

文章编号 1003-7578(2006)04-193-06

控制沙尘暴的植被快速建设技术途径研究^{*}

——以库布齐沙漠东缘为例

杨俊平¹，闫德仁²，刘永定³，胡春香³

(1. 北京林业大学 北京 100083 2. 内蒙古林业科学研究院 呼和浩特 010010 3. 中国科学院水生生物研究所 武汉 430072)

提 要：本文根据恢复生态学和景观生态学的基本原理，遵循自然规律和经济规律，依据当地生态条件和地表流沙分布状况，从水土资源优化配置角度出发，结合沙地植物自然分布的趋水性特征，采取以封育措施为主，因地制宜适度造林种草育藻，构建了一种创新的乔灌草藻四为一体的综合快速复合治沙模式，初步实现了脆弱生态系统趋于稳定，生物多样性明显增加，沙尘暴危害被有效遏制的目标。

关键词：沙尘暴；技术途径；植被恢复；库布齐沙漠

中图分类号：X43

文献标识码：A

沙尘暴是指强气流作用于干燥沙质地表而形成的能见度很低的灾害性天气现象。究其沙尘暴的形成原因，一般可归结为二大类。其一是气候因素，主要是干旱和大风。其二是地表状况，主要指地表裸露和覆盖程度。就当前人类科学技术水平和经济条件而言，人类还难以调控大范围气候状况，特别是诸如大气环流等大尺度气候因素。但是，人类可以大范围改变地表状况。比如，在适宜气候条件下，通过大范围封沙育林和植树造林种草，可以大规模增加地表植被，从而避免大风与地表直接接触，进而达到控制或减轻沙尘暴危害的目标。因此，控制沙尘暴的关键技术途径之一就是增加地表植被覆盖度，减少风动力对沙物质的直接接触。然而，地表裸露的沙漠或沙漠化地区一般都干旱缺水，建设植被困难。采取何种有效和创新措施，能够在沙漠地区迅速恢复和重建植被是当前全球防止沙尘暴共同关注的热点问题。针对上述问题，作者从2001年开始在库布齐沙漠地区开展了以控制沙尘暴、防止土地沙漠化为主要目标的综合快速植被建设技术途径研究。通过5年研究，取得了一些控制沙尘暴、防止土地沙漠化的阶段性成果。

1 研究地区自然概况

库布齐沙漠位于鄂尔多斯高原北部，黄河南岸。北与包头市、土默特右旗、乌拉特前旗隔黄河相望，东与准格尔旗为邻，南靠东胜市，西接杭锦旗。

库布齐沙漠地带性土壤为栗钙土，非地带性土壤为风沙土、盐碱土、草甸土和灌淤土。主要植被类型有半干旱草原植被、草甸草原植被和干草原沙生植被。森林植被主要以人工林为主。库布齐沙漠丘间低地分布有大面积杨树、柳树，固定和半固定沙丘分布有沙柳、锦鸡儿。

本区水资源储量大、水质好、分布广。境内地表水平均径流量1.36亿m³。黄河过境流程178.5km，年均径流量248亿m³。“十大孔兑”穿过全旗境内流入黄河，总流域面积63.34hm²，年平均径流量1.55亿m³。地下水储量5.33亿m³。大气降水补给量3.2亿m³。

研究地区位于库布齐沙漠东缘的达拉特旗，白土梁林场解放滩作业区。地理位置是北纬40°21'30"—22'30"，东经109°50'30"—51'50"。研究区地形为鄂尔多斯高原北缘的库布齐沙漠，黄河以南的二级阶地，

* 收稿日期：2006-03-01。

作者简介：杨俊平（1962～）男，研究员，在读博士，主要从事荒漠化防治研究。

地势南高北低,起伏不平。立地类型主要有流动沙地、固定、半固定沙地和丘间地。气候特点属中温带大陆性季风气候。年平均降水量一般在 240—360mm,年蒸发量平均 2160mm,极端最高气温 40.2℃,极端最低气温 -34.5℃,≥10℃ 年平均积温为 3197.4℃,无霜期为 130—140 天,8 级以上大风日数 27 天,扬沙日数 58 天,多出现在 3—5 月,年平均风速 3.3m/秒,最大瞬时风速达 30m/秒。

研究区植物种主要有寸苔草、羊草、披碱草、油蒿、沙米、猪毛菜、苦豆子、巴西黎等。主要树种为杨树、沙柳、柠条、沙枣、红柳等。

研究区土壤类型为风沙土和盐化草甸土(表 1)。丘间地土壤 pH 值在 9.2 以上,对植物生长极为不利。所以,在进行植物固沙时应充分考虑研究区土壤 pH 值的差异,选择适当的植物品种建立人工植被。

表 1 研究区土壤肥力特征

Tab. 1 The soil nutrients features of the studied area

立地条件	土层 cm	pH 值	有机质 %	速效磷 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	速效氮 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$
覆沙丘间地	0—5	9.65	0.27	4.75	18.3
	5—40	9.30	0.26	5.90	35.2
盐化丘间地	0—20	9.64	0.37	7.85	18.3
	20—40	9.26	0.16	5.70	16.9
流沙地	0—20	9.28	0.21	5.90	14.9

表 2 研究区土壤样本盐分含量

Tab. 2 The soil salt contents of the studied area

立地条件	土层 cm	pH 值	全盐量 %
平缓覆沙地	0—5	9.64	0.067
	20—30	9.26	0.011
盐化丘间地	0—5	9.92	0.17
	10—20	9.17	0.029

本区地下水水质为钠质硫酸盐重碳酸盐型水,尽管土壤盐分含量不高(表 2),但土壤 pH 值高达 9.2 以上,危害性大,限制了很多植物的正常生长。

2 土地沙漠化原因分析

根据对库布齐沙漠形成的地质构造、气候变化和生态环境变迁等综合因素的研究,库布齐沙漠是自然和人为活动共同作用的结果。据史料记载,早在唐代,鄂尔多斯北部陆续出现被称作“普纳沙”和“库结沙”的沙丘地带。在清代光绪末年,由于实施“新政”,“开放蒙荒”、“移民实边”政策,使库布齐沙漠的扩大和蔓延进一步加快。在 20 世纪 20 年代末至 30 年代初,是近百年来流沙面积最广的时期,几经固定与活化,形成今日之库布齐沙漠景观。所以,库布齐沙漠的形成有地质、气候因素,也有人类活动导致沙漠扩展、活化的因素。而过度放牧和垦荒是造成现代土地沙漠化扩展的主要原因。

3 植被恢复的技术途径与效果

沙尘暴是一种自然现象,同时也是一种自然灾害,并且和土地沙漠化密切相关。减少沙尘暴发生的基本技术途径就是采取综合措施恢复或建立沙地植物生态系统,使风动力一方面不能直接作用于沙质地面,另一方面特别是乔灌木植被可有效降低地表风速,起到防止沙尘暴和控制土地沙漠化发生的作用。

3.1 技术思路

根据研究地区土地沙漠化成因和自然条件特点,建立沙地植被的总体技术思路是:根据恢复生态学和景观生态学的基本原理,遵循自然规律,依据沙地植物自然分布的趋水性特征,强调沙地植物的活力和恢复力,以封育措施为主,因地制宜的进行人工造林种草,并结合工程固沙措施等,增加或保护沙地物种多样性,建立多树种、多功能的防护体系,增强沙区植物的综合生态防护作用。同时,根据沙区水分特点和风沙流运移规律,按照“总体规划、分区治理,因地制宜、突出重点,优化植被、适度造林。”的可持续发展理念,采取水土资源优化配置和节水型植被建设措施,实现沙地植被快速恢复,有效遏制沙尘暴危害的目标。

3.2 技术措施

3.2.1 人工造林

根据立地类型的差异,构建乔灌草固沙防护体系。树种选择为沙柳、柽柳、樟子松、柠条等。在半固定沙地主要栽植樟子松针叶树,流动沙丘或植被盖度小于 15% 的半固定沙地栽植沙柳和柠条或人工雨季撒播沙蒿、沙打旺等;丘间地栽植柽柳。

主要技术环节 选择适宜树种—选择良种壮苗—苗木全株浸水—早栽、深栽—适当防护。根据沙地水分变化,紧密结合沙地造林的主要技术环节,总结了“早栽、深栽、壮苗、浸水”等综合配套措施,明显提高了沙地造林的成活率和保存率。

在流动沙丘,按照沙丘高度和坡度的差异,采取分区造林模式,建立固沙阻沙林带,适度恢复沙地植被。即沙丘顶部到中上部保留原貌,不进行植被建设,而是利用沙丘的渗水、保水功能,作为沙丘中下部的水源补给区;沙丘中到下部的1/2处,重点进行造林活动,固定流沙。

3.2.2 生物沙障固沙

根据我们的测定,流动沙丘迎风坡中部、下部常年处于风蚀状态,年风蚀深度10~30cm。其中,迎风坡中部或偏上部位,年风蚀深度20~30cm;沙丘迎风坡下部,年风蚀深度10cm左右。所以,在流动沙丘迎风坡设置沙障是提高造林成活率和保存率的重要措施。为此,我们以沙柳为材料,采取“早栽、深栽、浇水”等措施,同时配合平铺式沙障或草方格沙障,防止风蚀,建立沙柳生物活沙障。

3.2.3 围栏封育

对物种比较丰富的丘间地或固定、半固定沙丘进行封育管理,严禁放牧。利用沙地植物的活力和恢复力,恢复天然植被。

3.2.4 藻类结皮固沙

在库布齐沙漠地区采集天然野生藻种,通过工厂化培育,将藻种接种到沙丘表面,形成藻类结皮,起到固沙作用。根据立地条件和藻类生物生态学特性,我们因地制宜建立了五种类型的乔灌草藻复合治沙模式。这五种模式分别是丘间地沙柳-禾草-藻类模式,流动沙地草方格樟子松-沙蒿-藻类模式,半固定沙地杨树-禾草-藻类模式,半流动沙地羊柴-藻类模式,半流动沙地禾草-藻类模式等,都取得了比较理想的治沙效果。在沙丘上接种藻类后,到第九天就可看到藻类结皮。通过强度检测发现,人工藻类结皮在22天就可以抗4.3级风力。且随着时间增加,藻类结皮抗风蚀能力逐步增强。

3.3 效果调查与评价

3.3.1 人工造林和生物沙障

沙柳具有耐平茬和耐沙埋的生物学特性,而立地条件对沙柳生长具有明显的影响。从表3中可以明显看出,丘间地不适宜沙柳的生长,而20cm以上的平缓覆沙地或沙埋区或流动沙地中下部适宜沙柳生长。

沙地造林是防沙治沙工作中最重要的生物措施,但是,由于沙地水分的限制,科学合理的设计尤为重要。按照沙丘高度和坡度的差异,并采取分区造林模式,建立固沙阻沙林带,适度恢复沙地植被。从表4中看出,流动沙丘部位对沙柳成活率具有明显的影响。沙埋区或流沙中部,成活率、生长量都较高,而风蚀区或沙丘底部披碱草覆盖大于20%的造林立地,不利于沙柳成活和生长。为此,选择流动沙丘造林时,

沙柳适宜在草本植被盖度20%以下的部位,在没有植被的流沙中下部最适宜进行沙柳造林。因为草本植被盖度过大,特别是多年生草本植物的发育,对林地土壤水分的竞争非常强烈,而新栽植的沙柳新生根对水分的竞争能力相对较弱,即便在造林初期已经成活也竞争不过多年生草本植物而导致死亡。

灌草复合植被是提高沙地生态效益的主要植被类型,因此,在造林设计时,充分考虑沙地水分状况,采取小株距宽行距造林,即能够形成林草植被,又能尽早发挥灌木的效果。从表5看出,沙地造林具有较高的草本生物量,植被覆盖度也明显增加,其防沙治沙效果更明显。而没有覆沙的丘间地不仅生物量低,植被恢复的效果也较差。

3.3.2 封育效果调查

从我们的调查结果看,封育禁牧措施对恢复草本植被具有明显的作用(表5)。从表6中看出,丘间地披碱草植被经过3年的自然恢复,逐步延伸到沙丘顶部,植被盖度也达到15%左右,可见,在多年生植物较多的地块^{五万数据},自然恢复植被能够起到事半功倍的效果。

表3 立地类型对沙柳的影响

Tab. 3 The effects of difference site types on the shrub willow grown

立地类型	林龄 a	成活率 %	平均高生长量 m	平均冠幅 cm	平均分枝数
					(个)
碱化丘间地	3	30	1.34	60×65	4.4
沙质丘间地	3	45	1.90	95×95	6.6
覆沙丘间地	3	95	2.60	122×144	9.6
背风坡沙埋区	3	95.5	3.07	238×194	22.5
平缓沙地	3	94.7	2.25	140×150	10.5
迎风坡中下部	1	93.7	1.50	--	9.9
迎风坡下部	1	44.4	0.35	--	7.2

表4 沙丘不同部位对沙柳生长的影响

Tab. 4 The effects of difference position of the sand dune on the shrub willow grown

流动部位	原生植被	树种	成活率	高生长
			%	cm
流沙中下部沙埋	无	沙柳	95.5	78
流沙中部风蚀区	无	沙柳	74.5	30.2
流沙中部(平均)	无	沙柳	93.7	100~120
流沙底部	披碱草覆盖10%	沙柳	62	44~55
流沙底部	披碱草覆盖20%	沙柳	45	24~42
流沙底部	披碱草覆盖30%	沙柳	26	21~34

表5 灌草复合植被效果调查(造林密度 $1 \times 4\text{m}$)Tab. 5 The investigation of the shrub - grass vegetation(density $1\text{m} \times 4\text{m}$)

立地类型	样方 m^2	植物种 (株)	盖度 %	草本平均高 cm	草本生物 量鲜重 g
碱化草甸	2×2	沙柳 2 紫丹 46 猪毛菜 100 披碱草 68	10	35	142
半固定沙地	2×2	沙柳 2 沙米 60 披碱草 128	25	50	360
覆沙地	2×2	沙柳 1 决明 14 拂子茅 304	45	70	343
覆沙地	2×2	沙柳 2 草木犀 4 拂子茅 244 苦菜 55	100	83 - 145	352
覆沙地	2×2	沙柳 1 紫丹 4 苦菜 12 拂子茅 362	100	110	940
覆沙地	2×2	沙柳 2 披碱草 720	100	54	1400

为进一步了解多年生植物侵入沙丘后的生长情况,我们进行了定位观测,结果表明,沙丘上披碱草年生长的变化幅度差异非常大,变化范围 $0.5\text{m} - 6.0\text{m}$ (表7)。生长形式有两种。一种呈线形分布,即从观测点开始成一条直线向前生长;另一种为带状形生长,即从观测点开始成长方形向前多行扩展生长。可见,一旦披碱草侵入沙丘,凭借披碱草强大的根蘖性繁殖,很快就能固定沙丘。

从表8中看出,禁牧封育对草本植物生长具有明显的促进作用。封育两年后,封育区植物品种少量增加,而生物量则显著提高。

在沙地建立人工植被系统最重要的是能够自然更新,从而为形成相对稳定的自然景观提供物质基础。为此,我们对项目区大白柠条的自然更新状况进行了调查(表9)。结果表明,随着离种源

地距离的增加,自然更新的苗木减少。距离种源地 200m 以外,几乎没有更新的苗木生长,而距离种源地 100m 内,更新苗木 $6 - 7$ 株/ 100m^2 ,并且,苗木大小不等,存在明显的自然更新过程。因此,从自然更新的角度考虑,如果按 50m 灌木种源带进行植被建设,通过封育管理能够形成近自然的沙地植被景观。

表9 沙地大白柠条自然更新效果(样方 $10 \times 10\text{m}$)

Tab. 9 The natural regeneration of Korshinsk Peashrub the in sandland

种源地 距离	树 种	灌木密度 $\text{株}/100\text{m}^2$	高度 m	冠幅 m	枝条数 丛	林龄 a
种源地	大白柠条,伴生 沙蒿 25 丛	11/100 m^2	1.2	1.5×1.8	26	5 - 6 年以上, 全部结实
			1.5	2.0×2.2	27	
			1.3	1.6×1.8	18	
			80	0.3×0.5	3	3
50m	侵入杨树人工林地的大 白柠条,伴生沙蒿 4 丛	6/100 m^2	90	0.6×0.8	9	4
			120	1.0×1.2	20	5 - 6 全部结实
			50	0.5×0.7	4	
			27	0.2×0.2	8	2 - 3
100m	侵入杨树人工林地的大 白柠条,伴生沙蒿 1 丛	7/100 m^2	50	0.2×0.3	3	2 - 3
			80	0.5×0.8	9	3
			90	0.6×0.7	7	3 - 4
			110	1.2×1.2	13	5 - 6
150 - 200m	侵入杨树人工林的大白 柠条,伴生沙蒿 1 丛	1/100 m^2	130	0.6×0.8	6	4 - 5
			60 - 90	0.6×0.8	5	3 - 4

表6 沙地封育对草本植物生长的影响

Tab. 6 The affection of fencing in sandland on the grass grown

立地类型	样方 m^2	植物种 (株)	盖度 %	高度 cm	生物量鲜重 g
沙丘顶部	1.0×1.0	沙米 60 披碱草 29	15	20 - 30	99
沙丘中上部	1.0×1.0	沙米 8 披碱草 74	30	45 - 50	235
沙丘中下部	1.0×1.0	披碱草 320	50	40 - 50	388
平缓覆沙地	1.0×1.0	披碱草 320	100	65 - 70	1480

表7 沙丘披碱草生长调查

Tab. 7 The investigation of the grass grown in the sandland

样 地	生长距离 m	平均	分枝数(个)	平均
沙丘中下部	1.5 2.0 1.2 4.0 2.5 0.5	1.95	30 6 3 13 9 1	10.3
沙丘顶部	5 4 5 5 2 6 5 1.5 4 3.5	4.1		

表8 封育对草本植物生长的影响

Tab. 8 The affection of fencing in sandland on the grass grown

立地类型	样方 m^2	植物种 株数	盖度 %	平均高度 cm	生物量 鲜重 g
盐化 放牧区	0.5×0.5	苔草	80	15	62
草甸 封育区	0.5×0.5	苔草 蒲公英 20	100	30	160
半固定 放牧区	1×1	披碱草 60 沙米 1	10	26	36
沙地 封育区	1×1	披碱草 75 沙米 1	25	44	133

3.3.3 荒漠藻生物结皮的形成

人工接种是促进流动沙地藻类结皮形成的重要措施之一。从我们的测定结果看,人工接种处理,流动沙地能够在短期内形成结皮,结皮厚度1~2mm左右,结皮颜色为绿色,并且,在显微镜下观察,形成的结皮同样是以藻类丝体将沙粒胶结在一起,形成藻类沙粒结皮。

从图1可以看出,人工接种后,藻类生物量经历了一个急剧下降的时间,但是,在接种4天后则藻类生物量迅速增加,说明培养的藻类品种从培养液到流动沙地(固体环境)之间有一个短期的适应过程。而后一直到13天左右,生长曲线又开始出现下降的趋势,但此时,人工结皮已经形成,即在流动沙地表面形成绿色结皮层。

4 结论和讨论

在降雨稀少、风沙危害严重的库布齐沙漠地区,因地制宜采取封沙育林育草,选择抗性强的适宜树种进行节水型人工造林,同时在流动半流动沙丘栽植生物活沙障以及人工接种藻类固沙等多种措施是迅速恢复植被的有效途径。

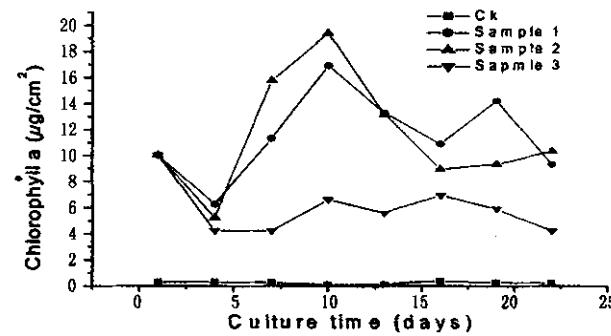
防治沙尘暴最根本的措施是保护、恢复和建立与自然环境条件相适应的植被。特别是生物的地带性资源,在维系生态系统结构方面具有不可替代的作用。充分利用沙地已有植被的活力和恢复能力,达到自我恢复、协调发展的目标,同时根据沙地植物自然分布规律,建立沙地近自然林业,是建立具有稳定性和能够可持续经营的生物生态系统的前提和基础。

虽然我国沙尘暴的发生源区主要在北方农牧交错带和草原区,但是,由于受气候大环流的影响,防治沙尘暴不仅是某一地区和某一国家的事情,而是全球共同的责任。

违背自然规律的生产方式和经营模式是诱发了沙尘暴频繁发生的重要动力。一方面对草场的过度利用,超过土地本身的承载力;另一方面违背因地制宜原则,盲目利用。其直接后果导致原生植被的破坏,形成土地沙漠化。所以,要有效的减少沙尘暴的危害,必需改变生产方式,调整产业结构。改变单纯以农业或牧业经济为主体的经济结构,并从政策上制定科学合理的土地利用规划,以水资源合理利用为核心,优化土地利用结构,发挥土地资源的整体潜力,做到人口、资源、环境和经济的协调,促进生态环境的良性发展。

参考文献

- [1]闫德仁,杨俊平.沙尘物质的来源与防治途径[J].干旱区资源与环境.2004(增刊).120~123.
- [2]闫德仁,杨俊平等.荒漠藻固沙结皮试验研究初报[J].干旱区资源与环境.2004.18(5):147~151.
- [3]闫德仁.库布齐沙漠东缘沙物质特征的研究[J].内蒙古林业科技.2003(2).44~45.
- [4]闫德仁.沙地植被近自然配置与恢复技术探讨[A].中日学术研讨会文集.内蒙古大学出版社.2002.
- [5]闫德仁.库布齐沙漠东缘沙地植被近自然恢复研究[J].内蒙古林业科技.2004(1).3~5.
- [6]闫德仁.内蒙古土地沙漠化成因与防治对策探讨[A].中国治沙暨沙产业研究.石油工业出版社.2003.316~319.
- [7]闫德仁,辛在柱,王志国.库布齐沙漠东缘沙柳适地适树调查研究[A].林业科学技术在生态建设中的作用(内蒙古林科院建院50年研究文集 279~282)[C].内蒙古大学出版社.2004.
- [8]闫德仁.鄂尔多斯气象灾害与沙漠化防治对策[J].内蒙古林业科技.2005(3).



CK 流沙区(drift sand ,ck) ;sample 1 沙柳生长区(shrub willow) ;
sample 2 碱草生长区(grass) ;sample 3 :流沙区(drift sand)

图1 草 - 灌区藻类接种后的生长曲线

Fig. 1 The grown curve of inoculate the
alga on the grass and shrub area

Study on The Technology Ways of Repid Recovering Vegetation for Controlling Sanddust Storm

——Example for the East Part of Kubuqi Desert

YANG Jun - ping¹, YAN De - ren², LIU Yong - ding³, HU Cun - xiang³

(1. Beijing Forestry University ,Beijing 100083 ;2. Inner Mongolia Academy of Forestry ,Huhhot 010010 ;

3. Institute of Hydrobiology ,The Chinese Academy of Scienses ,Wuhan 430072)

Abstract

In this paper ,we analyzed the ecological conditions of the studing area and the drift sand distribution. At the same time we studied the distribution feature of the natural vegetation according to the growing tendency to the water in the sandland from the side of the soil and water resources ration. We studied the effect of fencing on recovering vegetation and the technology ways of right site and right plantation grown grass and inoculate the alga with cultivated. We put forward to the innovation models of controlling the drift sand in combination with the tree shrub grass and bio - crust basicing on the theory of restoration ecology and landscape ecology abiding by the natural law and economic law. The models preliminary accomplished the goal of controlling sanddust storm ,the weak ecological system was tending to stable and the biological diversity significantly increased.

Key words : sanddust storm ;technology ways ;vegetation recover ;Kubuqi desert