

# 基于节水灌溉技术的民勤绿洲土地利用空间布局和利用方式调整

谢臻<sup>1</sup> 张凤荣<sup>1\*</sup> 王瀚巍<sup>2</sup> 孙丹峰<sup>1</sup> 伦飞<sup>1</sup> 李超<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学 资源与环境学院/国土资源部农用地质量与监控重点实验室,北京 100193;

2. 复旦大学 历史地理研究中心,上海 200433)

**摘要** 为改善导致民勤绿洲下游地区土地次生盐化严重、土地退化和生态失衡的不合理土地利用模式,通过历史文献法研究了民勤绿洲农业开发与土地利用空间格局演变史,用遥感方法获取了2008年绿洲土地利用/覆被数据,结合对地貌、地下水和土壤的分布规律的分析,研究表明:1)绿洲农业开垦起源于水源充足、土壤持水性好的中下游区域,并逐渐向外围及上游发展;2)绿洲种植结构不合理,农业用水空间配置不合理,下游灌溉且主要用矿化度高的地下水灌溉导致严重次生盐渍化;3)传统农业模式下绿洲下游已出现生产-生活-生态环境恶化,且农民生计无法保证。为此,本研究提出通过“流”的方式重构土地利用空间布局,即农村居民点向上游迁移,使用膜下滴灌技术发展特色林果,在提高农业经济效益的同时,节约农业用水并利用上游回水为下游地区腾退的农业用地恢复耐盐植被,从而改善绿洲生态系统。

**关键词** 土地利用调整;绿洲;荒漠化;膜下滴灌;特色林果业;民勤县

中图分类号 F321.1

文章编号 1007-4333(2017)10-0065-10

文献标志码 A

## Adjustment of land use spatial structure and use pattern based on modern agriculture in Minqin oasis

XIE Zhen<sup>1</sup>, ZHANG Fengrong<sup>1\*</sup>, WANG Hanwei<sup>2</sup>, SUN Danfeng<sup>1</sup>, LUN Fei<sup>1</sup>, LI Chao<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences/Key Laboratory for Agricultural Land Quality, Monitoring and Control, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Center for Historical Geography Study, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract** In order to solve serious secondary salinization, land degradation and ecological imbalance and optimize unreasonable land use, the progress of agricultural exploitation and land use evolution in Minqin is summarized. Integrated with local geomorphology, groundwater, soil, and the land use data obtained by remote sensing technology, the spatial heterogeneity of land use pattern and distribution of irrigated agriculture are investigated. The results show that: 1) Agricultural reclamation is originated from middle and lower regions, where water is abundant with high water-holding capacity of soils, then, expanding outward and toward upper reach gradually; 2) The inappropriate plantation structure, spatial allocation in agricultural and irrigation water with hypersalinity cause the secondary salinization in downstream area; 3) Under the background of traditional agriculture, the deterioration of production-life-ecology environment has appeared in downstream region, moreover, the livelihood of peasants cannot be guaranteed. Reconfigure the spatial allocation of land use by the transfer of “Flow” is suggested in this review. A new land use structure should be constructed in which residents gather in the upper region to develop characteristic forestry and fruit industry using drip irrigation technique under membrane. The improvement of agricultural economic benefit and saving of agricultural water make it possible to recover eco-environment and grow haloduric vegetation in agricultural land of downstream region.

**Keywords** adjustment of land use; oasis; desertification; drip irrigation technique under membrane; characteristic forestry and fruit industry; Minqin County

收稿日期: 2016-12-06

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项(201411009)

第一作者: 谢臻, 博士研究生, E-mail: 369683450@qq.com

通讯作者: 张凤荣, 教授, 博士生导师, 主要从事土地评价与利用管理等研究, E-mail: frzhang@cau.edu.cn

绿洲出现于沙漠中水源丰富之处,夏季高山积雪消融,雪水夹杂泥沙在山前汇集成河流,因纵比降骤减而形成冲积扇,许多冲积扇连接而成洪积-冲积倾斜平原。由于绿洲土壤质地适中、灌溉条件便利,往往成为干旱地区农牧业发达之地。

绿洲自古以来在人类文明中就扮演着重要的角色,然而特殊的自然地理环境与人类不合理的垦殖开荒、地下水开采逐渐影响着绿洲生态系统<sup>[1]</sup>。水资源是绿洲可持续发展的关键,而研究表明,近几十年来气候变化、人口数量增加、城镇化加速及农业发展都是导致绿洲水资源减少的直接原因<sup>[2-5]</sup>。脆弱的旱地系统加之水资源危机使绿洲生态发生质变,迫使人们重新思考绿洲的利用方式。德、英、法等国在非洲干旱区研究后认为发展林果业是防止旱区干旱及土地退化、保障粮食安全、增加经济收入、改善生态环境的根本途径<sup>[6]</sup>。Haim<sup>[7]</sup>认为没有科学灌溉技术就不会有今天的沙漠绿洲,没有适应沙漠生存环境的新品种的培育更不会出现高效益的沙漠农业。以色列是现代沙漠农业成功的代表,国土面积45%为沙漠的以色列凭借现代农业技术通过精准滴灌、水资源再利用、科技育种以及合理的土地利用方式,成功从耕地和淡水资源极缺的困境中完成了现代沙漠农业的转型<sup>[7-8]</sup>。

我国绿洲主要分布于贺兰山-乌鞘岭山脉与西部边界间的沙漠与戈壁之中,仅占全区面积的4%~5%,却聚集了超过区域90%的人口与超过95%的

社会财富<sup>[9]</sup>。科学的土地利用布局、利用及产业结构调整,再配合现代水利、农业技术及相关节水政策是绿洲治理的主要手段<sup>[10-12]</sup>,然而目前的治理手段与方式仍需进一步改进。以位于河西走廊的民勤绿洲2007年石羊河综合治理为例,至今已将近10年,但笔者在调研过程中发现绿洲人地系统矛盾仍然突出,上游地区耕地产量低、灌溉用水浪费,下游地区水质差、土地盐渍化等问题依然严重。

因此,本研究针对传统农业下绿洲开发、土地利用空间格局与农业利用方式进行了研究,并探索生态建设背景下,基于节水灌溉技术的绿洲土地可持续利用方式,旨在为目前沙漠绿洲普遍存在的土地退化、生态破坏及农民生计保障等问题提供解决思路。

## 1 研究区概况

民勤县地理坐标为 $38^{\circ}05' \sim 39^{\circ}06' \text{N}$ ,  $103^{\circ}02' \sim 104^{\circ}02' \text{E}$ ,位于祁连山东北方向,属于石羊河流域下游,是一个半封闭的内陆绿洲-荒漠区。绿洲部分主要分布在昌宁、环河、坝区、泉山、湖区等五个自然区,且环河、昌宁定为上游地区,坝区定为中游地区,泉山、湖区定为下游地区(图1)。民勤县属于蒙新区温带大陆性干旱气候区,年日照时数约3 073.5 h,  $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 年积温约2 845.7 $^{\circ}\text{C}$ ,光热资源丰富,气温日较差大;全年蒸发量是降水量的20倍之多;春季受西伯利亚高压影响,大风沙尘暴频繁。

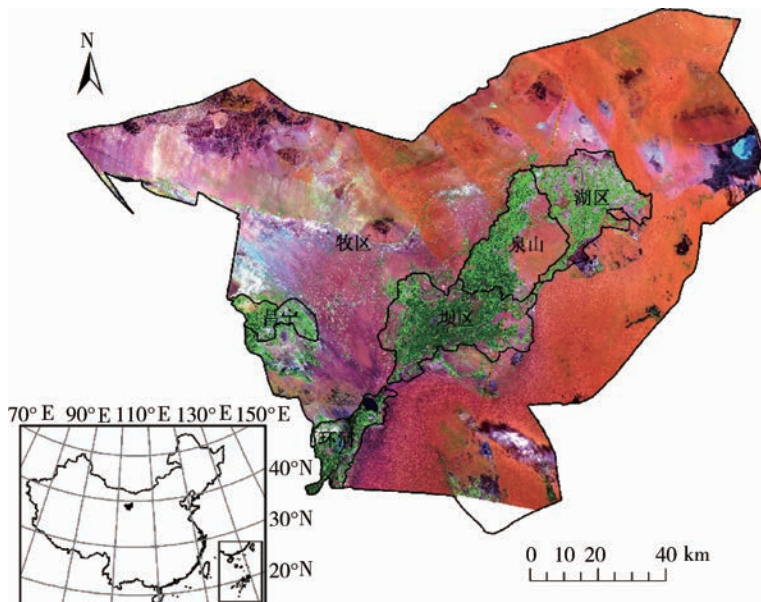


图1 研究区域(2008年8月份ETM-741波段假彩色合成影像)

Fig. 1 Study area(Composite bands ETM-741 in August, 2008)

民勤县水资源主要来源于石羊河。一部分地表水流致红崖山水库储存后流往下游；近年来受到上游用水影响，使下游地表水断流。另一部分水在上游下渗后形成地下水，地下水水位呈自西南向东北递减的态势，随着地下水过度开采，地下水位不断的下降，由 20 世纪 50 年代的 1~5 m 降至 12.8~28 m，最深 40 m。地下水的矿化度在空间分布上从南到北逐渐增大。民勤县境内土壤主要由耕作土壤和自然土壤组成。耕作土壤分布于绿洲腹地，质地以轻壤、中壤为主，保肥保水性能较好，绿洲高产田主要分布于此。自然土壤以风沙土为主，分布于流动沙丘、半固定沙地和平沙地分布比较集中的绿洲农区边缘及外围，养分含量低，保肥保水性能差，同时，土壤没有结构性容易发生风蚀。地形较低的泉山及湖区等下游地区分布有盐化土壤。

## 2 数据来源与处理

### 2.1 数据来源

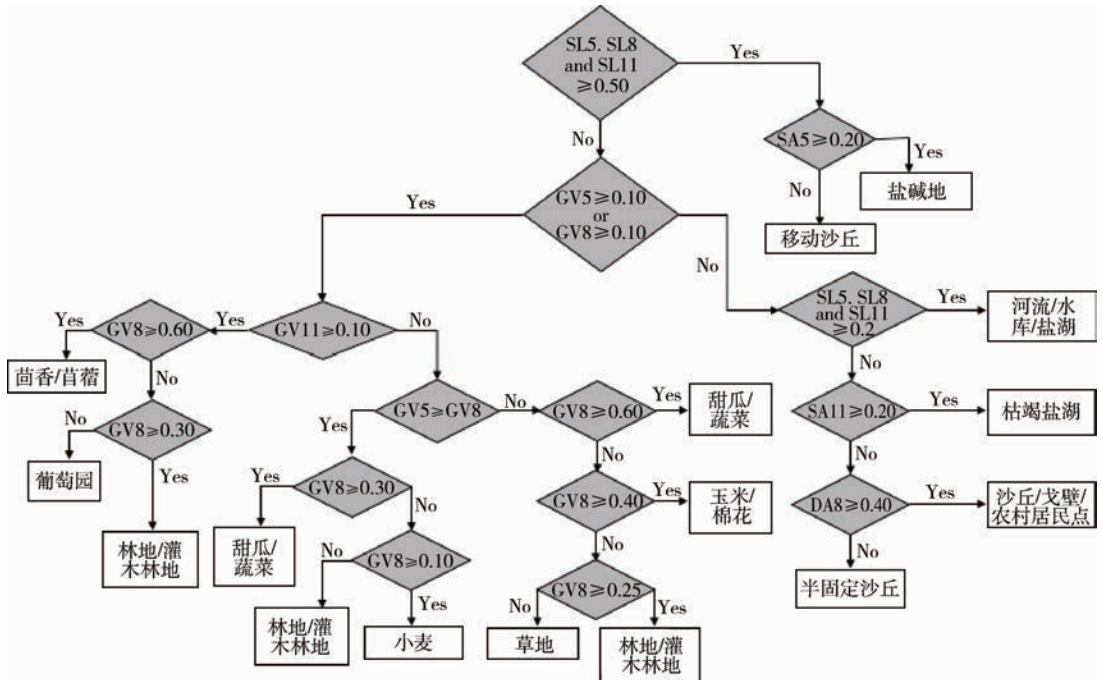
本研究所用历史时期民勤绿洲土地利用/土地覆盖图来源于《民勤绿洲的开发与演变》<sup>[13]</sup>；研究区

自然、社会、经济数据来源于《民勤县志》<sup>[14]</sup>、《民勤县统计年鉴》(2008 年)<sup>①</sup>及民勤县水务局相关数据。

遥感数据来源：采用 2008 年 5、8、11 月(代表春、夏、初冬)3 个季相，且每个季相由两景(131/33 和 132/33 景)覆盖的共计 6 景 Landsat TM 影像数据，空间分辨率为 30 m×30 m，数据均来源于美国地质勘探局(United States Geological Survey, 简称 USGS)官方网站。

### 2.2 数据处理

利用 ENVI4.8 软件完成辐射定标、大气校正等预处理工作后，对各季相进行主成分空间分析，获取端元光谱，采用全约束线性光谱混合模型分解各个季相的遥感影像，并利用得到的端元丰度值的多季相估计结果，依据先验知识和训练样本建立决策树分类模型(图 2)进行土地覆被/利用分类，生成 2008 年民勤县土地利用图形数据库和属性数据库。土地利用/覆被分类体系如表 1 所示，分类方法的总体精度与 Kappa 系数分别达到 91.88% 与 0.86，符合研究精度要求。具体解译及检验方法详见孙丹峰等<sup>[10]</sup>对民勤 2008 年土地覆被分类的研究，在此不作赘述。



SL, SA, GV, DA, WA 分别代表沙、盐、植被、暗色物质的端元丰度值。5、8、11 代表春、夏、初冬季相。

SL, SA, GV and DA represent sand, salt, green vegetation and dark material endmember abundance, respectively 5, 8, and 11 indicate spring, summer and early winter, respectively.

图 2 决策树分类模型

Fig. 2 Decision tree classification model

① 《民勤县统计年鉴 2008》。

表1 民勤绿洲土地利用分类体系

Table 1 Land use classification system in Minqin oasis

一级地类 First class	二级地类 Secondary class	一级地类 First class	二级地类 Secondary class
农用地	小麦	沙地	半固定沙丘
	玉米/棉花		山丘/戈壁/农村居民点
	甜瓜/蔬菜		移动沙丘
	葡萄园		盐碱地
	茴香/苜蓿		
林地/灌木林地		水域	河流/水库/盐湖
草地			干涸盐湖

### 3 传统农业下的绿洲开发历史、土地利用空间格局及困境

#### 3.1 绿洲开发历史

表2为民勤地区农业开垦史。在人类生产力有限的自然农业时代,农业发展主要依赖于自然资源解决温饱问题,灌溉也只能使用传统的地面灌溉方

式,因此,在冲洪积平原中下游持水、保水性好的壤土绿洲区域,沿河地表水水源充足且没有盐碱的区域成为当时主要的农垦区。随着人口的增加,农垦区规模以原来自然河流的为中心,向外围湖积平原上延展,同时也向上游冲洪积扇上部发展。但绿洲整体规模已严重萎缩,大量的水体和沼泽耕地化甚至发生荒漠化(图3)。

表2 民勤绿洲农耕开垦史

Table 2 The history of agriculture in Minqin oasis

历史时期 Historical period	历史背景 Historical background	农耕开垦情况 Development of agricultural reclamation
公元前 725±100年	原始社会时期出现了“沙井文化”,此后该地一度为匈奴所控 <sup>[15-16]</sup> 。	以原始的畜牧业为主、种植业为辅。
汉代	该区成为中西交通要冲和抵抗游牧民族的前线,推行“屯田实边”政策。	绿洲由原始牧业区变为农业区,农垦单位仅为聚落且集中在中下游地区河流周边的小片灌溉绿洲,整体分布较分散(图3(a))。
自魏晋 迄元代	该区成为中原王朝和少数民族政权反复争夺的地区。	游牧和农耕民族的更相控制使该区不断在牧业区和农业区之间转换。垦区分布在中下游地区水源地附近,农垦规模和数量都有所增加(图3(b))。
明代	社会趋于稳定,明政府于该区设立镇番卫,驻军徙民,推行“寓兵于农”政策。	农业开发才回归稳定,垦区集中致中游水源地附近,且通过人工引渠灌溉,垦区规模向外扩张,此时,天然绿洲已出现萎缩(如图3(c))。
清代	早期推行“宽垦招租”政策与中原人口的增长推动人口西迁,民勤开发达到空前繁荣;清末民国时期时局再陷动荡,该区自然和人文环境均遭到严重破坏。	农业开发向下游湖区延伸,时垦时荒,垦殖绿洲总面积扩大,天然绿洲范围进一步减少,下游地区湖泊退化成沼泽湿地(图3(d))。
1959— 1973年	掀起农田基本建设的高潮;推行“以粮为纲”政策。	修建水库、开挖机电井等方式改善农业耕作条件,不断开荒垦殖,垦区向上游延伸,且大量用水、抽水、蓄水为其日后发展留下隐患。

注:部分内容参考《民勤绿洲的开发与演变》<sup>[13]</sup>及《镇番县志》<sup>[18]</sup>。

Note: Part of the content refers to 《The development and evolution of Minqin oasis》<sup>[13]</sup> and 《Town's county annals》<sup>[18]</sup>.

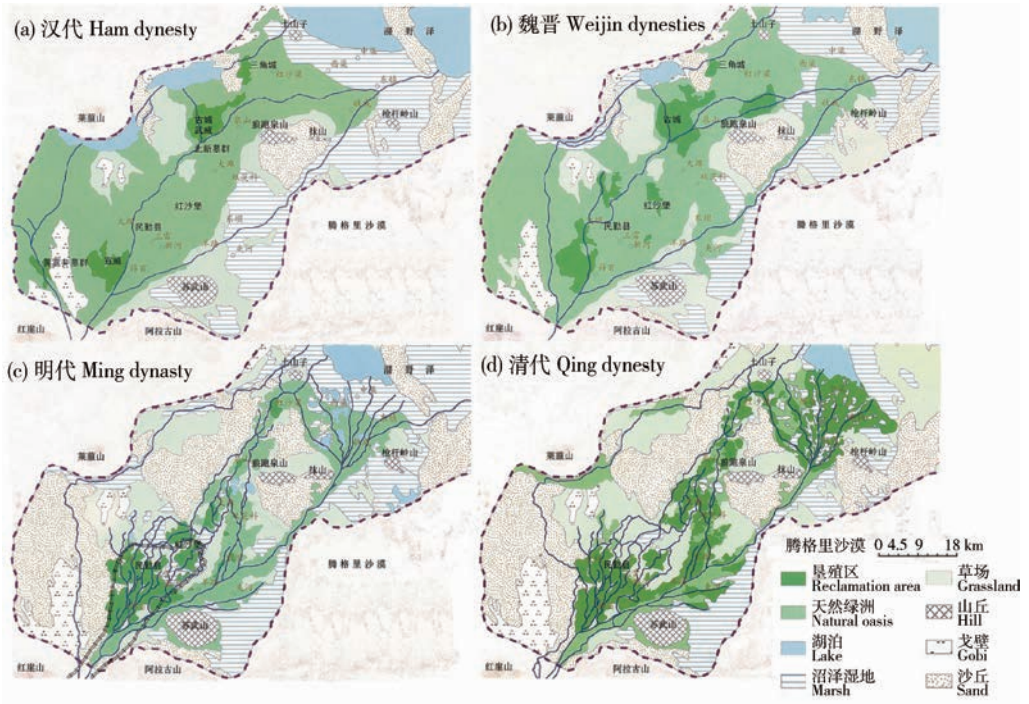


图 3 民勤盆地各朝代土地利用/土地覆盖图<sup>[13]</sup>

Fig. 3 Land-Use and Land-Cover for the Chinese dynasties in Minqin oasis

### 3.2 土地利用方式与土地利用空间格局

本研究使用 2008 年遥感解译数据 (图 4) 以反

映石羊河流域治理初期民勤绿洲土地利用结构及农业种植结构。

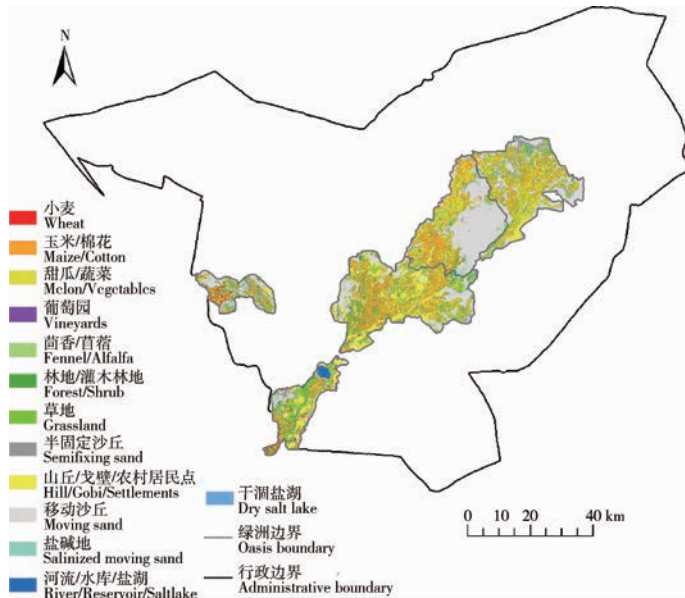


图 4 2008 年民勤绿洲土地利用类型分布

Fig. 4 Distribution of land use types for 2008 in Minqin oasis

由表 3 可知,民勤绿洲区农用地、林草地、沙地及水域分别占到总面积的 36.20%、20.37%、42.84% 和 0.58%,总体来看,农业垦区面积大,超

过研究区面积 1/3;自然植被稀疏,仅为研究区 1/5;不具备生产、生态价值的沙地占研究区面积近一半之多;被称作“生命之源”的水域更是寥若晨星。在

农用地中,粮食作物占比约 56.64%。众所周知,粮食作物耗水量高、经济效益低,人口承载力也低。2008 年农业用水量 48 234 万 m<sup>3</sup> 占用水总量比重最大,达 83.74%,而 1991—2008 年民勤县粮食、经

济、其他作物耗水分别占 72%、21.6%和 6.4%<sup>[17]</sup>,可见大面积的粮食作物种植成为该地区水资源“漏斗”。因此,改变该地区种植结构与农业用水方式是解决生产、生态争水矛盾的必由之路。

表 3 二级地类各土地利用类型面积及占比

Table 3 Area and proportion of all land use types for secondary class land

土地利用类型 Land use types	面积/hm <sup>2</sup> Area	占绿洲比例/% Proportion for oasis	土地利用类型 Land use types	面积/hm <sup>2</sup> Area	占绿洲比例/% Proportion for oasis
小麦	2 466.73	0.92	半固定沙丘	14 793.10	5.51
玉米/棉花	52 397.47	19.50	山丘/戈壁/农村居民点	26 836.20	9.99
甜瓜/蔬菜	37 232.00	13.86	移动沙丘	69 244.92	25.77
葡萄园	2 233.68	0.83	盐碱地	4 242.70	1.58
茴香/苜蓿	2 944.30	1.10	河流/水库/盐湖	1 443.94	0.54
林地/灌木林地	25 989.71	9.67	干涸盐湖	116.49	0.04
草地	28 743.89	10.70			

民勤绿洲的灌溉方式主要是井灌和渠灌。中上游流域附近的地区(不包含:昌宁区)由于地表水相对充足,灌溉以渠灌为主,井灌为辅;昌宁区等远离地表径流的地区,灌溉只能依靠井灌;下游地区因上游地表来水的减少,灌溉主要依靠井灌。灌溉水利用系数为 0.40~0.60,田间斗农渠衬砌率不足 50%,灌溉定额偏高,为 5 774.97 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup><sup>①</sup>,灌溉水利用率低下。

民勤县农业生产主要集中在绿洲地区,由表 4 可知农用地空间分布,其中,上游环河及中游坝区农用地分别占 6.99%与 33.39%,2008 年农业灌溉用水 48 234 万 m<sup>3</sup><sup>②</sup>,按农用地比重计算,两区的农业用水量就达 19 477 万 m<sup>3</sup>,就已超过当年石羊河流入民勤的地表水总量 14 990 万 m<sup>3</sup>。由于上游农业发展,中下游灌溉仅靠地表水是不够的,必然开采地下水。而研究表明,民勤绿洲苦咸水(>1 g/L)面积共 781.59 km<sup>2</sup>,其中微咸水(1~3 g/L)面积占 27.6%,分布在泉山和湖区南部部分地区,咸水(3~10 g/L)和盐水区(10~50 g/L)面积分别占 55%和 17.4%,集中分布在湖区内<sup>[18]</sup>,因此,下游地区农业大量灌溉且用矿化度高的地下水灌溉,是导致下游土壤次生盐化的主要原因。而根据遥感数据,

2008 年下游湖区盐碱地面积已达 1 572.74 hm<sup>2</sup>。土壤盐碱化的加重发展必然是荒漠化。因此,下游地区就不适宜再承载如此巨大的人口,应以生态退耕为主。

### 3.3 面临的土地退化、生态恶化的形势

民勤绿洲的土地退化与历史政权更迭、移民开发等人类活动息息相关。第一,农业本身与自然争水争地,上游用水自然会对下游的生态造成影响。以图 3(a)中黄蒿井一带为例,从出土发现来看该地原为自然绿洲,但由于汉代宣威县一带垦殖区的开发用水导致河水减少甚至改道最终沦为荒漠<sup>[16]</sup>。第二,绿洲地处干旱区,自然禀赋限制了其单位土地的人口承载力,而明嘉靖年间至道光五年(1825 年),该区的人口数增长了 50 余倍<sup>[16]</sup>,土地呈长期超载状态,人口大量增长必然开垦面积增加;而干旱又导致农田抛荒,抛荒耕地又遭到沙化、被迫重新开垦土地的“移丘换段”的情况,并不断向水体和湿地扩展,陷入了“开荒-干旱-抛荒沙化-再开荒”的恶性循环,生态失衡。第三,滥樵滥采;采集芨草等荒漠植被作为薪材、牧草,灾荒之时甚至“贫民率皆采田野产之沙米、桦豆以糊口”<sup>[18]</sup>,这些活动使得土体裸露,又因风蚀造成土地荒漠化。

① 《石羊河流域重点治理规划》。

② 《民勤县统计年鉴 2008》。

表 4 不同自然区各类一级土地利用类型面积及占比

Table 4 Area and proportion of all land use types for first class in different natural regions

流域 Drainage basin	自然区 Natural region	土地利用类型 Land use types	占各类用地		自然区 Natural region	土地利用类型 Land use types	占各类用地	
			面积/ha <sup>2</sup> Area	比例/% Proportion for each land use type			面积/hm <sup>2</sup> Area	比例/% Proportion for each land use type
上游	环河	农用地	6 802.17	6.99	昌宁	农用地	2 509.10	6.44
		林地/灌木林地	3 667.24	14.11		林地/灌木林地	1 459.16	9.65
		草地	6 156.05	21.42		草地	9 418.67	5.08
		沙地	1 1840.73	10.29		沙地	1.23	8.18
		水域	1 537.02	98.50		水域	19 649.26	0.08
		合计	3 0003.20	11.17		合计	2 509.10	7.31
下游	泉山	农用地	24 866.64	25.56	湖区	农用地	26 868.96	27.62
		林地/灌木林地	3 634.70	13.99		林地/灌木林地	4 316.79	16.61
		草地	3 335.52	11.60		草地	9 120.66	31.73
		沙地	35 701.25	31.01		沙地	24 701.13	21.46
		水域	0.00	0.00		水域	9.83	0.63
		合计	67 538.10	25.14		合计	65 017.37	24.20
中游	坝区	农用地	32 475.31	33.39		农用地		
		林地/灌木林地	11 861.88	45.64		林地/灌木林地		
		草地	8 672.49	30.17		草地		
		沙地	33 455.15	29.06		沙地		
		水域	12.36	0.79		水域		
		合计	86 477.18	32.19		合计		

除人类活动外,绿洲土地退化也受其自然因素的影响。由于干旱区植被蒸腾量大,植物蒸腾留下盐分,下游绿洲本来就存在盐渍化趋势,加之传统农业大量使用地下水灌溉,农业排水与土壤淋洗作用不畅,耕地次生盐渍化是必然的。由于民勤绿洲地处两大沙漠之间,绿洲土地的退化破坏了固沙植被,给流沙随风移动创造了条件,沙漠不断蚕蚀绿洲。

### 3.4 生态移民生计困境

出于对下游生态环境和农民生产、生活条件两者的考虑,适当转移下游农民致中上游地区成为解决问题的良方。然而,干旱区以水定田,在水资源受限的条件下,上游地区耕地后备资源匮乏,且未利用地土质差多以砂砾为主,在上游地区继续传统农业

种植方式土地人口承载力有限,这成为解决移民生计的瓶颈。

加之民勤长期处于经济发展欠发达地区,解放初期区域经济水平就相对低下,经济基础弱、底子薄,改革开放后市场经济意识和力度相对滞后。经济发展速度缓慢,产业结构不合理或产业十分弱小,以农业经济为主体,工业经济发展缓慢。因此,依靠工业接纳移民的能力也极其有限。

## 4 基于节水灌溉技术的土地利用调整

民勤绿洲的土地利用问题实际上是生态与农业争水的问题。因此,应综合考虑生态、生产、生活用水的基础上,进行土地利用空间布局与利用方式调整。

#### 4.1 土地利用空间布局调整

现代资源管理学研究以“流”的方式调动资源配置,进而改变土地利用空间结构。如图5所示,通过生态移民,以“人流”调动的方式,将居住在下游泉山、湖区一带生态退化严重的农民搬迁至中上游,凭借“人流”带动生产生活所需各类“物质流”流动,减轻下游农业、生活与生态争水争地的矛盾,给下游地区生态恢复提供必要的环境。按照2008年统计年鉴数据,民勤绿洲下游农业人口65 710人,年人均生活用水 $237.86\text{ m}^3$ ,根据遥感数据,下游农用地共 $51\,735.6\text{ hm}^2$ ,农用地 $0.79\text{ hm}^2/\text{人}$ ,农业用水

$7\,340.44\text{ m}^3/\text{人}$ 。因此,下游移民搬迁可调动“水流”,平均能减少开采地下水约 $7\,578.3\text{ m}^3/\text{人}$ ,腾退农用地 $0.79\text{ hm}^2$ 。上游通过实施一系列节水、储水、引水措施,将节省的“水流”引致下游用于生态恢复。最终形成上游汇集农村居民点、发展节水高效益农业,下游恢复自然生态环境的总体格局。

绿洲下游深入沙漠腹地荒漠化压力大,且地下水矿化度高,并不适宜人类生产生活,应生态退耕,因地制宜恢复盐生植被,上游灌溉退水流向下游供植被恢复,提高植被固沙作用,遏制沙漠化。

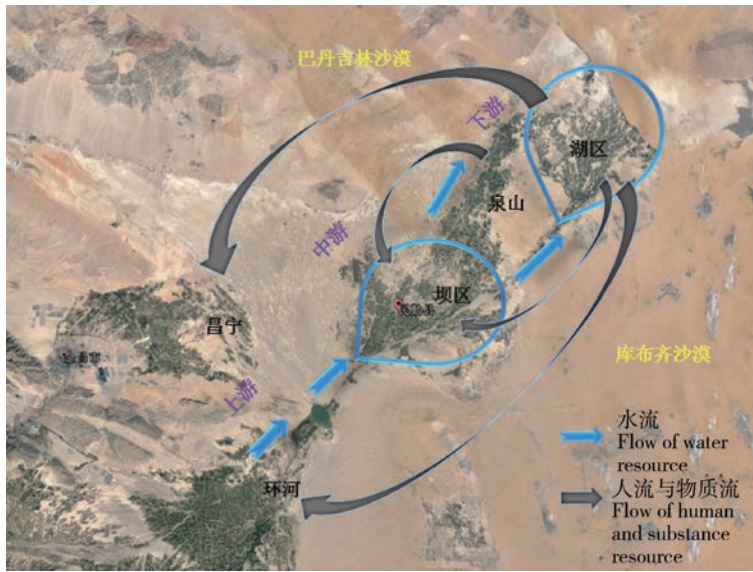


图5 民勤绿洲“流”的调动

Fig. 5 The transfer of “Flow” in Minqin oasis

#### 4.2 土地利用方式调整

民勤县传统农业耗水量大,水资源供需矛盾突出,如何高效利用水资源、解决生产生活与生态争水问题是关键。应加大节水型经济作物种植比例,引用现代沙漠农业节水技术,减少农业用水总量,把挤占的生态用水退出来。此外,下游人口搬迁至中上游地区,必然加剧其人多地少的矛盾,提高水土资源承载力成为生态移民必须要解决的问题,因此上游发展技术—劳动密集型农业成为必然选择。

旱区具有日夜温差大、沙土透气性好等自然条件,是发展林果业的最适地区。我国干旱区目前发展的经济林果业主要包括枸杞、杏、红枣、葡萄、西红柿、核桃、沙棘等<sup>[6,19-21]</sup>。以色列地区尤为出名的由沙漠微咸水灌溉出的圣女果,由于可溶性总物质含量提高,果实甜美,也具有极高的经济效益<sup>[22]</sup>。林

果业是劳动密集型产业,同时还具有很强的经济效益,不但能够解决移民后上游农业剩余劳动力的问题,同时能够提高农民农业收入。

绿洲中上游地区土壤以砂质土为主,保水保肥性差,可通过客土的方法改良土壤也可发展特色林果业。干旱地区水资源是限制农业发展的“短板”,应发展膜下滴灌节水。膜下滴灌的优点可归纳为: 1) 提高作物水分利用率。膜下滴灌湿润部分作物根系土壤,避免输水损失和深层的渗漏,减少蒸发损失<sup>[23]</sup>,提高水的利用率。膜下滴灌的平均用水量仅是传统灌溉用水量的 $1/8$ ,是喷灌用水量的 $1/2$ ,是露地滴灌用水量的 $7/10$ <sup>[24]</sup>。2) 为作物生长发育提供良好的环境。地面覆膜能提高土壤温度、保持土壤墒情,给作物生长发育提供良好的外部条件。3) 减少化肥及农药使用。化肥、农药溶解到水中通



过管道隐蔽施药,避免了因日光照射而变质、挥发,不仅提高了利用率,也避免了人、畜及益虫受到误伤。

根据膜下滴灌节水率可估算出节省农业灌溉用水量,估算公式如下:

$$Q = (W_u + v \cdot \beta) \cdot w \quad (1)$$

式中:Q为节省农业用水量,  $m^3$ ;  $W_u$ 为中上游农业用水量,  $m^3$ ;  $v$ 为移民人数,人;  $\beta$ 为下游农业用水量,  $m^3$ /人;  $w$ 为膜下滴灌的节水率, %。

2008年中上游农用地占农用地总面积46.82%,农业用水量约22 583.16万  $m^3$ ;下游农业用水量7 340.44  $m^3$ /人,农业灌溉使用漫灌。相比于传统漫灌,膜下滴灌的平均节水率为7/10<sup>[24]</sup>,因此,下游移民  $v$  人致上游发展膜下滴灌可为下游生态恢复腾退农业用水5 138.31  $v$  + 15 808  $\times$  10<sup>4</sup> ( $m^3$ ),此举必将推动下游生态恢复。

值得注意的是,有研究表明,干旱区绿洲长期使用滴管会导致地表积盐,管理不当会引起土壤盐渍化<sup>[25]</sup>。因此为使根层土壤在长期滴灌条件下不引起积盐,一方面应控制灌溉水水质,避免长期采用高含盐量水灌溉;另一方面,通过调节灌溉周期和灌水量,使灌溉水除满足作物蒸散消耗外,保证不时有大灌水量来进行盐分淋洗。

## 5 结论与讨论

沙漠绿洲农业发展最早起源于中下游土质好,且沿河地表水充足的区域,而中下游地区地下水水位高,地下水因蒸发作用沿土壤毛细管孔隙上升至地表,其中的液态水分子汽化,水中的各种盐类残留于土壤表面及土体,久而久之,土壤即因水溶性盐类日益增多而盐化成为盐土,这种完全由自然因素引起的土壤盐化过程称原生盐化过程,因此,绿洲中下游盐化是自然趋势。由于干旱区降雨量少,没有灌溉就没有农业的发展,再加上早期生产方式落后,大水漫灌,进一步抬高地下水位次生盐渍化也是必然趋势,形成的盐土称次生盐土,耕作土壤盐化多属此类。

进入商品经济时代,随着人口增加,开垦扩大,人类的生产资料与生产方式逐渐改善,中上游地表水的拦截对下游农业用水和生态用水造成限制,加剧了绿洲下游土地退化,退化引致退耕,退耕引致进一步的荒漠化。民勤绿洲地处两大沙漠之间,绿洲土地退化破坏了固沙植被,给流沙随风移动创造了

条件,沙漠不断蚕蚀绿洲。

绿洲下游本是水盐汇集的地方,改良盐渍土只能挖沟采用大水灌溉等方式将盐分淋洗下去,对淡水资源的消耗太大,并不适合。因此,进行生态工程建设,只能改变土地利用空间布局的方式,将农业发展及农村居民点迁往中上游地区,通过现代灌溉技术节省农业用水并发展劳动密集型农业,下游用水一是利用上游结余下来的水,而是利用上游灌溉退水;下游改生活、生产用地为生态用地,通过恢复耐盐植被恢复当地生态环境。

恢复下游生态同时又要满足上游移民生计需要,传统土地利用方式与农业种植制度已不再适合。如何保证土地利用空间布局调整后农民的生计已然成为最棘手的问题,现代灌溉技术与种植品种为农业土地利用提供了更多的选择。根据干旱区的自然地理环境及社会发展需求,上游农用地种植节水高效益的经济作物必然取代耗水低效益的粮食作物,酿酒葡萄、红枣、枸杞、圣女果等都是适应砂砾土质、节水耐盐且经济效益高的特色林果。上游地区土质砂砾含量高,土壤保水性差,传统的地面漫灌不适宜上游砂砾质土壤,但现代微咸水膜下滴管技术能够解决,不仅能发挥沙漠绿洲地下咸水资源丰富的优势节约地表淡水资源、提高农产品品质;还能达到节水、保墒,提高水资源利用率的目的。

需要指出的是,为保证特色林果生产供应稳定、价格合理,建议引进生产、加工与销售一体化公司,提供农业技术咨询、促进农业科技推广,产品统一收购、加工、批发及运输,降低农民前期投资成本,保证林果产品销路稳定,吸纳农村剩余劳动力,实现绿洲社会经济的稳定发展。

## 参考文献 References

- [1] Avni Y, Porat N, Plakht J, Avni G. Geomorphic changes leading to natural desertification versus anthropogenic land conservation in an arid environment, the Negev Highlands, Israel[J]. *Geomorphology*, 2006, 82(3): 177-200
- [2] 陈亚宁,李稚,范煜婷,王怀军,方功焕. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. *地理学报*, 2014, 69(9): 1295-1304  
Chen Y N, Li Z, Fang Y T, Wang H J, Fang G H. Research progress on the impact of climate change on water resources in the arid region of Northwest China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(9): 1295-1304 (in Chinese)
- [3] 闫霞. 绿洲人口变化与生态可持续发展研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010

- Yan X. Study on oasis population change and ecology sustainable development [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2010 (in Chinese)
- [4] Kato H, Kimura R, Elbeih S F, Iwasaki E, Zaghoul E A. Land use change and crop rotation analysis of a government well district in Rashda village-Dakhla Oasis, Egypt based on satellite data [J]. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2012, 15(2): 185-195
- [5] Gebresamuel G, Singh B R, Dick Ø. Land-use changes and their impacts on soil degradation and surface runoff of two catchments of Northern Ethiopia [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 2010, 60(3): 211-226
- [6] 谢扬. 甘肃旱区林果业的主要特点及其发展途径分析[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2008  
Xie Y. The main characters of fruit tree in dryland area in Gansu and the analyses of its development way [D]. Xi'an: Northwest A&F University, 2008 (in Chinese)
- [7] 新农堂. 以色列农业: 让沙漠开满鲜花[EB/OL]. (2015-03-04) <http://mt.sohu.com/20150304/n409338663.shtml>  
Xin N T. Israeli agriculture: make the desert and laden with flowers [EB/OL]. (2015-03-04) <http://mt.sohu.com/20150304/n409338663.shtml> (in Chinese)
- [8] Ashkenazi E, Chen Y, Avni Y, Lavee S. Fruit trees' survival ability in an arid desert environment without irrigation in the Negev Highlands of Southern Israel [J]. *Israel Journal of Plant Sciences*, 2015, 62(1-2): 5-16
- [9] 韩德林. 新疆人工绿洲[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001  
Han D L. *Artificial Oases of Xinjiang* [M]. Beijing: Environmental science press of China, 2001 (in Chinese)
- [10] Sun, D F, Liu N. Coupling spectral unmixing and multiseasonal remote sensing for temperate dryland land-use/land-cover mapping in Minqin County, China [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 36(14): 3636-3658
- [11] 王水献, 杨鹏年, 董新光, 周金龙. 内陆河流域绿洲灌区盐碱地改良分区及治理模式探究: 以新疆焉耆县平原灌区为例[J]. 节水灌溉, 2008(3): 5-8  
Wang S X, Yang P N, Dong X G, Zhou J L. Study on control mode and amelioration regionalization for salt-affected land in oasis irrigation district of inland river basin [J]. *Water Saving Irrigation*, 2008(3): 5-8 (in Chinese)
- [12] 张凤荣. 半干旱区土地利用变化及其驱动力与土地可持续利用[J]. 资源科学, 2011, 33(11): 2041-2046  
Zhang F R. Land use change and its driving forces and land sustainable utilization in semi-arid areas [J]. *Resources Science*, 2011, 33(11): 2041-2046 (in Chinese)
- [13] 颀耀文, 陈发虎. 民勤绿洲的开发与演变[M]. 北京: 科学出版社, 2008  
Jie Y W, Chen F H. *The Development And Evolution of Minqin Oasis* [M]. Beijing: Science Press, 2008 (in Chinese)
- [14] 民勤县地方志编纂委员会. 民勤县志[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2015  
Local Chronicles Compilation Committee of Minqin County. *County Annals of Minqin County* [M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2015 (in Chinese)
- [15] 李并成. 残存在民勤县西沙窝中的古代遗址[J]. 中国沙漠, 1990, 10(2): 35-42  
Li B C. Investigation on the ancient ruins in the western sandy land of Minqin County [J]. *Journal of Desert Research*, 1990, 10(2): 35-42 (in Chinese)
- [16] 李并成. 河西走廊历史地理[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1995  
Li B C. *The Historical Geography of Hexi Corridor* [M]. Lanzhou: Gansu people's Publishing House, 1995 (in Chinese)
- [17] 王旭虎, 徐先英, 柴成武, 张圆圆. 民勤绿洲苦咸水空间分布及成因分析[J]. 干旱区研究, 2014, 31(002): 193-200  
Wang X H, Xu X Y, Chai C W, Zhang Y Y. Spatial distribution of brackish groundwater and its formation causes in the Minqin oasis in lower reaches of the shiyang river [J]. *Arid Zone Research*, 2014, 31(002): 193-200 (in Chinese)
- [18] 许协修. 镇番县志[M]. 台北: 成文出版社, 1970  
Xu X X. *Town's County Annals* [M]. Taipei: Cheng Wen Publishing House, 1970 (in Chinese)
- [19] Abdel G A, Arslan A, Gaihbe A, Kadouri F. The effects of saline irrigation water management and salt tolerant tomatovarieties on sustainable production of tomato in Syria (1999-2002) [J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 78(1): 39-53
- [20] 唐秀楠, 杨树青, 苏瑞东, 刘瑞敏, 常春龙. 内蒙古河套灌区枸杞微咸水利用模式模拟及环境预测[J]. 节水灌溉, 2015(5): 52-56  
Tang X N, Yang S Q, Su R D, Liu R M, Chang C L. Light-saline water use pattern simulation for lycium chinese and environmental prediction in hetao irrigation district Inner Mongolia [J]. *Water Saving Irrigation*, 2015(5): 52-56 (in Chinese)
- [21] 李昭楠. 戈壁葡萄滴灌节水机理及灌溉制度模式研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012  
Li Z N. Study on drip irrigation water-saving mechanism and irrigation system pattern of gobi grape [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [22] 东达蒙古王集团. 沙漠田园牧歌[EB/OL]. (2016-02-16) <http://www.wtoutiao.com/p/1e1qQkY.html>  
The east of Mongolia king group. The idyllic pastoral of desert [EB/OL]. (2016-02-16) <http://www.wtoutiao.com/p/1e1qQkY.html> (in Chinese)
- [23] Meshkat M, Warner R C, Workman S R. Evaporation reduction potential in an undisturbed soil irrigated with surface drip and sand tube irrigation [J]. *Transactions of the ASAE*, 2000, 43(1): 79
- [24] Shih S F. Drip irrigation and subirrigation of sugarcane [J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1988, 114(1): 143-155
- [25] 罗毅. 干旱区绿洲滴灌对土壤盐碱化的长期影响[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(8): 1679-1688  
Luo Y. The long term impacts of drip irrigation on soil salinity in agricultural land of oasis in arid region of northwest China [J]. *Scientia Sinca Terrae*, 2014, 44(8): 1679-1688 (in Chinese)