

文章编号: 1001-1498(2006)02-0151-07

# 退化人工梭梭林的恢复技术研究

马全林, 王继和, 赵明, 詹科杰, 刘虎俊

(甘肃省治沙研究所, 甘肃 武威 733000)

**摘要:**对退化人工梭梭林进行恢复试验研究发现:滴灌可使梭梭林地土壤含水率显著提高;梭梭光合作用增强;群落物种数增多,盖度增大;防风固沙作用增强。布设机械沙障可使退化梭梭林地表粗糙度增大,林内近地面层风速、输沙量显著下降。春灌3 a后,不仅退化梭梭个体恢复正常生长,同时梭梭林群落物种组成数明显增加,盖度显著增大,生态功能也逐渐恢复。雨水集流和雨水下渗改造两种模式应用1~2 a后,退化梭梭林地土壤含水率均有明显提高。滴灌、布设机械沙障、春灌和改造结皮4种技术措施对退化梭梭林生长及其环境均有明显的恢复作用,其中滴灌、机械沙障恢复技术是当前和今后推广的主要措施,春灌和改造结皮可作为前两种技术的补充措施。

**关键词:**人工梭梭林;恢复技术;机械沙障;滴灌;春灌;结皮;防风固沙

中图分类号: S727.2 文献标识码: A

## Research on Restoration Technology of Degenerated Artificial Haloxylon amm odendron Forest

MA Quan-lin, WANG Ji-he, ZHAO Ming, ZHAN Ke-jie, LIU Hu-jun

(Desert Control Research Institute of Gansu Province, Wuwei 733000, Gansu, China)

**Abstract:** Researches on restoration technology of degenerated artificial *haloxylon amm odendron* forest were carried out. Results showed that when irrigating *Haloxylon amm odendron* woodland by drip irrigation, photosynthetic ratio of *Haloxylon amm odendron* and soil moisture, community vegetation and diversity all gradually increased, as well as the functions of windbreak and sand fixation. By setting up mechanical sand barriers on degenerated *Haloxylon amm odendron* woodland, the roughness of woodland increased; the wind speed and density of sand-driving wind of *Haloxylon amm odendron* woodland at 0~20 cm decreased. The aim for breaking wind and fixing move sand dune had come true by *Haloxylon amm odendron* forest with mechanical sand barriers. Irrigated *Haloxylon amm odendron* woodland in spring, the growth ratio of *Haloxylon amm odendron* and soil moisture, community vegetation and diversity of *Haloxylon amm odendron* forest all gradually increased, as well as the ecological functions for wind break and sand fixation. The soil-crust reconstruction included rainfall collection mode and water down-soak mode. Since the rainfall collection mode and water down-soak mode applied for one and two years, soil moisture near plant of *Haloxylon amm odendron* increased obviously. All the four measures had obvious positive effect on restoration of the degenerated *Haloxylon amm odendron* and its environment. Drip irrigation and mechanical sand barriers should be the main measures to be extended at present and in the future, and irrigation in spring and soil-crust reconstruction should be the complementary measures.

**Key words:** degenerated artificial forest of *Haloxylon amm odendron*; restoration; mechanical sand barrier; drip irrigation; irrigation in spring; crust; breaking wind and fixing move sand

收稿日期: 2005-04-25

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2002BA517A09-01)资助

作者简介: 马全林(1974—),男,甘肃陇西人,助理研究员,硕士,从事荒漠植物生理生态学和荒漠化防治研究, mql@gscdri.com

梭梭 (*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey) Bunge), 属藜科 (Chenopodiaceae) 梭梭属 (*Haloxylon* Bunge) 灌木, 抗旱、抗寒, 喜瘠薄、喜干燥, 对风蚀沙埋的生态适应性强, 是一种典型的沙生植物和优良的防风固沙种质材料。其不仅在维持西部生态环境中发挥着巨大作用, 同时也是当地重要的草地资源和薪炭林, 一般林地生物量为  $2 \sim 4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 热值达到  $4\,524 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  (民勤梭梭林), 是绝好的能源植物, 被誉为世界上的“活煤”。由于人为砍伐樵柴, 或人类生产活动改变了梭梭林生长环境, 使得梭梭荒漠草场大面积锐减, 群落类型和组成物种数大量消失, 盖度成倍降低, 并一度处于濒危状态<sup>[1~9]</sup>。为此, 1984 年国家将其列为国家首批三级保护植物<sup>[1~8]</sup>。

上世纪 50 年代后期开始, 各地陆续开展的梭梭引种以及人工繁育和造林工程, 极大缓解了梭梭的濒危程度。但从上世纪 70 年代开始, 伴随地面水资源减少和地下水位的下降, 人工梭梭林出现衰亡, 并引起沙丘活化, 荒漠化蔓延速度加快, 已经严重威胁到绿洲区的生存与发展。人工梭梭林的退化, 从一开始就引起了科研工作者的极大关注, 陆续开展了梭梭林地水分平衡、衰退原因等的研究, 摸清了人工梭梭林退化的原因, 并提出了经营管理的对策<sup>[10~19]</sup>, 但未见具体恢复技术的研究报道。为此, 作者在石羊河下游的民勤县, 开展了退化人工梭梭林恢复技术研究, 提出了退化人工梭梭林恢复重建的几项具体技术, 目的为退化人工梭梭林恢复重建和绿洲边缘防风固沙体系建设提供技术支撑。

## 1 研究区自然概况

研究区选择在民勤治沙综合试验站。位于巴丹吉林沙漠的东南缘, 具体位置为  $102\,59\,05 \text{ E}$ ,  $38\,34\,25 \text{ N}$ 。站区气候属典型大陆性气候, 多年平均气温  $7.68$ , 极端最高气温  $40$ , 极端最低气温  $-28.8$ ; 多年平均降水量  $116.2 \text{ mm}$ , 平均蒸发量  $2\,643.9 \text{ mm}$ , 平均相对湿度  $51\%$ , 干燥度  $5.3$ , 无霜期  $175 \text{ d}$ ; 多年平均风速  $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (起沙风速大于  $5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 大风日数  $26.3 \text{ d}$ , 沙尘暴日  $25 \text{ d}$ , 扬沙日  $37.5 \text{ d}$ , 浮尘日  $29.7 \text{ d}$ ; 地下水位持续降低, 已由 1961 年的  $2.21 \text{ m}$  下降到 2001 年的  $18.4 \text{ m}$ , 仍以  $0.71 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$  的速度下降 (1961—2002 年民勤治沙站定位观测资料)。

试验区梭梭林均营造于上世纪 70 年代, 保存密

度为  $270 \sim 450 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 盖度在  $15\%$  以下, 群落总盖度也不到  $30\%$ 。从梭梭裸露根系判断, 机械沙障恢复试验区年风蚀深度  $2 \sim 5 \text{ cm}$ , 滴灌、春灌以及改造结皮恢复试验区均存在结皮层, 林地完全固定。

## 2 试验设计与研究方法

### 2.1 恢复试验设计

2.1.1 滴灌恢复试验 2002 年引入澳大利亚滴灌技术, 在民勤治沙综合试验站黑墩子井建立了约  $2 \text{ hm}^2$  的退化梭梭滴灌恢复试验区。试验设计了  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $90 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $0 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  3 个水平的灌水量。滴灌毛管沿梭梭林行间 (行距  $3 \text{ m}$ ) 铺设, 全部支管、毛管埋入地下。

2.1.2 机械沙障恢复试验 2003 年引进塑料方格沙障, 对照为麦草方格沙障、粘土沙障, 在民勤治沙站 17 号井开展恢复试验。麦草方格沙障规格为  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ , 外露高度  $15 \sim 20 \text{ cm}$ , 沙埋深度  $10 \sim 15 \text{ cm}$ ; 粘土沙障高  $20 \text{ cm}$ , 间距  $3 \text{ m}$ 。塑料方格沙障是新开发的新型沙障, 其透风系数为  $35\% \sim 45\%$ , 规格为  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ , 高度为  $20 \text{ cm}$ , 单株梭梭可围在  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  的方格内。塑料方格沙障 ( $0.53 \text{ hm}^2$ )、麦草方格沙障 ( $0.33 \text{ hm}^2$ )、粘土沙障 ( $0.33 \text{ hm}^2$ ) 以及对照在同一沙丘并排布设。

2.1.3 春灌恢复试验 春灌即春季灌水。2001 年 4 月开始, 在民勤治沙综合试验站选择丘间低地的退化梭梭林进行人工行间开沟, 沟口宽  $50 \text{ cm}$ , 深度  $50 \text{ cm}$ , 利用井水每年春季 (4 月下旬) 进行沟灌, 灌水量为  $1\,200 \sim 1\,500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ , 2002—2004 年每年灌水 1 次。

2.1.4 改造结皮恢复试验 2003 年在民勤治沙综合试验站砖厂, 选择结皮较厚且保持完整的人工梭梭林进行土壤结皮改造。改造包括两种模式, 其一是雨水集流改造模式, 即按照梭梭林地的自然坡面, 利用沙障条埂或用结皮加埂建立  $10 \sim 20 \text{ m}^2$  的集流面, 在梭梭植株基部开挖深度为  $0.5 \text{ m}$ , 长宽为  $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ , 容积为  $0.25 \sim 0.5 \text{ m}^3$  的集流坑; 其二是雨水下渗改造模式, 在保留行列式沙障或方格式沙障梭梭林中破坏全部的障间结皮, 将障间结皮加固到条埂上, 增加沙障的高度和底宽。

### 2.2 群落调查

采用样方法或样线进行调查, 每一类型区调查大小为  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  的样地 2 个或样线长度为  $200 \text{ m}$  的样线 2 条。对样地内灌木进行每木调查, 调查指

标包括高度、冠幅、新梢长、枯枝率和盖度;另外,在样地内布设 5 m × 5 m 或 2 m × 2 m 的小样方 5 个,进行草本植物调查,调查指标包括高度、冠幅和盖度。

### 2.3 光合作用测定

光合作用采用美国 Li-6200 便携式光合分析仪测定。测定选择在 9 月中旬的晴天进行,每类型选择生长正常的梭梭 3 株,每株选择树体中部向阳的功能枝 3 束,并用白色胶布固定、标记。每束枝重复测定 3 次,取平均值。

### 2.4 风速观测

在 2003—2004 年 3—5 月,在民勤治沙综合试验站退化梭梭林恢复试验区,沿风向在林内不同距离处布设风杯,测定退化梭梭林或恢复梭梭林对不同风速的阻挡效果。

风速测定使用野外便携式防沙风速廓线测量仪(ZL 02261931.3)观测。一次测定使用 8 个风杯,数据采集器每 10 s 自动记录 1 次,每组观测记录 100~300 次,计算粗糙度。

粗糙度被定义为风速等于零的某一几何高度,其计算公式为<sup>[20]</sup>:

$$\log Z_0 = \frac{\log Z_2 - \frac{U_2}{U_1} \log Z_1}{1 - \frac{U_2}{U_1}}$$

式中  $Z_0$ ——地表粗糙度 (cm),  $U_1, U_2$ ——高度  $Z_1, Z_2$  处的风速 ( $m \cdot s^{-1}$ )。

### 2.5 风蚀观测

在风速观测的同期,测定退化梭梭林及其恢复后的固沙阻沙效益。在风速观测点布设 10 孔阶梯式集沙仪。10 孔阶梯式集沙仪观测高度为 20 cm,每 2 cm 为 1 层,计算输沙率 ( $g \cdot cm^{-1} \cdot h^{-1}$ )。

其计算公式为:  $Q = \frac{W}{2 \times T}$

式中  $Q$ ——输沙率 ( $g \cdot cm^{-1} \cdot h^{-1}$ ),  $W$ ——集沙质量 (g),  $T$ ——观测时间 (h)。

另外,在退化梭梭林机械沙障恢复试验区布设固定风蚀杆,风蚀杆总长 150 cm,埋深 1 m,外露 50 cm,每 10 cm 打上标志,在风季每月观测 1 次。

### 2.6 土壤含水率

在民勤治沙综合试验站砖厂、17 号井和黑墩子井恢复试验区,靠近梭梭单株的位置选择样点取样,取样深度 1 m,每 20 cm 为 1 层,每层重复取样。用烘干称量法测定土壤质量百分含水率。

## 2.7 数据分析

所有调查和实验研究数据的处理以及有关图表的绘制均在 Microsoft 公司表格处理软件 Excel 中进行。

## 3 结果分析

### 3.1 滴灌恢复技术试验

滴灌供水 2 a 后,滴灌恢复区梭梭林地土壤含水率由对照的 0.74% (梭梭凋萎系数为 0.824%) 增加到灌水 I 的 1.86%、灌水 II 的 2.82%,实现了恢复的第一步 (表 1)。梭梭种群生理活动较对照明显加强,两种灌溉量 I II 条件下,梭梭净光合速率均在上午 11:00 时达到最高,日变化曲线均为单峰曲线;而对照区梭梭净光合速率在上午 9:00 达到最高,在午间下降很快。两种灌溉量 I II 梭梭的日平均净光合速率分别为  $6.48 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 、 $9.34 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ,高于对照梭梭  $5.08 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 。表现为灌水量越大,梭梭光合速率越高 (图 1)。

表 1 退化人工梭梭林滴灌恢复试验

处理	灌水次数	一次灌水量 / ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	灌水量 / $m^3$	0~200 cm 林地土壤含水率 / %
滴灌 I	6	90	540	1.86
滴灌 II	6	150	900	2.82
CK(免灌)	0	0	0	0.74

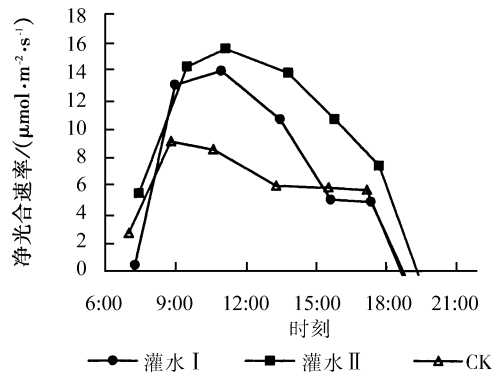


图 1 滴灌退化人工梭梭的光合日变化

3 a 后,梭梭林群落物种数由 7 种增加到 11 种,盖度由 28.7% 增加到 42%,梭梭群落外貌明显改观。用野外便携式防沙风速廓线测量仪测定其风速发现,对照区 2 m 高度风速为  $4 \sim 9 m \cdot s^{-1}$  时,滴灌 I 区梭梭林内 0.5 m 高度风速 (I0.5)、2 m 高度风速 (I2),滴灌 II 区梭梭林内 0.5 m 高度风速 (II0.5)、

2 m 高度风速 (II-2) 较对照 0.5 m 高度风速 (CK-0.5)、2 m 高度风速 (CK-2) 均明显降低 (图 2)。表现为灌水量越大,退化人工梭梭林的防风固沙作用越强。

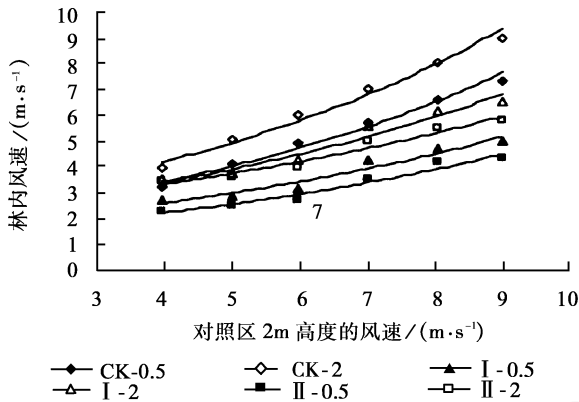


图 2 滴灌退化人工梭梭林内的风速

### 3.2 机械沙障恢复技术试验

在对照区 2 m 高度风速为  $6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时,布设塑料方格沙障、麦草方格沙障和粘土沙障后的退化梭梭林地粗糙度分别达到 4.05, 4.90 和 1.42 cm, 分别是对照退化梭梭林地的 70 倍、84 倍和 24 倍。3 种机械沙障相比,塑料方格沙障和麦草方格沙障改变下垫面的作用更大,粘土沙障较小。塑料方格沙障区近地面层 10、20、30 cm 的风速仅为对照梭梭林对应层的 39%、56% 和 77.1%; 麦草方格沙障区为对照的 39%、51% 和 68.2%; 粘土沙障区为对照的 63.6%、66.6% 和 68.7%。以  $5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  为起沙风速,按  $6 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  风速下 10 cm 高度层风速平均降低比率推算,塑料方格沙障+退化梭梭林的有效防护风速达到  $21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 麦草方格沙障+退化梭梭林  $22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 粘土沙障+退化梭梭林  $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 而退化梭梭林仅为  $7.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (表 2)。

表 2 不同风速下机械沙障+退化人工梭梭林内近地面层的风速及其所占对照区对应层的百分率

对照区 (CK) 2 m 高度的风速 / ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	近地面风速及其占对照区对应层的百分率	塑料方格沙障区			麦草方格沙障区			粘土沙障区			CK		
		10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
6	风速 / ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	1.55	2.30	3.14	1.55	2.10	2.78	2.52	2.74	3.37	3.97	4.11	4.07
	占 CK 对应层百分率 / %	39.0	56.0	77.1	39.0	51.0	68.2	63.6	66.6	82.7	100	100	100
7	风速 / ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	1.64	2.63	3.57	1.58	2.17	2.93	2.88	3.13	3.85	4.47	4.66	4.69
	占 CK 对应层百分率 / %	36.6	56.5	76.0	35.3	46.6	62.6	64.3	67.2	82.1	100	100	100
8	风速 / ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	2.03	2.97	4.00	1.91	2.61	3.58	3.46	3.78	4.40	4.95	5.24	5.31
	占 CK 对应层百分率 / %	41.0	56.7	75.3	38.7	49.8	67.4	69.8	72.1	82.9	100	100	100
9	风速 / ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	2.08	3.17	4.42	2.00	2.97	3.94	3.54	4.21	4.75	5.54	5.96	6.04
	占 CK 对应层百分率 / %	37.6	53.1	73.1	36.1	49.9	65.3	63.9	70.6	78.6	100	100	100
10	风速 / ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	2.17	3.50	5.17	2.13	3.42	4.67	4.44	4.44	5.22	6.44	6.89	6.72
	占 CK 对应层百分率 / %	33.6	50.8	76.9	33.0	49.6	69.4	69.0	64.5	77.7	100	100	100
平均 8	风速 / ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	1.89	2.91	4.06	1.83	2.65	3.58	3.37	3.66	4.32	5.08	5.37	5.37
	占 CK 对应层百分率 / %	37.3	54.3	75.6	36.1	49.4	66.7	66.4	68.1	80.5	100	100	100

在对照区 2 m 高度处的平均风速为  $6.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时,1 a 后的塑料方格沙障区 0~20 cm 的输沙率为  $1.752 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 仅占到对照区  $64.187 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  的 2.73%; 麦草方格沙障区为  $0.0741 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 占到 0.11%; 粘土沙障区为  $12.397 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 占到 19.3%。显然,布设 3 种沙障后,退化梭梭林实现了阻沙固沙作用。其中以麦草方格沙障的阻沙固沙效果最好,塑料方格沙障次之,粘土沙障最差。另外,机械沙障的布设也改变梭梭林内风沙流的垂直分布 (表 3)。

表 3 机械沙障+退化人工梭梭林内不同层次的输沙量

类型	指标	近地面层 / cm										
		0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20	0~20
塑料沙障区	输沙量 / ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	0.282	0.211	0.367	0.175	0.085	0.076	0.197	0.0986	0.1657	0.0941	1.752
	百分率 / %	19.21	14.33	25.00	11.89	5.79	5.18	13.41	6.71	11.28	6.40	100
麦草沙障区	输沙量 / ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	0	0	0.0002	0.0029	0.001	0.0163	0.0239	0.0102	0.009	0.0106	0.0741
	百分率 / %	0	0	0.23	3.97	1.40	21.96	32.24	13.79	12.15	14.25	100
粘土沙障区	输沙量 / ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	2.568	1.785	1.520	1.350	1.150	0.958	0.949	0.802	0.669	0.646	12.397
	百分率 / %	20.71	14.40	12.26	10.89	9.28	7.73	7.65	6.47	5.39	5.21	100
(CK)	输沙量 / ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	31.714	12.761	7.175	4.709	2.895	1.793	1.257	0.885	0.557	0.443	64.187
	百分率 / %	49.41	19.88	11.18	7.34	4.51	2.79	1.96	1.38	0.87	0.69	100

注:对照梭梭林 2 m 高度风速为  $6.28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

机械沙障布设后,也保护了梭梭等固沙植物免遭风蚀,同时增加雨水的下渗和积累。同对照相比,布设塑料方格沙障和麦草方格沙障 1 a 来,梭梭、沙拐枣 (*Calligonum mongolicum* Turcz.) 等灌木免遭风蚀,而对照梭梭根系风蚀 1~3 cm;第 2 年,梭梭、沙拐枣的新梢生长量已高出对照 10%~30%,但是 1 年生植物的多度和盖度有所下降。布设粘土沙障后,梭梭根系

新风蚀 5~10 cm,是对照区梭梭的 2~3 倍,而 1 年生植物在强烈风蚀下无法定居生长。布设塑料方格沙障、麦草方格沙障和粘土沙障的第 2 年,退化梭梭林地含水率由对照的 1.27% 分别提高到 1.36%、1.52% 和 1.56%,从而说明布设机械沙障可使梭梭林地土壤含水率提高。3 种机械沙障相比,以粘土沙障区和麦草方格沙障区提高较多(表 4)。

表 4 机械沙障+退化人工梭梭林地土壤含水率

类型	土层 /cm										平均值
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	180~200	
麦草方格沙障	2.03	1.65	2.53	1.88	1.47	1.40	1.28	1.04	1.00	0.89	1.52
塑料方格沙障	1.30	1.19	1.28	1.32	1.22	1.26	1.37	1.35	1.68	1.61	1.36
粘土沙障	2.02	2.31	2.87	2.09	0.93	1.18	1.06	1.10	1.06	0.96	1.56
对照梭梭林	1.02	1.28	1.64	1.38	1.29	1.14	1.13	1.20	1.32	1.28	1.27
原生流动沙丘	2.52	2.82	2.49	2.14	2.18	2.50	2.55	3.07	2.76	2.52	2.56

3.3 春灌恢复技术试验

春季灌水后 2 d 和年底测定的 0~100 cm 土壤含水率分别为 11.94%、5.01%,分别是对照退化梭梭林地的 4.2 倍、1.8 倍,因而春季 1 次灌水,可使退化梭梭林地土壤含水率在全年保持较高值(表 5)。

表 5 春灌退化人工梭梭林地的土壤含水率

处理	土层深度 /cm					平均值	
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100		
灌水	灌后 2d	6.36	12.08	14.5	16.89	9.83	11.94
	年底	1.40	2.94	6.42	6.82	7.48	5.01
对照	1.07	1.78	1.23	1.50	8.66	2.85	

春灌 3 a 后,梭梭的总体长势好于对照区,其中平均高生长量达到 18.22 cm,是对照的 1.95 倍;当年新梢生长量 31.9 cm,是对照的 1.27 倍;长径和短径生长量分别为 22.67 cm 和 10.87 cm,是对照的 2.88 倍和 5.81 倍。不同高度梭梭对于水分的响应不同,整体长势以林木高度 <1 m 的梭梭最为显著,>2 m 的最差,1~2 m 的次之(表 6)。同时,春灌也改变了梭梭的物候期,春灌梭梭发芽时间较对照提前约 10~15 d。

表 6 春灌与对照区退化人工梭梭的生长比较

处理	林木高度 /	高生长 /	新梢生长 /	横向生长 /cm	
	m	cm	cm	长径	短径
春灌	>2	12.6	30.1	45	11.8
	1~2	16.8	33.8	11.6	16.4
	<1	25.25	31.8	11.4	4.4
	平均	18.22	31.90	22.67	10.87
对照	>2	10	28.1	12.4	8.4
	1~2	10	24.4	3	1.2
	<1	8	22.9	8.2	4
	平均	9.33	25.13	7.87	1.87
春灌 对照		1.95	1.27	2.88	5.81

春灌 3 a 后,梭梭林群落组成物种由对照的 4 种增加到 14 种,且优势种冠幅及高度生长量是对照区的 2~3 倍;梭梭林下植被总盖度更是比对照区高出 27.46%,约是对照区的 2 倍。先前裸露出地面的流沙重新固定并开始形成结皮,梭梭林生态功能也逐渐恢复。在 2 m 高度的风速为  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时,春灌梭梭林内的输沙量仅为  $3.423 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,而对照区达到  $94.791 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,是春灌梭梭林的 27.7 倍(表 7)。

表 7 春灌退化人工梭梭林内不同层次的输沙量

类型	项目	近地面层 /cm										
		0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20	0~20
对照区	输沙量 /( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	13.563	17.820	13.221	10.569	8.556	7.779	7.023	6.441	5.487	4.332	94.791
	百分率 /%	14.31	18.80	13.95	11.15	9.03	8.21	7.41	6.79	5.79	4.57	100
补灌区	输沙量 /( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	0.432	0.507	0.504	0.348	0.327	0.279	0.129	0.138	0.357	0.402	3.423
	百分率 /%	12.62	14.81	14.72	10.17	9.55	8.15	3.77	4.03	10.43	11.74	100

备注:对照 2 m 高度风速为  $10.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

### 3.4 结皮改造恢复技术试验

结皮改造的集雨模式,只是结皮的局部破坏处理,并不影响其抗风蚀的能力和固沙作用,且可截获大雨形成的径流。2003年、2004年试验期间,每年能集流 2 次,每株年集水约  $0.5 \text{ m}^3$ ,相当于提供一次充足的灌水。处理 1 a 后梭梭植株根部的土壤含水率提高到 1.77%,2 a 后提高到 1.95%,为梭梭恢复正常生长创造了基本水分条件(表 8)。

雨水下渗改造模式完全破坏了障间结皮,处理结果使退化梭梭林又回到造林初期,在新建沙障的

集雨作用下,降雨能形成深度下渗,提高了天然降水的利用率,改造 1 a 后,行式沙障梭梭植株根部的土壤含水率由对照的 0.65% 提高到 0.77%,2 a 后提高到 1.04%;方格沙障梭梭林由对照的 1.0% 左右提高到 1.41% 和 1.60% (表 8)。但是在 4~6 a 后,新建沙障梭梭林内会形成新的结皮,为此需要在障间靠近梭梭植株的区域加埂,可以阻截降水,延长雨水在沙面的滞留时间,从而延长改造结皮工程发挥作用的时间。

表 8 改造结皮对退化人工梭梭林土壤含水率的影响

试验处理	处理 后/a	土壤层次/cm									均值
		0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	
行式沙障结皮全处理	1	0.40	0.69	0.90	0.71	0.67	0.90	0.84	1.03	0.81	0.77
	2	0.74	0.89	1.22	1.01	1.14	1.21	1.16	1.05	0.93	1.04
行式沙障对照	1	0.39	0.62	0.63	0.54	0.60	0.63	0.78	0.76	0.88	0.65
	2	0.43	0.56	0.72	0.55	0.63	0.60	0.81	0.74	0.92	0.66
方格沙障结皮全处理	1	0.69	1.43	1.34	1.38	1.49	1.56	1.61	1.59	1.60	1.41
	2	0.58	1.58	1.76	1.57	1.66	1.78	1.82	1.79	1.85	1.60
方格沙障对照	1	0.63	0.98	0.98	1.01	1.11	1.08	0.89	1.02	1.14	0.98
	2	0.62	1.04	0.96	1.11	1.14	1.12	0.92	0.98	1.16	1.03
结皮局部处理集流	1	0.91	1.68	1.86	1.90	1.95	2.02	1.92	1.90	1.80	1.77
	2	2.57	2.84	2.44	1.95	1.66	1.53	1.67	1.49	1.39	1.95
流动沙丘		0.38	2.82	2.49	2.14	2.18	2.50	2.55	3.07	2.76	2.32

## 4 小结和讨论

退化生态系统的恢复作为当前研究的热点问题之一,其本质问题是恢复生态系统的必要功能并使之具有自我维持能力<sup>[21]</sup>。甘肃民勤的天然梭梭林在人为的直接破坏下早已经消失殆尽,而人工梭梭林基本分布在绿洲边缘的流动沙丘,伴随地下水位的下降和林地土壤含水率的降低,出现不同程度的衰败,难以发挥防风固沙的作用。根据地化循环和水分平衡原理,甘肃民勤人工梭梭林已经失去了持续发展的基础,其恢复重建成为防沙治沙领域的一大难题。难点之一是其恢复的目标的确定,按照恢复生态学的理论和方法,恢复目标应该是很早以前的天然植被景观,而退化林地曾经是植被稀少的沙漠;若按照近期植被作为恢复目标,有限的降水(50~150 mm)维持的梭梭林根本无法实现防风固沙的要求,因而必须采取人工措施进行恢复。

滴灌、机械沙障、春灌和结皮改造等 4 种技术在退化人工梭梭林恢复中应用均取得了明显的恢复效

果。4 种技术措施相比,滴灌恢复技术不论在理论上还是生产上均可行,由于投入高,当前推广应用有一定困难,是未来恢复重建退化固沙植被的主要措施;机械沙障在退化人工梭梭林中布设后,在有限的承载密度下实现防风固沙功能,而且投入少,是当前退化人工梭梭林恢复的理想措施;春灌恢复技术的恢复效果最明显,工程投资少,技术简单,但在水资源十分紧张的干旱地区不宜推广,可利用城市污水在城市边缘推广应用;集雨恢复技术通常在半干旱地区应用,由于沙生植物需水少,很少的集流也能起到明显作用,同时降水的集中分布以及退化梭梭林中天然集流场(厚结皮)也为集流提供了条件,因而改造结皮的恢复技术可作为补充措施在降水 100 mm 以上地区应用。

机械沙障是工程治沙的主要措施之一,主要用于年降水量少(250 mm 以下),地下水位较深,植物生长受到限制的地区,是生物治沙的辅助措施<sup>[20]</sup>。但是,伴随沙漠地区地表径流的减少和地下水位的下降,荒漠植被因缺水而不断退化。为此,再一次

(第一次是固沙造林)采用机械措施以结合退化植被实现防风固沙功能,因而也不再是辅助措施。由于材料寿命的不同,3种机械沙障布设后防护作用均有一定的变化,其中塑料方格沙障变化最小,麦草方格沙障变化最大,一般4~5 a后失去作用;粘土沙障在开始的1~2 a风蚀反而增强,形成风蚀槽,一般3 a后风蚀槽达到实际平衡,在槽面形成结皮,提高了防风固沙能力,从投入以及长期效果考虑较前两种沙障更具推广价值。

集(雨)流造林是全球各地半干旱地区普遍采用的造林技术,但在沙漠地区,由于降水量少(一般在150 mm以下),集流造林存在争议。但是,结皮改造的集雨试验发现土壤含水率明显提高。黄丕振<sup>[22]</sup>、刘钰华<sup>[23]</sup>等人,在平均降水量为116.5 mm的莫索湾用犁开沟集雨营造梭梭试验表明,造林第2年各项生长指标略低于秋灌造林,但其树高和新枝长度均超过天然梭梭同龄林的1倍以上,单株地上部分生物量相当于同龄天然林木的13倍,22 m<sup>2</sup>面积的集水坑所截获的径流量完全能满足1株梭梭的生长需要。

4项恢复技术为退化梭梭恢复进行了很好的探索,今后还需继续开展中试和推广工作,研发适宜沙区的节水产品、进一步研究沙丘梭梭林灌水恢复的技术体系及其制度,研发经济、实用的新型机械沙障以及固定沙面、集流雨水的化学固沙剂等。

## 参考文献:

- [1] Edwin D M. 世界沙海的研究 [M]. 赵兴梁译. 银川:宁夏人民出版社, 1993: 440~441
- [2] B J 里昂节夫. 卡拉库姆沙漠的梭梭林 [M]. 北京:科学出版社, 1960: 3~67
- [3] 刘瑛心. 中国沙漠植物志. 第一卷 [M]. 北京:科学出版社, 1985: 342~343
- [4] 胡式之. 中国西北地区的梭梭荒漠 [J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1963, 1(1~2): 1~108
- [5] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志, 第25卷, 第二分册:被子植物门 [M]. 北京:科学出版社, 1979: 139~141
- [6] 刘瑛心. 中国沙漠植物志. 第1卷 [M]. 北京:科学出版社, 1985: 343
- [7] 王玉梅. 甘肃省的梭梭荒漠林 [J]. 中兽医医药杂志, 2003年专辑(我国西部荒漠化生态环境及其治理论文集): 111~113
- [8] 马海波, 马徽东, 张金宝, 等. 我国梭梭草地资源分布与利用现状 [J]. 内蒙古草业, 2001(2): 29~31
- [9] 谭德远, 郭泉水, 王春玲, 等. 寄生植物肉苁蓉对寄主梭梭生长及生物量的影响研究 [J]. 林业科学研究, 2004, 17(4): 472~478
- [10] 甘肃省民勤治沙综合试验站. 甘肃沙漠与治理 [M]. 兰州:甘肃人民出版社, 1974: 44~64, 80~83
- [11] 贾志清, 卢琦, 郭宝贵, 等. 沙生植物——梭梭研究进展 [J]. 林业科学研究, 2004, 17(1): 125~132
- [12] 丁声怀, 王继和. 民勤地区梭梭固沙林衰亡原因的初步研究 [J]. 甘肃林业科技, 1985(3): 56~59
- [13] 刘家琼. 对甘肃民勤人工梭梭林死亡原因的几点意见 [J]. 中国沙漠, 1982, 2(2): 44~46
- [14] 李爱德, 赵明, 王耀林, 等. 民勤地区不同林龄梭梭林地水分平衡研究 [A]. 见:王继和. 甘肃治沙理论与实践 [M]. 兰州:兰州大学出版社, 1999: 78~83
- [15] 王继和, 马全林. 民勤绿洲人工梭梭林退化现状、特征与恢复对策 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(2): 2107~2112
- [16] 黄丕振. 人工恢复梭梭林途径初探 [J]. 新疆林业科技, 1986(4): 17~23
- [17] 刘钰华, 刘光宗. 北疆荒漠梭梭林恢复和发展途径的探讨 [J]. 新疆林业科技, 1985(2): 7~15
- [18] 常金保, 方天纵. 梭梭林人工更新新技术优化研究 [J]. 内蒙古林学院学报, 1995(2): 128~140
- [19] 郭泉水, 谭德远, 刘玉军, 等. 梭梭对干旱的适应及抗旱机理研究进展 [J]. 林业科学研究, 2004, 17(6): 796~803
- [20] 张奎壁, 邹受益. 治沙原理与技术 [M]. 北京:中国林业出版社, 1989: 111
- [21] 任海, 彭少麟. 恢复生态学导论 [M]. 北京:科学出版社, 2002: 3~23
- [22] 黄丕振, 刘志俊, 崔望诚. 梭梭集水造林初步研究 [J]. 新疆农业科学, 1985(6): 23~25
- [23] 刘钰华, 张纯, 刘晋. 梭梭的径流造林技术 [J]. 新疆林业, 1987(5): 23