

文章编号:1000-8551(2012)06-0952-08

甘肃不同色彩陆地棉抗旱指标筛选及评价研究

罗俊杰 石有太 陈玉梁 王红梅 刘新星

(甘肃省农业科学院生物技术研究所,甘肃 兰州 730070)

摘要:在甘肃省敦煌棉区高密度覆膜栽培模式下,以不同基因型的白色纤维、棕色纤维和绿色纤维 10 个品种(系)为试验材料,在正常供水与持续干旱胁迫条件下,测定棉花对水肥最敏感的花铃期的生理生化指标和生长期间的农艺性状指标,应用多元统计分析方法,进行抗旱性综合评价,以确定棉花简单、易用的抗旱鉴定指标,为彩色棉花抗旱品种选育提供依据。研究表明:选择的抗旱综合评价相关的类胡萝卜素含量、离体叶片失水速率、花铃期叶片数、断裂比强度、可溶性蛋白含量、纤维长度、无效果枝数、丙二醛含量、生育期和叶片相对电导率等 10 个指标,可有效鉴定棉花资源的抗旱性。D 值与抗旱性呈显著的正相关,根据 D 值的大小得出 10 个参试棉花材料的抗旱性由强到弱依次为 BC05-07-18-2、BC06-10、白色棉陇 1-1-3、BC06-45、GC06-45、G3-1、陇棉 2 号、G3-6、陇棕棉 1 号、陇绿棉 3 号。

关键词:彩色棉花;抗旱性;指标筛选

SCREENING AND EVALUATION OF DROUGHT TOLERANT INDICES OF COLORED UPLAND COTTON (*Gossypium hirsutum* L.) IN GANSU

LUO Jun-jie SHI You-tai CHEN Yu-liang WANG Hong-mei LIU Xin-xing

(Bio-technology Institute, Gansu Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract: Under plastic film mulching and high-intensity condition, ten cultivars (lines) with white fiber, brown fiber and green fiber were used to investigate their physiological and biochemical traits at flowering-bolling stage during which plants are most sensitive to soil water and fertilizer, morphological character during the growth, as well as the comprehensive evaluation of drought resistance through multivariate statistical analysis and to find out indices which are simple and easy to be applied for cotton drought tolerance evaluation, which is also helping providing reference for colored cotton breed selection. Results showed that the comprehensive evaluation of 10 indexes such as carotenoids content, water loss rate of cutting leaves, leaf number of flowering-bolling stage, specific breaking strength, soluble protein content, the yield related index of fiber length, number of invalid fruiting branch, MDA content, growth period, relative conductance rate, cotton drought resistance can be identified. The drought resistance and D value were significantly positive, depending on D value, and the sequence of drought resistance of 10 accessions from strong to weak was BC05-07-18-2, BC06-10, Long1-1-3, BC06-45, GC06-45, G3-1, Longmian-2, G3-6, Longzongmian-1, Longlvnian-3.

Key words: colored cotton; drought tolerance; screening index

我国是水资源十分短缺的国家之一,棉花为我国的主要经济作物,随着全球气候变暖和水资源的日益

匮乏,干旱已成为影响棉花生产的主要环境因素。因此,研究筛选棉花抗旱性鉴定指标对棉花种质鉴定和

收稿日期:2012-03-23 接受日期:2012-07-25

基金项目:国家转基因生物新品种培育重大专项(2009ZX08005-013B)

作者简介:罗俊杰(1962-),男,陕西华县人,博士,研究员,主要从事抗旱生理研究。E-mail: hmsljie@163.com

抗旱育种具有重要意义。作物的抗旱性是多基因、多因素控制的复杂生物性状,要准确评价棉花抗旱性比较困难。国内外学者对白色棉花抗旱性鉴定研究表明,干旱严重影响棉花的生长发育^[1,2],苗期不同程度水分亏缺抑制棉花的纵向生长^[3],生长期适度水分亏缺对茎秆直径的影响较小,较长时期的连续缺水对茎秆直径具有较大影响^[4]。棉花蕾期中度受旱使棉花生育进程加快^[5],花铃期中度受旱时,棉株增长缓慢,叶片数减少,叶片变小、新生叶片伸出速率慢^[5],生育中、后期缺水会使株高降低、果枝数、果节数、单株成铃数减少,铃期变短,脱落增加,产量下降^[6,7]。持续干旱对籽棉产量影响以单株成铃数 > 成铃率 > 单铃重,短期干旱胁迫以增加成铃数显示籽棉增产^[8]。在水分胁迫条件下,棉花自身可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^[9,10],从而使干旱胁迫产生的活性氧自由基有效地被清除,改善作物的抗旱性,提高其光合速率^[11]。杜传莉等^[12]通过对国内外研究结果的收集、整理和分析,认为有多项形态指标、生长发育和生理生化指标可用于棉花抗旱性的鉴定。

目前,我国大面积种植的棉花纤维颜色主要为白色,彩色棉花多为棕色棉和绿色棉,由于其产量低和品质差^[13],色彩单调,易褪色等特点,只在部分地区种植,甘肃省彩棉种植面积较大。尽管育种者利用杂种优势原理,采用杂交育种的方式改良彩色棉并取得了很大的成就^[14],也对彩色棉花的抗旱特性进行了概述^[15],但对于彩色棉的抗旱性鉴定研究较少,因此,开展彩色棉花抗旱性鉴定具有重要的指导意义。本研究通过对甘肃省敦煌棉区高密度覆膜栽培模式下的不同彩色棉品种进行水分调亏灌溉处理,对34个主要性状进行测定,应用主成分和多元回归分析对不同色彩棉花抗旱性相关主要农艺性状指标进行分析,以确定棉花简单、易用的抗旱鉴定指标。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验于2010-2011年在甘肃省敦煌市肃州镇魏家桥村进行。该地纬度40°08',经度94°41',海拔1138m,年平均气温10.5℃,无霜期142d,10℃以上活动积温3611.3℃,年平均降雨量42mm,蒸发量2486mm,是典型的大陆干旱性气候,属北方特早熟棉区。试验播前10d浇足水,播种前进行耧地(平整土地)。基础土

壤物理特性和养分状况如下:土壤为灌淤土,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1m土层平均土壤相对含水量14.89%、1m土层平均土壤容重 $1.52\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、pH值8.93、有机质13.4g/kg、全氮0.61g/kg、碱解氮49mg/kg、有效磷28.29mg/kg、速效钾189mg/kg。

1.2 供试材料

供试材料为不同基因型的10个棉花品种(系),白色棉花品种为陇棉2号和特早熟品系陇1-1-3;绿棉品种为G3-1、G3-6、陇绿棉3号和GC06-45;棕棉品种为BC05-07-18-2、BC06-45、BC06-10和陇棕棉1号,均由甘肃省农业科学院作物所棉花课题组提供。

1.3 处理方法

试验采用随机区组设计,试验设水区 and 旱区2个水平,3次重复,水区(A处理):按2m土层达到田间最大持水量(18.35%)80%灌溉,于棉花现蕾后(6月20日)开始每隔20d灌水1次,小区灌水量根据试验设计安装水表读数。全生育期灌溉4次,保证棉花全生育期不缺水,历次灌水量为一水 $1240.35\text{m}^3/\text{hm}^2$,二水 $1327.20\text{m}^3/\text{hm}^2$,三水 $1386.45\text{m}^3/\text{hm}^2$,四水 $1326\text{m}^3/\text{hm}^2$;旱区(B处理):全生育期不灌水。处理间和重复间用80cm垂直埋设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17m,宽5m,每一品种(系)种植4行,行距按30cm-50cm-30cm的宽窄行方式布置,地膜覆盖以宽窄行方式种植110cm地膜×50cm露地,株距为15cm(密度约 $166700\text{株}/\text{hm}^2$)。为消除水肥互作影响,施复合肥(N:P₂O₅:K₂O=21:10:14)600kg/hm²,尿素150kg/hm²,于播前一周开沟深施,之后全生育期不施肥。管理同大田常规。试验期间1m土层土壤相对含水量见表1。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 农艺性状指标 对棉花抗旱有关的农艺性状指标、产量指标和生理生化指标进行测定(表2),叶片数、株高和第一果枝节位3个指标在打顶后调查。吐絮盛期选取30株棉苗进行果节数、果茎节间长度、单株成铃数、单铃重、有效果枝数和无效果枝数(有效果枝数为座铃的果枝,无效果枝数为未座铃的空果枝)6项农艺性状指标的测定,收获后测定衣分、籽指、籽棉产量和收获指数4个产量性状指标和茎粗,并计算各品种的生育期(生育期为出苗期到吐絮期的天数)。以上指标测定参照《农作物田间试验记载项目及标准》^[16]中对棉花田间记载标准进

行,棉花5个品质指标由农业部农产品质量监督检验测试中心测定。

表1 不同时期测定的田间土壤相对含水量

Table 1 Relative soil water content tested at different growth stages (%)

处理 treatment	土层 soil layer(cm)	播种前 preplanting	一水前 first watering	二水前 pre-second watering	三水前 pre-third watering	四水前 pre-fourth watering	收获后 post-harvest
A	0~20	13.634	7.023	9.740	6.513	9.271	10.419
	20~40	14.361	7.276	10.358	8.132	8.692	9.961
	40~60	15.419	8.050	10.909	8.590	8.823	10.493
	60~80	16.054	9.276	12.317	10.622	8.760	10.580
	80~100	16.402	10.742	12.505	11.423	9.947	11.017
B	0~20	13.634	6.945	4.908	4.774	4.113	3.158
	20~40	13.718	7.057	5.010	4.857	4.458	4.161
	40~60	14.220	7.978	5.200	4.560	4.402	4.457
	60~80	15.530	8.918	6.564	5.458	4.968	4.595
	80~100	16.225	9.767	7.392	5.356	5.033	4.732

1.4.2 生理生化指标 在棉花生长至4~5片真叶时,每小区选取长势一致的10株棉株进行挂牌标记,将其作为取样株,在盛花期(打顶前)进行取样,于早上9:00选取挂牌棉株倒4叶,将叶片混合后,用1cm打孔器将叶片打成1cm的小圆片,混匀后分成2部分,分别用保鲜膜包好,一部分迅速放入液氮中速冻,带回实验室后用于生化指标测定;另一部分用于水分、电导率和叶绿素等相关指标的测定。

游离脯氨酸含量(茚三酮溶液显色法)、可溶性蛋

白质含量(考马斯亮蓝比色法)、可溶性糖含量(蒽酮比色法)、SOD酶活性(氮蓝四唑还原法)、CAT活性(紫外吸收法)、POD活性(愈创木酚法)、MDA含量(硫代巴比妥酸比色法)、叶绿素含量和类胡萝卜素含量(80%丙酮浸提比色法)、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,以上生理生化指标测定根据邹琦^[17]编著《植物生理学实验指导》中的方法进行,离体叶片失水速率为8h干重失水速率,参照张明生^[18]的方法测定。

表2 测定抗旱鉴定指标及对应编号

Table 2 Determination of drought resistance indexes

性状编号 code of trait	性状 trait	性状编号 code of trait	性状 trait
Y	产量抗旱系数 yield drought resistance coefficient	D	综合评价D值 comprehensive evaluation
X ₁	衣分 lint percentage(%)	X ₁₈	无效果枝数(个) number of invalid fruiting branch
X ₂	籽指 seed index(g)	X ₁₉	生育期 growth period(d)
X ₃	单铃重 single boll weight(g)	X ₂₀	叶片相对含水量 Relative water content(%)
X ₄	果茎节间长度 length between fruit branches and main stem(cm)	X ₂₁	叶片水份饱和和亏缺 leaf water saturation deficit(%)
X ₅	第一果枝节位(个) initial internodes of fruiting branch	X ₂₂	离体叶片失水速率 water loss rate of cutting leaves(gh ⁻¹ ·g ⁻¹)
X ₆	果节数(个) number of fruit nodes	X ₂₃	叶绿素a chlorophyll a content(mg·g ⁻¹)
X ₇	单株成铃数(个) boll numbers per plant	X ₂₄	叶绿素b chlorophyll b content(mg·g ⁻¹)
X ₈	有效果枝数(个) number of fruiting branch	X ₂₅	叶绿素含量 chlorophyll content(mg·g ⁻¹)
X ₉	株高 Height/cm	X ₂₆	类胡萝卜素含量 carotenoid content(mg·g ⁻¹)
X ₁₀	花铃期叶片数(个) leaf number of flowering-bolling stage	X ₂₇	SOD活性 SOD activity(u·lmg ⁻¹)
X ₁₁	纤维长度 fiber length(mm)	X ₂₈	POD活性 POD activity(u·min ⁻¹ mg ⁻¹)
X ₁₂	整齐度指数 uniformity(%)	X ₂₉	CAT活性 CAT activity(u·min ⁻¹ mg ⁻¹)
X ₁₃	马克隆值 micronaire	X ₃₀	丙二醛含量 MDA content(μmol·g ⁻¹)
X ₁₄	伸长率 elongation(%)	X ₃₁	相对电导率 relative conductance rate(%)
X ₁₅	断裂比强度 specific Breaking Strength/cN·dtex-1	X ₃₂	脯氨酸含量 proline content(μg·g ⁻¹)
X ₁₆	茎粗 stem diameter(cm)	X ₃₃	可溶性蛋白含量 soluble protein content(mg·g ⁻¹)
X ₁₇	收获指数 harvest index(%)	X ₃₄	可溶性糖含量 soluble sugar content(%)

1.5 数据的处理与计算

指标性状的抗旱系数 = 水分胁迫下指标性状值/
非水分胁迫下指标性状值 (1)

隶属函数的计算公式^[7]:

$$R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

反隶属函数值计算公式:

$$R(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (3)$$

式中, X_i 为指标测定值; X_{\min} 、 X_{\max} 为所有参试材料某一指标的最小值和最大值。

综合指标的权重 ω_j 根据各自贡献率大小用式(3)求得, 式中 P_j 为第 j 个综合指标贡献率。

$$\omega_j = P_j / (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_j) \quad (4)$$

各品系抗旱性综合评价值 D 由式(5)求得。

$$D = (\mu_1)\omega_1 + (\mu_2)\omega_2 + (\mu_3)\omega_3 + \dots + (\mu_j)\omega_j \quad (5)$$

采用 Excel2003 和 SPSS11.5 软件完成数据处理与分析。

2 结果与分析

2.1 单项指标与棉花品种(系)的抗旱性

本研究对旱区(胁迫组)和水区(对照)各棉花品种(系)的性状指标分别进行了测定, 结果表明, 各棉花品种(系)在生育期持续干旱处理后, 与对照相比, 植株的许多性状均发生一系列的变化, 根据所测得的各性状原始数据, 先利用公式(1)求得各指标性状的抗旱系数, 再求平均值(表3)。由表3可以看出, 对于同一棉花品种(系)而言, 不同指标性状的抗旱系数存在差异, 用任何单一指标的抗旱系数来评价各棉花品种(系)的抗旱性所得的结果均不尽相同, 所以, 任何单一指标来评价棉花品种(系)的抗旱性都存在片面性, 多个指标进行综合评价才较为可靠, 但所测指标之间关系复杂, 而且不同指标的重要性不同, 这就需要采用主成分与因子分析进行综合评价, 以确定抗旱鉴定重要指标。

表3 不同色彩棉花品种农艺性状指标和生理生化指标的抗旱系数

Table 3 Drought-resistant coefficients of morphological and biochemical characters of colored cotton varieties

品种(系) cultivars (lines)	y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
陇棉2号 longmian-2	0.397	1.060	0.833	0.839	0.878	1.144	0.796	0.594	0.620	0.660	0.693	0.931
陇1-1-3 long1-1-3	0.479	1.037	0.871	0.841	0.884	1.088	0.757	0.564	0.671	0.708	0.698	0.966
G3-6	0.410	1.125	0.802	0.799	0.852	1.017	0.641	0.569	0.619	0.673	0.628	0.884
陇绿棉3号 longlvnian-3	0.436	1.142	0.835	0.863	0.917	1.026	0.706	0.582	0.592	0.714	0.606	0.925
G3-1	0.445	1.072	0.820	0.841	0.897	1.059	0.633	0.544	0.577	0.710	0.587	0.916
GC06-45	0.476	1.096	0.859	0.846	0.886	0.994	0.727	0.614	0.623	0.731	0.618	0.906
BC05-07-18-2	0.525	1.160	0.732	0.760	0.905	1.060	0.734	0.625	0.592	0.724	0.578	0.931
BC06-45	0.432	1.132	0.793	0.872	0.932	1.064	0.586	0.491	0.515	0.685	0.513	0.930
BC06-10	0.470	1.101	0.800	0.805	0.857	1.045	0.655	0.693	0.672	0.709	0.662	0.938
陇棕棉1号 longzongmian-1	0.435	1.096	0.793	0.798	0.874	1.135	0.661	0.610	0.643	0.623	0.528	0.936
品种(系) cultivars (lines)	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃
陇棉2号 longmian-2	0.986	1.082	1.015	0.920	0.820	0.806	1.120	0.937	0.937	1.345	0.400	1.045
陇1-1-3 long1-1-3	0.974	0.978	1.030	0.927	0.824	0.708	1.239	0.871	0.962	1.313	0.326	1.146
G3-6	0.980	1.182	1.005	1.012	0.820	0.808	1.102	0.965	0.856	3.005	0.315	1.089
陇绿棉3号 longlvnian-3	0.981	1.098	0.837	1.038	0.840	0.768	1.187	1.003	0.881	3.984	0.303	0.774
G3-1	0.978	1.020	1.098	1.006	0.878	0.747	1.400	0.931	0.862	2.324	0.282	1.136
GC06-45	0.982	1.067	0.897	1.023	0.829	0.783	1.211	0.878	0.943	1.531	0.415	0.900
BC05-07-18-2	0.984	0.954	1.098	0.894	0.846	0.696	1.717	1.038	1.021	1.007	0.513	1.373
BC06-45	0.986	1.104	1.072	0.924	0.760	0.775	1.260	1.073	0.939	1.425	0.303	1.341
BC06-10	0.986	0.991	1.059	0.947	0.850	0.658	1.308	0.929	0.996	1.123	0.346	1.172
陇棕棉1号 longzongmian-1	0.984	1.022	1.105	0.969	0.819	0.850	1.049	0.876	0.915	1.490	0.412	1.018
品种(系) cultivars (lines)	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆	X ₂₇	X ₂₈	X ₂₉	X ₃₀	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	
陇棉2号 longmian-2	1.047	1.046	0.797	1.000	1.196	0.823	1.098	1.696	2.221	1.064	1.127	
陇1-1-3 long1-1-3	1.147	1.147	1.064	1.013	1.012	0.869	1.228	1.091	3.795	1.206	0.841	
G3-6	1.092	1.091	0.797	1.015	1.037	1.071	1.249	1.747	2.001	1.089	0.839	
陇绿棉3号 longlvnian-3	0.777	0.776	0.509	0.889	1.278	0.932	0.924	0.973	1.939	1.516	0.822	
G3-1	1.136	1.136	0.996	1.044	1.099	1.072	0.896	1.663	1.806	0.760	0.794	
GC06-45	0.902	0.901	0.745	0.929	1.068	1.095	1.062	1.233	2.330	0.893	0.877	
BC05-07-18-2	1.373	1.373	1.215	0.990	0.996	0.998	1.224	1.302	1.834	1.045	1.140	
BC06-45	1.340	1.341	1.269	1.026	0.897	0.950	0.990	1.200	1.965	0.863	0.958	
BC06-10	1.174	1.173	1.035	1.006	1.039	0.761	0.792	0.979	1.871	1.154	0.938	
陇棕棉1号 longzongmian-1	1.019	1.018	0.696	0.970	1.110	0.786	0.923	1.139	1.974	1.324	0.878	

2.2 主成分与因子分析

以经过抗旱系数转化的各性状指标数据为基础,利用 SPSS 软件对统计的 34 个指标相对值做初步筛选,计算出各主成分的特征向量和贡献率。通过主成分分析,特征值中 13 个成分的累积贡献率已达到 85.471%,对主成分分析中特征向量值较大的 32 个指标再进一步做因子分析。结果表明,前 10 个因子的特征根 $\lambda > 1$ 。抽取前 10 个因子,以简化存在于原始变量之间的复杂关系,将具有相同本质的变量归为一类,这样就把原来 34 个单项指标转换为 10 个新的相互独立的综合指标(公因子),用 $F_1, F_2, F_3, \dots, F_{10}$ 表示。根据公因子的载荷矩阵(表 4),载荷系数绝对值的大小表

明,第 1 因子(F_1) 在叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素、类胡萝卜素含量、伸长率、断裂比强度、SOD 活性和 POD 活性上有较高的载荷量;第 2 因子(F_2) 在花铃期叶片数、果节数、果茎节间长度和生育期上有较高载荷量;第 3 因子(F_3) 在衣分、籽指、脯氨酸含量和单铃重上有较高的载荷量;第 4 因子(F_4) 在单株成铃数、有效果枝数和株高上有较高的载荷量;第 5 因子(F_5) 在离体叶片失水速率、马克隆值、叶片水分饱和亏缺和叶片相对含水量上有较高的载荷量,第 6 因子(F_6) 在 CAT 活性、相对电导率和可溶性蛋白含量上有较高载荷量;其他因子见表 4。

表 4 因子载荷矩阵及贡献率

Table 4 Rotated factor pattern and cumulative contribution

性状编号 code of trait	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}
X_{23}	0.950	-0.079	0.116	-0.084	0.112	0.031	-0.002	0.043	0.014	0.013
X_{25}	0.949	-0.081	0.117	-0.085	0.113	0.029	-0.006	0.041	0.013	0.010
X_{24}	0.947	-0.083	0.120	-0.087	0.116	0.024	-0.008	0.037	0.012	0.011
X_{26}	0.897	0.103	-0.056	-0.119	0.012	0.064	0.150	-0.108	0.050	0.127
X_{14}	0.662	-0.066	-0.031	0.032	0.224	0.130	-0.379	-0.245	0.016	-0.322
X_{28}	-0.610	0.077	-0.042	-0.014	0.055	0.063	-0.227	-0.362	0.116	-0.120
X_{15}	-0.608	-0.313	-0.069	-0.234	-0.297	0.114	0.349	-0.111	-0.022	0.109
X_{27}	0.592	-0.053	-0.205	0.023	-0.067	0.420	-0.241	0.028	0.088	-0.090
X_{10}	-0.034	0.742	0.024	0.400	0.014	0.028	-0.017	0.049	-0.122	-0.050
X_6	-0.207	0.718	0.093	0.231	0.252	0.000	-0.064	0.190	-0.061	0.331
X_4	0.078	0.630	0.276	0.049	-0.011	-0.100	0.254	-0.203	0.049	-0.209
X_{19}	0.242	-0.588	0.110	-0.187	-0.063	-0.122	0.383	0.080	-0.175	0.014
X_1	-0.030	0.185	0.755	0.015	-0.177	-0.081	0.189	0.214	-0.019	0.085
X_2	-0.301	-0.092	-0.729	-0.016	-0.160	-0.029	0.182	0.116	-0.026	-0.090
X_{32}	0.049	0.452	-0.649	-0.050	-0.047	-0.226	-0.027	0.421	0.036	0.029
X_3	-0.120	-0.514	-0.556	-0.083	-0.160	-0.028	0.217	-0.017	0.076	0.048
X_7	-0.119	0.150	0.091	0.894	0.157	-0.085	0.075	-0.020	0.063	0.036
X_8	-0.106	0.245	-0.065	0.885	-0.010	-0.047	-0.130	0.032	-0.049	0.020
X_9	0.062	0.408	0.147	0.547	-0.137	-0.014	0.361	0.031	0.195	0.014
X_{22}	-0.040	-0.135	0.170	-0.012	0.836	-0.002	-0.024	0.291	0.178	-0.011
X_{21}	-0.351	-0.219	0.117	-0.032	-0.647	-0.026	-0.025	0.281	0.201	-0.028
X_{20}	0.275	0.277	0.061	0.088	0.644	-0.282	0.246	-0.011	-0.127	0.129
X_{13}	-0.295	-0.166	0.253	-0.129	-0.515	0.139	0.123	0.254	-0.208	-0.290
X_{31}	0.064	-0.048	0.036	0.029	-0.132	0.818	-0.106	0.229	-0.081	-0.079
X_{33}	-0.317	-0.110	0.057	0.204	-0.142	-0.688	-0.193	0.191	0.011	-0.190
X_{29}	-0.070	-0.020	0.139	-0.138	-0.161	0.643	0.500	0.186	0.068	-0.090
X_5	0.027	0.052	0.095	-0.072	-0.123	-0.074	-0.704	0.051	-0.121	0.111
X_{30}	0.117	0.027	-0.043	0.043	0.059	0.222	-0.033	0.896	0.002	-0.143
X_{16}	-0.108	-0.105	-0.025	0.026	0.055	0.095	0.034	0.003	0.903	0.033
X_{17}	-0.373	-0.170	0.010	-0.050	0.049	0.288	-0.194	0.017	-0.691	-0.159
X_{12}	-0.024	-0.009	0.279	0.096	0.039	0.094	-0.137	-0.185	0.144	0.746
X_{11}	0.150	-0.103	-0.352	-0.103	0.206	-0.410	-0.002	0.046	0.006	0.589
特征根 characteristic root	5.866	2.948	2.405	2.352	2.309	2.291	1.813	1.740	1.601	1.446
贡献率 contribution rate(%)	18.333	9.214	7.515	7.350	7.216	7.161	5.664	5.439	5.004	4.519
累计贡献率 cumulative contribution rate(%)	18.333	27.546	35.061	42.411	49.627	56.788	62.452	67.891	72.896	77.415

2.3 隶属函数分析及其品种的抗旱性评价

隶属函数分析提供了一条在多指标测定基础上对棉花抗旱性的综合评价,避免了单一指标的片面性^[18],根据表 2 和表 3 的数据计算各因子的综合指标值(Z_j),用 $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_{10}$ 表示(表 5),然后用综合评价 Z 值计算隶属函数值 μ_j ,根据表 4 中各因子的贡献率计算其权重,再用各因子的权重计算加权隶属函数

值,作为综合评价 D 值, D 值越大抗旱性越强,根据 D 值大小对各棉花品种(系)抗旱性进行排序,10 个品种(系)的抗旱性强弱顺序为:棕色棉 BC05-07-18-2、白色棉陇 1-1-3、BC06-10、BC06-45、绿色棉 GC06-45、G3-1、白棉陇棉 2 号、G3-6、棕色棉陇棕棉 1 号和陇绿棉 3 号。

表 5 不同色彩棉花品种的综合指标、预测值、权重、 D 值以及综合评价

Table 5 Comprehensive index, proportion, weight, D value and comprehensive valuation of colored cotton varieties

品种 variety	综合指标值 comprehensive index value										D 值 D value	预测 D 值 predict D value	Y 值 Y value	预测 Y 值 predict Y value
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}				
陇棉 2 号	1.013	0.629	-0.260	0.683	-0.564	0.780	-0.028	2.322	0.323	0.339	0.557	0.560	0.397	0.398
陇 1-1-3	1.314	1.095	-0.986	0.648	-0.543	0.171	0.070	2.818	0.481	0.451	0.618	0.615	0.479	0.480
G3-6	0.835	0.217	0.040	0.566	-1.449	0.974	0.151	2.784	0.573	0.177	0.518	0.513	0.410	0.410
陇绿棉 3 号	-0.001	0.142	0.054	0.668	-1.892	0.139	0.148	2.602	0.814	0.238	0.344	0.352	0.436	0.444
G3-1	1.128	0.285	-0.016	0.489	-1.068	1.065	0.199	2.174	0.592	0.330	0.573	0.572	0.445	0.446
GC06-45	0.756	0.634	-0.306	0.655	-0.691	0.667	0.320	2.330	0.439	0.391	0.585	0.583	0.476	0.472
BC05-07-18-2	1.736	0.531	0.073	0.603	-0.164	0.703	0.239	2.196	0.426	0.429	0.742	0.747	0.525	0.524
BC06-45	1.672	0.344	-0.062	0.353	-0.600	0.697	0.304	2.097	0.347	0.407	0.604	0.607	0.432	0.425
BC06-10	1.328	0.556	-0.104	0.752	-0.369	0.303	0.143	1.811	0.452	0.462	0.623	0.614	0.470	0.470
陇棕棉 1 号	0.897	0.427	-0.127	0.676	-0.594	0.353	-0.072	2.066	0.373	0.309	0.456	0.444	0.435	0.431
权重 weight/ω_j	0.237	0.119	0.097	0.095	0.093	0.092	0.073	0.070	0.065	0.058				

分别利用各品种(系)的综合评价 D 值和产量抗旱系数 Y 值与各性状指标抗旱系数做逐步回归分析,得到回归方程见表 6,根据回归方程(6)对各指标的隶属函数预测 D 值与抗旱性综合评价值(D 值)做简单相关分析,其相关系数达 0.998,再利用回归方程(7)对各指标的预测产量抗旱系数值与实际产量抗旱系数值做简单相关分析,其相关系数为 0.994,两者均达极显著水平,说明方程的预测值与实际值之间拟合度好,用这 2 个方程对供试棉花品系抗旱性进行评价效果较

好,并且综合评价 D 值与产量抗旱系数的相关系数为 0.632,也达到了显著性水平。

由此可见,在棉花种质资源抗旱性鉴定中,有选择地测定综合评价相关指标类胡萝卜素含量、离体叶片失水速率、花铃期叶片数、断裂比强度和可溶性蛋白含量,产量相关指标纤维长度、无效果枝数、丙二醛含量、生育期和叶片相对电导率 10 个指标,可有效鉴定棉花资源的抗旱性,从而使鉴定工作简单化。

表 6 不同色彩棉花抗旱性鉴定模型

Table 6 Identification model of drought resistance in colored cotton varieties

因变量 dependent variables	多元逐步回归方程 stepwise regression	相关系数 r correlation coefficient	R^2	F
D	$D = -0.959 + 0.430X_{26} + 0.759X_{22} + 0.557X_{10} + 0.614X_{15} - 0.074X_{33}$ (6)	0.998**	0.996	222.71**
Y	$Y = 0.806 + 0.184X_{18} - 0.080X_{31} - 0.234X_{19} + 0.065X_{30} - 0.355X_{11}$ (7)	0.994**	0.989	71.52**

注:**表示 $P=0.01$ 水平相关。

Note:** show significant at 0.01 level.

3 讨论

3.1 抗旱鉴定时期及抗旱鉴定指标的选取

抗旱性是作物在干旱环境中生长、繁殖或生存以及在干旱解除后迅速恢复生长的能力。抗旱鉴定就是按作物品种(品系)的抗旱能力进行筛选、评价和归类

的过程^[19]。在棉花生长发育阶段遇到干旱胁迫,可导致形态、生理、生化上的一系列适应性变化,进而影响植株生长及产量相关指标的正常表现,花铃期干旱和后期干旱胁迫,严重抑制其生长发育^[5-8],使棉株的总干物质累积量减少^[20],俞希根等^[5]研究确定了在节水灌溉条件下棉花花铃期适宜土壤水分下限为 70%,均高于其他时期,是棉花对水分最敏感的时期,也是产量

形成的关键时期。因此,本研究对这一时期棉花叶片的生理生化指标和花铃后期棉花植株生长及产量相关指标进行测定,来研究棉花资源的抗旱性差异和筛选指标是十分可行的。

近年来,国内外学者已筛选出许多与棉花抗旱性有关的形态及生理指标。刘丽英等^[21]、杜传莉等^[22]通过对国内外研究结果的收集、整理和分析,认为有20多个农艺性状指标和20多项生理生化指标可用于棉花的抗旱性鉴定,本研究在前人研究的基础上,选取已报道对棉花抗旱有影响的多个生理生化和农艺性状指标对棉花的抗旱性进行系统的研究,在大田环境条件下,建立了田间棉花抗旱性鉴定的综合评价体系,可为棉花抗旱性育种、栽培和鉴定提供理论依据。

3.2 综合指标评价抗旱性的合理性

棉花抗旱性是受多基因控制的复杂的数量性状,不同品种的抗旱机制不同,使得不同品种(系)对某一具体指标的抗旱性反应也不一定相同,因此,利用单个指标评价植物的抗旱性准确性不高,评价结果存在较大的变化。综合评价考虑了各指标的相互关系,消除了利用个别指标带来的评价片面性,又使得各材料间的抗旱性差异具有可比性,因而可以较准确地评价各材料的抗旱性^[23,24],利用逐步回归在抗旱性综合评价与所测指标间建立最优回归方程,根据方程筛选出一些对抗逆性有显著影响的指标后,可在相同的干旱胁迫条件下测定其他品种(系)的相应指标,利用该方程来预测所测品种(系)抗旱性的强弱,使抗旱性的鉴定与利用研究更有预见性,也可为抗旱栽培、育种及资源的鉴定与筛选提供依据^[20]。以往研究采用多个指标以“平均隶属函数值”法鉴定棉花的抗逆性^[25,26],但因各指标间存在着一定的相关性,故仅用隶属函数法对棉花抗旱性进行评价也存在一定的局限性^[27]。冯方剑等^[9]采用主成分分析法,以综合指标隶属函数值的加权平均值对32个棉花品种(系)的7个相互关联的单项指标进行了抗旱性分类和评价,该方法可在不损失或很少损失原有信息的前提下,将个数较多而且彼此相关的指标转换成新的个数较少且彼此独立的综合指标,求出每一个综合指标值的隶属函数值后进行加权,得到各品种抗逆性的综合评价值,从而可较科学地对各作物品种的抗逆性进行评价^[27]。此方法已用在多种作物的抗旱性研究中^[24,28]。所以,利用主成分分析结合隶属函数的综合评价抗旱性的方法对棉花品种的抗旱性评价是可行的。

4 结论

本研究利用敦煌降雨量少、蒸发量大的环境特点,采用正常灌水和全生育期不灌水的方式对大田棉花做抗旱性鉴定,这种方法具有便于管理、试验成本低、与生产实际接近等优点,选择棉花对水肥最敏感的花铃期进行各项生理生化指标值测定,吐絮和收获后农艺性状指标测定,将所得34个单项指标经过主成分分析后转换为10个新的相互独立的综合指标(公因子),利用隶属函数加权平均法,得到抗旱性度量值(D值),再用综合评价D值和产量抗旱系数Y值与各性状指标抗旱系数做逐步回归分析,筛选出10个重要指标,可以有效地鉴定棉花资源的抗旱性,从而使鉴定工作简单化。

参考文献:

- [1] 王留明,王家宝,沈法富,张学坤,刘任重. 渍涝与干旱对不同转Bt基因抗虫棉的影响[J]. 棉花学报,2001,13(2):87-90
- [2] 南建福,刘恩科,王计平,徐珊珊. 苗期干旱和施肥对棉花生长发育的影响[J]. 棉花学报,2006,17(6):339-342
- [3] 裴冬,张喜英,亢茹. 调亏灌溉对棉花生长、生理及产量的影响[J]. 生态农业研究,2000,8(4):52-55
- [4] 蔡焕杰,邵光成,张振华. 不同水分处理对膜下滴灌棉花生理指标及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2002,30(4):29-32
- [5] 俞希根,孙景生,肖俊夫,刘祖贵,张寄阳. 棉花适宜土壤水分下限和干旱指标研究[J]. 棉花学报,1999,11(1):35-38
- [6] 李少昆,肖璐,黄文华,左文平,陈天茹,张旺峰,汪朝阳. 不同时期干旱胁迫对棉花生长和产量的影响 II. 棉花生长发育及生理特性的变化[J]. 石河子大学学报(自然科学版),1999,3(4):259-264
- [7] 李志博,章杰,魏亦农,喻娟,郗忠玲,张小均. 覆膜高密度下棉花抗旱性产量和品质指标的特征分析[J]. 核农学报,2011,25(3):0576-0581
- [8] 蔡红涛,汤一卒,刁品春,荣利. 棉花花铃期土壤持续干旱胁迫对产量形成的调节效应[J]. 棉花学报,2008,20(4):300-305
- [9] 冯方剑,宋敏,陈全家,姚正培,李杨阳,刘艳,王兴安,曲延荣. 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
- [10] 聂新辉. 棉花抗旱耐盐生理指标的鉴定及抗旱耐盐相关cDNA片段的分离[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2007
- [11] Pinheiro H A, DaMatta F M, Chaves A R M, et al. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of coffee canephora subjected to long-term drought[J]. Plant Sci, 2004, 167:1307-1314
- [12] 杜传莉,黄国勤. 棉花主要抗旱鉴定指标研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(9):17-20
- [13] 华水金,袁淑娜,赵向前,张小全,刘英新,文国吉,张海平,王学

- 德. 棕色、绿色和白色棉品系光合特性的比较[J]. 棉花学报, 2009, 21(2):121 - 126
- [14] 南宏宇. 甘肃省天然彩色棉研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(19):5728 - 5730
- [15] 张秉贤, 冯克云, 陈玉梁. 彩色棉抗旱特性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4):112 - 116
- [16] 浙江农业科学编辑部. 农作物田间试验记载项目及标准[M]. 杭州:浙江科学技术出版社, 1982
- [17] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 2000
- [18] 张明生, 彭忠华, 谢波, 谈锋, 张启堂, 付玉凡, 杨春贤, 杨永华. 甘薯离体叶片失水速率及渗透调节物质与品种抗旱性的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1):152 - 156
- [19] 周桂莲, 杨慧霞. 小麦抗旱性鉴定的生理生化指标及其分析评价[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(2):65 - 71
- [20] 赵都利, 许玉璋, 许萱. 花铃期缺水对棉花干物质积累和用水效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1992, 09, 10(3):7 - 10
- [21] 刘丽英, 吴振良, 戴茂华. 棉花抗旱育种中选择指标和标记的研究现状及分析[J]. 中国农村小康科技, 2007, (10):50 - 51
- [22] 杜传莉, 黄国勤. 棉花主要抗旱鉴定指标研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(9):17 - 20
- [23] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 朱旭彤. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J]. 中国农业科学, 2003, 36(11):1378 - 1382
- [24] 何玮, 范彦, 徐远东, 王琳, 秦晓鹏, 彭燕. 红三叶苗期抗旱性指标筛选及综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(4):572 - 577
- [25] 李志博, 杨敏, 张荣华. 北疆棉花品种抗旱性初步评价及鉴定方法研究[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(6):463 - 466
- [26] 李志博, 林海荣, 魏亦农, 郗忠玲, 喻娟. 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
- [27] 齐照良, 朱昊, 李斯深. 小麦 RIL 群体苗期抗旱性综合评价[J]. 山东农业科学, 2010, (9):5 - 9
- [28] 金梦阳, 段先琴, 危文亮. 续随子苗期抗旱性综合评价[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(4):465 - 469
- [29] 李贵全, 张海燕, 季兰, 赵二开, 刘建兵, 李玲, 张家蓉. 不同大豆品种抗旱性综合评价[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12):2408 - 2412

(责任编辑 邱爱枝)