

徐建伟, 张小均, 李志博, 等. 幼苗期大田棉花耐旱性的叶绿素荧光和光合特性辅助鉴定[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(1): 1-8.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.01.001

幼苗期大田棉花耐旱性的叶绿素荧光和光合特性辅助鉴定

徐建伟^{1,2}, 张小均^{1,3}, 李志博^{1,3}, 魏亦农^{1,3}

(1.石河子大学农学院, 新疆 石河子 832003; 2.石河子大学教务处, 新疆 石河子 832003; 3.新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003)

摘要: 为了建立大田棉花耐旱性叶绿素荧光和光合特性的辅助鉴定方法, 以北疆棉区 2 类不同耐旱基因型的 4 个棉花品种为材料, 在大田条件下研究了棉花幼苗主要光合特性和叶绿素荧光参数对不同干旱胁迫的响应。结果表明: 轻度干旱胁迫时, 棉花幼苗最大光化学效率(F_v/F_m)、PSII 实际光化学效率($\Phi PSII$)、光化学猝灭系数(qP)、中短期干旱的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)随胁迫时间的延长上升, 非光化学猝灭系数(qN)随胁迫时间的延长下降, 但只有胁迫 5 d 的 F_v/F_m 与 15 d 的 G_s 、胞间 CO_2 浓度(C_i)、 T_r 在不同基因型间有显著差异; 中度胁迫时, 4 个品种的 $\Phi PSII$ 、 P_n 、 G_s 和 T_r 随胁迫时间的延长略呈上升趋势, 胁迫 10 d 的 G_s 和 15 d 的 G_s 、 C_i 、 T_r 在不同基因型间显著差异; 重度胁迫时, 棉花幼苗 F_v/F_m 随胁迫时间的延长轻微上升, 而 $\Phi PSII$ 、 qP 、 qN 、 P_n 和 G_s 呈上升-下降的变化趋势, C_i 和 T_r 呈下降-上升-下降的趋势, 且胁迫 5 d 的 F_v/F_m 、15 d 的 F_v/F_m 、 qN 、10 d 的 G_s 、 C_i 以及 15 d 的 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 均在不同基因型间有显著差异。从总体看, 耐旱型棉苗的 F_v/F_m 高于干旱敏感型棉苗, 耐旱棉苗的 qN 低于干旱敏感型棉苗, 耐旱型棉苗的光合参数均低于干旱敏感型棉苗。建议苗期大田棉花耐旱性鉴定的叶绿素荧光辅助方法为: 胁迫程度重度, 处理时长 15 d, 参数为 F_v/F_m 和 qN ; 光合特性辅助方法为: 胁迫程度重度, 处理时长 15 d, 参数为 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 。

关键词: 棉花; 光合作用; 叶绿素荧光; 耐旱性; 鉴定方法

中图分类号: S562.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)01-0001-08

Assistant identification of chlorophyll fluorescence and photosynthesis in cotton seedlings with drought-tolerance under field condition

XU Jian-wei^{1,2}, ZHANG Xiao-jun^{1,3}, LI Zhi-bo^{1,3}, WEI Yi-nong^{1,3}

(1. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832003, China; 2. Teaching Administration Section, Shihezi University, Shihezi 832003, China; 3. The Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture of Xinjiang Production and Construction Group, Shihezi 832003, China)

Abstract: In order to establish on assistant identification method for chlorophyll fluorescence parameters and photo-

synthesis characteristics of drought-tolerant cotton, response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of cotton seedlings to drought stress was studied using four cotton varieties with different drought-tolerant genotype under field experiment in northern Xinjiang. The results showed that the maximal photochemical efficiency (F_v/F_m), the actual photochemical efficiency of PSII

收稿日期: 2018-04-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360265、30800695); 石河子大学新品种培育专项(YZZX201602)

作者简介: 徐建伟(1976-), 男, 甘肃临夏人, 硕士, 讲师, 主要从事作物遗传育种及教学管理工作, (E-mail) 438120660@qq.com

通讯作者: 李志博, (E-mail) lzb_oea@shzu.edu.cn

($\Phi PSII$), photochemical quenching(qP), net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) and transpiration rate (T_r) increased with the prolongation of drought stress time, but non-photochemical quenching (qN) decreased. There were significant differences between F_v/F_m value measured at the fifth day and G_s , intercellular CO_2 concentration (C_i), T_r measured at the fifteenth day in cotton with different genotypes under mild drought stress. Under medium drought stress, the $\Phi PSII$, P_n , G_s and T_r of all seedlings increased slightly with the prolongation of stress time, there were significant difference between the G_s at the tenth day and the G_s , C_i , T_r at the fifteenth day in cotton with different genotypes. If treated with severe stress, the F_v/F_m showed slight rising trend, but the change trends of the $\Phi PSII$, qP , qN , P_n and G_s were rising-declining, and the trends of C_i and T_r were declining-rising-declining. There were significant differences among F_v/F_m at the fifth and fifteenth day, the qN at the fifteenth day, the G_s and C_i at the tenth and fifteenth day, the P_n and T_r at the fifteenth day in cotton with different genotype. Regardless of the intensity of stress, the F_v/F_m value of drought-tolerant cotton seedlings was higher than that of drought-sensitive cotton seedlings. The qN value of drought-tolerant cotton seedlings was lower than that of drought-sensitive cotton seedlings, and photosynthetic parameters of drought-tolerant cotton seedlings were lower than those of drought-sensitive cotton seedlings. The recommended assistant identification methods of chlorophyll fluorescence were intensity of stress: severe, stress time: 15 days, chlorophyll fluorescence parameters: F_v/F_m and qN . The recommended assistant identification system of photosynthesis were intensity of stress: severe, stress time: 15 days, chlorophyll fluorescence parameters: P_n , G_s , C_i , T_r .

Key words: cotton; photosynthesis; chlorophyll fluorescence; drought tolerance; identification method

棉花是世界上最主要的经济作物^[1]。在棉花生长发育的不同生育期,常遭受多种逆境因子的影响,其中以干旱的影响最大,造成的损失最重,干旱已成为限制棉花生产的主要障碍因素^[2-4]。而建立有效资源抗旱性鉴定方法,选育耐旱性强的棉花品种是降低干旱危害的有效手段。

农作物的抗旱性是一个复杂的数量性状^[4-5]。棉花的抗旱性不但直接与抗旱性状相关,而且还受生育期和干旱水平等因素的影响^[2-10]。多年来,棉花抗旱性研究主要集中在农艺性状和生理特性上^[2-3,10-18]。研究者认为,幼苗期干旱时,棉苗株高降低^[2-3,10,16],有效果枝数^[2,10,16]和结铃数^[2,16]减少,叶片含水量下降^[6,11-13],SOD 活性下降^[11,14]或升高^[13,16],脯氨酸与 MDA 含量升高^[11,13-16],纤维品质普遍下降^[2,10],但轻度干旱胁迫会使棉花单铃质量和纤维比强增加^[2,10-11]。花铃期受旱时,棉株有效生物量积累减少,生长发育增长缓慢,抗氧化酶系统和渗透调节物质明显变化,严重时棉花植株生长发育停止^[2-3,14,17-20]。

光合作用是作物的物质积累和能量转化过程,农事活动和环境因子都能影响光合作用^[21]。叶绿素荧光特性作为光合作用的微观探针^[22],常用于作物逆境生理状况的预测评价^[23]。干旱对棉花光合作用和叶绿素荧光特性的影响已有大量报道^[19,24-30]。吴文超等^[25]发现,干旱时棉

花的净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)均出现不同程度下降。罗宏海等^[26]认为,中度干旱胁迫导致棉花叶片净光合速率和气孔导度下降,同时伴随着光化学猝灭系数和量子产量的降低。戴茂华等^[27]进一步指出,这种响应在基因型上表现为抗旱性强的棉花品种叶片气孔导度、蒸腾速率降幅较大,而叶绿素含量和净光合速率降幅较小。Longenberger 等^[28]明确表示叶绿素荧光参数能够快速、准确、无伤害地反映棉花光合作用受到的干旱胁迫状况。薛惠云等^[29]发现,干旱胁迫初期 P_n 、 G_s 、 T_r 、气孔限制值(L_s)、PSII 原初光能转化效率(F_v/F_m)、光化学发射指数(PRI)均能灵敏地反映棉花叶片水分状况,而在干旱胁迫持续过程中 P_n 、 G_s 、 F_v/F_m 更灵敏和准确。Li 等^[30]认为干旱处理下棉花主茎叶电子传递速率(ETR)在整个生育时期的变化趋势与净光合速率有显著相关性。这些研究结果为充分了解棉花的抗旱光合机理和鉴定指标提供了较好的依据,但此类研究多选择在棉花的花铃期^[14,16-17,20,26-27],幼苗期的研究也多以室内盆栽控制性试验为主^[11-13,19,23,29],而且因材料方法等的差异,部分研究结论也不完全一致,阻碍了生产上的有效应用^[31]。

本研究在前期棉花不同生育期抗旱性鉴定评价

的基础上,以苗期筛选的 2 类基因型 4 个棉花品种为研究对象,在大田条件下分析不同基因型棉花对不同干旱胁迫的叶绿素荧光和光合特性响应,期望总结出幼苗期棉花耐旱性叶绿素荧光和光合特性辅助鉴定方法,为棉花抗旱资源筛选和品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

根据课题组不同生育期棉花抗旱性资源鉴定的结果^[3],选用 2 类不同耐旱基因型的棉花材料,其中新陆早 31 号和 297-5 的为耐旱型,益农 2 号和新陆早 13 号为干旱敏感型。棉花种子均由新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室棉花育种室保存和提供。

1.2 试验地概况及试验设计

试验于 2015 年在石河子大学农学院试验站基地(E86°03',N45°19')进行。试验地海拔 443 m,年日照时数为 2 860 h 左右,平均降雨量 208 mm,蒸发量 1 660 mm,无霜期 168~171 d。试验土壤质地为中壤,pH 值 8.0 左右,有机质 19.70 g/kg,全氮 0.92 g/kg,全磷 2.12 g/kg,碱解氮 73.0 mg/kg,速效磷 43.8 mg/kg,速效钾 200.0 mg/kg。

试验采用先铺膜,后人工点播方法。4 月 24 日播种。播种方式为宽窄行(30.0 cm+60.0 cm+30.0 cm),一膜 4 行,平均株距 12.5 cm。每个处理设 1 小区,小区面积 8.0 m×1.5 m,随机区组排列,3 次重复。待棉苗长到三叶一心或四叶一心时进行试验处理和数据测定。

1.3 干旱胁迫处理

参照田间土壤相对含水量(SWC),干旱胁迫处理设轻度(60%~65% SWC)、中度(50%~55% SWC)和重度(40% SWC 及以下)^[3,20]3 种水平。控制灌水量和灌水时间,采用土壤称质量法检测 20~40 cm 土层的土壤含水量,当土壤含水量达到水分胁迫强度范围时开始测定试验指标。各处理持续 15 d,分别测定 5 d(短期)、10 d(中期)和 15 d(长期)3 种不同时长各个试验指标性状,以处理前(0 d)相应的测定值为对照。

1.4 光合和叶绿素荧光参数测定

每小区选择中间 2 小行无缺苗的连续 10 株幼苗,测定第 3 叶光合和荧光参数,以去掉最大和最小

测定值的平均值作为该性状的测定值。光合特性测定用美国 LI-COR 公司的 LI-6400 光合测定系统,在晴天 9:00-11:00 进行,采用自带红蓝光源[光合有效辐射(PAR)为 1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],测定净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)等光合特性。叶绿素荧光参数测定与光合特性测定同步进行,采用汉莎科仪公司的 FMS-II 脉冲式调制荧光仪测定。测定前叶片暗适应最少 20 min,饱和脉冲光照度 5 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,计算最大光化学效率(F_v/F_m)、PSII 实际光化学效率(Φ_{PSII}),光化学猝灭系数(qP)和非光化学猝灭系数(qN)。

1.5 数据统计分析

用 SPSS 11.5 软件对数据进行方差分析、标准误计算和 Duncan's 多重比较。用 SigmaPlot 12.5 进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同干旱胁迫强度下棉花幼苗的叶绿素荧光参数响应

轻度胁迫下,随着胁迫时间的延长,棉苗的最大光化学效率(F_v/F_m)、PSII 实际光化学效率(Φ_{PSII})和光化学猝灭系数(qP)几乎都呈上升趋势,且短期胁迫上升的幅度大于中长期,而非光化学猝灭系数(qN)随胁迫时间延长而下降(图 1)。不同处理时间下,叶绿素荧光参数在不同材料间均有一定的差异,但只有胁迫 5 d 的 F_v/F_m 在不同基因型间差异显著,且耐旱型高于干旱敏感型。

中度胁迫下,随着胁迫时间延长,4 个品种的 Φ_{PSII} 略呈上升趋势, F_v/F_m 变化比较平缓,而 qP 和 qN 呈无规律变化趋势(图 2)。通过方差分析发现,不同胁迫时间段的荧光参数在不同基因型间差异都不显著,说明棉花幼苗叶绿素荧光参数对中度干旱胁迫的响应不敏感。

重度胁迫下,随着干旱胁迫时间延长,不同基因型棉苗的 F_v/F_m 均表现上升趋势,但上升幅度不大,而 Φ_{PSII} 、 qP 、 qN 均随胁迫时间的延长呈上升-下降变化趋势(表 1)。但只有胁迫 5 d 处理的 F_v/F_m 与 15 d 的 F_v/F_m 和 qN 在不同基因型间表现显著差异,并且耐旱基因型的 F_v/F_m 大于干旱敏感型,而耐旱基因型的 qN 小于干旱敏感型。

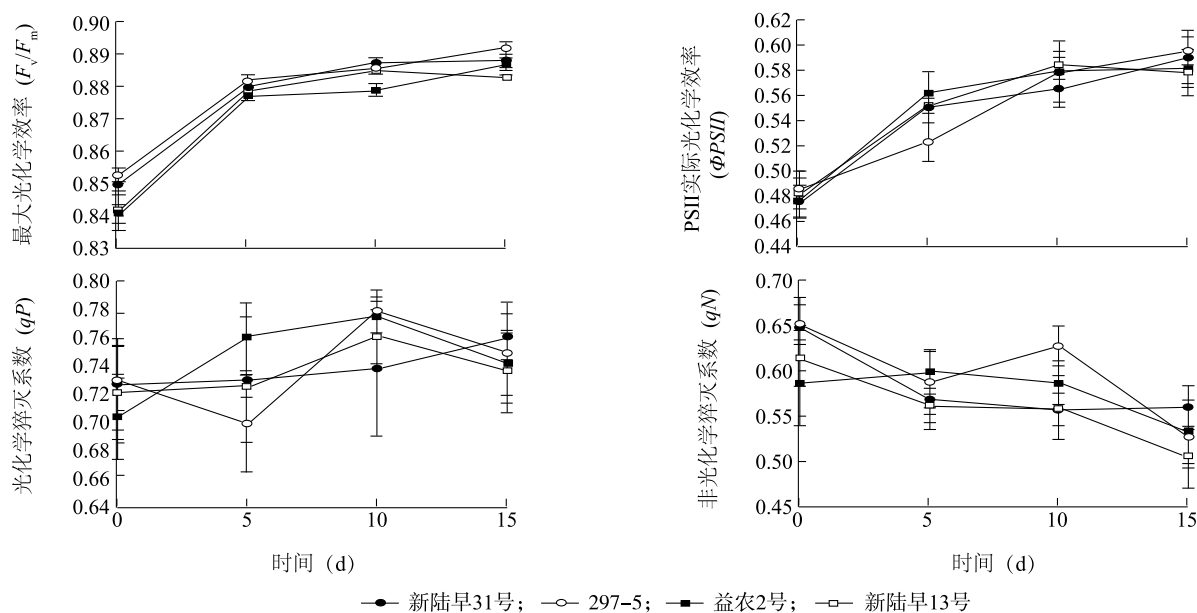
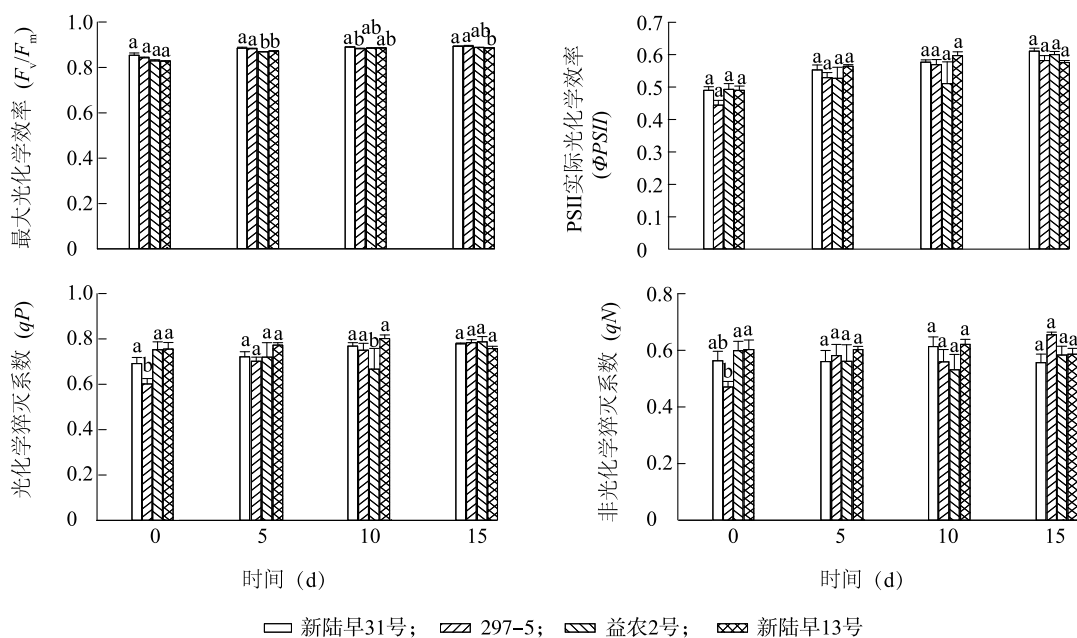


图1 轻度胁迫下不同基因型棉花的叶绿素荧光特性变化

Fig.1 Response of chlorophyll fluorescence in different genotype cotton seedlings under mild drought stress



同一胁迫时间下不同字母表示差异达到 0.05 显著水平。

图2 中度胁迫下不同基因型棉花的叶绿素荧光特性变化

Fig.2 Response of chlorophyll fluorescence in different genotype cotton seedlings under medium drought stress

2.2 不同干旱胁迫强度下棉花幼苗的光合特性响应

轻度胁迫下,不同品种棉花幼苗的净光合速率 (P_n) 在胁迫 5 d 时呈上升趋势,随后开始下降;气孔导度 (G_s) 和蒸腾速率 (T_r) 在中短期处理时,随处理时间的延长呈上升趋势,而长期处理时呈下降趋势;

胞间 CO_2 浓度 (C_i) 随处理时间的延长呈下降-上升-下降的趋势 (图 3)。不同材料的光合特性对胁迫时长的响应不同,只有胁迫 15 d 处理的 G_s 、 C_i 和 T_r 在不同基因型间有显著差异,并且耐旱型明显低于干旱敏感型。

表 1 重度胁迫下不同基因型棉花叶绿素荧光特性差异比较

Table 1 Difference comparison of chlorophyll fluorescence between different genotype cotton seedlings under severe drought stress

干旱时间 (d)	品种	最大光化学效率 (F_v/F_m)	PSII 实际光化学效率 (Φ_{PSII})	光化学淬灭系数 (qP)	非光化学淬灭系数 (qN)
0	新陆早 31 号	$0.851 \pm 0.002a$	$0.512 \pm 0.015a$	$0.718 \pm 0.020a$	$0.564 \pm 0.010a$
	297-5	$0.846 \pm 0.003a$	$0.377 \pm 0.022b$	$0.499 \pm 0.031b$	$0.436 \pm 0.020a$
	益农 2 号	$0.845 \pm 0.004a$	$0.511 \pm 0.014a$	$0.719 \pm 0.014a$	$0.527 \pm 0.066a$
	新陆早 13 号	$0.836 \pm 0.005a$	$0.472 \pm 0.025a$	$0.701 \pm 0.046a$	$0.584 \pm 0.036a$
5	新陆早 31 号	$0.884 \pm 0.001a$	$0.559 \pm 0.014a$	$0.774 \pm 0.043a$	$0.643 \pm 0.036a$
	297-5	$0.884 \pm 0.001a$	$0.574 \pm 0.010a$	$0.745 \pm 0.019a$	$0.552 \pm 0.023a$
	益农 2 号	$0.874 \pm 0.002b$	$0.557 \pm 0.007a$	$0.756 \pm 0.008a$	$0.598 \pm 0.009a$
	新陆早 13 号	$0.876 \pm 0.002b$	$0.601 \pm 0.008a$	$0.793 \pm 0.016a$	$0.557 \pm 0.009a$
10	新陆早 31 号	$0.888 \pm 0.003a$	$0.582 \pm 0.015a$	$0.760 \pm 0.034a$	$0.561 \pm 0.046a$
	297-5	$0.884 \pm 0.002a$	$0.597 \pm 0.010a$	$0.810 \pm 0.015a$	$0.630 \pm 0.015a$
	益农 2 号	$0.884 \pm 0.003a$	$0.597 \pm 0.008a$	$0.792 \pm 0.002a$	$0.597 \pm 0.013a$
	新陆早 13 号	$0.890 \pm 0.002a$	$0.603 \pm 0.015a$	$0.777 \pm 0.017a$	$0.566 \pm 0.026a$
15	新陆早 31 号	$0.890 \pm 0.002a$	$0.558 \pm 0.009a$	$0.711 \pm 0.028a$	$0.480 \pm 0.062b$
	297-5	$0.891 \pm 0.001a$	$0.598 \pm 0.020a$	$0.773 \pm 0.019a$	$0.516 \pm 0.024b$
	益农 2 号	$0.886 \pm 0.002b$	$0.590 \pm 0.008a$	$0.767 \pm 0.016a$	$0.581 \pm 0.018a$
	新陆早 13 号	$0.887 \pm 0.001b$	$0.506 \pm 0.045a$	$0.658 \pm 0.069a$	$0.594 \pm 0.056a$

同一干旱胁迫时间下不同字母表示差异达到 0.05 显著水平。

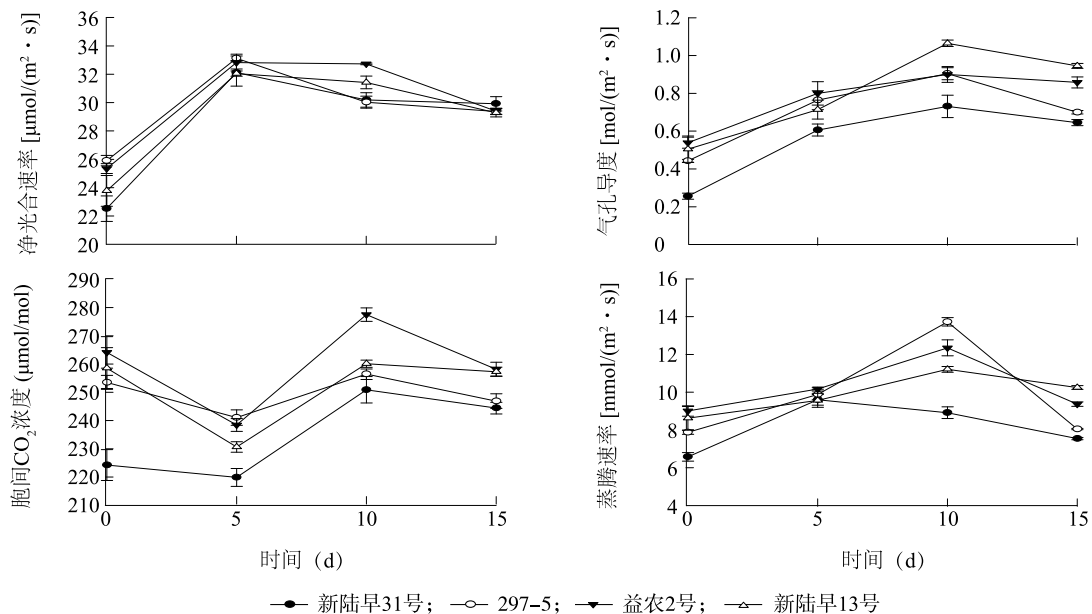


图 3 轻度胁迫下不同基因型棉花的光合特性变化

Fig.3 Response of photosynthesis in different genotype cotton seedlings under mild drought stress

中度胁迫时,棉苗的 P_n 随胁迫时间的延长一直呈上升趋势,但在基因型间并无显著差异;棉苗的 G_s 和 T_r 响应趋势比较一致;胁迫处理的前 10 d 随干旱时间的延长呈上升趋势,第 10 d 开始下降,并且耐旱型的下降

幅度远大于干旱敏感型,且胁迫 10 d、15 d 的 G_s 和任一时间下的 T_r 在不同基因型棉苗间差异显著;棉苗 C_i 总体变化比较平缓,但胁迫 15 d 的 C_i 在不同基因型间有显著差异,且耐旱型低于干旱敏感型(图 4)。

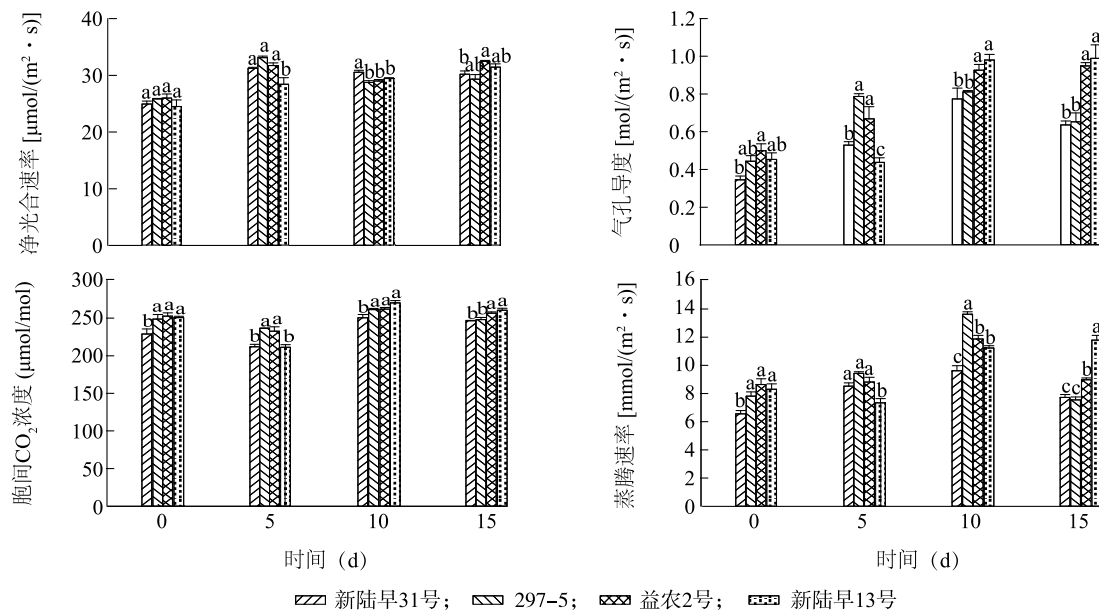


图 4 中度胁迫下不同基因型棉花的光合特性变化

Fig.4 Response of photosynthesis in different genotype cotton seedlings under medium drought stress

从表 2 可以看出,重度胁迫后,棉苗的 P_n 和 G_s 均随胁迫时间呈上升-下降的趋势,而 C_i 和 T_r 呈下降-上升-下降的趋势。耐旱型棉花的光合特性参数下降幅度均明显大于干旱敏感型,比如处理 15 d 时,新陆早 31 号、297-5 的 G_s 分别下降了 23.5%、27.9%,而益农 2 号、新陆早 13 号的 G_s 仅分别下降

了 5.3%、1.0%。方差分析结果表明,处理 10 d 的 G_s 、 C_i 和 15 d 的 4 个光合参数均在基因型间差异显著,且耐旱型低于干旱敏感型,表明棉花幼苗的耐旱基因型差异是长期干旱胁迫的结果和反映,干旱对耐旱型棉苗光合特性的抑制强于对干旱敏感型棉苗的抑制。

表 2 重度干旱胁迫下不同基因型棉花叶片光合特性差异比较

Table 2 Difference comparison of photosynthesis between different genotype cotton seedlings under severe drought stress

干旱时间 (d)	品种	净光合速率(P_n) [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔导度(G_s) [$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	胞间 CO_2 浓度(C_i) ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	蒸腾速率(T_r) [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
0	新陆早 31 号	25.885±0.328a	0.380±0.014b	235.554±4.044ab	7.171±0.157bc
	297-5	25.422±0.477a	0.357±0.017b	227.156±4.143b	6.806±0.152c
	益农 2 号	27.268±0.198a	0.527±0.013a	253.325±2.456ab	9.047±0.067a
	新陆早 13 号	25.696±1.132a	0.448±0.066a	240.607±9.903a	8.175±0.686ab
5	新陆早 31 号	27.548±1.265a	0.441±0.047a	214.568±9.422a	6.924±0.229a
	297-5	27.743±0.887a	0.424±0.041a	210.169±6.043a	7.114±0.386a
	益农 2 号	29.012±0.694a	0.548±0.066a	227.789±7.084a	8.010±0.482a
	新陆早 13 号	27.782±0.599a	0.423±0.013a	211.239±4.730a	7.107±0.110a
10	新陆早 31 号	27.181±0.863b	0.727±0.059c	256.563±1.852b	10.314±0.014c
	297-5	29.947±0.306a	0.856±0.017b	257.113±0.801b	12.722±0.341a
	益农 2 号	29.136±0.428a	0.969±0.040a	268.246±2.651a	11.097±0.229bc
	新陆早 13 号	29.208±0.315a	0.963±0.040a	269.891±1.004a	11.561±0.194ab
15	新陆早 31 号	27.657±0.870b	0.556±0.016b	246.666±3.828b	7.054±0.129c
	297-5	27.809±0.905b	0.617±0.059b	250.043±5.264b	7.220±0.368c
	益农 2 号	29.724±0.417a	0.918±0.055a	260.305±2.557a	9.994±0.369b
	新陆早 13 号	29.895±0.232a	0.973±0.047a	265.554±1.959a	10.870±0.129a

同一干旱胁迫时间下不同字母表示差异达到 0.05 显著水平。

3 讨论

棉花是纺织原材料和重要的战略物资^[1,4]。中国耕地中有 15% 的盐碱地或待开垦成植棉区,加之受粮棉争水、有效水资源日益减少等因素影响,干旱已成为棉花生产的最主要逆境因子^[1-6]。棉花全生育期都需要适宜的水资源灌溉^[2],但不同生育期棉花抗旱机制不同,需要的最佳灌水量不一样^[2-4,16]。生育后期是棉花生殖生长和产量积累的主要阶段,也是主要需水期和水分关键生育期^[2-4,22,26],因此,生育后期棉花的抗旱性得到了较多的研究^[2-4,10,14,16-17,20,24-27]。幼苗期是棉花生长发育的早期,是营养器官建成和发育的主要时期,由于此时棉花的形态结构还没有完全建成,容易受到外界逆境的影响,因此对棉花幼苗的抗逆性也是人们关注的热点^[2-6,11-13,16-19],但前人研究多局限在室内模拟条件下^[11-13,19,25,29],影响了研究结果的大田适用性。本试验在大田条件下对棉花幼苗进行干旱胁迫处理,研究结果可以更好地应用于大田生产。

选用抗旱品种是提高水资源利用效率,抵御干旱逆境的最经济有效方式^[2,4]。系统研究棉花对于干旱胁迫的响应,建立棉花抗旱鉴定方法是棉花抗旱品种选育的主要研究内容。水分胁迫会影响棉花的生长发育^[2,4,10,16]、产量形成^[2,10,16]及纤维品质^[2,10],引起棉花的主要抗氧化酶^[11,13,14,16]、渗透调节物质^[13-16]等生理指标变化。但由于作物对逆境的响应是对胁迫强度和时间的综合反应^[2-10],不同胁迫水平下棉花的抗旱机制也可能不相一致^[2,16]。有研究者^[10]指出,相比于正常灌溉,棉花相关指标因子的降低是中度或重度干旱胁迫的结果,适宜的轻度胁迫反而能引起棉花增产^[2]。光合作用是作物物质积累和能量循环的直接体现^[21],叶绿素荧光特性是光合作用的微观表现,且叶绿素荧光技术在探测植物逆境响应上具有灵敏优势^[22-23],因此本试验设计了高、中、低 3 种干旱处理强度和短、中、长期 3 种干旱处理时间,较全面地研究了大田条件下棉花幼苗光合作用和叶绿素荧光特性对水分胁迫的响应。研究结果表明:在轻度胁迫下,棉苗主要光合指标和叶绿素荧光参数都会随着干旱时间的延长而上升,说明轻度干旱胁迫会促进棉苗的物质积累和光能转化,这与轻度胁迫能引起棉花增产^[2,11]的普遍结论相符;中度胁迫下棉苗光合作用和叶绿素荧光指标

的变化趋势与轻度胁迫相似,只是上升幅度减少,这与吴文超等^[25]、罗宏海等^[26]的研究结果相反,推测原因可能是由不同生育期光合机制的差异引起的;而长时间重度胁迫时,棉苗的主要光合参数和 $\Phi PSII$ 、 qP 、 qN 均明显下降,说明干旱引起棉苗光合性能下降是中长期重度胁迫的结果^[26,29]。

干旱胁迫时,棉花会通过改变其形态特征和光合生理特性来适应干旱环境^[6-8,20,22],因此,干旱条件下耐旱型棉花具有的光合和叶绿素荧光特征就是其耐旱“内在机制”的反映。戴茂华等^[27]认为,耐旱性强的棉花气孔导度和蒸腾速率下降较快,水分散失小。薛惠云等^[29]指出,不同干旱胁迫时期,适宜的光合和荧光反映指标不同。本试验结果为,轻度胁迫时,胁迫 5 d 的 F_v/F_m 与 15 d 的 G_s 、 C_i 、 T_r 在不同基因型间有显著差异;中度胁迫时,胁迫 10 d 的 G_s 和 15 d 的 G_s 、 C_i 、 T_r 在不同基因型间存在显著差异;重度胁迫时,胁迫 5 d 的 F_v/F_m , 10 d 的 G_s 、 C_i 和 15 d 的 F_v/F_m 、 qN 、 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 均存在显著的基因型差异。综合来看,中长期胁迫下不同基因型间差异显著的参数数量高于短期胁迫,表明大田条件下棉花光合作用和叶绿素荧光特性的耐旱响应是对长时间干旱的反应。同时,耐旱棉苗的 F_v/F_m 高于干旱敏感型,耐旱棉苗的 qN 低于干旱敏感型,耐旱棉苗的光合参数均低于干旱敏感型,而且棉花的光合特性比叶绿素荧光特性对干旱胁迫的响应更为敏感,推测可能是光系统 I 参与了棉花干旱的调节过程。因此,我们认为耐旱型棉苗具有较强的光化学效率和较低的热耗散能力,但在光合特性上表现为具有较低的气孔导度、胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率。

参考文献:

- [1] 孟超敏,蔡彩平,郭旺珍.棉花抗逆育种研究进展[J].南京农业大学学报,2012,5(5):25-34.
- [2] 冯克云,王宁,南宏宇.甘肃河西棉花全生育期不同灌溉量对生长发育的影响及抗旱性评价[J].干旱地区农业研究,2015,33(5):140-146.
- [3] 赖金莉,李欣欣,薛磊,等.植物抗旱性研究进展[J].江苏农业科学,2018,46(17):23-27.
- [4] 李志博,林海荣,魏亦农,等.北疆主栽棉花抗旱性生育期差异评价及鉴定体系的初步建立[J].干旱地区农业研究,2011,29(3):84-90.
- [5] 闰春娟,宋书宏,王文斌,等.不同耐旱型大豆根系生理生化特性对不同降雨气候条件的响应[J].江苏农业科学,2018,46

- (13):51-54.
- [6] LONGENBERGER P S, SMITH C W, THAXTON B L, et al. Development of a screening method for drought tolerance in cotton seedlings[J]. *Crop Science*, 2006, 46(5): 2104-2110.
 - [7] 吴正花, 喻理飞, 严令斌, 等. 三叶木通叶片解剖结构和光合特征对干旱胁迫的响应[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(6): 1156-1163.
 - [8] CATTIVELLI L, RIZZA F, BADECK F W, et al. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics[J]. *Field Crops Research*, 2008, 105: 1-14.
 - [9] 蔡 斌, 司纪升, 屈 磊, 等. 不同小麦品种苗期抗旱性的灰色关联度分析及评价[J]. *山东农业科学*, 2017, 49(4): 10-14.
 - [10] 陈玉梁, 石有太, 罗俊杰, 等. 干旱胁迫对彩色棉花农艺、品质性状和水分利用效率的影响[J]. *作物学报*, 2013, 39(11): 2074-2082.
 - [11] 王海标, 陈全家, 刘鹏鹏, 等. 苗期干旱胁迫对棉花生理特性、产量构成因素和纤维品质的影响[J]. *新疆农业科学*, 2013, 50(12): 2172-2181.
 - [12] 程林梅, 张原根, 阎继耀, 等. 土壤干旱对棉花生理特性与产量的影响[J]. *棉花学报*, 1995, 7(4): 233-237.
 - [13] 田又升, 王志军, 于 航, 等. 干旱胁迫对不同抗旱性棉花品种抗氧化酶活性及基因表达的影响[J]. *西北植物学报*, 2015, 35(12): 2483-2490.
 - [14] WANG R, GAO M, JI S, et al. Carbon allocation, osmotic adjustment, antioxidant capacity and growth in cotton under long-term soil drought during flowering and boll-forming period[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2016, 107: 137-146.
 - [15] 陈亚娟, 李付广, 刘传亮, 等. 植物渗透调节研究进展及与棉花耐旱遗传改良[J]. *分子植物育种*, 2009, 7(1): 149-154.
 - [16] 于 健. 棉花品种的抗旱遗传多样性分析及抗旱性评价[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008.
 - [17] CHANDRAKANT S, VIJAY K, INDIVAR P, et al. Response of upland cotton (*G. hirsutum* L.) genotypes to drought stress using drought tolerance indices[J]. *Crop Sci Biotech*, 2015, 19(1): 53-59.
 - [18] 李忠旺, 陈玉梁, 罗俊杰, 等. 棉花抗旱品种筛选鉴定及抗旱性综合评价方法[J]. *干旱地区农业研究*, 2017, 35(1): 240-247.
 - [19] 唐 薇, 罗 振, 温四民, 等. 干旱和盐胁迫对棉苗光合抑制效应的比较[J]. *棉花学报*, 2007, 19(1): 28-32.
 - [20] 刘光辉, 陈全家, 吴鹏昊, 等. 棉花花铃期抗旱性综合评价及指标筛选[J]. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(1): 53-62.
 - [21] EVANS J R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants[J]. *Oecologia*, 1989, 78(1): 9-19.
 - [22] NEIL R B. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo*[J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2008, 59: 89-113.
 - [23] 冯建灿, 胡秀丽, 毛训甲. 叶绿素荧光动力学在研究植物逆境生理中的应用[J]. *经济林研究*, 2002, 20(4): 14-18, 30.
 - [24] ROBERT R W, ADRIANA O L, DONALD R O. Spatial distribution of photosynthesis during drought in field-grown and acclimated and nonacclimated[J]. *Plant Physiol*, 1992, 100: 26-32.
 - [25] 吴文超, 曲延英, 高文伟, 等. 不同棉花品种对盐、旱胁迫的光合响应及抗逆性评价[J]. *新疆农业科学*, 2016, 53(9): 1569-1579.
 - [26] 罗宏伟, 张亚黎, 张旺锋, 等. 新疆滴灌棉花花铃期干旱复水对叶片光合特性及产量的影响[J]. *作物学报*, 2008, 34(1): 171-174.
 - [27] 戴茂华, 岳秀琴, 刘丽英, 等. 花铃期干旱胁迫对棉花光合特性的影响[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(19): 4-5, 20.
 - [28] LONGENBERGER P S, SMITH C W, DUKE S E, et al. Evaluation of chlorophyll fluorescence as a tool for the identification of drought tolerance in upland cotton[J]. *Euphytica*, 2009, 166(1): 25-33.
 - [29] 薛惠云, 张永江, 刘连涛, 等. 干旱胁迫与复水对棉花叶片光谱、光合和荧光参数的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(11): 2386-2393.
 - [30] LI D X, LI C D, SUN H C, et al. Photosynthetic and chlorophyll fluorescence regulation of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under drought conditions[J]. *Plant Omics Journal*, 2012, 5(5): 432-437.
 - [31] JILL D, MARIE P, JACQUELINE E H. Drought tolerance through biotechnology: improving translation from the laboratory to farmers' fields[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 2012, 23(2): 243-250.

(责任编辑: 张震林)