、C、N、O和S),即“生物元素”,这5种元素构成了生物体的大部分组织^[26]。

2.1 H、O稳定同位素

人体组织中H和O元素的主要来源是水,一般通过饮用水、饮料直接摄入或食用水果、蔬菜等食物间接摄入。在水循环过程中,H、O元素具有相似的分馏过程,H的稳定同位素有¹H和²H两种,而O元素有¹⁶O、¹⁷O和¹⁸O三种稳定同位素,¹H、²H分别与¹⁶O、¹⁷O、¹⁸O组合形成同位素组成不同的水分子,由于组成不同、质量不同,其在蒸发和

冷凝过程中的分馏特征也有所不同。在海水蒸发形成云层的过程中,由较重同位素组成的水分子更容易以液体形式存在,而由较轻同位素组成的水分子更倾向于以气体的形式存在,因此在降雨过程中含有较重同位素的水分子更容易形成雨滴降落,随着云层中较重同位素比例的减少,降水中的 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值会越来越低,水的 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值显现出由沿海至内陆逐渐降低的特征^[27-28]。除此以外,随着维度、海拔的升高以及温度的降低,水的 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值都会有不同程度的下降^[15]。多种效应的影响使得不同地区水中氢、氧稳定同位素比值存在显著的差异,此特征可作为个体溯源的基础。虽然气候、环境相似地区的氢、氧稳定同位素组成差异较小,但稳定同位素分析仍可为调查人员提供有效线索来排除大部分其他区域^[22]。

2.2 C、N、S稳定同位素

食物是人体C、N和S元素的主要来源,因此将这几种元素称为“饮食元素”,不同地区种植的农作物类型及当地居民饮食偏好和习惯不同,人体组织中的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{34}\text{S}$ 值在一定程度上可以反映出个体的地理位置信息^[29]。

碳元素的丰度变化主要和植物光合作用途径有关,尽管所有植物都是以大气中 CO_2 作为碳源,但不同植物对¹³C的识别和排出能力不同,会产生不

同的分馏效应。单子叶植物 (C4 植物), 例如甘蔗、玉米、高粱、热带植物和海洋植物等进行 Hatch-Slack 光合循环, 这类植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值通常在 -15‰ 到 -7‰ ; 而双子叶植物 (C3 植物), 例如小麦、水稻、大豆、马铃薯等植物则采用 Calvin-Benson 光合循环, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围通常在 -35‰ 至 -20‰ ; CAM 植物为具景天酸代谢途径的植物, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值处于 C3 和 C4 植物之间, 但该类植物在人类食物中并不常见^[30-31]。人体组织中碳稳定同位素的变化主要与个体饮食中植物类型 (C3 植物或 C4 植物) 的占比有关, 饮食中含有大量 C4 植物的个体, 无论是直接摄入还是通过食用以 C4 植物为饲料的动物间接摄入, 其组织稳定同位素组成都与以 C3 植物为食物的个体显著不同^[32]。此外, 海洋生物 ^{13}C 含量较陆地更为丰富, 大量食用海洋生物会使组织中 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高, 如因纽特人主要依靠捕捞海洋动物为生, 其组织会表现出更高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值^[33]。即使经济全球化导致世界范围内的饮食呈现均质化趋势, 但不同地区个体组织的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布仍存在地理差异^[29]。

氮稳定同位素组成主要与个体食用动物蛋白质的种类和数量有关。动物组织中 $\delta^{15}\text{N}$ 值又与物种、生活地区、食物来源等因素有关^[33]。动物在消化吸收食物时, ^{15}N 会在其体内富集, 通常从食物链中的一个营养级上升到另一个营养级时, $\delta^{15}\text{N}$ 值会增加约 3‰ ^[34], 而通常海洋中食物链更长, 因此海洋动物组织中 $\delta^{15}\text{N}$ 值往往高于陆地动物^[35]。不同地区居民的食物来源以及饮食习惯存在一定差异, 其身体组织中 $\delta^{15}\text{N}$ 值也会出现差异, 消耗较高等级

动物蛋白质的个体通常具有较高的 $\delta^{15}\text{N}$ 值^[36], 有研究发现经常食用海鲜的个体, 其组织中 $\delta^{15}\text{N}$ 值高于主要食用牛肉或主要食用素食的个体^[37]。在利用 $\delta^{15}\text{N}$ 值推断个体来源时, 可与 $\delta^{13}\text{C}$ 分析结果相结合, 以获取更多地理位置信息。

硫稳定同位素体现了饮食中与海洋密切相关的蛋白质来源^[38], 海洋生物 (如鱼类、贝类)、长期生活在沿海地区附近的动植物组织中 $\delta^{34}\text{S}$ 含量比内陆生物更高, 同时化工污染和人工施肥也会影响所生产农作物中 ^{34}S 的含量。直接食用海洋来源的食物或种植于海岸的农作物都会对人体组织中的 $\delta^{34}\text{S}$ 值产生显著影响, 食物中的蛋白质经消化系统分解为氨基酸进入人体组织时, 几乎不存在硫稳定同位素分馏, 据此可推断个体是否来源于沿海地区^[32, 39-40]。与碳、氮元素相比, 硫同位素丰度较低且影响因素较为复杂^[41], 因此该元素在个体溯源研究中应用较少。

3 不同组织的稳定同位素分析

头发和指甲的角蛋白以及骨骼的胶原蛋白是最常见的蛋白质组织, 而牙齿和骨骼中的羟基磷灰石则是最常见的生物矿物组织。人体组织中的蛋白质和生物矿物质通过记录饮用水和食物中的稳定同位素特征, 反映了个体相应生活历史的地理和饮食信息。根据时间尺度可将人体组织分为: a. 具有长期“记忆”的组织 (骨骼和牙齿); b. 具有较短“记忆”的组织 (头发和指甲)。表 1 列出了不同人体组织所记录信息的大致时间段。

Table 1 Approximate time period of information recorded by different human tissues^[11, 42]
表1 不同人体组织记录信息的大致时间段^[11, 42]

组织	成分	主要稳定同位素	记录信息的时间段
头发	α 角蛋白	^2H 、 ^{18}O 、 ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^{34}S	几天~几个月 (5 mm=0.5个月)
指甲	β 角蛋白	^2H 、 ^{18}O 、 ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^{34}S	几天~几个月 (3 mm=1个月)
牙齿	羟基磷灰石	^{18}O 、 ^{13}C 、 ^{15}N	婴幼儿期 (乳牙)
	胶原蛋白		5~16岁 (恒牙釉质)
			10~25岁 (恒牙本质)
肋骨	羟基磷灰石	^2H 、 ^{18}O 、 ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^{34}S	5~10年
股骨	胶原蛋白	^2H 、 ^{18}O 、 ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^{34}S	25~30年

3.1 长期“记忆”组织——骨骼和牙齿

骨骼和牙齿是死后存在时间最长的人体组织, 如果条件允许, 它们可以保持数百年甚至数千年原始状态^[43]。骨骼由胶原蛋白、非胶原蛋白以及羟

基磷灰石组成, 牙釉质的主要成分是羟基磷灰石, 对不同组分中“生物元素”的稳定同位素进行分析都可以为个体的溯源提供有效信息^[44-45]。不同组织稳定同位素比值分别记录了组织形成期间个体生活

的地域及饮食信息,骨骼提供了个体生命最后几年或几十年的居住和饮食记录,而牙齿中稳定同位素反映了个体婴儿和儿童时期的居住区域^[46]。

骨骼在个体整个生命周期中都会以不同速率重塑,且不同骨骼重塑率也不同,这意味着不同骨骼蕴含着个体在不同时间段的生活信息。肋骨可以提供死者生前5~10年的地理和饮食信息,股骨则保留着死者生前20~25年的记录^[24],这些特征使骨骼成为同位素分析应用中极佳的信息来源。目前已有研究证明其在溯源方面的效力,如居住在北美的人会比居住在欧洲和亚洲的人摄入更多的C4植物及其衍生食品,这种差异会反映在骨骼 $\delta^{13}\text{C}$ 值中^[47]。Bartelink等^[48]对战争遗骸骨骼中羟基磷灰石和胶原蛋白的同位素组成进行分析对比,发现亚洲人与美国人骨骼中 $\delta^{13}\text{C}$ 值具有显著差异。但同时骨骼重塑时间缓慢,会记录个体死亡前很长一段时间内积累的饮食和居住地区信息,但由于饮食和居住地稳定同位素特征的混合影响,也可能会提供误导性的结果^[30]。例如,在死亡前几年搬家到另一地区或国家的个体,骨骼可能保留其原有居住地区部分稳定同位素信息以及其最近居住地区的信息。因此,骨骼稳定同位素比值对需要确定死者较长时间生活区域的案例更具应用价值。

牙齿形成于个体的婴儿期和儿童期,一旦完全形成就不会发生更新重塑,它代表了牙釉质形成时不同时期的“快照”,反映了有关出生地、婴儿期和儿童期的生活地域、饮食信息,对几颗形成时间不同的牙齿进行分析即可提供从出生到青春期的饮食和居住模式信息^[30]。Someda等^[49]研究表明,牙齿羟基磷灰石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值可以准确分辨出日本和美国士兵的遗骸。对牙齿稳定同位素的检测多集中在碳、氧两种元素^[49-51],由于牙釉质中碳酸盐离子会取代羟基离子,且取代的程度尚不明确,因此 ^2H 的比值特征不能作为个体地理来源的指标^[52]。并非所有恒牙都是“理想检材”。恒切牙、犬齿和第一磨牙(M1齿)的牙蕾在出生时开始形成,但牙冠通常要到4~5岁时才能生长完成,因此会保留断奶到开始饮食饮水整个时期稳定同位素的变化特征;第二磨牙牙蕾(M2齿)在2~3岁左右开始形成,牙冠生长在7~8岁后完成;第三磨牙(M3牙)的牙冠矿化在出生后7~10年开始,在12~16岁之间完成。为了避免断奶过程对稳定同位素的影响,在分析时应尽可能选择M2和M3齿进行同位素分析^[42]。由于受生长形成时间的限制,

牙齿稳定同位素分析多用于识别个体的出生地,对于长期生活在非出生地的成年人,牙齿稳定同位素分析所能提供的信息有限。

3.2 短期“记忆”组织——头发和指甲

头发和指甲有许多共同的特征,从成分上来看,头发和指甲的主要成分都是角蛋白(α 角蛋白(头发)、 β 角蛋白(指甲)),虽然两者都在不断生长形成,但其本质上都是静态的,即形成时角化的头发和指甲都不是活组织且不会再次重塑。从记录的时间尺度来看,分析头发或指甲的稳定同位素组成可以提供个体近期的生活史信息(具体取决于用于分析头发或指甲的长度)。相较于牙齿和骨骼,头发和指甲的采集不具有侵入性且生长的方向性也更明确,可以作为连续“记录器”以提供更多调查信息,因此对头发和指甲的研究需要记录组织的方向性,以便按照时间顺序检测稳定同位素组成的变化。与其他组织相同,不同个体头发和指甲的稳定同位素比值有助于重建其旅居信息和饮食习惯。作者所在课题组采集了中国不同城市常住居民的头发和指甲,发现同一地区常住居民不同段头发或指甲具有相似稳定同位素比值,而不同地区居民具有显著差异^[23, 53-55]。国外也有研究表明,生活在美国不同地区的个体以及生活在美国和欧洲的个体其头发中碳、氮和硫稳定同位素比值存在显著差异^[32, 56]。Fraser等^[57]收集并测定了20名学生不同时间段的头发和指甲样本中的氢、氧、碳和氮稳定同位素,发现由于生活环境改变导致的饮食和饮水变化会使个体头发和指甲中的四种稳定同位素比值发生改变^[57],提示旅居者头发和指甲中稳定同位素比值会显示出规律性变化。

除上述相同点外,头发和指甲也存在部分差异。一般来说头发平均每天增长0.4 mm,在这种生长速度下,1 cm长的头发可以记录个体大约25 d的生活情况。手指甲每月增长约2~3 mm,指尖的指甲记录的是个体大约6个月前的稳定同位素组成情况。有研究表明,指甲角蛋白的形成比头发更慢,来自同一个体头发中稳定同位素的比值与指甲略有差异,头发和指甲样本间的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异约为-0.3‰至-0.5‰,而 $\delta^{15}\text{N}$ 差异约为+0.5‰至+1.0‰^[25, 57-59]。

在调查过程中,大部分遗骸上头发和指甲会完整保留,调查者可对某一个体的头发和指甲进行分段分析,根据头发或指甲的长度和生长速度推断个体某个时间节点的稳定同位素组成特征,并以时间

尺度重建身份不明个体近期的生活地域和饮食信息, 以确定个体是否存在地理位置上的移动, 因此对头发和指甲稳定同位素比值的测定往往可以提供个体生活地域变换等重要信息, 为个体溯源提供线索。

4 稳定同位素技术在个体溯源中的应用

在考古学领域, 溯根究源一直是重点研究目标之一。根据“我即我食”的原理, 生物组织的化学成分直接取决于其所摄取的食物, 对考古遗址中人类遗骸的稳定同位素进行分析, 可以揭示和重建古代人类的生活区域、营养状况和饮食特征, 推断其迁徙活动和食物结构^[60-62]。Schoeninger等^[63]在1983年首次利用人类骨骼中C、N稳定同位素比值, 区分了生活和饮食方式不同的古代人群(狩猎、打渔和农耕)。王宁等^[64]对遗迹中动物和人类骨骼中C、N、O稳定同位素分析的结果表明, 物种间的 $\delta^{18}\text{O}$ 值差异主要与饮用水来源和自身新陈代谢方式有关, 在此基础上利用C、N稳定同位素重建了其饮食结构, 并结合当时文化因素推测了不同古代人群来源地的具体情况。丛德新等^[65]、雷帅等^[66]结合遗骸牙齿C、N稳定同位素比值特征和生物链不同营养级同位素富集特点, 重建了古代人群的饮食结构并通过饮食的改变推断古代人类的迁移情况。Richards等^[67]通过对欧洲考古遗址人类骨胶原 $\delta^{34}\text{S}$ 值分析和在海洋、淡水和陆地生态系统之间 $\delta^{34}\text{S}$ 值的差异推断个体饮食习惯, 结合地区 $\delta^{34}\text{S}$ 值特征推断古代人群的居住地区。Sharp等^[68]对遗骸头发中H稳定同位素进行了分析, 推测了死者生前的旅居史。上述研究表明, 遗骸组织稳定同位素记录了当时环境中稳定同位素的状况, 通过对不同组织进行稳定同位素分析, 可以揭示古代人类的生活区域、食物结构, 基于地理位置、饮食习惯的差异性, 稳定同位素比值可作为一种天然示踪剂用于确定古代人类的来源。

法庭科学与考古学在许多方面都具有相似性, 都需要对现场遗留的“证据”进行识别、记录和采样, 并加以分析来重建已经发生的事件^[69], 因此考古学的一些基本原理和方法也可以应用于法庭科学领域, 稳定同位素分析技术便是其中之一。尽管在考古学中对人类遗骸进行稳定同位素分析研究较为成熟, 但该技术在法庭科学领域中的应用并不广泛, 还存在巨大的拓展潜力。目前国外法庭科学家已经进行了一些探索性的研究工作, 证明了该技术

在现代人类个体溯源相关案件中的可行性和有效性。2002年, 德国警方在高速公路附近发现了一具处于高度腐烂状态男性尸体, 指纹、DNA、牙齿印痕比对无法识别死者身份, Rauch等^[44]对死者头发、枕骨和牙齿进行了稳定同位素分析, 较高的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{14}\text{N}$ 值表明死者可能来自饮食多为玉米的地区, $\delta^2\text{H}$ 值表明死者生前居住地远离海边, 结合尸体埋葬地土壤的红外光谱测定结果, 综合推断死者居住在罗马尼亚附近地区, 警方通过这些信息进一步调查确定了死者身份并最终破案。Meier-Augenstein等^[70]对爱尔兰一具被肢解男性尸体的指甲、体毛进行C、N、H、O稳定同位素比值分析, 指甲和体毛的稳定同位素比值与当地对照者没有显著差异, 表明其饮食、饮水习惯与当地居民一致, 死前长期生活在当地, 进一步利用死者股骨 $\delta^{18}\text{O}$ 值结合骨骼重塑速率推测死者并非出生于当地, 而是从“非洲之角”附近的国家来到爱尔兰, 根据上述信息和线索, 最终确定死者来自肯尼亚, 于7年前移民爱尔兰。在另一起英国的案件中, Meier-Augenstein等^[47]对一名亚裔男性死者的头发逐段进行稳定同位素比值分析, 结合其实验室开发的方程推算出了各段头发生长对应的气象降水中的 $\delta^2\text{H}$ 值, 并和欧洲的相关数据进行比较, 推断出死者生前先在东欧或欧亚大陆部分地区停留了2.5~3个月, 然后直接迁移到中欧生活了大约6~7个月, 最后到达了他在威尔士附近的最后居住地生活了3~4个月, 这些推断都与警方最终的调查结果相符。Font等^[71]对一名身份不明男性死者骨骼和牙齿中多种稳定同位素进行测定, 经分析比对发现其骨骼 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值与欧洲地区居民相似, 根据牙齿和骨骼中 $\delta^{18}\text{O}$ 值推测此人可能来自波兰南部或斯洛伐克地区, 最终的调查结果证实死者来自波兰西南部。Bartelink等^[48]在调查战争遗骸的身份时, 基于美国和亚洲的饮食偏好差异使美国人组织具有更高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值这一研究结果, 利用稳定同位素技术对遗骸的骨骼和牙齿进行分析, 成功区分了美国和亚洲人的遗骸。这些利用稳定同位素技术进行现代个体溯源的案例均得到了较好的效果, 证明了利用稳定同位素对现代个体进行溯源切实可行, 并且在现代人类个体溯源推断中可以利用案件中不同人体组织的稳定同位素数据与现有稳定同位素数据库进行比对分析, 从而更有效地推断死者生前的生活地域或生活轨迹。

国内法庭科学领域的稳定同位素应用研究尚处

于起步阶段,应用案例相对较少。刘昌景等^[72]以人头发样品氢稳定同位素比值检测方法为例,系统论证了头发样品稳定同位素检验过程中如何进行标准品选择和真值校正算法,为人头发样本稳定同位素比值数据库的构建奠定了基础。何亚等^[53]、何欣龙等^[55, 73]、于子洋等^[23]研究测定了中国不同城市居民头发或指甲中H、O稳定同位素组成,并进一步利用稳定同位素比值差异结合化学计量学方法,实现了对国内不同城市和地区生活居民的区分。于子洋等^[54]还对不同城市居民头发中C、N稳定同位素的比值特征和影响因素进行了初步探究。梅宏成等^[11]在一起案件中对死者指甲进行C、H、O、N稳定同位素分析,并与四川达州当地居民指甲中稳定同位素比值进行比较,推断死者生前可能生活在该地区,为案件侦破提供了线索。这些研究为稳定同位素技术在国内法庭科学领域相关案件中的应用储备了数据和积累了经验。

稳定同位素技术虽然无法直接对某一个体进行准确“识别”,但在具有全国或全球稳定同位素数据库的情况下,可以实现对个体的生活区域或旅居轨迹进行较为准确的刻画,能够缩小个体识别范围,提高个体身份确认的效率,在个体溯源领域具有广阔的应用前景。

5 总结与展望

目前针对人体组织中稳定同位素的分析研究和相关数据主要集中在美国和欧洲等发达国家和地区,但在大多数研究中相关样品采集数量少,样品来源区域范围较小,样品提供者的个人信息及饮食信息不明确,上述因素导致人体组织稳定同位素比值特征和变化规律的研究仍存在许多亟待解决的问题。a. 气候、地质和人为因素等对稳定同位素组成的影响尚不明确; b. 稳定同位素在人体内代谢过程中分馏机制尚不清晰; c. 虽然 Meier-Augenstein 等^[70]尝试建立了人体组织中稳定同位素比值和气象水中数据的换算模型,但该模型并没有经过大量案例和数据的验证,且不同地区稳定同位素比值特征会受到气候等因素的影响,因此需要在全球范围内构建不同区域的稳定同位素数据库和数据分析模型,为稳定同位素技术在个体溯源中的有效应用奠定基础。

稳定同位素技术已初步显示了其在个体溯源中的优越性,特别是在“传统”技术无法发挥有效作用的情况下,稳定同位素可以提供线索和方向,缩

小追溯范围。随着相关机理研究的深入,全球性精细化数据库和溯源分析模型、体系的构建,稳定同位素技术在推断个体来源、重点人员活动轨迹刻画、认定重大事故受害者身份等方面将发挥越来越重要的作用。

参 考 文 献

- [1] Hurst C V, Soler A, Fenton T W. Personal identification in forensic anthropology//Siegel J A, Saukko P J, Houck M M. Encyclopedia of Forensic Sciences. Waltham: Academic Press, 2013: 68-75
- [2] Morgan O W, Sribanditmongkol P, Perera C, *et al.* Mass fatality management following the South Asian tsunami disaster: case studies in Thailand, Indonesia, and Sri Lanka. PLoS Med, 2006, **3**(6): 809-815
- [3] 宗万里,白扬,赵姗姗,等.农产品溯源领域稳定同位素研究发展态势分析.核农学报,2020,**34**(1): 137-149
Zong W L, Bai Y, Zhao S S, *et al.* J Nucl Agric Sci, 2020, **34**(1): 137-149
- [4] 项锦欣.有机食品稳定同位素溯源技术研究进展.食品科学,2014,**35**(15): 345-348
Xiang J X. Food Sci, 2014, **35**(15): 345-348
- [5] 林光辉.稳定同位素生态学:先进技术推动的生态学新分支.植物生态学报,2010,**34**(2): 119-122
Lin G H. Chin J Plant Ecol, 2010, **34**(2): 119-122
- [6] 张全超,张群,彭善国,等.内蒙古赤峰市大山前遗址夏家店上层文化“祭祀坑”出土人骨稳定同位素分析.考古与文物,2015,**20**(4): 107-110
Zhang Q C, Zhang Q, Peng S G, *et al.* Archaeol Cult Relics, 2015, **20**(4): 107-110
- [7] 胡勇博,肖薇,钱雨妃,等.水汽源地和局地蒸发对大气降水氢氧稳定同位素组分的影响.环境科学,2019,**40**(2): 573-581
Hu Y B, Xiao W, Qian Y F, *et al.* Environ Sci, 2019, **40**(2): 573-581
- [8] 吕军,王东华,杨曙明,等.利用稳定同位素进行牛肉产地溯源的研究.农产品质量与安全,2015,**36**(3): 32-36
Lv J, Wang D H, Yang S M, *et al.* Qual Saf Agron Prod, 2015, **36**(3): 32-36
- [9] 吴浩,周秀雯,陈海泉,等.不同产地三文鱼的稳定同位素指纹特征及原产地溯源.食品科学,2021,**42**(16): 304-311
Wu H, Zhou X W, Chen H Q, *et al.* Food Sci, 2021, **42**(16): 304-311
- [10] 张雪莲,徐广德,何毓灵,等.殷墟54号墓出土人骨的碳氮稳定同位素分析.考古,2017,**34**(3): 100-109
Zhang X L, Xu G D, He Y L, *et al.* Archaeol, 2017, **34**(3): 100-109
- [11] 梅宏成,朱军,权养科,等.稳定同位素检验推断生物物证供体的生活时空信息.刑事技术,2016,**41**(2): 87-92
Mei H C, Zhu J, Quan Y K, *et al.* Forensic Sci Technol, 2016, **41**(2): 87-92
- [12] Meier-Augenstein W. Forensic stable isotope signatures: comparing, geo-locating, detecting linkage. WIREs Forensic Sci, 2019, **1**(5): e1339
- [13] Bartelink E J, Chesson L A. Recent applications of isotope analysis to forensic anthropology. Forensic Sci Res, 2019, **4**(1): 29-44

- [14] Daeid N N, Buchanan H A S, Savage K A, *et al.* Recent advances in the application of stable isotope ratio analysis in forensic chemistry. *Aust J Chem*, 2010, **63**(1): 3
- [15] 林光辉. 稳定同位素生态学. 北京: 高等教育出版社, 2013: 5-15
Lin G H. *Stable Isotope Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 2013: 5-15
- [16] 汪智军, 李建鸿. 激光光谱技术在溶解无机碳同位素分析中的应用. *中国岩溶*, 2021, **40**(4): 636-643
Wang Z J, Li J H. *Carsologica Sin*, 2021, **40**(4): 636-643
- [17] 石晓, 刘汉彬, 张佳, 等. 激光光谱技术在稳定同位素组成分析中的应用现状. *世界核地质科学*, 2016, **33**(4): 237-243
Shi X, Liu H B, Zhang J, *et al.* *World Nucl Geosci*, 2016, **33**(4): 237-243
- [18] 蓝高勇, 吴夏, 杨会, 等. 激光同位素光谱法测量水中氢氧同位素组成的实验室间比对研究. *岩矿测试*, 2017, **36**(5): 460-467
Lan G Y, Wu X, Yang H, *et al.* *Rock and Mineral Analysis*, 2017, **36**(5): 460-467
- [19] 顾小琴, 庞洪喜, 李亚举, 等. 光腔衰荡光谱技术测定大气水汽稳定同位素校正方法研究. *光谱学与光谱分析*, 2019, **39**(6): 1700-1705
Gu X Q, Pang H X, Li Y J, *et al.* *Spectrosc Spectral Anal*, 2019, **39**(6): 1700-1705
- [20] 张丽娜, 卢照方. 浅析波长扫描光腔衰荡光谱技术. *现代科学仪器*, 2012, **15**(1): 134-136
Zhang L N, Lu Z F. *Mod Sci Instrum*, 2012, **15**(1): 134-136
- [21] Jackson M. Isotope ratio mass spectrometry. *Analyst*, 2009, **134**(2): 213-222
- [22] Bartelink E J, Chesson L A. Recent applications of isotope analysis to forensic anthropology. *Forensic Sci Res*, 2019, **4**(1): 29-44
- [23] 于子洋, 杨瑞琴, 黄阳, 等. 不同城市居民头发中氢、氧稳定同位素检验和特征初探. *生物化学与生物物理进展*, 2022, **49**(12): 2410-2420
Yu Z Y, Yang R Q, Huang Y, *et al.* *Prog Biochem Biophys*, 2022, **49**(12): 2410-2420
- [24] Bartelink E J, Berg G E, Chesson L A, *et al.* Applications of stable isotope forensics for geolocating unidentified human remains from past conflict situations and large-scale humanitarian efforts// Latham K E, Bartelink E J, Finnegan M. *New Perspectives in Forensic Human Skeletal Identification*. London: Academic Press, 2018: 175-184
- [25] O'Connell T C, Hedges R E M, Healey M A, *et al.* Isotopic comparison of hair, nail and bone: modern analyses. *J Archaeol Sci*, 2001, **28**(11): 1247-1255
- [26] Irrgeher J, Bandoni D, Draxler J, *et al.* Elemental and isotopic analyses in forensic sciences. *Anal Bioanal Chem*, 2006, **4**(1): 1-30
- [27] Horita J, Wesolowski D J. Liquid-vapor fractionation of oxygen and hydrogen isotopes of water from the freezing to the critical temperature. *Geochim Cosmochim Acta*, 1994, **16**(58): 3425-3437
- [28] 胡勇博, 肖薇, 钱雨妃, 等. 水汽源地和局地蒸发对大气降水氢氧稳定同位素组分的影响. *环境科学*, 2019, **40**(2): 573-581
Hu Y B, Xiao W, Qian Y F, *et al.* *Environ Sci*, 2019, **40**(2): 573-581
- [29] Hulsemann F, Lehn C, Schneider S, *et al.* Global spatial distributions of nitrogen and carbon stable isotope ratios of modern human hair. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2015, **29**(22): 2111-2121
- [30] Bartelink E J, Mackinnon A T, Prince-Buitenhuis J R, *et al.* Stable isotope forensics as an investigative tool in missing persons investigations//Morewitz S, Sturdy Colls C. *Handbook of Missing Persons*. Heidelberg: Springer International Publishing, 2016: 443-462
- [31] 刘微, 吕豪豪, 陈英旭, 等. 稳定碳同位素技术在土壤-植物系统碳循环中的应用. *应用生态学报*, 2008, **19**(3): 674-680
Liu W, Lv H H, Chen Y X, *et al.* *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19**(3): 674-680
- [32] Valenzuela L O, Chesson L A, Bowen G J, *et al.* Dietary heterogeneity among western industrialized countries reflected in the stable isotope ratios of human hair. *PLoS One*, 2012, **7**(3): 342-349
- [33] Bowen G J, Ehleringer J R, Chesson L A, *et al.* Dietary and physiological controls on the hydrogen and oxygen isotope ratios of hair from mid-20th century indigenous populations. *Am J Phys Anthropol*, 2009, **139**(4): 494-504
- [34] 孙淑敏, 郭波莉, 魏益民, 等. 羊组织中碳、氮同位素组成及地域来源分析. *中国农业科学*, 2010, **43**(8): 1670-1676
Sun S M, Guo B L, Wei Y M, *et al.* *Sci Agric Sin*, 2010, **43**(8): 1670-1676
- [35] Schoeninger M J, Deniro M J. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochim Cosmochim Acta*, 1984, **48**(4): 625-639
- [36] Votruba S B, Shaw P A, Oh E J, *et al.* Associations of plasma, RBCs, and hair carbon and nitrogen isotope ratios with fish, meat, and sugar-sweetened beverage intake in a 12-wk inpatient feeding study. *Am J Clin Nutr*, 2019, **110**(6): 1306-1315
- [37] Hulsemann F, Flenker U, Koehler K, *et al.* Effect of a controlled dietary change on carbon and nitrogen stable isotope ratios of human hair. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2009, **23**(16): 2448-2454
- [38] Richards M P, Fuller B T, Hedges R. Sulphur isotopic variation in ancient bone collagen from Europe: implications for human palaeodiet, residence mobility, and modern pollutant studies. *Earth Planet Sci Lett*, 2001, **191**(3): 185-190
- [39] Richards M P, Fuller B T, Sponheimer M, *et al.* Sulphur isotopes in palaeodietary studies: a review and results from a controlled feeding experiment. *Int J Osteoarchaeol*, 2003, **13**(1): 37-45
- [40] Buchardt B, Bunch V, Helin P. Fingernails and diet: stable isotope signatures of a marine hunting community from modern Uummannaq, North Greenland. *Chem Geol*, 2007, **244**(1): 316-329
- [41] Nehlich O. The application of sulphur isotope analyses in archaeological research: a review. *Earth Sci Rev*, 2015, **14**(2): 1-17
- [42] Chesson L A. *Forensic Science and Humanitarian Action*. New York: John Wiley and Sons, 2020: 190-211
- [43] Lee-Thorp J A. On isotopes and old bones. *Archaeom*, 2008, **50**(6): 925-950
- [44] Rauch E, Rummel S, Lehn C, *et al.* Origin assignment of

- unidentified corpses by use of stable isotope ratios of light (bio-) and heavy (geo-) elements—a case report. *Forensic Sci Int*, 2007, **168**(2): 215-218
- [45] Meier-Augenstein W, Fraser I. Forensic isotope analysis leads to identification of a mutilated murder victim. *Sci Justice*, 2008, **48**(3): 153-159
- [46] Bartelink E J, Chesson L A. Recent applications of isotope analysis to forensic anthropology. *Forensic Sci Res*, 2019, **4**(1): 29-44
- [47] Meier-Augenstein W. *Stable Isotope Forensics: Methods and Forensic Applications of Stable Isotope Analysis*. New York: John Wiley and Sons, 2017: 207-211
- [48] Bartelink E J, Berg G E, Beasley M M, *et al.* Application of stable isotope forensics for predicting region-of-origin of unidentified border crossers found deceased in the United States. *Annal Anthropol Pract*, 2014, **38**(1): 124-136
- [49] Someda H, Gakuhari T, Akai J, *et al.* Trial application of oxygen and carbon isotope analysis in tooth enamel for identification of past-war victims for discriminating between Japanese and US soldiers. *Forensic Sci Int*, 2016, **261**(16): 161-166
- [50] Plomp E, von Holstein I, Kootker L M, *et al.* Strontium, oxygen, and carbon isotope variation in modern human dental enamel. *Am J Phys Anthropol*, 2020, **172**(4): 586-604
- [51] Regan L A L A, Bower N W, Brown S J, *et al.* Forensic isoscapes based on intra-individual temporal variation of $\delta^{18}\text{O}$ and $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ in human teeth. *Forensic Sci Res*, 2021, **6**(1): 42-52
- [52] Holobinko A, Meier-Augenstein W, Kemp H F, *et al.* ^2H stable isotope analysis of human tooth enamel: a new tool for forensic human provenancing. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2011, **25**(7): 910-916
- [53] 何亚, 刘昌景, 梅宏成, 等. 阿克苏、连云港和淮安城市居民头发中氢、氧稳定同位素比值差异研究. *质谱学报*, 2019, **40**(6): 575-583
He Y, Liu C J, Mei H C, *et al.* *J Chin Mass Spectrom Soc*, 2019, **40**(6): 575-583
- [54] 于子洋, 梅宏成, 朱军, 等. 不同城市居民头发中碳、氮稳定同位素比值特征研究. *质谱学报*, 2021, **42**(6): 1183-1192
Yu Z Y, Mei H C, Zhu J, *et al.* *J Chin Mass Spectrom Soc*, 2021, **42**(6): 1183-1192
- [55] 何欣龙, 梅宏成, 王继芬, 等. 新疆和田、哈密和阿勒泰市居民指甲中氢、氧稳定同位素的比较. *人类学学报*, 2021, **40**(5): 888-894
He X L, Mei H C, Wang J F, *et al.* *Acta Anthropol Sin*, 2021, **40**(5): 888-894
- [56] Valenzuela L O, Chesson L A, O'Grady S P, *et al.* Spatial distributions of carbon, nitrogen and sulfur isotope ratios in human hair across the central United States. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2011, **25**(7): 861-868
- [57] Fraser I, Meier-Augenstein W, Kalin R M. The role of stable isotopes in human identification: a longitudinal study into the variability of isotopic signals in human hair and nails. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2006, **20**(7): 1109-1116
- [58] Lehn C, Mützel E, Rossmann A. Multi-element stable isotope analysis of H, C, N and S in hair and nails of contemporary human remains. *Int J Legal Med*, 2011, **125**(5): 695-706
- [59] Allan J. *Wiley Encyclopedia of Forensic Science*. New York: John Wiley and Sons, 2012: 184-190
- [60] Garvie-Lok S J, 周立刚. 以人骨遗存为中心: 法兰克时期摩里亚居民的文化及族属背景研究. *华夏考古*, 2016, **14**(2): 104-121
Garvie-Lok S J, Zhou L G. *Huaxia Archaeol*, 2016, **14**(2): 104-121
- [61] 胡耀武, 王昌燧. 生物考古的研究进展及展望. *山西大同大学学报(自然科学版)*, 2009, **25**(5): 84-89
Hu Y W, Wang C S. *J Shanxi Datong Univ (Nat Sci)*, 2009, **25**(5): 84-89
- [62] 胡耀武. 稳定同位素生物考古学的概念、简史、原理和目标. *人类学学报*, 2021, **40**(3): 526-534
Hu Y W. *Acta Anthropol Sin*, 2021, **40**(3): 526-534
- [63] Schoeninger M J, Deniro M J, Taber H. Stable isotope ratios of bone collagen reflect marine terrestrial prehistoric diet. *Science*, 1983, **220**(4604): 1381-1383
- [64] 王宁, 李素婷, 李宏飞, 等. 古骨胶原的氧同位素分析及其在先民迁徙研究中的应用. *科学通报*, 2015, **60**(9): 838-846
Wang N, Li S T, Li H F, *et al.* *Chin Sci Bull*, 2015, **60**(9): 838-846
- [65] 丛德新, 赵春燕, 贾伟明. 新疆阿敦乔鲁遗址人类迁移行为与食物结构的初步研究. *江汉考古*, 2021, **32**(6): 233-239
Cong D X, Zhao C Y, Jia W M. *Jiangnan Archaeol*, 2021, **32**(6): 233-239
- [66] 雷帅, 郭怡. 生物考古学视野下人类的牙齿与饮食. *人类学学报*, 2022, **41**(3): 501-513
Lei S, Guo Y. *Acta Anthropol Sin*, 2022, **41**(3): 501-513
- [67] Richards M P, Fuller B T, Hedges R E M. Sulphur isotopic variation in ancient bone collagen from Europe; implications for human palaeodiet, residence mobility, and modern pollutant studies. *Earth Planet Sci Lett*, 2001, **191**(3): 185-190
- [68] Sharp Z D, Atudorei V, Panarello H O, *et al.* Hydrogen isotope systematics of hair: archeological and forensic applications. *J Archaeol Sci*, 2003, **30**(12): 1709-1716
- [69] Pearsall D. *Encyclopedia of Archaeology*. New York: Academic Press, 2008: 1396-1403
- [70] Meier-Augenstein W, Fraser I. Forensic isotope analysis leads to identification of a mutilated murder victim. *Sci Justice*, 2007, **48**(3): 153-159
- [71] Font L, van der Peijl G, van Leuwen C, *et al.* Identification of the geographical place of origin of an unidentified individual by multi-isotope analysis. *Sci Justice*, 2015, **55**(1): 34-42
- [72] 刘昌景, 梅宏成, 朱军, 等. 头发氢稳定同位素比值检测的标准品选择研究. *质谱学报*, 2019, **40**(4): 342-348
Liu C J, Mei H C, Zhu J, *et al.* *J Chin Mass Spectrom Soc*, 2019, **40**(4): 342-348
- [73] 何欣龙, 梅宏成, 王继芬, 等. 人指甲中氢、氧稳定同位素在法医学领域的应用. *人类学学报*, 2020, **39**(3): 483-494
He X L, Mei H C, Wang J F, *et al.* *Acta Anthropol Sin*, 2020, **39**(3): 483-494

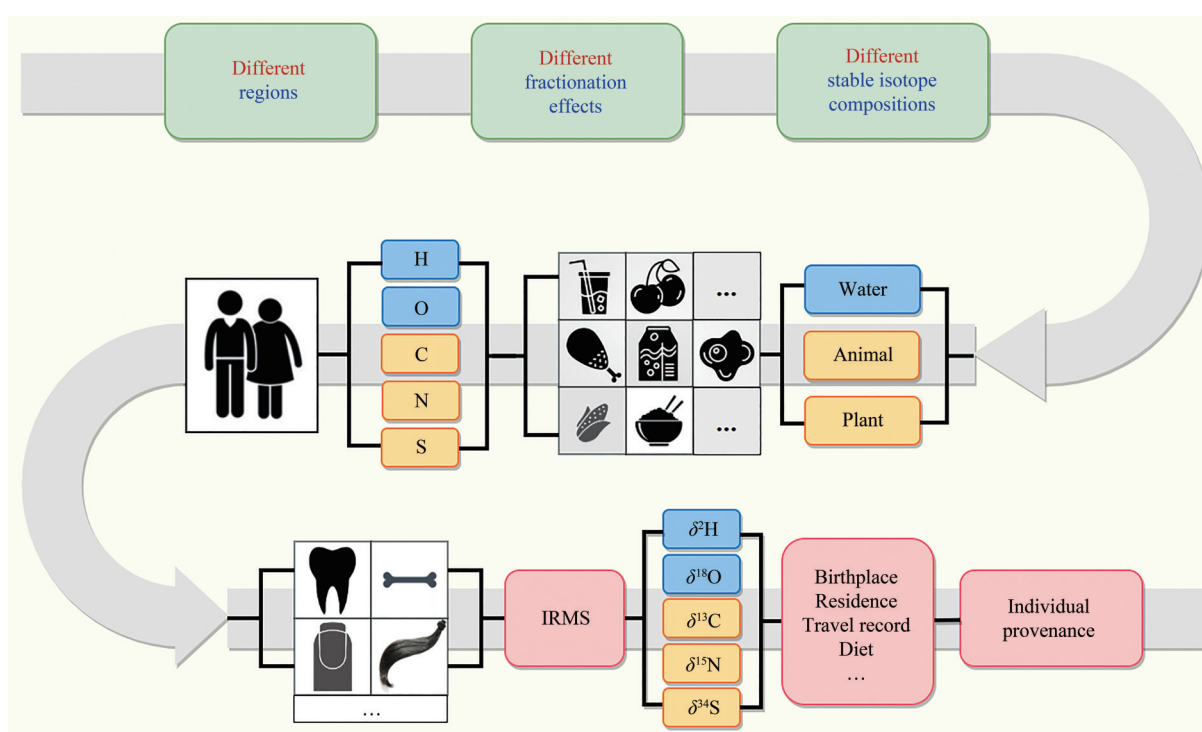
Application of Stable Isotope Techniques in Individual Provenance*

QIN Hao^{1,2)}, YU Zi-Yang^{1,2)}, HUANG Yang^{1,2)}, HU Can²⁾, Zhu Xiao-Han^{1,2)}, Xie Wei-Ya^{1,2)}, Guo Hong-Ling²⁾, Wang Ping²⁾, LI Ya-Jun²⁾, Zheng Ji-Li²⁾, ZHU Jun^{2)**}, MEI Hong-Cheng^{2)**}

⁽¹⁾School of Criminal Investigation, People's Public Security University of China, Beijing 100038, China;

⁽²⁾Institute of Forensic Science, Ministry of Public Security, Beijing 100038, China)

Graphical abstract



Abstract Individual identification is one of the important tasks in response to natural disasters, air crashes, explosion accidents, fire disasters, traffic accidents and other incidents (cases). Fingerprint identification, DNA analysis, tooth recognition and other technologies play a major role in the confirmation of individual identity. These methods are difficult to work when it is impossible to obtain the fingerprint, DNA and other informations of the deceased in databases. Therefore, the use of new analytical techniques for individual provenance and identification has become one of the important topics in forensic science. Stable isotope technology is widely used

* This work was supported by grants from Fundamental Research Funds for Institute of Forensic Science Ministry of Public Security (2018JB002), the National Key Research and Development Program of China (2017YFC0803803), and Technical Research Program Project of the Ministry of Public Security (2016JSYJB10).

** Corresponding author.

ZHU Jun Tel: 86-10-66269505, E-mail: zhujun001cn@126.com

MEI Hong-Cheng Tel: 86-10-83752662, E-mail: meihongcheng@163.com

Received: September 26, 2022 Accepted: November 16, 2022

in traceability based on the differences of stable isotope distribution. Some studies show that the stable isotope composition of human tissues is closely related to food and water consumed by individuals during their growth. There are regional characteristics in stable isotope composition of animals, plants and water, and people living in different regions have different agricultural customs and eating habits. These differences could be reflected in the stable isotopic composition of human tissues through diet, drinking water, *etc.* Through stable isotope analysis of multiple elements (C, N, O, H, S) in various body tissues (such as hair, nails, teeth and bones), the birthplace, living areas and eating habits of individuals can be inferred, which could provide important clues for the confirmation of individual identity. The principle of stable isotope technology is briefly introduced, the types of elements used for individual provenance and the information characteristics contained in stable isotopes in different human tissues are systematically expounded, the current research and application is summarized, the existing problems are analyzed and the future development of stable isotope technology in individual provenance is prospected in this paper.

Key words stable isotope, forensic science, individual provenance

DOI: 10.16476/j.pibb.2022.0462