

# Evolution on Hydrologic Wetland and Desertification in Minqin Basin

Duoqing Man<sup>1,2</sup>, Yunian Zhang<sup>1\*</sup>, Fugui Han<sup>1,3</sup>, Qingzhong Zheng<sup>1</sup>, Bin Xiao<sup>1</sup>, Guiquan Fu<sup>1,2</sup>, Fang Chen<sup>1</sup>, Juan Du<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou Gansu

<sup>2</sup>Gansu Desert Plant Engineering Research Center, Lanzhou Gansu

<sup>3</sup>Minqin National Station for Desert Steppe Ecosystem Studies, Lanzhou Gansu

Email: \*zynzl123@126.com

Received: Sep. 24<sup>th</sup>, 2020; accepted: Oct. 6<sup>th</sup>, 2020; published: Oct. 13<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Through reference, relics and sample research, and showed that hydrologic wetland evolution processing could be divided into 3 periods of natural, semi-natural and man-made historically in Minqin basin in accordance with drought climate development. It was developed from large area of lakes, rivers and water bodies in the Basin to desert environment, with water reduced; vegetation evolution was from aquatic, swamp, wetland plants to xerophyte and super xerophyte species. Up to now, desertification has been almost developed to the total area; it was the result of long-term drought climate change and Man activities. In recent years, with the overall planning of water resources in the water-shed territory, water-supplying capacity is increasing obviously to Minqin basin, the ground water-table is rising and eco-water is supplying in some areas, some wetlands have been formed in the desert land. Specifically, vegetation coverage is increasing in wetland and positive eco-development; however, with the distance increases to wetlands, ground water-table declines, plant coverage reduces proceeded, land desertification is also seriously and reverses eco-development.

## Keywords

Hydrologic Wetland, Desertification, Evolution, Minqin Basin

# 民勤盆地水文湿地与沙漠化演化

满多清<sup>1,2</sup>, 张裕年<sup>1\*</sup>, 韩富贵<sup>1,3</sup>, 郑庆中<sup>1</sup>, 肖斌<sup>1</sup>, 付贵全<sup>1,2</sup>, 陈芳<sup>1</sup>, 杜娟<sup>1</sup>

<sup>1</sup>甘肃省治沙研究所, 甘肃 兰州

<sup>2</sup>甘肃省沙生植物工程技术研究中心, 甘肃 兰州

<sup>3</sup>甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 甘肃 兰州

作者简介: 满多清(1966-), 男, 汉族, 甘肃凉州人, 博士, 研究员, 主要从事荒漠化防治研究。

\*通讯作者。

## 摘要

民勤盆地水文与湿地演化对当地生态与沙漠化具有重要作用。通过文献、遗迹及荒漠湿地样方调查和分析得出:历史上,民勤盆地水文与湿地演化分为自然水系、半自然水系和人工水系演化过程,从大面积尾间湖泊、河流、沼泽、湿地到干涸与沙漠化发展,并随水文演化,植被也经历了从水生、沼泽、湿地逐步向中生、沙旱生、强旱生、超旱生植物演化,沙漠化扩展至全境,是长期气候干旱化和人类活动的结果。近年来,随着全流域水资源统筹,民勤盆地来水量增加,在局部地下水位上升与人工补给下,荒漠区形成了一些微域性湿地,表现在湿地地区植被覆盖度大,生态正向发展,随着离湿地距离增加,地下水位下降,植被盖度渐低,土地沙漠化仍很严重,生态逆向发展。

## 关键词

水文湿地, 沙漠化, 演化, 民勤盆地

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

甘肃河西地区深居内陆,南部祁连山高山、亚高山的冰雪冻土带与植被带降水量大于蒸发量,是内陆河流域径流源区,平原盆地绿洲带和荒漠带蒸发量远大于降水量,是径流利用区,各级径流从山区到平原汇集成河流、尾间湖和湿地,调节气候和生态,也是我国重要的绿洲农业生产基地。然而,随着历史上气候干旱加强、人口增加与水资源不合理利用,一些河流、湖泊和湿地的消失,形成了河西内陆河流域水资源短缺、生态环境恶化与沙漠化不断发展的局面[1]。石羊河流域是河西三大内陆河流域中人口最多,产流量最小的内陆河,从历史上水丰草美的草原,绿洲农业大发展,到基本生态用水散失,植被衰退,沙漠化蔓延的过程,已演变成为我国沙漠化最为严重的典型区域[2][3]。近年来,通过流域统筹用水,生态用水补给,局部湿地恢复,湿地及周边生态有所改善,而外围土地沙漠化仍在发展的情况[4]。本文通过石羊河流域中下游民勤盆地水文与湿地历史演化和当代进展研究,以便对流域发展有所借鉴。

## 2. 研究区自然概况与研究方法

**自然概况:**民勤县地处河西走廊东段石羊河流域中下游,地理位置在 N38°3'45"~39°27'37", E101°49'41"之间,东西长 206 km,南北宽 156 km,面积  $1.58 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,平均海拔 1400 米,由沙漠、低山丘陵和荒漠平原三种基本地貌组成,绿洲面积 10%,其余为荒漠;属温带大陆型干旱荒漠气候,东西北三面被腾格里、巴丹吉林沙漠与河西走廊流沙包围,年均降水量为 115.8 mm,年均蒸发量 2623 mm,年均气温 8.3℃,日照时数为 3073.5 h,无霜期 162 天,年均风速 2.4 m/s,最大风速 25 m/s;土壤为风沙土、灰棕漠土、棕漠土、绿洲灌淤土为主;自然植被稀疏,以沙旱生、超旱生荒漠植物为主,分布有白刺、柽柳、沙拐枣、梭梭、沙蒿、绵刺、胡杨、沙

米、盐生草、碱蓬、盐爪爪等典型天然荒漠植被。

**研究方法:**通过文献、遗迹调查及居民访问等掌握水系与湿地演化情况;对民勤县境内现有河流、河漫滩,河岸湿地及湖泊、沼泽等湿地进行实地调查与绿洲边缘沙漠化遥感分析,并设置样方(1×1 m 或 5×5 m)进行湿地植物种类、株数、植被覆盖度、生长状况、土地类型调查、地上(下)水位监测,进行历史上民勤盆地水文、湿地及其植被演化分析。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 地表水、湿地演化与沙漠化

民勤盆地水文与湿地演化可划分为自然水系、半自然水系和人工水系三个大的历史演化过程,也由于各时期气候和人地关系不同,演化各具特点。

**自然水系时期:**指西汉前的时期(即远古至公元前 121 年)。民勤盆地自白垩纪至第三纪已形成终端湖泊,当时的莱蕨山、苏武山及狼刨泉山为湖中半岛或岛屿[5]。终端湖(名猪野泽)东西 120 km,由古石羊河和古金川河形成,加上各级支流,湖泊、涌泉,大约有 4000~7200 km<sup>2</sup> 水域,盆地平原区多为水域、湿地、绿洲与湖滨沙地地理生态景观[5] [6]。地层沉积花粉孢子研究证实,在全新世早期有细叶苔(*Carex ctenophylla*)、三水稜(*Scirpus mavitimus*)、香蒲(*Typha orientalis*)等水生、湿生植物[7]。当时湖泊远较历史时期大,水草丰美,人口稀少,游牧为生,无耕作,为人与自然原始状态。

**半自然水系时期:**指西汉至新中国成立的时期。仍以自然水系为主,但通过河流拦截、筑坝引水、垦荒灌溉、开渠引泉等措施,加大了对自然水系的改造利用。

由于古石羊河干流冲击扇不断向北扩展,至汉代之后的数百年间,猪野泽渐分为西海(休屠泽)和东海(狭义的猪野泽)两个湖泊。西海入流减少,冲击湖积为现在的民勤湖区,东海水源及湖面远大于西海。湖间平原扩展为灌溉绿洲农业区[5] [6]。总的湖泊和湿地面积渐缩小,绿洲上移,湖滨出现沙漠化并向绿洲蔓延,中生、沙生、沙旱生、盐生植被发展。

从隋代以后,东、西海分散成众多小湖。东海水量大,狄迥湖、白亭海为大;西海发展成金川河下游终端湖的独立水系,至明、清时为昌宁湖。湖泊周边区域为沼泽、湿地草原[7],湿地植被繁茂。

本期由于绿洲南移东扩,湖泊缩小,河流分支多,大部分变为季节或间歇河,支流的尾间湖变为季节性湖泊,湖面缩小分散。多数支流因绿洲发展,变成农业灌溉渠道,尤其是明、清时,人口增加,用水矛盾上升,沙漠化加速。植被继续从水生、沼泽、草甸为主向中生、沙生、盐生、沙旱生系列演替[8] [9]。

从 19 世纪中期以后,青土湖为民勤盆地最大湖泊,于 1957 年完全干涸,并变成湖滩湿地和绿洲。石羊河主流中、上游有常流水,下游入人工渠,除洪水外,多干涸,河道沙化,盆地大部分沙漠化。

总体上,历史以来,随着气候旱化不断发展,石羊河来水逐渐减少,民勤盆地从大部分水域、沼泽、湿地,分化成众多湖泊、河流,至自然河流、湖泊消失的自然因素,也有人类不断发展绿洲农业,过度用水,沙漠化发展的过程,生境变化导致水生、湿生植被消失,中生、沙旱生、盐生植物逐渐发展为优势种群[10](图 1)。

**人工水系时期:**解放后,石羊河流域先后在河流出山口和平原建成水库 20 座,总库容  $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,兴利库容  $3.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,并建成水泥干渠 109 条,各级渠长  $1.3 \times 10^4 \text{ km}$ ,调蓄供水能力  $10.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,满足上、中游绿洲发展[11] [12]。汇集到石羊河入民勤盆地的水流入 1958 年建成的红崖山水库,水库至湖区建设了网络化的水泥渠道,大大减少了渗漏,提高了用水效率,以满足大面积农业用水,水库以北再无自然流水。据统计:1950 年代石羊河来水量年均 5.42 亿  $\text{m}^3$ ,1990 年代下降至 1 亿  $\text{m}^3$  以下,2003 年仅为 0.7 亿  $\text{m}^3$ ,年均递减 0.1 亿  $\text{m}^3$ 。2001 年“民调工程”竣工后从黄河调水 0.2~0.4 亿  $\text{m}^3$ ,使红崖山水库水量稳定在 1.0~1.2 亿  $\text{m}^3$  左右,地表水资源亏缺量大,已不能满足工农业生产的需求,靠大量提取地下水补充用水不足[13],下游生态用水迅速减

少, 沼泽、湿地越来越少, 基本消失, 沙漠化已向全境各区域蔓延, 90 年代也是民勤盆地绿洲及绿洲边缘沙漠化程度加重最快的时期(表 1), 导致 2 万  $\text{hm}^2$  农田因沙化而退弃耕, 并随着沙漠化加强, 植被也向耐旱性强的种类演化。



Figure 1. Desertification situation in Qingtu Lake

图 1. 青土湖沙漠化情况(1999 年摄)

Table 1. Desertification area changes of Oasis & fringe in Minqin from 1991 to 2001 ( $\text{hm}^2$ )

表 1. 1991~2001 年民勤绿洲及其边缘区沙漠化面积变化( $\text{hm}^2$ )

沙漠化等级	1991 年	1994 年	1998 年	2001 年	年面积变化
重、极重度沙漠化( $\text{hm}^2$ )	13,940.1	17,831.34	12,783.33	18,922.41	4982.31
轻、中度沙漠化( $\text{hm}^2$ )	15,301.53	13,209.12	14,404.41	11,181.96	-4119.57
沙漠化面积( $\text{hm}^2$ )	29,241.63	31,040.46	27,187.74	30,104.37	862.74

### 3.2. 地下水、湿地演化与沙漠化

武威、民勤盆地内为单一巨厚松散砾石堆积物构成地下蓄水体。祁连山区的水源形成后, 进入南部武威盆地, 遇砾质平原而大量渗漏, 成为地下水的补给区, 在平原低处地下水呈泉溢出, 形成泉集河—石羊河而进入北部的民勤盆地, 再次转入地下形成民勤盆地地下水的补给, 地上地下水互相转化, 调节着盆地的水资源格局和生态平衡[14]。武威城古时称姑藏, 依水而建, 为紧靠泉水溢出带南界, 1950 年代流域泉水溢出量仍达 8 亿  $\text{m}^3$  [15], 部分以地表、地下水形式流入民勤盆地, 低洼处沼泽、湿地多分布, 80 年代以后再无泉水溢出。

随着 1960 年代以后人工衬砌水泥防渗渠道发展, 地表水利用率达到 70%以上, 地下水补给减少, 并从 70 年代流域中、下游绿洲开始打井提取地下水灌溉, 盆地地下水位快速下降[16] [17] [18], 至 1995 年, 武威盆地地下水位下降了 1~4 m, 年均下降 0.25 m, 泉水区地下水位 4~10 m。民勤盆地地下水位, 50~60 年代为 1~3 m, 70 年代 8~10 m, 80~90 年代 15~20 m, 最深达 25~30 m。到 90 年代民勤盆地共累计打井 10,166 眼, 配套 0.9 万眼, 每年地下水开采量 3 至 6.59 亿  $\text{m}^3$ , 且逐年增加, 并在坝区、泉山区、湖区绿洲形成多个地下

深水位漏斗区(表 2), 且逐年扩大, 沼泽、湿地消失殆尽[11] [13]; 昌宁盆地地下水位也已达 20~25 m [11], 湿地消失。

**Table 2.** Changes of ground water table at Oasis fringe of Baqu in Minqin from 1961 to 2019  
**表 2.** 1961~2019 年民勤坝区地下水位变化

年份	地下水位深(m)	年均下降(m)	年份	地下水位深(m)	年均下降(m)
1961	2.24		2000	17.23	0.65
1962	2.36	0.12	2001	17.96	0.73
1963	2.49	0.13	2004	19.96	0.79
1964	2.60	0.11	2005	20.14	0.18
1966	2.83	0.12	2007	21.31	0.58
1967	2.93	0.10	2008	21.88	0.57
1978	5.20		2009	22.34	0.46
1979	5.53	0.33	2010	22.55	0.21
1980	5.65	0.12	2011	22.67	0.12
1986	8.22		2012	22.70	0.03
1987	8.23	0.11	2013	22.97	0.27
1988	9.05	0.82	2014	23.07	0.10
1990	10.11	0.57	2015	23.16	0.09
1992	11.65	0.78	2016	23.18	0.02
1995	13.69	0.70	2017	23.08	-0.10
1997	15.12	0.67	2018	23.19	0.11
1998	15.73	0.60	2019	23.10	-0.09

地表水消失导致水生植物灭绝, 并随着地下水位下降, 沼生、湿地、中生植被消失; 地表干旱, 风沙活动加强, 向重度沙漠化发展, 植被向沙旱生、强旱生、超旱生演化, 植物种类、盖度显著降低。多方面研究得出: 民勤荒漠区地下水位降到 3 m 以下, 草本植物衰退, 6~7 m 以下荒漠乔、灌木衰退, 7~11 m 以下多数荒漠植被基本难以利用地下水, 只有个别深根系的强旱生、超旱生荒漠灌木植物利用, 植被从主要靠地下水生存渐变为雨养生态; 在干旱荒漠区雨养生态中, 年均降水量 150 mm 以上, 封育封禁下荒漠植被可缓慢恢复, 低于 150 mm, 植被恢复十分缓慢, 恢复难。民勤盆地上游年均降水量 115.8 mm、下游 80 mm, 上世纪 70~90 年代, 随着地表、地下生态用水减少, 导致民勤生态衰退加剧, 大量物种绝灭, 植被覆盖度显著下降[19] [20] [21] [22] [23], 沙漠化重度发展, 演变成我国内陆河流域沙漠化最为严重的典型地区之一。

### 3.3. 近年来水文、湿地变化与沙漠化

#### 3.3.1. 水文、湿地变化与沙漠化

2002 年以来, 随着石羊河流域综合治理工程实施, 在流域水资源统筹政策引导下, 全流域实行了平衡配水、关井压田、退耕还林(草)、节水灌溉、生态立县等措施。通过在石羊河流域统筹用水, 增加流域本身重点河流分水、黄河引水到民勤的措施, 统筹到民勤的年地表水从原来的 1 亿  $m^3$  左右, 逐年增加到目前的 4.01 亿  $m^3$ (图 2); 同时, 民勤盆地关闭农田机井 3018 眼, 严格限水, 压减农业面积 2.95 万  $hm^2$ , 节水改造农田 3.98 万  $hm^2$ , 严控高耗水作物种植。全市年地下水开采量削减到 4.9 亿  $m^3$ , 民勤盆地控制到 1.05 亿  $m^3$ , 计划降到 0.86 亿  $m^3$ ,



地下水位下降减缓, 并出现了局部区域地下水位上升。通过十几年来河流来水量增加、人工补给及局部地下水位上升, 民勤盆地原有和现在形成 4 个较大的湿地, 分别为石羊河 - 水库湿地(民勤国家湿地公园), 面积约 6173  $\text{hm}^2$ , 南湖湿地、1000  $\text{hm}^2$ , 黄案滩湿地、4000  $\text{hm}^2$ , 青土湖人工湿地、10,600  $\text{hm}^2$ (表 3), 并在盆地低地的白土井、盐碱滩、野马泉等处形成一些微域性小面积湿地, 形成以荒漠湿地为中心的生态屏障, 湿地及周边局部区域沙漠化被遏制, 植被恢复。

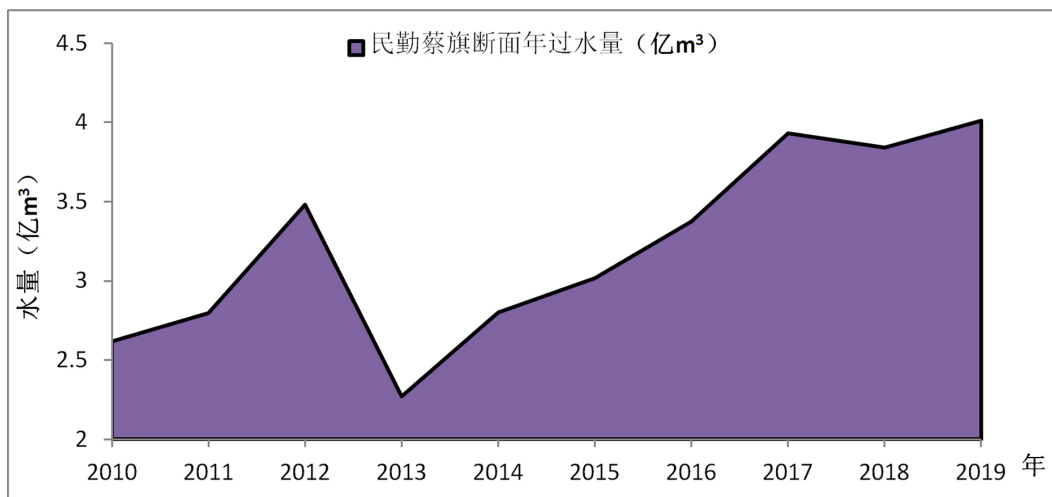


Figure 2. Annual water capacity in Caiqi section

图 2. 民勤蔡旗断面年过水量(亿 m<sup>3</sup>)

Table 3. The changes of man-made water-supply capacity, water area and ground water table in Qintu lake

表 3. 近年来青土湖人工注水量、水域面积及地下水位变化

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2019
注水量(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	-	-	-	1290	2160	3000	2000	3300	2833	3358	3830	3100
水域面积(km <sup>2</sup> )	-	-	-	3	10	15	15	22	22.36	25.16	26.6	26.7
地下水位(m)	4.02	3.91	3.88	3.78	3.60	3.48	3.32	3.20	3.14	3.02	2.94	2.91

### 3.3.2. 湿地 - 荒漠植被变化与沙漠化

**水库沼泽湿地植被:** 经样方调查, 红崖山水库库区边缘常年、季节性水域和沼泽地主要有蘆草群落, 香蒲群落, 沼柳群落, 芦苇群落等典型水生、沼生植被, 植被覆盖度 60%~95%; 边缘外围为干旱区草本为主, 伴生旱生、盐生灌木植被, 植被盖度 60%~80%。

**河流河漫滩湿地植被:** 近 20 年来, 随着引、调水工程实施, 进入洪水河、石羊河主河道的水量增加, 河道和河漫滩明显扩大, 一些河漫滩宽度达 1 km 以上, 河漫滩湿地有香蒲, 赖草、芦苇等各种草本植物 20 余种, 植被盖度 85%以上, 期间分布着柽柳 + 草甸植被, 线叶柳 + 草甸植被, 以及杨树、胡杨 + 草甸植被; 河岸外围为荒漠草本、灌木植被。

**荒漠湿地植被:** 近年来, 荒漠区形成的青土湖湿地、黄案滩湿地等, 植被和地貌景观发生了显著变化(表 4)。湿地中季节性浅水区 and 地表常年湿润区, 以芦苇群落, 盐爪爪群落, 柽柳群落为主; 随着湿地面积增加, 原沙地中的优势种白刺、沙蒿等退化, 芦苇迅速发展, 芦苇密集区其它植物种少, 盐碱湿地以盐爪爪居多; 随着离湿地中心距离的增加, 芦苇、盐爪爪等密度减低, 沙旱生草本、灌木植被多样化增加, 植被盖度 30%~90%。地下水位在 1~3 m 区域湿地内, 植被从湿生、中生、向沙旱生过渡, 并从草本为主向沙旱生灌、草植被过渡, 白

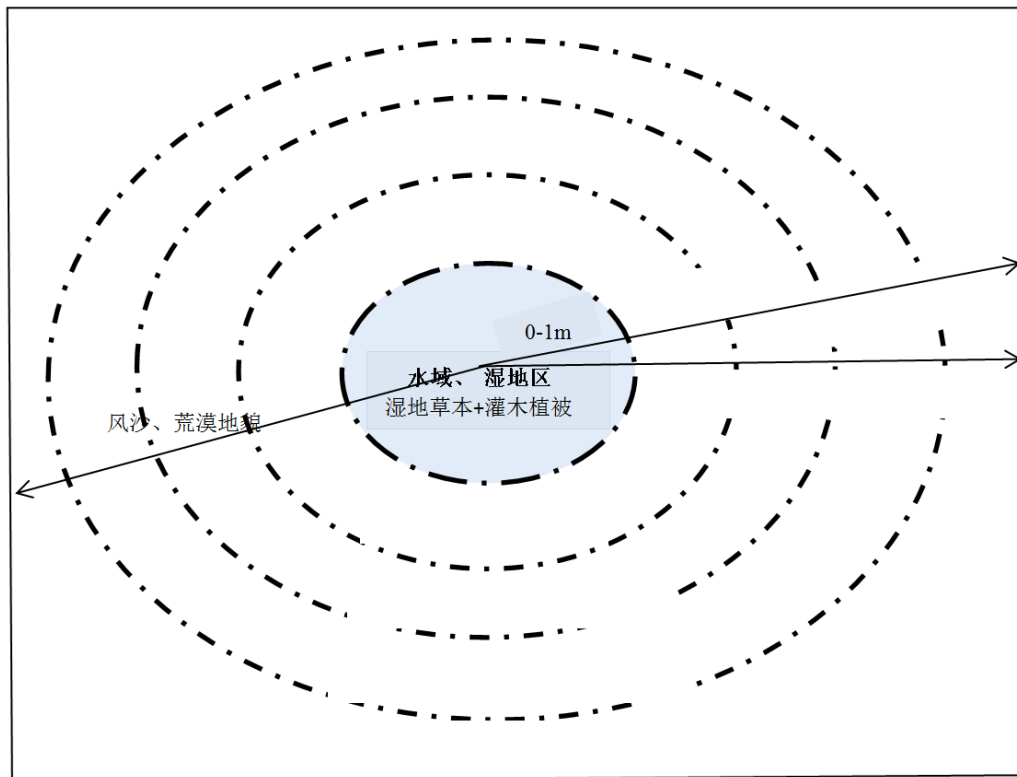
**Table 4.** Vegetation change before and after water area  
**表 4.** 青土湖注水前和水面形成后植被变化

项目	建群种	伴生种	植被类型	地貌类型	植被盖度(%)
注水前	唐古特白刺	沙米、驼蹄瓣、盐生草、针茅、芦苇、虫实、猪毛菜、砂蓝刺头、五星蒿、骆驼蒿、沙蒿、黑果枸杞、红砂、盐爪爪、猫头刺	荒漠植被	风沙地貌 (固定、半固定白刺沙包均匀分布)	10~20
注水后 (间断性水域区)	芦苇	鹅绒藤、蒙古芽葱、盐生草、刺沙蓬、罗布麻、赖草、西伯利亚蓼、蓼子朴、驼蹄瓣、虫实、唐古特白刺、盐爪爪、黑果枸杞、柽柳	草甸植被	平缓沼泽、 草甸地貌	60~90

刺、柽柳、沙蒿、黑果枸杞及多年生草本、一年生沙生植物旺盛生长，植被盖度 25%~65%，良好的遏制了沙漠化。

**盐渍化湿地植被：**盐碱滩湿地主要分布在青土湖、黄案滩、南湖等地，植被以盐爪爪群落，黑果枸杞群落、芦苇群落为主，的耐盐碱植物，植被盖度 25%~70%。

随着离荒漠湿地中心距离的增加，地下水位逐渐下降，形成了从湿地到干旱荒漠植被的变化，植被盖度下降到 5%~25%，沙漠化仍重度发展(图 3)。



**Figure 3.** Vegetation change pattern from wetland to desert in Minqin basin  
**图 3.** 民勤盆地湿地到荒漠的自然植被变化模式

#### 4. 讨论与结论

民勤盆地水文与湿地演化分为自然、半自然和人工水系的演化过程，从占据多数水域、沼泽、湿地的盆地，变为现在 90%的沙漠、戈壁和荒漠化土地与仅 10%左右的绿洲，由于各时期气候和人地关系不同，演化历史各具特点[24]-[29]。

民勤盆地从历史上大面积水域、湿地向沙漠化土地不断发展的过程, 植被也从水生、沼泽、湿地草甸植被逐步向中生、沙生、沙旱生、强、超旱生植被演变的过程。总体上, 湿地区植被覆盖度大, 生态正向发展, 沙漠化被遏制, 也随着离湿地距离增加, 地下水位下降, 植被盖度渐低, 土地沙漠化发展, 生态逆向发展。具体表现为, 在水域、沼泽区多为茂密的芦苇、香蒲优势植被群落, 植被盖度大; 地表常年湿润区湿地随土壤盐分变化为芦苇群落、盐爪爪群落、怪柳 + 草本群落、草本 + 灌木群落等; 在地表干燥、地下水位 1~3 m 区怪柳、白刺沙包发育良好, 沙旱生、盐生植被发育; 地下水位 3 m 以下, 芦苇、盐爪爪等退化, 6~7 m 以下怪柳、沙蒿、中麻黄等大部分植被退化, 白刺、红砂、膜果麻黄、霸王、泡泡刺等优势度增加, 并随着地下水位继续下降, 植被雨养性增强, 植被覆盖度进一步下降, 风沙活动加强, 沙漠化重度发展[30] [31] [32]。

近年来, 随着石羊河流域综合治理工程实施, 全流域开展了水资源统筹, 关井压田、退耕还林(草)、节水灌溉、生态用水供给等措施, 民勤盆地来水量显著增加, 在局部地下水位上升和人工补给下, 当前民勤盆地形成了 4 块较大的湿地, 并在低地的低洼处形成了一些小面积湿地, 在荒漠区形成了一些以湿地为中心的微域性生态屏障, 对当地气候调节、改善生态、阻止沙漠扩展与沙漠化防治起到了重要作用。

## 基金项目

甘肃省重点研发项目(18YF1FA019)与国家重点研发项目(2016YFE0203400)资助。

## 参考文献

- [1] 王涛. 中国沙漠与沙漠化[M]. 石家庄: 河北科技出版社, 2003: 689-698.  
WANG Tao. Desert and aeolian desertification in China. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 2003: 689-698. (in Chinese)
- [2] 王琪, 史基安, 等. 石羊河流域环境现状及其演化趋势分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(1): 46-52.  
WANG Qi, SHI Ji'an, et al. Current situation of the environment in Shiyang river basin and its evolutionary trends. Journal of Desert Research, 2003, 23(1): 46-52. (in Chinese)
- [3] 杨自辉, 高志海, 等. 荒漠绿洲边缘降水和地下水对白刺群落消长的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(6): 923-926.  
YANG Zihui, GAO Zhihai, et al. Impact of precipitation and underground water level in the edge of oases on growth and decline of *Nitraria tangutorum* community. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(6): 923-926. (in Chinese)
- [4] 石万里, 刘淑娟, 刘世增, 等. 人工输水对石羊河下游青土湖区域生态环境的影响分析[J]. 生态学报, 2017, 37(18): 5951-5960.  
SHI Wanli, LIU Shujuan, LIU Shizen, et al. Influence analysis of artificial water transfer on the regional ecological environment of Qingtu lake in the lower reaches of the Shiyang river. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(18): 5951-5960. (in Chinese)
- [5] 冯绳武. 民勤绿洲水系的演变[J]. 地理学报, 1963, 29(3): 241-249.  
FENG Shengwu. The evolution of the drainage system of the minchinoasis. Acta Geographical Sinica, 1963, 29(3): 241-249. (in Chinese)
- [6] 郭晓寅, 陈发虎, 颜耀文, 等. 自然条件下石羊河终端湖泊模拟研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 385-388.  
GUO Xiaoyin, CHEN Fahu, XIE Yaowen, et al. A study on modeling the terminal lake of Shiyang river drainage basin under the natural conditions. Journal of Natural Resources, 1999, 14(4): 385-388. (in Chinese)
- [7] 陈发虎, 吴薇, 朱艳, 等. 阿拉善高原中全新世干旱事件的湖泊记录研究[J]. 科学通报, 2004, 49(1): 1-9.  
CHEN Fahu, WU Wei, ZHU Yan, et al. Lake records of drought events in the middle Holocene in Alxa plateau. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(1): 1-9. (in Chinese)
- [8] 陈隆亨, 曲耀光, 等. 河西地区水土资源及其合理开发利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 102-231.  
CHEN Longheng, QU Yaoguang, et al. Soil and water resources and their rational development and utilization in Hexi Area. Beijing: Science Press, 1992: 102-231. (in Chinese)
- [9] 赵丽娅, 赵哈林. 我国沙漠化过程中的植被演替研究概述[J]. 中国沙漠, 2000, 20(1): 6-13.  
ZHAO Liya, ZHAO Halin. A brief review on vegetation succession research in desertification processes of China. Journal of Desert Research, 2000, 20(1): 6-13. (in Chinese)
- [10] 杨自辉, 胡明贵, 王继和, 等. 绿洲边缘荒漠化土地植被的演替与恢复利用[C]//中国西北荒漠区持续农业与沙漠综合治理国际学术交流会议论文集. 兰州: 兰州大学出版社, 1998: 438-444.  
YANG Zihui, HU Mingui, WANG Jihe, et al. Vegetation succession and restoration and utilization of desertification land on



- the edge of Oasis. Proceedings of International Symposium on sustainable agriculture and integrated desert management in Northwest China. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1998: 438-444. (in Chinese)
- [11] 康尔泗, 等. 甘肃河西地区内陆河流域荒漠化的水资源问题[J]. 冰川冻土, 2004(12): 663.  
KANG Ersi, et al. Water resources relating to desertification in the Hexi area of Gansu province, China. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004(12): 663. (in Chinese)
- [12] 李爱军, 闫成云. 石羊河流域水资源可持续利用研究[J]. 甘肃科技, 2004, 20(9): 16-19.  
LI Aijun, YAN Chenyun. Sustainable utilization of water resources in Shiyang river basin. Gansu Science and Technology, 2004, 20(9): 16-19. (in Chinese)
- [13] 李丁, 马金珠, 南忠仁. 民勤盆地地下水水位下降特征与可持续利用评价[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 734-739.  
LI Ding, MA Jingzhu and NAN Zhongren. Characteristic of groundwater drawdown and its sustainable development countermeasure in Minqin basin. Journal of Desert Research, 2004, 24(6): 734-739. (in Chinese)
- [14] 李宝兴. 石羊河地下水盆地的水资源构成及其合理利用问题[J]. 中国沙漠, 1983, 3(4): 1-10.  
LI Baoxing. The study on construction of underground water resources in Shiyanghe basin and its rational utilization. Journal of Desert Research, 1983, 3(4): 1-10. (in Chinese)
- [15] 应天士, 林耀琛, 等. 今日武威[M]. 北京: 三联书店出版, 1992.  
YING Tianshi, LIN Yaochen, et al. Wuwei today. Beijing: Sanlian Bookstore, 1992. (in Chinese)
- [16] 刘光祖. 民勤西沙窝地下水的水化学类型及其初步评价[J]. 甘肃林业科技, 1979(2): 10-17.  
LIU Guangzu. Hydrochemical types and preliminary evaluation of groundwater in Xishawo Minqin. Gansu Forestry Science and Technology, 1979(2): 10-17. (in Chinese)
- [17] 刘文杰, 苏永中, 杨荣, 吕晓东. 民勤地下水水化学特征和矿化度的时空变化[J]. 环境科学, 2009, 1(10): 2911-2917.  
LIU Wenjie, SU Yongzhong, YANG Rong and LV Xiaodong. Hydrochemical characteristics and spatial-temporal variation of mineralization for the groundwater in Minqin oasis. Environmental Science, 2009, 1(10): 2911-2917. (in Chinese)
- [18] 王琪, 史基安, 赵兴东, 等. 石羊河流域地下水地球化学特征演化的计算机模拟研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 160-164.  
WANG Qi, SHI Jian, ZHAO Xingdong, et al. Computer simulation on the evolution of groundwater geochemistry in shiyang river basin. Journal of Desert Research, 2003, 23(2): 160-164. (in Chinese)
- [19] 杨自辉. 民勤沙井子地区 40A 来荒漠植被变迁初探[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 395-398.  
YAN Zihui. Research on desert vegetation changes for 40 years at Shajingzi area in Minqin. Journal of Desert Research, 1999, 19(4): 395-398. (in Chinese)
- [20] 靳虎甲, 马全林, 张有佳, 等. 石羊河下游白刺灌丛演替发育过程的土壤呼吸及其影响因素分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(1): 140-147.  
JIN Hujia, MA Quanlin, ZHANG Youjia, et al. Soil respiration of nitraria tangutorum nebkhas at different evolvement stages in lower reaches of Shiyang river and its influencing factors. Journal of Desert Research, 2012, 32(1): 140-147. (in Chinese)
- [21] 丁胜怀, 王继和, 荒子琛, 等. 民勤地区梭梭固沙林衰退原因的初步研究[J]. 中国沙漠, 1982, 2(2): 44-46.  
DING Shenghuai, WANG Jihe, HUANG Zichen, et al. A preliminary study on the causes of the decline of Haloxylon ammo Dendron sand fixation forest in Minqin area. Journal of Desert Research, 1982, 2(2): 44-46. (in Chinese)
- [22] 常兆丰, 赵明. 民勤荒漠生态定位研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2006: 23-165.  
CHANG Zhaofeng, ZHAO Ming. Study on desert ecological positioning in Minqin. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 2006: 23-165. (in Chinese)
- [23] 郭春秀, 马俊梅, 何芳兰, 等. 石羊河下游不同类型荒漠草地黑果枸杞群落结构特征及土壤特性研究[J]. 草业学报, 2018, 27(9): 14-24.  
GUO Chunxiu, MA Jumin, HE Fanglan, et al. Structural features of Lyciumruthenicum communities and associated soil characteristics on different types of desert rangeland in the lower reaches of the Shiyang river. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(9): 14-24. (in Chinese)
- [24] 姜生秀, 安富博, 马剑平, 赵鹏, 等. 石羊河下游青土湖白刺灌丛水分来源及其对生态输水的相应[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(9): 176-182.  
JIANG Shengxiu, AN Fubo, MA Jianping, ZHAO Peng, et al. Water source of nitraria tangutoensis shrub in Qingtu lake in the lower reaches of Shiyang river and its corresponding ecological water conveyance. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(9): 176-182. (in Chinese)
- [25] 李并成. 河西走廊汉唐古绿洲沙漠化的调查研究[J]. 地理学报, 1998, 53(2): 106-115.  
LI Bingcheng. An investigation and study on the desertification of the ancient oases from Han to Tang dynasties in the hexicorridor. Acta Geographica Sinica, 1998, 53(2): 106-115. (in Chinese)
- [26] 矫树春, 颀耀文. 近 40 年来民勤绿洲空间变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(8): 92-96.  
JIAO Shuchun, XIE Yaowen. Analysis of spatial change of Minqin oasis near about 40 years. Journal of Arid Land Resources

- & Environment, 2004, 18(8): 92-96. (in Chinese)
- [27] 宋冬梅, 肖笃宁, 马明国, 王建华. 民勤湖区地下水资源时空变化对灌区景观生态安全的影响研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1815-1820.  
SONG Dongmei, XIAO Duning, MA Minggu and WANG Jianhua. Impact of groundwater resource temporal-spatial change in minqin oasis on ecological security of irrigation region landscape. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(10): 1815-1820. (in Chinese)
- [28] 董光荣, 申建友, 金炯. 气候变化与沙漠化关系的研究[J]. 中国沙漠, 1988, 8(4): 27-39.  
DONG Guangrong, SHEN Jianyou and JING Jion. On the relationship between desertification and climatic changes. Journal of Desert Research, 1988, 8(4): 27-39. (in Chinese)
- [29] 梁新民. 武威史地综述[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1997.  
LIANG Xinmin. A review of the history and geography of Wuwei. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1997. (in Chinese)
- [30] 李小妹, 严平. 干旱区沙漠与河流复合地貌过程研究进展[J]. 中国沙漠, 2019, 39(5): 97-104.  
LI Xiaomei, YAN Ping. Research progress of desert river complex geomorphic process in arid area. Journal of Desert Research, 2019, 39 (5): 97-104. (in Chinese)
- [31] 慈龙骏, 吴波. 中国荒漠化气候类型划分与潜在发生范围的确定[J]. 中国沙漠, 1997, 17(2): 107-112.  
CI Longjun, WU Bo. Climatic type division and the potential extent determination of desertification in China. Journal of Desert Research, 1997, 17(2): 107-112. (in Chinese)
- [32] 李小妹, 严平. 中国北方地区沙漠与河流景观格局[J]. 地理科学进展, 2014, 33(9): 1198-1208.  
LI Xiaomei, YAN Pin. Landscape pattern characteristics of deserts and rivers in Northern China. Progress in Geography, 2014, 33(9): 1198-1208. (in Chinese)