

黄河水下三角洲的动力沉积特征*

王 琦 曹立华 杨作升 沈渭铨 王新泰

(青岛海洋大学海洋地质系, 青岛 266003)

G. H. Keller

D. B. Prior

(美国俄勒岗州立大学, 利瓦利斯) (美国路易斯安那州立大学, 巴吞鲁日)

摘 要

本文根据 1985—1988 年期间进行的综合海上调查及室内研究结果确定, 黄河径流在口门处形成高密度潜流, 是水下三角洲沉积物的主要搬运力。由口门向外沉积物发生结构递变, 与潜流及表层羽体流的逐渐衰减有关。水下三角洲堆积体的最大厚度为 16m, 堆积时间为 12—15a, 沉积速率达 110—130cm/a。

关键词: 黄河水下三角洲, 高密度潜流, 沉积物结构, 沉积构造

1985 年黄河注入渤海后(1938—1946 年除外), 塑造了现代黄河三角洲。1855 年以来黄河改道主要有 10 次^[1], 共形成 10 个亚三角洲叶瓣体。

80 年代以来对黄河三角洲进行较系统的研究主要有: 山东省黄河口区海岸带和三角洲资源调查(1983—1984 年); 黄河现代河口沉积动力过程及拦门砂形成和演变的调查(青岛海洋大学, 1983—1984 年); 黄河口及渤海南部沉积动力学研究^[2—4](青岛海洋大学及美国俄勒冈州立大学等, 1985—1987 年)。本文根据这些研究成果部分资料写成, 研究范围限于 1953 年以来, 特别是 1976 年以来形成的水下三角洲。

一、水动力条件

黄河三角洲所在的海域的水动力以径流、潮流作用为主, 另外还有波浪。

根据黄河水利委员会济南水文总站的资料, 黄河年平均径流量(1976—1988 年)为 $304.2 \times 10^8 \text{t}$, 汛期(7—10 月)的水量占全年水量的 66.5%。汛期径流的含泥砂浓度平均为 23700mg/L, 最高为 220000mg/L(长江为 440mg/L), 输砂量占全年砂量的 90.3%。根据悬浮体浓度及多频剖面仪的测量资料(1986.8)可知, 在水下三角洲区, 黄河入海的固体载荷以两种形式输入:(1)表层低密度悬浮羽体流;(2)高密度底流(图 1)。表层低密度羽体流厚 1—2m, 盐度 10‰; 悬浮体浓密 8470mg/L, 向海逐渐减为 100mg/L; 向海流动流速 23cm/s。底层高密

本文 1989 年 12 月 22 日收到, 1990 年 10 月 19 日收到修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目。

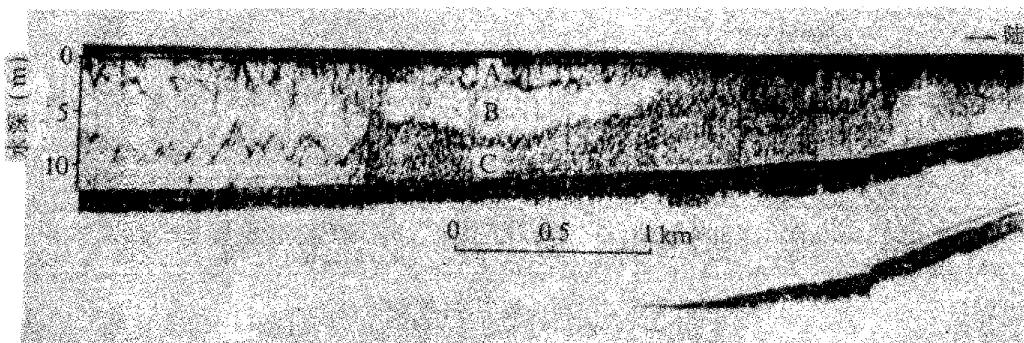


图1 黄河水下三角洲区水柱的多频剖面仪测量资料(1986, 8)

(A——表层低密度羽体流, B——中层水体, C——底层高密度潜流。此剖面为 L_{17S}, 剖面位置见图2)

度潜流厚约5m, 向海流动, 流速49cm/s; 盐度13—16‰, 悬浮体浓度在距底2m高处为15000mg/L, 底部可达到25000mg/L。中层水体厚约3m, 盐度(15‰)高于表层及底层, 水体向岸运动, 流速10cm/s。在黄河河口区产生潜流的机制是: 径流含泥砂浓度过大, 使河水密度增高, 以致超过口门外盐度较低的海水密度。当挟砂河水含砂浓度超过25000mg/L时, 就能够形成较稳定的高密度潜流。

本区潮汐属不规则半日潮。在水下三角洲区神仙沟附近为无潮点^[9], 河口附近潮差0.84—1.08m。涨潮流流向南, 落潮流流向北; 与径流流向近于垂直。潮流流速可达120—150cm/s, 落潮流速较涨潮流速大20cm/s。在冲淡水与海水分界的锋面附近(119°20'附近), 潮流流速70—90cm/s, 涨潮流流向150°, 落潮流20°。潮流对黄河入海泥砂的向外搬运及再悬浮具有重要的作用。由于潮流流向为SN向, 故促进了三角洲的横向扩展。

渤海的波浪主要为风浪, 由于渤海水深一般小于30m且风区较小, 形成的风浪也较弱, 平均波高在11—2月份最高, 为0.9—1.1m, 最大波高为5.7—7.2m。大浪是寒潮大风及台风所造成, 以寒潮大风为主, 寒潮大风的风向为NNE, 故强浪向为N—NE向, 但最大的波浪是台风浪, 1972年7月的台风浪最大波高6.3—6.8m, 强浪向为ES。波浪造在了沉积物再悬浮, 风所产生的风海流也搬运沉积物。

二、地貌

根据测深及浅层剖面仪资料可知, 黄河现代水下三角洲为一扇形薄楔状体。可划分为4个亚地貌单元(图2)。前三者由陆向海依次排列。

1. 河口沙坝

河口沙坝又称拦门沙, 处于低潮线至水

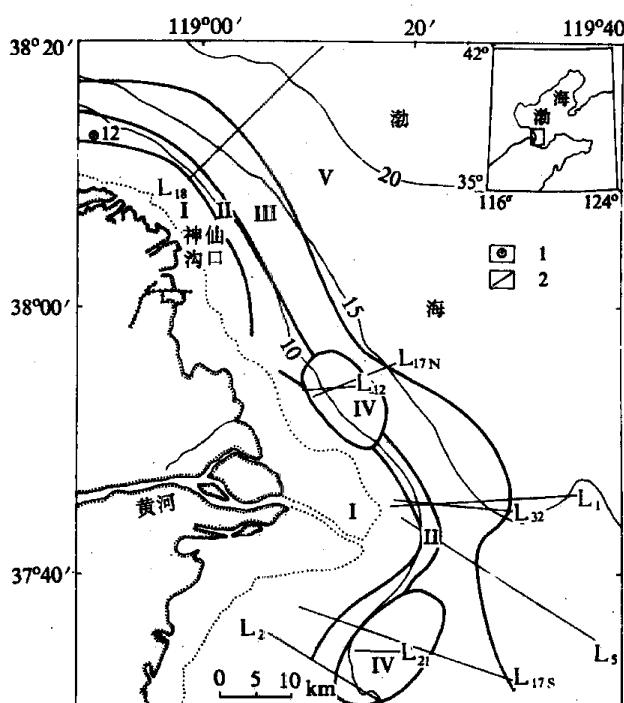


图2 现代黄河水下三角洲地貌分区图

(I——河口沙坝, II——前缘斜坡, III——前缘带, IV——泥塘, V——浅海; 1——钻孔位置及编号, 2——声学探测剖面线)

深2.5—4.0m处¹⁾,在口门处宽15km,向两侧变窄。北侧由于和另一叶瓣体(神仙沟口)的河口沙坝相连,故直向北延伸。此堆积体在剖面上近似楔状,坡度极其平缓,为0.01—0.03°。最大厚度可达16m,外缘厚约10m。

2. 前缘斜坡

前缘斜坡是水下三角洲内坡度最陡的部分(图2),分布于水深2.5—12.0m范围内,宽1.8—5.1km。根据坡度的变化,又可分为上部和下部。上部较陡,坡度0.3—0.4°,水深2.5—9.5m,宽0.8—2.0km;下部较缓,坡度为0.1—0.15°,宽1.0—3.1km,水深7—12m。沉积厚度2.8—10.2m,上部厚10.2—4.8m,下部厚5.3—2.8m。前缘斜坡是水下三角洲中最不稳定的地段,其上分布着平行径流流向的冲沟(宽100—500m,长3—4km,深1—4m)和洼坑。前者由高密度潜流冲蚀而成。

3. 前缘裾

为水下三角洲的末端,坡度0.010—0.028°,宽6—14km,水深10—16m,沉积物厚0.3—1m。前缘裾相当于前三角洲,但又有明显的差别,前缘裾区沉积速率较前三角洲区大,沉积物粒度粗,不出现生物扰动构造等。

4. 泥塘

在现行河口两侧的前缘斜坡和前缘裾之间,存在两个浮泥淤积区——泥塘,水深5—12m。浮泥含水量极高,容重仅1.09—1.60g/cm³。有风时,海底浮泥被搅起,表层水体中悬浮体浓度达到3000—5000mg/L,具有明显的消浪作用,成为渔船的良好避风处。河口南侧的泥塘面积较大,约120km²;河口北侧面积约80km²。

三、沉积物的结构分带

由于来源物质的粒度较细,故水下三角洲的沉积物主要由粉砂及粉砂质粘土组成,仅在河口沙坝的核部才出现小块砂体(图3)。

径流流速最高的河口沙坝区的沉积物结构最粗,由口门向外依次出现粒度递变系列:粉砂质砂→砂质粉砂→中粗粉砂。研究区内只出现三小块粉砂质砂,它们的结构组成为:极细砂(3—4Ø)为50—60%;粗粉砂(4—5Ø)为35—45%。砂的分布范围很有限,每小块的面积均小于10km²。北部的砂代表了1953—1964年期间三角洲叶瓣体最后的河口沙坝核部;中间的砂块的现行河口沙坝的核部;南部的为黄河溢洪河道在洪水期排出的粗粒物质。河口沙坝区主要覆盖了中粗粉砂,此中粗粉砂的粒度组分为:粗粉砂(4—5Ø)为38—42%;中粉砂(5—6Ø)为30—40%;细

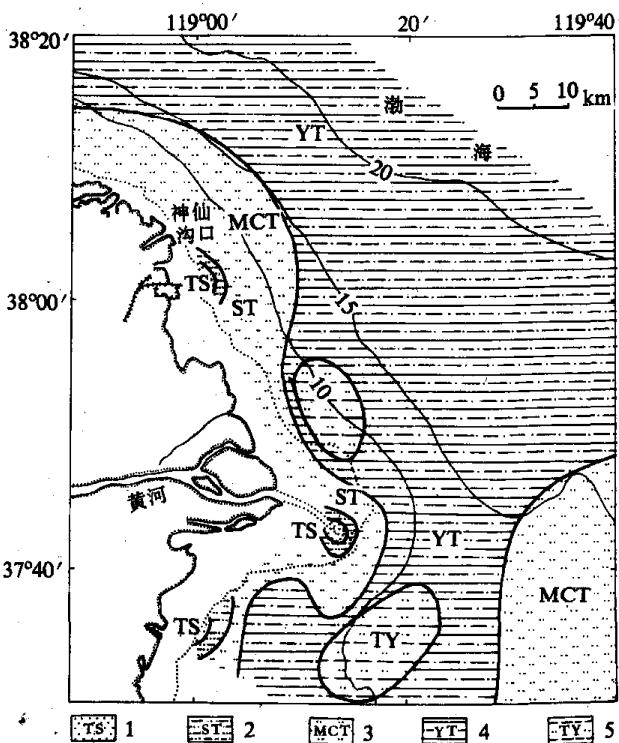


图3 黄河水下三角洲底质图

(1——粉砂质砂, 2——砂质粉砂, 3——中粗粉砂,
4——粘土质粉砂, 5——粉砂质粘土)

1) 河口沙坝、前缘斜坡、前缘裾的水深、宽度、坡度、沉积物厚度是根据L₁—L₃₂多个声学剖面的测量数据而得出。

粉砂为 15—20%。除粒度依次减小外, 分选性亦出现递变 $\sigma = 0.25 - 0.4$ (粉砂质砂) \rightarrow 0.35—1.0(砂质粉砂) \rightarrow 0.3—1.25(中粗粉砂)。黄河口为一弱潮河口, 感潮河段长 15—30km。河口沙坝区的动力以径流力为主, 流速可达 177cm/s, 使河流输砂中最粗的部分沉积下来。

前缘斜坡区的沉积物由中粗粉砂及粘土质粉砂组成。粘土质粉砂中, 粉砂含量约 70%, 以中细粉砂为主, 粘土含量约 30%。此区距河口较远, 入海径流(部分为高密度潜流)由于河口沙坝的底床摩擦力以及海水剪切阻力的影响向海逐渐减弱, 沉积物的结构分异比较明显, 又因受到潮流的簸扬, 发生平行海岸方向的扩散。

前缘裙覆盖的沉积物结构又进一步变细, 主要为粘土质粉砂。

口门两侧的泥塘内分布着水下三角洲中结构最细的沉积物, 为粉砂质粘土, 其中粘土含量为 52—60%, 余者为粉砂。由于潮流、径流及地形等因素的综合作用, 现行黄河河口两侧产生了顺、逆时针旋转的两个余流涡旋区。涡旋区边缘最大余流速可达 25cm/s, 中心的流速近于零。被潮流搬运进泥塘的细颗粒点大都沉积下来, 形成了两个粉砂质粘土斑块。

水下三角洲沉积物表现了由河口向海的结构明显分带: 中值粒径逐渐变细($Mz = 3.80 \rightarrow 6.42\phi$); 分选性由极好递变为较差($\sigma = 0.133 \rightarrow 1.39$), 悬移搬运群的频率由 20% 增至 60% 以上。这些说明控制水下三角洲沉积过程的主要作用力是径流力。本区的海洋力有潮流及波浪, 但潮流流向大致与岸线平行, 而与径流流向近于垂直, 故潮流对质点的搬运主要为平行海岸方向。冬秋的大风所产生的风暴浪、潮对三角洲沉积物的再分布也有重要影响。

四、云母碎屑的水力行为

黄河入海物质在 $<4\phi$ 粒组中碎屑云母(包括白云母及黑云母)含量为 30—32%, 而渤海周边其它河流如滦河、辽河等的输砂含云母仅不足 2%。因此, 云母的分布格局能为解释黄河物质入海后的扩散、沉积速率及环境能量水平等方面提供极其重要的信息。

碎屑云母广泛地分布于整个水下三角洲范围内, 比较富集于前缘斜坡区(40—80%), 而河口沙坝区(20—40%)及前缘裙区(10—20%)都相对减少, 三角洲外的浅海区低于 5%。来自黄河的绝大部分云母碎屑都沉积在黄河水下三角洲上, 特别是三角洲前缘区。原因是其云母的沉速与组成沉积物的主要质点——中粉砂级($0.032 - 0.016\text{mm}$, $5 - 6\phi$)石英沉速接近而沉积在一起。云母的粒径以极细砂级大小的为主, 长(a)、宽(b)、厚(c)分别为

$$\bar{a} = 0.140\text{mm}, \bar{b} = 0.110\text{mm},$$

$$\bar{h}(\bar{c}) = 0.007\text{mm},$$

$$\text{CSF} = \frac{\bar{h}}{\sqrt{\bar{a}\bar{c}}} = 0.056 \quad (\text{CSF} — \text{Corey 形态因子}).$$

根据 Doyle^[6] 当 $\text{CSF} \leq 0.4$ 时, 云母碎片与中粉砂级的石英成水力等效而沉积在一起。回归分布表明, 云母的丰度与沉积物中粉砂粒组的频率具有明显的线性关系, 得回归方程为(样品数 37)

$$y = 62x,$$

y ——样品中粉砂粒组频率, x ——砂粒组中云母的丰度。

因为 γ (相关系数) = 0.43, 大于 $\gamma_{0.01}$ (= 0.418), 故两者呈明显的线性相关。

五、沉积构造

水下三角洲区的沉积构造都属物理成因构造, 又可进一步分为流动成因构造和同生变形构造两大类。

1. 流动成因构造

水下三角洲区沉积物在结构上差别不大, 因此很难用肉眼直接观察到层理构造。通过X射线摄影可看出, 前缘带区的沉积物普遍具有韵律性水平纹层构造。如位于现行黄河口西南侧的T₆站位, 和老黄河口的D₂₁站位(图4(a), (b)), 均由一系列纹层所组成, 纹层厚1—2mm。有时纹层变厚(0.5—1.5cm), 但实际上每一纹层中还包含有更细密的细纹层。纹层的产生是由于沉积物成分、结构发生周期性的变化, 即物源或河流泄水量、河口区水动力条件发生周期性的改变所致。通过对具有纹层构造的柱样进行微区的粒度分析了解到, 产生纹层的重要原因之一是由于沉积物结构发生的韵律性变化而引起的。浅海区沉积物由于沉积速率低而受到底栖生物的强烈搅动, 故具有与水下三角洲的沉积构造明显不同的生物扰动构造(图4(c))。利用沉积构造可确切地划出水下三角洲的范围。

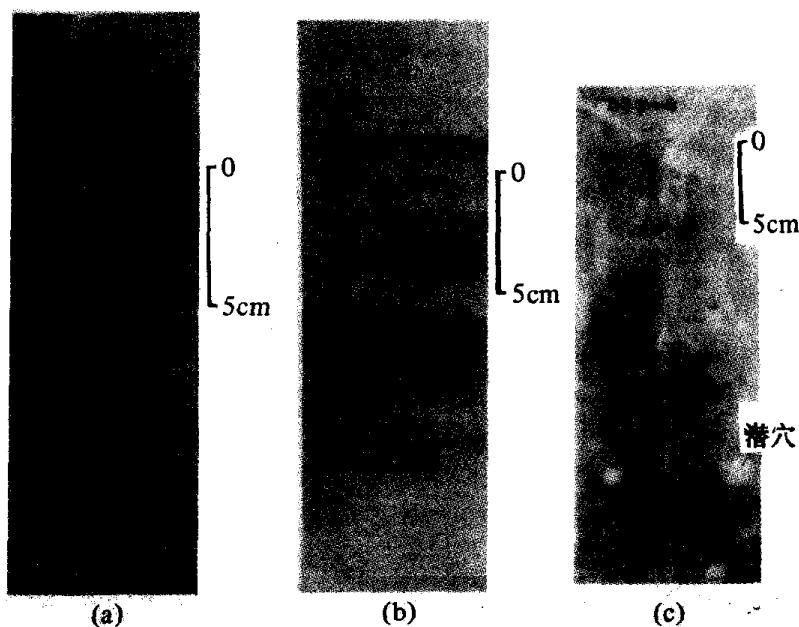


图4 水下三角洲前缘带区的水平纹层构造((a),(b))及陆架区的生物扰动构造(c)

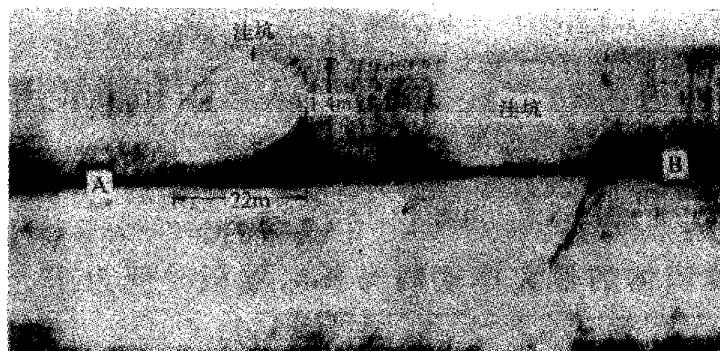


图5 水下三角洲沉积物的同生变形构造——坍塌洼坑
(旁侧声纳图象)

黄河物质是由低密度表层羽体,特别是高密度潜流输送到水下三角洲区后沉积的,但迄今尚未发现高密度(浊)流沉积所特征的包卷层理等构造,而主要是悬浮沉积所特征的水平层理构造。可能由于潮流的悬浮作用太强而使包卷层理等构造受到了广泛的改造所致。

2. 同生变形构造

水下三角洲区具有极高的沉积速率($110-130\text{cm/a}$),而浅海区仅 0.14cm/a (根据 ^{210}Pb 测量资料)^[2]。迅速堆积的沉积物含水量极高,故稳定性很差,在风浪、高密度底流及潮流的作用下易发生块体运动——坍塌,形成洼坑(图5)。洼坑的直径为 $10-150\text{m}$,深为 $0.5-1.5\text{m}$ 。

六、沉积速率

根据钻孔资料,水下三角洲沉积的最大厚度为 $14-16\text{m}$,下伏浅海相沉积(图6)。在钻孔

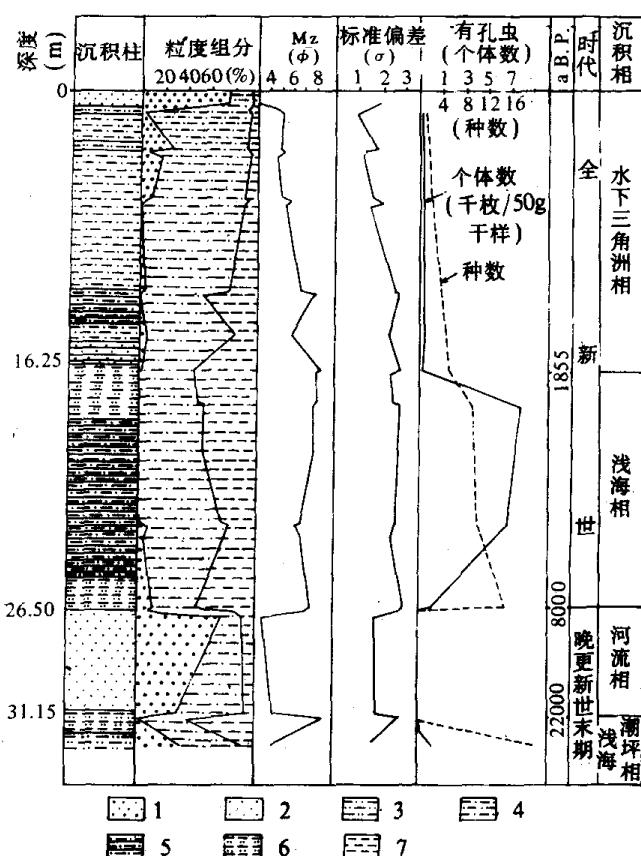


图6 钻孔12柱状图

(1—砂, 2—粉砂质细砂, 3—砂质粉砂, 4—粉砂,
5—粘土质粉砂, 6—粉砂质粘土, 7—粘土)

的结构递变,与潜流及表层羽体流的逐渐衰减有关;

4. 水下三角洲沉积物富含碎屑云母,是因为云母与优势组分——中粉砂级石英成水力等效而沉积在一起;

5. 水下三角洲堆积体的最大厚度约为 16m ,堆积时间为 $12-15\text{a}$,沉积速率达 $110-130\text{cm/a}$ 。

12中(位置见图2),水下三角洲相沉积层 16.25m ,下部岩性为橄榄灰色粉砂质粘土,向上过渡为黄褐色粗粉砂及砂质粉砂。物质的向上粗化表明河口沙坝的向海推进。有孔虫含量少,每 50g 干样含个体数少于100枚,属种较单调,有机碳含量 0.4% 。下限时代为1964年,主要堆积期为1964—1976年,沉积速率约为 120cm/a ,下伏的浅海相沉积层厚 10.35m 。岩性为黑灰色粘土质粉砂及粉砂质粘土,有机碳含量约 1% 。含较丰富的有孔虫,个体数为 7000 枚/ 50g (干样),属种有10个,沉积速率为 1mm/a 。

七、结 论

1. 由于黄河径流含泥砂浓度极高,在口门处形成高密度潜流,它是水下三角洲沉积物的主要搬运营力;

2. 潮流流速较高,流向与径流流向垂直,使水下三角洲区沉积物的发生再悬浮及沿岸搬运,形成水平纹层构造,并促进三角洲堆积体向横向扩展;

3. 由口门向外沉积物发生粒度和分选性的

参 考 文 献

- [1] 成国栋, 海洋地质与第四纪地质, 7(1987), 7—18.
- [2] 王 琦等, 青岛海洋大学学报, 19(1989), 79—89.
- [3] Prior, D. B. et al., *GeoMarine Letters*, 6(1986), 67—76; 85—95.
- [4] Wright, L. D. et al., *ibid.*, 6(1986), 97—106.
- [5] 侍茂崇等, 山东海洋学院学报, 15(1985), 81—95.
- [6] Doyle, L. J. et al., *Jour. Sed. Petrol.*, 53(1983), 643—648.