# 水分胁迫对棉花叶片生长 和光合的影响<sup>1)</sup>

荆家海 马书尚

(西北农业大学基础课部)

#### 摘 要

棉花LER对水分胁迫极其敏感。 $\psi_*$ 下降时LER比P。受抑制时间早且更严重。 $\psi_*$ 为-0.8MPa时,生长停止,而Pn仍维持较高水平。 $\psi_*$ 大于-1.6MPa,Pn 随 $\psi_*$ 下降而变化不大; $\psi_*$ 小于-1.6MPa,Pn 显著降低; $\psi_*$ 达-2.5MPa时,Pn为零。Pn和DR之间为显著负相关。 $\psi_*$ 为-1.6MPa以上,DR变化不大; $\psi_*$ 低于-1.8MPa时,Pn随DR增加而显著降低, $\psi_*$ 为-2.5MPa时,因气孔关闭,Pn为零。经受水分胁迫棉株以渗透调节方式适应胁迫条件。P-V曲线表明,在任何RWC下,干旱处理 $\psi_*$ 比灌水处理的更负;干旱处理中片膨压消失点 $\psi_*$ 为-1.90MPa,灌水处理为-1.54MPa。

**关键词:**水分胁迫;水势;叶片延伸生长速率;渗透调节;净光合速率;棉花

棉花体内水分状况对各种生理过程有重要影响。随着水分胁迫的加剧,叶片水势逐渐降低,首先表现出叶片生长减慢,直至停止,然后才是光合速率的降低<sup>[4]</sup>。生长快慢主要决定细胞膨压大小<sup>[6]</sup>,而光合速率既决定于气孔因素,又决定于非气孔因素,又决定于非气孔因素<sup>[7]</sup>。本文目素<sup>[7]</sup>,而蒸腾速率则依赖于叶片水分状况、扩散阻力和大气蒸发要求<sup>[7]</sup>。本文目的在于以棉花为材料,研究水分胁迫及胁迫后复水叶片水势变化、叶水势与叶片生长、光合、蒸腾关系,水分胁迫条件下体内渗透调节能力。

# 1 材料和方法

#### 1.1 材料处理

材料培养:将棉花品种辽棉七号( $Gossypium\ hirsutum\ L.$ ,Liao mian No.7)种于装有表层土壤的塑料盆(高13cm,直径15cm)中,于遮雨玻璃 房中培养。测定前10天放入人工生长箱(光照400 $\mu$ E·m $^{-2}$ ·s $^{-1}$ ,温度29°C,相对湿度60%左右)中培养。每日灌水,保持良好的水分状况。

本文于1987年2月16日收到。

<sup>1)</sup> 系国家自然科学基金资助项目的一部分。

处理:灌水处理保持良好水分状况;干旱处理于测定开始停止灌水,使其干旱,并进行各项测定,当 $\psi_*$ 达 -3.5MPa 时复水,继续测定。

#### 1.2 测定方法

叶水势(ψw):用美国土壤水分仪器公司制造的压力室测定。

叶片延伸生长速率(LER):用毫米分度尺,间隔一定时间测出叶长度,计算LER。

净 光合速率 (Pn): 用西德产 BINOS 红外  $CO_2$  分析仪,以大气  $CO_2$  作 为 碳源进行测定。

叶片扩散阻力(DR)与蒸腾速率Tr: 用美国产 LI-1600 型稳态气孔计测定。

P一V曲 线绘制:剪取欲测带枝叶片,迅速放入水中,连续剪去枝条、叶柄两次,以 免气泡侵入导管。于水中(外盖上玻璃钟罩)饱和三个小时以上。取出叶片,擦去水分,迅速称重,放入压力室,加压至平衡压,吸掉切口水分。待无水排出,取出叶片 称重,再加压。如此循环,算出RWC(相对含水量),并用 RWC 与其 相 对 应的 $\psi_w^{-1}$  绘图(如图 5)。

## 2 实验结果

#### 2.1 水分胁迫和胁迫后复水叶水势的变化

棉花叶片在良好供水条件下, $\psi_*$ 为 -0.30MPa 左 右(图 1 )。由于蒸发 蒸 腾 耗水,土壤水分不断减少,随着水分亏缺加剧,叶片 $\psi_w$ 逐渐降低:停止灌水后 12 小时, $\psi_w$ 为 -0.70MPa ;30小时, $\psi_w$ 为 -2.00MPa;60 小时, $\psi_w$  为 -2.40MPa;96 小时 $\psi_w$ 达 -2.50MPa。此时复水, $\psi_w$ 迅速回 升:复水后7.5 小时, $\psi_w$ 上 升 至 -1.70MPa;21.5 小时, $\psi_w$ 为 -1.15MPa;33.5小时, $\psi_w$ 为 -0.64MPa;60 小时  $\psi_w$ 达 -0.56MPa。 复

水后中w回升可分为:从复水至7.5小时为中w 迅速回升阶段;7.5一35.5小时为回升减 慢阶段;35.5小时后为中w恢复非常缓慢阶段。实验结果表明,棉花因水分胁迫伤害, 中w达-3.50MPa,并未死亡;只要有水分再 次供应仍能恢复,如玉米、高梁、豇豆等 作物受干旱后尚未发现中w下降到如此低水 平(荆家海等,待发表)。从图1看出,棉 花水分胁迫及胁迫后复水叶片中w变化为 "V" 型。

### 2.2 叶水势与叶片生长速率关系

LER 对水分亏缺非常敏感。图 2 表明,棉花LER与 $\psi_w$ 变化密切相关: $\psi_w$ 为 -0.4MPa,LER最高;此后 $\psi_w$  值降低0.1 MPa,LER从0.5降至0.36毫米•小时 $^{-1}$ ;

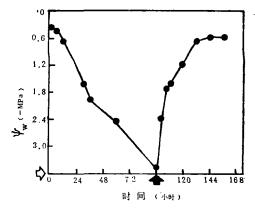


图1 水分胁迫和胁迫后复水棉 花炉w变化

(黑色箭头指示У√»为 -3.5MPa 时复水,空 心箭头示停止灌水,干旱处理开始)

 $\psi_w$ 为 =0.8MPa, 生长停止。土壤干旱引起 $\psi_w$ 降低,迫使生长停止,主要是 由 于 在 水

势迅速降低同时, $\psi_s$ (叶渗透势)不能因渗透调节而相应地降低,以维持一定 $\psi_p$ ( 压力势或膨压)所造成的。这与许多人研究的细胞延伸生长与 $\psi_p$ 关系密切的结果 [4,8,9] 一致。

当水分胁迫使 $\psi_w$ 达 -3.5MPa 时复水,叶片 $\psi_w$ 迅 速 恢复(图 1 , 2 )。 当  $\psi_w$  恢复到 -1.64MPa,叶片又重新开始生长;然后随 着  $\psi_w$  上 升,LER 不 断 增 加; $\psi_w$  为 -0.60MPa 左右,LER 达0.27毫米•小时<sup>-1</sup>; $\psi_w$ 在 -0.60~1.60MPa 范 围 内,LER 并非直线上升,而是有起有伏,在玉米试验中也发现类似情况<sup>[1]</sup>。复水后两 天,LER 还不能恢复到正常状态,这可能与植物受到干旱伤害有关。

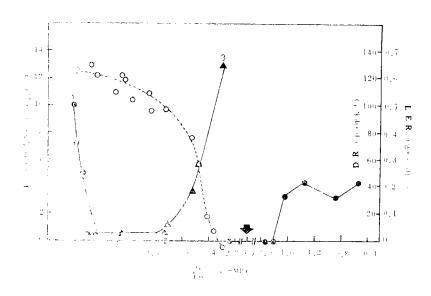


图2 水分胁迫条件下 $\psi_w$ 与 LER, Pn, DR关系

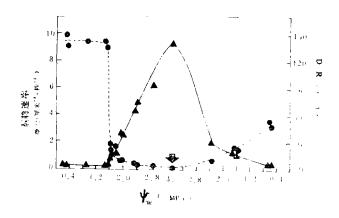
(注:1-LER, 2-Pn, 叶片净光合速率;3-叶片扩散阻力;黑色箭头表示复水)

#### 2.3 叶水势与光合速率关系

从 P n 和扩散阻力关系(图 2,曲线 2, 3)看, P n 和扩散阻力有显著负相关,相关 系数 为 -0.95。 P n 变化受气孔因素和非气孔因素影响 [7,10]。  $\phi_w$  在 -1.6 M P a 以上,扩散阻力(主要是气孔阻力)变化不大,而 P n 逐渐降低(图 2 ),说明非气孔因 素对 P n 的影响早于气孔因素影响。  $\phi_w$  在 -1.6 0 M P a 以下,扩散阻力急剧增加, P n 迅速降低,  $\phi_w$  达 -2.5 0 M P a, P n 为零。说明此时气孔已经关闭,限制 CO  $_2$  吸收,成为 P n 降低的主要限制因子。

#### 2.4 叶水势与扩散阻力、蒸腾速率关系

图 3 表明,在 $\psi_w$ 较高(-0.40-1.60MPa)条件下,扩散阻力较小,且变化不大,蒸腾速率保持在较高水平。 $\psi_w$ 在-1.60MPa以下,扩散阻力急剧增加,蒸腾速率急剧



**图3 水分胁迫下,**ψ**ッ与**DR, Tr的 **关系** (虚线示Tr—蒸腾速率, 实线示DR—扩散阻力)

降低。 $\psi_{W}$ 为 -2.00MPa-2.80MPa,蒸腾速率一直保持在最低水平,扩散阻力很大,说明气孔已经关闭。这与图 2中 Pn与扩散阻力变化一致。

当 $\psi_w$ 为 -3.50MPa 时复水, $\psi_w$ 逐渐恢复,扩散阻力不断下降,蒸腾速 率 逐 渐 增加。 $\psi_w$ 为-0.60MPa时,扩散阻力已接近最低水平,而蒸腾速率只能恢复到复水前最 高水平的35%左右。棉株经受水分胁迫锻炼后重新获得水分,蒸腾降低是对于旱一种适应,

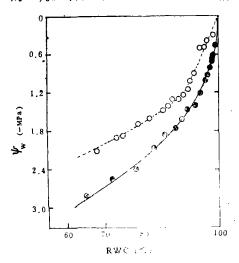


图4 不同水分处理叶片RWC和中w关系 ( 虚线示准水处理, 实线示于早处理 )

这是组织保水力增加还是其他原因,还需进 一步研究。

# 2.5 水分胁迫引起棉花叶片 渗透调节

分别测定灌水和干旱处理叶片ψπ和相对应的 RWC, 绘图。从图 4 明显看出,任何一种 RWC, 干旱处理叶片ψπ均比灌水处理叶片低。如在 RWC 90%时,灌水处理ψπ为 -1.25MPa,干旱处理 为 -1.70MPa,二者相差 0.45MPa。随着 RWC下降,二者差值增大。如RWC为75%时,灌水处理ψπ为 -1.90MPa,干旱处理ψπ为-2.45 MPa,相差0.55MPa。干旱处理ψπ为-2.45 MPa,相差0.55MPa。干旱处理σψπ为-2.45 MPa,相差0.55MPa。干旱处理σψπ为-2.45 MPa,相

# 3 讨论

### 3.1 细胞延伸生长对水分胁迫反应最敏感

水分胁迫对植物各个生理过程均有影响,但细胞延伸生长对水分胁迫反应最敏感。 Hsiao [5] 等曾总结各种生理生化过程对水分胁迫的敏感程度,提 出  $\psi_w$  降 低 到 -0.20 — -0.40MPa,其他生理过程未受到明显影响,而延 伸生长受到抑 制。Acevedo 等 [2]

发现玉米中 $_v$ 为-0.28MPa,LER最大, $_v$ w降至-0.70MPa,生长停止。荆家每等[1]发现,盆栽玉米在快速干旱条件下,LER从最大到零仅需5小时,中 $_v$ 改变0.5~0.6MPa。由本试验中看出,棉花LER与叶中x密切相关:中 $_v$ 为 -0.40MPa,LER为0.5毫米·小时一,随着中 $_v$ 下降,LER迅速降低;当 $_v$ 为-0.80MPa时,生长停止。LER随中 $_v$ 变化实质是组成水势组份的膨压变化所引起的。按照  $_v$ 0.80MPa时,生长停止。LER随中 $_v$ 0.2公式[5],假如水分胁迫过程中细胞扩张性能(Eg)和细胞生长临界膨压(中 $_v$ 0.1 $_v$ 0.1)交化不大,那么LER(即 $_v$ 0.0寸。1)与细胞膨压(中 $_v$ 0.0变化密切相关。在渗透调节能力还未充分发挥作用时,水分胁迫引起叶水势降低,随之使膨压迅速下降,以致生长停止。因此棉花叶片生长与玉米等作物相同,对水分胁迫是非常敏感的。本试验在生长停止。因此棉花叶片生长随着中x升高逐渐恢复,但当 $_v$ 0.50MPa左右,LER只为复水前最大生长速率的35%。这可能与叶片在几天水分胁迫过程中Eg或中 $_v$ 0.11改变有关[6]。

Boyer [41] 研究玉米、大豆、向日葵发现,这些作物 生 长 对 水 分 胁 迫 最 敏感,当生长停止后光合作用才开始显著降低。我们发现棉花 $\psi_w$ 为 -0.80MPa时,叶 片 生 长 停 止,而 Pn降低并不明显,只在 $\psi_w$ 为 -1.80MPa 时 Pn才显著降低,直到 $\psi_w$ 为 -2.5MPa, Pn才变为零。同样证明光合作用对水分胁迫反应不如延伸生长敏感。光合 强 弱 决定于水分胁迫所引起气孔和非气孔因子的变化, $\psi_w$ 在 -1.60或 -1.80MPa 以 上, 扩散阻力变化很小,这时非气孔因子先于气孔因子表现出对光合的限制。在  $\psi_w$  -1.80MPa 以下,扩散阻力急剧增加,意味着气孔关闭,CO,供应受阻,致使 Pn为零。

## 3.2 水分胁迫诱导棉花叶片 渗透调节

渗透调节作为植物对胁迫条件一种适应性反应,是一种重要的生理过程。 水分胁迫条件下,植物体内会积累渗透物质,降低 中s,维持一定膨压,使细胞继续延伸生长,使气 孔 保 持 一 定开张 度,利于光 合作用进 行。

前人<sup>[3]</sup> 曾对渗透调节作过综述,Ackerson <sup>[3]</sup> 曾研究过棉花渗透调节。 我们的研究结果表明,水分胁迫能诱导棉花叶片进行渗透调节,如图 4 表明,在相同 RWC条件下,水分胁迫叶片 ψw比良好供水叶片要低。若将图 4 中ψw变为倒数值,与相对应 RWC 绘图,可以清楚看出,在任何一种 RWC下,水分胁迫叶片ψs 比良好灌水叶片 低,充分饱和时叶片渗透势,干旱处理 为 - 1.56

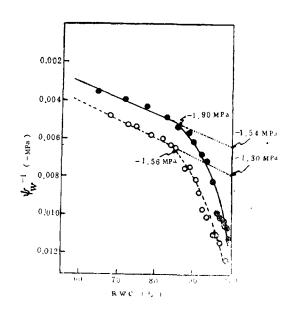


图5 不同水分处理/w<sup>-1</sup> 与 RWC 关系

(实线示干旱处理, 虚线示灌水处理)

MPa, 灌水处理为 -1.30MPa, 灌水处理 叶片 膨 压 消失点  $\psi_s$  ( =  $\psi_w$ )为 -1.54MPa,

干旱处理为 -1.90MPa。由干旱处理叶片膨压消失点  $\psi_s$ ( $=\psi_w$ )数值可以推测出棉花 叶片延伸生长临界膨压不等于零,叶片气孔关闭水势值(或渗透势值)为 -1.90MPa 左右。这与图 2 , 3 中扩散阻力及光合速率变化基本吻合。关于渗透调节对延伸生长和光合作用影响还需进一步研究。

#### 参考 文献

- [1] 荆家海、肖庆德:水分胁迫和胁迫后复水对玉米叶片生长速率的影响,《植物生理学报》,1987(1):51-57。
- (2) Acevedo E, Hsiao T C, Henderson D W,: Immediate and subsequent growth resposes of maize leaves to changes in water stress. *Plant Physoil*. 1971, 48: 631-636.
- (3) Ackerson RC & Hebert R R.: Osmoregulation in cotton in respnose to water stress. plant physiol. 1981, 67: 484-488.
- [4] Boyer J S,. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. Plant Physiol. 1970, 46: 233—235.
- (5) Hsiao T C, Acevedo E, Fereres E et al. Water stress, growth, and osmotic adjustment, Phil. Trans. R Soc London Ser B 1976, 27:497—500.
- (6) Hsiao T C, Silk W K, Jing J: Leaf growth and water deficits: Biophysical effects. In: Barker N R, Davies W J, Ong CK(eds) control of Leaf Growth. Seb Seminar 27. Cambridge University Press, 1985: 239—266.
- [7] Jordan W R. Cotton. In. Teare I D et al (eds), Crop-Water Relations. John Wiley & Sons. 1983: 225-232.
- (8) Marani A, Baker D N, Reddy V R et al.: Effect of water stress on canopy senescence and carbon exchange rates in cotton. Crop Science 1985, 25: 798-802.
- (9) Morgan J M. Osmoregulation and water stress in higher Plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 1984, 35: 299-319.
- (10) Pearcy R W. Physiological consequences of cellular water deficits. Non-stomamal inhibition of photosynthesis by water stress. In: Taylor H M et al. (eds), Limitations to efficient Water use in crop production, ASA-CSSA-SSSA.1983: 277—286.

15卷

# EFFECTS OF WATER STRESS ON GROWTH AND PHOTOSYNTHESIS OF COTTON LEAVES

Jing Jiahai

Ma Shushang

(Northwestern Agricultural University)

#### Abstract

Results obtained from the experiment showed that leaf elongation rate (LER) was extremely sensistive to water stress. As  $\psi_w$  decreased, LER was inhibited earlier and more severely than Pn. When  $\psi_*$  dropped to above -0.8MPa, leaf growth stopped while Pn still remained the maximal level. As stress was imposed, Pn was observed to be at first relatively a little change with  $\psi_*$  ( $\psi_* > -1.6$  MPa), but then ( $\psi_* < -1.6$ MPa) to decrease markedly, reaching zero at greater stress levels ( $\psi_* = -2.5$ MPa). Under water stress, there was the strong negative correlation between pn and DR to water vapor loss. DR was little changed under above -1.6MPa which decreased Pn. When  $\psi_*$  was below -1.8MPa, Pn decreased markedly, when  $\psi_*$  got to -2.5 MPa, Pn stopped for stomatal closure.

Cotton plants subjected to water stress exhibited stress adaptation in the form of osmoregulation. There was more negative  $\psi_*$ . The results obtained from P—V curves showed that  $\psi_*$  of drying plants was more negative than that of control irrigated plants.  $\psi_*$  in the point of lossing turgor was -1.90MPa and -1.54MPa for drying and control irrigated plants, espectively.

Key Words: water stress; water potential; leaf elongation rate; osmoregulation; net photosynthesis rate; cotton