40 多年来塔南策勒绿洲动态变化研究

王兮之 葛剑平

(北京师范大学生命科学学院 生物多样性与生态工程教育部重点实验室 北京 100875)

摘 要 利用策勒绿洲 1956、1990 和 1998 年 3 个不同时期的遥感数据(航片、TM 和 SPOT)进行配准、解译与分类处理,比较分析绿洲 40 多年来的动态变化,并从自然和人为因素两个方面探讨绿洲变化的原因。结果表明,从 1956 年到 1998 年策勒绿洲西北部的景观格局发生了显著变化,绿洲面积增加了近 20%,林地的分布明显改变,河道发生显著位移,据实地调查大约向北移动 400 m。对 1990 年 TM 与 1998 年 SPOT 分类数据,用 FRAGSTATS 软件计算景观格局指数并比较分析,发现研究区的绿洲、绿洲-荒漠交错带、荒漠和沙丘 4 种景观类型发生了明显的变化。绿洲面积增加而斑块数减少了近一半,交错带面积减少而斑块数增加了 35%,荒漠面积减少而斑块数增加了 60%,沙丘面积基本没有变化但斑块数减少了 20%。绿洲变化的总体趋势是人工绿洲的面积增大而绿洲-荒漠交错带的面积明显减少,同时整个绿洲的破碎度增加而连通性降低,绿洲的稳定性和自我调节的功能下降。

关键词 遥感数据 策勒绿洲 景观指数 动态变化

DYNAMIC CHANGES OF THE QIRA OASIS OVER A 40 YEAR PERIOD

WANG Xi-Zhi and GE Jian-Ping

(Ministry of Education Key Biodiversity Science and Ecological Engineering & College of Life Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract Environmental change of oases in the arid regions of China is a subject of recent concern. Although many of the changes have been recorded qualitatively through the use of comparative photography and historical reports, little quantitative information has been available on regional scale. Geographical information systems (GIS) and remote sensing (RS) technologies provide the basis for developing landscape composition and pattern indicators as sensitive measures of large-scale environmental change and thus may provide an effective and economical method for evaluating the condition of oases in relation to human and natural disturbances.

This paper discusses the dynamic changes of the Qira oasis over a 40 year period by using 3 types of imagery data: aerial photographs (1956), TM (1990) and SPOT (1998). Remote sensing data were interpreted and classified using ARC/INFO and ERDAS software and landscape indices of satellite imagery were calculated using FRAGSTATS 3.0 software.

The change in the spatial extent of landscape forms and vegetation types around Qira oasis was analyzed by comparing SPOT satellite image from 1998 with aerial photographs from 1956. The results showed that the area covered by vegetation of the Qira oasis increased by nearly 20% from 1956 to 1998, but the distribution of vegetation distribution changed greatly and the river bed shifted about 400 m. Dune and desert encroachment was successfully combated near the oasis border but increased in extent at the outward border of the surrounding vegetation. The area covered with *Populus* trees was smaller in 1956 than today due to some new forests established in 1977 north of the oasis. Subfossil wood and leaf remnants of *Populus euphratica* found in the surrounding areas must have originated from forests destroyed before 1956. The main Qira river has shifted its bed significantly northward and developed a new furcation with a large new bed in 1986. The natural river dynamics are not only an important factor forming the oasis landscape pattern but also provides the only new regeneration sites for plant species.

Quantitative analysis of the Qira oasis, the oasis-desert ecotone, desert and dunes from 1990 to 1998 showed that the area of the oasis increased by 6 km² but patch decreased 256 blocks; the ecotone decreased in size by 2.5 km² but patch increased 1 055 blocks; the area of desert decreased by 3.4 km² but patch increased 608 blocks; and the area of dune did not change but patch increased 671 blocks. At the class level, Patch Density (PD), Edge Density (ED), Interspersion and Juxtaposition Index (IJI), Clumpiness Index (CLUMPY) and Aggregation Index (AI) were all calculated. At the landscape level, PD, ED, IJI, AI, Contagion Index (CONTAG), Diversity Index and Evenness Index were calculated. The indices of PD and

ED increased, IJI, CONTAG and AI decreased. Diversity Index and Evenness Index changed slightly.

The Qira oasis has changed considerably over the last 40 years due to natural flooding and vegetation degradation by human overexploitation. The trend of a decrease in the width of the ecotone(indigenous vegetation belt), which resulted from the advancing desert and expansion of arable land, is particularly alarming, because a decreased protective function against shifting sand can be expected in the future.

Key words Remote sensing data, Qira oasis, Landscape indices, Dynamic change

山地—绿洲—荒漠是干旱区典型的景观组成结构,其中绿洲作为人类生存、活动和发展的基本场所,是最具活力并且对环境反应最敏感的区域。绿洲是在干旱气候条件下形成的以荒漠为基质,河流、水渠以及道路为基本的廊道,绿洲和湖泊为主要斑块的具有较高第一性生产力的非地带性景观类型。绿洲的动态变化长期以来一直是人们所关注的重大生态问题(贾宝全等,2001),许多关于绿洲变化的量化记录只是通过地图、照片和历史记载来描述的,缺乏在较大的区域范围内比较客观地研究景观格局的量化信息。随着遥感技术迅速发展及卫星数据的广泛应用,为定量分析景观格局与景观动态变化提供了强有力的工具(Lillesand & Kiefer, 1994; Frohn, 1998; Kepner *et al.*, 2000; 王兮之等, 2002)。本文通过对比策勒地区 1956 年的航片、1990 年的 TM 和 1998 年的 SPOT 卫星数据,分析 40 多年以来该绿洲景观类型及其植被空间分布状况的变化,通过比较不同时期遥感数据以及其它相关自然环境和社会经济的历史文字记录来揭示策勒绿洲变迁的动因。

1 研究区概况

策勒县位于塔克拉玛干沙漠南面与昆仑山北麓之间绿洲带的中部地区,80°03'24" ~ 82°10'34" E, 35°17'55" ~ 39°30'00" N, 最高海拔 6 810 m, 最低海拔 1 380 m。绿洲区气候属于暖温带荒漠气候,多年平均气温 11.9 °C, 平均年降水量小于 50 mm, 年平均蒸发量为 2 600 mm, 土壤以风沙土和棕漠土为主。天然植被类型单调,群落结构简单,乔木群落主要有胡杨林(*Populus euphratica*)和少量灰杨林(*P. pruinosa*)。灌木群落主要有多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*)和密花怪柳(*T. arcanhoides*)等灌丛类型,小灌木群落主要有塔里木沙拐枣(*Calligonum caput-medusae*)、木膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)和琵琶柴(*Reaumuria songarica*) 3 种类型。多年生草本群落主要有芦苇(*Phragmites australis*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、花花柴(*Karelinia caspica*) 3 种类型(陈昌笃等, 1987)。除了胡杨、芦苇和骆驼刺有时可以形成较郁闭的群落外,其它群落都十分稀疏,覆盖度普遍

在 30% 以下,因此自然生态系统十分脆弱。研究区是一个典型的绿洲-荒漠生态系统,它的形成和发展完全依赖于发源于昆仑山北麓的策勒河。

2 研究方法

2.1 数据来源

策勒绿洲景观格局分布及其动态变化研究的数据主要来源于 1956 年(1956/10/18)的 6 幅航片(K-7-18X56 no. 20, 22, 24 and 39, 41, 43)(1:5 000), 1990 年(1990/10/05)的 TM 数据(Path146-Row34)和 1998 年(1998/09/26)的一景 SPOT4 多光谱卫星影像(4-209-275 Scene)。由于获取的一景 TM 与 SPOT 数据范围较大,研究的具体区域根据航片的范围来确定,选取了策勒绿洲变化最敏感的地区,即绿洲西北部大约 17 km × 14 km 的范围进行研究,同样在 TM 和 SPOT 数据上裁剪相应的范围来进行比较分析。

2.2 数据处理

1956 年研究区景观特征是利用 B/W 系列的航片来表示的,由于该数据清晰度很好,甚至能看到较高物体的阴影,使得识别单个树木成为可能。但是航片上不可能进行精确地理坐标的定位,因为现在所测定的明显地面特征与航片上的不吻合,这主要是由于 20 世纪 80 年代以来大规模的绿洲重建使得建筑物、水渠等地表比较明显的特征发生了彻底的改变。因此,只能利用一些主要的交通道路的弯曲特征提供比较粗的地理位置参考。对 6 幅航片进行拼接,根据不同的灰度值勾画出研究区的植被分布、河道及景观格局特征,同时叠加上根据 2000 年实地调查并在 1998 年的数据上所勾画的绿洲边界(图 1)并进行对比。

1990 年 TM 数据与 1998 年 SPOT 数据的处理过程:首先在 ERDAS 软件中利用 GPS 实测的地面控制点数据对 SPOT 图像进行投影转换,同时输出的图像文件重新采样为 30 m 与 TM 数据的分辨率一致,便于比较分析。然后在 TM 数据中截取与 SPOT 数据相应范围的图像进行投影转换,使之具有相同的投影系统(UTM/WGS84)。对经过投影转换的 TM 和 SPOT 数据进行裁剪,截取的范围与航片范围一致。

图1 1956年与2000年策勒绿洲边界示意图

Fig.1 Aerial photographs from 1956 with the oasis border in white and in 2000 in black

对截取策勒绿洲的 TM 与 SPOT 数据利用 ERDAS 进行监督分类,在较大尺度上,共分为绿洲、交错带、荒漠和沙丘 4 种类型(图 2,图 3)。最后,利用 FRAGSTATS 3.0 景观格局分析软件计算相应的景观格局指数,进行量化比较分析。

3 结果与讨论

3.1 1956 年航片与 1998 年 SPOT 比较

由表 1 看出自 20 世纪 70 年代以来耕地面积减少,而图 1 却显示出绿洲用地面积从 1956 年到 2000 年增加了大约 20%,面积扩大的部分主要在绿洲北部。主要原因是绿洲作为县城所在地,随着人口的快速增加,数十年来行政机关、工商业、教育等公共建筑和居民建筑用地以及人工林地与农田防护林的

成倍扩大,耕地面积虽有所减少但绿洲总面积仍有较大幅度的增加。绿洲的西面和东北部的砾质平原上显示有沙丘的入侵,据实地调查西南部由于策勒河的水侵蚀作用造成部分耕地面积减少。

由于卫星遥感数据的分辨率不高、植被变化的历史记录不全,所以,对研究区 44 年来胡杨林面积的增减不能精确地定量,但我们还是能看出绿洲边缘胡杨林分布格局的明显变化(图 4)。现存的大量胡杨林分布的区域集中在绿洲北部(东经 80°44′至 80°45′之间),主要原因是该地区自 20 世纪 80 年代以来,林业管理部门把胡杨林作为保护区而得以保存,用树木年轮方法测定这里的胡杨林,可确定这些胡杨是 1977 年出现的(Runge *et al.*, 2001)。在对绿洲北部次生林地和重建林地的比较发现,里面散布的许多斑块 1956 年尚有树木而现已消失,但这些斑块中至今还存在过去胡杨树的枯立木。根据胡杨残留的情况判断,这些地点至少有两处 1956 年仍然是林地。残留枯立木的发现说明树木可能是被砍伐的,当然也有可能是由于地下水位下降、水分亏缺而使树木枯死。

图 5 显示了策勒河的主河道位置也发生了明显的变化。现在主河道分叉位于 37°00′30″ N、80°42′10″ E 的位置,据调查是于 1986 年形成的。在河水分叉处附近的实地考察发现河水对岸边的侵蚀十分严重。水侵岸移以及河道的淤积使老河床向北移动

表 1 1955 年以来策勒绿洲人口、耕地面积和养畜量变化
(李小明等,1995)

Table 1 Changes of population, farmland and livestock in Qira oasis from 1955 (Li *et al.*, 1995)

年 Year	人口 Population (× 10 ⁴)	耕地面积 Plantation area (× 10 ⁴ hm ²)	养畜量 Livestock (× 10 ⁴)
1955	2.41	0.56	6.67
1960	2.08	0.73	5.44
1965	2.29	0.64	7.38
1970	2.65	0.63	6.93
1975	2.85	0.55	6.15
1980	3.07	0.51	6.42
1985	3.96	0.42	6.91
1990	4.49	0.47	8.46

图 2 1990 年策勒绿洲分类图
Fig.2 The classified map of Qira oasis in 1990

图 3 1998 年策勒绿洲分类图
Fig.3 The classified map of Qira oasis in 1998

图 4 1956 年与 2000 年策勒绿洲林地分布面积示意图
Fig.4 Tree vegetation of Qira in 1956 marked in white and in 2000 in black

表 2 1990 年与 1998 年的分类精度比较			
Table 2 The comparison of classified accuracy in 1990 and 1998			
类型 Type	分类精度 Accuracy (TM 10/05/1990)	分类精度 Accuracy (SPOT 09/26/1998)	
绿洲 Oasis	93.70%	96.03%	
交错带 Ecotone	95.62%	96.36%	
荒漠 Desert	96.38%	94.50%	
沙丘 Dune	91.00%	93.90%	
平均 Average	94.18%	95.20%	

勒绿洲与邻近洛浦绿洲之间过去存在的沙漠通道。

3.2 1990 年 TM 和 1998 年 SPOT 数据比较

对 TM 和 SPOT 遥感数据分类精度的结果如表 2 所示,由于该地区土地覆盖类型比较简单,结构层次比较分明,因而平均分类精度较高达到 94.00% 以上。

分类后的 TM 和 SPOT 卫星影像数据显示了策勒绿洲近 10 年的景观格局如图 2、图 3 所示,绿洲 4 种土地覆盖类型表现为不同的颜色,绿洲的主体包括农田与人工林地为深绿色,其内部与边缘的少

了 400 m,这也是造成策勒绿洲西南部耕地面积减少的原因之一。同时,随着河道的变迁也截断了策

图5 1956 年与 2000 年策勒绿洲河道分布示意图
Fig.5 River bed of Qira in 1956 outlined in white and in 2000 in black

部分浅绿色为居民地和收割后的农田，浅绿色为交错带主要是荒漠的天然植被和少量人工林地分布区，金黄色是绿洲西部的可移动沙丘，黄色是固定沙丘和植被分布稀少的荒漠地区。策勒绿洲从 1990 年到 1998 年总体变化情况是 绿洲面积扩大而绿洲-荒漠交错带的宽度明显缩小，荒漠与沙丘的面积变化不大，绿洲及其交错带有向河流上游移动的趋势。另外，对图 2、图 3 进行比较发现，绿洲南部县城人口聚集地的面积增加非常明显。

对策勒绿洲 8 年来的景观格局变化进行定量分析，绿洲 4 种景观类型的格局变化情况如表 3 所示。

绿洲的面积增加了 6 km² 而斑块数减少了近 256 块，面积增加主要在绿洲北部，而同时小斑块明显连成片，绿洲-荒漠交错带的面积减少 2.5 km²，而斑块数增加了 1 055 块，也就是说，交错带植被退化、破碎化程度大大增加。研究区北部的交错带宽度明显缩小而西部的面积却略有增加，斑块数的增加主要是在西北部；荒漠面积减少 3.4 km² 而斑块数增加了 608 块，主要是绿洲西部的面积有所减少；沙丘的面积基本上没有变化但斑块数减少了 671 块。

景观指数是能够高度浓缩景观格局信息、反映研究区内结构组成和空间分布特征的定量指标。FRAGSTATS 景观格局分析软件从斑块、类型和景观

3 种水平上计算了景观格局指数，我们选取了几种指数说明策勒绿洲的格局变化，具体的指数计算方法和内容详见 McGarigal 和 Marks (1995)。

策勒绿洲类型水平上的部分景观指数如表 3 所示，斑块密度、边缘密度、聚集度、混布与并列指数和聚合指数，定量地反映了研究区 4 种景观类型变化的特征和程度。如交错带的面积减少了约 2.5 km²，斑块数增加了 1 005 块，斑块密度由 8.276 4 增加到 12.684 1，边缘密度由 64.702 6 增加到 81.319 8，而聚集度由 0.778 7 减少到 0.716 1，混布与并列指数由 78.230 4 减少到 64.860 7，聚合指数由 84.929 5 减少到 80.370 7。交错带的变化特征是随着面积的减少和斑块数的增加其破碎度增加而连通性降低，即不稳定性增强。绿洲、荒漠和沙丘 3 种类型也可作类似的定量分析。

策勒绿洲景观水平上的部分景观指数如表 4 所示，定量地反映了整个研究区的总体景观格局与变化特征。从 1990 年到 1998 年策勒绿洲的斑块数增加了 736 块，斑块密度和边缘密度增加，连通性、聚合指数和混布与并列指数降低，说明整个区域的破碎度增加，连通性降低。另外，由于研究的时间跨度较短，因而多样性指数与均匀度所反映的变化特征不显著。

3.3 绿洲景观动态变化

策勒绿洲景观格局的动态变化主要表现在 5 个

表 3 1990 年与 1998 年类型水平的景观指数
Table 3 Landscape index of class level in 1990 and 1998

	绿洲 Oasis		交错带 Ecotone		荒漠 Desert		沙丘 Dune	
	1990	1998	1990	1998	1990	1998	1990	1998
面积 Area(km ²)	67.04	73.13	76.36	73.85	84.58	81.18	11.38	11.19
斑块数 Number of patch (NP)	630	374	1 981	3 036	907	1 515	2 748	2 077
斑块密度 Patch density (PD)	2.632 1	1.562 5	8.276 4	12.684 1	3.789 4	6.329 5	11.480 9	8.677 5
边缘密度 Edge density (ED)	29.124 5	22.957 9	64.702 6	81.319 8	62.353 8	81.792 3	32.952 3	27.669 4
聚集度 Clumpiness index (CLUMPY)	0.895 3	0.922 5	0.778 7	0.716 1	0.795 3	0.726 0	0.453 3	0.533 5
混布与并列指数 Interspersion and Juxtaposition index (IJI)	12.225 7	4.962 7	78.230 4	64.860 7	65.348 3	57.788 5	36.414 6	26.598 5
聚合指数 Aggregation index (AI)	92.461 7	94.615 7	84.929 5	80.370 7	86.765 3	81.892 3	47.927 6	55.533 5

表 4 1990 年与 1998 年景观水平的景观指数
Table 4 Landscape index of landscape level in 1990 and 1998

	1990a	1998a
斑块数 (NP)	6 266	7 002
斑块密度 (PD)	26.178 7	29.253 6
边缘密度 (ED)	94.566 6	106.869 7
连通度 (CONTAG)	38.475 8	37.343 8
混布与并列指数 (IJI)	69.945 9	61.623 6
聚合指数 (AI)	85.927 7	84.077 9
Shannon 多样性指数 (SHDI)	1.233 4	1.235 0
Simpson 多样性指数 (SIDI)	0.692 7	0.694 2
修正 Simpson 多样性指数 (MSIDI)	1.179 8	1.184 9
Shannon 均匀度指数 (SHEI)	0.889 7	0.890 9
Simpson 均匀度指数 (SIEI)	0.923 6	0.925 6
修正 Simpson 均匀度指数 (MSIEI)	0.851 1	0.854 7

NP , PD , ED , IJI , AI :同表 3 See Table 3 CONTAG : Contagion index SHDI : Shannon diversity index SIDI : Simpson diversity index MSIDI : Modified Simpson diversity index SHEI : Shannon evenness index SIEI : Simpson evenness index MSIEI : Modified Simpson evenness index

方面 :1)绿洲面积扩大、居民点连片 ,连通性增加。对过去近 40 多年的有关资料的研究结果表明 ,绿洲总面积的扩大显然是人口增加(表 1) \ 经济发展促成的。根据田长彦等(1999)研究 ,新疆过去 40 多年的绿洲化过程使绿洲总面积扩大了 2.7 倍。与新疆的整个绿洲扩大的变化状况比较 ,策勒绿洲面积的增加仅处于中等水平。2)天然林地面积缩减 ,许多原有的分布区(点)消失。胡杨林面积缩减的原因较为明显 :其一是因居民对燃料、民房建材和家畜饲料的需要而进行的伐木砍枝 ;其二是河流上游农田灌水量增加 ,河水到达不了下游而使胡杨幼苗更新受阻以及绿洲边缘地区总体地下水位下降、树木生长衰退以至消亡。前述航片与卫片的比较结果表明 ,策勒绿洲广阔的植被带与 40 多年前比较发生了重大改变 ,至少是现存的自然植被面积比 40 多年前减少了很多。北部曾生长着胡杨林无性株系的判断由胡杨枯木残留物的存在而得到验证 ,这意味着在 1956 年之后曾经发生较大规模的毁林采伐。在南疆 ,绿洲天然森林面积的减少过程一直存在 ,整个塔

里木盆地胡杨林的面积从 1950 年以来到现在缩小了大约 50%(田长彦等 ,1999)。3)策勒河下游改道 ,向北移动 400 余米。无论从自然地理史还是从人类史的角度来看 ,绿洲-荒漠中河流改道是频繁发生的。究其原因 ,有自然的也有人为的因素。策勒绿洲的年均降水量很低 ,其地表径流来源于昆仑山的夏秋季降水和冰川消融水。夏季消融的冰雪往往形成流量很大的山洪 ,有时夏季的洪水过后会形成宽达几公里的冲积平原。多次山洪后泥沙的堆积会堵塞河道 ,洪水也会侵蚀切割河岸 ,久之使河道移位 ,而流沙的堆积填充河道也会使河水改道。河流改道又反过来影响人类在绿洲的生存和发展 ,如楼兰古城的消失与南丝绸之路二十几个城镇被沙掩埋 ,其原因主要是河道移位、河水流量变小到达不了下游 ,致使居民被迫放弃他们的居住地而向河流的上游迁移。4)绿洲北部交错带宽度明显缩小。在年降雨量小于 50 mm 的塔南绿洲 ,其前沿防护植被的主要组分种并非是耐旱植物 ,而是以强大的根系汲取地下水的胡杨、骆驼刺等中生植物。此类植被一旦因人类樵采地下水位下降而衰亡 ,要使其恢复重建是相当困难的。这些植物的更新有两个必要条件 :一是 7~9 月冲漫过河床的适量洪水保证种子的萌发 ;二是幼苗定居后每年仍有一定量的洪水浇灌 ,使根系生长到可接触地下水以持续供给成龄植株生长的需要。比较研究区数十年的景观动态 ,发现下游河流的水量越来越少 ,这主要是因为绿洲面积扩大、需水量增加 ,致使流入沙漠的水量减少。因此 ,下游植被的恢复更新得不到保证。且下游水量的减少使地下水补充量不足 ,水位下降 ,从而依靠地下水生长的胡杨、骆驼刺等植物衰退、消亡。目前 ,整个新疆自治区共建有 466 个水库 ,库容量为 $5.93 \times 10^9 \text{ m}^3$,这几乎是塔里木河的年均流量。绿洲占新疆总面积的 4.3% ,却消耗地表径流总量的 55.5%(田长彦等 ,

1999)。现在策勒河上游准备建造新的水库,这虽可以部分有效地减少水资源的浪费,但将来流到沙漠中的水会进一步减少,最终会影响绿洲-荒漠界面以胡杨、柽柳、骆驼刺等为代表的自然植被乃至整个绿洲的存在。5)荒漠与沙丘的动态变化十分显著。历史上,策勒县城就曾因为风沙湮没而3次被迫迁移。在最近的几十年中,沙漠会不断地逼近绿洲,尤其是绿洲-荒漠交错带面积的减少,使沙丘最终到达绿洲边缘。沙丘的移动和荒漠化过程在大的时间尺度上是一个自然地理过程,而有史以来人为活动造成的沙漠化也是一个重要的原因。

4 结 论

1)策勒绿洲40多年来景观格局的变化非常显著,绿洲面积明显扩展,绿洲-荒漠交错带与荒漠面积减少而相应的斑块数急剧增加。另外,沙丘的面积虽然变化不大但斑块数减少了近1/5,说明流动沙丘已连成片。这些变化都严重地削弱整个绿洲的稳定性和自我调控能力。2)绿洲-荒漠交错带植被作为绿洲-荒漠生态系统的前沿屏障,是最敏感易变化的部分,其中天然植被的消长状态是反映整个绿洲景观变化的重要指示因子。而绿洲-荒漠交错带面积的减少、生境破碎化程度的加剧预示着绿洲屏障的消失,进而危及整个绿洲生态系统的存在。3)绿洲总体面积的扩大并不意味着生态环境的改善;相反,由于农业用水和生活用水使水资源耗量增加、地下水位下降,会使绿洲生态系统稳定性降低乃至衰亡。4)40多年来绿洲的变化受自然条件的影响很小,主要是受到人为活动的干扰,尤其是人口和家畜数量的增加、社会经济活动规模的倍增,对绿洲变化产生了剧烈影响。

参 考 文 献

- Chen, C. D. (陈昌笃), M. D. Zhang (张妙弟), L. Z. Yang (杨立庄), M. Yan (颜铭) & Z. C. Yu (于子成). 1987. Relationship of vegetation and control desertification in low hill and plain region of Qira county. *Arid Zone Research (干旱区研究)*, **1**(1): 28~40. (in Chinese)
- Frohn, R. C. 1998. Remote sensing for landscape ecology. London: CRC Press. 9~33.
- Jia, B. Q. (贾宝全), L. J. Ci (慈龙骏) & Y. P. Ren (任一萍). 2001. The analysis on the oasis landscape dynamics. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **21**: 1947~1951. (in Chinese with English abstract)
- Kepner, W. G., J. C. Watts, M. C. Edmonds, J. K. Maingi, S. E. Marsh & G. Luna. 2000. A landscape approach for detecting and evaluating change in a semi-arid environment. *Environment Monitoring and Assessment*, **64**: 179~195.
- Li, X. M. (李小明) & X. M. Zhang (张希明). 1995. Land desertification of Qira oasis over 50 years. *Arid Zone Research (干旱区研究)*, **12**(4): 17~19. (in Chinese)
- Lillesand, T. M. & R. W. Kiefer. 1994. Remote sensing and image interpretation. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.
- McGarigal, K. & B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technique Report PNW-GTR-351. Portland, Oregon: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 122.
- Runge, M., S. Arndt, H. Bruehlheide, A. Foetzki, D. Gries, J. Huang, M. Popp, F. M. Thomas, G. Wang & X. Zhang. 2001. Contributions to a sustainable management of the indigenous vegetation in the foreland of Cele oasis. A project report from the Taklamakan desert. In: Breckle, S., M. Veste & W. Wucherer eds. *Sustainable land use in deserts*. Berlin: Springer-Verlag. 343~349.
- Tian, C. Y. (田长彦), Y. D. Song (宋郁东) & M. F. Hu (胡明芳). 1999. Status, causes and countermeasures of desertification in Xinjiang. *Journal of Desert Research (中国沙漠)*, **19**: 214~218. (in Chinese with English abstract)
- Wang, X. Z. (王兮之), H. Bruehlheide, M. Runge & G. Wang (王刚). 2002. A quantitative analysis of the landscape pattern around Qira oasis based on remote sensing data. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **22**: 1491~1499. (in Chinese with English abstract)

责任编辑:马克平 责任编辑:周玉荣