

# 陕北黄土高原景观破碎化的时空动态研究<sup>\*</sup>

李正国<sup>1</sup> 王仰麟<sup>1,2,\*</sup> 张小飞<sup>1,2</sup> 吴健生<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 北京大学环境学院, 北京 100871; <sup>2</sup> 北京大学深圳研究生院 数字城市与城市景观研究中心, 深圳 518055)

**【摘要】** 景观破碎化受到自然环境背景及社会经济活动的影响, 并限制区域发展。为揭示景观破碎化的时空变化特征, 整合了 MODIS(中分辨率成像光谱仪)影像逐旬数据与多时段景观类型数据, 并对其进行了分析。比较 1987~2002 年景观破碎化的年际差异表明, 陕北黄土高原的景观破碎化过程较缓慢, 但具有区域差异, 且与景观类型组成息息相关。结果表明, 林地的破碎化水平变化显著, 而农、草地的破碎化水平变化相对缓慢。年际变化分析有助于说明区域景观破碎化的趋势, 而年内季节变化则能帮助认识景观破碎化过程的周期规律。

**关键词** 景观破碎化 景观动态 陕北黄土高原

文章编号 1001-9332(2005)11-2066-05 中图分类号 Q149 文献标识码 A

**Spatial-temporal dynamics of landscape fragmentation in North Shannxi Loess Plateau.** LI Zhengguo<sup>1</sup>, WANG Yanglin<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaofei<sup>1,2</sup>, WU Jiansheng<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; <sup>2</sup>Center for Digital City and Urban Landscape, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China) - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(11): 2066~2070.

The study of landscape fragmentation is an important means to reveal regional ecological processes. By using the remote sensing data of 1987, 1997 and 2002 and the GIS tools some representative quantitative indices of the landscape spatial structure and landscape fragmentation in North Shannxi Loess Plateau were calculated, aimed to investigate the relationships between landscape ecological structure and landscape pattern in this area. The results showed that cropland contributed most to the extent of landscape fragmentation, but unused land lacked obvious relationship with it. To get large area images accurately and promptly is very important for monitoring ecological process in regional scale. Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS) images in 2003 were used to derive monthly landscape fragmentation information calculated with Local Index of Spatial Associations(LISA) based on Spatial Statistical Analysis(SSA). The analysis of the fragmented landscape types showed that human disturbance had a main contribution to the seasonal landscape fragmentation. Furthermore, with the increasing percentages of cropland and unused land, landscape became more fragmented, while forestland coverage had inverse effects on the fragmentation.

**Key words** Landscape fragmentation, Landscape dynamics, North Shannxi Loess Plateau.

## 1 引言

景观破碎化是描述景观格局的重要参数, 是景观生态学研究的热点<sup>[2, 15, 16]</sup>。景观破碎化是指由于自然或人文因素干扰, 导致景观从简单趋向复杂的过程, 即景观由单一、均质和连续的整体趋向于复杂、异质和不连续的斑块镶嵌体<sup>[2, 24]</sup>。破碎化对景观的结构、功能及生态过程都有不同程度的影响<sup>[7]</sup>。景观破碎化会降低生物多样性<sup>[9]</sup>, 冲击野生动物栖息地<sup>[3, 22]</sup>及自然景观的范围与结构<sup>[19]</sup>, 且与区域社会经济有相当大的因果关系<sup>[4]</sup>。分析景观破碎化特征有助于提升对经济因素<sup>[19]</sup>、人口动态<sup>[4]</sup>及土地利用<sup>[13, 14]</sup>等景观影响因子的认识。

破碎化是黄土高原典型的景观特征<sup>[9]</sup>。其地理特性主要表现为沟壑纵横、地形条件复杂、植被稀少及水土流失严重, 因此使得生态环境恶化, 导致一系

列农业生产问题, 并影响区域的可持续发展<sup>[9, 18, 25]</sup>。

目前景观破碎化研究多基于遥感影像的景观分类结果, 利用景观指数的格局分析方法进行破碎化程度评价<sup>[6, 7, 10]</sup>, 从而得出多年间的年际变化特征。而年内植被覆盖变化所导致的破碎化变化<sup>[23]</sup>使得景观破碎化变得更为复杂, 为了深入探讨黄土高原景观破碎化变化的特点, 本研究除采用 1987、1997 和 2002 年 TM 卫星影像进行景观破碎化年际比较以外, 同时利用具有较高时间分辨率的 MODIS 影像和基于空间统计方法分析局部邻域变化, 逐旬分析景观破碎化年内动态变化, 对景观破碎化的年际

\* 国家自然科学基金重大研究计划项目(90102018) 和国家自然科学基金资助项目(40471002)。

\*\* 通讯联系人。

2005-01-04 收稿, 2005-05-30 接受。

及年内变化作出综合空间定量评价, 并分析不同时间尺度下景观破碎化与景观类型组成间的关系。

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 研究地区概况

研究区地处陕西省北部,  $107^{\circ}28' \sim 111^{\circ}15' E$ ,  $35^{\circ}21' \sim 39^{\circ}34' N$ , 东隔黄河, 与山西省相望, 西以子午岭为界, 与宁夏、甘肃接壤, 北邻内蒙, 南接渭南、铜川、咸阳 3 市。全区属暖温带和温带半干旱大陆性季风气候, 四季分明。全区总面积  $80\,606\text{ km}^2$ , 分属延安和榆林市(图 1), 下辖 25 个县区、385 个乡镇、9110 个行政村, 总人口  $5.39 \times 10^6$  人, 其中农业人口  $4.43 \times 10^6$  人。研究过程中为了简化运算以及获得足够数量的研究单元, 将研究区按  $15' \times 20'$  的矩形网格加以切分, 合计获得 259 个研究单元。

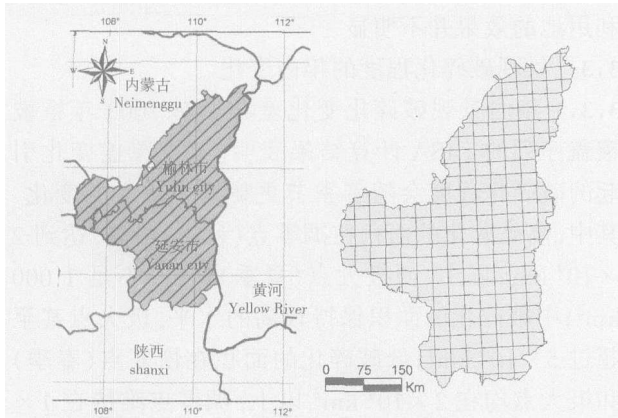


图 1 研究区区位及研究单元划分  
Fig. 1 Location and partition of study area.

### 2.2 研究方法

**2.2.1 数据收集与处理** 景观类型数据源于 1987、1997 和 2002 年的 Landsat 卫星的 TM 系列影像, 其中 1987 和 1997 年的影像主要包括 Landsat-5 的 TM6 个波段(除热红外波段), 2002 年的影像则包括 Landsat-7 的 ETM+ 6 个波段(除全色波段和两个热红外波段)。经过大气辐射校正和初步几何纠正, 对照 1:50 000 地形图选取控制点。采用最大似然分类法对研究区进行景观分类, 为简化研究过程, 重点分析了农地、林地、草地和未利用地等 4 种主要景观类型。

为了精确评价研究区植被覆盖的时空分布, 利用美国的 EOS/MODIS 数据, 该影像具有 36 个通道, 空间分辨率为 250 m, 时间分辨率为 1 d, 影像获取时间为 2002 年 12 月 ~ 2003 年 11 月的逐旬数据, 合计 36 景。

**2.2.2 景观指数方法** 利用景观分类数据计算景观破碎化程度, 多采用景观指数方法<sup>[6,7]</sup>。本研究整理目前常用的景观格局分析指标<sup>[10,17,20,21]</sup>, 包括代表景观整体特征的斑块密度、斑块平均面积、边界密度、Shannon 景观多样性指数等; 表征景观组分空间构型特征的相似邻接比、分裂指数、散布毗邻指数、斑块凝聚指数、聚合指数, 最大斑块指数、蔓延度以及景观形状指数等以及表示景观个体单元形态特征的形状指数和分维数等, 分别就各研究单元三方面内容进行分析。

通过统计软件 SPSS 对上述 13 个变量进行主成分分析和因子旋转处理。根据 Kaiser 的选取准则, 配合使用陡坡图, 最后得出代表景观破碎化特征的 4 个主因子, 累计方差百分比达到 85% 以上, 其中又以包含斑块密度及斑块平均面积的主因子, 方差百分比达 45% 以上, 对区域景观破碎化特征最具有指示意义。基于其数值散点分布, 划分破碎化程度, 其中值  $> 0.5$  属高破碎化, 值介于  $-1 \sim 0.5$  属中破碎化, 而值  $< -1$  属低破碎化。

**2.2.3 植被覆盖信息提取方法** 考虑到黄土高原独特的植被情况与地形特征, 利用线性光谱分离模型<sup>[8,11]</sup> 提取黄土高原区植被覆盖信息。该模型假定混合像元的光谱是由该像元内的各类地物光谱的线性组合, 即像元的光谱亮度值是由构成像元的基本组分(endmember)光谱亮度值以其占像元面积的比例为权重系数的线性组合, 可表示为:

$$R_i = \sum F_j RE_{ij} + \epsilon_i \quad (1)$$

其中:

$$\sum F_j = 1 \quad (2)$$

式中,  $R_i$  是混合像元在  $i$  波段上的反射值,  $RE_{ij}$  是地表覆盖类型  $j$  在  $i$  波段上的反射值,  $F_j$  表示地表覆盖类型  $j$  在混合像元面积中的比例,  $\epsilon_i$  表示  $i$  波段对应的残差值。

利用美国 RSI 公司开发的专业遥感信息处理软件 ENVI4.0 对研究区 36 景 MODIS 数据进行线性光谱分离处理, 主要过程包括数据预处理、MNF(minimum noise fraction)变换、PPI(pixel purity index)处理、终端单元的收集、线性光谱分离、结果的检验与校正等。将植被覆盖提取结果划分为 256 级(0~255), 同时根据植被覆盖年内变化拟合曲线(图 2), 分析植被覆盖年内变化的特征<sup>[2]</sup>, 主要包括极小点、恢复点、极大点和凋零点, 以及期间的恢复期、上升期、下降期和凋零期等<sup>[23]</sup>。

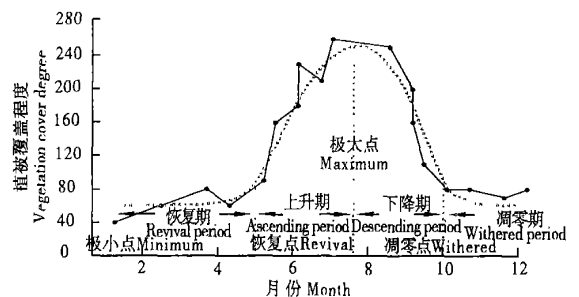


图 2 植被覆盖年内变化评价指标  
Fig. 2 Evaluation index of vegetation cover annual change.

**2.2.4 空间统计方法** 对于连续变化的植被覆盖数据(如 NDVI 图), 可采用基于邻域分析的空间统计方法计算其局部景观特征的变异程度<sup>[23]</sup>。针对研究区的植被覆盖信息序列, 利用局部空间自相关分析方法<sup>[11]</sup>(local index of spatial associations, 简称 LISA) 计算植被覆盖的局部空间自相关程度, 从而可得出研究区内植被覆盖的局部变异程度, 计算公式如下:

$$LISA_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sum_j (x_j - \bar{x})^2} \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

式中,  $x_i$  代表变量  $x$  在位置  $i$  处的取值,  $w_{ij}$  代表空间加权矩阵(其中对角线元素为 0, 非对角线元素代表位置  $i$  周围的值), 和普通的 Moran 统计类似, 取值亦在 -1(代表空间负相关)和 1(代表空间正相关)。也就是说, 取值接近 1 的地区表现为聚合的景观格局, 亦表明破碎化特征不明显; 取值接近 -1 的地区表现为离散的景观格局, 破碎化特征也相对突出。进而对年内破碎化程度加以划分, 其中值  $< -0.5$  属高破碎化, 值介于  $-0.5 \sim 0.5$  属中破碎化, 而值  $> 0.5$  属低破碎化。

### 3 结果与分析

#### 3.1 景观破碎化程度的年际变化

利用研究区 1987、1997 和 2002 年景观类型图进行区域景观破碎化评价, 得出 3 个时段景观破碎化程度的空间分布(图 3)。由图 3 可见, 各时段均以中破碎化景观为主, 分布也极为分散, 总面积超过  $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 达全区总面积的 65% 以上。1987~2002 年, 面积比例下降大约 1% 左右; 高破碎化总面积达  $1.7 \text{ km}^2$ , 达全区总面积的 25% 以上, 主要分布在北部及南部山区。研究期间, 总面积比例上升 1%; 低破碎化总面积为  $0.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 分布也较为分散, 面积比例始终维持在 5% 左右。

从破碎化程度的空间变化来看, 北部单元 1987~1997 破碎化程度提高, 而 1997~2002 则维持稳定, 南部单元在研究时段间处于逐步降低的趋势。综合 3 个时段各单元的变化情况, 可将景观破碎化动态类型划分为稳定型、持续上升型、持续下降型、先升后降型和先降后升型等, 分别表示不同的变化过程。其中, 稳定型集中分布于中南部, 持续上升型主要分布于西北部, 持续下降型零星分布于各处, 先升后降型主要分布于北部, 先降后升型广泛分布于中

部。从各动态类型的空间分布来看, 区域景观破碎化水平呈缓慢上升态势。

#### 3.2 破碎化动态类型的景观组成差异

景观格局影响景观破碎化的过程<sup>[6,7]</sup>。对照各破碎化动态类型的景观类型组成比例(图 4)可知, 景观破碎化持续下降的单元主要由比例均匀的农地、林地及草地所组成; 而破碎化趋于稳定的单元景观类型组成中农地和草地比例较高, 林地略少; 相比之下, 破碎化水平持续上升的单元中林地比例最低; 对于先降后升型和先升后降型, 林地比例接近, 区别在于先降后升型中农地比例高于先升后降型。总的来看, 林地类型对景观破碎化具有较强的抑制效果, 草地次之, 农地则具有加剧景观破碎化的效果, 而未利用地的效果并不明显。

#### 3.3 景观破碎化程度的年内变化

3.3.1 年内景观破碎化变化差异 对 2003 年植被覆盖序列的 LISA 计算结果表明, 植被覆盖变化引起的破碎化程度会随着季节更替发生较大的变化。其中, 高破碎化的面积在凋零点(秋季)最高, 达到  $2 \times 10^4 \text{ km}^2$  以上, 而极大点(夏季)最低, 不足  $1000 \text{ km}^2$ ; 中破碎化的面积保持较高的水平, 极大点甚至超过  $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ; 低破碎化的面积在恢复点(春季)和极大点均在  $2 \times 10^4 \text{ km}^2$  以上, 凋零点维持在  $1 \times 10^4 \text{ km}^2$  水平。

结果表明, 在恢复点, 高破碎化区主要位于南部, 中破碎化区分布于中南部及北部。在极大点, 高破碎化区明显降低, 中破碎化区则分布于中部及北部, 低破碎化区则集中于南部以及零星分布于中部。在凋零点, 高破碎化区域集中于南部, 中破碎化区则位于中部及东部, 低破碎化区分布于北部。而在极小点, 高破碎化区域分布于东南部与西南部, 中破碎化区域则分布于中部, 低破碎化区域分布于北部。

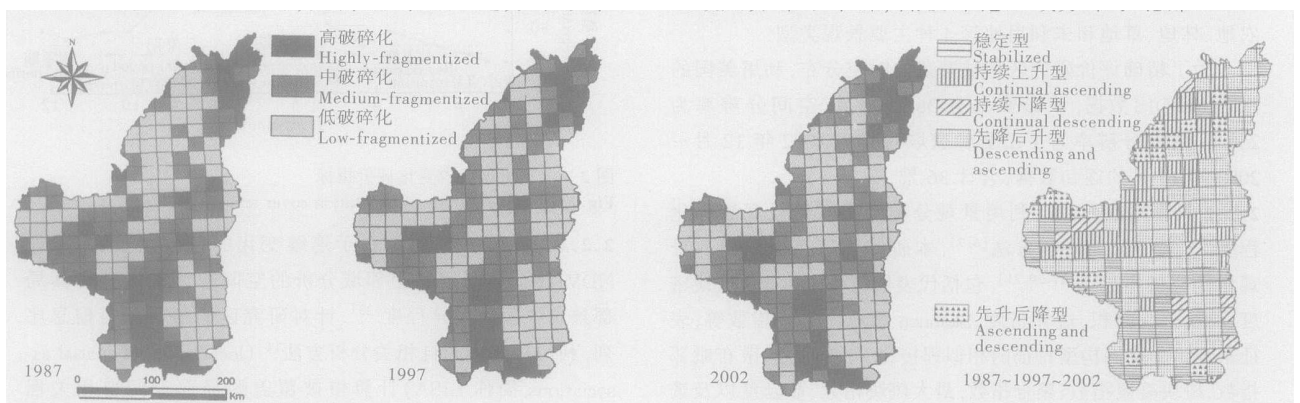


图 3 北黄土高原区景观破碎化分布及动态类型(1987~2002)

Fig. 3 Landscape fragmentation distribution and changing modes in North Shannxi Loess Plateau.

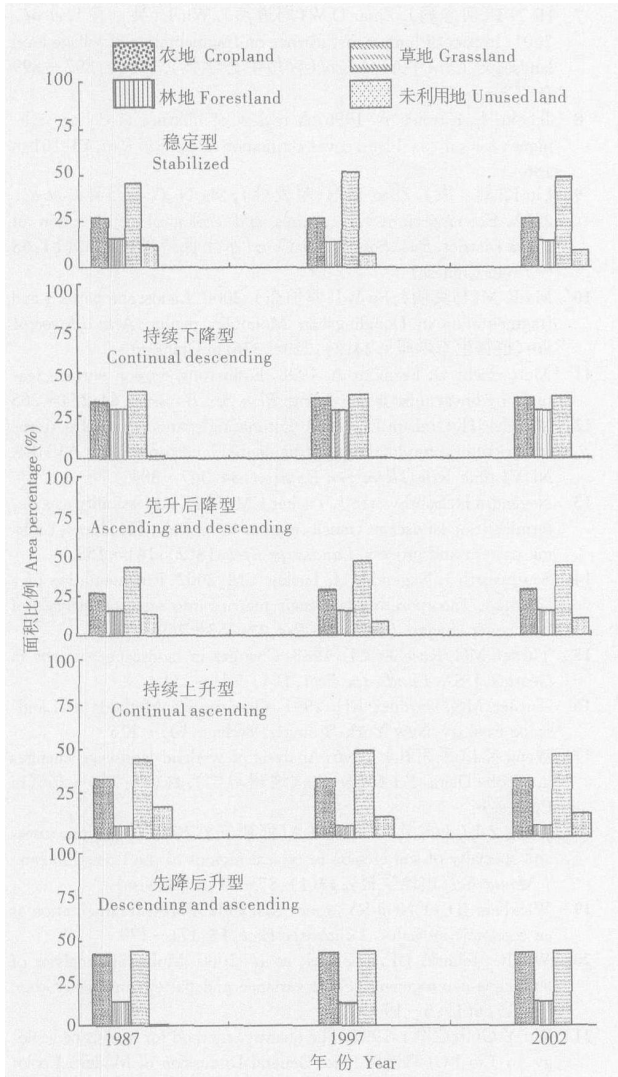


图 4 陕北黄土高原区景观破碎化动态类型的景观组成  
 Fig. 4 Landscape composition of fragmentation changing modes in North Shannxi Loess Plateau.

从植被恢复期的景观破碎化变化强度来看, 大部分区域的破碎化程度呈现减轻的态势, 其中以中部的幅度最大, 而北部和南部的破碎化程度出现一定的抬升(图 5)。在植被上升期, 北部区域的破碎化

程度又开始升高, 而南部则大幅下降。在植被下降期, 北部区域的破碎化程度开始降低, 而南部的破碎化程度开始升高; 在植被凋零期, 大部分区域的破碎化程度处于升高的趋势, 而只有北部及南部的少数地区有一定的降低。从全年破碎化程度的空间强度变化来看, 在植被恢复及上升期间, 大部分地区破碎化程度明显降低, 尤其以中南部的森林山区下降最为明显, 而北部的农牧区的景观破碎化程度则出现一定的升高; 在植被下降及凋零期, 森林区域的破碎化水平上升显著, 而农牧区则显著下降。

3.3.2 年内各景观类型破碎化变化 从研究区各主要景观类型的年内破碎化水平变化来看(图 6), 农地和草地的变化相对较小, LISA 值基本稳定在 0~0.5, 而林地和未利用地则有较大幅度的季节变化, 其中在植被恢复期, 农地和草地的 LISA 值持续上升, 而同期未利用地和林地的 LISA 值保持稳定。在植被上升期, 林地的 LISA 值升高到 0.5 左右, 农、草地则小幅上升, 未利用地的 LISA 值从 1.0 下降到-0.1。在植被下降期, 农、林和草地的 LISA 值均开始下降, 而未利用地则大幅上升。到植被凋零期, 林地的 LISA 值大幅下降, 农、草地出现小幅波动, 而未利用地则维持稳定。从各景观类型的 LISA 值年内变化来看, 林地和未利用地对破碎化水平起着主导作用, 而农、草地的破碎化水平变化相对缓慢, 对年内破碎化水平变化有一定的缓冲作用。

#### 4 结 语

景观破碎化一直是景观生态学研究的热点。本文结合多尺度遥感数据, 反映景观破碎化年际与年内变化及其空间差异, 有助于提升对景观类型组成与景观破碎化关系的认识。结果表明, 高破碎化的单元主要分布在北部荒漠地带和南部山区。由景观破

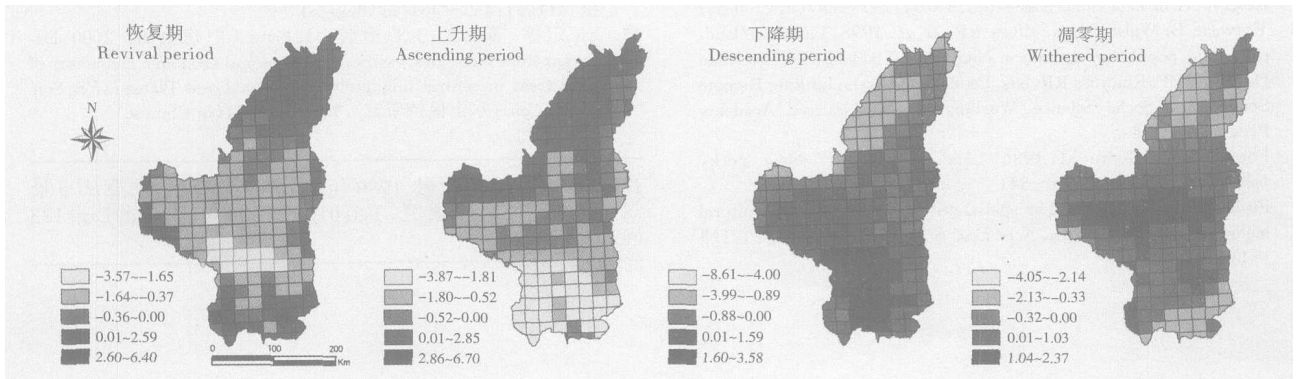


图 5 陕北黄土高原区内景观破碎化变化  
 Fig. 5 Annual changes of landscape fragmentation in North Shannxi Loess Plateau.

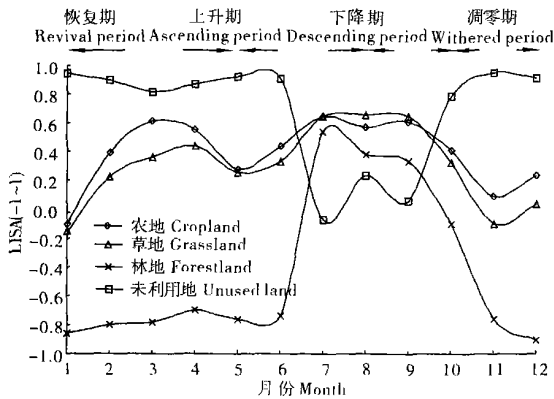


图6 陕北黄土高原区各景观类型年内破碎化变化

Fig. 6 Annual changes of landscape fragmentation of landscape types in North Shannxi Loess Plateau.

破碎化的年际变化可知,西北部及中部的破碎化程度表现为持续上升及先降后升,是下一步景观破碎化研究与防治需要特别关注的地区.从各景观破碎化动态类型的景观类型组成可知,林地对破碎化具有较强的抑制作用,草地也具有一定的作用,未利用地的效果并不显著,而农地却具有促进破碎化的效果.

由年内景观破碎化变化可知,年内景观破碎化明显受到植被覆盖的季节影响.整体而言,植被覆盖度的升高有助于降低景观破碎化,其中以中、南部的森林山区最为明显,但对于农牧区,由于人为活动空间的差异性,导致植被生长恢复差异显著,反而加重了景观破碎化水平.

#### 参考文献

- Anselin L. 1995. Local indicators of spatial association—LISA. *Geogr Anal*, 27: 93 ~ 115
- Bu R-C(布仁仓), Wang X-L(王宪礼), Xiao D-N(肖笃宁). 1999. Analysis on landscape elements and fragmentation of Yellow River delta. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 10(3): 321 ~ 324 (in Chinese)
- Chen L-D(陈利顶), Liu X-H(刘雪华), Fu B-J(傅伯杰). 1999. Evaluation on giant panda habitat fragmentation in Wolong Nature Reserve. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, 19(3): 291 ~ 297 (in Chinese)
- Entwisle B, Walsh SJ, Rindfuss RR, et al. 1998. Land-use/land-cover and population dynamics. Nangrong, Thailand. In: Liverman D, Moran EF, Rindfuss RR, eds. *People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science*. Washington, DC: National Academy Press. 121 ~ 144
- Foman RTT, Godm M. 1986. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley and Sons. 335 ~ 341
- Fu B-J(傅伯杰). 1995. The spatial pattern analysis of agricultural landscape in the loess area. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, 15(2): 113 ~ 119 (in Chinese)

- He N-P(何念鹏), Zhou D-W(周道玮), Wu L(吴 玲), et al. 2001. Impact of human disturbance on fragmentation of village level landscape. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 12(6): 897 ~ 899 (in Chinese)
- Ichoku C, Karnieli A. 1996. A review of mixture modeling techniques for sub pixel land cover estimation. *Rem Sen Rev*, 13: 161 ~ 186
- Liu K(刘 康), Zhao M-H(赵麦焕), Ma N-X(马乃喜), et al. 2002. Eco-environmental features and ecological construction of Baota District. *Bull Soil Water Cons (水土保持通报)*, 22(1): 68 ~ 75 (in Chinese)
- Ma K-M(马克明), Fu B-J(傅伯杰). 2000. Landscape pattern and fragmentation in Donglingshan Mountain region. *Acta Phytocool Sin (植物生态学报)*, 24(3): 320 ~ 326 (in Chinese)
- Mettemicht G, Fermont A. 1998. Estimating erosion surface features by linear mixture modeling. *Rem Sen Environ*, 64: 254 ~ 265
- Michael JH, Graham ED. 2003. Estimating spatio-temporal patterns of agricultural productivity in fragmented landscapes using AVHRR NDVI time series. *Rem Sen Environ*, 84: 367 ~ 384
- Nagendra H, Southworth J, Tucker CM. 2003. Accessibility as a determinant of landscape transformation in western Honduras: Linking pattern and process. *Landscape Ecol*, 18(2): 141 ~ 158
- Southworth J, Nagendra H, Tucker CM. 2002. Fragmentation of a landscape: Incorporating landscape metrics into satellite analyses of land cover change. *Landscape Res*, 27: 253 ~ 269
- Tumer MG, Ruscher CL. 1988. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecol*, 1(4): 241 ~ 251
- Tumer MG, Gardner RH. 1991. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York: Springer-Verlag. 105 ~ 126
- Wang X-L(王宪礼). 1996. Analysis of wetland landscape changes in Liaohel Delta. *Sci Geogr Sin (地理科学)*, 16(3): 260 ~ 265 (in Chinese)
- Wang Z-L(王占礼), Shao M-A(邵明安). 2001. On commonness and speciality of soil erosion in typical regions of the Loess Plateau. *J Mount Sci (山地学报)*, 19(1): 87 ~ 91 (in Chinese)
- Wickham JD, O'Neill RV, Jones KB. 2000. Forest fragmentation as an economic indicator. *Landscape Ecol*, 15: 171 ~ 179
- Wu JG, Jelinski DE, Luck M, et al. 2000. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: Scale variance and pattern metrics. *Geogr Inf Sci*, 6(1): 6 ~ 19
- Wu Y-G(伍业刚). 1992. The quantity method for landscape ecology. In: Liu J-G(刘建国), ed. *General Discussion of Modern Ecology*. Beijing: China Science and Technology Press. 209 ~ 233 (in Chinese)
- Wu Z-J(武正军), Li Y-M(李义明). 2003. Effects of habitat fragmentation on survival of animal populations. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, 23(11): 2424 ~ 2435 (in Chinese)
- Wulder M, Boots B. 1998. Local spatial autocorrelation characteristics of remotely sensed imagery assessed with the Getis statistic. *Int J Rem Sen*, 19(11): 2223 ~ 2231
- Xiao D-N(肖笃宁), Bu R-C(布仁仓), Li X-Z(李秀珍). 1997. Spatial ecology and landscape heterogeneity. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, 17(5): 453 ~ 461 (in Chinese)
- Xu Y(徐 勇), Xu J-X(徐炯心), Fang J-F(房金福). 2000. Developmental strategies restricted factors and economic characters of rural areas in central hilly-gully region on Loess Plateau. *Res Soil Water Cons (水土保持研究)*, 7(2): 14 ~ 21 (in Chinese)

作者简介 李正国,男,1980年生,博士研究生.主要从事景观生态与土地利用研究. Tel: 010-62759374; E-mail: Lzg\_123@263.net