

95.05(2)  
113-120

15075(1)

10273x 03 123

# 黄土区农业景观空间格局分析\*

傅伯杰

(中国科学院生态环境研究中心, 北京, 100085)

113-120  
P901

A

**摘要** 景观空间格局分析是景观生态学研究的核心问题之一。本文用地理信息系统、分维分析和统计分析相结合,以1:1万土地利用现状图为基础,选取斑块大小、分维数、斑块伸长指数、多样性、优势度、相对丰富度、破碎度等指标,研究了陕北米脂县泉家沟流域农业景观的空间格局。结果显示,乔木林地、坡耕地、果园、草地和梯田农地的分维数较低,坝地、水库、灌溉农田、居住地和灌木林地的分维数较高,斑块形状较为复杂。随着斑块面积的增加,农地(包括坝地、灌溉农田、梯田农地和坡耕地)的分维数呈波浪式微弱增加,草地的分维数呈波浪式波动,林地(乔木林和灌木林)的分维数呈上升趋势。通过对沟间地和沟谷地农业景观空间格局的比较研究,得出沟间地景观多样性、相对丰富度、破碎度低,优势度高,沟谷地多样性、相对丰富度、破碎度高,优势度低。建议在沟间地生态敏感的地形转换带种植灌木林,建立生态廊道,提高多样性,控制水土流失,增强景观连接性。

**关键词:** 农业景观, 空间格局, 分维分析, 地理信息系统, 多样性。

景观生态学

景观是具有高度空间异质性的区域,它是由相互作用的斑块以一定的规律组成的。景观空间格局分析是景观生态学研究的核心之一。景观格局及其变化和发展是自然、生物和社会要素相互作用的结果,景观斑块的形状、大小、数量和空间组合影响着生物物种的分布、动物的运动、径流和侵蚀等生态过程和边缘效应<sup>[1]</sup>。因此,景观空间格局分析有助于探讨景观格局和生态过程的相互关系。

以往的研究注重于景观空间格局定量指标的建立和完善<sup>[2-4]</sup>,景观空间格局的测定和统计<sup>[5,6]</sup>。本项研究将地理信息系统和景观空间分析模型相结合,用地理信息系统显示景观的空间分布,用定量模型测定景观的空间格局。

农业景观比自然景观具有更大的变异性,它既受到自然环境的制约,又受到人类活动和社会经济条件的影响和干预。黄土区农业景观空间格局的研究有利于了解景观格局与自然、生态过程和社会经济活动之间的关系,对于黄土高原土地资源合理利用,景观生态设计、土地利用规划和控制水土流失有其重要意义。

## 1 研究区域

研究区域位于陕北米脂县泉家沟流域,属典型的黄土丘陵沟壑区。在泉家沟流域内选取990m×1130m的区域作为研究区域(见图1)。区域内梁峁起伏、沟壑纵横,地形破碎,沟壑密度4.66kg/km<sup>2</sup>,椭圆形的黄土峁由分水鞍部相连,形成峁状长梁地貌类型。研究区域的数字高程模型(DEM)见图2。区域内土壤以黄绵土为主,土壤结构为粉质壤土,抗蚀性差,水土流失严重,属极强侵蚀类型区。流域的自然植被破坏殆尽,垦殖指数高,经过近几年的流域治理,农业景观已发生了变化,土地利用以梯田农地、坡耕地、灌木林地和草地为主。

\* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期:1994 01 27。

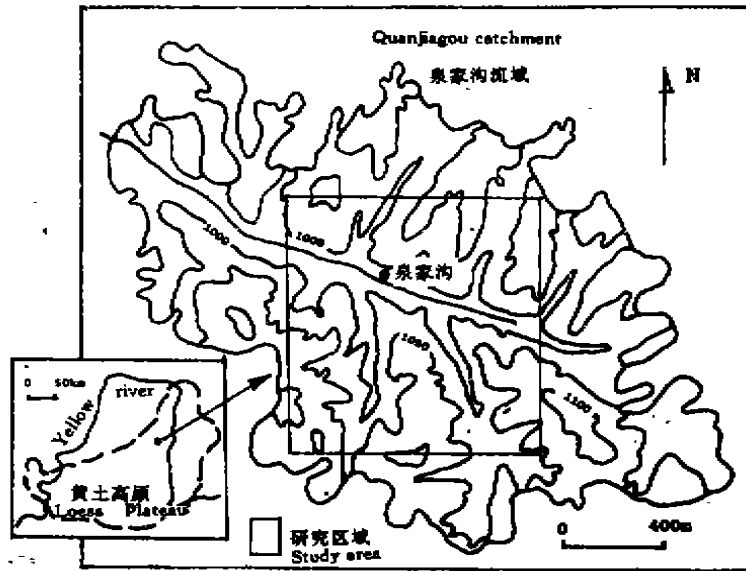


图 1 研究区域位置图

Fig. 1 Location map of the study area

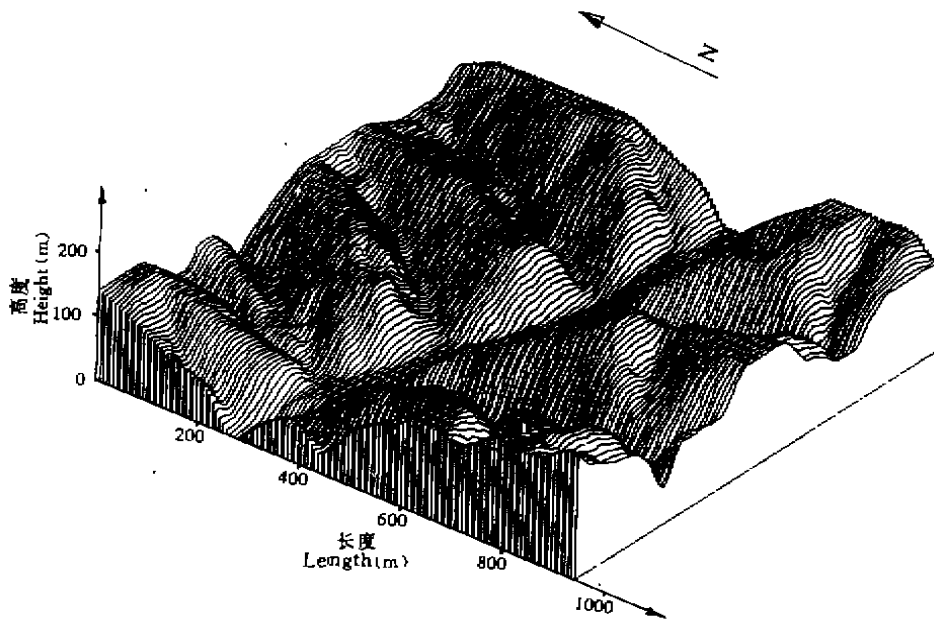


图 2 研究区域数字高程模型

Fig. 2 Digital elevation model (DEM) in the study area

## 2 研究方法

本研究以泉家沟流域 1:1 万土地利用现状图<sup>[7]</sup>作为基本分析图件。应用 TOSCA 软件数字化输入土地利用图,产生矢量数据文件。在 IDRISI 地理信息系统支持下<sup>[8]</sup>,应用数据转换模型将矢量文件转换为栅格文件,栅格面积为 10m×10m,研究区域共划分为 99×113 个栅格。根据研究目的,用“RECLASS”命令将土地利用现状分为灌溉农田、坝地农田、梯田农地、坡耕地、果园、草地、灌木林地、乔木林地、水库和居住用地 10 个类型。计算机输出的土地利用图见图 3,各类用地面积占总面积的比例见表 1。研究区域景观共有 117 个斑块,下列景观空间格局特征被分析和计算。

表 1 各类土地用地面积及比例

Table 1 The area and proportion of different land use types

土地利用类型 Land use types	面积(hm <sup>2</sup> ) Area	占总面积的比例(%) Percent
灌溉农田 Irrigated farmland	0.51	0.46
坝地农田 Check-dam farmland	4.95	4.42
梯田农地 Terrace farmland	29.20	26.10
坡耕地 Slope farmland	18.44	16.49
果园 Orchard	8.12	7.26
草地 Grassland	10.05	8.99
灌木林地 Bush	21.36	19.09
乔木林地 Forest	5.14	4.59
水库 Reservoir	0.56	0.50
居住用地 Residential land	13.54	12.10

2.1 斑块面积( $A$ )和斑块周长( $P$ ) 斑块的大小直接影响生物量、养分贮量及物种组成。

2.2 分维数(Fractal dimension)。用来测定斑块形状的复杂程度。分维几何中斑块面积和周长的关系被定义为<sup>[9]</sup>;

$$P = k(A^{D/2}) \quad (1)$$

对于单个正方形斑块,常数  $k$  等于 4, 则:

$$P = 4(A^{D/2}) \quad (2)$$

$$\text{且 } D = 2 \log(P/4) / \log(A) \quad (3)$$

式中  $D$  表示分维数,  $P$  为斑块周长,  $A$  为斑块面积。  $D$  值的理论范围为 1.0—2.0, 1.0 代表形状最简单的正方形斑块, 2.0 表示等面积下周边最复杂的斑块。

2.3 斑块伸长指数( $G$ )<sup>[10]</sup>为:

$$G = P / \sqrt{A} \quad (4)$$

正方形斑块  $G$  值等于 4,  $G$  值越大, 斑块形状越长。

2.4 多样性 根据信息论原理, 景观多样性指数表示为:

$$H = - \sum_{i=1}^m (P_i) \cdot \ln(P_i) \quad (5)$$

式中  $H$  为多样性指数,  $P_i$  是景观类型  $i$  所占面积的比例,  $m$  为景观类型的数目,  $H$  值越大, 表示景观的多样性越大。

2.5 优势度(Dominance) 用于测度景观结构中一种或几种景观类型支配景观的程度, 表达式是<sup>[2]</sup>:

$$\begin{aligned} D_0 &= H_{\max} - H \\ &= H_{\max} + \sum_{i=1}^m (P_i) \cdot \ln(P_i) \end{aligned} \quad (6)$$

式中  $H_{\max}$  表示最大多样性指数,  $H_{\max} = \ln(m)$ 。  $D_0$  值小时, 表示景观是由多个比例大致相

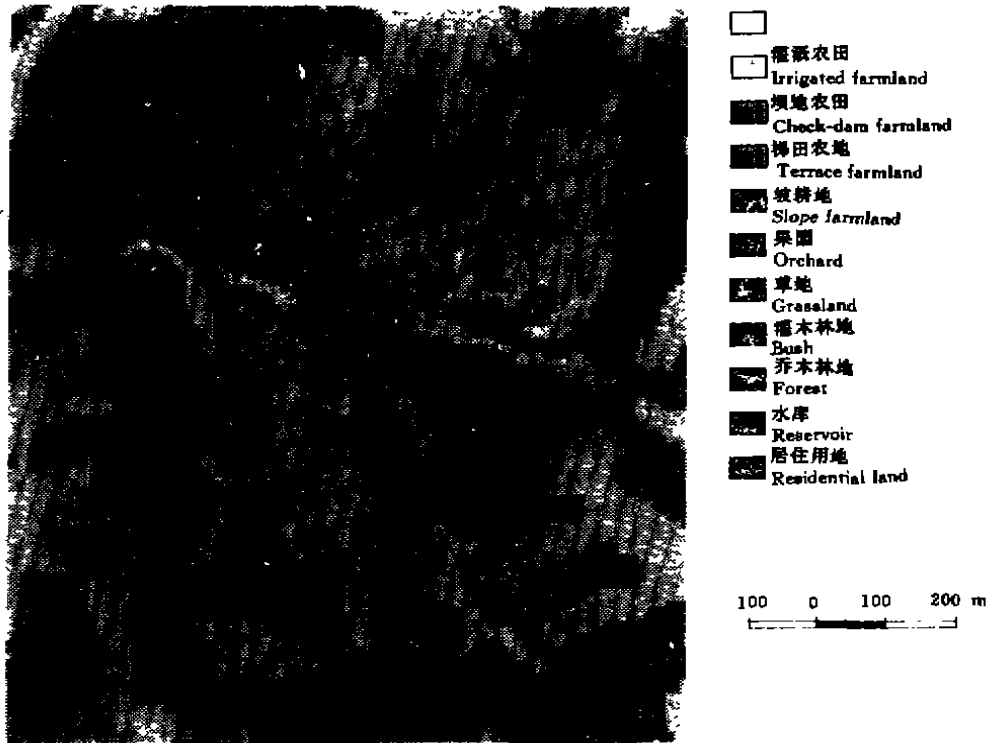


图3 研究区域的土地利用图

Fig. 3 Land use in the study area

等的类型组成,  $D_0$  值大时, 表示景观只受一个或少数几个类型所支配。这个指标在完全同质性的景观中 ( $m=1$ ) 是无用的, 此时  $D_0=0$ 。

2.6 相对丰富度 ( $R$ ) 表示景观中景观类型的丰富程度<sup>[11]</sup> 由下式表示

$$R = (M/M_{\max}) \times 100\% \quad (7)$$

式中  $M$  表示景观中现有的景观类型,  $M_{\max}$  表示最大可能的景观类型。  $R$  值愈大, 相对丰富度愈大。

2.7 景观破碎度 ( $F$ ) 表示景观的破碎化程度<sup>[12]</sup>

$$F = [(N-1)/C] \times 100\% \quad (8)$$

式中  $N$  是景观中斑块的总数,  $C$  为景观数据矩阵的方格网中栅格的总数。  $F$  值越大, 景观破碎化程度越大。

### 3 结果与讨论

在 IDRISI 地理信息系统支持下, 用“GROUP”程序将土地利用现状图转换为景观斑块图, 并用模型分别计算出每一斑块的面积和周长。将计算出的面积和周长属性文件转换为 LOTUS 中的数据文件, 进行统计分析和分维分析。统计出每一土地利用类型的斑块数, 平均斑块面积。根据(3)式计算出每一斑块的的分维数和每一土地利用类型斑块的平均分维数。根据(4)式计算出每一斑块的伸长指数和每一土地利用类型斑块的平均伸长指数。计算和分析结果见表 2。

表 2 斑块面积、周长和形状分析

Table 2 The area, perimeter and shape of patches

土地利用类型 Land use types	斑块数 Patch number	占斑块总 数的(%) Percent	平均斑块 面积(m <sup>2</sup> ) Mean patch area	平均斑块周长 Mean patch perimeter (m)	平均斑块 分维数 Mean patch fractal dimension	平均斑块 伸长指数 Mean patch elongation index
灌溉农田 Irrigated farmland	3	2.57	1700	2933	1.35	6.19
坝地农田 Check-dam farmland	7	5.98	7071	8200	1.39	9.40
梯田农地 Terrace farmland	19	16.24	15368	8137	1.24	6.64
坡耕地 Slope farmland	20	17.09	9220	6740	1.20	6.67
果园 Orchard	3	2.57	27067	11667	1.23	7.33
草地 Grassland	42	35.90	2393	2714	1.23	5.70
灌木林地 Bush	13	11.11	16431	11446	1.29	8.21
乔木林地 Forest	7	5.98	7343	5229	1.18	6.03
水库 Reservoir	1	0.85	5600	6000	1.35	8.02
居住用地 Residential land	2	1.71	67700	31600	1.30	10.93

从表 2 中得出,在各类土地利用类型中,灌溉农田的平均斑块面积最小,其次是草地。由于本区降雨少,为半干旱区,地形复杂,具备灌溉条件的农田面积小,仅位于主沟道沟底平坦的阶地上,地块少。因而,灌溉农田的平均斑块面积最小。草地主要为荒草坡地,人工草场面积有限,在流域治理和土地开垦过程中,随着梯田、灌木林和乔木林地的增加,以及较缓坡地的开垦,草地的斑块数增加(研究区域内草地斑块数目最大,为 42 个,占斑块总数的 35.9%),但草地斑块的平均面积则降低。所以,草地的平均斑块面积较小。居住用地的平均斑块面积最大,其次为果园、灌木林地和梯田农地。这些景观类型都是人工化的景观,居住地主要是泉家沟村,沿沟道边缘集中连片。果园、灌木林地和梯田都是在流域治理过程中人工栽植和修筑的,集中栽植果木和灌木,便于管理,而修筑梯田则集中于某些丘陵坡地,逐年扩展。所以,这些景观类型的平均斑块面积较大。

分维分析的结果是,坝地、水库、灌溉农田、居住用地和灌木林地的平均斑块分维数较高,在 1.29 以上,表明斑块形状较为复杂。这些景观类型大都分布于沟谷地中,斑块形状取决于自然地貌的平面形态。例如,坝地和水库都是在沟谷打坝,或淤地、或截流,灌木林地是在沟谷封山育林,灌木沿沟分布,它们的斑块形态取决于沟谷的平面形状,在黄土丘陵沟壑区,多呈复杂形状。灌溉农田和居住用地沿沟底和沟缘分布,也取决于沟底或沟边的形状。所以,它们的  $D$  值较高。乔木林地、坡耕地、果园、草地和梯田农地的平均斑块分维数较小,小于 1.24,表明斑块形状较为简单。这些景观类型大都分布于沟间地上,位于脊梁坡和顶部。在地貌形态和人类

活动的制约和影响下,它们的斑块形状较为简单。乔木林地虽位于沟坡,但由于研究区域内适于营造乔木林的立地面积有限,加之造林时人为控制取直林地的边缘,因此,乔木林地的斑块形状简单。平均斑块伸长指数的计算结果显示,居住用地、坝地、灌木林地、水库的斑块伸长指数值大,草地、乔木林地、梯田和坡耕地的斑块伸长指数值小。前者多分布于沟谷地中,沿沟分布,形状狭长;后者多分布在沟间地上,成片分布,形状方圆。它们与平均斑块分维数大小的原因有一定的类似性。

通过对斑块面积与斑块分维数关系的统计分析,在研究区域内,随着农田(包括灌溉农田、坝地、梯田农地和坡耕地)斑块面积的增加(即  $\log A$  增加),分维数( $D$ )总的趋势是呈波浪式微弱增加(见图4)。农田斑块面积在  $2700\text{m}^2$  到  $5800\text{m}^2$  之间( $\log A=3.41$  到  $3.76$ ),分维数基本在 1.20 左右,最小值为 1.14,最大值 1.24。说明斑块形状复杂程度相当,都较为简单。草地斑块大多数面积在  $800\text{m}^2$  到  $3100\text{m}^2$  ( $\log A=2.90$  到  $3.49$ ) 之间,占草地斑块总数的 57.1%。而农田和森林斑块面积的大小差别较大。随着草地斑块面积的增加,分维数在 1 到 1.5 之间呈波浪式上下变化(见图4)。随着森林(包括灌木林和乔木林)斑块面积的增加,分维数总体上呈上升趋势,但增幅不大。森林斑块面积从  $5600\text{m}^2$  ( $\log A=3.75$ ) 到  $86100\text{m}^2$  ( $\log A=4.94$ ),分维数增加明显,从 1.06 到最高 1.45(见图4)。

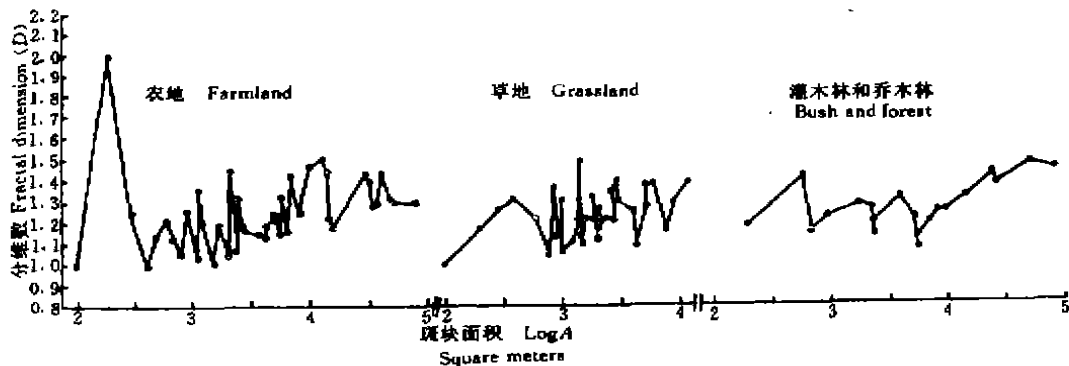


图4 斑块面积( $\log A$ )与斑块分维数的关系

Fig. 4 Fractal dimension of patches against log of area ( $\text{m}^2$ ) for farmland, grassland and forest

在研究区域内,选取了等面积( $150\text{m} \times 150\text{m}$ )的沟间地(A)和沟谷地(B)景观样区(见图5)进行多样性、优势度、相对丰富度和景观破碎度的比较研究,结果见表3。

研究结果表明,沟间地景观多样性低、优势度高、相对丰富度和破碎度低;沟谷地景观多样性高、优势度低,相对丰富度和破碎度高。一般来讲,沟间地只分布有梯田农地、坡耕地和草地等景观类型,而沟谷地分布有坝地、坡耕地、草地、灌木林地和乔木林地,景观类型多,相对丰富度高、多样性指数大,破碎度大,优势度低,受多种类型的景观支配。通过研究,根据景观生态学中连接性和网络结构等原理,以及景观结构对坡面径流和水土流失的影响,在沟谷地上,要逐渐增加景观类型,提高景观多样性。特别是在梁岭顶与梁岭坡,以及梁岭坡与沟坡的地形转换线周围,也是水土流失类型由溅蚀、片蚀到细沟侵蚀,浅沟侵蚀以及到沟谷和重力侵蚀的转换带上<sup>[13]</sup>,栽植数十米宽的灌木林带。既能有效地控制土壤侵蚀,保持水土;又能建造长形的生态廊道,与现有的灌木和林地构成网络,有利于生物物种和动物的迁徙和本地种的恢复和保护。

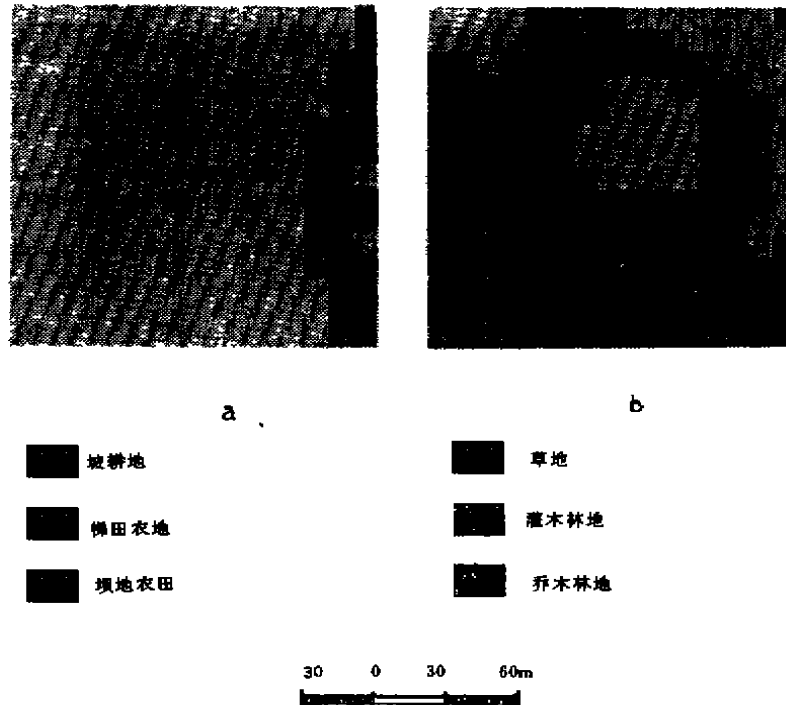


图 5 沟间地和沟谷地景观样区(a. 沟间地, b. 沟谷地)

Fig. 5 Sample landscapes of gully land (b) and between gully land(a)

表 3 沟间地和沟谷地景观多样性、优势度、相对丰富度和破碎度的比较

Table 3 The diversity, dominance, relative richness and fragmentation of gully land and land between gullies

景观样区 Sample landscapes	多样性 Diversity	优势度 Dominance	相对丰富度(%) Relative richness	破碎度(%) Fragmentation
沟间地 Land between gullies	0.7863	0.3123	30	2.2
沟谷地 Land within the gully	1.3065	0.3029	50	3.6

地理信息系统和分维分析、统计分析相结合是研究景观空间格局的有力方法和工具,它不仅可进行定量分析和计算模拟,而且还可进行图形图像显示。景观空间格局分析的指标和方法亦可对森林、城市等景观进行分析和研究,这一研究对理论生态学和资源管理都有重要意义。

### 参 考 文 献

- 1 Turner M G. Spatial simulation of landscape change in Georgia: A comparison of 3 transition models. *Landscape Ecology*, 1987, 1: 29—36
- 2 O'Neill R V, Krummel J R Gardner R H, et al. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, 1: 153—162
- 3 Li H and Reynolds J F. A new contagion index to quantify spatial pattern of landscapes. *Landscape Ecology*, 1993, 8: 155—162
- 4 Olsen E R, Ramsey R D and Winn D S. A modified fractal dimension as a measure of landscape diversity. *Photogram-*

- metric Engineering & Remote Sensing*, 1993, **59**, 1517—1520
- 5 Jr J L. Assessing patch shape in landscape mosaics. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1991, **57**, 285—293
  - 6 Gustafson E J and Parker G R. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology*, 1992, **7**, 101—110
  - 7 中国科学院西北水土保持研究所. 黄土高原综合治理试验示范区专题地图集. 北京, 测绘出版社, 1991
  - 8 Eastman J R. IDRISI version 4. 0. Clark University, USA, 1992
  - 9 Peitgen H O and Sanpe D. (editors). *The Science of Fractal Images*. Springer-Verlag, New York, 1988, 312
  - 10 Carrere V. Development of multiple source data processing for structural analysis at a regional scale. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1990, **56**, 587—595
  - 11 Turner M G. Landscape ecology, the effect of pattern on process. *Annu. Rev. Ecol. Sys.* 1989, **20**: 171—197
  - 12 Monmonier M S. Measures of Pattern complexity for choropleth maps. *The American Cartographer* 1974, **1**(2): 159—169
  - 13 Fu Bojie, Gulinck H and Wang X. The study on soil erosion types and processes in the loess hilly and gully area of China. *Journal of Environmental Science*, 1995, **7**(3)

## THE SPATIAL PATTERN ANALYSIS OF AGRICULTURAL LANDSCAPE IN THE LOESS AREA

Fu Bojie

(Research Centre for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085)

The agricultural landscape is a mosaic of natural and human-managed patches that vary in size, shape and arrangement. These spatial patterns in the landscape may influence a variety of ecological phenomena. Therefore, the analysis of landscape spatial patterns is an important component of understanding ecological dynamics. A geographic information system (GIS), fractal analysis, and statistical methods were used to examine the spatial patterns of agricultural landscape in the loess area of China. 1:10000 land use map of study area was digitized for analysis, ten land use categories were included: irrigated farmland, check-dam farmland, terrace farmland, slope farmland, orchard, grassland, bush, forest, reservoir and residential land. The size of patches, fractal dimension of patches, patch elongation index, diversity, dominance, relative richness and fragmentation index of landscapes of gully and between gully were calculated by models and GIS. Along with the increase of patch area, the shapes of farmland and forest patches have a change tendency from simple to complex, the shapes of grassland vary at random. Finally, a suggestion to plant buffer on the zones between hill top and hill slope and hill slope to gully slope was put forward so as to control soil erosion and improve landscape connectivity.

**Key words:** agricultural landscape, spatial pattern, fractal analysis, GIS, diversity.