和田地区绿洲外围农田防护林带的防护效益

王 翠[1,2,3,4]，雷加强[2,3]，李生宇[2]，毛东雷[1,2]，再努拉·热合木吐拉[1,2]，周 杰[2]

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所，新疆 乌鲁木齐 830011；
2. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站，新疆 策勒 848300；3. 中国科学院大学，
北京 100049；4. 新疆交通科学研究院 干旱荒漠区公路工程技术交通行业重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要：在和田地区新垦农地外围的流动沙地种植新疆杨乔木+沙拐枣灌木复合防护林，通过布设风速风向观测仪、沙尘通量梯度仪、温湿度和辐射等测定仪于林带前后，研究防护林网的防护效益，为营建绿洲外围防护林和合理开发利用荒漠区的土地资源提供理论依据。结果表明，防护林带的防风效能随着高度的增加而减弱，大于起沙风速(6 m/s)时，新疆杨林带、沙拐枣林带在 0.5 m 处的防风效能分别为 67.2%和 94.5%，在 3 m 处的防风效能分别为 31.3%和 33.7%。随着风速的增大，沙拐枣林带和新疆杨林带的防风效能均减弱，新疆杨林带的减弱更为明显。防护林带有效地降低了地表风速，减轻地表风蚀。林带内的输沙量仅为外围的 10%左右。此外，林带内的太阳辐射强度下降，温度降低，湿度显著增加。由此可见，防护林可以有效地起到防风固沙，改善区域小气候的作用。

关键词：防护林；防风固沙；温湿度；流动沙地

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2014)01-0098-06 **中图分类号**：S716.5

Protection Benefits of Farmland Shelterbelt in Oasis Periphery of Hotan Region

WANG Cui[1,2,3,4], LEI Jia-qiang[2,3], LI Sheng-yu[2],
MAO Dong-lei[1,2], Zaynulla·RAHMUTULLA[1,2], ZHOU Jie[2]

(1. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang* 830011, *China*; 2. *Cele State Station for Field Observation and Research on Desert Steppe Ecosystem, Cele, Xinjiang* 848300, *China*; 3. *University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*; 4. *Key Laboratory of Highway Engineering Technology in Arid & Desert Region of the Ministry of Transport, Xinjiang Institute of Communication, Urumqi, Xinjiang* 830000, *China*)

Abstract: *Populus allba* and *Calligonum mongolicunl* farmland shelterbelt was planted in a moving sandy land outside newly reclaimed farmland in Hotan region. HOBO anemoscope, hygrograph, thermograph and sand sampler were set in the front and back of the shelterbelt, and the apparatus were conducted to determine the protection benefits of the farmland shelterbelt. The study was expected to provide a theoretical basis for building the outside protection forest and rationally exploiting and utilizing land resources in the deserted area. Results showed that wind-break potency of the shelterbelt decreased with the height. When wind velocity was greater than 6 m/s, wind-break potencies for the *Populus alba* belt and *Calligonum mongolicunl* belt at the height of 0.5 m were 67.2% and 94.5% and at the height of 3 m, 31% and 33%, respectively. Wind-break potency decreased with wind velocity and the *Populus alba* belt's effect was more obvious. Farmland shelterbelt played an important role in decreasing wind velocity and reducing wind erosion, and sand transportation in the shelterbelt was about 10% as compared with mobile sandy land. Besides, radiation and temperature were decreased, and humidity was increased sharply under the shelterbelt. Farmland shelterbelt plays an effective role in decreasing wind velocity, fixing mobile sandy land and optimizing the microclimate.

收稿日期：2012-10-04 **修回日期**：2013-04-19
资助项目：自治区科技重大专项“绿洲外围节水型生物防护体系构建及可持续经营技术开发与示范”(201130106-1)
作者简介：王翠(1988—)，女(汉族)，内蒙古自治区乌兰察布市人，硕士，主要从事荒漠环境和荒漠化防治的研究。E-mail：wangcui2003@163.com。
通信作者：雷加强(1961—)，男(汉族)，陕西省高陵县人，研究员，主要从事荒漠环境方向的研究。E-mail：leijq@ms.xjb.ac.cn。

Keywords: farmland shelterbelt; wind-break potency and sand fixation; temperature and humidity; mobile sandy land

防护林是一种人工建立的改造自然环境使其能够达到人类预想的生态措施,它一般存在于受保护区域的最边缘,以抵御外部各种环境变化产生的影响。例如,农田防护林、海岸防护林、公路防护林、城市外围防护林以及“三北”防护林等[1]。国内外对防护林功能的研究主要集中在其所产生的生态效益、经济效益和社会效益[2-5]。防护林生态效益的研究集中在防护林的农田小气候效应及其对土壤结构、养分的改良作用[6-9]。对防护林小气候效应的研究主要针对林带的配置结构、林带宽度、高度及疏透度等对防风效能的影响,初步得出防风效能较好的林带配置和结构,即疏透度在 0.35～0.45 的乔灌草复合配置的防护林风速降低明显、防护距离较长、防护效果最佳[10-12]。在荒漠区,防护林对风速的减弱会导致风沙流中沙粒的沉降,不同配置的防护林决定沙粒沉降的数量和方位[13]。目前,对农田防护林的小气候效应研究较多,对于荒漠区防护林的生态效应研究较少。

针对塔克拉玛干沙漠南缘风大风多、气候干燥、现有绿洲面积不足以满足人类对土地需求的紧迫状况,本文通过在和田地区吉亚乡绿洲外围的流动沙地上种植新疆杨＋沙拐枣防护林带,定量研究其改善区域小气候的效益,为扩大绿洲利用面积和合理配置防护林结构提供理论依据。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况

研究区位于和田地区吉亚乡绿洲外围的流动沙地上,该区南抵昆仑山与西藏自治区交界,东部与巴音郭楞蒙古自治州相接,北部深入塔克拉玛干腹地,西部与喀什地区毗邻。四周高山环绕,深居内陆,从西部来的冷湿气流和印度洋热湿气流由于受到青藏高原的阻挡而难以抵达,因此该区大陆性气候强。本区属于暖温带极端干旱荒漠气候,春季风大风多,每年浮尘天气 220 d 以上,其中沙尘暴天气在 60 d 左右。年平均气温 11.5 ℃,1 月平均气温－6 ℃,历年平均降水量 32 mm,年均蒸发量高达 2 480 mm,无霜期 212 d。

1.2　林带的设置

吉亚乡常用乔木防护林树种为新疆杨(*Populus alba* Linn. var. *pyramdalis* Bunge)和沙枣(*Elaeagnus angustifolia* L.),灌木树种为沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、多枝柽柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb),天然植被有骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap.)、花花柴〔*Karelinia caspica* (Pall.) Less.〕和芦苇(*Phragmites australis*)等。试验以种源丰富、生长速度较快的新疆杨、沙拐枣作为防护林树种。

根据前人对防护林结构研究,结合当地实际条件,配置新疆杨乔木＋沙拐枣灌木防护林,着重测定其生态效益。防护林具体种植规格为新疆杨林带垂直于主风向,林带长 300 m,宽 4 m,株行距均为 1 m,生长 2 a 后平均株高 2.8 m,疏透度为 0.6。新疆杨后种植有 10 行沙拐枣,株行距 1 m,平均株高1.9 m,疏透度为 0.3。由于林带灌溉的侧渗作用,林前的土壤含水率相对较高,因而在新疆杨前发育有一条天然骆驼刺草本带,骆驼刺盖度约为 0.300。该区风向变化较大,但是起沙风风向特别集中,主要为 W,WNW 风,为使防护林的防风效益最大,林带的走向垂直于主风向呈南北走向。

对防护林生态环境效应评价主要集中在气象和土壤因素,气象因素的效益占到总生态效益的0.667,其中防风效能占到气象因素的 50%,温湿度各占 25%[14],足见风速、温湿度指标在评价防护林体系中的重要性。因此本文选定防护林的防风效能、减沙效益、辐射和温湿度的变化来定量研究流沙地防护林的生态功能。

1.3　研究方法

1.3.1　*数据的采集*　风速风向的测定利用美国 ONSET 公司生产的 HOBO 小气象观测系统,在距地面 0.5,1,3 m 高度上分别安装一个风速传感器,在 3 m 高度安装风向传感器,所有观测项目均为全天观测,采集器(HOBO-U30)自动记录,采样频率为 1 HZ,即 1 s 测一次风速变化,记录间隔基本为1 min。

温湿度和辐射的测定仪器采用具有精度高、可存数据量大、体积小等优点的 HOBO 温湿度探头〔HOBO Pro Series Temp, RH(C) 1998 ONSET〕。

沙尘通量的观测采用近地面沙尘通量梯度仪(BSNE),每一个积沙器支架上都安装一个风向标,这样可以收集各个风向上的沙通量。风向标的起动风速≤1.0 m/s,风向测量范围为 0～360°,最大允许误差范围为±3°。

1.3.2　*数据处理*　数据通过 Excel 和 SPSS 16.0 处理,作图利用 Origin 8.0 和 Photoshop 软件。

2 结果

2.1 防护林的防风效益

防护林的防风效益主要通过其防风效能来度量，防风效能是指防护林前后的风速差值与林前风速的比值。

$$K=\frac{V_{流沙}-V_{防护林}}{V_{流沙}}\times 100\%$$

式中：K——防风效能(%)；$V_{流沙}$——流沙地旷野风速(m/s)；$V_{防护林}$——防护林带内风速(m/s)。

由表1可以看出，新疆杨林和沙拐枣林都有降低流沙地风速的效能，当风速在0～3 m/s时，0.5 m高度上杨树林的防风效能为95.1%，沙拐枣林为99.9%。随着风速的增大，杨树林的防风效能由95.1%降低到了67.2%，沙拐枣林内的防风效能也减弱，但是其减弱率较缓，从99.9%降到了93.5%。整体看来，沙拐枣林和新疆杨林的防风效能随着风速的增大而减弱。Zhang等[15]也发现防护林的防风效能随着风速的变化而变化，主要原因：一是风速的增大会增加林木的摇摆度，从而防护林的疏透度变大，防风效能减弱；二是风速的变化表现为水平和垂直两个方向的运动，随着风速的增大，其垂直方向的风速加大，这将会使风向改变，从而引起风向与防护林夹角的改变，进而改变防风效能。

表1 防护林的防风系数

流沙地风速/(m·s^{-1})	0.5 m高度防风效能/%		1 m高度防风效能/%		3 m高度防风效能/%	
	杨树林	沙拐枣林	杨树林	沙拐枣林	杨树林	沙拐枣林
0～3	95.1	99.9	95.6	99.9	41.2	49.4
3～6	74.1	98.3	75.0	97.5	30.9	33.5
＞6	67.2	93.5	63.2	88.2	31.3	32.7

林带防风效能随着高度的增长而减弱，在0.5和1 m高度上，沙拐枣林的防风效能远远大于杨树林，原因是沙拐枣本身系灌木林，植物下部的枝条数比较多，较杨树林底部疏透度小，因此其防风效能较大。3 m高度上沙拐枣的防风效能等同于新疆杨林，由于沙拐枣高度在2 m左右，3 m高度上的风速几乎不受影响，之所以其林带上方风速减弱，是由于杨树林后减弱的风速尚未恢复。

流沙地风速大于起沙风6 m/s后，沙拐枣林近地表0.5 m高度内风速很少有超过2 m/s，新疆杨林几乎没有超过4.5 m/s，表明林带对下垫面的土壤起到良好的保护作用，林带内地表的风速很小，基本上不会有地表风蚀。

整体上，两种防护林均表现出随着风速和高度的增加防风效能减弱的趋势。新疆杨林＋沙拐枣林带的防风效能大于单纯的新疆杨林或沙拐枣林带，因此在选择荒漠区林带配置时，应选择乔木＋灌木林带。

2.2 防护林的固阻沙效益

防护林的固沙效益在非荒漠区是一个不必要的指标，但是在荒漠区，防风固沙似乎是两个不可分开的指标，防风必定会导致输沙量的减弱。并且在流动沙地上不断移动着的流沙会掩埋农田、损害房屋，危害很大。本文将防护林固阻沙效益纳入到其防护效益中，流沙前沿的输沙总量为906 g，杨树林的输沙总量为150 g，沙拐枣林为118 g，杨树林中的沙通量较流沙地减少83%，沙拐枣林中的沙通量较流沙地减弱了87%(图1)。当流沙地的风速大于起沙风后，风挟带地表的沙粒前进，在其经过防护林时，风速减弱，挟沙能力降低，沙粒沉降，越到林内，风速越小，加之沙源不太充足，因此林内的输沙量越小。由此可知，此防护林带有效地阻止了流沙进入防护林带背风一侧。

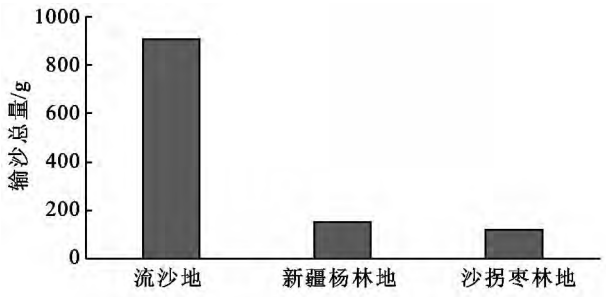


图1 不同下垫面的积沙量

2.3 不同下垫面的温湿度和辐射的变化规律

2.3.1 不同下垫面的温度变化 选取7月晴天和沙尘暴两个不同的天气过程，对比其气象要素的差异性。由图2可以看出，林带内外气温的变化趋势基本一致，但不同的天气过程有较大的差异性。晴天气温度在7:00左右达到一天中的最低值，中午14:00温度最高，在14:00—16:00短暂的下降后有一段较为平稳的时期，20:00以后气温下降。沙尘暴天气气温的变化远不如晴天那么剧烈，具体表现为气温日较差小，夜间温度较高，白昼温度较低。流沙地和林内的温度变化趋势表现为流沙地的气温夜间要显著高于

杨树林和沙拐枣林地,白昼林内外温度差异较小,沙拐枣林内温度显著低于流沙地温度($p<0.01$),总体看来,三个不同下垫面之间的温度差异均极显著($p<0.01$,表 2)。

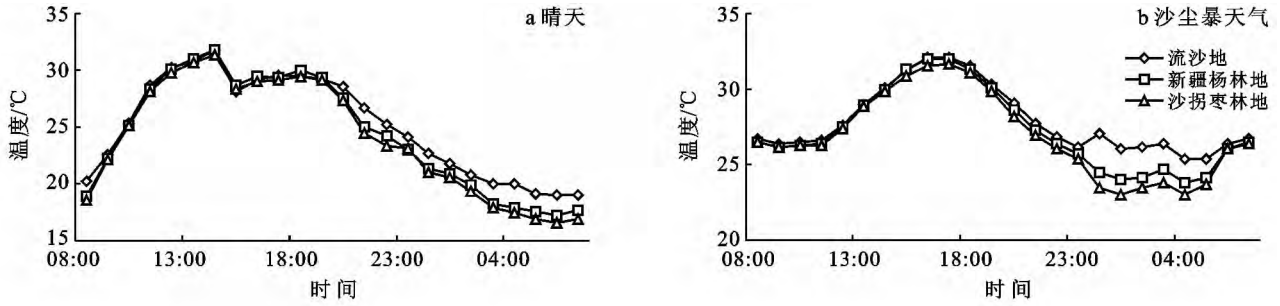


图 2　不同下垫面的温度

表 2　不同下垫面温湿度、辐射的差异显著性分析

晴天		p 值			沙尘暴		p 值		
		No_1	No_2	No_3			No_1	No_2	No_3
温度	No_1	1.000	—	—	温度	No_1	1.000	—	—
	No_2	0.000	1.000			No_2	0.000	1.000	—
	No_3	0.000	0.007	1.000		No_3	0.000	0.030	1.000
湿度	No_1	1.000	—	—	湿度	No_1	1.000	—	—
	No_2	0.000	1.000			No_2	0.000	1.000	—
	No_3	0.000	0.015	1.000		No_3	0.000	0.347	1.000
辐射	No_1	1.000	—	—	辐射	No_1	1.000	—	—
	No_2	0.012	1.000			No_2	0.000	1.000	—
	No_3	0.567	0.049	1.000		No_3	0.063	0.001	1.000

注:$p<0.05$ 差异显著水平;$p<0.01$ 差异极显著水平。

2.3.2　不同下垫面湿度变化　防护林内外湿度的变化趋势一致,晴天时空气湿度在 3:00—5:00 达到最大,之后缓慢降低。直到次日 8:00,日出后随着日照增强,温度升高,蒸发加强,从而导致空气湿度下降速度加快,中午 13:00—15:00 温度最高,湿度最低,之后随着日照强度减弱湿度缓慢增大,新疆杨和沙拐枣林湿度较流沙地高出 7%左右。晴天天气,流沙地与杨树林、沙拐枣林的湿度差异极显著($p<0.01$),杨树林与沙拐枣林间的湿度差异较为显著($p=0.015$)。沙尘暴天气的湿度要小于晴天,湿度在 0:00—2:00 达到最大,之后降低,8:00—12:00 之间湿度变化较为平稳,随着温度的增高,12:00—16:00 有一个缓慢的降低区,之后逐渐升高(图 3)。由于沙尘暴天气气流交换快,加之白昼太阳辐射弱,气温日较差小,因此白昼的湿度变化较小。大风天气中,杨树林与沙拐枣林的湿度差异不显著,流沙地与林带内的湿度差异显著($p<0.01$)。

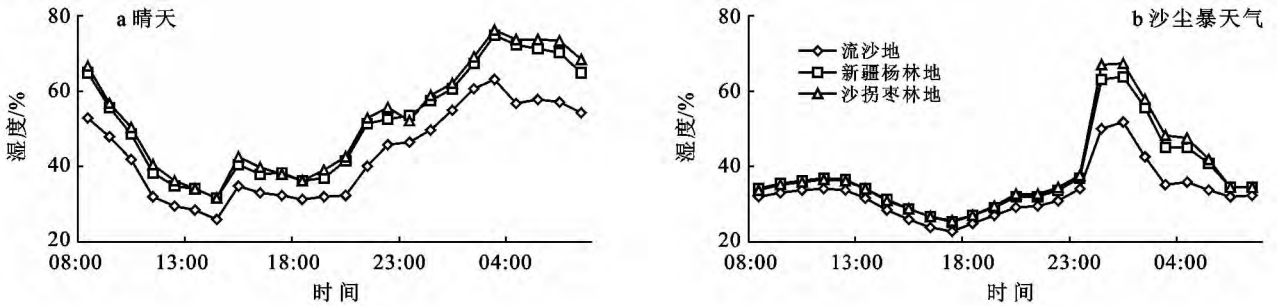


图 3　不同下垫面的相对湿度

总体看来,防护林内外湿度变化差异显著,林内湿度大于流沙地湿度,湿度的变化与温度有着密切关系,温度越高,湿度越小,温度越低,湿度越大。不同天气过程湿度大小和变化趋势均有差异。上述变化特征的原因是流沙地土壤中的水分含量低,温度高,风力强劲,导致其空气中水分来源少,蒸发强烈,水分散失快,湿度低。防护林内有适当的灌溉措施增加其土壤的湿度,地面可蒸发水量增加,植被的蒸腾也会

增加林带内的一部分湿度，加之林带内空气流动相对较弱，水分易于保持，湿度较高。

2.3.3 不同下垫面的太阳辐射强度 晴天无风时，太阳辐射呈单峰曲线，辐射在中午 14:00—16:00 达到最大，之后一直降低，太阳落山到第 2 d 黎明，太阳辐射强度保持在接近 0 的一个值(图 4)。流沙地的太阳辐射最强，杨树林的太阳辐射最弱，流沙地的太阳辐射强度显著大于杨树林($p=0.012$)，与沙拐枣林间差异不显著，杨树林与沙拐枣林间的太阳辐射差异性显著($p=0.049$)。

沙尘暴天气过程太阳辐射呈现双峰曲线，12:00—13:00，15:00—16:00 两个时段达到两个最大值，14:00 左右有一个辐射最低值。杨树林的太阳辐射量显著小于流沙地和沙拐枣林($p<0.01$)，沙拐枣林与流沙地间的太阳辐射量差异不显著($p=0.063$)(表 2)。导致这种结果的原因是太阳辐射感应器的高度安装在距地表 2.0 m 处，高于沙拐枣林带，因此沙拐枣林带的辐射量约相当于流沙地，杨树林的高度超过辐射测度仪的高度，加之树体本身会反射吸收部分的光值，使得光照强度减弱。整体看来，流沙地的太阳辐射最强，杨树林最弱，沙尘暴天气的最大太阳辐射量和辐射总量均小于晴天天气。

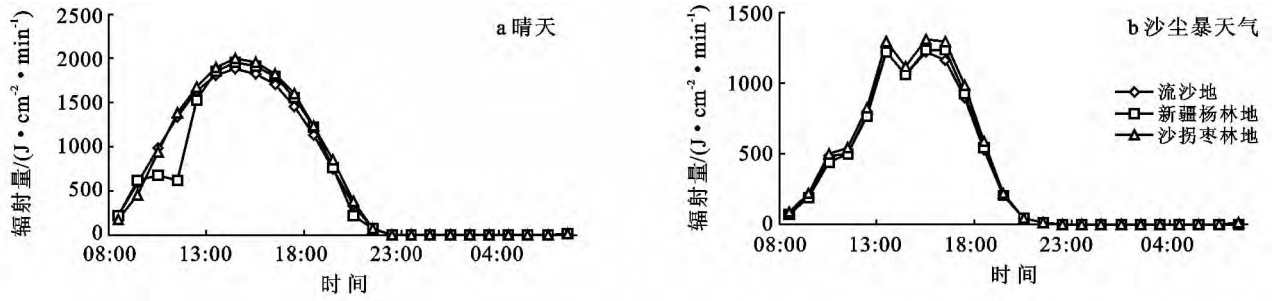


图 4 不同下垫面的辐射强度

3 讨论

林网的防风效益与单一林带的防护效益有很大差异。冯瑞等[16]在风洞中研究了纯乔木防护林和乔冠配置防护林的流场特征，结果表明，纯乔木防护林带在冠层后部，流线密度急速下降，近地表形成一个湍流区，流线杂乱无章，极不稳定，易发生风蚀；乔冠混交配置的防护林在林带上方和冠层后部均形成一个平稳区，流线较为平坦，密度变化不大，表明乔冠混交的防护林可有效地抑制近地表的风速，减弱风蚀的程度。金文等[17]研究了有无搭配灌草乔木防护林的防风效益，结果表明搭配了灌草的林带由于增大了地面的粗糙度，从而增大气流流动阻力，因而其防风效能大于乔木林带，且林带后 6H 的沿流风速垂直分量也比无草的林带流场有所降低，表明了风速对地表剪切能力的下降。周洪华等[3]研究了乔木、乔冠和乔灌草 3 种配置类型防护林的防风效益，结果表明乔灌草配置的防护林对地表起到有效的防护效果，乔木防护林则在树冠分布高度上的防风效益明显，在近地表的防护效益较差，防护林防护效益表现为乔灌草配置＞乔灌配置＞乔木配置，这为本文在研究区域防护林林网的配置提供了科学的理论依据。

防护林防风效益的动力学基础是由于植被增加了下垫面的粗糙度，在一定程度上削弱了近地面层空气湍流交换作用的强度。迎风面吹来的风，一部分穿过林间空隙在低层受到林冠、枝叶和树干的摩擦作用，在林内产生许多小旋涡消耗能量，达到降低风速的目的；另一部分被迫抬高在林冠上部分成两股：一股继续水平向前运动，另一股在林后形成垂直大旋涡，分流作用使得风能减小，达到降低风速的作用[18]。罗万银等[19]将栅栏影响前后的二次流分为 6 个区域，分别为外流区、溢流区、尾流区、内边界层、反向涡和小涡旋区，每个区域均有不同的气流运动方式和速度梯度。反向涡和小涡旋区是障碍物前后重要的流场活动，反向涡导致障碍物后方的沉降堆积，小涡旋区则会导致障碍物根部的风蚀，这两个区均会在疏透度大于 0.3 时消失。内边界层作为防护林后方近地面层的一个主要层次，其主要表现特征为风速降低，气流运动能量较小，对地表的剪切力下降，从而抑制了栅栏后方的地表沙粒的启动及潜在传输方式。当障碍物疏透度大于 0.4 时，其顶部上方会出现明显的气流加速区，绕过障碍物后气流发生分离，形成强烈的尾流剪切层，此时垂直速度即担负起上下层能量的传递及交换的任务。根据在垂直高度上的气流的分区和运动方式，越往上层防护林的防风效能越小。本研究中沙拐枣林生长状况好，枝条数多，呈紧密型灌木林，新疆杨带间距较大，还没有完全发育成材，林带尚未郁闭，呈疏透性。气流在到达紧密型的沙拐枣林时被急剧抬升，通过林带气流很小，风速较小。杨树林为疏透型，气流在水平方向上受到的阻力较小，

因此林带内部的风速小于流沙地但大于沙拐枣林带。因此乔木和灌木林带配合的防风效能更好。本研究还发现越往高层,防护林的防风效能在减弱,一方面反映了疏透度的变化情况,另一方面由于风速在遇到植物后,空气被抬升从上部越过,因此其上部的风速较大,防风效能减弱。随着风速的增大,防护林的防风效能也会减弱,原因之一是风速的增强增大了林带的疏透度,因而导致防风效能减弱。另一方面由于植物对风能的阻挡和削减有一定的限度,随着风能的增强,其防风效能即会减弱。

当风速达到起沙风速后,沙粒开始移动,沙粒的运动方式主要分为蠕移、跃移和悬移 3 种。防护林带减弱风速使得风的挟沙能力下降,沙粒在林前和林中大量沉积。防护林和阻沙栅栏的降沙原理类似,主要有 3 种原因:(1) 障碍物设置后,改变了局部气流场,导致一定范围内近地表风速明显降低,从而削弱了搬运风沙的能力;(2) 障碍物本身对运动沙粒的拦截作用;(3) 由于障碍物设置地形与栅栏互作产生风沙堆积[19]。金文等[17]研究表明搭配灌草防护林绕林流场涡量等级明显低于未搭配灌草,在近地表层减弱等级更为明显,因此搭配灌草的林带模式对保护地表免受风蚀的效果好。罗万银等[19]研究表明气流在防护林前风速抬升和加速,在越过林带后速度迅速的下降,气流在恢复过程中,通过垂直混合作用不断地进行能量交换,垂直速度为负值时,加速了沙粒的沉积,内边界层、反向涡都会导致沙粒的沉降。防护林的固阻沙效益是由于防护林对风场的改变而引起沙粒的沉降和就地起沙量的减小,在本研究中具体表现为防护林网的输沙量仅为流沙地输沙量的 15%。

防护林具有减小温差、减弱林内太阳辐射和增加湿度的作用。林内的温度、湿度和太阳辐射作用的关系明显,气温与太阳辐射呈正相关,即辐射越多温度越高;湿度的大小与太阳辐射呈负相关,相应地湿度与气温也呈负相关,并且林内外温湿度变化规律一致。辐射降低的情况下林内外温度降低、湿度增加,流沙地温湿度变化要略微大于林内。徐丽萍等[20]研究发现,乔木林的降温作用大于灌木林大于草地,乔木混交林内的空气湿度大于灌木林大于草地大于旷野,表明温度与湿度之间呈现显著的负相关关系。防护林的存在对温度、湿度、太阳辐射的影响与树木的成长年龄、郁闭度及林带带宽等有密切关系,林带面积大,郁闭度较高的林带对小气候的影响更为显著。本研究中的林带栽植 2 a,还处在生长发育期,杨树林带的疏透度较大,其对温度、湿度、光照强度的影响会随着树木的生长而愈加显著。

4　结 论

(1) 防护林带的防风效能。流动沙地上乔木林+灌木林的配置模式有着很好的防风效能,防护林可以降低流沙地乔木高度以下的有效风速,灌草的搭配有效防护了近地表层的风沙活动,具有很好的防风固沙效益。防护林防风效能的主要规律有:在垂直高度上,防护林的防风效能随着植被灌层密度的减小而减小,在植被顶层,其防风效能最小;风速越大,风能越强,防护林对风能的削减率降低,防风效能变差。

(2) 植被对输沙量的影响。防护林林网配置起到了很好的阻沙作用,林网对风场的改变和风速的削弱导致沙粒的沉降和起沙量的减少,林网防护下的沙通量仅为流沙地的 15%左右。

(3) 防护林内外日照强度、气温和湿度有显著的差异。晴天气温度在 7:00 左右达到一天中的最低值,中午 14:00 温度最高,流沙地的气温夜间要显著高于杨树林和沙拐枣林地;沙尘暴天气有一样的趋势,但是昼夜温差较小。空气湿度在 3:00—5:00 达到最大,次日中午 13:00—15:00 湿度最低,防护林内外湿度变化差异显著,林内湿度大于流沙地湿度。防护林可以减弱日照强度、降低温度、增加空气湿度,对区域小气候起到显著的改善作用。

在极端干旱的荒漠区,要扩大绿洲的面积,必须保证新开垦地免受风沙灾害的侵袭,本文通过对流沙地上防护林防护效益的研究,表明在流沙地种植乔灌草结合的防护林有着较好的降风减沙作用,并且防护林对于林内的太阳辐射强度、温湿度有着明显的改良作用,为更加有效地利用荒漠土地提供了可靠的依据和保障。本文对流沙地的防护林防护效益的研究,具有环境特殊性,但由于林带配置的体系结构,本文未能对每一种防护林带的防风减沙效益进行研究,有待在以后的试验中进行深入研究。

[参 考 文 献]

[1] 朱廷曜,关德新. 农田防护林生态工程学[M]. 北京:中国林业出版社,2001.

[2] Huth N I, Carberry P S, Poulton P L, et al. A framework for simulating agroforestry options for the low rainfall areas of Australia using APSIM[J]. Eur. J. Agron., 2003,18(1/2):171-185.

[3] 周洪华,李卫红,冷超,等. 绿洲—荒漠过渡带典型防护林体系环境效益及其生态功能[J]. 干旱区地理,2012,35(1):82-90.

[4] 范玉洁,张红霞,刘静. 河套灌区两种营林方式防护林的防风效益研究[J]. 水土保持通报,2009,29(6):182-184.

(下转第 122 页)

和潜力[J]. 生态学报,2008,28(2):463-469.
[2] 宋长春,阎百兴,王跃思,等. 三江平原沼泽湿地 CO_2 和 CH_4 通量及影响因子[J]. 科学通报,2003,48(23):2473-2477.
[3] 刘子刚,张坤民. 黑龙江省三江平原湿地土壤碳储量变化[J]. 清华大学学报:自然科学版,2005,45(6):788-791.
[4] 杨钙仁,张文菊,童成立,等. 温度对湿地沉积物有机碳矿化的影响[J]. 生态学报,2005,25(2):243-248.
[5] 宋长春,王毅勇,王跃思,等. 人类活动影响下淡水沼泽湿地温室气体排放变化[J]. 地理科学,2006,26(1):82-86.
[6] 杨继松,刘景双,孙丽娜. 三江平原草甸湿地土壤呼吸和枯落物分解的 CO_2 释放[J]. 生态学报,2008,28(2):805-810.
[7] 黄靖宇,宋长春,宋艳宇,等. 湿地垦殖对土壤微生物量及土壤溶解有机碳、氮的影响[J]. 环境科学,2008,29(5):1380-1387.
[8] 王宪伟,李秀珍,吕久俊,等. 冻融作用对大兴安岭湿地泥炭分解排放二氧化碳的影响[J]. 土壤通报,2010,41(4):970-975.
[9] 田应兵,熊明彪,熊晓山,等. 若尔盖高原湿地土壤—植物系统有机碳的分布与流动[J]. 植物生态学报,2003,27(4):490-495.
[10] 王德宣. 若尔盖高原泥炭沼泽二氧化碳、甲烷和氧化亚氮排放通量研究[J]. 湿地科学,2010,8(3):220-224.
[11] 高俊琴,雷光春,李丽,等. 若尔盖高原三种湿地土壤有机碳分布特征[J]. 湿地科学,2010,8(4):327-330.
[12] 田昆,常凤来,陆梅,等. 人为活动对云南纳帕海湿地土壤碳氮变化的影响[J]. 土壤学报,2004,41(5):681-686.
[13] 吴玉源,陈槐,林芳淼,等. 三峡水库澎溪河新生湿地 CO_2 排放研究[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2012,29(3):79-83.
[14] 迟传德,许信旺,吴新民,等. 安徽省升金湖湿地土壤有机碳储存及分布[J]. 地球与环境,2006,34(3):56-64.
[15] 许信旺,潘根兴,曹志红,等. 安徽省土壤有机碳空间差异及影响因素[J]. 地理研究,2007,26(6):1077-1086.
[16] 林凡,李典友,潘根兴,等. 皖江自然湿地土壤碳密度及其开垦为农田后的变化[J]. 湿地科学,2008,6(2):192-197.
[17] 汪青,刘敏,侯立军,等. 崇明东滩湿地 CO_2,CH_4 和 N_2O 排放的时空差异[J]. 地理研究,2010,29(5):935-946.
[18] 马安娜,陆健健. 长江口崇西湿地生态系统的二氧化碳交换及潮汐影响[J]. 环境科学研究,2011,24(7):716-721.
[19] 朱振国,郑姚闽. 中国湿地调查[J]. 百科知识,2012(3):4-8.
[20] 朱同林,张光生. 安徽省沿江湿地资源现状、问题和对策[J]. 资源开发与市场,2005,21(4):300-302.

(上接第 103 页)

[5] 代力民,王宪礼,王金锡. 三北防护林生态效益评价要素分析[J]. 世界林业研究,2000,13(2):47-51.
[6] Zhao Wenzhi, Hu Guanglu, Zhang Zhihui, et al. Shielding effect of oasis-protection systems composed of various forms of windbreak on sand fixation in an arid region: A case study in the Hexi Corridor, Northwest China [J]. Ecological Engineering, 2008,33(2):119-125.
[7] Hall D J M, Sudmeyer R A, McLernon C K, et al. Characterisation of a windbreak system on the south coast of western Austrilia(3):Soil water and hydrology [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2002,42(6):729-738.
[8] Lei Jiaqiang, Li Shengyu, Jin Zhengzhong, et al. Comprehensive eco-environmental effects of the shelter-forest ecological engineering along the Tarim Desert Highway[J]. China Science Bulletin, 2008,53(2):190-202.
[9] 郑粉莉. 子午岭林区植被破坏与恢复对土壤演变的影响[J]. 水土保持通报,1996,16(5):41-44.
[10] 李永宁,张兵兰,秦淑英,等. 郁闭度及其测定方法研究与应用[J]. 世界林业研究,2008:21(1):40-46.
[11] Wang Hao, Takle E S. A numerical simulation of boundary-layer flows near shelterbelts [J]. Boundary-Layer Meteorology, 1995,75(1/2):141-173.
[12] Frank C, Ruck B. Double-arranged mound-mounted shelterbelts: Influence of porosity on wind reduction between the shelters [J]. Environmental Fluid Mechanics, 2005,5(3):267-292.
[13] 俞学曾,区柏森,沈晓东. 防护林防沙效应风洞模拟试验[J]. 气动实验与测量控制,1991,5(4):46-52.
[14] 张彩霞,王训明,满多清,等. 层次分析法在民勤绿洲农田防护林生态效益评价中的应用[J]. 中国沙漠,2010,30(3):602-607.
[15] Zhang H, Brandle J R, Meyer G E, et al. The relationship between open windspeed reduction in shelter [J]. Agroforestry Systems, 1995,32(3):297-311.
[16] 冯瑞,吴发启,雷金银. 利用 PIV 系统对防护林不同配置模式防护效益的研究[J]. 水土保持通报,2007,27(2):5-9.
[17] 金文,王元,张玮. 防护林搭配灌草条件下的 PIV 实验研究[J]. 中国沙漠,2003,25(5):600-603.
[18] 王元,金文,张鸿雁,等. 不同类型防护林绕林流场的 PIV 测量[J]. 空气动力学学报,2004,22(2):135-140.
[19] 罗万银,董治宝,钱广强,等. 直立阻沙栅栏流场特征的风洞模拟实验[J]. 中国沙漠,2009,29(2):200-205.
[20] 徐丽萍,杨改河,姜艳,等. 黄土高原人工植被小气候生态效应研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):163-167.