

## 林带两侧附近作物生产效能的研究

陆光明 马秀玲 徐祝龄

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

宋兆民 孟平 张劲松

(中国林科院)

吴丙奇 张均营

(河北省林科所)

**摘要:** 文中探讨了农林复合系统中林带两侧附近作物的生产效能。结果表明:其附近农田  $\text{CO}_2$  浓度水平和垂直分布不均匀,光合强度于近林带的 0.5H(距林带 0.5 倍树高)处数值明显低于 2H(距林带 2 倍树高),尤以 NO5H(指林带北侧 0.5 倍树高)处最低。光能利用率的分布也表现出类似的特点。水分利用效率分布与上述参数不同之处在于其最低值出现在 SO5H(指林带南侧 0.5 倍树高处),而 NO5H,由于林带遮荫,蒸腾量减少,仍表现出较高的水分利用效率。

**关键词:** 农林复合系统; 林带; 作物生产效能

**中图分类号:** S727.24

不少学者对农林复合系统中林带附近的光、热、水等小气候特征,作物生长发育及产量状况进行过研究,取得了很多有意义的结果<sup>[1~3]</sup>。但从作物生产效能的角度出发来探讨林带对作物的影响,所见报导甚少。这里提及的生产效能是指反映作物能量特征的如光合强度及光能利用率等;而在一定时间内单位叶面积  $\text{CO}_2$  同化量与其水分蒸腾量之比,则是反映光合生产的水分利用效率。于沪宁等<sup>[4]</sup>曾就麦田的  $\text{CO}_2$  通量与水分利用效率进行过研究。笔者曾分别就农业复合系统中的水分利用效率<sup>[5]</sup>,农田  $\text{CO}_2$  浓度分布与光合强度作过一些初步讨论<sup>[6,7]</sup>。本文重点则是依据野外观测资料,针对林带两侧附近的作物生产效能作一综合分析,这有助于进一步揭示林带对作物的影响机理。

### 1 试区概况及研究方法

**1.1 试区概况** 试区位于河北饶阳县大官亭乡农林复合系统试区内(115°33'E, 38°20'N),属暖温带大陆性季风气候。试区面积为 847  $\text{hm}^2$ ,以农田防护林网为主体,辅以林粮间作及成片用材林与经济林。林木覆盖率 18.5%。测点选在试区南北相邻两个林网的中间两条东西林带(株行距 4 m × 6 m)中心线上,测点位置以距树高(H)倍数来度量,向北四个点依次标记为 NO5H(即 0.5 倍树高)、N1H、N2H 及 N5H;向南四个点依次为 SO5H、S1H、S2H 及 S5H(图 1)。如图 1 所示,生物量测定在 8 个点均进行, $\text{CO}_2$  浓度与小气候观测限于仪器条件仅在四个点进行。对照点(旷野)位于试区东北方 500 m 处的农田内,各点生产水平基本一致。林网中农田作物为冬小麦,品种:农大 79。林带结构主要是大关杨、侧柏与紫穗槐乔灌结合的形式,树龄均为 10 年,大关杨平均树高 17 m,冠幅 78 m,胸径 25.80 m,枝下高 3 m,疏透度 0.4~0.6。

### 1.2 观测项目

**1.2.1 小气候观测** 在各测点活动面上 1m 处用天空辐射表进行总辐射与反射辐射测定;

收稿日期: 1995-03-03

修回日期: 1995-09-15

同时于活动面上 0.5m 及 2.0m 处用轻便风速表与通风干湿表进行温、湿、风梯度观测,用 ER-2008SA 型红外测温仪进行冠层温度观测;用 LI-1600 型稳定气孔仪测定旗叶蒸腾及阻抗;CO<sub>2</sub> 浓度梯度与光合强度 1990 年用 LI-6000 型 CO<sub>2</sub> 仪测定;1994 年用 LI-6200 型 CO<sub>2</sub> 仪测定。

小气候观测时间:小麦灌浆期间选择典型天气于当日 7~19 点,每小时观测一次,CO<sub>2</sub> 浓度及光合强度每 2 h 测定一次。观测日期 1990-05-11,小麦处于扬花期,株高 72 cm;1994-05-18,时值冬小麦灌浆期,平均株高 75 cm。测定光合强度时,每点取样 3 株,每株只测旗叶及倒二叶的光合强度值,以 3 株平均值代表该点群体光合强度。

**1.2.2 生物量测定** 包括冬小麦物候期分蘖动态,干重,叶面积指数及产量构成要素等,每 10 d 一次。

**1.3 计算方法**

**1.3.1 作物光能利用率 E(%)** 是指一定时期内单位土地面积上光合作用产物(M)与同时期投入该面积的太阳辐射能(ΣQ)之百分比,式中 H 为燃烧一克干物质释放的能量。其表达式:

$$E(\%) = \frac{MH}{\sum Q} \times 100\% \tag{1}$$

**1.3.2 水分利用效率(WUE)** 根据一定时期内光合强度(PH)与同时期的蒸腾量(ET) (本文用 7~19 时白天日总量计算)之比,应用下式算出:

$$WUE = \frac{PH}{ET} (mg \cdot g^{-1}) \tag{2}$$

**1.3.3 蒸腾量(ET)** 依据 Penman-Monteith 方法导出蒸腾的估算模式计算(6),其计算式:

$$ET = \frac{1}{L} \cdot \frac{\Delta A' + C_p \rho D / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_{st} / r_a)} \tag{3}$$

式中: A' 为冠层所接受的可用于潜热和显热交换的能量, D 为空气饱和差, r<sub>st</sub> 为冠层总气孔阻力, L 和 Δ 分别为汽化潜热和饱和水汽压随温度变化的斜率, ρ, C<sub>p</sub> 分别为干空气的密度和比热, γ 为干湿球常数, r<sub>a</sub> 为边界层阻力。

**1.3.4 动力交换系数** 计算式如下:

$$K = \gamma V_s (Z - d_0) \tag{4}$$

式(4)中  $V_s = \frac{V(Z)\chi}{lu \frac{Z}{Z_0}}$  (中性条件下用) (5)

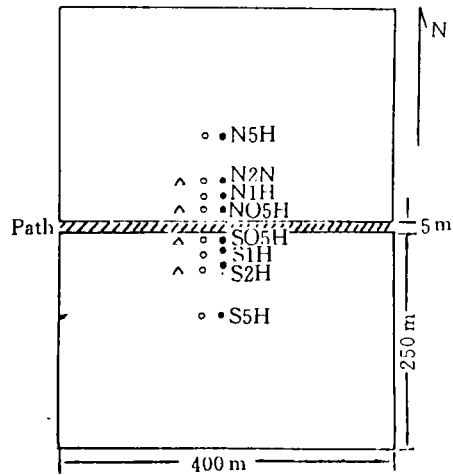


图 1 测点分布示意图

Fig. 1 Sketch map of the distribution of measurement spot

- : 林带 Forestbelt
- O: 生物量测点 Measurement spot of biological mass
- Δ: CO<sub>2</sub> 浓度与小气候测点 Measurement apot of CO<sub>2</sub> concentration and microclimate

$$V_* = \frac{V(Z)\chi}{lu \frac{Z-d_0}{Z_0} - \psi} \quad (\text{非中性条件下用}) \quad (6)$$

$$\text{式(6)中 } \psi = -5R, \quad (\text{不稳定层结下}) \quad (7)$$

$$\psi = 2\ln \frac{1+x}{2} + \ln \frac{1+x^2}{2} - 2tg^{-1}x + \frac{\pi}{2} \quad (\text{稳定层结下}) \quad (8)$$

$$\text{而 } x = (1-15Ri)^{0.25} \quad (9)$$

式中  $\gamma$  与干湿球常数,  $V_*$  为动力速度,  $d_0$  为零平面位移 ( $d_0 = 0.63h$ ,  $h$  为小麦平均株高)  $Z$  为植株活动面上  $2m$  高度,  $R_i$  为理查逊数,  $Z_0$  为粗糙度,  $\chi$  为卡曼常数,  $V(Z)$  与  $Z$  高度上风速。

## 2 结果与讨论

### 2.1 $CO_2$ 浓度分布

**2.1.1  $CO_2$  浓度水平分布** 农林复合系统中  $CO_2$  来源有 3 个方面: 大气中  $CO_2$ , 林木与作物呼吸排出的  $CO_2$ , 以及土壤放出的  $CO_2$ 。同单一的农业系统相比, 由于其林木的参与, 加之下垫面的不均一性,  $CO_2$  源汇关系比较复杂。据笔者研究认为<sup>[7,8]</sup>, 由于林木的存在, 农林复合系统中作物层附近白天  $CO_2$  浓度略有减少。系统中  $CO_2$  浓度平均较单一的农业系统低  $5.5 \sim 9.5 \text{ mL/m}^3$ 。由于复合系统中下垫面的不均性, 其浓度在空间分布也不均匀。这种不均匀性在本试验中也得到了证实, 如表 1 所示, 不论林带北侧还是南侧, 作物活动面附近的  $CO_2$  浓度均以近林带的  $0.5H$  处高于稍远于林带的  $2H$  处, 1994 与 1990 两年 3 天观测资料均表现一致, 平均高  $4.7 \text{ mL/m}^3$ 。其原因可能与林带的动力效应有关。由表 1 看出,  $0.5H$  处的风速与动力交换系数, 明显小于远离林带的  $2H$  处, 这样近林带的  $0.5H$  处的  $CO_2$  同  $2H$  处相比更易在作物活动层附近滞留, 导致  $CO_2$  浓度偏高。

表 1 活动面附近白昼(7~9h)平均  $CO_2$  浓度\*

Table 1 Average diurnal  $CO_2$  concentration (7~9h) near the active surface\*

日期	处理	$CO_2$ 浓度 Concentration / $\text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$	垂直浓度差** Vertical difference of $CO_2$ Concentration / $\text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$	水平浓度差*** Horizontal difference of $CO_2$ concentration / $\text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$	2m 高风速 Wind speed at 2m height / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	动力交换系数 Coefficient of dynamic exchange / $\text{s} \cdot \text{cm}^{-2}$
94. 5. 18	S2H	363. 9	3. 05		2. 73	2716
	SO5H	367. 6	1. 09	+3. 7	2. 42	2468
	N2H	366. 6	3. 28		2. 92	3019
	NO5H	367. 7	1. 60	+1. 1	2. 18	2331
94. 5. 19	S2H	360. 0	1. 60		1. 97	2003
	SO5H	364. 7	2. 22	+4. 7	1. 51	1666
	N2H	363. 5	2. 62		1. 77	1904
	NO5H	366. 7	1. 40	+3. 2	1. 32	1407
90. 5. 11	S2H	325. 5		+10. 8	/	/
	SO5H	336. 3				

\* 活动面高度用株高的  $2/3$  确定

\* The height of the active surface was determined by  $2/3$  of the plant height.

\*\* 指活动面上  $2m$  与  $0.5m$  高的浓度差

\*\* It meant the difference of  $co_2$  concentration between  $2m$  and  $0.5m$  above the active surface.

\*\*\* 指林带两侧距林带  $0.5H$  与  $2H$  的浓度差

\*\*\* It meant the difference of  $co_2$  concentration between  $0.5H$  and  $2H$  from the both sides of the forest belt.

**2.1.2 CO<sub>2</sub>浓度垂直分布** 由图2及表1可知:(1)由活动面至其上2m高处各点平均CO<sub>2</sub>浓度随高度是增加的,表明CO<sub>2</sub>垂直通量方向向下。(2)从活动面至2m高范围内,林带两侧均表现为2H处CO<sub>2</sub>浓度低于近林带0.5H处的浓度。且以活动面处两者差异最大。0.5m高处次之,2m高处差异最小。(3)CO<sub>2</sub>浓度垂直梯度均以2H点高于0.5H点。

**2.2 光合强度** 由表2看出:N2H与S2H的光合强度差异不大,并均高于NO5H与SO5H,如5月18日S2H与N2H的光合强度分别比SO5H与NO5H高25.3%与27.3%;而5月19日S2H与N2H则分别较SO5H与NO5H高30.8%与28.5%。尤以北侧NO5H,因林带遮荫影响,其净辐射最低(表2),故而光合强度也最低。SO5H并不受遮荫影响,何故光合强度仅高于NO5H而明显低于S2H与N2H呢?这是由于SO5H受北部林带保护,具有风障效应,活动层附近气温偏高,由表2看出,5月18日SO5H白天平均温度比S2H高0.6℃,5月19日则高0.7℃。温度高加速作物的水分消耗,更主要的是SO5H靠近林带,根系与作物争水肥,在水分供应不足的情况下,作物生长发育会受明显影响(另文讨论),而2H稍远离林带,并不受此直接影响。

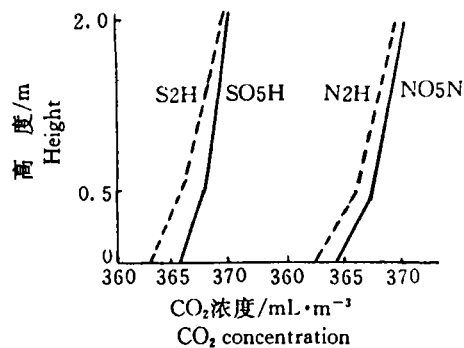


图2 CO<sub>2</sub>浓度垂直分布(1994-05-19)  
Fig.2 vertical distribution of CO<sub>2</sub> concentration  
(1994-05-19)

表2 白昼(7~19 h)麦田光合强度平均值(1994)

Table 2 Average diurnal strength of photosynthesis (7-19 h) in the wheat field (1994)

测定日期 Date of measurement	处理 Treatment	光合强度 Strength of photosynthesis /mg·dm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup>	净辐射 Net radiation KW·m <sup>-2</sup>	活动面附近气温(℃) Air temperature near the active surface/℃	2 m高CO <sub>2</sub> 浓度 CO <sub>2</sub> concentration at 2 m height /mL·m <sup>-3</sup>
94.5.18	S2H	14.87	0.298	22.2	368.8
	SO5H	11.87	0.295	22.8	
	N2H	13.33	0.298	22.4	
	NO5H	10.47	0.231	22.3	
94.5.19	S2H	12.23	0.288	22.2	367.3
	SO5H	9.43	0.284	22.9	
	N2H	11.47	0.287	22.4	
	NO5H	8.90	0.153	22.5	

由于近林带0.5H处的光合强度低于2H处,其CO<sub>2</sub>消耗量也少,这是造成0.5H处作物活动面附近CO<sub>2</sub>浓度高于2H的又一重要原因。

**2.3 水分利用效率** 水分利用效率(WUE)是反映生产效能的重要标志之一。由表3可见:两天的WUE值表现趋势一致,即S2H最大,其次是N2H,SO5H最小,林带北侧的NO5H与N2H差异不大。尽管靠近林带的NO5H光合强度低,但由于林带遮荫,入射的太阳辐射能少,蒸腾量相应减少,最终NO5H处也表现出较高的WUE。而SO5H由于光合强度低,

加之蒸腾量较高,则造成 WUE 值在四点中最低。

2.4 光能利用率 光能利用率(按生物学产量计)的大小涉及到光资源的利用效率问题。由图 3 看出,林带两侧均以 5H 处的光能利用率最高,S5H 与 N5H 分别为 2.09%与 1.93%。越靠近林带越低,SO5H 与 NO5H 光能利

用率仅分别为 0.90%(相当于 S5H 的 46.6%)与 0.85%(相当于 N5H 的 40.7%)。图 3 还表明光合强度(PH)与水分利用率(WUE)分布曲线(05-18~05-19)两天相应点的平均值)以及小麦经济学产量(包括千粒重)的分布均与光能利用率有相同的趋势。

3 小结

① 林带两侧附近作物活动面附近的 CO<sub>2</sub> 浓度水平与垂直分布不均匀,靠近林带 0.5 H 处的浓度高于 2 H 处;CO<sub>2</sub> 浓度的垂直梯度均为 2 H 处高于 0.5 H 处。

② 林带附近 0.5 H 处的光合强度值明显低于 2 H 点,尤以 NO5H 最低。

③ 林带两侧光能利用率以 5H 处最高,越靠近林带越低。NO5H 最低,其光能利用率仅相当于 N5H 的 40.7%;而 SO5H 相当于 S5H 的 46.6%。相应作物产量与千粒重的分布与光能利用率分布规律相同。

④ 水分利用效率的分布大致类似于上述各个参数,所不同的是 WUE 最低值出现在 SO5H,而 NO5H 由于辐射能减少,蒸腾量小,反而表现较高的水分利用效率。

以上是从生产效能的观点分析林带对附近作物的影响,并提出了一些观测事实与规律,为农区发展农林业,采取提高林带附近作物生产效能的措施提供了理论依据。

[注]由于仪器条件限制,本文只分析了林带两侧 5 倍树高范围内的作物生产效能。

表 3 水分利用效率(WUE)

Table 3 Water-use-efficiency

日期 Date	处理 Treatment	水分利用效率值 Water-use-efficiency /mg·g <sup>-1</sup>	日蒸腾量 Daily transpiration amount /mm·d <sup>-1</sup>
5.18	S2H	6.652	2.906
	SO5H	5.443	2.835
	N2H	5.978	2.899
	NO5H	5.957	2.284
5.19	S2H	5.620	2.829
	SO5H	4.549	2.695
	N2H	5.3159	2.805
	NO5H	5.290	2.187

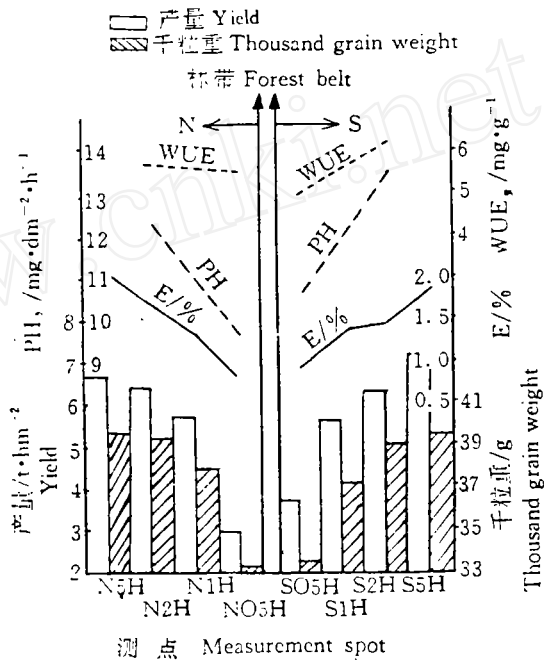


图 3 各处理作物生产效能图

Fig. 3 Sketch map of the crop production efficiency of all treatments

## 参 考 文 献

- 1 宋兆民等. 黄淮海平原综合防护林体系生态经济效益的研究. 北京农业大学出版社, 1990. 27~72
- 2 陆光明等. 林网保护下的作物产量与质量. 北京农业大学学报, 1988, 14(2), 177~183
- 3 曹新孙等. 农田防护林学. 中国林业出版社, 1983, 141~312
- 4 于沪宁等. 麦田 CO<sub>2</sub> 通量密度和水分利用效率研究. 中国农业气象, 1990, 11(3), 18~21
- 5 陆光明等. 农林复合系统中农田蒸散及水分利用效率的研究. 北京农业大学学报, 1992, 18(4), 409~414
- 6 卢振民等. 田间作物蒸腾量测算方法研究. 农业生态环境研究. 气象出版社, 1989, 344~351
- 7 陆光明等. 农林复合系统中农田 CO<sub>2</sub> 的分布与作物光合的初步研究. 北京农业大学学报, 1993, 19(4): 21~26
- 8 陆光明等. 农林复合系统在调控大气中 CO<sub>2</sub> 含量的作用. 北京农业大学学报, 1995, 21(2)

## Study on the crop production Efficiency on Both Sides of the Forest Belt

Lu Guangming Ma Xiuling Xu Zhuling

(College of Resources and Environment Science, CAU, Beijing 100094)

Song Zhaoming Meng Ping Zhang Jinsong

(Chinese Academy of Forestry Science)

**Abstract:** This article discussed the crop production efficiency on both sides of the forest belt in the composite system of agriculture and forestry. The result showed that the vertical and horizontal distribution of the air CO<sub>2</sub> concentration in the fields on both sides of the forest belt was not homogeneous. The amount of the photosynthetic intensity at 0.5H near the forest belt (it meant 0.5 times as much as the average height of the forest belt) was obviously lower than that at 2H (2 times as much as the average height of the forest belt), especially that at NO5H (0.5 time as much as the average height of the forest belt, here N means on the northern side of the forest belt) was the lowest among all these treatments. The distribution of the efficiency of light energy application also appeared shows similar tendency. The distribution of the water-use-efficiency differed from the above-mentioned parameters on that its lowest amount appeared at SO5H (0.5 times as much as the average height of forest belt, here S means on the southern side of the forest belt), but due to the screening of the forest belt with the reduction of the transpiration amount, the water-use-efficiency at NO5H showed to be still higher.

**Key words:** Composite system of agriculture and forestry; forest belt; crop production efficiency