

# 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\*

郝玉光 卢平

**摘要** 历经4 a(1992~1995年)定位研究表明:试区林网内无叶期的防风效能为39%~40%,着叶期为55.8%~56.2%。气温降低0.6~0.8℃,最热月(7月)尤为明显,平均降低1.2℃,蒸发量降低24.3%~24.7%,相对湿度提高8%~15%。干热风发生天数减少58.8%,其中轻型减少33.3%,重型减少87.5%。在林网保护下,作物产量提高5.14%,玉米纯增产量468 kg/hm<sup>2</sup>,纯增产值655.2元/hm<sup>2</sup>,与无林网农田相比,增产效果显著,平均提高了50%~100%。

**关键词** 沙区人工绿洲 防护林 小气候效益

乌兰布和沙漠位于内蒙古西部,依托黄河中上游,总面积100万hm<sup>2</sup>,为古黄河变迁形成的冲积平原。土地资源丰富,水热光等自然条件优越。根据地面考察与1:10万TM彩色卫片影响测算,有6万多hm<sup>2</sup>宜农土地亟待开发,但严重的风沙危害制约了本地区的农业综合开发。营造防护林体系是防治风沙危害唯一长期经济有效的根本途径。从50年代起,迄今已营造了大面积的防护林,对沙区农田的高产稳产的多种经营起到了有力的屏障作用。研究沙区防护林网的小气候效益及其对农作物产量的影响,对提高防护林的认识,持续合理开发乌兰布和沙区有重要的指导作用。

## 1 定位站试区概况

试区位于内蒙古磴口县境内,乌兰布和沙漠东北边缘,沙漠林业实验中心植物园,地处106°35' E,40°17' N,海拔1040~1060 m。气候干旱多风,年均气温7.8℃,年均降水102.9 mm,主要害风为西北风,年均风速4.1 m/s,全年风沙日数85 d。未营造防护林前,试区为平缓的固定、半固定沙丘,下覆古黄河冲积形成的粘土层,经多年耕作、施肥、灌溉,现为灌淤土,本区水资源丰富,地下水埋深2~5 m,又有引黄河水灌溉的便利条件。

试区林网化防护体系始建于1978年,采用带片网结合和乔灌结合,构成防风固沙体系。林带林网总面积36 hm<sup>2</sup>,由10个网格所组成。内部农田林网主带距150 m,副带距250 m,主林带两行沿农渠布设,株行距2 m×1 m,副林带两行沿农田主路布置,株行距2 m×8 m。造林树种为新疆杨(*Populus bolleana* Lauche),林带为疏透结构,平均树高20 m,胸径22 cm。农田防护林体系完善,风沙危害被有效抑制,保证了农田作物和经济果木的高产和稳产。

1996·04·11收稿。

郝玉光工程师(中国林业科学研究院沙漠林业实验中心 内蒙古磴口 015200),卢平(内蒙古磴口县农业局华莱士瓜研究所)。

\*本文系“八五”科技攻关项目“三北”防护林体系区域性生态效益评价研究”部分内容。承蒙陈炳浩研究员指导并审阅,谨表谢忱。

## 2 研究方法

### 2.1 小气候观测

1992年在试区林网中心部位建立小气候定位观测站。在距林缘2.5 km处设置了对照定位观测站,两站同步观测,仪器布置按国家地面基层站气象规程进行。每日观测3次,北京时间每日8:00,14:00,20:00定时观测。风速梯度变化在大风天气进行,风速测量采用经校正的上海产小型轻便风速表。测定点设在林网内部距主林带树高倍数大风迎风面1H,背风面1H、3H、5H,对照点为荒漠荒野定位站,同步定点、定时重复观测10次。

### 2.2 作物产量测定

在林网内部农田作物中,以玉米为测产对象,按照距主林带树高倍数不同位置在田间设置样方,采样位置分别为0.5H、0.75H、1H、1.25H、1.5H、1.75H、2H、3H,每个样点设两个样方,每个样方选取标准株10株,测定产量、千粒重,调查林网内各种作物和果木的产值、产量、投入,以玉米的增产、增值幅度为标准,进行经济核算。

## 3 结果与分析

### 3.1 风速变化特征

3.1.1 防风效能 干旱沙区人工防护林网体系具有明显的防风作用(表1)。林网树木无叶期(4月份),防风效能为39%~40%,而在林木着叶期(5~9月),防风效能高达55.8%~56.2%。与无叶期相比,防风效能在有叶期提高16.2%~16.8%。这是因为:着叶期林木枝叶量大,表面积显著增加,对气流具有较强的阻滞作用和林网内气流涡旋的磨擦作用等原因<sup>[1]</sup>。

3.1.2 风速梯度变化 近地面风速的垂直梯度变化较大(表2),在旷野高差1m,风速相差竟达1.4m/s。而在林网内,风速的垂直梯度显著减弱,变幅在0.4~0.9m/s之间。且在林带的背风面,风速在垂直梯度随远离林带有逐渐增加的趋势,而风速的水平梯度变化不明显,说明林网内气流相对稳定,湍流交换弱,风所消耗的动能不易较快得到恢复。

表1 月平均风速值 (单位:m/s)

| 年份   | 站点      | 5~9月<br>均值 |     |     |     |     |     |      |
|------|---------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|      |         | 4月         | 5月  | 6月  | 7月  | 8月  | 9月  | 均值   |
| 1993 | 旷野      | 5.7        | 4.2 | 2.7 | 2.4 | 2.0 | 2.0 | 2.7  |
|      | 林内      | 3.5        | 2.0 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 1.2 | 1.2  |
|      | 防风效能(%) | 39         | 52  | 59  | 58  | 55  | 57  | 56.2 |
| 1994 | 旷野      | 2.5        | 1.6 | 1.9 | 2.0 | 1.7 | 1.4 | 1.7  |
|      | 林内      | 1.5        | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.7  |
|      | 防风效能(%) | 40         | 44  | 63  | 75  | 47  | 50  | 55.8 |

表2 风速梯度值 (单位:m/s,1993年)

| 离地<br>高度<br>(m) | 观测<br>次数 | 旷野<br>风速<br>(m/s) | 距林带的树高倍数 |    |     |    |     |    |     |    |
|-----------------|----------|-------------------|----------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
|                 |          |                   | 1H       |    | 1H  |    | 3H  |    | 5H  |    |
|                 |          |                   | 迎风       | 背风 | 迎风  | 背风 | 背风  | 背风 | 背风  | 背风 |
| 1               | 10       | 8.3               | 4.5      | 54 | 4.9 | 59 | 4.9 | 59 | 4.5 | 54 |
| 2               | 10       | 9.7               | 5.9      | 51 | 5.5 | 57 | 5.8 | 60 | 5.4 | 60 |
| 差值              |          | 1.4               | 1.4      |    | 0.6 |    | 0.9 |    | 0.9 |    |

注:V:风速值(m/s)、A:相对风速(%)。

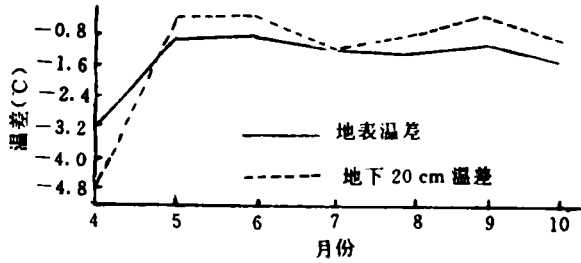
### 3.2 温度变化特征

在林网内,林木和作物强烈的蒸腾以及地表蒸发消耗大量的热量,使得气温下降(表3)。生长季气温平均下降0.7℃,最热月(7月)降幅最大,可达1℃以上,这对作物躲避高温危害甚为有利。而旷野荒漠区,蒸发耗热相对林网内农地要少得多,且地面反射率高,故空气吸收的反射辐射亦多,因而气温较高。

地温变化的总趋势与气温变化相同(见图1),与旷野相比,林网内地温降低1℃左右,4月

表 3 生长期月平均气温值 (单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

| 年份   | 站点 | 4月   | 5月   | 6月   | 7月   | 8月   | 9月   | 10月 | 均值   |
|------|----|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 1992 | 旷野 | 11.5 | 18.5 | 21.9 | 25.5 | 22.7 | 16.2 | 6.1 | 17.5 |
|      | 林内 | 11.3 | 17.8 | 21.5 | 24.4 | 21.7 | 15.6 | 6.1 | 16.9 |
|      | 差值 | 0.2  | 0.7  | 0.4  | 1.1  | 1.0  | 0.6  | 0   | 0.7  |
| 1993 | 旷野 | 10.2 | 17.4 | 23.3 | 24.2 | 22.1 | 16.9 | 8.2 | 17.4 |
|      | 林内 | 8.9  | 16.4 | 22.7 | 23.4 | 21.7 | 15.8 | 7.7 | 16.7 |
|      | 差值 | 1.3  | 1.0  | 0.6  | 0.8  | 0.4  | 1.1  | 0.5 | 0.7  |
| 1994 | 旷野 | 13.4 | 19.4 | 23.8 | 25.9 | 21.6 | 16.1 | 6.1 | 18.0 |
|      | 林内 | 12.8 | 18.1 | 22.1 | 24.5 | 21.3 | 15.8 | 5.9 | 17.2 |
|      | 差值 | 0.6  | 1.3  | 1.7  | 1.6  | 0.3  | 0.3  | 0.2 | 0.8  |

图 1 1992 年地温差值( $T_{内} - T_{外}$ )变化曲线

份降幅最大,因此期地表处在解冻期,融冻需要消耗大量的热量,而林内土地含水量大、消热多,造成林网内外地温差异显著增大。

### 3.3 相对湿度和蒸发量的变化特征

沙区大气干燥,蒸发量大,对植物生长不利。在林网内,这种状况得到有效的改善(表 4、5),相对湿度显著提高,生长季提高 8%~15%。蒸发量平均降低 24.3%~24.7%。在生长季,林网内树木和作物强烈的蒸腾,消耗大量的热量,使气温下降,再加林网内风速降低,蒸腾所产生的大量水汽,不易扩散,使湿度提高,蒸发量下降,这在干旱沙区,对减轻空气和土壤干燥,保证作物良好代谢,起到了有利的作用。

表 4 月相对湿度值 (单位: %)

| 年份   | 站点 | 4月 | 5月  | 6月  | 7月  | 8月  | 9月  | 10月 | 均值  |
|------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1992 | 旷野 | 28 | 36  | 44  | 42  | 53  | 58  | 53  | 46  |
|      | 林内 | 31 | 50  | 58  | 70  | 71  | 76  | 65  | 60  |
|      | 差值 | -3 | -14 | -14 | -28 | -18 | -18 | -12 | -15 |
| 1993 | 旷野 | 36 | 37  | 30  | 46  | 51  | 46  | 49  | 42  |
|      | 林内 | 43 | 42  | 42  | 56  | 59  | 52  | 53  | 50  |
|      | 差值 | -7 | -5  | -12 | -10 | -8  | -6  | -4  | -8  |
| 1994 | 旷野 | 35 | 25  | 37  | 55  | 62  | 46  | 50  | 44  |
|      | 林内 | 41 | 39  | 55  | 63  | 75  | 60  | 54  | 55  |
|      | 差值 | -6 | -14 | -18 | -8  | -13 | -14 | -4  | -11 |

表 5 林网内外自由水面蒸发量月均值

(单位: mm)

| 年份   | 站点        | 4月    | 5月    | 6月    | 7月    | 8月   | 9月   | 10月  | 均值   |
|------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| 1992 | 野外站       | 10.59 | 10.22 | 12.63 | 12.36 | 8.97 | 8.43 | 4.81 | 9.72 |
|      | 林内站       | 8.63  | 8.50  | 9.13  | 8.70  | 7.08 | 5.74 | 3.72 | 7.36 |
|      | 差值        | 1.96  | 1.72  | 3.5   | 3.66  | 1.89 | 2.69 | 1.09 | 2.36 |
|      | 减少百分率 (%) | 18.5  | 16.8  | 27.7  | 29.6  | 21.1 | 31.9 | 22.7 | 24.3 |
|      | 野外站       | 7.26  | 11.47 | 14.09 | 12.33 | 9.89 | 9.82 | 5.22 | 9.98 |
| 1993 | 林内站       | 6.07  | 9.52  | 10.32 | 9.09  | 7.42 | 6.41 | 3.72 | 7.51 |
|      | 差值        | 1.19  | 1.95  | 3.77  | 3.24  | 2.67 | 3.41 | 1.50 | 2.47 |
|      | 减少百分率 (%) | 16.4  | 17.0  | 26.8  | 26.3  | 27.0 | 34.7 | 28.7 | 24.7 |

### 3.4 干热风天气变化

在乌兰布和沙区每年 6~7 月份,是干热风的发生期,常造成作物减产,品质下降。根据干热风综合指标和划分标准<sup>[2]</sup>,对试区 1993 年 6~7 月林网内外干热风的发生日数和危害类型进行统计(表 6)。旷野发生 17 d,其中重型 8 d,轻型 9 d。而林网内仅为 7 d,其中重型 1 d,轻型 6 d。对比表明,在林网内,干热风发生日数减少 58.8%,其中重型减少 87.5%,轻型减少 33.3%。

### 3.5 作物产量的变化

根据研究资料<sup>[3]</sup>,林带肋地范围可达 1~1.5 H,最大可达 2 H。为了弄清干旱沙区林带肋

表6 林网内外干热风发生次数及其指标值比较

| 站点  | 指标                   | 6(月/日) |      |      |        |      |      |      |      |      | 7(月/日) |      |      |        |      |      |      |      |
|-----|----------------------|--------|------|------|--------|------|------|------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|------|------|
|     |                      | 4      | 6    | 7    | 8      | 9    | 12   | 17   | 18   | 19   | 1      | 2    | 3    | 5      | 13   | 16   | 23   | 24   |
| 旷野  | $T_{max}(^{\circ}C)$ | 34.7   | 33.5 | 36.4 | 36.5   | 35.4 | 33.7 | 32.0 | 35.2 | 37.7 | 33.0   | 35.2 | 33.5 | 34.4   | 34.5 | 32.4 | 33.4 | 34.0 |
|     | $H_{14}(\%)$         | 22     | 20   | 12   | 12     | 21   | 9    | 18   | 19   | 16   | 19     | 12   | 30   | 17     | 23   | 23   | 29   | 24   |
|     | $V_{14}(m/s)$        | 5      | 3    | 4    | 5      | 2    | 8    | 4    | 7    | 6    | 4      | 7    | 4    | 6      | 2    | 6    | 3    | 4    |
|     | 类型                   | 重      | 轻    | 重    | 重      | 轻    | 轻    | 轻    | 重    | 重    | 轻      | 重    | 轻    | 重      | 轻    | 轻    | 轻    | 重    |
|     | 统计(d)                | 发生天数9, |      |      | 其中重型5, |      |      | 轻型4  |      |      | 发生天数8, |      |      | 其中重型3, |      |      | 轻型5  |      |
| 林网内 | $T_{max}(^{\circ}C)$ | 33.1   | 28.8 | 32.7 | 36.4   | 35.1 | 32.7 | 31.0 | 34.0 | 34.5 | 31.4   | 34.1 | 32.2 | 32.6   | 33.6 | 31.5 | 31.5 | 32.3 |
|     | $H_{14}(\%)$         | 41     | 26   | 21   | 19     | 32   | 17   | 28   | 30   | 23   | 26     | 21   | 37   | 29     | 46   | 28   | 39   | 31   |
|     | $V_{14}(m/s)$        | 5      | 2    | 2    | 2      | 0    | 5    | 3    | 3    | 4    | 3      | 3    | 5    | 3      | 2    | 3    | 3    | 7    |
|     | 类型                   | 无      | 无    | 轻    | 轻      | 无    | 轻    | 无    | 轻    | 重    | 无      | 轻    | 无    | 轻      | 无    | 无    | 无    | 无    |
|     | 统计(d)                | 发生天数5, |      |      | 其中重型1, |      |      | 轻型4  |      |      | 发生天数2, |      |      | 其中重型0, |      |      | 轻型2  |      |

地与增产的关系,以玉米为测产对象,在林带后  $0.5H \sim 2H$  范围内采取多点加密采样。表7表明:在  $0.5H \sim 1H$  范围内,产量变幅大,胁地作用显著,在  $1.25H \sim 1.75H$  范围内,作物产量变化很小,据此可将  $1.25H$  处产量作为林网作物的平产区。经计算,林网农作物玉米的实际增产率为  $5.14\%$ ,单位面积纯增产量  $468 \text{ kg/hm}^2$ ,纯增产值  $655.2 \text{ 元/hm}^2$ ,因此表明林网林带实际增产大于胁地减产,具有一定的增产作用。

表7 距林网树高不同倍处玉米产量指标值

| 项目       | 距林带距离(H) |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 0.5      | 0.75 | 1    | 1.25 | 1.5  | 1.75 | 2    | 3    |
| 样株产量(kg) | 1.89     | 2.67 | 3.09 | 3.75 | 3.97 | 3.88 | 4.69 | 4.66 |
| 千粒重(g)   | 245      | 273  | 269  | 312  | 329  | 316  | 353  | 353  |
| 增产率(%)   | 50       | 29   | 17   | 0    | 6    | 4    | 25   | 24   |
| 样地占地(%)  | 11.2     | 7.5  | 7.5  | 7.5  | 7.5  | 7.5  | 25.4 | 26.1 |

根据对乌兰布和沙区近年新开发的无防护林农田的调查对比,防护林网的增产率一般在  $50\% \sim 100\%$  之间,说明防护林建设是干旱沙区农业开发中,实现高产优质的关键技术。

以林网内玉米的实际增产率  $5.14\%$  为标准,计算出林网对其内部所保护的农作物和果树在单位面积上的实际贡献值(表8)。按林网保护下的农田对比无林网农田的增产率  $50\%$  计,林网内农作物(包括果树)净产值的  $33.3\%$  可折算为有林网农田对无林网农田的对比贡献值(表8),充分反映出干旱沙区防护林的生态经济价值。

表8 林网保护下每公顷作物、瓜果类产量

(1994-10)

| 项目       | 小麦      | 玉米      | 华莱士瓜    | 西瓜      | 甜菜      | 蕃茄      | 蔬菜      | 苹果梨     | 葡萄      |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 产量(kg)   | 4 800   | 9 000   | 25 500  | 37 500  | 45 000  | 67 500  | 45 000  | 15 000  | 18 000  |
| 产值(元)    | 7 680   | 10 800  | 12 500  | 11 250  | 9 000   | 16 200  | 13 500  | 18 000  | 28 800  |
| 投入(元)    | 2 355   | 2 130   | 2 470   | 2 730   | 2 130   | 2 775   | 2 460   | 3 810   | 3 225   |
| 产投之比     | 3.3     | 5.1     | 5.1     | 4.1     | 4.2     | 5.8     | 5.5     | 5.7     | 7.9     |
| 净产值(元)   | 5 325   | 8 670   | 8 370   | 8 520   | 6 690   | 13 425  | 11 040  | 14 190  | 25 575  |
| 实际贡献值(元) | 273.9   | 445.6   | 430.2   | 437.9   | 343.9   | 690     | 567.5   | 575.2   | 1 053.2 |
| 对比贡献值(元) | 1 743.3 | 2 887.1 | 2 787.2 | 2 837.2 | 2 227.8 | 4 470.5 | 3 676.3 | 4 725.3 | 7 517.5 |

注:小麦(*Triticum* sp.)、玉米(*Zea mays* L.)、华莱士瓜(*Cucumis* sp.)、西瓜(*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansfeld)、甜菜(*Beta* spp.)、蕃茄(*Lycopersicon esculentum* Mill)、蔬菜主要是土豆(*Solanum tuberosum* L.)、茄子(*Solanum* spp.)、豆角(*Vigna* spp.)、苹果梨(*Pyrus* sp.)、葡萄(*Vitis* spp.)等。

## 4 结 论

历经 4 a 的定位观测研究,取得了以下一些参数和结果。

(1) 干旱沙区农田防护林防护作用显著,可有效减轻风沙危害。无叶期防风效能为 39%~40%,有叶期高达 55.8%~56.2%。

(2) 生长季,林网内气温降低,平均降幅为 0.7℃,最热月 7 月,平均降低 1.2℃,有利于作物躲避高温胁迫。地温变化趋势与气温变化相同。

(3) 在林网内,相对湿度提高 8%~15%,蒸发量降低 24.3%~24.7%。这对缓减大气干燥,促进作物正常代谢颇为有利,这对干旱沙区人工绿洲提高生产力尤其重要。

(4) 在乌兰布和沙区人工绿洲内,干热风的发生日数和强度被有效抑制。干热风发生日数减少 58.8%,其中重型减少 87.5%,轻型减少 33.3%。

(5) 干旱沙区防护林网具有一定的增产作用,实际增产率 5.14%,与无林网对照,增产率为 50%~100%,林网内农作物净产值的 33.3%可折算为林网的生态经济价值。

### 参 考 文 献

- 1 乐天宇,花慎良,于系民. 小气候的改善与管理. 北京:农业出版社,1982. 220.
- 2 盛承禹等编著. 中国气候总论. 北京:科学出版社,1986. 391.
- 3 向开猷. 防护林学. 哈尔滨:东北农业大学出版社,1991. 59.

## A Study on the Relationship of the Shelter-forest Microclimate Effects on Man-made Oasis and Crops Production in Wulanbuhe Sandy Region

*Hao Yuguang*

**Abstract** Through 4-year study on the oriented spots, the results show that in the experimental network the windbreak efficiency is 39%~40% in leafless season and 55.8%~56.2% in leaf season; the temperature decreases by 0.4~0.6℃, especially in July the hottest month, the temperature decreases by 1.2℃; the evapo-transpiration rate reduced by 24.3%~24.7%, the relative humidity increases by 8%~15%; the days of desiccating hot wind reduced by 58.8%, of them, its light-duty type decreases by 33.3% and heavy-duty type by 87.5%. Under the protection of the network, the output of crops increase by 5.14% and total increase has reached 468 kg/ha and 655.2 yuan/ha. The increasing rate of the output is 50%~100% comparing with that of the farmland without forest network.

**Key words** man-made oasis in sandy region shelter-forest network microclimate effect