

石制品研究中的定量分析方法：组合间对比

刘吉颖¹, 黄永梁¹, 陈虹^{1,2}

1. 浙江大学文化遗产与博物馆学研究所, 杭州 310028; 2. 浙江大学文物与博物馆学系, 杭州 310028

摘要：石制品组合间对比是石制品研究的关键一环，定量分析凭借其在复杂变量对比研究中的客观优势拓宽了石制品组合间对比的视野，与考古学思想、石制品组合内涵解读的深化具有相辅相成的关系。一般而言，定量分析方法分为图表法和统计法两类，主要包括三个基本步骤：选择对比组合，确定研究目标；根据研究目标提取变量；选择合适的定量分析方法。值得注意的是，考古学解释仍为石制品研究的重点，定量分析方法更多作为一种辅助手段，应用时需检验其有效性。

关键词：定量分析；石制品组合；组合间对比

中图分类号：K871.11；文献标识码：A；文章编号：1000-3193(2017)03-0331-13

Quantitative analysis in lithic study: Comparison of assemblages

LIU Jiyong¹, HUANG Yongliang¹, CHEN Hong^{1,2}

1. Institute of Cultural Heritage and Museology, Zhejiang University, Hangzhou 310028;

2. Department of Cultural Heritage and Museology, Zhejiang University, Hangzhou 310028

Abstract: Comparing assemblages is a key to lithic analysis. From the history perspective, the interpretation of lithic assemblage may be outlined two aspects: 1) a lithic assemblage is sets of objects and features generally from a site or a layer, we might get the meaning of technology, culture, or even function from the analysis of presence or absence of its material or composition; 2) lithic assemblage was formed in a complex process, therefore, besides concerning similarity and difference between the assemblages, factors like the boundary of the assemblage and the life cycle of artifacts should also be taken into consideration. Nowadays, under the circumstance of interdiscipline, with the objective advantages in multivariate comparative study, quantitative analysis broadens the horizon of comparing assemblages. The

收稿日期：2016-03-02；定稿日期：2016-12-07

基金项目：浙江省自然科学基金（LY16D020001）；国家社科基金（15CKG003）

作者简介：刘吉颖（1991-），女，浙江平湖人，博士研究生，主要从事旧石器考古与微痕分析。Email: ljy18868819149@163.com

通讯作者：陈虹（1980-），女，副教授、博士生导师，主要从事旧石器考古和微痕分析。Email: hollychen@zju.edu.cn

Citation: Liu JY, Huang YL, Chen H. Quantitative analysis in lithic study: Comparison of assemblages[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2017, 36(3): 331-343

method includes graphical method and statistics. However, such kind of practice is relatively insufficient in China. The advantages of graphical method are those could present complex data multidimensionally and simultaneously and also contribute to increase the readability. It chiefly includes Cumulative Graph/Curves, Clustered Histogram/Accumulative Histogram, Snowflake Diagram and Radar Graph. The characteristic of the latter two is that they could reduce the variates with classification, and obtain more information. Nevertheless, it is better to combine the methods like use-wear analysis and residue analysis in classification to improve the accuracy of the information. In statistics, assemblage diversity has been paid close attention by researchers all the time, including the aspects of richness, evenness and heterogeneity. The available methods could be regression method, simulation method, Shannon-Weaver information statistic H , Pielou statistic J and so on. Considering the sample effect, researchers now prefer nonparametric estimators like Jackknife Technique, Bootstrap, Rarefaction (Interpolation) and Extrapolation. With the correlation and confidential intervals given by these methods, researchers may estimate the “true” size of assemblage when the sample size is limited but the variants are in dependency. The general procedure of quantitative analysis is confirming the research target, and then extracting variate, examining the correlation, after that choosing the method, finally returning to qualitative analysis. Although quantitative analysis provides an opportunity for comparing assemblages, it still lacks unification and standards. Therefore, when these methods are put to use, it should be placed into the archaeology frame with cautious consideration. In a word, in spite of the objectivity of artifacts assemblage comparison that quantitative analysis could add, this method should still be regarded as a supplementary method, to be more precisely, a supplement to qualitative analysis.

Key words: Quantitative analysis; Lithic assemblage; Comparing assemblages

1 引言

石制品是史前人类留下来能被研究的最重要的信息载体之一。石制品分析是旧石器时代研究中不可或缺的一部分,而石制品组合间对比是其中的关键一环。组合间对比的重点多在于寻找一个组合与其他组合之间的异同,从而进一步理解组合独特性的形成因素或石制品组合之间的关系。从中国目前的研究状况看,不论是发掘或调查报告,还是研究性文章,在对比讨论时“文化属性趋同/一致”、“表现出较多相似性”等概括性的定性描述较为常见^[1-10]。然而,文字作为一种表意性符号难以完全实现具象化表达,隐藏在石制品组合中的复杂信息及关系很难用文字呈现出来。目前,在交叉学科日益发展的背景下,信息整合研究成为明显趋势,定量分析因其在多变量复杂分析及对比研究中的客观优势,在考古学研究中也发挥着日益凸显的作用。定量分析方法在组合间对比中的应用由来已久,国内已经出现了一些探索与尝试^[11-14],整体上多表现为以计数及频率计算为基础、以简单描述为目的的图表法,相应的专题研究还鲜少可查。

基于国际学界的一些研究进展，本文从石制品组合间对比的深度和广度，以及对比时所采用的定量分析方法等方面，探究石制品组合的概念和定量分析方法在对比研究中的应用特点与发展变化，归纳定量分析的一般过程和注意事项，思考在多学科交叉背景下，如何更好地合理运用定量分析方法，以期进一步提升中国石制品组合间对比的水平。

2 概念与背景

组合(*assemblage*)被认为是考古学中最重要理论结构之一，常用于解释考古记录^[15]。研究者对于组合有各自的定义，或认为组合是一群共同出现在某特定时间和地点的人工制品^[16-17]，或从考古遗址的层面定义组合为某一特定遗址或地层中发现的所有人工制品^[18-21]。实际上，遗址或地层本身包含时间和地域两个因素^[22-23]。一个遗址或地层可能同时出土石器、陶器等不同材质的人工制品，在定义时通常将一个组合所包含的人工制品限定为同一种材质，或者直接将同一材质置于组合之前^[16,18]，比如石制品组合。当然，偶尔有将某特定遗址中所有材质的人工制品作为一个组合的情况^[16,22]。

组合有着十分丰富的内涵，不仅仅是一个个可见的物质实体，还包括其所承载的信息。石制品组合被部分研究者解读为文化活动^[24]或文化系统^[25]，通常依据的是组合中石制品的形态及其组合。也有研究者提出组合的内涵远不止于此，应包含石料、类型、技术、功能等多方面的信息^[16]，代表人类全部的活动^[17]。借助地层学和测年手段可以获取原地埋藏的石制品的年代。通过组合间对比可以识别其所属工业或文化，推断技术的特征、组织及演变，或结合其所属背景，推断人类活动。

不过，一些研究者对组合的定义表示异议^[21,26-31]，认为组合并不存在固定的组成，而是一个动态的形成过程。他们认为地层或遗址是人为划分的，在组合定义与研究中应该摒弃，代之以从不同的范围定义组合，寻找组合大小(*assemblage size*)或样本大小(*sample size*)，即一个组合内包含的石制品数量^[21]与其内部构成之间的关系，寻找人类活动与物质文化遗存之间的相互作用关系。

3 定量分析方法

考古学中的定量分析是指利用数学方法研究考古现象中的各种数量关系^[32]。早在 20 世纪 50 年代初，Spaulding 就将定量分析法介绍引进考古学^[33]，之后涌现出众多尝试，石制品组合间对比也成为一块试验田。到了 90 年代，定量分析方法的运用已不仅是单纯借用其他学科的方法，还出现了一批专用于考古学研究的新方法。

定量分析主要是将组合中包含的信息提取出来作为变量，包括属性变量（亦称类别变量或定性变量）和数值变量（亦称定量变量）^[34]。前者反映组合内个体的类别特征，如类型、

技术特征等；后者以数值作为表达，如尺寸、重量、类型频数(count)¹⁾ / 频率(frequency)²⁾等。从研究史看，用于石制品组合间对比的定量分析方法可分为图表法和统计法两大类，前者运用简单计数及百分比统计加以对比分析，更加关注数据的图表呈现，后者则借鉴统计学进行多元变量分析，更加关注数据之间的潜在关系。一般可采用 EXCEL、SPSS 这两种操作简单的软件实现运算和制图。

3.1 图表法

图表是数学语言的一种重要表述方式，在石制品组合间对比分析中应用广泛，目前仍受研究者的欢迎，原因主要在于图表语言相较于自然语言不仅简明清晰，而且更容易揭示出数据中所隐藏的规律性^[32]。图表法，即将组合中提取出来的名称变量或数值变量的频数及频率等用表格和图形加以呈现，通常以名称变量作为其中一个轴上的变量。以表格作为表现形式在石制品分析中必不可少，同时也是定量分析原始数据制作的第一步，进一步分析时还会用到一系列简易图表。

3.1.1 累积曲线图

累积曲线图 (Cumulative Graph/Curves) 是将组合内名称变量的频率逐渐累加后形成一条曲线, 提供关于组合的图像表达, 因而不属于统计方法^[35]。从 20 世纪 50 年代甚至更早以来, 该方法在欧洲就被作为一种描述性工具被广泛用于比较不同旧石器遗址的石制品^[36]。累积曲线图可用于研究组合间石制品类型或技术的异同, 也可用于研究某一地区石制品类型或技术的变化。根据不同组合呈现出来的曲线, 累积曲线图有利于分辨不同石器组合整体类型构成的连续变化^[37], 根据斜率变化凸显差异, 有助于快速抓住问题的关键。

Irwin 和 Wormington 利用累积曲线图对比来自北美大平原古印第安遗址的 3 个不同组合的工具类型（图 1），以了解在某一时间阶段内该地区石器工具的变化，以及各遗址间的相互联系。他们先计算出每个类型及亚类型在某个组合中所占百分比，即类型及亚类型频率，然后沿着横轴以均匀间隔依次列出所有石器的类型及亚类型（也可以数字作为编号代替）；纵轴以逐渐累加的方式表示组合中每个类型或亚类型的比例^[16]。

目前,也有一些研究者采用类似的簇状柱状图(Clustered Histogram)、堆积柱状图(Accumulative Histogram)和条形图(AccumulativeBar Graph),这三种图示法更侧重于展现具体数值及其分布范围,如García-Medrano、Ollé等^[38]在研究中更新石器组合技术变迁本质时就充分利用了这几种图表在对比时所具有的优势(图2,图3,图4)。

3.1.2 雪花图

雪花图 (Snowflake Diagram) 由 Herman 和 Montroll 率先提出, 后由 Kwamme 于 20 世纪 80 年代引入石制品研究^[39], Odell 也将该方法用于石制品组合间对比, 具体操作是将石制品组合中的几种类型合并为几条轴 (一般为 4-8 条), 每一条轴代表某种特定涵义。Odell 曾以 Winters 创建的一般功能类别结构为基础, 运用雪花图研究美国伊丽莎白遗址 6

1) 频数: 借用统计学术语, 频数指变量值在某个区间内出现的次数, 就石制品组合而言是指某个变量值在组合中出现的次数, 如以类型为变量, 那么类型频数就是一个组合中共包含的类型数量。

2) 频率: 借用统计学术语, 指频数与该区间内所含个体数的比, 如刮削器在石制品组合中出现的频率就是刮削器与组合石制品总数的比。在一定程度上, 频率的大小反映了某个变量在组合中出现的可能性的, 频率越大, 出现的可能性就越大。

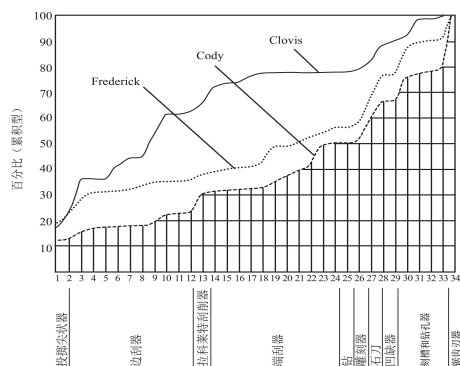


图 1 三个古印第安遗址工具组合间对比的累积曲线图 (依 Odell, 2004)

Fig.1 Cumulative graph for comparison of tools among assemblages from three Paleo-Indian sites

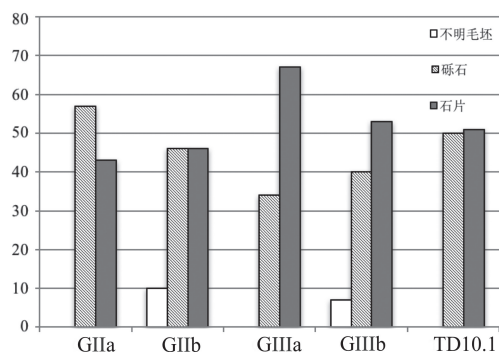


图 2 组合间不同原料产品频率对比的簇状柱状图 (改编自 García-Medrano et al, 2015)

Fig.2 Clustered histogram for comparison of raw materials of products among assemblages

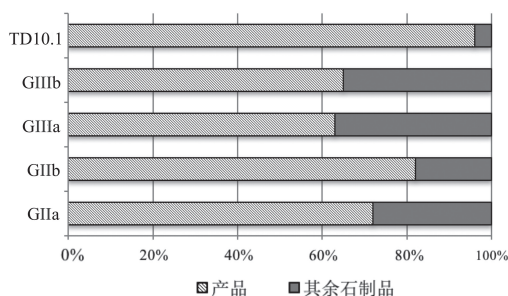


图 3 产品和其他石制品在各个组合中所占频率的堆积条形图 (改编自 García-Medrano et al, 2015)

Fig.3 Accumulative bar graph for comparison of percentage of products among assemblages

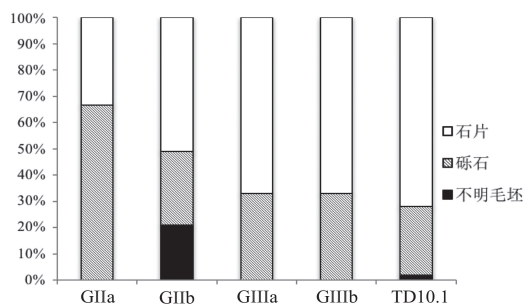


图 4 各组合大型工具毛坯频率对比的堆积柱状图 (改编自 García-Medrano et al, 2015)

Fig.4 Accumulative histogram for comparison of blank types of large tools among assemblages

号堆积下部石器组合的功能, 并与其他遗址进行了对比分析 (图 5)。他将组合中的石器类型分组归类, 每一类别代表某种特定的功能: 雕刻器、锥钻等归为工具维修 (I 轴), 石臼、锯齿刃器等归为植物加工 (II 轴), 投掷尖状器、旗石 (bannerstones) 归为动物获取 (III 轴), 石锤、砍砸器等归为一般重型使用工具 (IV 轴), 修理石片、石锥等归为一般轻型使用工具 (V 轴)。结果表明, 伊丽莎白遗址曾被用来从事植物加工、猎取动物等多种活动, 应是一处营地^[40]。

雪花图适用于对比研究石制品组合的功能, 从而推断不同遗址的功能或该地区人群的生业模式。其独特之处在于能将组合中蕴含的变量根据某些特定标准再次分组归类, 一方面, 能够减少变量, 直观比较组合的不同类型, 同时呈现多个维度的考古数据; 另一方面, 可以揭示出单个或单组变量无法直接反映的含义。在实际运用中, 雷达图 (Radar Graph) (图 6) 可与之相媲美。但是, 不论雪花图还是雷达图, 运用时都需慎重考虑再次分组后所赋予的含义是否可靠, 比如 Odell 在正式运用雪花图进行对比前, 先采用微痕分析检验了 Winters 假设的各组类型所代表的功能类别。也就是说, 这两种图表的使用如果能配合

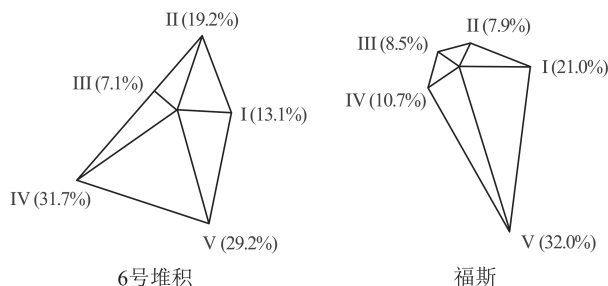


图 5 伊丽莎白遗址 6 号堆积与福斯遗址石制品组合对比的雪花图 (依 Odell, 2004)

Fig.5 Snowflake diagram for assemblage comparison between Sub-Mound 6 and Foss site

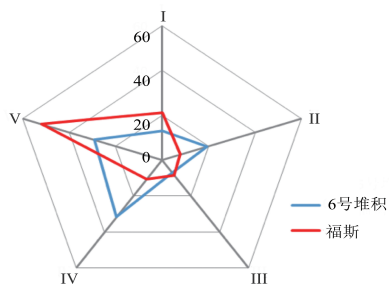


图 6 伊丽莎白遗址 6 号堆积与福斯遗址石制品组合对比的雷达图

Fig.6 Radar graph for assemblage comparison between Sub-Mound 6 and Foss site

微痕分析、残留物分析等科技考古手段,数据的准确性及结果的可靠性将大大提高。

3.2 统计法

统计学是数学推理的一个分支,用于多变、不确定且有误差情况下的逻辑推理。定量分析、数学运算和统计方法在现代考古学中扮演着十分重要的角色^[14]。相较于图表法,统计法显得更为复杂,需要运用统计学的运算公式,在简单变量获取基础上进一步运算,并将结果通过图表或公示呈现出来。在石制品组合间对比研究中,统计法在衡量组合多样性研究中具有较强的代表性,下文将着重介绍此类研究。

组合多样性 (Assemblage Diversity 或 Assemblage Variability) 一直被认为是考古学中的关键问题之一,从 20 世纪 60 年代至今,考古学家尝试采用多种方式对之进行比较和衡量^[16, 41-46]。组合多样性是一个相对概念,必须通过与其他组合的比较才能衡量。一般而言,石制品组合的多样性包括三层含义: 1) 组合丰富度 (Richness), 指组合所包含类型的数量,与组合石制品的频数或频率无关; 2) 组合均一度 (Evenness), 用于测量组合内个体是否平均分布于各个类型中; 3) 组合异质性 (Heterogeneity), 依赖于丰富度和均一度,一般可通过均一度加以反映^[40, 43, 45]。

多样性这一概念借鉴自生物学^[47], 石制品组合间对比时采用的定量分析方法也多学习生物学中衡量物种多样性的方法,并在不断运用于石制品研究的过程中得到改进。

20 世纪 80 年代至 90 年代,回归法 (Regression method)^[48-49]、模拟法 (Simulation method)^[41]、香农 - 韦弗信息 H 指数 (Shannon-Weaver information statistic H)³⁾ 和皮耶罗均匀度 J 指数 (Pielou statistic J)^{4)[15, 16, 50]} 得到大量应用。

3) 香农 - 韦弗信息 H 指数 (Shannon-Weaver information statistic H), 一般称为香农多样性指数, 系由 Shannon 和 Wiener 于 1963 年提出。当群落中只有一个群存在时, 香农指数就达到最小值 0; 当有两个以上群存在, 且每个群仅有一个成员时, 香农指数达到最大值 $\ln k$ 。在计算组合多样性时多参照 Zar 从原公式中得到的导函数, 其中 n 表示样本总量, f_i 表示类型 i 的数量, H 是种类中表示异质性的指数。

4) 皮耶罗均匀度 J 指数 (Pielou statistic J) 源自生物学, 用以表示物种的均一度, 描述物种中个体的相对丰富度或所占比例, 其运算公式为 $J = H / H_{\max}$ 。其中 H 即为香农指数, H_{\max} 是 H 的最大值 —— $\ln k$ 。最终得出的结果在 0 至 1 之间, 越接近 1 表示分布越均匀。

$$H = n \log n - \sum_{i=1}^k \left(\frac{f_i \log f_i}{n} \right)$$

部分研究者认为组合大小对于组合多样性具有一定影响, Buzas 和 Hayek^[51]、Shott^[15]、Baxter^[42] 等人还用定量方法证明两者的关系十分复杂。样本大小对于组合多样性的影响可概括为三个方面: 1) 石制品生产、使用的生命阶段的影响, 由于当时组合多样性基于石制品类型数量, 因此分类相当关键; 2) 人类活动的影响, 包括活动范围、居住时间、人口规模等, 都会影响到一个组合的分布范围、数量以及内部构成; 3) 后埋藏的影响, 包括水流搬运、各种物力机械作用对于石制品形态的改变等, 研究者获得的石制品组合可能并不是其“真正的”组合。

随着对石制品生产技术和工具使用认识的加深, 出现“聚合分类法 (Paradigmatic classification)”。这一空间分类体系^[46, 52-53] (图 7) 更加有助于定量分析, 其中每条轴代表石制品的一个形态特征, 每种类型可以由这些特征轴组合、排列或交叉得到, 研究者可以通过组合给出类型数量的范围或可能存在的区间。这个三维模型存在的空白处表明某些形态是不会同时存在于一件石制品上的, 可以帮助研究者思考其功能或文化的原因。Hammond 等^[50] 研究者在研究美国圣克鲁兹 (Santa Cruz) 北海岸贝冢地区人类群体的技术组合趋势时, 根据“操作链”将组合内的石制品按其所处的生命阶段划分, 再利用香农-韦弗信息 H 指数和皮耶罗均匀度 J 指数对比该地区 8 个石制品组合的多样性, 从而理解组合的技术组成。从 H 指数和 J 指数的结果可以看出各个组合中石制品的分布相对均匀, 从两个指数的相关系数 (图 8) 可以看出各个组合有着相似的组成。结合原料获取、石核剥坏等环节的分析, 他们提出, 该地区人群曾从事多种石制品技术活动。

3.2.1 非参数估算与组合多样性

研究者将研究组合多样性的重点放在寻求解决样本大小上, 一方面应用一系列统计学方法来减少样本大小对于衡量组合多样性的影响, 另一方面从影响样本大小的因素入手, 分别分析这些因素与组合多样性之间的相关性。

由于组合真正的大小与观察到的组合大小不一定一致, 且多采用属性变量衡量组合多样性, 所以, 采用非参数估算 (亦称非参数检验) 来进行统计检验和判断分析可能更加适合。刀切法 (Jackknife Technique)^[51] 和靴襻法 (亦称自助法, Bootstrap)^[42] 被认为能在一定程度上解决回归法和模拟法关于样本大小的问题。这两种方法属于非参数估算法, 可以重复取样, 通过样本推测组合应有的大小, 呈现出相应样本大小下组合的多样性。刀切法和靴襻法的优势在于无需预设和关于组合原始数据的研究^[54], 可以减少估算时的偏差, 还能够提供大概的置信区间 (confidence intervals), 说明结果的可信度。靴襻法比刀切法的应用范围更广, 但两者都不适合样本太小的组合。上述方法给出的是单界置信区间 (single-bounded confidence interval), 只能估算组合间丰富度的最低值, 无法限制最高值。因此, Colwell^[55]、Eren、Chao^[46, 53] 等学者更推荐采用双界置信区间 (double-bounded confidence interval), 即同时包含最低值和最高值, 如稀疏标准法 (Rarefaction method) (又称内推法, Interpolation) 和外推法 (Extrapolation) 来减少对比时的偏差。稀疏标准化方

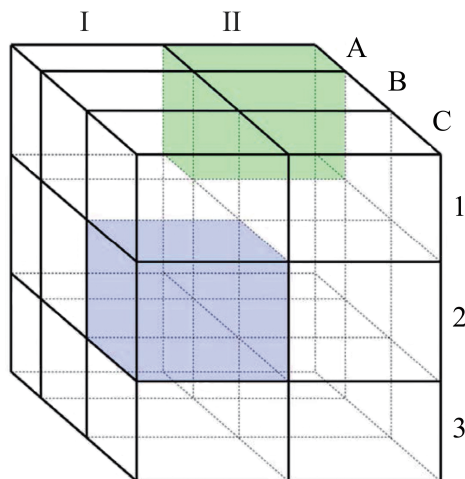


图 7 三维聚合分类的三维立体空间展示
(依 Eren et al, 2012)

Fig.7 A three-dimensional representation of a paradigmatic classification of three dimensions

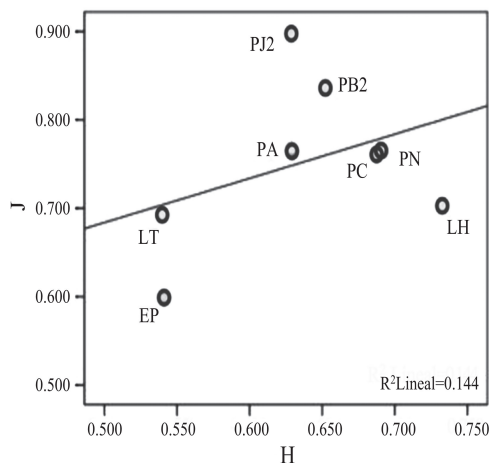


图 8 丰富度和均质性的相关系数
(依 Hammond et al, 2015)

Fig.8 Correlation between richness and homogeneity

法可通过两两比较来判断一个组合是否与样本量更大的组合拥有相同的组织，具体是将所有组合的样本缩小到最小样本的大小，从而在相同样本容量的条件下进行比较，得到置信区间的最小值。而外推法是根据观察到的组合样本与类型之间的关系，来推测当样本大于最大值时所呈现出来的组合多样性的近似值，从而得到置信区间的最大值。

Eren、Chao 等研究者采用双界置信区间法估算北美五大湖下游地区克洛维斯石器的类型丰富度。他们首先根据聚合分类算出晚更新世期间北美克洛维斯古印第安人各个组合中两面器最多可分的类型，然后利用稀疏标准法和外推法⁵⁾推测出各个组合类型丰富度的值及相应的置信区间。结合关于集食者大本营居住模式，定居型集食者短距离地频繁移动于各地以从事各种不同的活动，石制品组合将表现出差别很大的类型丰富度；相反，后勤型集食者的大本营不那么频繁地进行远距离移动，不同遗址间的组合丰富度则相差较小。Eren、Chao 等人的研究显示各个组合丰富度和置信区间会有大量重合部分（图 9），表明不同遗址间类型丰富度差别并不十分显著，该地区的集食者更有可能采用后勤型居住模式。

3.2.2 线性模型与技术复杂性

技术丰富度（Technological richness）指一个群体使用工具的总数，亦称工具包结构（Toolkit structure），包括丰富度（Richness）及复杂性（Complexity）^[56]。样本大小对于丰富度是一个重要的影响因素，而样本大小和组合中的类型数量又受到诸多因素的影响。一个应对办法是将技术丰富度与这些因素分别进行两两比较，再根据其相关程度判断影响技术变化的原因。可以采用线性模型，用于衡量两个变量之间的相关程度。对比分析时要求对比的组合样本大小相似，或者是年代和分布区域等背景资料较为明确。

5) 操作方法是横轴为组合的样本量或样本范围，纵轴为类别的频数，可以通过 SPSS 和 iNEXT 软件计算得到。iNEXT 免费下载地址：<http://chao.stat.nthu.edu.tw/blog/software-download/>

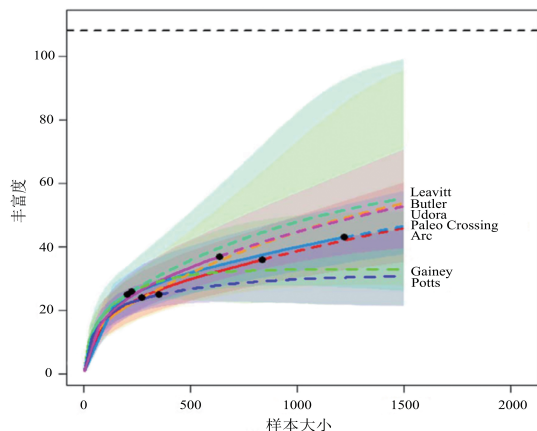


图 9 七个遗址边缘类型的稀疏标准化和外推法双界 95% 置信区间曲线 (依 Eren et al, 2012)

Fig.9 Rarefaction and extrapolation curves for edge class data from seven sites with doubly-bounded 95% confidence intervals

(黑点代表参照样本。实线表示稀疏标准化曲线, 阴影部分表示预测的 95% 置信区间。虚化曲线表示外推法曲线, 阴影部分表示预测的 95% 置信区间)

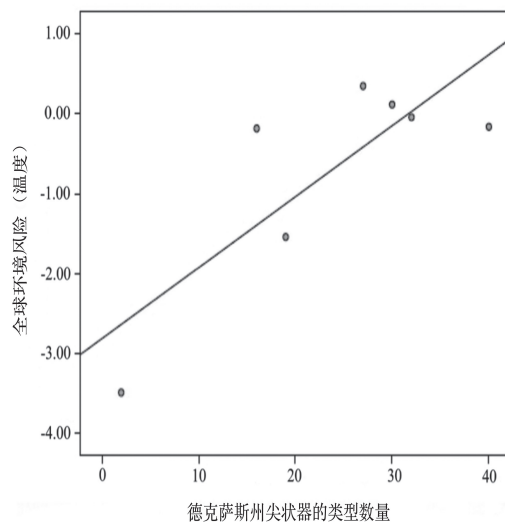


图 10 德克萨斯州尖状器类型演变与全球环境风险 (温度) 之间的散点分析图 (依 Buchanan et al, 2015)

Fig.10 Scatter plot of the relationship between the number of point types in Texas by time period and the global environmental risk proxy (temperature)

北美地区尖状器的技术丰富度和复杂性是理解狩猎采集者对于工具数量和专门化程度决策的重要证据, 因为不同类型的尖状器可能具有不同的功能。以往民族考古研究和考古研究表明人口规模和环境风险是促进该地区尖状器技术复杂化的动因^[57-58]。Buchanan^[59]等人采用线性相关方法对此做了进一步检验。他们共进行了两组对比, 分别分析每个时期尖状器类型数量与当时人口数量之间的关系或与环境风险之间的关系。首先, 根据柯尔莫哥洛夫-斯米尔诺夫检验 (Kolmogorov-Smirnov test), 选择皮尔逊双变量相关 r 系数 (Pearson bivariate correlation r)^[34] 分别得到尖状器类型数量与人口规模、尖状器类型数量与区域环境风险 (降水) 以及尖状器类型数量与全球环境风险 (温度) 三组相关系数。皮尔逊相关 r 系数属于回归法, 可以量化两组变量之间的线性相关程度, 得到的相关系数值在 -1 到 1, 绝对值越接近 1, 表明相关性越强。结果发现尖状器组合的丰富度只与全球气温呈显著相关 ($r=0.812, p=0.027$) (图 10)。同时, 他们采用广义线性模型 (generalized linear model, GLM) 做同样分析。该模型的适用范围较为广泛, 不要求变量一定连续, 恰好适应石制品变量的特征, 只是该模型的准确性也会随之有所降低。两种分析方法得到的结果一致: 只有环境风险 (温度) 对尖状器的丰富度有影响, 即当环境发生变化时, 狩猎采集者才会相应地调整制作技术以提高资源获取效率, 出现创新等。

4 结语

从石制品组合研究来看, 对“组合”的理解包含两层意思: 1) 石制品组合即考古遗

址或地层中发掘获得的所有石制品,由可见实体组成,一般认为其内涵包括石料、类型、技术、功能等,据此提取石料、类型、技术类型的频率和频数或石制品测量数据作为变量,研究组合的文化、技术特征,或进一步结合遗址背景研究技术组织、人类活动等;2)石制品组合是一个复杂的形成过程,除了关注组合间的相似性和差异性,还考虑到组合的边界问题、石制品的生命周期等因素,主要关注组合大小与其内部构成之间的关系,人类活动与物质文化遗存之间的相互作用关系。

在石制品分析中,组合的优势在于能将共同出土、内涵未知的物质实体作为一个整体,从其所属背景中独立出来以提取信息,是对比研究中一个强有力的单元。上述关于“组合”的两类理解都有一定的适用性,只是在组合间对比时要明确不同组合的外延一致。

采用定量分析方法进行石制品组合间对比需要三个基本步骤:

第一步,选择对比组合,确定研究目标。定量分析的目标在于能以具体数据或范围说明特定问题。其特殊性在于将对比对象转化为数字,在一定程度上从所属的考古背景中剥离出来,尤其是采用统计方法进行对比时。这就要求对比组合的外延要一致,并确保至少有一个组合的年代(或地层)是确定的,当然,也可以将较为复杂的组合划分为几个亚组合进行对比。从 Binford 对文化历史学的“标准化理论”提出批评后,考古学家纷纷将研究重点转向考古证据中的各种变化或差异^[61],石制品组合间对比的目标不再满足于确定年代序列与文化属性,而更关注于过程研究和整合研究,包括技术变化、技术风格、文化传递(cultural transmission)、流动过程、认知能力等^[60-64],中国研究者也逐渐关注到此类研究^[9, 65]。

第二步,根据研究目标提取变量。变量分为名称变量和数值变量两类。石制品组合中的信息载体包括石料、类型、技术、功能等多个层面,可以从中提取出石料、石制品类型、技术类型等作为名称变量,数量、尺寸、重量等作为数值变量。实际上,变量的提出具有一定的试验性质,因为所提取的各种数值变量不一定能够如研究者所预想的那样具有一定的规律性或考古学意义。因此,需要采用检验方法做相关性检验。变量的选取是一个十分关键的步骤,因为这反映出研究者对于石制品内涵的理解。对应于目前石制品组合间对比的研究目标,变量多为石料以及与形态有关的测量数据等。

第三步,选择合适的定量分析方法。定量分析方法概括起来可分为图表法和统计法两大类,前者的优势在于能多维同时呈现复杂数据,同时也有助于增强分析的可读性;后者的优势在于以统计学原理将一个个独立的数据联系起来。本文介绍的所有方法都可借助 EXCEL、SPSS、iNEXT 等软件的帮助得以轻松实现。

图表法的适用范围广泛,适用于同一变量在不同组合之间的比较,探究几个组合间的异同或变化。累积曲线图的优势在于呈现数据的整体趋势,突出差异,帮助研究者快速找到问题的关键,但只限于属性变量;簇状/堆积柱状图或直方图的优势在于呈现数据的具体数值和范围,可以帮助研究者得到较为精确的结果,不限变量类型。雪花图和雷达图的特点是能通过归类减少变量,得出比变量本身所代表的信息更多的信息,只是归类时,应注意数据所代表的信息是否具有代表性,更好的办法是配合微痕分析、残留物分析等得出的数据。

统计法既可以根据统计学的函数找到无法直接观察到的数据关系,也可以寻找多个变量之间的相互关系。但对分析对象也有一定的限制,变量的选取尽量客观,采用参数估

算方法时要求样本满足正态分布。组合多样性一直深受研究者的关注, 包括丰富度、均一度和异质性三个方面, 多借鉴生物学衡量物种多样性时选用的方法, 从早期以组合类型数量作为多样性指标到后来以研究样本大小与组合类型、技术多样性或技术变化为重点, 采用的定量分析也处于不断完善中, 以应对石制品组合的复杂性。回归法用于解释两个变量之间的因果关系, 即帮助了解 X 轴的自变量如何随 Y 轴因变量的变化而变化, 因而需要预先对变量关系进行假设。相关分析有所不同, 主要用于衡量两个独立变量之间的相关性程度, 可采用皮尔逊双变量相关系数量化两个变量的相关系数, 可以用于对比两个组合的技术特征。目前, 具有非参数估算和提供置信区间特点的统计方法受到一些研究者的推崇, 如刀切法、靴襻法、稀疏标准法、外推法等, 这些方法能够通过已有的样本数据推测组合真正的大小, 给出两个变量的相关系数以及可信度的数值。不过, 对于得到的结果还需结合其考古学背景谨慎对待。原因在于与生物学中的物种不同, 石制品有其特殊性, 除了因为石料破裂存在一定的偶然性, 主要是石制品的生产和使用都关乎人类活动, 组合类别和形态特征也不一定具有规律性。严格来说, 这几种方法都适用于检验衡量丰富度的各种方法之间的差异, 或用于比较不同变量之间相关性趋势的差异, 可以帮助研究者思考更多影响石制品组合多样性的因素。

定量分析方法的探索和运用拓展了石制品组合间对比的视野, 与考古学思想、石制品组合内涵解读的深化具有相辅相成的关系。从上文可以看到, 石制品研究寻找组合间的异同或变量之间的相关性并非石制品研究的最终目的, 关键在于从人类行为的角度考虑石制品组合, 在解释时将组合置于遗址所属的背景中, 包括石制品分布的空间关系、环境背景、区域背景等。

在多学科交叉的背景下, 众多学者尝试从其他学科借鉴新的研究方法, 这无疑是学科发展的契机, 但需要注意的是, 不同学科之间并非完全开放, 而处于一种半开放的状态, 开放的一半是通用的理论和方法, 封闭的一半是各自独有的实际适用性。因此, 对方法有效性的检验也是一个必不可少的步骤, 这体现出研究者对于方法本身的思考和改进。目前, 变量的提取各种各样, 但缺乏统一的标准, 研究者多将其置于自己的研究背景中, 这些变量所具有的考古学意义亟待统一和规范。因为定量分析容易使研究者陷入数字的陷阱中, 纯数据的运算最终总能得到一定的数值结果, 但这一结果是否符合原先设定的意义还需谨慎考虑。总之, 尽管定量分析能增加石制品组合对比的客观性, 但还是应当将其作为一种辅助手段, 准确地说是定性分析的一种补充。

参考文献

- [1] 高星, 周振宇, 关莹. 青藏高原边缘地区晚更新世人类遗存与生存模式 [J]. 第四纪研究, 2008, 28(6): 969-977
- [2] 陈全家, 赵海龙, 方启, 等. 石人沟林场旧石器地点试掘报告 [J]. 人类学学报, 2010, 29(4): 373-382
- [3] 方启, 陈全家, 卢悦. 湖北丹江口北泰山庙 2 号旧石器地点发掘简报 [J]. 人类学学报, 2012, 31(4): 344-354
- [4] 王幼平, 顾万发, 汪松枝, 等. 李家沟遗址的石器工业 [J]. 人类学学报, 2013, 32(4): 411-420
- [5] 王社江, 孙雪峰, 鹿化煜, 等. 汉水上游汉中盆地新发现的旧石器及其年代 [J]. 人类学学报, 2014, 33(2): 125-137
- [6] 高立红, 袁俊杰, 侯亚梅. 百色盆地高岭坡遗址的石制品 [J]. 人类学学报, 2014, 33(2): 137-148
- [7] 王颀. 广西布兵盆地河流阶地新发现的史前石器遗址 [J]. 人类学学报, 2014, 33(3): 270-283
- [8] 邢路达, 王社江, 张改课, 等. 陕西洛南盆地夜塬地点发现的石制品 [J]. 人类学学报, 2015, 34(1): 1-13

- [9] 陈宥成, 曲彤丽. 试析中国长江中游地区大型尖状器类石器遗存的区域传统 [J]. 人类学学报, 2015, 34(1): 28-40
- [10] 李意愿, 高成林, 向开旺. 丹江口库区舒家岭旧石器遗址发掘简报 [J]. 人类学学报, 2015, 34(2): 150-165
- [11] 张森水. 富林文化 [J]. 古脊椎动物与古人类, 1977, 15(1): 14-27
- [12] 卫奇. 东谷坨遗址石制品再研究 [J]. 人类学学报, 2014, 33(3): 254-269
- [13] 李占扬, 李雅楠, 加藤真二. 灵井许昌人遗址第 5 层细石核工艺 [J]. 人类学学报, 2014, 33(3): 285-303
- [14] 徐廷, 汪英华, 单明超, 等. 大窑遗址二道沟地点石制品研究的抽样方法设计 [J]. 人类学学报, 2015, 34(3): 307-317
- [15] Shott MJ. Size dependence in assemblage measures: essentialism, materialism, and 'SHE' analysis in archaeology[J]. *American Antiquity*, 2010, 75(4): 886-887
- [16] Odell GH. *Lithic Analysis*[M]. USA: Springer, 2004, 4
- [17] Renfrew C, Bahn PG. *Archaeology: Theories, Methods, and Practice (Fifth Edition)*[M]. New York: Thames & Hudson, 2008, 578
- [18] Kadowaki S. Issues of chronological and geographical distributions of Middle and Upper Paleolithic cultural variability in the Levant and implications for the learning behavior of Neanderthals and Homo sapiens[A]. In Akazawa T, Nishiaki Y, Aoki K (eds). *Dynamics of Learning in Neanderthals and Modern Humans Volume 1: Cultural Perspectives*[C]. Japan: Springer, 2013, 62-63
- [19] Bradley BA. Lithic reduction sequence: A glossary and discussion[A]. In: Swanson EH(ed). *Lithic technology*[C]. The Hague: Mouton Publisher, 1975, 5-14
- [20] 张森水. 中国北方旧石器工业的区域渐进与文化交流 [J]. 人类学学报, 1990, 9(4): 323
- [21] Shott MJ. Lower Paleolithic industries, time, and the meaning of assemblage variation[A]. In: Holaway SJ, Wandsnider L (eds). *Time in Archaeology: Time Perspectivism Revisited*[C]. Salt Lake City: University of Utah Press, 2008, 46-60
- [22] Feder KL. *Linking to the Past: A Brief Introduction to Archaeology 2nd* [M]. New York: Oxford University Press, 2007
- [23] Hranicky WJ. *Archaeological Concepts, Techniques, and Terminology for American Prehistoric Lithic Technology*[M]. United States: AuthorHouse, 2013, 97
- [24] Deetz J. *Invitation to Archaeology* [M]. New York: The Natural History Press, 1967, 119
- [25] Bordes F, Denise de Sonneville-Bordes. The significance of variability in Paleolithic assemblages [J]. *World Archaeology*, 1970, 2: 61-73
- [26] O'Brien MJ, Lyman RL. *Applying Evolutionary Archaeology: A Systematic Approach*[M]. New York: Kluwer, 2000, 32-37
- [27] Shott MJ. Size and Paleolithic Assemblage Variation in the Old World: A New World Perspective[A]. In: Moloney N, Shott MJ (eds). *Lithic Analysis at the Millennium*[C]. London: Institute of Archaeology, 2003, 137-150
- [28] Shott MJ. Activity and formation as sources of variation in Great Lakes Paleoindian assemblages[J]. *Midcontinental Journal of Archaeology*, 1997, 22: 197-236
- [29] Kuhn SL. Middle Paleolithic assemblage formation at Riparo Mochi[A]. In: Johnson A. *Processual archaeology: exploring analytical strategies, frames of reference, and culture process*[C]. Connecticut: Praeger, 2004, 35
- [30] Popescu G. Assemblage formation and Paleolithic variability in the Middle Prut Valley region (Romania)[C]. San Francisco: The 80th Annual Meeting of the Society for American Archaeology, 2015
- [31] Rhode D. Measurement of Archaeological Diversity and the Sample-Size Effect [J]. *American Antiquity*, 1988, 53: 708-71
- [32] 陈铁梅. 定量考古学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2005, 3
- [33] Aldenderfer M. Quantitative Methods in Archaeology: A Review of Recent Trends and Developments[J]. *Journal of Archaeological Research*, 1998, 6(2): 91-120
- [34] 方开泰, 彭小令. 现代基础统计学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2014, 3-5
- [35] Irwin HT, Wormington HM. Paleoindian Tool Types in the Great Plains[J]. *American Antiquity*, 1970, 35(1): 24-34
- [36] Thomas DH. On the use of cumulative curves and numerical taxonomy[J]. *American Antiquity*, 1971, 36(2): 206-209
- [37] Johnson L. Item seriation as an aid for elementary scale and cluster analysis[N]. *University of Oregon Museum of Natural History, Bulletin*, 1968, 15
- [38] García-Medrano P, Ollé A, Mosquera M, et al. The nature of technological changes: The Middle Pleistocene stone tool assemblages from Galería and Gran Dolina-subunit TD10.1 (Atapuerca, Spain)[J]. *Quaternary International*, 2015, 368: 92-111
- [39] Kvamme KL. A simple graphic and poor man's clustering technique for investigating surface lithic scatter types[J]. *Plains Anthropologist*, 1988, 33(121): 385-394
- [40] Odell GH. *Stone Tools and Mobility in the Illinois Valley: from Hunter-Gatherer Camps to Agricultural Villages*[M]. Ann Arbor: International Monographs in Prehistory, 1996, 106-110

- [41] Kintigh KW. Measuring archaeological diversity by comparison with simulated assemblages[J]. *American Antiquity*, 1984, 49(1): 44-54
- [42] Baxter MJ. Methodological issues in the study of assemblage diversity[J]. *American Antiquity*, 2001, 66(4): 715-725
- [43] McCartney PH, Glass MF. Simulation Models and the Interpretation of Archaeological Diversity[J]. *American Antiquity*, 1990, 55(3): 521-536
- [44] Mason RJ. The Paleo-Indian tradition in Eastern North America[J]. *Current Anthropology*, 1962(3): 227-278
- [45] Leonard RD, Jones GT (eds). *Quantifying diversity in archaeology*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989
- [46] Eren MI, Chao A, Hwang Wen-Han, et al. Estimating the richness of a population when the maximum number of classes is fixed: A nonparametric solution to an Archaeological problem[J]. *PLOS ONE*, 2012, 7(5): 1-11
- [47] Magurran A. *Measuring Biological Diversity*[M]. Oxford: Blackwell, 2004
- [48] Jones GT, Grayson DK, Beck C. Artifact class richness and sample size in Archaeological surface assemblage[A]. In: Dunnell RC, Grayson DK. *Lulu Punctuated: Essays in Honour of George Irving Quimby*[C]. Ann Arbor: Museum of Anthropology, University of Michigan, 1983, 55-73
- [49] Grayson DK, Cole SC. Stone tool assemblage richness during the Middle and Early Upper Paleolithic in France[J]. *Journal of Archaeological Science*, 1998, 25: 927-938
- [50] Hammond H, Zilio L, Castro AS. Stratigraphic lithic assemblages from shell middens on the northern coast of Santa Cruz (Patagonia, Argentina)[J]. *Quaternary International*, 2015, 373: 45-54
- [51] Buzas MA, Hayek LC. SHE analysis for biofacies identification[J]. *Journal of Foraminiferal Research*, 1997, 28: 233-239
- [52] Dunnell R. *Systematics in Prehistory*[M]. New York: The Free Press, 1971
- [53] Eren MI, Chao A, Chiu CH et al. Statistical analysis of paradigmatic class richness supports greater paleoindian projectile-point diversity in the southeast[J]. *American Antiquity*, 2016, 81(1): 174-192
- [54] Kaufman KW. Measuring archaeological diversity: An application of the Jackknife technique[J]. *American Antiquity*, 1998(63): 73-85
- [55] Colwell RK, Chao A, Gotelli NJ et al. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation, and comparison of assemblages[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2012, 5(1): 3-12
- [56] Torrence R. Time budgeting and hunter-gatherer technology[A]. In: Bailey G (ed). *Hunter-gatherer economy in prehistory*[C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1983, 11-22
- [57] Collard M, Kemery M, Banks S. Causes of toolkit variation among hunter-gatherers: a test of four competing hypotheses[J]. *Journal Canadien d'Archéologie*, 2005, 29(1): 1-19
- [58] Collard M, Buchanan B, O'Brien MJ. Population size as an explanation for patterns in the Paleolithic archaeological record[J]. *Current Anthropology*, 2013, 54(S8): S388-S396
- [59] Buchanan B, O'Brien MJ, Collard M. Drivers of technological richness in prehistoric Texas: an archaeological test of the population size and environmental risk hypotheses[J]. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2016, 8(3): 625-634
- [60] Lyman RL, O'Brien MJ. Measuring and explaining change in artifact variation with clade-diversity diagrams[J]. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2000, 19: 39-74
- [61] Eren MI, Dominguez-Rodrigo M, Kuhn SL et al. Defining and measuring reduction in unifacial stone tools[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2005, 32: 1190-1201
- [62] Bretzke K, Conard NJ. Evaluating morphological variability in lithic assemblages using 3D models of stone artifacts[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2012, 39: 3741-3749
- [63] Morales JI, Soto M, Lorenzo C et al. The evolution and stability of stone tools: The effects of different mobility scenarios in tool reduction and shape features[J]. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2015, 3: 295-305
- [64] Touze O, Flas D, Pesesse D. Technical diversity within the tanged-tool Gravettian: New results from Belgium[J]. *Quaternary International*, 2016, 406: 65-83
- [65] 李浩, 李超荣, Kathleen KUMAN. 丹江口库区的薄刃斧[J]. *人类学学报*, 2014, 33(2): 162-175