

文章编号: 100F 1498(2002) 03 0317 06

# “京九”铁路大兴段绿化模式动力效应的研究\*

张劲松<sup>1</sup>, 孟平<sup>1</sup>, 宋兆民<sup>1</sup>, 王成<sup>1</sup>, 周金星<sup>1</sup>, 李洪<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 北京市林业局, 北京 100029)

**摘要:** 本文以生态经济型防护林为例, 对“京九”铁路大兴段绿化模式的动力效应进行了研究。结果表明: 对比旷野农田(对照点), 防护农田的风速平均约降低 18.9%, 距林带树高 0.5 倍距离处(0.5H)风速的降低率可达 30.0% 左右, 距林带 4H 处至农田中心的风速降低率为 1.8%~7.1%, 林带的有效防风距离至少可达 4H; 防护农田内理查逊数( $Ri$ )总体平均值比对照点约高 4.6%, 动力速度总体平均值比对照点约低 14.7%。

**关键词:** “京九”铁路绿化模式; 生态经济型防护林; 动力效应

中图分类号: S727.24

文献标识码: A

“京九”铁路是贯穿我国南北的大动脉, 北京是“京九”铁路的起点, 搞好“京九”大兴段沿线绿化美化建设, 对于改善首都生态环境、促进北京沿线的经济和社会的可持续发展具有重大的现实意义。

根据中国森林生态网络工程体系建设研究课题的研究目的, 结合大兴区及其周边地区的自然特点、人文景观、社会经济状况, “京九”铁路大兴段沿线两侧 2~5 km 宽的范围内绿色长廊拟建立带(铁路、公路、河堤两侧的景观生态型防护林带)、网(农田防护林网)、点(村镇绿化和园林式景点)相结合的多树种、多林种、多层次和多功能的森林生态体系。鉴于大兴段周边地区风多风大、风沙活动较为频繁、风蚀现象较为严重等生态环境问题, 而动力效应又是防护林小气候形成的最基本物理条件, 故绿化模式的动力效应被列为本课题的重要研究内容之一。本文以生态经济型农田防护林带为例, 对该项内容进行试验研究, 旨在为“京九”铁路大兴段绿化模式的建设提供一定的理论依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于北京市大兴区南各庄乡境内(114°14' E, 39°36' N), 属温带大陆性季风气候。年平均气温 11.5℃, 年平均降水量 568.9 mm, 年平均蒸发量 1 800 mm。且降水季节分配不均, 7~8 月份的降水量占全年总降水量的 65%。冬、春季节风多、风速大, 盛行偏北风, 风沙活动较频繁, 风蚀比较严重。试区土质以沙土为主, 土壤养分含量低, 保水、保肥性能差, 素有“薄、碱、沙、瘠”之称。地下水位 8~12 m。种植制度一年两熟。

收稿日期: 2002-01-02

基金项目: 科技部重点科研项目“中国森林生态网络建设研究”(98-11-10-01)的部分内容

作者简介: 张劲松(1968), 男, 浙江永嘉人, 博士, 副研究员。

该试区始建于1993年,总面积为86.67 hm<sup>2</sup>。主要树种有毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.)、国槐(*Sophora japonica* L.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、垂柳(*Salix babylonica* L.)、五角枫(*Acer truncatum* Bunge.)、银杏(*Ginkgo biloba* L.)和核桃(*Juglans regia* L.)等。试验区林木覆盖率为27.0%(1999年),结构配置以生态经济型防护林带为主,辅以银(杏)粮间作、核(桃)粮间作等多种林(果)粮间作模式,现已初步形成一个多树种、多类型、多功能的生态经济型农林复合系统试验示范区。

## 1.2 林带配置方式与测点布置

试验区中部选择一代表性较好的银杏和杨树行间混交复合林带,主林带为东西走向,东西长度为170 m,防护农田南北长度170 m,东西宽度200 m,农田内种植冬小麦(*Triticum aestivum* Linn.);林带配置方式:1带4行,外侧为1行毛白杨,形成防护行,内侧种植3行银杏。毛白杨株距为3 m,银杏株行距3 m×4 m。杨树树高6.5 m,冠幅3.6 m×3.6 m,银杏树高2.8 m,冠幅1.2 m×1.2 m(2001年)。取垂直于主林带的中心线上,按距背风面不同(杨)树高倍数处(0.5H、1H、2H、4H)及农田中心设置观测点。另在试区西南方向400 m处旷野麦田设一对照点(CK)。

## 1.3 主要观测项目

于各测点地面高度1.0 m处、活动面上0.5 m及2.0 m处采用通风干湿表和轻便风速表进行温度和风速的梯度观测,观测时期:2001年4月上旬—6月上旬(冬小麦拔节—乳熟期),选择典型晴天或阴天,每旬观测3—5 d,观测时刻7:00—19:00,每2 h观测1次。

## 1.4 主要计算公式

$$1.4.1 \text{ 理查逊数}(Ri)^{[1]} \quad Ri = \frac{g(T_2 - T_1)}{T(V_1 - V_2)^2} \ln \frac{Z_2 - d}{Z_1 - d} \sqrt{(Z_1 - d)(Z_2 - d)} \quad (1)$$

式(1)中, $d$ :零平面位移( $d = 0.63H$ ,  $H$ 为植物高度),本研究取 $Z_1 - d = 0.5 \text{ m}$ ,  $Z_2 - d = 2.0 \text{ m}$ ;  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ 为相应高度上的温度和风速, $T$ 为 $Z$ ( $Z = \sqrt{(Z_1 - d)(Z_2 - d)}$ )高度上的风速, $g$ 为动力加速度。

$$1.4.2 \text{ 动力速度}(V_*)^{[1,2]} \quad V_* = \begin{cases} \frac{V(z)B}{\ln \frac{Z-d}{Z_0}} & (-0.01 < Ri < 0.01) \\ \frac{V(z)B}{\ln \frac{Z-d}{Z_0} - \phi} & (Ri < -0.01 \text{ 或 } Ri > 0.01) \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, $B$ :卡曼常数( $B = 0.4$ ); $V(z)$ : $Z$ 高度处的风速; $Z_0$ :粗糙度( $Z_0 = 0.13H$ ); $\phi$ :调节参数,可用下式计算得到:

$$\phi = \begin{cases} -5Ri & (-0.01 < Ri < 0.01) \\ 2 \ln \frac{1+X}{2} + \ln \frac{1+X^2}{2} - 2 \operatorname{tg}^{-1} X + \frac{\pi}{2} & (Ri < -0.01 \text{ 或 } Ri > 0.01) \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中: $X = (1 - 15Ri)^{0.25}$

$$1.4.3 \text{ 湍流系数}(K)^{[1]} \quad K = BV_* (Z - d) \quad (4)$$

$$1.4.4 \text{ 防风效能}(EWS) \quad EWS = \left(1 - \frac{\bar{V}}{V_K}\right) \quad (5)$$

式(5)中,  $\bar{V}$ 、 $V_{\alpha}$ 分别表示防护农田内平均风速和旷野农田风速。

## 2 结果与分析

动力效应是林带小气候形成的基础物理条件,常可采用防风效应(防风效能、有效防风距离)以及对动力学参数(理查逊数、动力速度和湍流系数等)的影响程度等指标来表示。

### 2.1 防风效应

防护林最显著的气象效应是风速减弱效应。林带对风的减弱作用,主要是由于气流通过林带时,由于树冠的阻挡、动力摩擦作用而消耗了动能,从而导致风速的减弱。对2001年4月上旬—6月上旬期间21个观测日的风速资料进行统计表明(表1):农田中心日平均风速与CK的比值接近于1.0,0.5H、1H、2H和4H处的日平均风速与旷野农田(CK)处的比值均小于1.0,但4H与CK的比值已大于0.90,即说明在小于4H带距范围内,林带对风速的减弱效果比较明显,对4H至农田中心范围内的风速减弱不明显。经计算:复合林带的总体平均防风效能为18.9%,其中0.5H处风速减弱程度最大,各观测日平均达30.0%左右,4H至农田中心风速减弱程度较小,各观测日约为1.8%—7.1%,故可认为本研究林带的有效防风距离大致可达4H。

表1 防护农田与旷野农田的风速比值( $V/V_{\alpha}$ )

日期 (月·日)	$V/V_{\alpha}$					
	0.5H	1H	2H	4H	农田中心	平均
04-12	0.842 1	0.894 7	0.894 7	0.947 5	1.000 0	0.894 7
04-13	0.761 9	0.833 3	0.904 8	0.928 6	0.976 2	0.857 1
04-14	0.763 2	0.815 8	0.868 4	0.921 1	1.000 0	0.842 1
04-20	0.781 3	0.843 8	0.906 3	0.968 8	0.968 8	0.875 0
04-23	0.642 9	0.785 7	0.892 9	0.964 3	1.000 0	0.821 4
04-24	0.777 8	0.833 3	0.888 9	0.944 4	0.944 4	0.861 1
04-25	0.727 3	0.772 7	0.818 2	0.909 1	0.954 5	0.806 8
05-08	0.791 7	0.833 3	0.875 0	0.916 7	1.000 0	0.854 2
05-09	0.727 3	0.772 7	0.818 2	0.909 1	1.000 0	0.806 8
05-10	0.645 2	0.741 9	0.838 7	0.967 7	1.000 0	0.798 4
05-14	0.612 9	0.741 9	0.871 0	0.935 5	1.000 0	0.790 3
05-15	0.692 3	0.794 9	0.871 8	0.948 7	0.974 4	0.826 9
05-17	0.640 0	0.680 0	0.840 0	0.920 0	0.960 0	0.770 0
05-18	0.575 0	0.700 0	0.850 0	0.975 0	0.975 2	0.775 0
05-26	0.666 7	0.700 0	0.800 0	0.900 0	0.966 7	0.766 7
05-27	0.694 4	0.722 2	0.750 0	0.916 7	0.972 2	0.770 8
05-28	0.629 6	0.703 7	0.740 7	0.888 9	0.963 0	0.740 7
06-03	0.685 7	0.742 9	0.771 4	0.942 9	1.000 0	0.785 7
06-04	0.652 2	0.739 1	0.804 3	0.891 3	0.978 3	0.771 7
06-05	0.697 0	0.757 6	0.894 7	0.878 8	0.969 7	0.807 0

### 2.2 对动力学参数的影响

2.2.1 对理查逊数的影响 理查逊数( $Ri$ )是动力和热力的综合作用结果,用以判断大气稳定度,一般规定 $Ri < -0.01$ 时大气为不稳定层结, $Ri > 0.01$ 时为稳定层结, $-0.01 < Ri < 0.01$ 时为中性层结。在防护林学和林业气象学领域, $Ri$ 常被作为判别湍流交换消长程度的动力学参数<sup>[3-6]</sup>。本研究表明(表2):稳定层结时,防护农田内 $Ri$ 普遍高于旷野农田(CK),16个观测日平均约高5.7%;不稳定层结时则相反,5个观测日平均约低6.2%,原因在于:尽管林带具

有减弱动力交换的作用,但此时林带热力效应也起一定的作用。防护农田内理查逊数总体平均值比旷野农田约高4.6%,说明林带具有削弱湍流交换程度的作用。

表2 防护农田与旷野农田理查逊数的比较

日期 (月/日)	防护农田内理查逊数						旷野农田 理查逊数	层结 条件
	0.5H	1H	2H	4H	农田中心	平均		
04/12	0.008 83	0.008 56	0.008 56	0.008 45	0.008 45	0.008 57	0.008 45	稳定
04/13	0.008 50	0.008 20	0.008 20	0.008 15	0.008 15	0.008 24	0.008 11	稳定
04/14	0.007 04	0.006 83	0.006 83	0.006 83	0.006 83	0.006 87	0.006 76	稳定
04/20	-0.041 85	-0.040 77	-0.040 77	-0.040 25	-0.040 25	-0.040 78	-0.035 90	不稳定
04/23	-0.019 00	-0.018 33	-0.018 33	-0.018 14	-0.018 14	-0.018 39	-0.017 36	不稳定
04/24	-0.014 70	-0.015 10	-0.015 10	-0.014 18	-0.014 18	-0.014 65	-0.014 55	不稳定
04/25	-0.032 91	-0.031 28	-0.031 28	-0.030 97	-0.030 97	-0.031 48	-0.031 13	不稳定
05/08	0.016 78	0.016 71	0.016 71	0.016 48	0.016 48	0.016 63	0.014 65	稳定
05/09	0.013 94	0.013 52	0.013 52	0.013 41	0.013 41	0.013 56	0.012 46	稳定
05/10	0.015 02	0.014 77	0.014 77	0.014 65	0.014 65	0.014 77	0.013 59	稳定
05/14	-0.032 08	-0.031 59	-0.031 59	-0.031 00	-0.031 00	-0.031 45	-0.029 89	不稳定
05/15	-0.028 53	-0.027 63	-0.027 63	-0.027 35	-0.027 35	-0.027 70	-0.026 08	不稳定
05/17	0.021 06	0.020 76	0.020 76	0.020 55	0.020 55	0.020 73	0.019 53	稳定
05/18	0.019 99	0.019 53	0.019 53	0.019 40	0.019 40	0.019 57	0.019 40	稳定
05/26	0.023 10	0.022 41	0.022 41	0.022 24	0.022 24	0.022 48	0.021 67	稳定
05/27	0.021 51	0.020 91	0.020 91	0.020 83	0.020 83	0.021 00	0.019 73	稳定
05/28	0.020 55	0.019 99	0.019 99	0.019 92	0.019 92	0.020 08	0.019 28	稳定
06/03	0.019 79	0.019 34	0.019 34	0.019 22	0.019 22	0.019 38	0.018 10	稳定
06/04	0.020 40	0.019 92	0.019 92	0.019 79	0.019 79	0.019 97	0.018 85	稳定
06/05	0.019 99	0.019 99	0.019 97	0.018 69	0.018 09	0.019 35	0.018 05	稳定
(平均)	0.003 37	0.003 35	0.003 34	0.003 32	0.003 29	0.003 33	0.003 19	

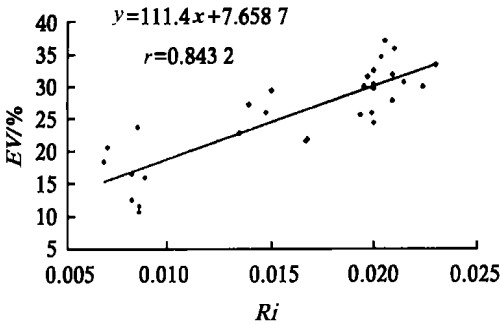


图1 旷野农田近带距处风速减弱程度(EV)与理查逊数(Ri)的关系曲线

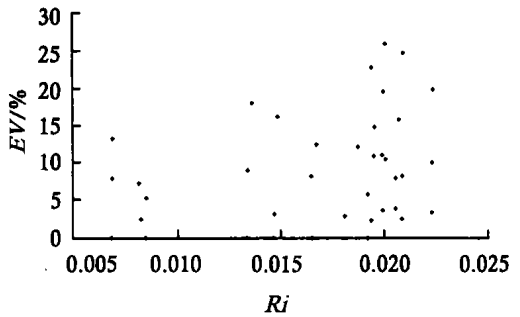


图2 旷野农田远带距处风速减弱程度(EV)与理查逊数(Ri)的关系曲线

本研究还发现(图1、2):在稳定层结条件下,在2H(近带距)范围内,风速减弱程度随Ri的增长而增加,二者呈线性分布趋势,相关系数 $r = 0.8432$ 。但当大于2H(远带距)时,这种关系趋势并不明显。

表 3 防护农田内动力速度( $V_*$ )与旷野农田动力速度( $V_{*CK}$ )的比较

日期 (月/日)	$V_*/(m^2 \cdot s^{-1})$						$V_{*CK}/(m^2 \cdot s^{-1})$
	0.5H	1H	2H	4H	农田中心	平均	
04 12	0.239 9	0.258 2	0.258 2	0.273 4	0.288 6	0.263 7	0.281 6
04 13	0.480 1	0.531 8	0.577 4	0.592 7	0.623 1	0.561 0	0.622 7
04 14	0.436 0	0.472 0	0.502 5	0.533 0	0.578 6	0.504 4	0.564 6
04 20	0.472 4	0.523 0	0.561 8	0.599 7	0.599 7	0.551 3	0.588 4
04 23	0.322 7	0.404 2	0.459 3	0.495 9	0.514 2	0.439 3	0.493 8
04 24	0.248 6	0.273 6	0.291 8	0.309 4	0.309 4	0.286 6	0.315 5
04 25	0.296 1	0.321 9	0.340 8	0.378 4	0.397 4	0.346 9	0.400 1
05 08	0.699 9	0.755 5	0.793 3	0.831 5	0.907 0	0.797 4	0.910 5
05 09	0.296 4	0.323 2	0.342 2	0.380 3	0.418 4	0.352 1	0.419 2
05 10	0.369 7	0.436 2	0.493 1	0.569 1	0.588 0	0.491 2	0.589 3
05 14	0.419 9	0.515 0	0.604 6	0.648 3	0.693 0	0.576 2	0.681 0
05 15	0.590 9	0.686 6	0.753 0	0.818 8	0.840 9	0.738 0	0.847 9
05 17	0.310 9	0.334 8	0.413 6	0.453 2	0.472 9	0.397 1	0.487 5
05 18	0.448 0	0.553 0	0.671 5	0.770 5	0.770 5	0.642 7	0.780 1
05 26	0.386 8	0.412 0	0.470 8	0.529 9	0.569 1	0.473 7	0.582 1
05 27	0.485 3	0.511 9	0.531 5	0.649 8	0.689 2	0.573 5	0.701 6
05 28	0.330 7	0.374 8	0.394 6	0.473 6	0.513 0	0.417 3	0.526 7
06 03	0.467 7	0.513 7	0.533 5	0.652 2	0.691 7	0.571 8	0.684 6
06 04	0.583 8	0.670 9	0.730 1	0.809 2	0.888 2	0.736 4	0.898 3
06 05	0.448 2	0.512 9	0.512 9	0.573 3	0.632 6	0.536 0	0.645 6
(平均)	0.416 7	0.469 3	0.511 8	0.567 1	0.599 3	0.512 8	0.601 1

2.2.2 对动力速度的影响 防护农田内的动力速度( $V_*$ )可以反映林带在减弱土壤风蚀、减少农田蒸散等方面的作用,一般可用防护农田内动力速度( $V_*$ )与旷野农田动力速度( $V_{*CK}$ )的比值( $V_*/V_{*CK}$ )来反映防护农田的土壤风蚀状况,用  $V_*$  与  $V_{*CK}$  的差异率来反映林带对动力速度的削弱程度。由表 3 可知:在防护农田内,除中心处极个别日期外,其它各处的  $V_*$  均小于  $V_{*CK}$ ,即  $V_*/V_{*CK}$  小

表 4 防护农田与旷野农田湍流系数的差异率( $K/K_{CK}-1$ )

日期 (月/日)	$(K/K_{CK}-1)/\%$					
	0.5H	1H	2H	4H	农田中心	平均
04 12	-15.51	-9.85	-9.85	-4.53	0.77	-7.79
04 13	-23.56	-16.04	-8.84	-6.43	-1.63	-11.30
04 14	-23.42	-17.79	-12.49	-7.19	0.77	-12.02
04 20	-20.45	-13.56	-7.16	-0.88	-0.88	-8.59
04 23	-35.24	-20.40	-9.54	-2.35	1.27	-13.25
04 24	-21.92	-15.68	-10.06	-4.63	-4.63	-11.38
04 25	-26.68	-21.76	-17.16	-8.02	-3.43	-15.41
05 08	-21.56	-17.02	-12.88	-8.68	-0.38	-12.10
05 09	-27.85	-22.89	-18.36	-9.27	-0.19	-15.71
05 10	-35.98	-25.99	-16.33	-3.44	-0.22	-16.39
05 14	-38.34	-25.17	-12.15	-5.80	0.70	-16.15
05 15	-30.30	-19.88	-12.12	-4.44	-1.86	-13.72
05 17	-36.22	-32.04	-16.05	-8.01	-4.01	-19.27
05 18	-42.58	-29.87	-14.84	-2.29	-2.29	-18.37
05 26	-33.56	-29.97	-19.97	-9.93	-3.26	-19.34
05 27	-30.84	-27.82	-25.04	-8.37	-2.81	-18.98
05 28	-37.22	-29.59	-25.88	-11.05	-3.63	-21.47
06 03	-31.69	-25.76	-22.90	-5.74	-0.03	-17.22
06 04	-35.01	-26.10	-19.58	-10.86	-2.17	-18.74
06 05	-30.58	-21.38	-21.38	-12.13	-3.04	-17.70
(平均)	-29.93	-22.43	-15.63	-6.70	-1.55	-15.25

于 1,意味着防护农田不会出现土壤风蚀现象。防护农田内  $V_*$  总体平均为  $0.521 5 m^2 \cdot s^{-1}$ ,比 CK 的  $0.601 1 m^2 \cdot s^{-1}$  约小 14.7%,说明林带对动力速度具有削弱作用。

3.2.3 对湍流系数的影响

湍流系数常被用以鉴定防护林结构的合理性及林带(网)对湍流交换的程度。本研究用防护农田内湍流系数( $K$ )与旷野农田湍流系数( $K_{CK}$ )的差异率( $K/K_{CK}-1$ )来表示林带对农田湍流交换的影响程度。从表 4 可知:各观测日期的  $K/K_{CK}-1$  普

遍小于0,说明林带具有减弱湍流交换强度的作用,防护农田湍流系数各观测日的总体平均比旷野农田约低15.25%。而且这种减弱作用程度随距林带距离的增加而降低,如各观测日 $K/K_{CK}-1$ 平均绝对值在0.5H时为29.93%,到2H时降为15.63%,至农田中心仅有1.55%。

### 3 结论

(1)生态经济防护林带具有降低农田风速的作用,对比旷野农田,距林带树高0.5倍距离处(0.5H)风速的降低率较大,距林带4H处至农田中心的风速降低率较小。林带的总体平均防风效能18.9%,有效防风距离至少可达4H。

(2)生态经济防护林带具有减弱农田湍流交换强度的作用,这种减弱作用程度随距林带距离的增加而降低。防护农田内理查逊数总体平均值比旷野农田约高4.6%,湍流系数总体平均值比旷野农田约低15.25%。

(3)在稳定层结条件下,在距离林带2H范围内,风速减弱程度随 $Ri$ 的增长而增加,二者呈一定的线性分布趋势,但当大于2H时,这种关系趋势并不明显。

(3)生态经济防护林带对农田动力速度具有一定的削弱作用。防护农田内动力速度总体平均比旷野农田约低14.7%。

### 参考文献:

- [1] 徐祝龄,马秀玲,周厚德,等.黑龙江流域农田林网气象效应的研究[A].见:宋兆民.黄淮海平原综合防护林体系生态效益的研究[M].北京:北京农业大学出版社,1990.160-166
- [2] 孟平,宋兆民,张劲松,等.农林复合系统防尘效应的研究[J].林业科学,1998,34(2):11-16
- [3] 贺庆棠.中国森林气象学[M].北京:中国林业出版社,2001.63-64
- [4] 宋兆民,孟平,张翼,等.林网方位与防风效应野外模拟试验研究[J].林业科学研究,1989,2(1):71-77
- [5] 孟平,宋兆民,张劲松,等.农林复合系统对环境质量调控作用研究[J].林业科学研究,2000,13(1):1-7
- [4] 范兴海,黄寿波.我国农林系统小气候研究概述[J].林业科学研究,2000,13(2):197-202

## Effects of the Afforestation Models along the Beijing– Jiulong Railway on Aerodynamics in Daxing District of Beijing

ZHANG Jirong<sup>1</sup>, MENG Ping<sup>1</sup>, SONG Zhao-min<sup>1</sup>, WANG Cheng<sup>1</sup>, ZHOU Jir-xing<sup>1</sup>, LI Hong<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China; 2. Beijing Forestry Bureau, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The effects of the afforestation models along the Beijing Jiulong railway on aerodynamics were studied with the case of ecological shelterbelt. The trials were conducted in Daxing district of Beijing. The results showed that: the mean wind speed in the farmland protected by the ecological shelterbelt (protected farmland) decreased by about 18.9% comparing with that in the open wide farmland (CK), and decreased by 30.0% as much at the spot which was 0.5H from the shelterbelt row (H: the tree height), but only 1.8%–7.1% in the range from 4H spot to the center of the protected farmland center; The efficient protective distance was 4H at least; The mean value of Richardson and turbulent coefficient in the protected farmland was 4.6% more and 14.7% less than that in CK respectively.

**Key words:** afforestation model; Beijing– Jiulong railway; ecological shelterbelt; effects on aerodynamics