

專 題 綜 述

固 沙 造 林

中国科学技术情报研究所

1959年5月

目 录

一、世界沙漠的分布和治理概况	(1)
(一)沙漠的分布和自然特征	(1)
(二)治理概况	(2)
二、苏联固沙造林概况	(3)
(一)苏联主要沙漠的分布	(3)
(二)固沙造林工作	(3)
三、我国固沙造林概况	(4)
(一)我国沙漠的自然特征	(4)
(二)群众固沙造林经验	(5)
四、固沙造林技术和经验	(6)
(一)砂地治理与牧场的合理利用	(6)
(二)营造防护林带和砂障	(6)
(三)固沙造林树种的选择	(7)
(四)固沙造林种草技术和措施	(8)
五、固沙造林中一些科学研究问题	(9)
(一)沙漠的起源和成因	(9)
(二)风与流砂移动的规律	(10)
(三)沙漠植被与植物群系的演替	(10)
(四)固沙造林与砂地水分的关系	(11)
(五)固沙造林与新技术的应用	(12)
参 考 文 献	(18)

固 沙 造 林

一、世界沙漠的分布和治理概况

(一)沙漠的分布和自然特征

沙漠是地球上四个基本植物带之一，即：(1)极地无林地带，(2)温带森林地带，(3)草原和沙漠地带，(4)热带森林地带。广义的沙漠是包括沙漠、砾质戈壁、盐土荒漠等和草原地带的砂地和砂土，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纬 15° — 35° 之间的信风带，遍及亚洲、非洲、北美、南美、澳洲和欧洲的一小部分，总面积为1,500—2,000万方公里，从非洲的撒哈拉大沙漠经阿拉伯大沙漠到中亚大沙漠差不多是一条相连的沙漠带，占全世界沙漠总面积的67%；世界上最大的沙漠有六个：(1)中亚大沙漠，在亚洲中部的内陆地区，广泛分布着砂质沙漠，总面积达2,199,816方公里，其中分布在苏联境内的有50.5%，如喀拉库姆，喀兹尔库姆和穆云库姆等沙漠，在中国境内的占48%，如塔里木、准噶尔和阿拉善沙漠，在蒙古境内的占1.5%。(2)非洲撒哈拉大沙漠，在非洲大陆北部，一直伸展到北纬 14° — 15° 之间，面积约620万方公里，非洲西南部狭长的海岸地带亦属沙漠，(3)澳洲大沙漠，包括西部台地和中部部分低地，面积约280万方公里，(4)阿拉伯大沙漠，面积约120万方公里，伊拉克和许多阿拉伯国家大部分土地都属于沙漠地带，(5)南美大沙漠，面积约100万方公里，(6)美国西部大沙漠，面积约90万方公里。全世界有很多国家受到沙漠的不利影响，妨碍了人类的活动⁽¹⁾。

沙漠的自然条件虽因地区而各有不同，但有共同的特点：

(1)雨量极少：年雨量一般在100—250毫米之间，有些地方甚至少于60—80毫米或更少，年平均雨量在100毫米以下，而雨量分布极不均匀，在北非大部分的亚热带沙漠和苏联的中亚沙漠，降雨大都在冬季或早春，我国北部沙漠大都在夏季，印度和巴基斯坦大部分亦在夏季⁽⁴⁵⁾，北美的沙漠地带大部在夏季和冬季⁽⁶¹⁾。蒸发量一般比降雨量大到6—7倍，有达到30倍的。

(2)夏季酷热，年温相差悬殊，绝对最高温度中亚达 50°C ，美国达 56.6°C ，阿拉伯为 58°C ，温带沙漠冬季寒冷，绝对最低温度到 -40°C 。日温差非常大，有超过 50°C 的。

(3)风多，有时风速很大，达10米/秒以上，中亚最大风速达18—20米/秒⁽²⁾，蒙古有达22米/秒。

(4)土壤瘠薄：由于有机质贫乏，水分缺少，土壤形成过程发育缓慢，含腐植质很少，土壤内可溶性盐类积聚，形成板结层，厚度可达数米。

(5)植物稀少，大多数是生命期极短的草类和多年生的半灌木和灌木。

沙漠的自然条件虽很恶劣，但也有很多有利条件，首先是沙漠地带有丰富的地下矿藏资源，如撒哈拉沙漠富有石油、煤、铁、锰、铜、铅、铀、锡和铬等矿藏⁽⁴²⁾。我国沙漠地区亦有丰富的矿藏资源。同时光热资源和风能资源，亦很丰富，我国北部沙漠地区日照每年在3,000小时以上，给巨大的太阳能利用提供了有利条件。风速大多数地区年平均在3米/秒左右，不少地方超过

4米/秒,根据苏联经验,年平均风速为3米/秒时,利用风力发电,全年可输出能量4,000多瓩/时⁽³⁾。

(二)治理概况

沙漠的开发和利用,早为人类所注意,在1658—1660年丹麦曾用草固定流砂,1738—39年在沙丘中进行植树,1793年后大面积移植了松树。1770年奥地利采用板栗、白杨、山杨、柳等固沙造林,大都不能适应,1834年改用松树造林⁽⁴⁹⁾,法国在1789年亦采用法国海岸松(*Pinus maritima*)和橡树(*Quercus Accidentalise*)造林,获得成功。1790年匈牙利开始采用柳、白杨和桦,结果失败,1829年后采用洋槐,松树固沙造林,结果良好⁽⁴⁸⁾。德国在1795—1814年间进行防沙造林,由于没有预先进行固沙措施而告失败,1820年继续试验用松、桦、赤杨等树种进行砂地造林成功⁽⁴⁾⁽⁴³⁾。

苏联固沙造林已有160年以上的历史,早在1808年在前哈尔科夫州北顿涅茨河沿岸的流动沙地上,直接播种松树,事先用尖叶柳固定流沙,再培育松树,结果很好,1895年开始由巴列茨基领导的,在阿什哈巴特铁路采用野生灌木固沙造林达40年,获得了很大的成功和经验,但是大规模的固沙造林工作,是在十月革命胜利以后,1925年乌兹别克开始固沙工作,30年来已在克佐库姆沙漠边沿长120公里,平均宽2.5公里的地带完成绿化,并继续向内部推进,从1939—57年全共和国已完成固沙造林34万余公顷。1929年土库曼开始从阿姆河域,受河沙威胁最大的农田周围着手造林,最近六七年来已固沙造林1万公顷以上⁽⁵⁾⁽⁶⁾。此外还将开凿横贯喀拉库姆沙漠的运河,全长达1,100余公里,其中从阿姆河起到达马利计长400公里,早已完工。

印度在近百年来,虽然对沙漠植物等进行了一些研究工作,但对沙漠进行治理是最近几年才开始的⁽⁴⁴⁾,1952年设立了斋波耳沙漠造林试验站,在印度西部的干旱和半干旱地区拉查斯坦沙漠约20万平方公里的范围内,开始进行固沙造林工作⁽⁴⁵⁾。

新西兰森林局在1953—1955年在威灵顿州成立了四个试验站,对总面积为174万亩的流沙地,初步拟定了占其总面积10%的砂丘治理计划⁽⁴⁶⁾。

美国从1916年开始在大平原地区进行防护造林,1934年拟订了一个所谓森林防护带的方案,预定建立一条宽160公里,长约1,600公里的林带以阻挡来自斯喀特山的干燥西风,将植林840万亩,可是进度很慢,以其速度来看,需要50年才能完成。在1937年美国仍发生了黑风暴,从德萨斯、俄克拉荷马向东北一直吹到了加拿大,造成了严重的损害⁽⁶⁸⁾。

加拿大在1935—49年间在康魁士脱、安纳罗特和莱里顿的砂地,营造了886方公里和1,328公里的防护林带⁽⁴⁷⁾,到1954年已经营造了1,610公里以上的防护林带,其中单行防护林带主要采用的树种为锦鸡儿,林带高度2—3公尺,2—3行的防护林带采用桦和槭,高为7—8公尺⁽⁵⁰⁾。

在非洲埃及有96%的土地为沙漠,原叙利亚境内有21%为沙漠,1956年埃及计划修筑阿斯旺水坝,建成以后,可以把数百万公顷的沙漠改造成为良田。

1951年联合国文教组织成立了一个干旱区域计划研究委员会,几年来发表了印度、巴基斯坦、阿富汗、伊拉克、约旦、沙特阿拉伯、叙利亚、也门、埃及、厄立特利亚,利比亚、苏丹、安哥拉、西南非洲、南非联邦、东非、澳洲、美国和加拿大等干旱地区的研究报告⁽⁶³⁾。在资本主义国家,一般说来只作了沙漠地理和植被的调查与观测,在小范围内进行了固沙造林和营造防护林带的工作,只有社会主义的苏联,在中亚砂地的森林改良土壤工作成为国家经济的一个计划部门,40多年来不仅完成了大面积的固沙造林,而且已制定了化费较低的有效方法,实行了固沙造林工作机械化⁽⁷⁾。

我国解放以后,就开始注意了水土保持和固沙造林的工作,据不完全的统计,八年来在内蒙古

及西北各省和新疆、宁夏地区共造林 2,114 万亩，封沙种草 2,636 万亩，土压沙丘 14,546 亩，引水灌沙 95 万亩。从 1957 年开始，组织了沙漠考察队，在内蒙古伊克昭盟，巴彦淖尔盟，甘肃河西走廊，陕北榆林专区、宁夏平原等地进行了普查，考察路线全长 11,628 公里，考察沙地面积 172,800 方公里，初步摸索了沙漠地区的自然特征，沙丘类型，沙漠起源和成因，并依此提出了适宜的固沙植物和改造利用沙漠的综合配置意见，1958 年 10 月在呼和浩特召开了六省（区）治沙规划会议，提出了绿化沙漠的战斗口号，对我国 16 亿亩的沙漠，将加速改造和利用⁽¹⁰⁾。

二、苏联固沙造林概况

（一）苏联主要沙漠的分布

苏联欧洲部分东南部和南部的的主要沙地为：

（1）德聶伯河下游砂地：起源属于古代冲积砂地，形成后，曾遭多次破坏，很少有保留原状的砂地，分布在乌克兰的赫尔松州境内，沿德聶伯河下游左岸，由卡霍夫卡到黑海，总面积达 208,000 公顷，其中砂地占 162,000 公顷。

（2）顿河砂地：过去由冰河沉积形成，后经河川水流改造，因此基本上是古代冲积砂地，部分为现代河流冲积砂地，分布在伏龙涅什州，斯大林格勒州和罗斯托夫州境内，总面积约 100 万公顷。

（3）切里克—库姆砂地：起源于古代冲积，位于库姆和切里克二河之间的低地上，东邻里海，总面积约 80 万公顷。

（4）里海砂地：主要分布在阿斯特拉罕州，位于伏尔加河与乌拉河之间的下游地带，总面积在 400 万公顷以上。

苏联中亚约有 8,000 万公顷的干旱砂地，为世界最大沙漠之一的中亚沙漠分布在此，被流入咸海的阿姆河截分：东为克佐库姆沙漠，面积 2,000 万公顷，西为喀拉库姆沙漠，面积 3,500 万公顷，主要分布在土库曼和乌兹别克两共和国，土库曼荒漠占其面积的 87%，乌兹别克占 40%⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

（二）固沙造林工作

苏联在中亚的固沙造林工作开始于 1880 年修筑里海铁路之后，1895 年起曾播种和栽植梭梭树（*Haloxylon Litw.*）、碱柴（*Salsola L.*）和砂拐枣（*Callignum L.*）等当地的固沙植物，但由于未设置机械砂障保护，未获效果，只有在察尔周城地区的一片梭梭树林获得成功。十月革命以后，乌兹别克于 1925 年就成立了二个固沙队，目前为三个林管区，1929 年土库曼也设立了专业机构，现有七个林管区，两共和国的林管区都由林业总局领导。此外，土库曼科学院领导的“列彼迪克”沙漠研究站，从事研究砂地的起源和发展的问题，风沙移动的基本规律和沙地植物的生物学。土库曼林业试验站是研究里海海岸的造林方法。乌兹别克林业科学研究所从事研究沙荒的类型及森林植物区的划分，研究西南克佐库姆的树种和砂地造林技术。苏联农业部在塔什干设立了中亚林业科学研究所，从事组织和进行中亚的林业和森林改良土壤方面的研究工作，特别注意固沙造林的机械化问题⁽⁷⁾。

三、我国固沙造林概况

(一)我国沙漠的自然特征

根据统计,我国沙漠面积约共有165,000余万亩,占我国土地总面积的11.4%左右,其中流动和半流动的砂地约占75%,除小部分河流冲积砂地和海水冲积砂地零散分布在华北、华东和沿海等地区外,绝大部分分布在西北,内蒙和东北等十个省区,而以内蒙、新疆、青海、甘肃、宁夏和陕西等六个省区为最多,占沙漠总面积的98%,左右⁽²³⁾⁽²⁴⁾。流动和半流动的砂地,不但自然生产力很低,且常随风移动,侵害农田、牧场、交通线和居民点。据初步统计:我国内蒙及西北地区沙漠总面积为159,885万亩,其中戈壁为50,750万亩,流动沙丘为40,795万亩,半流动沙丘为41,015万亩,固定沙丘为27,825万亩。沙漠多分布在海拔1000公尺以上,除在鄂尔多斯与阿拉善之间有纵贯南北的贺兰山和河西走廊南缘有祁连山等高山外,多数是经受长期剥蚀的低山丘陵,高原和山间冲积平原⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

根据流沙下伏的地层,地貌类型,地下水条件和风成沙丘形态及沙层厚度,对流沙地类型可作如下划分:

(1) 复盖在古代河流-湖泊沉积物上的流沙地

这类广泛分布在各个地区,地下水深1—3米,淡水,多数是大型新月形沙丘链,容易绿化,且多有引灌条件,地下水在一米或一米内盐渍化,可选用耐盐植物如白茨、红柳、胡杨、沙枣等固沙。

(2) 复盖在古代农田上的流沙地

主要见于陕北、磴口、宁夏、河西走廊等地区沙漠边缘,为流沙在风的作用下前移埋没的农地,地下水深2—4米,土壤条件良好,沙丘多数是中小型新月形沙丘链或少数单个新月形沙丘,这类沙地可以选用有价值的乔灌木固沙或发展葡萄、瓜类作物。

(3) 复盖在黄土丘陵顶部或缓坡上的流沙地

这类仅见于陕北、风成新月形沙丘链厚3—4或1—2米,地下水很深,但由于黄土特性,植物固沙容易。

(4) 复盖在第三纪红层(粘土、壤土质)上的流沙地

见于阿拉善东北部低山山间亚玛雷克沙漠,主要是大型新月形沙丘链,一般高5—6米,最高20—25米,地下水深9米以下,矿化度很高,流沙移动很快,固沙条件较差。

(5) 复盖在白垩纪侏罗纪砂岩或第三层的流沙地

此类见于毛乌素沙漠、库布齐沙漠、腾格里沙漠、霍拉力斯沙漠、南吉冷沙漠内部,一般是大型新月形沙丘链,地下水深,植物不能利用,局部地势低凹处地下水浅,但矿化度高,沙丘内含水量还可以满足植物需要,为了加速绿化,应实行人工引水或人工降雨。

(6) 复盖在石质低山斜坡上的流沙地

见于阿拉善、河西走廊,风积沙层薄,地下水深,水顺坡流失,条件最坏,不易栽植植物,可利用工程措施插沙障固沙。

(7) 盖在山前洪积物上的流沙地

分布在河西走廊、騰格里南緣地，一般是中型新月形沙丘，少数为大型新月形沙丘，地下水深，植物不能利用，采用生物固沙时，最好配合拦洪蓄洪引灌。

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，有些植物丛生和深根，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，此外有菊科的蒿属、藜科的白刺、檉柳科的檉柳属、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，我国积极开展了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栽培试验，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、烏审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。如民勤县本着“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经验(34)。

(1)防沙林带：磴口县在 1951 年开始沿沙边弯曲地带，从三盛分到四坝全长 154 公里，宽 50 米的防沙林带是先引水灌溉，然后植树和扦插造林，在盐碱地用檉柳、沙枣，在水分较好处用杨、柳、沙枣，林带后面沙窝丘间低地全面造林，沙丘顶种草，并把沙边五公里宽地区划为封沙育草区，已经固定了流沙 9 万亩。

(2)护田林带：民勤县在三雷等乡从 1957 年开始营造护田林带，原设计主带为 17—20 米，行距 1.5 米，营造时作了修改，在沙荒灾害大的地区，保留原宽度，通过耕地部分改成 10—12 米，行距一米，仍植树 9—11 行，主带距 400 米，付带距 1,500 米。薛百乡林带树种的配置为：沙枣(三行)一小叶杨—沙枣—小叶杨—沙枣—小叶杨—沙枣(三行)。

(3)方格式沙障：中卫沙坡头铁道防沙试验站 1957 年在铁路两旁格状、新月形沙丘上设置方格式草沙障，按 1 × 1 米或 2 × 2 米，将草整齐平铺沙上，然后用铁锹从草中间用力向沙内插入，两头直立于沙面，露出 10—20 厘米，在迎风面格内种草造林，留出丘顶 1/3，借风力将其削

平，待第二次設障造林。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，先将沙丘扒平，减少高度和坡度，用含沙不超过20%的壤土，用水浇湿，撒于沙丘表面，随压随播沙蒿、沙米，最后形成植物复盖。此法缺点是費工大，埋土后水分补給困难，沙丘水分条件变坏，干沙层增加至40厘米，上部仍不长沙蒿，效果不大，仅适用于孤立沙丘。

(5) 引水灌沙：河西各地利用冬季不用的渠水灌入沙窝，使其湿润，有利种草造林。陕西榆林則找到了“边开渠、边引水，以水固沙，用水开渠”的新方法，引渠水穿过“閼王壁”时，当渠壁挖到快下塌时，把木板打进沙里，中撑木棒，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，发现比降以 $1/5,000 - 1/7,500$ 为合适⁽³⁸⁾。

四、固沙造林技术和經驗

固定流沙的基本方法是减低地面的风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：目的在于創造砂地区域經濟利用的条件，預防和排除流沙发生的可能性，逐漸提高砂土的肥力，在农业上为实行輪作和草田耕作制度的整套农业技术，在畜牧业方面要規定畜牧用地和禁止放牧地，在砂地林业經營中要保証森林稳定性和持久性的提高⁽¹⁾⁽²⁾⁽¹²⁾。

植物固沙：流沙地进行植物固沙，須在机械砂障保护下进行，借以保护幼苗，保証发芽生根。还可采用瀝青乳剂固砂，使砂丘形成薄层，固定流砂，保护种子发芽，也可采用砂質土壤的砂化法，将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⁾，規定单位面积內放牧的負担，实行輪牧。关于砂地列为畜牧业用地，M. A. 奥尔夫对阿斯特拉汗半沙漠規定如次：(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%)。

沙荒固定后通过正确的組織經營，則林业和畜牧业都能得到良好的发展，苏联土庫曼畜牧研究所，經過多年的研究，認為在飼料稀少的半固定沙地，混种梭梭树，拐枣、碱柴、麻黄蓼等以及三芒草、沙蓬等牧草，可以改变原有植物組成，提高沙地利用价值，原来只能夏季放牧的，可以全年放牧。B.A. 巴列茨基指出：当梭梭树和沙苔被复整个沙漠地表以后，水分条件恶化，表土板結，含盐量不断增加，使一般植物不能生长，如在林地內适当放牧，牲畜能踩松土壤，遺留糞便，使沙地保持最高生产力⁽⁵⁾。

(二) 营造防护林带和砂障

防护林带在固沙方面的主要作用，是在用栽植乔灌木的措施去阻挡风力，减低风速，防止流沙吹失和农田积沙，保护农田、家畜、居民点和交通路綫，免遭风砂之害⁽⁴⁷⁾。任何林带总的防

护效果取决于穿过林带和越过林带的⁴气流数量的比例,适当透风,亦即有透风结构的林带为适宜,林带应与主要的为害风向垂直,多风向时采用半圆形或弧形⁽⁵³⁾⁽⁶⁹⁾。关于林带的宽度,苏联一般主林带为15米,付林带为10米,美国规定为40米,丹麦为12米,近来有趋向狭窄的意见,认为三行已够⁽⁴⁷⁾。苏联曾经有一段时期为了缩小林带所占用的面积和减少人力、物力的消耗,营造5—7行式的防护林带,但这样的林带既不稳定,亦不能防止有害气象因素对土壤的危害,М. И. 尤金根据低气层气体旋涡增加的分析,用理论计算证实,防风林带以8—25米宽的稀疏结构,其气象效果为最好。在黑风暴侵害地区,应该有20米的宽度,这样在无叶的时候也能防护强风砂土的侵袭,А. В. 克雷洛夫和Ю. В. 克柳契尼柯夫曾经主张宽度增加到40—60米,以为窄林带不稳定,但在干旱条件下,不稳定的却是这样宽的林带⁽¹⁵⁾。

林带的防风效率与其高度是成正比例的,帕尔图指出:向风面为高的2—5倍,背风面为20倍,凯尔的结论是向风面为6倍,背风面是24倍,事实上防风效率因林带结构而不同,一般认为是高的10—25倍,而最有效的距离为林带高的15倍⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽⁴⁷⁾。

(三)固沙造林树种的选择

固沙植物应该具有的条件:

- (1) 在干旱沙地具有生长的能力,能在空旷地上生长,不怕风吹砂割。
- (2) 结实早,并在砂丘上能天然繁殖。
- (3) 根系能固定流沙,能发生不定根,同时能形成茂密的复盖。
- (4) 对风向能形成一致的风障,使风力远离地面。
- (5) 能产生丰富的地被物。
- (6) 有经济意义,至少可作燃料⁽¹¹⁾⁽⁵²⁾。

苏联中亚地区固沙造林的多年经验证明,只有当地原有的树种最能适应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. paletzkana*)及拐枣(*Calligonum caput Medusae*, *C. eriopodium*, *C. arborescens*, *C. elatum*)等灌木树种最易繁殖⁽⁶⁾。

我国在腾格里沙漠中卫地区二年来试验的结果证明:大多数的乔木不适于流沙地上生长,如油松苗过小,经不起沙埋和风蚀,而且不耐沙内含有钙质,故完全死亡,榆树虽耐干旱,但不耐流沙的贫瘠,洋槐根系腐烂,而且怕沙割,都不适宜,现在认为有希望的树种:沙枣(*Elaeagnus angustifolia* Linn.)、小叶杨(*Populus simonii* Ca.)、黄柳(*Salix flavida*)、花棒(*Hedysarum scoparium* F & M)、锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam.)、梭梭树(*Haloxylon ammodendron* Bge.)、檉柳(*Tamarix chensis* Lour.)、白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)、黑沙蒿(*A. oedocarpa*)和差把戛蒿(*A. halodendron*)⁽¹⁰⁾⁽¹⁶⁾。我国在辽宁宁古台试验结果是黄柳、锦鸡儿、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)等比较适宜⁽¹⁸⁾。C. M. 莫沫特的意见认为小叶杨、柳、沙枣和檉柳等,目前看去生长不坏,是因根已伸展到砂层下面的农田土地,但不能固定流沙,效果不会很好,杨、柳可以采用,但不能作为主要固沙树种,建议采用梭梭木或拐枣等树种⁽¹¹⁾。

根据近年来在内蒙古西部及河西走廊的调查,发现沙生的和由苏联中亚沙漠引进的植物达400种,按其固沙作用有:白沙蒿,黑沙蒿,差把戛蒿,沙蒿(*Artemisia salsoloides* Willd.)、花棒、锦鸡儿、沙拐枣(*Calligonum mongolicum* Turcz.)、黄柳、梭梭和檉柳(*Tamarix ramosissima* Ldb.)⁽¹⁹⁾。就初步试验结果,认为在流动新月形沙丘地可种植花棒、籽蒿、油蒿、沙米(*Agriophyllum are-*

narium Bge.)、沙拐枣,在某些地下水位高的地段可选用黄柳、杞柳等,在半固定沙地选用梭梭树、锦雞兒、油蒿、罗布麻,在流沙地边缘的防沙林则选用小叶楊、胡楊、沙枣、杞柳、黄柳,发生盐渍化的沙地则用紅柳、白茨等⁽¹⁰⁾。

苏联在欧洲部分森林草原地带的砂地上,采用固沙造林的乔木树种中,最普遍的为欧洲赤松(*Pinus silvestris* L.),是最稳定和持久的树种⁽¹²⁾。在德、法、奥等国早期采用楊、柳、樺等树种,但結果不佳⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾,后来采用洋槐和松等,菲歇尔认为松树更为适宜。塞浦路斯在1900年在海濱沙地造林試驗証明石松(*Pinus Pinea*)結果良好⁽⁵⁴⁾,美国在密歇根湖地区大面积砂地造林也采用了短叶松(*Pinus banksiana* Lamb.)、赤松(*Pinus resinosa* Sol.)和白松(*P. strobus*)等树种⁽⁵²⁾。松树作为固沙造林的树种还可以进行研究。

(四)固沙造林种草技术和措施:

用植物来改造沙漠,尤其是用乔灌木来固定流沙和改造沙荒,这是最根本的方法。在一般有植物生长的沙地,虽然植物复盖度不大,但基本上是有希望靠植物的天然繁殖达到固定流沙的效果的地区,可以实行封沙育草,同时应在封禁区内实行播种,加速其恢复。經驗証明在流砂地区造林,如不加措施,以防止风蚀,則不易成功,尤其直接播种成效不大,在封沙育草区内或半固定沙地以及結合引水灌沙地段,都获得良好結果⁽¹⁰⁾⁽³⁰⁾。亦有认为裸露沙地造林失敗的原因,大多数由于苗木太小,不是遭到沙埋,就是因风沙移动而根部暴露所致,在近东地区研究了不用預先固沙措施的新技术,即栽植壮大的苗木(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。苗木应在砂丘地区的苗圃中培育,近东沙漠地区采用*Acacia cyanophylla*等树种,苗木須先移植在混有土壤、砂和綠肥的鉢内,充分灌水后,埋入沙地以减少蒸发,待苗木长达1米以上,根部在鉢内与土壤形成一团,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⁾。据計算由于不采用預先固沙措施,費用反而降低。惟試驗地年降雨量一般在200毫米上下,甚至有达600毫米,过于干旱地区是否适用,应进一步研究。

飞机播种是沙地造林先进方法之一,可在短期內綠化很大面积的沙地,如果一个骑骆驼的工人一天能播种梭梭8—10公頃沙地,用汽車能播种30公頃,用飞机則可播种400—500公頃,一架飞机相等于60个工人的工作,同时用播种造林时,生长的植物能更好的适宜其环境。苏联烏茲別克早在1934年已经开始飞机播种梭梭树的試驗,1940年土庫曼也进行了試驗,都获得良好的結果⁽²⁰⁾。我国于1958年夏在榆林民勒等地試行飞机播种沙蒿,根据榆林地区的检查发芽率达75%,但幼苗多集中于背风或风蚀极輕的低地,部分幼苗根系裸露,經秋后风蚀和冬春的强风吹蚀,几乎大部死亡,沙丘背风坡少数成活,难發揮控制流沙作用,可見在流沙地直接播种只有在某些措施保护之下,才能成功⁽¹⁰⁾⁽²¹⁾。

經驗証明,沙区干旱,不宜在整个沙地上进行造林,飞机播种时应隔带播种,利用間隔空带积蓄水分,以提高造林成活率,并使幼林生长良好。

沙障材料最好利用当地带刺的野生植物,如骆驼刺等,沙障的形式及在沙丘上設置的位置,須根据地形和沙丘移动規律設計⁽⁶⁾。在流沙严重危害地区,采用网格状(1×1米,或1×2米亦有試驗在陡坡減低到15×19厘米的)沙障对防止流沙侵袭,有显著成效⁽¹⁰⁾⁽⁴⁶⁾⁽⁵²⁾。根据經驗,认为不在沙脊插障,改在沙丘迎风坡下半部,橫坡平行插障多行,不仅会起控制流砂作用,而且有希望改变沙地地形⁽¹⁰⁾⁽²¹⁾。

在风蚀特别厉害的地方,在沙丘播种,植苗或插条造林后,采用瀝青乳剂噴浇裸露沙地表层

几小时后,使之凝固成一层0.5—1厘米厚的薄膜,既可渗透相当雨水,又不妨害幼苗生长,并可保护沙丘不被风蚀和移动,有效期延續到三年左右,已經被广泛应用⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁶⁾。瀝青薄膜极易受到机械损伤,因而降低了防止砂地风蚀效果,如結合砂障用瀝青固沙,則效果更大⁽¹⁴⁾。但是噴浇瀝青层的技术还不很完善,提高瀝青层的耐久性問題,尙有待进一步的試驗解决。同时在沙丘斜坡和大斜坡地上,瀝青层下的砂地表层水分分布亦引起了变化,1952年乌克兰科学院的研究表明,大雨之后,未瀝青化的砂地渗透到下面的湿润层(18厘米),而在椭圆形沙丘斜坡为10°的瀝青层下面7—8厘米处仍是干砂,說明瀝青层引起地表径流,这样直接用于造林地或刚造林之地問題,亦需要进一步研究⁽²²⁾。

土埂防砂法:对流动性很大的侵袭型新月形沙丘,网状沙障不能固定流砂,瀝青乳剂亦难防护远处吹来的流沙沙埋,因此土庫曼科学院正在研究利用气流学原理,在路基或河床与流沙之間的适当距离处,設置两道平行的土埂利用气流涡动力,将流沙卷出路基或河床之外,而不致堆积为害,作为一个临时的防沙措施,在植物生长极困难的条件下,可以采用⁽²⁾⁽⁶⁾。

五、固沙造林中的一些科学研究問題

(一)沙漠的起源和成因

苏联中亚克佐庫姆沙漠的形成主要是水和风的自然因子促进母岩的风化而成,略拉庫姆沙漠除部分砂地属于第三紀泥炭和砂岩风化产生外,其余是由阿姆河冲积沙地經风力作用所形成,此外有的是海湖沉积及过去固定的沙地,由于过度的放牧和开垦,破坏植被,遭受风力作用重新形成流动或半流动沙地。

我国北部沙漠的起源,認為沙的最初来源,毫无疑问是岩石风化的产物,岩石經受长期的和剧烈的冷热变化和冰雪冻结作用,加有强烈的风蚀,促使崩碎风化,經水和风力搬运堆积而成。岩石风化現象,現在还不断的在繼續发生,如鄂尔多斯高原系露出地面的白堊紀沙岩塊的风化、境内低山丘陵紅砂岩的风化物就近堆积形成沙丘,都是例証。这些风化物从原始供給地通过不同方式,絕大多数是古代河流和近代永久性或間歇性河流,以及地表径流夹带大量泥沙向下游或低地堆积,再受风蚀吹揚堆积,形成流沙,这是流沙的主要原因,如騰格里沙漠本身是一个盆地,吉兰太盐地附近烏蓝布和沙漠、雅布賴盐池附近的流沙地都是例証⁽¹⁰⁾。

其次是风积沙,沙子由于风力吹送到另一地方堆积形成沙丘,如金塔敦煌一带某些低山坡积聚的流沙,即由风吹河流冲积物或风蚀戈壁所造成。

人为的原因,如过度放牧和滥垦等破坏了植被,特别是破坏了古代固定沙地植被,也导致了流沙的形成,如北部沙漠地区,由东到西降雨量逐漸减少,东部自然条件适合于自然长草,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,东部沙地面积远比西部大,虽然东部沙源丰富为其原因之一,但是长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,地势低洼,有利于沙丘形成和留駐;以及起砂风較少、較弱,风向較多,形成的沙丘不易吹走的影响⁽³⁹⁾。

弄清风沙来源,直接关系到防风固沙措施,尤其是防风林带的配置。如毛烏素沙漠起沙原因,有的認為是由于长城沿綫高地和中部脊梁間的凹地中,原有比較深厚的古代冲积和沉积沙层为基础,加以近代土地利用上的不当,在当地干旱多风的气候条件下,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尔多斯的砂为风力吹送而来,意見頗不一致。假如說是远处吹送而来,則主要的防风林带就要考虑設置在沙漠的北緣,假如說是由于就地起沙,那么防风固沙措施,一方面是在流动沙丘地区进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风林带。

(二)风与流沙移动的規律

流沙移动与风的状况密切联系着,风的作用因地面状况和风速而不同,风力大和持續期短的比一般的影响大⁽⁵⁷⁾。沙丘的形成,乃是由于风沙作用于砂質沙漠地表的結果。当风力吹經砂地地表时,由于气流运动上升力的作用,地表砂粒被携带入气流中而随之前进,形成风沙流,当风速减弱或遇到阻碍物时,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为轉移,其运动基本上为滚动、跳跃、悬浮等三种形式。据我国观测,在沙面以上2米高度平均风速达到4.5—5米/秒时,沙粒有滚动現象,这个风速便是沙粒移动的临界风速,这样的风称“起沙风”⁽³⁾⁽¹⁰⁾⁽³¹⁾。又据1958年夏季在內蒙古西部巴彥尔盟及河西张掖专区的观测查明,起砂风的风速是5米/秒以上,由于这些地区的砂子直径以0.5—0.3毫米級为主⁽³⁹⁾。根据观测:风沙流中的沙有90%是分布在离地表10厘米以下的范围内,而其中又有40—50%的砂集中在离地表0.36厘米高程內,由此可见,砂的运行是順地面前进,不是一般所說:砂能为风吹送到高空带到远方,因此沙障(格状)高度一般采取20厘米,最密的沙障采取50厘米的間距就可以⁽³⁾⁽²⁸⁾。

沙丘的移动方向是依风向为轉移,其总的前进方向是决定于起沙风的合成风向,主风和次主风起主动作用。沙丘移动的快慢,取决于风力和沙丘本身的高度,此外也与地形、风向及其本身形状有关⁽³⁾⁽²¹⁾⁽³⁰⁾⁽⁵⁸⁾。在某种情况下,用插沙障法堆高沙丘是可以延緩流沙移动速度。在我国北部沙漠,风向基本上是二大系統,大致以額济納河以西为界,即东經98°—100°以东地区是偏西的北风,沙丘向东南移动,以西地区是偏东的北风,沙丘向西南移动,个别地方由于局部地形影响具有另外的风向。据調查我国北部各地沙丘移动都較快,一般每年达5—10米,最快可达15—30米,据在內蒙西部和河西的調查,7米高的沙丘的可能移动距离,每年为2—30米以上,四季中絕大部分地方以春季移动最快,都达一米,甚至10米以上,而以夏季或秋季为最慢。据調查:苏联克佐庫姆沙漠在1925年末进行固沙前流沙每年向布哈拉綠洲推进40—60米⁽²⁾。德国在69年中砂地向內地每年平均推进10米(前39年每年只3米,后30年却增加到18米)。法国沙丘每年向內地深入9—27米⁽⁴⁸⁾。研究风砂移动的規律不仅在空气动力学方面具有科学意义,而且能为防风固沙的措施与规划提供科学根据,如我国北部沙漠地区沙丘移动的情况表明,在春季由于沙丘移动快,而且特別干旱,因此固沙造林,尤其直播造林会发生很大困难,而在夏季,特別7—8月,造林种草容易成功⁽³⁹⁾。

(三)沙漠植被与植物群系的演替

我国北部砂地植物据初步調查有400种以上,在荒漠地区以藜科植物为主,多呈小灌木、半小灌木状,此外尚有菊科的蒿屬,莢蒾科的白刺,檉柳科的檉柳屬,蓼科的霸王和砂拐枣等,

从自然地理来看,我国北部沙漠地区具有三个不同的地带:

(1) 干草原地带:在鄂尔多斯沙质砾质高原的东部和东南部,即北起包头南至盐池一线以东地区,年降雨量在300—400毫米,砂地含水量高达3—4%,植物种较丰富,有黄柳、毛柳等中生灌木和达乌里胡枝子,本氏羽茅、闭穗、阿尔太紫苑、白草等占优势植物。

(2) 荒漠草原地带:系指狼山东麓、贺兰山东麓洪积平原以东地区,东与干草原西带相连,年降雨量在100—200毫米,本带尚有具有森林草原特征的贺兰山中高山,而低山部分显示荒漠草原特点。此外在宁夏、河套、河西走廊张掖以东河流冲积平原,为粮棉生产基地。沙丘低地有花棒、拐枣、木蓼、檉条、猫头刺、油蒿、籽蒿、沙竹等。

(3) 荒漠地带:贺兰山以西,包括河西走廊及其以北地区,年降雨量由东往西,由100减低50毫米以下,为显著大陆性气候。本带东部代表性植物为:梭梭树、沙拐枣、冬青、霸王、白茨、红沙、珍珠、松叶猪毛菜等,西部为:骆驼蹄板、骆驼刺、野茴香、勃氏麻黄等,沙层含水量小于1%,植物固沙比较困难⁽¹⁰⁾。

流砂地植被复盖度一般在5%以下,受着各种气候和土壤条件的限制,尤其风蚀最为严重,植物对荒漠的生活条件也因而形式了独特的适应性:

(1) 缩小叶片,减少气孔或发展成为无叶型,用以防止干旱季节的过渡蒸腾作用。

(2) 具有形成不定根和根蘖的能力,以适应沙埋危险。

(3) 具有发育强大的根系,常有深浅两层,浅根便于利用微量雨水,深根借以固定,避免水分吸收中断。

(4) 多借助风力传播果实和种子,有些种子具有化学保真层,可阻止发芽,俟有适量降雨时,经溶解消失而发芽⁽⁴²⁾。

(5) 细胞渗透压增加,部分肉质化。

砂地一旦出现植被,砂地中粘粒不断丰富,表层盐渍化增强,根据B.Л里昂节夫在土库曼的材料,新月形沙丘顶部含盐量仅0.044%,而黑梭梭树丛下,0—5厘米表土含盐量达0.185%,一般碳酸盐为3.5—5.2%⁽⁷⁾,同时水分变干,如裸露流砂地0—80厘米层平均含水在2.98%,而生长油蒿、黄柳、梭梭和檉柳地降低到2.41—2.65%⁽¹⁶⁾。

砂地植物群系的演替,据B.A.巴列茨基的研究:第一阶段在裸沙地最先出现一些单株三芒草(*Aristida pennata*)和砂槐(*Ammodendron conollyi*)。第二阶段在三芒草,沙槐的防蔽下出现麻黄属的各种灌木,砂地流动性减弱。第三阶段三芒草被麻黄属排挤,沙槐生长衰退,砂地湿度降低,出现耐旱而比较高的灌木如碱柴或拐枣。第四阶段碱柴旺盛繁殖,麻黄属被排挤,较高地出现单株白梭梭,低地则出现黑梭梭,第五阶段砂地停止流动,梭梭树很快繁殖,抗旱性差的碱柴、麻黄属衰退,有些地方出现苔草(*Carex physcides*),此时需要调节放牧,采伐更新⁽²⁾⁽⁵⁹⁾。植物演替在人为的干涉下,可以略省许多过渡阶段,而直接引种树种。了解沙漠区植被类型和分布规律,研究沙漠植物群系的演替,不仅为沙地种草造林提出适宜的种类和方案,而且借此预见固沙种草造林后,植物群系的相互影响和演替。

(四)固沙造林与砂地水份之关系

在干燥荒漠地区用植物固沙,主要就是水份问题,在年降雨量不足200毫米的干旱情况下,沙层内水分条件,对植物成活及生长是一个限制因子。砂地水分状况的好坏首先取决于它的机械成分,或者说沙地的持水量,在粗中粒砂地的最低持水量为2.5—3.5%,中细粒砂地为4—5%,

細粒砂地为6—8%，粉砂地和砂壤地为8—12%，持水量不超过4—5%的砂地属低容水沙地，在这样的地区造林困难，但在半荒漠地带，砂地的低持水量却成为一个好的因子，如在重質土，特别是形成結皮的重質土，少量降雨（1—5毫米）毫无效果，差不多立刻被蒸发，但在輕松土上，如此少量降雨却能渗透到3.5—7厘米的砂层，而为植物所利用，根据在騰格里中卫砂区的观测，1956年降水量多到238毫米，砂地含水量平均为2.7%，而在最干旱的1957年1—10月降水量仅85毫米，砂地含水量尚有2.37%，两年相差甚微，同时在干旱季节，干砂层到9厘米后不再加厚，干砂层起了保持砂中水分的作用，这些都有利于植物的生长⁽¹⁶⁾⁽³²⁾。采用具有强大根系的旱生植物固沙，砂内水分能供应其生长。

砂地經植物固定后，由于植物的蒸騰作用，消耗大量水分，使干砂层厚度增加，其增加程度随植物种类、生长时间，距离根际远近而有不同，根据中卫砂区对沙枣、油蒿、黄柳、梭梭等的观测，根际干砂层平均为42厘米，但是0—80厘米砂层的含水量尚在2.41—2.65%之間，如植物深栽到40厘米以下，可以避免根系陷入干砂层危险，而提高成活率。为了保证固沙种草造林成效，应该合理开发利用和儲存水源，积极研究地下水的合理利用。一般認為半荒漠的低容水砂地，造林面积占10—15%，在草原带的低容水砂地上，造林面积占30—60%，其余面积讓其保持半固定状态，使地下水不会降得很低，A. Γ. 加也里認為造林面积占得大一点，地下水降低一些，对造林不会有太大的坏作用，指出有些研究認為烏尔达沙地上人工林的死亡，由于地下水位下降和盐渍化所致的推論是不正确的⁽⁶⁰⁾。

在沙漠还有一种水源即凝結水可資利用，沙漠夏季昼夜温度达30°，即使空气湿度小，沙粒也会使空气中的水分凝結，可以安設凝結装置，从空气中提取水分，以便利用，这种装置在苏联已經制成而且使用，但生产力不大，須待进一步研究制造大的装置⁽³³⁾。在古时有用卵石堆成砂丘，即是利用露水在冷的卵石上凝結，而后渗入砂中，这种砂丘有如伞的作用，能形成湿地，供植物生长，据测定：在以色列海岸砂积地凝結水年达25毫米，山区为23毫米在炎热的山谷地区亦达9.6毫米，而且夏季比冬季多，認為在干旱状况下，对植物水分的供給，使其成活或死亡，凝結水将是一个重要因子⁽⁴²⁾⁽⁶²⁾。

(五)固沙造林与新技术的应用

苏联固沙經驗証明，在垂直主风方向营造防护林带，沙地种草造林乃是可靠的固沙措施，为了使其良好生长，不致死亡，必須有水分或降水和浅的淡質地下水，供植物利用，特別在头几年，因植物根系还在砂地表层，表层水分并非充足，到后期根系深入下层，便能从深的地下水中吸取水分，因此凡年降水量在100—200毫米或更少的地区，应该設法利用地下水，在苏联5—30米深的筒井，得到了广泛的推广，并在修筑大量鑽井，提取深层地下水。提引深度在2—5米的浅层地下水，苏联最近在沙漠里采用爆破法开掘1,000—3,000方容量的水塘⁽³³⁾。但是在干旱区的蓄水庫蒸发量太大，有建議利用尼隆做罩盖，在澳洲試驗用鯨蜡醇（Cetyl alcohol），使形成一单分子薄层，复罩水庫表面，曾在开山堤的大面积水区試用，据說虽有风移动，薄层仍能持久，在14个星期的炎夏中，有六个星期水分获得平衡⁽⁴²⁾。在淡質地下水深的地区，应采用人工引水，我国水利資源异常丰富，可是水量分布不均匀，实现南水北調，引金沙江，雅龙江和大渡河等总水量达1,400—2,400亿公方，再分別輸水至青海的柴达木，新疆的塔里木、准喀尔盆地，內蒙的全部沙漠区及山西省境，这对西北和华北地区农林牧副漁业的发展和沙漠地区的改造利用，有决定性的意义。

人工造雨已在我国試驗成功, 当前已有的人工降雨技术, 主要是对具有若干条件的云层加以“促进”, 使悬浮着的微小水滴能够变大, 降落为雨雪, 研究人工降雨的主要問題首先是用目测或仪器观测, 判断这云层能否促使成雨, 其次是研究用什么藥剂和方法来促进成为降雨, 积极研究人工降雨, 用以保証固沙造林种草中飞机播种的成效。此外如应用超声波, 同位素、赤霉素来促进植物生长, 亦应开展試驗。

参 考 文 献

- (1)竺可楨: 改造沙漠是我們的厂史任务。人民日报, 1959, 3月2日(7版)
- (2)高尙武: 中亚沙漠地带自然条件及其固沙經驗。林业科学, 1958, NO. 1, 23—36
- (3)中国科学院治沙队: 陕北、内蒙西部及河西走廊的气候和流沙移动的規律。沙漠地区的綜合調查研究报告(第一号), 1958, 200—33
- (4)郝景盛: 造林学, 1945, 260—272
- (5)赵宗哲: 苏联中亚的固沙造林, 1958
- (6)林业部: 苏联中亚細亚地区固沙造林考察报告
- (7)H. 柯克沙罗娃, A. 里昂节夫: 中亚細亚的固沙造林。固沙造林資料譯丛第二輯, 1958, 57—73
- (8)六省区治沙规划会議总结, 1958, 11
- (9)刘煥心: 騰格里沙漠概况(油印本), 1959
- (10)中国科学院治沙队: 1957—1958年两年来沙漠考察的成就(油印稿), 1959
- (11)C. M. 莫沫特: 烏兹別克共和国固沙造林經驗介紹。考察中国林业报告集, 1957, 9—11
- (12)И. C. 馬秋克: B. B. 米罗諾夫: 固沙造林, 1955
- (13)B. A. 尔扎尼岑: 砂質土的砂化。1957
- (14)A. B. 普列奧拉仁斯基: 造林学(下册), 1958, 156—187, 233—251
- (15)Г. N. 瑪恰金: 护田林带和小气候, 1956, 96—105
- (16)李鳴崗: 騰格里大沙漠中卫地区包兰铁路沿綫二年来固沙造林的研究, 1958
- (17)林业土壤研究所: 騰格里沙漠包兰铁路中卫段固沙造林研究, 1959
- (18)韓树棠, 王永魁: 灌木固沙試驗初步报告。林业科学, 1958, 3, 280—291
- (19)中国科学院治沙队: 内蒙西部及河西走廊的沙生植物。沙漠地区的綜合調查研究报告(第一号), 1958, 49—74
- (20)A. A. 列昂节夫: 变沙荒为林地和牧場的先进方法。林业科学技术参考資料, 1958, 11
- (21)高尙武: 中国北部沙漠的自然特征及其綠化和改造(油印稿), 1958
- (22)A. M. 弗洛罗夫斯基, B. H. 科斯托馬罗夫: 砂地松树造林問題, 固沙造林資料譯丛(第二輯), 1958, 1—18
- (23)張昭: 对于治沙工作的几点体会, 1958
- (24)黃秉維: 改造和利用我国的沙漠。地理知識, 1958, 9, №12, 529—530
- (25)中国科学院治沙队: 沙漠考察工作报告。沙漠地区的綜合調查研究报告(第一号), 1958, 1—8
- (26)中国科学院治沙队: 中国北部沙漠的自然特征。沙漠地区的綜合調查研究报告(第一号), 1958, 9—16
- (27)候学煜: 中国沙漠地区的植被概况(油印稿), 1959
- (28)朱震达: 关于我国西北沙漠地区砂的来源和风砂移动的一些概况(油印稿), 1958
- (29)崔友文 李安仁 董惠民: 陕北榆林区新月形沙丘固定中的植物栽培問題。林业科学, 1957, 4, 395—412
- (30)周鴻岐 伍先述: 陕北砂地造林。林业科学, 1957, No. 2, 177—187
- (31)彼得洛夫: 鄂尔多斯和阿拉善荒漠砂地的特征和固沙方法。苏联专家彼得洛夫教授报告, 1958, 1—5
- (32)A. Г. 加也里: 論砂地造林与水分关系。1958
- (33)考尔涅夫: 关于水利治沙措施的一些問題。1958
- (34)中国科学院治沙队: 内蒙磴口县、阿拉善旗及甘肃河西地区群众固沙造林經驗。沙漠地区的綜合調查研究报告(第一号), 1958, 75—91
- (35)中国科学院治沙队: 河西走廊、阿拉善旗的地貌。沙漠地区的綜合調查研究报告(第一号), 1958, 34—40
- (36)彼得洛夫: 河西走廊砂地特征及国民經济对砂地开发利用。苏联专家彼得洛夫教授报告, 1958, 6—10
- (37)中卫固沙林場: 騰格里大沙漠中卫地区包兰铁路沿綫固沙造林工作报告(油印稿), 1959,
- (38)陕北人民向沙地进军。地理知識, 1958, 9, №12, 534—536
- (39)耿寬宏: 起沙风和流沙。地理学报, 1959, 25, No. 1, 21—39
- (40)B. A. Введенский: Большая Советская энциклопедия 1955. Том 35. 317—321
- (41)Soil construction in the Rajasthan Desert work of the Desert afforestation research station, Jodhpur Central Soil Conservation Board, 1956
- (42)Ritchie Calder, C. B. E.: The future of deserts. Discovery, 1957, 18, No. 7; 299—301

- (43)Gerhardt, P. : Handbuch des Deutschen Dünenbaues, 1900, Berlin
- (44)Joshi, M. C.: A comparative study of the vegetation of some areas in Jaipur Division. J. Indian Bot. Soc., 1957, 36, No. 3, 272-291
- (45)Nixon W. M.: In the Indian Desert. Soil Conservation, 1958, 23, No. 8, 155-157
- (46)Conway, M. J.: Mechanisation in sand dune afforestation. Empire Forestry Rev., 1956, 35, No. 2, 143-148
- (47)Praskash, M.: The green walls of protection. Indian Forester, 1958, 84, No. 6, 334-340
- (48)Greeley W. B.: Forest policy in France: The control of sand dunes & mountain torrents. Amer. Forestry, 1920, 26, 3-9
- (49)Bauer, Ernst: Die Wohlfahrtaufforstungen in Flugsandgebiete des Marchfeldes. Österreichische Vierteljahrsschrift für Forstwesen, 1936, No. 54, 102-126
- (50)Staple, W. J., Lehane J. J.: The influence of field shelterbelts on wind velocity, evaporation, Soil moisture and crop yield. Canad. J. Agric. Sci., 1955, 35, No. 5, 440-453
- (51)Fervert, R. K.: Soil and water conservation engineering, 1955, 128-143
- (52)Lehotsky K.: Sand dune fixation in Michigan. J. Forestry, 1941, 39, 993-1004
- (53)Prakash M.: "Shelter-belts" Special paper presented at the 4th world forestry congress, Dehra Dun, 1954
- (54)Couppis, T. A.: Reclamation of sand dunes with particular reference to Ayia Erini sand drifts, Cyprus. Empire Forestry Rev., 1956, 35, No. 1, 77-87
- (55)Wood, R. F.: Problems of afforestation. For. Res. For. Comm., London, 1954/55, 1956, 32-34
- (56)В. Л. Дубровский: Особенности облесения барханных песков, укрепляемых битумной эмульсией. Лес. х-во. 1956. №2. 44-47
- (57)Odynsky Wm.: U-shaped dunes and effective wind direction in Alberta. Canadian J. Soil Science, 1958, 38, No. 1, 56-62
- (58)Melton, F. A.: Tentative classification of sand dunes: Its application to dune history in the Southern High Plains. J. Geol., 1940, 48, 113-174
- (59)Палецкий В. А.: Основы и метод борьбы с песчаными заносами на железных дорогах, 1928.
- (60)Гаель А. Г.: Облесение бугристых песков засушливых областей. 1952
- (61)Humphrey R. R.: The desert grassland, A history of vegetation change and an analysis of causes. The Botanical review, 1958, 24, No. 4, 193-252
- (62)Duvdevani Sh.: Dew research for arid agriculture. Discovery, 1957, 18, No. 8, 330-334
- (63)Dickson, B. T.: UNESCO and arid zone problems. Austral J. Sci., 1955, 17, 203-204
- (64)Bates C. G.: The windbreak as a farm asset, U. S. Dept. Agric., Farmers Bull. 1405, 1936.
- (65)Prakash M., Pathak S.: "Brick-Planting" in shifting sands of west Rajasthan. Indian Forester, 1957, 84, No. 4, 224-225
- (66)Singh B.: Formation of local desert in Punjab and their control. Indian Forester, 1958, 84, No. 4, 230-234
- (67)Ranwell D.: Movement of vegetated sandune at Newborough Warren, Anglesey, J. Ecology, 1958, 46, No. 1, 83-100
- (68)Bennett, H. H.: Soil conservation, 1939, 37-41, 116-124
- (69)Loloup M.: Tree planting practices for arid areas, FAO, 1955