

治沙造林学

李宾生 主编

林业、水保专业用

造林学

主编

林业专业用



中国林业出版社

全国高等林业院校试用教材

治 沙 造 林 学

李 滨 生 主 编

林业、水保专业用

中 国 林 业 出 版 社

全国高等林业院校试用教材

治沙造林学

李 滨 生 主编

中国林业出版社出版（北京西城区刘海胡同7号）

新华书店北京发行所发行 世界知识印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 15.5印张 插页1页 360千字

1990年8月第一版 1990年8月第一次印刷

印数 1—3,000册 定价：3.15元

（京）第033号 ISBN 7-5038-0647-8/S·0297

前 言

本书是为高等农林院校水土保持专业治沙造林课程所编写的教材。过去20多年,该课程的教材内容变化不大,到了80年代,随着科学技术的进步和发展,人类不仅需要解决世界范围内的沙漠化问题,而且由于人口爆炸性地增长和有限资源的日益匮乏,改造和利用沙漠已经提到议事日程。同时某些技术发达的国家通过大型水利工程作出了改造和利用沙漠的样板。所有这些促使作者决心改革教材的内容。

全书在过去油印教材的基础上增加了改造和利用沙漠和沙地的基本原理以及工程和植物固沙的原理部分,增加了节水型和循环利用水分的水耕法、滴灌法等技术内容,特别增加了适合于沙漠地区发展藻类的生产技术,在规划设计中增加了系统的方法及线性规划、电子计算机的应用等内容。

本书由李滨生主编,王贤编写了沙地植被类型及第十章沙地防护林体系,赵开国编写了第二章沙漠的成因和沙漠沙地的发生类型部分内容及第五章风力侵蚀,张克斌收集了沙漠化资料,编写了第六章,整理了世界沙漠概况的资料及绘制了世界沙漠同质气候分布图。最后由主编作了修改和统编。

在编写过程中得到了关君蔚教授的帮助和指导,我们表示衷心的感谢!

李滨生

1988年4月

64.1988

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 沙漠和沙地的概念	(1)
第二节 沙漠绿化和开发的意义	(1)
第三节 沙漠绿化和开发的可能性和可行性	(3)
第四节 改造利用沙漠的历史和现代治沙的成就	(3)
第五节 治沙造林学课程的特点及学习方法	(5)
第二章 沙漠的成因和沙漠沙地的发生类型	(7)
第一节 干燥气候和沙漠成因	(7)
第二节 沙漠和沙地的发生类型	(10)
第三节 世界主要大沙漠	(12)
第四节 我国的沙漠和沙地	(17)
第三章 沙漠和沙地的自然条件	(21)
第一节 沙漠和沙地的气候	(21)
第二节 沙漠和沙地的土壤	(26)
第三节 沙漠和沙地植物的生态生理特性	(31)
第四节 我国沙漠、沙地的植被类型和沙地植被形成过程以及沙地植被演替	(34)
第五节 荒漠生态系统的能量转换	(41)
第四章 流动沙地的理化性质	(50)
第一节 沙地的机械组成	(50)
第二节 沙地的矿物成分与化学成分	(51)
第三节 流动沙地的物理性质	(53)
第四节 流动沙地的水分状况	(55)
第五章 风力侵蚀	(58)
第一节 近地表风的特征	(58)
第二节 沙粒运动的形式和风沙流结构	(61)
第三节 风速与输沙率之间的关系	(65)
第四节 新月形沙丘的形成	(69)
第六章 沙漠化及其防治	(75)
第一节 沙漠化概念及人为因素在土地沙漠化过程中的作用	(75)
第二节 沙漠化指征及沙漠化程度分级	(90)
第三节 防止沙漠化的对策	(96)
第七章 改造和利用沙漠的基本原理	(100)

第一节	工程固沙的原理与技术	(100)
第二节	植物固沙的原理与技术	(105)
第三节	沙结皮及藻类固沙	(115)
第四节	改造和利用沙漠的基本原理	(121)
第八章	飞机播种固沙造林种草技术	(124)
第一节	飞机播种固沙的历史及发展概况	(124)
第二节	飞播造林种草技术	(126)
第三节	飞机播种作业	(132)
第九章	干旱地区水资源开发及用水技术	(136)
第一节	干旱地区水资源开发及合理利用水资源的意义	(136)
第二节	解决水资源问题的途径	(137)
第三节	干旱地区的集水保水技术	(145)
第四节	适合于沙漠地区的灌溉方法——滴灌	(147)
第五节	水分循环利用的水耕法	(152)
第十章	沙地防护林体系	(157)
第一节	大沙丘带边缘的防沙林带	(157)
第二节	沙地农田防护林	(160)
第三节	沙区牧场防护林	(164)
第四节	风沙地区铁路防护林	(166)
第五节	沿海沙地防护林	(172)
第十一章	沙地造林	(177)
第一节	沙地立地条件类型的划分	(177)
第二节	干旱半干旱地区的育苗造林技术	(179)
第十二章	沙地防护林应用的树种和植物种	(199)
第十三章	综合开发沙漠的人工生态系统	(208)
第十四章	系统的方法在沙漠沙地土地利用规划中的应用	(212)
第一节	系统工程的基本概念和方法	(212)
第二节	线性规划在沙漠和沙地的应用	(217)
第十五章	沙漠和沙地开发利用的人工生态系统	(220)
第一节	沙漠和沙地陆地人工生态系统	(220)
第二节	沙漠和沙地的湖泊养殖业	(223)
第十六章	电子计算机在治沙科学中的应用	(225)
第一节	沙地土地利用规划系统模型的建立与优化方案	(225)
第二节	用逐步回归方法选择影响沙地飞播成效的主要因子	(230)
第十七章	太阳能和风能的利用	(240)
第一节	太阳能的利用	(240)
第二节	风能的利用	(242)

第一章 绪 论

第一节 沙漠和沙地的概念

在地球的干旱和半干旱地区有着大面积的、由细小的石英及矿物粒所组成的疏松积聚物所形成的沙丘或沙质土壤,它们极易被风和水所移动,这类土地处于半干旱和半湿润地区的通常称为沙地,处于干旱地区的则称为沙质荒漠,简称沙漠。但是沙漠这一术语,习惯上作为干旱地带性名称荒漠的同义语来使用,因此广义的沙漠,除指沙质荒漠外,也包括荒漠地带的其它地貌单元,如戈壁和粘土或盐土荒漠等。本书中沙漠这一术语均指广义而言。

通常所指的干旱地区也包括降雨量小于250mm的所有地区,即包括邻近荒漠的半荒漠地带。半干旱地区常指降雨量300—500mm的草原地带和森林草原地带。区别干旱和半干旱地区的造林标准是在干旱地区建立森林需要灌溉,而在半干旱地区则不需要灌溉。

在半干旱地区,沙丘地可以生长茂密的植物,一般是发展农、林、牧生产的良好基地。在这些地区,只有在不合理的人类经济活动情况下,如过度放牧,乱垦乱伐,破坏了植被,沙质土地才被风蚀,形成大面积的流动沙丘,使原来非沙漠地区出现了类似沙漠的景观,这种演变通称为“沙漠化”。

全世界沙漠总面积为45 608 000km²,占陆地总面积的35%。狭义沙漠的总面积估计约1760万km²,约占全球陆地总面积的七分之一。据不完全统计,有84个国家和地区,6.28亿人口受不同程度的沙漠化的威胁,其中有0.78亿人口已经受到沙漠化严重和非常严重的威胁。每年由于沙漠化而损失500—700万ha的可耕地,估计到本世纪末将损失总耕地面积的三分之一。

我国沙质荒漠、戈壁与沙漠化土地总面积128.2万km²,约占全国土地面积的13.6%。其中沙质荒漠占45.3%,砂砾及碎石质戈壁占43.5%,沙漠化土地占11.2%。沙质荒漠和戈壁主要集中在贺兰山、乌鞘岭以西的干旱荒漠地带。我国沙漠化土地主要分布在人口相对较多、经济活动频繁的草原及荒漠草原地带,所以沙漠化土地的面积有80%左右集中在贺兰山及乌鞘岭以东的地区,只有20%左右的面积是分布在西部。

世界许多国家面临着土地沙漠化问题,土地不断减少。而人口则日益增加,食物以及基本原料,包括木材和其它林产品均感匮乏。这些问题,再加上人们提高生活水平的愿望,必然促使改进世界干旱和半干旱区的农业和林业。

第二节 沙漠绿化和开发的意义

我国干旱、半干旱地区地域辽阔,人烟稀少,资源丰富,水资源是沙漠地区最缺乏的,但我国沙漠地区周围多有高山,山地冰川及融雪水并未充分利用。考虑到现代科学

技术的发展已经有可能实现跨流域引水,开发冰川,开发地下水,在廉价的太阳能、风能开发之后有充足的廉价的电力,用电力使水分循环利用,在大面积农田上采用节约水分的灌溉方法,在工矿和城市近郊也可以实现节水的植物工厂化生产。所以,部分地改造和利用沙漠是可能的。沙漠和沙地植物资源,虽然与其它湿润地区相比算不上非常丰富,但常见植物也有上千种,其中不少是经济植物和药用植物,如药材有苁蓉、列当、甘草等。动物资源有骆驼、野猪、野驴、野马、野鹿、黄羊、沙狐等,另外还有数万头家畜。广大沙漠地区还蕴藏着石油、煤、盐、石膏等。结合水资源的开发和利用,干旱地区有不少冲积平原可供开垦,仅新疆就有上亿亩可以开垦的土地。沙漠地区,因降雨少,水分是缺乏的,但有不少地表径流仍可利用,有些山麓和盆地有地下水可以利用。因此,沙漠地带的局部地区以及面积辽阔的半干旱区的沙地开发潜力是很大的。

中国沙区的太阳能也极为丰富,把太阳能开发出来就可以为本区和邻近地区提供廉价的电力,有了充足的能源又可以开发和生产各种工农业产品。中国沙区为高日照区,各地日照率大多在70%以上。不仅日照率高,而且日照时数也多,多数地方全年日照时数都可达3000小时以上。每天平均都超过8小时。全区年平均太阳能为 10.62 kW/m^2 。如利用1平方米的太阳能,全年所得到的热能就相当于烧掉38.232t标准煤。如果累计开发达 1 km^2 面积,则要获得相当于3823.2万t标准煤燃烧发出的热量。它比目前查明的全国水力资源要大156倍。

目前太阳能吸水装置和太阳能发电设备仍然比传统的电力设备成本高,但由于太阳能设备不需要运输线路,因而在某些偏僻沙漠地区显示出巨大的优越性,至少在地下水不深于6m的浅层地下水区利用太阳能水泵可以实际应用。示范性的小型太阳能发电站在我国甘肃省榆中县园子乡也已经建成,由224块多晶硅光电池,定额功率为10kW,可供130多户农民及14个单位照明用。

在我国内陆沙区及沿海沙区均有丰富的风能资源可供开发。耿宽宏引用M.M泊莫利也夫年平均风速与 $\geq 3\text{ m/s}$ 的有效风速出现频率资料,由出现频率折算的可能时数同年平均风速(V)有相关性的结论,验算了在中国沙区的情况。中国沙区各地的风都具有速度大而为时短的特征,例如当年平均风速为 2 m/s 时,中国沙区为2500小时;当年平均风速为 6 m/s 时,为7000小时。风能资源在全沙区的分布形势以中蒙边境、辽阔的草原和戈壁为风能资源丰富的区域,其全年可供风能达25000—35000马力以上。在各个盆地大多为风能资源贫乏区域,其中塔里木盆地最为贫乏,但全年可供风能量也有2000—10000马力。东部沙区的风能资源很丰富,大部分地方都有15000马力以上的可供风能量,最多的地方则可超过48000马力。在东部沙区,风能资源的分布形势为自东南向西北明显的递增;在西部沙区,风能资源的局地性差异十分悬殊,全年可供风能量从2000马力到57000马力,两者相差28倍以上。在西部沙区的分布是,除山地外,北多南少,而在天山南北两盆地中,则又是四周多中央少。各风口地区是全沙区风能资源最丰富之处,因地形关系,它们具有时间短能量大的特点,进行风能利用时技术要求很高。在柴达木沙区,因地势高,风能也很丰富,大部分地方可供风能量达15000—40000马力以上。分布形势在盆地地区则是四周少中央多,与新疆两盆地的分布情况正好相反,很特殊。小型风力发电机在内蒙古牧区则较为广泛地得到利用。风力发电机可以解决电围栏以及家用照明等家用电器的电源问题。尽管风力发电目前仍存在大型风车有可能被巨风破坏问

题, 以及电能贮藏问题, 但这些问题会逐步通过实验研究得到解决。

人类要开发和利用沙漠的资源, 首先就必须研究如何绿化沙漠, 使沙漠的各种自然条件得到改善, 然后人类才能生活于沙漠之中, 得到开发沙漠资源的利益。

第三节 沙漠绿化和开发的可能性和可行性

现代科学技术的发展已经进入征服宇宙空间的时代, 征服沙漠要比征服宇宙容易。科学上每一项新的技术发展都使人类向征服沙漠的目标跨进一步。但即使没有更新的技术, 依靠目前在各个领域已有的技术成就也可以把沙漠改造成为使人类能够生存的绿洲。

人类改造沙漠需要依靠系统工程的方法, 这就是以改造沙漠为具体目标, 依靠系统分析的方法, 运用现代科学技术加以综合利用制定最优化的改造沙漠的方案。正如美国阿波罗登月计划总指挥韦伯指出的那样, 阿波罗飞船计划没有一项新的技术, 而都是现成的技术, 关键在于综合。他同时指出, 重大技术的突破现在极少, 而各项技术的组合系列化则是发展趋势。实际上“综合就是创造”。

我们之所以说沙漠是可以改造的, 因为绿色植被赖以生存的水资源是人类可以控制的再生资源, 从开源和节流两方面既可以从逐步提高现有水资源的利用率, 也可以从挖掘沙漠地区水资源潜力开拓新水源以及采用大型跨流域引水来缓解水资源缺乏的矛盾。以沙漠地区现有灌溉耕地而论, 每亩灌溉量达到 1500m^3 水, 这样的灌溉, 既浪费了水源, 又使耕地地下水位升高, 使土地盐碱化。如果采用合理灌溉每亩只需 $500\text{—}600\text{m}^3$ 水, 这样灌溉面积就可扩大2—3倍; 如果采用滴灌, 还可以节约更多的灌溉用水, 扩大灌溉面积; 如果采用水培法则水可以循环利用, 只需补充少量水分就可以继续利用。在开源方面, 跨流域引水在技术上不是不可能的。从经济来说, 多层次开发利用只要经济上的产出能补偿经济上的投入就值得开发。

人类已经能够生存在宇宙之中, 所依靠的是用太阳能使封闭式生态系统在不丢失能量物质的条件下的循环系统。从理论上来说, 在沙漠地区只要利用太阳能、风能、核能、水能、生物能(沼气)、矿物燃料能得到廉价的电力, 那么人们不一定用全封闭式生态系统, 而采用半封闭式甚至是开放式的生态系统, 就可以在一定量的水、绿色能源和物质的条件下循环利用这些能量和物质而得以生存。

第四节 改造利用沙漠的历史和现代治沙的成就

早在数千年前人类就开始了治理沙漠的活动, 虽然沙漠地区非常干旱, 人们发现可以引河流的水来灌溉沙漠, 但是一旦气候发生变化, 影响到河川的水量, 或者河流因某种原因改变了原来的流路, 开垦的绿洲就又演变成沙漠。早期的科学技术水平就是这样, 所以人类就只能是靠天吃饭, 在沙漠地区就更显得突出。最早靠水利治沙, 在大自然的面前是无能为力的, 往往是以失败来告终。

从14世纪到18世纪欧洲中部的沿海一些国家如德国(1316年)、丹麦(1660年)、匈牙利(1709年)先后开始海岸沙地造林。据研究大约在19世纪, 苏联(1808年)开始

在欧洲内陆草原地带的河岸沙地用尖叶柳固沙,然后栽植松树。从19世纪到20世纪30年代,无灌溉的沙地固沙造林只能受气候条件的限制,主要在有一定降雨条件的森林草原地带、草原地带以及荒漠草原条件较好的局部地区进行,20世纪30年代以后美国开展跨流域向干旱地区引水工程,进行综合开发,包括发电、灌溉,解决城市和工业用水,使人类改造沙漠的工作进入了全面的综合治理阶段。人类治理沙漠的历史可划分成以下三个阶段:

(一) 在沙漠地区单纯依靠水利灌溉发展农业时期

沙漠地区的居民早在4000年前就开始了治沙的活动。在青铜时代,沙漠的居民为了集存雨水,将山坡进行修整以增加雨水径流,又挖坑截流引到较低的田地,这一措施使平均雨量约为100毫米的地区的农业得到了发展。

在中国西汉王朝的汉武帝时(公元前140年)即在今楼兰废墟和米兰(汉时为伊循城)等沙漠边缘的绿洲屯兵垦荒,引且末河水灌溉农田,3年积粟百万。内地劳动人民创造的一种地下穿井的井渠法(即坎儿井)也传到西域。这些先进的水利技术,对开发利用沙漠发挥了巨大作用。

(二) 沿海和草原地带防止风沙危害的林业发展时期

欧洲中部沿海国家虽然从14世纪就开始了沿海沙地造林工作,但多因未事先固沙而失败。最早从理论上解决流沙地造林问题的人是德国J.O.提丘斯。早期北欧的但泽(即现在波兰的格但斯克),曾经由于沙丘移动而遭受很大灾害。虽然采取过不少措施,但没有收到应有效果,于是,那里的自然科学学会,在1768年发起了一个以“如何才能最好又最经济地防止沙丘的发展”为题,悬赏征文,当时的威顿堡大学自然科学教授提丘斯,写了一篇论文并且当选。他除了建议种植针叶树和洋槐以恢复过去的森林之外,在靠海一边还设计了同人身高度相等的沙障。提丘斯的论点一直是治沙工作的重要依据,并为近200多年的实践所证实。

从19世纪以后,苏联在草原地带沙地上种植过许多树种,在沙地上栽植过榆、白蜡、橡以及各种杨树和松树。多年实践证明沙丘上的杨树长到一定高度就枯干了,洋槐也只有沙壤土和黑钙土上才能成林,只有松树,特别是克里木松,是沃龙涅什沙地主要树种。

1880年,帝俄修筑里海铁路通过中亚沙漠,为保护铁路而开展了治沙造林工作,栽植成功了许多适合于荒漠和半荒漠生长的灌木如梭梭、沙拐枣、碱柴等。1931年还开展了梭梭的飞播治沙试验,但在半荒漠飞播梭梭多年平均保存率只有6.4%。1960年经过总结认为在半荒漠飞播梭梭应该慎重,以后没有大面积发展。

美国主要在海岸种草并结合施肥固沙,在内陆很少开展大面积沙丘地造林,主要是用飞机播种恢复沙漠化了的耕地。在中西部和堪萨斯州,农田和房屋被流沙吞没而废,有些农田交给国家,由水土保持局去改造,他们在沙地种须芝草(*Ancropogan ballii*)和沙画眉草(*Eragrostis troidis*),如面积很大,将种子制成丸粒,由飞机播种,如此经营使土地又变为农田,政府又卖还给私人。

中国甘肃省农民早在300多年前在沙地农业中就采用了防风阻沙措施。在1749年(清乾隆十四年)甘肃省《民勤县志》中有“今飞沙流走,沃壤忽成丘墟,未经淤压者,遮蔽耕之”的记载。所谓“遮蔽耕之”就是采用柴草挡风保护幼苗的措施。

中国历史上绿化沙漠的大型工程榆塞，在秦汉以前的战国末年就兴建了。据研究，战国末年，秦长城的东端，始于内蒙古托克托县黄河右岸的十二连城，向西南越秃尾河上游，过今榆林、横山县北，再缘横山山脉以北西去，一直到今甘肃榆中县一带，又经过秦至西汉的维修扩建，成为当时长城附近的一条绿色长城。这条绿色长城纵横宽广，却远远超过真的长城。

（三）干旱半干旱区生态系统的农、林、牧、水综合治理阶段

美国为改造沙漠，19世纪70年代开始研究中央河谷的水资源开发，1937年开始兴建总引水能力 $636\text{m}^3/\text{s}$ 的各种配套工程，可发电、灌溉、防洪、供给城市用水、发展旅游等。苏联为解决土库曼南部缺水问题而兴建东水西调工程，使阿姆河由东向西穿过卡拉库姆沙漠，可灌溉农田118万 ha 。使运河区树木面积扩大了几十倍，建立了48万 ha 耕地和新的产棉区。使棉花出口跃居世界第一位。

中华人民共和国成立后，1958—1962年，中国科学院协调全国治沙科技人员包括大专院校的师生组织了上千人的治沙队，在六个省区新疆、青海、甘肃、内蒙古、宁夏、陕西深入沙漠腹地进行了沙漠考察工作，并在六个省区建立了长期定位观测试验站，国家的各级政府也配合这一行动，动员群众开始大规模的综合治理活动。虽然后来由于政府财政上的困难撤销了六个省区的综合试验站，把这些试验站转交给地方治沙部门，规模也缩小了，但这个时期的工作不论是沙漠考察还是治沙实验都给后来的工作奠定了良好的基础。1978年党和政府专门设置了华北、东北、西北（简称三北）防护林建设局，并批准了营造三北防护林第一期工程计划，使中国沙漠治理事业进入了一个崭新的阶段。截至1985年，三北防护林体系已完成602万 ha ，超额完成了预定计划，另外营造海岸防护林333万 ha 。

据研究，防风固沙投资年平均效果系数为0.52，即平均每百元的投资，每年可获得防护效益的价值和林副产品利润52元。每亩全周期防护效益的价值及林副产品的利润平均为370.78元，为投资的14.93倍，其中防护效益的价值为投资的1.948倍，林副产品利润为投资的12.98倍。各种类型的林草地要达到的总目标是防止土地的沙漠化，在实现三北防护林第二期工程以后，能使三北地区的生态条件实现向良性循环的转化。因此各种类型的林草工程要发挥各林草工程各自的功能，从整体来看要构成一个完整的防护林体系，根据不同地区的自然特点，从防护林体系的设计中体现为农牧业防止风沙灾害，并作为第一性生产力给牧业提供饲料、为农业提供有机肥料，使林草工程在实现生态向良性循环的前提下和农牧业生产结合起来发挥其重要作用。世界上其他国家在干旱地区造林方面也取得了不少成效。据估计全世界在干旱地区每年栽植300万到400万株树苗，并取得不同程度的成功。

我国在沙漠地区开展沙漠变绿洲的综合治理工作中也取得了很大成绩，仅我国新疆耕地面积从解放初期的120万 ha 增加到近年的320万 ha 。

第五节 治沙造林学课程的特点及学习方法

改造和利用沙漠是一门综合性的边缘学科。面对沙漠严酷的自然条件，要想达到绿化和经济开发的目的，就必须具备广泛的自然科学知识和农、林、牧、副业的应用技术。

改造干旱地区的环境条件,首先是水资源的开发,包括收集和保存可用的水、从外地输进水源及在适宜的地方打井。除了开源外还要节流,用一切办法减少无效的蒸发和蒸腾,尽量地合理用水。从造林来说,要选择抗旱性强的树种,必须考虑造林密度和一个地区的水分平衡问题,否则即使成林也可能最终失败或经济上不上算。由于沙地的流动性给造林工作带来极大困难,因此首先要使流沙固定然后才能造林。林木成活之后,由于沙地贫瘠还需要解决沙土改良问题,否则树木长不起来,变成“小老树”。绿化沙漠仅仅采用乔灌木树种是不够的,这些高等植物往往不能适应最干旱的土地,在沙漠地区适应力最强的是苔藓和藻类。若使大沙漠绿化,最有前途的是应用藻类固沙,在几亿年前首先在地球上出现的固氮蓝藻类以及能适应沙漠盐碱湖的螺旋藻同样适合在沙漠地区发展。因此,绿化沙漠仅仅掌握造林学是不够的,必须了解生物学、生态学、植物生理学、风沙物理学等基本知识,在治沙工作中采用植物的、工程的、物理的、化学的综合治理措施。适合于沙漠缺水条件的是植物水耕的工厂化生产方法。为了保护现有植被,开发沙漠得天独厚的太阳能、风能,就必须关心和了解能源开发技术的进展情况,以便及时利用这些科研成果。沙漠绿化和改造不仅是一门林学课程,而且是综合现代科学成就应用于沙漠改造的系统工程,它是提高沙漠和沙地生产力,有助于解决人类所面临的人口爆炸、资源短缺、环境污染三大问题的一门新的科学。

参 考 文 献

1. 黄重生 国外沙漠及沙漠化问题 陕西农林科技 1978年6期
2. 朱震达、刘恕 中国沙漠及沙漠化防治 中国科学院兰州沙漠研究所集刊 第1号 科学出版社 1982年
3. 耿宽宏 中国沙区的气候 科学出版社 1986年
4. 美国国家科学院编 干旱地区集水保水技术 农业出版社 1979年
5. 新疆生物土壤沙漠所编 新疆沙漠的改造利用 新疆人民出版社 1978年
6. 原胜 海岸防沙造林 中国林业出版社 1958年
7. 陈太山等 三北防护林经济效益研究 北京林学院学报 1985年3期
8. A.Y.GOOR C.WBARNEY FOREST TREE PLANTING
IN ARID ZONES NEW YORK 1976

第二章 沙漠的成因和沙漠沙地的发生类型

第一节 干燥气候和沙漠成因

不论是世界其它地方的沙漠还是中国的沙漠都处于地球大陆最干燥地带。干燥气候的根本原因是长期没有降水或降水稀少造成的。

降水既涉及到全球尺度的大气环流问题，也牵涉到象云雾那样微小尺度的物理机制问题。耿宽宏指出形成降水必须具备以下三个基本条件：

(1) 空气的水汽含量 水汽是降水的物质基础，它的丰欠，不仅关系到有无降水，而且也关系到降水的多少和缓急程度。水汽的来源主要是固态水——冰雪，液态水——海洋河湖，以及土壤中水分的蒸发和植物的蒸腾。空气中水汽的主要来源是地球表面的海洋和两极冰雪表面蒸发。因此，大陆各地的降水量，一般都与这些区域的距离有明显地反向关系。距离海洋远的大陆腹地，往往都有沙漠存在，如非洲大陆的撒哈拉沙漠及中国的西北沙漠。

(2) 空气中凝结核的存在是水汽凝结的重要催化物 空气中缺乏凝结核，即使温度已降到露点以下，空气中的水汽处于过饱和状态，也不会凝结成云。凝结核可分为无机和有机两种，前者如盐分、微尘、烟雾等矿物或化学物质；后者如细菌、孢子、花粉等有机物。实验证明，在有机核中水汽开始凝结的温度，比在无机核中要高。在 -8°C 的温度下，水汽在无机核中不会凝结，而在有机核中则能凝结。有机核主要来源于植被。有些研究指出，在植被茂密的地方要比缺少植被的地方降水多。这除了由于植被蒸腾增加其内部空气水汽来源外，释放丰富的有机核也是重要的因素。造林种草绿化地面，能够使气候变干为湿的原因即在于此。而气候湿润多雨又反过来促进植被更加茂密。这种茂密的植被与湿润气候相互促进的地表反馈，也涉及利于降水的环流机制的加强。

(3) 大气环流的降水机制 大气环流中气流的水平与垂直运动状况，是云雨与否的动力机制。气流的水平辐合形势，使水汽与凝结核浓聚，而气流的上升运动遂使水汽达到露点温度而凝结为水滴或冰晶，并相互吸附增大，以致产生降水。因此，有无降水的环流机制，是降水最重要的条件。

事实证明，世界干旱地带就是分布着沙漠、戈壁的荒漠地带。它之所以集中在赤道南北 $15-35^{\circ}$ 的纬度上，是因为正处于行星环流中大气稳定下沉的副热带高压带之下。可见大气下沉对干燥气候与沙漠化起着决定性作用。在沙漠成因中虽然降水稀少是共同点，但除了大气环流影响降水之外，还有局部地域的特殊情况影响了水汽和降雨的机制，如高山地形对水汽的阻挡以及冷洋流对某些海岸湿气及降水机制的影响等等而形成干燥地带，现按形成干燥气候的成因分述如下：

一、干旱气候的纬度地带性

在影响气候的诸因素中，大气环流是最重要的因素。地球上不同纬度接受太阳光热的多寡不同，一般低纬度地面吸收太阳辐射能较多，高纬度吸收较少，赤道地带的气温高于极地，赤道上的空气膨胀向上，在上空积累而形成高压；极地则相反，上空形成低压，于是在高空，空气由赤道流向极地。在近地面极地由于空气堆积形成高压，赤道由于空气外流形成低压，所以近地面层气流方向与高空相反，空气由极地流向赤道。如果没有地转偏向力的作用，南北两半球将各形成一个简单的闭合环流，但由于地球的自转，空气流动时，受地转偏向力的作用。使得高空从赤道流向两极的气流在南北纬 10° 开始逐渐向左、向右偏离到纬度 30° 上空，偏角达 90° ，气流由原来的沿经线方向变为沿纬线方向流动。在北半球，由赤道上空沿经线北上的气流，受地转偏向力的作用，在北纬 30° 上空就偏转为和纬圈相平行的西风。西风的形成阻碍了低纬高空大气继续北流，便在北纬 30° 上空堆积并辐射冷却下沉，形成副热带高压带，下沉的空气在低层分别流向南方和北方。在大气下沉时，下层气流带着水汽与凝结核四下分散丧失了成雨的物质条件，并因下沉压缩产生增温效应，其结果是既丧失了物质条件，也失去了凝结时必要的露点温度，这实际是成云致雨的逆过程，这就是下沉气流的增温干燥作用，而使副热带成为地球上少雨干旱的原因。尽管副热带有些地方靠近海洋，就其稀少的降雨而言仍属荒漠。世界一些沙漠如撒哈拉沙漠、卡拉哈里—纳米布沙漠、阿拉伯沙漠、塔尔沙漠、伊朗沙漠、澳大利亚沙漠等都分布在这个地带内。

二、非地带性原因的干旱气候

从世界范围看，虽然干旱区和主要沙漠多分布在南北纬 15° — 35° 这一副热带低纬度范围内，但同时也可以看到在同一纬度内，有的地方则不是干旱气候，也没有沙漠分布，如中国华南地区和北美的东南沿海地区。还有些地方，虽然不在副热带高压带内，但也存在着明显的干旱气候和分布着大面积的沙漠。造成这种现象的原因是多种多样的，有的是因为深居内陆，有的是地形的影响，有的是受寒冷洋流的影响，更多的是几种原因综合影响所致。

（一）远离海洋

世界上有些沙漠并不分布在副热带高压带内，而是分布在远离海洋的大陆深处。由于深居内陆，长年受大陆气团控制，大规模的环流亦无法将湿润的气流送到该区。例如欧亚大陆的东部，地处世界上最大的陆地和海洋之间，海陆热力差异特别大，形成了特殊的季风气候，在北纬 35° — 55° 之间，夏季东南风从海洋吹向大陆，所以沿海温湿多雨，但随着距海里程的增加，降雨量逐渐递减，到大陆深处时，原湿润气团中的水汽经过沿途的降雨损失已经所剩无几，无水可降。还有一种原因是由于沿途高山的重重阻挡，使湿润气团难以到达，因此在大陆深处形成少雨或无雨的干旱地区，使得沙漠能在这里广泛形成，如中亚沙漠，中国沙漠和蒙古沙漠。

（二）海风向背和洋流影响

1. 海风向背 在低纬度和高纬度地带，尤其是赤道多雨气候、极地长寒气候和极地冰原气候分布范围，冷与暖的矛盾处于比较稳定有常的状态，因而气候的海洋性和大陆

性差异不明显,大陆的东岸与西岸气候的差异性也不大,而在中纬度地区,冷暖气流经常处于斗争转化状态,气温、降水的季节性变化十分明显,图2—1是北半球中纬度地区大陆东岸与西岸的冬季与夏季风向的分布模式。

在纬度相差不大的大陆东岸和大陆西岸同样都是濒临大海,气候却截然不同,有的具有海洋性,有的则完全是大陆性,还有二者的混合过渡型,造成原因是大气环流所引起的海风向背作用结果。如图2-1中的“E”区和“F”区,同处在北纬30°以南的副热带高压区,气候类型却全然不同。“E”区位于大陆的西岸,终年受东北信风控制,而东北信风在这里是从大陆吹向海洋,所以这里气候极端干燥,沙漠直抵海边,撒哈拉沙漠的相当部分就分布在此区。“F”区由于处在大陆的东岸,夏季刮西南风,冬季刮东北风,这两种方向的风,都是从海洋吹向陆地,所以F区呈海洋性气候特征。这就是我国华南地区虽处在亚热带而呈海洋性气候的原因。

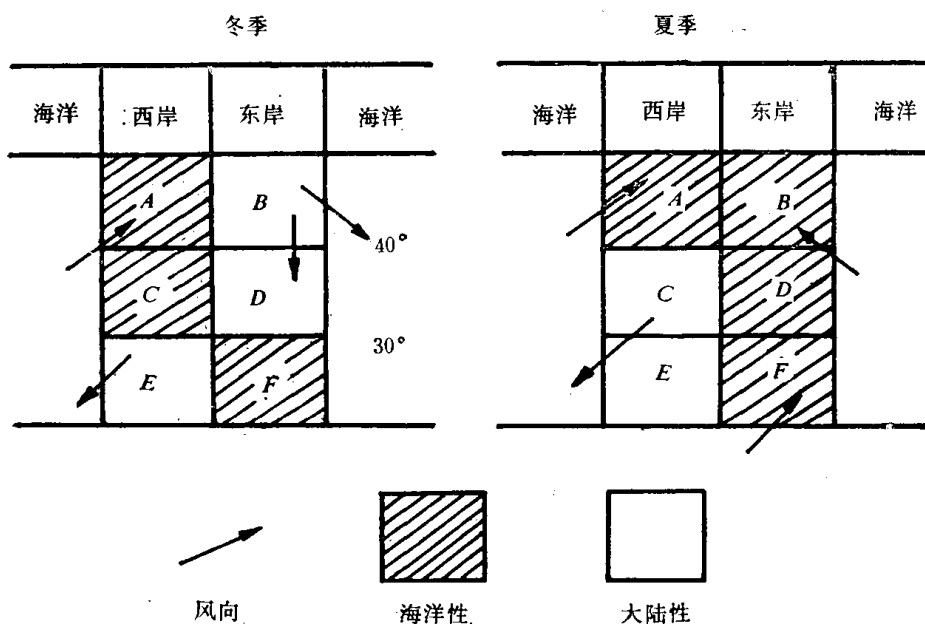


图2-1 大陆西、东岸冬夏风向分布模式

2. 洋流的影响 地球上大陆东岸和西岸气候的差异,除受海风向背的影响外,与洋流的影响也有很大关系,图2-2是世界洋流分布模式。

从图2-2中看出,在低纬度和中纬度地带,大陆的东岸一般有暖流流过,而在大陆的西岸一般有寒流流经。暖流是从低纬度流向高纬度的温暖水流,有热量和水汽向上输送,能使其上的空气增温增湿而成为暖湿的海洋性气团,这种气团被海风带到陆地,最易形成降水,所以有暖流流经的大陆沿岸降水充沛。寒流是从高纬度流向低纬度的低温水流,能影响其上的空气,当下层空气冷却到零点,就会形成雾,这种雾一般仅限于海岸附近的狭窄地带,多雾是低纬度寒流区的一个重要特点。寒流上空一定范围内气温是随高度的增加而增加,具有稳定的层理,这种稳定的气团是不可能形成降水的。海雾即使被海风带到陆地,但因陆地较暖,雾很快消失,很难形成降雨,这种气候称热带多雾荒漠气候,其特点是雾日频繁,空气湿润,气候不爽,降水奇缺。例如美国东南部的佛罗里达半岛和墨西哥西南部的加利福尼亚半岛,同处北纬25—30°之间,前者处在大陆东岸,岸边有佛罗里达暖流流经,年平均降水量1000—2000mm,而后者地处大陆西岸,

受加利福尼亚寒流影响,年平均降水量仅78mm,沙漠遍布全岛。在世界上具有加利福尼亚半岛沙漠特点的还有秘鲁沿海和智利南部沿海沙漠、南部非洲西海岸沙漠和北非西海岸沙漠。

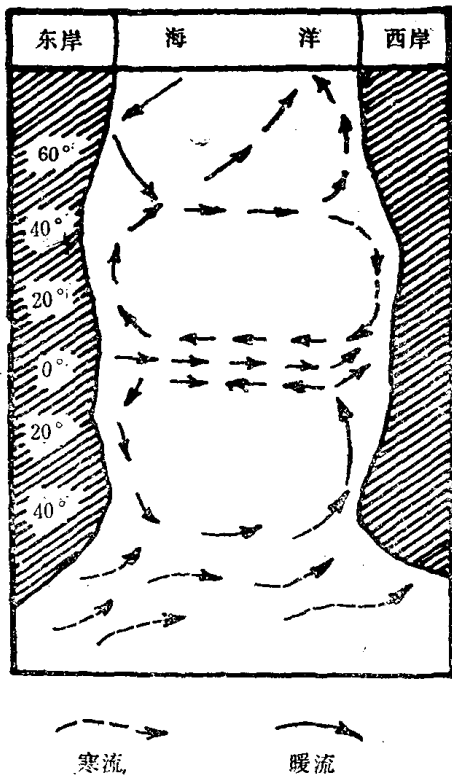


图2-2 大陆东、西岸洋流分布模式

(三) 地形影响

地形既能促进降水,也能减少降水,一山之隔,山前山后往往干湿悬殊。一般来讲,当海洋气流与山的坡向垂直时,迎风坡多成为“雨坡”,降雨充沛;背风坡则成为“雨影”区域,干旱少雨,形成沙漠。例如南美洲秘鲁南部沿海沙漠、智利北部沿海沙漠及南美洲南部东岸的中纬度沙漠都与地形影响有关。

南美洲总的来讲是一个湿润的大陆,全洲年降水量在1000mm以上的地区约占大陆总面积的70%,但由于高大的安第斯山的影响,阻挡了海洋气流,造成山系的东坡与西坡降雨量的显著差异。在南纬3—30°地区,低空盛行东南信风,安第斯山东坡年降水量一般都在1000mm以上,而处于同一纬度的西坡,年降水量都在250mm以下,有的地方年降水量还不到50mm或几年滴雨不降,成为世界上最干旱的地区之一,阿塔卡马-秘鲁沙漠就分布在这里。

在南纬40°以南,由于盛行西北信风,情况和低纬度地区相反,山的西坡则成为南美多雨地区之一,智利的瓦尔迪维亚年降水量达2690mm,而处于同一纬度的巴塔哥尼亚高原,由于处在山的东坡背风位置,年降水量不足250mm,形成了巴塔哥尼亚沙漠。

第二节 沙漠和沙地的发生类型

广义的沙漠既包括沙质荒漠,也包括砾石荒漠、粘质荒漠和盐质荒漠。而狭义的沙漠是指沙质荒漠。沙漠是一个具地带性的名词,一般指干旱和半干旱地带的沙质土地。而在陆地上,沙质土地除了在干旱和半干旱地带广泛分布外,在半湿润地带,甚至在湿润地带也有分布。而分布在半湿润和湿润地带的沙质土地就不能称为沙漠,我们称之为沙地。广义的沙地也包含沙质荒漠。

沙地形成的原因是多种多样的,但形成沙地最基本的条件是需要有丰富的沙物质来源,没有沙源就不可能形成沙地。根据沙地的沙物质来源和地理分布,我们可以将沙地划分成四种发生类型。

一、古代冲积和沉积沙地

这类沙地的沙物质来源主要是第四纪古河流的冲积和湖泊沉积物。这些冲积和沉积物,从地质年代看,发生历史不长,都比较松散。纵观全球各主要沙漠,发现大部分沙

漠都是在干燥盆地内发育的，例如撒哈拉沙漠的分布区，地形绝大部分是微起伏的高原和盆地，南非的卡拉哈里沙漠分布在卡拉哈里盆地，中亚的卡拉库姆沙漠和克齐尔库姆沙漠分布在中亚内陆盆地——土兰平原上，我国的塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠和乌兰布和沙漠也都分布在内陆盆地中。这些盆地内都堆积着松散的第四纪沉积物，厚度达几百米。如我国乌兰布和沙漠的第四纪沉积物厚度，在吉兰泰附近为200—300m，磴口附近达1800m。如此大量的沉积物，不可能是现代河流冲积而成的，因为现在这些盆地都处在气候干燥地区，降水很少，径流和河系都不发达，不可能产生大量的沉积。既然这些沉积物不可能是现代河流的冲积所致，就必然是古代河流的冲积和湖相沉积的结果。

根据古气候学的研究结果，地球上气候一直处在有规律的发展变化过程，冷暖干湿交替变化，但变化周期长短不一。总的说来，从震旦纪以来的6亿多年气候史中，主要是温暖气候主宰着地球，温暖时期约占十分之九，其中全球性寒冷大冷期只是几段为期不长的插曲。在大冰期中也并不是一直寒冷，而是存在着相对寒冷和相对温暖时期的交替出现，即亚冰期和亚间冰期。第四纪大冰期中至少可以分为四个亚冰期和三个亚间冰期。在亚冰期时，地球上冰盖面积远远超过今天的冰川面积，使高纬度和中纬度广大地面被冰川覆盖，寒冷气候带扩大，而湿热气候及干热气候带向低纬度压缩。所以在亚冰期时，现在干旱的广大中、低纬度地区，如西南亚和北非等干燥气候区，曾经为湿润多雨的气候区，在多雨时期，这些地区也曾是河系纵横，强烈的河流侵蚀带来的巨量泥沙沉积于各盆地之中，当这些地区为干旱气候控制时，这些巨厚的第四纪松散沉积物就成为形成沙漠的物质基础。

二、风成沙地

这类沙地一般发生在气候干燥的高原地区。沙物质不是来源于河流的冲积或湖泊的沉积，而是来源于基岩风化的残积物。由于气候干燥，裸露的基岩经长期强烈的风化作用，逐渐崩解为砾石和粗砂，再经过强风的长时间的分选和搬运作用，颗粒变得更小，在适当的地形条件下就形成风成沙地。例如我国鄂尔多斯地区中西部的干燥剥蚀高地和一些伸入鄂尔多斯南部洼地的梁地，裸露基岩多为白垩纪、侏罗纪砂岩，这类砂岩极易风化，所以在高地、梁顶和梁坡上都堆积着一层松散的风化层，这层松散的风化层在风的长期作用下，经搬运和堆积，就成为覆盖于该区的风成沙丘。风成沙地沙子的矿物成分及颜色和当地基岩的矿物成分和颜色是一致的。风成沙地与古代冲积、沉积沙地比较，一般面积较小。

三、现代河流冲积沙地

这类沙地多分布在现代河流沿岸，所以又称沿河沙地。其沙源主要是河流上游土壤的侵蚀物，这些侵蚀物被河水携带，分段沉积，然后在风的作用下，经分选、搬运、堆积而成。这类沙地的面积大小因河流大小，上游水土流失情况以及河流的泛滥和改道次数不同而不同。一般河流越大，上游水土流失越严重，泛滥和改道次数越多，形成的沙地面积就越大。沿河沙地的分布范围和沙地沙粒的粗细也随泥沙的沉积规律呈有规律的分布，一般规律是从上游到下游，从河流中心向两岸，沙粒粒径由粗逐渐变细。