

# 沂河流域土地利用时空变化图谱特征分析

于元赫<sup>1</sup>, 李子君<sup>1</sup>, 林锦阔<sup>2</sup>, 刘金玉<sup>1</sup>, 王 硕<sup>1</sup>

(1. 山东师范大学地理与环境学院, 济南 250014; 2. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

**摘要:** 基于沂河流域 1995 年、2005 年和 2015 年土地利用空间数据, 运用地学信息图谱方法构建 1995-2005 年和 2005-2015 年两个时序单元的土地利用转移图谱和涨落势图谱, 分析了沂河流域近 20 年来的土地利用时空变化规律及发展过程。结果表明: (1) 1995-2015 年, 沂河流域土地利用结构以耕地和林地为主, 其中耕地和草地减少, 林地和建设用地增加是主要变化趋势。(2) 土地利用转移图谱以耕地与林地、草地之间的相互转换以及建设用地占用耕地为主, 林地、草地转变为耕地主要发生在费县和平邑县中部地势平缓的山前平原, 耕地转变为林地、草地则主要分布于研究区北部和西南部土壤侵蚀较为严重的山区, 耕地转变为建设用地主要集中在各县市城区周边经济相对发达的区域。两个时序单元中, 发生变化的主要图谱单元类型及面积存在显著差异, 2005-2015 年土地利用发生转换的空间进一步扩张。(3) 土地利用涨势图谱中新增耕地面积最大, 占新增面积的比例为 33.87%; 落势图谱中耕地萎缩面积最大, 占萎缩面积的比例为 51.38%。两个时序单元中, 各县市涨落势图谱变化存在明显差异。该研究可为沂河流域土地资源的可持续利用及生态建设提供科学依据。

**关键词:** 土地利用变化; 地学信息图谱; 图谱单元; 沂河流域

土地利用/覆被变化 (LUCC) 是人类活动作用于生态环境的一种复杂响应, 是国际上关于全球变化和土地可持续利用的重点研究方向<sup>[1]</sup>。随着人口的急剧增长、城镇化进程的推动和对良好生态环境质量的需要, 人类对土地资源的需求也呈现急速增长的态势, 对土地资源的开发利用无论是从速度还是规模上都空前增长<sup>[2]</sup>。在这种背景下, 加强土地利用时空变化的研究有利于把握土地利用方式转变的过程及成因, 对于土地资源的合理配置、社会经济的可持续发展等具有重要意义。

近年来, 国内学者围绕土地利用在时间和空间上的动态变化展开了大量研究, 为客观认识中国及区域土地利用变化提供了经验和依据。在分析方法上, 通过构建土地利用程度模型、土地利用动态度模型、土地利用综合指数模型等来描述土地利用时序变化特征<sup>[3-6]</sup>; 在空间格局方面, 采用 CLUE-S 模型、景观格局指数和 GIS 空间分析等来研究土地利用空间格局变化<sup>[7-11]</sup>。虽然这些方法在一定程度上反映了土地利用时空变化特征, 但其“空间格局”和“时间过程”没能很好地复合。地学信息图谱方法正是一种时空复合分析方法<sup>[12]</sup>, 综合 RS、GIS、计算机制图等先进技术, 能够将土地利用变化过程以图谱单元的形式形象化、动态化展示出来<sup>[13-14]</sup>。目前已有学者运用地学信息图谱对不同区域土

收稿日期: 2018-10-27; 修订日期: 2019-02-17

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目 (17YJAZH050); 山东省社会科学规划研究项目 (12CJJZ02); 国家自然科学基金项目 (41101079)

作者简介: 于元赫 (1993-), 男, 山东青岛人, 硕士, 主要从事土地利用变化研究。E-mail: yuyh93@126.com

通讯作者: 李子君 (1974-), 女, 山东莒县人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事土地利用变化研究。

E-mail: lizj@sdjzu.edu.cn

地利用变化进行了分析。张国坤等<sup>[15]</sup>对1969-2001年新开河流域土地利用格局变化图谱进行了总结分析,指出耕地、沙地和草地是该流域土地利用格局的主要变化类型;叶庆华等<sup>[16]</sup>在分析1956-1996年黄河三角洲新生湿地土地利用变化图谱的基础上讨论了影响土地利用变化的主要因素;王金亮等<sup>[17]</sup>以三峡库区为例,研究了1990-2010年两个时段内库区农林用地变化图谱特征及主要模式。总体来看,现有研究对土地利用图谱的解释多集中于计量统计和空间分布,对图谱单元类型的变化差异及成因的分析未及深入开展;在研究区域上,多侧重于经济发展热点地区和生态环境脆弱区<sup>[18-19]</sup>。

沂河流域位于鲁中南山地丘陵区,是沂蒙山区核心组成部分和重要水源涵养区,地形起伏大,生态脆弱,水土流失较严重<sup>[20]</sup>;再加上人口密度大,坡耕地面积多,土地利用变化十分敏感,但是针对该流域土地利用变化的研究较为匮乏。近年来,随着人口增长和社会经济发展,还有退耕还林、林草封禁、荒地造林以及坡改梯等水土保持措施的实施,沂河流域土地利用方式和植被覆盖都发生了显著的变化。了解该区域内土地利用的时空变化特征及成因,对于土地资源的合理开发利用,保障区域生态安全、粮食安全和水安全以及建设生态文明具有极其深远的意义。因此,本文选择沂河流域作为研究区,基于沂河流域1995年、2005年和2015年土地利用遥感解译数据,运用地学信息图谱方法构建1995-2005年和2005-2015年两个时序单元的土地利用转移图谱和涨落势图谱,分析沂河流域近20年间土地利用时空变化规律及发展过程,以期为流域土地资源可持续利用和生态环境保护提供理论依据和决策参考。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究区概况

沂河是沂沭泗水系中主要河流之一,流经13个县(市)注入江苏境内骆马湖,全长约500多km。本研究中的沂河流域指沂河流域临沂站以上的部分(图1),位于 $117^{\circ}25' \sim 119^{\circ}49'E$ 、 $33^{\circ}30' \sim 36^{\circ}20'N$ 之间,流域面积10026.26 km<sup>2</sup>,包括沂源县、沂水县、蒙阴县、沂南县、平邑县、兰山区和费县的大部分。地势西北高东南低,山丘占70%,平原占30%。气候类型属于暖温带大陆性季风气候,年均气温13~14.3℃,多年平均降雨量815 mm,集中于夏秋季节。由于山高坡陡,暴雨集中,造成了严重的土壤侵蚀。沂河干流由北向南穿行于沂山、蒙山和尼山之间,流域右岸支流密布,较大支流主要有蒙河、东汶河、沭河,共有62条长度超过20 km的支流,2条长度超过150 km的支流,整个流域水系呈不对称的树枝状。土壤类型较多,主



图1 研究区地理位置和行政区划

Fig. 1 Geographic location and administrative division in the study area

要有棕壤、褐土、潮土、砂姜黑土等。流域处于暖温带落叶阔叶林区, 主要树种有刺槐、油松、赤松、加拿大杨、旱柳等。2015年, 沂河流域总人口为634.1万人, GDP为2329.34亿元, 第一、二、三产业比例为9.03:44.92:46.05。

## 1.2 数据来源与处理

土地利用数据来源于1995年、2005年和2015年三个时点的Landsat TM/ETM遥感图像, 空间分辨率为30 m×30 m, 运用人机交互式的目视解译, 提取沂河流域三个时点的土地利用数据。通过多个样点的实地调查来验证解译精度, 三期遥感影像解译精度均大于85%, Kappa系数均大于0.8, 达到本研究的要求。通过参照《土地利用现状分类(GB/T21010-2007)》并结合研究区实际情况, 将土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6类, 编码分别设置为1、2、3、4、5、6, 从而建立沂河流域土地利用空间数据库。基于GIS平台, 运用修正的通用土壤流失方程(RUSLE)模型计算得到1995-2015年沂河流域土壤侵蚀空间格局。依据《北方土石山区水土流失综合治理技术标准》(SL665-2014)将沂河流域土壤侵蚀强度划分为6个等级: 微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈。社会经济发展等数据主要来源于《临沂市统计年鉴》和《淄博市统计年鉴》。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 土地利用图谱分析

土地利用图谱能够以图谱单元来记录土地利用变化的时空复合信息, 具有定量表示多时空条件下“空间格局”与“时序特征”的复合特点<sup>[12]</sup>。图谱单元是由空间单元和时序单元合并而成, 其选取与集合是创建图谱的两个关键步骤。主要构造步骤如下:

(1) 确定图谱单元。① 确定图谱空间单元。结合研究区自然特征和遥感数据的可获取性, 选取30 m×30 m的空间分辨率作为图谱分析的基本空间地理单元。② 确定图谱时序单元, 选取研究区三个时点的遥感影像数据, 确定研究图谱时序单元为1995-2005年、2005-2015年。

(2) 图谱构造。采用地图代数的方法合成沂河流域土地利用变化系列图谱。具体做法为: 首先, 利用ArcGIS 10.2的叠加分析模块, 将两期土地利用数据相交; 其次, 将前后两期土地利用类型编码值进行代数运算, 具体合成操作为:

$$C = 10A + B \quad (1)$$

式中:  $C$ 为新生成的两位数编码值, 即土地利用图谱单元类型, 如编码31, 表示土地利用类型由草地转变为耕地;  $A$ 为前期的土地利用类型编码值;  $B$ 为后期的土地利用类型编码值, 从而生成沂河流域1995-2005年和2005-2015年两个时期的土地利用转移图谱。

土地利用变化比率表示转变的土地利用类型占研究区所有转变的土地利用类型的比例, 能够进一步反映土地利用变化图谱单元数量变化特征, 计算公式为:

$$P = \frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{ij}(i \neq j)} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $P$ 为变化比率;  $S_{ij}$ 为初期第*i*种土地利用类型转变为末期第*j*种土地利用类型的图谱单元面积;  $n$ 为土地利用类型个数。

### 1.3.2 涨落势图谱分析

土地利用变化包括转入和转出两个方面, 转入即其他用地类型转移到该用地类型,

导致该用地类型面积上涨；转出即该用地类型转为其他用地类型，致使该用地类型面积萎缩（减少）。利用图谱构造中叠加分析生成的各土地利用类型转入和转出数据，根据分类原则，将其他所有用地类型转入该类型的面积归为该类型新增面积，即涨势图谱，而该类型转出的所有面积归为该类型萎缩面积，即落势图谱，从而生成 1995-2005 年和 2005-2015 年两个时序单元的土地利用涨势图谱和落势图谱。

### 1.3.3 土地利用动态度

单一土地利用动态度用来表征研究区一定时段内某种土地利用类型的变化速率，表达式为：

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

式中： $K$ 为研究时段内某种土地利用类型动态度； $U_a$ 、 $U_b$ 分别为初期、末期某种土地利用类型的面积； $T$ 为时间段。当 $T$ 设定为年时， $K$ 表示研究时段内某种土地利用类型的年变化率。

综合土地利用动态度用来表征研究区一定时段内整体土地利用类型的变化速率，表达式为：

$$LC = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (4)$$

式中： $LC$ 为研究时段内综合土地利用动态度； $LU_i$ 为初期第 $i$ 类土地利用类型的面积； $\Delta LU_{i-j}$ 为研究时段内第 $i$ 类土地利用类型转换为其他土地利用类型面积的绝对值； $n$ 为土地利用类型个数。当 $T$ 的时段设定为年时， $LC$ 为研究区土地利用年变化率。

## 2 结果分析

### 2.1 土地利用结构变化分析

1995-2015 年沂河流域不同地类变化特征如表 1 所示。研究区最主要用地类型为耕地，三个时段耕地面积均超过研究区总面积的 60%，其次为林地，面积均在 1180 km<sup>2</sup> 以上，占研究区总面积的平均比例为 12.35%，表明研究区土地利用结构以农林生产为主，符合该区域社会经济发展的特点。

耕地表现出持续萎缩的趋势，由 1995 年的 6709.38 km<sup>2</sup> 减少到 2015 年的

表 1 1995-2015 年沂河流域土地利用变化统计表

Table 1 Statistical table of land use change in the Yihe River Basin from 1995 to 2015

土地利用 类型	1995 年		2005 年		2015 年		土地利用动态度/%		
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	1995-2005 年	2005-2015 年	1995-2015 年
耕地	6709.38	66.92	6645.15	66.28	6083.53	60.68	-0.10	-0.85	-0.47
林地	1180.03	11.77	1200.98	11.98	1380.27	13.77	0.18	1.49	0.85
草地	1006.82	10.04	954.41	9.52	922.05	9.20	-0.52	-0.34	-0.42
水域	357.95	3.57	348.74	3.48	378.36	3.77	-0.26	0.85	0.29
建设用地	756.40	7.54	864.49	8.62	1245.58	12.42	1.43	4.41	3.23
未利用地	15.68	0.16	12.49	0.12	16.47	0.16	-2.04	3.18	0.25
综合	10026.26	—	10026.26	—	10026.26	—	0.630	1.143	0.632



6083.53 km<sup>2</sup>，后期下降速率明显加快（-0.85%）。由于耕地总量较大，减少的面积比例较小，年均变化速率仅为-0.47%，表明工业化和城市化进程对耕地的侵占持续进行。林地呈现出持续上升的趋势，由1180.03 km<sup>2</sup>增加到1380.27 km<sup>2</sup>，上升速率由前期的0.18%增加到后期的1.49%。林地增加可归因于退耕还林、荒地造林等水土保持措施的实施，有效减少了土壤侵蚀等自然灾害的发生。草地表现出持续下降的态势，由1006.82 km<sup>2</sup>减少到922.05 km<sup>2</sup>，后期下降速率放缓（-0.34%），说明后期草地垦殖在一定程度上得到遏制。建设用地面积呈持续增加态势，且增幅越来越大。1995年只有756.40 km<sup>2</sup>，2015年则升至1245.58 km<sup>2</sup>，增长近1倍。建设用地总量较小，而增加的面积较大，因此年均变化速率最大（3.23%），主要原因是随着经济发展和人口增加，交通、住宅、工商业等建设活动用地需求急剧增加，导致大量耕地、草地转变为建设用地。水域面积呈先略微减少后小幅增加的趋势，年均变化速率为0.29%。沂河流域是山东省降雨最丰富的地区<sup>[20]</sup>，洪水迅猛，政府为减轻下游洪涝灾害，在上游及其支流修建了众多水库使得水域面积增加。未利用地面积较小，变化不明显。

1995-2005年和2005-2015年两个阶段的整体土地利用变化速率分别为0.630%和1.143%，后期的变化速率明显加快，说明近十年的土地利用变化更加剧烈；1995-2015年整个阶段的土地利用变化速率为0.632%，表明沂河流域土地利用变化受到人类活动的强烈干扰。

2.2 土地利用转移图谱分析

2.2.1 1995-2005年土地利用转移图谱

1995-2005年沂河流域土地利用转移图谱共生成36类图谱单元，其中有30类图谱单元土地利用类型发生了变化（总面积1264.40 km<sup>2</sup>）。将图谱单元按面积大小排序（表2），并计算其变化比率，其中12类图谱单元累积变化率达到97.43%，在空间分布上存在显著的区域差异（图2a）。其中，最为明显的是“草地→耕地”（编码31）图谱类型，主要分布在费县和平邑县中部。究其原因，为了加强耕地保护，1998年国家颁布了《土地管理法》，明确规定实行占用耕地补偿制度，对非农建设占用耕地实行占补平衡的保护措施。

表2 1995-2005年主要土地利用转移图谱单元排序表  
Table 2 Transition TUPU unit order of land use from 1995 to 2005

编码	土地利用转移图谱单元	图谱单元数/个	转移面积/km <sup>2</sup>	变化比率/%
31	草地→耕地	381406	343.31	27.16
13	耕地→草地	316522	284.87	22.54
15	耕地→建设用地	181632	163.34	12.92
12	耕地→林地	128723	115.82	9.16
21	林地→耕地	83464	75.10	5.94
51	建设用地→耕地	77662	69.88	5.53
23	林地→草地	64912	58.43	4.62
32	草地→林地	43598	39.23	3.10
41	水域→耕地	41843	37.76	2.99
14	耕地→水域	28360	25.46	2.01
35	草地→建设用地	15598	14.02	1.11
63	未利用地→草地	5263	4.73	0.37
	总和	1368983	1231.95	97.46

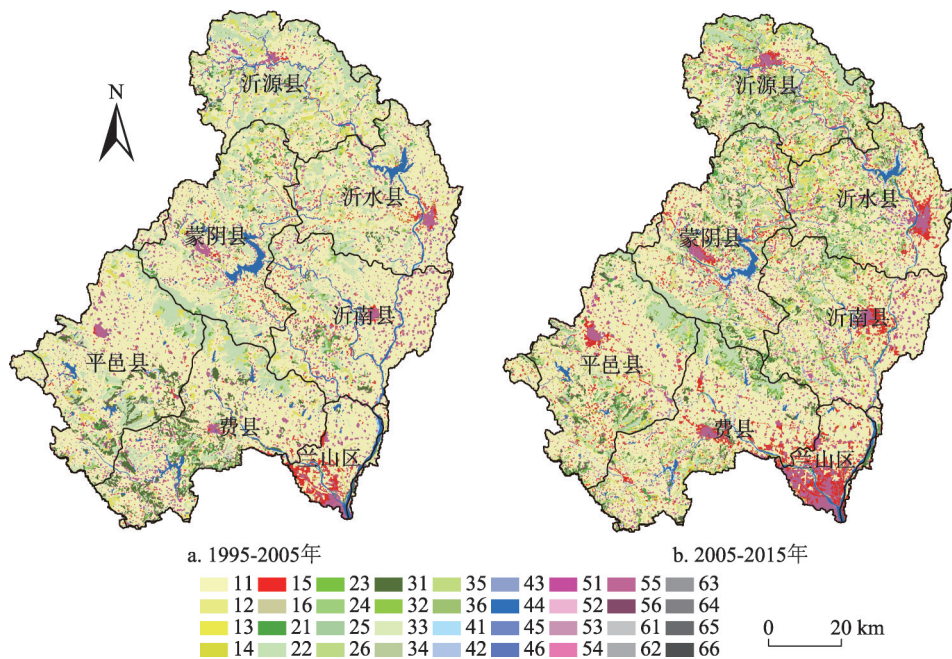


图2 沂河流域各时序单元土地利用转移图谱

Fig. 2 Transition TUPU of land use of each sequential element in the Yihe River Basin

费县和平邑县中部多为平坦开阔的山前平原, 因此人们在该区域加强了对草地的开垦, 致使大量草地向耕地转变。其次为“耕地→草地”(编码13), 主要分布在研究区北部和西南部山区地带。1995年, 极强烈和剧烈土壤侵蚀主要集中于研究区北部和西南部山区, 而东南部地势平缓地段和河流两岸缓坡主要为轻微度侵蚀。因此, 退耕还林还草、荒山造林等生态工程优先选择土壤侵蚀较为严重的山区地带, 使得研究区北部和西南部大面积耕地向草地转变。到2005年, 研究区北部和西南部山区原有的极强烈和剧烈侵蚀面积有所减少, 但西南部山区仍以极强烈和剧烈侵蚀为主。第三是“耕地→建设用地”(编码15), 主要集中于研究区东南部的兰山区。兰山区经济相对较发达, GDP居临沂市第一位。经济的快速发展带动交通、住宅等建设用地急剧扩张, 加上地势相对平坦, 致使大量耕地转变为建设用地, 而该阶段其他县域的城镇体系正在形成, 城镇建设用地扩展相对缓慢。

1995-2005年间, 该阶段土地利用转移图谱以耕地和草地互换、建设用地占用耕地为主。耕地主要转变为草地、建设用地和林地, 转出面积分别为284.87 km<sup>2</sup>、163.34 km<sup>2</sup>和115.82 km<sup>2</sup>, 累积转出比率为44.62%; 同时, 也有大面积的草地、林地和建设用地转变为耕地, 转入面积分别为343.31 km<sup>2</sup>、75.1 km<sup>2</sup>和69.88 km<sup>2</sup>, 累积转入比率为38.63%, 累积变化比率较小, 为5.99%。最为显著的是草地开垦为耕地, 说明该阶段存在草地过度垦殖活动, 可归因于建设占用、生态退耕和农业结构调整等导致研究区耕地面积萎缩, 在耕地占补平衡政策的驱动下, 人们通过土地整治和复垦来扩大耕地面积, 致使部分区域生态环境恶化。另一显著变化是耕地改造为草地, 说明该阶段退耕还草工程对草地起到了一定的保护作用。研究区主要为山地丘陵区, 易发生水土流失。随着各项水土保持治理工程不断开展, 部分坡耕地、弃耕地和未利用地被改造为草地, 对流域的水土保持发挥了极大的促进作用。

2.2.2 2005-2015年土地利用转移图谱

2005-2015年沂河流域土地利用转移图谱共有30类图谱单元发生了变化,总面积为2293.43 km<sup>2</sup>,较上一阶段扩张了1029.03 km<sup>2</sup>。将图谱单元按面积大小排序(表3),并计算其变化比率,其中16类图谱单元占变化面积的97.91%,空间分布范围进一步扩散(图2b)。其中,“耕地→建设用地”(编码15)图谱类型最为显著,空间分布密集区不再局限于兰山区,其余各县市城区周边均明显扩张,说明该阶段各县市的工业化和城镇化进程得到较快发展,从而加快了耕地非农化速度。其次为“耕地→林地”(编码12),主要分布在研究区中部沂水县、沂南县和蒙阴县的交界地带,可归因于在退耕还林还果政策和比较利益驱动下,大面积的坡耕地、弃耕地转变为生态林和经济林。第三是“草地→耕地”(编码31),主要分布在沂源县、平邑县和费县。“耕地→草地”(编码13)图谱类型的面积也超过300 km<sup>2</sup>,主要集中在研究区北部和西南部山区。2015年,研究区北部和西南部山区的极强烈和剧烈侵蚀面积较前两个时点明显减少,表明该阶段各项水土保持措施的实施对山区水土流失治理效果显著,但费县和平邑县南北两侧的山地仍然存在较大面积的极强烈和剧烈侵蚀,因此今后还应继续加强该地区的水土保持工作。与上一阶段相比,该时期不同土地利用类型之间的转移面积大幅增加,再次表明该时期土地利用变化受人类活动的干扰更加强烈。

表3 2005-2015年主要土地利用转移图谱单元排序表  
Table 3 Transition TUPU unit order of land use from 2005 to 2015

编码	土地利用转移图谱单元	图谱单元数/个	转移面积/km <sup>2</sup>	变化比率/%
15	耕地→建设用地	524479	471.90	20.59
12	耕地→林地	402678	362.26	15.81
31	草地→耕地	357055	321.31	14.02
13	耕地→草地	341284	307.11	13.40
21	林地→耕地	196568	176.95	7.72
32	草地→林地	149685	134.82	5.88
23	林地→草地	148379	133.49	5.82
51	建设用地→耕地	119765	107.60	4.69
14	耕地→水域	99713	89.68	3.91
41	水域→耕地	73776	66.49	2.90
35	草地→建设用地	25853	23.32	1.02
25	林地→建设用地	16594	14.95	0.65
52	建设用地→林地	11637	10.45	0.46
54	建设用地→水域	10313	9.27	0.40
53	建设用地→草地	9493	8.55	0.37
24	林地→水域	8198	7.36	0.32
	总和	2495074	2245.50	97.91

2005-2015年间,该时期建设用地占用耕地及耕地和林地、草地之间相互转换的面积进一步扩张,发生变化的图谱单元数量显著增加。耕地仍主要转变为建设用地、林地和草地,转出面积分别为471.90 km<sup>2</sup>、362.26 km<sup>2</sup>和307.11 km<sup>2</sup>,转出面积进一步扩张,累积转出比率上升为49.80%;同时,耕地主要转入来源也是草地、林地和建设用地,转入

面积分别为321.31 km<sup>2</sup>、176.95 km<sup>2</sup>和107.60 km<sup>2</sup>。除草地转入面积较上一阶段有所减少外,其余地类转入面积均明显增加,但累积转入比率较上一阶段减少了15.26%,累积变化比率达到26.43%。其中最为显著的是耕地转变为建设用地,面积达到471.90 km<sup>2</sup>,变化比率为20.59%,面积和变化比率均上升到排序表第1位,说明近十年来随着人口增长和城镇化进程加速推进,更加快了建设用地侵占耕地的过程,致使建设用地大幅扩张,耕地萎缩趋势进一步加剧。另一显著变化是耕地改造为林地的面积和变化比率较上一阶段明显扩大,上升到排序表第2位,说明该阶段退耕还林、荒地造林等水土保持工程使森林资源得到较好的恢复,对研究区生态环境改善和水土流失治理具有重要意义。草地改造为耕地的面积较上一阶段有所减少,说明草地垦殖活动一直在进行,但逐渐得到了遏制。

总体来看,1995-2015年沂河流域土地利用转移图谱主要表现为三个特征:

一是林地、草地转变为耕地明显,主要发生在费县和平邑县中部地势平缓的山前原地带。20年间,随着沂流域经济发展、人口增加和城镇化推进,非农建设占用了大量耕地,导致耕地面积持续下降。在耕地保护政策驱动下,尤其是耕地占补平衡的实施,人们加强了土地整治和垦殖,从而促使林地、草地转变为耕地。同时,高程、坡度等地形因子是限制人类活动范围的关键因素,海拔高、坡度大的区域不适合进行农耕活动,因此,实施耕地占补平衡措施优先选择地势相对平缓的区域。

二是耕地转变为林地、草地较为显著,主要集中在研究区北部和西南部地势较高的山区地带。为治理沂河流域水土流失,政府实施了一系列生态工程,如荒山绿化工程和退耕还林还草工程,在沂水、沂南、蒙阴等7个山区县,积极营造生态防护林和经济林。自2008年政府开展国家水土保持重点工程以来,研究区累积完成水土流失治理面积1015 km<sup>2</sup>,营造水土保持林93.38 km<sup>2</sup>、经济林107.38 km<sup>2</sup>。研究区北部和西南部的山区主要以极强烈和剧烈侵蚀为主,因此,水土保持治理工程建设优先选择土壤侵蚀较为严重的山区地带。

三是耕地转变为建设用地比较明显,主要集中于各县市城区周边经济相对发达的区域。究其原因,一方面城市化背景下劳动力外出务工导致大量农民涌入城市,造成居民住房、交通、休闲娱乐等建设用地的需求增加,从而促使城镇进一步扩张。另一方面,沂河流域在近20年间经济发展取得显著提高,GDP由1995年的163.59亿元增加到2015年的2329.38亿元,增长14.2倍。随着二三产业迅速发展,促进了固定资产投资,相应的工业园区、经济开发区的建设改变了原来的土地利用结构,使边缘区耕地逐渐转变为建设用地。

## 2.3 土地利用涨落势图谱分析

### 2.3.1 土地利用涨势图谱

利用涨势图谱分析方法生成沂河流域1995-2005年和2005-2015年两个时序单元的涨势图谱,并对沂河流域各行政单元的差异和变化情况进行统计和比较分析(图3、表4)。

1995-2005年间,研究区土地利用未变区域总面积为8761.86 km<sup>2</sup>,变化区域总面积为1264.40 km<sup>2</sup>,分别占研究区总面积的87.39%、12.61%。变化区域中,新增耕地面积最大,为529.39 km<sup>2</sup>,占新增面积的41.87%。其次为新增草地、新增建设用地和新增林地,面积分别为350.48 km<sup>2</sup>,184.95 km<sup>2</sup>和159.29 km<sup>2</sup>,新增水域和新增未利用地面积最小。各县市土地利用变化存在明显差异,沂南县未变区域占地比例最高(91.81%),土地利用变化最稳定;费县未变区域占地比例最低(81.87%),土地利用变化最活跃,新增耕



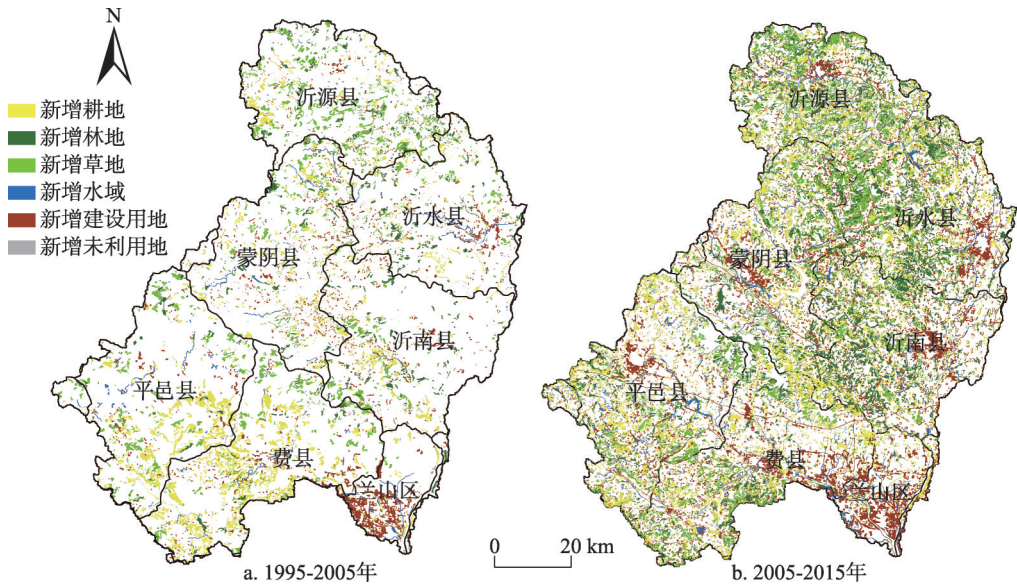


图3 沂河流域各时序单元土地利用涨势图谱

Fig. 3 Rising TUPU of land use of each sequential element in the Yihe River Basin

表4 沂河流域各县市土地利用涨势图谱结构表

Table 4 The structure list of rising TUPU of land use in the Yihe River Basin (km<sup>2</sup>)

时段/年	县区	未变区域	新增耕地	新增林地	新增草地	新增水域	新增建设用地	新增未利用地
1995-2005	费县	1397.56	197.66	15.16	57.40	5.69	33.34	0.22
	平邑县	1469.29	127.21	14.55	66.97	7.53	17.18	0.44
	蒙阴县	1456.49	68.75	29.57	48.09	6.50	19.90	0.94
	沂水县	1319.59	32.18	32.02	30.68	4.57	24.71	0.41
	沂源县	1261.67	47.23	37.49	112.53	0.55	9.39	2.68
	沂南县	1470.52	42.18	30.00	32.92	2.40	22.29	1.45
	兰山区	386.73	14.17	0.48	1.89	5.65	58.14	1.24
	合计	8761.86	529.39	159.29	350.48	32.90	184.95	7.39
2005-2015	费县	1344.27	112.91	56.06	76.83	20.36	95.85	0.76
	平邑县	1377.11	125.43	46.45	61.45	21.07	69.01	2.66
	蒙阴县	1292.54	118.29	78.16	60.82	14.27	64.44	1.73
	沂水县	1054.44	96.26	115.97	87.64	15.74	69.91	4.22
	沂源县	1098.47	115.39	75.46	123.16	13.41	43.84	1.83
	沂南县	1209.14	94.15	140.02	46.61	17.23	90.71	3.90
	兰山区	356.86	13.14	3.35	0.83	9.15	84.58	0.38
	合计	7732.83	675.56	515.47	457.34	111.23	518.34	15.49

地面积最高，为197.66 km<sup>2</sup>；沂源县新增草地面积最高，为112.53 km<sup>2</sup>；兰山区新增建设用地面积最高，为58.14 km<sup>2</sup>，但新增耕地、新增林地和新增草地的面积最低；平邑县新增耕地面积仅次于费县，为127.21 km<sup>2</sup>；蒙阴县和沂水县的土地利用变化相对稳定。

2005-2015年间，土地利用变化区域面积较上一阶段明显增加，占研究区总面积的比例上升了10.26%，空间分布范围更广。新增耕地面积仍然最大，达到675.56 km<sup>2</sup>，占新

增面积的29.46%；其次为新增建设用地面积，比上一阶段扩张了333.87 km<sup>2</sup>，说明该时期沂河流域城镇化建设加速发展；新增林地和新增草地面积较上一阶段分别增加了356.18 km<sup>2</sup>、106.86 km<sup>2</sup>，说明该时期生态用地保护力度加强；新增未利用地面积最小。平邑县未变区域占地比例最高（80.85%），土地利用变化相对最稳定，但新增耕地面积最高；蒙阴县新增耕地面积仅次于平邑县，为118.29 km<sup>2</sup>，各县市新增耕地面积的差距缩小；费县新增建设用地面积最高，为95.85 km<sup>2</sup>，各县市新增建设用地面积均较上一阶段大幅增加；沂南县新增林地面积最高，为140.02 km<sup>2</sup>；沂源县新增草地面积最高，为123.16 km<sup>2</sup>；沂水县新增林地面积仅次于沂南县，新增草地面积仅次于沂源县，再次表明退耕还林还草工程对地形具有一定的选择性。

### 2.3.2 土地利用落势图谱分析

利用落势图谱分析方法生成沂河流域两个时序单元的落势图谱，并对沂河流域各行政单元的差异和变化情况进行统计和比较分析（图4、表5）。

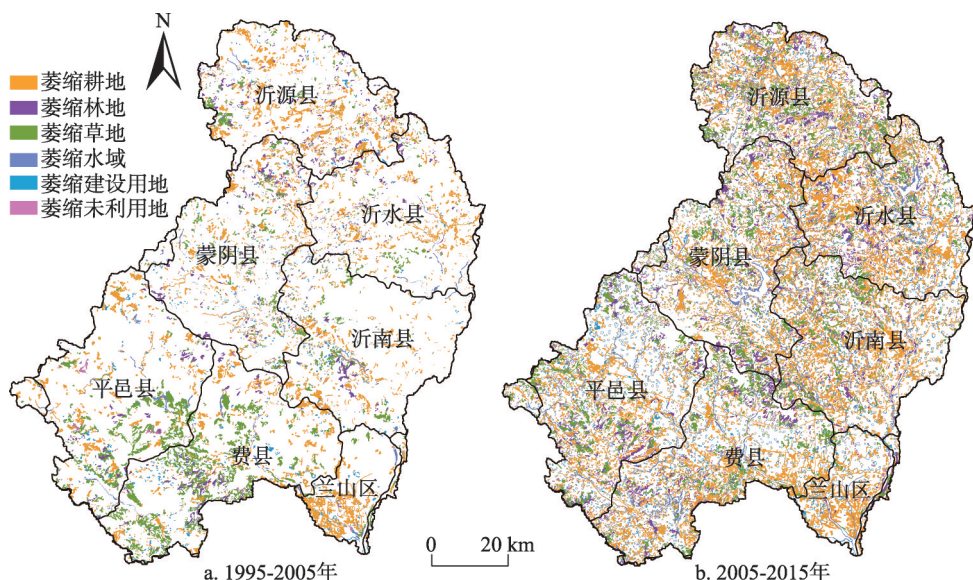


图4 沂河流域各时序单元土地利用落势图谱

Fig. 4 Falling TUPU of land use of each sequential element in the Yihe River Basin

1995-2005年间，研究区耕地萎缩（减少）面积最高，为590.82 km<sup>2</sup>，占萎缩面积的46.7%；其次为草地萎缩面积，为406.88 km<sup>2</sup>；再次为林地萎缩面积，为138.95 km<sup>2</sup>；水域和建设用地萎缩面积均未超过100 km<sup>2</sup>，未利用地萎缩面积最小。各县市土地利用变化差异明显，沂源县耕地萎缩面积最高，为137.41 km<sup>2</sup>；费县草地萎缩面积最高，为172.69 km<sup>2</sup>；平邑县草地萎缩面积仅次于费县，为109.97 km<sup>2</sup>；蒙阴县林地和建设用地萎缩面积最高，分别为32.32 km<sup>2</sup>、15.58 km<sup>2</sup>。

2005-2015年间，研究区各土地利用类型萎缩面积较上一阶段明显增大，空间分布范围扩张。其中，耕地萎缩面积仍然最高，为1237.17 km<sup>2</sup>，是上一阶段的2.1倍，说明该阶段耕地被占用的趋势进一步加剧；其次为草地和林地，萎缩面积分别为492.58 km<sup>2</sup>、333.99 km<sup>2</sup>，空间分布进一步扩散；水域和建设用地的萎缩面积也有所增加，未利用地萎缩面积最小，变化不明显。沂水县耕地萎缩面积最高，为245.34 km<sup>2</sup>，是该阶段土地

表5 沂河流域各县市土地利用落势图谱结构表

Table 5 The structure list of falling TUPU of land use in the Yihe River Basin (km<sup>2</sup>)

时段/年	县区	未变区域	萎缩耕地	萎缩林地	萎缩草地	萎缩水域	萎缩建设用地	萎缩未利用地
1995-2005	费县	1397.56	83.75	27.63	172.69	8.35	15.21	1.84
	平邑县	1469.29	80.14	18.55	109.97	8.15	10.60	6.48
	蒙阴县	1456.49	74.75	32.32	44.27	5.77	15.58	1.06
	沂水县	1319.59	81.31	15.24	14.80	6.25	6.91	0.07
	沂源县	1261.67	137.41	30.06	30.67	3.16	8.05	0.54
	沂南县	1470.52	70.54	14.19	28.48	4.83	13.18	0.02
	兰山区	386.73	62.92	0.96	5.99	5.30	5.78	0.62
	合计	8761.86	590.82	138.95	406.88	41.81	75.31	10.63
2005-2015	费县	1344.27	190.30	45.01	93.40	14.84	18.96	0.26
	平邑县	1377.11	142.47	55.17	95.13	9.55	20.80	2.95
	蒙阴县	1292.54	162.35	58.49	79.99	16.59	18.42	1.87
	沂水县	1054.44	245.34	60.32	43.54	14.92	25.35	0.26
	沂源县	1098.47	167.64	70.72	105.62	10.53	14.95	3.63
	沂南县	1209.14	240.81	40.81	68.22	11.54	29.94	1.30
	兰山区	356.86	88.25	3.46	6.68	3.82	7.99	1.24
	合计	7732.83	1237.17	333.99	492.58	81.79	136.41	11.50

利用变率最大的行政单元；沂南县耕地萎缩面积仅次于沂水县，为240.81 km<sup>2</sup>，其余各县耕地萎缩面积也较上一阶段明显增加；沂源县草地萎缩面积最高，为105.62 km<sup>2</sup>；平邑县草地萎缩面积仅次于沂源县，为95.13 km<sup>2</sup>；蒙阴县水域萎缩面积最高，为16.59 km<sup>2</sup>。在当前城镇化加速推进的背景下，研究区萎缩建设用地面积仍呈上升趋势，可归因于随着劳动力机会成本上升，大量农村劳动力选择外出务工，出现了农村空心化、“人走房空”等现象。2006年，国土资源部颁布了城乡建设用地增减挂钩政策，促使人们将废弃闲置的农村建设用地重新整理复垦为耕地，从而导致建设用地萎缩面积增加，在一定程度上促进了农业规模经营和农村建设用地集约利用。

将土地利用转移图谱和土地利用涨落势图谱相结合，从而进一步分析土地利用转移与土地利用涨落之间的数量关系和空间关系。1995-2005年，土地利用涨势图谱中新增耕地面积为529.39 km<sup>2</sup>，土地利用落势图谱中萎缩草地面积为406.88 km<sup>2</sup>；同时，土地利用转移图谱中变化最为显著的是草地转变为耕地（编码31），面积为343.31 km<sup>2</sup>，三者之间的数量关系说明该阶段新增耕地主要来源于对草地的垦殖；此外，三者的空间分布基本一致，主要集中于费县和平邑县中部，再次表明在耕地保护政策驱动下，人们加强了对地势平缓区域草地的开发利用。2005-2015年，土地利用涨势图谱中新增建设用地面积为518.34 km<sup>2</sup>，土地利用落势图谱中萎缩耕地面积为1237.17 km<sup>2</sup>；同时，土地利用转移图谱中变化最为明显的是耕地转变为建设用地（编码15），面积为471.9 km<sup>2</sup>，三者之间的数量关系说明该阶段新增建设用地主要来源于对耕地的占用。此外，新增建设用地与耕地转变为建设用地（编码15）的空间分布基本吻合，主要集中于各县市城区周边，再次表明该阶段沂河流域城镇化建设飞速发展。然而，该时期土地利用落势图谱中萎缩耕地主要分布在沂水县、沂南县和费县，范围较广，与土地利用涨势图谱中新增林地、新增草地以及土地利用转移图谱中耕地转变为林地、草地（编码12、编码13）的空间分布基



本一致,进一步验证了该阶段新增林地、草地主要来源于退耕还林还草工程。

### 3 结论与讨论

(1) 沂河流域土地利用结构以耕地和林地为主,二者占研究区总面积的70%以上。1995-2015年,各地类主要变化趋势为耕地和草地持续减少,林地和建设用地持续增加,水域先略微减少而后小幅增加,未利用地变化不明显。

(2) 1995-2015年间,土地利用转移图谱以耕地与林地、草地之间的相互转换以及建设用地占用耕地为主。林地、草地转变为耕地主要发生在费县和平邑县中部地势平缓的山前平原地带,耕地转变为林地、草地则主要分布于研究区北部和西南部土壤侵蚀较为严重的山区地带,耕地转变为建设用地主要集中于各县市城区周边经济相对发达的区域。两个时序单元中,发生变化的主要图谱单元类型及面积存在显著差异。1995-2005年,最显著变化的是“草地→耕地(编码31)”和“耕地→草地(编码13)”,占变化面积的49.7%;2005-2015年,主要图谱单元类型的面积大幅扩张,最为显著的是“耕地→建设用地(编码15)”和“耕地→林地(编码12)”,占变化面积的36.4%。

(3) 1995-2015年,涨势图谱中新增耕地面积最大,占新增面积的比例为33.87%;落势图谱中耕地萎缩面积最大,占萎缩面积的比例为51.38%。两个时序单元中,各县区涨落势图谱变化存在明显差异。1995-2005年,沂南县土地利用变化最稳定;费县土地利用变率最大,新增耕地和萎缩草地面积最高;沂源县新增草地和萎缩耕地面积最高;兰山区新增建设用地面积最高。2005-2015年,土地利用变化面积进一步扩张,空间分布范围更广。平邑县土地利用变化最稳定,但新增耕地面积最高;沂水县土地利用变率最大,萎缩耕地面积最高;费县新增建设用地面积最高;沂南县新增林地面积最高;沂源县新增草地面积最高,同时萎缩林地和萎缩草地面积也是最高。

地学信息图谱分析方法有效地利用时间和空间信息,使土地利用变化的格局与过程实现一定的耦合,呈现出更加直观、形象的土地利用变化格局。基于此,本研究通过构建两个时序单元的土地利用转移图谱和土地利用涨落势图谱,可全面准确地反映沂河流域土地利用的空间格局变化和发展过程差异,为正确预测未来土地利用发展的趋势和实现土地资源的可持续利用提供了学术参考。此外,研究发现,在耕地保护政策驱动下,新增耕地面积虽然有所增加,但研究区耕地总面积却持续下降。通过土地整理复垦和开荒等方式可以增加耕地面积用于占补平衡,但相比耕地被建设用地和林地、草地的蚕食量犹如杯水车薪,因此,在以后的土地利用规划和土地资源配过程中,应合理规划设计城镇建设的规模,协调好城镇化、经济发展与耕地保护的关系,坚守耕地红线;遵循土地利用转移的空间分布规律,因地制宜调整土地利用方式和结构,充分发挥各地区资源禀赋优势。同时,研究区存在不同程度的土壤侵蚀,是水土保持重点区域,应杜绝滥垦滥伐、过度放牧等现象,加强生态林地规划管理,合理推进水土保持治理工程建设。土地利用类型转换与自然和人文因子之间的关系以及变化趋势的模拟预测是下一步的研究重点和方向。

### 参考文献(References):

- [1] 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(5): 553-557. [LI X B. A review of the international researches on land use/land cover change. Acta Geographica Sinica, 1996, 51(5): 553-557.]



- [2] 刘永强, 龙花楼. 黄淮海平原农区土地利用转型及其动力机制. 地理学报, 2016, 71(4): 666-679. [LIU Y Q, LONG H L. Land use transition and their dynamic mechanism in the Huang-Huai-Hai Plain. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 666-679.]
- [3] LIU J Y, LIU M L, TIAN H Q, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990-2000: Analysis based on Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98: 442-456.
- [4] LIU J Y, ZHANG Z X, XU X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21<sup>st</sup> century. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(4): 483-494.
- [5] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14. [LIU J Y, KUANG W H, ZHANG Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1): 3-14.]
- [6] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究. 自然资源学报, 1997, 12(2): 105-111. [ZHUANG D F, LIU J Y. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 105-111.]
- [7] 刘盛和, 何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型. 自然资源学报, 2002, 17(5): 533-540. [LIU S H, HE S J. A spatial analysis model for measuring the rate of land use change. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(5): 533-540.]
- [8] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 黄河河口镇—潼关区间1998-2010年土地利用变化特征. 地理学报, 2014, 69(1): 42-53. [LUO Y, YANG S T, LIU X Y, et al. Land use change in the reach from Hekouzheng to Tongguan of the Yellow River during 1998-2010. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1): 42-53.]
- [9] 王越, 宋戈. 松嫩高平原土地利用格局变化时间尺度特征研究. 自然资源学报, 2017, 32(10): 1797-1807. [WANG Y, SONG G. Study on time scales characteristics of land use pattern change in Songnen High Plain. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(10): 1797-1807.]
- [10] 戴声佩, 张勃. 基于CLUE-S模型的黑河中游土地利用情景模拟研究: 以张掖市甘州区为例. 自然资源学报, 2013, 28(2): 336-348. [DAI S P, ZHANG B. Land use change scenarios simulation in the middle reaches of the Heihe River Basin based on CLUE-S model: A case of Ganzhou district of Zhangye city. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(2): 336-348.]
- [11] 赵锐锋, 王福红, 张丽华, 等. 黑河中游地区耕地景观演变及社会经济驱动力分析. 地理科学, 2017, 37(6): 920-928. [ZHAO R F, WANG F H, ZHANG L H, et al. Dynamic of farmland landscape and its socioeconomic driving forces in the middle reaches of the Heihe River. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(6): 920-928.]
- [12] 陈述彭, 岳天祥. 地学信息图谱研究及其应用. 地理研究, 2000, 19(4): 337-343. [CHEN S P, YUE T X. Studies on Geo-Informatic Tupu and its application. *Geographical Research*, 2000, 19(4): 337-343.]
- [13] 任春颖, 刘湘南. 区域土地利用变化信息图谱模型研究. 地理与地理信息科学, 2004, 20(6): 13-17. [REN C Y, LIU X N. Research on Geo-Informatic Tupu model of regional land use change. *Geography and Geo-Information Science*, 2004, 20(6): 13-17.]
- [14] 胡文英, 角媛梅, 范弢. 哈尼梯田土地利用空间格局及其变化的信息图谱研究. 地理科学, 2008, 28(3): 419-424. [HU W Y, JIAO Y M, FAN T. Research on information Tupu of land use spatial pattern and its change in Hani terraced fields. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(3): 419-424.]
- [15] 张国坤, 邓伟, 张洪岩, 等. 新开河流域土地利用格局变化图谱分析. 地理学报, 2010, 65(9): 1111-1120. [ZHANG G K, DENG W, ZHANG H Y, et al. The Tupu analysis of land use pattern in Xinkai River Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(9): 1111-1120.]
- [16] 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. [YE Q H, LIU G H, LU Z, et al. Research of Tupu and land use/land cover change based on GIS. *Progress in Geography*, 2002, 21(4): 349-357.]
- [17] 王金亮, 邵景安, 李阳兵. 近20 a三峡库区农林地利用变化图谱特征分析. 自然资源学报, 2015, 30(2): 235-247. [WANG J L, SHAO J A, LI Y B. Geo-spectrum based analysis of crop and forest land use change in the recent 20 years in the Three Gorges Reservoir Area. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(2): 235-247.]
- [18] 陆汝成, 黄贤金, 左天惠, 等. 经济快速增长区土地利用信息图谱构建: 以江苏省环太湖地区为例. 资源科学, 2009, 31(7): 1133-1141. [LU R C, HUANG X J, ZUO T H, et al. Construction of land use information Tupu in the rapidly developing regions: A case study of the surrounding regions of Taihu Lake in Jiangsu province. *Resources Science*, 2009, 31(7): 1133-1141.]

- [19] 马士彬, 张勇荣, 安裕伦. 山区城市土地利用动态空间分布特征: 以贵州省六盘水市为例. 自然资源学报, 2012, 27(3): 489-496. [MA S B, ZHANG Y R, AN Y L. Spatial pattern of urban land use in the mountain area: A case study of Liupanshui in Guizhou province. Journal of Natural Resources, 2012, 27(3): 489-496.]
- [20] 李子君, 林锦阔, 姜爱霞, 等. 沂河流域 1961-2010 年降雨侵蚀力时空分布特征. 水土保持通报, 2017, 37(3): 86-92. [LI Z J, LIN J K, JIANG A X, et al. Spatio-temporal variations characteristics of rainfall erosivity during 1961-2010 in Yihe Basin. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3): 86-92.]

## TUPU characteristics of spatiotemporal variation for land use in the Yihe River Basin

YU Yuan-he<sup>1</sup>, LI Zi-jun<sup>1</sup>, LIN Jin-kuo<sup>2</sup>, LIU Jin-yu<sup>1</sup>, WANG Shuo<sup>1</sup>

(1. College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China;

2. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Research on the land use change in the Yihe River Basin is of great significance to the comprehensive management of regional ecological environment, rational exploitation of land resources and conservation of soil and water. Based on spatial data of land use covering three periods (1995, 2005, 2015) in the Yihe River Basin, this paper used geo-information TUPU methods to build transition TUPU and fluctuation TUPU of land use at two stages (1995-2005, 2005-2015) supported by 3S technology. Then the spatial-temporal change characteristics, laws and development process of land use in recent 20 years in the study area are discussed. The results showed that: (1) From 1995 to 2015, the land use structure in the Yihe River Basin was dominated by cultivated land and forest land, among which the decrease in cultivated land and grassland and the increase in forest land and construction land were the main change trends. (2) The transition TUPU of land use was dominated by the conversion of cultivated land, forest land and grassland, and the occupation of cultivated land by construction land. The conversion of forest land and grassland to cultivated land mainly occurred in the plains of the central part of Feixian county and Pingyi county. The conversion of cultivated land to forest land and grassland was mainly found in the mountainous areas where soil erosion was more serious in the north and southwest of the study area. The conversion of cultivated land to construction land was mainly concentrated in the regions with relatively developed economy around the urban areas of counties and cities. Between the two stages, there were significant differences in the types and areas of the main TUPU units that have changed. The space of land use conversion between 2005 and 2015 was further expanded. (3) In the rising TUPU of land use, the area of newly added cultivated land was the largest, accounting for 33.87% of the newly added area. Moreover, in the falling TUPU of land use, the area of decreased cultivated land was the largest, accounting for 51.38% of shrinking area. In the two sequential elements, there were significant differences in the changes in the rising TUPU and falling TUPU of each county. This study can provide a scientific basis for the sustainable utilization of land resources and ecological construction in the Yihe River Basin.

**Keywords:** land use change; geographic information TUPU; TUPU unit; Yihe River Basin