

# 基于地形梯度的汾河流域土地利用时空变化分析

李京京<sup>1</sup>, 吕哲敏<sup>1</sup>, 石小平<sup>1</sup>, 李志<sup>1,2\*</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100;  
2. 西北农林科技大学, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100)

**摘要:** 地形在一定程度上影响着土地利用变化, 对土地利用空间格局的形成具有重要作用, 因此, 分析土地利用类型与地形因子的动态关系可以反映土地利用变化的合理性, 对后续的土地利用管理和水土保持有重要的意义。基于汾河流域 1986 年、1995 年、2005 年和 2010 年土地利用矢量图, 构建土地利用变化图谱和地形位指数, 系统分析了土地利用在地形梯度上的分布特征和变化历程。结果表明: 1986—2010 年, 土地利用类型以耕地、林地和草地为主, 其中耕地减少和建设用地增加是主要变化类型。各地类在地形梯度上呈明显的层级分布, 耕地、建设用地和水域主要分布在低地形梯度, 草地分布在中区段, 而林地集中分布在中高区段。土地利用变化以稳定型和反复变化型为主, 两者占研究区总面积的 98.4%, 其中, 稳定型以低地形梯度的耕地和中高地形梯度的林地为主, 反复变化型以低中地形梯度的草地与耕地间的反复转化为主; 其余图谱类型的比例均在 1% 以下, 主要变化类型均为中低地形梯度下耕地向建设用地的转化。在自然因素、人类活动和政策的共同作用下, 汾河流域的土地利用结构和空间格局发生了改变, 整体趋于合理, 但仍存在部分不合理利用现象, 需要加强规划管理。

**关键词:** 土地利用; 地形; 规划; 地形位指数; 变化图谱; 汾河流域; 黄土高原

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.07.032

中图分类号: F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-07-0230-07

李京京, 吕哲敏, 石小平, 李志. 基于地形梯度的汾河流域土地利用时空变化分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 230—236. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.07.032 http://www.tcsae.org

Li Jingjing, Lü Zheming, Shi Xiaoping, Li Zhi. Spatiotemporal variations analysis for land use in Fen River Basin based on terrain gradient[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(7): 230—236. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.07.032 http://www.tcsae.org

## 0 引言

土地利用/覆被变化 (land use/cover change, LUCC) 是环境变化研究领域的核心问题<sup>[1-2]</sup>, 对气候变化<sup>[3-5]</sup>、水文过程<sup>[6-8]</sup>、生物多样性<sup>[9]</sup>以及其他生态过程<sup>[10]</sup>都有一定的影响, 而土地利用的时空变化又是 LUCC 的重要研究内容。黄土高原土壤结构疏松, 抗蚀性差等自然因素, 以及耕地、建设用地增加等人因因素, 致使植被破坏, 水土流失严重<sup>[11]</sup>。为治理水土流失, 实施了平整土地和植树造林等措施, 尤其是 20 世纪 90 年代末实施的退耕还林政策, 造成土地利用格局发生变化<sup>[12]</sup>, 此种背景下, 评估黄土高原土地利用变化状况, 对于后续水土保持工作的实施具有重要的参考意义。

黄土高原的水土保持措施与地形有密切的关系, 能导致土地利用的地形因子发生变化, 如大于 25° 坡耕地退耕, 可使耕地坡度减小, 林草地坡度增大。同时, 地形

因子直接影响植被的分布和生长情况<sup>[13-14]</sup>, 在一定程度上能够体现土地利用空间格局的合理性<sup>[15]</sup>。不同地形梯度下地类的面积比例不同, 如耕地和建设用地多位于高程低、坡度缓的地区, 而林地和草地常位于高程高、坡度陡的地区<sup>[16]</sup>; 不同地形梯度下发生转换的地类有差异, 高程低和坡度缓的地区更容易发生耕地和建设用地的转换, 高程高、坡度陡的地区更容易发生林地和草地间的转换<sup>[17]</sup>。可见, 分析土地利用变化与地形因子之间的关系, 可以有效揭示土地利用变化的合理性。

目前通过分析单一地形因子与土地利用的关系, 在揭示土地利用变化效果评估方面取得了重要进展<sup>[18-19]</sup>, 但进行大尺度、高分辨率的图层叠加分析时往往工作量大。此种背景下, 在分析土地利用地形因子的关系时, 使用综合高程和坡度 2 个因素的地形位指数<sup>[20-22]</sup>, 能够有效简化使用 2 个因子的工作量, 可以大大提高效率<sup>[23-24]</sup>。

本文旨在分析汾河流域 1986—2010 年土地利用的时空变化, 特别是探讨土地利用格局变化与地形的关系, 揭示土地利用时空演变的原因、过程及机理, 进而判断土地利用变化的合理性, 以期为该区的土地利用管理和水土保持提供可靠依据。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

汾河流域位于山西省腹部 (110°~113°E, 35°~

收稿日期: 2015-09-27 修订日期: 2016-01-07

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51179161); 陕西省科学技术研究发展计划项目 (2013KJXX-18); 中央高校基本科研业务费专项 (2452015105)

作者简介: 李京京, 女, 河北石家庄人, 从事土地利用/覆被变化及水文方面的研究。杨凌 西北农林科技大学资源环境学院, 712100。

Email: 783230072@qq.com

\*通信作者: 李志, 男, 山东沂水人, 教授, 博士, 从事水文水资源方面的研究。

杨凌 西北农林科技大学资源环境学院, 712100。Email: lizhibox@126.com

39°N)，地跨忻州、太原、吕梁、临汾、晋中和运城 6 个地级市，共 40 个县，流域面积 39 844 km<sup>2</sup>，占山西省面积的 25%。流域气候类型属于大陆性半干旱季风气候，年均气温为 11℃，年均降水量为 500 mm，春夏秋冬雨雪稀少，夏季炎热多雨。地势北高南低，干流纵向穿行于吕梁、太行与太岳山之间，土地利用受地形梯度影响明显，流域中间地带覆盖着厚度不均的松散黄土层，丘陵起伏，沟壑纵横，形成黄土高原特有的地貌形态。汾河流域有占山西全省 45% 的人口以及丰富的煤矿资源，工业产值占全省的 46%，农业产值占全省的 64%，是山西省工、农业集中的地区<sup>[25]</sup>。然而，人类不合理的土地利用方式加剧水土流失，因此需要加强该区域土地利用规划管理。

## 1.2 数据来源与处理

土地利用数据以 Landsat TM (30 m 分辨率) 遥感影像为数据源，利用 GIS 软件，采用人机交互解译和野外考察验证的方法，得到研究区 1986 年、1995 年、2005 年和 2010 年 4 期土地利用矢量数据。参考《土地利用现状分类》的国家标准，将土地利用划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 种一级地类。

地形数据包括高程数据 (DEM)、坡度数据和地形位指数图 (图 1)。DEM 来源于 30 m 分辨率的 ASTER GDEM 数据，坡度由 DEM 计算得到。地形位指数图由高程和坡度数据叠加计算生成。依据间隔数据相等原则和地形位指数分布曲线特征，将地形位指数从低到高分 30 个等级，再将其依次分为低 (1~10)、中 (>10~20) 和高 (>20~30) 3 个区段。

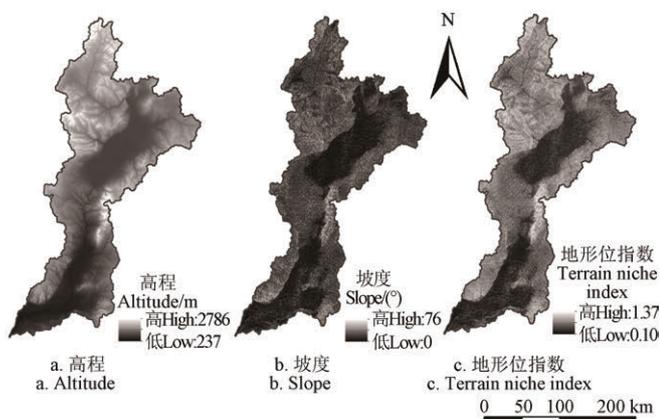


图 1 研究区高程、坡度和地形位指数图

Fig.1 Maps of altitude, slope and terrain niche index in study area

## 2 研究方法

首先分析土地利用和地形的总体特征后，而后着重分析土地利用在地形梯度上的分布特征和变化过程。研究时段包括 1986—2010 年整个时段和 1986—1995 年 (前期)、1995—2005 年 (中期)、2005—2010 年 (后期) 3 个子时段。采用土地利用图谱法分析土地利用变化，采用地形位指数来代表地形特征，采用地形分布指数分析土地利用变化和地形特征的关系，采用综合土地利用动态分析土地利用变化速度<sup>[26-27]</sup>，具体定义及计算方法如下：

1) 土地利用图谱法。对 4 期土地利用图进行叠加，得到变化图谱，探讨土地利用的空间变化历程<sup>[28]</sup>。根据土地利用图谱的分布特征，将其分为稳定型 (1986—2010 年没有变化)、前期变化型 (仅 1986—1995 年变化)、中期变化型 (仅 1995—2005 年变化)、后期变化型 (仅 2005—2010 年变化)、持续变化型 (1986—2010 年有至少 2 种转化，且 1986 和 2010 年利用类型不同) 和反复变化型 (1986—2010 年有至少 2 种转化，且 1986 和 2010 年利用类型相同<sup>[29]</sup>) 6 类，其公式如下

$$Y = G_1 \times 10^{n-1} + G_2 \times 10^{n-2} + \dots + G_n \times 10^{n-n} \quad (1)$$

式中  $Y$  为土地利用代码计算合成的  $n$  位数字； $n$  为土地利用的时期数目； $G_n$  为第  $n$  期土地利用单元。

2) 地形位指数。该指数能够综合反映高程和坡度的特征，公式如下

$$T = \lg \left[ \left( \frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \cdot \left( \frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (2)$$

式中  $T$  为地形位指数； $E$ 、 $S$  代表空间内任何一点的高程和坡度值； $\bar{E}$ 、 $\bar{S}$  代表该点所在研究区的平均高程和坡度值。高程高、坡度大的空间位置地形位指数大，而高程低、坡度小的空间位置地形位指数小<sup>[30]</sup>。

3) 地形分布指数。该指数表示土地利用类型在不同地形位区间上的分布频率，能够有效地消除利用类型在地形梯度区间受面积的干扰，其公式如下

$$P = \left( \frac{S_{ie}}{S_i} \right) / \left( \frac{S_e}{S} \right) \quad (3)$$

式中  $P$  为分布指数； $S_{ie}$  为  $e$  地形位区间上  $i$  地类的面积； $S_i$  为研究区  $i$  地类的总面积； $S_e$  为研究区  $e$  地形位区间上的总面积； $S$  为研究区的总面积。当  $P > 1$  时，表示  $e$  地形位区间上  $i$  地类的分布为优势分布。 $P$  越高，表明优势分布程度越大<sup>[28]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用变化分析

1986—2010 年不同地类的比例差异明显 (表 1)。4 个时期，研究区主要地类为耕地、林地和草地，三者占整个流域的 94% 以上；其中，耕地比例最大平均为 41%，林地和草地的平均比例分别为 27% 和 26%。建设用地的面积均不超过 1 900 km<sup>2</sup>，仅占总面积的 4%；水域和未利用地的面积均不超过总面积的 2%。可见，汾河流域土地利用以农业用途为主。

1986—2010 年，汾河流域土地利用变化以耕地减少和建设用地增加为主要特征，其中，耕地减少 242 km<sup>2</sup> 而建设用地增加 334 km<sup>2</sup> (表 1)。林地和草地面积均呈减少趋势，减幅分别为 18 和 70 km<sup>2</sup>；水域和未利用地面积变化不明显。从各时段来看，耕地和林地前期减少而中期增加，但两阶段变化面积相当，后期小幅减少；草地各阶段的变化与耕地和林地相反，前期增加而中期减少，后期小幅增加；建设用地各时段均增加，中期面积增幅最大，后期次之；水域和未利用地变化不明显。上述分析说明退耕政策起到了一定的作用，影响了该区的

土地利用变化模式。

土地利用的变化速率在 1986—1995 年、1995—2005 年、2005—2010 年分别为 13.2%、25.8%、36.4%，逐渐增大；但整个时段（1986—2010 年）的变化速率不明显，仅为 1.3%。说明目前的土地利用格局正向受人类活动影

响较小时期（1986 年）的状态恢复，这与 20 世纪 90 年代末期施行的生态恢复措施有关。

土地利用数量和速度的变化展现了研究区各地类变化的最终状态，深入理解各地类变化历程则需要进行空间分析。

表 1 1986—2010 年汾河流域土地利用变化情况表  
Table 1 Land use change of Fen River Basin during 1986-2010

地类 Land use types	1986 年		1995 年		2005 年		2010 年		变化面积 Changed area/km <sup>2</sup>			
	面积 Area/ km <sup>2</sup>	百分比 Proportion/ %	1986—1995 年	1995—2005 年	2005—2010 年	1986—2010 年						
耕地 Farmland	16705	41.93	15974	40.09	16597	41.66	16463	41.32	-732	623	-134	-242
林地 Forest	11117	27.90	9838	24.69	11124	27.92	11099	27.86	-1279	1286	-25	-18
草地 Grassland	10162	25.50	12056	30.26	10058	25.24	10092	25.33	1894	-1998	34	-70
水域 Water	357	0.90	452	1.13	354	0.89	352	0.88	95	-98	-2	-5
建设用地 Construction land	1496	3.75	1516	3.80	1709	4.29	1829	4.59	21	193	120	334
未利用地 Unused land	7	0.02	8	0.02	1	0	8	0.02	1	-7	7	1
总计 Total	39844	—	39844	—	39844	—	39844	—	—	—	—	—

3.2 土地利用地形梯度分析

汾河流域高程、坡度和地形位指数的频率分布有明显区别（图 2）。依据间隔数据相等原则和地形分布曲线特征，分别将三者的数值区间等分为 30 个区段，统计其面积的频率分布。高程在低（1~10）、中（>10~20）和高（>20~30）区段的比例分别为 48%、50%和 2%，呈偏态分布；坡度仅在低区段的比例就达到了 93%，呈严重的偏态分布；地形位指数在低、中和高区段的比例分别为 43%、53%和 4%，不同区段上的面积分布变化比较缓慢，偏态情况小于前两者。比较土地利用在 3 种地形因子上的频率分布情况，可以看出一些处在中间状态的地形组合（高程高而坡度小、或者高程低而坡度大）在地形位指数分布上得到了充分体现。

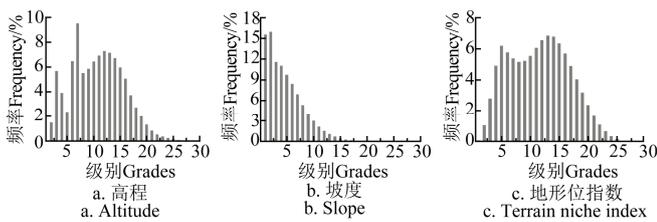


图 2 研究区高程、坡度和地形位指数的分布频率  
Fig.2 Distribution frequency of altitude, slope and terrain niche index of study area

4 个时期不同地类在地形位指数上的分布趋势基本不变（图 3）。耕地、建设用地和水域的地形分布指数分别介于 0~2.0、0~3.5 和 0~18.3 之间，其优势地形梯度是 1~10 的低区段；草地的优势地形梯度是 9~18 的中区段，而地形分布指数介于 0~1.6 之间；林地的地形梯度主要为 13~30 的中高区段，地形分布指数介于 0~3.6 之间；未利用地在低和高区段的地形梯度具有分布优势，且地形分布指数的跨度最大。各地类的地形分布指数呈规律性变化，耕地、建设用地、水域和未利用

地在低地形梯度竞争，林地和草地在中高地形梯度竞争。可见，耕地、建设用地、水域和未利用地的分布受地形因子影响明显，草地次之，林地在不同地形上具有很强的适应性，基本不受地形限制。因此，基于地形梯度的土地利用时空变化分析能够为研究土地的合理布局提供参考。

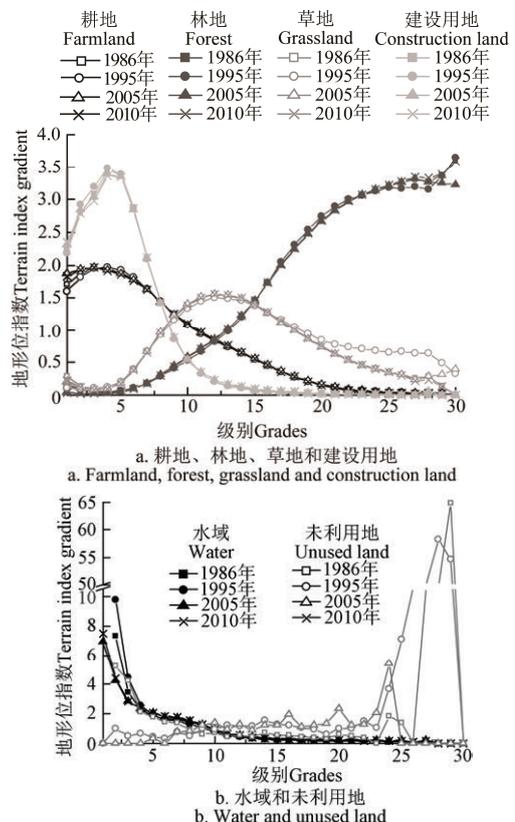


图 3 研究区 1986 年、1995 年、2005 年和 2010 年各土地利用类型的地形位梯度和分布指数  
Fig.3 Distributions of different land use types on terrain index gradient in study area in 1986, 1995, 2005 and 2010

### 3.3 土地利用变化图谱分析

将 1986—2010 年 4 期土地利用数据叠加得到集时间-空间-属性-过程一体化的土地利用变化图谱，可分析研究区的土地利用变化历程，并统计各类图谱中最大的变化类型及其面积，进而获取土地利用变化的种类、数量和过程。

在图谱类型中，稳定型最多（占总面积的 70.6%），其次是反复型（占总面积的 27.8%），其余类型的比例均在 1%以下（表 2）。稳定型，集中分布在地势平缓的中北部与西南部（图 4），其最大类型为耕地→耕地→耕地，占稳定型图谱面积的 43.3%；其次为林地→林地→林地，占稳定型图谱面积的 29.3%，进一步表明了农林业在该区域的重要地位。反复变化型，集中分布在地形梯度偏大的临汾与忻州区（图 4），草地→草地→耕地→草地为其最大的变化类型，耕地→耕地→草地→耕地紧随其后，可以看出草地与耕地间的反复转化是该图谱的主要变化类型，且主要发生在 1995—2010 年间，这是人口压力导致的耕地开发和政策导向产生的退耕共同作用的结果。前期、中期或后期变化型，主要是耕地向建设用地转化，占各图谱类型总面积的 39.6%~65.1%，集中分布在城乡过渡带，说明建设用地侵占耕地持续进行，且集中在城市边缘。连续变化型，主要变化类型为草地→水域→耕地→耕地，反映了人类对草地和水域的开垦利用。

表 2 研究区土地利用变化图谱统计

Table 2 TUPU analysis of land use change in study area

图谱类型 Land use TUPU	面积 Area/ km <sup>2</sup>	面积比例 Area proportion/ %	图谱中最大变化类型 Largest TUPU change types	面积 Area/ km <sup>2</sup>
稳定型 Stable type	28114	70.6	耕地→耕地→耕地→耕地	12161
前期变化型 Prophase change type	142	0.4	耕地→建设用地→建设 用地→建设用地	56
中间过渡型 Middle transition type	258	0.6	耕地→耕地→建设用 地→建设用地	111
后期变化型 Anaphase change type	143	0.4	耕地→耕地→耕地→ 建设用地	93
反复变化型 Repeated change type	11077	27.8	草地→草地→耕地→ 草地	1902
连续变化型 Continuous change type	108	0.3	草地→水域→耕地→ 耕地	13

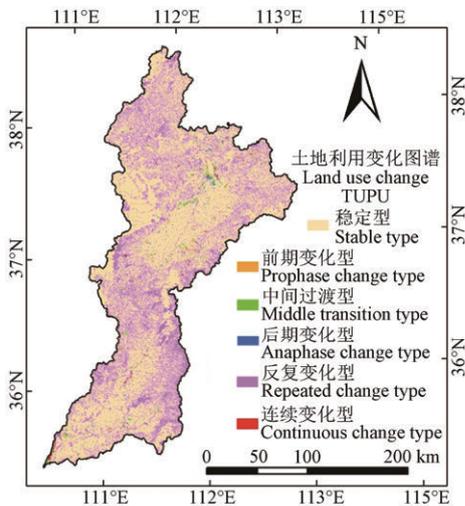


图 4 研究区土地利用变化图谱

Fig.4 TUPU analysis of land use changes in study area

### 3.4 土地利用变化图谱与地形梯度

将土地利用变化图谱与地形位指数叠加，得到土地利用图谱的地形分布指数图，并统计各图谱类型下主要变化地类的地形分布指数。

不同类型图谱的地形分布指数存在明显差异（图 5）。稳定型图谱的分布指数相对稳定，介于 0.9~1.6 之间，随地形梯度增加呈小幅增加趋势。反复变化型图谱的分布指数呈抛物线形状，介于 0.5~1.4 之间，而 8~17 为其优势地形梯度。前期变化型、中间过渡型、后期变化型和连续变化型图谱的分布指数，总体均呈现减小趋势，且波动幅度较大，其优势地形梯度介于 1~9 之间。

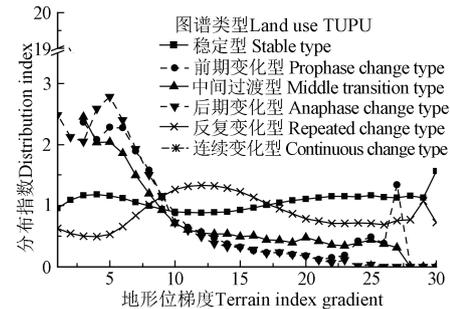


图 5 研究区各类型图谱的地形分布指数

Fig.5 Distribution index of terrain for land use TUPU in study area

分析各类型图谱下主要变化类型的地形分布指数（图 6），有助于探讨地形因素及人类活动对土地利用的影响程度。

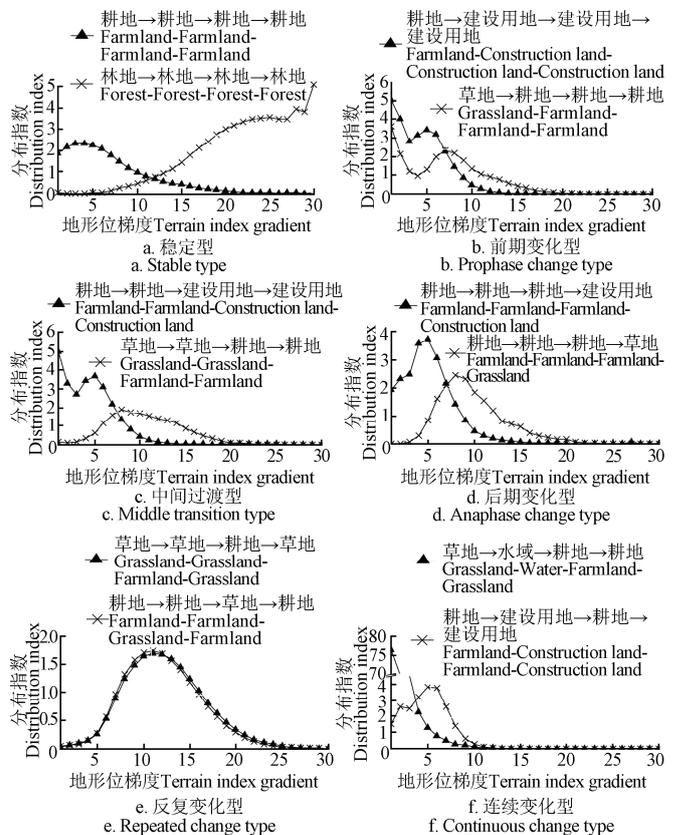


图 6 研究区各图谱类型下主要变化地类的地形分布指数

Fig.6 Distribution index of terrain for main change types of different land use TUPU in study area

1) 稳定型图谱中的耕地→耕地→耕地→耕地主要发生在1~9区段,说明耕地在低地形梯度上具有分布优势;林地→林地→林地→林地主要发生在14~30区段(图6a),再次表明林地在中高地形梯度具有优势。2) 耕地转化为建设用地均为前期变化型、中期过渡型、后期变化型和连续变化型图谱的主要变化类型,主要发生的地形梯度为1~8,且地形位越小其比例越大(图6b~6f),这可能还是由于城镇化加剧等原因导致的。3) 草地和耕地间的频繁转化是反复变化型、中间过渡型和后期变化型图谱的主要变化类型,其优势地形梯度为8~16(图6c~6e),说明中等地形梯度下是耕地开垦和生态恢复的主要区域。

### 3.5 讨论

土地利用格局的变化主要受到自然因素、人类活动和政策的共同影响。自然因素,研究区高程在300~2000 m(1~20区段),坡度0~25°(1~10区段)的区域分别占总面积的98%和93%,这很大程度上决定了土地利用空间分布格局。孙丕苓等<sup>[23]</sup>在研究环京津贫困带土地利用变化驱动力时也得到相似的结论。人类活动,由于人类活动受到地形因素影响,决定了与人类活动密切相关的耕地、建设用地和水域集中分布在低地形梯度上,而林地和草地这些与人类联系相对较小的地类分布在中高地形梯度上;另一方面,人口压力导致耕地和建设用地的需求增加,出现草地/林地→耕地、耕地→建设用地的变化模式,致使土地利用格局发生变化。龚文峰等<sup>[28]</sup>也认为人类活动能够改变土地利用格局。政策方面,1999年以来黄土高原全面实行退耕还林(草)政策,使部分坡耕地→草地/林地,影响了其土地利用变化模式,印证了Deng等<sup>[31]</sup>黄土高原土地利用变化受“退耕还林”政策影响的结论。可以看出,自然因素是土地利用格局形成的基础,人类活动对土地利用格局的变化有重要的影响,政策因素对土地利用结构变化具有推动作用。

汾河流域土地利用格局整体趋向于合理。时间变化上,汾河流域前中和后期土地利用变化速率逐渐增大,而整个时期变化不明显,说明目前的土地利用格局正向受人类活动影响较小时期的状态恢复。空间变化上,汾河流域有70.6%的地类(稳定型)没有发生变化,27.8%的地类(反复变化型)恢复到研究期初的状态,说明2010年有98.4%的地类与研究期初状态类似(图4);耕地→草地变化模式主要发生在中区段的地形梯度上,说明有相当一部分坡耕地进行了退耕。无论是从时间还是空间的角度都能证明汾河流域土地利用结构和空间格局整体趋向于合理。

汾河流域仍存在不合理的土地利用方式。时间变化上,汾河流域的耕地在减少,而建设用地在大幅增加,说明占用耕地现象仍然存在。空间变化上,汾河流域在中区段的地形梯度上仍存在草地→耕地和林地→耕地变化模式,也说明了开垦草地等不合理的土地利用方式依然存在。规划管理上,资源消耗型的传统经济增长模式占据主导地位,导致研究区土地资源过度消耗、土地利用总体效益不高。薛占金<sup>[25]</sup>等在对2010年汾河流域土地

退化经济损失评估时,发现该区域土地利用退化损失值占第一产业产值的14.58%,说明研究区存在着不可持续的农业生产活动。因此,该地区仍需加强土地利用规划管理。

为使土地利用更加合理,应紧密结合土地利用格局的影响因素进行相应管理。地形位及其导致的水热平衡变化决定了植被的基本分布,因此,进行植被恢复时应充分遵循此规律。需要在粮食安全和生态环境建设间找到平衡点。通过加大农田保护力度防止乱占耕地,通过改进农业技术提高土地利用的总体效益;同时,提供足够的补偿来提高公众保护植被的积极性,并减少因个人利益驱使破坏林草地的现象<sup>[32]</sup>。综上,调整生态脆弱区的土地利用结构,应在尊重自然规律的基础上,根据区域发展目标,进行多种措施的有效整合,强调政府主导和公众参与的多方共建。

## 4 结论

利用1986年、1995年、2005年和2010年4期土地利用数据分析1986—2010年汾河流域土地利用变化与地形的关系,得出以下结论:

1) 土地利用以耕地、林地和草地为主。主要的变化趋势为耕地、林地和草地减少,建设用地增加,而水域和未利用地变化不明显。

2) 土地利用类型的地形分布具有明显的层级性特点。耕地、建设用地和水域主要分布在低地形梯度,草地分布在中区段,而林地分布在中高区段。

3) 土地利用变化以稳定型和反复变化型为主,主要变化类型均为中低地形梯度下耕地与其它地类的转化。稳定型中低区段的耕地和高区段的林地基本保持不变,反复型以中等地形梯度下草地和耕地间的转化为主,连续变化型以低地形梯度下耕地与其他地类的转化为主,前期、后期和中间过渡型的主要变化类型是低地形梯度下耕地向建设用地的转化。

根据土地利用与地形特征的关系,汾河流域土地利用格局正趋于合理,但开垦草地和占用耕地等土地利用方式仍然存在,需要加强其土地利用的规划管理。

### [参 考 文 献]

- [1] Kanianska Radoslava, Kizeková Miriam, Nováček Jozef, et al. Land-use and land-cover changes in rural areas during different political systems: A case study of Slovakia from 1782 to 2006[J]. *Land Use Policy*, 2014, 36(1): 554—566.
- [2] 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[J]. *地理学报*, 1996, 51(6): 553—558. Li Xiubin. A review of the international researches on land use/land cover change[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(6): 553—558. (in Chinese with English abstract)
- [3] Salazar Alvaro, Baldi Germán, Hirota Marina, et al. Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review[J]. *Global and Planetary Change*, 2015, 128(5): 103—119.
- [4] Fan Xingang, Ma Zhuguo, Yang Qing, et al. Land use/land cover changes and regional climate over the Loess Plateau during 2001—2009. Part II: Interrelationship from observations[J]. *Climatic Change*, 2014, 129(3/4): 441—455.

- [5] Fan Xingang, Ma Zhuguo, Yang Qing, et al. Land use/land cover changes and regional climate over the Loess Plateau during 2001–2009 Part I: Observational evidence[J]. *Climatic Change*, 2014, 129(3/4): 427–440.
- [6] Sterling Shannon M, Ducharme Agnes, Polcher Jan. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle[J]. *Nature Clim Change*, 2013, 3(4): 385–390.
- [7] DeFries R, Eshleman K N. Land-use change and hydrologic processes: A major focus for the future[J]. *Hydrological Processes*, 2004, 18(11): 2183–2186.
- [8] 陆志翔, 杨永刚, 邹松兵, 等. 汾河上游土地利用变化及其水文响应研究[J]. *冰川冻土*, 2014, 36(1): 192–199. Lu Zhixiang, Yang Yonggang, Zou Songbing, et al. A study of the land use change and its hydrologic response in the upper reaches of the Fen River[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(1): 192–199. (in Chinese with English abstract)
- [9] Faluccci Alessandra, Maiorano Luigi, Boitani Luigi. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation[J]. *Landscape Ecology*, 2006, 22(4): 617–631.
- [10] Martínez M Luisa, Pérez Maqueo Octavio, Vázquez Gabriela, et al. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(9): 1856–1863.
- [11] 孟宪文, 薛占金. 汾河流域 2010 年土地退化成因分析及经济损失估算[J]. *山西大学学报: 自然科学版*, 2014, 11(6): 148–152. Meng Xianwen, Xue Zhanjin. Causes and economic losses of land degradation of Fenhe River Basin, Shanxi in 2010[J]. *Journal of Shanxi University: Nat Sci Ed*, 2013, 11(6): 148–152. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张保庆, 吴普特, 赵西宁. 近 30 a 黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(4): 287–293. Zhang Baoqing, Wu Pute, Zhao Xining. Detecting and analysis of spatial and temporal variation of vegetation cover in the Loess Plateau during 1982–2009[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2011, 27(4): 287–293. (in Chinese with English abstract)
- [13] 刘宇, 傅伯杰. 黄土高原植被覆盖度变化的地形分异及土地利用/覆被变化的影响[J]. *干旱区地理*, 2013, 36(6): 1097–1102. Liu Yu, Fu Bojie. Topographical variation of vegetation cover evolution and the impact of land use/cover change in the Loess Plateau[J]. *Arid Land Geography*, 2013, 36(6): 1097–1102. (in Chinese with English abstract)
- [14] Li Zhi, Liu Wenzhao, Zheng Fenli. The land use change and its relationship with topographic factors in Jing Rive catchment on the Loess Plateau of China[J]. *Springerplus*, 2013, 2(1): 1–6.
- [15] Zhang Baoqing, Wu Pute, Zhao Xining, et al. Changes in vegetation condition in areas with different gradients (1980–2010) on the Loess Plateau, China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 68(8): 2427–2438.
- [16] Kebede Mamo, Kanninen Markku, Yirdaw Eshetu, et al. Vegetation structural characteristics and topographic factors in the remnant moist Afromontane forest of Wondo Genet, south central Ethiopia[J]. *Journal of Forestry Research*, 2013, 24(3): 419–430.
- [17] Fu Bojie, Zhang Qiuju, Chen Liding, et al. Temporal change in land use and its relationship to slope degree and soil type in a small catchment on the Loess Plateau of China[J]. *Catena*, 2006, 65(1): 41–48.
- [18] 魏莲, 刘学录. 基于 GIS 和 DEM 的土地利用空间格局分析: 以兰州市为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(4): 54–59. Wei Lian, Liu Xuelu. Spatial pattern of land use in Lanzhou city based on GIS[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014, 28(4): 54–59. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李志, 刘文兆, 郑粉莉. 基于 CA-Markov 模型的黄土塬区黑河流域土地利用变化[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(1): 346–352. Li Zhi, Liu Wenzhao, Zheng Fenli. Land use change in Heihe catchment on loess tableland based on CA-Markov model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2010, 26(1): 346–352. (in Chinese with English abstract)
- [20] Si Junlang, Qi Wei, Qu Yanbo, et al. Distribution characteristics of land use pattern on terrain gradient in Jiadong mountainous areas at county level[J]. *The Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(3): 679–685.
- [21] 许宁, 张广录, 刘紫玉. 基于地形梯度的河北省太行山区土地利用时空变异研究[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(10): 1284–1292. Xu Ning, Zhang Guanglu, Liu Ziyu. Spatial-temporal variability of land use with terrain gradient in Taihang Mountain, Hebei Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(10): 1284–1292. (in Chinese with English abstract)
- [22] 高彦净, 巩杰, 贾珍珍, 等. 甘肃白龙江流域土地利用在地形梯度上的空间分布[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2014, 50(5): 680–686. Gao Yanjing, Gong Jie, Jia Zhenzhen, et al. Spatial distribution of land-use on terrain gradient in Bailongjiang Watershed of Gansu Province[J]. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2014, 50(5): 680–686. (in Chinese with English abstract)
- [23] 孙丕苓, 许月卿, 王数. 环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(14): 277–288. Sun Piling, Xu Yueqing, Wang Shu. Terrain gradient effect analysis of land use change in poverty area around Beijing and Tianjin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(14): 277–288. (in Chinese with English abstract)
- [24] 武爱彬, 刘欣, 赵艳霞, 等. 浅山丘陵区土地利用格局的地形梯度特征与变化研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(1): 181–185. Wu Aibin, Liu Xin, Zhao Yanxia, et al. The distribution and change of the land use tyoes in hilly region based on terrain features[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(1): 181–185. (in Chinese with English abstract)
- [25] 薛占金, 秦作栋, 孟宪文. 2010 年汾河流域土地退化经济损失评估[J]. *水土保持通报*, 2014, 34(3): 295–299. Xue Zhanjin, Qin Zuodong, Meng Xianwen. Evaluation of economic loss by land degradation in Fenhe River Basin in 2010[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34(3): 295–299. (in Chinese with English abstract)
- [26] Zhang Weiwei, Yao Lei, Li Hong, et al. Research on land use change in Beijing Hanshiqiao wetland nature reserve using remote sensing and GIS[J]. *Remote Sensing and Environment Letters*, 2012, 2(2): 92–98.
- [27] Liu Jiuyan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195–210.
- [28] 龚文峰, 袁力, 范文义. 基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(2): 250–259. Gong Wenfeng, Yuan Li, Fan Wenyi. Analysis on land use pattern changes in Harbin based on terrain gradient[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(2): 250–259. (in Chinese with English abstract)

- [29] 范双云. 基于地形梯度的环洞庭湖区土地利用格局变化分析[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2014.  
Fan Shuangyun. Analysis on Land Use Pattern Changes in Pan-Dongting Lake Area based on Terrain Gradient[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [30] 巩杰, 高彦净, 张玲玲, 等. 基于地形梯度的景观生态风险空间分析: 以甘肃省白龙江流域为例[J]. 兰州大学学报, 2014, 50(5): 692-698.  
Gong Jie, Gao Yanjing, Zhang Lingling, et al. Distribution characteristics of ecological risks in land-use based on terrain gradient and landscape structure: Taking Bailongjiang Watershed as an example[J]. Journal of Lanzhou University, 2014, 50(5): 692-698. (in Chinese with English abstract)
- [31] Deng Lei, Shangguan Zhouping, Sweeney Sandra. "Grain for Green" driven land use change and carbon sequestration on the Loess Plateau, China[J]. Scientific Reports, 2014, 4(11): 7039-7046.
- [32] 万军, 张惠远, 王金南, 等. 中国生态补偿政策评估与框架初探[J]. 环境科学研究, 2005, 18(2): 1-8.  
Wan Jun, Zhang Huiyuan, Wang Jinnan, et al. Policy evaluation and framework discussion of ecological compensation mechanism in China[J]. Research of Environmental Sciences, 2005, 18(2): 1-8. (in Chinese with English abstract)

## Spatiotemporal variations analysis for land use in Fen River Basin based on terrain gradient

Li Jingjing<sup>1</sup>, Lü Zheming<sup>1</sup>, Shi Xiaoping<sup>1</sup>, Li Zhi<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Land use/cover change (LUCC) is a key component of global climate change, and it has great impacts on climate, hydrological processes, biodiversity and ecological processes. Therefore, more attentions have been paid to LUCC. As land use pattern is significantly influenced by topographical factors that indirectly has impacts on water and surface energy balance, analysis of land use pattern is thus a useful method to assess the rationality of LUCC according to the variations in their topographic factors, which will further provide important information for land use management and soil conservation. Fen River Basin is one of the regions with most severe soil loss on the Loess Plateau, and it has been experiencing great changes in land use pattern due to the implementation of soil conservation measures. After using land use data of 1986, 1995, 2005 and 2010 to analyze the temporal and spatial variation in land use from 1986-2010, and using terrain niche index derived from DEM (digital elevation model) to represent the topographical factors of different land use patch, the relationship between terrain and land use change was systematically analyzed. Results showed that from 1986 to 2010, the main land use types of the study region were farmland, forest and grassland, which account for 94% of the whole catchment, and the main land use change types were the decrease of farmland and the increase of urban and residential land. The rate of land use change for the period of 1986-1995, 1995-2005 and 2005-2010 were 13.2%, 25.8% and 36.4%, respectively, indicating a speed-up land use changes. But for the whole study period, the land use change rate was 1.3%, which implied that the land use pattern was recovering the original status with less human disturbance. Our results also showed that the spatial distribution of land use types had close relationships with terrain gradient. The farmland, urban/residential land and water sources were mainly located in the areas with low terrain gradient, while grassland in the areas with middle terrain gradient and forest in the areas with mid-high terrain gradient. According to the land use change TUPU, we found that the primary land use change types were stable type and repeated change type, which accounted for 98.4% of the whole catchment. The stable land use change type was mainly composed of forest with large terrain gradient and farmland with small low terrain gradient, while the repeated change type mainly from the mutual conversion between grassland and farmland at areas with mid-low terrain gradients. In addition, the results indicated that LUCC in the Fen River Basin was the combined effect of natural processes, human activities and government policies. The natural processes played a key role in the impacts of terrain gradient effect on land use change, while human activities and policies were very important drivers that can make land use change rapidly in a short time period. Overall, the land use pattern in the Fen River Basin has been becoming rational. However, some improper land use change types were also detected. Based on analyzing the rationality of land use change by topographical factors, this study was meaningful to the sustainable development of land resources, and it can provide important information for land use management in the Fen River Basin.

**Keywords:** land use; topography; planning; terrain niche index; change TUPU; Fen River Basin; The Loess Plateau