

基于 RS 与 GIS 的区域景观镶嵌结构研究

徐建华¹, 方创琳², 岳文泽¹

(1. 华东师范大学地理系、教育部城市与环境动态过程开放实验室, 上海 200062; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:以兰州市西固区为区域背景, 以 RS 和 GIS 为技术手段, 按照地貌特征将研究区划分为四个分区, 运用多样指数、优势度、破碎度、分离度等指标研究区域景观镶嵌结构的数量特征; 运用分形理论建立各种景观类型形态的分形结构模型, 以分维数为依据分析各种景观形态的复杂性; 探讨控制和影响区域景观格局的主要因素。

关键词:景观镶嵌结构; 分形; 兰州市西固区

An analysis of the mosaic structure of regional landscape using GIS and remote sensing

XU Jian-Hua¹, FANG Chang-Lin², YUE Wen-Ze¹ (1. The Key Laboratory of Urban & Environment Geocomputation, PRC's Department of Education; Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062. 2. Geography & Resources Institute of China Academy of Science, Beijing 100101). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 365~375.

Abstract: Based on the application of GIS, remote sensing and quantitative methods, this paper studies the landscape mosaic structure of the Xigu district in the city of Lanzhou. First, the region's landscape of TM image was classified into ten types of land use patterns, they are: farmland, orchard, grassland, woodland, scattered woodland, bare land, water area, urban area, rural settlement, and industrial area far from settlement. Next, the classified information together with surveyed data was served as the inputs of a geographical information system. Then, a digital elevation model (DEM) and landscape mosaic map was processed in a GIS environment, which was followed by a subdivision of the region into four categories: valley area, northern mountain area, southern mountain area, and dais area. Finally, each of those areas was analyzed in terms of diversity, dominance, fragmentation, isolation and fractal dimension, with their results given below:

(1) Due to its flat terrain, convenient transportation, short distance to rivers, the valley area has been recognized as the center of human activities. This area is revealed with high values in the diversity and fragmentation indices as well as a low dominance figure as results of its flat terrain, low altitude and convenient irrigation. Though, few landscapes show strong dominance, their diversity indices are usually low due to mountainous steep slope and high altitude. On the other hand, farmland, grassland and

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40171069); 上海市教委局管基金资助项目(00JG05040)

收稿日期:2001-07-20; **修订日期:**2002-04-29

作者简介:徐建华(1964~), 男, 教授。主要从事地理数量方法与 GIS 方面的研究和教学。E-mail: xjh6404@sohu.com.

Foundation item: Funded by NSFC(No. 40171069) and Foundation of Education Administration of Shanghai Municipal Government(No. 00JG05040)

Received date: 2001-07-20; **Accepted date:** 2002-04-29

Biography: XU Jian-Hua, Professor. Engaging in research and teaching of Computation Geography and Geographic Information System(GIS).

woodland dominate the southern mountain area, and grassland dominates the northern mountain area. Due to its composition of more farmland, orchard and rural settlement landscape patches, the dais area's diversity and dominance indices come in between those of the valley and the mountain areas.

(2) In general, the isolation indices for man-made and semi-made landscapes, such as rural settlement, farmland, orchard, are low in the valley area and the dais area, and high in the mountain area. The grassland shows a relatively large isolation index in the valley and dais areas, a smaller index in the south mountain area, and the smallest one in the north mountain area. On the other hand, the woodland has the smallest isolation index in the south mountain area and a relatively larger one in the valley area and dais area, but does not exist in the north mountain area. For the bare land, however, its smallest isolation index is revealed with the north mountain area, the second smallest is associated with the valley area, a relatively larger one with the dais area, and the largest one with the south mountain area.

(3) Different fractal dimensions of each landscape show the patch forming itself in the same geomorphologic area. Fractal dimensions of same landscape in different geomorphologic areas are different; the differences show the influences of different landforms to the same landscape. The fractal dimensions of the man-made and semi-made landscapes, such as rural settlement, plant, farmland and orchard in mountain areas, are higher than those in valley and dais areas, but the fractal dimensions of woodland and grassland in valley and dais areas are lower than those in mountain area.

(4) The main factors that control and affect the pattern of landscape are climate, landform, river, railway, roads, and human activities. The important countermeasure of landscape optimum management is to convert farmland in the southern mountain area with the slope greater than 25° to woodland and grassland; the farmland in the sunny side of the southern mountain area with the slope greater than 25° should be converted to grassland, but those in the shade side be converted to woodland. The farmland with the slope greater than 25° in the north mountain area should be converted to grassland.

Key words: landscape; mosaic structure; RS and GIS; Xigu district in Lanzhou city

文章编号:1000-0933(2003)02-0365-11 中图分类号:P208,Q149 文献标识码:A

景观,是由一系列不同的土地单元或生态系统镶嵌构成,且具有明显视觉特征的地理实体^[1],它是生态学与地理学共同的研究对象^[2]。地理学主要强调景观的空间性、区域性和综合性,而生态学(景观生态学)则主要强调景观的异质性、物质性和视觉性^[3]。在一个特定的地域空间上,各种景观相互交错、重复出现、嵌套分布,就形成了一个景观镶嵌体^[4]。景观镶嵌体的结构、功能及其演化规律,是景观生态学研究的核心问题^[1~10]。

城郊景观是一种特殊的景观镶嵌体,其结构、功能及其演化过程,明显地区别于其它景观镶嵌体。在城市的辐射作用下,城郊景观镶嵌体的结构和功能不断地多元化,演化过程趋于快速化^[5]。因此,城郊景观研究更受学术界重视。位于黄河上游中段、甘肃中部干旱区的兰州市西固区,是一个典型的工农结合、城乡交错的县级行政区域。该区自然生态环境脆弱,人类活动强度大,景观管理问题突出。为了给本区景观规划与管理提供科学依据,本文将在遥感和地理信息系统支持下,运用有关数量分析方法和分形理论,研究本区景观镶嵌结构的数量特征,并在此基础上对控制和影响本区景观格局的要素进行分析。

1 区域背景与研究方法

1.1 区域背景

兰州市西固区位于黄河上游中段、甘肃中部,黄河自西向东横穿本区,全区分割为南北对峙的两部分,湟水河、庄浪河、咸水河分别在本区西部和北部汇入黄河。全区总的地势是南北高、中间低,由南北两山向中间河谷地带倾斜,且南部较北部高(图1)。按照地貌特征,可以将全区划分为四个基本区域:①河谷川区,位于黄河和湟水两岸河谷冲积平原的I、II级阶地上,地形平坦,海拔在1528~1600m之间,面积

7386hm², 占全区总面积的 19.8%。是全区经济、社会和文化的中心。② 坪台区, 位于黄河两岸的 N、V 级阶地上, 面积 4401hm², 占全区总面积的 11.8%。该区以“八大坪台”为主, 即达家台、张家台、青石台、扎马台、柳沟大坪、范家坪、张家大坪、广家坪等, 海拔 1607~1800m, 坡度一般在 10°以下。③ 南部山区, 位于南部坪台之上, 海拔 1800~2621.4m, 面积 9588hm², 占全区总面积的 25.6%。因地质作用和长期侵蚀作用的结果, 形成了许多长梁、塬岭和深沟。④ 北部丘陵山区, 位于黄河以北, 东起中川公路, 西至大万山, 面积 16001hm², 占全区总面积的 42.8%, 海拔 1600~2064.6m。山谷间有平滩地, 是黄土梁峁状的干旱丘陵山区, 坡度大部分在 15~25°之间, 天然植被稀少。

本区具有典型的大陆型、半干旱气候特征, 山地垂直气候变化明显。年平均气温 8.5℃, 平均日较差为 13.6℃, 极端高温 39.7℃, 极端低温 -23.4℃。降水变率大, 地域差异显著, 年降水量从东南部山区的 500mm 逐渐递减到西北部山区的 291mm。

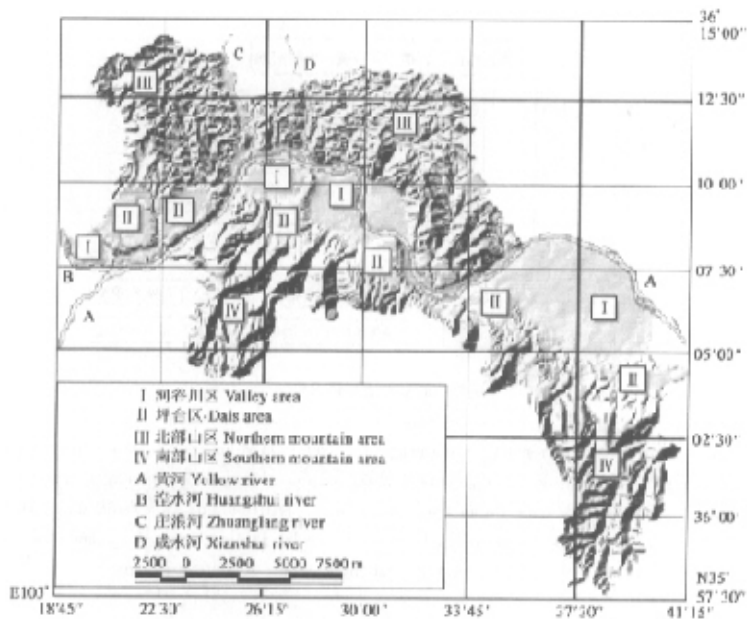


图 1 河流廊道与数字高程模型的叠加

Fig. 1 The overlay of digital elevation model and rivers in Xigu district of Lanzhou city

1.2 资料与研究方法

研究所采用的资料 ① 1:8000 航空遥感影像(1998 年);② 陆地卫星 TM 影像(2000 年);③ 1:10000 地形图(1998 年版);④ 其它来源的图形和文字资料,包括气候、水文、植被、土壤等各个方面。

采取的研究方法和技术路线(图 2) ① 结合本区生态环境背景,用 TM 影像,经过判读和解译进行景观分区、划分景观类型;② 用 1:8000 航空遥感影像和 1:10000 地形图,对土地覆盖/土地利用现状进行实地调查,现场调绘各种景观类型斑块;③ 将各种影像与图形资料(包括遥感影像、地形图、现场调绘资料及其它来源的图形资料)数字化;④ 运用 RS 和 GIS 相结合技术,通过遥感影像纠正、地图配准、栅格-矢量数据格式转换、属性数据输入、建立拓扑关系等程序,建立空间数据库和属性数据库;⑤ 基于空间数据库和属性数据库,运用有关数量分析方法研究区域景观镶嵌结构的数量特征,运用分形结构模型研究各种景观类型分布形态的分形特征;⑥ 基于 GIS 的空间分析功能,研究控制和影响区域景观格局的主要因素。

2 区域景观镶嵌结构

在一个特定的区域中,各种景观类型的斑块交错分布,有机地结合在一起,就形成了一个景观镶嵌体(Mosaic)^[1,3]。区域景观镶嵌结构,反映了各种景观类型在地域空间上的镶嵌格局,它与区域环境背景的各种因子密切相关,是包括人类活动的干扰在内的一切生态过程综合作用的结果^[6]。有人认为景观生态学的实质就是研究景观镶嵌结构的,因为景观就是各种各样的镶嵌体^[1,3]。

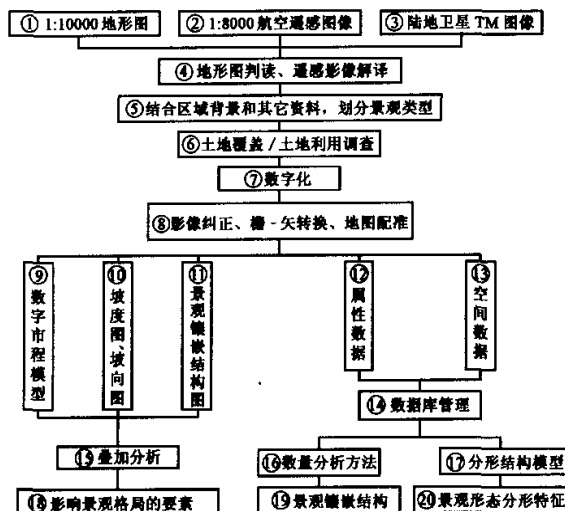


图2 研究方法与技术路线

Fig. 2 The sketch map of researching methods system

①Relief map(1 : 10000); ②Aerial remote sensing image(1 : 8000); ③TM image(1 : 50000); ④Interpretation; ⑤Classify landscape types; ⑥Land use/coverage survey; ⑦Digitization; ⑧Image calibration, registration and vector-raster exchange; ⑨DEM; ⑩Slope map; ⑪Landscape mosaic map; ⑫Attribute data; ⑬Spatial data; ⑭Overlay; ⑮Database of GIS; ⑯Quantitative analytical methods; ⑰Fractal model; ⑱Spatial analysis of landscape pattern; ⑲Quantitative characteristic of landscape pattern; ⑳Fractal characteristic of landscape shape

2.1 研究尺度与分辨率

对于景观镶嵌结构的研究,无论是景观生态学,还是地理学,都特别注重研究的尺度与分辨率问题。在景观生态学中,尺度往往以粒度(grain)和幅度(extent)来表达,从广义上讲,它包括空间维和时间维两个方面^[7,8]。从空间维来看,粒度是指景观中最小可辨识单元所代表的特征长度、面积或体积。例如,在不同观察高度上放眼望去,就会发现对于同一景观(如,森林)的最小可辨识单元是随着观察高度变化的。在某一观察高度上的最小可辨识景观单元就代表了该景观的空间粒度^[6,7]。空间幅度是指研究对象的空间范围。尽管景观生态学中“尺度”一词的用法往往不同于地理学或地图学中的比例尺(虽然尺度和比例尺的英文均为Scale),但二者之间是密切相关的。一般而言,大尺度(或粗尺度)常指较大空间范围内的景观特征,往往对应于小比例尺、低分辨率;而小尺度(或细尺度)则常指较小空间范围内的景观特征,往往对应于大比例尺、高分辨率。

从空间幅度来说,本文研究的空间范围,位于东经 10319'48"~10341'02",北纬 35 38'16"~3613'57"之间,总面积 362.98km²。从空间粒度(分辨率)来说,本文采用了两种不同的遥感影像数据。第 1 种是 TM 影像,主要用于景观生态分区和景观类型划分,其分辨率为 30m×30m;第 2 种是 1 : 8000 的航空遥感影像,主要用于野外调绘、勾绘景观斑块和进行景观制图,其分辨率至少可以达到 5m×5m。

结合本区生态环境背景,通过 TM 影像判读、解译,共划分了 10 种基本景观类型,即:(1)农田,包括农作物、蔬菜;(2)果园,指苹果园、桃园、梨园、杏园等经济园林;(3)草地,包括荒草地、牧草地;(4)林地,指树木郁闭度>30%的天然、人工林;(5)疏林地,包括树木郁闭度 10%~30%的疏林地,以及造林成活率≥合理造林株数的 40%、尚未郁闭但有成活希望的新造林地;(6)裸土,即表层为土质或岩石、石砾,基本无植被覆盖;(7)水域,包括河流、沟渠、滩涂、苇地及坑塘水面;(8)城镇;(9)农村居民点;(10)独立工矿景观,即独立于居民点之外的工矿区。

在进行野外调绘、景观斑块边界勾绘及数字化等工作环节,为了保证研究成果的精度,参考国家土地利用现状调查技术规程^①,规定各种景观斑块在 1:10000 地形图上的最小上图面积标准,居民点(包括农村居民点和城镇居民点)4.0mm²,农田和果园为 6.0mm²,其它景观类型为 15.0mm²。在航空像片上,各类景观斑块的最小上图面积根据航片的平均比例尺折算而得,对应于 1:8000 航空像片,居民点、农田和果园、其它景观类型的最小上图面积分别为 5、7.5、18.8 mm²。

在 RS 和 GIS 支持下,结合野外调绘成果,将各种景观要素的斑块转绘在 1:10000 的地形图上,做出了 1:10000 的区域景观镶嵌结构图,该图的缩略图如图 3 所示。

2.2 景观镶嵌结构的数量特征

在景观格局分析方面,国内外学者已经提出了许多定量指标,在参考有关文献^[8~13]的基础上,结合本区特点与研究的空间尺度,经过比较,笔者选用景观多样性(Diversity)、优势度(Dominance)、破碎度(Fragmentation)、分离度(Isolation)等指标对于本区景观镶嵌结构进行量化描述。

2.2.1 景观镶嵌结构的综合数量特征 ①多样性指数,是对景观类型丰富程度和均匀程度的综合描述,其计算公式为:

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

式中, S 为景观类型数目, P_i 为第 i 类景观面积占景观总面积的比重; H 为景观多样性指数。 H 值越大,表示景观类型越丰富,景观类型的多样性越大。

②优势度,用于测度景观镶嵌结构中一种或少数几种景观类型占据支配地位的程度,其计算公式为:

$$D = \ln S + \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

式中, S 的意义与(1)式中相同; D 为优势度。 D 值越大,就表示景观结构受一种或少数几种景观类型支配的程度越大。

③破碎度,用单位面积内的斑块数测度,它表示景观斑块的破碎程度,其计算公式为:

$$F = \sum_{k=1}^S n_k / A \quad (3)$$

式中, S 的意义与(1)式中相同, n_k 为第 k 类景观类型的斑块数, A 为景观总面积; F 为破碎度。 F 越大,表示景观斑块越破碎。

为了揭示不同空间区域的景观镶嵌结构,笔者运用公式(1)~(3)分别计算了全区及其 4 个地貌分区的景观多样性指数、优势度及破碎度,结果见表 1。

从计算结果可知,景观多样性指数的排序是:河谷川区(2.0357)>坪台区(1.8544)>南部山区(1.3080)>北部山区(1.2395);而优势度的排序正好相反,即:北部山区(1.1584)>南部山区(0.9987)>坪



图 3 兰州市西固区景观镶嵌结构图

Fig. 3 Mosaic map of landscapes in Xigu district of Lanzhou city

① Farmland; ② Orchard; ③ Grassland; ④ Woodland; ⑤ Scatter woodland; ⑥ Bare land; ⑦ Water area; ⑧ Urban area; ⑨ Rural settlement; ⑩ Industrial area far from settlement

台区(0.4482)>河谷川区(0.2669)。显然,在河谷川区,景观镶嵌结构比较均匀,不存在非常明显的优势景观类型;而在南部山区和北部山区,景观镶嵌结构却极不均匀,存在着明显的优势景观类型。其中,在北部山区,草地占居主导,它占景观总面积的 85.96%;在南部山区,草地和农田两种景观类型占主导,它们分别占景观总面积的 60.93%和 28.51%。在坪台区,其景观多样性和优势度介于河谷川区与南北两山区之间。

表 1 不同地貌分区的景观多样性指数、优势度及破碎度

	河谷川区 Valley area	坪台区 Dais area	南部山区 Southern mountain area	北部山区 North- ern mountain area	全区 The whole region
多样性指数 Landscape diversity	2.0357	1.8544	1.3080	1.2395	1.827
优势度 Dominance index	0.2669	0.4482	0.9987	1.1584	0.658
破碎度 Fragmentation(patch/km ²)	27.4772	51.4398	9.4733	8.3118	12.147

景观破碎度,代表着景观被各种廊道(沟渠、道路等)切割的程度。破碎度越大,表示景观被廊道切割的程度越大。显然,坪台区的景观破碎度最大,每 1km² 的景观斑块数高达 51.4398;河谷川区也较大,每 1km² 的斑块数为 27.4772。而山区的景观破碎度则较小,在南部山区和北部山区,每 1km² 的斑块数分别为 9.4733 和 8.3118。

2.2.2 景观分离度(Isolation)分离度,反映的是区域景观镶嵌体中同一景观类型的不同斑块个体的分布情况,其计算公式为:

$$I_k = \frac{\frac{1}{2} \sqrt{\frac{n_k}{A}}}{\frac{A_k}{A}} \tag{4}$$

式中, I_k 为第 k 种景观类型的分离度, n_k 和 A 的意义与(3)式中相同, A_k 为第 k 种景观类型的面积。

对于一种景观类型而言,其的分离度表示该景观类型被其它景观类型或廊道(Corridor)切断和分离的程度。也就是说,如果某种景观类型的分离度越大,就表示该种景观类型的斑块分布越分散。

对于 4 个地貌分区,笔者运用公式(4)计算了各种景观类型的分离度,结果见表 2。

表 2 不同地貌分区的景观分离度

	河谷川区 Valley area	坪台区 Dais area	南部山区 Southern mountain area	北部山区 North- ern mountain area
农田 Farmland	6.1682	6.2548	9.5215	13.3231
果园 Orchard	12.3953	8.4266	28.8777	21.7048
草地 Grassland	7.942	7.1522	3.8371	1.4431
林地 Woodland	51.2730	44.1453	9.9431	—
疏林地 Scattered woodland	36.5440	23.9741	14.4415	—
裸土 Bare land	11.0947	29.2099	38.7253	1.3171
水域 water area	3.8840	—	—	—
城镇 Urban area	0.2244	10.4207	—	—
农村居民点 Rural settlement	13.1183	12.4217	21.0350	22.8955
独立工矿 Industrial area far from settlement	5.918	17.1712	—	—

计算结果表明:农田,在河谷川区和坪台区分布最为集中,在南部山区比较集中,而在北部山区最为分散;果园,在坪台区分布最为集中,在河谷川区比较集中,而在南、北两山区则比较分散;草地,在河谷川区和坪台区分布比较分散,在南部山区比较集中,在北部山区最为集中;林地(包括林地和疏林地),在北部山区几乎没有分布,而在南部山区分布最为集中,在河谷川区和坪台区比较分散;裸土,在北部山区分布最为集中,在河谷川区比较集中,在坪台区比较分散,在南部山区最为分散;城镇居民点主要分布河谷川区和坪台区,其中在河谷川区很集中,而在坪台区则比较分散;农村居民点在四个分区均有分布,其中在坪台区分

布最为集中,在河谷川区比较集中,在南部山区比较分散,在北部山区最为分散;独立工矿主要分布在河谷川区和坪台区,其中在河谷川区分布比较集中,而在坪台区比较分散;水域全部分布在河谷川区。

2.3 景观镶嵌结构的空间格局

2.3.1 按坡度分布的空间格局 图 4 显示了各种景观类型的面积在不同坡度区的分布状况。显然,水域、城镇及独立工矿的 80% 以上,农田、果园、疏林地及农村居民点的 30% 以上都分布在 0~2° 的区域范围内。这说明在 0~2° 的区域范围内,最适宜于人类的生活与生产,该区域范围是人类活动影响最强烈的区域。草地、林地及裸土的 70% 以上分布在 25~90° 的区域范围内,在这一区域范围内,受人类活动影响较小的景观类型基本上与劣势地形相匹配;果园、农村居民点及水域在 2~6° 区域范围内分布比例较大;果园、疏林地和农村居民点在 6~15° 的区域范围内分布较大;只有农田在 15~25° 区域范围内面积比例较大。另外,约有 30% 的农田分布在 25~90° 的区域范围内,这说明本区的农业用地结构不尽合理,从保护环境和合理利用土地的角度来说,这部分农田应该退耕还林、还草。

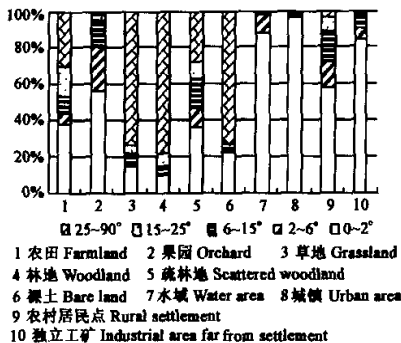


图 4 各种景观在不同坡度区中的分布
Fig. 4 Consists of landscapes in different slope areas

表 3 揭示了不同坡度区景观镶嵌结构的数量特征,可见本区大部分土地坡度较大,大于 25° 的占到 50.9%。在 0~2° 之间,景观斑块数最多,多样性最大,优势度最小;在 2~6° 之间,景观斑块数最少。从 2° 开始,随着坡度增大,景观斑块数增多、多样性指数减小。在 25~90° 之间,景观破碎度最小,优势度最大。在 6~15° 和 15~25° 之间,破碎度最大。

表 3 按坡度分布的景观结构
Table 3 Landscape patterns in different slope areas

坡度 Slope (°)	面积 Area (hm ²)	斑块数 Patch numbers (patches)	景观多样性 Landscape diversity	优势度 Dominance	破碎度 Fragmentation (patches/km ²)
0~2	11966.3	3288	2.036	0.2666	27.477
2~6	1462.5	611	1.828	0.4746	41.777
6~15	2088.4	1217	1.779	0.5236	58.275
15~25	2303.8	1297	1.323	0.9796	56.299
25~90	18477.3	1355	1.026	1.2770	7.333

2.3.2 按高程分布的空间格局 各种景观类型按高程分布的统计结果表明:80% 以上水域、城镇、工矿和 40% 以上的果园、农村居民点都分布在 1600m 以下;50% 以上的果园、草地、疏林地和裸土分布在 1600~1800m 之间;在 1800~2000m 之间,分布较大的是农田和草地,约占 20% 以上;60% 以上的林地和 40% 的农田在 2000m 以上分布。

表 4 揭示了不同高程带的景观镶嵌结构的数量特征,在 1600~1800m 之间,各类景观分布面积最大,斑块数最多。景观多样性指数 H' 则随着高程的增加先减小后增加;优势度在 1600~1800m 之间最大,1600m 以下最小;破碎度在 2000m 以上最大,1600m 以下次之。除面积和优势度外,其它 3 个指标在海拔 1800~2000m 之间都是最小的。这是因为在 1800m 以下,海拔较低,坡度较小,人类活动影响强烈,从而使景观多样性、破碎度增加,优势度减小。2000m 以上,降水量明显增加,再加上复杂的地形条件的影响,使景观破碎度达到最大,景观多样性也比 1800~2000m 地带有所增大。在 1800~2000m 的中间区域,恰好受人类活动和地形影响都小,从而导致景观类型最单调,优势度也最大。

3 景观形态的分形特征

研究表明,景观镶嵌体是自然界中最典型的分形(Fractal)几何体^[12~16]。对于其中各景观类型的形态

结构,可以运用分形理论进行量化地研究。

表 4 按高程带分布的景观结构

Table 4 Landscape patterns in different altitude belts					
高程 Altitude(m)	面积 Area(hm ²)	斑块数 Patch numbers(patchess)	景观多样性 Landscape diversity	优势度 Dominance	破碎度 Fragmentation (patches/km ²)
<1600m	8423.66	1078	1.978	0.3246	12.797
1600~1800m	16242.31	1811	1.305	0.9976	11.150
1800~2000m	6390.51	543	0.784	1.5186	8.497
>2000m	5241.97	786	1.177	1.1256	14.9943

Mandelbrot 研究分形几何体的形态结构,建立了如下模型^[17]:

$$[S(r)]^{\frac{1}{D}} \sim [V(r)]^{\frac{1}{3}} \tag{5}$$

式中, $S(r)$ 为表面积, $V(r)$ 为体积, r 为度量尺度; D 为分形维数(Fractal dimension),即分维值。

董连科应用(5)式推导出了适合于 n 维欧氏空间中的分形结构模型^[18]:

$$[S(r)]^{\frac{1}{D_{n-1}}} = kr^{(n-1-D_{n-1})/D_{n-1}}[V(r)]^{\frac{1}{n}} \tag{6}$$

在(6)式中,令 $n=2$,便得到 2 维欧氏空间中的分形结构模型:

$$[P(r)]^{1/D_1} = kr^{(1-D_1)/D_1}[A(r)]^{1/2} \tag{7}$$

式中, $P(r)$ 为周长, $A(r)$ 为面积, k 为常数, D_1 为二维欧氏空间中的分形维数。

国内外学者研究已经证明^[12~16],对于各种景观形态,可以用公式(6)、(7)描述它们的分形结构。为了计算某种景观类型的分维值,对(7)式作对数变换,就得到:

$$\ln[A(r)] = \frac{2}{D_1}\ln[P(r)] + C \tag{8}$$

这样,对于某一种景观类型,只要根据各个斑块的面积与周长数据,建立形如(8)式的回归模型就可以得到回归系数 $2/D_1$,这样就求出了该景观类型的分形维数 D_1 。 D_1 的大小表示了该景观类型的复杂性与稳定性, D_1 的理论值范围在 1~2 之间,它越大,就表示该景观类型越复杂; $D_1=1$,则表示景观斑块的形状为正方形; $D_1=2$,则表示景观斑块的形状最复杂; $D_1=1.50$,则表示该景观类型处于一种类似于布朗运动的随机状态,即最不稳定状态; D_1 越接近 1.5,表示该景观类型越不稳定^[18]。另外,用分维数 D_1 可以比较不同景观要素的格局特征,确定不同生态因子对景观格局的影响,若两种景观要素具有相同的分维数 D_1 时,说明二者具有一致的格局^[12]。

在 GIS 支持下,将地貌分区图与景观类型布局图叠加,自动生成各种景观类型的面积和周长。利用公式(8)进行回归分析计算得到如表 5 所示的结果。这里需要说明的是,表 5 中的无数据项表示没有该类景观,或因样本数过少未能计算出该类景观形态的分维数。

从表 5 可以得出如下结论:

(1)在同一地貌分区中,各种景观类型的分维数各不相同,这种差异体现了不同景观类型的斑块形态的差别。如果将各种景观类型的分维数在同一地貌区进行比较,结果是:在河谷川区,分维数最大的是林地,接下来依次为水域、草地、裸土、

表 5 不同地貌分区的景观分维数

Table 5 Fractal dimensions of landscapes in different geomorphological areas

	河谷川区 Valley area	坪台区 Dais area	南部山区 Southern mountain area	北部山区 Northern mountain area
农田 ^①	1.345	1.350	1.362	1.231
果园 ^②	1.360	1.342	1.390	1.254
草地 ^③	1.436	1.362	1.329	1.285
林地 ^④	1.746	1.333	1.370	—
疏林地 ^⑤	1.149	1.234	1.048	—
裸土 ^⑥	1.412	1.294	1.370	1.363
水域 ^⑦	1.544	1.197	—	—
城镇 ^⑧	1.1049	1.132	—	—
农村居民点 ^⑨	1.313	1.184	1.343	1.176
独立工矿 ^⑩	1.206	1.155	—	1.236

① Farmland; ② Orchard; ③ Grassland; ④ Woodland; ⑤ Scattered woodland; ⑥ Bare land; ⑦ water area; ⑧ Urban area; ⑨ Rural settlement; ⑩ Industrial area far from settlement

果园、农田、居民点、疏林、工矿;在坪台区,分维数从大到小的排序依次为草地、农田、果园、林地、裸土、疏林地、水域、农村居民点、独立工矿、城镇居民点;在北部山区,分维数从大到小的排序依次为裸土、草地、果园、独立工矿、农田、农村居民点;在南部山区,分维数从大到小的排序依次为果园、裸土、林地、农田、农村居民点、草地、疏林。

(2)同一种景观类型的分维数,在不同地貌分区之间也存在差异,这种差异反映了地貌和区位条件对于同一景观类型的斑块形态的影响。如果将同一种景观类型的分维数在各地貌区之间比较,其结果是:农田、果园在南部山区最大;城镇、疏林地在坪台区最大;林地、草地、裸土、水域、农村居民点、独立工矿在河谷川区最大。

(3)在山区(南、北山区),人工景观(居民点、独立工矿等)和半人工景观(农田、果园等)的斑块形态的复杂性(分维数)比川、台区高,这主要是复杂的地形、地貌条件影响的结果。因为,如果没有地貌条件的制约或其它地形、地物的影响,人工景观一般往往在习惯上被建造成规则或近似规则的正方形或矩形形状,但是在山区,往往由于受地形、地貌或其它因素的影响和制约,不可能使所有的人工景观和半人工景观都成为规则或近似规则的正方形和矩形。

(4)在川区和坪台区,草地和林地景观的斑块形态的复杂性(分维数)高于山区,这主要是强烈的人类活动的影响所致。因为,在川区和坪台区,由于地形比较平坦、交通发达、人类活动强度大,在高强度人类活动的干扰、影响和改造下,原本处于自然状态的草地和森林被切割、侵蚀和破坏,从而使其形态结构变得复杂起来。

4 控制和影响区域景观格局的主要因素

基于 GIS 的空间分析功能(Overlay、Buffer 等),笔者研究发现,本区景观格局主要受气候条件、河流廊道与地貌格局,以及交通廊道与人类活动等要素的控制和影响。

4.1 气候要素

从宏观区域背景来讲,本区具有典型的大陆型、半干旱气候特征。在这种气候条件背景下形成自然景观为干草原景观^[19],所以从全区来看,基质为草地,它是占绝对优势的一种景观类型。从本区内部来看,气候条件的地域差异比较明显,特别是山地垂直型气候变化比较显著。在北部山区,日照充分,但降水稀少(年降水量 290~320mm),蒸发量大,依靠天然降水经营农田存在较大难度,所以该区农田景观仅占景观总面积的 2.81%,而且大部分(60%以上)是依靠高扬程提灌的水浇地。在东南部的关山地区,日照相对较少,气温相对较低,但年降水量却高达 500mm 以上,所以在一些阴坡地段分布着以云杉为主要群落的天然林,全区 60%以上的林地就集中在这里。

4.2 河流廊道与地貌格局

从河流廊道与数字高程模型的叠加图(图 1)以及景观结构镶嵌图(图 3)可以看出,河流廊道与地貌格局对本区的景观格局起着绝对的控制作用。在河流廊道和地貌格局控制下形成 4 个地貌分区,即河谷川区、坪台区、南部山区和北部山区,客观地反映了景观的空间格局。在河谷川区,由于地形平坦,交通方便,接近水源,因而它就理所当然地成了本区人类活动的中心,所以该区域景观多样性指数大,优势度小,各种景观类型齐全,景观斑块破碎,分布均匀。在坪台区,由于地形比较平坦、海拔相对较低,又有着比较方便的提灌条件,所以随着城乡用地矛盾的日益加剧,它就自然而然成为农田、果园和农村居民点等农业用地比较集中的区域。在南、北两山区,由于受地形坡度、海拔高度和远距水源(河流)等条件的限制,与河谷川区和坪台区相比较,其景观类型相对残缺,景观多样性变小,优势度增大。其中,在北部山区,草地占绝对优势而且分布集中;在南部山区,旱地农田、草地和林地 3 种景观类型占相对优势,而且分布比较集中。

4.3 人类活动与交通廊道

本区是一个典型的城乡结合区,所有的景观类型都不同程度上受过或正在受人类活动干扰和影响。其中,农田、果园是半人工景观,城镇居民点、农村居民点、独立工矿是人工景观,一些林地、疏林地也是人工造林的结果。交通廊道,包括铁路、公路、农村道路、田间道路等,是一类具有特别意义的人工景观,它们是各种人类活动空间联系的纽带,在景观之间起着物质、能量和信息传递的作用,一定程度上体现了景观的

空间连接度,以及人类活动的范围和强度,它们与景观破碎度有着直接的关系。可见,交通廊道对于本区其它景观类型的空间格局起着非常重要的作用。表 6 给出了本区各种交通廊道的长度及密度指数。

在 GIS 支持下,通过缓冲区分析,可以发现,在铁路(兰新、兰青铁路)和国道公路(109 和 312 国道)沿线两旁 5km 的范围内,集中分布的城镇居民点、农村居民点及独立工矿等 3 种景观类型的面积,分别占全区同类面积的 98.89%、64.46% 和 87.82%。在铁路、国道公路和县乡公路沿线两旁 5km 的范围内,集中分布了全区 88.06% 的果园面积。农田、果园和农村居民点 3 种景观类型在空间上往往交错分布,农村居民点之间、农田与农村居民点之间、果园与农村居民点之间基本上都有公路或各种级别的农村道路相联。

5 结论

(1) 如果将本区的景观镶嵌结构看作一个状态函数的话,那么这个函数就是一个复杂的复合函数,它有许多变量因子,其中最主要的是地形、气候、河流廊道、交通廊道及人类活动等。这些因子中的每一个又是一个函数,又具有自己的变量因子,如地形要素通过高程、坡度、坡向等因子体现;人类活动的内容更是包罗万象。因此,本区的景观格局是由人类活动与自然环境之间相互影响的耦合作用机制决定的。

(2) 尽管本区总面积仅 362.98km²,但是其景观镶嵌结构的区域差异很大,特别是随着海拔高度的变化,垂直变化非常显著。在海拔高度小于 1800m 的区域,地形以川、台为主,坡度较小,景观类型齐全,斑块数目多,景观多样性和破碎度大。在 1800~2000m 中山地带,与川、台区相比,由于受地形坡度、水源以及交通条件的限制,人类活动强度有所减弱,因而景观斑块数、景观多样性和破碎度都减小了。到了海拔在 2000m 以上的高山地带,随着海拔高度的增加,降水量增大了,同时由于受地形坡度和交通条件的制约,人类活动强度进一步减弱,所以,该区域与中山地带比较,景观类型数目、景观多样性和破碎度有所增大。

(3) 在同一地貌区中,各种景观类型的分维数各不相同,这种差异体现了不同景观类型的斑块形态的差别;同一种景观类型的分维数,在不同地貌分区之间也存在差异,这种差异反映了不同的地貌和区位条件对于同一景观类型的斑块形态的影响。在山区,人工景观(居民点、独立工矿等)和半人工景观(农田、果园等)的斑块形态的复杂性(分维值 D_1)比川、台区高;而在川、台区,草地和林地的斑块形态的复杂性(分维值 D_1)高于山区。

(4) 全区约有 30% 的农田分布在坡度大于 25° 的南、北两山地区,从保护环境和合理利用土地的角度来考虑,这部分农田应该退耕。通过土地适宜性评价研究,建议在南部山区,阳坡地段退耕还草、阴坡地段退耕还林;在北部山区,全部退耕还草。

References

- [1] Forman R T T, Godron M. Landscape Ecology. New York: Wiley & Sons, 1986. 188~210.
- [2] Xiao D N. The formation and development of modern landscape science. *Scientia Geographica*, 1999, 19(4): 379~384.
- [3] Naveh Z, Lieberman A S. Landscape Ecology: theory and application. New York: Springer-verlag, 1984. 286~356.
- [4] Forman R T T. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 141~321.
- [5] Li Z, Liu J N, Zhang Baochun, et al. Ecoevolutionary analysis of Guangzhou suburban landscape. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(6): 633~638.
- [6] Chen L D, Fu B J. Ecological significance, characteristics and types of disturbance. *Acta Ecologica Sinica*, 2000,

表 6 交通廊道长度及密度

Table 6 Total length and density of railway, arterial road, village road and pavement in farmland

	铁路 Railway	公路 Arterial road	农村道路 Village road	田间道路 Pavement in farmland
总长度 ^① (km)	62.026	110.247	363.927	309.068
密度 ^② (km/km ²)	0.1709	0.3037	1.1202	4.1666

* 铁路密度=铁路总长度/全区总面积;公路密度=公路总长度/全区总面积;农村道路密度=农村道路总长度/(全区总面积-城镇面积);田间道路密度=田间道路总长度/(农田总面积+果园总面积)①Total length;②Density

- 20(4): 581~586.
- [7] Wu J G. Landscape ecology-concepts and theories. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, 19(1): 42~52.
- [8] Anthony W K. Translating models across scales in the landscape. In: Turner, M. G., Gardner, R. H. (eds). *Quantitative methods in landscape ecology*. New York: Springer-verlag, 1991. 479~517.
- [9] Hulshoff R M. Landscape indices describing a Dutch landscape. *Landscape Ecology*, 1995, 10(2): 101~111.
- [10] Xiao D N. The theory base and characteristics of landscape ecology. In: Xiao Du-ning (ed). *Landscape ecology: theory, method and application*. Beijing: China forest press, 1991. 13~25.
- [11] Wu B, Ci L J. Temporal and spatial patterns of landscape in the Mu Us sandland. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 191~196.
- [12] Zhang J T, Qiu Y, Zheng F Y. Quantitative methods in landscape pattern analysis. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(4): 346~352.
- [13] Xiao H, Ouyang Z Y, Zhao J Z, et al. Analysis of landscape spatial structure in Hainan island. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 20~27.
- [14] Loehle C, Li B L. Statistical properties of ecological and geologic fractals. *Ecological Modelling*, 1996, 85: 271~284.
- [15] Li B L. Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics. *Ecological Modelling*, 2000, 132: 33~50.
- [16] Xu J H, Ai N S, Jin J, et al. A Fractal Study On the Mosaic Structure of the landscape of northwest China~ Taking the drainage area of Heihe river as an example. *Arid Zone Research*, 2000, 18(1): 36~39.
- [17] Mandelbrot B B. *The fractal geometry of nature*. New York: W H Freeman, 1982. 244~320.
- [18] Dong L K. *Fractal theory and its application*. Shenyang: Liaoning Science Press, 1991. 5~30.
- [19] Zhao Y P, Wang Y M. Graphic fractionation and its application based on quantitative research of desertification. *Journal of Desert Research*, 1995, 15(2): 175~180.
- [20] Fang C L, Xu J H. *Gansu Local Geography*. Lanzhou: Gansu education Press, 1994. 108~164.

参考文献

- [2] 肖笃宁. 论现代景观科学的形成和发展. *地理科学*, 1999, 19(4): 379~384.
- [5] 李贞, 刘静艳, 张宝春, 等. 广州市城郊景观的演化分析. *应用生态学报*, 1997, 8(6): 633~638.
- [6] 陈利顶, 傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义. *生态学报*, 2000, 20(4): 581~586.
- [7] 邬建国. 景观生态学-概念和理论. *生态学杂志*, 2000, 19(1): 42~52.
- [10] 肖笃宁. 景观生态学的理论基础和特性. 见: 肖笃宁主编. *景观生态学: 理论、方法及应用*. 北京: 中国林业出版社, 1991. 13~25.
- [11] 吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究. *生态学报*, 2001, 21(2): 191~196.
- [12] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法. *山地学报*, 2000, 18(4): 346~352.
- [13] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 海南岛景观空间结构分析. *生态学报*, 2001, 21(1): 20~27.
- [16] 徐建华, 艾南山, 金炯, 等. 西北干旱区景观要素镶嵌结构的分形研究-以黑河流域为例. *干旱区研究*, 2000, 18(1): 36~39.
- [18] 董连科. 分形理论及其应用. 沈阳: 辽宁科学出版社, 1991. 5~30.
- [19] 赵永平, 王一谋. 图形分形理论在沙漠化定量研究中的应用. *中国沙漠*, 1995, 15(2): 175~180.
- [20] 方创琳, 徐建华. *甘肃乡土地理*. 兰州: 甘肃教育出版社, 1994. 118~164.