

## 柠条林防风阻沙效益模拟研究初报

高 函<sup>1</sup> 张宇清<sup>1,2</sup> 吴 斌<sup>1,2</sup> 丁国栋<sup>1,2</sup>

(1 北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室 2 宁夏盐池荒漠生态系统定位研究站)

摘要:采用人工插植的方法,模拟了3种不同配置的柠条灌木矮林,对其剖面风场以及输沙率进行了观测。结果表明:1行配置防风效能较低,2行和3行配置防风效能较高;且随着风速的增大,3种配置的防风效能存在不同趋势,1行矮林维持在10%以下,2行矮林呈现先增大后减小的单峰趋势,3行矮林稳定在较高水平。从输沙率来看,2行和3行配置也优于1行;1行矮林在其背风面 $7h$ ( $h$ 为树高)内都能减少风蚀,而2行和3行矮林在其背风面 $10h$ 处都能有效减少输沙率,防控风蚀。灌木矮林能有效增加粗糙度,在林带后的粗糙度呈递减趋势。

关键词:柠条林;模拟试验;防风效能;输沙率;粗糙度

中图分类号:S793.3 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2010)04-0175-06

GAO Han<sup>1</sup>; ZHANG Yu-qing<sup>1,2</sup>; WU Bin<sup>1,2</sup>; DING Guo-dong<sup>1,2</sup>. **Simulating efficiency of wind-speed reduction and sand-break of *Caragana korshinskii* coppice.** *Journal of Beijing Forestry University* (2010) 32(4) 175-180 [Ch, 23 ref.]

1 School of Soil and Water Conservation, Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 Yanchi Desert Ecosystem Research Station of Ningxia, 751500, P. R. China.

Using a method of insert planting, we investigated the wind fields and sand discharge rates of three arrangements of belt scheme *Caragana korshinskii* coppice. The results show that the efficiency of wind-speed reduction of a single belt scheme is low, while that of double and triple belts is high. With an increase in wind speed, the arrangement of three belt schemes had different effects on wind-speed reduction. The efficiency of wind-speed reduction by a single belt remained below 10%; the efficiency of double belts increased at first, and then decreased, while that of the triple belts remained a high level. The sand discharge rate of a single belt was higher than that of double and triple belts. A single belt could decrease the sand discharge rate at a distance of  $7h$  to leeward, while double and triple belts at a distance of  $10h$ . *C. korshinskii* coppice increased the roughness, which declined behind the belts with an increase in the distance to leeward.

**Key words** *Caragana korshinskii* coppice; simulated experiment; efficiency of wind-speed reduction; sand discharge rate; roughness

防护林是为了防止自然灾害,改善气候、土壤、水文条件,创造有利于农作物和牲畜生长发育的环境,以保证农牧业稳产高产,并对人们生活提供多种效用的人工林生态系统<sup>[1-2]</sup>。防风林体系是由灌木或乔木林带组成的带、片、网,作用是降低风速、防治风蚀,以达到增加作物产量和增加土壤水分利用率

的目的,并且能够减少在土壤中的化肥和农药的迁移,改善人居环境,在某些雪害严重的地区,它还能减少道路积雪,保障交通安全<sup>[3-5]</sup>。当风吹向防风林时,一部分从林木穿过,而另一部分在迎风面就被抬升,防风林能有效改变空气的流线<sup>[6]</sup>。防护林有效防护区通常用防护林高度( $h$ )的倍数来表示,在

收稿日期:2009-05-18

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD26B03)。

第一作者:高函,博士生。主要研究方向:复合农林学、水土保持与荒漠化防治。电话:13811487729 Email: trees.g@126.com 地址:100083 北京市清华东路35号北京林业大学水土保持学院。

责任作者:吴斌,教授,博士生导师。主要研究方向:林业生态工程、水土保持与荒漠化防治。电话:010-62337608 Email: wubin@bjfu.edu.cn 地址:同上。

本刊网址: <http://www.bjfujournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

迎风面降低风速的距离为  $2h \sim 5h$ , 在背风面降低风速的距离能达到  $30h$ , 最大防护区一般在  $2h \sim 15h$  [7-8]。防风林的防护效果与很多因素有关, 比如像林带的高度、宽度、长度、疏透系数、盖度等。其中防风林通风结构对防风效能影响巨大 [9], 而疏透系数的变化主要决定于物种组成和防护林宽度 [10-13]。

前苏联学者对防护林做过比较系统的研究, 自 20 世纪 80 年代以来, 我国学者也对农田的乔木防护林进行了大量研究 [14-17]。但是在我国北方沙区, 由于水分条件的限制, 不适合大面积营造耗水量较大的乔木防护林, 而灌木防风林具有耗水相对较少的优点, 为了保障沙区人居环境以及沙区农田草场风蚀防控, 有必要对灌木防风林进行深入研究。其中柠条 (*Caragana korshinskii*) 是我国重要的固沙灌木造林种, 被广泛用于干旱、半干旱区人工沙地植被的重建中 [18]。柠条具有生物产量高、饲用价值好、适应性强等优点, 在各地水土保持、防风固沙和放牧补饲方面起着较大的促进作用 [19]。以往研究表明, 行带式灌木防护林的防护效益优于等行距配置林带及随机配置 [20-21], 但具体的配置模式是生产实际中需要解决的问题。本文针对这一问题设计了模拟试验, 以期为沙区灌木防护林防护体系构建提供依据。

## 1 研究区概况

试验选在宁夏盐池荒漠生态系统研究定位站进行, 试验点坐标  $37^{\circ}42'07''N$ ,  $107^{\circ}14'36''E$ 。盐池北部风沙区地处我国大陆腹地, 位于毛乌素沙地西南缘, 处于鄂尔多斯台地向黄土高原的过渡地带。该区地貌类型复杂, 地形起伏较大, 土地类型以滩地、平地、缓坡地、丘陵地、沙丘地为主。该地区由于远离海洋, 气候干燥, 降水量少, 多年平均降水量  $296.5 \text{ mm}$ , 年际变化幅度高达 30% 以上, 且降水多分布在 7—9 月份, 占全年降水量的 65% 以上, 蒸发量为降水量的 5~7 倍, 无霜期 124 d 左右,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的有效积温  $2945^{\circ}\text{C}$  左右, 年日照时数为  $2867.3 \text{ h}$ , 全年太阳辐射总量为  $140 \text{ kJ}/\text{cm}^2$ 。盐池地区最主要气候特点是风多而大, 常出现沙尘暴, 最大风力可达 11 级, 多集中在 11 月和翌年 4 月, 主要风向为西北风, 最常见风速为  $8 \sim 9 \text{ m/s}$ , 沙粒起动风速为  $4.85 \text{ m/s}$ 。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验地选择及试验材料

模拟试验于 2007 年 4 月在宁夏盐池荒漠生态系统研究定位站进行, 1 行配置在 4 月 19 日进行, 2 行配置在 4 月 25 日, 3 行配置在 4 月 30 日, 观测时

段均为 24 h。在定位站选取地形平坦开阔的流沙地作为试验场。试验采用材料为平茬后的新鲜柠枝条, 利用人工插植的方法模拟柠条灌木矮林, 插植的每个单株柠条呈丛状, 通过与自然生柠条林疏透度的对比保证模拟的相似性。其中多行配置行与行间灌木个体呈“品”字型配置。模拟的 3 种不同配置矮林的疏透度采用正面数码拍照, 用 Photoshop 软件统计像素求得。灌木矮林配置见表 1。

表 1 3 种不同配置的模拟柠条行带状灌木矮林参数

Tab. 1 Parameters of three arrangements of belt scheme *C. korshinskii* coppice

矮林配置	林带长度/m	平均高度/m	株距/m	行距/m	疏透度
1 行	40	1	1		约 0.71
2 行	40	1	1	1	约 0.50
3 行	40	1	1	1	约 0.40

### 2.2 剖面风速观测

在试验中风速的测定使用 HOBO 多剖面自计式遥测风速廓线仪, 风杯有 2 个风速通道, 风速测量范围  $0 \sim 45 \text{ m/s}$ , 风速测量精度  $\pm 1.1 \text{ m/s}$  或 4% 读数, 启动风速  $0.38 \text{ m/s}$ 。H21-001 数据采集器, 有 15 个测量通道, 10 个传感器接口。布置的观测点为旷野、林带迎风面  $1h$ , 背风面  $1h$ 、 $3h$ 、 $5h$ 、 $7h$ 、 $10h$ 、 $15h$ 、 $20h$  共 9 个位置。在旷野  $0.5$ 、 $1$ 、 $2 \text{ m}$  以及其他每个观测点的  $0.5$ 、 $1 \text{ m}$  高度上布设风杯, 其中旷野  $2 \text{ m}$  的风杯同时具有风向与风速记录功能。每个配置观测 24 h, 记录测点每 30 s 的平均风速, 每 30 s 记录一次, 取其中风向与林带走向夹角为  $90^{\circ} \pm 5^{\circ}$  的系列数据, 利用式 (1) 计算防风效能 [22], 计算结果取平均值为该点防风效能。防风效能计算公式如下:

$$E_{x,z} = (v_{0,z} - v_{x,z}) / v_{0,z} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $v_{x,z}$  为距离林带为  $x$ 、高度为  $z$  处的平均风速,  $v_{0,z}$  为旷野的某点于林带高度的平均风速,  $E_{x,z}$  为距离林带为  $x$ 、高度为  $z$  处的防风效能。

在所得数据中, 取其中旷野风速为  $6 \sim 8 \text{ m/s}$  的系列数据, 用式 (2) [23] 计算测点的粗糙度, 所得结果取平均值为该测点粗糙度。

$$\log z_0 = (v_1 \log z_2 - v_2 \log z_1) / (v_1 - v_2) \quad (2)$$

式中:  $z_0$  为地表粗糙度,  $v_1$  为高度  $z_1$  处的平均风速,  $v_2$  为高度  $z_2$  处的平均风速。

### 2.3 输沙量观测

在每个布设风杯的位置布设自制的改进组合式多通道通风集沙仪对输沙量进行观测。集沙仪如图 1 所示, 进沙孔宽  $1.5 \text{ cm}$ , 孔高  $3 \text{ cm}$ , 共分 16 层, 观测高度为  $0 \sim 48 \text{ cm}$ 。观测时把集沙仪竖立布设在观测样地内, 探头背风侧固定通风布袋, 进沙口与主

风向垂直,底部与地面平齐。观测时集沙时间 30 min,求得输沙量,3 次测量取平均值。输沙率为单位时间内单位面积上的输沙量,本文中输沙率单位为  $\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{min})$ 。

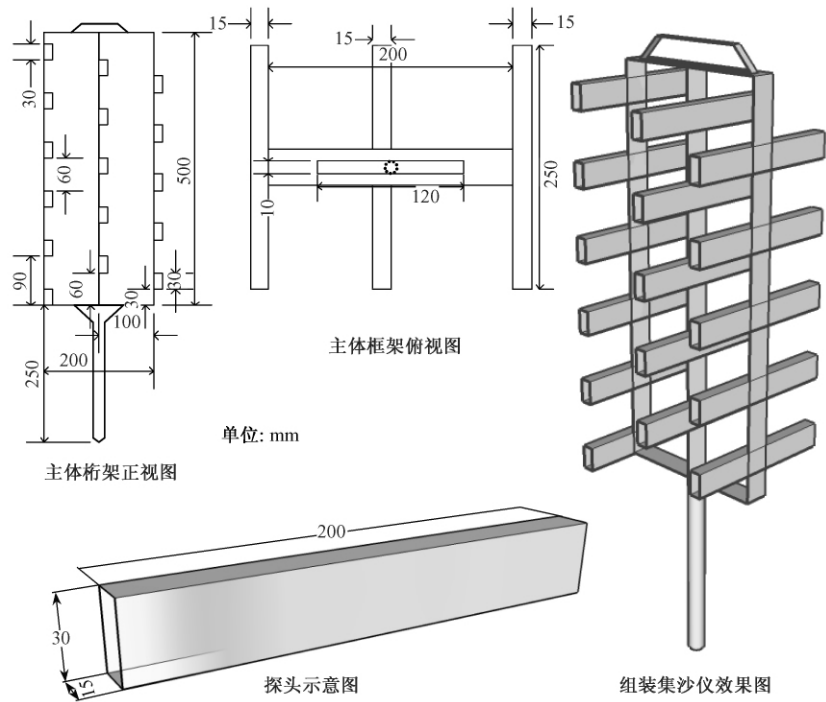


图 1 组合式多通道通风集沙仪  
Fig. 1 Schematic of combined multi-channel sand collector

3 结果与分析

3.1 不同配置结构下防护林的防风效能

3.1.1 3 种配置下的防风效能差异

选取风向与林带走向夹角为  $90^\circ \pm 5^\circ$  的系列数

据,平均计算得到每个测点 0.5 m 高度的平均风速,结果见表 2。

通过表 2 的平均风速得出不同配置下的防风效能  $E_{x,0.5}$ ,结果见图 2。

表 2 不同配置下各观测位置 0.5 m 高度的平均风速  
Tab. 2 Average wind speed at a height of 0.5 m on each observed position in three arrangements of windbreaks  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

矮林配置	旷野对照	林带背风面与林带距离						
		1h	3h	5h	7h	10h	15h	20h
1 行	5.65	5.07	5.33	5.49	5.49	5.55	5.94	6.42
2 行	5.63	3.69	4.09	4.66	4.99	5.05	5.31	5.37
3 行	5.87	3.54	4.05	4.19	4.62	5.03	5.18	5.36

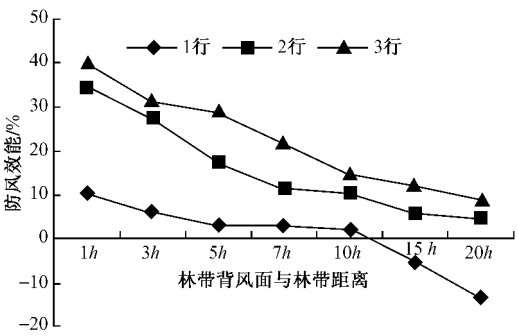


图 2 防风效能随林带后缘距离变化趋势  
Fig. 2 Trend of wind-speed reduction efficiency behind the windbreaks with increasing distance to leeward

由图 2 可以看出:1 行柠条防风效果较差,尤其在背风面距离林带 10h 之外,防风效能降为负数,其意义为该点风速已经超过了旷野风速;而 2 行、3 行矮林林带防风效果较好。分析 3 种配置防风效能趋势,可以看出 2 行和 3 行林带防风效能较大,且各种配置的柠条林带的防风效能都随着林带后缘距离的增大而减小。其原因是:1 行矮林林带疏透度过大,对于风的阻碍和抬升作用都不明显,气流穿过林带受到阻力较小;2 行和 3 行林带在有效抬升流场的同时,其本身阻碍作用和枝干摇摆的消能都有效减小了风速。

3.1.2 不同风速下防风效能的差异

研究发现,在不同风速下林带的防风效能也有所不同,选取带后 3h 处的防风效能作为研究对象,分析不同风速下各条林带防风效能  $E_{3,0.5}$  的差异,判断不同配置的林带在风速较大的情况下的防风效能。

分析其趋势图(图 3),可以看出:在风速为 4 ~ 11 m/s 的范围内,1 行林带的  $E_{3,0.5}$  始终维持在 10% 以下,随着风速的增大变化不大,对风速的削弱作用也比较小;2 行林带的  $E_{3,0.5}$  随着风速的增大,呈现先增大再减小的单峰曲线规律,且在风速为 7 ~ 9 m/s 时防护效果最佳;3 行林带的  $E_{3,0.5}$  随着风速的增大,变化不大,始终维持在 30% 左右的水平。

3.2 不同配置结构下防护林的防风蚀效益

3.2.1 防护区输沙率分析

经过风沙流收集称质量计算,得到了不同配置林带在不同位置的输沙率,结果见表 3。可以看出:

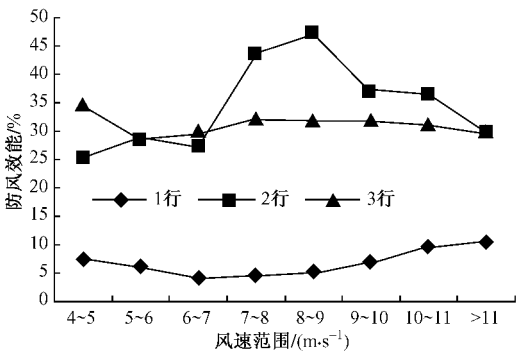


图 3 3h 不同风速范围下 0.5 m 高度的防风效能  
Fig. 3 Wind-speed reduction efficiency at a height of 0.5 m within different ranges of wind speed (3h)

1 行林带后缘 7h 内输沙率都有所减少,1 行林带在其后缘 7h 内都能减少风蚀,有一定防控作用;而 2 行和 3 行林带在其后缘 10h 处都能有效减少输沙率,防控风蚀。

表 3 不同配置林带在不同位置的输沙率

Tab. 3 Sand discharge rate on different observed positions in three arrangements of windbreaks $g \cdot cm^{-2} \cdot min^{-1}$								
矮林配置	旷野对照	林带背风面与林带距离						
		1h	3h	5h	7h	10h	15h	20h
1 行	2.99	0.86	1.22	1.94	2.78	2.94	3.16	2.97
2 行	3.60	0.57	0.69	0.95	1.47	2.01	3.49	3.71
3 行	3.22	0.31	0.45	0.88	1.45	2.23	3.13	3.19

3.2.2 防护区的粗糙度变化

粗糙度是影响土壤风蚀量的一个重要因子,且随着地表粗糙度的增大,土壤抗风蚀能力提高。在每个观测点上都观测 2 个高度的风速,可以由粗糙度计算公式求出不同林带后不同位置的粗糙度,在

一定程度上也能反映出林带的风蚀防控能力。由于粗糙度的大小和风速有关系,所以在计算的时候,统一取旷野 2 m 高风速为 8.91 m/s 时的风速值。计算得到粗糙度  $z_0$  值,结果见表 4。

表 4 不同林带不同位置粗糙度

Tab. 4 Roughness on different observed positions in three arrangements of windbreaks cm								
矮林配置	旷野对照	林带背风面与林带距离						
		1h	3h	5h	7h	10h	15h	20h
1 行	0.037	4.712	2.450	1.487	0.926	0.093	0.043	0.039
2 行	0.037	10.446	6.223	3.974	2.286	0.081	0.060	0.032
3 行	0.037	16.207	7.997	7.226	2.934	0.206	0.072	0.042

由林带后缘不同距离的粗糙度可以看出:随着林带行数的增多,增加了盖度,带后的粗糙度呈递减趋势;且随着林带后缘距离的增大,1 行林带在 15h 处的粗糙度回复到旷野的水平;而 2 行林带在带后 1h 处的粗糙度达到了旷野的 282 倍,在 20h 处粗糙度回复到旷野的水平;3 行的林带在带后 1h ~ 3h 处有效增大粗糙度,在 3h ~ 15h 比 2 行的林带粗糙度略高一点,在 20h 处粗糙度回复到旷野的水平。

3.3 不同配置结构剖面风场

根据不同林带剖面风场的等值线图(图 4)看出,3 种配置林带附近都有一个低速区,且等值线较密集,在林带附近能有效降低风速。1 行林带带后

10h 之内风速都有降低趋势,在 10h 后风速等值线开始稀疏并上扬;2 行林带在带后 12h 处等值线开始上扬,进入风速加速区;3 行林带在带后 15h 处风速开始呈上升趋势。

4 结论与讨论

1) 1 行柠条林带的防风效能较低,2 行和 3 行的柠条林带防护效果较好,且随着风速的增大,3 种配置林带的防风效能存在不同趋势,1 行林带维持在较低水平,2 行林带呈现先增大后减小的趋势,3 行林带稳定在较高水平。从输沙率来看,2 行和 3 行林带也优于 1 行林带。1 行林带在其后缘 7h 内

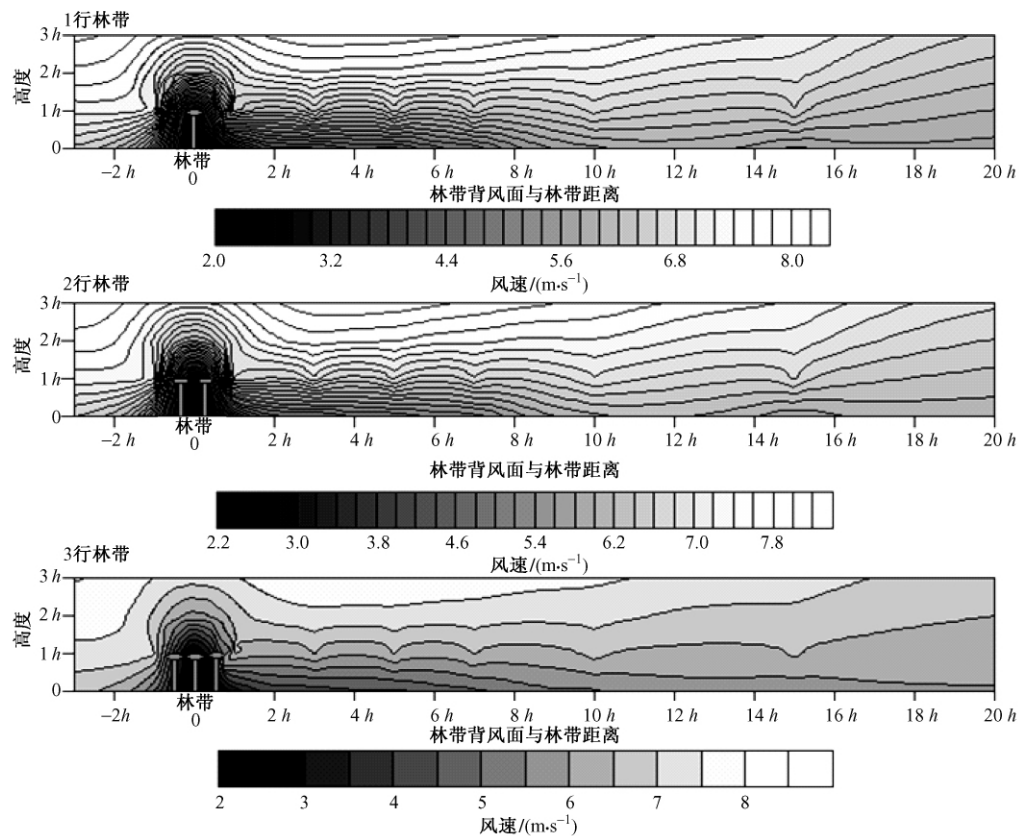


图4 不同配置林带侧面风速等值线图

Fig.4 Side contour map of wind speed in three arrangements of windbreaks

都能减少风蚀,有一定防控作用,而2行和3行林带在其后缘10h处都能有效减少输沙率,防控风蚀。林带能有效增加粗糙度,在林带后的粗糙度呈递减趋势。1行林带对风速有效影响距离为10h,2行林带为12h,3行林带为15h。

2) 综合不同配置林带在各方面的防护效益,1行林带防护效果较差,不适合实际应用;3行林带虽然防护效果优于2行林带,但其优势并不明显,且同等带距下增加了林带盖度,从而增加耗水负荷。在沙区柠条林营造中,生产配置上侧重2行一带的行带式配置,使其疏透度在0.5左右,带距在10h~12h为宜。

3) 传统的风沙物理学具有3种主要研究手段:野外观测、风洞试验、数值模拟。本研究采用模拟试验的方法,研究了不同配置的柠条林带的防护效益及其防护距离。该试验方法和野外观测的防护林相似度高,基本可以满足几何相似、运动相似、动力相似等风沙物理学模拟研究的相似准则;具有布设灵活方便、数据采集便利、量化程度以及试验参数连续性更高等优点,在灌木防护林的研究中具有明显优势。

致谢 感谢项目的资助以及王翔宇、王炜炜、秦树高等同学在试验过程中的帮助与支持。

## 参 考 文 献

- [1] 朱廷曜. 农田防护林生态工程学[M]. 北京:中国林业出版社,2001:3.
- [2] U. S. Department of Agriculture Nature Resource Conservation Service (USDA-NRCS). Windbreak technology course handbook [M]. Molokai: National Employee Development Staff,1994.
- [3] MCNAUGHTON K G. Effects of windbreaks on turbulent transport and microclimate [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*,1988,22/23:17-39.
- [4] KORT J. Benefits of windbreaks to field and forage crops [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*,1988,22/23:165-190.
- [5] TIBKE G. Basic principles of wind erosion control [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*,1988,22/23:103-122.
- [6] NAIR R. *An introduction to agroforestry* [M]. London: Kluwer Academic Publishers in Cooperation with the International Center for Research in Agroforestry (ICRIF),1993.
- [7] HEISLER G M,DEWALLE D R. Effects of windbreak structure on wind flow [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*,1988,22/23:41-69.
- [8] WANG H, TAKLE E S. On shelter efficiency of shelterbelts in oblique wind [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*,1996,81:95-117.
- [9] BIRD P R. Tree windbreaks and shelter benefits to pasture in temperate grazing systems [J]. *Agroforestry Systems*,1998,41(1):35-54.
- [10] BRANDLE J R, FINCH S. *How windbreaks work?* [M]. Lincoln: University of Nebraska Extension Bulletin EC,1988.

- [11] KENNEY W A. *The effect of inter-tree spacing on the porosity of shelterbelts and windbreaks* [D]. Guelph: University of Guelph, 1985.
- [12] KENNEY W A. A method for estimating windbreak porosity using digitized photographic silhouettes [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1987, 39:91-94.
- [13] LOEFFLER A E, GORDON A, GILLESPIE T J. Optical porosity and windspeed reduction by coniferous windbreaks in Southern Ontario [J]. *Agroforestry Systems*, 1992, 17:119-133.
- [14] DOMEK J C, NOORMETS A, KING J S, et al. Decoupling the influence of leaf and root hydraulic conductances on stomatal conductance and its sensitivity to vapour pressure deficit as soil dries in a drained loblolly pine plantation [J]. *Plant, Cell & Environment* 2009, 32(8):980-991.
- [15] WIGHT B. Farmstead windbreaks [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1988, 22/23:261-280.
- [16] LIU Y Q, STANTURF J, LU H Q. Modeling the potential of the northern China forest shelterbelt in improving hydroclimate conditions [J]. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 2008, 44(5):1176-1192.
- [17] LI G, JIANG G M, LI Y G, et al. A new approach to the fight against desertification in Inner Mongolia [J]. *Environmental Conservation* 2007, 34(2):95-97.
- [18] ZHENG Y R, XIE Z X, YU Y, et al. Effects of burial in sand and water supply regime on seedling emergence of six species [J]. *Annals of Botany* 2005, 95(7):1237-1241.
- [19] 李生宝, 蒋齐. 盐池沙地综合治理优化模式的建立及其结构调整 [J]. *农业系统科学与综合研究*, 1999, 15(2):143-148.
- [20] 左忠, 王金莲, 张玉萍, 等. 宁夏柠条资源利用现状及其饲料开发潜力调查——以盐池县为例 [J]. *草业科学*, 2006, 23(3):17-22.
- [21] 杨文斌, 丁国栋, 王晶莹, 等. 行带式柠条固沙林防风效果 [J]. *生态学报* 2006, 26(12):4106-4112.
- [22] 向开馥. 防护林学 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1991:19.
- [23] 丁国栋. 地表粗糙度确定方法的研究 [J]. *内蒙古林业*, 1994(6):27.

(责任编辑 李 斐)

## 《Chinese Birds》(《中国鸟类》) 征稿启事

为加强中国与世界的鸟类学学术交流, 提高中国鸟类学的学术水平和国际影响, 北京林业大学申办了中国首份鸟类学学术期刊《Chinese Birds》(《中国鸟类》)(CN11-5870/Q)。该刊将由北京林业大学和中国动物学会鸟类学分会共同主办, 高等教育出版社出版。《Chinese Birds》为面向全球的英文学术期刊, 主要发表经同行评议的研究论文、综述和研究简报等, 收稿范围涵盖鸟类学所有研究方向。

中国科学院院士郑光美先生将担任本刊主编, 编委会成员来自国内外各高校、学会及科研院所的知名学者。

该刊为季刊, 16开, 创刊号将于2010年3月出版。欢迎国内外从事鸟类学研究的专家学者积极投稿, 创刊年将免收稿件评审费及版面费。

联系人: 程朋军、颜帅

地 址: 北京市海淀区清华东路35号北京林业大学148信箱《Chinese Birds》编辑部

邮 编: 100083

电 话: 86-10-62337915 86-10-62337605

E-mail: pjcheng@bjfu.edu.cn (程朋军)

yanshuai@bjfu.edu.cn (颜帅)