

棉花抗旱品种筛选鉴定及抗旱性综合评价方法

李忠旺¹,陈玉梁¹,罗俊杰¹,石有太¹,冯克云²,陈子萱¹

(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:从甘肃敦煌、新疆的棉花栽培品种和国内外引进材料中选出 76 个遗传来源不同的棉花品种(系)作为参试材料,在年降雨量不足 40 mm 的甘肃省敦煌市设置了干旱胁迫和正常灌水两个处理,筛选出与棉花抗旱性密切相关的 10 个农艺性状和产量指标,采用综合抗旱系数(CDC)、综合抗旱指数(CDI)、综合隶属函数值(CDM)、抗旱性综合评价值(D)等四种综合评价方法对 76 份种质材料进行抗旱性评价。结果显示,四种综合评价方法两两之间的 Pearson 相关系数都在 0.88 以上,相关性均达到了极显著水平;再利用四种抗旱评价体系得分值对 76 个受试棉花品种(系)进行 K-means 划分聚类,最终将 76 个品种分为高抗(I 类,5 个品种)、抗(II 类,9 个品种)、中等(III 类,17 个品种)、敏感(IV 类,31 个品种)、高敏(V 类,14 个品种)5 个抗旱等级。为进一步方便育种家简单准确地评价选育材料的抗旱性,利用筛选出的 10 个农艺性状指标的抗旱系数作为自变量,四种抗旱性综合评价体系得分值为因变量,采用逐步回归的方式建立了棉花抗旱性预测模型回归方程。

关键词:棉花;抗旱性;筛选;评价
中图分类号: S562 **文献标志码:** A

Screening and evaluation for drought resistance of cotton varieties

LI Zhong-wang¹, CHEN Yu-liang¹, LUO Jun-jie¹, SHI You-tai¹, FENG Ke-yun², CHEN Zi-xuan¹
(1. Biotechnology Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. Institute of Crop Sciences, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: In order to screen the drought resistance of germplasm resources and develop cotton drought resistance evaluation system, 76 different cotton varieties (lines) were planted under drought stress and normal irrigation in Dunhuang City, Gansu province, where the annual rainfall is less than 40 mm. Drought resistance of 76 varieties (lines) was evaluated by the investigation on 10 agronomic traits and yield index which is closely related to drought resistance of cotton, in combination with the comprehensive drought resistant coefficient (CDC), comprehensive drought resistant index (CDI), membership function values (CDM) and drought resistance, drought resistance comprehensive evaluation values (D) four method. The evaluation results of the four methods were basically the same, and then clustering analysis was performed. The 76 varieties were divided into High Resistance (class I), Resistance(class II), Middle (class III), Sensitive (class IV) and High Sensitivity (class V). The resulting 10 agronomic traits of drought resistance coefficient as the independent variable, four kinds of comprehensive evaluation of drought resistance of score values as the dependent variable, can be used to establish the regression equation using stepwise regression method for predict drought resistance of cotton, facilitating the simple and accurate evaluation of the drought resistance of breeding germplasms.

Keywords: cotton; drought resistance; screening; evaluation

棉花作为世界上最重要的天然纤维作物和最重要的经济作物,它既是纺织工业的主要原料,也是国防、医药、化工等工业部门的原料。近年来由于全球气候变化影响造成生态环境的日益恶化和频繁发生的持续干旱,严重影响了我国棉花生产,尤其是在西北内陆棉区,干旱已成为影响棉花生产的主要环境

收稿日期:2016-01-10
基金项目:甘肃省科技重大专项(1207NCXA264);国家自然科学基金(31460365);甘肃省农业科学院“现代农业生物技术集成与应用”创新团队(2015GAAS02)
作者简介:李忠旺(1980—),男,助理研究员,硕士,主要从事作物抗逆生理研究。E-mail: lizhongwang33@163.com。
通信作者:陈玉梁(1972—),男,主要从事农业生物技术研究。E-mail: chenyl925@163.com。

因素。选育抗旱性好的棉花品种是降低干旱危害的有效手段,栽培抗旱品种是促进西北内陆棉区棉花生产持续稳定发展的有效途径之一。因此,筛选抗旱种质资源和基因资源,为进一步选育丰产抗旱新品种奠定基础是非常迫切和必要的。

农作物的抗旱性是一个复杂的综合性状,使用单一指标判断作物的抗旱性极易受到外界环境及自身基因型差异影响而导致结果不可靠。研究结果表明,棉花花铃期受旱时,棉株增长缓慢,叶片数减少,叶片变小、新生叶片生长速率慢,果枝量少,且伸展慢,严重受旱时棉花植株停止生长,产生自然封顶现象^[1-4]。全生育各阶段缺水会使棉花株高降低、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^[5-7]。陈玉梁等的研究结果表明,干旱胁迫下彩色棉的抗旱指数与株高、果节数、单株成铃数、花铃期叶片数、有效果枝数、籽指、单铃重等农艺性状呈极显著正相关,且这些农艺性状与彩色棉的水分利用效率也呈极显著相关^[8-10]。而抗旱性评价方法的选择上越来越多的研究者采用了多指标综合评定的方法来判断参试品种抗旱性的强弱,各种抗旱性综合评价方法已在小麦^[11-12]、大豆^[13]、油菜^[14]、谷子^[15]、玉米^[16-17]、胡麻^[18-20]、棉花^[21]、水稻^[22]、万寿菊^[23]等作物上应用。其中最常用的有抗旱系数、抗旱指数、隶属函数法^[24]以及基于主成分分析和权重分析的加权隶属函数值,也就是抗旱性综合评价 D 值。

本研究从甘肃敦煌、新疆的栽培品种和引进材料中收集了 76 个遗传来源不同的棉花品种(系),设置了干旱胁迫和正常灌水两个处理条件,考察与棉花抗旱性密切相关的农艺性状,利用抗旱系数、抗旱指数、模糊函数隶属值、抗旱性综合评价 D 值等几种综合评价方法结合聚类分析将供试品种划分成 5 个抗旱等级,以期筛选出抗旱性较强的棉花种质资源,并对抗旱性指标进行回归分析,总结出一套方便快捷的棉花抗旱鉴定技术体系,为棉花资源抗旱性的鉴定和筛选以及农业生产实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 参试材料与实验设计

从中国农业科学院棉花研究所国家棉花种质资源中期库、酒泉市农业科学院敦煌棉花试验站、新疆农垦科学院引进国内外棉花种质资源共计 76 份(见附表 2),2014 年在甘肃省敦煌市肃州镇魏家桥村开展试验。敦煌市年平均降水量约 39.9 mm,而蒸发量达 2 486 mm,局地年均降雨量仅有 10 mm,故被称

为中国旱极。试验地前茬为谷子抗旱试验田,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%、土层平均土壤容重 $1.52 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、pH 值 8.93、有机质 $13.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 $0.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷 $27.99 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $187 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。为消除水肥互作影响,播前 10 天浇足水后结合整地施入复合肥(N:P₂O₅:K₂O = 21:10:14)600 kg·hm⁻²,尿素 150 kg·hm⁻²,之后全生育期不施肥。地膜覆盖以宽窄行方式种植 110 cm(地膜)×30 cm(露地),株距为 15 cm(密度约 166 700 株·hm⁻²)。将同一块地一分为二,中间开 1 m 宽、1 m 深的沟作为隔离带,一半为全生育期不灌水的干旱处理,另一半为正常灌水处理(生育期灌水 3 次,总灌水量约 4 500 m³·hm⁻²)。每一品种(系)种植 5 m 长 2 行,3 次重复,随机分布。

1.2 土壤含水量测定

采用 5 点取样及烘干法测定干旱胁迫处理始花期、花铃期和吐絮期 0~60 cm 的土壤含水量(表 1),其中土层绝对含水量是指 100 g 烘干土中含有若干克水分,利用烘干称重法测得;土壤相对含水量是指将土壤绝对含水量换算成占田间持水量的百分比,计算公式为土壤相对含水量(%) = 土壤含水量/田间持水量 × 100%。

1.3 性状指标测定方法

从每个品种/处理的 3 个重复内无缺苗处各取连续 3 株棉苗作为考察样株,按照《棉花种质资源描述规范和数据标准》^[25]分别对正常灌溉和干旱胁迫处理的各品种生长势及产量相关性状考察记录。

1.4 数据处理与计算

参考谢小玉^[14]、孟庆立^[15]、田山君^[17]、罗俊杰^[19]、兰巨生^[26]、王兴荣^[27]等的统计计算方法,供试棉花品种各小区农艺性状测定值作为基础数据进行分析。

按公式(1)、(2)、(3)计算各单项指标抗旱系数(drought resistance coefficient, DC)、抗旱指数(drought resistance index)和抗旱隶属函数值(drought resistance membership function value, DM)作为直接评价参考数据,然后按照公式(4)、(5)、(6)、(7)分别计算综合抗旱系数(comprehensive drought resistance coefficient, CDC)、综合抗旱指数(comprehensive drought resistance index, CDI)、综合抗旱隶属函数值(comprehensive drought resistance membership function value, CDM)以及抗旱性综合度量值(drought resistance comprehensive evaluation values, D)对各品种的抗旱性进行综合评

价,并作为聚类划分抗旱等级的变量因子。

抗旱系数 $DC = I_d/I_w$ (1)

抗旱指数 $DI = DC \times I_d/I_{ad}$ (2)

抗旱隶属函数值

$DM = (DC - DC_{\min})/(DC_{\max} - DC_{\min})$ (3)

综合抗旱系数 $CDC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DC$ (4)

综合抗旱指数 $CDI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DI$ (5)

综合抗旱隶属函数值 $CDM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DM$ (6)

抗旱性综合度量值 $D = \sum_{i=1}^n [DM_i \times (P_i \div \sum_{i=1}^n P_i)]$ (7)

以上计算公式中, I_d 、 I_w 为在干旱胁迫处理和正常灌溉条件下某一指标测定值, I_{ad} 为干旱条件下所有品种某一指标测定值的平均值, $DC_{\max}$ 和 $DC_{\min}$ 分别代表所有品种某一考察指标抗旱系数 DC 的最大值和最小值, P_i 为第 i 个综合指标贡献率,表示第 i 个指标在所有指标中的重要程度。

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 18.0 分析软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对棉花主要农艺性状指标的影响

试验地土壤为灌淤土,田间持水量 18.65%,干旱胁迫处理棉花在始花期、花铃期、吐絮期 0~60 cm 土壤平均含水量分别为 10.54%、7.56%、4.74%(表 1),相对土壤含水量分别为 56.51%、40.54%、25.42%,全生育期平均相对含水量为 40.82%,达到了重度干旱胁迫条件。

表 1 干旱胁迫处理下不同生育期土壤含水量/%

Table 1 Soil water contents at the different growth stage under drought stress

含水量 Water content		始花期 Initial flowering stage	花铃期 Boll- forming stage	吐絮期 Boll- opening stage
绝对含水量 Absolute water content	0~20 cm	10.02	6.95	4.71
	20~40 cm	10.47	7.66	4.83
	40~60 cm	11.13	8.06	4.69
	平均值 Average	10.54	7.56	4.74
相对含水量 Relative water content		56.51	40.54	25.42

考察了在胁迫处理期间不同时期与长势相关的农艺性状及收获后的产量相关指标如始花期叶片

数、始花期株高、始花期倒四叶面积、花铃期株高、花铃期叶片数、单株铃数、单铃重、单株籽棉产量、单株皮棉产量、籽指、果枝数、衣分等,与正常灌水处理相比,各供试品种在生育期持续干旱处理后,所选性状均发生了不同程度变化。计算所有品种各农艺性状在干旱胁迫处理及正常灌溉条件下的平均值,再进行方差分析,结果显示(见表 2),其中果枝数、衣分两个性状在品种间差异不明显(P 值 >0.05 , F 值 <1),其余 10 个指标在胁迫处理前后差异均达到极显著水平(P 值 <0.01 , F 值 >10)。

变异系数反映了各农艺性状在不同基因型棉花品种间存在的差异。植株在遭受干旱胁迫后,相关指标必然会产生变化;某一指标变异系数改变的幅度越大,说明它对干旱胁迫越敏感。为了进一步衡量这种变化幅度,用胁迫和对照处理下的指标变异系数的差值除以均值消除量纲,引入干旱变异指数,其计算方法如下:干旱变异指数 $Vid = |Cvd - Cvw|/[(Cvd + Cvw)/2]$,式中 Cvd 为所有品种某一指标在干旱胁迫下的变异系数, Cvw 为所有品种此指标在正常灌溉条件下的变异系数。结果显示,只有果枝数、衣分两个性状的干旱变异指数小于 10%,其余 10 个指标的干旱变异指数在 10%~65%之间,这与差异显著性分析结果一致。说明始花期叶片数、始花期株高、始花期倒四叶面积、花铃期株高、花铃期叶片数、单株铃数、单铃重、单株籽棉产量、单株皮棉产量、籽指等 10 个指标对干旱胁迫较为敏感,具有较好的代表性。

2.2 不同抗旱性综合评价方法及其度量值的比较

根据对所考察农艺性状指标的统计分析,筛选出了 10 个在干旱胁迫处理后有显著变化的农艺性状指标,计算出不同品种各指标的抗旱系数、抗旱指数、抗旱隶属函数值,再分别计算每个品种各指标抗旱系数、抗旱指数、抗旱隶属函数值的平均值作为抗旱性综合评价指标综合抗旱系数(CDC)、综合抗旱指数(CDI)和综合抗旱隶属函数值(CDM)。再采用因子分析对各性状指标抗旱系数 DC 值进一步分析,获得特征向量、因子载荷和贡献率,根据贡献率结合隶属函数值计算出抗旱性综合度量值 D 。

结果显示(见表 4), CDC 、 CDI 、 CDM 、 D 值等四种抗旱性综合评价体系所得的抗旱性鉴定结果基本一致。同时,相关性分析表明, CDC 、 CDI 、 CDM 、 D 值等四种抗旱性综合评价体系两两之间的 Pearson 相关性均达到了极显著水平($P < 0.01$)(表 3)。这说明四种抗旱性综合评价体系具有高度一致性,都能够较为准确地反映出品种间抗旱性的差异。

表 2 干旱胁迫处理与正常灌溉条件下各农艺性状测定值差异分析
Table 2 Agronomic traits between drought stress treatment and normal irrigation

项目 Item	X1		X2		X3		X4		X5		X6	
	G	N	G	N	G	N	G	N	G	N	G	N
平均值 Means	16.61	22.92	48.89	67.39	77.61	119.18	54.42	86.21	19.38	30.94	4.91	5.86
标准差 SD	3.43	4.27	10.49	7.34	17.12	16.23	13.41	11.25	5.30	5.80	1.68	1.43
变异系数 CV/%	20.64	18.63	21.46	10.90	22.06	13.62	24.63	13.05	27.33	18.75	34.23	24.41
干旱变异指数 V. Id/%	10.2300		65.2700		47.3200		61.5100		37.2300		33.5000	
P	0.0001		0.0001		0.0001		0.0001		0.0001		0.0002	
F	100.7730		158.6240		235.9240		250.8370		164.4520		14.1130	

项目 Item	X7		X8		X9		X10		X11		X12	
	G	N	G	N	G	N	G	N	G	N	G	N
平均值 Means	3.74	4.64	18.1	27.10	7.88	11.39	4.58	4.64	42.41	42.00	8.30	9.74
标准差 SD	0.36	0.55	7.15	7.07	3.21	3.13	0.97	1.05	3.73	3.81	0.55	0.83
变异系数 CV/%	9.62	11.74	38.69	26.09	40.74	27.51	21.26	22.63	8.80	9.08	6.60	8.56
干旱变异指数 V. Id/%	19.8600		38.9000		38.7900		6.2200		3.1300		25.8400	
P	0.0001		0.0001		0.0001		0.7133		0.4551		0.0001	
F	145.9000		55.6490		46.6830		0.1350		0.5610		158.3120	

注:X1—始花期叶片数; X2—始花期株高; X3—始花期倒四叶面积; X4—花铃期株高; X5—花铃期叶片数; X6—单株铃数; X7—单铃重; X8—单株籽棉产量; X9—单株皮棉产量; X10—果枝数; X11—衣分; X12—籽指; G—干旱胁迫; N—正常灌溉。

Note: X1—leaves number of initial flowering stage; X2—height of initial flowering stage; X3—leaf area of initial flowering stage; X4—height of boll-forming stage; X5—leaves number of boll-forming stage; X6—bolls number of per plant; X7—boll weight; X8—cotton seed yield per plant; X9—lint yield per plant; X10—branch number; X11—lint percentage; X12—seed index; G—drought; N—normal.

表 3 各抗旱性评价体系间相关性分析
Table 3 Correlation coefficients between drought-resistance parameters

项目 Item	综合抗旱系数 Comprehensive drought resistant coefficient	综合抗旱指数 Comprehensive drought resistant index	综合抗旱隶属函数值 Membership function values	抗旱性综合度量值 Drought resistance comprehensive evaluation values
综合抗旱系数(CDC) Comprehensive drought resistant coefficient	1	0.887**	0.984**	0.991**
综合抗旱指数(CDI) Comprehensive drought resistant index	0.887**	1	0.901**	0.907**
综合抗旱隶属函数值(CDM) Membership function values	0.984**	0.901**	1	0.987**
抗旱性综合度量值(D) Drought resistance comprehensive evaluation values	0.991**	0.907**	0.987**	1

注: ** 为在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Note: ** significantly different at 0.01 probability level.

2.3 参试棉花品种(系)抗旱等级划分

利用综合抗旱系数(CDC)、综合抗旱指数(CDI)、综合抗旱隶属函数值(CDM)和抗旱性综合度量值D等四种抗旱评价体系得分值对76个参试棉花品种(系)进行K-means划分聚类,最终将76个品种分为高抗(Ⅰ类)、抗(Ⅱ类)、中等(Ⅲ类)、敏感(Ⅳ类)、高敏(Ⅴ类)五类,其中高抗(Ⅰ类)有5个品种(系),抗(Ⅱ类)有9个品种(系),中等(Ⅲ类)有17个品种(系),敏感(Ⅳ类)有31个品种(系),高敏

(Ⅴ类)有14个品种(系)。高抗和抗性材料大多为新疆、甘肃等地选育推广的品种(系),而敏感型材料大多为来自湖北、河北及山西等地的品种(系),详细结果见表4。

2.4 不同品种棉花抗旱性预测模型建立

为方便在品种选育过程中简单准确地预测选育材料的抗旱性,利用筛选出的10个农艺性状指标的抗旱系数作为自变量,四种抗旱性综合评价体系得分值为因变量,采用逐步回归的方式建立抗旱性预

测模型回归方程。选择相关系数达到 0.99 以上,且所需性状指标数最少的方程作为最终预测模型方程。统计分析结果显示,各模型方程的 F 值和显著性概率 $Sig.$ 值均达到极显著水平,结果如表 5 所示。

根据 4 个预测模型的回归方程可知,在棉花品

种(系)抗旱性鉴定中,可以有选择地测定如始花期叶片数、始花期株高、始花期倒四叶面积、花铃期株高、花铃期叶片数、单铃重、单株籽棉产量等 7 个指标,就可以有效地预测、鉴定棉花品种(系)的抗旱性,从而使鉴定工作简单化。

表 4 参试品种(系)各类抗旱性评价值及抗旱等级

Table 4 Evaluation parameters and drought-resistant grades of varieties(line)

品种(系) Varieties (lines)	综合抗旱系数 CDC	综合抗旱指数 CDI	综合抗旱隶属函数值 CDM	抗旱性综合评价值 D	抗旱等级 Grades
金垦 1 号 Jinken 1	0.96	1.46	0.77	0.91	I
金垦 108 Jinken 108	0.95	1.38	0.74	0.87	I
芳草湖 710 Fangcaohu 710	0.91	1.07	0.69	0.79	II
酒棉 17 号 Jiumian 17	0.73	0.74	0.47	0.47	III
新陆早 21 Xinluzao 21	0.79	0.79	0.53	0.58	III
367	0.79	0.80	0.51	0.57	III
新陆早 33 号 Xinluzao 33	0.76	0.87	0.49	0.50	III
新棉 2 号 Xinmian 2	0.73	0.73	0.46	0.50	III
田苗 2 号 Tianmiao 2	0.75	0.79	0.52	0.51	III
新陆早 48 号 Xinluzao 48	0.68	0.69	0.40	0.38	IV
新陆早 55 号 Xinluzao 55	0.78	0.84	0.53	0.60	III
酒棉 9 号 Jiumian 9	0.75	0.80	0.50	0.48	III
酒棉 10 号 Jiumian 10	0.88	1.49	0.67	0.78	I
金垦 9 号 Jinken 9	0.86	1.32	0.63	0.77	I
新陆早 23 号 Xinluzao 23	0.82	1.11	0.55	0.66	II
新陆中 7 号 Xinluzhong 7	0.81	1.21	0.56	0.64	II
K6	0.81	1.06	0.59	0.64	II
索远 9 号 Suoyuan 9	0.65	0.73	0.34	0.32	IV
邱县 0905 Qiuxian 0905	0.69	0.66	0.40	0.37	IV
泗抗 1 号 Sikang 1	0.72	0.68	0.41	0.43	IV
耕野 3 号 Gengye 3	0.80	1.01	0.53	0.60	II
新陆早 46 号 Xinluzao 46	0.69	0.70	0.36	0.35	IV
硕丰 1139 Shuofeng 1139	0.69	0.68	0.38	0.38	IV
伊陆早 11 号 Yiluzao 11	0.70	0.69	0.39	0.42	IV
义田 9 号 Yitian 9	0.66	0.69	0.36	0.34	IV
MB799	0.84	1.05	0.60	0.67	II
邯 682 Han 682	0.74	0.74	0.45	0.46	III
CQJ2012-3	0.70	0.80	0.41	0.40	IV
鲁 25A Lu 25A	0.89	1.07	0.67	0.73	II
太原 02-2 Taiyuan 02-2	0.76	0.72	0.46	0.52	III
荆 N2 Jing N2	0.69	0.65	0.39	0.40	IV
8283	0.80	0.80	0.53	0.59	III
126718	0.70	0.70	0.42	0.42	IV
巴西 014 Brazil 014	0.64	0.51	0.32	0.30	V
巴西 012 Brazil 012	0.73	0.59	0.42	0.42	IV
鄂 0902 E 0902	0.62	0.53	0.32	0.26	V
博乐 2-1-1 Bole 2-1-1	0.93	1.02	0.70	0.83	II
金垦 3 号 Jinken 3	0.96	1.12	0.80	0.89	I
义田 10 号 Yitian 10	0.71	0.73	0.44	0.43	IV

续表 1

品种(系) Varieties (lines)	综合抗旱系数 CDC	综合抗旱指数 CDI	综合抗旱隶属函数值 CDM	抗旱性综合评价 D	抗旱等级 Grades
辽 08 – 405 Liao 08 – 405	0.71	0.66	0.43	0.42	IV
G.mexicanum	0.66	0.56	0.37	0.34	IV
徐州 1042 Xuzhou 1042	0.67	0.62	0.37	0.38	IV
陕 2365 Shan 2365	0.59	0.49	0.26	0.20	V
中 21371 Zhong 21371	0.76	0.77	0.49	0.50	III
山大新 66 Shandaxin 66	0.82	0.97	0.57	0.67	II
巴西 005 Brazil 005	0.71	0.74	0.40	0.41	IV
科棉 4 号 Kemian 4	0.77	0.81	0.45	0.52	III
超早 3 号 Chaozao 3	0.75	0.68	0.49	0.47	III
冀丰 908 Yifeng 908	0.70	0.66	0.39	0.34	IV
中棉所 64 Zhongmiansuo 64	0.72	0.64	0.43	0.43	IV
锦科 2 号 Jinke 2	0.82	0.84	0.56	0.61	III
邱县 0904 Qiuxian 0904	0.58	0.47	0.22	0.15	V
中 2220 Zhong 2220	0.72	0.73	0.45	0.39	IV
中棉所 50 Zhongmiansuo 50	0.73	0.70	0.42	0.42	IV
中 129 Zhong 129	0.72	0.69	0.44	0.41	IV
冀丰 197 Jifeng 197	0.65	0.70	0.29	0.26	IV
美 A – 24 Mei A – 24	0.85	0.68	0.50	0.61	III
送兴红叶 Songxinghongye	0.62	0.59	0.30	0.21	V
柯字 312 Kezi 312	0.69	0.66	0.37	0.35	IV
L142 – 9	0.57	0.45	0.21	0.16	V
晋农大运 3 – 1 Jinnongdayun 3 – 1	0.56	0.47	0.20	0.13	V
Local.cotton	0.64	0.56	0.32	0.29	V
中 80 Zhong 80	0.68	0.71	0.37	0.34	IV
中棉 44 号 Zhongmian 44	0.67	0.60	0.32	0.32	IV
鄂 0901 E 0901	0.63	0.57	0.31	0.22	V
皖 C22 Wan C22	0.80	0.73	0.48	0.58	III
冀丰 1056 Jifeng 1056	0.66	0.56	0.34	0.29	IV
晋棉 34 Jinnian 34	0.68	0.53	0.38	0.37	IV
邯 240 Han 240	0.64	0.56	0.31	0.27	V
石早 1 号 Shizao 1	0.65	0.60	0.33	0.26	IV
冀棉 14 号 Jimian 14	0.71	0.63	0.36	0.37	IV
博乐 Y10 Bole Y10	0.55	0.43	0.17	0.09	V
中棉所 69 Zhongmiansuo 69	0.60	0.51	0.24	0.18	V
辽 04 – 4 Liao 04 – 4	0.66	0.56	0.35	0.29	IV
中 119 Zhong 119	0.50	0.35	0.14	0.01	V
鄂农 071 Enong 071	0.62	0.52	0.29	0.23	V

3 讨论

3.1 棉花抗旱相关农艺性状指标选择

干旱胁迫是一种广泛存在且严重影响棉花生长和产量的一种自然现象。杜传莉等^[4]通过对国内外研究结果的收集、整理和分析认为,株高、出叶速率、干物质累积量、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生长发育指标和主要农艺性状指标可用作棉花抗旱性鉴定的参考指标。陈玉梁等^[8,10]也提出单株成铃数、单铃重、株高、花铃期叶片数、有效果枝数、果节数、籽指、衣分、茎粗和果茎节间长度等主要农艺性状可作为彩色棉花抗旱评价指标。但是棉花不同发育时期的干旱胁迫、不同胁迫程度对棉花生长发育的影响不同,如俞

希根等^[1]研究得出中旱对产量的影响大小趋势是：缓慢,叶片也相应变小,果枝量少,且伸展慢,重旱时
苗期<成熟期<蕾期<花铃期和全生育期,认为花生长停止,产生自然封顶现象。
铃期时干旱胁迫对棉花的生长影响最大,棉株增长

表 5 抗旱性预测模型回归方程
Table 5 Predict model stepwise regression of cotton drought resistance

因变量 Dependent	多元逐步回归方程 Stepwise regression	相关系数 <i>R</i>	决定系数 <i>R</i> ²	<i>F</i>	显著性概率 <i>Sig.</i>
综合抗旱系数 CDC	$Y = 0.148 + 0.352X_8 + 0.131X_2 + 0.096X_1 + 0.091X_5 + 0.098X_3 + 0.084X_4$	0.994	0.989	1028.802	0.000
综合抗旱指数 CDI	$Y = -0.674 + 0.385X_4 + 0.439X_8 + 0.436X_3 + 0.236X_5 + 0.345X_2 + 0.247X_7$	0.930	0.865	73.965	0.000
综合抗旱隶属函数值 CDM	$Y = -0.548 + 0.391X_8 + 0.318X_2 + 0.173X_3 + 0.163X_5 + 0.114X_1 + 0.232X_7$	0.991	0.982	614.299	0.000
抗旱性综合评价 D	$Y = -0.658 + 0.673X_8 + 0.226X_4 + 0.244X_3 + 0.187X_5 + 0.241X_2 + 0.073X_1$	0.996	0.991	1273.140	0.000

注: X1—始花期叶片数; X2—始花期株高; X3—始花期倒四叶面积; X4—花铃期株高; X5—花铃期叶片数; X7—单铃重; X8—单株籽棉产量。
Note: X1—leaves number of initial flowering stage; X2—height of initial flowering stage; X3—leaf area of initial flowering stage; X4—height of boll-forming stage; X5—leaves number of boll-forming stage; X7—boll weight; X8—cotton seed yield per plant.

本研究综合分析了前人的研究成果,结合农业生产的实际情况,选择考察了 76 个参试品种与棉花抗旱性密切相关的 12 个不同生育期的农艺性状指标在干旱胁迫与正常灌溉条件下的变化情况,显著性分析和干旱变异指数分析结果显示,始花期叶片数、始花期株高、始花期倒四叶面积、花铃期株高、花铃期叶片数、单株铃数、单铃重、单株籽棉产量、单株皮棉产量、籽指等 10 个农艺性状指标在胁迫处理后差异均达到极显著水平(*P* 值<0.01, *F* 值>10),干旱变异系数在 10%~65%之间,对于旱胁迫较为敏感,在抗旱性评价中具有较好的代表性。

3.2 作物抗旱性评价方法

对于作物生产来说,其抗旱与否主要体现在产量方面,因而有关学者提出了以产量指标为依据的多种抗旱性直接评价方法,如抗旱系数(DC)^[28]和抗旱指数(DI)^[26]曾被许多研究者用来衡量作物的抗旱性。而黎裕等^[24,29]认为作物抗旱性和产量都是由数量性状位点所控制,遗传网络系统不同,因而在抗旱品种筛选时需对这两个系统进行综合考虑,且重点考虑抗旱性本身而不是产量潜力。近年来,国内外学者普遍认为多指标多方法相结合的抗旱性综合评价更加真实、可靠,也研究和提出了基于抗旱系数、抗旱指数、主成分分析法、聚类分析法、隶属函数法等多种分析方法的作物抗旱性鉴定评价方法,并应用在多种作物的抗旱性评价上^[11-19,30-31]。

本研究利用抗旱指数和抗旱系数的算法,与棉花抗旱性评价相关指标结合,计算出了不同品种各

个指标的平均抗旱系数和平均抗旱指数作为综合评价值,再进一步结合了模糊函数隶属值和基于主成分分析的抗旱性综合评价 D 值,对收集到的 76 个棉花种质资源进行抗旱性评价,再利用四种抗旱评价体系得分值对 76 个受试棉花品种(系)进行 K-means 划分聚类,最终将 76 个品种分为高抗(I 类)、抗(II 类)、中等(III 类)、敏感(IV 类)、高敏(V 类)五类。Pearson 相关性分析结果表明,这四种抗旱性综合评价体系两两之间的 Pearson 相关性均达到了极显著水平(*P*<0.01),说明四种抗旱性综合评价体系具有高度一致性,都能够较为准确地反映出品种间抗旱性的差异,本研究对所列棉花品种资源的抗旱性评价结果具有较高的参考价值。

3.3 棉花抗旱性预测模型建立

近年来由于全球气候变化影响造成生态环境的日益恶化和频繁发生的持续干旱,干旱胁迫已成为影响棉花生产的主要环境因素。筛选和利用棉花抗旱种质资源、培育抗旱性强的棉花品种及挖掘现有主栽品种的抗旱潜力是解决棉花生产问题的一个有效途径。但是,育种家们在品种选育过程中如何快速准确地预测新材料的抗旱性是一个关键问题。本研究利用筛选出的 10 个农艺性状指标的抗旱系数作为自变量,四种抗旱性综合评价体系得分值为因变量,采用逐步回归的方式建立抗旱性预测模型回归方程。结果显示,各模型方程的 *F* 值和显著性概率 *Sig.* 值均达到极显著水平,模型的评价预测效果很好,在棉花品种(系)抗旱性鉴定中,可以有选择地

测定如始花期叶片数、始花期株高、始花期倒四叶面积、花铃期株高、花铃期叶片数、单铃重、单株籽棉产量等 7 个指标,就可以有效地预测、鉴定棉花品种(系)的抗旱性,从而使鉴定工作简单化。

参 考 文 献:

[1] 俞希根,孙景生,肖俊夫,等.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.

[2] 南建福,刘恩科,王计平,等.苗期干旱和施肥对棉花生长发育的影响[J].棉花学报,2005,17(6):339-342.

[3] Sepakhah A R, Kanooi A, Ghasemi M M. Estimating water table contribution to corn and sorghum water use[J]. Agricultural Water Management, 2003,58(1):67-79.

[4] 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.

[5] 赵都利,许玉璋,许 莹.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,1992,10(3):7-10.

[6] 李少昆,肖 璐,黄文华.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] 蔡红涛,汤一卒,刁品春,等.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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 陈玉梁,石有太,罗俊杰,等.干旱胁迫对彩色棉花农艺、品质性状及水分利用效率的影响[J].作物学报,2013,39(11):2074-2082.

[11] 王士强,胡银岗,余奎军,等.小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析[J].中国农业科学,2007,40(11):2452-2459.

[12] 白志英,李存东,孙红春,等.小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价[J].中国农业科学,2008,41(12):4264-4272.

[13] 李贵全,张海燕,季 兰,等.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.

[14] 谢小玉,张 霞,张 兵.油菜苗期抗旱性评价及抗旱相关指标变化分析[J].中国农业科学,2013,46(3):476-485.

[15] 柯贞进,尹美强,温银元,等.干旱胁迫下聚丙烯酰胺浸种对谷子种子萌发及幼苗期抗旱性的影响[J].核农学报,2015,29(3):563-570.

[16] 徐 蕊,王启柏,张春庆,等.玉米自交系抗旱性评价指标体系的建立[J].中国农业科学,2009,42(1):72-84.

[17] 田山君,杨世民,孔凡磊,等.西南地区玉米苗期抗旱品种筛选[J].草业学报,2014,23(1):50-57.

[18] 祁旭升,王兴荣,张彦军,等.胡麻成株期抗旱指标筛选与种质抗性鉴定[J].中国农业科学,2010,43(15):3076-3087.

[19] 罗俊杰,欧巧明,叶春雷,等.重要胡麻栽培品种的抗旱性综合评价及指标筛选[J].作物学报,2014,40(7):1259-1273.

[20] 罗俊杰,欧巧明,叶春雷,等.主要胡麻品种抗旱相关指标分析及综合评价[J].核农学报,2014,28(11):2115-2125.

[21] 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.

[22] 翟荣荣,叶胜海,余 鹏,等.浙江省晚粳稻品种对 PEG 胁迫的反应和耐旱性鉴定[J].核农学报,2015,29(10):1991-1997.

[23] 段九菊,张 超,郑梅梅,等.万寿菊不同品种的耐盐性综合评价[J].核农学报,2015,29(7):1406-1418.

[24] 黎 裕,王天宇,石云素,等.应用生理学方法和分子手段进行玉米抗旱育种[J].玉米科学,2004,12(2):16-20.

[25] 杜雄明,周忠丽.棉花种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2005.

[26] 兰巨生,胡福顺,张景瑞.作物抗旱指数的概念和统计方法[J].华北农学报,1990,5(2):20-25.

[27] 王兴荣,张彦军,苟作旺,等.大豆种质资源抗旱性综合评价[J].干旱地区农业研究,2015,33(5):17-23.

[28] Abraham Bluma & Wayne R. Jordan. Breeding crop varieties for stress environments[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1985,2(3):199-238.

[29] 黎 裕,王天宇,刘 成,等.玉米抗旱品种的筛选指标研究[J].植物遗传资源学报,2004,5(3):210-215.

[30] 姚玉波.不同品种亚麻种子萌发期抗旱性鉴定[J].核农学报,2015,29(10):2033-2039.

[31] 石运庆,苗华荣,胡晓辉,等.花生耐盐碱性鉴定指标的研究及应用[J].核农学报,2015,29(3):442-447.

(上接第 204 页)

[28] 刘世鹏,刘济明,陈宗礼,等.模拟干旱胁迫对枣树幼苗的抗氧化系统和渗透调节的影响[J].西北植物学报,2006,26(9):1781-1787.

[29] 杨封科,何宝林,高世铭.气候变化对甘肃省粮食生产的影响研究进展[J].应用生态学报,2015,26(3):930-938.

[30] Serrano L, Penuelas J. Contribution of physiological and morphological adjustments to drought resistance in two Mediterranean tree species[J]. Biologia Plantarum. 2005,49:551-559.

[31] 魏永胜,梁宗锁,山 仑,等.利用隶属函数值法评价苜蓿抗旱性[J].草业科学,2005,22(6):33-36.

[32] 谢贤健,兰代萍,白景文.三种野生岩生草本植物的抗旱性综合评价[J].草业学报,2009,18(4):75-80.

[33] 李禄军,蒋志荣,李正平,等.3 树种抗旱性的综合评价及其抗旱指标的选取[J].水土保持研究,2006,13(6):252-254.

[34] 张鹤山,张德罡,刘晓静,等.灰色关联度分析法对不同处理下草坪质量的综合评判[J].草业科学,2007,24(11):73-76.

[35] Cavalcanti FR, Olivera J T A, Martins-Miranda A S, et al. Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-stressed cowpea leaves[J]. New Phytologist,2004,163(3):563-571.