

干旱区典型农业绿洲的景观变化与原因分析

李华蕾^{1,2}, 肖笃宁^{2,3}, 王秋兵¹, 郭 明⁴, 马明国³

(1. 沈阳农业大学, 沈阳 110161; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 3. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 4. 山东师范大学, 济南 250014)

摘要:应用 GIS 和 RS 技术,运用 FRAGSTATS 格局分析软件,从景观破碎度、分维数和分离度等综合分析了河西走廊武威绿洲的景观格局十多年的变化情况。并通过建立景观类型转移矩阵和转换图,详细描述了各类型间的转化情况。武威绿洲各项格局指数的变化都可表明人类影响不断加大,发生变化最大的在绿洲边缘地带。从人类活动和水资源的变化找到绿洲景观变化的驱动因子,并提出了可持续利用的对策。

关键词:景观变化;驱动因子;可持续利用;武威

Landscape changes of typical agricultural oasis in arid regions and its driving factors

LI Hua-Lei¹, XIAO Du-Ning^{2,3}, WANG Qiu-Bing¹, GUO Ming⁴, MA Ming-Guo³ (1. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110160, China; 2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China; 3. Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, China; 4. Shandong Normal University, Ji'nan 250014, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1878~1883.

Abstract: Wuwei oasis is a typical agricultural oasis in Gansu province, there are 10×10^4 hm² farmland and 1 Million population. The oasis development keeps stability in long history. With human disturbance activities become more and more obvious in recently 20 years, Landscape spatial pattern change rapidly. Based on GIS and Remote Sensing, the paper analyzed landscape changes of Wuwei oasis from 1986 to 2000 and its driving force. The irrigated farmland increased 6295 hm², mainly changed from bare land and desert, and secondly from grassland and forest by transition matrix. The desert decreased 13530 hm². The increasing part of town and rural resident is mainly from farmland. Changes often occurred in the edge of oasis, which reveals the ecological system is unstable.

The main results of landscape analysis computed by FRAGSTATS. The increasing of fragment index of farmland is a result of many small patches increasing on the edge of oasis. The decreasing of isolation index and increasing of fragment index of desert is due to some of large patches divided into many small patches. The isolation index increasing and mean fractal dimension index decreasing show that the arbor forest was destroyed and lost its natural patch shape.

The spatial distribution type of patches was judged by nearest index in settlement geography. Low-coverage grassland, desert, salt land, bare land and shrubbery belong to aggregate distribution type which often occurs with some certain resource. Low-coverage grassland often occurs in arid area such as the edge of desert; salt land occurs in some low-lying area.

Farmland increasing is a result of increasing population. Meanwhile, some farmland occur desertification because runoff reduced, rate of ditch utility rose and exploitation of groundwater increased.

Key words: landscape changes; driving factors; sustainable use; Wuwei oasis

文章编号:1000-0933(2004)09-1878-06 中图分类号:Q149, S181 文献标识码:A

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(90102004)

收稿日期:2004-03-27; 修订日期:2004-06-28

作者简介:李华蕾(1978~),女,辽宁铁岭人,硕士生,主要从事景观生态、土地资源管理和土壤学研究。E-mail: hleilee@yahoo.com.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 90102004)

Received date: 2004-03-27; Accepted date: 2004-06-28

Biography: Li Hua-Lei, Master candidate, mainly engaged in landscape ecology, land resource management and soil science.

研究区武威位于河西走廊东端,是一个历史悠久的干旱区农业绿洲。随着西部大开发各项战略措施的实施,人类活动对干旱区的干扰程度日益加深,尤其是绿洲及其周边地区更为敏感。多年来,以水资源为核心的一系列生态问题威胁着武威绿洲的可持续发展,这也是整个河西走廊农业绿洲的共同问题。由于本区生态环境脆弱,大规模的基础建设和经济开发必须以保障区域生态安全为前提,对其今后开发及管理要慎之又慎。因此,从景观生态学的角度定量研究武威绿洲十多年的景观变化及其原因,对整个西北地区农业绿洲的可持续发展研究具有一定的参考价值。

1 研究区介绍

研究区武威市 2001 年改称凉州区,它位于甘肃省西部河西走廊东端,属石羊河流域,处于北纬 37°23′~38°12′,东经 101°59′~103°23′。地势西南高,东北低,南靠祁连山,北接腾格里大沙漠,中间是一片广阔的绿洲,文中称武威绿洲。武威属于冷温带干旱区,是典型的大陆性气候,干旱少雨,日照充足,昼夜温差大。武威绿洲的耕地完全依赖于灌溉,干旱是影响农业生产的主要因素。武威绿洲是河西走廊开发经营最久的农业绿洲,粮食生产量及商品率居于甘肃省各县市之首。

2 研究方法

2.1 数据来源及数据预处理

1986 年和 2000 年的 TM 影像数据由中国科学院寒区与旱区环境工程研究所遥感室提供。首先,在野外 GPS 定点调查的基础上,利用 ARCVIEW3.2 平台,对 1986 年和 2000 年研究区的 Landsat TM 影像图进行人工解译,生成 1:100000 武威绿洲土地利用图。在景观格局分析软件 FRAGSTATS 中进行运算,得到各个景观格局指数计算结果。

2.2 分类系统

本文所采用的分类系统见表 1。

2.3 景观指标选择

本文建立了转移矩阵和转移图并选取了一些景观格局指数对景观变化进行描述。大部分格局指数从 FRAGSTATS 直接得到,计算方法在有关文章中多有表述^[1]。但本文对分离度指数选取略有不同,一般的景观分离度指数只能表示相对的大小,但不能确定斑块或景观的空间分布类型。本文选取聚落地理学中的最近邻点指数(R),可得到绿洲景观的空间分布类型。最近邻点指数弥补了分离度指数——平均几何最近距离($ENN-MN$)受斑块数目影响的限制。空间分布一般包括聚集型、随机型和均匀型 3 种,其中聚集型往往与特定资源的聚集分布有关(如水、土、森林或交通要道等),均匀分布则体现了资源条件的均匀性或人类活动水平的相似性,随机分布是资源条件与人类活动的空间特化不明显的现象^[2]。公式如下:

$$R = \overline{D_a} \times 2 \sqrt{N/A}$$

式中, $\overline{D_a}$ 为各斑块与其最近斑块间距离的平均值, N 为景观的斑块总数, A 为景观面积。 $R \leq 0.5$ 为聚集分布; $0.5 < R < 1.5$ 为随机分布; $R \geq 1.5$ 为均匀分布。

$\overline{D_a}$ 就是 FRAGSTATS 所计算的指数平均几何邻近指数($ENN-MN$), N/A 就是斑块密度(PD)。1000 为单位变换的系数。因此,公式也可以表示成:

$$R = \frac{ENN-MN \times 2 \sqrt{PD}}{1000}$$

3 结果分析

3.1 景观组分变化

为了更直观具体的反映这十几年的变化情况,本文计算了景观斑块类型转移矩阵和转换图。做转移矩阵和转换图时,为了便于找出规律,将各类林地、草地、水域、居民地和未利用土地合并。

1986 年到 2000 年,耕地总面积增加 6295 hm²,沙地总面积减少 13530 hm²,草地增加 1737 hm²,居民点用地面积增加 2156 hm²。耕地增加的面积主要是由沙地转化而来的,同时,耕地向沙地和裸地的转化占耕地总转出的 32%。可见在不断开荒的同时,又发生了耕地数据现象。1986 年的耕地向其它类型转化最多的是居民点用地(32%),说明城镇用地和居民点用地等建设用地的增加占用了大量耕地。林地总转出面积的 70%转化为耕地,主要发生在绿洲和沙漠的交界带,人们盲目扩大耕地

表 1 武威绿洲景观分类系统

Table 1 Landscape classification system of Wuwei Oasis		
	代码及类型 Code and patch types	
1 耕地 Farmland	11 水浇地 Irrigated farmland	
	21 乔木林地 Arbor forest	
2 林地 Forest	22 灌木林 Shrubbery	
	23 疏林地 Sparse-wood	
3 草地 Grassland	24 园地 Garden	
	31 中覆盖度草地 Middle-coverage grassland	
4 水域 Water area	32 低覆盖度草地 Low-coverage grassland	
	41 河渠 River	
5 居民地 Residential area	42 水库 Reservoir	
	43 滩地 Beach	
6 沙地及其它 Sand and others	51 城镇及工矿 Town	
	52 农村居民点用地 Rural resident	
	61 沙地 Desert	
	62 戈壁 Gobi	
	63 盐碱地 Salt land	
	64 裸地 Bare land	

面积,破坏了处于这样关键地带的林地,对整个绿洲的生态安全是个威胁。草地总转出面积的 43% 转换成耕地,在黄羊河农场发生较多。沙地除了主要转化为耕地外,还有一部分转化为草地和林地。类型转换活跃的地方在绿洲边缘和冲积扇边缘(图 1,表 2)。

3.2 格局变化

从表 3 中可以看出,水浇地总面积增加,斑块密度增加,斑块平均面积减少,表明耕地面积在扩大的同时,破碎度也在增加。这并不是原来的耕地斑块分裂成很多小块而变得破碎,而是由于人们在绿洲边缘沙地上不断垦荒,面积相对较小的耕地斑块大量增加的结果。沙地面积减少的同时,分离度减小,说明原有的部分较大斑块被分割成小斑块,变得更加破碎。裸地和低覆盖度草地面积虽然增大,而斑块数量也同时剧增,斑块粒径减小程度较大,变得比较破碎,其分离度呈减小趋势。乔木林地面积呈减少趋势,斑块数目基本没变,粒径变小,分离度变大,平均分维数略有降低,说明乔木林地被人为破坏,使其数量减少并失去天然不规则的形状。灌木林、疏林地平均分维数略有升高,人们为防风固沙的目的在绿洲边缘种植防护林,使其斑块数量增加,而由于分布在沙漠与耕地的交界处,具有不稳定性,因此其边缘不是太规则。城镇面积、农村居民点和园地都有所增加,这与人口的增加和对居住空间需求的增大有关。从 1986 年到 2000 年,景观总体斑块密度从

1.21 增大到 1.55,平均斑块面积从 82.54 减小到 64.55,表明景观变得更破碎,这是人为活动影响的结果。

从 R 这个指数上,可以判断出斑块的空间分布类型,找到斑块类型的空间分布规律。 R 小于 0.5 的斑块类型属于聚集分布,而聚集型往往与特定资源的聚集分布有关。聚集分布的有耕地、低覆盖度草地、沙地、盐碱、裸地、灌木林等。所以这些类型的分布存在着一些规律,耕地分布受水源、土壤、地形等因素影响,往往分布在水源充足、土壤适宜、地势较平坦的地方。虽然耕地面积很大,但是从更广阔的空间上讲,以广大的沙漠为基质时,耕地分布是受条件限制的类型,其斑块间是较紧密的聚集在一起的;低覆盖度草地表现出常分布在水源条件不好的地方,如沙地边缘;沙地多分布在绿洲边缘地带;盐碱地多分布在地势低洼的部分乡镇。

4 驱动因子分析

4.1 绿洲化变化的原因

这里主要分析在沙地和低覆盖度草地上开荒为耕地的变化原因:(1)1986 年武威市人口 813618 人,到 2000 年增到 984200 人。人口的增加必然引起粮食需求量的增加,因此农作物的播种面积也不断扩大。(2)农民增加收入的需要。武威绿洲属于干旱区典型的农业绿洲,农业收入是农民的主要收入来源。由于传统农业属于低投入、低产出、低风险、高耗水与低效益的生产模式,而且武威绿洲农业结构仍然以种植业为主,其中种植业以粮食作物为主,个人和整个绿洲经济积累少,发展速度慢。采用先进技术需要一次性投入大,如滴灌农业平均一次性设备投入为 150 万元/hm²[3]。这对刚解决温饱、农业利润很低的农民是无法承担的。由于资金限制、市场风险等原因,农业结构调整效果不明显,仍没有解决农民增收问题。农民仍主要采用传统的农业生产模式达到提高生活水平的目的。扩大耕地面积则成了增加收入的主要途径。(3)地下水的超采是耕地能够得以不断扩大的基本条件,为了满足新开耕地的需水,只有不断打井,开采地下水。过去曾是大片沙地的大柳东沙窝、长城以西的沙漠和九墩滩等地,现在已是大面积的机井灌区。而由于地下水位的不断下降,打井深度的增加和机井的不断更新,所带来的农机费用和水电费用,都增加了农民的投入成本。为了维持生存,提高收入,通常的做法是继续增加耕地面积,导致荒地大量开垦。

4.2 荒漠化变化原因

在不断开荒使耕地增加的同时,又发生了耕地的沙化或弃耕现象。以下分析的荒漠化变化是指耕地沙化和弃耕的原因。

4.2.1 地下水的主要补给来源地表径流量的减少 研究表明,石羊河上游西营、杂木、黄羊、金塔 4 河出山口年径流量,20 世纪 80 年代平均为 10.3 亿 m³,90 年代下降到 8.30 亿 m³[4]。地表径流减少的原因如下:石羊河上游祁连山区区毁林、毁草、开矿造成水土流失、生态恶化。

表 2 转移矩阵

Table 2 Transition matrix(hm²)

1986	2000	1	2	3	4	5	6
1		144715	922	1198	1271	2567	2606
2		1572	745	181	51	53	393
3		1982	470	2038	236	77	1931
4		1306	10	236	7272	60	378
5		738	1	27	8	10911	80
6		9262	1540	4719	267	253	18155

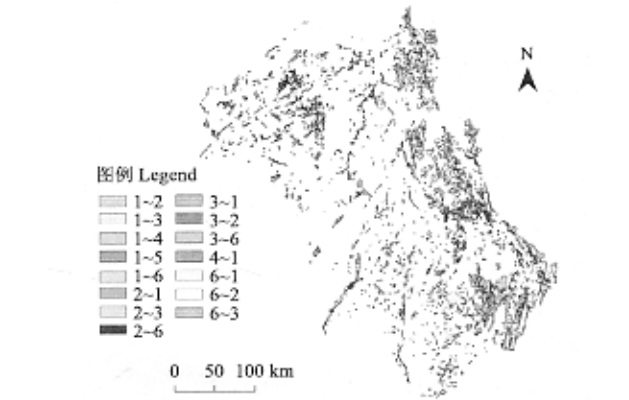


图 1 景观类型转换图

Fig. 1 Transition between landscape classes

表 3 景观格局指数

Table 3 Landscape pattern indexes

<i>N</i>	<i>CA</i> (hm ²)	<i>PLAND</i> (%)	<i>PD</i> (个/100hm ²)	<i>NP</i>	<i>ENN-MN</i> (m)	<i>R</i>	<i>FRAC-MN</i>
1986 年							
11	153279.99	70.24	0.0252	55	278.15	0.09	1.0899
21	1044.9	0.48	0.0096	21	2584.03	0.51	1.2003
22	1459.26	0.67	0.006	13	785.78	0.12	1.0748
23	277.56	0.13	0.0027	6	6256.68	0.65	1.1024
24	211.86	0.1	0.005	11	6509.85	0.92	1.1111
31	961.92	0.44	0.0027	6	8669.57	0.9	1.0448
32	5772.87	2.65	0.0399	87	1237.79	0.49	1.0871
41	2346.48	1.08	0.0023	5	1168.36	0.11	1.0603
42	67.32	0.03	0.0005	1	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	1.1013
43	6848.19	3.14	0.0142	31	438.12	0.1	1.0938
51	1356.66	0.62	0.0027	6	2937.67	0.3	1.0544
52	10408.32	4.77	0.9806	2140	289.5	0.57	1.09
61	28443.33	13.03	0.0568	124	729.93	0.35	1.0972
62	22.32	0.01	0.0005	1	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	1.2113
63	469.62	0.22	0.011	24	1383.95	0.29	1.0863
64	5261.94	2.41	0.0518	113	814.32	0.37	1.2375
2000 年							
11	159576.3	73.12	0.0596	130	143.5	0.07	1.0837
21	357.48	0.16	0.011	24	3493.15	0.73	1.2054
22	1821.78	0.83	0.0027	6	3982.49	0.41	1.1208
23	811.35	0.37	0.0037	8	6750.47	0.82	1.1064
24	696.15	0.32	0.0105	23	4002.94	0.82	1.1127
31	1030.5	0.47	0.0096	21	2887.17	0.57	1.0538
32	7368.03	3.38	0.0926	202	602.78	0.37	1.0983
41	1100.25	0.5	0.0027	6	2782.36	0.29	1.0603
42	67.32	0.03	0.0005	1	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	1.1048
43	7937.55	3.64	0.0133	29	546.05	0.13	1.1018
51	1672.74	0.77	0.0041	9	1835.45	0.24	1.0569
52	12248.28	5.61	1.1401	2488	261.92	0.56	1.1472
61	14910.93	6.83	0.0596	130	665.11	0.33	1.0644
62	160.83	0.07	0.0032	7	751.6	0.09	1.1848
63	67.86	0.03	0.0014	3	171.45	0.01	1.0801
64	8403.3	3.85	0.1347	294	465.88	0.34	1.145

* *N* 斑块类型编号 No. of landscape type; *CA* 类型面积 Class area; *PLAND* 斑块所占景观面积的比例 Percent of landscape; *PD* 斑块密度 patch density; *NP* 斑块个数 Number of patches; *ENN-MN* 平均几何最邻近距离 Mean Euclidean nearest neighbor distance; *R* 最近邻点指数 Nearest index; *FRAC-MN* 平均分维数 Mean fractal dimension index; *N/A* 代表因为斑块数目过少而无法计算 No datum

4.2.2 渠系平均利用系数的提高 河道渠网化和渠道高标准衬砌,渠系利用率由 0.35~0.38 增加到 0.62~0.69^①,导致河渠渗漏量的减少。河渠渗漏是地下水补给量中最重要的一项,约占总量的 80%。因此,河渠渗漏减少直接影响着地下水的天然补给量,致使武威盆地地下水补给资源减少了 2.72 亿 m³。

4.2.3 土地利用强度和规模的扩大引起地下水开采规模和开采量的逐年扩大 随着人口的过度膨胀,农作物的播种面积也不断扩大,新产生大面积的机井灌区。根据武威市水利建设统计资料汇编,从 1980 到 2000 年,机井数和井灌面积逐年增加。大量的机井提采,早已超出了地下水自然的承载力,补采严重失调,加剧了地下水位大面积持续下降。

5 可持续性土地利用对策

5.1 以水定地

从上文分析可知,耕地面积的盲目扩大是导致了武威绿洲的用水紧张的原因之一。从整个流域来看,位于上中游的武威绿洲的不科学用水直接引起了下游民勤绿洲的水资源危机和生态危机。因此,根据上中下游的需水比例,科学分配水资源,就至关

① 数据来源于武威市水利志

重要。处于中游的武威绿洲不可无节制的用水,要根据水资源量,找到最适宜的耕地面积,加以调整。

5.2 节水灌溉

加强农民节水意识,科学灌溉有助于水资源的节约。另外,在推广节水灌溉技术上节约水资源还有很多潜力可挖。考虑到当前的技术和经济水平,广泛采用小畦灌溉节水是比较实际的,节水潜力是巨大的。

5.3 农业结构调整

武威绿洲的农业结构从广义上讲,武威绿洲所在的石羊河流域农业比例偏高,林业、畜牧业偏低。由于农业单位面积用水要高于林草用水,造成了生态用水难以落实,加深了生态危机。狭义上的农业结构调在空间上体现为粮食作物远远大于经济作物和饲料作物(图2)。适当压缩粮食作物种植面积,扩大经济作物,抗旱性高的饲草饲料作物的种植面积,既可缓解灌溉水资源短缺的矛盾,改善生态环境,又可提高农民收入。在时间角度上,由于武威境内四条内陆河5~6月份来水只占全年25%左右,而此阶段农业用水却占全年农业用水的50%,造成了“卡脖子”旱(图3)。应进一步调整夏秋作物种植比例,适应自然规律,缓解夏灌高峰期的用水矛盾。

6 结论与讨论

(1)格局指标的变化体现了人类活动影响的加强。总的来说,十几年间,耕地面积增加4%,沙地面积减小了47.6%,可见,武威绿洲生态系统基本稳定,土地利用强度增大。不容忽视的是,在人为的增加耕地的同时,原有的一部分耕地由于地下水位的逐年降低等原因而弃耕,绿洲边缘已经出现了沙化趋势,更引起了下游民勤用水危机,表明武威绿洲不可继续无限制的开荒增加耕地。而且,绿洲内部农业用水比例偏大,生态用水偏小,这都是对绿洲稳定性以及土地可持续利用潜在的威胁。

(2)整个绿洲变化最大的是在绿洲边缘和冲积扇前缘,表明这里生态系统比较脆弱,也显示出绿洲格局变化与水资源的变化密切相关。

(3)人口数量的变化与资源利用方式的不科学是逐渐改变绿洲景观最根本的驱动力。地下水位的下降引起一系列的生态环境变化,是绿洲景观演变的直接驱动力。水资源条件的变化直接推动景观演变,而人类社会经济活动作为一种外在力量叠加于自然因素之上起推动作用。

References:

[1] Ma M G, Wang X M, Jiao Y M. Study on change of landscape pattern of oasis in arid region based of RS and GIS methods. *Journal of Desert Research*, 2003, **23**(1): 53~58.

[2] Liang H M, Zhao J. Application of geographic information system on spatial distribution characteristics of settlement. *Journal of Northwest Normal Univ (Natural Science)*, 2001, **37**(2): 76~80.

[3] Yang Y C, Li J J, Chen F H. The human mechanism research of Minqin oasis change in the lower reaches of the Shiyang river. *Geographical Research*, 2002, **21**(4): 449~458.

[4] Shi P J, Li M J, Tao X D. The tactics to recover and rebuild the agricultural ecological environment of Wuwei oasis. *Agro-environmental Protection*, 2000, **19**(6): 364~367.

[5] Yue W Z, Xu J H, Ai N S. Quantity character analysis and fractal model study on the mosaic structure of the landscape in a mountainous area. *Journal of Mountain Science*, 2002, **4**: 150~156.

[6] Wang P, Lu S, Yang G. The geographic graphic information analysis method and its application for land use study. *Journal of Northeast Normal Univ. (Natural Science)*, 2002, **34**(1): 93~99.

[7] Wang C. Analysis on exploitation and utilization status of water resources in Liangzhou. *Gansu water conservancy and hydroelectricity technology* (1): 29~31.

[8] Ding H W, Wang G L, Huang X H. Runoff reduction into Hongyashan reservoir and analysis on water resources crisis of Minqin oasis.

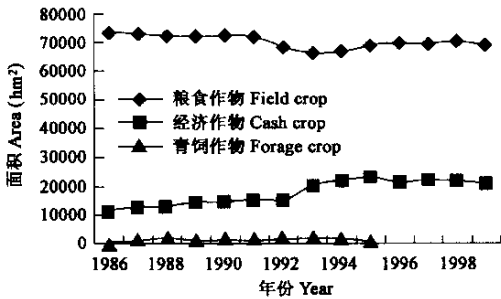


图2 农业结构现状

Fig. 2 Status quo of agricultural structure

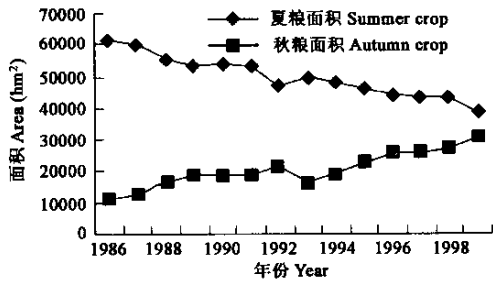


图3 夏粮、秋粮种植比例

Fig. 3 Area of summer crop and autumn crop

Journal of Desert Research, 2003,**23**(1):84~89.

[9] Xu J H, Fang C L, Yue W Z. An analysis of the mosaic structure of regional landscape using GIS and remote sensing. *Acta Ecologica Sinica*, 2003,**23**(2): 365~375.

[10] Pang X L. Analysis on decrease of water resource year after year and its countermeasures in Liangzhou. *Gansu water conservancy and hydroelectricity technology*, 2002,**38**(4): 259~260.

[11] Yuan S L, Yang S L. Sandstorm, water resources and agricultural structure in Hexi corridor. *Gansu water conservancy and hydroelectricity technology*,2003,**39**(1):4~10.

[12] Chai Q, Huang G B. Water and land utilization status and sustainable development in Hexi corridor. *Journal of Arid Land Resources and Environment*,2003, **17**(3):75~79.

[13] Cao P Q. Problems and suggestions on agriculture restructuring in the main crop-yielding district. *Gansu Agr. Sci. and Techn.*, 2001, **9**:11~12.

[14] Wang L M. Discussion on the problems of the water resources shortage in Hexi corridor oasis. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2002,**16**(4): 48~52.

[15] Song D M, Xiao D N,Zhang Z C. Landscape changes of Minqin oasis in Gansu province and its driving force. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003,**14**(4): 535~539.

参考文献:

[1] 马明国,王雪梅,角媛梅. 基于 RS 与 GIS 的干旱区绿洲景观格局变化研究. 中国沙漠,2003,**23**(1):53~58.

[2] 梁会民,赵军. 地理信息系统在居民点空间分布研究中的应用. 西北师范大学学报(自然科学版),2001,**37**(2): 76~80.

[3] 杨永春,李吉均,陈发虎,等. 石羊河下游民勤绿洲变化的人文机制研究. 地理研究,2002,**21**(4): 449~458.

[4] 石培基,李明骥,陶希东. 武威绿洲农业生态环境恢复与重建对策. 农业环境保护,2000,**19**(6):364~367.

[5] 岳文泽,徐建华,艾南山. 山区景观镶嵌体的数量特征分析与分形结构模型. 山地学报,2002,**4**:150~156.

[6] 王平,卢珊,杨桃. 地理图形信息分析方法及其在土地利用研究中的应用. 东北师范大学学报(自然科学版),2002,**34**(1):93~99.

[7] 王成. 凉州区水资源开发利用现状分析. 甘肃水利水电技术,2003, **39**(1):29~31.

[8] 丁宏伟,王贵玲,黄晓辉. 红崖山水库径流量减少与民勤绿洲水资源危机分析. 中国沙漠,2003,**23**(1):84~89.

[9] 徐建华,方创琳,岳文泽. 基于 RS 与 GIS 区域景观镶嵌结构研究. 生态学报,2003,**23**(2):365~375.

[10] 潘晓龙. 凉州区水资源逐年减少原因分析与对策探讨. 甘肃水利水电技术,2002,**38**(4):259~260.

[11] 袁生禄,羊世玲. 河西走廊的沙尘暴、水资源与农林牧结构问题. 甘肃水利水电技术,2003,**39**(1):4~10.

[12] 柴强,黄高宝. 河西走廊区水土应用现状及可持续开发研究. 干旱区资源与环境,2003,**17**(3):75~79.

[13] 曹佩琴. 粮食主产区农业结构调整中的问题及建议. 甘肃农业科技,2001, **9**:11~12.

[14] 王利民. 论河西走廊绿洲水资源面临的短缺问题. 干旱区资源与环境,2002,**16**(4):48~52.

[15] 宋冬梅,肖笃宁,张志城,等. 甘肃民勤绿洲的景观格局变化及驱动力分析. 应用生态学报,**21**(4):449~458.