

近、现代黄河尾间摆动及其亚三角洲体发育的景观信息图谱特征

叶庆华^{①③*} 陈沈良^② 黄 翀^④ 薛允传^⑤ 田国良^③ 陈述彭^{③④} 石亚男^④
刘庆生^④ 刘高焕^④

(^① 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085; ^② 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062; ^③ 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101; ^④ 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; ^⑤ 青岛气象局, 青岛 266003)

摘要 以地学信息图谱反映空间格局和时间演化的图形思维方式和景观生态学格局与过程研究的定量思维方式为基础, 以近、现代黄河三角洲体上黄河尾间流路摆动过程为例, 探索了景观信息图谱方法研究体系. 主要内容包括: (1)景观信息图谱方法体系; (2)黄河尾间流路演变过程图谱特征; (3)黄河三角洲近、现代 7 个亚三角洲体的发育过程图谱特征; (4)近、现代黄河三角洲体发育的景观信息图谱特征; (5)黄河尾间流路在亚三角洲体构造过程中的景观信息图谱; (6)黄河尾间摆动过程发育的“廊道-基质”景观信息图谱特征. 文中的景观信息图谱研究方法, 还处于探索阶段, 希望能够以此“抛砖引玉”, 在景观“格局与过程”时空复合特征的研究方法上为同行提供一条可供借鉴的新思路.

关键词 地学信息图谱 景观信息图谱 时空复合分析 黄河 黄河三角洲 廊道-基质景观

集成研究是未来全球环境变化研究的工作重点 [1-3], 在方法上强调综合与集成 [4]. 但到目前为止, 在“格局与过程”集成研究方面, 国际上还没有形成规范化研究体系 [5-13]. 景观生态学注重研究景观空间结构(格局)、功能和动态过程 [14,15], 在地理信息系统(GIS)和遥感(RS)技术支持下, 逐渐形成一套景观格局和景观生态学过程的定量研究方法 [6,16,17], 并利用遥感技术手段探索了景观连通性模型与人类活动强度的定量关系 [18], 但对于景观格局与变化过程的综合与集成一体化研究体系还没有形成 [6,15,19]. 因此, 当前迫切需要一套针对地学时空复合信息进行综合与集成研究的规范化理论和方法体系, 以定量研究“格局”与“过程”多时空特征变量之间相互作用关系的客观规律. 景观信

息图谱为这一难题提供了解决途径.

1 数据基础

黄河三角洲是中国大河三角洲中海陆变迁最活跃的地区 [20], 自 1855 年至今, 黄河尾间决口、改道达 50 余次 [21,22], 其中较大变迁 10 次(表 1, 图 1), 1934 年前改道 6 次, 形成以宁海为顶点的近代三角洲体. 1934 年后黄河尾间分流点下移, 开始建造以渔洼为顶点的现代三角洲体, 经过 4 次改道分别形成了 4 个亚三角洲体. 1953 年后, 在人工控制下, 实施了三次人工改道. 7 个亚三角洲体在空间上部分叠合, 新、老堆积体组合成叠瓦状复式结构 [23]. 本文以黄河进入东营市利津县为起点, 至黄河入海口为研究范围, 以

收稿日期: 2006-03-02; 接受日期: 2007-01-19

国家重点基础研究发展计划(编号: 2002CB412408, G2000077903)、国家自然科学基金(批准号: 40371093, 40471097)、中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室开放基金(批准号: SK040006)和华东师范大学河口海岸学国家重点实验室开放基金(编号: 0310)资助

* E-mail: yeqh@itpcas.ac.cn

表 1 1855~2000 年黄河尾闾摆动过程廊道景观指数计算列表

起止年月	流路名称	经历时间	行水时间	TLA	TE	ED	MSI	MPAR	MPFD
1855-08~1889-04	铁门关	33 年 9 个月	19 年	4309	183588	42.60	6.99	42.6	1.2213
1889-04~1897-06	韩家垣	8 年 2 个月	5 年 10 个月	5029	234044	46.54	8.25	46.5	1.2380
1897-06~1904-07	南北岭子	7 年 1 个月	5 年 9 个月	5365	225869	42.10	7.71	42.1	1.2295
1904-07~1926-07	盐窝	22 年	17 年 8 个月	5480	446421	81.46	15.08	81.5	1.3045
1926-07~1929-09	八里庄	3 年 2 个月	2 年 11 个月	2731	190879	69.89	9.13	69.9	1.2583
1929-09~1934-09	纪家庄	5 年	3 年 4 个月	7747	338454	43.69	9.61	43.7	1.2492
1934-09~1953-09	甜水沟等	19 年	9 年 2 个月	9427	478215	50.73	12.31	50.7	1.2735
1953-09~1964-01	神仙沟	10 年	10 年 5 个月	6466	284029	43.93	8.83	43.9	1.2422
1964-01~1976-05	钓口河	12 年 4 个月	12 年 4 个月	9322	354129	37.99	9.17	38.0	1.2415
1976-05~1996-05	清水沟	20 年	20 年	6833	269574	39.45	8.15	39.5	1.2326
1996-05~2000-05	清水沟北汉	4 年	4 年	5677	250304	44.09	8.30	44.1	1.2371
最大值	铁门关	33 年 9 个月	20 年	9427	478215	81.46	15.08	81.5	1.30

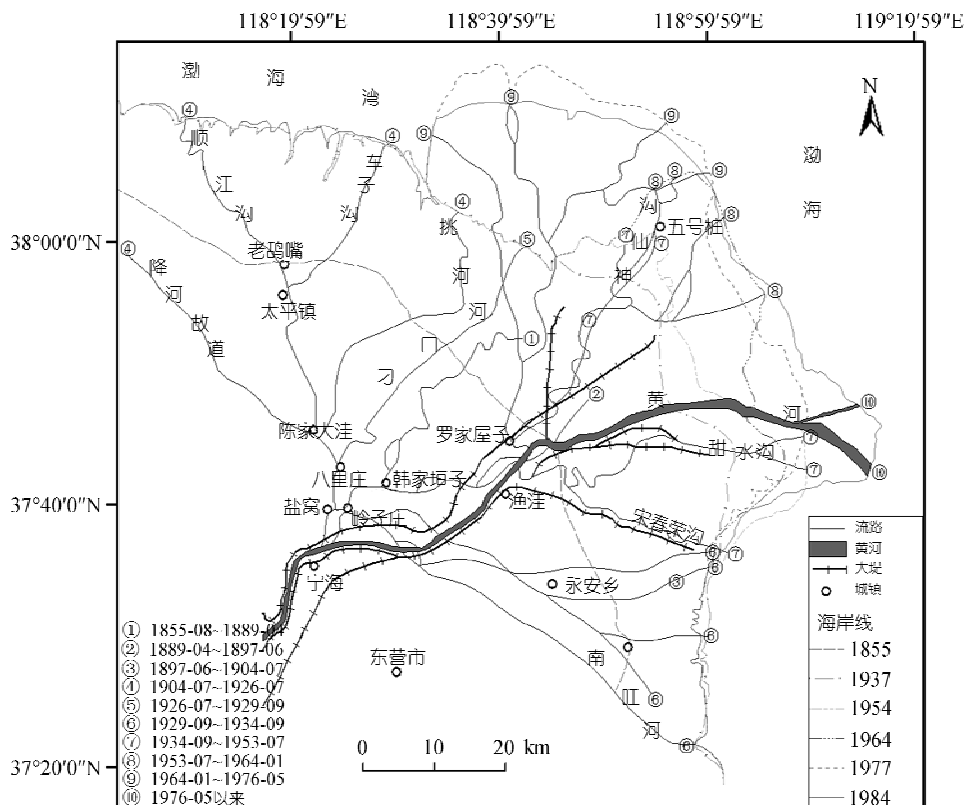


图 1 1855 年以来黄河尾闾流路变迁

1855~2000 年黄河尾闾 10 次大改道起止阶段为基本时间尺度, 提取河道、洲体海岸线和亚三角洲体空间格局的发育过程数据^[24], 分析 1855 年以来黄河尾闾摆动过程及近、现代黄河三角洲体发育过程与空间格局的演变特征。

在前人研究基础上^[25~27], 本文收集整理各类近、现代黄河尾闾流路变迁和海岸线演变历史调查数据及其图件, 并进行推演与修正^[28], 分别以宁海和渔洼为顶点, 以河成高地为骨架, 根据黄河尾闾摆动遵循

行水故道间洼地原则, 确定各期亚三角洲体之间黄河行水冲淤的交接界线。1976 年以后的数据主要来源于 Landsat MSS 和 TM 遥感影像。具体包括:

(1) 河道数据 10 期。1855~1889, 1889~1897, 1897~1904, 1904~1929, 1929~1934, 1934~1953, 1953~1964, 1964~1976, 1976~1996 和 1996~2000。

(2) 海岸线数据 13 期。1855, 1889, 1897, 1904, 1929, 1934, 1937, 1953, 1964, 1976, 1984, 1996 和 2000。

(3) 亚三角洲体数据 10 期. 1855~1889, 1889~1897, 1897~1904, 1904~1929, 1929~1934, 1934~1953, 1953~1964, 1964~1976, 1976~1996 和 1996~2000.

其中, 1938~1947 年期间黄河夺淮入海, 但 1947~1953 年期间, 黄河仍然与 1934~1938 年期间一样, 行水于宋春荣沟, 甜水沟和神仙沟三流路入海, 所以通常将 1934~1953 年期间的黄河三角洲堆积体划为一个现代亚三角洲体. 为了研究 1996 年以来现行黄河河道清水沟人工改道北汉后亚三角洲体的发育特征, 本文以 1996 年为界, 将 1976 年以来发育的亚三角洲体分割为两个分别进行研究.

文中所有数据, 包括专题矢量数据, 1976~2000 年遥感影像以及各类历史调查栅格数据等都采用 1957 年和 1991 年 1:5 万地形图进行严格的空间配准, 并以 1991 年地形图作为所有数据几何校正的主控图件. 校正时, 计算控制点坐标的拟合误差(RMSE) 小于 0.3 个像元.

2 景观信息图谱研究方法

地学信息图谱以图形思维为基础, 是一种能够将研究空间格局与配置关系的“图”和研究时间演化过程的“谱”合二为一的时空复合分析方法论研究体系^[29], 它以遥感(RS), 地理信息系统(GIS), 计算机制图等技术为支撑^[30]. 本文在已有研究基础上^[31-34], 将地学信息图谱反映空间格局和时间演化的图形思维方式和景观生态学格局与过程研究的定量思维方式进行集成, 初步形成景观信息图谱方法体系, 以充分发挥地学信息图谱和景观生态学各自的优点与长处.

我们对于景观信息图谱的研究, 同其他领域的研究一样, 首先是从最简单的基本功能单元开始^[35]. 景观信息图谱单元, 由“相对均质”的景观空间地理单元和“相对均质”的景观变化过程时序单元共同构成, 与地理单元一样, 也具有多类型, 多级别, 多尺度特征^[36]. 景观基本变化过程时序单元(时间尺度)和基本空间单元的划分^[37], 是合成景观信息图谱单元的基础. 本文根据黄河尾间摆动及其三角洲体发育演变时空特征, 划分相应的基本单元.

2.1 确定基本时序单元

不同采样时刻往往对应着地理单元属性的不同状态, 所以, 对于特定地理过程的研究往往要依赖于数据采集的时间间隔(时间尺度, 即空间数据采集时

间间隔). 这里的地理过程, 包括地理环境中现代过程综合研究的 3 个方向, 即生物的, 物理的, 化学的过程^[38]. 一般而言, 时序单元的划分方法就是对某个地理事件的发生、发展和变化的全部或部分过程进行最“均一”状态划分, 要依据研究目的选择最佳时空尺度, 也可根据其不同发展阶段划分.

黄河尾间摆动频繁, 自然摆动周期平均在 10 a 左右^[23,27]. 本文以 1855~2000 年黄河尾间 10 次大改道的起止阶段为基本时序单元, 分割黄河亚三角洲体的发育过程^[39].

2.2 确定基本空间单元

由于地理环境条件的连续性, 渐变性, 过渡性和波动性等特征, 使相对均质的地理单元很难从背景环境中辨识出来, 所以地理单元之间的界限一直是困扰地学家的难题^[35,40]. 决定地理单元界线的关键, 是对单元特征及诊断标志的定义, 指标的选择^[35]. 目前, 地理单元的产生主要有填图法, 叠置法, 规则网格法三种, 基于地理信息系统(GIS)的研究经常采用规则网格法^[32]. 本文根据 1855 年以来黄河尾间摆动不同阶段自然发育特征, 确定基本空间单元:

- (1) 以不同阶段黄河尾间发育的河床廊道为基本空间单元, 研究黄河尾间自然摆动过程;
- (2) 由各阶段黄河尾间“扫荡”而成的亚三角洲堆积体, 为各亚三角洲体基本空间单元;
- (3) 由此构造由黄河尾间在各亚三角洲体上摆动过程形成的基本三角洲体廊道-基质景观空间单元.

2.3 景观信息图谱合成

确定基本时、空单元后, 以基本时间尺度作为数据采集时间间隔, 按时间先后, 采集基本空间单元在不同数据采集时刻的空间属性特征值, 并利用 GIS 软件, 以时间先后为序进行地图代数运算, 得到“空间·属性·过程”一体化数据, 即图谱, 其空间·属性·过程的“相对均质单元”就是基本图谱单元^[32,37]. 本文的景观信息图谱合成, 采用了两种不同方法:

- (1) 基于 Region 方法. 由于黄河三角洲体发育过程属于叠瓦状复式发育结构, 利用 Arc/Info 中 Region 特征的可叠置性和可不连续性优势, 以时序过程的先后为序, 对每一个亚三角洲体上的黄河尾间河床单元、各亚三角洲体基本空间单元, 进行 Region 合成, 生成基于 Region 特征不同时序单元的黄河廊道发育

景观图谱、亚三角洲体发育景观图谱。

(2) 基于 Polygon 方法. 由于黄河“廊道”和基质相互作用, 发育形成以黄河廊道景观为骨架, 由尾间摆动横扫而成的地表廊道-基质景观(图 1), 对于各时序单元亚三角洲体的“廊道-基质”景观单元, 利用 Arc/Info 中 Polygon 特征的不可叠置性和连续性特征, 以时间先后为序, 进行 Polygon 合成, 形成不同时序单元的黄河廊道-基质景观信息图谱。

3 黄河尾间流路演变过程图谱特征

黄河河道的演变总是遵循寻求阻力最小的流路入海的摆动过程. 黄河流路的改变过程, 就是河流流路“廊道”形成亚三角洲体“基质”景观格局的物理性过程(图 2), 因为格局与过程往往是相互依赖、相互作用、相互联系的, 我们只有将“格局与过程”两者结合起来研究, 才能更全面理解和掌握地学/生态学的“过程-格局-尺度”变化规律. 在黄河尾间如此频繁摆

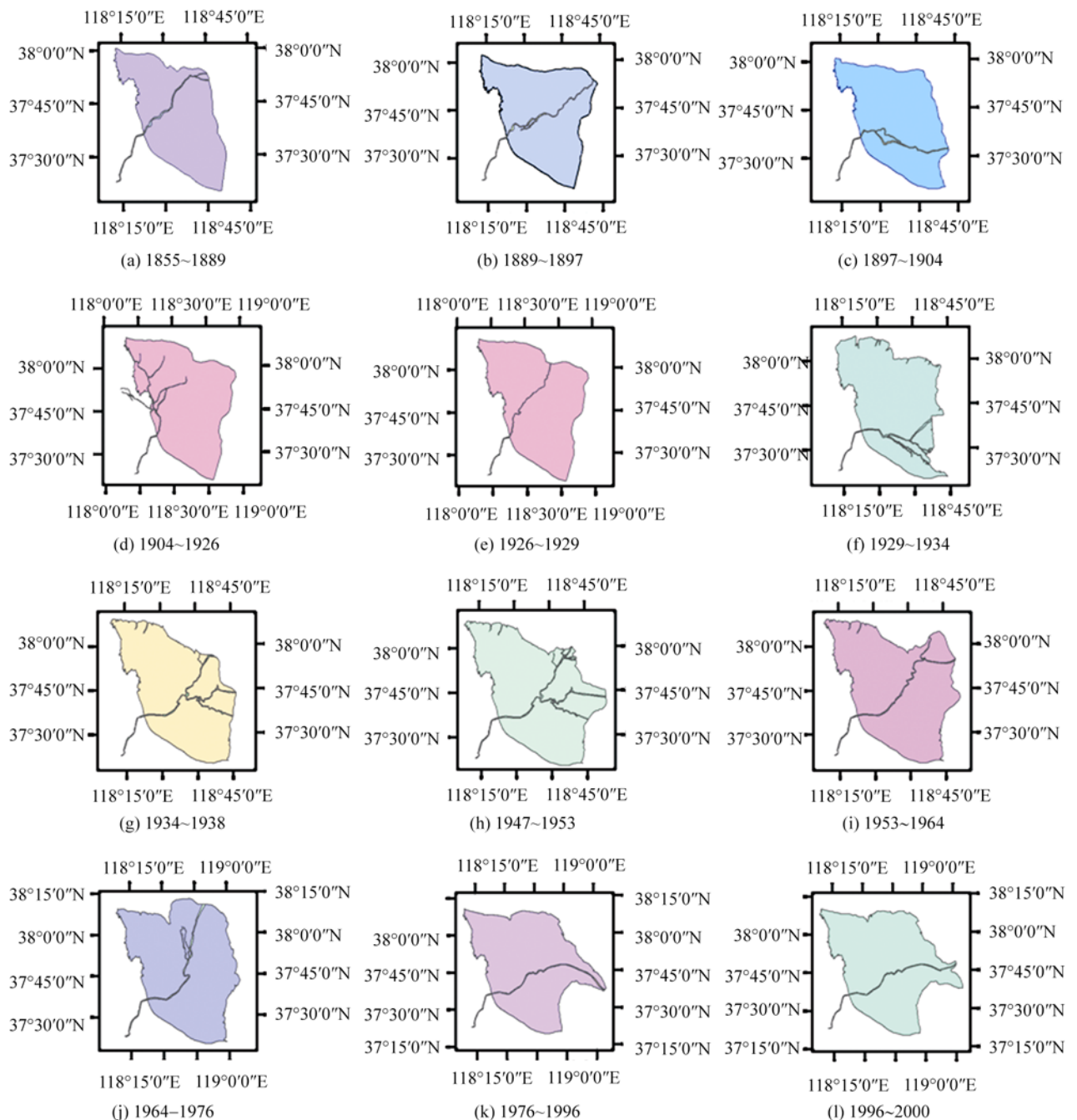


图 2 1855~2000 年黄河尾间流路摆动过程廊道-基质发育图谱

动的过程中, 形成了一系列尺度上复杂的几何形态, 传统的欧式几何对于这种复杂的地理现象的描述无能为力, 而基于空间系统自相似性的分形分维研究为空间系统的分析和描述提供了一个全新的探索工具. 因此, 我们采用景观生态学中分形分维方法来研究黄河尾闾变化的规律.

从表 1 可知, 自 1996~2000 年以来, 黄河尾闾河道总面积仅 5677 hm², 出现萎缩趋势. “主要原因是随着上游治理力度加大, 黄河泥沙有所减少, 但黄河的水量也显著减少, 甚至水量减少大于沙量减少, 特别是中小洪水显著减少, 从而导致下游河道的萎缩”¹⁾.

自 1934 年 9 月, 黄河尾闾在一号坝决口后, 漫流无际, 初由毛丝垞故道入海, 后逐渐形成神仙沟, 甜水沟, 宋春荣沟三路入海的形势(见图 2(g)). 1938 年 7 月, 郑州花园口掘堤, 黄河改由徐淮故道注入黄海. 1947 年 3 月, 花园口口门堵复, 黄河重归山东仍循甜水沟, 神仙沟, 宋春荣沟分注渤海(见图 2(h)). 在 1934~1953 年间, 总的河床面积(Total Landscape Area, TLA)为近现代河道发育的最大值, 即 9.4×10³ hm², 河道边界总长度(Total Edge, TE)也最长(表 1). 在

1964~1976 年间, 河床总面积为 9.3×10³ hm², 位列其次(见图 2(j)); 河床总面积最小的是 1926~1929 年间的黄河故道, 为 2.7×10³ hm²(见图 2(e)).

在 1904~1926 年期间, 由于尾闾河道频繁决口和改道, 河道发育是迄今为止最复杂的过程, 河床具有最大的形状指数(表 1), 包括河道边界密度(Edge Density, ED), 平均河床形状指数(Mean Shape Index, MSI), 平均周长/面积比(Mean Perimeter-Area Ratio, MPAR), 平均河道分维数(Mean Patch Fractal Dimension, MPFD), 都是最大值. 这期间大量泥沙沉积在陆地上, 因而三角洲发展速度快(图 2(d)是东营市境内的部分发育).

4 1855~2000 年 7 个黄河亚三角洲体发育过程图谱

在 1855~2000 年 145 a 间, 黄河三角洲体在黄河入海口陆进海退的过程中不断生长发育(表 2), 同时也经历着故道入海口海岸带蚀退的过程. 其中, 在 1904~1929 年间洲体海岸带面积快速增长, 这是 1855~2000 年间黄河三角洲体增长最快的一个阶段(图 3, 表 3). 而另一方面, 比较剧烈的蚀退过程主要有两个:

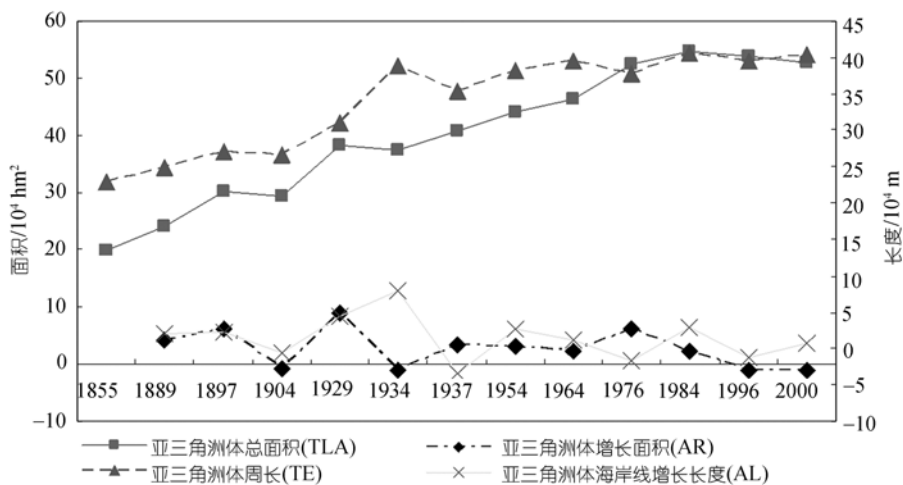


图 3 1855~2000 年黄河各亚三角洲体面积和海岸线长度变化曲线

表 2 1855~2000 年黄河亚三角洲体三维发育结构及其二维景观结构主要指数表

亚三角洲体发育结构	TLA	NumP	MPS	TE	ED	MSI	MPAR	MPFD	SDI	SEI
近代亚三角洲体众字形三维发育结构	569580	3	189860	575804	1.0	1.1	1.0	1.01	1.09	0.996
现代亚三角洲体众字形三维发育结构	448757	4	112189	638137	1.4	1.2	1.4	1.02	1.38	0.995
近代亚三角洲体扇形景观发育结构	434323	5	86865	811741	1.9	1.4	2.0	1.03	1.57	0.976
现代亚三角洲体扇形景观发育结构	288556	13	22197	938738	3.3	1.5	63.3	1.05	2.37	0.925

1) 江夏. 钱正英院士谈探索治黄新思路——重新认识黄河. <http://www.ches.org.cn/>. 2003

其一是 1929~1934 年期间, 北部海岸带蚀退速度大于东南部陆进海退的淤积速度, 年平均损失海岸带面积达到 2163 hm^2 (the mean seashore arising area, MSA); 其二是在 1996~2000 年期间, 年损失陆地面积达到 2541 hm^2 . 此外, 在 1897~1904 年间, 平均每年损失陆地面积(MSA) 有 975 hm^2 ; 而 1984~1996 年期间平均每年损失陆地面积(MSA) 也达到 850 hm^2 以上(表 3), 主要分布在北部刁口河故道海岸带和东部海洋动力作用占优势的海岸带(图 2). 很明显, 自 1984 年后, 黄河三角洲体的造陆速度明显减慢, 1996 年后海岸带蚀退问题已经日益突出(表 3, 图 3).

5 近、现代黄河三角洲体发育的景观信息图谱

从近、现代黄河尾闾流路的行河情况分析黄河三角洲体的发育演变过程, 可知, 黄河尾闾流路的摆动过程也就是黄河三角洲各亚三角洲堆积体发育形成的过程. 黄河三角洲各亚三角洲体在发育过程中是复式叠瓦状发育结构, 在空间结构上表现为多期亚三角洲瓣状体相互叠置的三维“众字型”结构. 从二维景观结构上来看, 近代亚三角洲体与现代亚三角洲体的主轴方向都做扇形散开状, 主轴底部都汇于顶点, 其中近代亚三角洲张角约 120° , 现代亚三角洲张角约 100° ^[23]. 为了解各亚三角洲体的冲淤特征, 本文利用 1855 年以来 7 个亚三角洲体的空间形态数据, 分别作为 Region 特征与 Polygon 特征进行合成(图 4), 并计算了其基于 Region 特征的三维“众字型”发育结构和基于 Polygon 特征的二维扇形景观结构的基本形态指数(表 2).

从洲体发育总面积 TLA 和洲体发育形态主要景

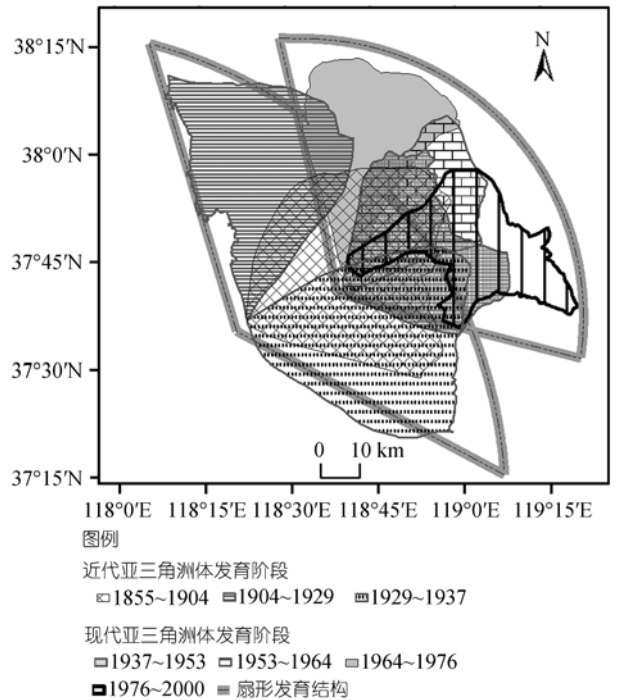


图 4 1855~2000 年近现代黄河三角洲体空间发育结构图谱

观形状指数来看(表 2), 近代亚三角洲体与其扇形结构比较接近, 扇翼两侧发育比较对称, 均衡, 说明它得到了较为充分的发育; 而现代亚三角洲体与其扇形结构差距很大, 表明现代亚三角洲体发育还远远不够充分, 东南部出现了一个明显的发育缺口(图 4), 主要景观指数值偏大.

从表 2 中可知, 现代亚三角洲体的洲体发育平均面积(Mean Patch Size, MPS)远远小于近代亚三角洲体, 而且斑块数量较多, 景观发育过程中的形状指数, 包括边界密度(ED), 平均分维数(MPFD) 等都大

表 3 1855~2000 年黄河三角洲体发育过程的主要景观指数变化情况

三角洲体发育阶段	TLA	AR	MSA	TE	AL	ED	MSI	MPAR	MPFD
1855	197431			228098		1.16	1.28	1.200	1.023
1889	239042	41611	1224	248278	20180	1.04	1.27	1.000	1.022
1897	301114	62072	7759	270830	22551	0.90	1.23	0.900	1.019
1904	294289	-6825	-975	265185	-5644	0.90	1.22	0.900	1.018
1929	383678	89390	3576	309582	44396	0.81	1.25	0.800	1.020
1934	372861	-10817	-2163	388382	78801	1.04	1.59	1.000	1.042
1937	407802	34941	11647	354405	-33978	0.87	1.39	0.900	1.030
1954	439876	32074	1887	381534	27129	0.87	1.44	0.900	1.033
1964	462520	22644	2264	394374	12840	0.85	1.45	0.900	1.033
1976	524957	62438	5203	377797	-16577	0.72	1.30	0.700	1.024
1984	548136	23179	2897	407013	29216	0.74	1.37	0.700	1.028
1996	537914	-10222	-852	395072	-11941	0.73	1.35	0.700	1.027
2000	527752	-10162	-2541	403243	8172	0.76	1.39	0.800	1.029

于近代亚三角洲洲体, Shannon 多样性指数(Shannon Diversity Index, SDI)也较高, 而 Shannon 均一性指数(Shannon Evenness Index, SEI)却较低, 可见现代亚三角洲体发育过程中叠瓦状洲体和地表景观斑块都较为破碎.

6 黄河尾间流路在亚三角洲体构造过程中的景观信息图谱

本文利用 Arc/Info 中的 Region 特征, 分析不同阶段亚三角洲体上黄河尾间流路摆动过程的景观信息图谱特征. 我们从各阶段亚三角洲体上黄河尾间河床的发育形状指数变化过程来看(表 4), 黄河摆动尾间的河床廊道景观自 1855 年以来, 各阶段景观形状指数, 如河道平均分维数(MPFD), Shannon 多样性指数(SDI), 与亚三角洲体上黄河尾间流路河床发育的总面积(TLA)呈正相关, 而 Shannon 均一性指数(SEI)与其 TLA 呈负相关关系. 在 1904~1926 年期间, 黄河尾间流路河床廊道的分维数是近代黄河尾间廊道分维值最高的一个阶段, 而这一阶段, 恰恰是黄河造陆速度最快, 造陆面积最大的一个阶段. 但是从黄河尾间河床的廊道分维数(MPFD)趋势线上可以看出(图 5), 黄河尾间流路的河床廊道景观的形状指数呈下降态势, 也就是说, 黄河流路的发育空间越来越小. 现代亚三角洲体(1934~2000 年)的河道平均分维数(MPFD), Shannon 多样性指数(SDI)和河床发育总面积(TLA), 也都低于近代亚三角洲体(1855~1934)(图 6), 而 Shannon 均一性指数(SEI)则较高, 表明现代亚三角洲体上黄河尾间流路发育的廊道景观多样性在降低(图 6, 7).

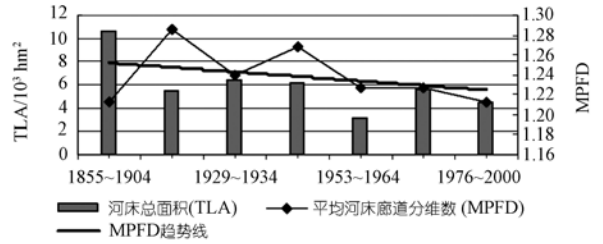


图 5 1855~2000 年 7 个亚三角洲体上黄河尾间流路的部分景观指数变化过程

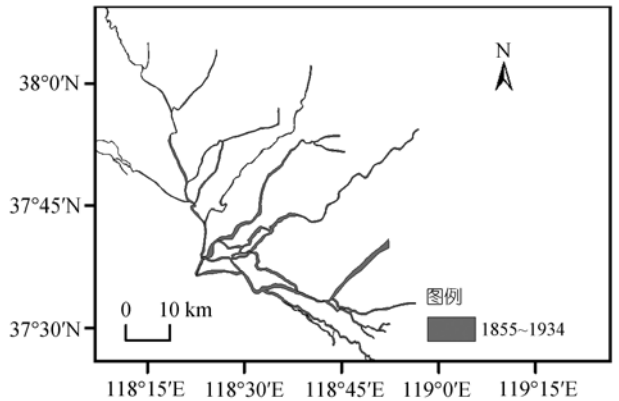


图 6 1855~1934 年黄河尾间廊道图谱

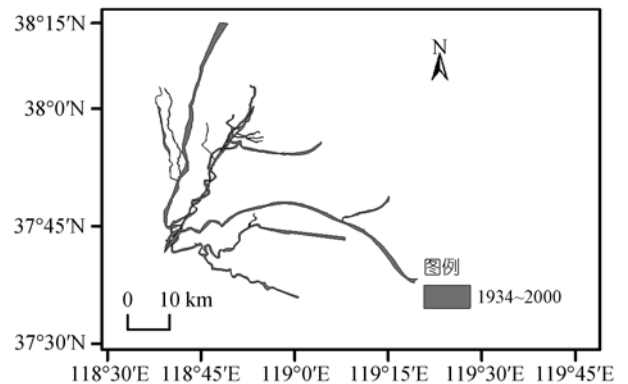


图 7 1934~2000 年黄河尾间廊道图谱

表 4 1855~2000 年 7 个亚三角洲体上黄河尾间流路的主要景观指数表

黄河尾间发育起止年代	TLA	NumP	MPS	TE	ED	MSI	MPAR	MPFD	SDI	SEI
1855~1904	10609	3	3536	453168	42.7	6.33	42.67	1.2119	1.09	0.99
1904~1929	5476	2	2738	510282	93.2	11.77	93.20	1.2853	0.56	0.81
1929~1934	6375	1	6375	274937	43.1	8.61	43.10	1.2396	0.00	
1934~1953	6094	1	6094	344078	56.5	11.02	56.50	1.2677	0.00	
1953~1964	3158	1	3158	158723	50.3	7.06	50.30	1.2264	0.00	
1964~1976	5605	1	5605	225241	40.2	7.52	40.20	1.2262	0.00	
1976~2000	4493	1	4493	174170	38.8	6.50	38.80	1.2124	0.00	
1855~1934	22461	6	3743	1238387	55.1	8.53	59.58	1.2410	1.70	0.95
1934~2000	19350	4	4837	902213	46.6	8.02	46.45	1.2332	1.34	0.96
1855~1953	28555	7	4079	1582466	55.4	8.88	59.14	1.2448	1.85	0.95
1953~2000	13256	3	4419	558134	42.1	7.03	43.10	1.2217	1.09	0.99
1855~2000	41811	10	4181	2140551	51.2	8.33	54.33	1.2378	2.23	0.97

为了研究人类活动对黄河廊道景观信息图谱变化特征的影响作用,我们以 1953 年为界,将黄河尾间流路分为两个时期:一个是 1855~1953 年黄河自然决口发育阶段(图 8);而另一个就是自 1953~2000 年黄河流路人工改道阶段(图 9)。河道平均分维数(MPFD)较低的阶段(1953~2000),其河床发育总面积(TLA), Shannon 多样性指数(SDI)也较小, Shannon 均一性指数(SEI)则较大,而河道平均分维数(MPFD)较高的阶段(1855~1953),其河床发育总面积(TLA), Shannon 多样性指数(SDI)也较大。结果显示,黄河流路河床廊道景观分维数下降趋势明显,河床发育总面积减少(图 5,表 4),这反映出黄河流路正日益趋于规则,流路廊道景观的多样性降低(图 6~10)。这是自 1953 年迄今 50 a 期间,人类控制黄河摆动,黄河流路单一的表现结果之一。

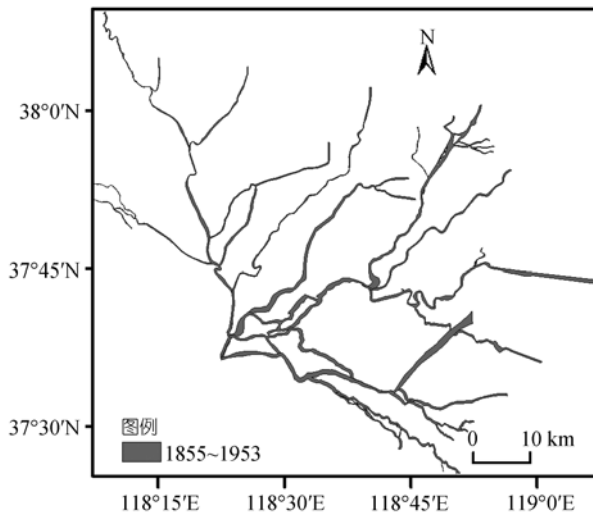


图 8 1855~1953 年黄河尾间廊道图谱

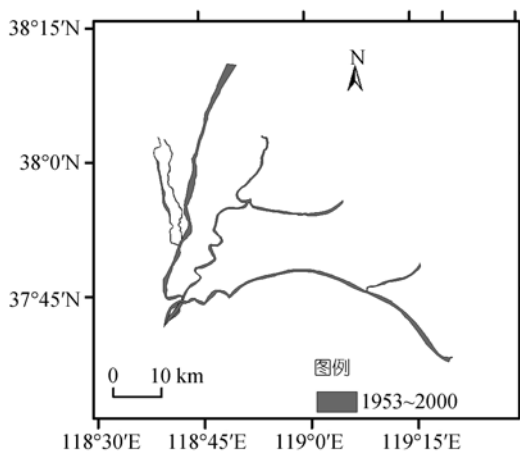


图 9 1953~2000 年黄河尾间廊道图谱

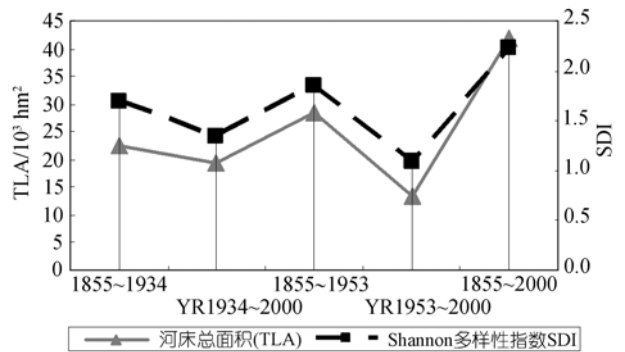


图 10 1855~2000 年黄河尾间流路图谱主要阶段廊道景观的变化曲线

7 黄河尾间摆动形成的廊道-基质景观信息图谱

由于黄河尾间廊道在频繁的改道过程中,黄河携带的巨量泥沙使其尾间河道遵循“淤积→延伸→抬高→摆动→改道”的规律演变,这样经过一段时间冲淤填洼过程以后(如尾间横扫亚三角洲面一遍),随着三角洲地势的普遍淤高,黄河携沙入海能力的大幅度降低,黄河就基本完成了一个亚三角洲体的构造,它很快就会在淤塞情况下寻找新的决口点(包括顶点下移)改道,趟出阻力最小的入海流路,从而开始建造下一个亚三角洲体的摆动循环过程。这样,黄河尾间廊道在自身频繁摆动横扫地表的景观发育过程中,还不断地形成了其特有的廊道-基质景观特征(图 11)。我们以黄河廊道景观为骨架,利用 Arc\Info 中 Polygon 特征的不可叠置性和连续性特征,研究黄河摆动过程中在各亚三角洲体上横扫而成的地表廊道-基质景观的发育特征(表 5)。

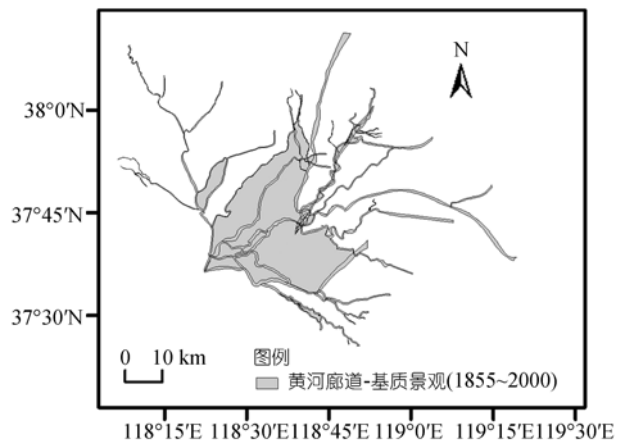


图 11 1855~2000 年黄河三角洲体上廊道-基质景观

表 5 黄河尾闾流路形成的廊道-基质景观斑块的主要景观指数信息

亚三角洲体名称	TLA	NumP	MPS	TE	ED	AWMSI	MPAR	MPFD	SDI	SEI
Sub1855~1904	16456	13	1266	523157	32	4.10	404	1.14	1.78	0.69
Sub1904~1929	8919	12	743	535060	60	7.70	5034	1.32	1.04	0.42
Sub1929~1934	7176	6	1196	313705	44	7.86	95	1.11	0.53	0.30
Sub1934~1953	6404	9	712	366464	57	10.55	119	1.07	0.35	0.16
Sub1953~1964	3158	1	3158	158723	50	7.06	50	1.23	0.00	
Sub1964~1976	5626	3	1875	230608	41	7.50	179	1.15	0.12	0.11
Sub1976~2000	4493	3	1498	175847	39	4.16	45	1.16	0.97	0.88
Sub1855~1934	32779	49	669	1375522	42	4.66	2656	1.21	2.73	0.70
Sub1934~2000	19994	98	204	1043280	52	4.87	620	1.09	3.27	0.71
Sub1855~1953	68295	69	990	1831823	27	3.25	1935	1.17	3.08	0.73
Sub1953~2000	12956	26	498	590850	46	5.77	1975	1.16	1.92	0.59
Sub1855~2000	119605	198	604	2762955	23	2.58	282	1.09	4.12	0.78

由图 12 可知, 各亚三角洲体上黄河流路廊道-基质景观的总面积(TLA) 与其总周长(TE)的大小基本呈正相关关系. 其中, 1855~1904 年期间廊道-基质景观发育面积最大, Shannon 多样性指数(SDI)也最大(表 5). 在 1904~1929 年期间发育的亚三角洲体上, 黄河廊道-基质景观的总周长(TE)最大, 其廊道-基质景观平均分维数(MPFD)也是近、现代亚三角洲体上发育的最大值, 此期间正是黄河造陆速度最快的一个时期.

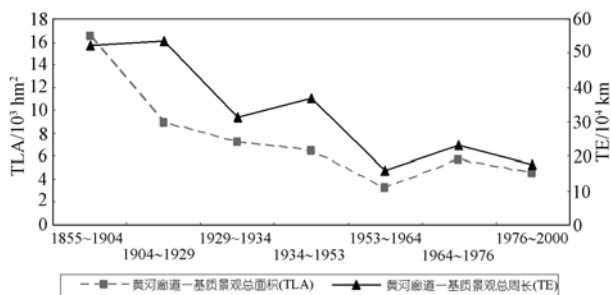


图 12 1855~2000 年黄河尾闾流路在各亚三角洲体上廊道-基质景观面积和周长变化关系

比较近代亚三角洲体和现代亚三角洲体上黄河流路形成的廊道-基质景观指数(表 5, 图 13)可知, 近代亚三角洲体上廊道-基质景观总面积(TLA), 平均斑块大小(MPS), 廊道-基质景观的总周长(TE), 平均斑块分维数(MPFD) 和平均斑块形状指数(MSI)都明显高于现代亚三角洲体, 表明近代亚三角洲体上的黄河廊道-基质景观面积大且形状曲折复杂, 现代亚三角洲体上的黄河廊道-基质景观面积小且形状简单, 这说明 1934 年以后黄河廊道-基质景观的自然发育过程受到了很大限制.

比较黄河自然决口发育洲体(Sub1855~1953)上

和人工控制改道发育洲体(Sub1953~2000)上廊道-基质景观指数(表 5, 图 14), 同样发现, 在 1953 年前黄河自然决口发育的亚三角洲体上, 廊道-基质景观总面积(TLA), 景观斑块数量(NumP), 平均斑块大小(MPS), 廊道-基质景观的总周长(TE)和 Shannon 多样性指数(SDI)都明显高于 1953 年以后由人工控制改道发育的亚三角洲体. 而 Sub1953~2000 亚三角洲体上较高的廊道-基质景观边长密度(ED)也同样表明了自 1953 年以后, 由人工控制改道发育的亚三角洲体

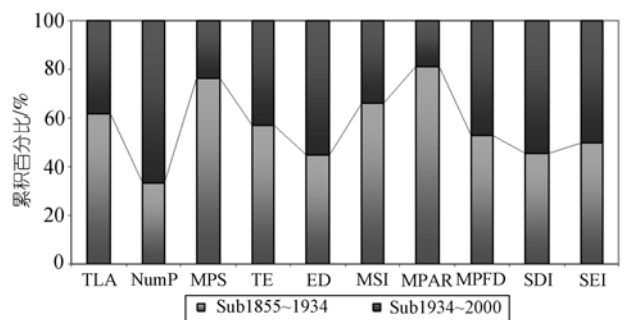


图 13 近、现代黄河亚三角洲体上黄河廊道-基质景观主要指数累积关系图

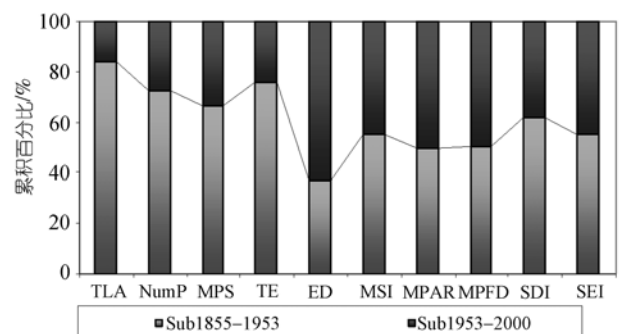


图 14 自然发育与人工控制亚三角洲体上黄河廊道-基质景观主要指数累积关系图

上的廊道-基质景观斑块数量比较少而且面积较小(表 5), 表现出明显的较破碎特征, 可见人类的治黄活动已经对黄河自然淤积造陆过程表现出了不利的影 响, 限制了现代亚三角洲体的发育和构造。

8 结论与讨论

(1) 本项研究基于对地学信息图谱, 景观生态学格局与过程研究的理论和方法, 将地学信息图谱反映空间格局和时间演化的图形思维方式和景观生态学的格局与过程研究的定量思维方式集成, 形成景观信息图谱方法的初步研究体系。以近、现代黄河尾闾流路摆动, 亚三角洲体的物理发育过程与廊道-基质景观格局-过程之间的相互作用为例做了一次有益的探索性工作。希望能够以此“抛砖引玉”, 在景观“格局与过程”时空复合特征的研究方法上为同行提供一条可供借鉴的新思路。

(2) 1855~2000 年黄河尾闾流路的河床廊道景观形状指数呈下降态势, 尤其是 1953 年人工控制流路摆动以后, 表现最为明显, 表明黄河流路的发育空间越来越小。同时, 由黄河流路摆动过程形成的各亚三角洲体的发育也受到了影响, 表现为: 近代亚三角洲体的扇翼两侧发育比较对称、均衡, 而现代亚三角洲体发育明显不充分, 东南部扇面出现了一个发育缺口; 近代亚三角洲体上的黄河廊道-基质景观面积大且形状曲折复杂, 现代亚三角洲体上的黄河廊道-基质景观面积小且形状简单, 主要原因是现代人类治黄活动的日益频繁(如, 不断加强的河道两侧大坝)限制了黄河流路廊道与其廊道-基质景观在现代亚三角洲体上的自然发育过程。

致谢 郑度、李小文院士在本专题研究中给予了亲切的指导和关怀, 杨勤业、刘纪远、柳钦火、岳天祥、官鹏、余涛、吴绍洪、胡贤洪、关理、刘岳、李秀彬、齐清文、高志强和王毅在该项研究中给予热情鼓励和支持, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- Moore III B. Meeting tomorrow's challenges. *IGBP News Letter*, 1999, 38: 2
- Steffen W. Global change science in the next century, a personal perspective. *IGBP News Letter*, 1999, 40: 4—6
- 陈宜瑜, 陈泮勤, 葛全胜, 等. 全球变化研究进展与展望. *地学前缘*, 2002, 9(1): 11—18
- 陈宜瑜. 全球变化与社会可持续发展. *地球科学进展*, 2003, 18(1): 1—3
- Epperson B K. Spatial and space-time correlations in ecological models. *Ecol Model*, 2000, 132: 63—76[DOI]
- 邬建国. 景观生态学——格局, 过程, 尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000. 99—109
- 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向. *地理学报*, 1996, 51(6): 553—558
- Meyer W B, Turner B L. *Changes in Land-use and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 1—15
- Alcamo J, Kreileman E, Leemans R, eds. *Integrated Scenarios of Global change*. *Global Environmental Change*. London: Pergamon Press, 1996. 1—35
- Turner B L II, Skole D, Sanderson S, et al. *Land-use and land-cover change in Science/Research Plan*. HDP Report 7/IGBP Report 35. Stockholm and Geneva, 1995. 61—78
- 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2002, 32(12): 1031—1040
- Yang X, Lo C P. Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia Metropolitan Area. *Int J Remote Sens*, 2002, 23: 1775—1798[DOI]
- 叶庆华, 田国良, 刘高焕, 等. 黄河三角洲新生湿地土地覆被演替图谱. *地理研究*, 2004, 23(2): 257—264
- Turner M G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landsc Ecol*, 1990, 4: 21—30[DOI]
- Forman R T T. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 133—145
- 李哈滨, 伍业纲. 景观生态学的数量研究方法. 见: 刘建国, 主编. *当代生态学博论*. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 23—33
- Farina A. *Principles and Methods in Landscape Ecology*. Chapman and Hall, 1998. 2—30
- Yue T X, Xu B, Liu J Y. A patch connectivity index and its change in relation to new wetland at the Yellow River Delta. *Int J Remote Sens*, 2004, 25(21): 4617—4628[DOI]
- 肖笃宁, 李秀珍. 景观生态学的学科前沿与发展战略. *生态学报*, 2003, 23(8): 1615—1621
- 庞家珍, 张广泉, 霍瑞敬, 等. 黄河下游河道冲淤演变. *山东水利科技*, 1992, (4): 1—11
- 叶青超. 华北平原地貌体系与环境演化趋势. *地理研究*, 1989, 8(3): 10—20
- 姚志刚, 谷奉天. 黄河三角洲的形成, 垦殖与持续利用. *生态学杂志*, 1996, 15(1): 72—74
- 陈述彭, 赵英时. *遥感地学分析*. 北京: 测绘出版社, 1990. 251—253
- 叶庆华. 黄河三角洲景观信息图谱的时空特征研究. 博士后出

- 站报告. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2003
- 25 薛春汀. 现代黄河三角洲叶瓣的划分和识别. 地球研究, 1994, 13(2): 59—66
- 26 唐新桥. 利用陆地卫星图象追踪黄河三角洲变化的研究. 遥感技术动态, 1987, (3): 25—35
- 27 范兆木, 郭永盛, 主编. 黄河三角洲沿岸遥感动态分析图集. 北京: 海洋出版社, 1992. 10—110
- 28 黄翀. 基于元胞模型的近现代黄河三角洲演化动态模拟. 博士学位论文. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2005
- 29 陈述彭. 地学信息图谱议. 地理研究, 1998, 17(增刊): 5—10
- 30 陈述彭, 岳天祥, 励惠国. 地学信息图谱研究及其应用. 地理研究, 2000, 19(4): 337—343
- 31 陈述彭. 地学信息图谱探索研究. 北京: 商务印书馆, 2001. 1—36
- 32 叶庆华, 刘高焕, 陆洲, 等. 基于 GIS 的时空复合体—土地利用图谱模型研究方法. 地理科学进展, 2002, 21(4): 349—357
- 33 Yue T X, Chen S P, Xu B, et al. A curve-theorem based approach for change detection and its application to Yellow River Delta. *Int J Remote Sens*, 2002, 23(11): 2283—2292 [\[DOI\]](#)
- 34 Yue T, Liu J, Jorgensen S E, et al. Landscape change detection of the newly created wetland in Yellow River Delta. *Ecol Model*, 2003, 164(1): 21—31 [\[DOI\]](#)
- 35 郑度. 关于地理学的区域性和地域分异研究. 地理研究, 1998, 17(1): 4—9
- 36 Ye Q H, Tian G L, Liu G H, et al. Tupu Methods of spatial-temporal pattern on land-use change—a case study in the Yellow River Delta. *J Geogr Sci*, 2004, 14(2): 131—142
- 37 叶庆华, 刘高焕, 田国良, 等. 黄河三角洲土地利用时空复合变化图谱分析. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2004, 35(5): 461—474
- 38 黄秉维. 自然地理学一些最主要的趋势. 地理学报, 1960, 26(3): 149—154
- 39 叶庆华, 陈沈良, 陈奇, 等. 近、现代黄河亚三角洲体发育过程 (1855~2000 年) 的景观特征及黄河口治理出路问题. 科学通报, 2006, 51(增刊): 165—175
- 40 郑度, 杨勤业, 赵名茶, 等. 自然地域系统研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 102—124