

石羊河流域中下游绿洲土地利用变化与水资源动态研究

李小玉, 肖笃宁

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 根据 1986 年和 2000 年的 TM 影像数据, 利用地理信息系统 (GIS) 技术通过景观斑块的转移矩阵计算, 分析了石羊河流域凉州区和民勤两个典型绿洲近 15 年来的土地利用变化; 并利用不同时期中下游绿洲水资源量和开发利用程度, 结合种植业结构, 分析了该区域水资源利用动态变化。结果表明, 耕地大量增加, 凉州区和民勤绿洲分别增加了 6 302 hm² 和 36 434 hm², 民勤绿洲林地大面积减少, 2000 年林地面积仅为 1986 年的 55 %, 绿洲面积减少了 23 365 hm²; 而中游凉州区绿洲面积却增加了 8 167 hm²; 上下游用水量之比从 20 世纪 50 年代的 1.612 急剧增大到 90 年代的 8.33, 用水矛盾日益突出, 下游水库来水量 40 年来下降达 63.1 %; 地下水开采强度日益增加, 机井分布密集, 地下水位大幅度下降; 种植业结构不合理, 耗水量较大的粮食作物所占的比例过大。

关 键 词: 石羊河; 土地利用; 水资源; 动态变化; 绿洲

中图分类号: Q149; TV211.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-6791(2005)05-0643-06

干旱地区, 绿洲和荒漠对峙、并存而组成复合体, 绿洲面积虽仅占干旱区土地面积的 4 % ~ 5 %, 却集中了该地区 90 % 以上的人口与 95 % 以上的社会财富, 是该地区的精华所在^[1]。然而, 由于人类活动和气候变化的共同影响, 引发了绿洲萎缩、土地沙漠化以及水资源供需矛盾和地下水位下降等一系列社会经济问题^[2]。而有限的水资源数量和分布状况是控制景观荒漠化进程和绿洲化进程的主导因子, 是干旱地区最为活跃的自然因素, 对土地开发利用起着决定性作用^[3]。对石羊河流域进行景观变化与水资源动态研究, 不仅有助于深入了解干旱区内陆河流域景观结构与自然、生态过程和人类社会活动之间的关系, 也有利于确定人类的各种干扰活动导致该地区景观改变的强度和方向及其有效性, 从而为本地区可持续发展提供重要的科学依据。本文以石羊河流域中游凉州区和下游民勤绿洲为例, 研究了 20 世纪 80 年代中期到 90 年代末期景观变化及其与水资源动态的关系。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

石羊河流域是河西走廊三大内陆河流域之一, 位于 101°41' ~ 104°16' E, 36°29' ~ 39°27' N, 流域总面积 4.06 万 km²。上游山区有 8 条主要河流 (图 1), 河流出口以后进入永昌—武威盆地, 水量大部分被农业引灌和下渗转化为地下水, 在洪积扇边缘地带又以泉水的形式溢出地表, 形成众多的泉水河道, 再次汇合成为石羊河, 此段为石羊河的中游; 此后向北穿越红崖山进入民勤盆地, 水流经引灌而耗于蒸发, 逐渐消失。

该流域属干旱的大陆性内陆气候区域, 具有降水量少、降水变率大、年内分配不均、蒸发量大和干旱时段明显等特点; 人类不适当的生产活动已造成石羊河下游地下水天然补给量减少、区域性地下水位下降、土地沙漠化、盐渍化加重、植被退化等一系列生态环境问题^[4]。本文选取该流域中下游的典型农业绿洲——凉州区和民勤绿洲作为研究区域 (图 1), 该区海拔为 1 400 ~ 2 100 m, 凉州区降水量和蒸发量分别为 158 mm 和 1 963 mm, 民

收稿日期: 2004-04-27; 修订日期: 2004-07-02

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划资助项目 (90102004)

作者简介: 李小玉 (1976 -), 男, 甘肃会宁人, 博士研究生, 主要从事景观生态与水土资源开发利用等研究。

E-mail: lixy76@163.com

勤分别为 115 mm 和 2 637 mm；土壤主要为灰钙土、灰漠土、绿洲灌淤土、草甸土、荒漠林土、盐土、风沙土等类型。

1.2 研究方法

在土地利用及其变化研究上利用地理信息系统(GIS)，根据 1986 年和 2000 年的 TM 影像数据进行人工目视解译的结果为基本资料，应用 ArcView GIS3.2 进行数据处理的统计。根据绿洲的土地利用特征和实际情况，把研究区景观分为 6 个类型：耕地、林地、草地、居民地、沙地、盐碱地，用 GIS 方法建立并输出了凉州区和民勤绿洲的景观转移矩阵。在水资源分析方面利用观测和统计资料分析了中下游绿洲的水资源数量及其利用情况，并且根据观测井的地下水位变化情况制作了地下水位下降分布图(图略)。

2 结果与分析

2.1 景观类型转移矩阵分析

从凉州区绿洲景观转移矩阵分析结果(表 1)可以看出，耕地面积增加了 6 301.8 hm²，其中来自沙地的就有 8 800 hm²，而同期从耕地转化为沙地的只有 2 654 hm²，净转化 6 146 hm²，可见凉州区的耕地面积增加主要来自沙地。此外，林地、草地的空间转移也较为明显，林地总面积减少了 832.59 hm²，但仅有 19 % 为原来保持未变的，而 36 % 和 25 % 分别来自耕地和沙地(分别为 849.4 hm² 和 589.5 hm²)，同期向耕地和沙地分别转化了 2 040 hm² 和 466 hm²；而草地面积却增加了 528 hm²。可以看出，凉州区林地和沙地的转化基本持平，减少的林地主要转化成了耕地，说明毁林开荒、破坏生态的行为较为严重；草地的增加主要来自沙地(沙地转化为草地 4 254 hm²，草地沙化 2 535 hm²)，其与耕地的转化基本平衡(耕地转草地 3 132 hm²，草地转耕地 3 930 hm²)。居民地的增加也较为显著，其中从耕地净增 1 834 hm²。可见，在凉州区也发生了绿洲化和沙漠化这两个对立过程的转化，各种景观类型的空间转移剧烈，最后结果主要表现在沙地向耕地的转化上，即绿洲化过程上，绿洲面积增加了 8 167 hm²。

表 1 凉州区绿洲景观转移矩阵

Table 1 Transition matrix of landscape elements in Liangzhouqu oasis								%	
	耕地	林地	草地	居民地	沙地	盐碱地	合计	2000 年面 积/hm ²	转移量 /hm ²
耕地	90.3	1.3	2.5	0.5	5.5	0.0	100.0	160 322.76	+6 301.8
林地	36.0	18.9	20.0	0.0	25.05	0.0	100.0	2 356.74	-832.59
草地	19.2	1.1	53.3	0.2	26.15	0.0	100.0	16 276.32	+528.39
居民地	18.5	0.4	1.0	78.3	1.8	0.0	100.0	13 875.39	+2 160.54
沙地	11.6	2.0	11.1	0.3	74.9	0.0	100.0	22 826.34	-8 158.14
盐碱地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
1986 年面积/hm ²	154 020.96	3 189.33	15 747.93	11 714.85	30 984.48	0.0	-	-	-

注：横向为 2000 年，纵向为 1986 年；矩阵中的元素 P_{ij} 代表景观类型 i (行元素) 向景观类型 j (列元素) 的转化百分比。

表 2 为民勤绿洲景观转移矩阵的转化百分比。从表 2 可以看出，民勤绿洲沙地和耕地这两个主要景观类型的变化最大，变化率分别达其面积的 45.2 % 和 38.3 %，各增加了 3.6 万 hm² 和 3.1 万 hm²；而其增加都是以牺牲草地和林地作为代价，2000 年的耕地面积有 21.1 % 来自草地，8.1 % 来自林地，而沙地则有 30.4 % 来自草地，9.1 % 来自林地；而同期从耕地转化为林、草地的面积只有它们转化为耕地面积的 7.4 %，来自沙地的林草地的面积也只有它们转化为沙地面积的 7.7 %。耕地的大量增加导致水资源的紧缺，由于地下水超采、水位下降而造成防风固沙林地(如民勤梭梭林)大面积衰退和草地的荒漠化，林地面积减少了 15 612 hm²，仅有 1986 年的

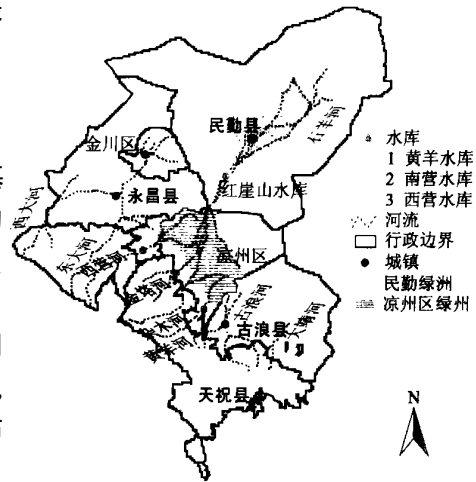


图 1 石羊河流域凉州区和民勤绿洲概况图

Fig.1 Map of Minqin and Liangzhou oases in Shiyang River Basin

55 %，使得绿洲面积减少了 23 365 hm²。可见，民勤绿洲生态环境的退化已经到了刻不容缓的地步，严格控制并减少耕地面积、努力提高耕地和水资源利用效率，应是防止民勤绿洲衰退的主要方面。

表 2 民勤绿洲景观转移矩阵

Table 2 Transition matrix of landscape elements in Minqin Oasis								%	
	耕地	林地	草地	居民地	沙地	盐碱地	合计	2000 年面积/hm ²	转移量/hm ²
耕地	61.7	8.1	21.1	0.2	4.6	4.3	100.0	105 682.32	+ 36 434
林地	2.7	83.5	8.5	0.2	4.3	0.8	100.0	18 225.9	- 15 612
草地	6.6	6.5	73.1	0.3	6.9	6.6	100.0	27 199.71	- 44 897
居民地	4.4	0.6	3.6	90.5	0.3	0.6	100.0	11 684.34	+ 725
沙地	1.1	9.1	30.4	0.0	54.8	4.7	100.0	87 213.24	+ 31 401
盐碱地	2.4	2.4	12.5	0.3	4.3	78.1	100.0	11 667.51	- 8 052
1986 年面积/hm ²	69 247.98	33 837.57	72 096.39	10 959.03	55 812.33	19 719.72	-	-	-

注：同表 1

从以上分析可以看出，民勤绿洲转移量明显大于凉州区，充分说明民勤绿洲沙漠化和绿洲化的转换强度更高，生态环境更脆弱。土地利用类型的空间转化主要集中在荒漠和绿洲的交错地带，说明这一地带最为敏感。下游民勤表现为荒漠化进程强于绿洲化，林地和草地等绿洲斑块大面积减少，而沙地面积增大；而中游凉州区则表现为沙地减少，耕地、草地增加，绿洲化进程高于荒漠化速度。

2.2 水资源动态变化

2.2.1 上下游径流量与水库来水量的变化比较

从图 2 可以看出，石羊河流域上游 8 条河年出山口径流量 20 世纪 60 年代年平均为 12.59 亿 m³，到 90 年代仍为 12.12 亿 m³，未发生显著减少；但下游红崖山水库的年入库径流量从 20 世纪 60 年代的 4.086 亿 m³，降到 80 年代的 2.291 亿 m³，到 90 年代仅为 1.508 亿 m³，40 年来降幅达 63.1 %；而中游凉州区三大水库(西营、南营、黄羊水库)年入库水量 20 世纪 80 年代为 6.128 亿 m³，90 年代为 6.099 亿 m³，基本未变。以上数据充分表明，在该流域出山口径流量未显著减少的情况下，下游红崖山水库的入库量急剧减少，从 20 世纪五六十年代占出山口径流量的 35 %左右降低到了 90 年代后期的 11 %，而中游凉州区的水库入库水量基本稳定。可见，中下游绿洲的径流用水分配严重失衡。因此做到水资源统一管理，统筹调度，实现流域内部的水资源科学配置和利用效率的提高，是实现该流域绿洲特别是下游绿洲可持续发展的根本途径。

在下游红崖山水库入库径流的构成中(图 3)，主要来源为泉水，占全部来水量的 65 %~70 %，且总径流量与泉水量和洪水量都呈显著正相关，在 20 世纪 70 年代中期以前，上游冬春放水量(占总径流量的 20 %左右)大于洪水量，但从 20 世纪 70 年代后期以来在总来水量锐减的情况下，上游的冬春放水量也迅速减小，仅为总径

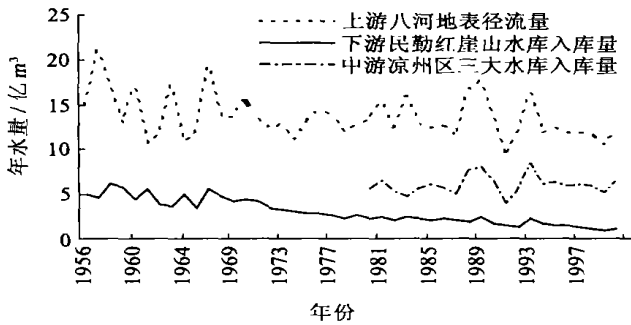


图 2 石羊河流域河流径流量与中下游水库入库水量
Fig. 2 Changes of runoff in Shiyang River and inflow into the reservoirs in the middle- and down-stream of the Shiyang River

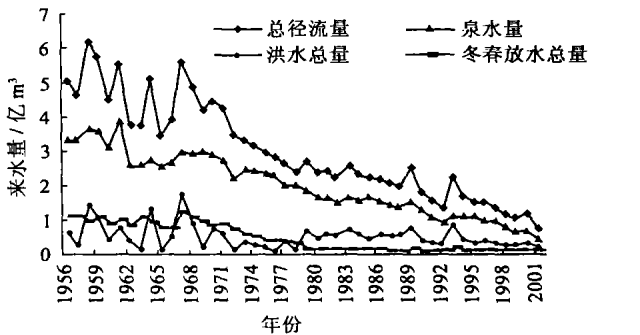


图 3 红崖山水库入库径流组成及其变化
Fig. 3 Component and change of runoff into Hongyashan Reservoir

流量的 6 % 左右, 而洪水量有所增加, 达到了来水量的 20 %。究其原因, 随着中上游地区灌溉面积的不断扩大等工农业经济的持续发展, 上下游用水量之比急剧增大, 从 20 世纪 50 年代初的 1.612 增加到 80 年代初的 5.26, 到 90 年代后期则高达 8.33^[5], 直接导致了下游来水量的减少; 此外, 由于水利化程度的快速发展, 河道渠网化和渠道衬砌标准的提高, 以及各河流的出山口的蓄、引水利工程的建设, 减少了对地下水的补给, 致使凉州区地下水补给资源大幅度减少, 使得泉水资源从 1956 年的 8.63 亿 m^3 , 降低到 1978 年的 2.03 亿 m^3 , 到 1982 年仅剩 0.64 亿 m^3 ^[4]。而泉水的出露是河流向下游输送水量的重要组成部分, 由此直接造成了下游径流量的锐减, 使得民勤绿洲由于水源严重不足, 不得不超采地下水维持生计, 形成了恶性循环。

2.2.2 中下游绿洲水资源开发利用比较

随着石羊河流域渠道引水量及渠系利用率的持续增大(20 世纪 50 年代年平均分别为 8.12 亿 m^3 和 50 %, 90 年代分别增大到 11.50 亿 m^3 和 82.5 %)^[3], 对地表水资源的利用程度不断加大。依据 2000 年的渠首引进量与河川径流量之比求得地表水开发利用系数高达 0.77, 充分说明地表水的开发利用潜力已基本到了尽头。由于大规模水利化的建设, 使得水资源的利用、分布格局发生了重大变化, 最显著的特点就是地表水通过高标准衬砌渠道从山区(水库)直接输送到绿洲, 缩小了地表水与地下水之间的转化范围, 直接减少了地下水的天然补给, 导致了地下水位的下降。

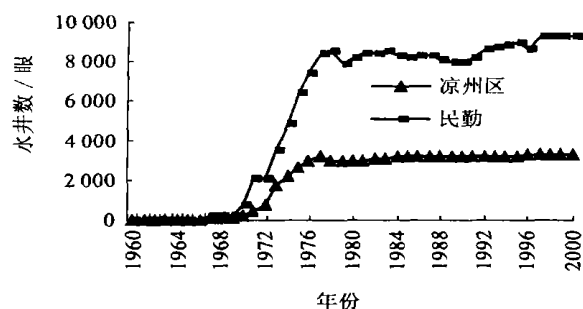


图 4 石羊河流域中下游绿洲机电井数量

Fig. 4 Number of wells in oases in Shiyang River

由于地表水可利用空间的减小, 地下水开采强度日益加强, 图 4 为石羊河流域中下游绿洲的机井开发情况, 从一个侧面反映了该流域地下水开发利用的过程。可以看出, 20 世纪 70 年代为地下水开发利用的迅速发展期, 大量机井涌现, 到 1980 年凉州区和民勤的机井数量分别达到 3 017 眼和 8 250 眼, 机井密度达 1.6 眼/ km^2 和 5.1 眼/ km^2 ; 以后机井数量增加变缓, 主要为报废和更新的动态变化过程。地下水开采量也随之剧增, 从 1955 年 1.85 亿 m^3 到 1977 年达 6.76 亿 m^3 , 2000 年达到了 12.42 亿 m^3 。民勤绿洲从 20 世纪 70 年代以前的 <1.0 亿 m^3 , 发展到 70 年代的 2.62 亿 m^3 , 80 年代为 3.45 亿 m^3 , 到 2000 年则高

达 6.70 亿 m^3 , 近 20 年来年平均增加 0.22 亿 m^3 ; 凉州区 20 世纪 70 年代初开采量为 0.9 亿 m^3 , 80 年代初为 4.6 亿 m^3 , 到 2000 年则达到 5.72 亿 m^3 , 增幅显著。

同时, 从该流域不同水源的农田实际灌溉面积也可反映出该区域地下水的开采程度(图 5)。20 世纪 90 年代以来, 武威地区的机井灌溉面积呈明显的增大趋势, 而下游民勤绿洲这种趋势更为显著, 特别是近几年来水库灌溉面积锐减, 机井灌溉面积陡增, 达全部灌溉面积的 60 % 以上; 中游凉州区的水库灌溉面积亦有所增加。此外, 图 5 数据为武威地区水利统计年报的当年农田实灌面积, 与通过 TM 影像数字化计算出的耕地面积差距较大, 特别是下游民勤绿洲 2000 年实灌面积仅有 TM 影像数据耕地面积的一半, 主要有以下两方面的原因: 第一, 民勤绿洲弃耕、复垦现象严重, 大面积当年未灌溉的弃耕地(受农产品价格影响, 次年又可能被复垦利用)在影像数据解译时被作为耕地处理, 增大了实际耕地面积; 第二, 农户自行新垦的大量井灌农田未被水利部门统计。

由于地下水的大量开采利用, 超采现象日趋严重, 使得中下游绿洲区地下水位下降明显。据计算, 2000 年中游凉州区地下水允许开采量为 3.32 亿 m^3 , 而实际开采 5.72 亿 m^3 , 当年超采 2.40 亿 m^3 , 水位下降 0.6 m 左右; 而下游民勤绿洲开采量则高达 6.70 亿 m^3 , 远远超过现有 2.74 亿 m^3 的允许开采量, 超采高达 3.5 亿 m^3 。在 20 世纪 80 年代初到 90 年代末的 20 年间, 中游凉州区和下游民勤绿洲地下水位大幅度下降(图 6)。凉州区南部下降速度明显大于北部, 大部分区域水位总降幅为 5.0 ~ 11.5 m, 有些区域高达 16 m, 下降速度为 0.3 ~ 0.8 m/a; 而在民勤绿洲, 环河灌区地下水位下降幅度最大, 达 10 ~ 16 m, 其它区域为 5 ~ 10 m。究其原因, 地下水的严重超采和地表水利用率的提高, 是该区域地下水位大幅度下降的直接动因。

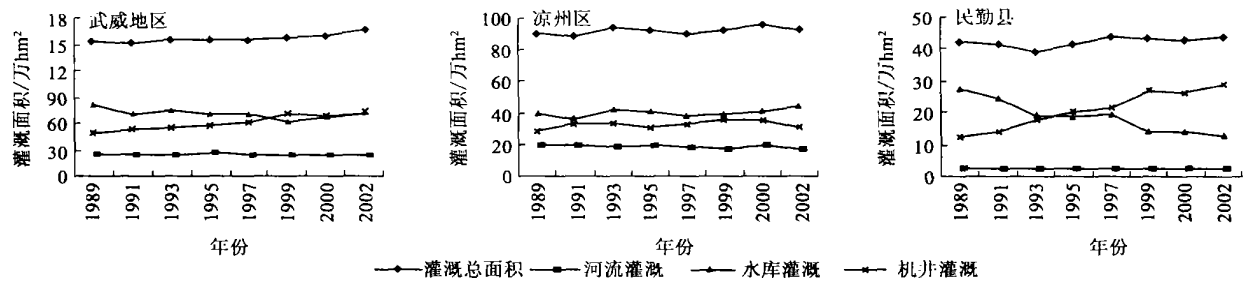


图 5 石羊河流域不同水源的农田实灌面积变化情况
Fig.5 Area of farmland irrigated by runoff and groundwater

2.2.3 种植业结构与绿洲水资源开发利用的关系分析

石羊河流域中下游绿洲(除金昌外)主要以农业为经济主体,农业用水占总用水量的 90 % 以上,不同的种植结构对水资源的需求不同。王根绪等利用灰色系统决策理论计算得出了民勤绿洲各种作物的需水量^[6]:小麦、玉米为 $10\,400\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、棉花为 $4\,029\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、籽瓜为 $5\,229\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、胡麻为 $4\,479\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、瓜类为 $5\,229\text{ m}^3/\text{hm}^2$,表明粮食作物小麦、玉米的需水量要达经济作物的 2 倍。图 7 为近 50 年来凉州区和民勤县的种植业结构变化情况,可以看出,两个绿洲都是粮食作物占绝对优势,从 20 世纪 80 年代中期粮食作物种植比例开始下降,但凉州区仍然高于民勤绿洲。近年来粮食作物种植比例凉州区为 75 % 左右,而民勤降低到了 60 %。根据上述作物需水量,以 2000 年种植面积计算,粮食作物比例每下降 1 %,每年凉州区和民勤绿洲分别可节约灌溉水量 412 万 m^3 和 288 万 m^3 。在民勤的农户经济状况调查表明,每公顷经济作物的效益要高出粮食作物 1 500 ~ 3 000 元,因此,在不降低农民收入的情况下,合理调整种植业结构,增大经济作物比例,对缓解水资源危机具有重要意义。

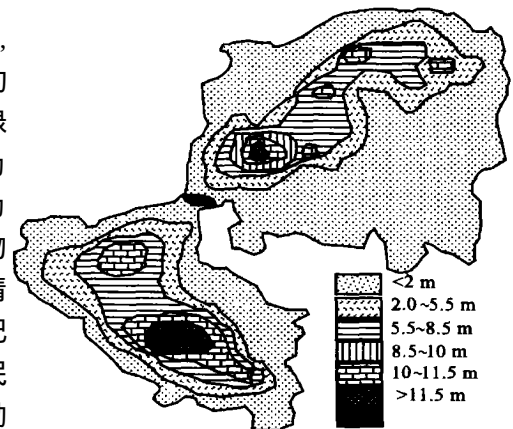


图 6 1980 - 2000 年凉州区和民勤中下游绿洲地下水位下降图
Fig.6 Lowering amplitude of groundwater table from 1980 - 2000 in Liangzhou and Minqin oases

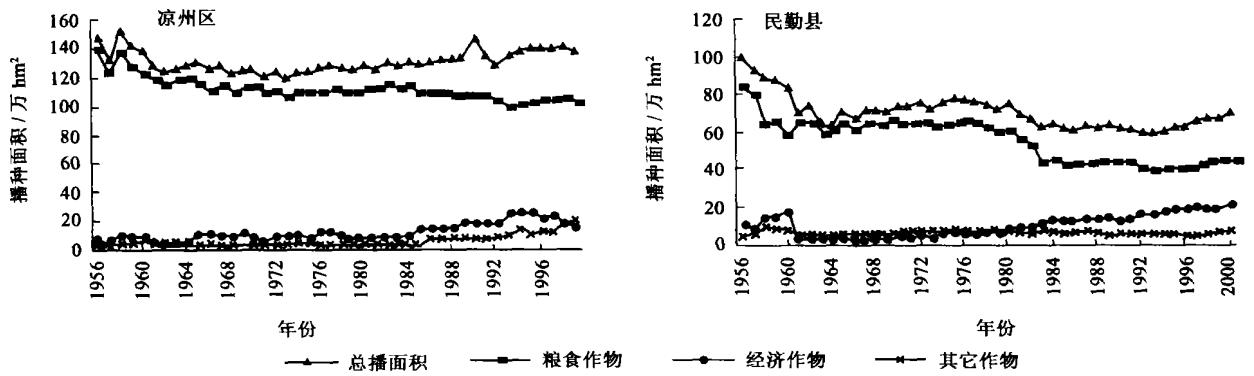


图 7 石羊河流域中下游绿洲种植业结构
Fig.7 Structure of crop planted in oases in Shiyang River watershed

3 结 论

石羊河流域是甘肃省河西地区内陆河中开发较早、水资源利用程度最高的流域,随着人口的增长,耕地面积不断扩大,水资源需求大幅度增加,随着开发利用程度的提高,中下游用水严重失衡,导致下游水量锐减,地下水严重超采,水位持续下降,生态环境急剧恶化,已危及到了民勤绿洲的生存。主要表现为:耕地大量增加,凉州区和民勤绿洲 15 年来分别增加了 6302 hm^2 和 36434 hm^2 ,特别是下游盲目开垦现象严重。民勤绿洲林地大面积减少,2000 年林地面积仅为 1986 年的 55%,绿洲面积减少了 23365 hm^2 ;而中游凉州区耕地、林地等绿洲面积却增加了 8167 hm^2 。在全流域出山口径流量未显著减少的背景下,中游绿洲水库入库水量基本维持稳定,而下游红崖山水库的入库水量大幅度减少,上下游用水量之比急剧增大,用水矛盾日益突出;地下水开采强度不断加强,机井分布密集,地下水位大幅度下降。种植结构不合理,特别在中游绿洲,耗水量较大的粮食作物所占比例过大。虽然这种趋势正在改变,但经济作物种植面积增加缓慢,使得水资源的供需矛盾日趋突出。因此,为了实现石羊河流域中下游绿洲的协调与可持续发展,必须根据可利用水资源量规划农业生产规模,严格控制耕地面积,合理调整种植结构,大力提高耕地和水资源单产效益。

参考文献:

- [1] 贾宝全. 绿洲景观若干理论问题的探讨[J]. 干旱区地理, 1996, 19(3): 58 - 65.
- [2] 刘 恒, 钟华平, 顾 颖. 西北干旱内陆河区水资源利用与绿洲演变规律研究——以石羊河流域下游民勤盆地为例[J]. 水科学进展, 2001, 12(3): 378 - 384.
- [3] 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[J]. 中国沙漠, 2003, 23(1): 84 - 89.
- [4] 李世明, 程国栋, 李元红, 等. 河西走廊水资源合理利用与生态环境保护[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002. 76 - 249.
- [5] 宋冬梅. 石羊河下游民勤绿洲景观变化与生态安全研究[D]. 沈阳: 中国科学院沈阳应用生态研究所, 2003.
- [6] 王根绪, 温红子. 甘肃民勤灌区作物种植趋势决策[J]. 甘肃科学学报, 1995, 7(4): 66 - 71.

Dynamics of water resources and land use in oases in middle and lower reaches of Shiyang River watershed, Northwest China^{*}

LI Xiao-yu, XIAO Du-ning

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the TM image of the oases in Liangzhou District and Minqin county in middle and lower reaches of Shiyang River in 1986 and 2000, this paper calculates the transformation matrix of the landscape mosaics, and analyzes the relationship between the land use changes and the dynamics of runoff and groundwater resource and their exploitation in the two oases. The results show that: (1) Farmland area expanded distinctly by 6302 hm^2 in Liangzhou and 36434 hm^2 in Minqin oasis. And the transition of landscape elements in Minqin oasis is developing toward desertification, with the area of 23349 hm^2 turned into desert land, however it is also developing toward the other way - the oasis landscape expansion by 81581 hm^2 in Liangzhou oasis. (2) The ratio of the utilized water quantity in the upper and middle reaches to that in lower reaches increases great from less than 2 before 1970 to more than 8 since 1995; the annual recharge quantity to the Hongyashan reservoir decreases by 63.1% in recent 40 years. (3) Groundwater exploitation develops progressively, and the density of water-supply wells increases remarkably, up to 5.7 and 1.8 wells/ km^2 in Liangzhou and Minqin oases respectively in 2000; and the groundwater table drops obviously, the lowering rates reach up to 0.6 - 0.8m/year in some place. (4) the cropping patterns in the study area are distributed irrationally, too. If the planting percentage of water-wasting crops drops to 50% in both oases, it can save irrigating water by $1.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ in Liangzhou oasis and $0.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ in Minqin oasis one year.

Key words: Shiyang River watershed; land use; water resource; dynamics; oases

^{*} The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 90102004).