

西北农林科技大学

硕士学位论文

乌兰布和沙漠绿洲风蚀防护体系防护效果的研究

姓名：乌拉

申请学位级别：硕士

专业：农业推广·林业

指导教师：刘光哲

20071001

乌兰布和沙漠绿洲风蚀防护体系防护效果的研究

摘 要

绿洲是乌兰布和沙漠最重要的生态经济区域,风沙危害严重地威胁着绿洲农田的健康运行,为保障绿洲农业的可持续发展,本文运用野外实验观测与室内分析相结合的方法,对绿洲风蚀防护体系防护效益进行了研究。其主要研究结果为:

(1) 绿洲风蚀防护体系构成:风蚀防护体系大体分为三层,由外向内的次序是第一层封沙育草带。第二层为人工栽植的防风阻沙带,主要由大灌木构成。第三层为造林树种的农田防护林网。

(2) 农田防护林防护效果。对几种典型结构和配置的农田防护林带进行风速观测表明,其防风效益与林带高度、结构、疏透度等因子有关,稀疏型林带防风效果最佳,平均为 32.2%,疏透型次之为 23%,通风型防风效果最差,为 13.2%。林带防风效能较好的疏透度为 40~50%,随着林带总平均疏透度的增加,防风效能显著降低。分层疏透度不同也直接影响防风效果,因此,林带结构应以稀疏型为主,林带总平均疏透度控制在 30~50%,分层疏透度应控制在林冠层 30~50%,林干层 50%。此外,防护林可降低地表输沙量,且林后输沙量下降比例大于林前,新疆杨×美青 64×沙枣混交林和沙枣纯林林后 1H 处输沙量减少为零。

(3) 防风阻沙林防风阻沙效果及降尘研究。对 5 种灌木防风阻沙林的防风效益和流沙地进行比较,结果表明:梭梭和花棒由于植株高大,遮挡面大,总体防风效果好,降低风速值达 62.4%和 53.8%,沙拐枣、杨柴、沙木蓼 3 种灌木植株相对矮小,总体防风效果较差,风速降低分别为 44.5%、33.3%和 32.4%。这一顺序恰与各灌木的枝丛密度、冠幅和高度等因子由大到小的排列相吻合。但在 0.3m 处,杨柴由于分枝数较多,疏透度较小而有效的降低了近地表 0.3m 高处的风速,为 77.1%。在同一风速条件下,5 种防风阻沙林的输沙量均较旷野流沙明显减小,且杨柴的输沙量减小幅度最大,可达 98.5%,梭梭次之,为 97.5%。新疆杨防护林的输沙量减小幅度最小,为 39.6%。防风阻沙林降尘量在垂直分布上有一定的规律性,即 2m 高度的降尘量大于 5m 高度的降尘量。在典型强沙尘暴天气过程中,林地中央的降尘量显著高于其它观测点。3 次强沙尘暴天气过程中,林地中央 2m 高度处的平均降尘量为 $22.8\text{g}/\text{m}^2 \times 1\text{d}$, 5m 高度处平均降尘量为 $19.3\text{g}/\text{m}^2 \times 1\text{d}$ 。而其他观测点降尘量 2m 高度处为 $3.14 \sim 14.4\text{g}/\text{m}^2 \times 1\text{d}$, 5m 高度处为 $1.87 \sim 8.36\text{g}/\text{m}^2 \times 1\text{d}$ 。

(4) 封沙育草带天然植被防风阻沙效果。封沙育草带的天然灌丛对风沙流具有阻滞作用,以沙蒿和白刺灌丛为例,对单个灌丛周围风速及输沙量的变化进行了研究。灌丛的迎风面存在一个减速区,灌丛顶部及两侧为加速区,灌丛背风面存在一个静风区和一个尾流区。灌丛侧面的输沙量最大,背风面输沙量最小,迎风面 2H 处输沙量大于 1H

处，这与各点的风速变化是一致的。对不同盖度沙地的输沙量进行的观测表明，输沙能力随植被盖度的增加而减小，流动沙地输沙量最大，在 5.6~9.4m/s 范围内输沙量为 2.25~21.75g，半固定沙丘的输沙量次之，为 0.32~13.58g，固定沙丘最小，为 0.06~2.29g。

关键词：乌兰布和沙漠绿洲；风蚀防护体系；效果评价

STUDY ON BENEFIT EVALUATION OF WIND EROSION PROTECTIVE SYSTEM IN ULAN BUH DESERT OASIS

ABSTRACT

Oasis is the most important eco-economic area in Ulan Buh Desert. Wind-sand disaster is severely threatening the normal function of oasis farmland. To ensure the sustainable development of oasis agriculture, research on wind-sand disaster of oasis farmland and its control mechanism was carried out with methods of field test and laboratory experiment. The main research result is:

(1) From outside to inside, Wind erosion protective system in Ulan buh desert is made up of three layers: sand-fixing grass belt, wind-sand prevention and fixing forest, and farmland shelterbelt.

(2) Wind velocity of different farmland shelterbelt was observed; results showed that defending effect varies with forest belt structure, height and porosity. Wind defending effect of sparse structure shelterbelt is the best, which is 32.2%, porous structure takes second place, 23%, while, ventilation structure is the worst, 13.2%. Shelterbelt with the porosity of 40~50% has the best wind defending effect. With the increasing of porosity total porosity, the defending effect decreased remarkably. So the structure should be sparse with the porosity of 30~50%, and the porosity of forest canopy should be 30~50%, the porosity of trunk, 50%. Moreover, shelterbelt can reduce the sand-transporting quantity, and the fall rate after the forest is more than the one before the forest. The sand-transporting quantity after the mixed-forest decreased to zero.

(3) Study on the wind defending effect about five shrub communities showed that the wind defending effect of *Haloxylon ammodendron* and *Hedysarum scaparium* is better than other, which is respectively 62.4% and 53.8%, its defending effect is related to the density, coverage and height. However, wind velocity in the height of 0.3m in shrub of *Hedysarum laeve* reduced by 77.1% because it has more divarication. Under the same wind velocity, sand-transporting quantities in five shrubs are all less than the one in sandy land, in the shrub of *Hedysarum laeve* it decreased the most, reach to 98.5%, *Haloxylon ammodendron* is the second one, 97.5%, *pyramidalis* Bunge is the last one, which is 39.6%. The distribution of dust deposition show that the one on the height of 2 meter is more than the one on the height of 5 meter, and the one in the center of the forest is more than the one in other places.

The average dust deposition amount in the height of 2m in the center of the forest is $22.8\text{g/m}^2 \times 1\text{d}$, in the height of 5m, it is $19.3\text{g/m}^2 \times 1\text{d}$, and in other places, it is $3.14 \sim 14.4 \text{g/m}^2 \times 1\text{d}$ in the height of 2m, and $1.87 \sim 8.36\text{g/m}^2 \times 1\text{d}$ in the height of 5m.

(4) Study on sand-trapping efficiency of sand-fixing grass belt show that natural shrub have the function of blocking wind-sand flow. Change on wind velocity and sand-transporting quantity around single shrub is observed, results show that there is a slowdown area on the windward side of shrub; and velocity on the top and two side of shrub are accelerated, while on the leeward side there are calm region

and wake region. On the side of the shrubs, Sand transporting quantity is the most, while, on the leeward side, it is the least, and on the windward side, the one on 2H is more than the one on 1H. In addition, sand transport capacity of sand-fixing grass belt decreases with vegetation coverage.the sand –transporting quantity in shifting sandy land is the most, which is 2.25~21.75g during wind velocity of 5.6~9.4m/s, in sedi-fixed sandy land it is 0.32~13.58g, and the one in fixed sandy land is the least, which is 0.06~2.29g.

KEY WORDS: Oasis in Ulan Buh Desert, Wind erosion protective system , Benefit evaluation

研究生学位论文的独创性声明

本人声明：所呈交的农业推广硕士专业学位论文是我个人在导师指导下独立进行的研究工作及取得的研究结果；论文中的研究数据及结果是按学校《关于规范西北农林科技大学研究生学术道德的暂行规定》获得的，如果违反此规定，一切后果与法律责任均由本人承担。

尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究结果，也不包含其他人和自己本人已获得西北农林科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文的致谢中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名： 乌拉

时间：2007年12月8日

导师指导研究生学位论文的承诺

本人承诺：我的农业推广硕士专业学位研究生 乌拉 所呈交的硕士学位论文是在我指导下独立开展研究工作及取得的研究结果，属于我现岗职务工作的结果，并严格按照学校《关于规范西北农林科技大学研究生学术道德的暂行规定》而获得的研究结果。如果违反学校《关于规范西北农林科技大学研究生学术道德的暂行规定》，我必须接受按学校有关规定的处罚处理并承担相应导师连带责任。

导师签名： 刘立松

时间：2007年12月8日

关于其他单位与人员对研究生学位论文使用授权的说明

任何收存和保管本论文各种版本的单位和个人未经本论文作者的导师授权，不得有对本论文进行复制、修改、发行、出租、改编等侵犯著作权的行为，否则，按违背《中华人民共和国著作权法》有关规定处理并追究法律责任。

经本论文作者的导师同意，授权西北农林科技大学可向主管上级有关单位送交论文的纸质件和电子文档，允许论文被查阅和借阅，可以采用复印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；否则，按违背《中华人民共和国著作权法》有关规定处理并追究法律责任。

研究生签名： 乌拉

时间：2007年12月8日

导师签名： 刘立松

时间：2007年12月8日

第一章 引言

1.1 研究背景、目的和意义

绿洲是乌兰布和北部沙区人类经济活动的主要基地,在原有荒漠生境中经过人类开垦和灌溉耕作而发展起来的农业是其主导产业,也是绿洲经济系统的支柱产业。乌兰布和沙漠高度集约经营的沙漠人工绿洲和绿洲农业曾是内蒙古自治区生态移民的移入区和支柱产业,为缓解生态危困地区人口压力,促进地区经济繁荣和维护社会稳定发挥了重要作用。但绿洲处于沙漠包围之中,无时无刻不受到外围沙漠环境的干扰和影响,特别是风沙危害,使绿洲内的农田遭受风蚀与沙埋危害,原有绿洲耕作土壤退化为风沙土或沙漠而无法耕种、利用。而绿洲外围荒漠区内植被稀疏,沙源丰富,风沙活动剧烈,不断向绿洲内农田输入沙物质威胁绿洲生态、生产安全。

沙漠化的严峻态势和恶化的生态环境,给该地区的经济和社会发展带来了极大危害,严重影响了区域经济的可持续发展。近 10 年内磴口地区的土地荒漠化面积扩展了 30 余万 hm^2 ,被国家列为全国沙漠化严重发展类型区。乌兰布和沙漠生态环境建设在我国沙漠化防治、干旱荒漠化地区环境治理工作中,占有特殊的地位,具有极强的典型示范作用。据气象部门统计,乌兰布和沙区冬春两季平均风速达 7 级以上。据近期观测,乌兰布和沙漠每年以 1.3m 的速度东移。

乌兰布和沙漠绿洲的沙害形式以流动沙丘前移和风沙流运动造成的流沙入侵危害为主,但由于绿洲边缘和内部均和固定、半固定灌丛沙堆、风蚀地相接,或直接由灌丛沙堆平整成农田,土壤多为沙土和沙壤土,因此在开垦初期及农田防护体系建设过程中和尚未发挥功能之前,农田也受到土壤风蚀的影响,且影响比较严重。流沙的埋压直接吞噬农田,土壤风蚀造成细土粒的吹失和土壤肥力的下降,沙害的发生与扩展造成绿洲农田生产力下降,环境质量恶化,影响绿洲的持续发展。因此,为了解决绿洲毗邻地区的风沙入侵问题,保障绿洲农牧业生产、生态和生活安全,必须控制沙丘的移动,减缓风沙流的输送过程。

本研究在对绿洲现有防护体系评价的基础上,基于绿洲沙害形式,借鉴现有防治技术,制定出适宜绿洲沙害控制的防护措施。研究成果将有助于解决绿洲风沙危害问题,有惠于乌兰布和沙漠绿洲的健康运行,也有益于我国西北风沙区及荒漠灌溉绿洲的风沙治理,可为干旱区绿洲防灾、减灾提供理论基础,对荒漠化防治具有重要的理论和现实意义。此外,通过综合治理的示范作用,提高防治技术的科技含量,促进绿洲生态环境的改善和生态经济系统的健康运行。

1.2 国内外研究现状

纵观国内外绿洲风蚀防护体系的研究,在一些基础性理论上,如沙害形式、农

田防护林效益评价等方面,已得到普遍重视,并取得了很大的进展,所提出的绿洲土壤风蚀防治原理与措施对风蚀控制起到了一定的积极作用。但从中国风蚀的研究区域分析,目前主要集中于干旱、半干旱地区的旱作农田,对于草地风蚀、绿洲区农田风蚀的研究较少报道。

1.2.1 绿洲研究

绿洲研究方面,我国开展了多项综合研究。对于绿洲水资源开发利用与合理配置问题,陈仲全提出了绿洲节水系统的组元、变元及结构图示,为绿洲开发及绿洲节水监控奠定了理论基础。与此同时,喷、滴灌技术在荒漠绿洲中也得到了应用,并取得了增产、增收、节水的效果^[5]。同时,针对干旱区水资源总量不足与生态环境日趋退化的矛盾,许多学者都相继提出了干旱区生态用水的问题^[23: 10],认为只有节水与保证生态用水才能最终实现干旱区绿洲农业的持续发展。在绿洲农业开发与经济发展方面,王国清等^[27]、胡锡宁等^[8]以新疆绿洲为例,结合农业的发展趋势,提出绿洲农业的集约化生产模式和绿洲经济发展模式。李小明等^[14]则从利用干旱区丰富的光热资源的角度,进一步对绿洲生态农业进行了更为深刻的理论分析和探讨。孙祥还就其优化体系建立的原理与生产模式进行了初步研究,马世忠等^[20]从草田轮作的耕作制度的角度出发提出了绿洲草业发展的巨大潜在意义。而任继周^[40]等与朱兴运^[39]等则从山地—荒漠—绿洲这一干旱区三大系统的耦合作用出发,探讨了由其组成的链状耦合系统的运行机制、耦合效益以及线性规划和系统动力学优化模型。总之,绿洲学、围绕绿洲的各种课题的展开及绿洲化过程的提出,迎来了绿洲研究的高潮。

而同期的国外绿洲研究成果不多^[10],其研究内容大多集中于生物资源调查^[43]、水资源利用对绿洲的影响^[46,48]、环境变化^[46]、景观分异与结构^[42]、经济开发等方面。Abd EI-Ghani^[41]从植被的角度,把埃及的加拉绿洲划分为外围荒漠带、边缘弃耕带和内部农作物种植带3个带。Eckart^[44]对伊朗中部绿洲退化的原因及后果作了剖析,Wolfram则对沙特阿拉伯哈萨绿洲的沙漠化治理作了论述。

1.2.2 防护林研究

前苏联是营造防护林最早的国家之一,在20世纪30年代就已经开始关于防护林的研究,对林带的类型、密度、宽度、结构、带距等问题做出了一些结论。美国自从Bates发表了防护林林带的效应后,才开始了对防护林的优缺点、树种选择、结构组成、管理等问题的研究,并发表了大量的文献。其他国家的学者Jensen M.、Caborn J、Skidmore E. L和Hagen L.J等都对防护林上空气流的运动机理做了大量的研究。自70年代以来,为了从理论上更加深入的研究林网的防护机理,许多学者把流体力学的一些理论引入到林带防护效能和防风机理的研究中。

我国的防护林营造和研究工作起始很早,但是大规模有计划的发展防护林还是始于中华人民共和国成立后,我国防护林的发展大致分为三个阶段,第一阶段始于50年代

初,以防止风沙的机械作用为目的,由国家统一规划,在我国东北西部和黄河故道等风沙严重的地区营造近 4000km 长的防风固沙林,其结构以宽林带大网格为主。第二阶段是从 60 年代开始,以改善农田小气候、防御自然灾害为目的,把防护林的营造作为农田基本建设,“山、水、林、路”综合治理的重要内容之一。以窄林带、小网格为主要结构模式,不仅速度快,而且规模大,几乎遍布全国所有农区。自 70 年代末开始,林木开始进入农田,把多层次的防护林与林粮间作有机地结合,在农区形成“空间上有层次”、“时间上有序”的农林复合生态经营系统。与此同时,我国还进行了几项大的防护林工程建设过程。目前我国的防护林建设已取得了举世瞩目的伟大成就。

1.2.3 防护林体系防护效益研究

1.2.3.1 生态效益

防风效益:防风效应是防护林的基本效应之一。目前这个领域的研究已逐步由纯经验的观测统计转变为机理和理论分析,由以单条林带为对象转变为以林网或综合防护林体系为对象的研究。但是由林带形成的非均匀流场带来的复杂性,是该领域的一些基本问题,如防护区中风速分布的一般规律及其数学形式,防护区中湍流结构规律及其与林带结构特征和环境因子的关系等,都未很好解决。因此,以林带或林网为对象的小尺度上的研究内容十分广泛。

热力效应:在一定范围内,林带对林带内的太阳辐射、空气温度、土壤温度等气象要素产生一定影响。Eimern^[45]研究表明,防护林带林缘处有效辐射为旷野 50%,显然与林带的阻挡有关,林带影响有效辐射的范围一般至少为树高的 2 倍左右。

水分效应:防护林能对蒸发、空气湿度、土壤温度等产生影响。Eimern^[45]在不同风速条件下,对林带背风面不同距离的蒸发进行测定,结果表明蒸发量随林带距离增长而增加,蒸发量的最大降低处是在背风面 5H 左右。宋兆民^[22]指出,农田防护林能降低水面蒸发量 11.8%,且风速越大,其效应越明显。林网对农田蒸发的影响与风速、温、湿度有关。

土壤改良效应:由于防护林的防护作用,使土壤的水热条件有相应的改善,同时,树木根系活动,枯落物分解,必然对土壤微生物的区系组成及其活动产生影响,并导致土壤特性、肥力和结构的改变。朱德华^[37]测定,防护林带背风面防护范围(20H)内,腐殖质、全 N、全 P 含量分别为对照区的 182.0%、178.4%、145.4%。雷孝章^[12]研究证实,坡面防护林体系配置后,林地有机质、全 N、水解 N 均分别比荒草坡提高 141.55%、68.76%、78.57%。

生物效应:林带的防护作用,可使防护林内动物、植物、微生物种群发生变化。Naylor^[47]曾研究过不同地区 70 条林带内植物的种类组成、数量大小、覆盖度等,并探讨了树冠的生长发育与植被演替的关系。向开馥^[34]报道,有防护林保护的草场比天然草场植物群落占绝对优势。

1.2.3.2 经济效益

营建防护林具有明显的经济效益。前苏联全国国营农场,营造农田防护林网而获得的附加收入占全部收入的 20%,集体农庄增产 12%~15%,农产品成本降低 6%~7%。乌克兰三条河流域营造防护林后,调节河川水文状况的经济效益比销售木材的净收入高 0.5~1 倍。

1.2.3.3 社会效益

营造防护林体系,不但能为发展工业、加工业、手工业提供原料,而且还能提供大量薪材、用材、饲料等产品,满足当地居民的基本需要,并促进农作物秸秆还田,恢复与提高地力。同时,营建防护林体系还明显地改善了人们的生存环境条件。

1.2.4 乌兰布和沙漠绿洲研究

对乌兰布和沙漠绿洲的研究,以中国林业科学研究院为主,不同的学者从不同侧面对其进行了诸多研究。周世威等采用野外模式林带的观测与风洞模拟试验相结合的方法,对不同结构防护林的防风性能和机制进行了研究。王志刚^[31, 32]对乌兰布和沙漠东北部绿洲防护林要素及设计进行了总结。王葆芳对新开人工绿洲防护林体系的防风减尘效益、增产增收效益、提高生物多样性和农民经济收入等综合效益进行了研究^[25, 26],并采用灰色系统关联分析方法对新开人工绿洲的土地优化结构进行评价^[24]。王君厚^[29, 30]对乌兰布和人工绿洲的小气候效应和地下水动态进行了监测分析,指出绿洲防护体系在降低风速、抑制蒸发、提高空气湿度等方面的效应特别突出,但灌溉使绿洲地下水位升高,地下水水质恶化,是造成绿洲次生盐渍化的主要原因。其他学者则从水土资源的合理开发利用与绿洲生态农业发展等方面进行了多角度的探讨^[15, 11, 9, 1]。而关于乌兰布和沙漠绿洲沙害问题及其综合防护体系建设,肖彩虹等^[35]包耀贤^[1]王志刚^[32]等略有论述,且多为定性描述。事实上,乌兰布和沙漠绿洲的风沙危害与绿洲开发一直相伴存在,目前仍未能解决。基于这一点,对乌兰布和沙漠绿洲风沙灾害的研究,是一项有益于绿洲风沙灾害防治、生态环境建设和经济持续发展的研究。

1.3 研究内容与技术路线

1.3.1 研究内容

本研究选择乌兰布和沙漠绿洲为研究区,对现有的风蚀防护体系防护效益进行评价的基础上,针对现存的问题提出有针对性的生物、工程、农作等防治措施,以期建立更加有效地防护体系,减免绿洲风沙危害。该研究将为防止绿洲土地荒漠化,遏制绿洲荒漠化过程提供理论依据,研究内容主要有:

- (1) 绿洲农田防护林防护效果
- (2) 封沙育草带天然植被防风阻沙效果与机理
- (3) 防风阻沙林防风阻沙效果与机理

1.3.2 技术路线

本文从绿洲风蚀防护体系入手，以构成风蚀防护体系的农田防护林网，防风阻沙带和封沙育草带为研究对象，通过野外实验观测和室内分析测试等手段，研究不同沙害控制措施、控制机理，并对绿洲现有的防护体系的防风阻沙效益进行评价，以期完善绿洲风蚀防护体系提供科学依据（如图 1-1）。

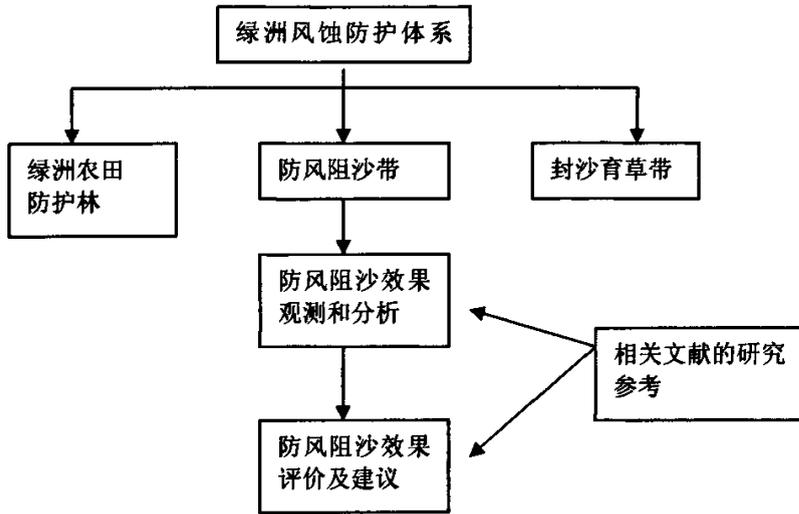


图 1-1 研究的技术路线示意

第二章 研究区概况

2.1 乌兰布和沙漠绿洲形成过程

乌兰布和沙漠绿洲分布于乌兰布和沙漠东北缘沙区,是古代黄河冲积平原,由于黄河的频繁改道泛滥,形成了广泛的低洼地、低湿地或积水湖泊,地表零散分布有高1~3m的沙垄和高1m左右的白刺沙滩,丘间多分布有粘土质平地,是乌兰布和沙漠中条件最优越的地区。早在公元前127~120年间,西汉王朝在这里建立了麻浑、临戎、三封三县,一度成为“牛马遍野、人民炽盛”的繁荣垦区^[15]。但在经过历代开发农垦与战争,继后毁林毁草开荒,反复弃耕与复耕,破坏了原生植被和表土,使冲积平原的下伏沙层暴露于地表,经强烈风蚀就地起沙,反复扩展蔓延形成了沙漠。现代又由于盲目开荒造田,垦区扩大,人口剧增,加之近年来超载过牧、随意樵采和滥垦滥挖致使草场严重退化,沙丘活化、土地沙化扩展强烈。

二十世纪50年代以来,国家投入大量人力、物力治理和开发乌兰布和沙漠,从建设兵团到当地人民,经过几十年的努力,乌兰布和沙漠东北部绿洲的规模不断扩大,许多地方已成为种植业的垦区,并成为我国西部重要的粮食产区。

从1958年开始,首先沿沙漠东缘营造了长154km宽30m的防沙林带,建设了5km宽的草灌植被带,封育了 $6.7 \times 10^4 \text{hm}^2$ 草场,阻止了流沙东侵,保护了农田,发展了畜牧业^[36]。1960年~1964年,又组织开挖渠系、引黄入沙,控制灌溉面积 $26 \times 10^4 \text{hm}^2$,实施“以林为主,综合治理”,初步形成了1条防沙治沙的新路子。而到了1966年、1969年由于相继组建和成立内蒙古军区生产建设兵团、北京军区生产建设兵团,在乌兰布和沙漠腹地建成1个师7个团100个连队,人口猛增2.7万,执行“以粮为纲”、“向沙漠要粮,一切为粮食生产让路”的指导思想,开始大规模毁林毁草开荒造田。截止1970年末,开垦耕地面积 $1.33 \times 10^4 \text{hm}^2$,毁梭梭林面积 $3.4 \times 10^4 \text{hm}^2$,毁人工林 7734hm^2 。恶劣的自然条件加上不合理的人为活动,导致土地沙漠化愈演愈烈,沙区自然资源退化和生态环境的严重恶化。1975年以后,兵团解体,改为7个农场,区域内沙漠治理与开发又进入稳中求进的阶段,相继出现了公地乡林场、寇家滩、隆盛合镇塔布村等沙荒地治理与开发的典型和样板。80年代以后,中国林科院磴口实验局的成立和“大范围绿化工程对环境质量的研究”、“防风固沙林体系优化模式的选定与实验示范区的建立”等项目的实施,为沙漠的综合治理与开发,提供了科学的依据和成功的模式。90年代以来,乌兰布和沙漠的开发得到进一步重视,国家提出了“再造一个河套”的战略构想,其东北部的开发已提到议事日程之上。围绕磴口县乌兰布和沙漠的治理与开发,开展了很多工程,包括国家生态建设工程、移民工程、水土保持生态工程、林业生态工程、农业综合开发工程等,对乌兰布和沙漠绿洲发挥了积极的作用。

2.2 研究区自然状况

2.2.1 地理位置

乌兰布和沙漠是中国境内八大沙漠之一，呈东北—西南分布于内蒙古河套平原的西南部，介于黄河、狼山、巴彦乌拉山之间。乌兰布和沙漠地处我国西北干旱荒漠区的东缘，也是中国北方东部季风气候区的最西缘，自然环境敏感而易变。沙漠区的北部与狼山山地的西端相毗连，东侧濒临黄河，沿河形成的河谷平原与河套平原区紧紧相连；其西南为吉兰泰盐池，向西逐渐进入阿拉善典型荒漠区。行政区划包括阿拉善左旗、乌海市、磴口县、杭锦后旗与乌拉特后旗等旗县的部分地区，其位置示意如图 2-1。

乌兰布和沙漠绿洲分布于乌兰布和沙漠东北缘沙区，其地理位置为 $106^{\circ}09' \sim 107^{\circ}10'E$ ， $40^{\circ}09' \sim 40^{\circ}55'N$ ，绝大部分隶属于内蒙古西部巴彦淖尔盟磴口县。



图 2-1 乌兰布和沙漠位置示意图
Fig.2-1 Location sketch map of Ulanbuhe desert

2.2.2 地质地貌

乌兰布和沙漠在地质构造上属于包头—吉兰泰断陷盆地西南部，在燕山运动和喜马拉雅运动中，盆地两度下陷，其内沉积了下更新世和中更新世巨厚的冲积、洪积和湖积物。这些深厚的沉积物，使本区拥有十分丰富的沙物质来源，为沙漠化的发展奠定了物质基础。

乌兰布和沙漠地形呈四周高中间低的趋势，且自东南向西北逐渐降低。乌兰布和沙漠东北缘是古代黄河冲积平原，因河床摆动而形成了广泛的低洼地、低湿地，在地势较

低的古河床内,地下水出露地表,形成星罗棋布的积水湖泊。区内固定沙丘、半固定沙丘、丘间低地与流动沙丘相间分布,且以固定、半固定沙丘为主,其面积占 50%,沙丘间平地占 23%,流动沙丘占 20%,洪积扇占 5%,海子、风蚀坑占 2%。固定、半固定沙丘多为高 1~3m 的沙垄和 1m 左右的白刺沙堆,丘间多分布有粘土质平地,是乌兰布和沙漠中最优越的区域,现许多地方已开发成为沙漠中的绿洲。

2.2.3 气候

气候终年为西风环流控制,属于温带荒漠大陆性气候,冬、春季受西伯利亚—蒙古冷高压控制,夏秋季为东南季风所影响,主要有以下特征:

气候干旱,降水稀少,分配不均。多年平均降水量约 144.5mm(1954~2003 年),最大年降水量 288.4 mm(1984 年),最小年降水量 59.4mm(1957 年),全年降水季节分配不均,降水多集中于 6~9 月,占全年降水量的 78.8%。多年平均蒸发量 2380.6 mm,温湿同期,光照充足,热量丰富。年均气温 7.6℃,绝对最高气温 39℃,绝对最低气温 -29.6℃。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温为 3289.1℃。研究区光热资源丰富,累年平均总辐射量 6493.3MJ/m²,作物生育期占 63.5%~65.3%,是仅次于西藏南部全国最高地区之一。年均日照时数 3181h,年平均无霜期 146d。由于积温偏高,而且全年内温度最高的月份与雨季同期,故有利于许多种喜暖作物与牧草的生长。

风沙频繁,地表风蚀强烈。全年平均风速 3~3.7m/s 左右,以春季 3~5 月风速最大,平均在 4.8 m/s。历年最大瞬时风速为 24 m/s。全年盛行西南、西及西南西风,夏季东北风比较盛行,秋季则东北、西南风较多;大风以西南风最多,有害风为偏北(NWN、NW、NNW)。多年平均(1970~2003 年)大风日数 12.5 d,沙尘暴日数 10.9 d,扬沙日数 30.2 d,起沙风次数每年 200~250 次以上,主要集中于春季,因此 3~5 月是地表发生侵蚀最严重的季节。而此期恰是绿洲内农作物播种季节,风沙天气对作物危害极大。但光热资较丰富。

2.2.4 土壤

乌兰布和沙漠东北缘原是中更世末期盆地上升,湖水外泄,并接受后期黄河水系的沉积物所形成的洪积、冲积与湖积平原。由于黄河长期淤积,留下了大面积的土质平地,其紧接河套平原,地势比较平坦。土壤表层主要由第四纪河湖沼红棕色粘土层组成,为中细沙、亚粘土和粘土层的湖相沉积物,厚度达 0.5~2.0m 以上。现在的风积沙是经过晚更新世气候干旱、大风吹蚀而逐渐形成的,呈现出沙丘链、灌丛沙堆、古河床洼地与粘质间层的多相沙地相间的分布特征。

沙区土壤类型较为多样,地带性土壤为棕钙土和灰漠土,且具有不同程度的草原和荒漠的过渡性特征。全境以风沙土为主,其他土壤类型有盐土、灌淤土、草甸土、龟裂土、原始沼泽土等。其中,风沙土主要以沙丘形态分布着,有流动沙丘、固定、半固定沙丘;灰漠土分布在较宽阔的丘间洼地,地势平坦,植物稀少或无植物生长;龟裂土分

布在固定沙丘的丘间洼地,生长有白刺、籽蒿、沙鞭等;草甸土分布在丘间积水洼地边缘;原始沼泽土则分布在湖泊边缘及丘间积水洼地。

2.2.5 水文

黄河自南向北流经磴口县的东南端,磴口绿洲的地势自东南向西北倾斜。而乌兰布和沙漠整个地势都低于黄河水面,有引黄灌溉的条件,从而弥补了降雨少,蒸发大,干旱缺水的不利因素。且地下水埋深浅(5-8m),浅层水资源丰富,水质良好宜于灌溉。据内蒙古河套总局勘测资料,浅层承压、半承压水极为丰富,有100m含水层,总储量为57亿 m^3 ,而且水质良好,是坚持排灌的优质水源。60年代修建了三盛公黄河水利枢纽工程,并在沙区形成了完整的灌溉渠系,乌沈干渠是目前沙区引黄河灌溉的主要渠系,年平均引水量 $5.36 \times 10^8 m^3$ 。区外产流及其它渠系的地表水为 $0.033 \times 10^8 m^3$ 和 $0.13 \times 10^8 m^3$ 。

2.2.6 植被

按照植物生态生物学特性分析,强旱生的灌木与半灌木是最主要的生活型。其次是旱生多年生草本植物,一年生植物种类也比较丰富,中生乔木树种多为人工引种栽培植物种,盐生植物与泌盐性植物也是一个重要的生态类群,在沼泽低地上也分布着一些中生、湿生与水生草本植物。

2.2.6.1 自然植被

受温带荒漠大陆性气候控制,研究区发育的自然植被以荒漠植被种类较多,区内植物群落中的建群种均为旱生植物,优势种多半为强旱生植物。常见植物群落类型有油蒿沙质荒漠、籽蒿沙质荒漠、白刺沙质荒漠。这些群落一般可达到郁闭和半郁闭的结构,形成固定、半固定沙地。其次还分布有沙冬青沙质荒漠、梭梭沙质荒漠、霸王沙砾质荒漠、柠条锦鸡儿沙质荒漠等。按其生物学特性划分为以下几个主要类群^[16]。

旱生灌木、半灌木类主要分布于固定、半固定沙丘,盖度35~40%。灌木类植物有柠条(*Caragana korshinskii* Kem.)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylone* Maxim)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus* Cheng f.)、梭梭、白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)、红沙(*Reaumuria Soongorice* Maxim)等。半灌木植物代表种有油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch)、籽蒿(*Artemisia sphaerocephala* Krasch)、冷蒿(*Artemisia frigida* Willd)、珍珠柴(*Salsola passerina* Bunge)、松叶猪毛菜(*Salsola laricifolia* Turcz.)、木地肤(*Kochia prostrata* Schrad.)、驼绒藜(*Ceratoides lateens* Reveal)、花棒、沙拐枣(*Calligonum mongolicum* Turcz.)等。

旱生、中生多年生草类主要分布在半固定沙丘,丘间平沙地或覆盖在各种基质上的薄层沙地上,个别植物种出现在半流动、流动沙丘上。旱生小型禾草类植物有小针茅(*Stipa klemenzii* Roshev)、戈壁针茅(*Stipa gobica* Roshev)、沙生针茅(*Stipa glareosa* P. Smirn)、短花针茅(*Stipa breviflora* Griseb)、无芒隐子草(*Cleistogenes songarica* Ohwiin Journ.)、蒙古冰草(*Agropyron mongolicum* Keng.)等;旱生杂类草有蒙古葱(*Allium*

mongolicum)、多根葱 (*allium polyrrhizum*)、苦豆子 (*Sophora alopecuroides* L.)、叉枝蒺藜 (*Scorzonera divaricata*)、沙兰刺头 (*Echinops gmelinii* L.) 等。中生多年生植物主要有拂子茅 (*Calamagrostis epigeios* Roth.)、早熟禾 (*Pos spp.*)、野大麦 (*Hordeum brevisubulatum* Trin.)、碱茅 (*Puccinellia distans* Parl.)、赖草 (*Aneurolepidium dasystachys* Trin.)、沙芦草 (*Agropyron mongolicum* Keng)、沙竹 (*Psammochloa villosa* Trin.) 等。

盐生灌木、半灌木类主要分布在沙漠边缘和沙漠与湖盆相接地段或湖盆低地的厚层覆沙地、丘间积水滩地,是盐渍低地主要建群植物种,主要有多种怪柳 (*Tamarix spp.*)、着叶盐爪爪 (*Kalidium foliatum* Moq.)、细枝盐爪爪 (*K. gracile* Fenzl) 等。

沼生多年生草类主要分布于水分条件较好的丘间低地、下湿地等草甸和盐化草甸。常见的种类有芦苇 (*phragmites australis* Trin.)、香蒲 (*Typha latifolia*)、水麦冬 (*Triglochin palustris* L.)、野稗 (*Echinochlos crusgalli* Beauv.) 等。

一年生草类主要分布于流动沙丘或与灌木、半灌木相伴生长。常见的种类有黄蒿 (*Artemisia scoparia* Waldst)、雾冰藜 (*Bassia dasyphylla* Fisch. Et Mey)、碱蓬 (*Suaeda glauca* Bunge)、猪毛菜 (*Salsola collina* Pall)、灰绿藜 (*Chenopodium album* L.)、虫实 (*Corispermum spp.*)、沙米 (*Agriophllum squarnosum* Vahl)、画眉草 (*Eragrostis pilosa* L.)、冠芒草 (*Enneapogon borealis* Griseb.)、沙芥 (*Pugionium comutum* L.)、三芒草 (*Aristida adscensionis* L.)、狗尾草 (*Setaria viridis* L.)、滨藜 (*Atriplex sibirica* L.) 等。

2.2.6.2 人工植被

人工植被主要由两部分组成。一部分为绿洲内部防护林网、小面积片林和农作物,这是绿洲的主体部分,防护林网主要人工植物种有小叶杨 (*Populus simonii* Carr.)、箭杆杨 (*P. nigra* L. var. *thevestina* Bean)、钻天杨 (*P. nigra* L. var. *italica* Koehne)、加拿大杨 (*P. Canadensis* Moench. Verz.)、新疆杨 (*P. alba* L. var. *pyramidalis* Bunge)、二白杨 (*P. gansuensis*)、旱柳 (*Salix matsudana* Koidz.)、沙柳 (*S. psammophila* C. Wang et C. Y. Yang)、榆 (*Ulmus pumila* L.)、沙枣 (*Elaeagnus angustifolia* L.)、梭梭 (*Haloxylon ammodensron* Bunge)、柠条 (*Caragana korshinskii* Kem.)、花棒 (*Hedysarum scoparium* Fisch.) 等。另一部分为绿洲开发时在绿洲外围营造的许多固沙林、防护林带、防护林网等,主要以花棒、沙木蓼 (*Atraphaxis bracteata* A. Los.)、怪柳 (*Tamarix chinensis* Lour.)、沙拐枣 (*Calligonum mongolicum* Turcz.)、梭梭、乌柳 (*Salix cheilophila* Schneid) 等大灌木构成。

2.3 研究区社会经济状况

2.3.1 土地利用状况

研究区土地资源广阔,总面积为 $32.62 \times 10^4 \text{hm}^2$, 占磴口县土地面积 78.3%。其中耕地 $27.73 \times 10^4 \text{hm}^2$ 、林地 6862.2hm^2 、牧草地 $22.98 \times 10^4 \text{hm}^2$ (表 2-3)。研究区人均耕地 0.75hm^2 , 远高于全国人均 0.07hm^2 ^[1], 全部采用黄灌或井灌。研究区目前仍有宜耕荒地

$18.58 \times 10^4 \text{hm}^2$, 占该区总面积的 57%, 且地势平坦, 土层深厚, 沙丘密度小, 平均覆沙厚度 30cm, 都有引黄灌溉和发展井灌的条件。

2.3.2 社会经济状况

据统计, 1999 年(下同)研究区人口 3.7 万, 其中农牧民占 91.5%^[1], 占全县人口的 31.0%, 研究区农业生产为主导产业, 并已有一定基础, 农业水利化程度也较高, 耕地、园地和林地共 $3.5 \times 10^4 \text{hm}^2$, 全部采用井灌或黄灌。研究区农业生产总值 12877×10^4 元, 农牧民人均纯收入 2413 元, 现已建成蔬菜、瓜果、肉食品、啤酒花、甘草、饲料加工等龙头项目, 带动了各业全面发展, 实现农业经济高效、快速前进。

2.4 乌兰布和沙漠绿洲风蚀防护体系构成

研究区绿洲及其外围的风蚀防护体系由三部分构成, 由外向内依次为外部封沙育草带、中部防风阻沙带和内部农田防护林网。

封沙育草带是绿洲防护体系的第一道防线, 它接壤于植被稀少、地表疏松, 风沙活动强烈的自然荒漠生态恢复区, 宽度 1~2km。封沙育草带以白刺+蒿类群丛为主体, 构成了半固定、固定沙丘为主的景观, 流动沙丘镶嵌分布于半固定、固定沙丘间。沙丘上天然分布有白刺、籽蒿、油蒿、沙竹、虫实等自然植被, 其中白刺多以灌丛沙堆形式存在, 呈半固定、固定状态, 高度 1m~3m, 盖度为 25%~60%; 而籽蒿、油蒿等植被呈半固定状态分布于较平坦的沙地上, 高度 20~60cm, 盖度为 15~30%。其作用是控制就地起沙和拦截外来流沙。通过封沙育草等方式保护天然植被, 以增加地表覆盖度, 形成天然固沙阻沙屏障。

防风阻沙带为绿洲的第二道防线, 位于灌草带和农田之间, 以花棒、沙木蓼、梭梭、沙拐枣等灌木构成, 造林规格 2m×2m, 高度 1.5~2.7m, 盖度 30%~70%。其作用是继续削弱越过封沙育草带的风速, 沉降风沙流中剩余沙粒, 进一步减轻风沙危害。

内部农田防护林网为绿洲的最后生态防线, 以人工栽植的新疆杨、沙枣、旱柳等为主要树种, 其构成比例为 6 杨: 2 沙枣: 2 柳, 1997 年人工植苗造林, 两行渠道式造林, 株行距 1×1.5 m, 2×2 m, 带间距为 60×180 m, 面积 2.53hm²。目前, 防护体系平均树高 5.5m, 平均胸径 7cm, 郁闭度 0.22, 地物以籽蒿、禾本科杂类草为主。其目的是改善绿洲近地层小气候条件, 同时控制绿洲内部农田在大风时不会起沙^[4]。

2.5 试验区简介

试验区选择在乌兰布和沙漠东北缘磴口县境内的中国林业科学研究院沙漠林业实验中心的四个实验场(图 2-3)。

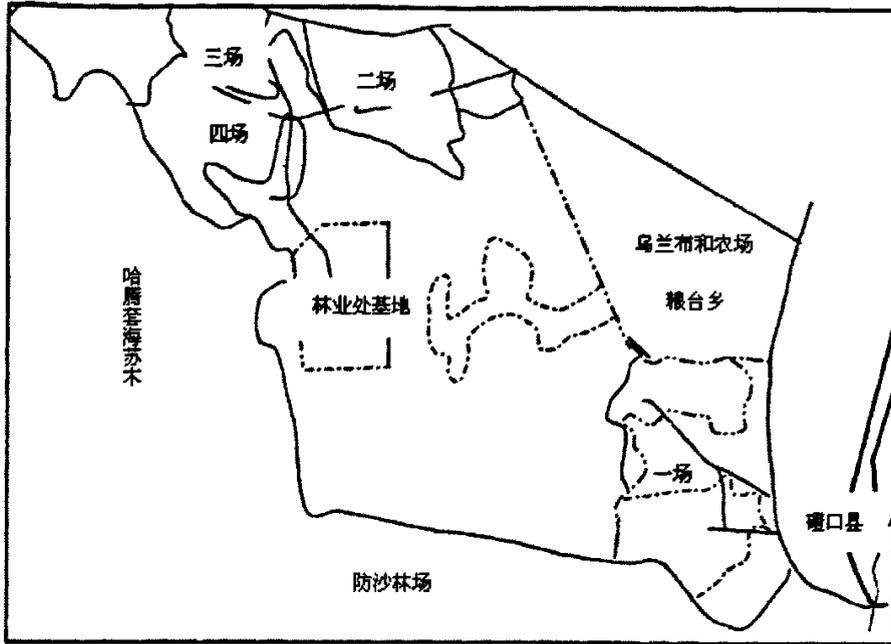


图 2-3 试验区地理位置图

Fig.2-3 Location sketch map of the experimental area

开发前试验区均为乌兰布和荒漠中植被发育较好的地段，开发后作为荒漠中的人工绿洲进行农业生产活动。开发过程中，特别注意保护了其周边的荒漠植被及其生境，并通过人工封育的方法加强了绿洲边缘的生态恢复，从而在绿洲与荒漠间形成了一种较为自然的过渡地带，兼具了绿洲和荒漠两类景观的特征。试验区内绿洲及其边缘的流动沙丘、天然固定、半固定灌丛沙堆及较为健全的绿洲防护林体系及其种类较多的种植结构为本研究提供了试验样地。

第三章 乌兰布和沙漠绿洲农田防护林防护效果

在绿洲边缘及内部营造农田防护林（林带与林网），其作用除一般护田作用外，最重要的作用是降低风速、控制农田土壤风蚀，防止或减轻地表起沙和风沙入侵，为农业生产营造一个良好的生产环境。绿洲农田防护林是绿洲防风阻沙、控制风蚀必不可少的技术措施之一，也是保证农业稳产高产的基本措施，对农业生产具有重要意义。本文在总结前人研究的基本理论基础之上，通过定位观测实验与定量分析相结合的研究方法，对不同结构类型的防护林防风阻沙的基本规律以及防护效益进行分析研究。期望为该地区生态环境建设植被配置和定量评价提供理论、技术和参考数据。

3.1 实验样地

实验样地选择在内蒙古磴口县沙漠林业研究中心 4 个实验场内不同类型的防护林。对三种结构的林带分别进行了观测，1、2 号林带为稀疏结构，3、4、5、6、7 号林带为疏透结构，8、9 号林带为通风结构（表 3-1）。

具体划分标准为：①稀疏型：疏透度 30%~50%，上下枝叶稀疏，有上下均匀分布的小通风空隙。②疏透型：疏透度 50%~60%，林冠层稀疏，有均匀分布小孔隙，林干层较大空隙。③通风型：疏透度大于 60%，林冠层紧密，林干层有大的通风孔道，或者新栽树木未成林，上下都有大的通风孔；树木栽植间距大，林带上下皆开型也归于通风结构^[6]。

表 3-1 各林带参数

Tab. 3-1 Situation of shelterbelt

编号	林带间距 (主/副)	位置	配置	带高 m	胸径 cm	宽度 m	枝下高 m	结构
1	100, 200	四场	新疆杨*美青 64*沙枣	15	15.8	4	0.2	稀疏型
2	100, 200	四场	新疆杨*美青 64*沙枣	14.5	14.2	3	0.4	
3	100, 200	一场	新疆杨*沙枣	23.5	23.45	3	1.3	疏透型
4	100, 200	一场	新疆杨*沙枣	16	21.8	3	1.4	
5	140, 300	三场	新疆杨*乌柳	15	20.69	3	1.6	
6	50, 102	一场	二白杨*杜梨	10	18.5	4	0.5	
7	100, 200	一场	新疆杨*沙枣	6	12.5	3	1.5	通风型
8	130, 382	二场	新疆杨	15.5	20.5	3	2.5	
9	150, 150	四场	新疆杨	13.5	18.6	2	2.3	

1 号林带位于四场，40°25'25"N，106°43'29"E，为新疆杨、沙枣、美青 64 混交林，林带规格 100×200m，迎风面两行新疆杨，株行距为 1×1.5m，平均胸径为 15.8cm，平均树高 15m。背风面两行美青 64，株行距为 1×1m，平均胸径 11.6cm，平均树高 14.5m。

林带内部还种有沙蒿,新疆杨和美青 64 混交沙枣,沙枣高 3.5m,乔灌草相结合的模式,使得林带从上到下的疏透度均匀,观测期间林带疏透度为 45%,林带南北走向,观测时风向为西风。

2 号林带位于四场 1 号林带南边,配置与 1 号相同,只是美青 64 为一行,林带内没有沙蒿,沙枣缺株现象严重。林带南北走向,观测时风向为西风。观测期间疏透度为 50%。

3 号林带位于一场七连北边, $40^{\circ}21'31''N$, $106^{\circ}53'36''E$,为两行新疆杨和沙枣混交,新疆杨高 23.5m,林带长 200m,沙枣高 2.8m,林带东西走向,观测时为东北风。观测期间林带疏透度为 54%。

4 号林带位于一场,为新疆杨和沙枣混交林,带高 16m,胸径 21.8cm,带间距 $100\times 100m$ 。

5 号林带位于三场, $40^{\circ}27'45''N$, $106^{\circ}42'30''E$,为新疆杨和乌柳混交,新疆杨高 15m,株行距 $2\times 3m$,乌柳高 2.61m,栽于新疆杨下,林带宽 2m,林带南北走向,观测时风向为东风,观测期间林带疏透度为 56%。

6 号林带位于一场, $40^{\circ}20'30''N$, $106^{\circ}55'40''E$,为二白杨和杜梨混交林,二白杨高 10m,林带长 50m,带距 102m,配置为迎风面一行二白杨,背风面两行杜梨,林带东西走向,观测时风向东北风,观测期间林带疏透度 56%。

7 号林带位于一场,新疆杨沙枣混交林,带间距带 $100\times 200m$,带高 6m,新疆杨胸径 12.5cm。

8 号林带位于二场治沙示范区林带, $40^{\circ}26'28''N$, $106^{\circ}47'14''E$,为新疆杨纯林,株行距 $2\times 3m$,林带长 382m,带间距 130m,树高 15.5m,南北走向,观测时风向为西南风,观测期间林带疏透度为 66.5%。

9 号林带为四场两行新疆杨, $40^{\circ}26'01''N$, $106^{\circ}43'08''E$,株行距 $1\times 2m$,林带高 13.5m,杨树幼叶已发,南北走向,观测时风向为西北风,观测期间林带疏透度为 72.5%。

对照点:对照点选定在空旷裸露的沙质农田,风蚀严重,地势平缓开阔,观测数据不受影响。

3.2 实验方法

主要实验仪器有: C-2F 型多通道自计式遥测风速风向仪 1 套,风速通道数为 14 个,风速测量范围: $0\sim 70m/s$,风速测量精度: $\pm (0.3+0.03V) m/s$,启动风速: $0.4m/s$ 。设定测量间隔为 1 分钟。集沙仪 10 套, $1/1000g$ 感量的电子天平 1 台,以及小铁产、测高仪等。集沙仪入口口径为 $2\text{ cm}\times 2\text{ cm}$ 方口。

风速观测:观测时间为 2005 年 4 月 5 日至 4 月 29 日,采用多通道风速仪观测防护林风速。风速观测点布设在林带走向的中垂线上,在迎风面 3H、2H、1H 处、背风面

0H、1H、3H、5H、7H处,其中H为树木平均高(此处表示观测点的距离)。对照风速观测点布设在空旷的农田中心处。观测高度为2m,每个实验观测时间为1小时。

防风效能计算公式:

$$E_{x1} = \frac{u_{01} - u_{x1}}{u_{01}} \times 100\% \quad (3-1)$$

式中: E_{x1} ——植被附近距离为x处、内高度为1m处防风效益

u_{01} ——观测点高度为1m处对照点的平均风速

u_{x1} ——距林分x处、高1米处的平均风速

疏透度的计算公式:

$$\beta = \frac{a}{A} \times 100\% \quad (3-2)$$

式中: A ——林分林缘垂直面上的投影总面积

a ——总面积上透光空隙的面积

本研究主要是通过照相法获取各林分的相片后,在室内用图像处理软件进行处理,计算出各个林分在观测期的疏透度。

阻沙量观测:在林前1H、林后1H、林后7H和旷野对照点处分别布设集沙仪,观测其输沙量,沙粒收集汇总并标记,回实验室以百分之一天平称重。

3.3 研究结果与分析

3.3.1 林带结构类型对防风效能的影响

表 3-2 农田防护林带结构对防风效能的影响

Tab.3-2 Effect of the structure of farmland shelter on wind protective efficiency

林带结构类型	调查地点	林带编号	疏透度 / %	防风效能 / %
稀疏型	四场韩家 新疆杨*美青 64*沙枣	1	45	35.0
		2	50	29.4
		平均	47.5	32.2
疏透型	一场新疆杨*沙枣 三场新疆杨*乌柳	4	56	24.2
		5	56	22.8
		平均	55	23.0
通风型	二场新疆杨 四场新疆杨	8	66.5	14.7
		9	72.5	11.7
		平均	69.5	13.2

防护林带因透风情况不同,可分为紧密结构林带、疏透结构林带和通风结构林带三种结构类型^[2]。不同结构类型的林带,由于树种组成及树木各部分在带内空间分布、搭配状况的差异,形成了特定的外部形态。对乌兰布和沙漠绿洲不同类型林带调查测定结果表明,林带结构类型对防风效能有显著影响。选择几个带高等其它因子基本相同的林带进行比较,从表3-2中可以看出,稀疏型林带防风效果最佳,平均为32.2%,疏透型次之,为23%,通风型防风效果较差,为13.2%。其主要原因是稀疏型林带上下稀疏,

空隙分布均匀,致使气流被枝叶、树干等部分分割、阻挡、摩擦,动能消耗多,风速降低显著,而疏透型林带因下部有通风空隙,使气流较畅通,动能消耗少,风速降低也少。通风型林带因林干层有大量通风孔道,气流更畅通,动能消耗更少,风速降低不明显。因此风沙区林带结构应选择稀疏型为主,也可适当选用低度疏透型和低度通风型配置副林带。

3.3.2 林带疏透度与防风效能的关系

林带疏透度不同,其防风效果也有明显差异。选择带高及其它因子基本相同的几个林带分别进行比较,从表 3-3 可看出,林带防风效能较好的疏透度为 40%~50%,随着林带总平均疏透度的增加,防风效能显著降低;分层疏透度不同直接影响防风效果,4、5 号林带平均疏透度均为 56%,但前者林冠层、林干层疏透度均为 56%,后者分别为 62%和 50%,林冠层疏透度过大,结果防风效能为 22.8%,比 4 号低 1.4%。这说明分层疏透度不同,也直接影响防风效果。

表 3-3 林带疏透度与防风效能的关系

Tab. 3-3 Relationship between structure of farmland shelter and protecting effect

林带	林带疏透度/%			防风效能/%
	林冠层	林干层	平均	
稀疏型	1	45	45	35.0
	2	48	52	29.4
疏透型	4	56	56	24.2
	5	62	50	22.8
通风型	8	53	66.5	14.7
	9	60	85	11.7

1、2 号林带均为稀疏结构,1 号林带总疏透度 45%,且上下分布均匀,防风效能好,2 号林带总疏透度为 50%,且林干层疏透度略大,防风效果略差。4、5 号林带总疏透度基本相同,但 5 号的林冠层疏透度过大,防风效果明显低于其它两个林带。8、9 号林带总疏透度均过大,在 70%左右,防风效能很差。

由此可见,总平均疏透度为 30~50%的稀疏型林带,分层疏透度应控制在林冠层 30~50%,林干层 50%,分层疏透度之差不超过 15%为宜。风沙区林带结构配置应以稀疏型为主配置主林带。在自然灾害较轻的地区,也可采用低度疏透型和低度通风型结构配置副林带^[28]。

3.3.3 林带高度对防风效能的影响

在林带结构相同的情况下,林带削弱风速的作用及有效防护距离,主要与林带高有关。表 3-4 中四个林带都是疏透型结构林带,且都为新疆杨,林带降低风速百分比随着林带高度的增加而增加,高度为 23.5m 的新疆杨林后不同树高处风速较旷野降低 8.4~33.6%;高度为 15m 的林后不同树高处风速较旷野降低 12.8~27%,而高度为 10m 和 15m 的林后不同树高处风速较旷野降低分别为 17~25.5%和 10~15.6%,由此可见,随着林

带高度的增加,有效防护距离也增大。

土壤风蚀的发生依赖于风,而林带可有效地降低林带后的风速,使风速下降至起动风速之下或减弱风速强度,从而削弱风对地表沙粒的分离和搬运,起到控制土壤风蚀发生的作用。关于农田防护林内的风蚀,在同一林网(带)内,土壤风蚀的分布随着距离农田迎风边界距离的增加而增加^[7],这与风速恢复随着距迎风边界距离的增加而增加的规律相一致,即风速恢复增强,风蚀深度加大。

表 3-4 绿洲不同高度新疆杨林带降低风速作用

Tab.3-4 Wind velocity decreasing effects of *Populus alba* var. *pyramidalis* shelterbelt of different height

林带高度(m)	对照风速 (m/s)	防风效能	林带背风面各测点风速(旷野同高度风速的%)			
			1H	3H	5H	7H
23.5	5.83	24.4	66.4	69.5	75.8	91.6
15	5.15	22.8	75.9	73	80.8	87.2
10	4.36	20.6	74.5	79.8	81.4	83
6	7.18	11.7	84.4	86.8	92.1	90

注:风速观测高度为2m

3.3.4 不同防护林降低风速效应

不同结构的林带其防风作用不同。对乌兰布和沙漠林业实验中心三种结构林带防风效应的观测,结果表明,当气流到达林带边缘时,由于受林带的阻挡,气流大部或一部分抬升,在越过林带时在林带上方形成高速区,而在林带背风面,由于从林带上方越过的的气流下沉或部分穿林而过的气流与越过林带正上方的气流相互作用而产生方向相反的涡旋,使得风速下降而在林后形成低速区,之后,风速逐渐恢复,距离林带愈远,速度恢复愈大。但不同结构的林带其防护效果不同(表 3-5)。

表 3-5 不同结构林带降低风速的作用

Tab.3-5 Wind reduction of different type shelterbelts $m \cdot s^{-1}$

林带 编号	对照点 风速	迎风面距迎风缘风速			防风 效能 %	背风面距背风缘风速				防风 效能 (%)
		1H	2H	3H		1H	3H	5H	7H	
1	7.75	7.72	6.84	7.66	5.2	4.46	4.66	5.21	5.72	35.0
2	6.64	7.13	6.49	6.48	2.3	4.35	4.49	4.74	5.17	29.4
3	5.85	5.67	5.74	5.8	1.9	3.87	4.05	4.42	5.34	24.4
4	5.38	5.16	5.05	4.92	6.2	3.91	3.76	4.16	4.49	24.2
5	4.45	3.65	4.25	4.38	6.3	3.1	3.48	3.55	3.62	22.8
8	5.5	4.8	5.1	6.14	6.3	4.58	4.64	4.8	4.75	14.7
9	7.18	7.1	7.0	7.15	1.3	6.06	6.23	6.61	6.46	11.7

对于紧密林带,气流在到达林带时,大部分气流被迫抬升而在林带正上方加速形成高速区,一小部分在林带前下部形成涡旋。在林带背风面林缘,越过林带的气流下沉形

成涡旋而减速，在林内及其背风林缘风速降低最大，常常形成静风区。由于林后的湍流强度和速度剪切大而使得防风距离不大。

稀疏结构林带，风虽然受到林带的阻挡和摩擦作用，但是大部分气流不改变运行方向，均匀穿过林带，在运行过程中逐渐消耗了能量，致使风速降低。而且林带树干 2.5m 以下修枝强度较大或与灌木混交，导致林带断面的疏透度增加，因此林带背风面风速减低缓慢，最低风速出现在林带背风面 1-5H 范围内。

疏透结构林带，一部分气流在林前受阻后抬升，从林上越过形成高速区，一部分气流从树冠间穿过，林前不形成涡旋区，在林后由于受穿过气流的影响而形成许多小涡旋，使得风速降低。但林后湍流度低、速度剪切小，故此防护距离较大。

对于通风结构来说，气流到达林带前方时被分成三部分，上层气流受阻抬升并在林带上方形成高速区；中层气流穿过林冠，下层气流则从林带下部树干间穿过，在林带下部背风面形成涡旋和高速区。由于湍流度和速度剪切小，故其水平有效防护距离大。迎风面的有效防护距离为 0H。通风结构林带共同特点是从背风面林缘处到 1H 距离内风速都比较大，有时超过旷野风速，1H 以后风速才逐渐减弱。

显然，不论何种结构的防护林带，均可对气流形成阻滞，使之在林前、林后降低风速，而风速的降低导致其对地表土壤风蚀作用的下降，从而可起到控制风蚀的作用，防护林控制风蚀的主要原理即源于此。

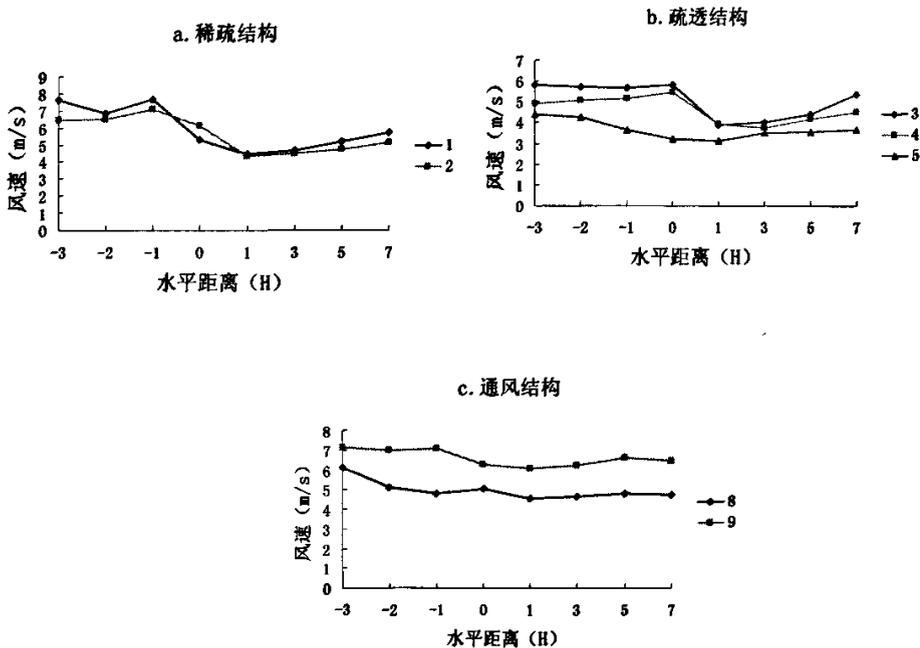


图 3-1 不同结构林带风速分布特征

Fig. 3-1 The distribution characteristic of wind speed around shelterbelt with different structure

从图 3-1 可以清楚地看到不同结构防护林前后的风速变化情况,三种结构的防护林,林后沿流风速均有一定程度的衰减,林带疏透度越小,林后沿来流风速衰减越快,能达到的最小速度值也越低,紧密结构的防护林沿来流风速衰减最快,但其风速恢复得也快,其防护距离最小,因此,紧密结构的防护林防护效果差,而图 3-1-c 显示,疏透度大于 60% 的通风结构防护林林后风速也有所衰减,并具有很长的风速恢复区域,但其速度衰减相对较小,防风能力不足,在图 3-1-a 和图 3-1-b 中,疏透度为 40-50% 的稀疏型林带和疏透度为 50-60% 的疏透型林带林后速度衰减均十分显著,远远大于通风结构的防护林,同时它们的防护距离也较长,在测试区内均处于风速衰减区,但是疏透型林带因上下疏透度不均匀,下部通风孔隙较大,使气流较畅通,降低风速效果不如稀疏型林带,可见稀疏型林带防护效果最好。疏透结构的 3、4 号林带背风面林缘处到 1H 距离内风速都较大,有时超过旷野风速,1H 以后风速才逐渐减弱。这是因为林干层没有混交灌木或修枝强度小,通风空隙很大,气流从林带下部树干间穿过时,在此形成高速区。

3.3.5 防护林网的防风效应

防护林网是由不同间距的防护林带构成的,在防风效应上,它集合了林带的防风作用,对防风作用具有增强效应。据刘贤万[17]风洞研究表明,林网系统具有连续防风效应。

当农田防护林呈纵横交错的网格分布时,其防风作用大大不同于一条孤立林带。据野外观测,在旷野近地面风速为 17m/s 以上的大风下,绿洲迎风侧第一林网内的平均风速下降 37.3%,第二林网内下降 39.1%,第三林网内下降 41.5%[38],这说明防护林网连续不断降低风速的作用。防护林网格的大小也影响对风速的降低作用,慈龙骏[3]对吐鲁番网格大小不同的防护林网内风速的对比观测表明,主林带间距 70m 的风速降低率为 52.8%,随着网格规格的增大,风速降低率下降,当主林带网格增大为 250m 时,其风速降低率仅为 29.8%,小网格内的风速降低率较大网格提高了 43.5%。为此,绿洲农田防护林网一般应选择较高大的乔木(如各类杨树等)为主要树种,并采用窄林带、小网格的配置方式。防护林网形成后,随着对田间风速的削弱,网格内农田的土壤风蚀量也降低。根据董智[4]对防护林内土壤风蚀深度的空间分布的测定表明,农田土壤风蚀随着农田向林网内延伸,其风蚀数量呈下降趋势。这表明,防护林网降低风速作用与减少土壤风蚀具有一致性,即愈往林网内部延伸,防护林对风速的降低和土壤风蚀的降低愈明显。因此,在绿洲边缘及内部应大力营造防护林,以加强其对风蚀的控制。

目前,乌兰布和沙漠绿洲内林网的设计即采用“窄林带、小网格”的设计方式。针对绿洲风沙大的特征,主带间距控制在 60~180m,副带间距为 150~200m,且防护林建设全部采用“一路两沟四行树”的建设模式。为更好地控制风沙危害,常在乔木下栽植柽柳、花棒等灌木,并在主带间加植一行沙枣,将之分隔成更小的网格,以增强削弱风力作用,防止和减少农田土壤风蚀的发生。

3.3.6 防护林阻沙效果

由于林带树杆的摩阻、枝叶的摆动撞击,在一定程度上起到了就地阻沙、稳固地表的作用,同时风速的降低也使颗粒较大的沙粒和尘埃开始降落,从而有效地起到拦截沙尘的作用。测定表明,在2m高度平均风速为6.5m/s的条件下,三种林带林前1H、林后1H和7H的输沙量均比旷野处有不同程度下降,特别是新疆杨×美青64×沙枣混交林、沙枣纯林林后1H处输沙量减少为零(表3-6)。输沙量的变化也与林带的紧密程度有关,因新疆杨纯林下部无灌木,树干通风,林后输沙量降低较少;而新疆杨×美青64×沙枣混交林、沙枣纯林则相对紧密,易在林带背风处形成静风区,因而林后1H处输沙量为零。因此,为加强控制流沙的入侵,在靠近流沙的一侧最好采用新疆杨与灌木混交,以便把前移的流沙尽可能阻拦在林带外缘,使其不致侵入林带内部和背风一侧的农田,还可提高林带的稳定性,延长林带的防护期限。

表 3-6 农田防护林阻沙效益

Tab.3-6 efficiency of sand resistance of different type shelterbelts $m \cdot s^{-1}$

测点	输沙量较旷野对照点下降百分比(%)			
	新疆杨纯林	新疆杨*乌柳	沙枣纯林	新疆杨*美青64*沙枣
林前 1H	42.9	49.2	47.5	52.3
林后 1H	95.3	98.6	100	100
林后 7H	91.8	94.1	95.1	95.7

3.4 小结

防护林主要通过阻滞气流流动而降低风速,削弱风能,以达到防止和减少土壤风蚀的作用。影响防风效能的因素有林带结构、疏透度、林带高度等。

不同结构林带的降低风速作用不同,通风结构防护范围最大,紧密结构最小;稀疏型结构林带防风效果最佳(即疏透度为40~50%),随着林带总平均疏透度的增加,防风效能显著增大,此外,分层疏透度不同,也直接影响防风效果。在林带结构相同的情况下,防护林降低风速作用随着林带高度的增大而增强;防护林网对风速具有连续降低作用,愈往绿洲内部的防护林网,其风速降低作用愈大。

绿洲防护林可降低地表输沙量,且林后输沙量下降比例大于林前,新疆杨与灌木混交林、沙枣纯林的输沙量小于新疆杨纯林。绿洲农田防护林防风阻沙作用明显,营造防护林时,为减少输沙量并增加林分稳定性,应考虑营造混交林。

第四章 封沙育草带天然灌草植被防风阻沙机理与效果

众所周知,紧贴沙漠、戈壁边缘营造防风阻沙林带,如果前沿地区不建立封沙育草带,那么这些人工沙生植被,将被流沙埋压从而恶化生态条件,树木初期将生长衰退趋于枯死,同时这些栽培性的中生乔灌木树木,一般不能自行繁衍,只能靠人工更新,而且要占用耕作土地,正因如此,绿洲边缘的防风阻沙林带和农田防护林网面积一般只能占绿洲面积的10%以下,而位于绿洲边缘和外部沙丘地带的天然灌木、半灌木以及草本植物由于长期适应黄沙的结果,相对比较稳定,天然更新能力很强,可自行蔓延扩大,所占地一般不适合农业利用,适于发展畜牧业和建立樵采基地。所以,封沙育草,保护天然植被,是保护绿洲,改善沙区环境的重要组成部分,是建立绿色防护带的重要组成部分。本节通过对封沙育草带内白刺和沙蒿周围风速和输沙量变化的研究,分析天然灌丛的防风阻沙机理与效益,以为封沙育草带的建设提供理论依据。

4.1 研究内容与方法

4.1.1 天然灌丛植被降低风速及阻沙作用

2005年4~5月,在乌兰布和沙漠磴口县七连北边的封沙育草带内,长有白刺,沙蒿等灌丛的固定半固定沙地。选择2个白刺和2个沙蒿灌丛(表4-1)进行了风速和集沙的观测,分析单个灌丛对风速和输沙量的影响。

表 4-1 白刺沙堆、沙蒿的个体特征及周围的地形特征 (单位: cm)

Tab. 4-1 Individual character of shrub and surrounding landform

灌丛	冠幅	迎风面	高	仪器高	备注
白刺 4	600*600	250*600	250	100	*南部 15 米处有一高 6 米的白刺堆
白刺 5	440*500	170*600	170	100	*北部有个高 10 米的大白刺堆,南部、东部空旷,西边 20 米有几个小沙丘
沙蒿 A	230*280	100*250	100	50	*位于白刺 3 东北部,沙蒿周围半径 6 米内无植被,地形北低南高
沙蒿 B	130*140	100*120	100	50	*沙蒿 A 为疏透偏于紧密,沙蒿 B 为透风结构

风速观测:采用 PC-2F 型多通道自计式遥测风速风向仪观测单个灌丛周围风速。风速观测点沿风向布设在单个灌丛迎风面 2H、1H,背风面 1H、2H、3H、4H、5H、6H,以及垂直于风向的灌丛两侧 0.5H、1H、1.5H 处或 1H、2H、3H 处,其中 H 为单个灌丛的高度,(此处表示观测点的距离),观测高度根据灌丛高度而定。仪器自记时间设为 1 分钟一次,每组实验 1 小时(即 60 组数据),实验布设见图 4-1。

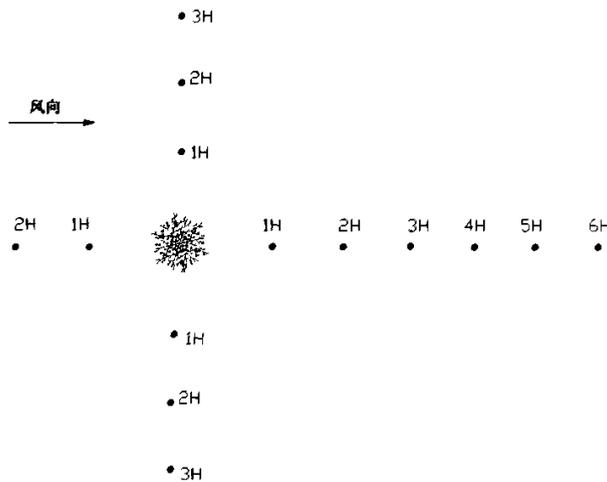


图 4-1 单个灌丛周围风速观测实验布设

Fig. 4-1 Apparatus disposal of wind velocity observation around a single bush

输沙量观测：同步在灌丛迎风面 2H、1H，背风面 1H，以及侧面 1H 处设置集沙仪收集地表 0-20cm 层的沙量，采集时间为 3 分钟，样带回室内用 1/1000g 感量的电子天平称量，计算各测点单位时间内的输沙量，分析单个灌丛周围的风速和输沙量变化情况，探讨天然植被的阻沙效益。实验布设见图 4-2。

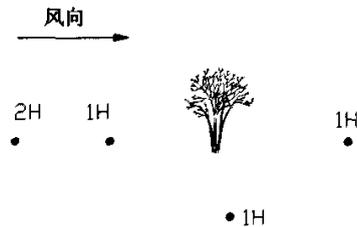


图 4-2 单个灌丛输沙量观测实验布设

Fig. 4-2 Apparatus disposal of sand-transporting quantity observation around a single bush

4.1.2 不同盖度植被的风速与输沙率

以封沙育草带的流动沙地为对照，在磴口县七连北测的蒿类+白刺灌丛半固定沙地与固定沙地，选取地表平坦、植被覆盖率不同的沙地，观测不同植被覆盖率和风速条件下的风蚀输沙率。这里的植被覆盖率是植物群落的垂直投影盖度。其中半固定灌丛植被盖度为 20%，固定沙丘灌丛植被盖度为 40%。用集沙仪观测流动沙地，固定、半固定沙地 3 分钟输沙量，同步用手持风速仪观测相应的风速。

4.2 结果与分析

4.2.1 封沙育草带天然植被阻沙机理

在风沙搬运过程中，当风速变弱或遇到障碍物(如植物或地表微小起伏)，以及地面结构、下垫面性质改变时，都会影响到风沙流容量，而导致沙粒从气流中跌落堆积。显

然,封沙育草带内沙丘及平沙地上生长着的白刺、籽蒿、油蒿等灌草植物以及沙丘本身等天然障碍物的存在,必然会引起风沙流在流过时会受到阻滞而发生涡旋减速,从而削弱气流搬运沙子的能量(容量减小),使输移沙(风沙流)中多余部分的沙子在障碍物附近大量堆积下来,形成沙堆。若障碍物是流动沙丘,则风沙流在其上不断迭加造成沙丘的蚀积,最终引起沙丘的前移;若障碍物是天然灌草,则风沙流在其前方因气流受阻卸载一部分沙粒,在其后方则因风速下降而沉积一部分沙粒,这样,因沙粒堆积而形成灌丛沙堆,并成为风沙流运动的新的障碍物而继续发挥流沙固定作用。

下面以单一灌丛对风沙流搬运过程的作用解析天然灌草对流沙的控制机理。当风沙流流经灌丛时,风速下降,在灌丛后形成风影(图 4-3),引起沙粒在其后沉积。这些灌木旁的小丘将随着灌木的成长而增大,如果主导风向不变,其活动性减小;随着灌丛数量的增大,灌丛旁因积沙形成的小丘数量也会增多,这些小丘不断地改变着沙丘的尺寸与形状,并促进了沙地植被的定居和生长,从而使沙丘由活动向半固定、固定状态转变。但通常情况下,塑造地形风向是随季节而变化的,这就导致围绕着灌丛不同侧面发生沙的沉积,最终形成灌丛沙堆。聚合灌丛沙丘因其规模和尺度增大,沙粒沉积更为突出,固沙效应更为明显。因此,封沙育草带内的天然植被即是通过若干单一灌丛的集合效应而增强了其固沙机能,并随着植被的生长而逐渐形成半固定、固定沙丘,加强了对流沙的控制。以上分析表明,灌丛固定流沙的程度及形成的沙堆的大小取决于灌丛数量、大小尺度等。为此,须加强封育,尽快恢复灌草植被,以便控制和固定更多的流沙。

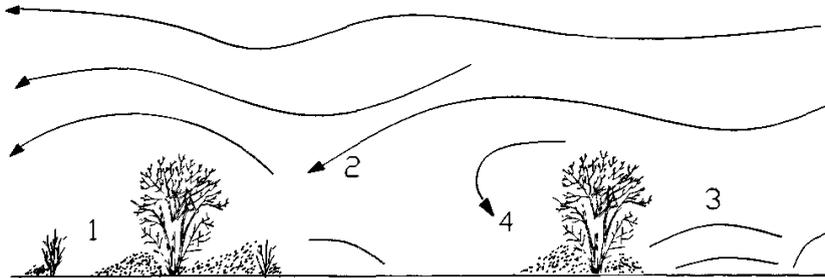


图 4-3 植被对风沙流作用的示意图(凌玉泉, 2003)

1 下风和背风沉积区; 2 回流区; 3 迎风侵蚀区; 4 回流和背风沉积区

Fig.4-3 Sketch of wind-sand flow variation influenced by vegetation

图 4-4 是植被对风沙流的作用及其流场分布特征与风蚀和积沙的关系,即在平面图中植株两侧各有一个加速区,在剖面图中植株上方有一个加速区,植株后有一个回流积沙区。气流到达灌丛的前部,由于受到植被阻挡,存在一个减速区,卸载一部分沙粒,而在气流到达灌丛顶部及两侧时风速增大(加速区),翻越至背风面时,由于涡旋作用,风速迅速降低,并形成一个低速区(静风区),继续运行,风速逐渐恢复(尾流区)。

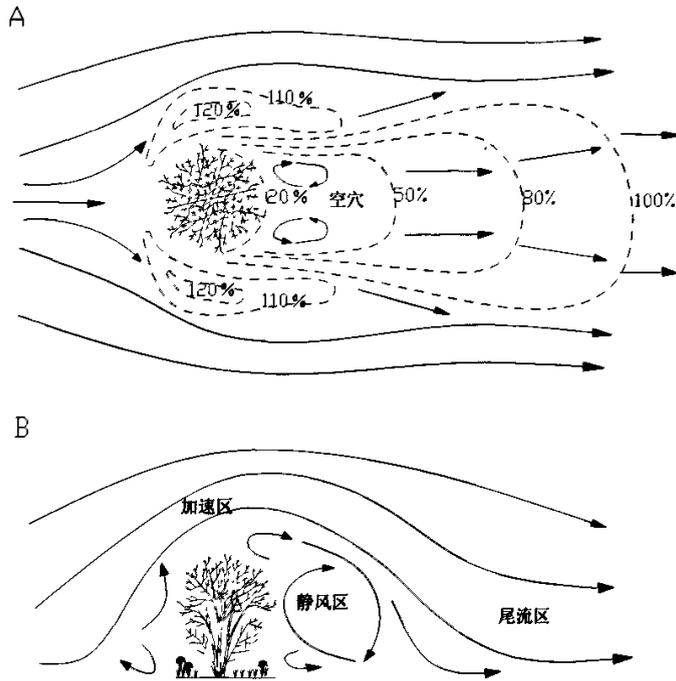


图 4-4 单个灌丛周围风速和流线图

A.平面图 B. 剖面图 (引自 Ash and Wasson, 1983)

Fig.4-4 Wind velocity and streamlines around a single bush

4.2.2 封沙育草带天然植被降低风速效应

从图 4-5 和图 4-6 可以看出白刺沙包和沙蒿灌丛前后的风速变化情况，灌丛两侧的风速大于迎风面风速，背风面风速均有一定程度的衰减，但衰减程度不同。远离灌丛风速逐渐恢复。

白刺沙包为紧密结构，风速衰减最快，但其风速恢复得也快。气流在到达白刺沙包时，大部分气流被迫抬升而在沙包正上方加速形成高速区，一小部分在沙包前形成涡旋。到达背风面，气流下沉形成涡旋而减速，常常形成静风区。

沙蒿 B 为透风结构，风速也有所衰减，并具有很长的风速恢复区域，但其透风孔隙大，气流穿过灌丛消耗的能量较少，因此速度衰减相对较小。

沙蒿 A 为疏透结构，风虽然受到灌丛的阻挡和摩擦作用，但是大部分气流不改变运行方向，均匀穿过灌丛，在运行过程中逐渐消耗了能量，风速衰减显著，远远大于沙蒿 B，但较白刺沙包缓慢。

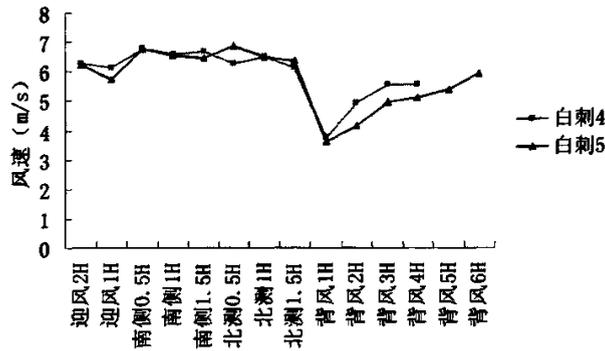


图 4-5 白刺灌丛周围风速变化曲线

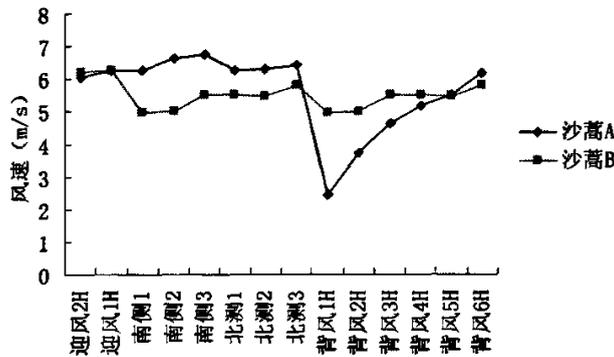
Fig.4-5 Curve of wind velocity around *Nitraria fangutorum* shrub

图 4-6 沙蒿灌丛周围风速变化曲线

Fig.4-6 Curve of wind velocity around *Artemisia sphaerocephala* shrub

白刺前方，由于气流受阻，存在一个减速区，迎风面 2H 风速大于 1H，风速降低，卸载一部分沙粒，而在气流到达白刺顶部及两侧时风速增大（加速区），且由近及远又逐渐恢复，翻越至白刺背风面时，由于涡流作用风速迅速降低，并形成一個低速区（即微风区），背风面的风速降低引起风沙流在此发生涡流而引起沙粒沉积。随着远离白刺，风速又开始变大，逐渐恢复（即尾流区），到背风面 6H 处风速基本恢复到了迎风面的风速。

白刺 4 南侧 3 个观测点的风速均大于北侧，这是局部地形影响的结果，由于距离白刺南侧 15 米处有一个大白刺沙包，受其影响，此处气流变得密集，因此风速会增大。而白刺 5 则是北边 10 米左右有一个大白刺沙堆及一些沙丘链，因此，其北测的风速要略大于南侧。

而对沙蒿灌丛前后的风速测定表明，沙蒿灌丛前后 2m 高处的风速基本没有变化，但对于 0.5m 高度的风速来说，两个灌丛后的风速分别较其前方平沙地同高度的风速下降了 19.8% 和 59.4%。（图 4-6）

由此可知，不论是流动沙丘、固定沙丘还是灌丛，只要突出于地面，便构成了气流

运动的障碍,在气流穿越障碍时便会在障碍物前、后降低风速。气流在沙丘及灌丛后的降低是导致风沙流堆积的主要因素,也是封育带内天然灌草固沙的主要机理。

从图 4-7 可以看出,在迎风面风速基本相同的情况下,沙蒿 A 在背风面 1H 处风速降低最多,沙蒿 B 降低最少,白刺 4 和白刺 5 介于两者之间,到 6H 处都基本恢复到了来流风速。

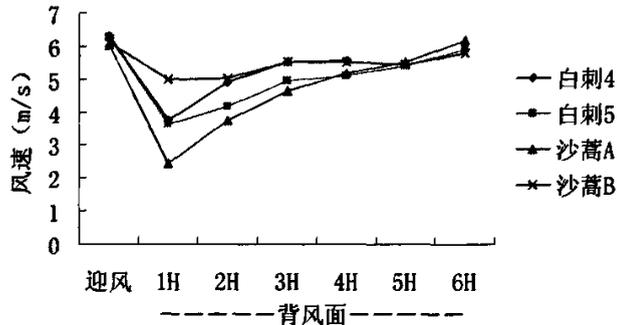


图 4-7 不同灌丛背风面风速降低曲线

Fig.4-7 curve of the decrease of leeward wind velocity on different shrubs

(注:白刺为 1m 高度风速,沙蒿为 0.5m 高度风速)

4.2.3 封沙育草带天然植被阻沙效果

4.2.3.1 单个灌丛阻沙效益

2005 年 4 月 15 日,选择封沙育草带内的几个沙蒿、沙冬青灌丛进行了输沙量观测,探讨天然植被的阻沙效益。下面以沙蒿 A 为例说明单个灌丛周围的输沙量变化(图 4-8),灌丛侧面的输沙量最大,背风面输沙量最小,迎风面 2H 处输沙量大于 1H 处,这与各点的风速变化是一致的,符合风速越大输沙量越大的规律。而白刺灌丛生长在低湿滩地,不会起沙。

风沙流在灌丛前方因气流受阻,风速降低,输沙量下降,卸载一部分沙粒,在其后方则因风速下降而沉积一部分沙粒,而在两侧由于风速增大,输沙量也增大,易出现风蚀,因此,灌丛前后沙粒堆积,两侧出现风蚀。但通常情况下,风向是随季节而变化的,这就导致围绕着灌丛不同侧面发生沙的沉积,最终形成灌丛沙堆。

而对沙蒿灌丛前后的风速测定表明,沙蒿灌丛前后 2m 高处的风速基本没有变化,但对于 0.5m 高度的风速来说,两个灌丛后的风速分别较其前方平沙地同高度的风速下降了 19.8% 和 59.4%。(图 4-6)

由此可知,不论是流动沙丘、固定沙丘还是灌丛,只要突出于地面,便构成了气流运动的障碍,在气流穿越障碍时便会在障碍物前、后降低风速。气流在沙丘及灌丛后的降低是导致风沙流堆积的主要因素,也是封育带内天然灌草固沙的主要机理。

从图 4-7 可以看出, 在迎风面风速基本相同的情况下, 沙蒿 A 在背风面 1H 处风速降低最多, 沙蒿 B 降低最少, 白刺 4 和白刺 5 介于两者之间, 到 6H 处都基本恢复到了来流风速。

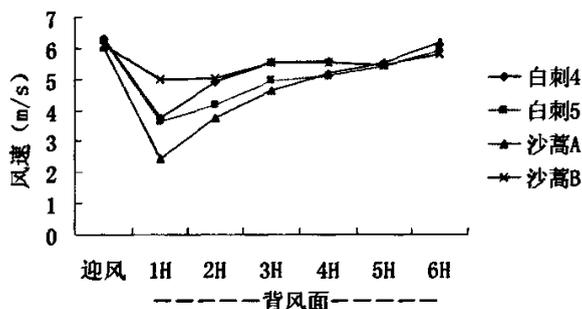


图 4-7 不同灌丛背风面风速降低曲线

Fig.4-7 curve of the decrease of leeward wind velocity on different shrubs

(注: 白刺为 1m 高度风速, 沙蒿为 0.5m 高度风速)

4.2.4 封沙育草带天然植被阻沙效果

4.2.4.1 单个灌丛阻沙效益

2005 年 4 月 15 日, 选择封沙育草带内的几个沙蒿、沙冬青灌丛进行了输沙量观测, 探讨天然植被的阻沙效益。下面以沙蒿 A 为例说明单个灌丛周围的输沙量变化(图 4-8), 灌丛侧面的输沙量最大, 背风面输沙量最小, 迎风面 2H 处输沙量大于 1H 处, 这与各点的风速变化是一致的, 符合风速越大输沙量越大的规律。而白刺灌丛生长在低湿滩地, 不会起沙。

风沙流在灌丛前方因气流受阻, 风速降低, 输沙量下降, 卸载一部分沙粒, 在其后方则因风速下降而沉积一部分沙粒, 而在两侧由于风速增大, 输沙量也增大, 易出现风蚀, 因此, 灌丛前后沙粒堆积, 两侧出现风蚀。但通常情况下, 风向是随季节而变化的, 这就导致围绕着灌丛不同侧面发生沙的沉积, 最终形成灌丛沙堆。

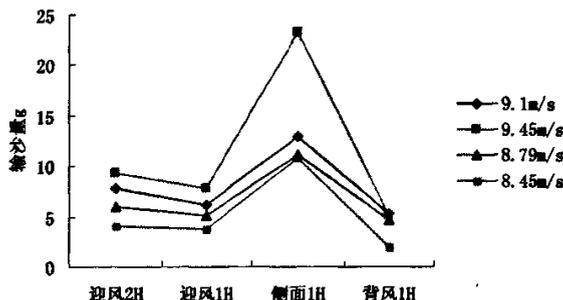


图 4-8 不同风速下沙蒿 A 各部位输量

Fig.4-8 Sand transporting Quantity around *Artemisia sphaerocephala* shrub A

(注: 风速为迎风面 2H 处的风速)

4.2.4.2 不同盖度沙地输沙量

单个灌丛的阻沙作用如此,那么随着灌丛数量的增大,若干单一灌丛的集合效应会对固沙能力产生增强作用,并随着植被的生长而逐渐形成半固定、固定沙丘,加强了对流沙的控制。2005年4月8日,我们以流动沙地、半固定沙地和固定沙地作为研究对象,对不同风速下不同盖度沙地的输沙量进行了研究。

表 4-2 不同盖度沙地输沙量
Tab. 4-2 Sand transporting quantity in different vegetation coverage

沙丘类型	风速(m/s)	输沙量(g)	输沙率(g/cm·min)
流动沙地	11.6	41.48	6.90
	10.4	29.24	4.87
	9.4	21.75	3.62
	8.4	13.35	2.22
	7.3	10.85	1.80
	6.5	6.89	1.14
	5.6	2.25	0.37
	10.8	18.32	3.05
	10.1	14.66	2.44
	9.4	13.58	2.26
半固定沙地	8.4	9.2	1.52
	7.3	3.88	0.64
	6.5	1.81	0.30
	5.6	0.32	0.05
	9.4	2.29	0.38
	8.4	1.31	0.21
固定沙地	7.3	0.33	0.05
	6.5	0.16	0.02
	5.6	0.06	0.01

由表 4-2 和图 4-9 可以看出,在相同风速下,地表覆盖度不同,导致其输沙率差异较大,流动沙地的输沙量在三者中最大,在 5.6~9.4m/s 范围内输沙量为 2.25~21.75g,半固定沙丘的输沙量次之,为 0.32~13.58g,固定沙丘最小,为 0.06~2.29g。流动沙丘输沙量分别是半固定沙丘和固定沙丘输沙量的 1.6~7.03 倍和 3.75~9.5 倍,半固定沙丘输沙量是固定沙丘的 5.33~6.03 倍。因此,当风沙流速度相同时,20%覆盖度的半固定沙丘较流动沙丘可降低输沙 31.1~85.8%,平均降低 58.5%;而在植被盖度为 40%的固定沙丘上,其输沙量大为下降,仅为流动沙丘的 2.3~10.5%,平均为 5.7%,即 40%植被覆盖度的固定沙丘可减少流沙输送量 94.3%,20%植被覆盖度的半固定沙丘可减少流沙输送量 58.5%。

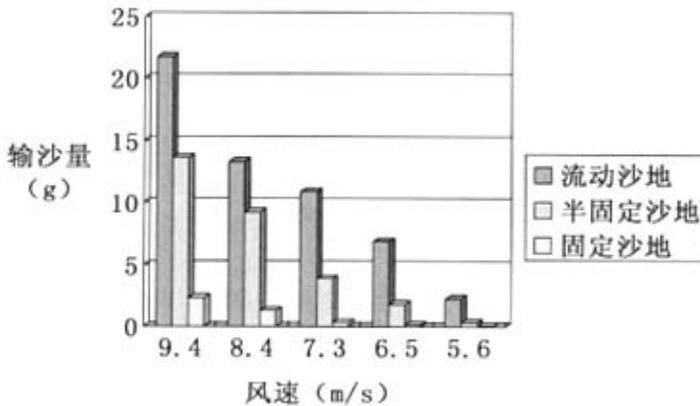


图 4-9 相同风速下不同盖度沙地输沙量比较

Fig.4-9 Compare of sand transporting quantity in different vegetation coverage in the same wind

不同沙地类型输沙量的差异是由于植被覆盖的不同而引起的，当沙地表面有植被时，首先植被可以削弱地表风力，增大沙粒的起动风速。其次，各种植物的根系对沙子也有一定的固结作用。此外，当沙面植被覆盖度较高时，植被可以起到隔离风沙流与沙面的作用。因此，有植被的沙面要比流沙上的输沙率小，而且随着植被盖度的增加，输沙量大大下降。

输沙率是衡量风蚀地区沙害的主要指标。决定特定空间上输沙率的因素比较多，如风速，高度，下垫面类型，沙粒性质，植被状况，水分等^[13]。输沙量与风速之间的经典公式主要是风沙流中含沙量随风速发生变化，当风速显著超过起沙风速时，风沙流中的含沙量急剧增加。它们之间成指数函数关系：

$$S=e^{0.74v} \quad (4-1)$$

式中：S——绝对含沙量

v——风速

e——常数，一般取 $e=2.718^{[33]}$ 。

根据输沙率观测数据（表 4-2），结合前人研究公式，进行回归分析，建立不同盖度沙地风速愈输沙率的关系（图 4-10）。从图中可以看出，输沙量与风速之间的关系具有以下特征：

1)从函数关系模型看，以上不同下垫面类型风速与输沙量的函数关系模型不同，固定沙地输沙率与风速的关系呈显著的指数相关，而流动沙地和半固定沙地输沙率与风速的关系呈显著的幂函数关系，复相关系数 R^2 大于 90%，能够较好地反映该沙地输沙量与风速之间的关系。

2)植被通过改变下垫面性状，增加地表粗糙度，降低近地表风速，有效减少风沙流强度，降低风沙流的搬运能力。植被覆盖度越大，其降低风沙流的效果越明显。在风速较大时，植被降低风沙流强度的相对较弱，但输沙率的绝对值剧增；随着植被覆盖度的

增加，拦截沉积沙粒的绝对效果仍然增加。

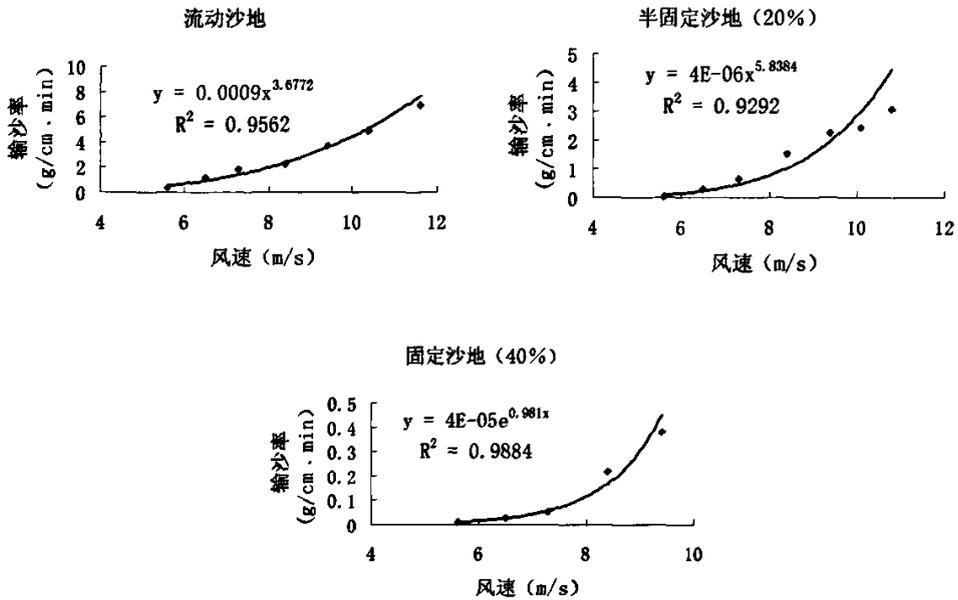


图 4-10 不同盖度沙地风速与输沙率的关系
Fig.4-10 Relation between the wind velocity and intensity of sand flux in different vegetation coverage

4.3 小结

封沙育草带内的天然白刺固定沙丘对风沙流有阻滞作用，风沙流在迎风坡受阻堆积，在背风坡风速下降 40.3~42.1%，并形成低速区，引起沙粒堆积；沙蒿灌丛对 2m 高处风速没有影响，但可引起灌丛后近地表 0.5m 处风速下降 20.5%。

灌丛的迎风面存在一个减速区，灌丛顶部及两侧为加速区，灌丛背风面存在一个静风区和一个尾流区。灌丛侧面的输沙量最大，背风面输沙量最小，迎风面 2H 处输沙量大于 1H 处，这与各点的风速变化是一致的。

不同沙地地表覆盖度不同，导致其输沙率差异较大，而且绝对输沙量也随着沙地固定程度的增加而呈明显下降。流动沙地的输沙量在三者中最大，半固定沙地的输沙量次之，固定沙地最小。固定沙地输沙率与风速的关系呈显著的指数相关，而流动沙地和半固定沙地输沙率与风速的关系呈显著的幂函数关系。

由此可见，地处沙源与绿洲之间的封沙育草带，随着天然植被覆盖度在增大，既能阻沙积沙又能固沙，表明植被可很好地固定地表流沙且拦截外来风沙流入侵。即使植被盖度不够，风沙流被沙生植被重重阻拦，再加之近地面层风速有所减弱，而侵入大型防风林及绿洲内的积沙也就有限了。封育带内天然植被防风阻沙效应明显，起到控制风沙流运动及流沙入侵的作用。正因为如此，不仅绿洲本身不再受到流动沙丘或风沙流的袭击，而且绿洲边缘的防风林带也很少出现沙埋现象。

第五章 绿洲防风阻沙林带防风阻沙效果

防风阻沙林带是继封沙育草带后的第二道防线，能够继续削弱越过封沙育草带的进入绿洲的气流速度，拦截气流中悬浮移动的粉粒细沙，对气流加以“过滤”，彻底消除外来沙源，在绿洲风蚀防护体系的建设中具有重要意义。

5.1 研究方法

防风阻沙林防风阻沙效益观测：2005年4-5月，在实验区的梭梭、花棒、沙木蓼、沙拐枣、杨柴、新疆杨防风阻沙林带内，用手持风速仪观测5种灌木林内2m和0.3m两个高度的风速，与旷野流沙地同高度的风速进行比较。同时用集沙仪收集各林带内的地表输沙量，比较不同防风阻沙林带的防风阻沙作用。

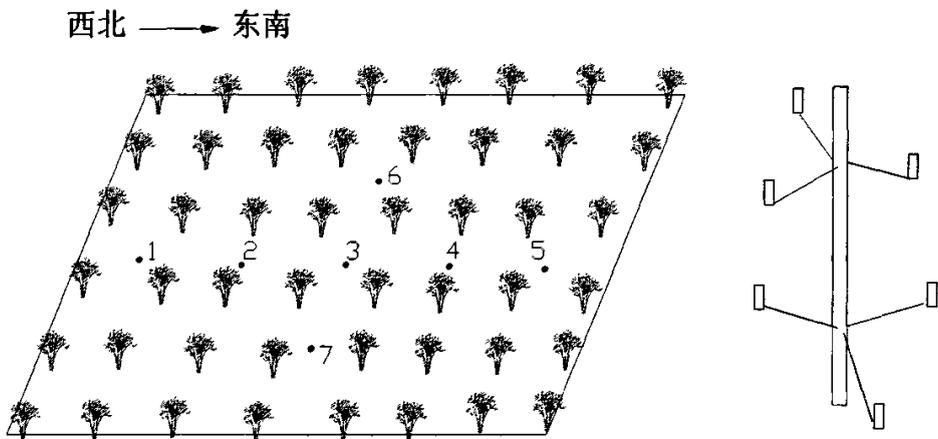


图 5-1 防护林降尘实验布设

Fig. 5-1 Apparatus disposal of dust deposition in shelterbelt

降尘的测定方法：在实验局一场沙枣片林的西北—东南走向上(从林缘至林网中心)，选择降尘缸不易受到损害和不受林木枝叶影响的地方，设置集尘装置(图 5-1)。集尘缸为内径 10cm，高 15cm 的圆柱形铁皮桶。本次实验收集了 3 个完整的强沙尘暴天气的降尘量，分析其水平和垂直分布特征。在以上各测点集尘架的 2m 和 5m 两个高度处，分 3 个方向，各布设一个集尘缸，为防止 5m 高度的集尘缸影响 2m 高度集尘缸内的降尘量，上下两层集尘缸的位置相互错开^[18]。

5.2 研究结果与分析

5.2.1 防风效果

对绿洲边缘防风阻沙带的防风性能的测定表明，防护林可降低其内部的风速，由表 5-1 可知，5 种灌木防风固沙林的防风效益在 2m 的垂直断面风速降低的平均值来看，梭梭和花棒由于植株高大，遮挡面大，总体防风效果好，降低风速值达 62.4%

和 53.8%，沙拐枣、杨柴、沙木蓼 3 种灌木植株相对矮小，总体防风效果较差，风速降低分别为 44.5%、33.3% 和 32.4%。这一顺序恰与各灌木的枝丛密度、冠幅和高度等因子由大到小的排列相吻合。但在 0.3m 处，杨柴由于分枝数较多，疏透度较小而有效的降低了近地表 0.3m 高处的风速，为 77.1%。

表 5-1 5 种灌木固沙林降低风速和输沙量

Tab. 5-1 Wind velocity and sand transport flux reduced by five different sand-fixation shrubs

树种	风速减弱/%		输沙量减少/%	粗糙度 (cm)
	0.3m 处	2m 处		
流沙	—	—	—	0.001
梭梭	43.1	62.4	97.5	0.176
花棒	39.5	53.8	94.1	0.045
沙拐枣	37.4	44.5	88.2	0.042
杨柴	77.1	33.3	98.6	0.056
沙木蓼	28.7	32.4	57.1	0.025

防风固沙林的输沙量仅为对照流动沙地的几十分之一。不同的灌木种，其阻止流沙移动的功能是有差别的，它与 0.3m 高度处风速减弱状况相符，杨柴最优，其次是梭梭与花棒，沙木蓼最差。对于输沙量来说，近地表分枝数、密度和草本植物的盖度影响最大。因此，在防风效益上，树高所占的权重最大，而近地表分枝数所起的作用较小，反映了防风效益在林分上层的“形态”有密切的相关性。就输沙量而言，地表分枝数、密度和草本植物盖度所占权重较大。

5.2.2 阻沙效果

从图 5-2 中不同防风阻沙林与流沙输沙量的对比表明，在同一风速条件下，各种防风阻沙林的输沙量均较旷野流沙明显减小，且杨柴的输沙量减小幅度最大，可达 98.5%，梭梭次之，为 97.5%。杨树防护林的输沙量减小幅度最小，为 39.6%。不同防风阻沙林中，杨树输沙量最大，可达 24.8g，沙木蓼输沙量次之，为 17.6 g，最小的为杨柴，仅为 0.58g。总体来看，灌木林输沙量均较杨树林输沙量小，与杨树相比降低幅度为 29.1~97.7%。这与防风阻沙林对风速降低相一致，因此，从对固定地表、减少地表输沙量来说，防风阻沙林具有降低风速和减少输沙的作用，灌木林所起的作用大于乔木林，枝丛密度大、高度大的灌木林大于枝丛密度小、高度小的灌木林。

防风阻沙林带不仅具有控制地面风蚀和风沙流运动，减少输沙量的作用，而且使呈跃移和蠕移运动状态的沙粒沉积于林缘附近，使呈悬移运动状态的粉粒和尘埃粘附于植物体上或降落于林带之中，从而使空气中含沙尘量减少。野外调查表明，沙粒在绿洲防风阻沙林带林缘的堆积现象较为普遍，风沙流的堆积在林带前后形成一条堆积的沙垄，并沿林带长度方向展布排列，特别是当防风阻沙林密度较大，林带为紧密林带或小孔隙的疏透林带时，则大部分流沙被拒之于绿洲之外，而当林带呈通风结构或林带因破坏而造成缺口时，往往会增大风速的运动速度，导致流沙很容易侵入整个林带，进而扩展到

绿洲内部。因此，在流沙边缘为了阻沙应以营造紧密或小孔隙度的防风阻沙林带为宜，若营造乔木林，则最好进行高大乔木和灌木混交，以便把前移的流沙尽可能阻拦在林带外缘，使其不致侵入林带内部和背风一侧的农田。据调查，梭梭、花棒等生长快、枝叶密的灌木按现有防风阻沙林带 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 的营造规格，如生长正常，盖度达到 40% 左右时，灌木林基部和下部枝叶相连，孔隙度减小，基本上可达到控制流沙入侵的要求。对于沙木蓼、沙拐枣等疏枝性灌木，以 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 的规格营造防护林则林带稀疏，造林时可适当缩小株、行距为 $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ 或 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 。对于杨树防护林， $2\text{m}\times 2\text{m}$ 的规格其下部仍呈通风结构^[19]，风沙流仍可通过而进入绿洲内部，为此，为控制流沙侵袭，乔木宜与灌木混交，形成小孔隙的疏透结构甚至紧密结构，将流沙拦截在外部。

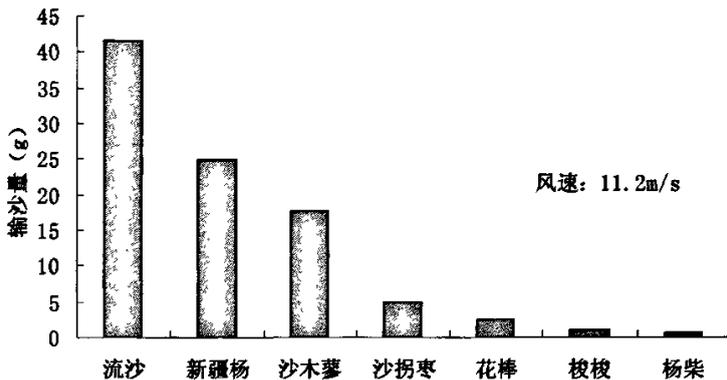


图 5-2 不同防风阻沙林与流沙输沙量对比

Fig. 5-2 Contrast of sand transport mass of different shelterbelt and shifting sand dune

5.3 小结

能防风阻沙林的防风作用与其枝丛密度、盖度、高度等有关。随着植被枝丛密度、盖度和高度的增加，对风速的降低作用明显增强。梭梭降低风速的作用最强，达 62.4%，其次是花棒和沙拐枣，分别为 53.8% 和 44.5%，沙木蓼最差，为 32.4%。各种防风阻沙林的输沙量均较旷野流沙明显减小，杨柴的输沙量减小幅度最大，可达 98.5%，梭梭次之，为 97.5%，新疆杨防护林的输沙量减小幅度最小，为 39.6%。在防风效益上，树高所占的权重最大，而近地表分枝数所起的作用较小，反映了防风效益在林分上层的“形态”有密切的相关性。就输沙量而言，地表分枝数、密度和草本植物盖度所占权重较大，反映了风沙流贴近地表运动的特征。因此在营建防风阻沙林的时候要重视乔灌草相结合，充分考虑地被物的作用，使得防风阻沙林整体结构和功更加完整^[21]。

第六章 结论与建议

6.1 结论

封沙育草带输沙能力随植被盖度的增加而减小,由于天然植被的阻沙作用而形成的各类半固定沙丘、固定沙丘对阻滞风沙流运动及流沙入侵起到了积极作用,而封沙育草带又处于荒漠边缘,与流动沙丘紧密相邻,因此,其阻沙地位十分重要,必须加强天然植被的封育管护,严禁人畜破坏,必要时辅之以飞播、人工撒播、灌溉等人工更新措施加快天然植被更新复壮,增大带内植被盖度和地表覆盖,将流沙拦截于封沙育草带内外,以便在更大程度上发挥其防风固沙作用,控制流沙的流动。

防护林带与林网是控制土壤风蚀的重要措施,不同结构、高度林带防风沙效果不同,随着林带高度的增大,防护林降低风速作用增强;防护林网对风速具有连续降低作用,愈往绿洲内部的防护林网,其风速降低作用愈大,降低风蚀作用愈明显。

防风阻沙林的防风作用与其枝丛密度、盖度、高度等有关,随着防护林植被枝丛密度、盖度和高度的增加,其对风速的降低作用明显增强,且灌木林防风阻沙效应高于乔木林,枝丛密度大的灌木林优于枝丛密度小的灌木林。防风阻沙林降尘量在垂直分布上有一定的规律性,即 2m 高度的降尘量大于 5m 高度的降尘量。在典型强沙尘暴天气过程中,林地中央的降尘量显著高于其它观测点,而其它各测点降尘量水平分布没有确定的规律性。

防护林带与林网是控制土壤风蚀的最为重要的措施,在绿洲内要积极营造农田防护林带与林网,特别注重绿洲边缘林带与林网的建设,通过构建完整的防护体系而达到控制风蚀的目的。此外,通过实施保护性耕作措施,增加冬春季地表覆盖,发挥其控制风蚀的作用,特别要推广地表覆盖、作物留茬、灌溉和掺粘改沙等技术来控制风蚀。积极利用绿洲现行农作习惯中的合理成分,如合理选择与配置作物、适时播种、推迟中耕等。通过以上各项措施的密切配合,充分发挥绿洲风蚀防护体系各个组成部分的特殊功能,在总体上产生生态效益,改善近地面的气候条件,减少或消除风沙危害,促进植被恢复,提高绿洲生产力,即可构成一个综合绿洲风蚀控制体系,有效地控制绿洲风沙危害。

6.2 建议

(一) 乌兰布和沙漠绿洲不同于其他的绿洲,黄河贯穿绿洲东部,大部分地区可引黄河水自流灌溉,有丰富的土地资源和水热资源,具备开发利用的优越条件。它是一个开放式的绿洲,在不断的开发扩大,至今没有建立起一个完整的防沙阻沙基干林带,只是每开发一部分建立一些防沙林带,而且现有的防沙林带是以花棒、沙木蓼、梭梭、沙拐枣等灌木构成,难以充分发挥其防风阻沙的效益,基于上述研究成果,建议在条件允许的情况下,应尽可能地采取乔灌混交造林的方式营造具有多层次、结构复杂的防风固沙

林体系。

(二) 在流动沙丘,荒漠草本对沙丘的稳定发挥着不可替代的作用,因此,笔者认为,在流动沙丘及半固定沙丘上,进行植被恢复重建,就是要在流动沙丘、半固定沙丘上选择天然固沙植物种,主要是灌木和草本,不能将草本忽略,并且要研究它们的种群、群落结构,探讨它们在沙丘上的配置规律、演替规律,人工促进自然演替,或模拟自然进行近自然植被恢复重建。

(三) 沙质荒漠化防治应以植被固定,减少风沙危害为目的。无论是治理模式的选择还是局部经济利益的趋势,对绿洲外围已固定的植被都不应该造成破坏,加上人工种植防风阻沙林和农田防护林形成一个风蚀防护体系,从而来达到保护内部绿洲的目的。

参考文献

- [1]包耀贤.乌兰布和东北部沙区绿洲生态农业可持续发展[J].干旱区研究,2000,17(4):76~79
- [2]曹新孙主编.农田防护林学[M].北京:中国林业出版社,1983
- [3]慈龙骏.荒漠绿洲防护林体系建立的原理与技术[M].北京:科学出版社,1982.71~78.
- [4]董智.乌兰布和沙漠绿洲农田沙害及其控制机理研究,中国学位论文全文数据库,2004
- [5]董智,李红丽.额济纳绿洲棉田节水灌溉试验综合效益分析[J].干旱区资源与环境,2000,14(5):55~59
- [6]封斌,高保山,麻保林,符亚儒,杨伟.陕北榆林风沙区农田防护林结构配置与效益研究.西北林学院学报,2005,20(2):118~124
- [7]郭学斌.影响农田防护林防风效益的主导因子探讨 山西林业科技 2000(2):5~9
- [8]胡锡宁,张宏斌.新疆绿洲生态农业结构模式的探讨[J].新疆农业科学,1990,(3):99~100
- [9]姬宝霖.治理开发乌兰布和沙地,建立新型的沙产业经济开发区[J].干旱区资源与环境,1999,13(2):74~78
- [10]贾宝全,慈龙骏.干旱区绿洲研究回顾与问题分析[J].地球科学进,2000,15(4):381~388
- [11]贾铁飞,何雨,裴冬.乌兰布和沙漠北部沉积物特征及环境意义[J].干旱区地理,1998,21(2):36~42
- [12]雷孝章等.深丘区防护林体系营建前后生态效益的初步研究.四川林业科技,1996,17(2):20
- [13]李清河,包耀贤,王志刚,江泽平,马文元.乌兰布和沙漠风沙运动规律研究.[J]水土保持学报 2003(4):86~89
- [14]李小明,张希明.塔克拉玛干南缘绿洲生态系统[J].干旱区研究,1995,12(4):10~16
- [15]李玉宝,韩永光.乌兰布和东北部水土资源开发利用与绿洲建设[J].干旱区资源与环境,1997,11(4):110~116
- [16]刘芳.乌兰布和沙区的植物资源. 内蒙古师大学报,2000,29(3):215~220
- [17]刘贤万.实验风沙物理与风沙工程学[M].北京:科学出版社,1995
- [18]刘艳萍,高永.防护林降解近地表沙尘机理的研究 水土保持学报 2003,17(1):162~165
- [19]麻保林,漆建忠.几种灌木固沙林的效益研究 水土保持通报 1994,14(7):22~28
- [20]马世忠,李述刚.草田轮作系统能量价值流的初步研究[J].新疆环境保护,1994,16(4):78~82
- [21]潘伯荣.干旱区防风固沙林建设与管理的进一步思考 新疆环境保护 2004,26(zk):95~98
- [22]宋兆民.黄淮海平原综合防护林体系生态经济效益的研究.北京农业大学出版社,1990
- [23]汤奇成.绿洲的发展与水资源的合理利用[J].干旱区资源与环境,1995,9(3):107~112
- [24]王葆芳,熊士平.乌兰布和沙地新开发人工绿洲防护林体系综合效益评价[J].林业科学,1998,34(6):12~21
- [25]王葆芳,熊士平.乌兰布和沙地新开发人工绿洲土地优化结构评价[J].干旱区资源与环境.1998,12(3):13~20
- [26]王葆芳,刘星晨,任培政. 乌兰布和沙地人工绿洲防护林体系模式生态和经济效益评价[J].干旱区资源与环境.2002,(2):60~67
- [27]王国清,姜德华.新疆的绿洲农业[J].地域研究与开发,1991,10(3):27~31
- [28]王忠林,高国雄等.毛乌素沙地农田防护林结构配置研究 水土保持研究 1995,2(2):99~108
- [29]王君厚,司守霞.乌兰布和沙漠东北边缘人工绿洲地下水动态研究[J]. 干旱区资源与环境.1998a,12(2):19~29

- [30]王君厚,周士威.乌兰布和荒漠人工绿洲小气候效应研究[J].干旱区研究,1998b,15(1):27~34
- [31]王志刚.乌兰布和沙漠东北部绿洲防护林要素设计研究综述[J].内蒙林业调查设计,1994,2:1~6
- [32]王志刚.乌兰布和沙漠东北部风沙灾害与防护林带参数探讨[J].中国沙漠,1995,15(1):79~82
- [33]吴正.风沙地貌学[M].北京:科学出版社,1987
- [34]向开馥.东北西部内蒙古东部防护林研究(第一集).东北林业大学出版社,1989
- [35]肖彩虹,王志刚,李永义.关于乌兰布和沙漠综合治理的几点意见[J].内蒙古林业科技,2001,spp,95~98
- [36]张庆琼,李国萍等.从磴口县生态环境建设与移民工程看乌兰布和沙漠的治理与开发 内蒙古农业大学学报 2001,22(4):61~66
- [37]朱德华.辽宁省西部防护林效益及其营造技术.辽宁省林业科技,1979,(1)
- [38]朱震达,赵兴梁,凌裕泉等.治沙工程学[M].北京:中国环境科学出版社,1998
- [39]朱兴运,任继周,沈禹颖.河西走廊山地—绿洲—荒漠草地农业生态系统的运行机制与模式[J].草业科学,1995,12(3):1~5
- [40]任继周,贺达汉,王宁.荒漠绿洲草地农业系统的耦合与模型[J].草业学报,1995,4(2):11~19
- [41]A bd El-Ghani M M. Flora and vegetation of Gara oasis, Egypt [J]. Phytocoenologia, 1992,21(1~2):1~14
- [42]Abdulkasimov. Zonal differentiation and structure of oasis landscape in Central Asia[J].Mapping Sciences and Remote Sensing,1991,28(1):77~89
- [43]Bornkamm R. Flora and vegetation of some small oasis in S-Egypt [J]. phytocoenologia, 1986,14(2):275~284
- [44]Eckart Ehlers,Marburg. 濒于毁灭的伊朗中部绿洲—略论其原因与后果[J]. 世界沙漠研究, 1981,2,12~13
- [45]Eimern,J. Van et al.,Windbreaks and shelterbelts,W M OTechnical Note.1964,(59)
- [46]Fargalla A A. Impact of agro desert on a desert ecosystem [J].Journal of arid environment, 1988, 15 (1): 99~102.
- [47]Naylor, J. N. Understorey vegetation in shelterbelts of eastern North Dakota. Abstract of Thesis in Dissert. Ab- str.int.1970,31,8(6):221~333
- [48]Pankov E I, Kuzmina Z V, Treshkin, S E. The water avaiability effect on the soil and vegetation cover of Southern Gobi oasis [J]. Water Resource,1994,21(3):358~364

致 谢

本论文是在导师刘光哲副教授和郝玉光研究员悉心指导热情关怀下完成的。从论文的开题到完成无不凝聚着导师辛勤的汗水。在此首先向两位导师表示由衷的感谢。

值此论文完成之际，向所有关心、鼓励和帮助过我的同事、同学和朋友们表示诚挚的谢意！

乌 拉

2007年8月

个人简介

乌拉，男，蒙族，中共党员，工程师，生于 1966 年 7 月，籍贯内蒙古达拉特旗。现在中国林科院沙漠林业实验中心工作（内蒙古自治区磴口县）。2004 年考入西北农林科技大学在职攻读硕士学位，师从刘光哲副教授。

攻读硕士学位以来发表论文 3 篇

1. 乌拉，乌兰布和沙漠东北部植被特点及保护的对策，陕西林业科技 2007 年第四期。

2. 乌拉，张国庆，李炜，，乌兰布和沙漠东北部地下水问题与对策，内蒙古水利 2007 年第四期。

3. 李炜，张国庆，乌拉，引黄提水灌区低水位运行减淤措施与效益，内蒙古水利 2007 年第一期。