

# 干旱胁迫对不同色彩棉花生理生化指标的影响

石有太<sup>1</sup>, 罗俊杰<sup>1</sup>, 裴怀弟<sup>1</sup>, 张艳萍<sup>1</sup>, 南宏宇<sup>2</sup>, 陈玉梁<sup>1</sup>

(1. 甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 以抗旱性不同的白棉、棕棉和绿棉品种(系)为试验材料, 应用多元统计分析理论与方法, 研究了不同水分亏缺灌溉条件下花铃期棉花生理生化指标与抗旱性的关系。结果表明: 干旱胁迫提高了棉花叶片的 POD 和 CAT 酶活性, 降低了离体叶片失水速率和叶片相对含水量, 使丙二醛含量和脯氨酸含量增多, 细胞膜透性增大, 叶绿素含量、可溶性蛋白含量和可溶性糖含量品种间存在差异。综合评价分析结果, 棕色棉 BC05-07-18-2 抗旱性最强, 绿色棉 G3-6 抗旱性最弱。不灌溉条件下, 叶片相对含水量和类胡萝卜素含量可作为棉花抗旱鉴定的重要指标, 叶绿素含量和可溶性糖含量可作为参考指标。灌水一半条件下, 叶片相对电导率和离体叶片失水速率可作为棉花抗旱鉴定的重要指标, CAT 活性、丙二醛含量和脯氨酸含量可作为抗旱鉴定的参考指标。棉花品种的抗旱系数与叶片相对含水量及可溶性蛋白含量存在线性回归关系, 与细胞膜透性呈显著负相关。

**关键词:** 彩色棉花; 抗旱性; 筛选指标; 因子分析; 综合评价

**中图分类号:** S562 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2020)07-0059-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2020.07.015

## Effects of Drought Stress on Physiological-biochemical Indexes of Cotton with Different Colors

SHI Youtai<sup>1</sup>, LUO Junjie<sup>1</sup>, PEI Huaidi<sup>1</sup>, ZHANG Yanping<sup>1</sup>, NAN Hongyu<sup>2</sup>, CHEN Yuliang<sup>1</sup>

(1. Institute of Bio-technology, Gansu Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Institute of Crops, Gansu Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** With white cotton, brown cotton and green cotton cultivars (lines) with different drought resistance are used as test materials, The relationship between physiological and biochemical indexes and drought resistance of flower-boll cotton under different water deficit irrigation conditions was studied with multivariate statistical analysis and method. The results showed that with the increase of drought stress, drought stress increased the POD activity, CAT activity of cotton leaves, relative conductance rate and MDA content and proline content were increased, But the drought stress have no effect on same cotton varieties. Reduce the water loss rate of cutting leaves and relative water content, there are differences on varieties between soluble protein content and soluble sugar content. Comprehensive evaluation and analysis results show that the BC05-07-18-2 of brown cotton was the strongest drought resistance, green cotton G3-6 was the weakest drought resistance. Under the condition of no irrigation, the relative water content and Car content be regarded as the important indexes of drought resistance identification of cotton, Chlorophyll content and Soluble sugar content were taken as good indexes for determining or influencing cotton drought resistance. Under the condition of half irrigation, the relative conductance rate and the water loss rate of cutting leaves be regarded as the important indexes of drought resistance identification of cotton, CAT activity, MDA content, and Proline content were taken as good indexes

**收稿日期:** 2020-06-05

**基金项目:** 国家自然科学基金(31460365); 国家转基因生物新品种培育重大专项(2009ZX08005-013B)。

**作者简介:** 石有太(1982—), 男, 甘肃靖远人, 助理研究员, 硕士, 主要从事作物抗旱鉴定研究工作。

Email: siou8165@163.com。

**通信作者:** 陈玉梁(1972—), 男, 甘肃靖远人, 副研究员, 主要从事农业生物技术研究工作。Email: chenyl925@163.com。

for determining or influencing cotton drought resistance. It was a good linear regression relation between drought resistance coefficient and relative water content soluble protein content, drought resistance coefficient and relative conductance rate were significantly negative.

**Key words:** Colored cotton; Drought tolerance; Screening index; Factor analysis; Comprehensive evaluation

西北内陆棉区水资源日益匮乏, 干旱已成为影响该地区棉花生产的主要环境因素<sup>[1]</sup>。中国西北干旱区地处中纬度地带的欧亚大陆腹地, 是对全球气候变化响应最敏感的地区之一<sup>[2]</sup>, 极端水文事件的频度和强度都在增加, 水资源脆弱性和不确定性将加剧<sup>[3]</sup>。棉花为西北地区最重要的经济作物。王鹤龄等<sup>[4]</sup>研究认为, 气候变暖对棉花需水量的影响大, 当生长期温度上升 1~4 °C 时, 棉花需水量将增加 2.17%~12.66%, 相当于 15.0~83.0 mm 的降水。甘肃敦煌棉区地下水水位降低、湿地萎缩、水资源短缺已成为该地区农业及社会经济可持续发展的“瓶颈”<sup>[5]</sup>, 也成为影响棉花产量和品质的主要环境因素<sup>[4]</sup>。根据农业农村部“十三五”种植业结构调整规划, 到 2020 年, 棉花生产向优势区域集中, 向盐碱滩涂地沙性旱地集中, 向高效种植模式区集中, 形成西北内陆、黄河流域、长江流域“三足鼎立”格局<sup>[6]</sup>。由于粮棉争地、争水的矛盾日趋加剧, 瘠薄地种植棉花, 其保水性差, 势必对棉花产量与品质产生不利的影响。我们利用不同色彩棉花品种, 研究了干旱环境对其生理生化指标的影响, 以筛选抗旱性鉴定指标和抗旱棉花品种, 为棉花抗旱鉴定及新品种选育提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验设在甘肃省敦煌市肃州区魏家桥村, 据敦煌市区 3 km。纬度 40.08°, 经度 94.41°, 海拔 1 138 m, 年平均气温 10.5 °C, 无霜期 142 d, 10 °C 以上活动积温 3 611.3 °C, 年平均降水量 42 mm, 蒸发量 2 486 mm, 是典型的大陆干旱性气候, 属北方特早熟棉区。试验地土壤为灌淤土, 前茬为棉

花, 连续多年种植棉花。播前 10 d 浇足水, 播种前耧地(平整土地)。最大田间持水量 18.35%、饱和持水量 30.33%、凋萎含水量 2.66%、播种时 1 m 土层平均土壤相对含水量 14.89%、1 m 土层平均土壤容重 1.52 g/m<sup>3</sup>、pH 8.93、有机质 13.4 g/kg、全氮 0.61 g/kg、碱解氮 49 mg/kg、有效磷 28.29 mg/kg、速效钾 189 mg/kg。

### 1.2 供试材料

供试材料为抗旱性不同的 12 个棉花品种(系), 白色棉花为中晚熟品种陇棉 2 号、Z61 和早熟品系陇 1-1-3、9902, 绿色棉花品种为 G3-6、陇绿棉 3 号、G1124-07-22、GC06-45。棕色棉花品种为 BC05-07-18-2、BC06-45、BC05、陇棕棉 1 号。均由甘肃省农业科学院作物所棉花课题组提供。

### 1.3 试验方法

试验采用随机区组设计, 设 3 个灌溉水平, 3 次重复。处理 A, 按 2 m 土层达到田间最大持水量(18.35%)灌溉, 于棉花现蕾后(6 月 20 日)开始每隔 15 d 灌水 1 次, 小区灌水量根据试验设计, 全生育期灌溉 4 次, 保证棉花全生育期不缺水。处理 B, 灌溉量为处理 A 的 50%, 灌溉次数与时间同 A。处理 C, 全生育期不灌水。处理间和重复间用垂直埋设 80 cm 地膜隔离水分水平渗透。品种随机排列, 处理内小区边界均用培土分离。小区长 17 m, 宽 5 m, 采用地膜覆盖种植, 膜面宽 120 cm, 膜间距 40 cm, 每膜种植 4 行, 为同一个品种(系), 行距按 30 cm-40 cm-30 cm 的宽窄行方式布置, 株距为 15 cm(密度约 166 700 株/hm<sup>2</sup>)。为消除水肥互作影响, 施复合肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 质量比 21 : 10 : 14)600 kg/hm<sup>2</sup>、尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>,

于播前 7 d 开沟深施，之后全生育期不施肥。其余管理同大田。

### 1.4 测定方法

每小区选取长势一致的 10 株棉株在盛花期取样。于 9:00 时选取植株倒 4 叶，将同一处理品种的叶片混合后，用直径 1 cm 的打孔器将叶片打成 1 cm 的小圆片，混匀后迅速放入液氮中速冻，带回实验室后用于生理、生化指标测定。采用邹琦<sup>[7]</sup>和陈毓荃<sup>[8]</sup>的方法测定以下生理生化指标：脯氨酸含量(磺基水杨酸法)，可溶性蛋白质含量(考马斯亮蓝 G-250 法)，可溶性糖含量(采用蒽酮比色法测定)，叶绿素含量和类胡萝卜素含量(用 80%丙酮浸提，比色法测定)，超氧化物歧化酶(SOD)活性(采用 NBT 光还原法测定，以每克鲜重酶单位表示)，过氧

化氢酶(CAT)活性(采用比色法测定，以 1 min 内 OD240 减少 0.1 的酶量为 1 个酶活单位 u，以鲜重测)，过氧化物酶(POD)活性(采用愈创木酚显色法)，丙二醛(MDA)含量(采用硫代巴比妥酸法测定)，叶片相对电导率(用电导仪测定)，叶片相对含水量和叶片饱和亏缺(用烘干法)，离体叶片失水速率为 8 h 干重失水速率。

### 1.5 数据的处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件完成数据处理与分析，抗旱性评价方法利用主成分与隶属函数分析法<sup>[9-11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌水量对棉花品种相关生理生化指标的影响

从表 1 可知，水分胁迫使大部分棉花品

表 1 不同处理的棉花花铃期叶片生理生化指标

棉花品种	灌水处理	SOD 活性 / (u/mg)	POD 活性 / (u/min·mg)	CAT 活性 / (u/min·mg)	叶片相对含水量 / %	叶片水分饱和和亏缺 / %	离体叶片失水速率 / (g/h·g)	丙二醛含量 / (μmol/g)	脯氨酸含量 / (μg/g)	可溶性糖含量 / %	可溶性蛋白 / (mg/g)	相对电导率 / %	叶绿素含量 / (mg/g)
G1124-07-22	A	260.89 aA	532 bA	522.47 aA	84.87 aA	15.13 aA	0.41 aA	7.61 aA	238.05 bB	1.02 aA	1.36 aA	52.66 bB	2.35 bB
	B	262.61 aA	562 abA	450.16 bB	79.30 aA	20.70 aA	0.43 aA	7.59 aA	267.82 bB	1.08 aA	1.64 aA	51.68 bB	2.82 aA
	C	255.69 aA	593 aA	421.73 cC	78.68 aA	21.32 aA	0.13 bB	7.59 aA	346.23 aA	1.05 aA	1.41 aA	64.62 aA	2.80 aA
G3-6	A	273.60 bA	563 aA	556.78 cC	94.39 aA	5.61 bB	0.56 aA	3.81 bA	158.67 bB	1.08 aA	1.39 bB	35.38 bB	2.23 bB
	B	285.02 aA	554 aA	665.82 aA	76.46 bB	23.54 aA	0.39 bB	4.71 aA	296.35 aA	1.04 aA	1.88 aA	56.67 aA	2.58 aA
	C	277.52 abA	583 aA	596.05 bB	79.54 bB	20.46 aA	0.17 cC	4.75 aA	317.44 aA	0.90 bB	1.41 bB	61.74 aA	2.43 aAB
陇绿棉 3 号	A	276.58 aA	462 bB	549.48 aA	90.07 aA	9.93 bB	0.48 aA	6.68 cB	150.20 bB	1.17 aA	1.20 bA	67.27 aA	2.57 aA
	B	270.51 aA	554 bA	532.92 bA	82.99 bB	17.01 aA	0.43 aA	7.03 bB	269.17 aA	0.87 bB	1.65 aA	65.01 aA	2.19 bAB
	C	245.90 bA	558 aA	511.78 cB	80.37 bB	19.63 aA	0.14 bB	8.96 aA	289.52 aA	0.96 bAB	1.78 aA	63.90 aA	1.99 bB
GC06-45	A	277.47 aA	438 cC	549.73 bB	80.50 aA	19.50 A	0.39 aAB	3.85 abA	160.23 cC	0.97 aA	1.58 bB	59.87 cB	2.43 aA
	B	262.14 abA	482 bB	560.66 bB	81.03 aA	18.97 aA	0.46 aA	3.57 bA	246.35 bB	0.91 abA	1.84 aA	63.95 bB	2.14 bB
	C	257.65 bA	527 aA	601.98 aA	79.02 aA	20.98 aA	0.15 bB	4.08 aA	373.47 aA	0.85 bA	1.28 cC	73.86 aA	2.18 bB
BC05-07-18-2	A	270.51 aA	554 bA	554.27 bB	81.27 aA	18.73 aA	0.35 bB	5.97 bB	162.47 cB	0.82 bA	1.29 aA	50.80 cC	2.14 bB
	B	277.02 aA	580 aA	625.06 aA	79.57 aA	20.43 aA	0.46 aA	6.37 bAB	262.74 bA	0.88 abA	1.44 aA	63.85 bB	2.23 bB
	C	267.74 aA	577 aA	552.99 bB	82.65 aA	17.35 aA	0.18 cC	7.31 aA	312.06 aA	0.93 aA	1.35 aA	69.79 aA	2.94 aA
BC06-45	A	264.78 aA	443 bB	429.19 cC	85.48 aA	14.52 bB	0.49 aA	5.77 bB	173.97 bB	1.18 aA	1.49 abA	60.00 bB	2.43 bB
	B	270.31 aA	488 aA	481.65 bB	80.56 bA	19.44 bB	0.42 aA	5.73 bB	198.00 bB	1.07 cB	1.76 aA	58.98 bB	3.07 aA
	C	271.62 aA	497 aA	502.49 aA	78.88 bA	21.12 aA	0.14 bB	6.46 aA	341.10 aA	1.13 bAB	1.29 bA	75.34 aA	3.26 aA
陇棕棉 1 号	A	268.73 aA	472 cB	532.17 bB	83.92 aA	16.08 bB	0.41 aA	4.71 bB	145.83 cC	1.05 aA	1.22 aA	55.84 cB	2.39 aA
	B	268.27 aA	589 aA	717.72 aA	82.77 aA	17.23 bB	0.50 aA	6.40 aA	227.55 bB	1.13 aA	1.51 aA	63.56 bAB	2.35 aA
	C	260.45 aA	547 bA	418.27 cC	76.89 bA	23.11 aA	0.17 bB	6.18 aA	287.73 aA	0.90 aA	1.57 aA	71.85 aA	2.43 aA
BC05	A	269.55 aA	445 cC	537.40 abA	87.34 aA	12.66 bA	0.48 aA	5.28 cC	187.04 cB	1.14 aA	1.27 bB	50.31 bB	2.08 cB
	B	256.71 aA	543 bB	533.62 bA	81.90 abA	18.10 abA	0.43 aA	6.57 bB	268.30 bB	1.21 aA	1.54 abAB	68.79 aA	2.73 bA
	C	260.93 aA	573 aA	555.14 aA	80.01 bA	19.99 aA	0.13 bB	7.11 aA	407.35 aA	1.20 aA	1.70 aA	62.77 aAB	3.17 aA
9902	A	277.26 aA	375 aA	578.18 aA	77.32 cB	22.68 aA	0.53 aA	2.88 cC	189.23 bB	0.19 bB	1.47 abA	69.09 cB	2.01 bB
	B	266.60 abA	378 aA	574.71 aA	87.54 aA	12.46 cB	0.53 aA	3.70 bB	226.47 bB	0.94 aA	1.63 aA	76.25 bA	2.33 bAB
	C	261.69 aA	373 aA	501.42 bB	82.41 bAB	17.59 bAB	0.16 bB	4.82 aA	390.34 aA	0.92 aA	1.33 bA	81.29 aA	2.88 aA
陇棉 2 号	A	266.80 aA	475 bB	520.89 bB	83.10 aA	16.90 aA	0.38 aA	4.73 bB	160.89 cB	1.14 bB	1.46 bB	41.04 bB	2.08 aA
	B	271.11 aA	487 bB	593.42 aA	83.62 aA	16.38 aA	0.43 aA	4.56 bB	214.52 bB	1.14 bB	1.88 aA	45.51 bB	2.05 aA
	C	266.60 aA	568 aA	428.92 cC	79.13 aA	20.87 aA	0.15 bB	5.90 aA	355.48 aA	1.28 aA	1.56 bAB	69.50 aA	2.17 aA
陇 1-1-3	A	264.07 aA	460 bB	534.93 bB	75.96 aA	24.04 aA	0.40 aA	4.40 cC	175.08 cC	1.09 aA	1.26 aA	53.55 bB	2.40 cB
	B	268.04 aA	500 aAB	613.68 aA	85.81 aA	14.19 bA	0.48 aA	4.95 bB	290.19 bB	0.89 bB	1.52 aA	51.35 bB	2.55 bB
	C	267.34 aA	528 aA	464.66 cC	79.19 abA	20.81 abA	0.12 bB	5.40 aA	629.06 aA	0.92 bB	1.52 aA	58.17 aA	2.89 aA
Z61	A	269.98 aA	512 aA	559.86 cC	81.79 abA	18.21 abA	0.45 bA	4.54 cB	192.00 bB	1.07 abA	1.54 aA	31.98 bB	2.13 aA
	B	265.62 aA	492 aA	798.37 bB	87.16 aA	12.84 bA	0.59 aA	5.84 bB	179.70 bB	1.21 aA	1.47 aA	67.31 aA	1.98 aA
	C	266.43 aA	518 aA	848.26 aA	79.58 bA	20.42 aA	0.13 cB	6.45 aA	419.82 aA	0.94 bA	1.35 aA	68.30 aA	1.95 aA



种的叶片相对含水量和离体叶片失水速率降低, POD 和 CAT 活性增强, MDA 积累量增多, 脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、细胞膜相对透性和叶绿素含量增加, 但品种间存在较大差异, 不同品种在灌水一半和不灌水处理下上述指标变化幅度不同。在正常灌溉(处理A)条件下, 参试的 3 种色彩棉花脯氨酸含量差距不大。随着水分胁迫程度的加深, 除早熟棉品系陇 1-1-3 外, 灌水一半(处理B)条件下, 彩色棉花的脯氨酸含量高于白色棉花。不灌水处理(处理C)的白色棉花脯氨酸含量高于绿色棉花和棕色棉, 其中早熟白色棉花陇 1-1-3 含量最高, 达到了 629.06  $\mu\text{g/g}$ , 不灌水处理使叶片相对电导率的增加量较灌水一半处理的少, 棕棉 BC05 在不灌水处理下的叶片相对电导率反而较轻度干旱胁迫低, 表明干旱并未使细胞膜受到严重伤害。干旱胁迫对早熟白色棉花陇 1-1-3 叶片相对电导率的影响较小。不同灌水处理对各品种 SOD 酶活性的影响较小, 干旱对花铃期叶片可溶性糖含量和类胡萝卜素含量的影响品种间存在较大差异, 正常灌水条件下, 3 种色彩棉花的可溶性糖含量差异较小, 干旱胁迫使大部分棉花品种可溶性糖含量降低, 这可能与干旱胁迫使棉花的生育进程加快有关。

## 2.2 各单项指标相对值及其相关性分析

将不灌水和灌水一半条件下各单项指标所测得的数据, 与正常灌水计较, 计算各指标性状的抗旱系数(表2), 相关分析表明, 灌水一半处理的棉花抗旱性与叶片电导率呈显著负相关, 而叶片相对电导率与 CAT 活性和丙二醛含量呈极显著正相关, 与 POD 活性呈显著负相关。CAT 活性与 MDA 含量和电导率呈极显著正相关。不灌水处理的棉花抗旱性与 CAT 活性和叶片相对电导率呈极显著负相关, 与类胡萝卜素含量呈显著正相关, 类胡萝卜素含量与叶绿素含量和可溶性糖含量呈极显著正相关, 不同水分胁迫下, CAT 活性均与叶片相对电导率呈极显著正相关。

## 2.3 抗旱性评价

以各品种各单项指标的相对值为基础, 利用 SPSS 软件计算出各主成分的特征向量和贡献率, 再经过隶属函数分析求得抗旱性综合评价值  $D$  值, 以  $D$  值大小对不同棉花品系抗旱性强弱进行排序(表3)。不灌水条件下, 棕色棉 BC05-07-18-2 的  $D$  值和籽棉产量抗旱系数都最大, 抗旱性最强; 绿色棉 G3-6 的  $D$  值和籽棉产量抗旱系数都最小, 抗旱性最弱。总体上, 棕色棉的抗旱性强于白色棉和绿色棉。综合评价  $D$  值与抗旱系

表 2 主要生理生化性状与抗旱系数的相关分析<sup>①</sup>

	抗旱性	叶片相对含水量	叶片饱和亏缺	离体叶片失水速率	叶绿素含量	类胡萝卜素	SOD	POD	CAT	MDA	电导率	脯氨酸含量	可溶性蛋白	可溶性糖含量
抗旱性		0.286	-0.305	0.173	-0.132	-0.182	-0.110	0.217	-0.081	-0.090	-0.385*	0.052	-0.130	0.257
叶片相对含水量	0.191		-0.894**	-0.015	-0.261	-0.174	-0.251	0.317	-0.023	0.073	-0.248	-0.085	0.002	-0.130
叶片饱和和亏缺	-0.184	-0.899**		-0.095	0.213	0.149	0.283	-0.355*	0.130	0.079	0.327	0.309	0.153	0.017
离体叶片失水速率	0.036	-0.139	0.266		0.233	0.059	-0.108	-0.064	-0.249	-0.281	-0.133	-0.387**	-0.158	0.226
总叶绿素含量	0.165	0.264	-0.164	0.026		0.725**	0.308	0.171	-0.131	-0.070	0.015	-0.306	-0.315	0.285
类胡萝卜素	0.378*	0.286	-0.235	-0.069	0.849**		0.097	0.182	-0.136	0.182	0.145	-0.302	-0.344*	0.434**
SOD	-0.066	-0.093	0.148	-0.006	0.428**	0.350*		-0.207	0.235	-0.274	-0.002	0.067	-0.004	0.058
POD	0.172	0.095	-0.175	-0.053	-0.044	-0.145	-0.272		-0.202	0.073	-0.403*	0.116	-0.055	0.120
CAT	-0.515**	-0.074	0.114	-0.251	0.011	-0.149	0.075	-0.093		0.475**	0.598**	-0.068	-0.332*	0.004
MDA	-0.038	0.140	-0.082	-0.061	0.015	0.114	-0.230	-0.043	0.031		0.534**	-0.014	-0.086	0.166
电导率	-0.758**	-0.277	0.331*	-0.025	-0.194	-0.312	0.251	-0.270	0.621**	0.098		-0.194	-0.337*	0.241
脯氨酸含量	0.261	0.109	-0.105	-0.319	0.007	0.072	0.222	0.336*	-0.001	0.211	-0.082		0.557**	-0.509**
可溶性蛋白	-0.094	0.075	-0.054	0.089	-0.219	-0.331	-0.433**	0.400**	-0.301	0.119	-0.211	-0.098		-0.474**
可溶性糖含量	0.148	0.337*	-0.295	0.181	0.497	0.455**	0.169	-0.040	-0.279	-0.132	-0.091	-0.266	-0.046	

① 右上角数据为灌水一半(处理B)条件下各指标相对值间的相关系数, 左下角为不灌水(处理C)条件下各指标相对值间的相关系数, “\*\*”表示  $P=0.01$  水平相关; “\*”表示  $P=0.05$  水平相关。

数之间的相关系数为  $r=0.626$ ，相关分析结果显著，但相关系数较小，说明综合评价 D 值只能作为棉花抗旱性评价参考指标。灌水一半条件下，棕棉 BC05-07-18-2 的 D 值和籽棉产量抗旱系数都最大，抗旱性最强，与不灌水条件下分析结果一致。

#### 2.4 回归分析

从上述分析结果可知，不同指标对棉花抗旱性贡献大小不同。进一步以抗旱性综合评价(D值)作因变量，各单项指标相对值作自变量，通过逐步回归分析建立多元线性逐步回归方程，并获取对抗旱性评价最重要的生理和生化指标。回归模型经回归系数测验和决定系数验证，均达显著水平(表4)。说明在不灌水条件下，叶片相对含水量和类胡萝卜素含量为棉花抗旱鉴定关键指标；灌水一半条件下，叶片膜透性和离体叶片失水速率可作为棉花抗旱性鉴定的重要指标。棉花产量抗旱系数与叶片相对含水量和可溶性

蛋白含量关系密切，在灌水一半和不灌水2种水分胁迫条件下，这2个指标均与抗旱性存在线性回归关系。

### 3 结论与讨论

在水分胁迫条件下，棉花自身可以通过增加或减少可溶性糖、游离脯氨酸、甜菜碱等渗透调节物质，改变体内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等酶类活性来适应水分的变化<sup>[12]</sup>，本研究表明，干旱处理使花铃期大部分棉花品种的叶片相对含水量和离体叶片失水速率降低，POD和CAT活性增强，MDA积累量增多，脯氨酸含量、可溶性蛋白含量和细胞膜相对透性增加，这与他人的研究结果一致<sup>[13-16]</sup>。刘灵娣等<sup>[17]</sup>研究认为，干旱胁迫下超氧歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(POD)活性存在先上升后下降的现象，旱胁迫后保护酶活性已具有明显的适应性反应，品种的不同呈现出不同的变化规律。本研究一部分参试的品种的酶活性在持

表3 抗旱性综合评价结果

品种	不灌水				灌水一半			
	D值	排序	抗旱系数 <sup>①</sup>	排序	D值	排序	抗旱系数	排序
陇棉2号	0.638	5	0.355	5	0.481	8	0.729	8
陇1-1-3	0.604	8	0.463	8	0.528	6	0.688	6
G3-6	0.513	12	0.349	12	0.440	10	0.621	10
陇绿棉3号	0.585	9	0.378	9	0.469	9	0.604	9
GC06-45	0.613	6	0.456	7	0.487	7	0.795	7
BC05-07-18-2	0.717	1	0.489	1	0.761	1	0.939	1
BC06-45	0.683	3	0.411	3	0.591	4	0.737	4
陇棕棉1号	0.575	10	0.389	10	0.306	12	0.816	12
BC05	0.626	6	0.393	6	0.362	11	0.650	11
9902	0.692	2	0.432	2	0.705	3	0.848	3
Z61	0.654	4	0.433	4	0.532	5	0.574	5
G1124-07-22	0.552	11	0.383	11	0.746	2	0.682	2

①抗旱系数为干旱条件下的籽棉产量与正常灌水条件籽棉产量的比值。

表4 彩色棉花抗旱性鉴定模型

因变量	多元逐步回归方程 <sup>①</sup>	相关系数	$R^2$	F
不灌水干旱胁迫下 D 值( $D_C$ )	$D_C=2.039-1.626X_1+0.101X_5$	0.815	0.665	8.931**
灌水一半干旱胁迫下 D 值( $D_B$ )	$D_B=-0.535+0.344X_{10}+0.744X_3$	0.843	0.711	11.086**
不灌水干旱胁迫下抗旱系数( $Y_C$ )	$Y_C=-0.158+0.722X_1-0.088X_{12}$	0.812	0.660	8.742**
灌水一半干旱胁迫下抗旱系数( $Y_B$ )	$Y_B=1.468+0.882X_{12}-2.194X_1+0.279X_8$	0.925	0.856	15.899**

① $X_1$ 为叶片相对含水量， $X_3$ 为离体叶片失水速率， $X_5$ 为类胡萝卜素含量， $X_8$ 为CAT活性， $X_{12}$ 为可溶性蛋白含量。

续干旱下低于正常灌溉和灌水一半处理, 干旱对白色棉花和棕色棉花的 SOD 酶活性和可溶性糖含量的影响较小, 部分绿色棉花品种随干旱程度的加深反而降低了 SOD 酶活性和可溶性糖含量, 品种间存在较大差异, 不同品种在不同水分胁迫下酶活性不同, 表现出明显的适应特性, 这也印证了刘灵娣<sup>[17]</sup>的研究结果。不同品种的叶片可溶性蛋白含量表现出不同的变化趋势, 这与刘灵娣等<sup>[18]</sup>的研究结果一致, 与王娟等<sup>[15]</sup>在花铃期干旱是可溶性蛋白含量增加的结果不一致。干旱胁迫使部分绿色棉花品种的叶绿素含量降低, 这主要与干旱导致叶片叶绿体结构破坏有关<sup>[19-20]</sup>, 也有一部分白色棉花和棕色棉花品种的叶绿素含量增加, 这与国内对白色棉花短期干旱胁迫下叶绿素含量降低的研究结果存在较大差异, 这可能是长期干旱胁迫下棉花适应了环境的结果。

#### 参考文献

- [1] 罗 振, 辛承松, 李维江, 等. 部分根区灌溉与合理密植对旱区棉花产量和水分生产率的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(9): 3137-3144.
- [2] 陈亚宁, 杨 青, 罗 毅, 等. 西北干旱区水资源问题研究思考篇[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 1-9.
- [3] 陈亚宁, 李 稚, 范煜婷, 等. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1295-1304.
- [4] 王鹤龄, 牛俊义, 王润元, 等. 气候变暖对河西走廊绿洲灌区主要作物需水量的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(5): 245-251.
- [5] 王 方, 李忠旺, 欧巧明, 等. 干旱胁迫对棉花种子品质和活力的影响[J]. 甘肃农业科技, 2019(1): 58-62.
- [6] 卢秀茹, 贾肖月, 牛佳慧. 中国棉花产业发展现状及展望[J]. 中国农业科学, 2018, 51(1): 26-36.
- [7] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 110-111; 129; 163.
- [8] 陈毓荃. 生物化学实验方法和技术[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 95-96.
- [9] 陈玉梁, 石有太, 罗俊杰, 等. 甘肃彩色棉花抗旱性农艺性状指标的筛选鉴定[J]. 作物学报, 2012, 38(9): 1680-1687.
- [10] 石有太, 陈玉梁, 罗俊杰, 等. 不同色彩棉花抗旱性鉴定指标及评价[J]. 作物杂志, 2013(1): 62-67.
- [11] 罗俊杰, 石有太, 陈玉梁, 等. 甘肃不同色彩陆地棉抗旱指标筛选及评价研究[J]. 核农学报, 2012, 26(6): 952-959.
- [12] 冯方剑, 宋 敏, 陈全家, 等. 棉花苗期抗旱相关指标的主成分分析及综合评价[J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34(3): 211-217.
- [13] 马彦茹, 吴湘琳, 葛春辉. 干旱胁迫条件下施用保水剂对棉花植株生理生化的影响[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(2): 277-282.
- [14] 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.
- [15] 王 娟, 危常州, 朱金龙, 等. 不同生育期干旱胁迫对棉花叶片生理指标及生物量的影响[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(4): 596-604.
- [16] 戴茂华, 刘丽英, 庞昭进, 等. 花铃期干旱胁迫对棉花生理生化指标的影响[J]. 江西农业学报, 2015, 27(7): 19-21.
- [17] 刘灵娣, 李存东, 孙红春, 等. 干旱对不同铃重基因型棉花叶片细胞膜伤害保护酶活性及产量的影响[J]. 棉花学报, 2009, 21(4): 296-301.
- [18] 刘灵娣, 李存东, 高雪飞. 干旱对不同铃重棉花不同区位果枝叶可溶性蛋白及脯氨酸含量的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(5): 165-169.
- [19] 吴文超, 曲延英, 高文伟. 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.
- [20] 王 宁, 南宏宇, 冯克云. 7 个甘肃彩色棉品种种子萌发期的耐盐性鉴定[J]. 甘肃农业科技, 2017(5): 17-20.

(本文责编: 陈 珩)