

# 小麦气孔传导力和土壤基质势的关系\*

王 宏 杨春虹

(中国科学院地理研究所, 北京)  
(中国科学院北京大屯农业生态系统试验站)

## 摘 要

1984—1985年对湿润( $W_2$ )和干旱( $W_1$ )两种水分处理的农田冬小麦气孔传导力( $g_l$ )、土壤基质势( $\Psi_m$ )和空气饱和差( $d$ )进行了测定。试验结果表明, 晴天上午的 $g_l$ 主要受 $\Psi_m$ 的影响, 二者之间呈线性关系。因此上午的 $g_l$ 可用作土壤干旱引起的小麦水分亏缺的指标。设立土壤湿润的对照区以比较气孔传导力可以监测小麦田的土壤干旱。

各种作物或品种的抗旱性有很大差异, 在不同的生育阶段或不同的生长条件下, 作物受干旱影响的程度也大不相同。因此, 要准确、及时地判断和预测作物的干旱程度, 需要直接测定作物本身对干旱的生理反应。叶片气孔的水汽扩散传导力是植物水分亏缺的生理指标之一(Kramer, 1983)。Brady等(1975)发现大豆叶片午后的气孔阻力(传导力的倒数)与土壤水势呈抛物线关系, 并认为气孔阻力可以很好地反映土壤水的有效性, Sivakumar等(1978)指出, 大豆叶片的气孔传导力的日平均值与土壤水势有明显的线性关系。然而, Bailey等(1981)却认为, 虽然大豆气孔阻力与土壤水势为逆的关系, 但由于气孔阻力还受到其他环境条件的影响, 这种关系不能用于水分亏缺的预测。小麦叶片气孔与土壤水分的关系如何? 能否利用这种关系确定小麦干旱的生理指标? 本文将讨论这些问题。

## 一、试验方法

1984—1985年在中国科学院北京大屯农业生态系统试验站试验场(北京北郊大屯乡境内)进行试验。土壤为壤质褐潮土, 30厘米以上土层有机质含量在1%以上, 田间持水量为22.9%。种植品种为冬小麦丰抗二号。1984年和1985年的种植方法相同, 详见王宏等(1986)。

试验地分两种水分处理, 一种处理灌水次数较少(简称 $W_1$ ), 使土壤保持比较干燥的状态; 另一种处理灌水次数较多(简称 $W_2$ ), 使土壤比较湿润。两个处理的面积都不小于4亩。

气孔传导力( $g_l$ ) 1984年用英国MK-3型自动气孔计测定叶片的气孔阻力。每次随机测10片叶子, 两面都测, 测点在叶片的中上部。每次测定需10分钟左右, 测定前作标准曲线。1985年用美国LI-1600型稳定态气孔计进行测定。由于小麦气孔关闭之前同一叶序叶片之间

\* 张翼、黄秀华和刘瑞文等同志提供了帮助, 特此志谢。  
本文于1985年7月12日收到。

气孔阻力差异不大,故每次随机测6片叶子,3片测近轴面,3片测远轴面。每次测定需10分钟。两种气孔计的测定原理有所不同,所测结果之间有系统误差,故本文不作两年测值的比较。这两种仪器都是目前测定气孔阻力精度较高的仪器(Bell等,1981)。计算公式是:

$$g_l = \frac{1}{r_s} = \frac{1}{r_d} + \frac{1}{r_b}$$

式中 $g_l$ 是叶片气孔传导力,单位是厘米/秒, $r_s$ 、 $r_d$ 和 $r_b$ 分别是叶片、近轴面和远轴面的气孔阻力,单位是秒/厘米。

1984年小麦返青以后除雨天和星期日以外每天在9:30、11:30、13:30和15:30进行测定,并在整个生育期选择典型天气进行整个白天的测定,每小时一次,共测11天。1985年平时每天10:00和14:00各测定一次,全日测定共18天。

**土壤基质势( $\Psi_m$ )** 土壤基质势是土壤水势的主要组成部分,在土壤渗透势不高的情况下,土壤基质势决定土壤水的有效性。本试验用负压计测定土壤基质势。将负压计埋设在不同的深度。1984年最浅层为10厘米,每层间隔20厘米。1985年最浅层为20厘米,其他深度与1984年相同。由于小麦根系绝大部分分布在1米土层以上,故取110厘米以上各层的平均值。

**空气饱和差( $d$ )** 1985年分别在两个水分处理小麦冠层以上1米处悬挂阿斯曼通风干湿表,测定干球和湿球的温度,与气孔计的观测同时进行。根据《湿度查算表》得到饱和差。

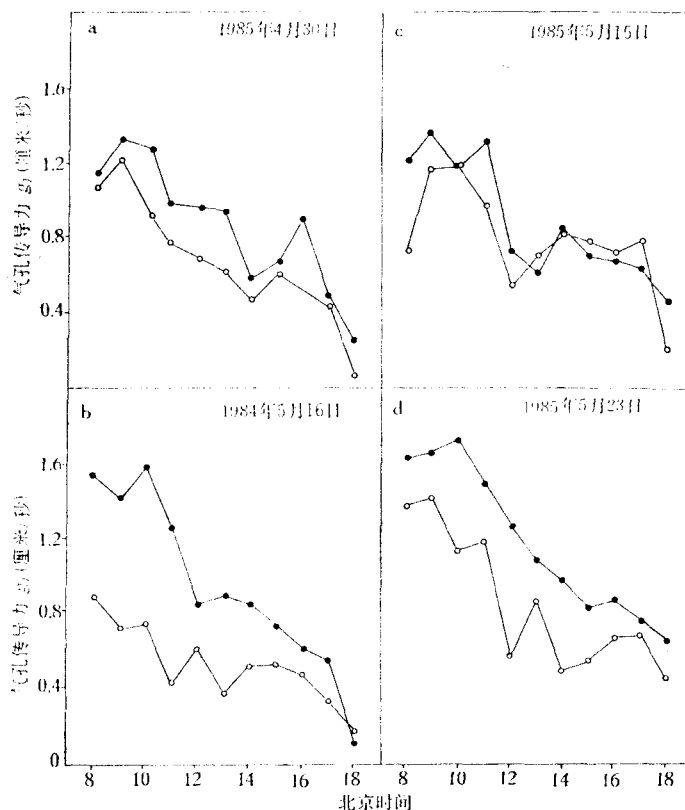


图1 小麦气孔传导力( $g_l$ )的日变化

○干旱处理( $W_1$ ) ●湿润处理( $W_2$ )

Fig.1 Diurnal changes of stomatal conductance of wheat

## 二、结果与讨论

### 1. 气孔传导力的日变化

两年中29次气孔传导力日变化的观测表明,气孔传导力不但受土壤水分的影响,还受大气环境的影响。如果一天中天气变化很大,气孔传导力也相应地有较大波动。但在晴天或全天是阴天时,无论土壤是湿润的还是干燥的,气孔传导力都是在上午达到最高值,中午开始下降,午后既使有所回升也很有限(见图1)。这说明在一般天气条件下,一天中以上午水分胁迫最轻,中午和下午较重。

比较两个处理气孔传导力的差异可以看出,土壤含水量多,气孔传导力则高。1985年4月30日是晴天(见图1a), $W_2$ 处理土壤基质势为 $-0.008MP_a$ , $W_1$ 处理为 $-0.012MP_a$ ,前者的气孔传导力始终高于后者。1984年5月16日(见图1b)是晴天,两个处理的土壤水分都在逐渐减少,但 $W_2$ 处理的土壤基质势仍高于 $W_1$ ,二者分别为 $-0.028MP_a$ 和 $-0.038MP_a$ (见图2),气孔传导力也是 $W_2$ 处理较高。

阴天的情况则有所不同。1985年5月15日(图1c)是阴天,虽然土壤水分状况与图1b相似,但两个水分处理的气孔传导力的差异却小得多。

作物前期所经受的干旱对以后的气孔传导力也有影响。例如图1d中两个处理的土壤水分都接近饱和(图2),但由于 $W_1$ 处理曾遭受较严重的干旱( $\Psi_m$ 曾低于 $-0.05MP_a$ ),气孔传导力仍全天都低于 $W_2$ 处理。

### 2. 气孔传导力的长期变化

图3a是1984年小麦旗叶气孔传导力的长期变化图,日值是9:30、11:30、13:30和15:30 4次测定的平均值。由于气孔不仅受土壤水分的影响,还受大气条件的制约,因此气孔传导力的变化实际是多种因素综合作用的结果,但从图中仍可大致看出长期变化的趋势。图3a可分为三个阶段:第一阶段小麦处于孕穗期,两个处理的气孔传导力都随着土壤水分的减少而降低, $W_2$ 处理土壤含水量比 $W_1$ 多,气孔传导力也明显地高(见图2);第二阶段小麦为开花灌浆期, $W_2$ 处理灌水,土壤基质势上升,气孔传导力随之有所提高,但提高幅度低于第一阶段最高值,以后又开始下降。 $W_1$ 处理没有灌水,土壤水分缓慢减少,气孔传导力也略有降低;第三阶段为乳熟期, $W_1$ 处理开始灌水,气孔传导力上升,但仍低于第一阶段的高值。 $W_2$ 处理变化不大,气孔传导力仍然高于 $W_1$ 处理。

1985年的日值为10:00和14:00的平均值(图3b)旗叶气孔传导力的长期变化也可划分成

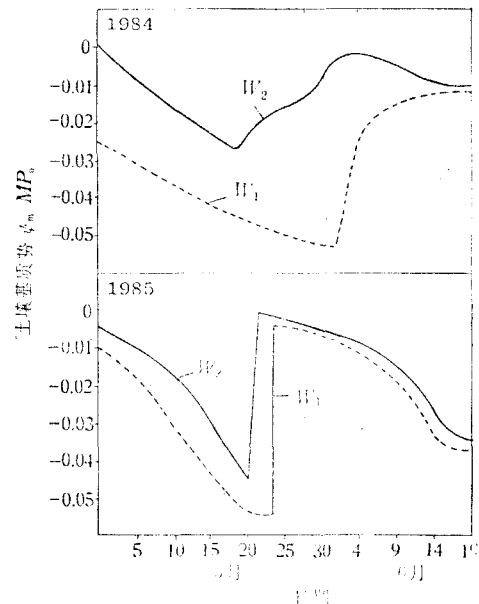


图2 土壤基质势的变化  
Fig.2 Changes of soil matrix potential

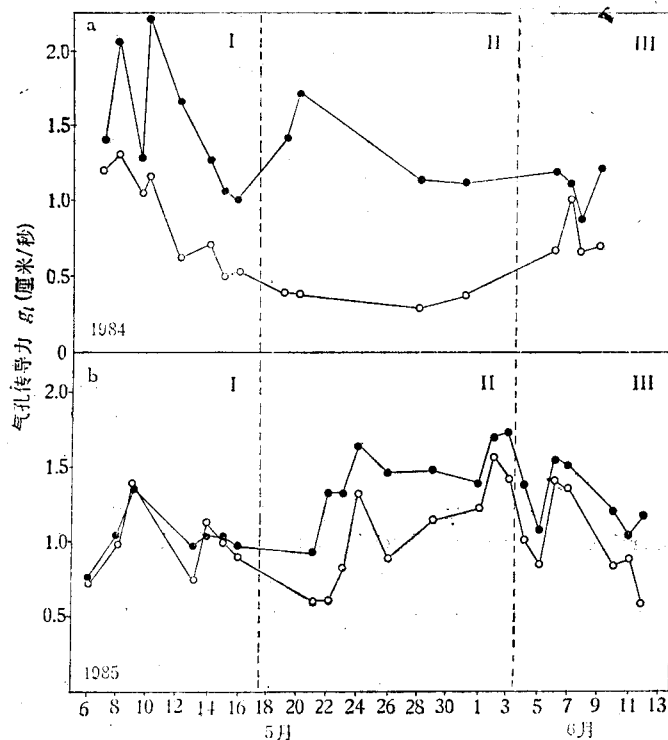


图 3 小麦气孔传导力的长期变化

○干旱处理(W<sub>1</sub>) ●湿润处理(W<sub>2</sub>)

Fig.3 Long-term changes of stomatal conductance of wheat

与1984年相同的三个阶段。第一阶段两个处理土壤含水量同时下降,二者差异比1984年同期小,气孔传导力也很相近;第二阶段W<sub>2</sub>处理灌水比W<sub>1</sub>早3天,灌水后气孔传导力大幅度增加,高于第一阶段的值。W<sub>1</sub>处理灌水前土壤水继续减少,气孔传导力也相应降低,灌水后则显著提高,但始终低于W<sub>2</sub>处理;第三阶段两个处理的气孔传导力都因土壤水分的减少而下降,W<sub>1</sub>继续低于W<sub>2</sub>。

通过上述分析,我们可以得出以下几点结论:(1)在一般情况下,小麦气孔传导力随着土壤水分的减少而降低,水分减少越多,干旱越重,气孔传导力下降幅度就越大。(2)干燥土壤重新恢复湿润状态后,气孔传导力通常上升。但是如果前期遭受比较严重的干旱,就可能使气孔丧失完全开张的能力,即使在水分充足条件下,气孔传导力上升很有限,甚至没有提高。(3)1984年W<sub>2</sub>处理没有遭受严重的干旱,第二、三阶段的气孔传导力却比第一阶段有所下降,这可能与蚜虫和干热风的危害有关(王宏等,1986)。

### 3. 气孔传导力与土壤基质势的关系

去除了阴天和大风天的资料之后,我们对旗叶气孔传导力和土壤基质势之间的关系进行了分析。图4是1984年上午9:30旗叶气孔传导力与土壤基质势的关系图。两个处理灌水以前的气孔传导力和土壤基质势都有很好的线性关系,相关系数达到0.01显著标准<sup>1)</sup>。两个处理的数据结合在一起,这种关系仍很显著(见图4c)。但是灌水以后的值(图4a和4b中圆圈中的值)不符合这种关系。两个处理的回归方程可以在共同的土壤基质势范围内进行比较,表

1) 本文所举相关系数均达到0.01显著标准。

1 指出, 在土壤基质势为  $-0.03\text{MPa}$  时,  $W_1$  处理的气孔传力比  $W_2$  略高。这说明经过干旱锻炼的  $W_1$  处理, 气孔开张能够忍耐比较低的土壤水势。

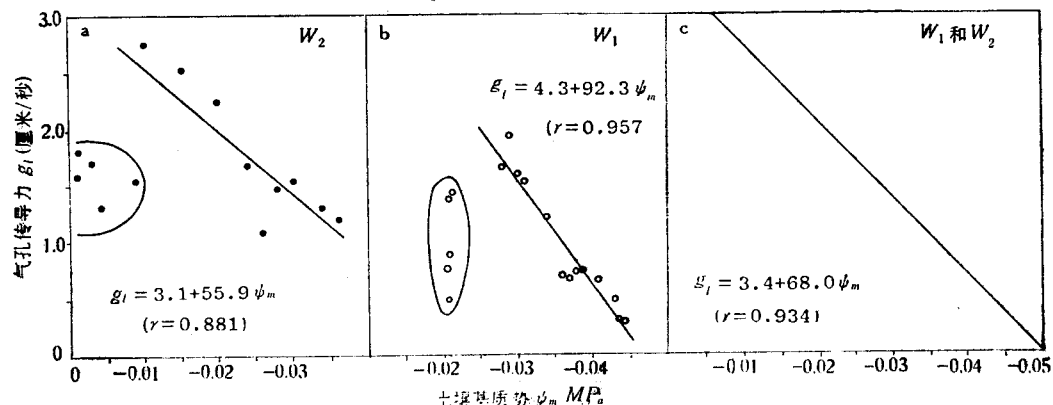


图 4 1984年9:30气孔传力与土壤基质势的关系

Fig. 4 The relationship between stomatal conductance at 9:30 and soil matric potential in 1984

表 1 由回归方程计算的气孔传力

Table 1 Stomatal conductance calculated by regressive equations

| 时 间        | 处 理   | 土 壤 基 质 势 $\text{MPa}$ |       |       |       |
|------------|-------|------------------------|-------|-------|-------|
|            |       | -0.01                  | -0.02 | -0.03 | -0.04 |
| 1984 9:30  | $W_1$ | —                      | —     | 1.53  | 0.61  |
|            | $W_2$ | 2.54                   | 1.98  | 1.42  | —     |
| 1985 10:00 | $W_1$ | 1.40                   | 1.30  | 1.20  | 1.10  |
|            | $W_2$ | 1.52                   | 1.34  | 1.16  | 0.98  |
| 1985 14:00 | $W_1$ | 1.39                   | 1.18  | 0.97  | 0.76  |
|            | $W_2$ | 1.58                   | 1.26  | 0.94  | 0.62  |

1984年11:30少水处理 ( $W_1$ ) 的旗叶气孔传力也是在灌水以前同土壤基质势关系密切 (图5)。而多水处理 ( $W_2$ ) 却没有这种关系, 这显然与当时的大气条件有关, 我们 将 在

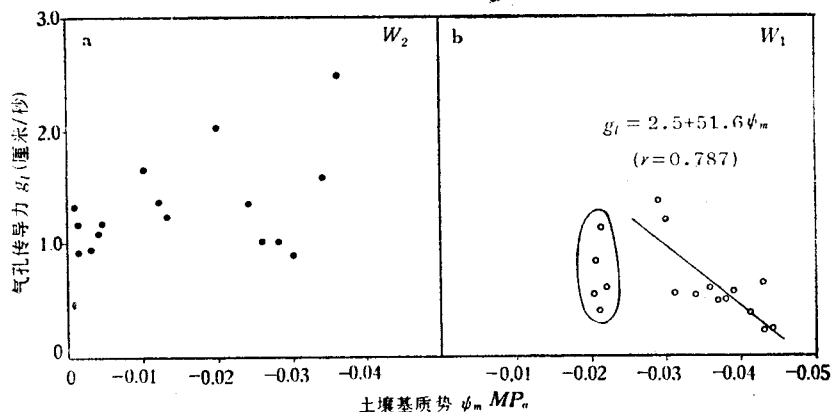


图 5 1984年11:30气孔传力与土壤基质势的关系

Fig. 5 The relationship between stomatal conductance at 11:30 and soil matric potential in 1984

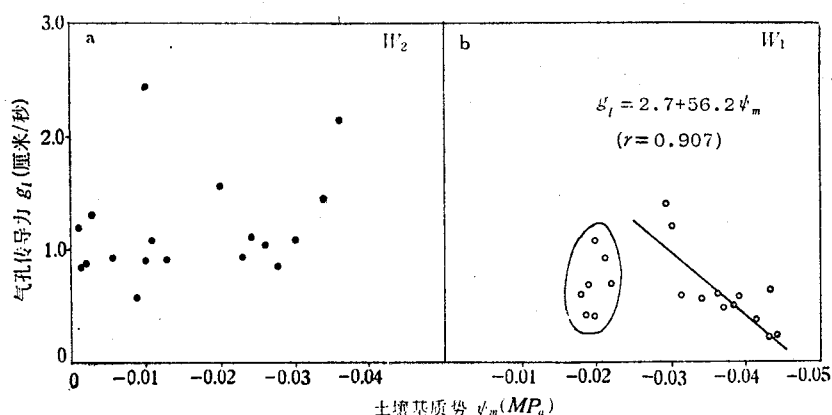


图 6 1984年13:30气孔传导力与土壤基质势的关系

Fig.6 The relationship between stomatal conductance at 13:30 and soil matric potential in 1984

1985年的资料中讨论这个问题。1984年 13:30 两个处理分别与 11:30 类似 (图 6)。15:30 两个处理的气孔传导力都与土壤基质势没有明显的关系。

1985年 10:00 和 1984 年上午的情况不同, 整个旗叶的生长过程中, 气孔传导力都与土壤基质势线性相关 (图 7)。这说明如果干旱不很严重, 便不会损伤小麦气孔的开张能力, 供水以后气孔传导力重新上升。

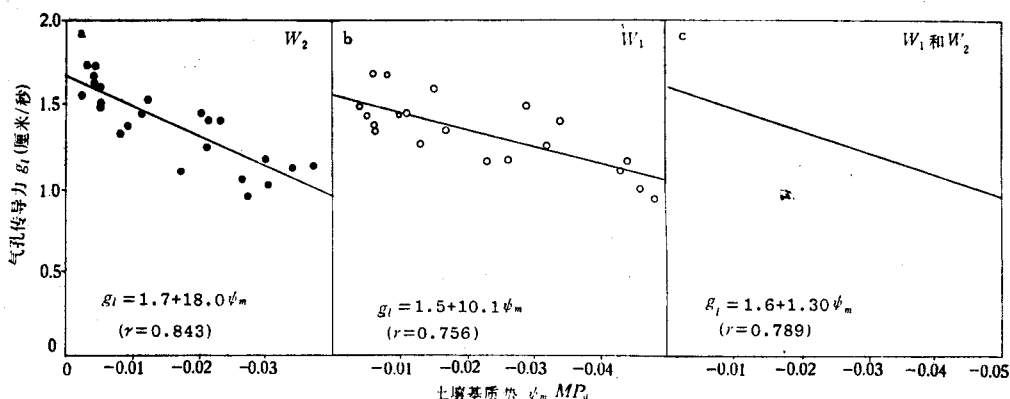


图 7 1985年10:00气孔传导力与土壤基质势的关系

Fig.7 The relationship between stomatal conductance at 10:00 and soil matric potential in 1985

1985年 14:00 与 1984 年 11:30 和 13:30 的  $W_2$  处理类似, 气孔传导力和土壤基质势的关系不明显 (见图 8)。但是在去除了饱和差大于 1.9 kPa 时的值以后, 两个处理的相关系数都很高, 这说明高的饱和差也是限制气孔开张的一个重要因素。这种解释也适用于 1984 年 11:30 和 13:30 的  $W_2$  处理, 但为什么  $W_1$  处理没有去除高饱和差的值便与土壤基质势显著线性相关呢? 这可能是由于在长期严重的干旱条件下, 小麦气孔对饱和差的反应已经不敏感。Squire (1979) 在对珍珠稗的研究中有类似的结论。

如表 1 所示, 1985 年 10:00 和 14:00  $W_1$  处理在低土壤基质势 ( $< -0.03 \text{ MPa}$ ) 时气孔传导力高于  $W_2$  (这与 1984 年 9:30 的结果一致), 而在高基质势 ( $> -0.03 \text{ MPa}$ ) 时却比  $W_2$  低,

这可能是气孔既不能最大张开,又不能紧密关闭,说明经历过干旱的小麦气孔对土壤水分的反应也不敏感了 (Jones, 1979)。

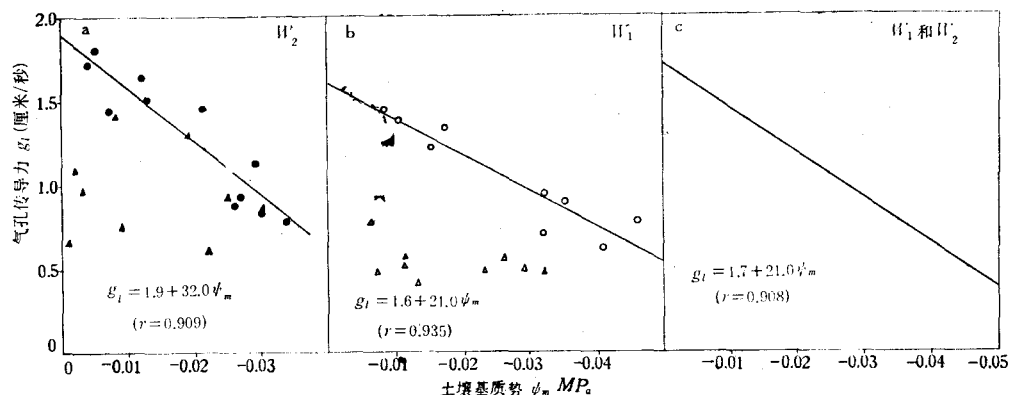


图 8 1985年14:00气孔传力与土壤基势的关系

△和▲表示饱和差高于1.9kPa时的值

Fig.8 The relationship between stomatal conductance at 14:00 and soil matric potential in 1985

### 三、小 结

1. 一天中土壤水分的变化很小,空气湿度的变化却常常很大。上午空气饱和差比较低,以后逐渐上升,下午达到最高(见图9),饱和差比较高时能促使气孔关闭(Kramer, 1983)。因此,当光和温度等其他因素对气孔的开张影响不大时,气孔传力通常在上午达到最高值,并能反映土壤水分的影响;而下午气孔常常开张较小,反应了土壤水分和饱和差的共同作用。我们可以根据晴天上午的气孔传力来判断土壤水分亏缺对作物的影响,并可利用它与土壤基势的函数关系来推算土壤有效水的含量。气孔的测定时间以上午 10:00 左右为宜,过早光照可能不足从而影响气孔开张,叶片上的露水也会影响测定的精度。

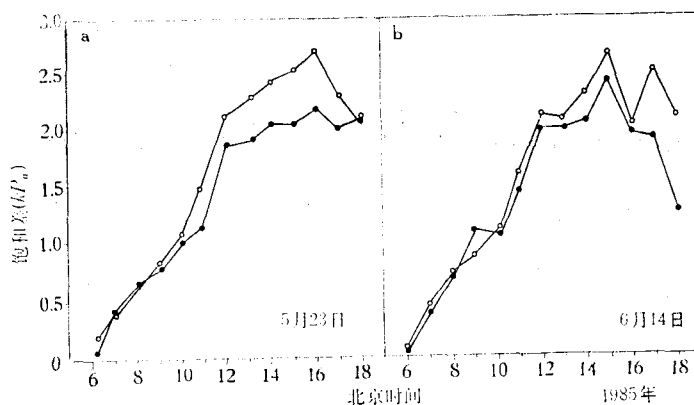


图 9 饱和差的日变化

○干旱处理(W<sub>1</sub>) ●湿润处理(W<sub>2</sub>)

Fig.9 Diurnal changes of saturation deficit

2. 严重干旱以后气孔对环境条件的反应变得不敏感。一方面在高饱和差时气孔并不相应地关闭, 另一方面在水分充足时气孔也不能完全张开。因此在判断水分亏缺时要考虑小麦以前的水分条件。

3. 白天暂时的叶片水分亏缺在某些生育期(如开花灌浆期)对小麦产量的影响也是很大的, 我们可以通过对下午气孔传导力的测定来了解水分胁迫的程度。

总之, 在一定的天气条件下, 气孔传导力能够准确地反映小麦的水分亏缺程度和土壤水分的供给情况。因此气孔计可以用于判断和预测干旱。但是, 不同品种、不同叶片对干旱的反应是不一样的, 在实践中气孔传导力指标的确定比较困难。以湿润田块为对照区进行气孔传导力的比较可能是比较简便有效的方法。

### 参 考 文 献

- 王宏、杨春虹 1986 农田小麦土壤湿润条件下气孔活动的特点。生态学报 6(4):330—337.  
 Bailey, W.G. and J.A.Davies, 1981 Bulk stomatal resistance control on evaporation. *Boundary-layer Meteorol.* 20:401—415.  
 Bell, C.J. and G.R.Squire, 1981 Comparative measurements with two water vapour diffusion porometers (dynamic and steady-state). *J.exp.Bot.* 32:1143—1156.  
 Brady, R.A., S.M.Goltz, W.L.Powers and E.T.Kanemasu, 1975 Relation of soil water potential to stomatal resistance of soybean. *Agron. J.* 67:97—99.  
 Jones, H.G. 1979 Stomatal behaviour and breeding for drought resistance. In *Stress physiology of crop plants* pp. 408—428. Mussell, H. and Staples, R.C. (eds.) Wiley, New York.  
 Kramer, P.J. 1983 *Water relations of plants*. Academic Press, New York.  
 Sivakumar, M.V.K. and R.H.Shaw, 1978 Relative evaluation of water stress indicators for soybean. *Agron. J.* 70:619—623.  
 Squire, G.R. 1979 The response of stomata of plant of Pearl Millet (*Pennisetum typhoides* S. and H.) to atmospheric humidity. *J.Exp.Bot.* 30:925—933.

## THE RELATIONSHIP BETWEEN STOMATAL CONDUCTANCE OF WHEAT AND POTENTIAL OF SOIL MATRIXES

Wang Hong Yang Chunhong

(Beijing Agro-ecological Experiment Station, Institute of Geography, Academia Sinica, Beijing)

Stomatal conductance of winter wheat ( $g_i$ ), potential of soil matrixes ( $\psi_m$ ) and air saturation deficit ( $d$ ) were measured in the well watered ( $W_2$ ) and less watered ( $W_1$ ) plots in 1984 to 1985. Results of this experiment showed that during clear days  $g_i$  in the morning was mainly affected by  $\psi_m$ , which could be well-characterized by a linear regression. So  $g_i$  in the morning could be an indicator of crop water stress caused by soil water deficit. It is convenient to compare the field crop  $g_i$  with the well-watered to compare the field crop  $g_i$  with the well-watered reference plot by monitoring water deficit.