

旷野风速对林网内风速分布及防风效能的影响

吕仁猛¹, 丁国栋¹, 郝玉光², 包岩峰¹, 郭亚娟¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 中国林科院 沙漠林业实验中心, 内蒙古 磴口 015200)

摘要: 为了揭示旷野风速对农田林网内风速分布及防风效能的影响, 通过空间多点实地观测, 利用传统统计分析、Surfer 软件、地统计学等方法对 3 种风速(5.4、7.2 和 10.3 m/s)条件下的林网内风速分布及防风效能进行了分析。结果表明, 3 种旷野风速下主林带的背风面均形成一个较大范围的降风区; 3 种旷野风速下林网平均降低风速效能为 26.1%、23.3% 和 25.7%, 平均有效防护面积比为 50.8%、41.7% 和 47.7%, 林网的总体防护效能随风速为 5.4 m/s 时为最大, 风速为 7.2 m/s 时为最小; 3 种不同旷野风速下林网风速空间变异函数均可以较好地拟合为球状模型, 3 种旷野风速下网格内风速块金值与基台值的比值较小, 均小于 25%, 林网内风速均具有强烈的空间自相关性。旷野风速对林网内风速分布及防风效能的影响比较复杂, 并不是单一的随着风速的增大而增大或减小, 受林带结构及疏透度的影响较大。

关键词: 旷野风速; 农田防护林网; 风速分布; 防风效能

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)02-0105-06

中图分类号: S727.24

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.023

Influence of Desert Wind Velocity on Wind Velocity Distribution in Forest and Windbreak Effect

LÜ Ren-meng¹, DING Guo-dong¹, HAO Yu-guang², BAO Yan-feng¹, GUO Ya-juan¹

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Desert Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry, Dengkou 015200, China)

Abstract: In order to explore the influence of the desert wind velocity on wind velocity distribution in forest and windbreak effect, this article observed in multi points, using traditional statistical analysis, surfer software, geostatistics and other methods to analysis wind velocity distribution in forest and windbreak effect when the desert wind velocity is 5.4, 7.2 and 10.3 m/s. The results showed that the leeward side of primary forest formed a wind down district under all 3 kinds of desert wind velocity; The average wind velocity reduced by forest is 26.1%, 23.3% and 25.7% under 3 kinds of desert wind velocity. The average effective protection area ratio is 50.8%, 41.7% and 47.7%. The overall effectiveness of forest protection is maximum with a wind speed of 5.4 m/s and minimum with a wind speed of 7.2 m/s; forest wind velocity spatial variability functions under 3 kinds of desert wind velocity can be a good fit as a spherical model, the ratio of nugget to sill under 3 kinds of desert wind velocity is small, and all were less than 25%, and forest wind velocity has a strong spatial autocorrelation. The influence of the wind velocity of desert on wind velocity distribution in network of forest and windbreak effect is complex, it does not increase or decrease with desert wind velocity but strongly influenced by forest structure and porosity.

Keywords: desert wind velocity; farmland shelterbelts; wind speed distribution; windbreak effect

荒漠化严重威胁到人类的生存和发展,是当今世界公认的头号环境问题^[1]。为了有效防止荒漠化危害,改善农业生产环境、农田小气候,我国很早就已经重视干旱沙区农田防护林的营造^[2]。农田防护林的防护效应首先表现在防风效能上,由于风速的减低引

起了一系列其它气象要素的改变,这些改变往往局限于林带附近(数十米至数百米)^[3-4]。根据保护对象,农田防护林带配置形式可设置呈 L、U 及 E 字形或网格状等多种配置形式^[3]。林带防风作用的大小与林带宽度、高度、结构类型以及是否形成网状体系有很

收稿日期: 2013-10-04

修回日期: 2013-10-27

资助项目: “十二五”国家科技支撑计划“荒漠化综合治理与修复技术研究及示范”(2012BAD16B00)

作者简介: 吕仁猛(1989—),男(汉族),安徽省阜阳市人,硕士研究生,研究方向为荒漠化防治。E-mail: lrm19891210@126.com。

通信作者: 丁国栋(1963—),男(满族),内蒙古自治区赤峰市人,教授,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: dch1999@263.net。

大的关系,农田防护林网对气温、相对湿度、蒸发量等小气候因子变化所产生的防护效能均高于单条农田防护林带^[5]。国内外有关农田防护林防护区风速分布的研究较多^[6-9],然而大部分研究仅以少数观测点的数据来反映区域防护效应特征,缺乏代表性;部分研究虽对林网内不同防护区的风速分布做了实地观测^[10-11],但只反映了同一旷野对照风速下林网内不同区域的风速分布情况,缺乏不同风速下的比较。因此,本研究为了进一步揭示单个农田防护林网内近地面风速变化情况,通过空间多点实地观测,分析不同旷野对照风速下单个农田防护林网防护作用区近地面风速分布特征,揭示农田防护林网对旷野风速运动变化所产生的作用和影响,为农田防护林规划、设计提供依据。

1 研究区概况

研究区位于乌兰布和沙漠东北缘磴口县中国林业科学研究院沙漠林业实验中心第三实验场,为黄河

冲积平原,东临黄河,三面环沙,风沙危害十分严重。研究区处于温带干旱区,属温带荒漠大陆性气候,气候干旱,降雨稀少,且降雨量分配不均。多年平均降水量为 144.5 mm,全年降水多集中在 6—9 月份;多年平均蒸发量约为 2 397.6 mm;年均气温为 7.5~8.5 °C,年均 ≥ 10 °C 有效积温为 3 100~3 400 °C,无霜期为 140~160 d;年平均风速为 3~3.7 m/s,年大风日数 20~40 d,以春季 3—5 月份风速最大,平均为 4.8 m/s,最大瞬时风速约为 24 m/s。该区风沙频繁,地表风蚀强烈,主害风向为西北风。

研究区地表水资源丰富,具有引黄灌溉的条件,很多地方都已开发成为绿洲,区域内干渠和支渠纵横交错,农田防护林沿渠道两侧布设。实验地现存农田防护林网 1995 年营造完毕,主要造林树种为新疆杨(*Populus bolleana*)、沙柳(*Salix cheilophila*),树龄为 21 a,两行一带,“品”字形布设。林网营造采用“窄林带、小网格”模式,主林带间距 140 m,副林带间距 300 m,林带保存完整。实验所选林网基本情况详见表 1。

表 1 研究区农田林网概况

林带	树种配置	林带走向	株行距/m	树高/m	胸径/cm	枝下高/m	冠幅/m
主林带 1	2 行新疆杨	南北	1×2	24.1	27.2	3.6	1.7×1.9
主林带 2	2 行新疆杨+2 行沙柳	南北	1×4	23.4	27.6	4.4	1.6×2.0
副林带 1	2 行新疆杨	东西	1×4	25.3	28.4	3.4	2.3×2.1
副林带 2	2 行新疆杨	东西	1×4	25.4	28.6	3.2	2.2×2.1

注:根据主害风向,网格的西侧和东侧林带分别定义为主林带 1 和主林带 2;同理,北侧和南侧林带定义为副林带 1 和副林带 2。

2 试验布设与研究方法

2.1 测点布设

设置观测点时,在主林带 1 上按照 0,25,50,100,150,200,250 和 300 m 等区段长度为间隔设点,并在数据记录时标记为 X 轴坐标点;在副林带 1 上按照主林带 1 的树高倍数 0H,1H,2H,3H,4H,5H 及副林带 1 的终点即 0,24.1,48.2,72.3,96.4,120.5 和 140 m 等区段长度为间隔设点,并在数据记录时标记为 Y 轴坐标点;取两条林带交点处为坐标原点。然后沿主林带 1 和副林带 1 上的设点分别做副林带和主林带的平行线,所交叉的点即为观测点的位置,林网内合计测点 30 个,4 条林带内合计测点 26 个(图 1)。这样林带上和网格内的测点分布均匀,合计为 56 个点。

2.2 风速测定

选择 2 个连续大风日(2013 年 4 月 27—28 日),按照图 1 的布点测定农田林网不同防护区域的风速分布。各观测点风速测定采用多通道电子自记风速仪(DT-80)进行,该测风仪器带有 8 个风速串口,8 个

风杯传感器,1 个风向传感器和各种气象要素传感器,其测量风速时在水平方向上的最长距离可达 300 m。各测点设置为每 2 s 记录风速值 1 次,自动记录该点的风速变化,各观测点风速测定同时进行。在风速实际测定过程中,观测高度距地面 2 m。以沙林中心的沙地地面气象站同时段风向风速自记仪的观测值为旷野对照值,进行林网防风效能的计算。

2.3 防风效能的计算

采用下式计算防风效能 E_{xz} ^[12]:

$$E_{xz} = \frac{u_{0z} - u_{xz}}{u_{0z}} \times 100\%$$

式中: E_{xz} ——防风效能,即在距主林带背风面为 x ,高度为 z 处的平均风速比旷野减少的百分数,用以表示风速减弱的程度; u_{xz} ——主林带背风面距林带 x 处、高度为 z 处的平均风速; u_{0z} ——同一高度旷野的平均风速。

2.4 数据处理方法

2.4.1 传统统计学方法 在传统统计分析中,基于样本观测值主要统计了均值、标准差 SD、变异系数 C_v 、最小值、最大值、样本频数分布等。

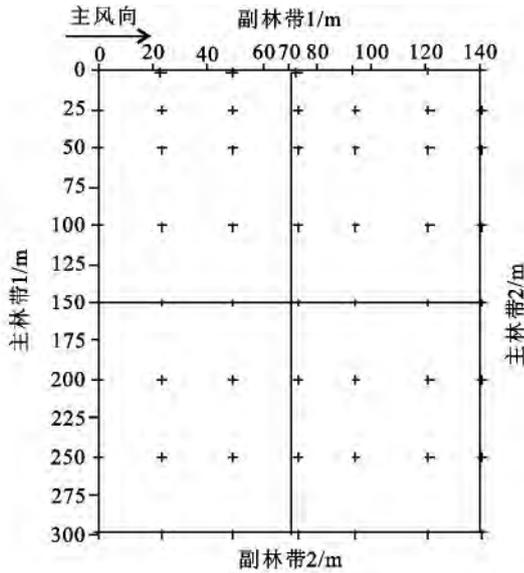


图 1 研究网格内样点布设图

2.4.2 地统计学方法 实验数据采用地统计学软件 GS+ 进行变异函数分析,研究不同旷野风速下林网内风速场的空间异质性。变异函数 (variograms), 又称变差函数、变异矩,是地统计分析所特有的基本工具,是区域化变量在分割距离上对样本空间变异的量度。变异函数有 4 个重要的参数,分别为基台值 (sill)、变程(range)或称空间依赖范围 (range of spatial dependence)、块金值(nugget)或称区域不连续性值(localized discontinuity)和分维数(fractal dimension)。其中前 3 种参数决定变异函数的形状与结构。而变异函数的形状反映了自然现象空间分布结构或空间相关的类型,同时还能给出这种空间相关的范围。基台值($C_0 + C$)是半方差值随步长增加到一个相对稳定的水平上时对应的半方差值,是区域化变量总

体特征的体现,等于空间结构值和块金值之和。变程 (A) 也叫独立间距表示某变量观测值之间的距离大于该值时,则说明它们之间是相互独立的;若小于该值时,则说明它们之间存在着一定的相关关系。块金值 (C_0) 表示由实验误差和小于实际取样尺度引起的变异,即随机部分引起的空间异质性,块金值大表明较小尺度。变异函数理论模型主要分为 3 大类:第一类是有基台值模型,包括球状模型、指数模型、高斯模型、线性有基台值模型和纯块金效应模型;第二类是无基台值模型,包括幂函数模型、线性无基台值模型、抛物线模型;第三类是孔穴效应模型。在选取变异函数模型时,首先应该计算出 $r(h)$ 的散点图,然后用不同类型的模型进行拟合,计算得到模型的参数及残差 RSS,选取 RSS 最小也即拟合度最好的模型类型。

2.4.3 制图方法 将各观测点每 5 min 内的风速平均值作为该测点的风速值,选取不同旷野对照风速下林网内各测点的同步风速值,通过 Surfer 8.0 中的克里金插值法(Kriging)绘制等值线图,进行不同旷野对照风速下林网内风速分布的分析。

3 结果与分析

3.1 不同旷野风速对林网内平均风速的影响

通过对林网内平均风速的统计分析,发现不同旷野风速对林网内风速的影响并不明显(表 2)。由表 2 可知,随着旷野风速的增加,林网内风速变异系数的变化并不明显,旷野风速对林网内风速变异系数的影响很小。值得注意的是 3 种旷野风速下林网内部分区域最大风速均超过了旷野风速,对于农作物的生长发育有一定影响。这可能与林带结构造成的湍流有关,需要进一步研究。

表 2 研究区林网风速统计特征

旷野对照风速/($m \cdot s^{-1}$)	样本数	最大值/($m \cdot s^{-1}$)	最小值/($m \cdot s^{-1}$)	均值±标准差	变异系数/%
5.4	56	5.50	2.73	3.99±0.73a	18.4
7.2	56	7.48	3.89	5.52±1.05b	19.1
10.3	56	10.57	5.49	7.65±1.52b	19.9

注:不同小写字母表示在 $p=0.05$ 水平上差异显著。

3 种旷野风速下林网内各观测点的总体平均风速值与旷野对照相比,风速分别平均降低了 26.1%, 23.3%和 25.7%。单因素方差分析显示,旷野风速在 7.2~10.3 m/s 之间林内风速差异不显著,旷野风速为 5.4 m/s 与其它 2 种旷野风速之间林内风速差异显著(表 2)。产生这种现象的原因可能是由于林带的疏透度较最适疏透度大,随着旷野风速的增加而导致疏透度变大,对空气流的削减作用降低。研究结果表

明 3 种旷野风速下林网均有明显降低风速的作用,随着旷野风速的增加,林内平均降低风速值先减小后增大,旷野风速对林内平均降低风速值的影响比较复杂。

通过统计林网内风速值的发生频率可以了解风速空间上的变化情况。由图 2 可以看出,3 种不同旷野风速下林网内风速的分布均接近于正态分布,旷野风速为 5.4 m/s 时林内风速以 4 m/s 风速频率最高;旷野风速为 7.2 m/s 时林内风速以 5.67 m/s 风速频

率最高,旷野风速为 10.3 m/s 时林内风速以 7.5 m/s 风速频率最高。总体上看,当旷野风速从 5.4 m/s 增

大到 10.3 m/s 时,高频率风速并没有向高风速转移,这与变异系数分析所反映的规律是基本一致的。

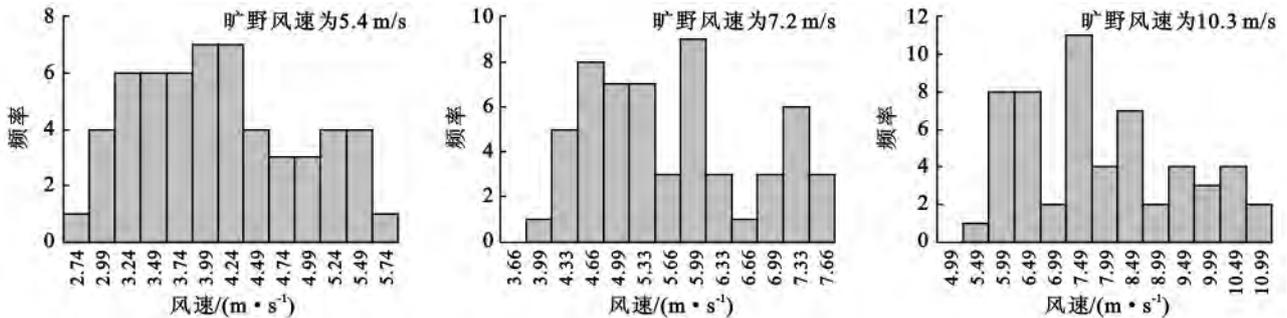


图 2 研究区林网风速频数分布

3.2 不同旷野风速下林网内风速场的变化

为了更好地掌握不同旷野风速下林网内风速的空间变化,绘制了风速场特征图(图 3)。图 3 可见,3 种旷野风速下林网内风速的空间变化并无明显差异,风速为 5.4,7.2,10.3 m/s 时主林带 1 的背风面均形成一个较大范围的降风区,其中降风区范围分别在主林带背风面 50~90 m,40~80 m 和 40~80 m,最低风速出现在主林带 1 背风面 60~80 m 处,最低风速

分别为 2.8,3.8 和 5.4 m/s。从图 3 可以明显看出,不同旷野风速下随着与主林带 1 距离的增加,风速逐渐降低,在一定范围后逐渐增加,结果在林网内形成低风效应区,即防护效应区。不同风速下林网内降风区范围大小顺序为:5.4 m/s>10.3 m/s>7.2 m/s,但差异不明显。这一结果说明当旷野风速较小时林网的防护效能最大,随着风速的增加林网的防护效能变化比较复杂并没有表现出一致的变化趋势。

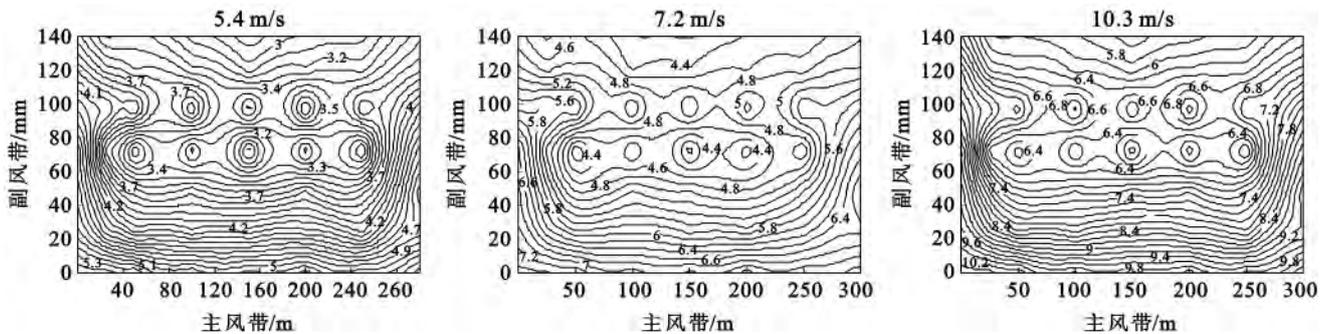


图 3 不同旷野风速下林网风速场特征

通过对 3 种不同旷野风速下林网内降风区的描述只能说明风吹入林网内的变化特征和各区域风速的差异性,并不能从根本上确定不同风速下林网防护范围的大小。为此,引入“有效防护距离”和“有效防护面积”的概念。林带的有效防护距离是确定林带间距最主要的数量指标之一,它是指使林带背风面指定防护对象(某种作物或土壤)不受害风风力危害(包括生理危害与机械损伤)的水平距离^[13],决定着林网的网格形状和面积。林网内有效防护距离范围内的面积即为“有效防护面积”,考虑了林带长度因子和防护距离。因此,根据林网内等值线分布趋势进行插值运算,进而确定林网的有效防护面积。以往的研究中对于“有效防护面积”的确定范围即以降低风速效能的百分比范围并没有达成共识,本研究以降低风速值

20%~40% 为标准进行“有效防护面积”的确定(表 3)。

表 3 不同风速下林网有效防护面积特征

旷野风速/ (m·s ⁻¹)	降低风 速值/%	总面积/ 10 ³ m ²	有效防护 面积/m ²	比值/ %
5.4	20	42	32 614	77.65
7.2			30 425	72.44
10.3			31 997	76.18
5.4	30	42	24 161	57.52
7.2			20 467	48.73
10.3			23 500	55.95
5.4	40	42	7 279	17.33
7.2			1 634	3.89
10.3			4 667	11.11

从表 3 可以看出,当旷野风速为 5.4 m/s 时网格的有效防护面积最大,风速为 7.2 m/s 时网格的有效防护面积最小,林网的有效防护面积随着风速的增加先减小后增大,并不是单纯的随着风速的增加而减小。造成这种现象的原因可能与主林带 2 的林带结构及其疏透度在最适疏透度以下有关。在降低风速值为 20% 时,3 种不同旷野风速下网格的有效防护面积均超过 70%,表明不同风速下网格均具有很好的防护效能;而在降低风速值为 40% 时,风速为 5.4 m/s 和风速为 10.3 m/s 的有效防护面积也均接近或超过 15%,这说明在这两种旷野风速下主林带 2 对风速的影响更大。将网格降低风速值介于 20%~40% 的 3 种区域分别设定为区域 A、区域 B 和区域 C,通过计算得出当旷野风速为 5.4 m/s 时林网内区域 B/区域 A 和区域 C/区域 B 面积比值分别为 74.1 和 30.1%;风速为 7.2 m/s 和风速为 10.3 m/s 的面积比值分别为 67.3,8.0% 和 73.1,19.9%,林网有效防护面积内低风速区域大小顺序为 5.4 m/s > 10.3 m/s > 7.2 m/s,结果表明,随着旷野风速的增大,林网有效防护面积内低风速区域面积呈现先减小后增大的趋势,并不是单一的减小趋势,旷野风速对林网内风速分布的影响较复杂。

3.3 不同旷野风速下林网内风速空间异质性分析

利用地统计学的方法,对不同旷野风速下林网内风速进行了变异函数分析。3 种不同旷野风速下林网风速空间变异函数均可以较好地拟合为球状模型(表 4)。

现代研究认为,块金值/基台值 < 25% 时,系统具

有强烈的空间相关性;在块金值/基台值介于 25%~75% 时,系统具有中等相关性;块金值/基台值 > 75% 时,系统具有很弱的相关性。从图 4 可以看出,本研究中 3 种旷野风速下林网内风速块金值较小,均小于 0.15,说明本研究试验抽样尺度符合区域变化量的内部变异,且试验误差较小。3 种旷野风速下网格内风速块金值与基台值的比值较小,分别为 6.0%,8.1% 和 2.2%,均小于 25%,表明 3 种旷野风速下林网内风速均具有强烈的空间自相关性,风速的空间自相关程度分别为 94.0%,91.9% 和 97.8%,自相关程度大小顺序为:10.3 m/s > 5.4 m/s > 7.2 m/s。变异函数的变程分别为 242.2,229.9 和 254.0 m,说明空间连续性较强,且间隔取样合理^[14]。3 种旷野风速下林网的风速空间分布连续性顺序分别为 10.3 m/s > 5.4 m/s > 7.2 m/s。由此可以看出当旷野风速从 5.4 m/s 增大到 7.2 m/s 时,林网内风速空间自相关性大小和连续性变小;当旷野风速从 7.2 m/s 增大到 10.3 m/s 时,林网内风速空间自相关性大小和连续性变大,说明旷野风速对林网内风速空间自相关性大小和连续性的影响比较复杂,并不是单纯的随旷野风速的增大而增强。

表 4 林网风速变异函数的参数

旷野风速/ (m · s ⁻¹)	模型	块金值	基台值	结构比	变程/m
5.4	球状模型	0.061	1.009	0.940	242.2
7.2	球状模型	0.142	1.761	0.919	229.9
10.3	球状模型	0.090	4.028	0.978	254.0

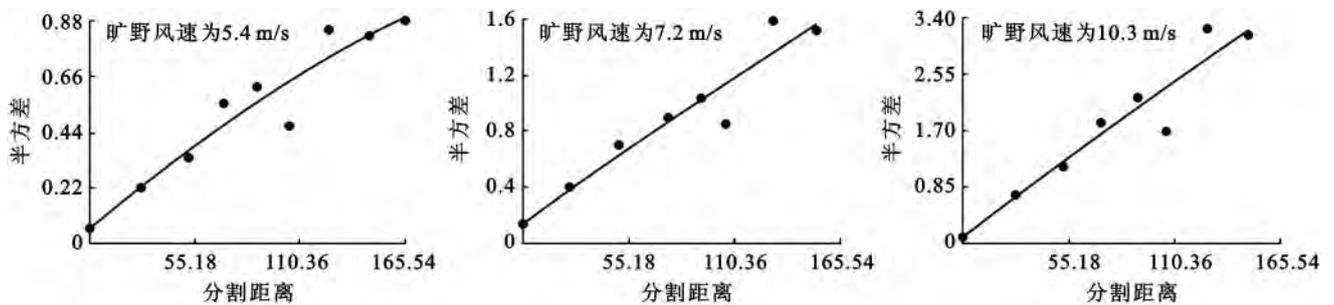


图 4 林网内风速变异函数散点图及变异曲线

4 结论

(1) 3 种不同旷野风速下农田林网均可有效降低风速。3 种旷野风速下林网内各观测点的平均风速值分别为 3.99,5.52 和 7.65 m/s,林网平均降低风速效能为 26.1%,23.3% 和 25.7%,平均有效防护面积比为 50.8%,41.7% 和 47.7%,林网的总体防护效能

在风速为 5.4 m/s 时为最大,风速为 7.2 m/s 时为最小。

(2) 3 种不同旷野风速下林网内风速均具有强烈的空间自相关性。3 种不同旷野风速下林网风速空间变异函数均可以较好的拟合为球状模型,3 种旷野风速下网格内风速块金值与基台值的比值较小,分别为 6.0%,8.1% 和 2.2%,均小于 25%,林网内风速的

空间自相关程度分别为 94.0%, 91.9% 和 97.8%, 自相关程度大小顺序为旷野风速表现为: $10.3 \text{ m/s} > 5.4 \text{ m/s} > 7.2 \text{ m/s}$ 。

(3) 旷野风速对林网内风速分布及防风效能的影响比较复杂, 并不是单一的随着风速的增大而增大或减小, 受林带结构及疏透度的影响较大。3 种旷野风速下主林带 1 的背风面均形成一个较大范围的降风区, 降风区范围分别在主林带背风面的 $50 \sim 90 \text{ m}$, $40 \sim 80 \text{ m}$, $40 \sim 80 \text{ m}$, 最低风速出现在主林带 1 背风面 $60 \sim 80 \text{ m}$ 处, 林网内降风区范围大小顺序为: $5.4 \text{ m/s} > 10.3 \text{ m/s} > 7.2 \text{ m/s}$, 林网有效防护面积内低风速区域大小顺序为: $5.4 \text{ m/s} > 10.3 \text{ m/s} > 7.2 \text{ m/s}$, 表现为随着风速的增大呈现先减小后增大的趋势。

[参 考 文 献]

- [1] 王永兴, 张小雷. 绿洲地域关系及其演变规律的初步研究[J]. 干旱区地理, 1999, 22(1): 62-68.
- [2] 郝玉光, 包耀贤, 刘明虎, 等. 干旱沙区农田防护林营建模式与经营评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(5): 199-203.
- [3] 江爱良. 华南植胶区防护林气象效能的试验考察报告(1954—1957年)[M]. 北京: 科学出版社, 1958.
- [4] Sun D, Dickinson G R. Wind effect on windbreak establishment in Northern Australia [J]. Tree Planters' Notes, 1994, 45(2): 72-75.
- [5] 范志平, 孙学凯, 王琼, 等. 农田防护林带组合方式对近地面风速作用特征的影响[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2010, 29(2): 320-323.
- [6] 郝玉光, 卢平. 乌兰布和沙区人工绿洲农田防护林小气候效益与作物产量关系的研究[J]. 林业科学研究, 1997, 10(1): 19-23.
- [7] 朱廷曜, 周广胜. 农田林网地区风速减弱规律的探讨[J]. 应用生态学报, 1993, 4(2): 136-140.
- [8] Zhang H, Brandle J R, Meyer G E, et al. The relationship between open windspeed and windspeed reduction in shelter[J]. Agrofor. Syst., 1995, 32(3): 297-311.
- [9] 李永平, 冯永忠, 杨改河. 北方旱区农田防护林防风效应研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(6): 92-98.
- [10] 宋兆民, 陈建业, 杨立文, 等. 河北省深县农田防护林防护效应的研究[J]. 林业科学, 1981, 27(1): 8-19.
- [11] 黄超. 黄河下游滩区农田林网综合气候效应场的研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2011.
- [12] 曹新孙. 农田防护林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.
- [13] 卫林, 江爱良, 张翼. 论林带有效防护距离[J]. 科学通报, 1985, 36(19): 1567-1570.
- [14] Caborn J M. Shelterbelts and Microclimate[M]. Edinburgh: Edinburgh University, 1957.

(上接第 104 页)

(4) 泥石流形成流通区清水流量在高程相差 30 m 内时降低比例就达到 28.6%, 说明樟木沟流域内充足的水源补给条件除了会对两侧松散层形成冲刷并引起崩塌之外, 更是樟木镇松散层内地下水的主要补给源, 可能对樟木滑坡群稳定性有不利影响, 需引起重视。

(5) 应尽快对樟木沟进行治理, 采用固源、稳拦、停淤等工程措施与生物措施相结合的综合方案进行治理, 确保下游樟木镇和樟木口岸的安全, 为当地人民安居乐业和经济稳定增长创造良好条件。

[参 考 文 献]

- [1] 毛成文. 西藏樟木镇福利院滑坡稳定性分析与评价[D]. 陕西 西安: 西安科技大学, 2008.
- [2] 中华人民共和国国土资源部. DZ-T0220—2006 泥石流灾害防治工程勘察规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [3] 八省一院小水电站网规划协作组. 推理过程线[J]. 水文, 1982(1): 29-32.
- [4] 谭炳炎. 泥石流沟严重程度的数量化综合评判[J]. 铁道学报, 1986, 8(2): 74-82.
- [5] 陈国玉, 王钢城, 庄树裕, 等. 模糊综合评判法在定日县泥石流危险性评价中的应用[J]. 中国水运, 2009, 9(11): 163-164.
- [6] 张丽萍, 唐克丽. 矿山泥石流成灾度模糊综合评价: 以神府东胜矿区为例[J]. 山地学报, 2002, 20(2): 212-217.