

# 农牧交错带西段景观结构和空间异质性分析

祁 元, 王一谋, 王建华

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

**摘要:** 农牧交错地区是生态环境问题突出的地区。运用景观学理论, 选取典型区域通过具体的景观特征指数分析了西北农牧交错景观的景观结构和景观空间异质性。结果表明地形地貌和人类作用是西北农牧交错区景观异质性的主导因素, 地貌越破碎人类作用越强, 景观也越破碎, 斑块不规则性越高, 景观多样性越高。进一步的景观样带分析显示, 研究区景观结构呈一定的空间梯度变化, 由南向北景观破碎度减小, 斑块形状的不规则性降低。

**关键词:** 农牧交错地区; 景观结构; 景观空间异质性; 景观特征指数; 斑块性; 空间梯度

## The Landscape Structure and Heterogeneity of the West Part of Ecotone Between Agriculture and Animal Husbandry

QI Yuan, WANG Yi-Mou, WANG Jian-Hua (Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 2006~2014.

**Abstract:** The transitional region between cropland in semi-humid regions and grassland (pasture) in semi-arid regions, is an important ecological barrier, which prevents the desert from extending into the plains of eastern China. It is also a region with severe environmental problems such as desertification, vegetation degradation and soil salinization due to its natural fragility enhanced by human activities. These problems directly affect the environment of central and eastern China. In this paper we analyze the landscape structure and spatial heterogeneity in selected districts within the transitional region, and study the relationship between landscape structure, natural features and human activities.

By applying remote sensing and GIS techniques, which are efficient ways of tracing long-term inapparent environmental changes, we analyzed landscape structure and spatial heterogeneity based on a series of land-use/land-cover data extracted from Thematic Mapper and Spot images. Five landscape districts were chosen for analysis: 1. a forest-shrub-steppe district in the Helan Mountains, 2. an irrigated cropland district in the Yinchuan plains, 3. a desert-steppe district in the Yanchi, Tongxin and Xiangshan Hills, 4. a nonirrigated farmland-steppe district in southern Ningxia, and 5. a forest-meadow district in the Liupan Mountains. Landscape metrics were calculated using Fragstats 3.0, and many indices are included in the soft such as patch density, edge density, landscape shape index, etc. Patch density ( $PD$ ), edge density ( $ED$ ), and landscape shape index ( $LSI$ ) are lower in district 4 than in district 3 due to the loess topography of district 4, even though both districts are dominated by grassland and cropland and have similar human activities. Due to the loess topography of the forest-meadow district of the Liupan Mountains,  $PD$ ,  $ED$  and  $LSI$  are greater here than in the similar forest-shrub-steppe district of the Helan Mountains. In the Helan district, the landscape structure is affected by large elevation differences and less human activities, causing the contagion index to be higher than in the Liupan district. In the irrigated

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZCX-Y-02-01-04)

收稿日期: 2001-01-08; 修订日期: 2002-08-18

作者简介: 祁元, 男, 青海西宁, 博士。主要从事遥感地理信息系统研究。E-mail: qiy999@sohu.com

cropland district of the Yinchuan plains, which is greatly influenced by human activities, *PD* is higher than distract 1 and 3, while *ED* and *LSI* are lower than distract 4 and 5. The human activities are the main influence.

Using GIS and Ningxia statistical data, we selected four natural factors (temperature, precipitation, altitude, and slope) and four human activity factors (population density, carrying capacity, irrigation channel density, and road density) to determine their influence on these five distracts. Precipitation and slope not only determine landscape structure but also the human manner in these distracts. VAGUE In addition, comparing *PD* and *LSI* with precipitation and slope along a landscape transect, the regular gradient change along the transect reflected the relation between landscape indices and natural factors and human activities. In the fragmented loess area when the precipitation is higher, the nonirrigated agriculture is more developed, so the *PD* and *LSI* are higher. In the Yinchuan plain, the precipitation is less, but the flat land, human activities are drastic, also the *PD* and *LSI* are higher.

Natural features including geology, topography, hydrology and soil, and human activity were considered to be the determining factors of landscape spatial heterogeneity. Through comparing natural features and some features of human activity with the landscape indices, we found that the determining factors in different landscape districts are not the same. In arid and semi arid area Human activity are limited by precipitation and slope, then influence landscape structure and spatial heterogeneity.

**Key words:** agriculture and pasture interlaced region; landscape structure; landscape heterogeneity; landscape metircs; patchness; spatial gradient

文章编号:1000-0933(2002)11-2006-09 中图分类号:Q149 文献标识码:A

农牧交错带通常位于我国北方半湿润农业区和半干旱、干旱牧业区接壤的过渡地带<sup>[1-2]</sup>,其生态学实质是农业和牧业两个区域生态系统相互过渡过程中,系统主体行为和结构特征发生“突发转换”的空间区域,具有某些独特的及由农牧业两个相邻系统相互作用程度所决定的特性<sup>[3]</sup>,是我国中、东部平原的重要生态屏障,能阻挡荒漠化向东南的蔓延。但由于本身的生态脆弱性加上人为干扰,农牧交错带的生态屏障功能不仅未能发挥,相反成为生态环境问题突出的区域,并进一步影响东南部的生态环境。在西北干旱半干旱地区,生态环境相对更脆弱,因而农牧交错带对区域土地、水资源的开发和气候环境变化也更敏感。近年由于人口压力和全球气候变化,草地退化、土地沙化和盐碱化问题日益严重,因此分析和评价农牧交错带的生态系统稳定性及自然、人类作用对农牧交错带生态系统的影响,是解决该地区生态问题的关键。

景观空间异质性是自然界最普遍的特征,非生物的环境异质性(如地形、地质、水文、土壤等),以及人类因素的干扰是景观异质性产生的主要原因,因此农牧交错带生态系统的分析和评价可归结为景观结构和异质性的分析。景观生态学是研究景观单元的类型组成、空间配置及其与生态学过程相互作用的综合性学科<sup>[4]</sup>,空间异质性、景观空间格局、生态学过程以及它们的发展、动态变化和尺度之间的相互作用是景观生态学研究的核心所在<sup>[5~7]</sup>。对农牧交错地区景观空间异质性的分析,将促进人文、自然和生态过程对生态系统的作用的正确理解,从而进一步研究物流和能流在生态系统中的变化,最终解决有关的生态问题。

1 研究区域

空间异质性主要由非生物的环境异质性(如地形、地质、水文、土壤等方面)以及诸如人类因素等的干扰引起的,所以从研究目的出发所选区域的地理环境在地形、地质、水文、土壤等方面具代表性,保持较大空间尺度,同时为便于分析人类干扰对空间异质性的影响,区域未打破行政界线。

研究区为整个宁夏回族自治区,它位于西北地区东部,黄河中上游,地理环境具有明显的多样性、过渡性和复杂性,其中部为典型的农牧交错区,属于我国农牧交错区的西段<sup>[2]</sup>。地貌单元主要有六盘山山地、黄土高原北部沟壑区、宁中山地与山间平原、鄂尔多斯高原东南部的灵盐台地、银川平原及贺兰山山地。研究区跨西北干旱区和东部季风区,基本气候特点干旱少雨、日照充足、蒸发强烈、风大沙多。由南向北

降水量递减,气温、蒸发量递增,自然植被呈森林草原-干草原-荒漠草原-荒漠分布。另外,宁夏有悠久的人类活动历史,境内大量的“细石器文化”、“马家窑文化”和“齐家文化”表明早在距今六七千年至三四千年时就有了畜牧和农业活动,引黄灌溉的历史更始于秦朝。

因此,宁夏景观格局的首要特点是由于地理环境的多样性、过渡性和复杂性,以及人类活动的作用,景观结构复杂,空间异质性突出。

2 研究方法

2.1 景观分类及制图

本研究的基础数据来源为国家基本资源与环境遥感动态信息数据库 2000 年 1:10 万土地利用图,该图以 2000 年 TM 遥感图像为数据源,在 ARC/INFO 软件支持下经人工机助解译而来。土地资源遥感宏观调查中采用二级分类系统,即一级有 6 个分类,包括耕地、林地、草地、水域、城镇居民建设用地、未利用土地。一级分类进一步又细分为 22 个二级分类<sup>[8]</sup>,考虑到景观空间格局研究的需要和宁夏地理环境,将二级分类归并,得到共 12 类基本景观类型(表 1)。

景观结构分析基于由矢量格式转换为栅格格式的类型图,栅格单元为 100m×100m。

2.2 景观分区

景观区划分综合考虑了气候、地貌及社会等诸多因素,首先依据 300mm 年降水线及年干燥度 3 的等值线,同时考虑黄土丘陵北缘,将全区分为贺兰山森林灌丛草原景观区、宁夏平原灌溉农田景观区、盐同香山荒漠草原景观区、宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区和六盘山森林草甸景观区(图 1)。贺兰山森林灌丛草原景观区和六盘山森林草甸景观区分布有宁夏的两大天然林区;宁夏平原灌溉农田景观区是宁夏最主要的农业基地和经济发达地区;盐同香山荒漠草原景观区和宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区则是典型的农牧交错地区。

2.3 景观特征指数

根据研究区特征,文中用到的景观特征指数有斑块密度(Patch density)、边缘密度(Edge density)、景观形状指数(Landscape shape index)、优势度(Dominance index)、聚集度(Contagion index)和景观多样性指数(Landscape diversity index)。计算软件为国际流行的景观结构数量化软件包(FRAGSTATS 3.0)<sup>[9]</sup>。

3 农牧交错区景观结构和异质性分析

空间异质性(Spatial heterogeneity)是空间斑块性(Patchness)和空间梯度(Gradient)的综合反映,斑块性更具体的体现了景观空间异质性的空间组成(生态系统的类型、种类和面积比例)和空间构型(生态系统的空间分布、斑块形状)<sup>[10, 11]</sup>,而梯度则指沿某一方向景观特征有规律地逐渐变化<sup>[12]</sup>。

3.1 景观异质性分析

如表 1 所示,全区斑块数为 25742 个,分布于 12 个斑块类型中。面积组成上草地和农田(包括旱耕地和

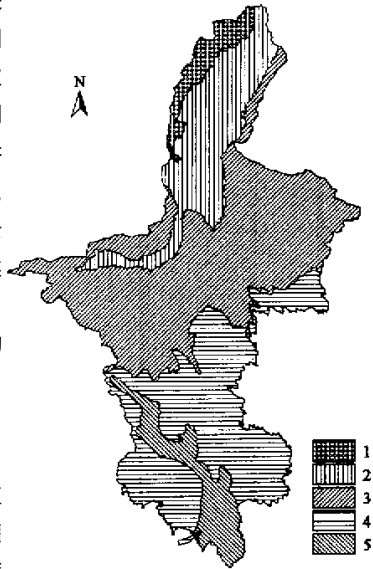


图 1 宁夏景观区

Fig. 1 Landscape districts of Ningxia

- 1 贺兰山森林灌丛草原景观区 Forest-shrub-steppe district in Helan Mountains; 2 宁夏平原灌溉农田景观区 Irrigated farmland district in Yinchuan plain; 3 盐同香山荒漠草原景观区 Desert-steppe district in Yanchi, Tongxin and Xiang Mountains; 4 宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区 Nonirrigated farmland-steppe district in South Ningxia; 5 六盘山森林草甸景观区 Forest-meadow district in Liupan Mountains

灌耕地)最多,分为 46.07%和 35.79%,是全区的景观基质类型。而斑块数量组成上旱耕地和居民地最多。草地是宁夏主要的景观类型,随着社会经济的发展,特别是人口增加和经济增长,新垦农田分布于全区,形成农牧交错的特点。其中旱耕地集中于南部的黄土丘陵地区;灌耕地多分布于银川平原以及其它地势平坦有利引黄灌溉处;居民地在银川平原相对更集中。

表 1 宁夏景观斑块类型组成及面积  
Table 1 Patch types elements, areas and perimeters in Ningxia

斑块类型 Patch types	斑块数 Number	面积 Area(km <sup>2</sup> )	周长 Perimeter(km)	百分比 Percent(%)
旱耕地 Irrigated farmland	8413	13668.8	93634.8	26.40
灌耕地 Nonirrigated farmland	143	4864.6	12891.6	9.39
草地 Grassland	3868	23857.6	113400.6	46.07
林地 Woodland	2756	2190.2	15938.6	4.23
水域 Water area	1361	930.2	8569.8	1.80
居民地 Residential area	5993	1000.7	11921.6	1.93
园地 Plantation	793	219.2	2168.6	0.43
沙地 Sandy desert	1202	2796.3	12582.8	5.4
荒漠 Desert	385	607.3	3743.0	1.17
戈壁 Gobi	139	1367.4	4714.0	2.64
盐碱地 Salt land	387	255.8	2037.2	0.49
沼泽地 March	32	25.1	195.4	0.05
合计 Total	25472	51783.2	281798.0	100

3.1.1 斑块类型水平的优势度特征 斑块类型水平的优势度指示了特定景观区某几种景观类型的主导地位(图 2)。结果显示在典型的农牧交错区,旱耕地和草地类型的面积占优势。盐同香山荒漠草原景观区前三位的景观类型是草地 55.2%、旱耕地 20.7%和沙地 11.5%;宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区前三位的景观类型是草地 46.1%、旱耕地 48.8%和林地 2.3%。盐同香山荒漠草原景观区较宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区牧业比例更大,但因为干旱多风和滥垦、过度放牧,土地沙化严重,景观中沙地、荒漠面积较大。宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区偏重农业,特殊的黄土地貌加上人类作用,水土流失较严重,景观中低盖度草地较多,林地面积虽占第三但比例不大。另外,六盘山森林草甸景观区也具有农牧交错的景观类型组成特征,前三位的景观类型是草地 54.6%、旱耕地 29.7%和林地 14.3%,但植被盖度更高,农牧比例更协调,环境问题相对较轻。

贺兰山森林灌丛草原景观区和宁夏平原灌溉农田景观区同上述农牧交错景观明显不同。贺兰山森林灌丛草原区景观区草地和林地分为 73.6%和 21.3%,更多地保持了自然状态。宁夏平原灌溉农田景观区则表现为明显的城乡和农田景观,灌耕地占 53.6%,其它类型分布较均匀,其中草地 11.2%,水域 6.9%,居民地 6.8%和戈壁 8.5%,居民地、渠道面积居各区之首,说明水利灌溉发达,农业经济发达。

3.1.2 景观单元特征 景观单元特征是指斑块的形状、复杂程度和破碎度等,本文选取景观水平的斑块密度(PD)、边界密度(ED)和景观形状指数(LSI)来研究农牧交错区的景观单元特征。结果显示各景观区景观单元特征明显不同(图 3)。贺兰山森林灌丛草原景观区斑块密度(PD)、边界密度(ED)、景观形状指数(LSI)普遍较小,表明斑块完整形状较规则。宁夏平原灌溉农田景观区,有很高的斑块密度,边缘密度较小,形状指数较小。六盘山森林草甸景观区斑块密度(PD)和边界密度(ED)较高,表明景观具有较高的破碎度,而景观形状指数(LSI)较小表明斑块较规则。在两典型农牧交错区,盐同香山荒漠草原景观区斑块较完整,景观形状指数(LSI)显示其形状仍具有一定的不规则性。宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区 PD 和 ED 值均很高,LSI 也最大,表明景观单元破碎程度高,形状很不规则。

3.1.3 景观聚集度和景观多样性指数 景观聚集度描述了景观中不同景观类型的团聚程度,如果一个景观由许多离散的斑块组成,其值较小;当景观中以少数大块斑为主或同一类型连接度高时聚集度较大。研究区内除贺兰山森林灌丛草原景观区有较高聚集度,其余各区聚集度值接近。景观多样性指数反映了景

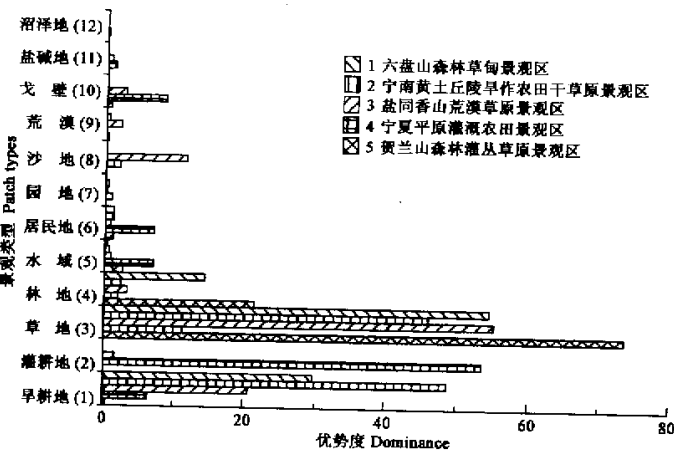


图 2 不同景观类型的景观优势度

Fig. 2 The dominance of different landscape types

1~5:同图 1 The legends are the some as fig. 1;(1)~(12)同表 1 (1)~(12)are the same as table 1

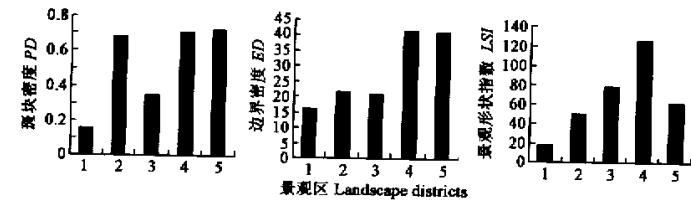


图 3 不同景观区的斑块密度(PD)、边界密度(ED)、景观形状指数(LSI)

Fig. 3 Patch density (PD),Edge density (ED) and Landscape shape index(LSI) in landscape districts

\* 图例同图 1 Legend see fig. 1

观类型的多少和景观类型所占比例的变化,当由单一类型组成时,值为 0,由两个以上类型构成的景观,当类型所占比例相等时,值最大多样性最高(图 4)。宁夏平原灌溉农田景观区因为人类作用程度最高,多样性也最高。盐同香山荒漠草原景观区比宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区有较高的景观多样性。

3. 2 景观区的自然和人类作用影响分析

干旱和半干旱地区的景观结构和异质性往往同时受自然和人类活动的影响。根据研究区自然地理特点,选取了研究区 20 世纪 90 年代的年平均气温和年平均降水以及相应的海拔和坡度作为主要的自然影响因素。平均气温和年平均降水为 20 世纪 90 年代全国 400 站点的气象数据通过地理信息系统(GIS)的 Kriging 插值方法求得,海拔数据来自是全国 1 : 25 万数字地形图( DEM),坡度通过 GIS 坡度计算求得<sup>[13, 14]</sup>。人类活动的影响较复杂,本文选择对研究区影响较大的人口、载畜量、灌渠密度和公路密度等指标来分析人类活动的影响。

表 2 为自然及人类活动因素在各景观区内的平均取值,结合景观区的生态特点通过比较可以发现温度在各景观区的变化不大,海拔高度对贺兰山和六盘山等中、低山的地理垂直分布有直接影响,而坡度和降水则是对景观结构和异质性影响突出的因素。人为因素中人口密度直接体现了人类作用力的大小,载畜量可衡量景观区的发展情况,体现了人类对草地景观的影响程度,而灌渠和公路由于它的廊道作用通过形状直接影响了景观的结构。

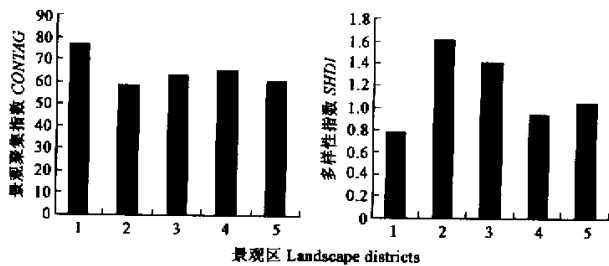


图 4 不同景观的景观聚集度指数(*CONTAG*)和多样性指数(*SHDI*)

Fig. 4 Contagion index(*CONTAG*) ang landscape diversity index(*SHDI*) in different regions

\* 图例同图 1 Legend see fig. 1

表 2 景观区内自然及人类活动因素

Table 2 The natural and human activities in the landscape zones

景观区 Landscape areas	年平均气温 Annual temperature (°C)	年平均降水 Annual precipitation (mm)	海拔 (m) Altitude	坡度 (°) Slope	人口密度 (人/km <sup>2</sup> ) Populatin density	载畜量 (羊只/km <sup>2</sup> ) Carring capacity	灌渠密度 (m/km <sup>2</sup> ) Irrigation channel density	公路密度 (m/km <sup>2</sup> ) Road density
1	9.15	165.1	1770	15.4	127	100	0	36
2	9.33	184.3	1148	0.41	183	115	192	231
3	9.19	235.4	1479	1.80	64	74	49	95
4	8.95	335.2	1776	4.61	96	44	22	141
5	9.07	367.4	2151	8.68	132	36	2	144

贺兰山森林灌丛草原景观区纬度偏北远离季风区,森林灌丛草原的垂直圈带分布明显。景观区冷热和干旱引起的风蚀作用强烈,平均坡度 15.4,是影响景观区的主要自然营力。贺兰山和六盘山景观区虽有相似的景观表现,但因为自然特点和人类影响方式不同,景观结构特点和异质性的表现大不相同。贺兰山景观区斑块密度、边界密度和景观形状指数均较小,斑块完整形状较规则。畜牧业、林业和煤炭开采是人类的主要活动,相对影响较小,自然景观保存更好,单一土地利用类型更完整,因此景观聚集度高,而景观多样性较小。

宁夏平原灌溉农田景观区干旱少雨,但地势平坦,黄河水灌溉便利,农业发展基础得天独厚。景观区受人类影响最大,灌渠和公路的密度分别达到 192m/km<sup>2</sup> 和 231m/km<sup>2</sup>,很好的起到了廊道疏通能流和物流的作用。由于人类强烈的影响,景观区斑块数量较多、较规则,因而斑块密度高形状指数较小,同时多数斑块较琐碎,因此边缘密度也较小。区内农业比较发达,工业也有很大发展,土地的利用类型多样,景观多样性较高,而聚集度不高。

盐同香山荒漠草原景观区和宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区是农牧交错现象显著的两个景观区。盐同香山景观区面积最大,人口密度最小,地势较平,但降水少,引水灌渠有限,因此牧业更发达。人类的影响总体小于宁南黄土丘陵景观区,受自然特别是坡度因素影响,它们的景观指数有较大不同,盐同香山景观区的斑块密度、边缘密度和形状指数都较低。景观多样性较高说明人类活动受地形的限制减少,土地利用呈现多种方式。

宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区降水相对较多,多年平均达 335mm,但受地形限制,引水灌渠不多,平地多发展旱耕农业,不益耕种处发展牧业,广种薄收和过度放牧易造成植被退化和水土流失。琐碎的黄土塬、梁、峁地貌下,平均海拔和坡度达到 1776m 和 4.61°,景观单元特征指数普遍较高。人口密度不大,公路在景观区中起到了重要的廊道作用,密度达 141 m/ km<sup>2</sup>。



六盘山森林草甸景观区在景观斑块类型构成上以林地和草地为主,景观区表现为高海拔下的森林草甸景观。由于黄土破碎的地形,景观的斑块密度和边界密度较高,景观区的平均坡度达到 8.68。森林和草甸呈圈带分布,景观形状指数较低。综合各人类活动因素,景观区人类活动以旱耕农业和林业为主,对生态环境的影响主要是农业建设中对草地的开垦及对林地的开发利用。因为自然条件较好,人口密度和公路密度较高,随着人类作用加剧,景观形状指数和多样性会有所增大。

综合各景观区的自然和人类作用的影响,在各景观区造成景观结构和异质性不同的因素是不尽相同的,自然和人类影响交互地起着主导作用。降水和坡度不仅是形成景观结构和异质性不同的主要因素,而且也制约了人类活动的方式和影响力的大小。

3.3 景观空间梯度分析

景观空间异质性在许多基本生态过程和物理环境过程在空间和时间尺度的连续系统上共同作用的产物。通过上面的分析发现,各景观区造成景观异质性的自然和人类活动因素是不同的,因而在大尺度区域必然存在景观异质性的变化,也就是景观要素在空间或时间上呈一定的空间梯度分布。

由于我国特殊的第四纪地质和气候环境演化历史,干旱半干旱与半湿润的过渡区与东亚季风密切相关,而黄土地貌又常位于这一过渡地带,西北农牧交错带正叠加在这一特定气候和地貌背景之上。沿一特定景观样带的空间梯度能更好地体现景观结构的空间变化及与自然因素变化的关系。

景观样区选取经过宁夏省会银川的一条南北走向的空间分析样带,长 400km,宽 20km,粒度经对比选择 8km×8km。由南向北先后经过六盘山区、黄土丘陵区、清水河谷地、银川平原和贺兰山山地。根据自然、人文条件,基本景观类型呈管理景观→耕作景观→城郊景观→城市景观→城郊景观→耕作景观→自然景观的更迭。

如图 5 所示,不同的景观指数对异质性的空间梯度有不同指示。沿景观样带,斑块密度和景观形状指数呈现较好的梯度性变化,实线所划分出的不同景观区两侧,景观指数有较大不同。总体上由黄土背景下的六盘山森林草甸景观区和宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区的高破碎度、不规则斑块形状向盐同香山荒漠草原景观区减小,到宁夏平原灌溉农田景观区则逐渐升高,在贺兰山森林灌丛草原景观区又逐渐下降。受坡度影响较大的宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区和六盘山森林草甸景观区,坡度同景观指数存在一定的对应关系。而在受人类作用较大的宁夏平原灌溉农田景观区由于影响景观区的主要因素的变化,坡度的作用明显减弱。降水量是干旱半干旱区重要的一项自然指标,如表 5 所示沿景观样带降水呈递减趋势,虽同景观指数的对应关系较弱,但从另一方面说明在景观区当降水的制约因素达到一定程度时,人类为生存必然施加较大的作用。在西北农牧交错带当地形限制较大而降水较好时,人类更倾向发展旱作农业,如宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区和六盘山森林草甸景观区;当地形限制不大而降水较少时牧业会较发达,但在人类影响下,在引水灌溉便利的地方会形成发达的农业区,如宁夏平原灌溉农田景观区和盐同香山荒漠草原景观区某些引水灌区;当地形和降水的限制均较大,人类作用又鞭长莫及时,较发达的牧业便会形成,如贺兰山森林灌丛草原景观区和盐同香山荒漠草原景观区。因此,在西北的干旱半干旱区降水和地形因素及人类作用是控制景观空间梯度变化的主要原因。

空间异质性在各尺度景观内有不同表现,同一景观区内景观指数也有明显差异(图 5)。景观区内的景观指数差异更能体现特定的自然和人类作用对景观结构和异质性的影响。例如,宁南黄土丘陵旱作农田干草原景观区中的低值对应了山地地区的山间平原如清水河谷地等,宁夏平原灌溉农田景观区的高低交错反映了乡村、城乡和城市的景观过渡。

4 结论与讨论

(1)西北农牧交错带是干旱半干旱地区气候、人类双重作用下形成的,景观斑块类型构成上,草地和旱耕地占绝对优势,农、牧的组成比例则由区域自然条件是否有利于农业发展来决定。

(2)黄土丘陵、台地是我国西北农牧交错区主要的地貌类型,通常自南向北由黄土地貌向台地、丘陵过渡,因而西北农牧交错区的景观结构和空间异质性与一定 的地貌地形密切相关。如文中景观指数显示,由南向北景观破碎度减小,斑块形状的不规则性降低。

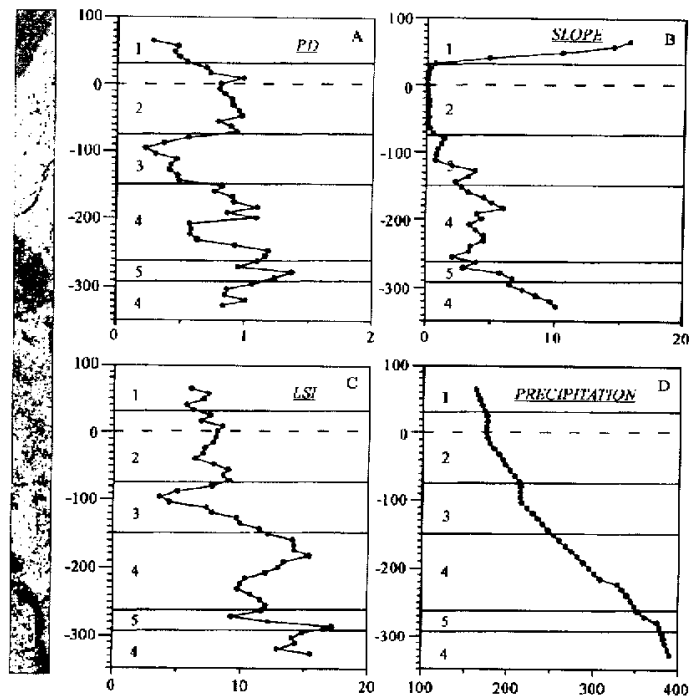


图 5 沿景观样带的斑块密度(PD),坡度(SLOPE),景观形状指数(LSI)和降水量(PRECIPITATION)  
Fig. 5 Patch density(PD), various types PD, landscape shape index(LSI) and diversity index along the landscape sample belt

(3)人类作用是景观异质性形成的主导因素。研究区内贺兰山森林灌丛草原景观区自然程度最高,景观也较完整,斑块规则性较高,景观多样性低。而人类作用强烈的宁夏平原灌溉农田景观区则相对破碎程度高,斑块不规则,景观多样性最高。

(4)景观样带在景观空间异质性的梯度性研究中是很好的方法之一,对地理环境因素复杂区域的景观空间变化反映良好。沿景观样带一定的景观指数对农牧交错区特殊的气候、地貌和人文背景下的景观空间梯度变化有规律性的指示。

(5)宁夏独特的地理位置,使其具有气候、地貌以及叠加于其上的植被、土壤等多个地理环境要素的过渡特点,加上复杂的人类活动,使得影响各景观区景观结构和异质性的因素有所不同,自然和人类影响交互地起着主导作用。降水和坡度不仅是形成景观结构和异质性的主要因素,而且也制约了人类活动的方式和影响的大小。

(6)干旱半干旱地区生态环境脆弱,人口资源环境问题突出,景观学方面的研究也较多<sup>[14~16]</sup>,而西北农牧交错区是西北干旱半干旱区生态问题的重点之一,突出表现为土地的沙化、盐碱化等<sup>[17,18]</sup>。生物种群变化、多样性和生态过程等都不可避免地受到景观空间格局的制约和影响,深入地研究农牧交错区景观格局和空间异质性与生态过程的关系,则是解决生态问题的关键。



area and nomadic area(in Chinese). Beijing: Science Press,

[ 2 ] Zhou T R( 周廷儒), Zhang L S( 张兰生), *et al.* The Holocene evolvement and forecasting in the north of China transection zone between cropping area and nomadic area(in Chinese). Beijing: Science Press,

[ 3 ] Gao H W( 高洪汶), Zhu T CH( 祝廷成). The agriculture sustained development in Chinese transection zone between cropping area and nomadic area. In: Chen CH D( 陈昌笃) ed. *Sustained development ecology* (in Chinese). Beijing: Chinese science and technology press, 1993.

[ 4 ] Wu J G( 邬建国). *Landscape Ecology: pattern, scale, and hierarchy*(in Chinese). Beijing: Higher Education Press,2000.

[ 5 ] Turner M G. Landscape ecology: The effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1989, **20**: 171~197.

[ 6 ] Wu J, Loucks O L. Form balance-of-nature to hierarchical patch dynamics: A paradigm shift in ecology. *Quarterly Review of Biology*, 1995, **70**: 439~466

[ 7 ] Risser P G, Karr J R, Forman R T T. *Landscape ecology: Directions and approaches*. A workshop held at Allerton Park, Piatt: County Illinois,1984.

[ 8 ] Liu Jiyuan(刘纪远). Macro-scale and Dynamic Study of Natural Resources and Environment of China by Remote Sensing(in Chinese). Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996.

[ 9 ] McGarigal K and Marks B J. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Oregon State University, Covallis, OR,1993.

[10] Pickett S T A, White P S. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Orlando: Academic Press, 1985.

[11] Wu J, Loucks O L. Form balance-of-nature to hierarchical patch dynamics: A paradigm shift in ecology. *Quarterly Review of Biology*,1995, **70**: 439~466.

[12] Forman R T T. Land Mosaics: the Ecology of Landscape and Regions. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

[13] Philip G M and Watson D F. A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. *Australian Petroleum Exploration Association Journal*, 1982,**22**: 205~212.

[14] Lu L(卢玲), Li X(李新), *et al.* Analysis on the landscape structure of the Heihe River Basin , Northwest of China. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2001, **21**(8): 1217~1224.

[15] Wang GX(王根绪), Chen GD(程国栋), *et al.* The spatial pattern and influence caused by water resources in arid desert oases. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2000, **20**(3): 363~368.

[16] Wu B(吴波), Ci LJ(慈龙骏). Temporal and spatial patterns of landscape in the Mu Us Sandland, Northern China. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2001, **21**(2): 191~196.

[17] Research Group of “STUDY ON COMBATING DESERTIFICATION/LAND DEGRADATION IN CHINA”. Study on Combating Desertification/Land Degradation in China. Beijing: China Environmental Science Press, 1998.

[18] Zhu Z D(朱震达), Chen GT(陈光庭), *et al.* *Sandy Desertification in China*(in Chinese). Beijing, Science Press, 1994.