DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2024.03.001

马逸雪,刘宝元,张蒙娜,等.东北黑土区防风林带基本特性及其与风向的关系[J].水土保持学报,2024,38(3):207-215.

MA Yixue, LIU Baoyuan, ZHANG Mengna, et al. Basic characteristics of windbreak in the black soil region of Northeast China and its relationship with wind direction[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(3):207-215.

东北黑土区防风林带基本特性及其与风向的关系

马逸雪1,2,刘宝元2,3,张蒙娜1,2,董丽霞1,2,张 庚3

(1.北京师范大学地理科学学部,北京 100875;2.北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室,北京 100875; 3.北京师范大学自然科学高等研究院,广东 珠海 519087)

摘 要:[目的]为探究东北黑土区防风林带走向与主害风向的关系。[方法]利用遥感解译和野外调查,获取研究区内林带基本特征数据,结合研究区内 43 个气象站点风速风向数据,对林带走向与主害风向的交角,即风向偏角进行计算分析。[结果] 蒙东黑土亚区偏西风占比大,风向较为集中,主害风主导性强烈,松嫩黑土亚区风向较为分散,主害风主导性较弱;平均林带密度松嫩黑土亚区>蒙东黑土亚区;防风林带走向在松嫩黑土亚区占比最大的为 N-S 走向林带,蒙东黑土亚区没有明显的规律性;研究区内风向偏角
<30°占比为 29.60%,>30°占比为 70.40%,防风作用较差。[结论] 研究区内大量防风林带走向与主害风向斜交,对主害风的防护作用较差。该研究结果对于了解现有防风林带密度、走向,进一步建设和改造防风林带有重要参考价值。

关键词: 防风林带; 风力侵蚀; 林带走向; 主害风向

中图分类号: \$157.1 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242-(2024)03-0207-09

Basic Characteristics of Windbreak in the Black Soil Region of Northeast China and Its Relationship with Wind Direction

MA Yixua^{1,2}, LIU Baoyuan^{2,3}, ZHANG Mengna^{1,2}, DONG Lixia^{1,2}, ZHANG Geng³

(1.Faculty of Geographical of Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2.State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3.Advanced Institute of Natural Sciences, Beijing Normal University, Zhuhai, Guangdong 519087, China)

Abstract: [Objective] In order to explore the relationship between the windbreak direction and the prevailing wind erosion direction in the black soil region of Northeast China. [Methods] The basic characteristics of the windbreak in the study area were obtained by remote sensing interpretation and field survey, and the angle of intersection between the windbreak direction and the prevailing wind erosion direction, that is, the wind direction declination angle, was calculated and analyzed by combining the wind speed and wind direction data of 43 meteorological stations in the study area. [Results] The westerly wind in Mengdong black soil subregion accounted for a large proportion, the wind direction was more concentrated, the prevailing wind erosion direction dominance was strong, the wind direction in the Songnen black soil sub-region was scattered, and the prevailing wind erosion direction dominance was weak. Average windbreak density Songnen black soil sub-area > Mengdong black soil sub-region; The windbreak direction accounted for the largest proportion in the Songnen black soil sub-area was the N-S trend windbreak direction, and there was no obvious regularity in the Mengdong black soil sub-region. In the study area, the proportion of wind declination angle $\leq 30^{\circ}$ was 29.60%, and the proportion of wind angle $\geq 30^{\circ}$ was 70.40%, and the wind protection effect was poor. [Conclusion] The direction of a large number of windbreak in the study area is oblique to the prevailing wind erosion direction, and the protective effect is poor. The results of this study have important reference value for understanding the density and trend of existing windbreak belts, and for further construction and transformation of windbreak.

收稿日期:2023-08-28 修回日期:2023-12-01

录用日期:2024-01-03 网络

网络首发日期(www.cnki.net):2024-04-08

资助项目:国家重点研发计划项目(2021YFD1500704)

第一作者:马逸雪(1999一),女,硕士研究生,主要从事土壤侵蚀和水土保持研究。E-mail;202121051016@mail.bnu.edu.cn通信作者:刘宝元(1958一),男,教授,博士生导师,主要从事土壤侵蚀和水土保持研究。E-mail;Baoyuan@bnu.edu.cn

Keywords: windbreak; wind erosion; windbreak direction; prevailing wind erosion direction

Received: 2023-08-28 **Revised**: 2023-12-01 **Accepted**: 2024-01-03 **Online**(www.cnki,net): 2024-04-08

土壤风蚀是地表土壤颗粒在风力作用下发生分离 和搬运的过程,是产生风沙危害的首要环节[1]。东北 黑土有机质含量高,土壤肥沃,是我国宝贵的农业资 源,但由于黑土区春冬季大风频发、地表覆盖度低、土 质疏松,所以风蚀严重,风蚀导致农业土壤退化[2]。相 关资料显示,受风蚀影响的黑土地面积约占总面积的 11.1%,严重威胁当地的农业发展及生态环境,制约区 域经济发展。防风林带可通过降低风速,减轻土壤风 蚀。林带前后的气流变化取决于林带结构[3],董莉莉 等[4]认为,林带结构直接影响其防护效益,而林带结构 受制于树种组成、树木空间搭配方式、单条林带走向、 林网带间距离及防护林体系的空间配置形式。以往研 究[5-6]认为,单条林带走向与风向垂直时防护效果最 好,风向偏角>30°后防护作用明显减弱;但宋兆民[7] 通过对窄林带、小网格护田林网的防护效益进行实际 观测和推导表明,当长方形林网与风向的风向偏角< 45°时,防护效能都比较显著。

东北防护林是"三北"防护林体系中的重要组成部分,目前,对于东北地区防护林与土壤侵蚀间的研究主要集中在农田防护林对水蚀和沟蚀的影响[8-10]及内蒙古干旱、半干旱地区防风林带对土壤风蚀、风沙活动的生态经济效益[11-14],对于防风林带分布的研究较少,且鲜有关于已布设林带与风向关系的研究。鉴于此,本研究拟分析研究区内风向及已布设林带的分布特征,探究防风林带走向与主害风向的关系,讨论林带布设的实际情况在减轻风蚀中的作用,为后期防护林体系建设与改造提供较好的科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

以黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古自治区东部五盟市(呼伦贝尔市、通辽市、赤峰市、兴安盟、锡林郭勒盟)的黑土区(113°13′16″-127°48′23″E,43°11′18″-51°24′05″N)为研究对象,研究区属温带大陆性季风气候,近60年(1951—2007)年平均气温4.39℃,年平均降水量531.4 mm。降水主要集中在6-9月,由东南向西北逐渐减少,夏季温暖湿润,冬季严寒干燥。研究区三面环山,西部为大兴安岭,北部为小兴安岭,东部为长白山地,中部为松嫩平原和辽河平原组成的松辽平原,地势整体呈现出中间低三面高的特点。刘宝元等『15』采用"中心引力集聚法"将黑土、黑钙土、栗钙土和灰色森林土的集中分布区称为东北黑土区,将黑土和黑钙土的集中分布区称为东北典型黑土区,东北黑土区内按地理位置从西到东分为蒙东黑土亚区、松嫩

黑土亚区和三江黑土亚区3个亚区。选取蒙东黑土亚区和松嫩黑土亚区进行研究,由于三江黑土区较为湿润,不包括在研究范围内。为描述方便,将松嫩黑土亚区分为松嫩黑土区和松嫩黑钙土区,将蒙东黑土亚区分为蒙东黑钙土区和蒙东栗钙土区(图1)。

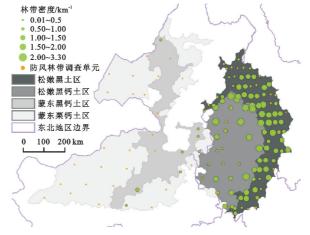


图 1 研究区及气象站点分布

Fig. 1 Study area and meteorological stations

1.2 起沙风玫瑰图

风速风向是研究防风林带走向布设的重要依据 和参考,原始数据来源于地理遥感生态网(http:// www.gisrs.cn/)的中国气象要素站点观测逐日数据 集,选取研究区内43个气象站点的逐日风数据(图 1),观测时段为1998年1月1日至2017年12月31 日,风杯高度为 10 m。风速是导致土壤风力侵蚀的 重要驱动因素,当风速达到起沙风速后,地表沙粒开 始移动,产生风沙运动。不同土壤质地、耕作措施、土 壤湿度都导致起沙风速的变化[16]。涉及研究区较 广,根据吴正[17]的相关研究,当风速>5 m/s 时,大 部分沙子可被起动,将5 m/s 作为起沙风速,统计观 测资料连续性较好的 1998-2017 年逐日起沙风频率 及其在 N、NNE、NE、ENE、E、ESE、SE、SSE、S、SSW、 SW、WSW、W、WNW、NW 和 NNW 16 个方位的分布 情况[18],每个方位起沙风速以2 m/s 为间隔进行分段 统计,根据以上数据利用 origin 2023 软件绘制起沙风 玫瑰图。通过每个气象站的起沙风玫瑰图,计算出起 沙风频率最高的风向作为主害风向。

1.3 防风林带调查

1.3.1 调查单元布设 基于研究内容和研究区的实际情况,采用系统网格法进行样点布设,然后以样点为中心建立 5 km×5 km 的矩形作为防风林带调查单元,考虑到地形因素,松嫩黑土区以步长为 24′建立经纬网格,以网格交叉点落在研究区作为防风林带调查单元,共 75

个。松嫩黑钙土区经线以步长 54′,纬线以步长 36′建立 经纬网格,共布设防风林带调查单元 30 个。蒙东黑钙 土区和蒙东栗钙土区均沿经线方向 01°36′,纬线方向 01°36′为步长建立经纬线网格,蒙东黑土亚区布设 35 个调查单元,总计 140 个防风林带调查单元。

1.3.2 遙感解译 所研究的防风林带是在遥感影像 上能清晰地反映出来分布于耕地及道路两侧的农田 防护林及护路林,此种林带呈明显线状,长宽比大于 10:1,与周围地物有明显分界线,较易识别。所用防 风林带分布数据以谷歌卫星影像为基础数据源,分辨率为 30 m,在 arcmap 10.2 软件的支持下,对 140 个矩形调查单元内的防风林带进行人工目视解译(图2),解译完成后计算林带走向长度及密度,形成防风林带空间分布数据。

林带走向以林带方位角,即林带与子午线的交角表示,参考风向划分原则,将防风林带走向划分为8个类别,分别为N-S、NNE-SSE、NE-SW、ENE-WSW、E-W、ESE-WNW、SE-NW、SSE-NNW。





图 2 调查单元防风林带解译示意

Fig. 2 Schematic diagram of windbreak interpretation in investigation unit

1.3.3 野外调查 为使遥感解译结果更具有科学性,选取总布设样点的 1/4 进行野外调查,由于黑钙土区、蒙东栗钙土区和蒙东黑钙土区点位稀疏,适当采取加密方式增加野外调查点的数量,共计 55 个野外调查点。

野外调查于 2022 年 7-10 月开展,主要对调查单元内 2~3 km² 小流域内的防风林带走向、树种、林带宽度、树高度、行距、株距、胸径和林下盖度进行野外调查。林带走向利用罗盘测量和遥感解译结果进行对比较准,树高采用激光测距仪测量得到。胸径、行距、株距、林带宽度利用卷尺进行测量,其中,胸径测量选取6~7 棵树测量并计算平均值;行距、株距每隔 10 m 重复测 1 组数据,共 3 组数据,并计算平均值。

1.4 风向偏角计算

风向和同侧林带垂线的夹角称为风向偏角,随风向偏角增大,林带防护距离减小。各调查单元的主害风向首先根据邻近原则,选取最近气象站对应主害风向,由于风向受地理位置和地形的影响发生改变,结合地形数据进行进一步划分,使得调查单元与邻近气象站地形条件大致相同。然后计算每个调查单元内林带走向与主害风向的交角,即风向偏角,并划分为

 $0\sim15^{\circ},15^{\circ}\sim30^{\circ},30^{\circ}\sim45^{\circ},45^{\circ}\sim60^{\circ},60^{\circ}\sim75^{\circ},75^{\circ}\sim90^{\circ}$ 6个等级进行分段统计。

2 结果与分析

2.1 防风林带基本特征

根据调查数据可知,防风林带树种以杨树和松树为主,杨树树种占 88.3%。平均树高为 11.2 m,防风林带宽度平均为 12.4 m,大部分为窄林带($2\sim4$ 行),行距为 2.1 m,株距为 2.3 m,胸径为 0.13 m,防风林带内林下盖度较好,为 0.81。

防风林带密度在空间上存在明显差异(图 3),在 140个调查单元中,共 114个调查单元存在防风林 带,主要分布在松嫩黑土区和松嫩黑钙土区,26个调查单元内无防风林带存在,主要分布在蒙东黑钙土区 和蒙东栗钙土区。不同黑土区林带密度空间分布不 同,松嫩黑土区林带密度从东向西逐渐增大,中部地 区林带密度大于边缘部分。松嫩黑钙土区防风林带 密度东部大于西部,越趋向内蒙地区林带密度越小, 林带密度较大的调查单元主要集中于松嫩黑土区与 黑钙土区交界处。蒙东黑土亚区防风林带较少,主要 集中在南部及靠近松嫩黑钙土区的东部地区。蒙东 栗钙土区防风林带最少,只有南部少量调查单元内存 在防风林带。通过统计各区内林带平均密度得知,松 嫩黑钙土区的平均林带密度(1.28 km/km²)>松嫩 黑土区(1.00 km/km²)>蒙东黑钙土区(0.13 km/km²)>蒙东栗钙土区(0.04 km/km²)。

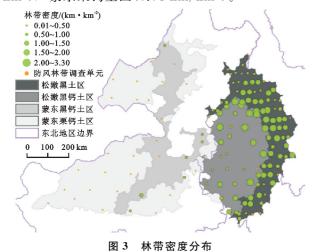


Fig. 3 Density distribution of windbreak

2.2 东北黑土区风向特征

通过分析典型气象站起沙风玫瑰图(图 4)可知, 松嫩黑土区和松嫩黑钙土区起沙风频率有相似的变化 趋势,中南部以北地区,主害风向的起沙风占该地区总 起沙风频率的10%以下,中南部地区主害风向的起沙 风频率则大多占10%以上。主害风向频率体现风向的 复杂程度,从南向北主害风向频率减小,则风向趋于复 杂。蒙东黑钙土区和蒙东栗钙土区的主害风向起沙风 频率除北部个别站点外,大部分>10%。在气象学中, 主导风向指风频最大的风向角的范围,当用16方位角 表示风向时,累加出现频数最多且风频之和≥30%的, 连续 2~3 个风向角的范围。在蒙东栗钙土区的西乌 珠穆沁气象站主害风向风频出现 21.43%的高值,在此 站点,主害风向呈单一主导风向(WSW)。而主害风向 频率较低的地区主导风向呈现多风向特点,较为复杂。 随着风速增大,各等级风速出现频率逐渐减小,内蒙古 地区>11 m/s 的风速频率明显大于东北三省地区,说 明蒙东黑钙土区和蒙东栗钙土区与松嫩黑土区及松嫩 黑钙土区相比,大风天气较多。

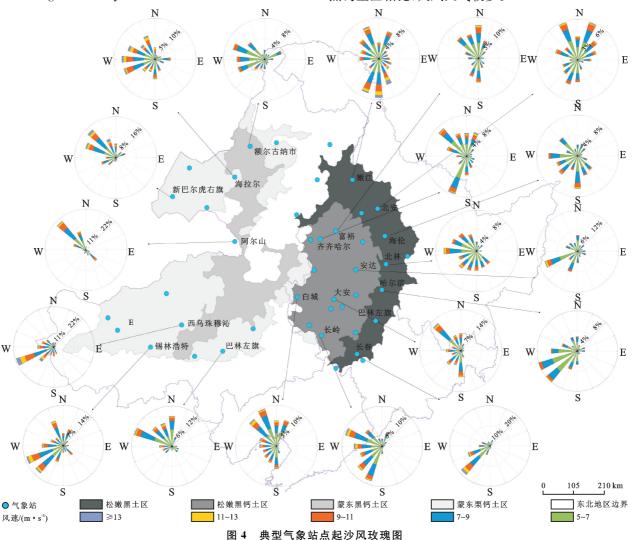


Fig. 4 Sand—driving wind roses chart of typical meteorological stations

风向能够决定风沙运动的方向,年风向区域差异反映风向在空间上的变化规律^[19]。由图 5 可知,主 害风向既有东西差异也有南北不同。在蒙东黑钙土 区及蒙东栗钙土区的北部,主害风向多为西北风及偏 西风(W、WNW),南部主害风向多为偏西风(W、WSW、WNW)。松嫩黑土区和松嫩黑钙土区较为复杂。中部以西风为主,西南以西北风为主,东南以西南风为主,西北以西风和西北风为主,东北存在多种风向,既有西北风,也有东北风和南风。

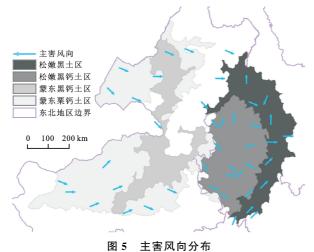


Fig. 5 The distribution of prevailing wind erosion direction 2.3 防风林带的走向

林带走向是防护林体系设计时的重要配置参数,不同黑土区林带走向也有所不同。由表1可知,松嫩黑土区南北走向林带较多(32.14%),东北、东南向林带较少,松嫩黑钙土区林带走向以南北为主(27.56%),偏东北走向林带较少,在蒙东黑钙土区没有解译出NNE-SSW走向的林带,西北和东北走向林带较多,在蒙东栗钙土区东北和南北走向林带较多。松嫩黑钙土区与松嫩黑土区林带走向具有较高的相似性,均以N-S、ENE-WSW、E-W走向为主,蒙东黑钙土区和蒙东栗钙土区的防风林带走向相较其他黑土区具有差异性。

表 1 不同黑土区林带走向占比

Table 1 The proportion of windbreak direction in different black soil areas %

林带走向	松嫩	松嫩	蒙东	蒙东	
你市走門	黑土区 黑钙土区		黑钙土区	栗钙土区	
N-S	32.14	27.56	14.13	17.57	
NNE-SSW	6.58	4.08	0	10.81	
NE-SW	7.00	8.11	23.91	21.62	
ENE-WSW	14.69	16.30	9.78	13.51	
E-W	16.23	13.87	6.52	14.86	
ESE-WNW	4.74	5.94	4.35	6.76	
SE-NW	6.28	12.98	33.70	8.11	
SSE-NNW	12.34	11.17	7.61	6.76	

林带走向按照主害风向的划分原则,根据调查单元对应的气象站进行统计分析(图 6)。有 33 个气象站所包含的调查单元内有林带,另外 10 个气象站对应的调查单元内无林带,主要集中在蒙东栗钙土区。在 33 个气象站中,N-S 走向林带占比最大,为 54.5%,主要分布在松嫩黑土区的北部和中部地区以及松嫩黑钙土区的北部和中南部地区。E-W 走向林带主要集中在松嫩黑土区和松嫩黑钙土区北部地区;而在中南部地区,偏东北走向(NE-SW、ENE-WSW)的林带占比较大。蒙东黑钙土区和蒙东栗钙土区由于林带分布较少,林带走向在空间分布上没有明显的规律性。

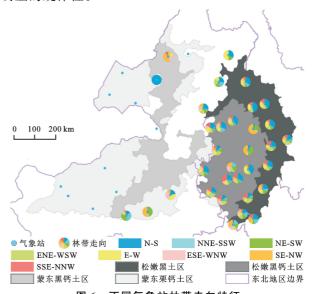


图 6 不同气象站林带走向特征

Fig. 6 Characteristics of windbreak direction at different meteorological stations

2.4 林带走向与主害风向的关系

合理的林带或林网走向配置应依据该区的主害 风向,只要林带走向配置使得主害风向的风得到控 制,即可减轻土壤风蚀。一般认为,单条林带走向与 风向垂直时防护效果最佳,随着风向偏角增大,防护 效应逐渐降低,风向偏角>30°后防护效应明显减 弱[20]。当风通过林带时,若风向偏角<90°,相当于 林带宽度增大,林带疏透度改变,所以,防护距离随之 发生变化。整个研究区内 0~15°的风向偏角占比为 14.92%, $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$, $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$, $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$, $60^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 和 75°~90°分别为 14.67%,20.12%,17.95%,15.54%, 16.79%。不同黑土区风向偏角占比不同(表 2),松嫩 黑土区和松嫩黑钙土区风向偏角分布较为均匀,都是 30°~45°风向偏角占比最大,分别为 20.33%和 19.73%;蒙东黑钙土区风向偏角大多集中在 30°~ 60°,占比为51.09%;蒙东栗钙土区风向偏角主要集 中在 0°~45°,占比为 66.22%。各黑土区防风林带对 主害风向的防护作用均不显著, > 30°的风向偏角占 多数。

表 2 不同黑土区风向偏角

Table 2 Wind declination angle in different black soil areas

6

风向偏角/(°)	松嫩	松嫩	蒙东黑钙	蒙东栗钙	
	黑土区	黑钙土区	土区	土区	
0~15	16.63	11.92	3.26	28.38	
$15 \sim 30$	12.44	18.57	14.13	17.57	
$30 \sim 45$	20.33	19.73	20.65	20.27	
$45 \sim 60$	18.54	16.67	30.43	9.46	
$60 \sim 75$	13.76	18.93	14.13	10.81	
$75 \sim 90$	18.29	14.18	17.39	13.51	

根据调查单元对应的气象站进行风向偏角统计(图 7),风向偏角<30°的调查单元主要位于松嫩黑土区与松嫩黑钙土区交界处及松嫩黑钙土区中部地区,即黑龙江省和吉林省的平原区,该地区地势平坦,耕地广布,防风林带建设成体系化,林带防风作用较好。松嫩黑土区东部多为漫岗及山地,风向偏角大多>45°,林带对主害风向防护作用较弱。在内蒙古地区风向偏角<30°占比很少,防风林带数量较少,防护作用不显著。选择3个典型调查单元进一步分析其林带走向与主害风向间的关系。

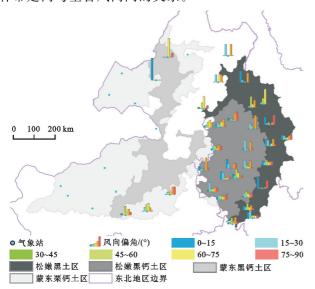


图 7 不同气象站风向偏角

Fig. 7 Wind declination angle at different meteorological stations

由表 3、图 8 可知,风向偏角呈大中小的 3 个调查

单元内主害风分别为南风(S)、北东北风(NNE)和西风(W),林带走向占比最大分别为N-S走向(65%)、N-S走向(37.31%)、SSE-NNW走向(32.14%)。通过表3的风向偏角统计可得出,风向偏角<30°的占比分别为22.50%,11.95%,53.57%,风向偏角大的调查单元内对主害风起明显阻拦作用的林带占比较小,主要是与主害风向平行的林带(67.50%),呈条状分布,对主害风的防护作用较差。风向偏角中等的调查单元内,大部分防风林带与主害风向斜交,风向偏角主要集中在30°~60°(77.61%),对主害风的防护作用不显著。风向偏角小的调查单元内林带对主害风的防护作用较好,呈网格状分布趋势,能够减轻主害风造成的土壤风蚀。但仍存在21.43%的林带与主害风向平行,需要修改其走向配置。

3 讨论

本研究中,内蒙古地区风速整体大于东北三省地区,主导风向较为集中,而东北三省主导风向较为分散,呈现组合风特征。从区域来看,北部各站主害风向频率小于南部各站点,东部站的主害风向频率略小于西部各站点。YANG等[21]关于东北黑土区盛行风向的研究结果表明,盛行风蚀方向在东北平原地区,沿大兴安岭、长白山和小兴安岭边缘形成盛行风环流。在内蒙古高原上,盛行风蚀方向由西向东逐渐由西向西南和西北变化。且东北平原地区盛行风蚀方向主导地位较弱,风向分布在各个方向。本研究发现类似现象,首先,东部松嫩黑土亚区和蒙东黑土亚区差异较大;其次,蒙东黑土亚区南北不同,而松嫩黑土亚区又可以细分为5个不同的区域。本文利用逐日风况数据初步分析研究区的风玫瑰图,有待使用更精确的逐时数据进行进一步研究。

东北平原地区防风林带密度较大,主要集中在松嫩黑土区和松嫩黑钙土区,即黑龙江省和吉林省。松嫩黑土区防风林带密度由西向东逐渐减小。内蒙古东部主要为风沙草原区,林带密度较低。郑晓等[22]通过多尺度遥感影像获取三北地区农田防护林林带长度表明,黑龙江省的林带长度〉吉林省的林带长度〉内蒙古的林带长度,与本研究所反映的林带密度特征相符合。

表 3 风向偏角呈大中小的 3 个典型调查单元

Table 3 Three typical investigation units of wind direction deflection angle

%

调查单元	主害风向/(°)	$0\sim15^{\circ}$	$15^{\circ}\sim30^{\circ}$	$30^{\circ} \sim 45^{\circ}$	$45^{\circ} \sim 60^{\circ}$	$60^{\circ} \sim 75^{\circ}$	75°~90°
风向偏角大	180.00	20.00	2.50	0	2.50	7.50	67.50
风向偏角中	22.50	2.99	8.96	22.39	55.22	1.49	8.96
风向偏角小	225.00	33.93	19.64	14.29	0	10.71	21.43

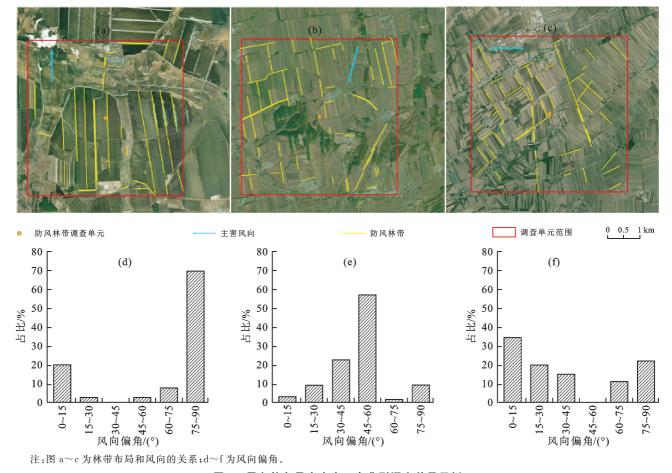


图 8 风向偏角呈大中小 3 个典型调查单元示例

Fig. 8 Three typical investigation units of wind direction deflection angle

风向和林带走向布设对于地区风沙活动的形成 起重要作用。朱教君等[20]指出,当风向偏角>30° 时,单条林带防护效果随偏角增大而明显降低;宋兆 民等[23] 研究得出,方形林网与风向呈 45°交角时,防 护效率和林网与风向垂直时均显著。本研究发现,研 究区内防护林网络化程度不高,由于东北平原农田防 护林早在20世纪50年代就开始建设,一些防护林已 经有半个世纪的历史,所以,林带存在残缺或更新,再 加上东北地区经济发展和人口结构等因素,一部分防 护林在达到完全保护期之前就已经被砍伐并用于经 济目的,从而导致林网布设计划没有得到有效的执 行,产生三北防护林网络化的不完整[24]。结合实际 解译结果,本研究按照单条林带计算其走向与主害风 向的交角,分析其对于主害风向的防护作用。黑龙江 及吉林平原地区风向偏角<30°占比较大,漫川漫岗 地区、山地地区及内蒙古地区风向偏角较大。整个研 究区内<30°的风向偏角占比为29.59%,大部分防风 林带与主害风向斜交,主要集中在 30°~60° (38.07%),有16.79%的防风林带基本与主害风向平 行,未能抑制风沙灾害。本研究的区域尺度较大,对 于精细化小尺度的林带特征及风况的研究有待进一

步的深入。

蒙东黑土区和非典型黑土区风速大、主害风向集中,但防风林带建设少,且防护作用较差,需进行科学布设。松嫩黑土区和松嫩黑钙土区风况较复杂,主害风向较为分散,主导风向可能由2~3个风向组成,防风林带布设仅针对单一风向防护具有局限性,后期可考虑计算权重因子综合评判当地主害风情况,为林带布设提供更科学的依据。林带走向不是决定防护作用的唯一因素,林带疏透度、树木配置、带间距离等都影响防护距离及防护效应,在将来的研究中,还需加强不同区域主害风作用下的林带综合性研究,以期评估防风林带建设工作,为当地林带布设和改造提供意见和建议。

4 结论

(1)蒙东黑土亚区偏西风占比大,风向较为集中, 主害风主导性强烈;松嫩黑土亚区由于东部和北部山脉影响,偏西风发生变化,产生偏南风和偏北风,风向 较为分散,主害风主导性较弱。所以,蒙东黑土亚区 防风林带布设时应重点考虑主害风向。

(2)在松嫩黑土区和松嫩黑钙土区交界的平原区

林带密度较大,从交界处向两边密度逐渐减小,松嫩黑钙土区的平均林带密度(1.28 km/km²)>松嫩黑土区(1.00 km/km²)>蒙东黑钙土区(0.13 km/km²)>蒙东栗钙土黑土区(0.04 km/km²)。但松嫩黑土区风力侵蚀相对较轻,个别地区可能存在林带冗余现象,需进行更新及科学规划,蒙东黑土亚区主害风强烈但林带密度小,应加强防风林带建设。

- (3)松嫩黑土区与松嫩黑钙土区防风林带走向具有较高的相似性,N-S、E-W和ENE-WSW走向占比较大,N-S走向防风林带占比最大。蒙东黑钙土区SE-NW走向林带占比最大,为33.70%,蒙东栗钙土区NE-SW走向林带占比最大,为21.62%,2个黑土区林带走向在空间分布上无明显的规律性。
- (4)松嫩黑土区和松嫩黑钙土区风向偏角在各分段等级分布较为均匀, < 30°风向偏角占比为29.79%。蒙东黑钙土区 < 30°的风向偏角占比为17.39%,蒙东栗钙土区 < 30°的风向偏角占比为45.95%。研究区内风向偏角<30°占比为29.60%,大部分防风林带走向与主害风向斜交,防风林带对主害风的防护作用较差,对减轻土壤风蚀帮助有限,需要在更新和新建中特别注意。

参考文献:

- [1] 董治宝,董光荣,陈广庭.风沙物理学研究进展与展望 [J].大自然探索,1995(3):30-38.
 - DONG Z B, DONG G R, CHEN G T. Research progress and prospect of aeolian sand physics[J]. Exploration of Nature, 1995(3):30-38.
- [2] 林艺,李和平,肖波.东北黑土区农田土壤风蚀的影响因素及其数量关系[J]. 水土保持学报,2017,31(4):44-50. LIN Y, LI H P, XIAO B. Influencing factors of wind erosion and their quantitative relationships with erosion rate in black soil area of Northeast China[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2017,31(4):44-50.
- [3] VAN THUYET D, VAN DO T, SATO T, et al. Effects of species and shelterbelt structure on wind speed reduction in shelter [J]. Agroforestry Systems, 2014,88(2):237-244.
- [4] 董莉莉,于雷,韩素梅.我国农田防护林研究进展[J].西南林业大学学报,2011,31(4):89-93.

 DONG L L, YU L, HAN S M. Research progress in farmland shelterbelt planting in China [J]. Journal of Southwest Forestry University,2011,31(4):89-93.
- [5] HEISLER G M, DEWALLE D R. Effects of windbreak structure on wind flow[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1988, 22/23;41-69.
- [6] 曹新孙.农田防护林学[M].北京:中国林业出版社,1983.

- CAO X S. Farmland shelterbelt science [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1983.
- [7] 宋兆民.我国防护林体系的发展与研究[J].防护林科技, 1998(4):20-23.
 - SONG Z M. Development and research of shelterbelt system in China[J]. Protection Forest Science and Technology, 1998(4):20-23.
- [8] WANG W J, DENG R X, HAO L J. Relationship between farmland shelterbelt and gully erosion in the black soil region of Northeast China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2017, 15(6):44-51.
- [9] 伍佐,苏正安,王勇,等.农田防护林对耕地土壤侵蚀速率和空间分布格局的影响[J].草业科学,2020,37(7): 1218-1226.
 - WU Z, SU Z A, WANG Y, et al. Effects of shelter forest on rates and spatial patterns of soil erosion in a cultivated land[J]. Pratacultural Science, 2020, 37(7): 1218-1226.
- [10] 方海燕,吴丹瑞.黑土区农田防护林带对小流域土壤侵蚀和泥沙沉积的影响[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2018,46(1):104-110.
 - FANG H Y, WU D R. Impact of agricultural shelterbelt on soil erosion and sediment deposition at catchment scale in the black soil region, northeastern China[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2018, 46(1):104-110.
- [11] 向开馥.东北西部内蒙古东部防护林体系效益研究进展 [J].防护林科技,1998(4):24-27.
 - XIANG K Y. Research progress on the benefits of shelterbelt system in western Northeast China and eastern Inner Mongolia[J]. Protection Forest Science and Technology, 1998(4):24-27.
- [12] 封斌,高保山,麻保林,等.陕北榆林风沙区农田防护林结构配置与效益研究[J].西北林学院学报,2005,20(1): 118-124.
 - FENG B, GAO B S, MA B L, et al. Shelter structure and effect of farmland shelterbelt in sand-drift area in Yulin [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005,20(1):118-124.
- [13] 李朝晖,俞冬兴,曹志伟,等.黑龙江省半干旱区防护林内主要气象因子观测初报[J].防护林科技,2012(6):27-29. LIZH, YUDX, CAOZW, et al. Main meteorological factors in shelterbelt of semiarid area in Heilongjiang Province[J]. Protection Forest Science and Technology, 2012(6):27-29.
- [14] WANG X M, ZHANG C X, HASI E, et al. Has the Three Norths Forest Shelterbelt Program solved the desertification and dust storm problems in arid and semiar-

- id China? [J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74 (1):13-22.
- [15] 刘宝元,张甘霖,谢云,等.东北黑土区和东北典型黑土区的范围与划界[J].科学通报,2021,66(1):96-106.

 LIU B Y, ZHANG G L, XIE Y, et al. Delineating the black soil region and typical black soil region of northeastern China[J].Chinese Science Bulletin,2021,66(1):96-106.
- [16] GILLETTE D A. Threshold friction velocities for dust production for agricultural soils[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1988, 93 (D10): 12645-12662.
- [17] 吴正.风沙地貌与治沙工程学[M].北京:科学出版社,2003. WU Z. Windblown sand landform and sand control engineering[M].Beijing:Science Press,2003.
- [18] 庞营军,吴波,贾晓红,等.毛乌素沙地风况及输沙势特征[J].中国沙漠,2019,39(1):62-67.
 PANG Y J, WU B, JIA X H, et al. Characteristics of wind regime and drift potential in Mu Us sandy land[J].
 Journal of Desert Research,2019,39(1):62-67.
- [19] 田敏,钱广强,杨转玲,等.柴达木盆地东北部哈勒腾河流域风况特征及其对风沙地貌发育的影响[J].中国沙漠,2021,41(1):1-9.
 TIAN M, QIAN G Q, YANG Z L, et al. Characteris
 - tics of wind regime and its influences on the development of aeolian landforms in the Haertenghe Reach, northeastern Qaidam Basin, China[J]. Journal of Desert

(上接第 206 页)

- [25] 中华人民共和国中央人民政府.国家发展改革委关于印发《关中平原城市群建设"十四五"实施方案》的通知:发改规划〔2022〕979 号[A/OL].[2022-06-24].ht-tps://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-07/22/content_5702171.htm.
 - Central People's Government of The People's Republic of China. Circular of the national development and reform commission on the issuance of the "14th Five-Year Plan" for the construction of the Guanzhong plain city cluster: Development and Reform Planning [2022] No 979 [A/OL].[2022-06-24]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-07/22/content_5702171.htm.
- [26] 林彤,杨木壮,吴大放,等.基于 InVEST-PLUS 模型的 广东省碳储量空间关联性及预测[J].中国环境科学, 2022,42(10):4827-4839.

- Research, 2021,41(1):1-9.
- [20] 朱教君,姜凤岐,范志平,等.林带空间配置与布局优化研究[J].应用生态学报,2003,14(8):1205-1212.
 ZHU J J, JIANG F Q, FAN Z P, et al. Optimization of spatial arrangements and patterns for shelterbelts or windbreaks[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003,14(8):1205-1212.
- [21] YANG D L, LIU W, WANG J P, et al. Wind erosion forces and wind direction distribution for assessing the efficiency of shelterbelts in Northern China[J]. Aeolian Research, 2018, 33:44-52.
- [22] 郑晓,朱教君,闫妍.三北地区农田防护林面积的多尺度 遥感估算[J].生态学杂志,2013,32(5):1355-1363. ZHENG X, ZHU J J, YAN Y. Estimation of farmland shelterbelt area in the Three-North Shelter/Protective Forest Program regions of China based on multi-scale remote sensing data[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013,32(5):1355-1363.
- [23] 宋兆民,陈建业,杨立文,等.河北省深县农田林网防护效应的研究[J].林业科学,1981,17(1):8-19.
 SONG Z M, CHEN J Y, YANG L W, et al. Studies on the effects of farmland shelterbelt network in Shenxian county of Hebei province [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1981,17(1):8-19.
- [24] ZHAO Y S. Study on specifications of farmland shelterbelt net in Northeastern Plain of China[J]. Journal of Forestry Research, 2002, 13(4):289-293.
 - LIN T, YANG MZ, WU DF, et al. Spatial correlation and prediction of land use carbon storage in Guangdong province based on InVEST-PLUS model [J]. China Environmental Science, 2022, 42(10); 4827-4839.
- [27] PIYATHILAKE I D U H, UDAYAKUMARA E P N, RANAWEERA L V, et al. Modeling predictive assessment of carbon storage using InVEST model in Uva province, Sri Lanka[J]. Modeling Earth Systems and Environment, 2022, 8(2);2213-2223.
- [28] 邓喆,丁文广,蒲晓婷,等.基于 InVEST 模型的祁连山国家公园碳储量时空分布研究[J].水土保持通报,2022,42(3):324-334.
 - DENG J, DING W G, PU X T, et al. Spatial-temporal distribution of carbon storage in Qilian mountain national park based on InVEST model[J].Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3):324-334.