

棉花对水分胁迫及复水的生理生态响应

Ecophysiological Responses of Cotton to Water Stress and Recovery

张寄阳, 刘祖贵, 段爱旺, 孟兆江

(中国农业科学院农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

水分胁迫是田间条件下存在最广泛的一种作物生长逆境, 了解作物对该逆境的响应, 是对作物进行合理调控、实现农业节水的前提。过去研究大多集中在胁迫期间的作物响应, 而对胁迫后复水作物在生理、形态上的响应认识有限。本文通过在棉花苗期和蕾期实施不同程度的水分胁迫处理, 研究水分胁迫及复水对棉花生长发育和生理特性的影响, 为作物优化用水方式提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验处理设计

试验于 2005 年 5—10 月在中国农业科学院农田灌溉研究所作物需水量试验场的防雨棚下进行, 采用筒栽土培法。筒分内筒和外筒, 外筒内径 31 cm, 高 38 cm, 埋入土中, 上沿高出地面 5.0 cm; 内筒内径 29.5 cm, 高 38.0 cm, 置于外筒内。内筒底部铺 5 cm 厚的砂土过滤层, 以调节下层土壤通气状况和水分条件。砂土上装壤土, 每筒 22.33 kg, 土壤容重 $1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 装土时将复合肥(N-15, P-15, K-15)分三层均匀混入, 每筒 26 g。供试品种为美棉 99B, 在 5 月 10 日棉花 3 叶期移栽入筒, 每筒 1 株。

处理阶段选在苗期和蕾期, 水分胁迫分别在移栽后 5~25 d 和 35~55 d 进行, 设置 2 种不同程度的水分胁迫处理(重度和轻度), 轻度胁迫

(L)和重度胁迫(S)的土壤含水量分别控制在田间持水量的 55%~65%和 45%~55%, 另设全生育期土壤含水量保持在 70%~80%田间持水量的处理作为对照。每个处理重复 4 次, 在胁迫结束后均灌至田间持水量的 70%~80%水平。

1.2 观测项目与测定方法

(1)每天用称重法结合 TDR 测定土壤含水量, 当某一处理的土壤含水量降至设计的下限时, 即进行灌溉并使其达到相应的上限含水量;(2)在晴朗天气, 选择最上部第 1 片完全展开叶测定光合速率、蒸腾速率、气孔导度, 仪器为 CIRAS1 光合作用系统(英国 PPSystems 公司生产);(3)在胁迫处理前后测量株高, 收获时测定根、冠的鲜重和干重, 并计算单株子棉产量和水分利用效率, 其中水分利用效率(WUE)用单位耗水量所生产的皮棉重表示, 耗水量由水量平衡方法计算。

2 结果与分析

2.1 对棉花生长发育的影响

苗期不同程度的水分胁迫使植株高度有明显降低, 胁迫结束时, 对照处理的株高已比重度胁迫处理高出 10 cm 左右; 但复水后补偿生长效应明显, 复水 30 d 后与对照相比差异不明显。蕾期水分胁迫对株高无明显影响, 复水后与对照处理相比差异不显著(表 1)。

表 1 不同处理株高和根冠比情况

Table 1 Plant height and the ratio of root to shoot in different treatments

| 处理 | | 不同移栽后天数的株高/cm | | | | | 根干重/g | 冠干重/g | 根冠比 |
|------|---|---------------|--------|--------|-------|------|--------|---------|--------|
| | | 5 d | 25 d | 35 d | 55 d | 65 d | | | |
| 苗期胁迫 | L | 20.8 | 32.0** | 42.5** | 54.7 | 57.2 | 15.42 | 92.52 | 0.167 |
| | S | 22.5 | 30.2** | 43.2** | 55.5 | 58.5 | 13.56* | 76.42** | 0.177 |
| 蕾期胁迫 | L | 22.3 | 37.0* | 47.5* | 55.0 | 60.2 | 16.10 | 83.80* | 0.192* |
| | S | 20.5 | 36.2* | 46.2* | 52.3* | 59.7 | 16.48 | 82.18* | 0.201* |
| CK | | 21.5 | 40.0 | 49.5 | 57.5 | 63.2 | 16.58 | 101.20 | 0.164 |

不同时期水分胁迫对根和冠的干物质积累均

有一定的抑制作用。在苗期, 随着胁迫程度的增

加,根和冠的干物质积累逐渐减小,但根冠比却随之增加。蕾期胁迫处理的冠部干重较对照有明显减小,但根干重接近对照,蕾期重度胁迫的根冠比最大。由此说明,苗期和蕾期实施适时适度的水分亏缺,能抑制营养生长,增大作物根冠比,从而提高根系传力,增强植株对干旱的适应性。

2.2 对棉花生理特性的影响

水分胁迫期间,光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(g_s)均有显著降低,胁迫程度越重,降幅越大(表 2)。蕾期水分胁迫对生理指标

的抑制作用大于苗期,而且 P_n 、 T_r 和 g_s 对于水分胁迫的敏感性存在差异,就同一处理来说,3 种指标受抑制的程度为 $T_r > P_n > g_s$ 。

复水后,3 种指标均出现明显的补偿效应,胁迫程度越轻,恢复程度越大。苗期轻度胁迫的 P_n 和 g_s 在复水 3 d 后接近对照, T_r 恢复到对照的 90.1%。蕾期胁迫的处理在复水后虽然也有明显的补偿效应,但恢复能力低于苗期胁迫处理,复水 10 d 后 P_n 、 T_r 和 g_s 都难以恢复到对照水平。

表 2 不同处理的光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(g_s)

Table2 Photosynthesis rate (P_n), transpiration rate (T_r) and stomatal conductance (g_s) of plants in different treatments

| 处理阶段 | 光合速率 $P_n/[\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ | | | 蒸腾速率 $T_r/[\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ | | | 气孔导度 $g_s/[\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ | | |
|-----------|---|--------|--------|---|--------|--------|---|---------|---------|
| | CK | L | S | CK | L | S | CK | L | S |
| 苗期胁迫 | 13.12 | 9.26** | 7.35** | 6.09 | 3.89** | 2.97** | 0.572 | 0.502 | 0.318** |
| 复水 3 d 后 | 14.15 | 13.98 | 8.94** | 4.26 | 3.84 | 3.46 | 1.496 | 1.472 | 1.373* |
| 蕾期胁迫 | 10.43 | 7.02** | 5.83** | 8.86 | 5.21** | 3.84** | 1.572 | 1.249** | 0.712** |
| 复水 10 d 后 | 15.06 | 12.21* | 8.98** | 4.38 | 3.05* | 2.23** | 1.137 | 0.914* | 0.592** |

2.3 对棉花产量及水分利用效率的影响

表 3 表明,不同水分胁迫处理的产量和耗水量较对照均有所减少,但从水分利用效率(WUE)看,除蕾期重度胁迫外,其它处理均大于对照。显著性检验发现,苗期不同程度水分胁迫处理的产量与对照差异未达显著水平,轻度胁迫处理具有最高的水分利用效率($0.55 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。可见,苗期水分胁迫在保持较高产量的同时,由于其冠部发育受阻,冠层截获的太阳能随之减少,因此减少了植株耗水量,从而提高了水分利用效率。在蕾期,随着水分胁迫加重,产量显著降低,重度胁迫处理的产量较对照降低 34%,水分利用效率也是所有处理中最低的($0.42 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

表 3 不同处理的产量及水分利用效率

Table3 Water consumption, lint yield and WUE of cotton in different treatments

| 处理 | 小区皮棉产量/g | 小区耗水量/kg | WUE/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ | |
|------|----------|----------|--|------|
| 苗期胁迫 | L | 39.82 | 72.51 | 0.55 |
| | S | 37.26 | 68.44 | 0.54 |
| 蕾期胁迫 | L | 34.32* | 67.18 | 0.51 |
| | S | 26.54** | 63.55 | 0.42 |
| CK | 40.22 | 77.98 | 0.50 | |

3 结论与讨论

本试验结果表明,水分胁迫对棉花的生长和生理指标均有明显的抑制作用,表现为植株矮化,光合速率、蒸腾速率和气孔导度均有显著降低,并且胁迫愈重,抑制作用愈明显。复水后各项指标均出现明显的补偿效应,不同处理的恢复能力为轻度胁迫大于重度胁迫、苗期胁迫大于蕾期胁迫。总体来看,苗期适度的水分胁迫能抑制冗余生长,减少植株能量和质量消耗,而且复水后补偿效应显著,补偿时间充裕,有利于后期产量形成。因此,苗期是进行水分调控的最佳时期。

水分胁迫对作物的影响是一个复杂的问题,在不同生育阶段,实施不同历时、不同程度的水分胁迫,对作物生长及生理过程有着直接和后续的影响。由于本试验结果是在苗期和蕾期一次胁迫历时、一次复水条件下得到的,而且是采用筒栽试验,因而试验结果有一定的局限性。在其它生育阶段不同胁迫历时的大田实际条件下,棉花对水分胁迫的响应及复水后的后效影响机制如何,有待进一步探讨。