

古湖泊学研究中的鱼化石埋藏学方法

陈平富

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044)

摘要: 鱼化石埋藏学方法在古湖泊环境研究中主要是利用鱼死亡及其骨骼解体和保存的方式, 去推测湖泊的水文状况、沉积环境、群落结构、鱼类的生活史、死亡方式和保存特征等, 这种方法的可行性取决于对现代湖泊中生物与环境对应关系的观察研究。在鱼化石埋藏学研究中, 温度是决定鱼化石保存状况的主要因素, 当水温在 15℃ 以上, 多数鱼尸体就会因细菌腐解产生的气体而漂浮到水面, 然后在水面上进一步腐烂, 最后散落到湖底, 或者被水流带到近岸区, 遭受更强烈的破坏; 当水温在 15℃ 以下时, 鱼尸体可以保存在水底, 直至被埋藏, 在湖下层水氧气充足、有食腐动物生活的条件下, 也可以被食腐动物破坏。

关键词: 埋藏学; 鱼化石; 古湖泊学; 古生态学

中图分类号: Q 915.862; Q 911.5

文献标识码: A

文章编号: 1000—8527 (2000) 03—0379—06

作者简介: 陈平富 (1965—), 男, 副研究员, 地层古生物学专业, 目前主要从事古鱼类学和化石埋藏学研究。

古湖泊学是研究湖泊系统历史演变的科学, 它以湖水为主体, 通过湖盆形态、湖水物理、化学、生物学等方面的变迁, 揭示湖身以外集水盆地 (如植被变迁、泥沙输入) 和湖泊水体本身 (如藻类生产、水质变化) 所包含的信息, 其中包括湖水表层 (如波浪作用、浮游生物) 和底层 (如水底含氧量、底栖群落) 的信息及沉积作用 (如生物扰动) 和成岩作用等信息。鱼化石埋藏学方法在古湖泊环境的分析中, 主要是通过研究化石形成过程的生物化石分布学 (biostratonomy), 研究湖泊的水文状况、生物作用和沉积体系对生物生存、死亡和保存的影响。

1 鱼化石埋藏学简介

尽管埋藏学在近十年来已备受重视, 但有关鱼类等水生生物的埋藏学研究仍然较少, 多数工作仅集中在陆生生物在水体中的搬运和埋葬, 或者有关海相无脊椎动物的搬运和分选研究。不像建立在水体动力学基础上的搬运、分选和磨损的研究, 静水体系的研究几乎无规律可寻, 除非生物死后漂浮起

来才能有搬运作用发生。因此, 其研究前缘仍然是有关腐解和埋藏过程的实验研究。

水生生物埋藏学研究最早由 Weigelt^[1] 和 Hecht^[2] 率先开展, 主要研究讨论包括鱼类在内的众多生物有机体腐解和石化的过程。有关鱼类群集死亡的现象及其意义主要已由 Brongersma-Sanders^[3, 4] 作了经典性的研究, Gunter^[5, 6] 对北美墨西哥湾鱼类群集死亡现象的观察也是这一领域的经典研究之一, 他们的研究都仅限于海相环境。Gunter 发现许多群集死亡都发生在高含量有机质的沉积物中, 并与古上升流有关, 与 Brongersma-Sander 对现代群集死亡事件的观察结果相一致, 即远岸上升流地区沟鞭藻的大量繁殖造成其他生物群体死亡。Gunter 发现温度的迅速变化 (例如, 冷流前峰快速地穿过) 可导致鱼类和其他海洋生物在滨浅海区大量死亡, 如果径流强度足够引起沉积, 或者低温和高盐度能延迟腐解作用发生, 化石群中就可能记录下这种群集死亡现象。

有关水生生物埋藏学最重要的研究, 是 Schafer^[7] 对生物死亡分解和埋葬过程的直接观察研究, 他的专著《海洋生态学和古生态学》有力地促进了实验埋藏学的发展。他发现北海鱼类死亡后体内产生的气体是造成漂浮运动的动力, 并且阐述了漂浮后的尸体各部分的解体过程。在此基础上,

收稿日期: 2000—05—08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (编号: 49832010);

中国科学院古生物学与古人类学学科基础研究特别支持基金项目 (编号: 960102)。

Smith 和 Elder^[8,9]通过对现代鱼类死亡至埋葬过程的实验观察研究,阐述了鱼类化石保存与湖泊水温、水深、食腐动物、含氧量和水流等因素的关系,并据此对爱达荷州 Clarkia 盆地鱼化石的埋藏环境作了分析。

由于国内有关鱼类等水生生物化石埋藏学的系统研究尚属空白,鱼化石埋藏学的研究近年才被引起重视,因此有必要就鱼化石埋藏学在古湖泊环境研究中的应用作一介绍,供有关研究工作者参考,起到抛砖引玉的作用。

2 鱼化石埋藏学在古湖泊学中的应用

2.1 沉积环境

Zangerl 和 Richardson^[10]对美国 Illinois 盆地宾夕法尼亚纪炭质页岩中鱼群的研究,是鱼类埋藏学的首次综合研究。从鱼类保存的完整性推测页岩是覆有一层席状浮游植物的泻湖相沉积,由于这种席状浮游植物的覆盖,水下鱼类由于食物短缺而死亡,鱼类死亡后沉入基底似粥状的淤泥中,快速地被沉积物包裹,阻止了解体作用的发生,最后形成了精美完整的化石。

Buchheim 和 Surdam^[11]据沉积结构、植物化石、昆虫、水生无脊椎动物和鱼类古生态学资料,对始新世绿河组 Gosiute 湖沉积环境作了研究,认为其主体上由近湖滨沉积和远湖滨沉积组成。近湖滨沉积页岩呈鲕状、马尾构造,含陆生昆虫、介形虫、幼鱼、鱼苗化石,纹层状,有时为书页状,硅质含文石或方解石,无生物扰动和根状斑点,鱼化石几乎完全由保存完好的艾氏鱼组成,认为鱼类是因水介质的碱/盐度的突然变化而死亡的,因水生植物的作用而保存完好,所保存的鱼化石颌有痉挛现象,这种现象在受热休克或缺氧死亡的鱼类中很常见。然而把这种鱼化石组合作为浅水环境标志解释,存在着一些无法解释的问题。首先,滨湖环境中的生物分异度最大,而该组合的分异度相对于湖泊环境明显偏小;其次,沉积物为无生物扰动,与其推测的温暖、浅水环境不相符,通常温暖浅湖中生活有底质扰动的植物、底栖无脊椎动物和鱼类。远湖滨沉积由纹层状碳酸盐岩组成,含典型的绿河组鱼类动物群,艾氏鱼群集死亡化石非常普遍,尤其在剖面的底部 10 m 内,这种群集死亡被认为是由碱/盐度的变化引起的,有人认为 *Am yzon* 和鲶鱼类的 *A stephus* 是一种底层食腐鱼类,以群集死亡的生物尸体

为生。但是,这种解释与 *Am yzon* 的形态功能分析结果不符合, *Am yzon* 有一个端位口(不是腹位口),认为可能是中层水域中食浮游生物的。另外据 Buchheim 和 Surdam 的观察,鱼粪化石为 *A stephus* 的排泄物,认为是栖息于淡水、氧气充足的湖底层。

在艾氏鱼和 *A stephus* 群集死亡层中食腐动物存在的可能性较小,进一步说明湖水的含氧量有限或底层湖水盐度过大或存在有害物质,致使食腐动物群不能生活。粪化石不一定是 *A stephus* 的,只能说明来自生活于表层水域的鱼群。这种水体垂向分层模式与 Bradley^[12]高盐度或下层湖水缺氧的分层性质相似。在以上这种模式中,食腐动物偶尔(如当湖水发生循环时)才敢进入湖底层。偶尔有食腐动物作用的群集死亡层与无化石层相间出现,也有有力地支持了这种假定模式。

2.2 温度、细菌腐解与漂浮作用

Zangel 和 Richardson^[10]通过实验观察,发现部分解体的鱼类骨骼是在暖水中细菌腐解和漂浮作用的结果,当气体逸出、尸体沉入水底之前,尸体不断地被解体和逐渐地腐解。而底层尸体在各方向的短距离分布,被认为是食腐动物作用的结果。在实验观察中发现,尸体的保存不需要非正常的环境条件,只要水温暖,水深相对较浅,食腐动物偶尔的活动和正常的沉积速率就可以。Schafer^[7]认为温度是决定鱼化石保存状况的最主要因素,当水温在 15 以上时,鱼尸体就会因腐烂产生的气体及鱼鳔的作用而浮出水面。Smith 和 Elder^[8]通过进一步的实验观察发现(图 1),鱼尸体一旦浮出水面,只有温度快速下降才能使其重新落入水底,在水温高于 15 的水体中,鱼尸体哪怕仅遭受数小时的腐烂,并且鱼鳔也已经破裂,也可产生足够的气体使鱼尸体浮出水面。此时,即使没有食腐动物的破坏和不被水流带到滨岸的情况下,鱼尸体也将自身解体,颌骨等比重大的骨片将最先分离,最后七零八散地落到水底。在水温高于 20 的水体中,漂浮的鱼尸体只需半天就可以散落到水底;而在水温 15 左右的水体中则需要一个多星期;相反,在水温 10 以下的水体中,鱼死后就完全可以停留在水底长达两个多月而不浮出水面。Smith 和 Elder 还发现爱达荷州 Clarkia 盆地无扰动、保存完整的鱼化石是在鱼死后至少几个月才被埋葬的,其他类似现象在现代湖底和化石记录中都有报道。例如,密执安湖底水深数米且水温低于 15 的地区,鱼尸体在湖底暴露数星期仍然保持完整,仅肉体被部分腐解。

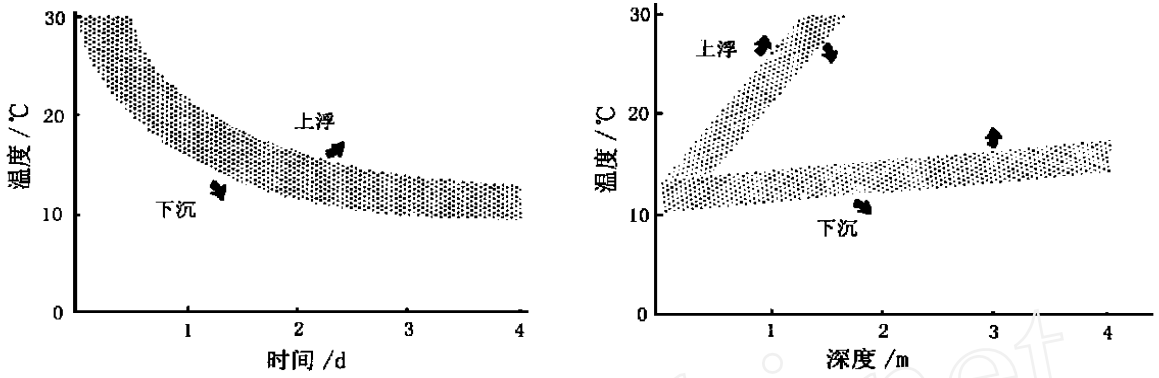


图 1 实验条件下鱼尸体漂浮与水体温度、压力(深度)和时间的关系^[8]

Fig. 1 Graphic summary of observed buoyancy responses to temperature, pressure and time

W aldm an^[13]对澳大利亚东南部早白垩纪 Koonw arra 淡水动物群的研究, 开创了水生理藏学在这方面研究的先例, 在传统解释化石保存完好性的假定前提下, 依据对温度和漂浮的实验观察结果, 对化石保存状况重新作了解释。W aldm an 认为浅水湖湾每年冬季由于冰层隔绝, 造成水体缺氧, 鱼类(包括肺鱼在内)死亡后被冬季沉积的粘土包覆而保存为化石。由于没有食腐动物的分散作用, W aldm an 没法寻找一种覆盖尸体不被其他生物扰动的机制, 冰盖似乎是对无扰动作用发生的唯一解释, 其他可能性解释如漂浮的席状植被、盐壳、有机浮垢或油膜等, 皆因在岩石中找不到存在的证据而均被放弃。通常季候纹泥是分层水体季节循环的指示物, 但他排除了由于分层的深水湖底层缺氧保护了尸体不被食腐动物破坏的可能性, 因为与前面得出的鱼类和相关的昆虫动物群仅生活于浅水区的结论不符。他认为这些生物不应生活(搬运)在深湖中心, 因此不顾古气候证据和现今肺鱼生活于温暖水体的事实, W aldm an 仍然假定水温较冷和严寒冬季的存在。

W ilson^[14]对 W aldm an^[13]的假说模式重新作了检验, 发现多处相互矛盾, 在浅水区第二年春季水温转暖, 可致使冬天死亡的鱼类腐解和漂游起来, 尽管絮凝物或胶状土可以包裹鱼类, 但该剖面的季候泥是由非絮凝物质构成的, 因此冰盖模式值得怀疑。

2.3 湖水的分层性

Sm ith 和 Eld er^[18]的实验结果表明, 温度和压力通过细菌腐解产生的气体控制鱼尸体的漂浮作用, 只有在寒冷的深水条件下气泡作用才被抑制, 因为此时细菌代谢作用减慢, 气泡较小。因此, 保存完整的鱼化石指示寒冷深水环境, 鱼类不能漂浮。

无扰动的季候泥的存在及其他众多证据均表明

Koonw arra 湖可能是一个分层湖, W aldm an^[13]也注意到几乎无细菌腐解痕迹且鱼胸腔内也没有气体致使其膨胀而破裂的现象, 孤立的鱼碎片和破碎的尸体非常少见。因此, Koonw arra 湖鱼尸体群所处环境的水温不高, 深度不浅, 不能漂浮起来, 鱼类死亡和埋藏最可能的模式是湖水是分层的, 鱼类死亡后沉入寒冷且含氧不足的深水层, 很少被食腐动物破坏。

W ilson^[14, 15]对加拿大 British Columbia 始新世湖相沉积和鱼化石进行了研究, 综合分析了古气候、鱼类、昆虫、季候泥和植物化石后, 认为鱼类死亡是由温暖的单季循环分层湖水循环造成的, 化石保存完好归因于缺氧的湖下层水中没有食腐动物存在。

2.4 湖水循环和鱼类大量死亡

M cGrew^[16]对始新世绿河组 Fossil 湖鱼化石的死亡和埋葬分析, 引用 B radley^[12]早先的研究成果, 认为鱼类主要死于夏季分层湖中藻类大量繁殖产生的有害物质, 并首次据保存方式来确定鱼死亡的季节。Fossil 湖中鱼的解体从头和躯体的前半部分开始, 解体作用以不同的速率从最前的椎骨向头部发展, 然后向后到尾部, 躯体的最后部分通常很少破坏, 这种现象被解释为细菌在鳃区和头部的口孔位置最易侵入的缘故。由于在群集死亡层中鱼没有解体, M cGrew 认为死亡和保存为同一事件引起, 快速沉积作用紧接着藻类的大量繁殖, 可以完成这一过程, 即在一个湖中, 水体和营养元素的循环可以引起藻类的大量繁殖, 藻类的繁殖可耗尽水中的二氧化碳, 引起碳酸盐的沉淀。藻类也可能释放对鱼类有害的代谢物, 引起鱼类死亡^[17]。通过对夏季藻类的大量繁殖、鱼类大量死亡和尸体腐解和解体的顺序等系列问题的分析, 他认为鱼解体的程度与在下

次碳酸盐沉淀作用发生之前鱼尸体暴露在湖底的时间呈正比。但是只有在水温较低和一定压力条件下, 未经埋葬的鱼尸体才能停留在湖底, 解体的程度主要还是取决于其他一些因素。Fossil湖中鱼类的解体方式在很大程度上与大食腐动物如蜗牛和小龙虾等的食性偏爱相一致, 与躯体部位的肌肉相比, 它们更喜食头和内脏。

Perkins^[18]曾提出过一个模式, 夏季非季节性的低温引起正常单季循环湖盆含 H_2S 有害气体的下层湖水循环。与此模式交替的解释可用于Fossil湖, 即在暖温-亚热带的冬季循环的暖水单季循环湖, 有着中等的营养元素富集, 当湖水温度在冬季下降后, 湖水循环将湖下层水中的气体带至湖上层, 造成鱼类死亡, 鱼尸体沉入底层冷水中, 当底层氧气充足时, 鱼尸体便被食腐动物所破坏, 春季来临表层湖水转暖, 湖水再次出现分层。湖下层水仍然保持寒冷, 春季藻类繁殖引起碳酸盐沉淀, 同时氧气被耗尽, 在深水处, 鱼尸体被完全覆盖, 不与被食腐动物破坏; 而在浅水区, 鱼尸体仍然暴露在底层遭受食腐动物的进一步破坏, 或者漂浮起来。

2.5 季节性

有3种方法可以验证鱼类的死亡季节, 即尸体解体的顺序、具季节生长纹的骨片^[14, 19]和居群结构^[14]。可以套用McGrew^[16]的方法, 对尸体解体排序, 然后利用在不同温度、水流动量和食腐动物的条件下所获得的实验结果对尸体解体速率进行校正。实验表明, 在没有水流作用和食腐动物的前提下, 鳍条在低温条件下(4~6)至少需4个星期才能解体。因此可据此估算鱼死亡至埋葬的最小时间, 并参照湖泊其他事件发生的假定顺序进行检验。

此外, 可以通过研究骨片和鳞片上的年生长纹^[14, 16, 19]确定死亡季节, 因为鱼死亡的季节可以在生长纹停止发育的部位有记录, 因此, 如果出现骨片的边缘为一密集的生长带, 且生长带之外没有快速生长线, 则说明此鱼渡过了冬季(至少是部分冬季), 但没有活到第二年春季。如果骨片边缘为不全的、代表夏季快速生长的浅色生长带, 则说明此鱼是夏季死亡的。

Wilson^[14]利用标准体长代替鱼的个体大小, 对British Columbia始新世湖盆中的个体数量最大的分类单元即胭脂鱼类*Amyzon*属作直方图统计, 结果显示明显的多峰态分布, 说明鱼类死亡是突发性的, 发生于每年的某一个固定时间, 显示了特殊的“年轮”, 这与他假设的冬季暖单循环湖模式相符

合。并且从实验观察分析角度, 即只有在高温和低压下鱼尸体才能漂浮水面及食腐动物和水流作用对保存方式的影响^[8], 证实了Wilson的结论。

2.6 食腐动物的解体作用和水流的搬运作用

扰动作用与古环境的解释密切相关。食腐动物的存在与否可为湖盆水体的含氧状况及其他一些重要环境因素的研究提供信息, 因此区分食腐动物的破坏作用和水流的分选作用是利用鱼化石保存方式推测水体含氧状况的关键。衡量分散骨片中包含的信息, 首先是测量已知原始关系的骨片之间的距离, 如成对的骨片, 然后通过比较成对骨片的位置与成对骨片的搬运方向和分布距离的频率分布, 引用信息论原理, 得出搬运和埋葬过程的特征, 如与搬运和埋葬速率相关的水流方向。

食腐动物(如腹足类)的实验结果^[9]表明, 鱼骨片通常分散在各个方向, 没有偏向性, 且分布距离不仅与成对骨片无关, 而且与骨片的水动力特征也无关联(图2)。因此, 化石记录中这种保存方式表明是食腐动物作用的结果, 相反则可能代表不适宜食腐动物生活的环境, 如缺氧的底层水。实验结果还表明, 水体缺氧并不妨碍腐解作用和漂浮作用的发生, 但能阻止食腐动物的破坏作用。

水流实验结果^[9]表明骨片的扩散呈单峰态分布, 常常显示了某一特定的方向性。在成对骨片间及形状相同的骨片间的扩散距离均呈一定的相关性。在实验分析一系列不同形状的骨片分散距离的相关性中, 30次实验中有22次表明咽骨搬迁在一起, 且大多数长形骨片和长扁形骨片如额骨等也都呈现了同样的规律性, 仅多方向展布的骨片搬迁规律不明显, 因为它们只在某种特定位置状态下才易保持平稳; 与单骨片相比, 成对骨片在不同时期均易保持稳定状态, 因此更趋分散保存。鳃盖骨系列等扁骨则呈随机方式搬迁(图3)。

从鳞片和鳍条的保存方式, 或者从解体的成对骨片的搬迁距离的相关性来分析, Fossil湖鱼类可能经受过水流作用。微弱定向和相对均质的扰动(在无潜穴的沉积物中)也暗示着鱼类在腐解过程中没有被埋葬^[8]。通过对在不同条件下鱼类腐解程度的实验分析, 可以推测化石鱼类暴露时间的长短, 从而也可以推测沉积速率的大小。

骨片呈多种方向的分散和缺失易为水动力搬运的部分如鳍条和鳞片, 是食腐动物和水流共同作用的结果。经水动力作用的骨片, 如果再经食腐动物扰动, 就可能破坏水流作用形成的分散距离之间的

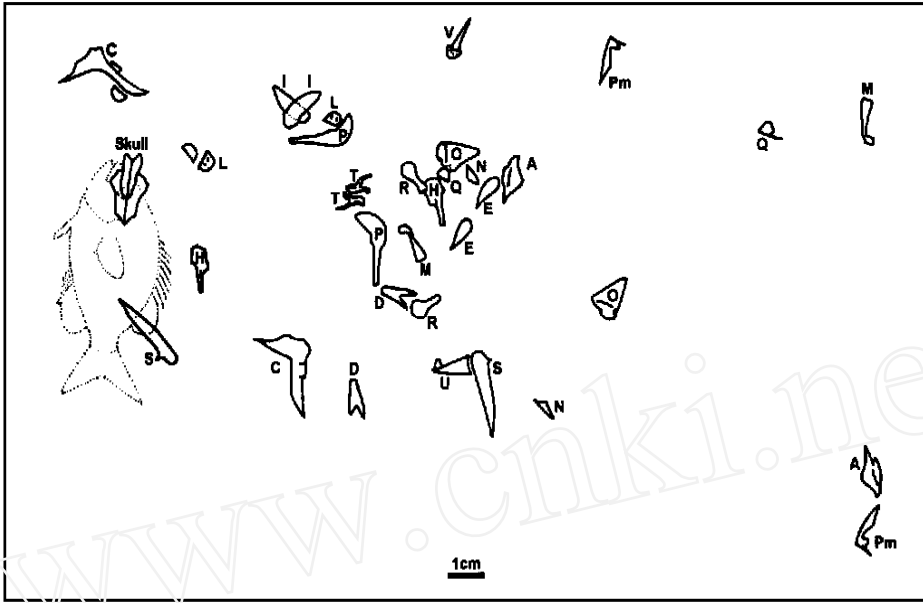


图 2 在 8 个 5~ 12 mm 的腹足动物食腐 14 天后, 翻车鱼 (长约 5 cm) 主要骨片的分布图^[9]

Fig.2 Distribution of major bones of a sun fish (ca. 5cm long) after 14 days of being scavenged by eight 5~ 12 mm gastropods

图左边为鱼被食腐前的位置。A. 隅骨; C. 匙骨; D. 齿骨; E. 外翼骨; H. 舌颌骨; I. 间鳃盖骨; L. 泪骨; M. 上颌骨; N. 咽骨; O. 鳃盖骨; P. 前鳃盖骨; Pm. 前上颌骨; Q. 方骨; R. 角舌骨; S. 下鳃盖骨; Skull. 额骨和顶骨; T. 上颞骨; U. 尾舌骨; V. 犁骨

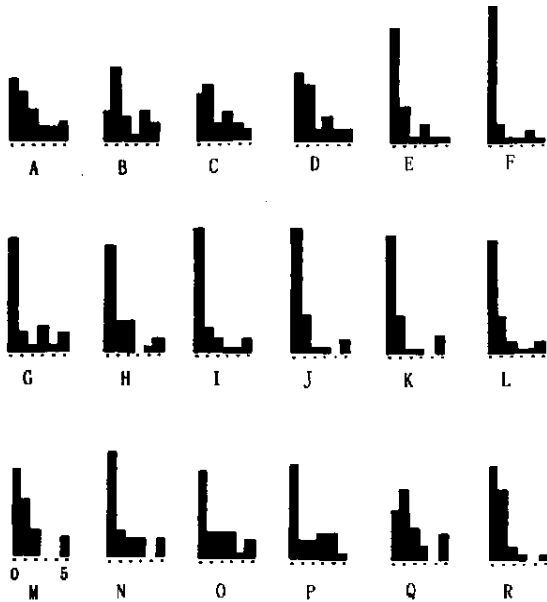


图 3 水槽实验中成对骨片的搬迁距离 (单位: cm, 取对数) 频率分布示意图^[9]

Fig.3 Frequency distributions of distances between paired bones transported by current in an experimental tank

图中长形骨片如咽骨、肋骨及具有一定形状的骨片与水流搬迁的相关性较好, 可提供有关埋藏学信息。A. 鳃盖骨; B. 间鳃盖骨; C. 前鳃盖骨; D. 下鳃盖骨; E. 翼骨; F. 咽骨; G. 前上颌骨; H. 上颌骨; I. 角舌骨; J. 脊椎骨; K. 鳍棘; L. 肋骨; M. 匙骨; N. 舌颌骨; O. 方骨; P. 隅骨; Q. 齿骨; R. 额骨

相关性, 形成多方向分散的覆印。反之, 水流作用对经食腐作用过的骨片的影响也一样。

3 结 语

对化石骨片的解体、方向和移置方式的分析, 可以测定湖泊的古温度和古水深, 推测湖泊的分层模式和生物死亡的季节和原因, 估测含氧状况和水化学性质及沉积速率。埋藏学方法的最大优势是可以进行验证。埋藏学研究主要有 2 种方法。传统的方法是对化石保存体系进行比较研究, 把研究对象视为自然实验体, 假定其中的一些因素不变, 把其他因素作为变量研究, 当选择样品用于说明前面得出的结论时, 这种方法就有可能出现差错; 另一种方法为实验埋藏学方法, 利用在实验控制体系中现代生物与环境的关系去验证和推测埋藏过程, 这样通过比较化石保存特征与已知实验条件下所获得的结果, 就可以解释化石与环境的关系。

实验研究为水生生物及陆源生物化石的保存机制提供了最为可靠的方法。腐解、搬运和埋葬作用可以在实验条件下进行研究, 将这一过程视为在生物活动和水动力作用下信息遗失、重组和储存的过程。由于潜在的埋藏信息与生物有机体的结构复杂性有关, 所以鱼化石骨骼及其骨片重新排列的独

特方式(如在细菌、水流和食腐动物作用)蕴藏着丰富的有关古湖泊环境方面的信息。

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所张弥曼院士为本文提供了大量文献资料并提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] Weigelt J. Resente Wirbeltierleichen und ihre Paläobiologische Bedeutung [M]. Weg: Leipzig, 1927. 227.
- [2] Hecht F. Der Verbleib der organischen Substanz der Tiere bei meeresischer Einbettung [J]. Senckenbergiana, 1933, 15 (3-4): 165—249.
- [3] Brongersma-Sanders M. The importance of upwelling to vertebrate paleontology and oil geology [J]. Verh K Ned Akad Wet, Afd Nat Sect 2, 1948, 45 (4): 1—116.
- [4] Brongersma-Sanders M. Mass mortality in the sea [A]. In: Hedgpeth J W. Treatise on Marine Ecology and Paleocology, E Ecology [C]. Geol Soc Am Mem, 1957, 67: 941—1010.
- [5] Gunter G. Death of fishes due to cold on the Texas coast, January 1940 [J]. Ecology, 1941, 22: 203—208.
- [6] Gunter G. Catastrophism in the sea and its paleontological significance, with special reference to the Gulf of Mexico [J]. Am J Sci, 1947, 245 (11): 669—676.
- [7] Schäfer W. Ecology and Paleocology of Marine Environments [M]. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1972. 568.
- [8] Smith G R., Elder R L., Environmental interpretation of burial and preservation of Clarkia fishes [A]. In: Smiley C J. Later Cenozoic History of the Pacific Northwest [C]. San Francisco: Pac Div Am Assoc Adv Sci, Calif Acad Sci, 1985. 85—93.
- [9] Elder R L., Smith G R. Fish taphonomy and environmental inference in paleolimnology [J]. Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol, 1988, 62: 577—592.
- [10] Zangerl R., Richardson E S. The paleoecological history of two Pennsylvanian black shales [J]. Fieldiana Geol, 1963, 4: 1—352.
- [11] Buchheim H P., Surdam R C. Paleoenvironments and fossil fishes of the Laney member, Green River Formation, Wyoming [A]. In: Gray J., Boucot A J., Berry W B N. Communities of the Past [C]. Stroudsburg, Pa: Dowden, Hutchinson and Ross, 1981. 415—452.
- [12] Bradley W H. Limnology and the Eocene lake of the Rocky Mountain region [J]. Geol Soc Am Bull, 1948, 59: 635—648.
- [13] Waldman M. Fish from the freshwater Lower Cretaceous of Victoria, Australia, with comments on the paleoenvironment [J]. Spec Pap Paleontol, 1971, 9: 1—124.
- [14] Wilson M V H. Paleocology of Eocene lacustrine varves at Horseshy, British Columbia [J]. Can J Earth Sci, 1977, 14: 953—962.
- [15] Wilson M V H. Eocene lake environments: depth and distance-from-shore variation in fish, insect, and plant assemblages [J]. Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol, 1980, 32: 21—44.
- [16] McGrew P O. Taphonomy of Eocene fish from Fossil Basin, Wyoming [J]. Fieldiana Geol, 1975, 33 (14): 257—270.
- [17] Prescott G W. Objectionable algae with reference to the killing of fish and other animals [J]. Hydrobiologia, 1948, 1: 1—13.
- [18] Perkins P L. Fossil Lake, Wyoming, and its magnificent inhabitants [J]. Discovery, 1970, 6 (1): 33—40.
- [19] Smith G R. Paleontology of hidden cave: fish [J]. Anthropol Pap Am Mus Nat Hist, 1985, 61: 171—178.

FISH TAPHONOMY IN THE ENVIRONMENTAL INFERENCE OF PALAEO LIMNOLOGY

CHEN Ping-fu

(Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044, China)

Abstract Fish taphonomy—the pattern of death and dispersal of bones may contribute information to limnology, community composition, life history, mortality, depositional environment and preservation. Taphonomic reconstruction of ecology and preservation depends on the applicability of analogous processes in modern ecology and limnology. Temperature is the most important factor in determining the fate of a fish carcass. Above about 15 °C (depending on depth and pressure), most carcasses are made buoyant by bacterial decay gases and transported to the water surface where they may decay further and fall piecemeal into deepwater environment, or drift to beach environment where wave energy disarticulates, abrades, and scatters the bones. Below about 15 °C, most carcasses remain on the bottom until buried; they may be disturbed by scavengers, depending on oxygen concentration in the hypolimnion.

Key words taphonomy; fish fossil; paleolimnology; paleocology