

DOI: 10.11929/j.swfu.201808028

引文格式: 郑琪琪, 杜灵通, 宫菲, 等. 基于 GF-1 遥感影像的宁夏盐池柠条人工林景观特征研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2019, 39(1): 152-159.

基于 GF-1 遥感影像的宁夏盐池柠条人工林景观特征研究

郑琪琪^{1,2,3} 杜灵通^{2,3} 宫菲^{2,3} 丹杨^{2,3} 王乐^{2,3}

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏大学西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地, 宁夏银川 750021; 3. 宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏银川 750021)

摘要: 以宁夏盐池县为研究区, 利用高分一号遥感影像和谷歌地球数据, 采用监督分类与目视解译结合的方法对柠条人工林进行提取, 结合 DEM 数据和景观生态学方法, 分析盐池县柠条人工林的地理分布格局与景观特征。结果表明: 盐池县柠条人工林占县域面积的 13.18%, 斑块数量和面积南北分布差异较大; 从地理分布格局来看, 柠条林大量分布于高程较低和坡度较缓的地区, 地势较高与坡度较大的地区仅有少量小斑块分布; 不同乡镇的景观单元特征和景观破碎化程度不同, 花马池镇柠条林的斑块景观内部分割较复杂, 高沙窝镇的内部斑块连通性更好, 麻黄山乡景观破碎化程度较高, 高沙窝镇与麻黄山乡柠条林的斑块边界都较为曲折; 整体来看, 盐池地形平缓、高程较低的中北部以营造防沙治沙型柠条为主, 面积大且景观斑块连续, 地形陡峭的南部沟壑丘陵地区则以营造退耕还林的柠条为主, 面积小且景观破碎。

关键词: 柠条; 人工林; 景观; 遥感; 地理格局; 盐池

中图分类号: P901

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2019)01-0152-08

Landscape Characteristics of *Caragana intermedia* Plantation Based on GF-1 Remote Sensing Image in Yanchi

Zheng Qiqi^{1,2,3}, Du Lingtong^{2,3}, Gong Fei^{2,3}, Dan Yang^{2,3}, Wang Le^{2,3}

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan Ningxia 750021, China; 2. Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, Ningxia University, Yinchuan Ningxia 750021, China; 3. Key Laboratory of Ministry of Education for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwest China, Ningxia University, Yinchuan Ningxia 750021, China)

Abstract: Taking Yanchi County of Ningxia as a research area, using GF-1 remote sensing image and Google Earth data, the combination of supervised classification and visual interpretation is used to extract *Caragana intermedia* Plantation. Based on DEM data and landscape ecology methods, the geographical distribution pattern and landscape characteristics of *C. intermedia* plantations in Yanchi are analyzed. The landscape unit characteristics and landscape fragmentation degree of different towns and towns are different. The internal division of the patch landscape of *C. intermedia* plantations in Huamachi Town is complicated. The results show that the total area of *C. intermedia* plantations in Yanchi accounts for 13.18% of the whole county area, and the distribution of the number and area of plaques varies greatly from north to south. From the geographical distribution pattern, the *C. intermedia* plantation is widely distributed in areas with low elevation and slow slope. The area with high terrain

收稿日期: 2018-08-13; 修回日期: 2018-09-12

基金项目: 国家自然科学基金 (41661003) 资助; 宁夏高等学校一流学科建设 (生态学) 项目 (NXYLXK2017B06) 资助; 中国科学院西部之光人才计划项目 (XAB2017AW01) 资助。

第 1 作者: 郑琪琪 (1995—), 女, 硕士研究生。研究方向: 荒漠化与水土保持。Email: qzq0122@qq.com。

通信作者: 杜灵通 (1980—), 男, 博士, 副研究员。研究方向: 资源环境遥感。Email: dult80@qq.com。

and steep slope has only a small number of small patches. The internal plaque connectivity of Gaoshawo is better, the landscape of Mahuangshan is more fragmented, and the plaque boundaries of Gaoshawo and Mahuangshan are more tortuous. On the whole, the middle and northern parts of the salt pond with a gentle topography and low elevation are mainly used to build sand control type. In the southern gully hilly area with large area and continuous plaques, the southern gully hilly area is mainly composed of *C. intermedia*, which is small in area and broken in landscape.

Key words: *Caragana intermedia*; plantation; landscape; remote sensing; geographical pattern; Yanchi

荒漠草原生态系统是干旱半干旱气候区的一种典型生态系统，上世纪由于过度放牧等人为干扰，中国西北大面积的荒漠草原生态系统遭到较为严重的破坏^[1]。宁夏盐池县处于毛乌素沙地南缘，是过渡性较为明显的荒漠草原区，20 世纪中叶曾严重沙漠化^[2]。为保护草原、治理沙化，盐池县持续实施了退耕还林和封育禁牧等生态恢复工程，并已抑制和逆转了当地的沙漠化过程^[3]。从 20 世纪 70 年代开始，盐池县采用“人工种植柠条 (*Caragana intermedia*) 林+封育措施”对退化荒漠草原进行治理，全县拥有上百万亩的可利用柠条资源，大量人工种植的柠条林逐渐在荒漠草原上形成了一道独有的灌草组合景观^[4]。然而，不同时期、不同项目规划种植的柠条随着生长年限的变化和自我更新演替，导致几十年后荒漠草原上柠条人工林景观特征差异较大，加之在不同区域和不同自然本底条件下种植柠条，需采用不同密度与种植模式，这也在盐池不同地区形成了不同的柠条人工林地面景观。研究柠条人工林的景观特征对荒漠草原建立科学合理的沙漠化治理模式具有指导价值，但由于技术手段限制，目前尚未从空间尺度上全面掌握盐池的柠条人工林景观特征。

从空间上对景观要素进行定量分析，能够直观地掌握区域植被生态格局特征，从而精准的对生态环境进行保护与治理^[5-6]。卫星遥感数据是景观格局研究的重要数据源^[7]，利用遥感图像提取景观类型与景观空间格局，可以清晰地反映出景观斑块类型、数目及空间分布等特征。然而，早期的卫星遥感影像（如 Landsat TM）受分辨率和重访周期的限制，难以满足空间尺度或者时间序列上生态学研究的更高需求^[8]，高分一号（GF-1）是中国高分辨率对地观测专项发射的首颗卫星，其数据分辨率接近国外商用卫星，已在国土资源监测和城镇景观格局研究中得到初步应用^[9-10]，利用高分一号数据开展柠条人工林景观格局特征研究，对助推国产卫星数据区域示范和拓展新应用

领域具有一定实践意义。为此，本研究以 GF-1 PMS 和谷歌地球遥感影像^[11]为基础，提取盐池县柠条人工林的空间景观格局，利用地理空间分析技术和景观生态学方法进行柠条人工林景观特征分析，旨在为区域生态恢复与沙漠化治理提供科学依据。

1 研究区概况

盐池县地处宁夏与甘肃、陕西、内蒙古三省的交界处，辖 4 乡 4 镇，位于 37°04′~38°10′N，106°30′~107°47′E，总面积 6 769 km²。以麻黄山为界，北部大部分属鄂尔多斯高原，南部为黄土丘陵区，地形呈南高北低、中部高而东西低的特点，具体见图 1。

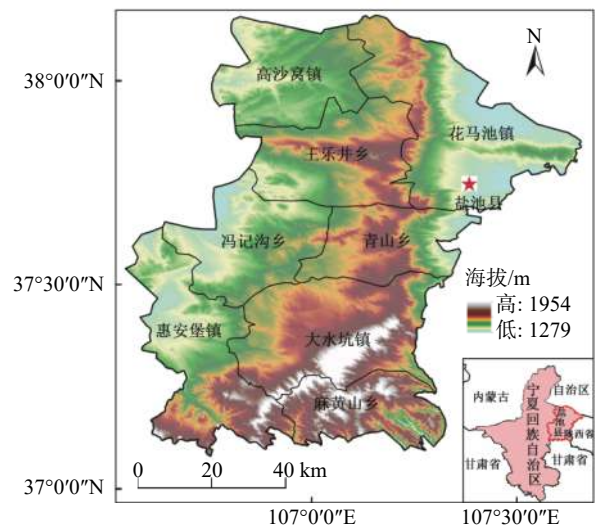


图 1 研究区概况

Fig. 1 Sketch map of study area

盐池县位于半干旱与干旱气候过渡区，属典型的大陆性季风气候，年平均降水量 250~350 mm，从南到北呈递减的趋势。土壤以灰钙土、风沙土、黑幼土为主。由于土壤贫瘠、降水量低，导致植被类型单一，主要分布有灌丛、草原、沙地植被和荒漠植被等，灌木主要以北沙柳 (*Salix psam-*

mophila) 和小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla*) 为主, 草原植被主要有大针茅 (*Stipa grandis*)、长芒草 (*Stipa bungeana*) 和冰草 (*Agropyron cristatum*) 等。近些年在退耕地和草原上发展了 3 227 km² 的人工灌草地, 约占盐池总面积的 48.52%, 极大的改善了区域植被类型和结构^[12-13]。

2 材料与方法

2.1 数据来源

GF-1 卫星上搭载的全色/多光谱相机可获取 2、8 m 分辨率的 PMS 影像^[14]。根据研究区范围, 订购了 2013 年 9 月 25 日覆盖盐池县的 GF-1 卫星 PMS 数据, 卫星过境时数据质量良好, 无明显云覆盖。

谷歌地球影像通过 Google Earth Pro 软件实时接入互联网获取, 盐池县覆盖区域的谷歌地球遥感数据主要为 2013 年及以后更新的高分辨率影像。

SRTM DEM 数据从地理数据空间云 (<http://www.gscloud.cn/>) 获取, 通过 DEM 数据提取盐池县高程、坡度等地理空间数据。

2.2 数据预处理

使用 ENVI 5.2 版本软件对 GF-1 PMS 数据进行预处理。先将多光谱影像分别进行辐射定标、大气校正、正射校正, 再对全色影像进行辐射定标与正射校正, 之后将校正后的多光谱影像与全色影像融合, 得到具有多光谱信息和高空间分辨率的遥感融合影像。

2.3 柠条人工林提取方法

2.3.1 监督分类法

结合盐池县的乡镇划分, 在遥感融合影像中, 每个乡镇提取 2 个比较有代表性的训练样本 (共 16 个样本), 进行野外调查对比, 确定柠条人工林训练样本, 计算机依据柠条人工林的光谱反射特征与训练样本信息进行自动解译分类。通过监督分类和人机交互式解译提取柠条人工林的空间分布图。

2.3.2 目视解译法

研究区以人工种植的柠条林为主, 但也有非常少量天然散生的柠条, 为准确提取柠条人工林的数据, 需要人工目视经验判断。柠条人工林具有明显的条带纹理特征, 而天然柠条分布零散, 大小不均且不成林, 在影像中无条带纹理特征。同时, 结合谷歌地球影像的放大图, 通过直接判读、对比分析、信息复合、综合推理和地理相关分析等方法^[15], 核查计算机分类处理的效果与精度, 根据分类结果在盐池县各乡镇柠条人工林地随机选取 1 个样点 (共 8 个样点), 进行野外勘探, 进一步人工目视纠错, 最终提取出覆盖整个盐池县的柠条人工林斑块数据。

2.4 景观格局分析方法

利用 Fragstats 景观分析软件对盐池县柠条人工林景观格局指数进行计算。本研究在借鉴前人研究成果^[16-17]的基础上, 选取景观单元特征类和景观斑块破碎化程度类共计 10 个指标 (表 1), 对盐池县柠条人工林景观特征进行研究。

表 1 景观指数及其生态学意义

Table 1 Landscape indexes and their ecological meaning

类型	景观指数	公式	参数意义	生态学意义
景观单元特征类	斑块数量 (NP)	$NP=n$	n : 斑块数量	反映了某类型斑块在研究区分布状况
	类型面积 (CA)	$CA_i = \sum_{j=1}^n X_{ij}$	CA_i : 某类景观斑块总面积; X_{ij} : i 类景观中第 j 个斑块面积	某种类型下所有斑块的总面积大小, 表示斑块大小特征
	平均斑块面积 (MPS)	$MPS = \frac{CA}{NP}$	CA : 总斑块面积; NP : 斑块总数量	指征景观的破碎程度也是反映景观异质性的关键
	最大斑块指数 (LPI)	$LPI = \frac{A_{max}}{A}$	A_{max} : 景观类型中最大斑块面积; A : 此类景观的总面积	某种景观类型里面积最大的斑块与景观总面积的百分比, 表示大斑块优势程度
景观斑块破碎化程度类	景观形状指数 (LSI)	$LSI = \frac{0.25E}{\sqrt{A}}$	E : 景观内所有斑块周长; A : 该景观斑块的总面积	景观形状指数用来表示景观内部斑块的复杂程度
	斑块密度 (PD)	$PD = \frac{N}{A}$	N : 斑块总数量; A : 此类景观的总面积	与景观破碎化程度密切相关, 在一定程度上代表了景观空间结构的复杂性
	边界密度 (ED)	$ED = \frac{E_i}{A_i} \times 10^6$	E_i : i 类景观斑块边界总长度; A_i : i 类景观斑块总面积	与景观的破碎化程度呈正相关, 破碎化程度高, ED 值大, 单位面积内斑块的边界总长度就会越长。

续表 1

类型	景观指数	公式	参数意义	生态学意义
蔓延度 (CONTAG)		$\text{CONTAG} = 1 - \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij})}{2 \ln m}$	m : 景观中的斑块类型数; P_{ij} : 面积加权的概率	表征景观中不同斑块类型团聚程度或蔓延趋势
聚合度 (AI)		$\text{AI} = \left[\frac{g_i}{\max \rightarrow g_{ii}} \right] (100)$	g_i : 此类景观的总面积	从景观水平上描述同一类斑块的邻接关系
分离度指数 (SPLIT)		$\text{SPLIT} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n}{A}} \frac{m}{A}$	A : 该景观斑块的总面积; m : 斑块类型数量	某一景观类型中各斑块空间分布之间的分离程度

2.5 地理分布格局分析方法

将高程、坡度等地理空间数据与柠条人工林斑块进行叠加, 利用 ArcGIS 10.0 软件进行空间分析, 得到不同高程及坡度上的柠条人工林斑块的分布情况, 通过统计不同高程与不同坡度的柠条人工林斑块的类型以及所占比重等, 分析柠条人工林景观的地理分布格局。

3 结果与分析

3.1 柠条林解译结果及斑块分布特征

通过监督分类与目视解译相结合的方法提取盐池县柠条人工林区域, 从解译结果统计得出盐池县柠条人工林斑块 1 885 个, 总面积为 89 234.24 hm^2 , 约占县域面积的 13.18%。利用 GIS 软件的空间分析功能, 对盐池县的柠条林斑块按面积进行等级划分, 空间分布及统计结果分别见图 2 和表 2。

在划分的 5 个柠条林斑块等级中, 斑块数量最多的是中斑块, 共有 1 011 个, 超过总斑块数量的一半; 其次是小斑块, 共有 618 个。中斑块和小斑块的数量占总斑块数量的 86.42%, 表明盐池柠条种植多以 1~100 hm^2 的连续地块为单元, 适度成片种植为主。尽管大斑块数量仅占总斑块数量的 10.93%, 但其面积却达到了总柠条种植面积的 53%; 极大斑块虽然只有 3 个, 但每个斑块的平均面积却达到了 1 489.63 hm^2 。极大斑块分布于盐池北部的花马池镇、高沙窝镇和花马池镇与王乐井乡交界处, 大斑块主要分布于中北部荒漠

草原区, 而南部黄土丘陵的麻黄山乡分布很少。这说明, 盐池在荒漠草原沙化治理过程中, 面积超过 100 hm^2 的大片柠条种植区对区域植被恢复和沙漠化防治起到了举足轻重的作用。小斑块和极小斑块的柠条林分布也较为广泛, 尤其在麻黄山较密集, 但其总面积很小, 多为退耕边角区域或丘陵破碎非连片区种植的柠条灌木, 区域性生态效益不大。

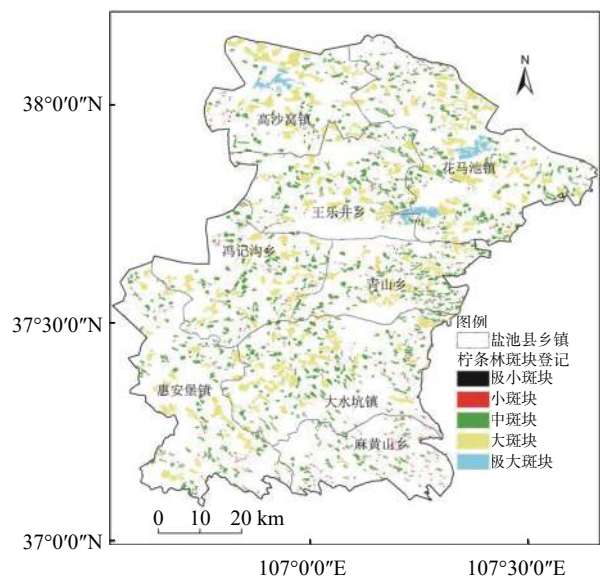


图 2 不同等级柠条人工林斑块的分布情况
Fig. 2 Distribution of different sized landscape patches of *C. intermedia* plantation

表 2 柠条林斑块大小等级划分及统计

Table 2 The classification and statistics of different sized landscape patches of *C. intermedia* plantation

斑块划分		斑块数量/个	最小面积/ hm^2	最大面积/ hm^2	总面积/ hm^2	平均面积/ hm^2	数量比例/%	面积比例/%
斑块等级	斑块面积/ hm^2							
极小斑块	<1	47	0.17	0.99	31.87	0.68	2.49	0.04
小斑块	1~10	618	1.01	9.98	3 044.85	4.93	32.79	3.41
中斑块	10~100	1 011	10.06	99.69	34 322.03	33.95	53.63	38.46
大斑块	100~1 000	206	100.59	980.41	47 366.60	229.93	10.93	53.08
极大斑块	>1 000	3	1 451.00	1 529.74	4 468.89	1 489.63	0.16	5.01

3.2 柠条林景观的地理分布格局

3.2.1 不同高程的柠条林斑块分布

盐池县的高程范围在 1 279 ~ 1 954 m, 分别统计了不同高程区段的柠条人工林斑块数量和面积, 结果见表 3。由表 3 可知, 盐池柠条林主要分布在低于 1 600 m 的高程区段, <1 400、1 400 ~ 1 500 m 和 1 500 ~ 1 600 m 高程区段的柠条林面积占所在高程区段土地面积的比例均高于盐池县平均值, 即这 3 个高程区段的柠条林分布比较集中。同时, 这 3 个高程区段的柠条林平均斑块面

积也较大, 说明低于 1 600 m 的区域也是盐池县柠条集中连片种植的区域。以上结果表明, 盐池县在柠条林种植时, 有一定的地理分布规律, 即人为的选择地势相对较低的地带集中连片种植, 而地势较高的区域则小面积散乱种植。由于人为定义高程范围, 割裂了部分跨 2 个以上高程范围的斑块, 造成本节斑块数量统计总数和前节统计总数存在一定差异, 但其不影响各高程区段的柠条林地理分布格局特征。

表 3 不同高程的柠条林斑块统计

Table 3 Distribution of *C. intermedia* plantation in different elevation

斑块类型	<1 400 m		1 400~1 500 m		1 500~1 600 m		1 600~1 700 m		>1 700 m	
	数量/个	面积/hm ²	数量/个	面积/hm ²	数量/个	面积/hm ²	数量/个	面积/hm ²	数量/个	面积/hm ²
极小斑块	29	17.77	6	4.89	9	6.99	3	2.20	0	0.00
小斑块	135	535.63	189	727.22	245	991.19	153	611.51	40	156.55
中斑块	250	7 132.35	602	10 741.50	480	10 983.91	247	4 700.98	61	1 195.76
大斑块	109	10 276.35	168	18 385.91	135	14 952.58	61	3 204.71	5	145.16
极大斑块	2	1 358.80	7	2 598.79	3	503.48	0	0.00	0	0.00
总计	525	19 320.90	972	32 458.32	872	27 438.15	464	8 519.40	106	1 497.47
斑块平均面积/hm ²	36.86		33.45		31.52		18.39		14.15	
面积占比/%	13.33		15.63		13.75		10.03		5.22	

3.2.2 不同坡度的柠条林斑块分布

盐池县的整体地形比较平缓, 坡度变化范围在 0° ~ 25°, 其中 0° ~ 5° 的缓坡占整个盐池县总面积的 85.8%。不同坡度的柠条林斑块数量和面积统计结果见表 4。由表 4 可知, 从盐池县的坡度数据与柠条林的空间叠加分析可以得出, 0° ~ 5° 的缓坡柠条林分布面积占该坡度范围总面积的

14.48%, 而 5° ~ 15° 和 15° ~ 25° 范围的柠条林分布面积分别占对应坡度范围总面积的 6.55% 和 1.86%。从斑块类型来看, 中斑块、大斑块与极大斑块在 0° ~ 5° 的缓坡均分布比例最高, 但小斑块和极小斑块则分别在 5° ~ 15° 和 15° ~ 25° 坡度上分布最多。

表 4 不同坡度的柠条林斑块统计

Table 4 Distribution of *C. intermedia* plantation in different slope

斑块类型	0° ~ 5°			5° ~ 15°			15° ~ 25°		
	数量/个	面积/hm ²	面积占比/%	数量/个	面积/hm ²	面积占比/%	数量/个	面积/hm ²	面积占比/%
极小斑块	41	0.270	0.00	6	0.035	0.00	4	0.014	0.02
小斑块	727	21.977	0.38	297	7.875	0.91	47	0.340	0.53
中斑块	1 640	304.111	5.31	697	35.859	4.12	91	0.833	1.31
较大斑块	329	458.540	8.01	336	12.062	1.39	0	0	0.00
大斑块	7	44.508	0.78	20	1.181	0.14	0	0	0.00
总斑块	2 744	829.406	14.48	1 356	57.012	6.55	142	1.187	1.86

3.3 不同乡镇柠条林景观单元特征分析

逐乡镇计算了柠条人工林的斑块个数、类型面积、平均斑块面积、最大斑块指数和景观形状指数等 5 个景观单元特征类指数, 具体结果见表 5。

盐池 8 个乡镇的柠条林斑块个数范围在 132 ~

315 个, 其中花马池镇最多, 高沙窝镇最少。虽然斑块个数在不同乡镇间的差异不是很大, 但柠条林斑块面积在各乡镇间存在非常大的差异, 柠条林斑块类型面积范围在 2 601.76 ~ 21 394.57 hm², 面积最大的花马池镇是面积最小的麻黄山乡的 8.22 倍。

表 5 各乡镇柠条林景观单元特征

Table 5 Characteristics of landscape units of *C. intermedia* plantation in different towns

乡镇名称	斑块数量/个	斑块数量占比/%	类型面积/hm ²	斑块面积占比/%	平均斑块面积/hm ²	最大斑块指数/%	景观形状指数
花马池镇	315	16.56	21 394.57	23.44	67.91	6.77	31.19
高沙窝镇	132	7.07	11 605.52	13.40	87.92	12.19	18.09
王乐井乡	237	12.70	10 149.18	11.61	42.82	3.94	24.06
青山乡	221	11.87	8 532.22	9.55	38.61	3.92	24.19
冯记沟乡	252	13.13	10 029.32	11.16	39.80	4.88	21.88
惠安堡镇	231	12.55	9 609.41	11.04	41.60	4.36	25.92
大水坑镇	285	14.97	15 312.26	16.88	53.72	4.53	27.27
麻黄山乡	212	11.18	2 601.76	2.91	12.27	4.86	23.72

从各乡镇斑块个数和斑块面积占全县总数的比例来看，花马池镇的柠条林斑块个数占全县斑块总个数的 16.61%，斑块面积占全县斑块总面积的 23.91%，均为 8 个乡镇中的最高；麻黄山乡柠条林斑块个数占全县斑块总个数的 11.18%，但斑块面积只占全县斑块总面积的 2.91%，斑块面积所占全县比例最低；高沙窝镇柠条林的斑块个数比例和面积比例也差异较大，分别是 6.96% 和 12.97%，斑块个数占比全县最低；除此之外，其他乡镇柠条林的斑块个数比例和面积比例较为相近。

从平均斑块面积来看，整个盐池县的平均柠条林斑块面积为 47.34 hm²，其中高沙窝镇的平均斑块面积最大，为 87.92 hm²，花马池镇的平均斑块面积次之，为 67.91 hm²，麻黄山乡的平均斑块面积最小，为 12.27 hm²。以上统计特征表明，高沙窝镇和花马池镇的的柠条人工林斑块面积大，以集中连片种植为主；麻黄山乡的柠条林斑块面积小，但数量多，以破碎化种植为主。

最大斑块指数某一乡镇中最大斑块的面积占该乡镇总斑块面积的百分比值，表示最大斑块在该乡镇的优势程度。在盐池县 8 个乡镇中，高沙窝镇的最大斑块指数最大，达到 12.19，说明高沙窝镇柠条林斑块中存在极大型斑块，其单个柠条人工林斑块面积大，容易形成集中连片的防沙治沙效果，也易形成比较复杂的生物网和生态链，由于柠条林大斑块内的物种互作更为复杂，因此

其稳定性和自我恢复能力更强。花马池镇柠条林斑块的最大的斑块指数次于高沙窝镇，只有高沙窝镇的一半，但相较其他乡镇仍较高，说明花马池镇较大面积的柠条林斑块相比较多，有利于保护生物多样性。而其他乡镇的柠条林最大斑块指数均较小，在 3.92 ~ 4.88。

景观形状指数越大说明景观斑块形状越复杂，分割情况越严重。花马池镇的景观形状指数最高，说明该镇柠条人工林的斑块景观内部分割较复杂；而高沙窝镇的景观形状指数最小，说明该镇的柠条林内部斑块形状简单且分割程度小，种植规则均一，有利于发挥柠条林防沙治沙的生态效应；其他 6 个乡镇景观形状指数差距不大，在 21.88 ~ 27.27 之间，这些乡镇柠条林斑块形状复杂度、分割度和破碎度等特征较为一致（表 5）。

3.4 不同乡镇景观斑块破碎化程度分析

景观生态学用景观指数描述景观格局及变化，建立格局与景观过程之间的联系^[15]，其中景观斑块破碎化程度是指景观类型内部斑块的复杂程度和不连续程度，是景观格局研究的重点。使用景观斑块破碎化程度类型的指标可以定量分析景观斑块的复杂性、不连续性和破碎性等特征。为此，本研究计采用了盐池县各乡镇柠条人工林的斑块密度、边界密度、蔓延度、聚合度和分离度指数 5 个景观斑块破碎化程度指标，结果见表 6。

表 6 各乡镇柠条林景观破碎化特征

Table 6 Characteristics of fragmentation of *C. intermedia* plantation landscape in different towns

乡镇	斑块密度/(个·hm ⁻²)	边界密度/(m·hm ⁻²)	蔓延度/%	聚合度/%	分离度指数/%
花马池镇	149.68	7 088.07	58.93	92.71	54.20
高沙窝镇	111.78	22 144.07	61.54	94.42	23.49

续表6

乡镇	斑块密度/(个·hm ⁻²)	边界密度/(m·hm ⁻²)	蔓延度/%	聚合度/%	分离度指数/%
王乐井乡	231.93	5 608.46	57.07	92.78	74.91
冯记沟乡	249.30	2 344.03	58.38	93.64	63.16
青山乡	263.18	3 440.68	56.46	91.83	72.04
惠安堡镇	240.84	569.06	56.83	91.74	72.88
大水坑镇	187.96	776.82	56.80	93.07	75.32
麻黄山乡	814.83	11 412.40	55.20	84.94	76.90

斑块密度是表征景观破碎化程度的重要指标之一,定义为单位面积上的斑块数量与景观面积的比值。从盐池各乡镇的斑块密度来看,麻黄山乡的斑块密度最大,为814.83个/hm²,远比其他乡镇的斑块密度高。主要原因是麻黄山乡为黄土丘陵沟壑区,大片整块土地较少,加之麻黄山乡柠条林主要为退耕还林生态治理工程营造,而退耕还林主要退的是破碎零散的坡耕地等,导致该乡柠条林景观斑块破碎化程度高。其他乡镇的斑块密度在111.78~263.18个/hm²,这与其他乡镇地形地貌较为平缓且柠条林主要为防沙治沙工程营造而成有关,所以整体破碎化程度较低。

斑块边界密度表征斑块边界是否平直、紧凑,斑块边界密度越大,说明斑块的边界越为曲折蜿蜒。在盐池县8个乡镇中,边界密度较大的是高沙窝镇和麻黄山乡,分别为22 144.07 m/hm²与11 412.40 m/hm²,这一结果说明高沙窝镇与麻黄山乡柠条林的斑块边界景观规整性较差。

蔓延度指数是通过景观中斑块的团聚程度和延展趋势来描述。蔓延度指数高则代表斑块间连通性好,破碎化程度低。蔓延度指数计算结果表明,高沙窝镇蔓延度指数相对较高,达到了61.54%,柠条林斑块形成了良好连接性。

聚合度指数基于同一类景观斑块间公共边界长度来计算,当同一类景观斑块像元间不存在公共边界时,该类的聚集程度最低;而当同一景观类型中所有像元值存在的公共边界达到最大值时,具有最大的聚集指数。数据显示,麻黄山乡聚合度指数最低,只有84.94%,柠条人工林的斑块邻接关系较差,斑块连接度不高,斑块整体比较分散。

景观分离度指数指某一景观类型中不同斑块个体分布的分离程度,分离度越大,柠条林种植斑块越分散;相比之下,高沙窝镇的分离度指数最小,只有23.49%,表明柠条林斑块种植分散程度较其他乡镇低,是大面积连片种植柠条林的乡镇。

4 结论与讨论

利用高分一号全色/多光谱相机融合形成的2 m分辨率影像,结合谷歌地球遥感数据,通过监督分类和人工目视解译纠错,提取出宁夏盐池县柠条人工林的斑块数据。在此基础上,利用景观生态学的方法,从景观单元特征和景观斑块破碎化程度两方面,对盐池县柠条林景观特征进行了研究,取得以下主要结论:

1) 盐池县柠条林斑块1 885个,总面积为89 234.24 hm²,约占县域面积的13.18%。斑块的大小差异巨大,从最小的0.17 hm²到最大的1 529.74 hm²都有分布。斑块数量上以中、小斑块为主,而面积上则以大斑块为主。

2) 柠条林大量分布在高程1 600 m以下,在1 400~1 600 m范围,柠条林斑块数量多且类型丰富,大斑块与较大斑块多分布于此,高程大于1 600 m时主要分布一些中小斑块。0°~5°的缓坡各类柠条林斑块分布较多,随着坡度的增高,逐渐只有少量中小斑块。

3) 在景观单元特征上,北部高沙窝镇和花马池镇的柠条人工林以集中连片种植为主,南部麻黄山乡以破碎化种植为主;其他乡镇斑块形状复杂度、分割度和破碎度等特征较为一致;在景观斑块破碎化程度上,麻黄山乡的斑块密度最高,其他乡镇之间差异不大。

4) 柠条林的景观特征与各乡镇地形地貌及柠条林营造类型有关,地形平缓、高程较低的中北部以营造防沙治沙柠条林为主,而沟壑丘陵较多、高程较高的南部则以营造退耕还林柠条为主,这是导致盐池县柠条林景观南北差异较大的原因。

[参 考 文 献]

- [1] 武海霞,王则宇,尹强,等.我国北方荒漠草原退化研

- 究进展 [J]. *内蒙古林业科技*, 2017, 43(2): 58–62.
- [2] 刘满仓. 盐池县草原沙漠化的现状、成因与对策 [J]. *草业科学*, 2002, 19(6): 5–6.
- [3] 王娅, 周立华. 宁夏盐池县沙漠化逆过程的脆弱性诊断 [J]. *中国沙漠*, 2018, 38(1): 39–47.
- [4] 左忠, 王金莲, 张玉萍, 等. 宁夏柠条资源利用现状及其饲料开发潜力调查: 以盐池县为例 [J]. *草业科学*, 2006, 23(3): 17–22.
- [5] 王军, 钟莉娜. 景观生态学在土地整治中的应用研究进展 [J]. *生态学报*, 2017, 37(12): 3982–3990.
- [6] 周铁军, 赵廷宁, 孙保平, 等. 宁夏盐池县土地利用与景观格局变化研究 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 135–138.
- [7] Newton A C, Hill R A, Echeverria C, et al. Remote sensing and the future of landscape ecology [J]. *Progress in Physical Geography*, 2009, 33(4): 528–546.
- [8] Wulder M A, Hall R J, Coops N C, et al. High spatial resolution remotely sensed data for ecosystem characterization [J]. *BioScience*, 2004, 54(6): 511–521.
- [9] 刘可, 杜灵通, 候静, 等. 高分一号与 Landsat-8 影像在荒漠绿洲过渡带应用对比 [J]. *遥感信息*, 2017, 32(5): 133–140.
- [10] 朱玉果, 杜灵通, 谢应忠, 等. 基于 GF-1 数据的西部小城镇绿地景观格局研究 [J]. *北方园艺*, 2017(1): 88–94.
- [11] 帅菲, 肖根如, 揭志强. Google Earth 在地学研究中的应用 [J]. *东华理工大学学报 (自然科学版)*, 2011, 34(1): 89–93.
- [12] 蒋齐, 李生宝, 潘占兵, 等. 人工柠条灌木林营造对退化沙地改良效果的评价 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 23–27.
- [13] 宋乃平, 杨新国, 何秀珍. 荒漠草原人工柠条林重建的土壤养分效应 [J]. *水土保持通报*, 2012, 32(4): 21–26.
- [14] 韩启金, 张学文, 乔志远, 等. 高分一号卫星 PMS 相机多场地宽动态辐射定标 [J]. *红外与激光工程*, 2015, 44(1): 127–133.
- [15] 李石华. 遥感图像分类方法研究综述 [J]. *国土资源遥感*, 2005(2): 1–6.
- [16] 候静, 杜灵通, 张学俭. 压砂种植模式对地表热场景观格局的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(1): 264–271.
- [17] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(1): 121–125.

(责任编辑 陆 驰)

