

專題綜合評述

固沙造林

中國科學技術情報研究所

1960年1月

固沙造林

編輯者 中国科学技术情报研究所
出版 北京朝内大街117号

印刷者 中国科学技术情报研究所印刷厂
发行处 全国各地新华书店

定价0.31元  1960年 第2次印刷

目 錄

一、世界沙漠的分布和治理概況	(1)
(一)沙漠的分布和自然特征	(1)
(二)治理概況	(2)
二、苏联固沙造林概況	(4)
(一)苏联主要沙漠的分布	(4)
(二)固沙造林工作	(5)
三、我國固沙造林概況	(5)
(一)我國沙漠的自然特征	(5)
(二)群众固沙造林經驗	(7)
四、固沙造林技術和經驗	(8)
(一)砂地治理与牧場的合理利用	(9)
(二)营造防护林帶和砂障	(9)
(三)固沙造林樹种的選擇	(10)
(四)固沙造林种草技術和措施	(11)
五、固沙造林中一些科学研究問題	(13)
(一)沙漠的起源和成因	(13)
(二)風与流砂移动的規律	(14)
(三)沙漠植被与植物群系的演替	(15)
(四)固沙造林与砂地水分的关系	(17)
(五)固沙造林与新技術的应用	(18)
参考文献	(19)

固 運 杯

一、世界沙漠的分布和治理概况

，(一)沙漠的公布和自然特征

沙漠是地球上四个基本植物带之一，即：(1) 極地无林地帶，(2) 溫帶森林地帶，(3) 草原和沙漠地帶，(4) 熱帶森林地帶。广义的沙漠是包括沙漠、礫質戈壁、鹽土荒漠等和草原地帶的砂地和砂土，亦即是指干旱和半干旱地区而言。

世界上的沙漠大部分分布在南北緯 15° — 35° 之間的信風帶，遍及亞洲、非洲、北美、南美、澳洲和歐洲的一小部分，總面積為1,500—2,000萬方公里，從非洲的撒哈拉大沙漠經阿拉伯大沙漠到中亞大沙漠差不多是一條相連的沙漠帶，占全世界沙漠總面積的67%，世界上最大的沙漠有六個：(1) 中亞大沙漠，在亞洲中部的內陸地區，廣泛分布着砂質沙漠，總面積達2,193,816方公里，其中分布在蘇聯境內的有50.5%，如喀拉庫姆，喀茲爾庫姆和穆云庫姆等沙漠，在中國境內的占48%，如塔里木、准噶爾和阿拉善沙漠，在蒙古境內的占1.5%。(2) 非洲撒哈拉大沙漠，在非洲大陸北部，一直伸展到北緯 14° — 15° 之間，面積約為620萬方公里，非洲西南部狹長的海岸地帶亦屬沙漠，(3) 澳洲大沙漠，包括西部台地和中部分低地，面積約280萬方公里，(4) 阿拉伯大沙漠，面積約120萬方公里，伊拉克和許多阿拉伯國家大部分土地都屬於沙漠地帶，(5) 南美大沙漠，面積約100萬方公里，(6) 美國西部大沙漠，面積約90萬方公里。全世界有很多國家受到沙漠的不利影響，妨礙了人類的活動⁽¹⁾。

沙漠的自然條件雖因地區而各有不同，但有共同的特點：

(1) 雨量極少：年雨量一般在100—250毫米之間，有些地方甚至少於60—80毫米或更少，年平均雨量在100毫米以下，而雨量分布極不均勻，在北非大部分的亞熱帶沙漠和蘇聯的中亞沙漠，降雨大都在冬季或早春，我國北

部沙漠大部在夏季，印度和巴基斯坦大部分亦在夏季⁽⁴⁵⁾，北美的沙漠地帶大部在夏季和冬季⁽⁶¹⁾。蒸發量一般比降雨量大到6—7倍，有達到30倍的。

(2)夏季酷熱，年溫相差懸殊，絕對最高溫度中亞達50°C，美國達56.6°C，阿拉伯為58°C，溫帶沙漠冬季寒冷，絕對最低溫度到-40°C。日溫差非常大，有超過50°C的。

(3)風多，有時風速很大，達10米/秒以上，中亞最大風速達18—20米/秒⁽²⁾，蒙古有達22米/秒。

(4)土壤瘠薄：由於有機質貧乏，水分缺少，土壤形成過程發育緩慢，含腐植質很少，土壤內可溶性鹽類積聚，形成板結層，厚度可達數米。

(5)植物稀少，大多數是生命期極短的草類和多年生的半灌木和灌木。

沙漠的自然條件雖很惡劣，但也有很多有利條件，首先是沙漠地帶有豐富的地下礦藏資源，如撒哈拉沙漠富有石油、煤、鐵、錳、銅、鉛、鈾、錫和鉍等礦藏⁽⁴²⁾。我國沙漠地區亦有豐富的礦藏資源。同時光熱資源和風能資源，亦很豐富，我國北部沙漠地區日照每年在3,000小時以上，給巨大的太陽能利用提供了有利條件。風速大多數地區年平均在3米/秒左右，不少地方超過4米/秒，根據蘇聯經驗，年平均風速為3米/秒時，利用風力發電，全年可輸出能量4,000多瓩/時⁽³⁾。

(二)治理概况

沙漠的開發和利用，早為人類所注意，在1658—1660年丹麥曾用草固定流砂，1738—39年在沙丘中進行植樹，1793年後大面積移植了松樹。1770年奧地利採用板栗、白楊、山楊、柳等固沙造林，大都不能適應，1834年改用松樹造林⁽⁴⁹⁾，法國在1789年亦採用法國海岸松(*Pinus maritima*)和橡樹(*Quercus Accidentalise*)造林，獲得成功。1790年匈牙利開始採用柳、白楊和樺，結果失敗，1829年後採用洋槐，松樹固沙造林，結果良好⁽⁴⁸⁾。德國在1795—1814年間進行防沙造林，由於沒有預先進行固沙措施而告失敗，1820年繼續試驗用松、樺、亦楊等樹種進行砂地造林成功⁽⁴⁾⁽⁴³⁾。

蘇聯固沙造林已有150年以上的歷史，早在1808年在前哈爾科夫州北頓涅茨河沿岸的流動沙地上，直接播種松樹，事先用尖葉柳固定流沙，再培育松樹，結果很好，1895年開始由巴列茨基領導的，在阿什哈巴特鐵路採用野生灌木固沙造林達40年，獲得了很大的成功和經驗，但是大規模的固沙造林工

作，是在十月革命胜利以后，1925年烏茲別克开始固沙工作，30年來已在克佐庫姆沙漠边沿長120公里，平均寬2.5公里的地帶完成綠化，并繼續向内部推進，从1939—57年全共和國已完成固沙造林34万余公頃。1929年土庫曼开始从阿姆河域，受河沙威脅最大的農田周圍着手造林，最近六七年来已固沙造林1万公頃以上⁽⁵⁵⁾⁽⁶⁾。此外还将开鑿橫貫喀拉車姆沙漠的运河，全長达1,100余公里，其中从阿姆河起到达馬利計長400公里，早已完工。

印度在近百年來，虽然对沙漠植物等進行了一些研究工作，但对沙漠進行治理是最近几年才开始的⁽⁴⁴⁾，1952年設立了齋波耳沙漠造林試驗站，在印度西部的干旱和半干旱地区拉查斯坦沙漠約20万方公里的範圍內，开始進行固沙造林工作⁽⁴⁵⁾。

新西蘭森林局在1953—1955年在威灵頓州成立了四个試驗站，对总面积为174万畝的流沙地，初步拟定了占其总面积10%的沙丘治理計劃⁽⁴⁶⁾。

美國从1916年开始在大平原地区進行防护造林，1934年拟訂了一个所謂森林防护帶的方案，預定建立一条寬160公里，長約1,600公里的林帶以阻档來自斯喀特山的干燥西風，將植林840万畝，可是進度很慢，以其速度來看，需要50年才能完成。在1937年美國仍發生了黑風暴，从德薩斯、俄克拉荷馬向东北一直吹到了加拿大，造成了嚴重的損害⁽⁴⁸⁾。

加拿大在1935—49年間在康魁士脫、安納罗特和萊里頓的沙地，营造了886方公里和1,328公里的防护林帶⁽⁴⁷⁾，到1954年已經营造了1,610公里以上的防护林帶，其中單行防护林帶主要采用的樹种为錦雞儿，林帶高度2—3公尺，2—3行的防护林帶采用樺和槭，高为7—8公尺⁽⁵⁰⁾。

在非洲埃及有96%的土地为沙漠，原叙利亞境內有21%为沙漠，1956年埃及計劃修筑阿斯旺水坝，建成以后，可以把数百万公頃的沙漠改造成良田。

1951年联合国文教組織成立了一个干旱区域計劃研究委员会，几年来發表了印度、巴基斯坦、阿富汗、伊拉克、約旦、沙特阿拉伯、叙利亞、也門、埃及、厄立特利亞、利比亞、苏丹、安哥拉、西南非洲、南非联邦、东非、澳洲、美國和加拿大等干旱地区的研究报告⁽⁶³⁾。在資本主义國家，一般說來只作了沙漠地理和植被的調查与观测，在小範圍內進行了固沙造林和营造防护林帶的工作，只有社会主义的苏联，在中亞沙地的森林改良土壤工作成为國家經濟的一个計劃部門，40多年來不僅完成了大面積的固沙造林，而且已制定了化費較低的有效方法，实行了固沙造林工作机械化⁽⁷⁾。

我國解放以後，就開始注意了水土保持和固沙造林的工作，據不完全的統計，八年來在內蒙及西北各省和新疆、寧夏地區共造林2,114萬畝，封沙种草2,636萬畝，土壓沙丘14,546畝，引水灌沙95萬畝。從1957年開始，組織了沙漠考察隊，在內蒙伊克昭盟，巴彥淖爾盟，甘肅河西走廊，陝北榆林專區，寧夏平原等地進行了普查，考察路線全長11,628公里，考察沙地面積172,800方公里，初步摸索了沙漠地區的自然特徵‘沙丘類型，沙漠起源和成因，並依此提出了適宜的固沙植物和改造利用沙漠的綜合配置意見，1958年10月在呼和浩特召開了六省（區）治沙規劃會議，提出了綠化沙漠的戰鬥口號，對我國16億畝的沙漠，將加速改造和利用⁽¹⁰⁾。

二、蘇聯固沙造林概況

（一）蘇聯主要沙漠的分布

蘇聯歐洲部分東南部和南部的主要沙地為：

（1）德聶伯河下游砂地：起源屬於古代沖積砂地，形成後，曾遭多次破壞，很少有保留原狀的砂地，分布在烏克蘭的赫爾松州境內，沿德聶伯河下游左岸，由卡霍夫卡到黑海，總面積達208,000公頃，其中砂地占162,000公頃。

（2）頓河砂地：過去由冰河沉積形成，後經河川水流改造，因此基本上是古代沖積砂地，部分為現代河流沖積砂地，分布在伏龍涅什州，斯大林格勒州和羅斯托夫州境內，總面積約100萬公頃。

（3）切里克-庫姆砂地：起源於古代沖積，位於庫姆切里克二河之間的低地上，東鄰里海，總面積約80萬公頃。

（4）里海砂地：主要分布在阿斯特拉罕州，位於伏爾加河與烏拉河之間的下游地帶，總面積在400萬公頃以上。

蘇聯中亞約有8,000萬公頃的干旱砂地，為世界最大沙漠之一的中亞沙漠分布在，在此，被流入咸海的阿姆河截分：東為克佐庫姆沙漠，面積2,000萬公頃，西為喀拉庫姆沙漠，面積3,500萬公頃，主要分布在土庫曼和烏茲別克兩共和國，土庫曼荒漠占其面積的87%，烏茲別克占40%^{(5) (6) (7) (8) (9)}。

(二)固沙造林工作

苏联在中亞的固沙造林工作开始于1880年修筑里海鐵路之后，1895年起曾播种和栽植梭梭樹 (*Haloxylon Litw.*)、碱柴 (*Salsola L.*) 和砂拐棗 (*Calligonum L.*) 等当地的固沙植物，但由于未設置机械障碍保护，未獲效果，只有在察尔周城地区的一片梭梭樹林獲得成功。十月革命以后，烏茲別克于1925年就成立了二个固沙隊，目前为三个林管区，1929年土庫曼也設立了專業機構，現有七个林管区，兩共和國的林管区都由林業总局領導。此外，土庫曼科学院領導的“列彼迪克”沙漠研究站，从事研究砂地的起源和發展的問題，風沙移动的基本規律和沙地植物的生物学。土庫曼林業試驗站是研究里海海岸的造林方法。烏茲別克林業科学研究所从事研究沙荒的类型及森林植物区的划分，研究西南克佐庫姆的樹种和砂地造林技術。苏联農業部在塔什干設立了中亞林業科学研究所，从事組織和進行中亞的林業和森林改良土壤方面的研究工作，特別注意固沙造林的机械化問題⁽⁷⁾。

三、我国固沙造林概况

(一)我國沙漠的自然特征

根据統計，我國沙漠面積約有165,000余万畝，占我國土地總面積的11.4%左右，其中流动和半流动的砂地約占75%，除小部分河流冲积砂地和海水冲积砂地零散分布在華北、華东和沿海等地区外，絕大部分分布在西北、內蒙和东北等十个省区，而以內蒙、新疆、青海、甘肅-宁夏和陝西等六个省区为最多，占沙漠總面積的98%左右⁽²³⁾⁽²⁴⁾。流动和半流动的砂地，不但自然生產力很低，且常隨風移动，侵害農田、牧場、交通綫和居民点。据初步統計，我國內蒙及西北地区沙漠總面積为159,885万畝，其中戈壁为50,750万畝，流动沙丘为40,795万畝，半流动沙丘为41,015万畝，固定沙丘为72,325万畝。沙漠多分布在海拔1000公尺以上，除在鄂爾多斯与阿拉善之間有縱貫南北的賀蘭山和河西走廊南緣有祁連山等高山外，多数是經受長期剝

蝕的低山丘陵，高原和山間沖積平原⁽⁶⁾⁽⁹⁾。

根據流沙下伏的地層，地貌類型、地下水條件和風成沙丘形態及沙層厚度，對流沙地類型可作如下劃分：

(1) 復蓋在古代河流—湖泊沉積物上的流沙地

這類廣泛分布在各個地區，地下水深1—3米，淡水，多數是大中型新月形沙丘鏈，容易綠化，且多有引灌條件，地下水在一米或一米內鹽漬化，可選用耐鹽植物如白茨、紅柳、胡楊、沙棗等固沙。

(2) 復蓋在古代農田上的流沙地

主要見於陝北、磴口、寧夏、河西走廊等地區沙漠邊緣，為流沙在風的作用下前移埋沒的農地，地下水深2—4米，土壤條件良好，沙丘多數是中小型新月形沙丘鏈或少數單個新月形沙丘，這類沙地可以選用有價值的喬灌木固沙或發展葡萄、瓜類作物。

(3) 復蓋在黃土丘陵頂部或緩坡上的流沙地

這類僅見於陝北、風成新月形沙丘鏈厚3—4或1—2米，地下水很深，但由於黃土特性，植物固沙容易。

(4) 復蓋在第三紀紅層（粘土、壤土質）上的流沙地

見於阿拉善東北部低山山間亞瑪雷克沙漠，主要是大型新月形沙丘鏈，一般高5—6米，最高20—25米，地下水深9米以下，鹽化度很高，流沙移動很快，固沙條件較壞。

(5) 復蓋在白堊紀侏羅紀砂岩或第三層的流沙地

此類見於毛烏素沙漠、庫布齊沙漠、騰格里沙漠、霍拉里斯沙漠、南吉冷沙漠內部，一般是大型新月形沙丘鏈，地下水深，植物不能利用，局部地勢低凹處地下水淺，但鹽化度高，沙丘內含水量還可以滿足植物需要，為了加速綠化，應實行人工引水或人工降雨。

(6) 復蓋在石質低山斜坡上的流沙地

見於阿拉善、河西走廊，風積沙層薄，地下水深，水順坡流失，條件最壞，不易栽植植物，可利用工程措施插沙障固沙。

(7) 蓋在山前洪積物上的流沙地

分布在河西走廊、騰格里南緣地，一般是中型新月形沙丘，少數為大型新月形沙丘，地下水深，植物不能利用，採用生物固沙時，最好配合開洪蓄洪引灌。

上述流沙地植物复盖度不到15%，代表性植物主要是沙枣、棉蓬、臭蒿、花棒、籽蒿、沙竹等。半固定沙地通常位于流沙地边缘，复盖度在15—35%之间，新月形沙地已不多见。固定沙地主要是改良植被，复盖度在35%以上，在鄂尔多斯东南部有中生型灌木，如黄柳、柳杞、臭柏、醋刺等⁽¹⁰⁾ (26) (35)。

北部沙漠由于所处的地理环境，远离海洋，重山阻隔，因此呈大陆性气候，一年之中最热达40°C，最冷达-30°C，绝对变化均在60°C以上，日温差在14°C以上，由于温度的剧烈变化和地形特点，经常受北方干冷气流侵袭，盛行偏北风，减少东来西临水气，于是降雨稀少，年雨量自东往西由400毫米（榆林），迅速减至50毫米（金塔以西），而且分布不均，多在夏季，每决定于一月甚至一二天的降水，可是蒸发量极大，为降水量的2—4倍，至25倍以上，日照时间多数在3,000小时以上⁽²⁵⁾。

植物方面，草原区以禾本科植物为最多，次为豆科、菊科、藜科、百合科等植物。为了适应半干旱气候，很多植物叶子卷成管状，把气孔隐藏，以减少蒸腾，而且茎部深入土中，抵抗干旱，如针茅、隐子草、落草等，有些植物发生和深根，如草甸植物的芨芨草和赖草等，在盐碱土上则有肉质藜科植物。在荒漠地区则以藜科为主，多呈小灌木、半小灌木状，此外有菊科的高属、蒺藜科的白刺、杨柳科的檉柳属、蓼科的霸王和砂拐枣等⁽²⁷⁾。

(二)群众固沙造林经验

解放后，由于党的正确领导，我国积极开展防沙造林和调查研究工作，1951年林业土壤研究所在辽宁章古台建立工作站，研究固沙植物的选择和植培试验，1956年又与铁道科学院，铁道部第一设计院合作，在中卫沙坡头建立试验站，开展了风沙移动、沙地水分、种植固沙植物技术、防沙障的设置等定位试验研究工作，1957年中国林业科学院在榆林建立固沙试验站，内蒙林业厅林业研究所在伊盟的展旦台、烏審旗等地设立了工作站，研究固沙措施和沙地牧草栽培技术^{(10) (18) (37)}。同时广大群众经过九年来的植树造林，封沙育草，插风墙，压沙丘等综合固沙措施，在固沙上取得了很大的成就，也获得了丰富的经验。加民勤县本着“先控制、后治理、再利用”的方针，磴口县总结了群众“沙有二喜、三怕”的治沙经验，即喜大风、干旱，怕水、怕草、怕树，采取了综合措施，基本上消除了风沙的重要

經驗⁽³⁴⁾。

(1) 防沙林帶：磴口縣在1951年开始沿沙边弯曲地帶，从三盛分到四坝全長154公里，寬50米的防沙林帶是先引水灌溉，然后植樹和扦插造林，在鹽碱地用檉柳、沙棗，在水分較好处用楊、柳、沙棗，林帶后面沙窩丘間低地全面造林，沙丘頂种草，并把沙边五公里寬地区划为封沙育草区，已經固定了流沙9万畝。

(2) 护田林帶：民勤縣在三雷等鄉从1957年开始营造护田林帶，原設計主帶为17—20米，行距1.5米，营造时使了修改，在沙荒災害大的地区，保留原寬度，通过耕地部分改成10—10米，行距一米，仍植樹9—11行，主帶距400米，付帶距1,500米。薛百鄉林帶樹种的配置为：沙棗(三行)——小叶楊——沙棗——小叶楊——沙棗——小叶楊——沙棗(三行)。

(3) 方格式沙障：中衛沙坡头鐵道防沙試驗站1957年在鐵路兩旁格狀、新月形沙丘上設置方格式草沙障，按 1×1 米或 2×2 米，將草整齐平鋪沙上，然后用鉄鉞从草中間用力向沙內插入，兩头直立于沙面，露出10—20厘米，在迎風面格內种草造林，留出丘頂 $1/3$ ，借風力將其削平，待第二次設障改林。注意沙丘頂不使削在路面上。

(4) 埋压沙丘：河西群众利用粘土的抗蝕性，以土压沙，固定沙丘，民勤与金塔用湿土压沙，先將沙丘扒平，減少高度和坡度，用含沙不超过20%的壤土，用水澆湿，撒于沙丘表面，隨压隨播沙蒿、沙米、最后形成植物复盖。此法缺点是費工大，埋上后水分补給困难，沙丘水分条件变坏，干沙層增加至40厘米，上部仍不長沙蒿，效果不大，僅适用于孤立沙丘。

(5) 引水灌沙：河西各地利用冬季不用的渠水灌入沙窩，使其湿润，有利种草造林。陝西榆林則找到了“边开渠，边引水，以水固沙，用水开渠”的新方法，引渠水穿过“閘王壁”时，当渠壁快到快下塌时，把木板打進沙里，中撐木棒，上盖木板，借沙压下陷，再挖其中流沙，再引水冲沙。并找到了引水定“比降”的方法，發現比降以 $1/5,000—1/7,500$ 为合適⁽³⁵⁾。

四、固沙造林技術和經驗

固定流沙的基本方法是減低地面的風速和改良土壤的性質，使不致引起砂丘侵蝕⁽⁵¹⁾⁽⁵²⁾。主要措施是采用植物固沙和工程固沙，植物固沙的方法

包括两个方面：

預防措施：目的在于創改砂地区域經濟利用的条件，預防和排除流砂發生的可能性，逐漸提高砂土的肥力，在農業上为实行輪作和草田耕作制度的整套農業技術，在畜牧業方面要規定畜牧用地和禁止放牧地，在砂地林業經營中要保證森林穩定性和持久性的提高⁽¹⁾⁽²⁾⁽¹²⁾。

植物固沙：流沙地進行植物固沙，須在机械砂障保护下進行，借以保护幼苗，保證發芽生根。还可采用瀝青乳剂固砂，使砂丘形成薄層，固定流砂，保护种子發芽，也可采用砂質土壤的砂化法，將砂酸溶液用机械設備注入砂土中加固流砂，提高其力学强度，使其具有不透水性和耐水性⁽¹³⁾。

(一)砂地治理与牧場的合理利用

沙漠形成的一个主要原因是过度放牧，植被遭到破坏，引起流沙繼續流动，需要制定放牧制度，制止破坏⁽³¹⁾，規定單位面積內放牧的負担，实行輪牧，关于砂地列为畜牧業用地，M. A. 奥尔洛夫对阿斯特拉汗半沙漠規定如下：(1)放牧地(60%)，(2)飼料刈草地(20%)，(3)后备地(10—12%)，(4)用水的裸露沙地(8—10%)。

沙荒固定后通过正確的組織經營，則林業和畜牧業都能得到良好的發展，苏联七庫曼畜牧研究所，經過多年的研究，認為在飼料稀少的半固定沙地，混种梭梭樹，拐棗、碱柴、麻黃蓼等以及三芒草、沙蓬等牧草，可以改变原有植物組成，提高沙地利用价值，原來只能夏季放牧的，可以全年放牧。B. A. 巴列茨基指出：当梭梭木和沙蒿被复整个沙漠地表以后，水分条件惡化，表土板結，含鹽量不断增加，使一般植物不能生長，如在林地內適當放牧，牲畜能踩松土壤，遺留糞便，使沙地保持最高生產力⁽⁵⁾。

(二)营造防护林帶和砂障

防护林帶在固沙方面的主要作用，是在用基植喬灌木的措施去阻挡風力，減低風速，防止流沙吹失和農田積沙，保护農田、家畜、居民点和交通路綫，免遭風砂之害⁽⁴⁷⁾。任何林帶总的防护效果取决于穿过林帶和越过林帶的气流数量的比例，適當透風，亦即有透風結構的林帶为適宜，林帶应与主要的为害風向垂直，多風向时采用半圓形或弧形⁽⁵³⁾⁽⁶⁹⁾。关于林帶的寬

度，苏联一般主林帶为15米，付林帶为10米，美國規定为40米，丹麦为12米，近來有趋向狭窄的意見，認為三行已够⁽⁴⁷⁾。苏联曾經有一段时期为了縮小林帶所占用的面積和減少人力、物力的消耗，营造5—7行式的防护林帶，但这样的林帶既不穩定，亦不能防止有害气象因素对土壤的危害，M. N. 尤金根据低气層气体旋渦增加的分析，用理論計算証实，防风林帶以8—25米寬的稀疏結構，其气象效果为最好。在黑風暴侵害地区，应当有20米的寬度，这样在无叶的时候也能防护强風砂土的侵襲，A. B. 克雷洛夫和Ю. B. 克柳契尼柯夫曾經主張寬度增加到40—60米，以为窄林帶不穩定，但在干旱条件下，不穩定的却是这样寬的林帶⁽¹⁵⁾。

林帶的防风效率与其高度是成正比例的，帕尔布图指出：向風面为高的2—5倍，背風面为20倍，凱尔的結論是向風面为6倍，背風面是24倍，事实上防风效率因林帶結構而不同，一般認為是高的10—25倍，而最有效的距离为林帶高的15倍^{(14) (15) (47)}。

(三)固沙造林樹种的选择

固沙植物應該具有的条件：

- (1) 在干旱沙地具有生長的能力，能在空曠地上生長，不怕風吹砂割。
- (2) 結实早，并在砂丘上能天然繁殖。
- (3) 根系能固定流沙，能發生不定根，同时能形成茂密的复盖。
- (4) 对風向能形成一致的風障，使風力远离地面。
- (5) 能產生丰富的地被物。
- (6) 有經濟意义，至少可作燃料^{(11) (52)}。

苏联中亞地区固沙造林的多年經驗証明，只有当地原有的樹种最能適應干旱沙漠的不良环境，如当地的黑梭梭 (*Haloxylon aphyllum*)，白梭梭 (*H. persicum*)，碱柴 (*Salsola Richteri*, *S. paletzka*) 及拐囊 (*Calligonum caput Medusae*, *C. eriopodium*, *C. arborescens*, *C. elatum*)，等灌木樹种最易繁殖⁽⁶⁾。

我國在騰格里沙漠中衛地区二年來試驗的結果証明：大多数的乔木不適用於流沙地上生長，如油松苗过小，經不起沙埋和風蝕，而且不耐沙內含有鈣質，故完全死亡，榆樹虽耐干旱，但不耐流沙的貧瘠，洋槐根系腐爛，而怕砂割，都不適宜，現在認為有希望的樹种：沙棗 (*Elaeagnus angustifolia*

Linn)、小叶楊 (*Populus simonii* Ca.)、黃柳 (*Salix flavida*)、花棒 (*Hedysarum scoparium* F & M)、錦雞兒 (*Caragana microphylla* Lasm.)、梭梭樹 (*Haloxylon ammodendron* Bge.)、檉柳 (*Tamarix chensis* Lour.)、白沙蒿 (*Artemisia sphaerocephala*)、黑沙蒿 (*A. ordosica*) 和差把憂蒿 (*A. halodendron*)⁽¹⁰⁾⁽¹⁶⁾。我國在遼寧章古台試驗結果是黃柳、錦雞兒、胡枝子 (*Lespedeza bicolor* Turcz.) 等比較適宜⁽¹⁸⁾。C. M. 莫沫特的意見認為小叶楊、柳、沙棗和檉柳等、目前看去生長不壞，是因根已伸展到砂層下面的農田土地，但不能固定流沙，效果不會很好，楊、柳可以採用，但不能作為主要固沙樹種，建議採用梭梭木或拐棗等樹種⁽¹¹⁾。

根據近年來在內蒙西部及河西走廊的調查，發現沙生的和由蘇聯中亞沙漠引進的植物達400種，按其固沙作用有：白沙蒿，黑沙蒿，差把憂蒿、沙蒿 (*Artemisia salsoloides* Willd.)、花棒、錦雞兒、沙拐棗 (*Colligonum mongolicum* Turcz.)、黃柳、梭梭和紅柳 (*Tamarix ramosissima* Ldb.)⁽¹⁹⁾。就初步試驗結果，認為在流動新月形沙丘地可種植花棒、籽蒿、油蒿、沙米 (*Agriophyllum arenarium* Bge.)、沙拐棗，在某些地下水位高的地段可選用黃柳、杞柳等，在半固定沙地選用梭梭樹、錦雞兒、油蒿、羅布麻，在流沙地邊緣的防沙林則選用小叶楊、胡楊、沙棗、杞柳、黃柳，發生鹽漬化的沙地則用紅柳、白芨等⁽¹⁰⁾。

蘇聯在歐洲部分森林草原地帶的砂地上，採用固沙造林的喬木樹種中，最普遍的為歐洲赤松 (*Pinus silvestris* L.)，是最穩定和持久的樹種⁽¹²⁾。在德、法、奧等國早期採用楊、柳、樺等樹種，但結果不佳⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾，後來採用洋槐和松等，菲歇爾認為松樹更為適宜。塞浦路斯在1900年在海灘沙地造林試驗證明石松 (*Pinus Pineae*) 結果良好⁽⁵⁴⁾，美國在密歇根湖地區大面積砂地造林也採用了短葉松 (*Pinus banksiana* Lamb.)、赤松 (*Pinus resinosa* Sol.) 和白松 (*P. strobus*) 等樹種⁽⁵²⁾。松樹作為固沙造林的樹種還可以進行研究。

(四) 固沙造林种草技術和措施

用植物來改造沙漠，尤與是用喬灌木來固定流沙和改造沙荒，這是最根本的方法。在一般有植物生長的沙地，雖然植物復蓋度不大，但基本上是有希望靠植物的天然繁殖達到固定流沙的效果的地區，可以實行封沙育草，同

時應在封禁區內實行播種，加速其恢復。經驗證明在流砂地區造林，如不加措施，以防止風蝕，則不易成功，尤其直接播種成效不大，在封沙育草區內或半固定沙地以及結合引水灌沙地段，都獲得良好結果⁽¹⁰⁾⁽³⁰⁾。亦有認為裸露沙地造林失敗的原因，大多數由於苗木太小，不是遭到沙埋，就是因風沙移動而根部暴露所致，在近東地區研究了不用預先固沙措施的新技術，即栽植壯大的苗木（0.8—1.2米）深入砂中40—60厘米，地上部分40厘米，以防沙埋和沙移。苗木應在砂丘地區的苗圃中培育，近東沙漠地區採用*Acacia cyanophylla*等樹種，苗木須先移植在混有土壤、砂和綠肥的鉢內，充分灌水後，埋入沙地以減少蒸發，待苗木長達1米以上，根部在鉢內與土壤形成一團，到雨季可以栽植，株距 $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ 米，或每公頃1500株⁽⁶⁹⁾。據計算由於不採用預先固沙措施，費用反而降低。惟試驗地年降雨量一般在200毫米上下，甚至有達600毫米，對於干旱地區是否適用，應進一步研究。

飛機播種是沙地造林先進方法之一，可在短期內綠化很大面積的沙地，如果一個騎駱駝的工人一天能播種梭梭8—10公頃沙地，用汽車能播種30公頃，用飛機則可播種400—500公頃，一架飛機相等於60個工人的工作，同時用播種造林時，生長的植物能更好的適宜其環境。蘇聯烏茲別克早在1934年已經開始飛機播種梭梭樹的試驗，1940年土庫曼也進行了試驗，都獲得良好的結果⁽²⁰⁾。我國於1958年夏在榆林民勤等地試行飛機播種沙蒿，根據榆林地區的檢查發芽率達75%，但幼苗多集中於背風或風蝕極輕的低地，部分幼苗根系裸露，經秋後風蝕和冬春的強風吹蝕，幾乎大部死亡，沙丘背風坡少數成活，難發揮控制流沙作用，可見在流沙地直接播種只有在某些措施保護之下，才能成功⁽¹⁰⁾⁽²¹⁾。

經驗證明，沙區干旱，不宜在整個沙地上進行造林，飛機播種時應隔帶播種，利用間隔空帶積蓄水分，以提高造林成活率，並使幼林生長良好。

沙障材料最好利用當地帶刺的野生植物，如駱駝刺等，沙障的形式及在沙丘上設置的位置，須根據地形和沙丘移動規律設計⁽⁶⁾。在流沙嚴重危害地區，採用網格狀（ 1×1 米，或 1×2 米亦有試驗在陡坡減低到 15×19 厘米的）沙障對防止流沙侵襲，有顯著成效⁽¹⁰⁾⁽⁴⁶⁾⁽⁵²⁾。根據經驗，認為不在沙脊插障，改在沙丘迎風坡下半部，橫坡平行播障多行，不僅會起控制流砂作用，而且有希望改變沙地地形⁽¹⁰⁾⁽²¹⁾。

在風蝕特別厲害的地方，在沙丘播種，植苗或插條造林後，採用瀝青乳劑噴洗裸露沙地表層幾小時後，使之凝固成一層0.5—1厘米厚的薄膜，既

可渗透相当雨水，又不妨害幼苗生長，并可保护沙丘不被風蝕和移动，有效期延續到三年左右，已經被广泛应用⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁶⁾。瀝青薄膜極易受到机械損伤，因而降低了防止砂地風蝕效果，如結合砂障用瀝青固沙，則效果更大⁽¹⁴⁾。但是噴澆瀝青層的技術還不很完善，提高瀝青層的耐久性問題，尚有待進一步的試驗解決。同時在沙丘斜坡和大斜坡地上，瀝青層下的沙地表層水分分布亦引起了变化，1952年烏克蘭科學院的研究表明，大雨之後，未瀝青化的砂地滲透到下面的濕潤層（18厘米），而在橢圓形沙丘斜坡為 10° 的瀝青層下面7—8厘米處仍是干砂，說明瀝青層引起地表徑流，這樣直接用于造林地或剛造林之地問題，亦需要進一步研究⁽²²⁾。

土埂防砂法：對流動性很大的侵襲型新月形沙丘，網狀沙障不能固定流砂，瀝青乳劑亦難防护远处吹來的流沙沙埋，因此土庫曼科學院正在研究利用氣流學原理，在路基或河床與流沙之間的適當距離處，設置兩道平行的土埂利用氣流渦動力，將流沙卷出路基或河床之外，而不致堆積為害，作為一個臨時的防沙措施，在植物生長極困難的條件下，可以採用⁽²⁾⁽⁶⁾。

五、固沙造林中的一些科學研究問題

（一）沙漠的起源和成因

蘇聯中亞克佐庫姆沙漠的形成主要是水和風的自然因子促進母岩的風化而成，喀拉庫姆沙漠除部分砂地屬於第三紀泥炭和砂岩風化產生外，其餘是由阿姆河沖積沙地經風力作用所形成，此外有的是海濱沉積及過去固定的沙地，由於過度的放牧和開墾，破壞植被，遭受風力作用重新形成流動或半流動沙地。

我國北部沙漠的起源，認為沙的最初來源，毫無疑問是岩石風化的產物，岩石經受長期的和劇烈的冷熱变化和冰雪凍結作用，加有強烈的風蝕，促使崩碎風化，經水和風力搬運堆積而成。岩石風化現象，現在還不斷的在繼續發生，如鄂爾多斯高原系露出地面的白堊紀沙岩壠的風化、境內低山丘陵紅砂岩的風化物就近堆積形成沙丘，都是例證，這些風化物從原始供給地通過不同方式，絕大多數是古代河流和近代永久性或間歇性河流，以及地表徑流夾帶大量泥沙向下游或低地堆積，再受風蝕吹揚堆積，形成流沙，這是流沙的主

要原因，如騰格里沙漠本身是一个盆地，吉蘭太鹽地附近烏蘇布和沙漠、雅布賴鹽池附近的流沙地都是例証⁽¹⁰⁾。

其次是風積沙，沙子由于風力吹送到另一地方堆積形成沙丘，如金塔敦煌一帶某些低山坡積聚的流沙，即由風吹河流沖積物或風蝕戈壁所造成。

人为的原因，如過度放牧和濫垦等破坏了植被，特別是破坏了古代固定沙地植被，也導致了流沙的形成，如北部沙漠地区，由东到西降雨量逐漸減少，东部自然条件適合于自然長草，从理論上說：首先是东部應該沒有流砂，而西部应多一些，但事实相反，东部沙地面積远比西部大，虽然东部沙源丰富为其原因之一，但是長期而頻繁的不合理利用曾經固定的沙地，却是主要原因⁽¹⁰⁾⁽²¹⁾⁽³¹⁾。但亦有認為东部沙丘分布比西部多的主要原因，不是人为破坏，而是由于沙源比較丰富，地形起伏較大，地勢低洼，有利于沙丘形成和留駐，以及起砂風較少、較弱，風向較多，形成的沙丘不易吹走的影响⁽³⁹⁾。

弄清風沙來源，直接关系到防風固沙措施，尤其是防風林帶的配置。如毛烏素沙漠起沙原因，有的認為是由于長城沿綫高地和中部脊梁間的凹地中，原有比較深厚的古代沖積和沉積沙層為基礎，加以近代土地利用上的不当，在当地干旱多風的气候条件下，地面原有植被遭受破坏，引起就地起沙⁽²⁸⁾。有的認為由于北部鄂爾多斯的砂為風力吹送而來，意見頗不一致。假如說是远处吹送而來，則主要的防風林帶就要考慮設置在沙漠的北緣，假如說是由于就地起沙，那么防風固沙措施，一方面是在流动沙丘地区進行造林种草固沙和开渠引水，冲整沙地，另一方面則應該是在南緣营造防風林帶，

(二)風与流沙移动的規律

流沙移动与風的狀況密切联系着，風的作用因地面狀況和風速而不同，風力大和持續期短的比一般的影响大⁽⁵⁷⁾。沙丘的形成，乃是由于風沙作用于砂質沙漠地表的結果。当風力吹經砂地地表时，由于气流运动上升力的作用，地表砂粒被携帶入气流中而隨之前進，形成風沙流，当風速減弱或遇到阻碍物时，砂便落下形成沙堆，因此沙在气流中的运动，乃是沙丘形成的先决条件⁽²⁸⁾。砂的运动是以气流速度和其本身大小的粒度為轉移，其运动基本上為滚动、跳躍、懸浮等三种形式。据我國觀測，在沙面以上2米高度平均風速达到4.5—5米/秒时，沙粒有滚动現象，这个風速便是沙粒移动的臨