

石羊河尾闾绿洲的景观变化与生态恢复对策

肖笃宁¹, 李小玉¹, 宋冬梅²

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:利用 GIS 技术和景观结构分析软件 FRAGSTATS, 在对民勤湖区绿洲景观格局动态变化以及土地利用格局的空间转化分析的基础上, 从水资源利用以及政策和市场经济等方面分析了湖区景观变化的驱动因素, 结果表明: (1) 耕地和沙地斑块数量减少, 平均斑块面积增加, 空间连片趋势加剧; 蔓延度指数变大, 边缘密度和多样性指数降低; (2) 沙地和耕地面积分别增加 5171.85 hm² 和 2640.33hm², 它们的增加以牺牲林、草地为代价; (3) 湖区地表水净利用量近 10a 来降幅达 50%, 到 20 世纪 90 年代后期仅有 0.22×10⁸m³, 使得地下水净利用量近年来年均高达 0.80×10⁸m³; (4) 以耐盐性较强的经济作物占绝对优势的单一经济结构, 降低了农业生产对市场风险的抵御能力, 农户收入急剧下降。通过以上分析, 提出了湖区生态恢复途径与措施。

关键词:民勤湖区; 景观变化; 水资源; 生态恢复; 尾闾绿洲

文章编号: 1000-0933(2005)10-2477-07 中图分类号: Q149 文献标识码: A

Landscape changes and ecological reconstruction in Minqin Huqu oasis

XIAO Du-Ning¹, LI Xiao-Yu¹, SONG Dong-Mei² (1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2477~2483.

Abstract: The development and utilization of water and land resources in Shiyang river is the highest of the 3 watersheds in Hexi Corridor of Gansu province, northwestern China. Huqu oasis in Minqin county is a typical dry delta formed from inland river, and surrounded by desert on the west, north and east. Due to overuse of water resource in the upper and middle reaches, salt was accumulated in the Huqu delta. Consequently, shortage of water resource and overabundance of salt have become the biggest problem in Huqu oasis. The ecological environment degraded dramatically.

Using GIS and landscape structure analysis program FRAGSTATS, based on the TM image of Huqu in Minqin oasis in the lower reaches of Shiyang river Watershed in 1987 and 2001, this paper calculated and analyzed the landscape metrics of study area in 1987 and 2001 at class level and landscape level respectively, as well as the transformation matrix of the landscape mosaics. Also the driving forces of landscape changes were analyzed, including the dynamics of runoff and groundwater resource and their exploitation, and influences of policies and market economy. The results showed that: (1) Patch number of farmland and desert decreased, but their mean patch area increased, indicating that reclamation and desertification was very serious in the study area. Contagion index for oasis increased and edge density and landscape diversity reduced. (2) Area of farmland and desert have enlarged by 1520.46 hm² and 4941.27 hm² respectively, and their increase was at the cost of wood land and grassland, which shrank by 1520.46 hm² and 4941.27 hm², respectively. (3) The net utilization of surface water decreased by 50% in the last 10 years, and dropped to 22.3×10⁶m³ in later 1990s. Thus the exploitation of groundwater enhanced remarkably, up to 80×10⁶m³ per year in the last 5 years. (4) The capability of economic structure standing against the market economy has depressed distinctly because of the simplified planting pattern which is dominated by salinity enduring cash crops such as cotton. Based on the above analysis, strategies of ecological reconstruction in Huqu were put forwarded,

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90102004)

收稿日期: 2004-07-22; 修订日期: 2005-01-20

作者简介: 肖笃宁(1938~), 男, 湖南省长沙市人, 研究员, 主要从事景观生态和区域地理学研究. E-mail: xiaodun@ns.lzb.ac.cn

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

Received date: 2004-07-22; Accepted date: 2005-01-20

Biography: XIAO Du-Ning, Professor, mainly engaged in landscape ecology, and regional geography. E-mail: xiaodun@ns.lzb.ac.cn

including adjustment of agricultural planting pattern, improvement of water use efficiency, decrease of groundwater exploitation, emigration of population, adjustment of water use prices, allotment of water resource in the whole watershed, and transfer of water from other watersheds.

Key words: Huqu in Minqin oasis; landscape changes; water resource; ecological reconstruction

绿洲是干旱区独有的人文-自然景观,景观格局与水-生态过程成为干旱区景观生态研究的热点。在河西走廊的3个内流河流域中,石羊河流域的水、土资源开发程度最高,生态危机最大。内流河流域的绿洲开发中普遍存在着从下游向上游转移的规律,历史上存在过的尾间湖几乎全部干涸而形成今日下游之干三角洲,水源被中上游的土地开发所占用,而盐分则在干三角洲中累积,水少盐多成为突出矛盾。民勤绿洲特别是湖区绿洲,正是这种内流河下游干三角洲的典型,西、北、东三面被巴丹吉林沙漠与腾格里沙漠包围,生态环境极为脆弱。尤其是近几十年,随着流域中游地区人口数量与经济规模的不断扩大,导致进入下游的地表水资源日趋减少,引发了一系列生态环境问题。20世纪80年代以后由于地下水位的持续下降,出现大面积人工造林的衰退和死亡;20世纪90年代湖区土壤盐碱化加重和受沙漠化威胁,弃耕移民成为生态灾难。湖区作为深入两大沙漠腹地的孤岛式绿洲,也是民勤绿洲和凉州区绿洲得以健康持续发展的绿色生态屏障,是阻挡北漠风沙的“桥头堡”,其与民勤绿洲,甚至河西走廊有着可谓唇亡齿寒的关系,所以,确保民勤湖区的生态安全是整个石羊河流域可持续发展的试金石。关于民勤湖区的研究报道虽然较多,但大多是集中在对现状的描述上^[1],而对景观变化与生态过程进行深入分析的较少^[2],本文试图以此作为着眼点,在分析湖区景观变化及驱动因子的基础上,提出了生态恢复的对策与建议。

1 研究区概况

民勤湖区是石羊河下游的尾间绿洲,土地总面积9.53万hm²,在构造上位于阿拉善地台东南缘,南部是民勤中新断陷(即民勤盆地),北部是青土湖新凹陷;海拔大部分在1310~1320m之间,比降在0.002以下。因地势凹陷、海拔低,石羊河最终汇集于此;这里成为冲积物和水溶性盐类的堆积区,沉积大面积湖相地层,沿石羊河发育为扇形冲积带,形成冲积-湖积平原^[3~5]。本区属干旱荒漠区,降水稀少,蒸发量大,年均气温7.8℃,年均降水不到100mm,而年蒸发量高达2600mm以上。现有西渠、中渠、东湖、收成及红沙梁5个乡(镇)、87个村,总农户16860户,现有人口73274人,耕地面积3.35×10⁴hm²,近年实际播种面积1.07×10⁴~1.27×10⁴hm²^[4]。随着中上游农垦灌溉规模的扩大,汇入尾间湖的河水减少,而湖水不断蒸发损耗,湖泊干涸;但每年随河水携入此地的1.6×10⁸kg盐分却只能永远停留于此,无法泄出,使得土地盐碱化日趋严重^[2,5,6]。

2 研究方法

本文在土地利用及其变化研究上,依据1987年和2001年的TM影像数据进行人工目视解译的结果为基本资料,按照绿洲土地利用特征和实际情况^[7],把研究区景观分为以下6个类型:耕地、林地、草地、居民地、沙地、盐碱地;用景观结构分析软件FRAGSTATS计算格局指数,并用GIS方法计算了民勤湖区的景观转移矩阵。通过对湖区典型农户种植面积、种植结构、地表、地下水利用量、种植成本以及纯收入等各个方面实地综合调查的基础上,根据民勤县水利局提供的水资源开发利用资料,民勤县1980~2003年的国民经济和社会发展统计资料以及湖区生态建设规划资料,分析了湖区土地利用变化驱动力及其与水资源利用和种植结构等的关系。

3 结果与分析

3.1 绿洲景观格局及其动态变化

通过对民勤湖区1987年和2001年景观格局变化的比较(图1),分别在类型水平和景观水平上计算了研究区不同时期的格局指数(表1,表2)和景观转移矩阵(表3)。

3.1.1 类型水平上景观格局及其动态变化分析 从湖区类型水平上景观格局指数的变化可以看出(表1),不同景观类型所占比例PLAND,湖区绿洲耕地比例最大,从1987年的36.34%增加到2001年的42.97%;草地次之,15a来减少了6.34%。盐碱地也占有较大比例,由14.01%降到了11.83%;而沙地增加了3.39%。斑块个数居民地最多,草地次之,且两者变化都不大,但草地平均斑块面积缩小了15.82hm²;虽然耕地斑块数量有所减少,但平均斑块面积却增加了45hm²,充分说明湖区耕地的盲目开垦现象特别严重。同样,沙地斑块数减少明显,但平均斑块面积达1987年的2.55倍,表明湖区沙地不但面积上不断扩大,而且空间上连片趋势急剧发展,沙漠化趋势日益加剧。斑块密度居民地最大,其次为草地和耕地,沙地最小,说明沙地破碎化程度最小,而居民地分布最为分散。边缘密度耕地最大,其次为草地和居民地,沙地最小,说明耕地边缘形状最为复杂,破碎化严重,而且这种趋势更为突出,而沙地形状简单。聚集度沙地最大,居民地最小,而且沙地聚集度增加趋势明显,说明湖区绿洲沙地分布最为集中,并且聚集程度仍在增大,而居民地最为分散。散布与并列指数取值越小,说明与某一斑块类型相邻接的其他斑块类型越少;湖区盐碱地该值最小,沙地较大,表明盐碱地的邻接类型单一,而沙地的邻接类型较多;盐碱地主要与沙地相邻,而沙地则与包括耕地在内的其它各类景观类型都有较大的邻接边界。总之,在类型水平上,湖区耕地和沙地这2种完全不同的景观类

型都表现为面积上不断扩大,空间上呈连片发展趋势,聚集度增加。

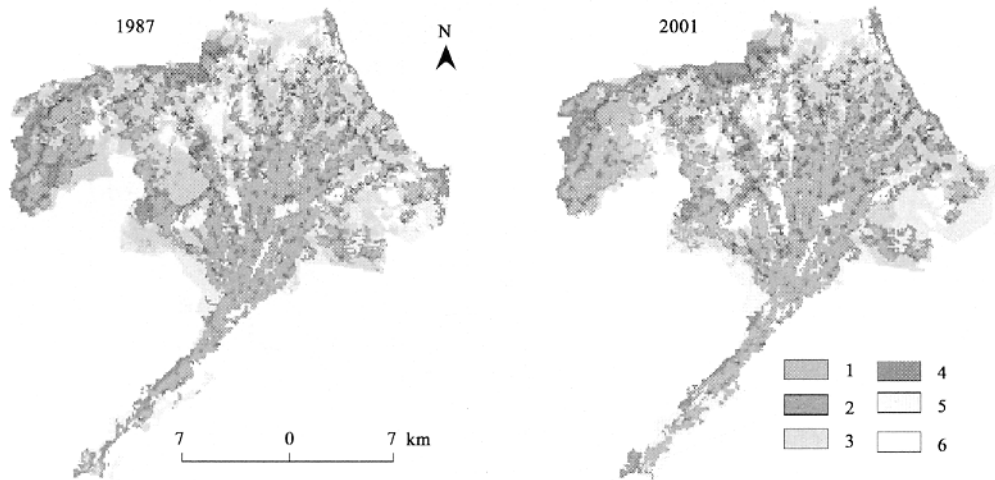


图 1 不同时期民勤湖区景观图

Fig. 1 Landscape map of Minqin Huqu oasis in 1987 and 2001

1. 耕地 Farmland; 2. 林地 Forest land; 3. 草地 Grassland; 4. 居民地 Residential area; 5. 沙地 Sandy land; 6. 盐碱地 Salinized land; 下同 the same below

表 1 类型水平上湖区绿洲景观格局指标及其变化对比

Table 1 The landscape metrics of Minqin Huqu oasis at class level

项目 Item	景观类型百分比 PLAND(%)		斑块个数 NP		斑块密度 PD (No./100hm ²)		边缘密度 ED (m/hm ²)		平均斑块面积 AREA-MN (hm ²)		聚集度 AI (%)		散布与并列 指数 IJI(%)	
	1987	2001	1987	2001	1987	2001	1987	2001	1987	2001	1987	2001	1987	2001
耕地 Farmland	36.34	42.97	259	217	0.3322	0.2784	33.36	36.69	109.37	154.37	93.28	93.74	78.81	83.87
林地 Forest land	9.13	7.18	143	65	0.1834	0.0834	7.68	5.16	49.77	86.10	93.30	94.11	85.39	77.04
草地 Grassland	25.31	18.97	303	300	0.3887	0.3848	26.20	21.09	65.12	49.30	92.25	91.71	79.22	67.62
居民地 Residential area	6.30	6.75	679	691	0.8710	0.8864	15.35	16.32	7.23	7.61	82.06	82.20	36.55	28.79
沙地 Sandy land	8.91	12.30	96	52	0.1231	0.0667	5.28	5.49	72.38	184.46	94.76	96.02	84.42	81.82
盐碱地 Salinized land	14.01	11.83	174	130	0.2232	0.1668	11.89	9.81	62.79	70.95	93.74	93.87	68.04	64.10

3.1.2 景观水平上格局指标及其动态变化分析 湖区近 15a 来景观水平上格局指数的变化表明(表 2),绿洲斑块数目减少了 199 个,斑块密度降低了 0.26 个/100 hm²;平均斑块面积增大了 6.45hm²。这些充分说明湖区绿洲景观整体上具有连片结合的发展趋势,主要表现在沙地的面积增加和空间连片上。景观形状指数有所降低,说明湖区绿洲景观斑块形状的复杂性降低。相似邻接比和聚集度有所增加。另外,蔓延度指数也是一个反映斑块分布状态的常用指标,只适用于景观水平,它与斑块边缘密度成反比;当该值为 0 时,说明景观以最大的程度分离(每一个斑块都为一种不同的类型)和散布(所有斑块都以相同比例相邻接),而当其值为 100 时,则表明整个景观仅由一个斑块构成。湖区绿洲的蔓延度指数增加表明空间上聚集连片,边缘密度降低趋势更为明显。香农多样性指数是群落生态学中普遍应用的多样性度量指标,其在景观生态学领域也被广泛应用。湖区多样性指数有降低趋势,证明湖区绿洲土地利用向单一化方向发展。景观异质性和生物生境的多样性降低,导致湖区生态环境质量恶化。

表 2 景观水平上不同绿洲景观格局指标及其变化对比

Table 2 The landscape metrics of Minqin Huqu oasis at landscape level

年份 Year	斑块个 数 NP (No./100 hm ²)	斑块密度 PD (hm ²)AREA-MN	景观形状指 数 LSI	周长-面积分 维数 PAFRAC	相似邻接比 PLADJ(%)	聚集度 AI	蔓延度指数 CONTAG(%)	香农多样性 指数 SHDI
1987	1654	2.12	47.13	37.02	1.39	92.28	92.51	1.60
2001	1455	1.87	53.58	35.21	1.40	92.67	92.90	1.56

3.1.3 景观转移矩阵分析 从民勤湖区景观转移矩阵(表 3)和各景观类型的面积变化情况(图 1,图 2)可以看出,民勤湖区沙地和耕地的面积增加最大,变化率分别达其面积的 34.51%和 23.25%,各增加了 5171.85 hm² 和 2640.33hm²,而它们的增加是以牺牲草地和林地为代价的。2001 年的耕地面积有 14.76%(4943.60hm²)来自草地,4.32%(1447.02hm²)来自林地,而沙地则有 18.16%来自草地,7.92%来自林地;而同期从耕地转化为林、草地的面积不到它们转化为耕地面积的 30%,来自沙地的林草地面积也只有它们转化为沙地面积的 11.9%。15a 来林地和草地面积分别减少 1520.46hm² 和 4941.27 hm²。

从以上分析可以看出,湖区绿洲在整个景观水平上聚集度增加,空间连片趋势加剧,斑块形状简单化,景观多样性降低,土地利用格局日趋单一化;以牺牲林、草地为代价的开荒现象与日趋加剧的绿洲荒漠化趋势同时并存,造成了湖区土地向耕地和沙地两个极端方向发展的恶性循环。

3.2 景观变化驱动力分析

耕地的大量增加导致了湖区有限的淡水资源的紧缺,由于地下水超采引起的水位下降加剧了水质恶化,使得大面积耕地被迫弃耕,近年来实际播种耕地面积仅有耕地总面积的 1/3 左右;而大量的弃耕地又成为了沙漠化发展的主要诱因,从而造成了生态环境急剧退化的恶性循环。同时,由于受市场经济的影响,湖区耕地的弃耕撂荒和复垦与农产品价格有着很大的关系,在农产品价格较高的年份耕地弃耕数量减少,并且对撂荒地的复垦增多。因此,水资源状况和市场经济与政策因素成了民勤湖区景观变化的主要驱动因素。

3.2.1 水资源状况分析 据民勤县水利局调查,湖区的平均田间净用水量为 7200m³/hm²,渠系水利用系数地表水为 0.42,地下水为 0.74。根据湖区近 15a 来的耕地种植面积,计算了湖区的净需水量,在此基础上,依据红崖山水库每年向湖区的输水量和渠系水利用系数得出了湖区每年地表水净用水量 and 需水差额(图 3)。湖区近 15a 来的耕地平均净需水量为 0.83×10⁸m³,而地表水净利用量逐年减小,从 20 世纪 80 年代后期的 0.45×10⁸m³,降到 20 世纪 90 年代后期的 0.22×10⁸m³,降幅达 50%。由于实际种植面积并未减少,使得湖区用水差额不断扩大,从 80 年代后期的 0.37×10⁸m³,扩大到 2000 年以来的 0.67×10⁸m³;只能靠开采有限的地下水补充,形成了生态环境退化的恶性循环(图 3)。

表 3 1986~2000 年 民勤湖区景观转移矩阵(%)

Table 3 Transition matrix of landscape elements in Minqin Huqu oasis

项目 Item	耕地 Farmland	林地 Forest land	草地 Grassland	居民地 Residential area	沙地 Sandy land	盐碱地 Salinized land	合计 Total	转移量(hm ²) Transformed area
耕地 Farmland	76.75	4.32	14.76	0.49	0.42	3.26	100.00	+5171.85
林地 Forest land	7.18	75.67	14.24	0.18	1.53	1.20	100.00	-1520.46
草地 Grassland	9.95	3.91	74.89	0.44	1.43	9.40	100.00	-4941.27
居民地 Residential area	5.60	0.54	4.82	88.61	0.02	0.41	100.00	+351.90
沙地 Sandy land	2.49	7.92	18.16	0.00	65.49	5.95	100.00	+2640.33
盐碱地 Salinized land	2.29	0.76	9.98	0.08	2.49	84.41	100.00	-1702.35

横向为 2001 年,纵向为 1987 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 The row is data in 2001and the column is data in 1987; the data P_{ij} in matrix represent the percent of landscape type i (in row) transformed to landscape type j (in column)

根据湖区 1991 年以来的农业灌溉用电量计算了湖区逐年地下水开采量,按每度电提水 3.5m³ 计算,再乘以湖区地下水的渠系水利用系数 0.74,得到湖区每年的地下水净利用量,近 5a 来平均每年高达 0.80×10⁸m³(图 3)。可以看出,得到的地下水净利用量与净需水差额变化趋势基本一致,但地下水利用量大于净需水差额;这主要是由于湖区弃耕和复垦现象严重,在农产品市场价格上涨的年份,许多当年弃耕的农田又被复垦种植,未被当地政府部门所统计。通过地下水利用量与按耕地统计面积计算的净需水差额的比较,估算了湖区每年未被统计的耕地面积,20 世纪 90 年代以来的平均值为 1350hm²,最高年份 2002 年高达 3500hm²,最少年份 2000 年也要达 330hm²。可见湖区滥垦现象严重,地下水过度开采,使得本身矿化度就较高的水质严重恶化。由于水质恶化,也使得弃耕现象在湖区特别严重,1987~1994 年间平均每年弃耕 130hm²,1994~1998 年的弃耕速率为 263hm²/a,而 1998~2001 年的弃耕速度惊人增加,达到了 1419 hm²/a^[8];此外,还使得湖区 49 个村的 3.8 万人、8 万头牲畜存在着非常严重的饮水危机,不得不到 10km 以外的 300m 深并集中供水点取水,水质恶化对湖区群众带来灾难性后果。

3.2.2 市场经济和政策因素 湖区大部分面积因地下水质恶化,土壤盐碱化程度加重,农作物产量普遍偏低;以至无法种植

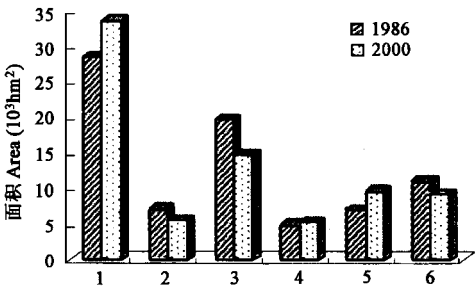


图 2 民勤湖区绿洲各景观类型面积变化
Fig.2 Area changes of landscape types in Minqin Huqu

小麦、玉米等粮食作物,种植比例从1985年的75%降到了2003年的25%,形成了以棉花、茴香、瓜类等耐盐性较强的经济作物占绝对优势的单一经济结构,对市场风险的抵御能力降低。随着生产成本的不断上升,农户由于信息闭塞,种植结构调整滞后,农产品价格波动较大等原因,收入急剧下降(图4)。2001年以来农产品价格猛跌,湖区人均纯收入仅有800元左右,群众基本生产活动难以维持,人口被迫外流,因而使得耕地撂荒趋势加剧,形成了生态环境严重退化的恶性循环。

尽管民勤地表水资源奇缺,但近几年却出现宝贵的水资源滞留于水库而耗于蒸发的现象。从1995年到2001年的7a间,水库来水量与出库量之差累计达到 $2.0\times10^8\text{m}^3$,平均每年水库余存量达 $0.3\times10^8\text{m}^3$ 。主要原因是由于地表水和地下水的使用成本差异较大,群众对利用地表水的积极性不高,从而造成了地下水资源的严重超采,由此产生了一系列的生态环境问题。

4 生态恢复的途径与措施

(1)调整农业结构,最大限度压缩种植面积 从图5可以看出,由于地下水质的严重恶化,湖区粮食作物种植面积减少明显,经济作物所占比例不断上升,粮、经、草比例从20世纪80年代后期的73:17:10降低到2000年以来的33:49:18,种植结构以市场风险较大的经济作物为主,这对于生态环境特别脆弱的湖区来说明显不合理。为了遏制生态环境的进一步恶化,增加农产品的市场风险抵御能力,湖区必须大力调整种植业结构;从长远考虑,进一步压缩粮食作物种植面积,大力减少经济作物比例,努力提高青饲料、绿肥等饲草种植比例,提高畜牧养殖业在农业经济中所占比重。粮食作物的种植以保证群众自身生活需要为宜,全面缩减商品粮的种植,使粮、经、草比例达到15:30:65,实现以畜牧业为主的农业生产格局。此外,湖区现有耕地面积达 $3.35\times10^4\text{hm}^2$,近年实际播种面积 $1.07\times10^4\sim1.27\times10^4\text{hm}^2$ ^[1],为了维持湖区绿洲的稳定,必须最大限度压缩耕地面积,以人均耕地面积 $0.1\sim0.133\text{hm}^2$ 计算,湖区维持耕地面积 $0.7\times10^4\sim1.0\times10^4\text{hm}^2$ 即可,实现封井退耕,因地制宜还林还草(补种红柳、梭梭等超旱生植物等),或还其自然面貌,这点与石玉林考察民勤绿洲得出的结论相一致^①。

(2)提高水资源利用率,减少地下水开采量 湖区境内跃进总干渠长36.50km,仍然有16.79km(46%)至今未能衬砌,年输水损失在 $0.1\times10^8\text{m}^3$ 以上,而长70.765km的湖区四大干渠只衬砌了24.23km(衬砌率仅有34.2%),干、支、斗、农渠衬砌仅占总长度的10%,使得河水利用率仅有42%;井渠衬砌只有48%,井水利用率为74%。可见,薄弱的基础设施使得大量的淡水资源因渠系渗漏而与湖区的浅层苦咸水混合,造成了有限的淡水资源的严重浪费。若湖区地表水按近年来的平均量 $0.6\times10^8\text{m}^3$ 计算,渠系水利用率提高到70%,则可节约水资源 $0.17\times10^8\text{m}^3$ 。因此,加大渠系衬砌力度,提高渠系水利用率,在民勤湖区具有较大的节水潜力。此外,发展管灌、小畦灌、膜上灌等科学合理的灌溉制度,也应该成为建立节水社会的主要内容,据王祺等在民勤

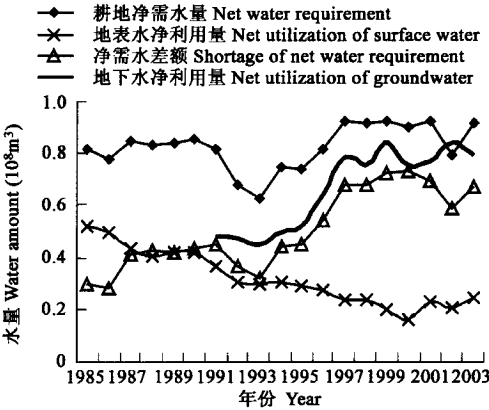


图3 民勤湖区耕地用水情况
Fig. 3 Agricultural water requirements in Minqin Huqu oasis

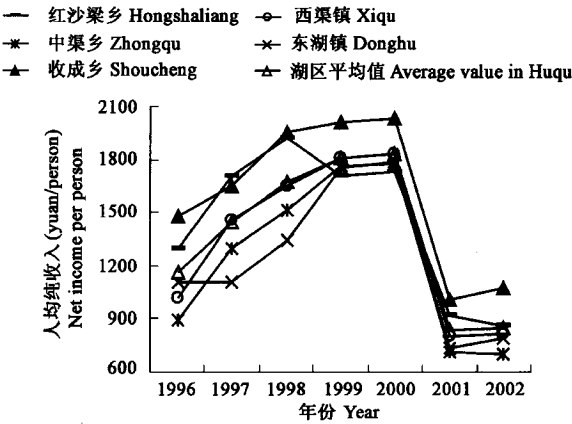


图4 民勤区近年农民人均纯收入统计
Fig. 4 Annual net income per person in Huqu

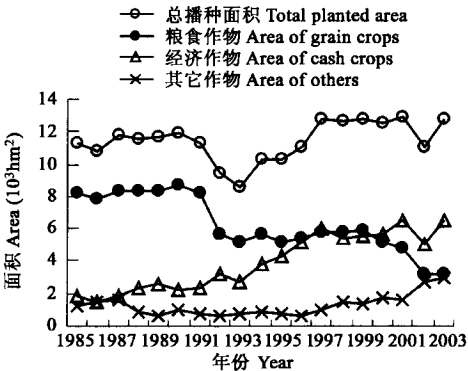


图5 湖区种植结构变化图
Fig. 5 Planting patterns in Huqu

① 对河西地区发展与生态保护的几点意见,土地科学集刊,2003, No. 5:347~350

对紫花苜蓿节水灌溉效益的研究表明,小畦灌溉的耗水系数仅为漫灌的 71.6%^[9]。而且,民勤绿洲灌溉定额普遍偏高,现状农作物平均毛用水定额为 670m³/666.7 m²,如果实现 666.7 m² 均毛用水定额降低 100m³,则仅湖区可节约用水 0.2×10⁸m³。

由于地表水严重不足,湖区地下水超采现象突出,湖区现有水井 2448 眼,平均每眼井的年取水量为 3.3×10⁴m³,近 5a 来的年均开采量高达 0.8×10⁸m³,使得地下水位下降加速,从 20 世纪 80 年代以前的<5m,发展到现在的 15m,甚至更深,年平均降幅达 0.5m 以上。地下水矿化度也迅速升高,平均达 6.0 g/L 以上,最高的地方高达 16.0 g/L 以上^[10];每年增加约 0.29g/L,使得湖区平均每年因灌溉滞留在土壤耕作层的盐分数量高达 3.3×10⁵t,耕地盐渍化趋势加剧。因此,为了防止湖区水质的进一步恶化,必须严格控制地下水开采量,减少井数,封井节水,或降低水井的年开采量。

(3)有序移民搬迁,降低人口压力 由于生态环境,特别是地下水质的日益恶化,湖区部分村社即使在 300m 以下也找不到淡水,人畜饮水难以解决,丧失了基本的生存条件,生态难民大量涌现,人口外流严重。据统计,湖区近 20a 来累计有 7959 户、31929 人为了生存,不得不背井离乡(表 4),其中 20622 人移民到省外,占移民总数的 65%,8901 人(28%)移民到省内的其它地区,约 7%(2406 人)在民勤县内搬迁。而移民数量在湖区各乡镇中以中渠乡和东湖镇最多,分别占移民总数的 38%和 45%。而由于人畜饮水困难,沙漠逼近,人均纯收入仅有 600~800 元,不具备基本生存条件而需要生态移民的群众仍然达 32385 人,占到 2003 年湖区人口总数的 41%。为了做好移民的有序搬迁工作,在政府联系和群众自愿相结合的基础上,采取了县外、县内搬迁和内部调整 3 种方式。特别是内部调整,通过建立移民收缩点,将湖区沿边沿沙、居住分散、无深井淡水资源的村社收缩集中,可在一定程度上缓解湖区群众的人畜饮水压力。湖区移民搬迁工作任重道远,还需做大量工作,才能保障移民的基本利益。

此外,为了减缓沙漠前沿绿洲阵地的不断丧失,防止村社整体弃耕,大片农田被风沙吞噬现象的不断发生,对移民搬迁后留下的耕地必须要做到统一规划,合理利用,还林还草,做好生态防护。

表 4 民勤湖区各乡镇 1985~2003 年移民搬迁情况(户、人)
Table 4 Population immigration in Minqin Huqu oasis since 1985~2003(house, person)

项目 Item	1985~1990		1991~2000		2001~2002		合计 Total		缺乏生存条件需移民的 Population migrated due to lacking of living condition		2003 年总人口 Total population in 2003	
	户数	人口	户数	人口	户数	人口	户数	人口	户数	人口	户数	人口
	House	Person	House	Person	House	Person	House	Person	House	Person	House	Person
红沙梁 Hongshaliang	186	713	86	320	70	223	342	1256	1852	6439	2785	11941
西渠镇 Xiqu	456	1867	212	795	104	312	772	2974	1006	3542	4338	18768
中渠乡 Zhongqu	1540	6460	898	4081	503	1671	2941	12212	1022	4495	2495	11607
东湖镇 Donghu	1827	7489	1510	6176	183	630	3520	14295	1779	8004	4013	18424
收成乡 Shoucheng	205	676	78	203	101	313	384	1192	2133	9905	3966	17802
合计 Total	4214	17205	2784	11575	961	3149	7959	31929	7792	32385	17597	78542

(4)适度开采利用苦咸水 由于地下水矿化度的不断上升,湖区一方面可利用淡水资源日益减少,另一方面 0.3×10⁸m³ 以上的苦咸水资源难以利用或利用效率不高,13340hm² 耕地被迫弃耕,使得人民生活极度困难。苦咸水资源的合理科学开发利用,对于缓解湖区水资源危急、增加人民收入具有非常重要的意义。在湖区发展棉花种植,不仅适合当地的干旱气候,又可以在有限水资源的条件下稳定、高效地发展农业生产,同时使高矿化度的地下水得到合理利用。据石培泽等的研究表明,棉花种植在 1 次河水泡地(1500 m³/hm²)的前提下,苗期灌溉“一淡三苦”或 2 次苦咸水(5g/L),不但棉花产量和品质都有所保证,而且土壤盐分可保持多年平衡状态^[11]。这一试验成果为适度利用苦咸水提供了很好的思路和途径,值得进一步深入研究和推广应用。

(5)流域分水与跨流域调水 石羊河流域尽管上游 8 条支流的年出山径流量 20 世纪 60 年代为 12.59×10⁸m³/a,到 90 年代仍为 12.12×10⁸m³/a,未发生显著减少;但下游红崖山水库的年库量从 60 年代的 4.086×10⁸m³/a,降到 80 年代的 2.29×10⁸m³/a,到 90 年代仅有 1.51×10⁸m³/a,40a 来降幅达 63.1%;可见,石羊河流域中下游绿洲的径流用水分配严重失调,2004 年 7 月红崖山水库首次干枯断流,更加唤起人们对民勤绿洲的关注与忧虑。为了保障下游绿洲生产和生态用水的基本需求,必须实现流域内部水资源的科学合理配置,做到统一管理,统筹调度。可在民勤蔡旗或香家湾设立测水控制断面,以固定比例分水,逐步恢复下游来水量至 20 世纪 80 年代初期占总径流量 18%的水平(约 2.5×10⁸m³/a)。

此外,景电二期工程、引疏济金工程等跨流域调水项目仍存在着不少问题,虽然从 2001 年开始景电二期工程每年可向民勤调水 0.61×10⁸m³(设计调水量),但已完成的工程末端尚在凉州区长城乡境内,距民勤红崖山水库 61km,此段天然河床蒸渗损失率高达 25.6%,按年调水量 0.61×10⁸m³ 计,年损失水量达 0.15×10⁸m³,而已建成的 99.04 km 的渠道输水损失仅为 2%。

(6)调整水价政策 外调水介入前,民勤县水利局对红崖山灌区供水价格进行的核算,单方斗口水成本价为 0.20 元/m³,但实际仅征收 0.09 元/m³。2001 年外调水介入后,民调工程渠首水价 0.21 元/m³,经实测民调工程渠首至红崖山水库灌区斗口利

用率为47%,到斗口的水价达0.447元/m³。这样,外调水只征收购水水费,与石羊河径流(0.09元/m³)混合后,经计算斗口混合水价为0.25元/m³。民勤县考虑到农民的实际承受能力,2001年执行混合水价0.21元/m³,调水0.61×10⁸m³的情况下,因水价差形成亏损水费270万元;2003年执行混合水价0.15元,因水价差形成亏损水费680万元,若重点考虑湖区灌溉,则亏损水费高达930万元。从而,由于水价过高,不仅影响了农户利用地表水的积极性,也使得当地政府不堪高额的水费补贴。而地下水灌溉由于缺乏量水设施,未开征水资源费,按地下水供水成本(电费以及单井平均年投入)计算,水费仅为0.11元/m³。地表水和地下水成本差异较大,因而使得地下水和地表水的利用失去平衡,地下水过量开采。

此外,民勤绿洲调水应该纳入到整个石羊河流域考虑,民勤调水主要用于湖区,而湖区随着生态环境的不断恶化,80%以上的群众已经处在贫困线以下,根本无力承担昂贵的水费,如果这样发展下去,湖区难保,民勤绿洲会紧随其后,而武威绿洲也会遭受巨大损失。因此,为了体现资源公平利用,实现石羊河流域中下游绿洲的稳定与可持续发展,外流域的调水费用应该根据石羊河流域各县市的地表水利用比例平均分摊,或以工补农等水价政策,降低下游用水成本,以实现整个石羊河流域的可持续发展。同时,民勤绿洲地下水开采应通过政府收购机井等手段由政府统一管理,建立地下水开采量化系统,提高收费标准,统一地表和地下水价,利用价格杠杆控制地下水超采现象,并采取有效措施补贴湖区生态用水。

5 小结

本文从类型和景观两个水平上研究了石羊河尾间绿洲——民勤湖区的景观格局及其动态演变,并利用转移矩阵对其土地利用格局的空间转化趋势进行了比较,结果表明:在类型水平上,湖区耕地和沙地这2种完全不同的景观类型都表现为面积上不断扩大,空间上呈连片发展趋势,聚集度增加;在整个景观水平上绿洲斑块形状简单化,景观多样性降低,以牺牲林、草地为代价的开荒现象与日趋加剧的绿洲荒漠化趋势同时并存。耕地的大量增加加剧了湖区水资源的紧张程度,由于地下水超采引起了水位下降和水质恶化,大面积耕地被迫弃耕;单一的农业经济结构使得对市场风险的抵御能力大大降低,使得农产品价格对耕地的弃耕和复垦与有着很大的影响。在分析景观变化及驱动因子的基础上,提出了民勤湖区生态恢复的对策与建议。

References:

[1] Du J Z. Investigating report about people's poverty in Huqu of Minqin. *Gansu Agriculture*, 2002, **10**: 20~23.

[2] Zou Y S, Wang Y H. Dynamic analysis of environment deterioration in lake area of Minqin by means of remote sensing and GIS. *Journal of Lanzhou University(Natural science)*, 1999, **35**(4): 109~116.

[3] Li S M, Chen G D, Li Y H, *et al.* *Rational utilization of water resource and protection of ecological environment in the Hexi Corridor*. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2002. 76~249.

[4] Wang Q, Shi J A, Chen G J, *et al.* Environmental effects induced by human activities in arid Shiyang River basin, Gansu Province, northwest China. *Environmental Geology*, 2002, **43**: 219~227.

[5] Shi Q, Chen F H, Zhu Y, David Madsenc. Lake evolution of the terminal area of Shiyang River drainage in arid China since the last glaciation. *Quaternary International*, 2002, **93/94**: 31~43.

[6] Tang Q C, Zhang J B. Water Resources and Eco-environment Protection in the Arid Regions in Northwest of China. *Progress in Georaphy*, 2001, **20**(3): 227~233.

[7] Xiao D N, Zhong L S. Ecological principles of landscape classification and assessment. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, **9**(2): 217~221.

[8] Song D M, Xiao D N, Zhang Z C. Landscape Changes and Driving Force of the Minqin Oasis in Gansu Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, **14**(4): 535~539.

[9] Wang Q, Wang J H, Xu Y S, *et al.* Analysis on water-saving irrigation and water effectiveness on *Medicago sativa* in arid desert oasis. *Journal of Desert Research*, 2004, **24**(3): 343~348.

[10] Song D M, Xiao D N, Zhang Z C, *et al.* Change of ecological security of Minqin oasis in Shiyang river basin. *Journal of Desert Research*, 2004, **24**(3): 335~342.

[11] Shi P Z. Studying on cotton irrigation by salt water in arid zone. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2004, **23** (1): 73~75.

参考文献:

[1] 杜景壮. 关于民勤湖区群众贫困问题的调查报告. *甘肃农业*, 2002, **10**: 20~23.

[2] 邹应双, 王义祥. 基于RS和GIS的民勤湖区环境恶化动态分析. *兰州大学学报(自然科学版)*, 1999, **35**(4): 109~116.

[3] 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. 郑州: 黄河水利出版社, 2002. 76~249.

[6] 汤奇成, 张捷斌. 西北干旱地区水资源与生态环境保护. *地理科学进展*, 2001, **20**(3): 227~233.

[7] 肖笃宁, 钟林生. 景观分类与评价的生态原则. *应用生态学报*, 1998, **9**(2): 217~221.

[8] 宋冬梅, 肖笃宁, 张志诚, 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*, 2003, **14**(4): 535~539.

[9] 王祺, 王继和, 徐延双, 等. 干旱荒漠绿洲紫花苜蓿的节水灌溉及水效益分析. *中国沙漠*, 2004, **24**(3): 343~348.

[10] 宋冬梅, 肖笃宁, 张志诚, 等. 石羊河下游民勤绿洲生态安全时空变化分析. *中国沙漠*, 2004, **24**(3): 335~342.

[11] 石培泽. 干旱区优质高效棉田苦咸水灌溉制度试验研究. *灌溉排水学报*, 2004, **23** (1): 73~75.