

# 民勤退耕地修复模式选择及生态系统监测研究

王理德<sup>1,2,3</sup>, 宋达成<sup>1,2,3\*</sup>, 王梓璇<sup>1,3</sup>, 陈思航<sup>1,3</sup>, 赵赫然<sup>1,3</sup>, 吴昊<sup>1,3</sup>, 何洪盛<sup>2</sup>, 李常乐<sup>2</sup>

<sup>1</sup>甘肃治沙研究所, 甘肃 兰州

<sup>2</sup>甘肃农业大学林学院, 甘肃 兰州

<sup>3</sup>甘肃河西走廊森林生态系统国家定位观测研究站, 甘肃 武威

收稿日期: 2022年9月4日; 录用日期: 2022年10月3日; 发布日期: 2022年10月10日

## 摘要

本文针对石羊河流域下游生态环境破坏后出现的一系列严重问题展开调查与研究。以沙漠化、盐碱化防治为切入点, 以修复和重建民勤绿洲退耕地生态系统为目标, 采用生态学和恢复生态学的基本原理, 对沙化退耕地和盐碱化退耕地的生物修复模式进行解析, 认为人工与自然恢复措施相结合的生态恢复途径是民勤退耕地治理的思路。共总结出5种退耕地修复模式, 分别为低密度梭梭林修复模式、沙化退耕地人工柠条林修复技术模式、梭梭接种肉苁蓉模式、柽柳人工造林恢复模式和“黑果枸杞/黄毛头 + 封育”技术模式。结果表明: 1) 密度 $2\text{ m} \times 8\text{ m}$ 梭梭林是沙化退耕地人工植被体系建设的一种理想模式; 2) 株距 $2\text{ m}$ 、带宽 $20\text{ m}$ 的柠条林带和灌溉农田组成的模式是农田防护林体系中具有推广前景的模式; 3) 现有柠条造林模式中密度 $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ 的柠条林是一种比较理想的生态恢复模式; 4)  $1\text{ m} \times 4\text{ m}$ 柽柳人工林是盐碱化退耕地植被恢复的理想模式。提出民勤退耕地重建生态系统监测与评价体系, 总结出退耕地重建生态系统在绿洲防护系统中地位与作用研究, 并提出民勤绿洲退耕地生态治理的思路与对策措施, 旨在为石羊河流域生态综合治理提供理论依据和科技支撑。

## 关键词

民勤, 退耕地, 修复模式, 监测与评价, 展望

# Restoration Model Selection and Ecosystem Monitoring of Abandoned Cropland in Minqin

Lide Wang<sup>1,2,3</sup>, Dacheng Song<sup>1,2,3\*</sup>, Zixuan Wang<sup>1,3</sup>, Sihang Cheng<sup>1,3</sup>, Heran Zhao<sup>1,3</sup>, Hao Wu<sup>1,3</sup>, Hongsheng He<sup>2</sup>, Changli Li<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu

\*通讯作者。

文章引用: 王理德, 宋达成, 王梓璇, 陈思航, 赵赫然, 吴昊, 何洪盛, 李常乐. 民勤退耕地修复模式选择及生态系统监测研究[J]. 土壤科学, 2022, 10(4): 165-171. DOI: 10.12677/hjss.2022.104022

## Abstract

This paper investigates and studies a series of serious problems after the ecological environment destruction in the lower reaches of Shiyang River Basin. With desertification and salinization prevention as the entry point, and restoration and reconstruction of the ecological system of the abandoned farmland in Minqin Oasis as the goal, the basic principles of ecology and restoration ecology were adopted to analyze the bioremediation model of the desertified farmland and the salinized farmland. The ecological restoration approach combining artificial and natural restoration measures is the thought of Minqin's farmland restoration. Five restoration modes were developed, including low-density ammodendron ammodendron forest restoration mode, artificial caragana korshinskii forest restoration technology mode, Haloxylon ammodendron planting cistanche mode, Tamarix ramosissima artificial afforestation restoration mode, and "lycium barbarum/Huangtou + enclosure" technology mode. The results showed as follows: 1) Ammodendron forest with a density of 2 m × 8 m is an ideal model for artificial vegetation system construction in desertified and reclaimed land; 2) The model of caragana korshinskii forest belt with spacing of 2 m and bandwidth of 20 m and irrigated farmland is a promising model in shelterbelt system; 3) The caragana korshinskii forest with a density of 2 m × 4 m is an ideal ecological restoration model; 4) 1 m × 4 m tamarix artificial forest is the ideal model of vegetation restoration in saline-alkali reclaimed land. The ecological monitoring and evaluation system of the reclaimed cultivated land in Minqin was put forward, the status and role of the reclaimed ecological system in the oasis protection system were summarized, and the ecological management ideas and countermeasures of the reclaimed cultivated land in Minqin oasis were put forward. The aim is to provide theoretical basis and scientific support for the comprehensive ecological management of Shiyang River Basin.

## Keywords

Minqin, Abandoned Cropland, Restoration Mode, Monitoring and Evaluation, Outlook

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

半个世纪以来, 由于气候旱化, 耕地扩大, 我国干旱区内陆河流域中下游普遍出现了河、湖干涸, 地下水位下降, 生态恶化, 绿洲农田退/弃耕而萎缩, 荒漠化加剧[1]。如塔里木河下游流程缩短 300 km, 沿河绿洲农田变为沙漠; 黑河流域下游绿洲沙漠化过半; 石羊河流域中下游地下水位降到 20 m 以下, 雨养区大面积扩展, 33.7 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup> 生态植被衰亡, 固定沙包活化, 流沙入侵农田, 数万人因耕地沙化而搬迁。

1999 年以来, 国家退耕还林(草)政策和河西三大内陆河流域综合治理实施, 各流域水资源统筹管理, 退弃耕地增加。如多年来民勤县公布的绿洲耕地为 4 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>, 而遥感监测的实际农田达 8 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>~11 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>, 在荒漠区自行开垦农田全面弃耕的同时, 绿洲边缘及内部按计划退耕, 以供给生态用水。而

各绿洲边缘大面积农田退/弃耕撂荒后,原有农防林在 1~2 年内缺水死亡,农田防护林体系破损,生态恶化,风沙入侵,流沙活动加强,已经和正在演变为新的风沙源,对现有绿洲存在潜在威胁。

20 世纪初美国对中西部平原大规模农业开垦后,风蚀加剧,导致了农田沙化与灾难性沙尘暴发生,以及 60、70 年代席卷中亚、非洲的沙尘暴等都与退弃耕地有关。1930 年以来,通过风洞和野外观测进行了系统的植被与土壤风蚀研究,为控制土壤风蚀提供了理论基础,如退弃耕地按自然规律休养生息,维持植被覆盖和生态平衡,减少地表疏松裸露,改善土地肥力等可减少沙尘释放。我国土壤风蚀研究始于 1970 年,且主要针对沙漠、戈壁,对干旱区内陆河流域绿洲边缘退/弃耕地生态修复、风蚀和沙尘释放研究较少,开展退弃耕地生态修复,对风沙危害防治意义重大,可行性强,应用前景广阔。内陆河流域生态安全问题已引起国内外高度关注,自 2011 年起先后执行国家基金、省级项目 5 项,在河西内陆河流域中下游绿洲边缘退/弃耕地开展了植被、土壤、风沙活动演化规律观测研究[2] [3] [4],以区域自然生态植被承载力与抗蚀阻沙覆盖度为依据,提出退弃耕地生态修复与遏制土壤风蚀技术,并进行试验示范与推广,对资源保护、维持生态平衡与可持续发展发挥了重要作用。

民勤绿洲属典型的内陆干旱荒漠区和生态脆弱区[5],处于巴丹吉林和腾格里沙漠之间,生态脆弱、植被稀疏、沙化盐碱化严重,是我国风沙危害最严重和水资源最缺乏的地区之一[6],民勤人口压力过大,生态环境保护和经济发展矛盾日益尖锐,由于不合理的生产活动和耕作方式,导致民勤绿洲地下水下降和耕地沙化、盐渍化,再加上民勤实施“关井压田”等政策,出现大面积退耕地[7],进行民勤绿洲退耕地沙漠化、盐碱化治理及其流域生态恢复已成民勤生态建设的一项重要任务,对保护民勤生态稳定作用重大,对减少沙尘暴及风沙危害、保护绿洲发展、促进石羊河流域治理具有十分重要的意义,是当地经济发展和生态环境建设的需要,也是属于实施国家“生态建设”及生态脆弱区生态系统功能恢复重建的重要内容[8],是保证民勤区域生态安全,实现区域可持续发展和生态文明的根本需求和重要举措。本文的研究重点集中在民勤绿洲沙化、盐碱化退耕地的人工植被恢复上,通过对退耕地修复模式的试验示范,提出民勤绿洲沙化、盐碱化退耕地比较理想的生态恢复模式,以期为石羊河流域生态综合治理提供理论依据和科技支撑,逐步发挥退耕地重建生态系统在区域绿洲防护系统建设中的作用,凸显民勤绿洲在石羊河流域生态恢复中的地位。

## 2. 民勤退耕地修复状况分析

民勤生态建设虽然取得一定成效[9],但原有的生态治理措施和理论已不能满足当前生态环境发展的需要,必须依托国家重大科技项目,研发新技术、新方法、新材料、新措施,组装配套和集成新技术体系是民勤绿洲生态环境可持续发展的科技需要。为解决上述荒漠化防治及生态修复的关键技术问题,甘肃省治沙研究所执行了国家科技支撑计划、国家自然科学基金等许多退耕地相关项目,总经费达 600 万元,研发沙化、盐碱化退耕地生态恢复技术模式,为民勤及河西走廊生态环境治理与重大工程实施提供技术支撑。

项目针对石羊河流域下游生态不断恶化等问题,以沙漠化、盐碱化防治为切入点,以修复和重建民勤绿洲退耕地生态系统为目标,采用生态学和恢复生态学的基本原理及空间尺度代替时间尺度的方法,通过民勤退耕地沙漠化、盐碱化现状的分析评价,开展退耕地自然植被演替规律和退耕地土壤结构、水分再分配特征及土壤生物特性响应规律研究,进行适宜民勤退耕地生态恢复的优良植物材料的筛选,集成现有荒漠化防治和盐碱地治理技术,形成并建立民勤不同类型退耕地生态恢复的技术体系与模式,提出民勤绿洲退耕地生态治理的思路与对策措施,为石羊河流域生态综合治理提供理论依据和科技支撑。

## 3. 研究区状况

研究区域位于甘肃省武威市民勤县,地处河西走廊东北部,石羊河流域下流,具体位于东经

101°49'41"~104°12'10"、北纬 38°3'45"~39°27'37"。民勤属温带大陆性干旱气候区，四季分明，气温日、年变化大，降水较少，蒸发量大，光照充足，冻害天气多。多年平均气温 8.8℃，极端最低气温 29.5℃，极端最高气温 41.7，平均气温年较差 31.8℃，平均气温日较差 14.3℃。民勤东西北三面被巴丹吉林和腾格里两大沙漠包围，境内低山丘陵、平原、沙漠、戈壁等交错分布，属于气候变化敏感区和生态环境脆弱区。

调查了民勤绿洲近 50 年退耕地的分布、面积、退耕时间、退耕方式、退耕原因、退耕地区水资源、社会经济发展及退耕地利用等情况，分析了民勤退耕地防护体系及管理、退耕还林实施等生态恢复效果，指出民勤退/弃耕地面积约 28.7 万亩，主要分布在民勤泉山区和湖区，沙化退耕地主要分布在泉山区，约 10 万亩；盐碱化退耕地主要分布在湖区，约 18.7 万亩。民勤绿洲沙化、盐碱化退耕地在退/弃耕后大部分撂荒，无论退耕时间长短，沙化退耕地植被恢复效果不佳。盐碱化退耕地在自然状态下恢复效果较好，经过 20~30 年的生态恢复，形成了以黄毛头或黑果枸杞为建群种或单优种组成的天然群落；而沙化退耕地人工恢复植被主要是柽柳和梭梭，两树种的生长表现较好。同时，随着退耕时间延长，退耕地以杨树为主的原有防护林体系迅速衰败死亡，绿洲生态防护体系局部受损，给退耕地附近的居民生活、生产造成了较大影响。因此，民勤绿洲土地退耕/弃耕的主要原因是水资源匮乏、土地盐碱化、风沙危害和人为因素等[10]。

## 4. 退耕地修复模式

### 4.1. 沙化退耕地生物防风固沙技术模式

沙化退耕地建立人工植被体系的关键是选择适宜民勤地区自然条件的造林模式，即选择适宜的造林树种和造林密度。民勤地区降雨量平均为 110 mm [11]，由于农业灌溉的开采导致地下水位下降，已远低于植物根系可利用的临界水平。在这样恶劣的条件下造林，必需慎重考虑林地土壤的水分平衡和植物的抗旱性。近 50 年的试验示范与推广表明，梭梭和柠条是最适宜民勤地区生态环境建设的两种优良树种，不但拥有成熟的育苗造林技术，显著的生态防护效能，而且柠条在民勤绿洲北部具有一定面积的天然分布[12]，是典型的乡土树种。目前，这两种树种已在民勤绿洲外围及内部乃至整个河西走廊地区生态防护植被体系建设中得到广泛应用。此外，在甘肃省治沙研究项目研究结果中，梭梭和柠条的蒸腾耗水量小于沙枣、花棒、沙木蓼等民勤沙区常见的沙旱生乡土植物种[13]。

#### 4.1.1. 沙化退耕地人工梭梭林修复技术模式(低密度梭梭林修复模式)

甘肃省治沙研究所项目研究过程中选择 5 种梭梭造林模式调查研究，即造林密度为 2 m × 8 m、2 m × 7 m、2 m × 5 m、1 m × 4 m 的梭梭纯林、密度为 2 m × 8 m 梭梭和沙拐枣混交林作为调查样地。调查发现各造林模式下林地物种丰富度差异不大；均匀度、Simpson 指数和优势度差异显著，其中，密度 2 m × 8 m 梭梭林的均匀度最高为 0.8056，Simpson 指数最低为 0.1944，优势度最高为 0.8599；而密度 1 m × 4 m 梭梭林的均匀度最低为 0.1182，Simpson 指数最高为 0.8818，优势度最低为 0.1263；与密度 2 m × 8 m 梭梭纯林相比，密度 2 m × 8 m 梭梭和沙拐枣混交林的 Simpson 指数为 0.2866，略高于前者，而均匀度和优势度分别为 0.7134 和 0.6054，略低于梭梭纯林。

对比分析不同密度下梭梭林的生长状况发现：造林年限相同或相近，密度 2 m × 8 m 的梭梭林的梭梭个体平均高度、平均冠幅明显大于密度 1 m × 4 m 的梭梭林；高密度梭梭林中大部分梭梭个体的生长状况不良，干梢、死株现象比较普遍，种群明显趋于衰退；但密度 2 m × 8 m 的模式下，梭梭林个体长势良好，种群结构比较稳定，干梢、死株现象较少，林地土壤含水率明显高于其它样地。不同密度梭梭林种群的生长状况存在明显差异，造林密度 2 m × 8 m (615 株/hm<sup>2</sup>)的梭梭林生长状况最好，群落优势度最高、种

群比较稳定,林地土壤含水率也比较高。根据多年来对梭梭等沙旱生植物蒸腾耗水特性多年的观测研究,并结合民勤地区沙地土壤水分蒸发规律研究结果,理论上计算了梭梭在民勤气候条件下合理的造林密度为 570 株/hm<sup>2</sup>,可以使林地土壤含水率维持在 1.2%左右,土壤水分达到一个较平衡的状态,能够保持梭梭的正常存活。研究认为密度 615 株/hm<sup>2</sup>(即株行距为 2 m × 8 m)的梭梭林是民勤绿洲沙化退耕地一种比较适宜的人工植被建设模式。对沙化退耕地进行梭梭造林,造林密度 2 m × 8 m,造林成活后保存 38~40 株/亩,或将造林密度 2 m × 4 m 的梭梭林间伐至 38~40 株/亩左右。

#### 4.1.2. 沙化退耕地人工柠条林修复技术模式

甘肃省治沙研究所在研究过程中,选择 7 种不同造林模式或不同造林立地条件下人工柠条林调查研究。在水分条件充足的农田边缘柠条林的生长状况基本不受密度影响,密度 2 m × 20 m 柠条林的生长状况与密度 1 m × 8 m 柠条林相比,前者的平均高度(376.2 cm)低于后者(431.8 cm),平均幅度(319.5 cm)和分枝数(43)大于后者(分别为 309.1 和 18.7),但总的生长势无明显差异,两种栽培模式下柠条个体的生长状况均表现良好。在无人工灌溉条件下,柠条生长状况与林地土壤性质有较大关系。相同密度下(2 m × 4 m)黏性退耕地柠条生长状况最好,沙质退耕地次之,砾质沙地最差。这种差异在短期营造的柠条林生长状况上能够反映出来,2006 年营造的密度为 1 m × 4 m 的柠条林,黏性退耕地上的柠条生长量明显大于沙质退耕地的生长量,前者的平均高度、平均幅度和平均分枝数明显大于后者(平均高度、平均幅度和平均分枝数分别为 89.7 cm, 94.3 cm 和 3.0)。此外,无论沙质退耕地还是黏性退耕地,在无人工灌溉条件下,柠条长势均不良,表现为干梢干枝多、叶片稀疏、基部分枝少等特征,尤其在沙质或沙砾质退耕地上这些现象更为明显,种群衰退严重。

柠条的蒸腾耗水量相对于梭梭较大,在造林实践中,其生长状况明显受土壤水分条件的限制。柠条在人工灌溉条件下生长状况明显比自然条件下好,而且其生长状况受林地土壤质地的限制,黏性退耕地上的生长状况要比沙质退耕地上好。研究认为,密度 2 m × 20 m 的柠条林带和灌溉农田组成的模式,是民勤绿洲建立农田防护林体系具有推广前景的模式。

#### 4.1.3. 梭梭接种肉苁蓉模式(梭梭 + 肉苁蓉生态恢复技术模式)

模式内容:对沙化退耕地进行梭梭造林,造林密度为 1 m × 4 m,然后在梭梭林内接种肉苁蓉,每株接种 1 穴,并实行人工灌溉,灌溉量为 28 m<sup>3</sup>/亩/年(滴灌)或 60 m<sup>3</sup>/亩/年(漫灌)。

基本理论:民勤绿洲沙化退耕地生态恢复及其治理不仅要考虑生态效益,还应该注重经济效益,方可实现区域生态-经济的协调发展与社会的和谐进步。梭梭+肉苁蓉模式不仅可以发挥良好的防风固沙效益[12],而且每亩每年至少可获得 1500~2000 元的产值。但该模式下梭梭林密度是上述雨养条件下梭梭林密度的 4 倍,因此,仅靠大气降水不能满足梭梭林正常生长的需要,必需适当给予人工灌水,梭梭种群才可以维持正常生长。根据研究结果,在漫灌条件下每亩灌溉量为 60 m<sup>3</sup>/年或滴灌条件下 28 m<sup>3</sup>/年,就可以保证接种肉苁蓉的产量,并不影响梭梭的正常生长,可实现生态效益和经济效益的双丰收。

## 4.2. 盐碱化退耕地修复技术集成与试验示范

项目在民勤青土湖盐碱化退耕地,以退耕地盐碱化防治和生态植被快速恢复为目的,通过在民勤西渠煌辉村采取灌草、灌药组合的人工植被恢复措施建立了试验示范区并进行了调查研究,集成示范了盐碱地抗旱、耐盐优良植物种筛选技术、盐碱地造林技术、盐碱地生态恢复技术、盐碱地灌溉技术等多项盐碱地防治技术,在民勤湖区建立了盐碱化退耕地的生态防护体系,防止了退耕地盐碱化。形成的民勤绿洲盐碱化退耕地生态恢复技术模式有以下两种:

#### 4.2.1. 柽柳人工造林恢复模式

模式内容：对盐碱化退耕地进行柽柳人工造林，密度  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  或  $1\text{ m} \times 4\text{ m}$ ，林木成活后保存 140 株/亩，每年灌溉 1 次，灌溉量  $60\text{ m}^3/\text{亩}$ ，以生物措施促进土壤良性循环并保持植被的自然演替，使盐碱化地带植物生态系统趋于稳定。

基本理论：柽柳作为盐碱化退耕地造林的先锋树种[14]，造林成活率在 85%~90%以上，按上述密度造林 3 年后其林分总盖度可达到 35%以上，在民勤湖区盐碱化退耕地人工种植生长状况良好，年生长量可达 1 m。人工林内有白刺、沙蒿、黑果枸杞、花花柴、骆驼蓬等植物，可形成较稳定的生态系统，实现了盐碱化退耕地植被的快速恢复。如果要实现快速生态恢复，可采取柽柳 + 甘草、柽柳 + 苜蓿为主的灌草、灌药组合生态恢复技术，不仅可以实现退耕地盐碱地治理，使土壤盐碱含量下降 21.4%~35.1%，而且植被盖度可提高到 35%以上。

#### 4.2.2. “黑果枸杞/黄毛头 + 封育” 技术模式

模式内容：盐碱化土地退耕后，分别按照 1540 株/亩、2100 株/亩的播种密度撒播黑果枸杞和黄毛头种子，并采取人工封育措施，在自然状态下可促进植被快速恢复。

基本理论：根据盐碱化退耕地植被演替规律研究结果，盐碱地退耕后首先入侵的是耐盐性草本植物，在退耕后第二年植被盖度可达到 98%以上。随着演替时间的延长，群落逐渐向灌木类型过渡，草本盖度下降，灌木盖度上升，最终形成较稳定的黑果枸杞和黄毛头群落，其平均密度分别为 1540 株/亩、2100 株/亩，盖度可达到 10%~14%，此过程大概需要 20 年左右。如果加上人工干预措施，在退耕地播种黑果枸杞和黄毛头，可加快盐碱地植被的演替进程。

### 5. 退耕地重建生态系统监测与评价

#### 5.1. 沙化退耕地不同造林模式稳定性及生长状况对比研究

在民勤绿洲沙化退耕地进行了 8 种人工林模式的植物生长状况和群落特征研究。结果表明：密度  $2\text{ m} \times 8\text{ m}$  梭梭林是民勤绿洲沙化退耕地人工植被体系建设的一种理想模式，该模式下群落结构相对稳定、林地水分相对平稳、林分生长正常。株距 2 m、带宽 20 m 的柠条林带和灌溉农田组成的模式，是民勤绿洲建立农田防护林体系的一个具有推广前景的模式。在土壤黏性重的退耕地，密度  $2\text{ m} \times 4\text{ m}$  柠条林的生长状况较好，林分无明显衰退现象。因此，在现有柠条造林模式中密度  $2\text{ m} \times 4\text{ m}$  的柠条林是一种比较理想的生态恢复模式，但需要采取一定的灌溉措施。

#### 5.2. 盐碱化退耕地不同生态恢复模式调查研究

在民勤青土湖、煌辉村，分别对盐碱化退耕地柽柳人工林、柽柳 + 梭梭混交林、柽柳 + 柠条混交林 3 种人工林模式的植物生长状况和群落特征进行调查，结果表明：密度为  $1\text{ m} \times 4\text{ m}$  的柽柳林在造林 3 年后，其群落物种数可达 15 种，灌木植被盖度可达 40%；而  $2\text{ m} \times 4\text{ m}$  的柽柳+梭梭混交林和  $1\text{ m} \times 4\text{ m}$  的柽柳+柠条混交林，其群落物种数仅为 8 种和 13 种；因此，从生态恢复的速度、群落植被盖度及生态系统的稳定性来看， $1\text{ m} \times 4\text{ m}$  柽柳人工林是盐碱化退耕地植被恢复比较理想的生态恢复模式。

### 6. 退耕地重建生态系统在绿洲防护系统中地位与作用研究

项目从民勤绿洲耕地的退耕背景、特点出发，分析了民勤退耕地植被恢复存在的问题，提出了土地退耕、减少水资源的生态压力、新建灌草灌药组合为主体的退耕还林还草恢复、人工与自然恢复措施相结合的退耕地治理及生态恢复思路。在民勤绿洲，退耕地重建生态系统主要是防风固沙林和农田防护林，退耕地生态恢复区将成为新的防风阻沙林区[15]，因此，提出综合治理规划，分期分批退耕、重点治理风

沙口退耕地, 灌草、灌药结合、人工与自然恢复相结合的退耕地生态恢复措施, 逐步发挥退耕地重建生态系统在区域绿洲防护系统建设和民勤生态安全中的主体地位与作用。

## 7. 结果与展望

甘肃省治沙研究所研制的“低密度梭梭林生态恢复技术模式”、“梭梭 + 肉苁蓉生态恢复技术模式”、“怪柳生态恢复技术模式”和“黑果枸杞/黄毛头 + 封育技术模式”4种退耕地生态治理模式, 充分考虑了民勤水资源条件的限制因素。其中“低密度梭梭林生态恢复模式”是纯雨养条件下退耕地恢复模式, “梭梭 + 肉苁蓉模式”是在极少量人工灌溉条件下的生态 - 经济型模式; “怪柳生态恢复技术模式”和“黑果枸杞/黄毛头 + 封育技术模式”促进了绿洲植被与生态的快速恢复; 项目的实施使示范区植被盖度提高了12%~28%、土壤含氮量增加15%~17%、有机质含量提高9%、盐碱化程度下降23.5%~28.5%; 土地生产力提高8%~13%、地表风蚀降低20%~45%、减轻风沙、盐碱化对民勤地区农业生产的危害达30%, 农民人均收入提高了5%, 极大地改善了工农业生产环境和居民生活环境。模式的推广应用对于防止退耕地风蚀沙化、盐碱化, 对维护石羊河流域下游绿洲及国家生态安全具有十分重要的意义, 在促进沙区生态文明建设方面发挥了重要作用。先后在民勤等河西走廊地区建立示范区6个, 示范面积2万余亩, 辐射推广应用5万余亩, 取得了良好的社会、生态和经济效益。

项目研制的退耕地生态恢复与治理技术, 符合我国内陆河流域自然和社会经济发展的特点, 是投资少、见效快、效益高的生态恢复重建技术。项目在最具有典型代表性的石羊河流域实施, 探索出一条适合干旱区退化绿洲恢复重建的新途径, 对整个河西走廊乃至全国类似地区的生态环境治理提供了示范样板和科技支撑, 对我国干旱荒漠区生态环境退化恢复具有典型的代表性, 研究成果将适用于新疆、内蒙古、宁夏、青海等同类地区的退化生态环境治理, 推广应用前景广阔。

## 参考文献

- [1] 李真. 干旱内陆河流域生态系统服务空间权衡与协同研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 西北师范大学, 2017.
- [2] 宋达成, 王理德, 吴昊, 等. 民勤退耕区次生草地土壤特性研究[J]. 草业学报, 2021, 30(2): 59-68.
- [3] 王方琳, 王理德, 韩富贵, 等. 石羊河下游民勤绿洲退耕地植被自然演替特征及物种多样性分析[J]. 西北植物学报, 2013, 33(7): 1459-1464.
- [4] 李得禄, 满多清, 刘有军, 等. 石羊河流域下游不同年代退耕地风沙流特征研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(24): 117-122.
- [5] 孙涛, 王继和, 刘虎俊, 等. 民勤绿洲生态环境现状及恢复对策[J]. 中国农学通报, 2010, 26(7): 245-251.
- [6] 何芳兰, 李治元, 赵明, 等. 民勤绿洲盐碱化退耕地植被自然演替及土壤水分垂直变化研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1374-1380.
- [7] 韩福贵, 魏林源, 王理德, 等. 民勤退耕地物种多样性与土壤养分及其相关性分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(6): 109-114.
- [8] 孟伟. “十一五”环保科技发展与“十二五”展望[J]. 环境保护, 2011(23): 16-19.
- [9] 潘晓燕. 加强民勤生态保护治理的对策建议[J]. 农业科技与信息, 2015(10): 58-59.
- [10] 王理德. 石羊河中下游退耕地土壤系统演变规律及其驱动机制研究[Z]. 甘肃省治沙研究所, 2016-03-21.
- [11] 赵栋, 任倩. 干旱区绿洲水资源利用初探——以甘肃省民勤县为例[J]. 发展, 2008(3): 35.
- [12] 刘晓春, 洪绂增, 纪永福, 等. 民勤北部天然柠条群落结构特征及其优势种群动态研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2008, 43(6): 113-118+126.
- [13] 赵明, 郭志中, 王耀琳, 等. 不同地下水位植物蒸腾耗水特性研究[J]. 干旱区研究, 2003(4): 286-291.
- [14] 马怀宁, 崔丽. 荒漠地区造林先锋树种多枝怪柳病虫害防治措施[J]. 中国林副特产, 2009(3): 77.
- [15] 柴成武, 赵明, 徐向中, 等. 民勤绿洲沙地系统特征及“退耕”建议[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 189-193.