

# 不同陆地棉基因型抗旱性评价与抗旱丰产种质筛选

石有太<sup>1</sup>, 李忠旺<sup>1</sup>, 陈玉梁<sup>1</sup>, 冯克云<sup>2</sup>, 王红梅<sup>1</sup>, 刘新星<sup>1</sup>

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

**摘要:** 为了鉴定陆地棉的抗旱性与丰产性, 在年降雨量不足 40 mm 的敦煌市, 设干旱胁迫和正常灌溉两个处理, 通过测定 102 份棉花品种的 15 个形态与产量指标, 应用相关分析的方法确定抗旱指标, 采用直接抗旱鉴定评价法与综合抗旱鉴定法对其进行抗旱性评价, 结果显示, 棉花抗旱性综合评价应选择年际间变异较小的单铃重、株高、主茎节间长度、果枝数、单株铃数、单株产量和茎干重 7 个指标, 基于这 7 个单项指标计算的综合抗旱性评价指标之间相关性较高, 都能评价棉花品种的抗旱性, 抗旱丰产棉花种质的筛选需要综合考虑多种因素的影响, 在综合评价品种抗旱性的基础上, 结合单株籽棉产量计算的改进抗旱指数和抗旱系数, 可筛选出抗旱丰产品种金垦 1 号和金垦 108, 不抗旱丰产品种中 21371、巴西 012、石远 321、冀丰 1056 和新陆早 33 号, 两年鉴定结果一致, 品种抗旱丰产性表现稳定, 适合西北内陆棉区种植, 可作为抗旱鉴定标准品种。

**关键词:** 棉花; 抗旱性; 农艺性状; 产量

## Evaluation of Drought-tolerance of Upland Cotton Genotypes and Screening for Drought-tolerance Yielding Germplasm

SHI You-tai<sup>1</sup>, LI Zhong-wang<sup>1</sup>, CHEN Yu-liang<sup>1</sup>, FENG Ke-yun<sup>2</sup>, WANG Hong-mei<sup>1</sup>, LIU Xin-xing<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Biotechnology Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070;

<sup>2</sup> Institute of Crop Sciences, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070)

**Abstract:** In order to identify the drought tolerance and high yield germplasm of upland cotton, data of fifteen morphological and yield traits of 102 varieties with two treatments (drought stress and normal irrigation) were determined with direct evaluation and comprehensive identification methods in Dunhuang City, Gansu Province, where the annual rainfall is below 40 mm. Correlational analysis showed that seven indices that are less fluctuating between years should be selected in the comprehensive evaluation of drought tolerance of cotton, which include single boll weight, plant height, length between fruit branches and main stem, fruit branch number, effective boll number, yield per plant and stem dry weight. Comprehensive drought tolerance evaluation based on these indices are highly correlated and can be used to evaluate the drought tolerance of cotton varieties. When screening drought-tolerance and high-yielding performance of cotton germplasm, the influence of many factors should be considered comprehensively. On the basis of comprehensive evaluation of drought tolerance of the varieties, combined with the improved drought tolerance indices and drought tolerance coefficient calculated by the yield per plant of seed cotton, and by way of comprehensive analysis, drought-tolerant and high-yielding cotton varieties Jinken 1 Hao and Jinken 108 were screened out, and cotton varieties Zhong 21371, Brazil 012, Shiyuan 321, Jifeng 1056 and Xinluzao 33 Hao were identified as not being drought-tolerant high-yielding. The drought-tolerant high-yielding cotton varieties were stable in performance through the two-year test, are suitable for cultivation in the northwest inland cotton region, and can be used as standard varieties for drought tolerance identification.

**Key words:** cotton; drought tolerance; agronomic traits; yield

收稿日期: 2019-07-09 修回日期: 2019-08-08 网络出版日期: 2019-11-07

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20190709001>

第一作者主要从事作物抗逆性研究, E-mail: siou8165@163.com

通信作者: 陈玉梁, 主要从事农业生物技术研究, E-mail: chenyl925@163.com

基金项目: 国家自然科学基金 (31460365)

Foundation project: National Natural Science Foundation of China (31460365)

干旱胁迫是影响植物生长发育的主要因素<sup>[1]</sup>,已成为影响我国西北地区农业生产最严重的自然灾害<sup>[2]</sup>。棉花为西北地区最重要的经济作物,缺水对其产量和品质影响最大<sup>[3]</sup>。选育推广抗旱丰产品种,是一种非常有效的节水途径,然而抗旱丰产新品种的选育较耗时费力,所以,基于现有高产栽培技术体系外,进行棉花抗旱丰产种质资源正确评价与筛选,是快速找到抗旱丰产性棉花品种的有效捷径,这将对提高棉花产量、种植效益、节约水资源、指导当地农业生产具有重要现实意义。干旱胁迫造成产量下降,是作物本身生长发育、生理代谢综合影响的结果<sup>[4,5]</sup>,其抗旱性是复杂的数量遗传性状,受多基因控制<sup>[6]</sup>。近年来,国内外学者在棉花抗旱研究方面已取得了重要进展,筛选与鉴定出多个棉花抗旱性综合评价方法和鉴定指标,评价方法主要有综合抗旱系数法<sup>[7]</sup>、胁迫敏感指数<sup>[8]</sup>、隶属函数值法<sup>[9]</sup>、聚类分析法<sup>[10]</sup>、主成分分析法<sup>[11]</sup>、灰色关联法<sup>[12]</sup>和广义遗传力分析<sup>[13]</sup>等,评价指标有农艺性状指标<sup>[14]</sup>、生理生化指标等<sup>[15]</sup>,也筛选出了一批抗旱种质资源<sup>[13-17]</sup>。应用多种评价方法对棉花进行综合评价已有报道。李忠旺等<sup>[10]</sup>采用综合抗旱系数、综合抗旱指数、综合隶属函数值、抗旱性综合评价值4种综合评价方法对76份种质材料进行抗旱性评价,用聚类分析的方法对棉花材料进行抗旱性分级。刘光辉等<sup>[3]</sup>采用综合抗旱系数、因子分析、隶属性函数值、聚类分析、灰色关联度和广义遗传

力分析相结合的方法,对棉花抗旱性进行综合评价、抗旱性划分和评价指标筛选。可见,国内外学者对抗旱性评价的方法只关心棉花本身抗旱性,未能兼顾其高产性,为此,本研究通过对敦煌棉区高密度覆膜栽培模式下的不同棉花品种主要农艺性状的测定,借鉴前人已报道的评价方法,利用连续两年的试验数据对棉花抗旱性评价指标和评价方法进行了分析,旨在筛选适宜棉花种质材料田间抗旱丰产性评价方法,筛选抗旱性评价指标,筛选抗旱丰产品种,为抗旱节水棉花新品种选育提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及设计

本研究选用从中国农业科学院棉花研究所国家棉花种质资源中期库引进的54份材料、酒泉市农业科学院敦煌棉花试验站和甘肃省农业科学院作物研究所提供的48份材料共计102份材料。在年降雨量不足40 mm的甘肃省敦煌市魏家桥村,2015-2016年对102份材料进行了抗旱性鉴定和评价。棉花大田生长期降雨量,2015年为22.7 mm(低于常年的31.3 mm),2016年达到65.5 mm(较常年同期降雨量增加了109.27%,图1);试验地前茬2015年为棉花,2016年为玉米,播种前施复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=21:10:14)600 kg/hm<sup>2</sup>,尿素150 kg/hm<sup>2</sup>,于播前一周开沟深施,之后全生育期不施肥。

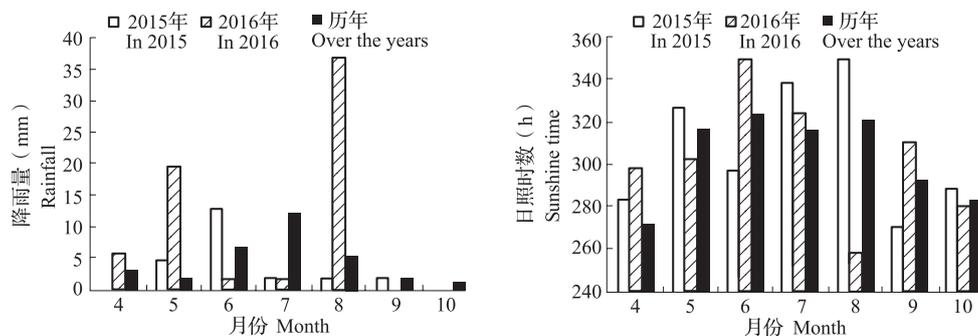


图1 试验期间平均月降雨量及日照时数

Fig.1 Mean monthly rainfall and sunshine time during the experiment

试验设干旱胁迫和正常灌溉2种处理,3次重复,每个处理的品种均采用随机区组排列,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,行长3 m,株距15 cm(密度约166700株/hm<sup>2</sup>)。干旱胁迫处理播前灌水1次以保证出苗,出苗至成熟期不再灌水,使其充分受旱;正常灌溉处理按当地大田生产管理,于棉花现蕾后(6月20日)

开始每隔15 d灌水1次,全生育期灌溉4次,灌溉方式为井水漫灌,依据水泵单位时间出水量,按每次1320 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>灌溉,保证棉花全生育期不缺水。

### 1.2 测定项目与方法

吐絮盛期每小区选取种植行中段不缺苗且生长一致的连续10株,参照《农作物田间试验记载项目及标准》<sup>[18]</sup>分别对株高、始节高、始节位、茎粗、单株铃数、主茎节间长度、有效果枝数和果枝数8项农艺

性状指标进行调查,收获时调查单铃重、衣分、籽指、单株产量和茎干重 5 个产量性状指标,以 3 次重复平均值作为各处理考察性状指标的代表值。

### 1.3 数据的处理与计算

**1.3.1 数据处理** 为了减少各品种(系)间固有的差异,参照祁旭升等<sup>[6]</sup>将干旱胁迫和灌水对照的性状测定值转换成性状相对值和性状指数值后参与计算分析。性状相对值(TR, traits relative value) $=X_d/X_w$ , 性状指数值(TI, traits index) $=X_d^2/X_w \times X_{aw}/X_{ad}^2$ , 式中, $X_d$ 、 $X_w$  为干旱胁迫、正常灌溉性状测定值, $X_{ad}$ 、 $X_{aw}$  为干旱胁迫、正常灌溉所有参试品种性状测定值平均值。

**1.3.2 抗旱性直接评价** 参照祁旭升等<sup>[6]</sup>和兰巨生等<sup>[19]</sup>的方法,以干旱胁迫与正常灌溉的单株产量为依据,分别应用不同方法计算抗旱性直接评价。抗旱系数(DC, drought tolerance coefficient) $=Y_d/Y_p$ ; 抗旱指数(DI, drought tolerance index) $=(Y_d/Y_p) \times (Y_d/Y_{md})$ 。改进抗旱指数(IDI, improved drought tolerance index) $=Y_d/Y_{md} \times Y_p/Y_{mp}$ 。

其中, $Y_d$  为干旱胁迫下棉花品种的平均产量, $Y_p$  为正常灌溉下棉花品种的产量, $Y_{md}$  为干旱胁迫下所有棉花品种的平均产量, $Y_{mp}$  为正常灌水下所有棉花品种的平均产量。

**1.3.3 抗旱性综合评价** 参照前人已报道作物抗旱性综合评价的方法<sup>[3, 6, 10, 14]</sup>,以与产量相关性较好的性状指标和单株产量为基础数据,计算平均抗旱系数(ADC, average drought tolerance coefficient)、加权抗旱系数(WDC, weighted drought tolerance coefficient)、平均抗旱指数(ADI, average drought tolerance index)、加权抗旱指数(WDI, weighted drought tolerance index)、加权隶属函数(WSFV, weight subordinate function value)、主成分D值(DPC, D value of principal component)。应用 Excel 2007 进行常规数据统计,SPSS 16.0 处理软件进行主成分分析和相关分析。

**1.3.4 抗旱性分类标准** 参考路贵和等<sup>[20]</sup>的抗旱性逐级分类法,将供试品种的抗旱性划分为 5 种类型。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验材料及处理的代表性分析

本试验采用 102 份陆地棉种质,在干旱胁迫和正常灌溉条件下,分别测定了棉花吐絮期有关农艺性状表现值。从统计结果(表 1)看出,两处理间相比,干旱胁迫使 2 年平均单株产量降低 77.48%,单株铃数减少 67.85%,有效果枝数减少 64.18%,茎干

重降低 63.68%,主茎节间长度缩短 54.59%,株高减少 44.39%,茎粗减少 29.81%,总果枝数减少 28.84%,单铃重减少 28.90%,籽指减少 28.69%,衣分增加 11.39%。变异系数的大小反映干旱胁迫的敏感程度<sup>[20]</sup>,干旱胁迫使大部分性状的变异系数增大,性状变异系数大小顺序为单株产量>单株铃数>有效果枝数>茎干重>主茎节间长度>株高>茎粗>单铃重>籽指>衣分。经 t 测验,处理间各性状成对数据差异均达到了极显著水平。表明本试验所选棉花种质类型丰富,处理效果明显,具有较好代表性。

### 2.2 单株产量与其他性状的相关性

为了寻找抗旱性鉴定指标,研究了干旱胁迫和正常灌溉条件下各性状与单株产量的简单相关性。从表 2 可以看出,两种处理条件下与单株产量相关性最强的是单株铃数,其次分别是有效果枝数、茎干重、株高、主茎节间长度和单铃重。说明这 6 个性状对产量的影响程度较大且稳定,并且在干旱环境下能保持较高产量的种质其抗旱性高,对每个性状先进行相对值计算,两年均与单株产量相对值相关性较高的性状有单铃重、株高、主茎节间长度、有效果枝数、总果枝数、单株铃数和茎干重,其相关系数均达到了极显著相关(表 2),说明这些性状与棉花抗旱性密切相关,干旱胁迫使其与单株产量的相关性增强,可作为棉花成株期抗旱性综合评价的性状指标。其他性状年际间差异较大,如 2016 年茎粗干旱胁迫下与单株产量的相关性不显著。

### 2.3 抗旱性评价方法比较

基于单株产量的直接评价方法,抗旱系数和抗旱指数两者之间相关性均达到了极显著水平,并且相关系数较高,与综合评价指标的加权隶属函数、主成分 D 值、平均抗旱系数、平均抗旱指数、加权抗旱系数、加权抗旱指数之间相关性也达到极显著相关,综合评价指标两两之间相关性均达到了极显著水平,而且相关系数均较高(表 3),表明这几种评价方法具有相似之处;改进抗旱指数与抗旱系数相关性均不显著,与抗旱指数在降雨量较低的 2015 年相关性达到了极显著相关,在降雨量较多的 2016 年相关性不显著,与综合评价指标的相关性达极显著相关,但相关系数较小,与干旱胁迫处理单株产量和正常灌溉处理单株产量之间的相关性均达到极显著相关,说明改进抗旱指数法与其他评价方法不同。参照路贵和等<sup>[20]</sup>提出的逐级分类法,将供试材料划分为 5 个等级(表 4),可以看出用不同评价方法可得出不同的结果,其中加权隶属函数法与加权抗旱系数比

表 1 供试种质各处理的性状相关数据  
Table 1 Correlated traits data of tested germplasms with different treatments

年份 Year	处理 Treatment	统计参数 Statistical parameter	籽棉产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) SCY	皮棉产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) LY	单铃重 (g) SBW	衣分 (%) LP	籽指 (g) SI	株高(cm) PH	始节高		主茎节 间长度 (cm) LBS	有效果 枝数 EFBN	总果 枝数 FBN	单株铃数 EBN	单株产量 (g) YPP	茎干重 (g) SDW	
									HFB	SD							
2015	干旱胁迫	平均值	1031.38	458.33	3.74	44.26	7.02	33.55	19.47	0.66	8.76	1.85	5.19	1.85	6.26	13.15	
		标准差	366.81	174.70	0.44	3.02	0.57	9.08	3.21	0.09	0.74	2.62	0.46	1.09	1.95	3.07	
	正常灌溉	变异系数(%)	35.56	38.12	11.74	6.82	8.13	27.07	16.51	13.77	14.99	29.94	24.76	20.96	31.09	23.37	
		平均值	4399.34	1707.22	5.60	38.60	9.83	74.96	23.46	0.94	5.21	19.09	6.33	9.09	6.99	34.94	43.73
	正常灌溉 - 干旱胁迫	标准差	841.90	327.05	0.52	3.13	0.81	10.72	4.02	0.09	0.74	3.45	0.97	1.06	1.24	7.23	11.05
		变异系数(%)	19.14	19.16	9.29	8.11	8.26	14.30	17.12	9.22	14.17	18.08	15.38	11.69	17.80	20.70	25.26
2016	干旱胁迫	平均值	3367.97	1248.89	1.86	-5.66	2.80	41.42	3.98	0.28	10.32	4.47	3.90	5.13	30.57	30.57	
		标准差	873.68	333.62	0.59	2.52	0.70	11.21	3.51	0.10	0.72	3.96	1.01	1.25	7.31	10.89	
	正常灌溉	胁迫程度(%)	76.67	73.15	33.25	-14.67	28.53	55.25	16.98	29.89	4.92	54.08	70.72	42.88	73.49	82.09	69.92
		t 值	43.08**	37.81**	32.02**	22.72**	40.39**	37.31**	11.47	27.30**	3.61	26.32**	44.85**	26.82**	41.35**	42.22**	28.36**
	干旱胁迫	平均值	1641.71	755.48	4.29	45.98	7.00	46.39	21.95	0.66	4.91	12.95	2.54	7.04	2.57	9.99	17.17
		标准差	498.59	241.89	0.46	3.66	0.59	7.33	3.18	0.09	0.71	2.04	0.56	0.85	0.61	2.62	4.39
正常灌溉	正常灌溉	变异系数(%)	30.37	32.02	10.68	7.96	8.36	15.80	14.51	14.20	14.45	15.72	22.04	12.12	23.84	26.23	25.58
		平均值	4851.80	2070.15	5.69	42.53	9.84	69.79	21.46	0.94	5.21	20.59	6.00	8.26	6.81	36.82	40.33
	正常灌溉 - 干旱胁迫	标准差	871.32	429.50	0.49	3.06	0.80	9.69	3.45	0.09	0.74	2.86	0.96	0.76	1.29	7.05	13.44
		变异系数(%)	17.96	20.75	8.62	7.20	8.16	13.89	16.07	9.48	14.17	13.87	16.01	9.15	19.01	19.15	33.34
	干旱胁迫	平均值	3210.09	1314.67	1.40	-3.45	2.84	23.40	-0.48	0.28	0.30	7.64	3.46	1.22	4.23	26.83	23.16
		标准差	936.42	438.08	0.48	2.65	0.65	8.72	2.78	0.11	0.73	2.87	1.05	1.06	1.38	7.35	12.87
干旱胁迫	胁迫程度(%)	66.16	63.51	24.55	-8.11	28.85	33.53	-2.25	29.72	5.70	37.10	57.65	14.80	62.21	72.86	57.43	
	t 值	34.62**	30.31**	29.26**	13.16**	43.85**	27.10**	1.75	25.46**	4.09	26.84**	33.38**	11.69**	31.04**	36.89**	18.17**	

\* 和 \*\* 分别表示差异在 0.05 和 0.01 上显著水平,下同

SCY: Seed cotton yield, LY: lint yield, SBW: single boll weight, LP: lint percentage, SI: seed index, PH: plant height, HFB: height of the first branch, SD: stem diameter, NFB: first node of fruit branch, LBS: length between fruit branches and main stem, EFBN: effective fruit branch number, FBN: fruit branch number, EBN: effective boll number, YPP: yield per plant, SDW: stem dry weight, \*significant at 0.05 probability level, \*\*significant at 0.01 probability level, the same as below

表 2 干旱胁迫和正常灌溉条件下单株产量与其他性状的相关性

年份 Year	处理 Treatment	单株产量 YPP	单铃重 SBW	衣分 LP	籽指 SI	株高 PH	始节高 HFB	茎粗 SD	始节位 NFB	主茎节间长度 LBS	有效果枝数 EFBN	总果枝数 FBN	单株铃数 EBN	茎干重 SDW
2015	干旱胁迫	1.000**	0.698**	0.210*	0.331**	0.666**	0.399**	0.624**	0.042	0.647**	0.803**	0.631**	0.803**	0.723**
	正常灌溉	1.000**	0.228*	-0.019	0.021	0.283**	0.072	0.154	0.062	0.206*	0.370**	0.214*	0.333**	0.245*
	相对值	1.000**	0.639**	0.180*	0.432**	0.662**	0.138	0.519**	-0.057	0.507**	0.648**	0.646**	0.597**	0.518**
2016	干旱胁迫	1.000**	0.404**	0.059	0.033	0.400**	0.174	-0.075	0.247*	0.405**	0.565**	0.495**	0.776**	0.484**
	正常灌溉	1.000**	0.122	0.026	-0.008	0.140	0.07	0.212*	0.181*	0.104	0.097	0.069	0.102	0.116
	相对值	1.000**	0.360**	0.060	0.072	0.470**	0.098	-0.140	-0.091	0.362**	0.308**	0.292**	0.314**	0.334**

表 3 不同抗旱评价参数之间的相关性

项目 Item	加权隶属函数 WSFV	主成分 D 值 DPC	干旱胁迫 单株产量 YPPD	正常灌溉 单株产量 YPPW	抗旱系数 DC	抗旱指数 DI	平均抗旱系数 ADC	平均抗旱指数 ADI	加权抗旱系数 WDC	加权抗旱指数 WDI	改进抗旱指数 IDI
加权隶属函数 WSFV		0.995**	0.550**	-0.220	0.550**	0.611**	0.987**	0.883**	0.996**	0.872**	0.315**
主成分 D 值 DPC	0.996**		0.534**	-0.225	0.544**	0.597**	0.996**	0.882**	0.992**	0.862**	0.298**
干旱胁迫单株 产量 YPPD	0.755**	0.742**		0.071	0.596**	0.875**	0.532**	0.786**	0.554**	0.816**	0.830**
正常灌溉单株 产量 YPPW	-0.184	-0.208*	0.086		-0.683	-0.356	-0.234	-0.114	-0.214	-0.128	0.597**
抗旱系数 DC	0.646**	0.669**	0.515**	-0.646**		0.888**	0.549**	0.616**	0.548**	0.645**	0.094
抗旱指数 DI	0.765**	0.782**	0.763**	-0.408**	0.922**		0.599**	0.790**	0.612**	0.826**	0.503**
平均抗旱系数 ADC	0.996**	1.000**	0.741**	-0.206*	0.668**	0.781**		0.887**	0.979**	0.856**	0.289**
平均抗旱指数 ADI	0.950**	0.956**	0.846**	-0.134	0.680**	0.854**	0.956**		0.879**	0.987**	0.562**
加权抗旱系数 WDC	0.984**	0.991**	0.739**	-0.203*	0.688**	0.800**	0.991**	0.959**		0.876**	0.321**
加权抗旱指数 WDI	0.948**	0.955**	0.844**	-0.141	0.687**	0.859**	0.954**	1.000**	0.958**		0.582**
改进抗旱指数 IDI	0.306**	0.276**	0.647**	0.791**	-0.199*	0.106	0.277**	0.377**	0.275**	0.370**	

上三角的相关系数为 2016 年简单相关, 下三角为 2015 年简单相关

The correlation coefficients of upper triangle are simple correlation in 2016 and those of lower triangle are simple correlation in 2015. WSFV: weight subordinate function value, DPC: D value of principal component, YPPD: yield per plant under draught stress, YPPW: yield per plant under normal watered condition, DC: drought tolerance coefficient, DI: drought tolerance index, ADC: average drought tolerance coefficient, ADI: average drought tolerance index, WDC: weighted drought tolerance coefficient, WDI: weighted drought tolerance index, IDI: improved drought tolerance index. The same as below

较,有 90.2%(同级率)品种相同,与主成分 D 值、抗旱系数、抗旱指数、加权抗旱指数、改进抗旱指数和单株籽棉产量分别有 87.25%、41.18%、45.10%、54.90%、33.33% 和 35.29% 的品种分级相同;抗旱系数与抗旱指数、加权抗旱系数、加权抗旱指数、改进抗旱指数和单株籽棉产量分别有 77.45%、44.12%、47.06%、41.18% 和 52.94% 的品种分级相同;改进抗旱指数与加权抗旱指数、加权抗旱系数和干旱胁迫处理单株产量分别有 31.37%、37.25% 和 52.94% 的品种分级相同,基于单铃重、单株产量、单株铃数、株高、果枝数、茎干重、主茎节间长度的综合评价方法筛选出的抗旱材料前 5 个和不抗旱材料后 5 个一致,说明这几种综合评价方法均能区分出不同材料的抗旱能力,具有相似之处,但加权隶属函数法变异系数较大(表 5),更能区分不同材料的抗旱能力。抗旱系数法适宜于筛选抗旱资源,仅以干旱胁迫使产量降低程度为标准,不一定能筛选出正常条件下

的丰产资源,如巴西 001,抗旱系数达 0.519,但其正常灌溉单株产量仅 21.0 g(表 6);改进抗旱指数法可筛选到抗旱性和丰产性兼备的品种,如巴西 005 和义田 10 号,抗旱系数只有 0.201 和 0.206,但其正常灌溉处理单株产量达到 51.0 g 和 49.5 g,干旱胁迫处理单株产量也达到了 10.2 g(表 6)。将抗旱系数、综合评价法和改进抗旱指数结合起来评价,可筛选出抗旱不丰产材料,如:陇 1-1-8-2、D5 和鄂农 071,抗旱系数和加权隶属函数值均较高,但正常灌溉处理单株产量只有 12.3 g、17.7 g 和 14.9 g。可见,每种评价方法的侧重面不同,抗旱性综合评价法侧重作物整体抗旱能力,与选择的抗旱性综合评价指标有关,抗旱系数侧重筛选抗旱资源,改进抗旱指数可将前两种方法评价为不抗旱的材料筛选出来,这些材料在干旱胁迫和正常灌溉处理产量表现均突出,利用 3 种评价方法的优缺点,真实准确评价每一个材料,可直接应用于抗旱育种和棉花生产。

表 4 品种抗旱分级标准

Table 4 Grading standards of drought tolerance of varieties

抗旱等级 Drought tolerance grade	加权隶属 函数 WSFV	主成分 D 值 DPC	抗旱系数 DC	抗旱指数 DI	加权抗旱 系数 WDC	加权抗旱 指数 WDI	改进抗旱 指数 IDI	干旱胁迫 单株产量 YPPD
1	≥ 0.501	≥ 1.169	≥ 0.392	≥ 0.129	≥ 0.668	≥ 1.366	≥ 1.371	≥ 12.61
2	≥ 0.427 <0.501	≥ 1.107 <1.169	≥ 0.319 <0.392	≥ 0.099 <0.129	≥ 0.625 <0.668	≥ 1.186 <1.366	≥ 1.187 <1.371	≥ 11.23 <12.61
3	≥ 0.300 <0.427	≥ 0.983 <1.107	≥ 0.207 <0.319	≥ 0.045 <0.099	≥ 0.548 <0.625	≥ 0.866 <1.186	≥ 0.774 <1.187	≥ 8.19 <11.23
4	≥ 0.254 <0.300	≥ 0.937 <0.983	≥ 0.179 <0.207	≥ 0.034 <0.045	≥ 0.518 <0.548	≥ 0.751 <0.866	≥ 0.636 <0.774	≥ 7.37 <8.19
5	<0.254	<0.937	<0.179	<0.034	<0.518	<0.751	<0.636	<7.37

表 5 不同抗旱评价参数变异系数

Table 5 Coefficients of variation between drought tolerance parameters

年份 Year	统计参数 Statistical parameter	加权隶属 函数 WSFV	主成分 D 值 DPC	平均抗旱 系数 ADC	平均抗旱 指数 ADI	加权抗旱 系数 WDC	加权抗旱 指数 WDI	抗旱 系数 DC	抗旱指数 DI	改进抗旱 指数 IDI
2015	平均值	0.353	1.078	0.488	0.505	0.476	0.491	0.207	0.225	1.010
	标准差	0.130	0.168	0.074	0.157	0.073	0.164	0.114	0.185	0.556
	变异 系数(%)	36.749	15.546	15.177	31.124	15.414	33.413	54.939	82.381	55.043
2016	平均值	0.378	1.053	0.608	1.047	0.593	1.058	0.285	0.082	1.004
	标准差	0.123	0.116	0.062	0.238	0.075	0.307	0.107	0.047	0.368
	变异 系数(%)	32.655	11.001	10.152	22.764	12.725	29.016	37.407	57.945	36.622

表6 棉花品种(系)抗旱性评价及级别划分  
Table 6 Evaluation and grading of drought tolerance of cotton varieties (lines)

品种 Variety	加权隶属函数 WSFV						抗旱系数 DC						干旱胁迫单株产量 (g)YPPD						正常灌溉单株产量 (g)YPPW						改进抗旱指数 IDI					
	2015年		2016年		2015年		2016年		2015年		2016年		2015年		2016年		2015年		2016年		2015年		2016年							
	In	Grade	In	Grade	In	Grade	In	Grade	In	Grade	In	Grade	In	Grade	In	Grade	In	Grade	In	Grade	In	Grade	In	Grade						
金星1号 Jinken 1 Hao	0.487	1	0.668	1	0.236	3	0.380	2	8.2	1	14.0	1	34.9	3	37.0	3	1.315	2	1.412	1										
金星108 Jinken 108	0.716	1	0.610	1	0.342	1	0.309	3	12.1	1	12.1	2	35.2	3	39.0	3	1.944	1	1.278	2										
芳草湖 710 Fangcaohu 710	0.383	3	0.425	3	0.252	2	0.337	2	7.0	2	12.8	1	27.6	3	38.0	3	0.879	3	1.321	2										
酒精17号 Jiumian 17 Hao	0.601	1	0.193	5	0.347	1	0.205	4	9.1	1	6.9	5	26.3	3	33.5	4	1.100	3	0.625	5										
新陆早21号 Xinluzao 21 Hao	0.551	1	0.382	3	0.371	1	0.290	3	10.7	1	10.9	3	28.8	3	37.5	3	1.407	2	1.110	3										
367	0.673	1	0.421	3	0.254	2	0.232	3	11.3	1	8.7	3	44.6	2	37.5	3	2.316	1	0.887	3										
新陆早33号 Xinluzao 33 Hao	0.164	5	0.196	5	0.241	2	0.180	4	5.9	3	6.8	5	24.6	4	38.0	3	0.669	3	0.707	4										
新棉2号 Ximmian 2 Hao	0.273	3	0.508	1	0.183	3	0.371	2	5.0	3	14.1	1	27.3	3	38.0	3	0.624	4	1.455	1										
田苗2号 Tianmiao 2 Hao	0.264	4	0.394	3	0.156	3	0.329	2	5.7	2	12.5	2	36.3	3	38.0	3	0.938	3	1.289	2										
新陆早48号 Xinluzao 48 Hao	0.185	5	0.283	4	0.121	4	0.277	3	4.7	4	9.0	3	38.4	3	32.3	4	0.817	3	0.786	3										
新陆早55号 Xinluzao 55 Hao	0.322	3	0.542	1	0.251	2	0.374	2	6.9	2	12.0	2	27.4	3	32.1	4	0.864	3	1.048	3										
酒精9号 Jiumian 9 Hao	0.279	3	0.480	2	0.085	5	0.187	4	4.8	3	7.2	5	56.8	1	38.5	3	1.252	2	0.755	4										
酒精10号 Jiumian 10 Hao	0.434	2	0.170	5	0.194	3	0.184	4	5.0	3	7.7	4	25.8	4	42.0	2	0.593	4	0.880	3										
金星9号 Jinken 9 Hao	0.487	1	0.367	3	0.258	2	0.297	3	6.8	2	9.4	3	26.5	3	31.5	4	0.829	3	0.801	3										
新陆早23号 Xinluzao 23 Hao	0.290	3	0.413	3	0.256	2	0.393	1	4.4	4	13.2	1	17.3	5	33.5	4	0.349	5	1.199	2										
新陆中7号 Xinluzhong 7 Hao	0.409	2	0.250	5	0.107	4	0.157	5	7.7	2	7.4	4	72.3	1	47.0	1	2.552	1	0.943	3										
新陆早19号 Xinluzao 19 Hao	0.455	2	0.479	2	0.264	2	0.370	2	6.9	2	11.7	2	26.1	3	31.5	4	0.824	3	0.998	3										
慧远9号 Huiyuan 9 Hao	0.229	4	0.310	3	0.204	3	0.286	3	6.0	3	9.2	3	29.6	3	32.0	4	0.815	3	0.797	3										
邱县 0905 Qiuxian 0905	0.245	4	0.328	3	0.162	3	0.241	3	5.2	3	7.7	4	32.1	3	32.1	4	0.765	3	0.675	4										
泗抗1号 Sikang 1 Hao	0.275	3	0.458	2	0.237	3	0.417	1	5.6	3	10.9	3	23.5	4	26.0	5	0.599	4	0.767	4										
耕野3号 Genye 3 Hao	0.465	2	0.300	4	0.383	1	0.319	2	8.5	1	12.4	2	22.2	4	39.0	3	0.860	3	1.318	2										
新陆早46号 Xinluzao 46 Hao	0.340	3	0.264	4	0.167	3	0.203	4	6.8	2	7.7	4	41.0	2	38.0	3	1.281	2	0.796	3										
硕丰1139 Shuofeng 1139	0.187	5	0.423	3	0.095	4	0.264	3	4.6	4	11.5	2	48.9	1	43.5	2	1.036	3	1.355	2										
伊陆早11号 Yiluzao 11 Hao	0.333	3	0.602	1	0.079	5	0.278	3	4.9	3	12.1	2	62.5	1	43.5	2	1.411	2	1.427	1										
义田9号 Yitian 9 Hao	0.149	5	0.331	3	0.076	5	0.276	3	2.9	5	11.6	2	38.3	3	42.0	2	0.513	4	1.324	2										
MB 799	0.520	1	0.304	3	0.266	2	0.188	4	10.4	1	6.5	5	39.2	3	34.5	3	1.871	1	0.608	5										
邯682 Han 682	0.180	5	0.365	3	0.108	4	0.290	3	4.2	5	11.3	2	38.8	3	39.0	3	0.744	3	1.198	2										
CQJ2012-3	0.265	4	0.325	3	0.260	2	0.328	2	6.5	3	12.0	2	25.0	4	36.5	3	0.744	3	1.188	2										
鲁25A Lu 25A	0.299	3	0.358	3	0.188	3	0.223	3	5.7	3	8.0	4	30.2	3	36.0	3	0.782	3	0.784	3										
太原02-2 Taiyuan 02-2	0.334	3	0.398	3	0.150	3	0.251	3	6.4	3	8.8	3	42.7	2	35.0	3	1.249	2	0.836	3										
荆N2 Jing N2	0.282	3	0.319	3	0.095	4	0.277	3	6.9	2	11.1	3	72.9	1	40.0	3	2.301	1	1.203	2										
8283	0.473	2	0.321	3	0.443	1	0.411	1	6.4	3	10.5	3	14.5	5	25.5	5	0.423	5	0.726	4										

表 6(续)

品种 Variety	加权隶属函数						抗旱系数						干旱胁迫单株产量 (g)YPPD						正常灌溉单株产量 (g)YPPW						改进抗旱指数					
	WSFV		DC		YPPD		YPPW		ID1		Grade		Grade		Grade		Grade		Grade		Grade		Grade		Grade					
	2015年 In 2015	2016年 In 2016	2015年 In 2015	2016年 In 2016	2015年 In 2015	2016年 In 2016	2015年 In 2015	2016年 In 2016	2015年 In 2015	2016年 In 2016	2015年 In 2015	2016年 In 2016	2015年 In 2015	2016年 In 2016	2015年 In 2015	2016年 In 2016														
晋棉 46 Jimmian 46	0.320	3	0.520	3	0.156	3	0.252	3	5.4	3	9.8	3	34.3	3	39.0	3	0.839	3	1.043	3	3	3	0.839	3	1.043	3				
巴西 014 Brazil 014	0.182	5	0.321	3	0.088	5	0.237	3	3.5	5	8.8	3	39.6	2	37.0	3	0.633	4	0.883	3	3	3	0.633	4	0.883	3				
巴西 012 Brazil 012	0.152	5	0.214	5	0.085	5	0.186	4	4.3	5	8.5	3	50.2	1	45.5	1	0.980	3	1.047	3	3	3	0.980	3	1.047	3				
鄂 0902 E 0902	0.339	3	0.471	2	0.216	3	0.516	1	5.0	3	14.7	1	23.2	4	28.5	5	0.532	4	1.139	3	3	3	0.532	4	1.139	3				
博乐 2-1-1 Bole 2-1-1	0.293	3	0.210	5	0.150	3	0.198	4	5.5	3	8.3	3	36.8	3	42.0	2	0.930	3	0.951	3	3	3	0.930	3	0.951	3				
陇棉 3 号 Longmian 3 Hao	0.272	3	0.417	3	0.114	4	0.293	3	5.1	3	13.9	1	44.7	2	47.5	1	1.046	3	1.799	1	1	1	1.046	3	1.799	1				
义田 10 号 Yitian 10 Hao	0.306	3	0.293	4	0.139	3	0.206	4	7.4	2	10.2	3	53.1	1	49.5	1	1.793	1	1.374	1	1	1	1.793	1	1.374	1				
辽 08 Liao 08	0.494	1	0.258	4	0.325	1	0.233	3	8.4	1	8.4	3	26.0	3	36.0	3	1.004	3	0.821	3	3	3	1.004	3	0.821	3				
GM	0.388	2	0.346	3	0.172	3	0.280	3	5.7	3	10.0	3	33.3	3	35.6	3	0.874	3	0.965	3	3	3	0.874	3	0.965	3				
徐州 1042 Xuzhou 1042	0.268	3	0.305	3	0.124	3	0.183	4	5.1	3	7.5	4	41.2	2	41.2	2	0.964	3	0.845	3	3	3	0.964	3	0.845	3				
陕 2365 Shan 2365	0.486	1	0.440	2	0.279	2	0.364	2	6.7	3	12.7	1	23.8	4	35.0	3	0.725	3	1.210	2	2	2	0.725	3	1.210	2				
中 21371 Zhong 21371	0.207	5	0.203	5	0.106	4	0.164	5	4.8	4	7.4	4	45.2	2	45.2	2	0.990	3	0.913	3	3	3	0.990	3	0.913	3				
山大新 66 Shandaxin 66	0.555	1	0.428	2	0.289	2	0.178	5	11.5	1	6.4	5	39.8	2	36.0	3	2.097	1	0.627	5	5	5	2.097	1	0.627	5				
巴西 005 Brazil 005	0.367	3	0.308	3	0.142	3	0.201	4	7.6	2	10.2	3	53.5	1	51.0	1	1.857	1	1.419	1	1	1	1.857	1	1.419	1				
科棉 4 号 Kemian 4 Hao	0.338	3	0.294	4	0.162	3	0.259	3	7.3	2	11.4	2	45.2	2	44.0	1	1.512	2	1.363	2	2	2	1.512	2	1.363	2				
超早 3 号 Chaozao 3 Hao	0.193	5	0.414	3	0.125	3	0.222	3	4.8	4	9.1	3	38.2	3	41.0	2	0.835	3	1.015	3	3	3	0.835	3	1.015	3				
冀丰 908 Jifeng 908	0.321	3	0.451	2	0.135	3	0.407	1	4.6	4	13.0	1	34.2	3	32.0	3	0.723	3	1.133	3	3	3	0.723	3	1.133	3				
中棉所 64 Zhongmiansuo 64	0.313	3	0.330	3	0.207	3	0.200	4	6.1	3	7.8	4	29.6	3	39.0	3	0.829	3	0.826	3	3	3	0.829	3	0.826	3				
锦科 2 号 Jinke 2	0.561	1	0.350	3	0.275	2	0.223	3	10.7	1	8.8	3	38.9	3	39.5	3	1.906	1	0.946	3	3	3	1.906	1	0.946	3				
邱县 0904 Qiuxian 0904	0.491	1	0.403	3	0.350	1	0.456	1	6.9	2	12.8	1	19.7	5	28.0	5	0.623	4	0.972	3	3	3	0.623	4	0.972	3				
中 2220 Zhong 2220	0.338	3	0.386	3	0.204	3	0.256	3	5.8	3	8.3	3	28.2	3	32.5	4	0.743	3	0.734	4	4	4	0.743	3	0.734	4				
中棉所 50 Zhongmiansuo 50	0.194	5	0.681	1	0.097	4	0.477	1	5.4	3	24.1	1	55.6	1	50.5	1	1.364	2	3.303	1	1	1	1.364	2	3.303	1				
中 129 Zhong 129	0.225	4	0.428	2	0.132	3	0.276	3	4.4	4	11.1	3	33.6	3	40.0	3	0.682	3	1.201	2	2	2	0.682	3	1.201	2				
冀丰 197 Jifeng 197	0.473	2	0.525	1	0.353	1	0.385	2	7.7	2	13.9	1	21.9	5	36.0	3	0.775	3	1.355	2	2	2	0.775	3	1.355	2				
美 A-24 MeiA-24	0.274	3	0.313	3	0.229	3	0.289	3	5.2	3	9.5	3	22.7	4	33.0	4	0.542	4	0.855	3	3	3	0.542	4	0.855	3				
送兴红叶 Songxinghongye	0.612	1	0.443	2	0.333	1	0.321	2	6.7	3	8.7	3	20.0	5	27.0	5	0.611	4	0.636	5	5	5	0.611	4	0.636	5				
柯字 312 Kezi 312	0.579	1	0.399	3	0.116	4	0.170	5	9.5	1	7.6	4	82.0	1	44.5	1	3.553	1	0.914	3	3	3	3.553	1	0.914	3				
L142-9	0.274	3	0.458	2	0.094	4	0.209	3	4.8	4	9.7	3	50.4	1	46.5	1	1.096	3	1.228	2	2	2	1.096	3	1.228	2				
晋农大运 3-1 Jinnongdayun 3-1	0.212	5	0.461	2	0.106	4	0.247	3	4.6	4	9.4	3	43.0	2	38.0	3	0.901	3	0.969	3	3	3	0.901	3	0.969	3				
Local cotton 1	0.306	3	0.345	3	0.126	3	0.245	3	4.8	3	10.2	3	38.2	3	41.5	2	0.846	3	1.146	3	3	3	0.846	3	1.146	3				
中 80 Zhong 80	0.324	3	0.202	5	0.172	3	0.192	4	9.9	1	7.1	5	57.2	1	37.0	3	2.581	1	0.715	4	4	4	2.581	1	0.715	4				
中棉 44 号 Zhongmian 44 Hao	0.310	3	0.446	2	0.192	3	0.202	4	5.7	3	7.5	4	29.8	3	37.0	3	0.779	3	0.752	4	4	4	0.779	3	0.752	4				
鄂 0901 E 0901	0.242	4	0.350	3	0.111	4	0.214	3	4.4	4	8.4	3	40.0	2	39.0	3	0.811	3	0.886	3	3	3	0.811	3	0.886	3				
皖 C22 Wan C22	0.558	1	0.351	3	0.164	3	0.257	3	5.7	3	9.8	3	34.6	3	38.0	3	0.902	3	1.010	3	3	3	0.902	3	1.010	3				
冀丰 1056 Jifeng 1056	0.209	5	0.164	5	0.116	4	0.188	4	3.9	5	7.4	4	33.8	3	39.5	3	0.608	4	0.798	3	3	3	0.608	4	0.798	3				

表 6 (续)

品种 Variety	加权隶属函数						抗旱系数						干旱胁迫单株产量						正常灌溉单株产量						改进抗旱指数								
	WSFV			DC			(g) YPPD			(g) YPPW			IDI			2015 年			2016 年			2015 年			2016 年			2015 年			2016 年		
	等级	2016 年	2015 年	等级	2016 年	2015 年	等级	2016 年	2015 年	等级	2016 年	2015 年	等级	2016 年	2015 年	等级	2016 年	2015 年	等级	2016 年	2015 年	等级	2016 年	2015 年	等级	2016 年	2015 年	等级	2016 年				
晋棉 34 Jimmian 34	0.327	3	0.271	4	0.115	4	0.188	4	5.9	3	7.9	4	50.8	1	42.0	2	1.361	2	0.903	3	1.361	2	0.903	3	1.361	2	0.903	3					
邯 240 Han 240	0.292	3	0.285	4	0.195	3	0.270	3	5.8	3	10.6	3	29.8	3	39.5	3	0.791	3	1.143	3	0.791	3	1.143	3	0.791	3	1.143	3					
石早 1 号 Shizao 1 Hao	0.452	2	0.454	2	0.263	2	0.205	4	8.3	1	8.6	3	31.5	3	42.0	2	1.193	2	0.981	3	1.193	2	0.981	3	1.193	2	0.981	3					
冀棉 14 号 Jimian 14	0.375	3	0.651	1	0.168	3	0.425	1	7.2	2	16.0	1	42.8	2	37.5	3	1.402	2	1.626	1	1.402	2	1.626	1	1.402	2	1.626	1					
博乐 Y10 Bole Y10	0.560	1	0.281	4	0.294	2	0.173	5	7.7	2	6.7	5	26.2	3	39.0	3	0.920	3	0.714	4	0.920	3	0.714	4	0.920	3	0.714	4					
中棉所 69 Zhongmiansuo 69	0.287	3	0.262	4	0.131	3	0.302	3	5.3	3	12.7	1	40.7	2	41.9	2	0.989	3	1.439	1	0.989	3	1.439	1	0.989	3	1.439	1					
辽 04-4 系 Liao 04-4 Hao Xi	0.369	3	0.606	1	0.156	3	0.347	2	5.8	3	12.3	2	36.9	3	35.5	3	0.976	3	1.188	2	0.976	3	1.188	2	0.976	3	1.188	2					
中 119 Zhong 119	0.317	3	0.310	3	0.172	3	0.330	2	4.3	5	9.4	3	25.1	4	28.5	5	0.494	4	0.728	4	0.494	4	0.728	4	0.494	4	0.728	4					
鄂农 071 Enong 071	0.337	3	0.512	1	0.383	1	0.700	1	5.8	3	10.4	3	15.2	5	14.9	5	0.406	5	0.422	5	0.406	5	0.422	5	0.406	5	0.422	5					
陇 1-1-8-2 Long 1-1-8-2	0.729	1	0.549	1	0.891	1	0.729	1	8.5	1	8.9	3	9.6	5	12.3	5	0.375	5	0.298	5	0.375	5	0.298	5	0.375	5	0.298	5					
Local cotton 2	0.334	3	0.300	4	0.191	3	0.339	2	4.6	4	9.2	3	23.9	4	27.0	5	0.496	4	0.672	4	0.496	4	0.672	4	0.496	4	0.672	4					
新陆早 7 号 Xinluzao 7 Hao	0.253	4	0.425	3	0.128	3	0.215	3	4.7	4	7.7	4	36.3	3	36.0	3	0.772	3	0.756	4	0.772	3	0.756	4	0.772	3	0.756	4					
陇棉 2 号 Longmian 2 Hao	0.335	3	0.334	3	0.106	4	0.151	5	5.1	3	8.4	3	48.4	1	55.5	1	1.130	3	1.267	2	1.130	3	1.267	2	1.130	3	1.267	2					
越南 3 号 Yuenan 3 Hao	0.199	5	0.340	3	0.207	3	0.201	4	4.7	4	6.6	5	22.7	4	33.0	4	0.489	4	0.594	5	0.489	4	0.594	5	0.489	4	0.594	5					
M2B4133	0.342	3	0.292	4	0.187	3	0.272	3	4.4	4	10.1	3	23.7	4	37.0	3	0.480	4	1.011	3	0.480	4	1.011	3	0.480	4	1.011	3					
耕野 3 号 Genye 3 Hao	0.259	4	0.320	3	0.131	3	0.240	3	6.6	3	11.4	2	50.3	1	47.5	1	1.512	2	1.472	1	1.512	2	1.472	1	1.512	2	1.472	1					
天云 41-1 Tianyun 41-1	0.343	3	0.266	4	0.135	3	0.275	3	6.7	3	11.7	2	49.8	1	42.5	2	1.531	2	1.348	2	1.531	2	1.348	2	1.531	2	1.348	2					
金星 3 号 Jinken 3 Hao	0.401	2	0.114	5	0.201	3	0.174	5	6.6	3	6.6	5	33.1	3	38.0	3	1.006	3	0.682	4	1.006	3	0.682	4	1.006	3	0.682	4					
1668	0.672	1	0.368	3	0.466	1	0.382	2	13.1	1	13.4	1	28.1	3	35.0	3	1.684	1	1.271	2	1.684	1	1.271	2	1.684	1	1.271	2					
耕野 6 号 Genye 6 Hao	0.250	4	0.528	1	0.120	4	0.271	3	7.2	2	12.1	2	60.2	1	44.5	1	1.979	1	1.460	1	1.979	1	1.460	1	1.979	1	1.460	1					
鄂沙 2072 Esha 2072	0.280	3	0.326	3	0.182	3	0.151	5	6.1	3	6.3	5	33.5	3	41.9	2	0.935	3	0.721	4	0.935	3	0.721	4	0.935	3	0.721	4					
1446	0.291	3	0.247	5	0.272	2	0.276	3	6.7	3	10.8	3	24.6	4	39.0	3	0.755	3	1.142	3	0.755	3	1.142	3	0.755	3	1.142	3					
中 G5 Zhong G5	0.332	3	0.493	2	0.283	2	0.397	1	5.4	3	11.8	2	19.0	5	29.8	5	0.465	4	0.957	3	0.465	4	0.957	3	0.465	4	0.957	3					
中棉所 58 Zhongmiansuo 58	0.327	3	0.373	3	0.190	3	0.295	3	6.1	3	8.9	3	31.8	3	30.0	4	0.879	3	0.722	4	0.879	3	0.722	4	0.879	3	0.722	4					
103	0.457	2	0.773	1	0.136	3	0.292	3	5.4	3	9.9	3	39.4	2	34.0	3	0.964	3	0.917	3	0.964	3	0.917	3	0.964	3	0.917	3					
D5	0.402	2	0.507	1	0.497	1	0.572	1	7.0	2	10.1	3	14.1	5	17.7	5	0.451	5	0.488	5	0.451	5	0.488	5	0.451	5	0.488	5					
9617	0.294	3	0.397	3	0.115	4	0.235	3	4.3	4	8.2	3	37.8	3	35.0	3	0.751	3	0.783	3	0.751	3	0.783	3	0.751	3	0.783	3					
巴西 001 Brazil 001	0.302	3	0.608	1	0.284	2	0.519	1	4.5	4	10.9	3	15.7	5	21.0	5	0.622	5	0.622	5	0.622	5	0.622	5	0.622	5	0.622	5					
394015B	0.302	3	0.177	5	0.234	3	0.212	3	4.7	4	6.8	5	20.2	5	32.1	4	0.438	5	0.593	5	0.438	5	0.593	5	0.438	5	0.593	5					
2508	0.305	3	0.414	3	0.173	3	0.248	3	6.4	3	10.2	3	36.7	3	41.0	2	1.071	3	1.134	3	1.071	3	1.134	3	1.071	3	1.134	3					
66	0.520	1	0.412	3	0.244	2	0.415	1	4.8	3	11.2	3	19.9	5	27.0	5	0.440	5	0.822	3	0.440	5	0.822	3	0.440	5	0.822	3					
山大 802 Shanda 802	0.342	3	0.298	4	0.265	2	0.268	3	6.3	3	10.5	3	23.9	4	39.0	3	0.693	3	1.110	3	0.693	3	1.110	3	0.693	3	1.110	3					
石远 321 Shiyuan 321	0.218	5	0.221	5	0.233	3	0.284	3	5.6	3	9.7	3	24.0	4	34.0	3	0.612	4	0.892	3	0.612	4	0.892	3	0.612	4	0.892	3					
苏棉 12 号 Sumian 12 Hao	0.395	2	0.350	3	0.098	4	0.164	5	3.4	5	5.9	5	35.2	3	36.0	3	0.552	4	0.577	5	0.552	4	0.577	5	0.552	4	0.577	5					
中棉种 Zhongmianzhong	0.304	3	0.331	3	0.216	3	0.258	3	5.1	3	7.6	4	23.5	4	29.5	5	0.548	4	0.611	5	0.548	4	0.611	5	0.548	4	0.611	5					

## 2.4 棉花种质资源抗旱性评价

综合两年试验数据,将改进抗旱指数和综合评价价值(加权隶属函数法)划分为5个抗旱级别,年际间综合评价同等级率28.43%,两年均划分在1级(抗旱)的品种有金垦108、金垦1号和陇1-1-8-2,均划分在5级(不抗旱)的品种有新陆早33号、巴西012、中21371、冀丰1056和石远321;年际间鉴定结果差异较大品种有酒棉10、酒棉17号和中棉所50,这几个品种受环境的影响较大;年际间改进抗旱指数同等级率38.24%,两年均划分在1级(抗旱)的品种有义田10号、巴西005和耕野6号,均划分在5级(不抗旱)的品种有鄂农071、陇1-1-8-2、D5、巴西001和3940150B;年际间鉴定结果差异较大品种有MB799和山大新66,改进抗旱指数法可将抗旱系数高、综合评价价值高的抗旱品种且不具有丰产性的品种区分开来,如陇1-1-8-2,其抗旱系数达到了0.729,为参试品种中抗旱系数、平均抗旱系数和综合评价价值均为1级抗旱级,但其丰产性较差,干旱胁迫处理单株产量仅8.9 g,正常灌溉处理单株产量仅12.3 g,改进抗旱指数与综合性评价各方法相关系数两年间均达到了显著性差异水平,与直接评价方法抗旱系数、抗旱指数相关系数较低,年际间存在较大差异,主要因为不同年份干旱胁迫程度不同。

由此可见,棉花抗旱性鉴定需要将直接评价和综合评价结合起来,可筛选既抗旱又丰产棉花品种,这些种质有金垦1号、金垦108和耕野6号,两年鉴定结果均靠前;不抗旱丰产材料有中21371、巴西012、石远321、冀丰1056和新陆早33号(表6)。

## 3 讨论

### 3.1 棉花抗旱鉴定指标的选择

作物的抗旱性受基因型和环境的共同制约,是一个复杂的数量性状,各种性状指标对于干旱逆境的敏感性存在很大差异<sup>[6]</sup>,单项指标只能反映某一性状在胁迫时期对干旱的敏感程度,不能有效地反映作物在干旱胁迫时的综合表现,选择合理的性状指标是抗旱性鉴定的关键<sup>[21]</sup>,因此,性状指标的选择对抗旱鉴定结果的可靠性与真实性具有直接关系。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与生理生化指标。与棉花抗旱有关的生长发育和农艺性状指标有株高、出叶速率、干物质积累量、叶面积、主茎生长速度、主茎高度、果枝数、三桃的比重以及蕾铃脱落率等<sup>[22]</sup>,与棉花抗旱相关的生理指标有根系活力、叶片水势、叶

片气孔阻力、角质蒸腾速率以及光合与呼吸强度等,与棉花抗旱相关的生化指标有叶片脱落酸的积累量、脯氨酸、可溶性糖和叶绿素含量、以及与细胞膜透性有关的SOD、POD、CAT、蛋白水解酶活性等<sup>[11]</sup>。花铃期为棉花对水分最敏感时期<sup>[23]</sup>,与陆地棉抗旱性关系最密切的是农艺性状指标,其次为生理指标<sup>[24]</sup>,干旱胁迫对作物的影响最终通过农艺性状的变化表现出来<sup>[25]</sup>,因此选择合理的农艺指标是抗旱性鉴定的关键。陈玉梁等<sup>[14]</sup>对不同色彩陆地棉抗旱性指标筛选认为,单株铃数、单铃重和花铃期叶片数可作为棉花抗旱性鉴定评价指标。李海明等<sup>[25]</sup>对棉花抗旱性指标筛选认为,株高、籽棉产量、单铃重、有效铃数和始节高可作为棉花花铃期抗旱性评价直观指标,本研究利用相关分析的方法筛选出年际间变异较小的农艺性状指标有单铃重、单株铃数、果枝数、单株产量、株高、茎干重和主茎节间长度,应用这几种单项指标计算抗旱性综合评价价值,用来评价棉花品种抗旱性,使鉴定结果更加可靠。

### 3.2 抗旱性的评价方法

生产上常以产量抗旱系数来评价作物的抗旱性,然而抗旱系数可能因干旱胁迫与充分灌溉的产量均偏小而获得较高的比值,由此评价抗旱性并不客观<sup>[21]</sup>,无法满足育种的需要。抗旱鉴定的目的在于筛选干旱环境下高产稳产的品种,兰巨生等<sup>[19]</sup>提出的抗旱指数法利用品种在干旱环境较大的抗旱系数与较高的产量协同表达抗旱性,注重干旱环境下产量表现<sup>[26]</sup>;祁旭升等<sup>[6]</sup>提出了改进抗旱指数,利用品种在干旱环境和正常供水环境下均具有较高的产量来表达抗旱丰产性,强调品种间的比较,其鉴定结果更接近生产应用,利于抗旱丰产品种筛选。本研究利用加权隶属函数法、主成分D值等综合评价方法,并对这几种综合评价方法进行了相关性分析,其两两之间均达到了极显著相关,说明每种综合评价方法均能评价出棉花种质的抗旱性,将抗旱系数、综合评价法和改进抗旱指数结合起来评价,可筛选出抗旱不丰产材料,改进抗旱指数可将前两种方法评价为不抗旱的材料筛选出来,这些材料在干旱胁迫和正常灌溉处理产量表现均突出,利用3种评价方法的优缺点,真实准确评价每一个材料,可直接应用于抗旱育种和棉花生产,这与李忠旺等<sup>[10]</sup>和刘光辉等<sup>[3]</sup>将几个评价方法通过聚类分析进行划分抗旱性等级不同。

### 3.3 棉花材料抗旱性评价

刘光辉等<sup>[3]</sup>利用主成分和隶属函数综合评价的方法对本试验部分材料在花铃期进行抗旱性分

析,从结果看出,中棉所 50 抗旱性较弱,这与刘鹏鹏等<sup>[27]</sup>研究结果一致,但王海标<sup>[28]</sup>对棉花短期干旱下生理指标进行评价时,其又表现为强抗旱,本研究在全生育期胁迫中 2015 年表现为不抗旱,2016 年表现为抗旱,年际变异较大,易受环境影响。李志博等<sup>[29]</sup>研究认为新陆早 33 号苗期和花铃期抗旱性较强,而刘光辉等<sup>[3]</sup>在花铃期胁迫下其表现为弱的抗旱性,这与本课题组在全生育期胁迫下鉴定结果一致,有些材料如石远 321 表现出较弱的抗旱性<sup>[3,27]</sup>,与本研究结果一致,也有鉴定结果表现出较强抗旱性<sup>[28]</sup>,可见,同一份材料在不同地点不同生育时期进行抗旱性评价不一定能得出一致的结果,棉花的抗旱性受干旱胁迫时期、干旱胁迫程度和干旱胁迫持续时间的影响,难以准确评价品种的抗旱性及抗旱性划分标准。鉴于此,棉花抗旱性鉴定设置多年鉴定结果较稳定的材料作为标准品种,如:金垦 1 号、金垦 108 等,消除品种间因年际间、地域等环境不同而产生的性状差异,设立标准品种进行抗旱性评价已在马铃薯<sup>[30]</sup>、大豆<sup>[1]</sup>等作物上加以应用。

通过对连续两年的农艺和产量性状进行分析,筛选出与抗旱性密切相关且年际间变异小的性状单铃重、单株产量、单株铃数、株高、果枝数、茎干重和主茎节间长度,可作为棉花抗旱性鉴定综合评价指标,基于这 7 个性状计算的综合评价指标两两之间均达到了差异极显著水平,不同综合评价方法之间没有明显的优势,运用棉花单株籽棉产量计算的改进抗旱指数和抗旱系数,结合综合抗旱性评价,对 102 个参试棉花品种进行综合评价。筛选出抗旱丰产品种金垦 1 号、金垦 108,在干旱胁迫下和正常灌溉下产量均高,品种抗旱丰产性表现稳定,适合西北内陆棉区种植,可作为抗旱鉴定标准品种。

#### 参考文献

- [1] 王兴荣,张彦军,李玥,刘天鹏,张金福,祁旭升. 干旱胁迫对大豆生长的影响及抗旱性评价方法与指标筛选. 植物遗传资源学报, 2018, 19(1): 49-56  
Wang X R, Zhang Y J, Li Y, Liu T P, Zhang J F, Qi X S. Effects of drought stress on growth and screening methods and indexes for drought-resistance in soybean. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(1): 49-56
- [2] 王莺,赵文,张强. 中国北方地区农业干旱脆弱性评价. 中国沙漠, 2019, 39(4): 149-157  
Wang Y, Zhao W, Zhang Q. Evaluation of agricultural drought vulnerability in northern China. *Journal of Desert Research*, 2019, 39(4): 149-157
- [3] 刘光辉,陈全家,吴鹏昊,曲延英,高文伟,杨军善,杜荣光. 棉花花铃期抗旱性综合评价及指标筛选. 植物遗传资源学报, 2016, 17(1): 53-62  
Liu G H, Chen Q J, Wu P H, Qu Y Y, Gao W W, Yang J S, Du R G. Screening and comprehensive evaluation of drought resistance indices of cotton at blossing and boll-forming stages. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(1): 53-62
- [4] Nagy Z, Németh E, Guóth A, Bona L, Wodala B, Pécsváradi A. Metabolic indicators of drought stress tolerance in wheat: Glutamine synthetase isoenzymes and Rubisco. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2013, 67(3): 48-54
- [5] Liu S S, Hao Z F, Weng J F, Li M S, Zhang D H, Pan G T, Zhang S H, Li X H. Identification of two functional markers associated with drought resistance maize. *Molecular Breeding*, 2015, 35: 53
- [6] 祁旭升,刘章雄,关荣霞,王兴荣,苟作旺,常汝镇,邱丽娟. 大豆成株期抗旱性鉴定评价方法研究. 作物学报, 2012, 38(4): 665-674  
Qi X S, Liu Z X, Guan R X, Wang X R, Gou Z W, Chang R Z, Qiu L J. Comparison of evaluation methods for drought-resistance at soybean adult stage. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(4): 665-674
- [7] 刘天鹏,董孔军,何继红,任瑞玉,张磊,杨天育. 糜子育成品种芽期抗旱性鉴定与评价研究. 植物遗传资源学报, 2014, 15(4): 746-752  
Liu T P, Dong K J, He J H, Ren R Y, Zhang L, Yang T Y. Identification and evaluation on the drought resistance of broomcorn millet bred cultivars at germinating stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(4): 746-752
- [8] 李志博,章杰,魏亦农,喻娟,郝志玲,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. 核农学报, 2011, 25(3): 576-581  
Li Z B, Zhang J, Wei Y N, Yu J, Xi Z L, Zhang X J. Characteristics analysis of yield traits and fiber quality with cotton drought resistance under plastic film mulching and high-density condition. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2011, 25(3): 576-581
- [9] 吕学莲,白海波,惠建,田小燕,杨宸刚,马斯霜. 蔡正云. 李树华. 粳粳稻杂交衍生 RIL 系的苗期抗旱性评价. 植物遗传资源学报, 2019, 20(3): 556-563  
Lv X L, Bai H B, Hui J, Tian X Y, Yang C G, Ma S S, Cai Z Y, Li S H. Evaluation of seedling drought resistance of RIL derived from indica rice and japonica rice. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(3): 556-563
- [10] 李忠旺,陈玉梁,罗俊杰,石有太,冯克云,陈子莹. 棉花抗旱品种筛选鉴定及抗旱性综合评价方法. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 240-247  
Li Z W, Chen Y L, Luo J J, Shi Y T, Feng K Y, Chen Z X. Screening and evaluation for drought resistance of cotton varieties. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35(1): 240-247
- [11] 冯方剑,宋敏,陈全家,姚正培,李杨阳,刘艳,王兴安,曲延英. 棉花苗期抗旱相关指标的主成分分析及综合评价. 新疆农业大学学报, 2011, 34(3): 211-217  
Feng F J, Song M, Chen Q J, Yao Z P, Li Y Y, Liu Y, Wang X A, Qu Y Y. Analysis and comprehensive evaluation on principal component of relative indices of drought resistance at the seedling stage of cotton. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2011, 34(3): 211-217
- [12] 罗俊杰,欧巧明,叶春雷,王方,王镛臻,陈玉梁. 重要胡麻栽培品种的抗旱性综合评价及指标筛选. 作物学报, 2014, 40

- (7): 1259-1273  
Luo J J, Ou Q M, Ye C L, Wang F, Wang Y Z, Chen Y L. Comprehensive valuation of drought resistance and screening of indices of important flax cultivars. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(7): 1259-1273
- [13] 史加亮, 李凤瑞, 张东楼, 王士立, 田春利, 杨秀凤. 抗虫棉品种(系)主要农艺性状配合力与遗传力分析. *山东农业科学*, 2014, 46(1): 23-26  
Shi J L, Li F R, Zhang D L, Wang S L, Tian C L, Yang X F. Analysis on combining ability and heritability of main agronomic characters of insect-resistant cotton varieties (lines). *Shandong Agricultural Sciences*, 2014, 46(1): 23-26
- [14] 陈玉梁, 石有太, 罗俊杰, 王蒂, 厚毅清, 李忠旺, 张秉贤. 甘肃彩色棉花抗旱性农艺性状指标的筛选鉴定. *作物学报*, 2012, 38(9): 1680-1687  
Chen Y L, Shi Y T, Luo J J, Wang D, Hou Y Q, Li Z W, Zhang B X. Screening of drought tolerant agronomic trait indices of colored cotton varieties (lines) in Gansu Province. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(9): 1680-1687
- [15] 石有太, 陈玉梁, 罗俊杰, 裴怀弟, 张艳萍, 南宏宇. 不同色彩棉花抗旱性鉴定指标及评价. *作物杂志*, 2013, (1): 62-67  
Shi Y T, Chen Y L, Luo J J, Pei H D, Zhang Y P, Nan H Y. Identification and evaluation of drought tolerant indices of colored cotton. *Crops*, 2013(1): 62-67
- [16] 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. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(5): 140-146  
Feng K Y, Wang N, Nan H Y. Effects of different irrigation volumes during the entire growth period on development of cotton in Hexi area of Gansu and evaluation of its drought resistance. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(5): 140-146
- [17] 罗俊杰, 石有太, 陈玉梁, 王红梅, 刘新星. 甘肃不同色彩陆地棉抗旱指标筛选及评价研究. *核农学报*, 2012, 26(6): 952-959  
Luo J J, Shi Y T, Chen Y L, Wang H M, Liu X X. Screening and evaluation of drought tolerant indices of colored upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in Gansu. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2012, 26(6): 952-959
- [18] 浙江农业科学编辑部. 农作物田间试验记载项目及标准. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1982: 70-76  
*Zhejiang Agricultural Sciences. Crop field trial record items and standards*. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1982: 70-76
- [19] 兰巨生, 胡福顺, 张景瑞. 作物抗旱指数的概念和统计方法. *华北农学报*, 1990, 5(2): 20-25  
Lan J S, Hu F S, Zhang J R. The concept and statistical method of drought resistance index in crops. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1990, 5(2): 20-25
- [20] 路贵和, 安海润. 作物抗旱性鉴定方法与指标研究进展. *山西农业科学*, 1999, 27(4): 39-43  
Lu G H, An H R. Crop drought resistance identification methods and progress of indicators. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 1999, 27(4): 39-43
- [21] 宋凤斌, 徐世昌. 玉米抗旱性鉴定指标的研究. *中国生态农业学报*, 2004, 12(1): 127-129  
Song F B, Xu S C. Study on the drought-resistant identification indexes in maize. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(1): 127-129
- [22] 杜传莉, 黄国勤. 棉花主要抗旱鉴定指标研究进展. *中国农学通报*, 2011, 27(9): 17-20  
Du C L, Huang G Q. Research progress of major identification indicators in the cotton drought-resistance. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(9): 17-20
- [23] 韩会玲, 康凤君. 水分胁迫对棉花生产影响的试验研究. *农业工程学报*, 2001, 17(3): 37-40  
Han H L, Kang F J. Experiment and study on effect of moisture coerce on cotton producing. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2001, 17(3): 37-40
- [24] 孙丰磊, 曲延英, 陈全家, 高文伟. 棉花抗旱相关指标综合评价及灰色关联分析. *干旱地区农业研究*, 2019, 39(1): 233-239  
Sun F L, Qu Y Y, Chen Q J, Gao W W. Comprehensive evaluation of cotton drought tolerance indexes and gray relational analysis. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2019, 39(1): 233-239
- [25] 李海明, 刘绍东, 张思平, 李阳, 陈静, 马慧娟, 沈倩, 赵新华, 李存东, 庞朝友. 陆地棉种质资源花铃期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(3): 583-597  
Li H M, Liu S D, Zhang S P, Li Y, Chen J, Ma H J, Shen Q, Zhao X H, Li C D, Pang C Y. Identification and indices screening of drought tolerance at flowering and boll setting stage in upland cotton germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(3): 583-597
- [26] 张雪婷, 杨文雄, 柳娜, 杨长刚, 王世红, 王新永. 甘肃西部抗旱型玉米品种的综合评价及筛选. *核农学报*, 2018, 32(7): 1281-1290  
Zhang X T, Yang W X, Liu N, Yang C G, Wang S H, Wang X Y. Comprehensive evaluation and screening of drought resistant maize varieties in western Gansu. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, 32(7): 1281-1290
- [27] 刘鹏鹏, 陈全家, 曲延英, 刘光辉, 张海燕, 王海标, 冯文林, 高文伟. 棉花种质资源抗旱性评价. *新疆农业科学*, 2014, 51(11): 1961-1969  
Liu P P, Chen Q J, Qu Y Y, Liu G H, Zhang H Y, Wang H B, Feng W L, Gao W W. The drought resistance evaluation of cotton germplasm resources. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2014, 51(11): 1961-1969
- [28] 王海标. 棉花品种苗期与花期抗旱性评价及遗传多样性分析. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013: 39-40  
Wang H B. Evaluation of drought resistance and analysis of genetic diversity in cotton varieties under drought stress of seedling stage and flowering stage. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2013: 39-40
- [29] 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. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(3): 84-90  
Li Z B, Lin H R, Wei Y N, Xi Z L, Yu J. Primary evaluation of drought resistance and construction of identification system of cotton at different growth stages in Northern Xinjiang. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(3): 84-90
- [30] 秦军红, 张婷婷, 孟丽丽, 徐建飞, 蒙美莲, 金黎平. 引进马铃薯种质资源抗旱性评价. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(3): 574-582  
Qin J H, Zhang T T, Meng L L, Xu J F, Meng M L, Jin L P. Evaluation of drought tolerance in exotic potato germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(3): 574-582