

# 陕北黄土高原景观破碎化及其土壤裸露效应

李正国, 王仰麟\*, 张小飞

(北京大学环境学院, 北京 100871)

**摘要:**破碎化是黄土高原典型的景观特征,深刻影响着区域的景观格局与功能。为深入探讨黄土高原景观破碎化的格局特征及其生态效应,选择陕北黄土高原为研究区,结合景观格局指数与主成分分析对破碎化程度进行量化,并针对研究区相应的景观格局特征、造成破碎化的景观类型及土壤裸露程度,进行组成、分布及动态分析。研究结果发现陕北黄土高原景观格局中的斑块密度特征对破碎化有较强的指示意义,其次则是景观的空间构型特征。草地和农地等与人为活动关系较为密切的景观类型是造成研究区景观破碎化的主要原因,且高破碎化区域的土壤裸露值明显高于低破碎化区域。

**关键词:**景观破碎化; 土壤裸露; 黄土高原

## Landscape fragmentation and soil bareness study in north Shaanbei Loess Plateau

LI Zheng-Guo, WANG Yang-Lin\*, Hsiao-Fei Chang (College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 421~427.

**Abstract:** The study of landscape fragmentation is an important means to reveal regional ecological processes. Using remote sensing data of 1987, 1997, and 2002, some representative quantitative indices of the landscape spatial structure and landscape fragmentation were calculated to investigate the relationship between landscape ecological structure and landscape pattern in Shaanbei Loess Plateau using FRAGSTATS. Through the analysis of the types of fragmented landscape, we found that the main contribution to regional landscape fragmentation came from cropland and grassland. Furthermore, with the increasing of percentage of grassland, landscape became more fragmented, but forestland coverage has inverse effects on the fragmentation.

Based upon the well-defined characteristics of this region's evolving landscape fragmentation, the relationship of landscape fragmentation and spatial pattern was investigated. More fragmented landscape is always with less patch area variation, more dispersed spatial configuration and complicated patch shape. In conclusion, landscape fragmentation has high sensitivity with percentage of similarity adjacencies, aggregation index, edge density, interspersation and juxtaposition index.

The relationship and feedback between landscape pattern, function and process serve to describe the behavior of a regional landscape. Based on landscape function characteristics such as biological productivity, soil nutrient content, soil bareness, etc, a quantitative method and digital model for evaluating soil bareness in study area were devised.

To get large-area images accurately and promptly is very important for monitoring of ecological process in regional scale. Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) images were used to derive soil bareness information calculated with Linear Spectral Unmixing (LSU) based on Mixture Spectral Analysis (MSA). As a result, the extent of fragmentation contributed mostly to the soil bareness in cropland, grassland and forestland, but lack of obvious relationship with unused land type. In details, the value of soil bareness in highly-fragmentized type altered from 100 to 150, medium-fragmentized type changed from 100 to 140, and low-fragmentized centralized from 100 to 110.

**基金项目:**国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90102018)

**收稿日期:**2004-09-01; **修订日期:**2004-12-19

**作者简介:**李正国(1980~),男,江西上饶人,博士生,主要从事景观生态与土地利用研究。E-mail: Lzg.123@263.net

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: ylwang@urban.pku.edu.cn

**Foundation item:** National Key Research Project for National Natural Science Foundation of China (No. 90102018)

**Received date:** 2004-09-01; **Accepted date:** 2004-12-19

**Biography:** LI Zheng-Guo, Ph. D. candidate, mainly engaged in landscape ecology and land use. E-mail: Lzg.123@263.net

Through the correlation analysis on landscape fragmentation and soil bareness, it was found that patch density and landscape configuration had a linear relationship with soil bareness for the decision coefficient between them was above 0.5. Patch area variation and patch shape had no direct relationship with soil bareness for decision coefficient was under 0.1.

**Key words:** landscape fragmentation; soil bareness; loess plateau

文章编号: 1000-0933(2005)03-0421-07 中图分类号: Q149 文献标识码: A

破碎化是描述景观格局重要的参数亦是景观生态研究的热点<sup>[1-3]</sup>。景观破碎化是指由于自然或人文因素干扰,导致景观由简单趋向于复杂的过程,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>[3,4]</sup>,破碎化的特征对景观的结构、功能及生态过程都有不同程度的影响<sup>[5]</sup>。

景观生态相关研究证明,景观破碎化会降低生物多样性<sup>[6]</sup>,冲击野生动物栖息地<sup>[7,8]</sup>及自然景观的范围与结构<sup>[9]</sup>,且与区域社会经济有相当大的因果关系<sup>[10]</sup>。分析景观破碎化特征有助于提升经济因素<sup>[9]</sup>、人口动态<sup>[10]</sup>及土地利用<sup>[11,12]</sup>等对景观的影响程度的认识与量度。

破碎化是黄土高原典型的景观特征<sup>[13]</sup>。其地理特性主要表现为土层深厚、质地疏松、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可持续发展<sup>[14-16]</sup>。为了深入探讨黄土高原景观破碎化特征和其与土壤裸露程度的内在联系,进一步作为区域景观生态建设指导,本研究选择陕北黄土高原为研究区,首先基于景观生态格局量化方法对区域破碎化特征进行评价,并结合土壤裸露程度的时空差异,试图对景观破碎化特征与土壤裸露的关系进行定量分析。

## 1 研究区概况

研究区地处陕西省北部,东经 107°28′~111°15′,北纬 35°21′~39°34′,东隔黄河,与山西省相望;西以子午岭为界,与宁夏、甘肃接壤;北邻内蒙古;南接渭南、铜川、咸阳市。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 km<sup>2</sup>,分属延安和榆林市(彩图 1),下辖 25 个县、385 个乡镇、9,110 个行政村,总人口 539.32 万人,其中农业人口 442.60 万人。

## 2 研究方法

本研究的数据分析处理是在遥感图像处理软件 ENVI 4.0、地理信息系统软件 Arcview3.2a 和景观格局分析软件 Fragstats 3.3 的支持下共同完成的。

景观类型数据源于 1987 年、1997 以及 2002 年的 Landsat 卫星的 TM 系列影像,其中 1987 年和 1997 年的影像主要包括 Landsat-5 的 TM 6 个波段(除热红外波段),2002 年的影像则包括 Landsat-7 的 ETM+6 个波段影像(除全色波段和两个热红外波段)。轨道号为分别为 126-32~36、127-33~36 和 128-34~35,3 个时段合计 33 景影像。经过大气辐射校正和初步几何纠正,对照 1:50000 地形图选取控制点,采用双标准纬线等积圆锥投影(ALBERS),椭球体为 KRASOVSKY,坐标系为 Beijing 1954。

首先基于 ETM 影像及地面调查结果,将研究区分为农业景观、林地景观、草地景观、水体景观和城镇景观等 5 种主要景观类型。同时,采用美国的 EOS/MODIS(全称为 Earth Observation Satellites / Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer,影像具有 36 个信道,空间分辨率为 250m,时间分辨率为 1d),由 2002 年 12 月~2003 年 11 月的逐旬数据合计 36 景,用以评价研究区土壤裸露的时空分布。

土壤裸露评价过程中,由于黄土高原地区地表破碎,土地退化严重,区内的景观斑块多呈小块分布,零星地分散在被沟谷切割的丘陵边缘,包涵多类地物的混合象元比例大,因而传统的遥感分类精度大受影响,需要进行混合像元的分离。本研究采用了基于混合波谱分析(Mixture Spectral Analysis, MSA)<sup>[17-19]</sup>的线性光谱分离法(Linear Spectral Unmixing, LSU)<sup>[20,21]</sup>,对该方法获取的土壤裸露空间分布进行综合比较,按最大值合成法(Max Value Composition, MVC)<sup>[22]</sup>,得出逐月的土壤裸露空间分布,土壤裸露程度取值由 0~255。

最后,在景观组分自身特性与组合方式制约着景观功能<sup>[23-25]</sup>的前提下,基于上述景观分类结果就其格局进行分析,结合土壤裸露值的时空分布差异,探讨不同层面土壤裸露与景

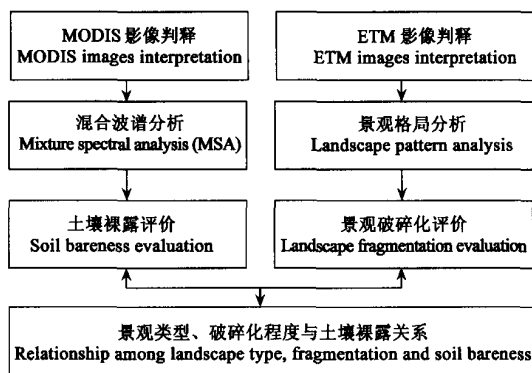


图 1 研究框架

Fig. 1 The framework of research

观破碎化关系(图 1)。

3 结果与分析

3.1 景观破碎化程度

为量化景观破碎化程度,本研究整理目前常用的景观格局指标<sup>[26,27]</sup>,包括斑块密度、斑块平均面积、边界密度、Shannon 景观多样性指数(整体特征),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(空间构型特征),形状指数和分维数(个体单元形态特征)等景观格局分析的常用指数<sup>[28,29]</sup>,分别就各个县景观个体单元的形态特征、景观组分的空间构型特征和景观整体特征 3 方面内容进行分析。

通过统计软件 SPSS 对 13 个景观格局特征变量进行主成分分析和因子旋转处理(图 2),最后得出代表景观破碎化特征的 4 个主因子(principal component,简称 PC),分别为斑块密度、斑块面积变化、景观空间构型及斑块形态(表 1)。其中又以包含斑块密度及斑块平均面积的主因子 1,对区域景观破碎化最具有指示意义,进而基于景观破碎化数值分布划分破碎化程度,其中值大于 0.8 属高破碎化,值介于-1 至 0.8 属中破碎化,而值小于-1 属低破碎化,其空间分布如图 3。

由景观破碎化特征的主因子空间分布差异来看(图 4),可知东部的佳县、米脂、子洲,中部的安塞的破碎化程度较为严重,其景观破碎化主要反映在斑块密度上;西北部的神木、府谷、横山,南部的甘泉、洛川则主要反映在景观斑块的面积变化上,中部的宝塔区、子长、延长、延川,偏西的志丹、吴旗和靖边,偏东的吴堡、绥德和清涧的破碎化程度一般。

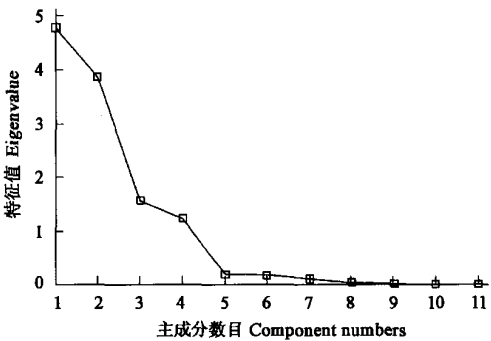


图 2 主成分因子特征值分布图

Fig. 2 The distribution map of eigenvalue of primary component

表 1 各主成分名称以及具体意义

Table 1 Name and meaning of primary factors

| 主因子<br>PC | 涵义<br>Meaning                          | 变量<br>Variables                                                                                                               |
|-----------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主因子 1 PC1 | 斑块密度 Patch density                     | 斑块密度、斑块平均面积 Patch density, Patch mean area                                                                                    |
| 主因子 2 PC2 | 斑块面积变化 Patch area variation            | 最大斑块指数、分裂指数、斑块凝聚度 Largest patch index, Splitting index, Patch cohesion                                                        |
| 主因子 3 PC3 | 景观空间构型 Landscape spatial configuration | 相似邻接比、聚合指数、边界密度、散布毗邻指数 Percentage of like Adjacencies, Aggregation index, Edge density, Interspersion and juxtaposition index |
| 主因子 4 PC4 | 斑块形态 Patch shape                       | 斑块形状指数、周长面积比、碎形维度指数 Patch shape index, Perimeter-area ratio, Fractal dimension index                                          |

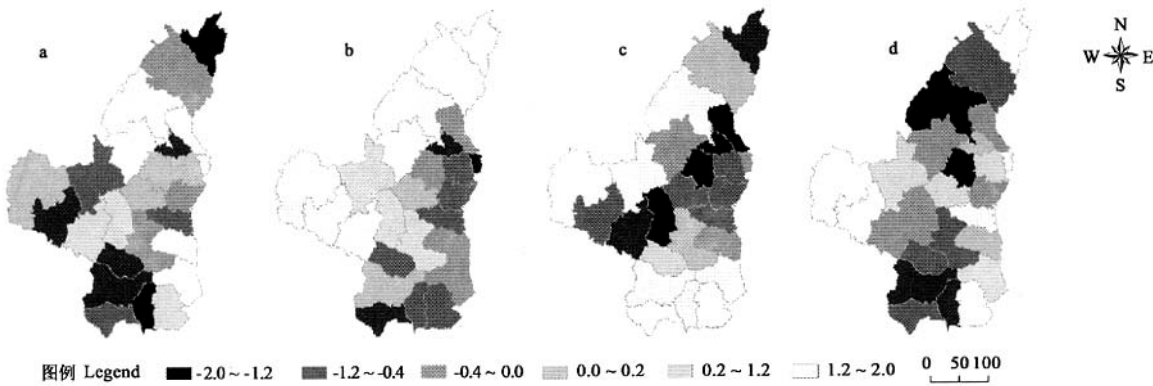


图 3 景观破碎化特征的主因子空间分布

Fig. 3 The spatial distribution of primary factors on fragmentation characteristic

a 斑块密度 Patch density; b 斑块面积变化 Patch area variation; c 景观空间构型 Landscape spatial configuration; d 斑块形态 Patch shape

3.2 景观破碎化及景观类型组成变化

利用研究区 1987、1997 年和 2002 年景观类型图与区域景观破碎化评价结果(图 3)进行叠加分析,得出 3 个时段景观破碎化程度的面积变化(图 4)。可见,各时段均以中破碎化为主,总面积超过 5 万 km<sup>2</sup>,达全区总面积的 65%以上,期间从 1987 年到 1997 年,比例下降 3%,从 1997 年到 2002 年,比例上升 2%,总变化在 1%左右;高破碎化总面积达 1.7km<sup>2</sup>,达全区总面积的 25%以上,研究期间,面积比例先上升 3%,而后又下降 2%,总变化也在 1%左右;低破碎化总面积为 0.2 万 km<sup>2</sup>,面积比例始终维持在 5%。

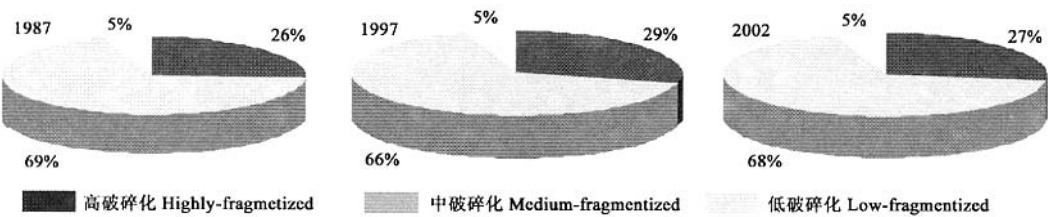


图 4 景观破碎化程度的数量变化(1987、1997、2002 年)  
Fig. 4 The variation of landscape fragmentation(1987,1997,2002)

从 2002 年的现状来看(图 5),则高破碎化区域由大面积草地(60%)、农地(27%)以及少量林地(12%)组成;中破碎化区域的景观类型组成相对复杂,其中农地和草地比例均在 40%左右,林地和裸地比例则在 10%左右;低破碎化区域主要由草地(48%)和林地(42%)组成,农地和裸地比例均在 10%以下。

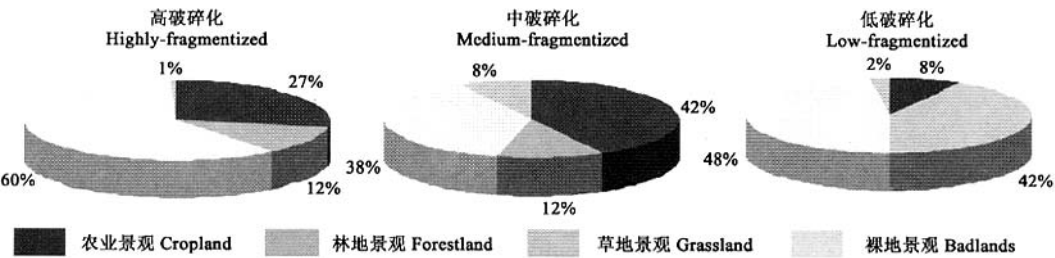


图 5 景观破碎化的类型组成(2002 年)  
Fig. 5 The composition of landscape fragmentation(2002)

由于相同破碎化程度的景观可能具有不同的景观格局,因此破碎化程度与景观类型组成亦存在多种组合。通过对景观破碎化的评价,可知高破碎化区域包括东部的佳县、米脂、子洲,中部的安塞,均为农地和草地为主的农牧二元结构,但草地比例偏大;中破碎化区域如西北部的神木、府谷、横山,偏西的志丹、吴旗和靖边的景观组成虽然也表现为农牧二元结构,但由于农地比例较高,破碎化程度则偏低;而南部的甘泉、洛川,中部的宝塔区、子长、延长、延川以及偏东的吴堡、绥德和清涧虽同属中破碎化区域,但景观组成则表现为农牧林三元结构,其中林地比例较低;低破碎化区域如南部的富县、宜川、黄陵和黄龙也表现为农牧林三元结构,但林地比例较高,但西部的榆阳区、定边却以大面积的草地为主(彩图 I,彩图 II)。

3.3 景观破碎化与景观类型、土壤裸露季节变化

从土壤裸露程度来看,研究区主要可以划分为 4 个区域,其中南部的黄陵、黄龙、宜川、洛川、富县、甘泉以及宝塔区土壤裸露程度最低,取值在 50 以下;中部的安塞、延川、延长以及志丹的土壤裸露偏低,处于 50~150 之间;中部的清涧、子长、西部的靖边、吴旗,北部的横山、榆阳以及神木的土壤裸露程度较高,处于 150~225 之间;而最偏西的定边、最偏北的府谷和东部的吴堡、绥德、子洲、米脂以及佳县的土壤裸露程度最高,处于 225 以上。

为了进一步分析景观破碎化与景观类型、土壤裸露之间的内在联系,本研究定量评价了不同破碎化程度的农地、林地、草地以及裸地的土壤裸露季节变化,从结果来看,破碎化程度对农地的土壤裸露程度影响最大(图 6a),高破碎化的农地的土壤裸露值在 100~150 之间波动,中破碎化的农地的土壤裸露度在 100~140 之间,低破碎化的农地则集中在 100~110 之间。可见破碎化程度对农地的土壤裸露的最大值具有明显的影响,而这种影响又在 5~9 月间最为突出。破碎化程度对林地与草地也有相似的影响(图 6b,c),不同点在于中度破碎化和低度破碎化的影响相对不容易区分;对于裸地,破碎化程度差异的造成土壤裸露全年都变化不大(图 6d)。

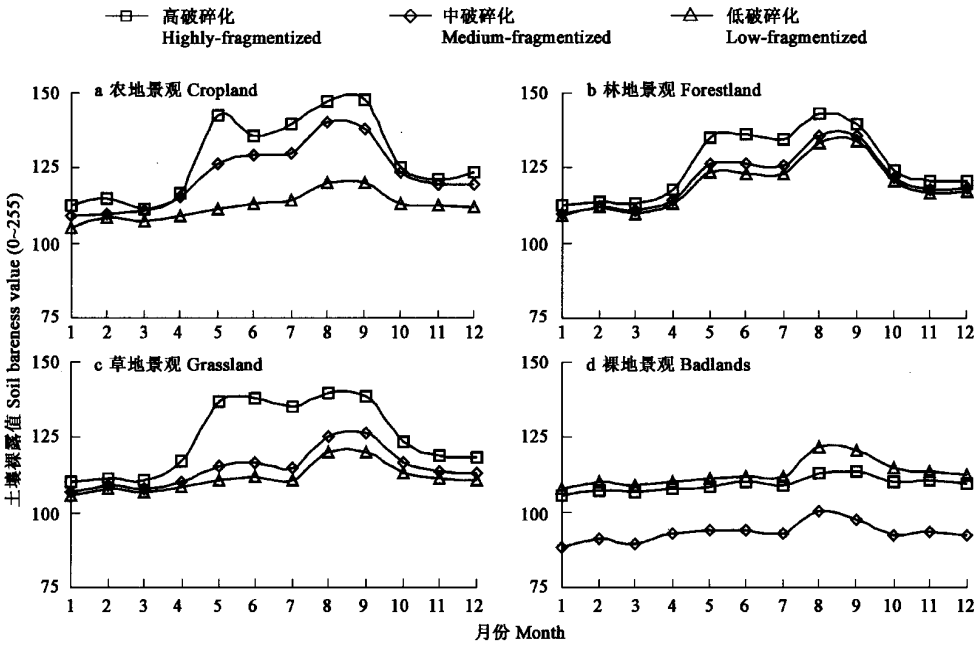


图 6 主要景观类型的土壤裸露季节变化

Fig. 6 The seasonal variation of soil bareness on main landscape type

3.4 景观破碎化与土壤裸露关系

为了定量分析景观破碎化与土壤裸露的关系,本文以陕北 26 个县市作为样本单元,对标准化的土壤裸露值和代表景观破碎化特征的 4 个主因子分别进行散点分析。通过分析可知,斑块密度(图 7a)、景观的空间构型(图 7c)与土壤裸露程度具有一定的线性关系,决定系数在 0.5 左右,而斑块面积变化(图 7b)和斑块形态(图 7d)与土壤裸露则不相关,决定系数均在 0.1 以下。

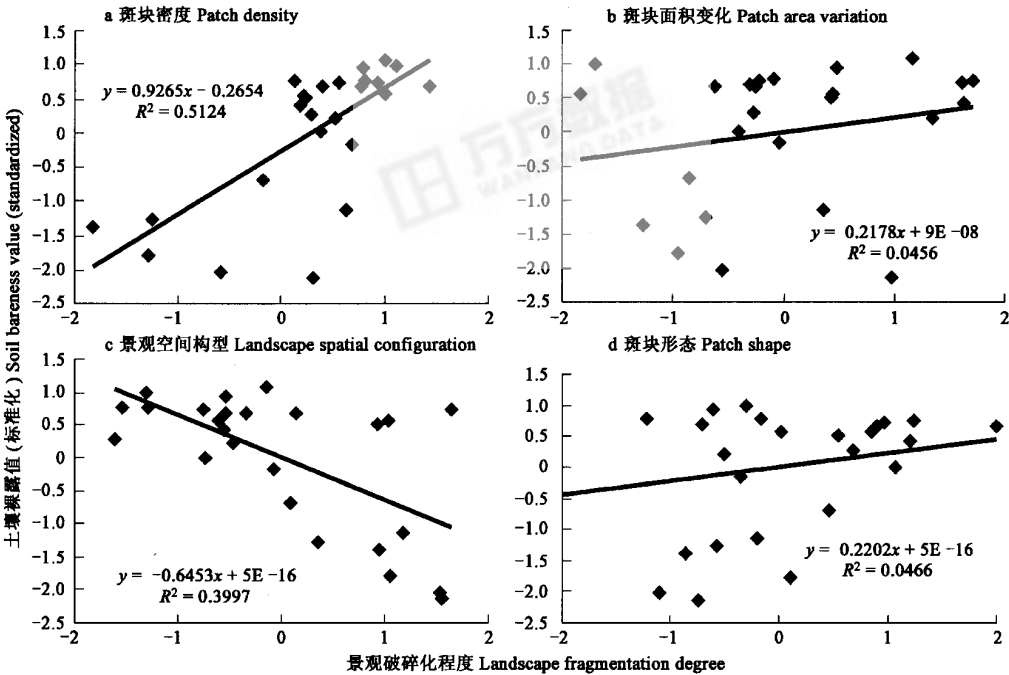


图 7 景观破碎化程度与土壤裸露程度的相关性

Fig. 7 The correlation of fragmentation and soil bareness



#### 4 结论

景观破碎化一直是景观生态研究的热点,但在具体的空间格局特征量化指标上尚缺乏明确的方法。针对上述问题,结合景观格局指数与主成分分析,可有效的反映与破碎化关系较密切的景观格局特征并加以量化,有助于加强对空间格局与景观效应间关系的认识。

通过主成分分析,当前用以量度破碎化程度的景观格局指标中,可用于反映陕北黄土高原破碎化特征的主要是斑块密度类指标。基于破碎化分析结果可知,目前陕北黄土高原东部的佳县、米脂、子洲,中部的安塞的破碎化程度较为严重,是未来迫切需要进行格局优化的区域。

从景观类型组成来看,破碎化较高的区域其景观类型多以农牧景观为主,且随着草地比例的上升,破碎化程度增加,而林地比例的上升则有助于减少区域景观破碎化程度;从景观破碎化与景观类型、土壤裸露季节变化的关系来看,破碎化对农地、林地以及草地的植被年内恢复具有明显的影响,其中具有高破碎化特征的景观类型土壤裸露值明显高于低破碎化的同类型景观;从景观破碎化格局特征与土壤裸露的关系来看,则以涵括相似邻接比、聚合指数、边界密度、散布毗邻指数的景观空间构型因子与土壤裸露的相关性最为明显。

基于分析结果,可知陕北黄土高原景观破碎化受景观类型及组合的影响,但同时也对各景观类型的年内土壤裸露程度变化有一定的指示意义,故建议在未来的景观生态建设中,需要基于空间构型特征的景观格局评价指标,对景观破碎化内在的格局成因加以分析,并通过降低相关景观类型的土壤裸露程度,最终达到降低区域破碎化水平和水土流失风险的景观优化目标。

#### References:

- [1] Turner M G and Ruscher C L. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecology*, 1988, **1**(4): 241~251.
- [2] Turner M G and Gardner R H. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York: Springer-Verlage, 1991. 105~126.
- [3] Bu R C, Wang X L, Xiao D N. Analysis on landscape elements and fragmentation of Yellow River delta. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(3): 321~324.
- [4] Xiao D N, Bu R C, Li X Z. Spatial ecology and landscape heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(5): 453~461.
- [5] He N P, Zhou D W, Wu L, *et al.* Impact of human disturbance on fragmentation of village level landscape. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(6): 897~899.
- [6] Forman R T T and Godrn M. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley and Sons, 1986. 335~341.
- [7] WU Z J, LI Y M. Effects of habitat fragmentation on survival of animal populations. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(11): 2424~2435.
- [8] Chen L D, Liu X H and Fu B J. Evaluation on giant panda habitat fragmentation in Wolong Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(3): 291~297.
- [9] Wickham J D, O'Neill R V, Jones K B. Forest fragmentation as an economic indicator. *Landsc. Ecol.*, 2000, **15**: 171~179.
- [10] Entwisle B, Walsh S J, Rindfuss R R, *et al.* Land-use/land-cover and population dynamics, NangRong, Thailand. In: Liverman, D., Moran, E. F., Rindfuss, R. R., *et al.* Eds. *People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science*. Washington, DC: National Academy Press, 1998. 121~144.
- [11] Southworth J, Nagendra H, Tucker C M. Fragmentation of a landscape; incorporating landscape metrics into satellite analyses of land cover change. *Landsc. Res.*, 2002, **27**: 253~269.
- [12] Nagendra H, Southworth J, Tucker C M. Accessibility as a determinant of landscape transformation in western Honduras; linking pattern and process. *Landsc. Ecol.*, 2003, **18**(2): 141~158.
- [13] Fu B J. The spatial pattern analysis of agricultural landscape in the loess area. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(2): 113~119.
- [14] Wang Z L, Shao M A. On commonness and specialty of soil erosion in typical regions of the Loess plateau. *Journal of Mountain Science*, 2001, **19**(1): 87~91.
- [15] Liu K, Zhao M H, Ma N X, *et al.* Eco-environmental Features and Ecological Construction of Baota District. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2002, **22**(1): 68~75.
- [16] Xu Y, Xu J X, Fang J F. Developmental strategies, restricted factors and economic characters of rural areas in central hilly-gully region on loess plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, **7**(2): 14~21, 29.
- [17] Ichoku Charles, Karnieli Arnon. A review of mixture modeling techniques for sub pixel land cover estimation. *Remote Sensing Review*, 1996, **13**: 161~186.
- [18] Metternicht G, Fermont A. Estimating erosion surface features by linear mixture modeling. *Remote Sensing Environment*, 1998, **64**: 254~265.
- [19] Neil Stuart Lucas, Sanjeevi Shanmugam, Mike Barnsley. Sub pixel habitat mapping of a coastal dune ecosystem. *Applied Geography*,

2002, **22**:253~270.

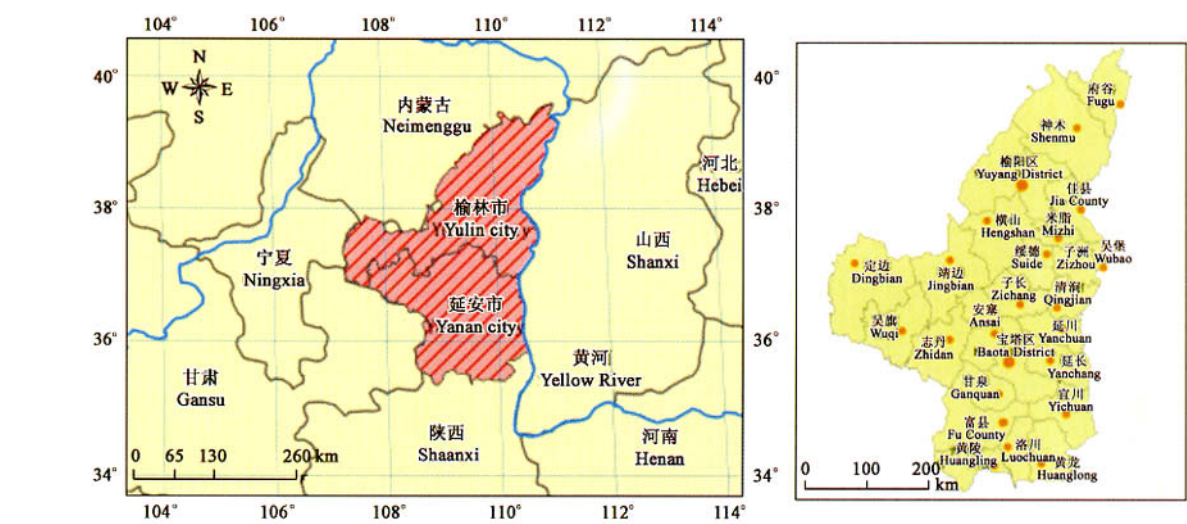
- [20] Roberts D A, Smith M O, Adams J B. Green vegetation, nonphotosynthetic vegetation, and soils in AVIRIS data. *Remote Sensing Environment*, 1993, **44**:255~269.
- [21] Hill J, Hoster P, Tsiourlis G, *et al.* Monitoring 20 years of increased grazing impact on the Greek Island of Crete with earth observation satellites. *Journal of Arid Environments*, 1998, **39**:165~178.
- [22] Adams J B, Smith M O, Johnson P E. Spectral mixture modeling: a new analysis of rock and soil types at the Viking Lander I Site. *Geophys. Res.*, 1986, **91**:8098~8112.
- [23] Wang Y L. *Pattern and Process*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995. 437~441.
- [24] Fu B J, Chen L D, Ma K M, *et al.* eds. *Landscape ecology: theory and applications*. Beijing: Science Press, 2001. 105~108.
- [25] Xiao D N. Indexing spatial structure of landscape: a methodological exploration. In: Xiao D N ed., *Landscape Ecology: Theory, Methods and Applications*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1991. 92~98.
- [26] Wu J G, Jelinski D E, Luck Matt, *et al.* Multiscale Analysis of Landscape Heterogeneity: Scale Variance and Pattern Metrics. *Geographic Information Sciences*, 2000, **6**(1):6~19.
- [27] Wang X L. Analysis of wetland landscape changes in Liaohel Delta. *Scientia Geographica Sinica*, 1996, **16**(3):260~265.
- [28] Ma K M, Fu B J. Landscape pattern and fragmentation in Donglingshan mountain region. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(3):320~326.
- [29] Wu Y G. The Quantity Method for Landscape Ecology. In: Liu J G, *General Discussion of Modern Ecology*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1992. 209~233.

#### 参考文献:

- [3] 布仁仓, 王宪礼, 肖笃宁. 黄河三角洲景观组分判定与景观破碎化分析. *应用生态学报*, 1999, **10**(3):321~324.
- [4] 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 生态空间理论与景观异质性. *生态学报*, 1997, **17**(5):453~461.
- [5] 何念鹏, 周道玮, 吴冷, 等. 人为干扰强度对村级景观破碎度的影响. *应用生态学报*, 2001, **12**(6):897~899.
- [7] 武正军, 李义明. 生境破碎化对动物种群存活的影响. *生态学报*, 2003, **23**(11):2424~2435.
- [8] 陈利顶, 刘雪华, 傅伯杰. 卧龙自然保护区大熊猫生境破碎化研究. *生态学报*, 1999, **19**(3):291~297.
- [13] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析. *生态学报*, 1995, **15**(2):113~119.
- [14] 王占礼, 邵明安. 黄土高原典型地区土壤侵蚀共性与特点. *山地学报*, 2001, **19**(1):87~91.
- [15] 刘康, 赵麦焕, 马乃喜, 等. 宝塔区生态环境特征及其生态建设研究. *水土保持通报*, 2002, **22**(1):68~75.
- [16] 徐勇, 徐炯心, 房金福. 黄土高原中部丘陵区(中尺度)农村经济特征制约因素与发展对策. *水土保持研究*, 2000, **7**(2):14~21, 29.
- [23] 王仰麟. 格局与过程. 北京: 中国科技出版社, 1995. 437~441.
- [24] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001. 105~108.
- [25] 肖笃宁. 景观空间结构的指标体系和研究方法. 见: 肖笃宁主编, 景观生态学. 北京: 中国林业出版社, 1991. 92~98.
- [27] 王宪礼. 辽河三角洲湿地的景观变化分析. *地理科学*, 1996, **16**(3):260~265.
- [28] 马克明, 傅伯杰. 北京东灵山地区的景观格局及其破碎化评价. *植物生态学报*, 2000, **24**(3):320~326.
- [29] 伍业刚. 景观生态学的数量研究方法. 见: 刘建国, 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 209~233.

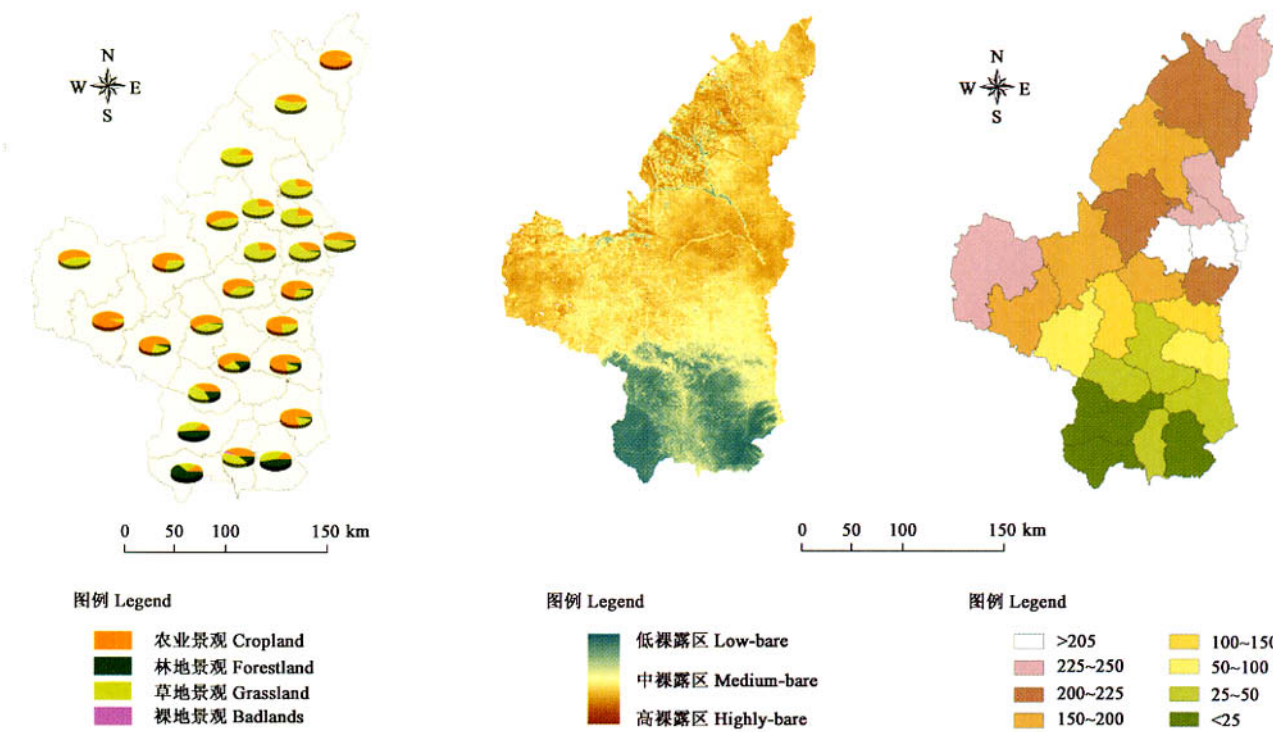
李正国, 等：陕北黄土高原景观破碎化及其土壤裸露效应

LI Zheng-Guo, *et al*: Landscape fragmentation and soil bareness study in North Shaanbei Loess Plateau



图版 I 研究区位置及行政区划

Plate I The location and regionalism of study area



图版 II 景观类型组成分布

图版 III 土壤裸露信息提取及分布

Plate II The distribution of landscape class

Plate III The collection and distribution of soil bareness