

文章编号: 1000-0550(2003)04-0579-07

黄河下游边滩表面的鱼类遗迹^①

王冠民^{1, 2, 3} 温志峰³ 马在平³

1(中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

2(中国科学院研究生院 北京 100039)

3(石油大学地球资源与信息学院 山东东营 257061)

摘要 黄河下游边滩泥质沉积物表面常遗留有鱼类的各种痕迹, 有(1)游泳迹: 包括由鲮鱼尾鳍刻划形成的各种线状延伸和非线状延伸的单一波线; 臀鳍形成的线状延伸的单一波线; 腹鳍紧贴泥质沉积物表面形成的平行成对波线; 胸鳍扇动时形成的不平行断续成对波线; 以及上述各种波线所形成的组合。(2)鲮鱼进食遗留下来的圆环状或圆坑状牧食迹, 可组合成葡萄状、弧形、星点状、线状、“之”字形、带状等各种形态。(3)鱼粪。本文对上述各种鱼类痕迹的特征、成因、形成环境进行了详细阐述, 并认为缓慢沉积的泥质沉积物表面是鱼迹形成并保存的前提。

关键词 黄河 边滩 鱼类痕迹 游泳迹 牧食迹

第一作者简介 王冠民 男 1969年出生 博士生 讲师 矿物学、岩石学、矿床学

中图分类号 P512.2 P534.53 Q911.28 **文献标识码** A

鱼类常常是盆地水体中的优势物种, 但鱼类在沉积物表面遗留下来的遗迹却相当少见, 在地层中能够保存下来的更是十分稀少^[1, 2], 主要原因是游泳生物造迹的机会比较少以及缺乏必要的保存条件。尽管从1925年 Houghton 在地层中首先发现鱼迹 (*Undichna*) 以来, 也曾陆续零星有文章发表^[1, 3~11], 但到目前为止人们在地层中所发现的鱼迹类型还相当少, 对鱼迹的成因和特征等方面有待于进一步的系统研究。

黄河具有世界上独一无二的水文条件、负载物、沉积背景, 尤其是其大量的细碎屑沉积物, 在河床中发育着许多特殊的沉积构造^[12~24]。本文作者近五年期间进行黄河沉积考察时, 发现了大量的鱼类遗迹(鱼迹)其中许多种类型从未见报道。在这里笔者对黄河边滩上所发现的各种鱼迹的特征、成因、形成环境以及所反映的水动力、底形、沉积速率等方面做一总结和讨论, 以便抛砖引玉。

1 鱼迹的形成背景

鱼迹主要发育于黄河边滩的泥质沉积物表面, 靠近河床底部的粉砂、细砂等细碎屑物质表面尚未见及。由于黄河所携带沉积物主要是粉砂、粘土, 且河水间歇性涨落, 当河水回落时, 边滩表面常被粘土层所覆盖, 水退以后, 沉积物表面常留下大量鱼迹。

黄河边滩上的造迹鱼类主要是鲮鱼, 是一种广盐

性鱼类, 体细长, 头短、宽、扁, 除具尾鳍和臀鳍以外, 胸鳍位于鳃盖的正后方, 腹鳍胸位。主食水底泥土中的有机物, 生活在沿海、江河或咸淡水交界处, 属浅水性鱼类, 是目前黄河下游河流中的主要鱼类。

2 鱼迹类型

从鱼类习性遗迹的生态分类角度考虑, 黄河边滩上的鱼迹主要包括两类: 游泳迹和牧食迹。

2.1 游泳迹

游泳迹是指鱼在水底游动时产生的遗迹, 为了便于与已发现的鱼类“游泳迹 (*Undichna*)”对比^[1, 3~6, 8, 9, 11], 在这里对黄河边滩上所发现的鱼类游泳迹亦采用形态学分类。

2.1.1 类型 I—单一波线类

由一条连续或不连续的波线构成, 主要由鲮鱼的尾鳍独自刻划而成。按其连续程度, 包括线状延伸和非线状延伸两种类型(图 1)。

(1) 线状延伸的波线: 波线有明显的延伸方向, 系鲮鱼连续向前游动时由尾鳍刻划而成。Anderson 等人^[1, 3, 6]描述的 *Undichna* 通常表现为典型的正弦曲线状。但在黄河边滩上这种鱼类游泳迹较少见, 不仅波形多前后不对称, 而且往往左右也不对称, 甚至沿走向上一端的波长短、刻划深, 另一端的波长长、刻划浅(图 1a, 图版 I-a)。另外, 波线的延伸方向也常发生

① 国家重点基础研究发展规划项目(批准号: G1999043603)、国家自然科学基金项目(批准号: 49972037)、高校博士点基金项目(批准号: 20010425004)、山东省自然科学基金项目(批准号: Q99E01)联合资助

收稿日期: 2002-10-29 收修改稿日期: 2003-03-21

变化,这些特征表明鱼类游动过程中的游动速率、尾鳍摆动频率、游动方向、所处深度均不断发生改变。横断面上这类游泳迹多为不对称的“V”型,一侧陡一侧缓(图1a)。

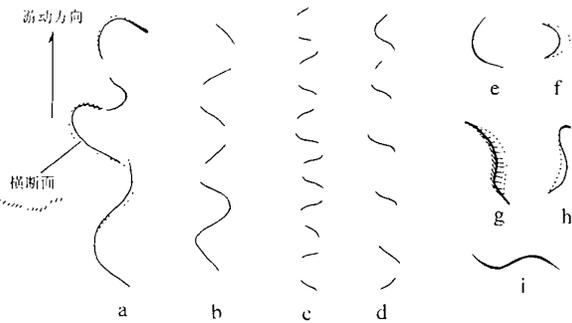


图1 类型I—鱼迹中的单一波线

Fig. 1 Type I - simple wave line of fish-produced markings

即便少量近似正弦曲线对称的鱼类游泳迹,沿游动方向上也有深浅、宽窄的变化,一般在波峰处,由于尾鳍摆动时向两边的扬起,波线浅而窄,较“轻淡”;在相邻波峰的过渡位置,波线宽而深,较“浓重”(图1b,图版I-b)。部分曲线呈现连续排列的“八”字形(图1c),或因某一侧波线不明显而表现出雁行式排列(图1d,图版I-c)。与前述不对称波线另一个明显区别是:这种波线刻划深度偏浅,横断面多见近对称的“V”型。

大量观察表明,如果鱼的前进受阻,尾鳍大幅度摆动,会在沉积物表面刻划出一系列向后突出的弧线,这些相连的弧线就使波线变得前后不对称。受阻越严重,尾鳍摆动幅度越大,波线前后不对称的程度越大,波峰尖端的指向代表鱼前进的方向(图1a,图3b,图版I-a)。与之相反,鱼在正常匀速游动情况下,一般形成近于正弦波状游泳迹,振幅相对较小,波形规则。从所处沉积环境上看,在黄河边滩上类似正弦曲线的游泳迹所发育的水体一般较不对称游泳迹要深,使鱼前进受阻的因素主要是过浅的水体。

当鱼的前进开始受阻时,尾鳍下部的硬鳍条后端在沉积物表面顺摆动方向划出凹槽,同时由于相对柔软的尾鳍末梢向后用力扇动,又扫过凹槽外侧,使波线的横断面最后成为不对称的“V”型(图1a),故而在波线转折端,凹槽缓坡一侧整体倾向也代表了鱼的游动方向。

(2) 非线性延伸的波线:该类型波线常呈弧形,不连续,无明显延伸方向,按波线的形态,可划分为以下三种形态:

弧形:波线形态为对称或近对称的弧形、新月形,

中间刻划深度稍大、较宽,向两端变窄,逐渐尖灭。包括二种情况:第一种横断面为对称的“V”型,一般刻划深度较浅,弧线的曲率较小(图1e,图版I-d),是鱼类在水底较缓慢正常游动时,尾鳍偶尔触及水底刻划而成。第二种情况是横断面为不对称的“V”型,弧线的曲率较大(图1f),是鱼类在近水底处突然快速转身,尾鳍划过沉积物表面同时向外横扫而成,较缓一侧的倾向大致代表了鱼类的前进方向。

不对称“S”形波线:曲线形态呈不对称“S”形,一端刻划较深,向另一端变浅并逐渐尖灭,横断面呈不对称的“V”型(图1g,h,图版I-d)。这类遗迹形成于鱼类接近水底时,尾鳍猛然击打了沉积物表面,尔后快速向上离去的条件下。在大小相同时,深度代表了尾鳍的打击强度,逐渐尖灭方向代表了鱼的离去方向。

对称“S”形波线:平面上呈对称或近对称的“S”型,两端逐渐尖灭(图1i,图版I-d)。波线曲率很小时可接近于直线,波线横断面多呈对称的“V”型,系鱼类正常游动时尾鳍偶然触及沉积物表面刻划而成。

非线性延伸的波线在黄河边滩上局部的静水地带(如滩湾)常密集成群出现,多由小鱼群体在该地带嬉戏、追逐时尾鳍刻划而成,水体深度应不影响鱼的正常游动。波线类型多,极杂乱,无方向性,同时结合上述波线本身特征,可以将其与流水成因的工具痕相区别。

2.1.2 类型II—成对波线类

表现为两条连续或不连续的波线,系鱼类游动过程中由腹鳍或胸鳍刻划而成。按波线的连续和平行程度,分为以下两种形态:

(1) 平行成对波线:波线呈两条连续的相互平行曲线。观察表明,鱼的腹鳍在游动过程中很少运动,一般收缩于胸、腹部,故鱼类在泥质表面游动过程中,常可以划出一些近于平行的波线。波线的曲率一般较小,这与鲮鱼腹鳍胸位,摆动幅度相对较小有关。

按刻划形式,黄河边滩上的平行成对波线可分为线状和带状两种:

线状平行波线:Anderson等^[38]曾在地层中和现代大西洋底发现过该类痕迹,由鱼腹鳍外侧的鳍条刻划而成,正弦波状延伸,可单独出现。与之相比,黄河边滩表面该类鱼迹一般多与尾鳍形成的非正弦状单一波线构成组合(图2a)。平行波线较连续者,单一波线也较连续,所形成的水体往往极浅,系鱼类竭力摆脱极浅水地带,在泥质表面连续游动形成的;平行波线断续或偶然出现者(图2b),所代表的环境水体往往稍深,是鱼类在水底游动时腹鳍间歇性触碰泥质表面形成。

带状平行波线:系鱼的腹鳍外缘全面贴在泥质沉积物表面游动时压刻而成。波线呈条带状,表面光滑

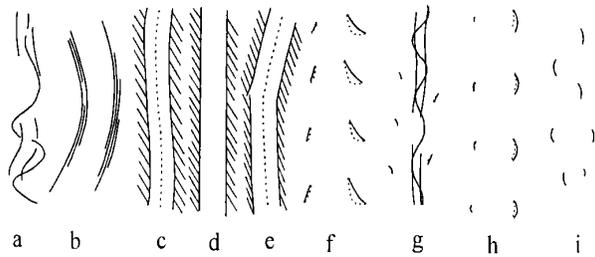


图 2 类型 II 一对对波线形鱼迹

Fig. 2 Type II - paired wave lines of fish-produced markings

(图 2c、d、e), 压刻深度一般小于 1.0 mm。有时在带状波线中间出现与两个腹鳍间隙有关的线状突起(图 2c、e, 图版 I - e)。波线形态上可呈连续或断续波状(图 2c, 图版 I - e)、直线状(图 2d)、折线状(图 2e)。这类波线主要见于刚沉积不久的平坦、细腻、松软的泥质沉积物表面和浅水、安静的水体条件下。

(2) 不平行断续成对波线: 表现为断续的、弧的弯曲方向相反的两条波线, 波线的延伸方向彼此平行, 系鱼的胸鳍扇动时, 不断触碰底层的泥质沉积物表面形成的痕迹。尽管 Anderson 等^[1, 3, 6]曾在地层中发现了鱼胸鳍刻划而成的连续对称的成对波线, 但黄河边滩上所发现的胸鳍刻痕均为断续的弧线状, 类型也更为多样。

按弧线的弯曲方向, 这类波线包括敞开式和内敛式两种类型。

敞开式: 波线呈连续叠置的“八”字型, 一端敞开, 一端收敛(图 2f, 图版 I - c), 系鱼的胸鳍由内向外划动时刻划而成, 收敛端代表鱼的游动方向。该类曲线常单独成对出现, 也可与腹鳍或尾鳍形成的波线相伴(图 2g)。每个单独的弧形波线形态上表现为收敛端深、窄, 敞开端宽、浅, 并逐渐消失, 有时可简化成类似于标点中的“、”形。左右两条波线的长短、宽窄通常并不完全相同, 可以对称成对出现(图 2f), 也可以错开一定相位(图 2g)。

内敛式: 波线呈连续叠置的“()”形, 两端均向内收敛(图 2 h、i, 图版 I - f), 系鱼的胸鳍由外向内弧形扇动刻划而成, 多单独出现, 很可能是鱼类头向下觅食游动过程中形成的。每个单独的弧形波线也常表现为一端深、窄, 另一端浅、宽(图 2 h, 图版 I - f), 深窄的一端代表鱼的游动方向。与敞开式类似, 左右两条波线的长短、宽窄也常不完全相同甚至简化成“、”状, 可同时出现也可错开一定相位, 两条波线间的距离也常发生变化(图 2i), 代表两胸鳍的划动过程可以不同步, 幅度也可以不一致。

2.1.3 不同鱼迹波线的组合类型

上述各种鱼迹波线也常以组合方式出现, 常见的类型有:

(1) 尾鳍的单一线状延伸波线 + 腹鳍的平行成对波线(图 3a): 这种类型是组合波线中最常见的一种类型, 有时两侧伴随有胸鳍形成的不平行连续成对波线或臀鳍形成的单一线状延伸波线, 但上述四种波线共同出现的情况极少观察到。

该组合中尾鳍波线一般振幅最大, 臀鳍次之, 腹鳍最小(图 3a)甚至接近于直线状, 但不同波线的波长一般相同, 代表了游动过程中鱼类身体不同部位摆动的频率是一致的, 摆动幅度从头向尾增大。不同类型的波线之间不是同相位的, 彼此间均有一定的相位差。胸鳍波线与其它波线的波长一般相差较大(图 2g), 表明胸鳍的运动与身体的摆动关系不大。

有时可见到尾鳍的波线波长小于腹鳍波线波长的情况(图 3b, 图版 I - a), 而且较特殊的是尾鳍波线在波峰处的刻划深度最大, 这与鱼类误入极浅水地带, 尾鳍快速摆动, 拍打泥质表面, 以期摆脱该环境有关。

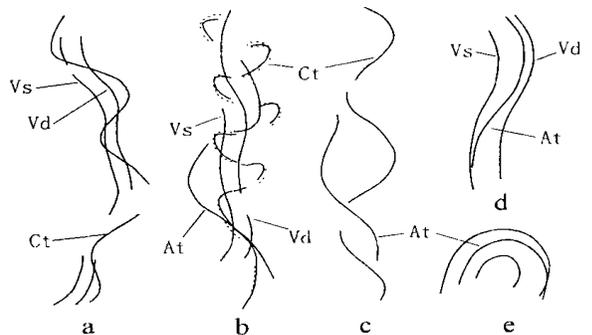
(2) 尾鳍的单一线状波线 + 臀鳍的单一线状波线: 这种波线组合较少见, 其特点是两种波线呈波长相同的正弦波状(图 3c), 彼此相位相差半个波长, 延伸短, 所发育水体较前一组合稍深。

(3) 腹鳍的平行成对波线 + 臀鳍形成的单一线状波线: 该类型所见亦不多, 该组合波线的延伸长度均很短, 与鱼类腹部触及了沉积物表面, 又快速升起有关。

该组合中两种波线的相位大致相同, 但臀鳍的振幅稍大(图 3d、e), 所形成的水体亦相对较深。

2.2 牧食迹

鱼类的牧食迹更少见报道, Nelson^[7]曾描述了利用声纳发现的在白令海峡陆架上的长 47m, 宽



Vs—左侧腹鳍刻划波线; Vd—右侧腹鳍刻划波线;

At—臀鳍刻划波线; Ct—尾鳍刻划波线

图 3 不同鱼迹波线的组合类型

Fig. 3 Combined types of different fish-produced wave line

0.4 m, 深0.1 m的鲸鱼觅食迹。在黄河边滩上, 由于鲮鱼主食泥土中的有机质(藻类), 故鱼的牧食迹比较容易看到。

所见的单个牧食迹形态常呈大小不等的环行小坑, 中间有一小丘状突起(图4a), 也有的丘状突起不明显, 呈圆坑状(图4b)。

牧食迹的组合形态类型多样, 水下地形不同, 其组合形态也不同。

(1) 较平坦的水下地形: 该条件下, 牧食迹可以单独出现, 但更多是以成群方式出现, 成群出现的组合形态有:

葡萄状: 多个牧食迹聚集在一起(图4c), 系鱼类在某一位置连续进食形成的, 有时甚至因沉积物被大量啃咬而形成不规则的浅坑。

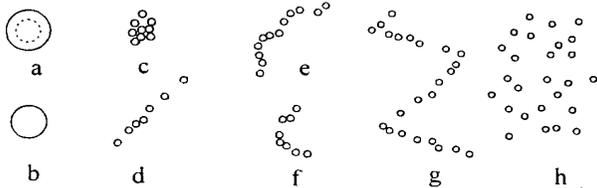


图4 鱼的牧食迹(a、b比例相对放大)

Fig. 4 Pascichnia of fish

线状: 多个牧食迹排列成近直线状(图4d)或不规则的曲线状(图4e, 图版I-g), 系鱼类个体一边向前游动, 一边进食形成的。该情况下的水底生长的藻类往往比较少。

弧形: 见于新月形、舌形、链状波痕的波谷, 呈分散的弧形分布, 这与很浅覆水条件下藻类率先在水体相对稍深的波谷生长有关(图4f, 图版I-h)。

“之”字形: 多个线状排列的牧食迹组合成“之”字形(图4g), 有时这种“之”字形可以延伸长达8~9 m。该形态主要在坡度很缓、起伏很小的岸边出现。

星点状: 大量牧食迹呈疏密不等的星点状成片分布(图4h, 图版I-g), 主要见于河边积水很浅的冲坑、冲沟、滩湾地带, 与水体浅、静、清条件下的藻类大范围均匀分布有关。

(2) 坡度较陡的岸边: 如果波浪极其微弱, 则藻类主要分布于岸边的水面附近, 鱼类可以大致沿水位线进食, 形成沿岸线状排列的牧食迹。随着水位的逐渐下降, 鱼类的牧食迹可以沿岸组合成一系列的带状或环带状形态。

2.3 鱼粪

理论上讲, 鱼粪化石要较鱼迹容易形成得多。尹赞勋^[10]曾专门讨论过鱼粪化石, 但所确定的鱼粪化石

一般十几厘米至几十厘米大小, 呈螺旋形。

黄河边滩上的鱼粪较常见, 形态多呈几mm长, 0.5~1.5mm粗的圆柱形或扁圆柱形, 黄绿色或暗绿色, 长短不等, 散落分布, 与鱼迹相伴, 所存在的环境为相对静水条件。

3 鱼迹的组合分布特征

总结发现, 在水下底形起伏较大的极浅水地带(深度约1~2个鱼身高), 鱼因逃逸的需要, 主要形成不对称的非正弦线状延伸的波线; 但如果底形相当平坦, 沉积物松软、细腻, 不影响鱼类的游动, 则鱼类紧贴底面游动会形成平行成对波线和不平行断续成对波线, 藻类丰富时可伴有少量牧食迹。

随着水体加深(大于1~2个鱼身高), 鱼类能够正常游动的状态下, 则主要产生近似正弦曲线的线状延伸波线, 偶见弧形非线状延伸波线; 由鱼类成群嬉戏形成的各种非线状延伸波线则很少与其它类型波线相伴生; 牧食迹则大量出现在富有机质的泥质沉积物表面, 可与其它各种波线相伴生。但当水深进一步加大时, 鲮鱼的正常游动位置开始远离水底, 各种波线逐渐消失, 只单独出现牧食迹, 更深水条件下, 则只能有鱼粪出现。

4 鱼迹的形成和保存条件讨论

黄河边滩上的鱼迹主要发育于岸边浅水地带的极细粉砂和泥质沉积物表面; 卢宗盛等曾在陕西横山晚三叠世深湖相泥岩中发现了鱼迹化石; Anderson^[3]所确定的 *Undichna* 发育于浅湖相细粉砂岩中。但不论水体深浅, 大范围分布的细粉砂、泥质表面应是鱼迹形成的主要场所。很明显, 鱼类很少在粗碎屑表面刻划出痕迹, 因为一方面粗碎屑很容易使鱼鳍受伤, 另一方面鱼鳍所形成的微弱痕迹也很难表现出来和保存下来。

理论上讲, 浅水鱼类、较深水条件下的底层鱼类应是最主要的造迹者, 所需要的环境条件为相对静水。前文所述也表明, 鱼迹的形成和特征主要与鱼类的习性、水体环境和底形条件有关。水体较深、底形平坦的静水环境有利于形成如 Anderson 等^[1,3-6,8,9,11]描述的正弦波线一样的典型鱼迹; 而相同条件下的浅水地带, 鱼迹形态则很复杂。在保存方面, 缓慢的泥质沉积速率有利于鱼迹的保存。一个明显的对照是, 在黄河边滩上所见到的鱼迹, 如果是在泥质沉积物正在大量沉积, 水体浑浊的情况下(即所谓的汤底^[2]), 所形成的鱼迹往往不清晰, 因为此时泥质质点间尚未粘结, 粘土的流变性很容易使已形成的痕迹遭受破坏; 而在泥质

已经大量沉积, 水体较为清澈的底面, 所留鱼迹往往较清晰。

值得进一步说明的是, 由于不同种类鱼之间的形体差别较大, 鱼鳍的形态、大小、位置、发育程度的不同均会造成鱼迹的变化, 应根据实际情况加以判断。但无论如何, 最典型的鱼迹还应是鱼类身体摆动时尾鳍所留下的单一波线, 尤其是线状延伸的单一波线。

参考文献 (References)

- 1 Turek V. Fish and Amphibian trace fossils from Westphalian sediments of bohemia[J]. *Paleontology*, 1989, 32: 623~643
- 2 胡斌, 王冠忠, 齐永安. 痕迹学理论与应用[M]. 江苏徐州: 中国矿业大学出版社, 1997. 32~63[Hu Bin, Wang Guanzhong, Qi Yong'an. The Theory of Ichnology and its Application[M]. Xuzhou Jiangsu: China University of Mining Technology Press, 1997. 32~63]
- 3 Anderson A M. Fish trails from the Early Permian of South Africa[J]. *Palaeontology*, 1976, 19: 397~409
- 4 Archer A W, Maples C G. Trace-fossil distribution across a marine to nonmarine gradient in the Pennsylvanian of southwestern Indiana[J]. *Journal of Paleontology*, 1984, 58: 448~466
- 5 Bainbridge R. Caudal fin and body movement in the propulsion of some fish[J]. *Journal of Experimental Biology*, 1962, 40: 32~56
- 6 Higgs R. Fish trail in the Upper Carboniferous of South-West England [J]. *Paleontology*, 1988, 31: 255~272
- 7 Nelson C H. Grey whale and walrus feeding excavation on the Bering shelf[J]. *Sedimentary Petrography*, 1987, 57(3): 419~430
- 8 Stanley D J. Fish-produced markings on the outer continental margin east of the middle Atlantic states[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1971, 41: 159~170
- 9 Warren A. Queensland trace fossils pose a 230 million old problem[J]. *Australian Natural History*, 1972. 160~162
- 10 尹赞勋. 记鱼粪化石[A]. 1945. 见: 尹赞勋文集[C]. 北京: 科学出版社, 1984. 101~105[Yin Zanzun. The note for fish coprolites [A]. In: Yin Zanzun's Corpus[C]. Beijing: Science Press 1984. 101~105]
- 11 卢宗盛, 陈斌. 陕西横山晚三叠纪鱼类游泳遗迹(*Undichna*)的发现[J]. *古生物学报* 1998, 37(1): 77~82[Lu Zhongsheng, Chen Bin. Discovery of late Triassic fish trails (*Undichna*) in Hengshan county, Shaanxi, China[J]. *Acta Paleontologica Sinica* 1998, 37(1): 77~82]
- 12 钟建华, 马在平. 泥砂钟乳——一种特殊的沉积构造[J]. *科学通报*, 1997, 42(17): 1 853~1 856[Zhong Jianhua, Ma Zaiping. The silt stalactite; a peculiar kind of sedimentary structures[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(23): 1 974~1 977]
- 13 钟建华, 马在平. 黄河三角洲胜利I号心滩的研究[J]. *沉积学报*, 1998, 16(3): 38~43[Zhong Jianhua, Ma Zaiping. The study to Shengli I point bar on Yellow river delta[J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1998, 16(3): 38~43]
- 14 钟建华, 马在平. 黄河三角洲变形层理的研究[J]. *沉积学报*, 1998, 16(1): 45~49[Zhong Jianhua, Ma Zaiping. Study on the deformation bedding in the delta of Yellow river[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*. 1998, 16(1): 45~49]
- 15 钟建华, 周瑶琪. 黄河三角洲平原上的泄气坑的发现[J]. *科学通报*, 1999, 44(11): 1 026~1 028[Zhong Jianhua, Zhou Yaoqi. The discovery of air-discharge holes on the Yellow river delta[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(11): 1 026~1 028]
- 16 钟建华, 侯启军, 钟延秋. 黄河三角洲(泄水)包卷层理的成因研究[J]. *地质论评*, 1999, 45(3): 306~312[Zhong Jianhua, Hou Qijun, Zhong Yanqiu. Genesis of the (sluicing)convolute bedding in the Yellow River Delta[J]. *Geological Review*, 1999, 45(3): 306~312]
- 17 钟建华, 李理. 黄河断流后三角洲(水上平原)的滑塌构造研究[J]. *沉积学报*, 2000, 18(1): 7~10[Zhong Jianhua, Li Li. Study of slump structure on the Yellow river delta during its zero[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(1): 7~10]
- 18 钟建华, 倪晋仁, 吴孔友, 等. 黄河三角洲上特殊侵蚀沟槽的研究[J]. *高校地质学报*, 2000, 6(3): 462~468[Zhong Jianhua, Ni Jinren, Wu Kongyou, et al. Unusual erosion channels in Yellow river delta: features and genesis[J]. *Geological Journal of China Universities* 2000, 6(3): 452~468]
- 19 Zhong Jianhua, Wu Kongyou, Ni Jinren. A preliminary study of mill marks in the Yellow river delta [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2000, 18(4): 527~533
- 20 钟建华, 倪晋仁, 宋维奇, 等. 黄河三角洲上的冰成隆丘的研究[J]. *沉积学报*, 2001, 19(3): 357~362[Zhong Jianhua, Ni Jinren, Song Weiqi, et al. Study on the ice-induced heaving in Yellow river delta [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2001, 19(3): 357~362]
- 21 钟建华, 倪晋仁, 沈晓华, 等. 黄河下游壶穴的研究[J]. *地质学报*, 2002, 76(2): 36~48[Zhong Jianhua, Ni Jinren, Shen Xiaohua, et al. Study of potholes in the lower reaches of the Yellow River [J]. *Acta Geologica Sinica* 2002, 76(2): 36~48]
- 22 钟建华, 王冠民, 王夕宾, 等. 黄河下游冰成滑塌与塌陷构造的研究[J]. *沉积学报*, 2002, 20(2): 261~266[Zhong Jianhua, Wang Guamin, Wang Xibin, et al. Study on the ice-induced slump and subsidence structures in the lower course of yellow river[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 261~266]
- 23 Zhong Jianhua, Shen Xiaohua, Ni Jinren. The Shengli I point bar on Yellow river delta: Three-Dimensional structures and their evolution [J]. *Geologica Sinica (English edition)*, 2002, 76(4): 463~477
- 24 钟建华, 王洪宝. 黄河下游河道的冻裂研究[J]. *沉积学报*, 2002, 20(2): 650~655[Zhong Jianhua, Wang Hongbao. Study on the frozen cracks in the lower reaches of Yellow river[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 650~655]

Fish-Produced Markings: A Special Structure on Yellow River Point Bar

WANG Guan-min^{1, 2, 3} WEN Zhi-feng³ MA Zai-ping³

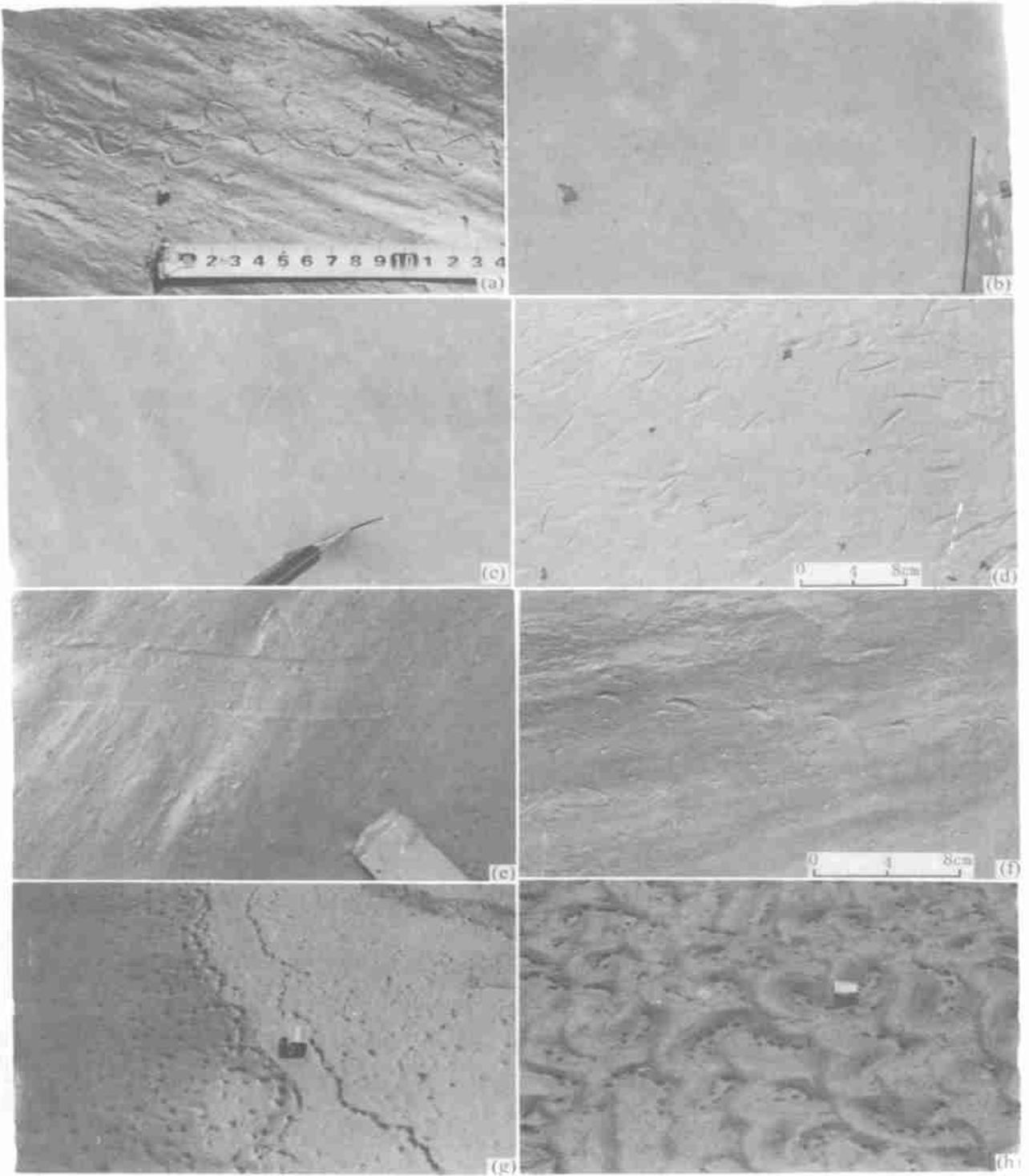
¹(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

²(Postgraduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

³(Earth Science and Information College, Petroleum University, Dongying Shandong 257061)

Abstract Many fish-produced markings are well developed on the argillaceous sediment overlying the Yellow River point bar. They are: (1) swimming trace, i. e. the simple wave line elongating in the linear or nonlinear form due to the scratch of the tail fin of fish; the simple line elongating in the linear form induced by anal fin; the parallel paired wave line on the argillaceous sediment caused by the ventral fin; the intermittent discordant paired wave line caused by the swing of pectoral fin; and the combinations of wave lines above. (2) round or pit-like pascichnia, combined together in the grape, curved, disperse, linear, zigzag, banded form etc, produced by the fish grazing. (3) fecal pellet. In this paper, the feature, genesis and the environment related to the fish-produced markings are discussed in detail, and therefore inferring that the argillaceous sediment subsiding slowly is the prerequisite for the forming and preservation of fish-produced markings.

Key words The Yellow River, point bar, fish-produced, markings, swimming trace, pascichnia



图版 I 说明 a. 尾鳍奋力摆动形成的不对称单一波线, 伴有腹鳍刻划出的成对线状平行波线和臀鳍划出的单一波线; b. 细粉砂表面的近正弦单一曲线(照片中的刀子的宽度为 2.0cm, 下同); c. 雁行式排列的单一线状波线, 刀子左侧有一组胸鳍刻划出的敞开式不平行断续成对波线与之大角度斜交; d. 非线性延伸的单一波线, 模糊者为早期形成的; e. 腹鳍形成的成对带状平行波线; f. 胸鳍形成的内敛式不平行断续成对波线; g. 线状和星点状牧食迹; h. 弧形牧食迹。