

黑河流域景观结构分析

卢 玲^{1,2}, 李 新², 程国栋^{1,2}, 肖洪浪²

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000)

摘要:在黑河流域土地利用分类的基础上, 利用地理信息系统进行流域景观制图, 划分出 6 个景观区。利用景观结构分析软件 FRAGSTATS 在流域尺度上计算了各景观区的多种景观结构指标。结果表明: 山区的景观结构特征突出表现为连通性强, 拼块形状复杂。绿洲-荒漠区的景观结构特征表现为, 绿洲主要沿河流和渠道分布, 是镶嵌在荒漠基质上的景观异质体。绿洲是干旱区景观结构最复杂, 类型最丰富, 景观多样性最高的地区, 但不同景观区的绿洲其景观结构有显著的差异。荒漠和绿洲的过渡地带的过渡生态类型丰富, 其共同的景观结构特征是拼块破碎、呈团聚状分布。在极端干旱的北部阿拉善高原, 裸露戈壁是景观模地, 占据绝对优势, 蔓延度极高, 其它类型是面积相对很小的异质镶嵌体。文章最后指出, 在使用 FRAGSTATS 的栅格版本时要特别注意尺度的影响。

关键词:景观结构; 景观指标; 干旱区; 地理信息系统; FRAGSTATS

Analysis on the landscape structure of the Heihe River Basin, Northwest China

LU Ling^{1,2}, LI Xin², CHENG Guo-Dong^{1,2}, XIAO Hong-Lang² (1. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*; 2. *State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 73000, China*)

Abstract: The Heihe River Basin, as a typical inland river basin in the arid region of northwest China, is composed of different ecosystems such as mountain, oasis, and desert. Its landscape structure is mainly manifested by the desert-oasis-river pattern, simple composition, coarse grain size, heterogeneous mosaics, and high dependence on water sources. Our objectives in this paper were to analyse the above characteristics of inland basins and to study the application of GIS in landscape mapping and landscape structure analysis using landscape metrics and program FRAGSTATS.

We first identified 18 patch types as the landscape structure classification system of the Heihe River Basin based on 66 land-used types; then we compiled the landscape map of the Heihe River Basin based on the land-use map using geographic information systems. Meanwhile, a total of six landscape zones was delimited and delineated to advance the landscape structure analysis of the Heihe River Basin in detail, they are forest-steppe zone in the Qilian Mountains, oasis zone in the Hexi Corridor, the desert-gobi zone in the northwestern Hexi Corridor, Ruoshui River Delta zone, desertified zone in the Guzinai Lake Basin; and desert-gobi zone in the northern Alxa High-plain. Findly we calculated various landscape metrics of each zone at both the patch level and the landscape level using the powerful landscape structure analysis program, FRAGSTATS, including area, patch density and size, edge, shape, nearest-neighbor, diversity and contagion and interspersation metrics.

基金项目:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程(CACX210018)和国家自然科学基金(49731003)资助项目

收稿日期:1999-10-18, **修订日期:**2000-04-10

作者简介:卢 玲(1970~), 女, 湖南津市人, 博士。主要从事遥感和生态学方面的研究。

The result indicated that the characteristics of landscape structure in the mountainous area, oasis area, desert area, desert-gobi area are quite different, and the landscape pattern of the Heihe River Basin is mainly controlled by the distribution of water resources. In the mountainous area landscape structure is a result of vertical zonality. The shape index and the fractal dimension at both the class level and the landscape level are far greater than those in the oasis-desert area, reflecting high continuity and complex patch shapes of the landscape in the mountainous area with plentiful precipitation. In the oasis area landscape structure is a result of water resource distribution, namely there is water there are oases. The results showed that the oases with the most complex landscape structure, the richest patch types, and the highest diversity, are distributed along rivers and artificial channels, and are heterogeneous mosaics of patches embedded in the desert landscape matrix. On the other hand, the characteristics of the landscape structure of oases in different zones are quite different. In the oasis zone in the Hexi Corridor, the artificial oases dominated by the irrigated farmland are one of the most important landscape elements. In the Roushui River Delta zone, the natural oases dominated by the meadow and the salinized meadow are relatively small and fragmented and easily disturbed. In the transitional belt between oasis and desert, the patch types are meadow, salinized meadow salt desert, and marsh, they are fragmented and distributed in dense cluster, and are dependent on water source. These kinds of patch types reflect the biodiversity in the arid region and play an important role in resisting the desertification and soil erosion in the area. In the desert area, such as the desert-gobi zone in the Northern Alxa High Plain, the bare gobi is a landscape matrix with absolute dominance and very high contagion, while other types in the zone are only heterogeneous mosaics embedded in the matrix in very small percentages.

Viewed methodologically, the results showed that GIS techniques are effective tools to help compiling landscape map and landscape research. FRAGSTATS, by providing a comprehensive choice of landscape metrics, can help to perform analyses from multiple aspects such as area, shape, composition, and spatial pattern. However, scale should be taken into account when FRAGSTATS is used. If we change the scale and resolution, the landscape metrics calculated from FRAGSTATS will change as well because the traditional landscape metrics are sensitive to scale. Therefore, we hope the new metrics that are sensitive to variations in spatial resolution should be developed in the future.

Key words: landscape structure; landscape metrics; arid region; the Heihe River Basin; GIS; FRAGSTATS

文章编号: 1000-0933(2001)08-1217-08 中图分类号: Q149 文献标识码: A

景观生态学是一门研究空间格局对生态过程相互作用的新兴交叉学科, 它主要研究景观的结构、功能和变化^[1~3]。其中, 景观结构是指具体生态系统或存在“元素”的空间关系——主要指与生态系统的大小、形状、数量、类型及构型相关的能量、物质和物种的分布。对景观结构的量化是进一步研究景观功能和变化的前提。

使用景观指标定量分析景观结构特征和变化的理论、方法和应用研究始终处于景观生态学研究的核心, 由此也产生了很多的景观指标^[4~8], 而且, 发展新的指标至今仍然十分活跃^[9]。景观指标计算方法的新趋势是把传统的计算程序集成于地理信息系统(GIS)中, 以更有效地利用 GIS 管理和分析空间数据的能力^[10, 11]。FRAGSTATS^[12]以及它的基础上发展而来的 Patch analyst^[13]等软件是体现这一趋势的代表性软件, 它们可计算几乎所有类型的景观指标, 并与 ARC/INFO、ArcView、ERDAS 等 GIS 软件高度集成。

本文试图利用 GIS 以及景观结构分析软件 FRAGSTATS, 通过对我国西北干旱地区典型内陆河流域——黑河流域各景观区的景观指标的计算, 定量分析干旱区的景观结构特征。干旱区的景观结构及其变化都明显不同, 主要表现为荒漠-绿洲-河、渠廊道的景观模式、构成简单与景观结构粗粒化、景观异质镶嵌的高对比性和对水源的依赖性^[14, 15]。因此, 对黑河流域景观指标的分析将有助于定量地揭示这些

特征;同时,也在利用 GIS 进行景观制图和景观结构分析等方面做一些方法性的探索。

1 黑河流域自然地理概况

黑河流域是我国西北干旱地区第二大内陆河流域,流域面积约 13 万 km²,位于东经 96°42′~102°00′,北纬 37°41′~42°42′之间,东面以大黄山为界、西面以黑山为界分别与石羊河流域和疏勒河流域相邻,南以托莱南山为分水岭与疏勒河上游和大通河上游相邻,北抵中蒙边境。行政上包括青海省海北州祁连县的一部分,甘肃省张掖地区的肃南县、民乐县、山丹县、张掖市、临泽县、高台县,嘉峪关市,酒泉地区的酒泉市、金塔县,内蒙古自治区阿拉善盟的额济纳旗的一部分。流域内景观分异强烈,从南到北可划分出南部祁连山地、中部河西走廊和北部阿拉善高平原三大地貌单元。

南部祁连山地是流域的水源地,海拔高度从 2 000m 到 5 500m 以上,垂直地带性明显。年平均降水量由山前低山丘陵的 200mm 上升到高山带的 500mm 以上;自然地带由山前到高山带,依次以草原化荒漠、干草原、森林草原、灌丛草甸、高寒荒漠和永久寒冻带为特征。中部走廊平原夹持于南部祁连山与走廊北山之间,年降水量从南部的 250mm 向北降低至 100mm 以下,海拔从 2 000m 以上降至 1 000m 左右。走廊北部平原多是干旱荒漠戈壁;源于南部山区的诸河出山后形成了荒漠中的绿洲。北部阿拉善高平原,海拔 1000m 左右,气候极度干旱,年降水量低于 50mm。这里分布着广袤的戈壁荒漠,绿洲面积很小,主要集中在金塔盆地和黑河下游三角洲,前者为灌溉绿洲,后者大多为荒漠化的天然绿洲。

2 数据处理

表 1 黑河流域景观拼块类型

2.1 景观制图

Table 1 Patch types in the Heihe River Basin

肖洪浪等根据 1997 年 6~9 月份 TM 影像和 1:25 万地形图,在大量野外调研和实地考察的基础上,编绘了黑河流域 1:50 万土地利用图^[16],共划分出 31 个土地型,66 个土地利用单元。该图已数字化,存储在黑河流域水资源信息系统中^[17]。黑河流域景观图是在此图的基础上,利用 GIS 制图综合编制而成的。方法是首先在土地型的基础上,拟定黑河流域景观拼块类型,共分出 18 种类型(表 1);然后,综合考虑地貌、土地利用类型和单元、土壤以及土地单元中的植物建群种,将 66 种土地单元分别归并到 18 种景观拼块类型。制图综合的具体操作过程是在 GIS 中,给土地单元图斑赋新的属性,即拼块类型;合并属性一致的图斑,根据新的属性制图,制作成流域景观图。原黑河流域土地利用图共计 1346 个土地单元图斑,制图综合后的新图斑,即景观拼块共计 888 个。彩版 I 为黑河流域景观图。

景观拼块类型	编码
Patch types	Code
寒漠 Cold desert	1
高山草甸 Alpine meadow	2
草原 Steppe	3
森林 Forest	4
中山草甸 Middle-mountain meadow	5
荒漠草原 Desert steppe	6
旱耕地 Nonirrigated farmland	7
灌耕地 Irrigated farmland	8
居民地 Residential area	9
人工林地 Artificial forest	10
草甸 Meadow	11
荒漠 Desert	12
沙漠 Sandy desert	13
裸露戈壁 Bare gobi	14
水域 Water area	15
盐化草甸 Salinized meadow	16
盐漠 Salt desert	17
沼泽 Marsh	18

2.2 景观分区

黑河流域自然分异强烈,山区、平原绿洲区和荒漠区具有截然不同的景观结构特征,因此,在景观图的基础上,把全流域分为 6 个景观区,分别计算和分析它们的景观指标。这 6 个景观区是:祁连山森林草地景观区、走廊绿洲景观区、走廊西北部沙漠戈壁景观区、弱水三角洲景观区、古日乃湖盆沙漠化景观区、北部阿拉善高平原荒漠景观区。

划分景观区的原则是:①主要依据景观的自然分异;②兼顾高度带,同时参照黑河流域水资源开发利用分区^[18]和黑河流域生态环境综合评价分区^[19];③保证拼块的完整性,即不因为生态分区而将完整的拼块多边形分割为多个多边形。

最后一方面数据要,它保证景观的边缘同时是拼块边缘,从而保证景观指标计算的准确性。景观区的分区结果叠加显示在图 1 中。

3 景观指标计算方法

FRAGSTATS 是由美国俄勒冈州立大学森林科学系开发的一个景观指标计算软件,它有两种版本,矢量版本运行在 ARC/INFO 环境中,接受 ARC/INFO 格式的矢量图层;栅格版本可以接受 ARC/INFO、IDRISI、ERDAS 等多种格式的格网数据。两个版本的区别在于:栅格版本可以计算最近距离、邻近指数和蔓延度,而矢量版本不能;另一个区别是对边缘的处理,由于格网化的地图中,拼块边缘总是大于实际的边缘,因此栅格版本在计算边缘参数时,会产生误差,这种误差依赖于网格的分辨率。

FRAGSTATS 可以计算 40 多种景观指标,但许多指标之间都是高度相关的^[20,21]。在拼块类型级别上分析景观指标时,选用了 9 个指标,它们是:拼块类型面积、拼块所占景观面积的比例、拼块个数、拼块平均大小、面积加权的平均形状因子、面积加权的平均拼块分形指数、平均最近距离、平均邻近指数、散布与并列指数;在景观级别上分析景观指标时,选用了 13 个指标,它们是:景观面积、最大拼块所占景观面积的比例、拼块个数、拼块平均大小、面积加权的平均形状因子、面积加权的平均拼块分形指数、平均最近距离、平均邻近指数、景观丰度、香农多样性指数、香农均度指数、散布与并列指数、蔓延度指数。这些指标的公式和计算方法都采用 FRAGSTATS 的表示方式^[12]。

在计算黑河流域的景观指标时,选用 FRAGSTATS 的栅格版本,以确保能计算蔓延度等指标。计算过程中给定的几个重要参数是:①格网分辨率为 250m×250m;②所有边缘的权值为 1,即流域边界和景观边缘都被作为拼块边缘处理;③邻近指数计算时的最小搜索距离为 50 000m。

4 结果

表 2 是黑河流域 6 个不同的景观区内各种拼块类型的景观指标计算结果。表 3 是在景观级别上,不同景观区的结构指标计算结果。综合分析表 2、表 3 和彩版 1,得到以下结果。

4.1 祁连山森林草地景观区

景观具有明显的垂直地带性,拼块呈环状分布,从 2 000~5 000m 以上主要的拼块类型依次为草原、高山草甸和寒漠,这 3 种拼块类型具有明显优势,占到总面积的 95.91%。高山草甸和草原的平均粒径粗大,形状因子和分形指数是全黑河流域最大值,邻近指数仅次于下游地区的裸露戈壁拼块,具有高连通性和聚合度。相对于高山草甸和草原,寒漠的拼块数目较多,相对粒径较小;而邻近指数则明显小于以上两种类型,其分布较为破碎,离散程度高;散布与排列指数是景观区内最低值,反映寒漠拼块的周围其它拼块类型很少且分布不均匀。其它拼块类型,尤其是旱耕地和灌耕地的面积仅占很小的比例,拼块间距离远,零星散布在主要的拼块类型之间,反映人类活动对本地区的影响很小。从景观级别上分析,祁连山森林草地景观区的典型特征是:粒径粗大;形状复杂;连通性强;多样性指数不高。最典型特征是:具有较高的周长/面积比例,形状指数和分形数都明显高于其它景观区,反映了降水丰沛的山区景观拼块的形状完全不同于干旱区简单的拼块形状。

5.2 走廊绿洲景观区

景观类型丰富,呈现出异质镶嵌的高对比性,对比度强烈的荒漠和灌耕地是主要的拼块类型,分别占据景观总面积的 37.90%和 29.50%。它们在景观结构上的相似特性是:拼块之间距离较近,邻近指数远高于景观内其它拼块类型,具有较高的连通性和聚合度;不同之处是:荒漠拼块粒径较粗大,拼块数目少,而灌耕地拼块数目多,平均粒径远小于荒漠,反映原作为模地的荒漠,在人为垦殖作用下,逐渐演变为耕地。草甸是景观内次一级的重要类型,拼块数目较多,分布也比较集中,但连通性远小于荒漠和灌耕地。盐化草甸、盐漠和沼泽只占景观面积很小的比例,它们在结构上的共同特征是形状简单,呈小片散布在荒漠和耕地之间,邻近指数很小,拼块破碎且连通性差,表现为明显的过渡类型;另外,它们都具有较高的散布与排列指数,反映这些类型聚集分布并且依赖于水源。与人类活动紧密联系的居民地和人工林地总共只占据约 1%的土地面积,相互之间距离很远,并且具有景观内最小的邻近指数,反映它们的空间分布离散性很强。从景观级别上分析,走廊绿洲景观区的典型特征是:拼块数目众多;大小比较均匀;粒径适中;景观构成复杂。最典型的景观特征为黑河流域内最高值,多样性指数仅略低于弱水三角洲景观区,同时,均度指数也较高,反映绿洲是干旱区景观结构最复杂,类型最丰富的地区。

表 2 黑河流域不同景观区内各种拼块类型的景观指标

Table 2 Landscape metrics of different patch types in the six landscape zones of the Heihe River Basin

ID	TYPE	CA(hm ²)	% LAND	NP	MPS (hm ²)	AWMSI	AWMPFD	MNN (m)	MPI	IJI
祁连山森林草地景观区 Forest-steppe zone in the Qilian Mountains										
1	寒漠 ⁽¹⁾	656587.50	24.66	55	11937.95	4.93	1.16	1737.80	621.95	27.59
2	高山草甸 ⁽²⁾	1133737.50	42.58	14	80981.25	15.03	1.23	3273.78	14961.95	53.63
3	草原 ⁽³⁾	752675.00	28.27	11	68425.00	12.07	1.21	1377.69	9585.23	61.44
4	森林 ⁽⁴⁾	69462.50	2.61	41	1694.21	2.62	1.10	3408.58	40.04	44.73
5	中山草甸 ⁽⁵⁾	20325.00	0.76	3	6775.00	3.18	1.12	39926.43	0.01	35.40
7	旱耕地 ⁽⁷⁾	19643.75	0.74	17	1155.51	1.90	1.07	13238.16	4.32	50.49
8	灌耕地 ⁽⁸⁾	9825.00	0.37	8	1228.12	3.12	1.13	9042.55	10.35	65.29
9	居民地 ⁽⁹⁾	162.50	0.01	1	162.50	1.37	1.04	—	0.00	0.00
走廊绿洲景观区 Oasis zone in the Hexi Corridor										
3	草原 ⁽³⁾	43112.50	2.52	9	4790.28	1.98	1.07	6890.70	63.06	36.74
5	中山草甸 ⁽⁵⁾	1587.50	0.09	2	793.75	2.65	1.12	95706.91	0.00	32.47
6	荒漠草原 ⁽⁶⁾	1268.75	0.07	1	1268.75	2.14	1.09	—	0.00	0.00
7	旱耕地 ⁽⁷⁾	60393.75	3.53	12	5032.81	2.48	1.10	2762.39	77.94	30.95
8	灌耕地 ⁽⁸⁾	505150.00	29.50	84	6013.69	6.13	1.17	1477.41	2391.16	68.29
9	居民地 ⁽⁹⁾	7843.75	0.46	9	871.53	1.67	1.06	12395.87	15.96	49.25
10	人工林地 ⁽¹⁰⁾	9418.75	0.55	4	2354.69	2.83	1.11	24902.38	1.40	27.27
11	草甸 ⁽¹¹⁾	119706.25	6.99	47	2546.94	3.62	1.13	1464.14	359.91	65.58
12	荒漠 ⁽¹²⁾	649087.50	37.90	27	24040.28	6.94	1.17	2234.63	2834.59	54.86
13	沙漠 ⁽¹³⁾	75875.00	4.43	18	4215.28	2.43	1.09	1382.28	73.88	61.05
14	裸露戈壁 ⁽¹⁴⁾	157318.75	9.19	8	19664.84	3.44	1.12	6495.15	228.63	58.53
15	水域 ⁽¹⁵⁾	8131.25	0.47	9	903.47	4.83	1.17	24730.16	21.94	43.35
16	盐化草甸 ⁽¹⁶⁾	40318.75	2.35	34	1185.85	2.65	1.10	2055.88	15.21	59.56
17	盐漠 ⁽¹⁷⁾	24737.50	1.44	8	3092.19	3.18	1.13	10187.98	13.90	67.46
18	沼泽 ⁽¹⁸⁾	8487.50	0.50	3	2829.17	2.17	1.09	20190.00	17.29	52.60
走廊西北部沙漠戈壁景观区 Desert-gobi zone in the northwestern Hexi Corridor										
2	高山草甸 ⁽²⁾	1031.25	0.08	1	1031.25	1.67	1.06	—	0.00	0.00
3	草原 ⁽³⁾	28225.00	2.18	2	14112.50	2.31	1.09	27186.85	0.19	15.78
6	荒漠草原 ⁽⁶⁾	4981.25	0.38	3	1660.42	1.77	1.07	1268.30	16.33	0.00
7	旱耕地 ⁽⁷⁾	118.75	0.01	1	118.75	1.15	1.02	—	0.00	0.00
8	灌耕地 ⁽⁸⁾	49081.25	3.79	9	5453.47	3.87	1.14	33188.23	1233.69	52.78
9	居民地 ⁽⁹⁾	243.75	0.02	1	243.75	1.44	1.05	—	0.00	0.00
11	草甸 ⁽¹¹⁾	72700.00	5.61	14	5192.86	3.88	1.14	17603.65	272.68	63.58
12	荒漠 ⁽¹²⁾	531087.50	40.99	12	44257.29	3.61	1.12	5199.83	120.44	66.88
13	沙漠 ⁽¹³⁾	80775.00	6.23	9	8975.00	3.78	1.13	11276.88	36.87	64.47
14	裸露戈壁 ⁽¹⁴⁾	469825.00	36.26	6	78304.16	2.97	1.10	7278.49	159.58	46.74
15	水域 ⁽¹⁵⁾	1181.25	0.09	2	590.62	1.79	1.07	20460.33	0.01	55.81
16	盐化草甸 ⁽¹⁶⁾	28725.00	2.22	24	1196.88	3.04	1.12	3731.97	116.50	52.26
17	盐漠 ⁽¹⁷⁾	27256.25	2.10	8	3407.03	2.10	1.08	3796.34	23.08	52.53
18	沼泽 ⁽¹⁸⁾	437.50	0.03	1	437.50	1.49	1.05	—	0.00	14.69
弱水三角洲景观区 Ruoshui River Delta zone										
8	灌耕地 ⁽⁸⁾	21025.00	3.83	14	1501.79	3.04	1.12	5590.84	68.13	49.60
9	居民地 ⁽⁹⁾	737.50	0.13	3	245.83	1.48	1.05	38051.50	7.33	33.58
10	人工林地 ⁽¹⁰⁾	8593.75	1.57	7	1227.68	2.49	1.11	21425.73	17.06	46.89
11	草甸 ⁽¹¹⁾	152181.25	27.73	39	3902.08	5.25	1.17	1547.41	597.00	80.49
12	荒漠 ⁽¹²⁾	55693.75	10.15	14	3978.12	3.74	1.14	1136.47	965.80	55.29
13	沙漠 ⁽¹³⁾	6218.75	1.13	2	3109.38	1.80	1.06	69701.15	0.00	58.47
14	裸露戈壁 ⁽¹⁴⁾	150556.25	27.43	4	37639.06	6.16	1.17	17094.21	1.72	62.46
15	水域 ⁽¹⁵⁾	15512.50	2.83	5	3102.50	5.28	1.18	3893.14	5.93	42.95
16	盐化草甸 ⁽¹⁶⁾	69887.50	12.73	28	2495.98	4.43	1.15	2947.67	141.88	69.06
17	盐漠 ⁽¹⁷⁾	68112.50	12.41	20	3405.62	3.82	1.13	4215.11	192.77	57.80
18	沼泽 ⁽¹⁸⁾	368.75	0.07	1	368.75	1.50	1.05	—	0.00	21.73
古日乃湖盆沙漠化景观区 Desertified zone in the Guzinai Lake Basin										
6	荒漠草原 ⁽⁶⁾	125.00	0.01	1	125.00	1.12	1.02	—	0.00	35.36
11	草甸 ⁽¹¹⁾	155587.50	11.18	27	5762.50	4.07	1.14	1135.85	918.37	70.59
12	荒漠 ⁽¹²⁾	189981.25	13.65	22	8635.51	4.34	1.14	3326.06	1659.41	74.24
13	沙漠 ⁽¹³⁾	676056.25	48.58	12	56338.02	5.11	1.14	2164.42	2466.83	79.06
14	裸露戈壁 ⁽¹⁴⁾	61775.00	4.44	4	15443.75	5.36	1.17	4118.92	92.09	62.39
16	盐化草甸 ⁽¹⁶⁾	213587.50	15.35	24	8899.48	4.78	1.15	1174.25	632.01	71.46
17	盐漠 ⁽¹⁷⁾	68106.25	4.89	14	4864.73	3.61	1.13	1420.53	369.80	74.92
18	沼泽 ⁽¹⁸⁾	26481.25	1.90	7	3783.04	2.54	1.10	2550.59	24.65	76.55
北部阿拉善高原荒漠景观区 Desert-gobi zone in the northern Alxa High-plain										
8	灌耕地 ⁽⁸⁾	18.75	0.01	1	518.75	1.21	1.02	—	0.00	22.52
10	人工林地 ⁽¹⁰⁾	412.50	0.01	1	412.50	1.78	1.08	—	0.00	0.00

11 草甸 ⁽¹¹⁾	3531.25	0.07	2	1765.62	2.20	1.09	232437.23	0.00	36.69
12 荒漠 ⁽¹²⁾	189225.00	3.55	70	2703.21	3.45	1.13	4508.52	147.67	6.50
13 沙漠 ⁽¹³⁾	189031.25	3.54	9	21003.47	2.35	1.08	38293.37	279.42	17.86
14 裸露戈壁 ⁽¹⁴⁾	4908325.00	92.00	12	409027.09	8.27	1.17	1354.05	197031.42	51.08
16 盐化草甸 ⁽¹⁶⁾	35362.50	0.66	19	1861.18	2.58	1.11	17246.37	41.01	22.75
17 盐漠 ⁽¹⁷⁾	8800.00	0.16	9	977.78	2.29	1.09	14599.40	2.45	15.60

ID; 拼块类型编号; TYPE; 拼块类型; CA; 类型面积; %LAND; 拼块所占景观面积的比例; NP; 拼块个数; MPS; 拼块平均大小; AWMSI; 面积加权的平均形状因子; AWMFPD; 面积加权的平均拼块分形指数; MNN; 平均最近距离; MPI; 平均邻近指数; IJI; 散布与并列指数. ID of landscape type; TYPE; Patch type; CA; Class area; %LAND; Percent of Landscape; NP; Number of patches; MPS; Mean patch size; AWMSI; Area-weighted mean shape index; AWMFPD; Area-weighted mean patch fractal dimension; MNN; Mean nearest-neighbor distance; MPI; Mean proximity index; IJI; Inter-spersion and Juxtaposition index. (1) Cold desert; (2) Alpine meadow; (3) Steppe; (4) Forest; (5) Middle-mountain meadow; (6) Desert steppe; (7) Nonirrigated farmland; (8) Irrigated farmland; (9) Residential area; (10) Artificial forest; (11) Meadow; (12) Desert; (13) Sandy desert; (14) Bare gobi; (15) Water area; (16) Salinized meadow; (17) Salt desert; (18) Marsh

4.3 走廊西北部沙漠戈壁景观区

荒漠和裸露戈壁是面积最大的景观元素,分别占据总面积的 40.99%和 36.26%,拼块粒径粗大,连通性较强。灌耕地仅占土地总面积的 3.79%,其邻近指数为景观区内最高值,反映它们在空间上的分布非常集中(主要集中在金塔盆地)。草甸和盐化草甸所占总面积的比例不大,但拼块数目众多,其中盐化草甸 24 块,占本区域拼块总数的 26%,它们分布在耕地周围,反映本地区土地退化强烈,原本连通性较强的绿洲正趋于破碎化。盐漠主要分布在荒漠和草甸之间,是典型的过渡类型。从景观级别上分析,走廊西北部沙漠戈壁景观区的典型特征是:粒径较粗大;同类拼块间距离远,分布离散,连通性差;景观丰度高,但均匀性差,多样性指数不高;具有较高的蔓延度。从整个流域的尺度上分析,本地区是绿洲和荒漠之间的过渡地带。

4.4 弱水三角洲景观区

景观以河流廊道为基本特征。各种拼块类型一方面沿河道呈带状分布,另一方面在黑河下游两条支流及下游湖盆之间构成一个三角地带,拼块类型由内部的裸露戈壁向外部的草甸-盐化草甸-盐漠呈环状分布。面积最大的拼块类型是草甸,占总面积的 27.73%,拼块粒径适中,连通性较强;散布与排列指数是整个黑河流域最高值,达 80.49%,说明其周围散布着的拼块类型丰富而且分布比较均匀,反映草甸是干旱地区植被演化过程中一种重要的过渡类型。与草甸面积相当的拼块类型是裸露戈壁,占总面积的 27.43%,但其拼块数目远少于草甸,粒径粗大,主要分布在三角洲的中心地带。荒漠、盐化草甸和盐漠在所占面积比例上是次一级的类型,它们的分布相对集中于已经干涸的下游湖盆地区,邻近指数和散布与排列指数都较高。水域所占面积虽然很小,仅 2.83%,但却是本区域的重要景观元素,三角洲地区的景观多样性即得宜于河流廊道的存在。值得注意的是,林地仅占本区域土地面积的 1.57%,这与历史上胡杨林、沙枣林等乔灌木林曾具有较大规模形成鲜明对比。从景观级别上分析,弱水三角洲景观区的典型特征是:拼块数目多;粒径较小;分布离散;异质性强;蔓延度为流域内最低值,说明没有明显的优势类型。最典型的特征是景观多样性指数和均度都是流域内最高值,同时也具有较高的景观丰度,反映了依赖于河流廊道的弱水三角洲地区是黑河流域类型最丰富、结构最复杂、异质性最强的地区之一,但同时由于拼块粒径小而数目多(单位面积内拼块数目为黑河流域最高值),也是一个极易受到干扰的地区。

表 3 黑河流域不同景观区的景观指标比较

Table 3 Landscape metrics of different landscape zones in the Heihe River Basin													
ZONE	TA (hm ²)	LPI	NP	MPS (hm ²)	AWMSI	AWM- PFD	MNN (m)	MPI	PR	SHDI	SHEI	IJI	CON- TAG
1	2662418.75	31.56	150	17749.46	11.15	1.20	4788.50	2339.40	8	1.26	0.60	48.26	63.92
2	1712437.50	22.76	275	6227.05	5.42	1.15	4607.30	1090.89	15	1.75	0.65	62.35	62.15
3	1295668.75	17.32	93	13931.92	3.33	1.11	10918.50	222.43	14	1.48	0.56	62.21	69.03
4	548887.50	26.03	137	4006.48	4.89	1.15	5976.10	334.04	11	1.82	0.76	67.95	54.23
5	1391700.00	44.31	111	12537.84	4.73	1.14	1929.20	1007.13	8	1.52	0.73	75.14	58.28
6	5335206.25	25.16	123	43375.66	7.83	1.17	13226.70	19333.58	8	0.36	0.17	33.72	89.83

ZONE:景观区编号;TA:景观面积;LPI:最大拼块所占景观面积的比例;NP:拼块个数;MPS:拼块平均大小;AWMSI:面积加权的平均形状因子;AWMPFD:面积加权的平均拼块分形指数;MNN:平均最近距离;MPI:平均邻近指数;PR:丰度;SHDI:香农多样性指数;SHEI:香农均度指数;IJI:散布与并列指数;CONTAG:蔓延度指数。ZONE;No. of landscape zone; TA: Total landscape area; LPI: Largest patch index; NP: Number of patches; MPS: Mean patch size; AWMSI: Area-weighted mean shape index; AWMPFD: Area-weighted mean patch fractal dimension; MNN: Mean nearest-neighbor distance; MPI: Mean proximity index; PR: Patch richness; SHDI: Shannon's diversity index; SHEI: Shannon's evenness index; IJI: Interspersion and Juxtaposition index; CONTAG: Contagion index

4.5 古日乃湖盆沙漠化景观区

景观以沙漠化为基本特征。古日乃拐子湖盆区紧邻巴旦吉林沙漠,因此本区域的沙漠化景观既是巴旦吉林沙漠前移的结果,也是其它土地类型退化的结果。沙漠是模地,占总面积的 48.58%,粒径非常粗大;邻近指数是景观内最大值,反映沙漠连通性强,分布集中。荒漠、草甸和盐化草甸是次一级的类型,所占总面积的比例分别在 10%~15%之间,其中荒漠分布在与裸露戈壁的交错地带,草甸和盐化草甸则被沙漠所包围。盐漠和沼泽主要分布在下游泉水溢出带,值得注意的是,景观内沼泽所占的面积比例(1.90%)和拼块数(7 块)都明显高于黑河流域其它地区,说明沼泽是下游湖盆区重要的景观元素,但沼泽拼块的邻近指数是景观内最低值,反映拼块比较破碎,离散度高。从景观级别上分析,古日乃湖盆沙漠化景观区的典型特征是:粒径较粗大;拼块间距离近;景观具有多样性,虽然景观丰度小,但多样性指数和均度都较高;散布与排列指数是流域内最大值,拼块团聚分布;蔓延度较低。

4.6 北部阿拉善高平原荒漠景观区

裸露戈壁是景观模地,并且占据绝对优势,其粒径非常粗大,除了与沙漠地带比邻的几个小拼块外,其余地区都连通为一个面积广大的拼块,它占景观总面积的比例达 91.78%。荒漠虽然面积很小,为总面积的 3.55%,但拼块数目众多,占景观内拼块总数 57%,呈条带状零星散布在广袤的戈壁基质中,是不可忽视的景观元素。耕地、人工林地、草甸、盐化草甸和盐漠所占面积比例很小,总共不到 1%,仅零星分布在与下游湖盆接近的地区。除裸露戈壁外,其它拼块类型的散布与排列指数都很低,这从另一方面反映了它们破碎度很高,被戈壁基质所包围,周围没有其它的拼块类型,是面积相对很小的异质镶嵌体。从景观级别上分析,北部阿拉善高平原荒漠景观区的典型特征是:单位面积内的拼块数目少;拼块大小很不均匀;异质性不明显,多样性指数和均度都远低于其它景观区。最典型特征是:拼块间平均距离、邻近指数、蔓延度都是全流域最高值,而散布与排列指数是全流域最低值,说明裸露戈壁是本区域内占据绝对优势的景观元素,是连通性极高的模地。

5 结论与讨论

黑河流域是典型的干旱区内陆河流域,流域内包括不同的自然地理单元。山区水源带、绿洲带和戈壁荒漠带既是自成体系的生态系统又互相联系,构成完整的内陆河流域体系。流域内景观分异强烈,不同的景观区都具有独特的景观结构特征。本文在 GIS 的支持下进行黑河流域景观制图,并且将流域划分为 6 个景观区,利用 FRAGSTATS 分别在拼块类型级别和景观级别上计算各个地带的景观指标。研究结果表明,山区水源带、绿洲带和戈壁荒漠带具有截然不同的景观结构特征。在山区,垂直地带性是导致景观格局的驱动力。山区的景观结构特征突出表现为连通性强,拼块形状复杂,无论是在拼块类型级别上还是在景观级别上,其形状指数和分形指数都明显高于干旱区简单的拼块形状,反映了降水丰沛的山区天然植被的特点。在绿洲—荒漠区,水是导致景观格局的最主要驱动力,所谓“有水就有绿洲”,绿洲主要沿河流和渠道分布,是镶嵌在荒漠基质上的景观异质体。景观指标的计算结果表明,绿洲是干旱区景观结构最复杂,类型最丰富,景观多样性最高的地区,但不同地带的绿洲区其景观结构也有显著的差异。在走廊绿洲景观区,以耕地为主的人工绿洲已成为最主要的景观元素之一。而黑河下游的弱水三角洲景观区,景观破碎度强,拼块粒径小而数目多,是一个极易受到干扰的地区;绿洲主要以草甸和盐化草甸为主,林地面积与历史时期相比已减少很多,甚至消失,演化为沼泽-盐化草甸-盐漠,这一演化过程是下游来水量急剧减少的结果^[15-18]。荒漠和绿洲的过渡地带主要分布着草甸、盐化草甸、盐漠和沼泽,它们是重要的过渡生态类型,其

共同的结构特征是拼块破碎、呈团聚状分布并且强烈依赖于水源。它们既是荒漠—绿洲景观中不可缺少的生态环节;也是荒漠生物多样性的体现,并对阻滞沙漠化和土壤侵蚀有及其重要的作用^[22],应特别注意保护。在极端干旱的北部阿拉善高平原荒漠景观区,裸露戈壁是景观模地,并且占据绝对优势,蔓延度极高,其它拼块类型被戈壁基质所包围,是面积相对很小的异质镶嵌体。

从方法上而言,本文的研究结果表明 FRAGSTATS 中的景观指标能够较正确地反映景观结构,特别是它提供了多种类型的景观指标,有利于从景观格局、组成等多个方面进行综合分析。需要注意的是,在使用 FRAGSTATS 的栅格版本时,要特别注意尺度的影响。本文是在整个流域的宽广尺度上分析景观结构,网格分辨率选择为较高精度的 250m,以保证最小土地单元图斑不丢失。如果研究的尺度不同,网格分辨率不同,景观指标的计算结果也会迥异。近来,由于遥感数据的广泛使用,以及它在景观变化监测中不可替代的作用,发展随遥感数据的空间分辨率的改变而具有预测性,同时对景观结构变化又十分敏感的指标,成为当前景观指标研究的活跃领域。Frohn 的新作“Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators for Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems”代表了这一领域的发展趋势^[9]。

参考文献

- [1] Forman R T T and Godron M. *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, New York, 1986. 619.
- [2] 肖笃宁. 试论景观生态学的理论基础与方法论特点. 见:肖笃宁主编. 景观生态学,理论、方法及其应用. 北京:中国林业出版社,1991a. 13~25.
- [3] 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.
- [4] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, *et al.* Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, **1**: 153~162.
- [5] Turner M G and Gardner R H. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer, New York, 1991.
- [6] 许 慧, 王家骥. 景观生态学的理论与应用. 北京:中国环境科学出版社, 1993. 283.
- [7] 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,理论、方法及其应用. 北京:中国林业出版社, 1991b. 92~98.
- [8] 王仰麟, 赵一斌, 韩 荡. 景观生态系统的空间结构:概念、指标与案例. 地球科学进展, 1999, **14**(3):235~241.
- [9] Frohn R C. Remote sensing for landscape ecology: new metric indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystems. Lewis Publishers, 1998. 99.
- [10] 刘海燕. GIS 在景观生态学中的应用. 地理学报, 1995, **50**(增刊):105~111.
- [11] 肖笃宁, 李秀珍. 当代景观生态学的进展和展望. 地理科学, 1997, **17**(4):356~363.
- [12] McGarigal K and Marks B. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Reference manual. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis Oregon, March 1994. 62pp. + Append.
- [13] Elkie P C, Rempel R S and Carr A P. Patch analyst user's manual, a tool for quantifying landscape structure. Northeast Science & Technology. Ontario, February 1999. 12. + Append.
- [14] 程国栋, 肖笃宁, 王根绪. 论干旱区景观生态特征与景观生态建设. 地球科学进展, 1999, **14**(1):11~15.
- [15] 王根绪, 安犁哲, 肖洪浪, 等. 黑河流域生态环境现状、发展趋势及对策研究. 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1998a.
- [16] 肖洪浪. 编绘黑河流域沙漠化和绿洲土地分布图. 兰州:中国科学院兰州沙漠所, 1999.
- [17] Li Xin, Cheng Guodong and Ding Yongjian. GIS for sustaining water resource in Heihe Catchment. In: *Proceedings of the International Symposium on Hydro-Environment in Asia*. CERES, 1997. 189~196.
- [18] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 黑河流域水资源合理利用与社会经济和生态环境协调发展研究. 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1999.
- [19] 王根绪, 安犁哲, 石登荣, 等. 黑河流域生态环境调查与质量评价. 兰州:中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1998b.
- [20] Riitters K H, O'Neill R V, Hunsaker C T, *et al.* A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 1995, **10**: 23~39.
- [21] Environmental Protection Agency (EPA). Landscape monitoring and assessment research plan. EPA 620/R-94/009, Office of Research and Development, Washington, D. C., 1994.
- [22] 王根绪, 程国栋. 荒漠绿洲生态系统的景观格局分析——景观空间方法与应用. 干旱区研究, 1999, **16**(3):6~11.